

# การประเมินความสัมพันธ์ปริมาณฝุ่นละออง (PM<sub>10</sub>) ที่ได้จากการติดตามตรวจสอบภาคพื้นดิน และข้อมูลดาวเทียม MODIS ในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

---

จุฬาลักษณ์ สมวันดี  
Chulalak Somwande  
มัลลิกา สุกิจปานิจ  
Manlika Sukitpaneenit  
ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทคัดย่อ

ภาคเหนือของประเทศไทยมักประสบปัญหาค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) เกินค่ามาตรฐาน ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพประชาชน สาเหตุหลักมาจากการเผาในที่โล่ง และไฟฟ้า ประกอบกับสภาพอุตุนิยมวิทยาและภูมิประเทศที่เอื้อต่อการสะสมปริมาณ PM<sub>10</sub> การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>10</sub> กับค่าความหนาแข็งแสงของอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ (AOT) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของข้อมูล PM<sub>10</sub> จาก 9 สถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ และข้อมูล AOT จากดาวเทียม Terra ระบบเซ็นเซอร์ MODIS ระหว่างช่วงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2554 ถึง เมษายน ปี พ.ศ. 2559 ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น PM<sub>10</sub> กับค่า AOT ในบรรยากาศสอดคล้องกัน โดยจังหวัดแม่ฮ่องสอนมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์รายปีมากที่สุด (R=0.75) และจากการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร (Multivariate Analysis) ระหว่างปริมาณ PM<sub>10</sub> AOT และตัวแปรต่างๆ ทางด้านอุตุนิยมวิทยา ด้วยเทคนิคการสกัดปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) พบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณเมฆ มีผลต่อปริมาณ PM<sub>10</sub> และ AOT

## 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) เป็นมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาสำคัญในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ซึ่งปัญหาจะปรากฏชัดเจนในช่วงหน้าแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายนของทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2558 มีปริมาณฝุ่นละอองสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานถึง 42 วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) ซึ่งปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของประชาชนในพื้นที่ โดยเฉพาะผลกระทบต่อสุขภาพระบบทางเดินหายใจ สิ่งปลูกสร้าง สภาพเศรษฐกิจและการท่องเที่ยว การเดินทางและขนส่ง (วิจารณ์ สิมานายา, 2554)

สาเหตุหลักของปัญหาฝุ่นละอองในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนช่วงหน้าแล้ง มาจากกิจกรรมการเผาในที่โล่ง การเกิดไฟป่า การเผาเศษวัสดุเหลือจากการเกษตร การเผาขยะ รวมถึงการเกิดไฟป่าในประเทศเพื่อนบ้านบ่อยครั้ง ทำให้พื้นที่ภาคเหนือได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าวด้วย ประกอบกับสภาพทางภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ มีภูเขาสลับซับซ้อนล้อมรอบ ส่งผลให้การไหลเวียนของอากาศค่อนข้างนิ่งในหน้าแล้ง ทำให้ฝุ่นละอองสะสมอยู่ในบรรยากาศได้นานยิ่งขึ้น (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

ปัจจุบันการติดตามตรวจสอบปริมาณ PM<sub>10</sub> ทำการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบอัตโนมัติของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งไม่สามารถติดตั้งสถานีได้ในทุกพื้นที่ที่วิกฤติ เนื่องจากเครื่องตรวจวัดคุณภาพอากาศมีขนาดใหญ่ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและการบำรุงรักษาต้องใช้งบประมาณสูง และไม่สามารถติดตามตรวจวัดได้อย่าง real-time ทำให้การตรวจวัดฝุ่นละอองจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศผิวพื้นมีข้อจำกัดทางพื้นที่และเวลา (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) แต่ปัญหาฝุ่นละอองในพื้นที่ภาคเหนือจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างทันถ่วงที ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาจึงมีการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศดาวเทียม เข้ามาใช้ในการตรวจวัดและติดตามสถานการณ์คุณภาพอากาศ ทำให้ได้รับข้อมูลที่ทันเหตุการณ์และสามารถพยากรณ์สถานการณ์ล่วงหน้าได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น เพื่อประเมินศักยภาพของการใช้ข้อมูลดาวเทียมสำหรับติดตามตรวจสอบปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ โครงการวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>10</sub> ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศกับค่าความหนาแน่นเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในอากาศ (AOT) ที่ได้จากดาวเทียม Terra ระบบเซ็นเซอร์ MODIS ในช่วงเดือนธันวาคม - เมษายน ปี พ.ศ. 2554 - พ.ศ. 2559 ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจากภาคพื้นดินและข้อมูลความหนาแน่นเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ (Aerosol Optical Thickness; AOT) ที่ได้จากการตรวจวัดจากดาวเทียม Terra-MODIS

