แบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับวิเคราะห์การแพร่กระจายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในพื้นต้นแบบ 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

ปฏิวัติ ฤทธิเดช[1]

Patiwat Littidej[1]

Received: 28 September 2016 ; Accepted: 18 January 2017

บทคัดย่อ

อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลความเข้มข้นพื้นฐานจากสถานีตรวจวัด และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS ที่ครอบคลุมพื้นที่ต้นแบบจังหวัด ขอนแก่น เลยและนครราชสีมา รวมทั้งแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์สำหรับสร้างแผนที่ความเข้มข้นมลพิษ โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ 1) เพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนกับข้อมูลของสถานีวัด 2) เพื่อสร้างแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนและวิเคราะห์การแพร่กระจายโดยการใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวจากชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 หาความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณ PM_{10} ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 3 สถานีของทั้ง 3 จังหวัดด้วยสมการถดถอย3แบบได้แก่แบบจำลองถดถอยแบบคิวบิคแบบจำลองถดถอยแบบเอ็กโปเนนเชียลและการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุผลการวิจัยพบว่าการใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.742 โดยสร้างแบบจำลองจากแบนด์ 3 และแบนด์ 4 และเมื่อนำสมการไปคำนวณกับค่าความสว่างของภาพถ่ายดาวเทียมแล้วและประเมินความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นมลพิษที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) พบว่ามีความสัมพันธ์กัน

คำสำคัญ: การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ภาพดาวเทียมTerra/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

[1] *อาจารย์, หลักสูตรภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม*

[1] *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_{10} 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_{10} is correlated with the values from ground measurement.

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

บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยประสบปัญหามลภาวะหมอกควันในช่วงฤดูแล้งของทุกปีจากสถานการณ์มลพิษในอากาศที่ผ่านมาพบว่าภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองในอากาศมากเป็นอันดับสองรองจากภาคเหนือสภาวะหมอกควันปกคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นบริเวณกว้างอีกทั้งสภาพภูมิประเทศของบางจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีภูเขาล้อมรอบถ้าหากมีกิจกรรมการเผาจะทำให้มลพิษต่าง ๆ และฝุ่นละอองจะถูกกักขังในพื้นที่นั้นนานขึ้นซึ่งเกิดจากการเผาพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อเตรียมดินทำการเกษตรและสถานการณ์ไฟไหม้ป่าทำให้เกิดหมอกฝุ่นควันขึ้นมีผลกระทบต่อทัศนะวิสัยในการมองเห็นและทำให้มีผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจสูงขึ้นมาก[1,2] ปริมาณฝุ่นละอองในอากาศจัดเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศที่สามารถวัดได้จากค่า PM_{10} ซึ่งในปี 2552 ตรวจพบปริมาณ PM_{10} ในอากาศที่ในจังหวัดเลยสูงสุดเกินมาตรฐานในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2552 ซึ่งสูงถึง 268 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[1] และในปี 2553 ตรวจพบปริมาณ PM10 ในอากาศในปริมาณสูงที่สุดที่จังหวัดหนองบัวลำภูในช่วงกลางเดือนมีนาคม 2553 ซึ่งสูงถึง 318.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร[1] การตรวจวัดดังกล่าวเป็นการตรวจวัดโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินซึ่งพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีทั้งหมด3สถานีแต่ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเพียงบางจุดและไม่ครอบคลุมทั้งพื้นที่และบางครั้งอาจได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วนเนื่องจากระบบสื่อสารขัดข้องและอาจเกิดความล่าช้าในการได้มาซึ่งข้อมูลหากใช้ข้อมูลดาวเทียมในการประเมินปริมาณ PM_{10} ในอากาศจะทำให้ได้ผลการตรวจปกคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ทั้งยังเป็นข้อมูลสนับสนุนการจัดการทรัพยากรอากาศหรือเตือนภัยพิบัติจากสถานการณ์หมอกควันแก่ประชาชนได้โดยดาวเทียมที่โคจรผ่านประเทศไทยทุกวันและถ่ายภาพครอบคลุมทั้งประเทศมีหลายประเภทด้วยกันโดยในการศึกษาครั้งนี้เน้นเฉพาะดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectra radiometer) ซึ่งเป็นเครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัมที่ถูกติดตั้งบนดาวเทียม Terra และ Aqua ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสามารถบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกได้ภายใน 2 วัน[3] จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการตรวจหาปริมาณ PM10 จากเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าวการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมเพื่อตรวจหาปริมาณ PM_{10} สำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยพิจารณาความสัมพันธ์กันของข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดยการใช้สมการถดถอยเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองที่มีความเหมาะสมต่อการตรวจหาปริมาณ PM10 และใช้เทคนิควิธีทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการจัดการข้อมูลและสร้างแผนที่แสดงปริมาณ PM_{10} ในอากาศต่อไป งานวิจัยที่ผ่านมามีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS มาใช้ศึกษาถึงความสัมพันธ์กับปริมาณ PM_{10} ของสถานีตรวจวัด[4] ได้ศึกษาหาปริมาณมลภาวะในอากาศในประเทศมาเลเซียได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (SO_2) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และ โอโซน (O_3) ด้วยการหาความสัมพันธ์กันระหว่างผลการตรวจวัดมลภาวะทางอากาศจากสถานีภาคพื้นดิน กับค่าการสะท้อนของดาวเทียม NOAA-14 AVHRRแบนด์ 1 และ แบนด์ 2 โดยใช้สมการถดถอย 8 แบบ ได้แก่ linear, logarithmic, quadratic, cubic, power, S-curve, exponential, และ multiple linear ซึ่งพบว่า การหาปริมาณ PM_{10}, SO_2, NO_2 ใช้สมการถดถอยแบบ cubic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 33, 18 และ 11 ตามลำดับ ส่วนการหาปริมาณ CO ใช้สมการถดถอยแบบ Power ให้ค่า RMSE เท่ากับ 13 และการหาปริมาณ O_3 ใช้สมการถดถอยแบบ Quadratic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 10 แล้วจึงนำสมการที่ได้ ร่วมกับเทคนิคทางภูมิสารสนเทศ สร้างแผนที่ปริมาณมลพิษในอากาศเพื่อสามารถประเมินปริมาณมลพิษในอากาศในบริเวณกว้างได้[5] ได้ทำแผนที่ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณ เมือง Lisbon โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของชั้นบรรยากาศ ที่ได้รับจากดาวเทียมเซนเซอร์ MODIS Level 1B และปริมาณ PM_{10} ที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน โดยการหาความสัมพันธ์กันของข้อมูลจากสมการเชิงเส้นตรง และทำแผนที่ปริมาณ PM_{10} ด้วยการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ซึ่งการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของข้อมูลนั้น ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ 1 ที่มีความยาวคลื่น 620 – 670 นาโนเมตร และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 250

