

การคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยแบบจำลองถดถอย เชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ พื้นที่จังหวัดน่าน

พงศพัศ เกษพรหม¹ และ พลภัทร เหมวรรณ^{2*}

วันที่รับ 19 ธันวาคม 2562 วันที่แก้ไข 10 มกราคม 2563 วันที่ตอบรับ 11 มกราคม 2563

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาการคาดการณ์การเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ โดยเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ระหว่างข้อมูลค่าความเข้มข้น (Concentrations) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561 ร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็ก ได้แก่ จุดความร้อนสะสมที่ได้จากดาวเทียม Suomi NPP ระบบ VIIRS ของ NASA และความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินเช่นกัน การศึกษาจึงได้กำหนดปัจจัยจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ไปสู่การวิเคราะห์คาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยการพัฒนาแบบจำลองเชิงคาดการณ์ (Predictive Model) ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์จากแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น พบว่า แบบจำลองมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) อยู่ที่ 0.893832 ซึ่งถือว่าแบบจำลองมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่ดีมากต่อการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่ศึกษา สำหรับการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง (Model Validation) นั้น การศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลคาดการณ์จากแบบจำลองกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ ณ สถานี 36t อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ความแม่นยำของแบบจำลองมีค่าเท่ากับร้อยละ 89.23 ซึ่งถือว่าแบบจำลองมีความแม่นยำของการคาดการณ์อยู่ในระดับสูงเช่นกัน

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน, แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์, จังหวัดน่าน

¹ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

² ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคเหนือ) คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* ผู้แต่ง, อีเมล: phonpat.h@cmu.ac.th

The Prediction of Particulate Matters 2.5 Micron (PM_{2.5}) Concentration using Geographic Weighted Regression Modeling in Nan Province

Phongsapat Katporm¹ and Phonpat Hemwan^{2*}

Abstract

This study has the main objective to study prediction of Particulate Matters 2.5 micron (PM_{2.5}) with Geographic Weighted Regression Modeling: GWR in Nan Province. The study had analyzed the relationship of concentration of PM_{2.5} from ground-based station in March 2018 together with influencing factors that were hotspot from VIIRS of NASA Suomi NPP satellite and humidity from the same such station. The study had determined these factors using predictive analysis with mathematic equation from Geographic Weighted Regression. Result model had a coefficient of decision (R^2) of 0.893832, meaning that the model has very good relationship for prediction of PM_{2.5} concentrations in the study area. In model validation of this model, it was the comparison of predictive PM_{2.5} concentration data from the model and PM_{2.5} concentration data from ground-based station of the Pollution Control Department at 36t Station, Muang District, Chiang Mai Province. The result of evaluation was 89.23 percent, which is considered to be a high prediction accuracy.

Keywords : Particulate Matters 2.5 micron, Geographic Weighted Regression Modeling, Nan Province

¹ Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University.

² Geo-informatics and Space Technology Center (Northern Region), Faculty of Social Sciences, Chiang Mai University.

* Corresponding author, E-mail: phonpat.h@cmu.ac.th

1. บทนำ

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate Matters 2.5 micron) โดยหลังจากนี้จะเรียกว่า “ฝุ่นละออง PM_{2.5}” เป็นมลพิษทางอากาศที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 1 ใน 25 ส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์เรา มีขนาดเล็กมาก เมื่อหายใจเข้าไปจึงทำให้เล็ดลอดเข้าสู่ร่างกายแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ และลงสู่ปอดผ่านเข้าสู่กระแสเลือดและกระจายไปสู่อวัยวะต่าง ๆ เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเรื้อรังทางเดินหายใจหรือมะเร็งได้ PM_{2.5} ตามคำจำกัดความของ US.EPA หมายถึง ฝุ่นละออย (Final Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละออยที่มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซ SO₂ และสาร VOC NO_x และสาร VOC จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละออยได้ [1] โดยแหล่งกำเนิดของฝุ่น PM_{2.5} นั้นสามารถแบ่งการเกิดได้โดยตรงและเกิดจากการรวมตัวของก๊าซและมลพิษอื่นในบรรยากาศ โดยเฉพาะซัลเฟอร์ไดออกไซด์และออกไซด์ของไนโตรเจน เป็นมลพิษที่อยู่ในอากาศได้นาน จึงทำให้สามารถลอยข้ามพรมแดนไปยังประเทศหรือพื้นที่อื่น ๆ ที่อยู่ไกลได้ด้วยองค์ประกอบทางสารพิษ ทำให้องค์การอนามัยโลกกำหนดให้ฝุ่นละออง PM_{2.5} ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ของสารก่อมะเร็งปี พ.ศ. 2556 [2] โดยปัญหาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่ภาคเหนือของไทยนั้นมีสาเหตุหลักมาจากการเผาในที่โล่ง ซึ่งถือเป็นแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} มากที่สุด ตามด้วยอุตสาหกรรม