2.2 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) ค่า AOT และปัจจัยต่างๆ ทางอุตุนิยมวิทยา

### 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 สถานการณ์มลพิษทางอากาศในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

##### 3.1.1 หมอกควัน (Smog)

หมอกควัน เป็นมลพิษทางอากาศที่เกิดในสภาวะอากาศปิดที่มีการสะสมและรวมกลุ่มกันของฝุ่นละอองและอนุภาคแขวนลอย และจัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีปริมาณเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจะมีอันตรายต่อสุขภาพ (วิจารณ์ สิมานายา, 2554)

วิกฤตปัญหาหมอกควันในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย มีสาเหตุหลักมาจากการเผาในที่โล่ง ทั้งการเกิดไฟป่า การเผาวัชพืชและเศษวัสดุการเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกในฤดูถัดไป การเผาขยะมูลฝอยในชุมชน การเผาในพื้นที่ป่า การก่อไฟให้ความอบอุ่น ตลอดจนการเกิดไฟป่าตามฤดูกาลทั้งจากภายในประเทศและจากประเทศเพื่อนบ้าน ประกอบกับสภาพภูมิประเทศของภาคเหนือตอนบนมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ โอบล้อมด้วยภูเขา โดยเฉพาะในฤดูหนาว อากาศจะแห้งและนิ่งเป็นเวลานาน มีความกดอากาศสูงและได้รับอิทธิพลจากมวลอากาศเย็นกำลังแรงจากประเทศจีนแผ่ลงมาปกคลุมพื้นที่ภาคเหนือตอนบน เกิดการจมตัวของอากาศชั้นบนซึ่งเป็นมวลอากาศเย็น ในขณะที่มวลอากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น หรือที่เรียกว่าการเกิดอุณหภูมิผกผัน เกิดเป็นชั้นอากาศปิดกั้นไม่ให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศลอยตัวไปยังอากาศชั้นบน จึงเกิดการสะสมของฝุ่นละออง และเมื่อหยดน้ำในอากาศรวมตัวกับฝุ่นละอองขนาดเล็กและอนุภาคแขวนลอย จึงเกิดสภาพฟ้าหิมและปรากฏการณ์หมอกควันขึ้น (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

##### 3.1.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ( $PM_{10}$ )

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 10 ไมครอน (Particulate Matter with an aerodynamic diameter less than or equal to a nominal 10 micrometers;  $PM_{10}$ ) จัดอยู่ในกลุ่มฝุ่นละอองที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากเมื่อฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้าสู่ร่างกาย ผ่านทางระบบทางเดินหายใจ จะก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะที่เข้าไปเกาะ หากสะสมเป็นปริมาณมากและเป็นเวลานาน จะทำให้อวัยวะนั้นๆ เสื่อมประสิทธิภาพและติดเชื้อได้ (สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ, 2555)

##### 3.1.3 สถานการณ์หมอกควันในพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ เดือนธันวาคม 2554 ถึง เดือนเมษายน 2559

พื้นที่ภาคเหนือต้องเผชิญกับวิกฤตหมอกควันเป็นประจำทุกปี จากการติดตามสถานการณ์หมอกควันในพื้นที่ศึกษาด้วยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบอัตโนมัติของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าปริมาณ  $PM_{10}$  เกินค่ามาตรฐานรุนแรงในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนธันวาคมจนถึงเดือนเมษายนของทุกปี และจากการสำรวจจุดความร้อน (Hot spot) ของกรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ในพื้นที่ภาคเหนือ ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 ถึง 2557 ด้วยดาวเทียม Terra และ Aqua พบจุดความร้อนเป็นจำนวนมาก โดยในพื้นที่ป่าอนุรักษ์พบมากกว่าห้าพันจุดในแต่ละปี โดยเฉพาะในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, ม.ป.ป.)