เมตร ความสัมพันธ์ของแบบจำลองมีค่า R^2 = 0.77 และทำแผนที่ปริมาณ PM_{10} ในอากาศด้วยการประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธี Ordinary krigingพบว่าค่า PM_{10} ที่สูงๆ ส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ๆมีลักษณะเป็นแอ่งและห้อมล้อมด้วยภูเขา[6] หาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลช่วงคลื่นความร้อนของดาวเทียม Landsat 5 TM และข้อมูลที่วัดได้จากภาคพื้นดิน โดยใช้สมการถดถอยในการเชื่อมความสัมพันธ์กันของค่า Digital Number (DN Value) และค่าปริมาณ PM_{10} ที่วัดได้ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก และมีค่า (RMSE) ที่ต่ำ [7]ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance, SR) และค่าความลึกเชิงแสง (Aerosol Optical Tickness, AOT) ของภาพดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS กับปริมาณ PM_{10} เปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้สถานีตรวจวัดมลพิษในอากาศภาคพื้นดิน จำนวน 5 สถานี ในพื้นที่ จากการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้งSR และ AOTเปรียบเทียบกับข้อมูลของสถานีพื้นดินอยู่ที่ 0.68 – 0.79 และสหสัมพันธ์ระหว่าง SR และ AOTมีค่าอยู่ระหว่าง 0.71-0.76[7]ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ [8]ได้ใช้ข้อมูลค่า SRจากผลิตภัณฑ์ MOD09 ของดาวเทียมเซนเซอร์ MODIS ในการศึกษาสภาวะอากาศ ของประเทศไทย กรณีศึกษาบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยการหาความสัมพันธ์กันระหว่างSR 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 มาประยุกต์ใช้ในการหาความเข้มข้นของปริมาณ PM_{10} ในอากาศ เนื่องจากมีกระบวนการปรับแก้ทางเชิงรังสีและเชิงเรขาคณิตที่ไม่ซับซ้อนเท่ากับ AOT แต่ยังให้ผลความสัมพันธ์ที่ถึงความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในระดับที่ยอมรับได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยส่วนใหญ่ก็จะใช้แบบจำลองทั้งแบบเชิงเส้นและไม่ใช่เชิงเส้นมาสร้างความสัมพันธ์กันระหว่างค่า SR และ PM_{10} กับค่าที่วัดได้จากสถานีวัด โดยจะใช้ค่าสถิติ R^2 มาวัดความแม่นยำและ RMSEมาวัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองซึ่งแบบจำลองแบบเชิงเส้นจะมีแนวโน้มที่จะให้ค่าความแม่นยำมากกว่าแต่ก็จะมีความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ของการประยุกต์ใช้งานด้วยแต่ยังไม่มีงานวิจัยใดเลยที่ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างค่า PM_{10} และปัจจัยเชิงพื้นที่เพื่อวิเคราะห์การกักขังฝุ่นละอองในพื้นที่ๆแตกต่างกัน ในการวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ใช้ทั้งแบบจำลองเชิงเส้น 3 รูปแบบเข้ามาใช้เปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ว่าแบบจำลองแบบใดเหมาะสมที่จะใช้ทำนายปริมาณฝุ่น PM_{10} และพื้นที่ๆ จะใช้เป็นต้นแบบคือจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา เนื่องมาจากว่าทั้ง 3 จังหวัดมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่สามารถวัดค่า PM_{10} ได้และจะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเปรียบเทียบผลของแบบจำลองได้ เมื่อได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำในการประมาณค่า PM_{10} แล้วจะใช้วิธีการทางภูมิสารสนเทศในการสร้างแผนที่ รวมทั้งแบบจำลองแบบถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์สำหรับวิเคราะห์การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนว่าสัมพันธ์กับลักษณะเชิงพื้นที่อย่างไร เพื่อใช้ในการประเมินสถานการณ์ของพื้นที่ต่อไปได้อย่างทันเวลา

วัตถุประสงค์

1) เพื่อสร้างตัวแบบเชิงพื้นที่สำหรับคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนากเล็กกว่า 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 และยังไม่มีระบบพิกัด 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_{10} ในอากาศ โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม Terra/Aqua–MODIS มีขั้นตอนดังรูปที่ 1และอธิบายแต่ละขั้นตอนดังนี้

1) รวมรวมผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้ง 3 สถานี (นครราชสีมา, ขอนแก่น และเลย) จากกรมควบคุมมลพิษ เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพียงแค่ 3 จังหวัด และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมช่วงเดือนกุมภาพันธ์, มีนาคม และเมษายน2558 ซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วงที่มีปริมาณ PM_{10} 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 หาความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ทั้ง 3 สถานี ด้วยสมการถดถอย 3 รูปแบบได้แก่ การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear models) การถดถอยแบบคิวบิค (Cubic regression) และการถดถอยแบบเอ็กซ์โปเน็นต์ (Exponential regression) และพิจารณาความแม่นยำของแต่ละแบบจำลองจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ถ้าค่า R^2 มีค่าสูง ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากยิ่งขึ้นโดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R^2มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใดๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ, 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์)

4) ทำการประเมินความแม่นยำของค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริงเพื่อหาตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการที่ดีที่สุดในการคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ

5) เมื่อได้รูปแบบสมการที่ดีที่สุดแล้ว จึงนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อสร้างแผนที่ปริมาณ PM_{10} ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

6) วิเคราะห์ลักษณะการแพร่ของ PM_{10} และการกักขังเชิงพื้นที่ด้วยแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ และแผนที่ PM_{10} จะมีหน่วยเป็นจำนวนจุดภาพ (Pixel) หรือเป็นเมตร โดยรูปแบบของสมการที่ใช้คำนวณความคลาดเคลื่อน (RMS) มีดังต่อไปนี้