การผลิต และการขนส่ง โดยภาคการผลิตไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในอันดับที่ 4 จังหวัดในภาคเหนือจะมีฝุ่นละออง PM_{2.5} มากในช่วงฤดูร้อนหรือช่วงฤดูแล้ง เนื่องจากการเผาวัชพืชและวัสดุทางการเกษตรมากทั้งในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน ทำให้พื้นที่ภาคเหนือได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว โดยจังหวัดน่านถือเป็นหนึ่งจังหวัดในภาคเหนือที่ประสบปัญหาฝุ่นละออง PM_{2.5} ซึ่งในปี 2561 ที่ผ่านมานี้จังหวัดน่านมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} เกินมาตรฐาน 12 ครั้ง และในช่วงฤดูแล้งปี 2561 ที่ผ่านมา จังหวัดน่านตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กได้สูงต่อเนื่อง 2 วัน โดยวัดได้ 138 และ 151 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ซึ่งสูงเป็นอันดับ 1 ของพื้นที่ภาคเหนือ เนื่องจากกระแสลมได้พัดพาฝุ่นละอองเข้ามาจำนวนมากประกอบกับเทศบาลเมืองน่านมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงเกาะกลุ่มลอยฟุ้งกลางอากาศ [3] จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ผู้ท้าววิจัยมีความสนใจในการศึกษาหาความสัมพันธ์ของปัจจัยเชิงพื้นที่ที่ส่งผลให้ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} มีค่าเกินค่ามาตรฐานเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์ในการคาดการณ์การเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยการพัฒนาแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นแบบถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์คาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์

3. ขอบเขตการศึกษา

3.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

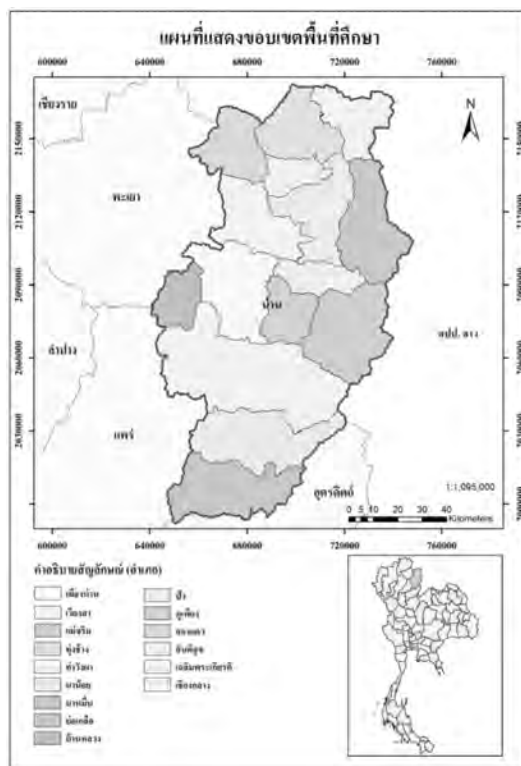
จังหวัดน่านเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันออกที่สุดของภาคเหนือ ซึ่งมีอาณาเขตติดกับสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว และตั้งอยู่พิภคเส้นรุ้งที่ 18 องศา 46 ลิปดา 30 พิลิปดาเหนือ เส้นแวงที่ 102 องศา 46 ลิปดา 44 พิลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ 11,472.076 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 7,170,045 ไร่ มีทั้งหมด 15 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองน่าน อำเภอเวียงสา อำเภอแม่จริม อำเภอทุ่งช้าง อำเภอท่าวังผา อำเภอนาน้อย อำเภอนาหมื่น อำเภอบ่อเกลือ อำเภอบ้านหลวง อำเภอปัว อำเภอภูเพียง อำเภอสองแคว อำเภอสันติสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ และอำเภอเชียงกลาง (ดังรูปที่ 1)