จากการติดตามสถานการณ์ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{10}$  ในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือในช่วงเวลา 10.00 น. ตั้งแต่เดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2554 ถึงเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 พบว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึง 2559 ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{10}$  สูงสุดในแต่ละปีมีค่าลดลง และเดือนมีนาคมของแต่ละปีจะเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณความเข้มข้น  $PM_{10}$  สูงสุด

### 3.2 การใช้เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลในการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เข้ามาใช้ในการช่วยตรวจสอบและติดตามปรากฏการณ์การต่างๆทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลก เป็นการนำวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ในการสำรวจทางภูมิศาสตร์ ช่วยให้การรวบรวม วิเคราะห์ และตีความข้อมูลทางภูมิศาสตร์มีความถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

#### 3.2.1 การสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing)

การสำรวจข้อมูลระยะไกลเป็นการสำรวจโดยใช้เครื่องมือบันทึกหรือตรวจวัดข้อมูลที่ติดอยู่กับยานสำรวจ เช่น บนบอลูน บนเครื่องบิน ยาวอวกาศ หรือดาวเทียม เป็นการได้มาของการสำรวจข้อมูลที่ไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ (กรรณิการ์, ,ม.ป.ป.)

ระบบการสำรวจระยะไกลที่ใช้ในการตรวจวัด โดยเครื่องบันทึกข้อมูล (sensors) สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบบ Active sensor และแบบ Passive sensor แบบ Active sensor จะเป็นระบบที่สามารถสร้างแหล่งพลังงานได้ด้วยตัวเอง แล้วส่งพลังงานนั้นไปยังพื้นที่เป้าหมาย สามารถรับส่งสัญญาณได้ทั้งกลางวันและกลางคืน และไม่มีข้อจำกัดด้านสภาวะภูมิอากาศ ที่มีหมอก เมฆ หรือฝน แต่แบบ Passive sensor เป็นระบบที่อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดอื่น เช่น ใช้แสงจากดวงอาทิตย์ เครื่องมือวัดจะทำงานได้เฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น การตรวจวัดยังต้องการท้องฟ้าที่ปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือฝนในช่วงที่ทำการตรวจวัดด้วย (กรรณิการ์, ,ม.ป.ป.)

ข้อดีของการตรวจวัดด้วยการสำรวจข้อมูลจากระยะไกล มีอยู่หลายประการ เช่น Hadjimitsis (2012) กล่าวว่า การสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียม เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากต่อการศึกษาและการทำแผนที่มลพิษทางอากาศ เนื่องจากดาวเทียมสามารถถ่ายภาพครอบคลุมพื้นที่ได้เป็นบริเวณกว้างในครั้งเดียวและได้ข้อมูลที่ค่อนข้างทันต่อเหตุการณ์ เนื่องจากสามารถตรวจวัดได้ อย่างต่อเนื่อง ทั้งในช่วงกลางวันและช่วงกลางคืน ในส่วนของความละเอียดของข้อมูล ทั้งความละเอียดเชิงพื้นที่และความละเอียดเชิงรังสี ขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์ และระดับความสูงของสถานีติดตั้ง และสามารถสำรวจตรวจวัดในพื้นที่ที่ห่างไกลและมีความยากลำบากในการเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดจากระยะไกล ก็ยังมีข้อจำกัดในหลายด้าน เนื่องจากต้องใช้ งบประมาณในการลงทุนและจัดการสูง มีความจำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความชำนาญ และข้อมูลที่ได้บางครั้งยังมี ความละเอียดเชิงพื้นที่ไม่มากพอ และบางครั้งข้อมูลที่ได้ก็มีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งเกิดมาได้จากหลายสาเหตุ ทั้งส่วนที่เกิดมาจากความบกพร่องของตัวระบบเอง และส่วนที่เกิดมาจากสภาวะแวดล้อมขณะทำการตรวจวัด

#### 3.2.2. ดาวเทียม Terra

ดาวเทียม Terra เดิมมีชื่อว่า EOS AM-1 เป็นความร่วมมือด้านอวกาศระหว่าง องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration : NASA) ของประเทศสหรัฐอเมริกา องค์การสำรวจทรัพยากรแห่งชาติญี่ปุ่น (Japan Resources Observation System Organization: JAROS) และองค์การอวกาศแห่งชาติแคนาดา (CSA) โดยองค์การ NASA เป็นผู้พัฒนาตัวยานและระบบเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม คือ Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES) Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) และ Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) ส่วนองค์การ JAROS พัฒนาระบบ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) และองค์การ CSA พัฒนาระบบ Measurements of Pollution in The Troposphere (MOPITT) (Tassia Owen, Susannah Pearce and Kurtis Thome. n.d.)