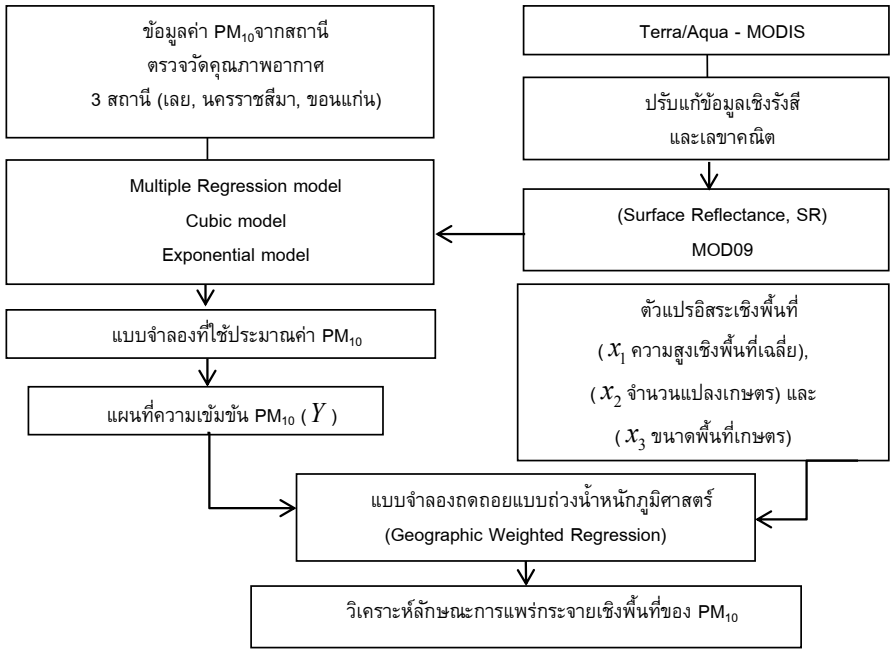


Figure 1 Framework of the study

ข้อมูลแหล่งข้อมูล และการรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน บริเวณพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา ที่มี สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษตั้งอยู่จะวัดค่า PM_{10} ในหน่วย ($\mu g/m^3$) และช่วงเวลาที่บันทึกค่าระหว่างวันที่ 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 ที่เลือกไว้เป็นจุดตรึงตำแหน่งต่างๆ ในขั้นตอนนี้จะคำนวณค่าจากจุดควบคุมทางภาคพื้นดินที่กำหนดลงไปบนภาพ ผลการคำนวณจะระบุค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS) ของแต่ละจุดโดยมีหน่วยเป็นระยะทางระหว่างตำแหน่งของจุดควบคุมทางภาพพื้นดินและจุดควบคุมทางภาคพื้นดินที่คำนวณขึ้นใหม่ ค่าความคลาดเคลื่อนคำนวณดังสมการดังนี้

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

RMS แกนดิ่ง $Y = (sum(y_1 - y_{org})^2 / (n-k))$ ...(2)

เมื่อ x_1 = ค่าพิกัดแนวราบที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้

y_1 = ค่าพิกัดแนวดิ่งที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้

x_{org} = ค่าพิกัดแนวราบของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ

y_{org} = ค่าพิกัดแนวดิ่งของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ

n = จำนวนจุดควบคุมทางภาคพื้นดิน

k = ค่า Degree of freedom หรือ จำนวนจุด GCP ที่ต้องใช้ ซึ่งขึ้นกับรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ในการแปลงพิกัด

ค่า RMS สามารถบอกได้ว่า จุดควบคุมภาคพื้นดินมีตำแหน่งพิกัดใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงเพียงใด (มีหน่วยเป็นจุดภาพ) โดยทั่วไปค่า RMSที่ยอมรับได้จะมีค่าบวกหรือลบไม่เกิน 1 จุดภาพ ถ้าค่า RMS มีค่าสูงแสดงว่า ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมีมาก ในการวิจัยนี้จะกำหนดค่า RMS ของภาพที่จะนำมาใช้งานน้อยกว่า0.001 ภาพเพื่อทำให้ได้ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศตรงกับจุดภาพภาพและไม่คลาดเคลื่อน

แบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (Geographic Weighted Regression, GWR)

แบบจำลอง GWR เป็นแบบจำลองแบบ (Local Model) จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นในการวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวแปรเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยของ[6,7] ซึ่งสรุปได้ว่าปัจจัยที่จะส่งผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นในพื้นที่ระดับภูมิภาค คือค่าความสูงเชิงพื้นที่เฉลี่ยในหน่วยพื้นที่ย่อย กำหนดเป็นตัวแปรอิสระ x_1 จำนวนแปลงเกษตรต่อหน่วยพื้นที่ย่อยเป็นตัวแปรอิสระ x_2 และขนาดพื้นที่เกษตรเป็นตัวแปรอิสระ x_3 โดยที่ y คือ ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา และมีรูปแบบของแบบจำลองGWR ตามสมการที่ (3)

$$y = b_0 + b_1(x) + e \quad (3)$$

y คือ ค่าความเข้มข้นของ PM_{10}ของจุดภาพภาพ x เป็น ตัวแปรอิสระ b_0 และ β_1 ของค่าพารามิเตอร์ ที่จะได้ผลลัพธ์ e เป็นค่าที่ผิดพลาดแบบสุ่มที่แบบจำลอง GWR จะมีความแตกต่างจากแบบจำลอง Ordinary Least Square (OLS)ซึ่งเป็นสถิติแบบ (Global Model)ในด้านการประมาณค่าสัมประสิทธ์ของ b_0 และ b_1 โดยมีรูปแบบดังสมการที่ (4)

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

$w(g)$ เป็นเมตริกซ์ของค่า PM_{10}ที่จะถูกนำมาใช้คำนวณค่าน้ำหนักเชิงพื้นที่ สามารถกำหนดขนาดของหน้าต่าง (Bandwidth) ในการเลือกจุดตัวอย่างของ PM_{10}ได้หลายวิธีการในรูปแบบต่างๆโดยการวิจัยนี้ใช้วิธีฟังก์ชั่น Gaussian ดังแสดงในสมการ (5)