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิเคราะห์เชิงพื้นที่และคาดการณ์การเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยการใช้แบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ได้จำแนกขอบเขตของการศึกษาได้เป็น 2 ประเด็นหลัก (ดังรูปที่ 2) ได้แก่

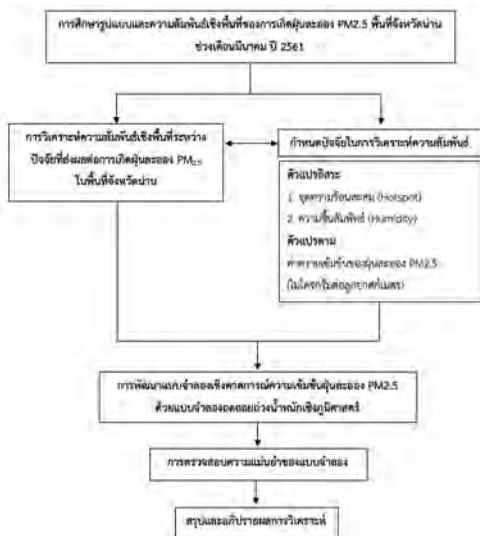
1) การศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในจังหวัดน่าน โดยเป็นการศึกษาถึงปัจจัยทางกายภาพที่เป็นแหล่งกำเนิด (Sources) ของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ [4] โดยการใช้เทคนิควิธีการทางด้านสถิติเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อมูลเชิงปัจจัยมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใดเพื่อจะนำไปสู่การกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการ

เกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ศึกษาได้ [5] ทั้งนี้ การศึกษานี้ได้เลือกปัจจัยจากข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินเป็นหลักเพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลเกิดความสอดคล้องกัน



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา: จังหวัดน่าน

2) การคาดการณ์การเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ โดยเป็นการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลค่าฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน [6] ช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561 ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables) วิเคราะห์ร่วมกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) โดยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นนี้มีข้อมูลมาตรฐาน ดังนี้ 1) ตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง 2) ค่าคลาดเคลื่อน (e) เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็นอิสระกันมีการแจกแจงปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนคงที่เท่ากับในทุกระดับของตัวแปรอิสระ และ 3) ตัวแปรอิสระในแบบจำลองการถดถอยต้องไม่มีความสัมพันธ์กัน [7]

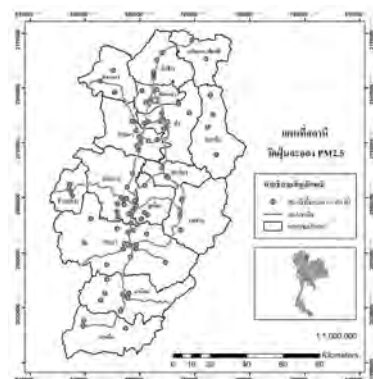


รูปที่ 2 กรอบแนวคิดของการศึกษา

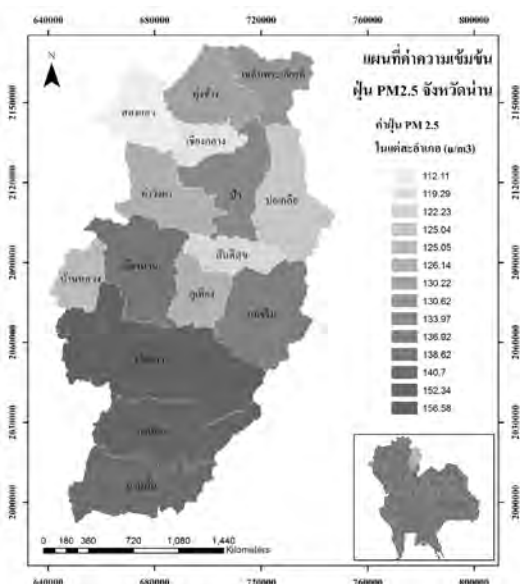
4. ผลการศึกษา

4.1 ความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

1) ความเข้มข้นเชิงพื้นที่ของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เป็นข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่ได้จากระบบการตรวจวัดของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน [6] (ดังรูปที่ 3) ซึ่งมีทั้งหมด 95 สถานี ทั่วทั้งจังหวัดน่าน โดยจะทำการจัดเก็บและรายงานแบบอัตโนมัติและทำการแสดงผลเป็นค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ยในรายชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการปรับข้อมูลในรายชั่วโมงดังกล่าวให้เป็นข้อมูลเฉลี่ยในรายเดือนและทำการปรับให้เป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักต่อพื้นที่ในรายอำเภอเพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ต่อการกระจายตัวทางพื้นที่ของความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในระดับอำเภอของจังหวัดน่าน จากข้อมูลในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นเฉลี่ยในรายเดือนช่วงเดือนมีนาคมของปี 2561 ซึ่งในช่วงเวลานี้ทุกปีจะเป็นช่วงเวลาที่ยังมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานในเกือบทุกอำเภอของจังหวัดน่าน ทั้งนี้ประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ไว้ที่ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เฉลี่ยต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง [8]