ดาวเทียม Terra หนักประมาณ 5 เมตริกตัน เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากร โคจรที่ระดับความสูง 705 กิโลเมตรจากพื้นดิน มีวงโคจรสอดคล้องกับการโคจรของดวงอาทิตย์(Sun-synchronous) โดยจะโคจรในแนวเหนือ-ใต้หรือแบบใกล้ขั้วโลก (Near Polar Orbit) ผ่านเส้นศูนย์สูตร ในช่วงเช้า หรือช่วง 10.00 -11.00 น. ตามเวลาท้องถิ่นของประเทศไทย บนดาวเทียมติดตั้งระบบเซนเซอร์ทั้งหมด 5 ระบบ ได้แก่ ASTER CERES MISR MODIS และ MOPITT (Tassia Owen, Susannah Pearce and Kurtis Thome. n.d.)

### 3.2.3 MODIS AOT Product

ระบบเซ็นเซอร์ MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) เป็นเครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม ที่พัฒนามาจากระบบ AVHRR ที่ติดตั้งบนดาวเทียม NOAA จุดเด่นของระบบบันทึกเชิงคลื่นแสง คือ มีหลายช่วงคลื่นแสง ทำให้สามารถแยกแยะลักษณะพื้นผิวได้ละเอียดและง่ายกว่า อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของระบบนี้คือภาพดาวเทียมที่ถ่ายได้มักมีเมฆปกคลุม (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, ม.ป.ป.)

ระบบเซนเซอร์ MODIS ถูกออกแบบขึ้น เพื่อใช้ในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสภาพสิ่งแวดล้อมในระดับภูมิภาค ดังนั้นภาพถ่ายในระบบ MODIS มีความกว้าง (Swath) ประมาณ 2,330 กิโลเมตร สามารถบันทึกข้อมูล ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกทุกๆ 1-2 วัน และสามารถบันทึกข้อมูลในช่วงคลื่นต่างกันถึง 36 ช่วงคลื่น มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.4-14 ไมโครเมตร (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, ม.ป.ป.) ข้อมูลที่ได้จากระบบเซ็นเซอร์ MODIS สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั้งบนบกและในทะเล ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดบนพื้นดิน พื้นน้ำ และบรรยากาศชั้นล่าง (Brandon Maccherone, n.d.)

ระบบเซ็นเซอร์ MODIS มีข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่แบ่งออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ Level 0 Level1 Level2 และ Level 3 ซึ่งข้อมูลผลิตภัณฑ์ของ MODIS Aerosol ที่ได้จากตรวจวัดค่า AOT ทั้งบนบกและในทะเล จะอยู่ใน Level 2 Product ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่นำเอา Level 1 มาประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าตัวแปร (parameter) เช่น AOD, NO<sub>2</sub> ข้อมูลที่ได้จาก Level 2 product ประกอบด้วย 5 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ 1) Aerosol products and optical properties data 2) Atmospheric water vapor data 3) Physical properties of cloud 4) Atmosphere profile product และ 5) Cloud mask products ซึ่ง Aerosol Product (MOD04\_L2) เป็นการแสดงค่าความหนาเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ(AOT) ทั้งบนบกและในทะเล ความละเอียดของภาพ 10x10 ตารางกิโลเมตร และเป็นข้อมูล near-real-time product ดังนั้นข้อมูลดังกล่าวจึงเหมาะแก่การนำไปศึกษามลพิษทางอากาศ (Brandon Maccherone, n.d.)

ข้อมูลดาวเทียมระบบเซนเซอร์ MODIS สามารถดาวน์โหลดได้จาก <http://modis.gsfc.nasa.gov> ข้อมูลที่ได้นี้จะเป็นสารสนเทศที่อยู่ในรูปของ HDF-EOS ที่เรียกว่า Granule มีขนาด 0.5-3.0 MB (Brandon Maccherone, n.d.)