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

โดย d_{ij} เป็นระยะทางระหว่างจุดภาพจุดภาพของแผนที่ PM_{10}ที่ j ใดๆ มายังจุดศูนย์กลางของหน้าต่าง(Bandwidth) ที่ i ใดๆ การที่แบบจำลองจะคำนวณค่าสัมประสิทธ์ได้มีความสอดคล้องกันของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะต้องขึ้นกับการกำหนดหน่วยเชิงพื้นที่ย่อย (Spatial unit) ด้วย ในการวิจัยนี้จะใช้การแบ่งหน่วยพื้นที่ย่อยจากการแบ่งตามขนาดลุ่มน้ำย่อย (Sub basin) โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิง

เลข (Digital Elevation Model, DEM) ขนาดจุดภาพ50 เมตร แบบจำลอง GWR จะสร้างแบบจำลองให้กับทุกๆหน่วยพื้นที่ย่อย ต่างจาก OLSที่จะได้เพียงสมการเดียวสำหรับประเมิน 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

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

เมื่อ $T_2 \neq T_1$ กราฟนี้จะเป็นเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (b_3, P_1) และจุด (T_2, P_2)โดยมีความชันเท่ากับ m = $(P_2 - P) // (T_2 - T_1)$ 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 แต่ด้วยขนาดจุดภาพภาพของภาพดาวเทียมมีขนาด 500 เมตร ซึ่งใหญ่กว่าพื้นที่ตั้งของสถานีตรวจวัดทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของการสร้างแบบจำลองได้ ในการวิจัยนี้จึงได้ใช้วันที่ใช้ภาพดาวเทียมจำนวนมากเพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูล 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} ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของแต่ละสถานีโดยเปลี่ยนแปลงไปตามวันและเวลาที่ได้บันทึกภาพดาวเทียม

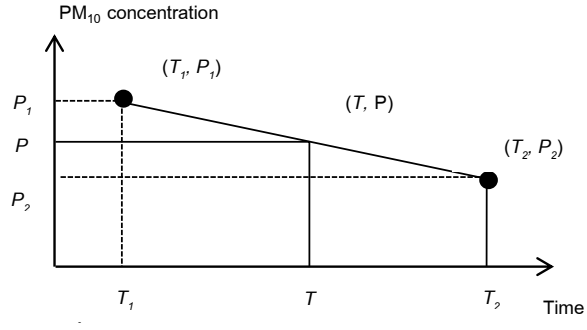


Figure 2 Relationship between time spot and concentration of PM_{10}

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) และการถดถอยแบบคิวบิค (Cubic Regression) ซึ่งมีรูปแบบสมการแบบเส้นตรง (Linear Regression) แบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Regression) และแบบคิวบิค (Cubic Regression) และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน และค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จากงานวิจัยของ[7] สรุปว่าช่วงคลื่น (แบนด์) ที่เหมาะสมที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์กับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน PM_{10} คือ แบนด์ 1 ถึง แบนด์ 4 และ

ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้ภาพดาวเทียมตรวจวัดคุณภาพอากาศและการแพร่กระจายของฝุ่นคือช่วงฤดูแล้ง ซึ่งในพื้นที่ศึกษาจะใช้ข้อมูลของเดือนกุมภาพันธ์มีนาคม และเมษายน 2558 เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองถดถอย (Regression Model) 3 แบบทั้งนี้จะมีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ของภาพดาวเทียมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันผลพบว่า แบนด์1, 2, 3, และ 4 มีค่าสหสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของสถานีจังหวัดเลยช่วงเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.31, 0.36, 0.64, และ 0.72 ตามลำดับ ค่าสหสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของสถานีจังหวัดขอนแก่นช่วงเดือนมีนาคมเท่ากับ 0.3, 0.31, 0.61, และ 0.74 ตามลำดับ และค่าสหสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของสถานีจังหวัดนครราชสีมาช่วงเดือนเมษายนเท่ากับ 0.37, 0.39, 0.68, และ 0.76 ตามลำดับทำให้สังเคราะห์ได้ว่าแบนด์3 และ 4 มีความสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของทุกๆสถานีทดสอบมากกว่าแบนด์ 1 และ 2 นอกจากนี้ยังทดสอบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 1, 2, 3, และ 4 เพื่อยืนยันว่าช่วงคลื่นที่เลือกมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสามารถสะท้อนค่า PM_{10} ได้อย่างแม่นยำ ผลสหสัมพันธ์พบว่าแบนด์1, 2 มีความสัมพันธ์กันในระดับไม่เกิน 0.4 ในทุกๆการทดสอบกับสถานีแต่ละจังหวัด ส่วนแบนด์ 3 และ 4 มีค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.6 ในทุกๆ การทดสอบ และสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 1 ถึงแบนด์ที่ 4 พบว่าแบนด์1และ แบนด์ 2 มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 3 และ 4 ไม่เกิน 0.42 ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นใช้เฉพาะแบนด์ 3 และ 4 มาสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่า PM_{10}

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน และค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจะใช้การสร้างแบบจำลองโดยวิเคราะห์ว่าช่วงคลื่น (แบนด์) ไหนที่ให้ค่าความสัมพันธ์กับค่า PM_{10} สูงที่สุด และสมการไหนให้ค่าความสัมพันธ์สูงที่สุดโดยการวิเคราะห์ทั้งสองรูปแบบจะใช้ค่าสัมประสิทธ์การตัดสินใจ R^2 มาช่วยพิจารณา พบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า (R^2=0.665) สูงที่สุดรองลงมาคือแบนด์ 3, 2, และ 1 (R^2=0.528, 0.461, และ 0.442) ตามลำดับ แบบจำลองทำนาย PM_{10} ช่วงเวลาเดือนมีนาคมพบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า (R^2 = 0.642) สูงที่สุดรองลงมาคือแบนด์ 3, 2, และ 1 (R^2 = 0.501, 0.411, และ 0.402) ตามลำดับและแบบจำลองทำนาย PM_{10} ช่วงเวลาเดือนเมษายนพบว่าความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า (R^2=0.679) สูงที่สุดรองลงมาคือแบนด์3, 2, และ 1 (R^2=0.567, 0.451, และ 0.426) ตามลำดับ และความสัมพันธ์รองลงมาของแบบจำลองทั้งสามเดือนคือแบบจำลองแบบ Exponential และ Cubic และสมการช่วงเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคมและเมษายนแสดงทั้งหมดดังสมการที่ (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} ของแต่ละเดือนจะเห็นว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือแบนด์ที่ให้ค่า R^2 สูงที่สุดคือแบนด์ 4, 3, 2, และ 1 ตามลำดับ และแบบจำลองให้ค่า R^2 คือแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบพหุแบบจำลองถดถอยแบบ Exponential และ แบบจำลองถดถอยแบบ Cubic (Regression Analysis) แต่การที่จะวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมที่จะนำไปประมาณค่า PM_{10} ในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีการเผาเพื่อเตรียมดินเพื่อทำการเกษตรในช่วงรอเข้าสู่ฤดูฝนจำเป็นจะต้องนำข้อมูลของค่า PM10 ในช่วงที่มีการเผาแปลงเกษตรเข้ามาใช้สร้างแบบจำลองอีกครั้งเพื่อที่จะทำให้แบบจำลองสามารถประมาณค่า PM_{10} ได้ตรงช่วงเวลา ทำให้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดเพียงแบบจำลองเดียวเพื่อเป็นตัวแทนในการประมาณค่าปริมาณPM_{10} จากภาพถ่ายดาวเทียม

การวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ประมาณค่า PM_{10}

แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบพหุจะถูกเสนอเป็นแบบจำลองสำหรับใช้ประมาณค่า PM_{10} โดยใช้ชุดข้อมูลทั้ง 3 เดือน (กุมภาพันธ์-เมษายน 2558) รวมเป็นชุดเดียวทั้งข้อมูล PM_{10} ที่วัดจากการประมาณค่าจากสถานีตรวจวัดและค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม ผลของแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และ แบนด์ 4 ให้ค่า R^2 สุงที่สุดที่ 0.742 รองลงมาคือแบนด์ 2, 3 และ แบนด์ 4 ให้ค่า R^2 สุงที่สุดที่ 0.581 และค่า R^2 และแบบจำลองของแบนด์อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4 ที่ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าแบนด์ 3 และแบนด์ 4 มีความสัมพันธ์กับค่า PM_{10} มากว่าแบนด์อื่นๆ แต่ทั้งนี้การสรุปความแม่นยำจากการดูค่า R^2 อย่างเดียวอาจจะไม่สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับประมาณค่า PM_{10} ในช่วงฤดูการเผาในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากว่าแบบจำลองอื่นๆที่มีการนำแบนด์ 1 และ

แบนด์ 2 เข้ามาใช้สร้างแบบจำลองยังให้ค่า R^2 ที่อยู่ในช่วง 0.3-0.5 ซึ่งก็ใช้ในการประมาณค่า PM_{10} ได้ในระดับหนึ่ง แต่ทั้งนี้ถ้าหากจะใช้ทุกๆ แบนด์เพื่อนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองจะทำให้เกิดความซ้ำซ้อนกันของข้อมูลและไม่ได้ช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับแบบจำลองอีกทั้งยังต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากขึ้นด้วย ดังนั้นทุกๆแบบจำลองจะต้องนำมาหาค่าความแม่นยำอีกครั้งด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) พบว่ามีค่า 10.28, 15.64, 18.21 ของการทดสอบกับค่า PM_{10} ที่วัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เพราะผิดความผิดพลาดไม่เกินค่า 20 $\mu g/m^3$ การวิจัยนี้เลือกใช้วิธีนี้เพราะว่าง่ายต่อการวัดความคาดเคลื่อนของข้อมูลแบบสองจุด โดยในการวิจัยนี้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับประมาณค่า PM_{10} แสดงดังสมการที่ (10) คือ ซึ่งค่า PM_{10} นี้จะถูกนำเข้าไปเป็นตัวแปรตาม 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 และขนาดพื้นที่เกษตรเป็นตัวแปรอิสระ x_3 ผลของการสร้างแบบจำลอง GWRของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาขอนแก่นและเลยแสดงดังสมการที่ (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 เพื่อการนำไปแปลตีความถึงความเสี่ยงเชิงพื้นที่ได้ง่ายขึ้นโดยกำหนดช่วงดังนี้คือค่า PM_{10} (0-90 $\mu g/m^3$) ถูกปรับให้มีค่า 0-0.2 แสดงระดับความเข้มข้นของ PM10 ต่ำมากและแสดงด้วยสีเขียวเข้ม ค่า PM_{10} (90.01-100 $\mu g/m^3$) ถูกปรับให้มีค่า 0.201-0.4 แสดงระดับความเข้มข้นของ PM10 ต่ำและแสดงด้วยสีเขียวอ่อน ค่า PM_{10} (100.01-110 $\mu g/m^3$) ถูกปรับให้มีค่า 0.401-0.6 แสดงระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ปานกลางและแสดงด้วยสีเหลืองค่า PM_{10} (110.01-120 $\mu g/m^3$) ถูกปรับให้มีค่า 0.601-0.8แผนที่ค่าความเข้มข้น PM_{10} จะแสดงดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5คือแผนที่การกระจายตัวของความเข้มข้นเฉลี่ยของค่า PM_{10} ที่สร้างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์แสดงผลเป็นแผนที่ค่าเฉลี่ยทุกๆ 15 วันที่บันทึกในช่วงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2558 ถึงวันที่ 31 เมษายน 2558 ช่วงเดือนต้นเดือนกุมภาพันธ์ค่าความเข้มข้นจะมีค่าสูงมากในพื้นที่รอยต่อของตอนล่างจังหวัดเลยและเขตตอนบนของจังหวัดขอนแก่น ส่วนจังหวัดนครราชสีมาจะอยู่แถบบริเวณทั้งตอนล่างและตอนบนของจังหวัด ช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ค่าความเข้มข้นจะมีค่าสูงมากจะกระจายอยู่ทั่วไปของจังหวัดเลยและจังหวัดขอนแก่น ส่วนจังวัดนครราชสีมาจะมีค่าส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำ การกระจายตัวของอนุภาค PM_{10} แบบจำลองวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดและแพร่มลพิษของแต่ละจังหวัดจะมีค่าสัมประสิทธ์แตกต่างกันเพราะเป็นแบบจำลองที่มีการคำนวณค่าน้ำหนักของตัวแปรอิสระแบบ local operation ผลการแพร่กระจายของ PM_{10} ที่สัมพันธ์กับตัวแปรเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่จังหวัดนครราชสีมามีทั้งขนาดพื้นที่เกษตรและจำนวนแปลงเกษตรแต่ปลูกในพื้นที่ไม่สูงมากนักเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดแหล่งที่มาและการกักขังมลพิษเพราะการที่มีแปลงเกษตรขนาดใหญ่และอยู่ใกล้เคียงกันจะทำให้แหล่งมลพิษเป็นแหล่งกำเนิดแบบ (Area source) ทำให้มีการแพร่ที่ต่อเนื่องและกระจายไปได้ไกล ส่วนพื้นที่จังหวัดขอนแก่นพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ที่มีการเผาจะเป็นที่นาเนื่องจากว่าเป็นพื้นที่ราบและการเกษตรส่วนใหญ่จะเป็นการทำนาและอ้อยเป็นหลักในตอนบนของจังหวัดพื้นที่ๆมีค่า PM_{10} เกินค่ามาตรฐานที่ 120 $\mu g/m^3$ ส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่การเกษตร นอกจากนี้ยังมีลักษณะของภูมิประเทศเป็นแอ่งภูเขาล้อมรอบโดยเฉพาะจังหวัดเลย ทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาแพร่กระจายออกไปได้ช้า แนวทางในการลดฝุ่นยังต้องใช้การชะล้างของน้ำฝนถึงจะช่วยลดความเข้มข้นได้