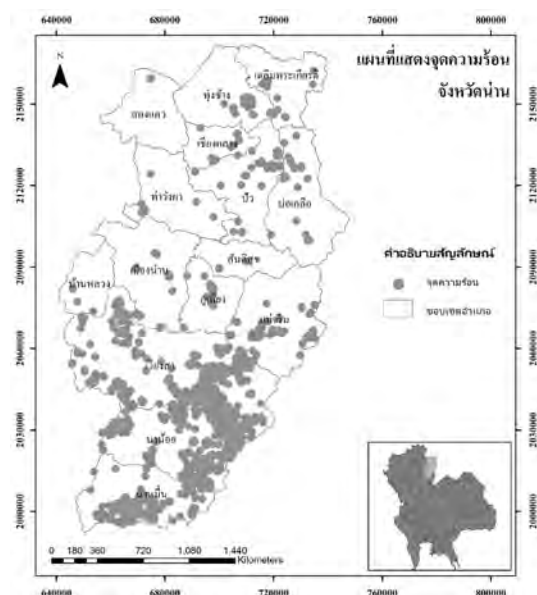
รูปที่ 3 แผนที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินของศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 แผนที่ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561

2) จุดความร้อนสะสม เป็นบริเวณที่เกิดการเผาไหม้ในที่โล่ง ทั้งเกิดจากการเผาเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่เกษตรกรรม และเกิดจากการเผาไหม้ในพื้นที่เขตป่าไม้หรือไฟฟ้า ซึ่งการเผาไหม้ในที่โล่งดังกล่าวถือเป็นแหล่งกำเนิดหลักต่อการทำให้เกิดภาวะฝุ่นควันมีความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศของพื้นที่ศึกษา โดยข้อมูลจุดความร้อนนี้ได้มาจากการตรวจวัดจากข้อมูลดาวเทียม Suomi-NPP ระบบ VIIRS ขององค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกาหรือ NASA โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 375 เมตร [9] (ดังรูปที่ 5) ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคม 2561 การวิเคราะห์ในปีจี้จุดความร้อนสะสมนี้ได้ทำการประเมินจุดความร้อนสะสมในรายเดือนโดยคิดเป็นอัตราส่วนของจุดความร้อนสะสมกับขนาดของพื้นที่ในระดับอำเภอในการเกิดจุดความร้อนเพื่อให้ข้อมูลมีความเหมาะสมต่อการวิเคราะห์ต่อการกระจาย

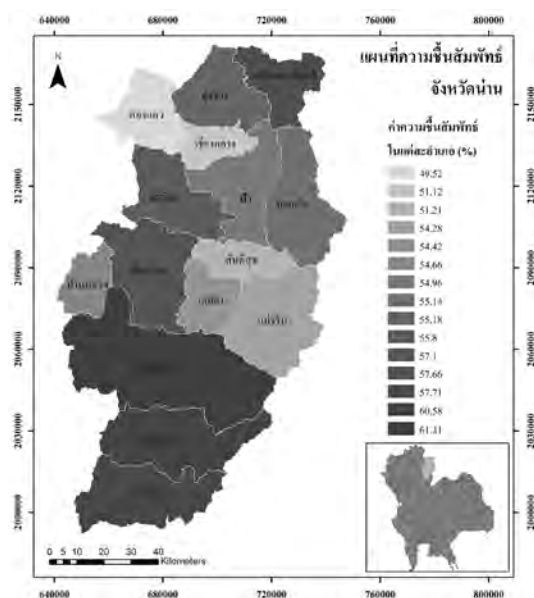
ตัวทางพื้นที่ของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับอำเภอของจังหวัดน่านเช่นกัน โดยจะเห็นได้ว่าบริเวณอำเภอทางตอนใต้ของจังหวัดน่านมีจำนวนของจุดความร้อนสะสมเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากในช่วงเดือนมีนาคม