การทดสอบความแม่นยำของค่า PM_{10} เชิงเวลา

การนำแบบจำลองไปใช้งานจะต้องทำการทดสอบว่าสามารถนำไปคาดการณ์ฝุ่น PM_{10} ได้ดีในระดับที่พอยอมรับได้ ในการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ทำการนำแบบจำลองสมการที่ (10) มาใช้เป็นต้นและใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD09 แบนด์ 3 และ 4 ของช่วงเวลาคือเดือน มกราคม, พฤษภาคม และมิถุนายน ปี

2558 มาเป็นตัวอย่างการทดสอบกับค่า PM_{10} ที่วัดได้จริงจากสถานีวัดของ 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 ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับและค่าRMSE ของเดือน เมษายนมีค่า (24.14, 22.62, 21.58) ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าการทดสอบที่มีค่า RMSE น้อยๆ แสดงถึงแบบจำลองสามารถทำนายค่า PM 10 ได้ดีเช่นในช่วงเดือนมกราคมเนื่องจากว่าเริ่มมีการเผาแปลงเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพดและแปลงนาข้าว เพื่อเตรียมพื้นที่ทำให้เกิดมีฝุ่นที่เกิดจากการเผาเยอะกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ทำให้การค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) สามารถสะท้อนค่าอนุภาคฝุ่นได้สูงกว่าช่วงเดือนอื่นๆ เพราะว่าความเข้มข้นฝุ่นสูง ส่วนเดือนเมษายนและพฤษภาคมจะมีค่า RMSE ที่สูงขึ้นกล่าวคือต้นเหตุของการเกิดอนุภาคฝุ่นมีน้อยลงเพราะมีการปลูกพืชเกษตร และอาจจะมีพายุฤดูร้อนทำให้เกิดฝนตกลงมาช่วยดูดซึมอนุภาคฝุ่น ทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นเบาบางลงไป

Table 1 Prediction Model for PM_{10} on March

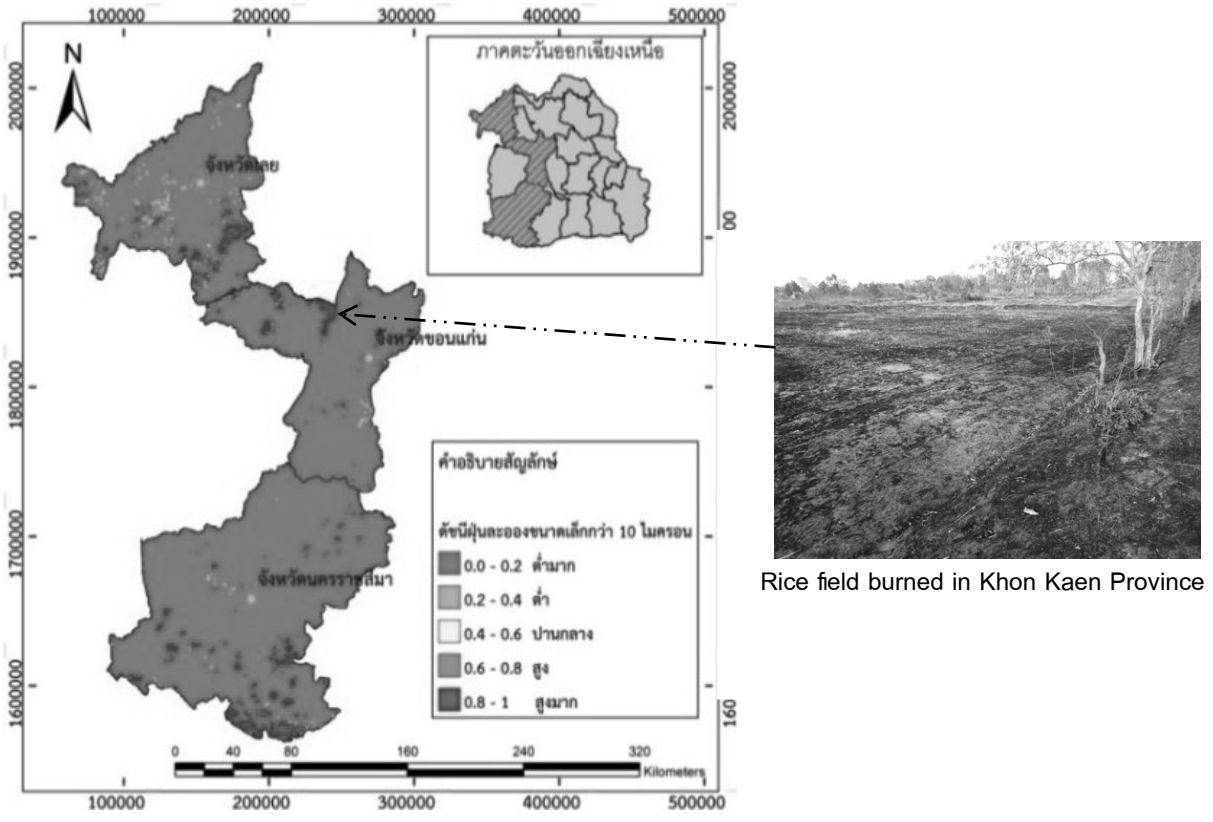
wavelength	regression equation	R^2	equation
b_1	linear	0.402	$PM_{10}=0.718+1295.588(b_1)$
	cubic	0.248	$PM_{10}= 101.012-9151.956(b1)^2+119667.027(b_1)^3$
	exponential	0.314	$PM_{10}= 46.201(e)^{9.444(b1)}$
b_2	linear	0.411	$PM_{10}= -221.094+1615.293(b_2)$
	cubic	0.226	$PM_{10}= -372.471+2668.632(b_2)^2-7247.77(b2)^3$
	exponential	0.402	$PM_{10}= 8.011(e)^{12.431(b2)}$
b_3	linear	0.501	$PM_{10}=-4.2+2628.903(b_3)$
	cubic	0.426	$PM_{10}= 89.724-20383.783(b_3)^2+690714.352(b_3)^3$
	exponential	0.258	$PM_{10}= 44.457(e)^{19.222(b3)}$
b_4	linear	0.642	$PM_{10}= -49.027+2150.975(b_4)$
	cubic	0.416	$PM_{10}= 132.587-1461.105(b_4)^2+202200.892(b_4)^3$
	exponential	0.571	$PM_{10}= 31.457(e)^{15.97(b4)}$

Table 2 Prediction Model for PM_{10} on April

wavelength	regression equation	R^2	equation
b_1	linear	0.426	$PM_{10}=127.564+255.612(b_1)$
	cubic	0.236	$PM_{10}=-2892.6+56226.975(b_1)^2-2796000(b_1)^3$
	exponential	0.328	$PM_{10}= 150.984(e)^{-0.605(b1)}$
b_2	linear	0.451	$PM_{10}= 65.317+420.86(b_2)$
	cubic	0.279	$PM_{10}= -2857.939+22655.95(b_2)^2-188370.039(b_2)^3$
	exponential	0.402	$PM_{10}= 76.019(e)^{3.211(b2)}$
b_3	linear	0.567	$PM_{10}= 121.329+644.439(b_3)$
	cubic	0.428	$PM_{10}= -2922.224+110393.619(b_3)^2-20760000(b_3)^3$
	exponential	0.242	$PM_{10}= 145.998(e)-^{0.387(b3)}$
b_4	linear	0.679	$PM_{10}= 111.905+494.669(b_4)$
	cubic	0.428	$PM_{10}= -2538.997+73708.125(b_4)^2-502920.809(b_4)^3$
	exponential	0.621	$PM_{10}= 139.36(e)^{0.404(b4)}$

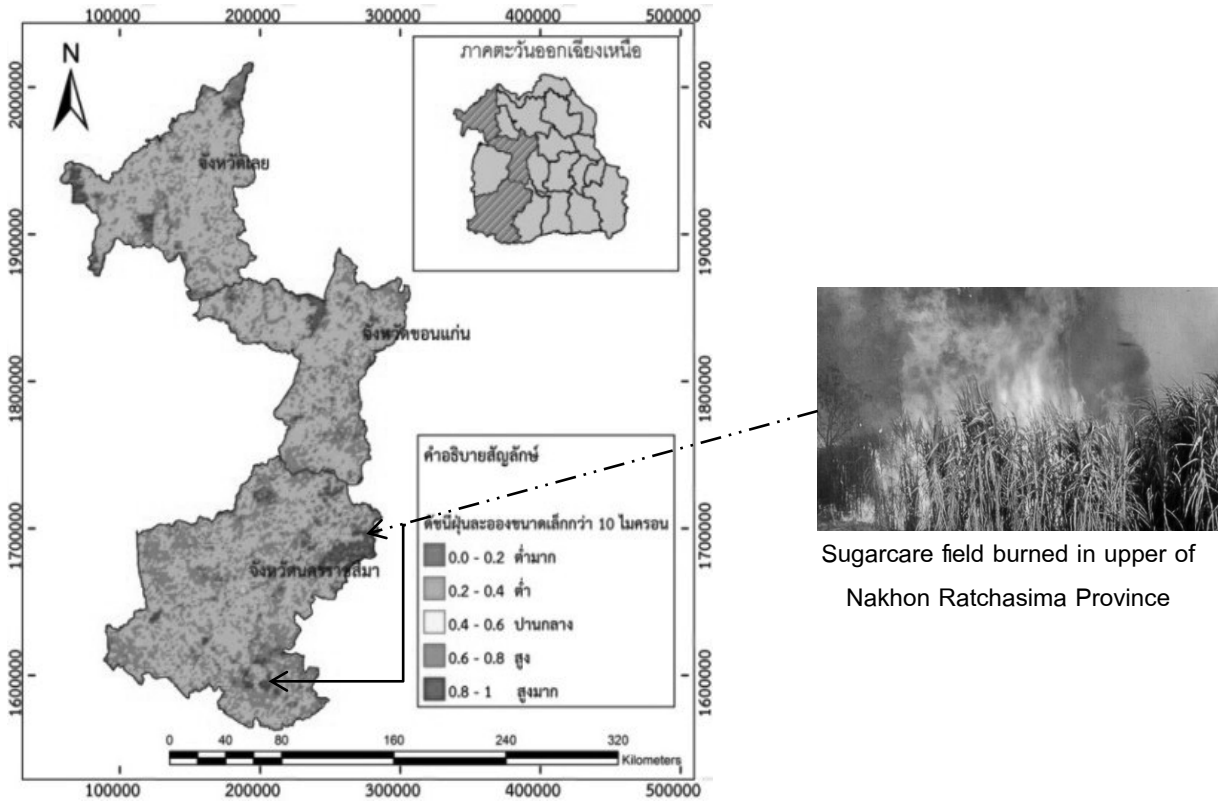
Table 3 PM_{10} Prediction Model using reflectance data derive from AQMS 3 station (February-April 2015)

wavelength	R^2	equation
1,2	0.321	$PM_{10} = 236.264(b_1)+418.029(b_2)+46.339$
1,3	0.426	$PM_{10} = -201682.919(b_1)+396895.204(b_3)-31.346$
1,4	0.512	$PM_{10} = -230.731(b_1)+739.141(b_4)+112.801$
2,3	0.432	$PM_{10} = 417.447(b_2)+609.575(b_3)+40.1$
2,4	0.512	$PM_{10} = 396.572(b_2)+282.872(b_4)+49.087$
3,4	0.742	$PM_{10} = 26.961(b_3)+480.212(b4)85.836$
1,2,3	0.355	$PM_{10} = -208256.453(b_1)+621.801(b_2)+409758.435(b_3)-157.315$
1,2,4	0.495	$PM_{10} = 184.216(b_1)+411.824(b_2)+79.54(b_4)+45.956$
1,3,4	0.425	$PM_{10} = -259562.455(b_1)+503502.206(b_3)+5529.567(b_4)-184.475$
2,3,4	0.581	$PM_{10} = 433.401(b_2)+868.909(b_3)-202.72(b_4)+41.003$