รูปที่ 5 แผนที่ตำแหน่งของจุดความร้อนสะสมในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561

3) ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นจำนวนไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ โดยที่ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาและจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิในขณะนั้นด้วยเช่นกัน โดยทั่วไปบริเวณที่มีความชื้นสูงจะทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่างควันกับหมอกเกิดเป็นหมอกควัน เกิดการเกาะกลุ่มและรวมตัวกันมากขึ้นทำให้บริเวณพื้นที่มีค่าฝุ่นละอองเพิ่มขึ้น โดยข้อมูลค่าความชื้นสัมพัทธ์นี้ได้จากระบบการตรวจวัดของสถานีภาคพื้นดิน [5] เช่นเดียวกับกับข้อมูลความเข้มข้นของ

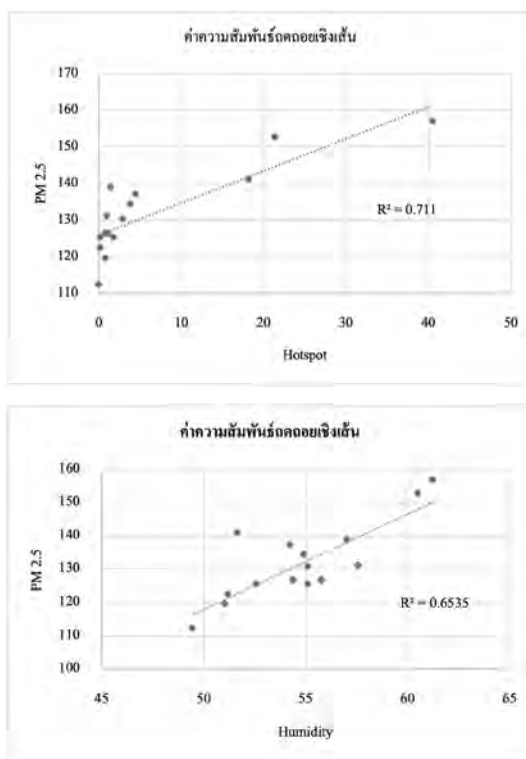
ฝุ่นละออง PM_{2.5} ซึ่งระบบสถานีตรวจวัดได้ทำการจัดเก็บ และรายงานเป็นค่าในรายชั่วโมง ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลในการแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน และเป็นอัตราส่วนต่อพื้นที่เช่นกัน เพื่อให้สอดคล้องกับ การวิเคราะห์ของข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองและ ข้อมูลจุดความร้อนสะสม ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนที่ความขึ้นสัมพันธ์เฉลี่ยรายเดือน ในช่วงเดือนมีนาคม ปี 2561

จากปัจจัยดังกล่าวข้างต้น จึงนำไปสู่การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยการใช้วิธีการเชิงคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ จากค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นของปัจจัยจุดความร้อนและ ความชื้นวิเคราะห์ร่วมกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเดือน มีนาคม 2561 รายอำเภอ โดยพบว่า ความสัมพันธ์ของ ปัจจัยจุดความร้อนกับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} โดย มีความสัมพันธ์แสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

(R²) เท่ากับ 0.871 และความสัมพันธ์ของปัจจัยความชื้น กับความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5} โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R²) เท่ากับ 0.6535 (ดังรูปที่ 7) จากความ สัมพันธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่า ปัจจัยจุดความร้อน และความชื้นสัมพันธ์ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของปัจจัยสัดส่วนของจุดความร้อน และความชื้นสัมพันธ์ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5}

4.2 การคาดการณ์ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{2.5}

การวิเคราะห์เป็นการดำเนินงานด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์โดยการพัฒนาอัลกอริทึมจากแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบกำลังสองน้อยที่สุด โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษา โดยทำการปรับค่าของข้อมูลของปัจจัยให้อยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงภูมิศาสตร์หรือเชิงพื้นที่ และวิเคราะห์ร่วมกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน จากการศึกษาได้สมการของแบบจำลองเชิงคาดการณ์ ดังนี้

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \varepsilon_i$$

โดยที่

β_0 = Intercept's Regression Coefficient

β_1 = Hotspot's Regression Coefficient

β_2 = Humidity's Regression Coefficient

X_1 = Hotspot Factor

X_2 = Humidity Factor

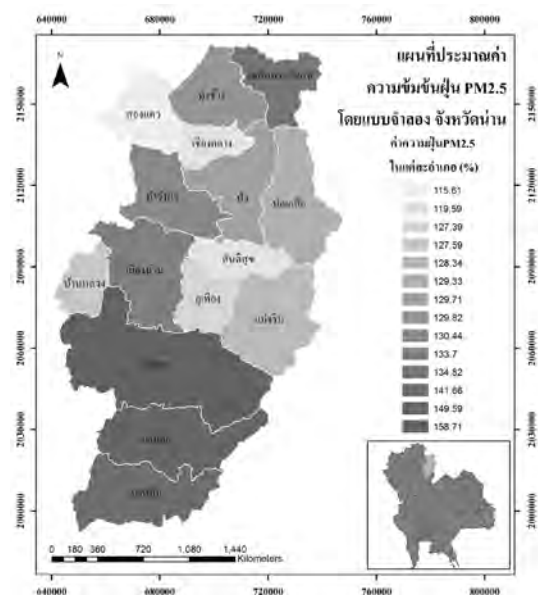
โดยจากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} จึงสามารถสร้างสมการของแบบจำลองเชิงคาดการณ์ของปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} ดังนี้

$$Y = 0.71994 + 0.3899(\text{Hotspot}) + 2.3189(\text{Humidity})$$

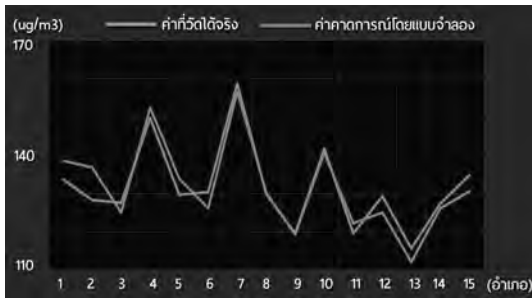
ผลจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองเชิงคาดการณ์ดังกล่าวมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Squared (R^2) เท่ากับ 0.893832 หรือคิดเป็นร้อยละ 89 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ในระดับค่อนข้างสูง โดยผลที่ได้จากการคาดการณ์แสดงได้ในตารางที่ 1 รูปที่ 8 และรูปที่ 9

ตารางที่ 1 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} รายอำเภอที่คาดการณ์ได้จากแบบจำลอง

ลำดับ	อำเภอ	Estimated	Residual	Std
1	เมืองน่าน	133.70	4.914942865	1.172078271
2	แม่งาม	128.34	8.572670633	2.044345428
3	บ้านหลวง	127.59	-2.540764009	-0.605902117
4	นาหมื่น	149.59	2.743086716	0.654150501
5	ปัว	129.71	4.256399165	1.015033768
6	หัวฝาง	130.44	-4.308752393	-1.027518568
7	เชียงลา	158.71	-2.138013776	-0.509857298
8	ทุ่งช้าง	129.82	0.393982442	0.093953943
9	เชียงกลาง	119.59	-0.306396894	-0.073067206
10	นาหมื่น	141.66	-0.966632264	-0.230515126
11	สันติสุข	119.59	2.639369852	0.62941689
12	บ่อเกลือ	129.33	-4.299425022	-1.025294247
13	สองแคว	115.61	-3.503233298	-0.835424488
14	ภูเพียง	127.39	-1.256875281	-0.299730078
15	เฉลิมพระเกียรติ	134.82	-4.200358737	-1.001669672



รูปที่ 8 แผนที่ความเข้มข้นเชิงพื้นที่ของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ได้จากการคาดการณ์จากแบบจำลองเชิงคาดการณ์



รูปที่ 9 กราฟแสดงความแตกต่างของค่าฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้จริงจากสถานีภาคพื้นดินและจากแบบจำลองเชิงคาดการณ์

4.3 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

เป็นการประเมินความแม่นยำของแบบจำลองในการคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ได้จากแบบจำลองถดถอยถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์แบบกำลังสองน้อยสุด โดยเป็นการหาความสัมพันธ์จากค่าของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ตรวจวัดได้จากสถานีภาคพื้นดินร่วมกับปัจจัยด้านจุดความร้อนสะสมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้ทำการแปลงค่าข้อมูลในความสัมพันธ์เชิงภูมิศาสตร์หรือเชิงพื้นที่ในระดับอำเภอของจังหวัดน่าน