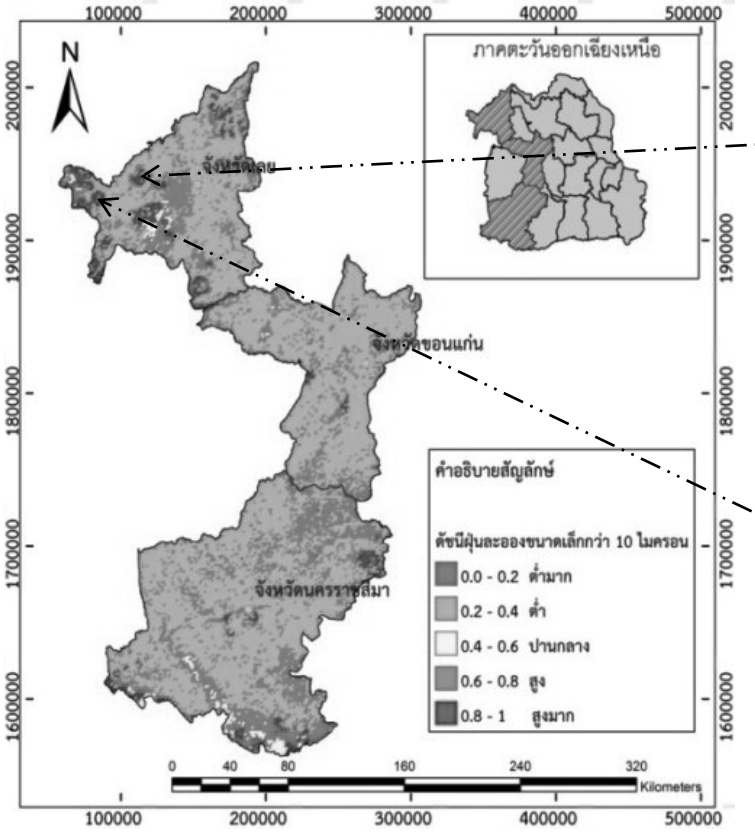
Rice field burned in Khon Kaen Province

Figure 3 PM_{10} dispersion map on February



Sugarcare field burned in upper of Nakhon Ratchasima Province

Figure 4 PM_{10} dispersion map on March



Sugarcare field burned in Loei Province

Miscellaneous area along both side of highway burned in Loei Province

Figure 5 PM_{10} dispersion map on April

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้ ได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา อันได้แก่ การสามารถใช้ภาพถ่ายดาวเทียมตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และการปรับเทียบหาแบบจำลองที่มีความเหมาะสมต่อการตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง และจัดทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้ โดยการใช้ค่าสะท้อนพื้นผิว ชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 ของดาวเทียม Terra/Aqua – MODIS คำนวณด้วยสมการถดถอย ซึ่งข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับบรรยากาศ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่แสดงข้อมูลละอองลอยในอากาศ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ ละอองลอยเหล่านั้นมีตั้งแต่ขนาดละเอียด (มลพิษในอากาศ) ไปจนถึงขนาดหยาบ ครอบคลุมพื้นที่ได้ในบริเวณกว้าง และดาวเทียมโคจรผ่านประเทศไทยในทุกๆ วันนอกการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์มาใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งต่อการเกิดและกักขังมลพิษแบบ PM_{10} แบบจำลองสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธ์ตัวแปรอิสระที่แตกต่างกันในเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าแบบจำลองแบบอื่นที่เคยมีมาเนื่องว่าเป็นแบบจำลองแบบ (Local operation) ทำให้สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธ์ให้มีความยืดหยุ่นกว่าแบบจำลอง (Global operation) เนื่องจากว่ามีการเลือกเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วนำมาสร้างแบบจำลองทำให้แบบจำลอง GWR มีความเหมาะสม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระในพื้นที่ๆ มีความแตกต่างกันที่แปรผันตามระยะทางได้ดีกว่าแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นทั่วๆไป แต่สำหรับในการวิจัยครั้งต่อไปเนื่องจากว่าบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีข้อมูลพื้นดินจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศข้อมูลน้อยและไม่กระจายตัวทั้งพื้นที่ศึกษาเมื่อเทียบกับข้อมูลของการศึกษาที่ภูมิภาคอื่นๆดังนั้นการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมระบบเซนเซอร์ MODIS ในการประเมินความเข้มข้นของปริมาณ PM_{10} ในการวิจัยนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการหาความสัมพันธ์เพื่อประเมินความเข้มข้นของปริมาณ PM_{10} จากข้อมูลดาวเทียมกับข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่

1) การเก็บข้อมูลของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจะมีการรายงานผลแบบรายชั่วโมง แต่ในขณะที่ดาวเทียมทำการถ่ายภาพ อาจมีปัจจัยอื่นๆ เกิดขึ้น เช่น ลม ทำให้ค่าการสะท้อนที่ได้จากดาวเทียม และค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อย ดังนั้นค่าที่ได้ จึงไม่ใช่ค่าที่มีความถูกต้องที่สุด

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

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์และสามารถเอาผลการวิจัยไปต่อยอดในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ๆ เกี่ยวข้องการกับทำแผนที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะวิทยาการสารสนเทศ ประจำปีงบประมาณ 2558 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ.สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรุงเทพฯ. 2546.
2. จิระปรังเขียวและคณะ. “การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่ไฟป่ากับการเกิดมลภาวะทางอากาศในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.soc.cmu.ac.th/wites/socre-search/51-3.pdf. (20 กันยายน 2553). 2552.
3. วิวาราชพรแก้ว. ไฟป่าแบบใกล้เวลาจริงสำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วยภาพถ่าย MODISสถานีรับภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ 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 (PM10) 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. 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.