โดยกระบวนการประเมินความแม่นยำได้ใช้ข้อมูลค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ของอำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 19 มีนาคม 2561 จากข้อมูลของสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน 36t ของกรมควบคุมมลพิษ [8] โดยในวันดังกล่าวมีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 75.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในวันและเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบความแม่นยำดังกล่าวได้มีค่าของจุดความร้อนสะสมที่เป็นสัดส่วนต่อพื้นที่อยู่ที่ 0.077 และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ร้อยละ 38.11 เมื่อนำข้อมูลเชิงปัจจัยดังกล่าวมาคำนวณด้วยสมการที่ได้พัฒนาขึ้นจากข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ดังนี้

$$Y = 0.7199 + 0.3899(0.077) + 2.3188(38.11)$$

แบบจำลองดังกล่าวสามารถทำการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ของอำเภอเมืองฯ จังหวัดเชียงใหม่ ได้เท่ากับ 89.12 โดยที่พื้นที่ดังกล่าวมีค่าของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่ทำการตรวจวัดได้จริงจากสถานีภาคพื้นดินเท่ากับ 75.23 ทำให้สามารถคำนวณความแม่นยำของการคาดการณ์ได้อยู่ที่ร้อยละ 81.54 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความแม่นยำของการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ต่อการคาดการณ์ในพื้นที่อื่นได้ ทั้งนี้ ควรเป็นพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศหรือสภาพทางกายภาพและมีเงื่อนไขของสาเหตุการเกิดฝุ่นละอองเช่นเดียวกันกับพื้นที่ศึกษา

5. สรุปผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบถ่วงน้ำหนักเชิงภูมิศาสตร์ โดยได้กำหนดปัจจัยทางกายภาพ คือ ปัจจัยจุดความร้อนสะสม (Hotspot) และความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) ของเดือนมีนาคมปี 2561 โดยจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเป็นปัจจัยส่งผลต่อการเกิดฝุ่นละออง PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษาที่ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยได้สมการความสัมพันธ์เพื่อคาดการณ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือค่า R-Squared เท่ากับ 0.893832 หรือคิดเป็นร้อยละ 89 ซึ่งถือได้ว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือในการคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับค่อนข้างสูง และมีความแม่นยำของการคาดการณ์อยู่ที่ร้อยละ 81.54 ซึ่งถือได้ว่ามีความแม่นยำของการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งเพียงพอที่จะสามารถนำไปคาดการณ์เพื่อหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองในพื้นที่อื่นๆ ได้แต่ทั้งนี้ควรเป็นพื้นที่ที่มีสภาพทางกายภาพและมีเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดมาจากการเผาไหม้ในที่โล่งเป็นหลักเช่นเดียวกับพื้นที่ศึกษา

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินในพื้นที่ศึกษา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] U.S. Environmental Protection Agency. (2014). Ari Quality Index. Retrieved July 7, 2017, from https://www3.epa.gov/airnow/aqi_brochure_02_14.pdf

[2] กรีนพีซ. 2560. มลพิษฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนของเมืองในประเทศไทยช่วงเดือนมกราคม- มิถุนายน พ.ศ. 2560. เข้าถึงที่ http://www.greenpeace.or.th/s/right-to-clean-air/PM2.5-in-Thailand_Jan-Jun2017.pdf

[3] กรมควบคุมมลพิษ. 2560. รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย ปี 2560. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 15-19.

[4] จิระ ประังเขียว และคณะ. 2551. การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่ไฟป่ากับการเกิดมลภาวะทางอากาศ ในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน (รายงานการวิจัย). เชียงใหม่: ศูนย์เทคโนโลยีอากาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคเหนือ) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[5] Wang, C. and et al. (2013). Air Quality Evaluation on An Urban Scale Based on MODIS Satellite Images. Atmospheric Research. 2013 (132-133), pp. 22-23.

[6] ศูนย์เครือข่ายการจัดการคุณภาพอากาศของประเทศไทย. 2561. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[7] อริศรา เจริญปัญญาเนตร พลภัทร เหมวรรณ และมาลัยรัตน์ สว่างรัตน์กุล 2560. การตรวจหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ด้วยข้อมูลดาวเทียม TERRA/AQUA ระบบ MODIS พื้นที่ภาคเหนือตอนบน. (รายงานการวิจัย). เชียงใหม่: ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคเหนือ) คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[8] กรมควบคุมมลพิษ. 2561. ข้อมูลคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ: เข้าถึงได้ที่ http://aqmthai.com/aqi_info.php

[9] EARTHDATA. 2018. Active Fire Data. NASA: Accessed at <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms/active-fire-data>.