### 3.2.4. งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ข้อมูล MODIS AOT กับ PM<sub>10</sub>

ปัจจุบันได้นำข้อมูลมลพิษทางอากาศที่ได้จากดาวเทียมมาใช้ในการตัดสินใจและวางแผนกิจกรรมทางสิ่งแวดล้อมกันแพร่หลายมากขึ้น โดย the U.S Environment Protection Agency (EPA) และหลายหน่วยงานที่มีหน้าที่ตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้นำข้อมูลดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ใน 4 ประเด็น คือ 1) การติดตามมลพิษทางอากาศ เนื่องจากนิยามของทั้ง Aerosol และ PM<sub>10</sub> ต่างอ้างถึงอนุภาคของแข็งหรือของเหลวในอากาศเหมือนกัน บ่อยครั้งจึงใช้ค่าแทนกัน แต่ข้อมูลจากดาวเทียมก็ยังมีข้อจำกัดคือมักมีเมฆปกคลุม 2) ทำให้การพยากรณ์อากาศที่ประสิทธิภาพมากขึ้น 3) ใช้เป็นหลักฐานที่แสดงถึงการปล่อยมลพิษจาก

กิจกรรมของมนุษย์ที่มากเกิน และ 4) ใช้ตรวจวัดแนวโน้มในระยะยาว และใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบจำลอง และในอนาคตก็จะพัฒนาให้ประสิทธิภาพของดาวเทียมมีมากขึ้น (Bryan N.Duncan et. Al, n.d.)

งานวิจัยหลายชิ้นได้นำเอาข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น ผลงานของ Nisantzi ทำการวิจัยเรื่องการดึงข้อมูล AOT มาจากระบบเซ็นเซอร์ MODIS และพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง AOT กับ  $PM_{10}$  จากผลงานของเขาพบว่าค่า AOT และค่า  $PM_{10}$  มีความสัมพันธ์กัน และจะมีความสัมพันธ์กันมากขึ้นเมื่อทำการกรองตัวแปรที่ทำให้ค่า AOT ด้อยประสิทธิภาพลง เช่น เมฆ ความชื้น เป็นต้น (Diofantos G. Hadjimitsis, Kyriacos Themistocleous and Argyro Nisantzi, 2012) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Superczynski และ Christopher ที่ได้ทำการศึกษาข้อมูลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  จากภาคพื้นดิน และภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียม LANDSAT ย้อนหลัง 12 ปี ในเมืองเบอร์มิงแฮม รัฐแอละแบมา ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มลดของ  $PM_{2.5}$  และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน (Stephen D. Superczynski and Sundar A. Christopher, 2011)

### 3.3 การวิเคราะห์พหุตัวแปร (Multivariate Analysis)

การวิเคราะห์พหุตัวแปร เป็นการวิเคราะห์ตัวแปรมากกว่า 2 ตัวพร้อมกัน เพื่อที่จะได้ทราบถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลแต่ละชุดอย่างเป็นระบบ และยังช่วยในการจัดกลุ่มชุดของตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกัน และทำนายค่าตัวแปรใหม่ จึงถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์หลายตัวแปรในคราวเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์พหุตัวแปรมีหลายแบบ ในการศึกษานี้ได้ใช้เทคนิคการสกัดปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) เป็นเทคนิคการสกัดปัจจัยเพื่อเป็นการลดทอนข้อมูลตัวแปรให้มีความซับซ้อนน้อยลง แต่ยังคงสามารถอธิบายความแปรปรวน (variance) ของข้อมูลได้อย่างครบถ้วน หลักการของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักจะอยู่บนพื้นฐานความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรที่ใช้เป็นข้อมูลองค์ประกอบหลัก เป็นการผสมเชิงเส้นตรง (Linear combination) ของตัวแปรที่สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้มากที่สุด และการหมุนแกนแบบ Varimax จะทำให้ได้องค์ประกอบเฉพาะ ค่าความผันแปรของตัวแปรทั้งหมดในแต่ละองค์ประกอบ เรียกว่าค่าไอเกน (Eigen Value) องค์ประกอบแรกที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก จะเป็นองค์ประกอบที่แยกความผันแปร ของตัวแปรออกมาจากองค์ประกอบอื่นได้มากที่สุดจึงมีตัวแปรร่วมอยู่มากที่สุด โดยทั่วไปจะกำหนดให้ค่าไอเกนมากกว่า 1 (ชัยสิทธิ์ สร้อยเพชรเกษม, ม.ป.ป.)

## 4. ขอบเขตของการวิจัย

4.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาครอบคลุมจังหวัดในภาคเหนือตอนบน 8 จังหวัด ได้แก่ แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ และน่าน

4.2 ศึกษาสถานการณ์ฝุ่นละอองช่วงเดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายนของปี พ.ศ. 2554 – 2559

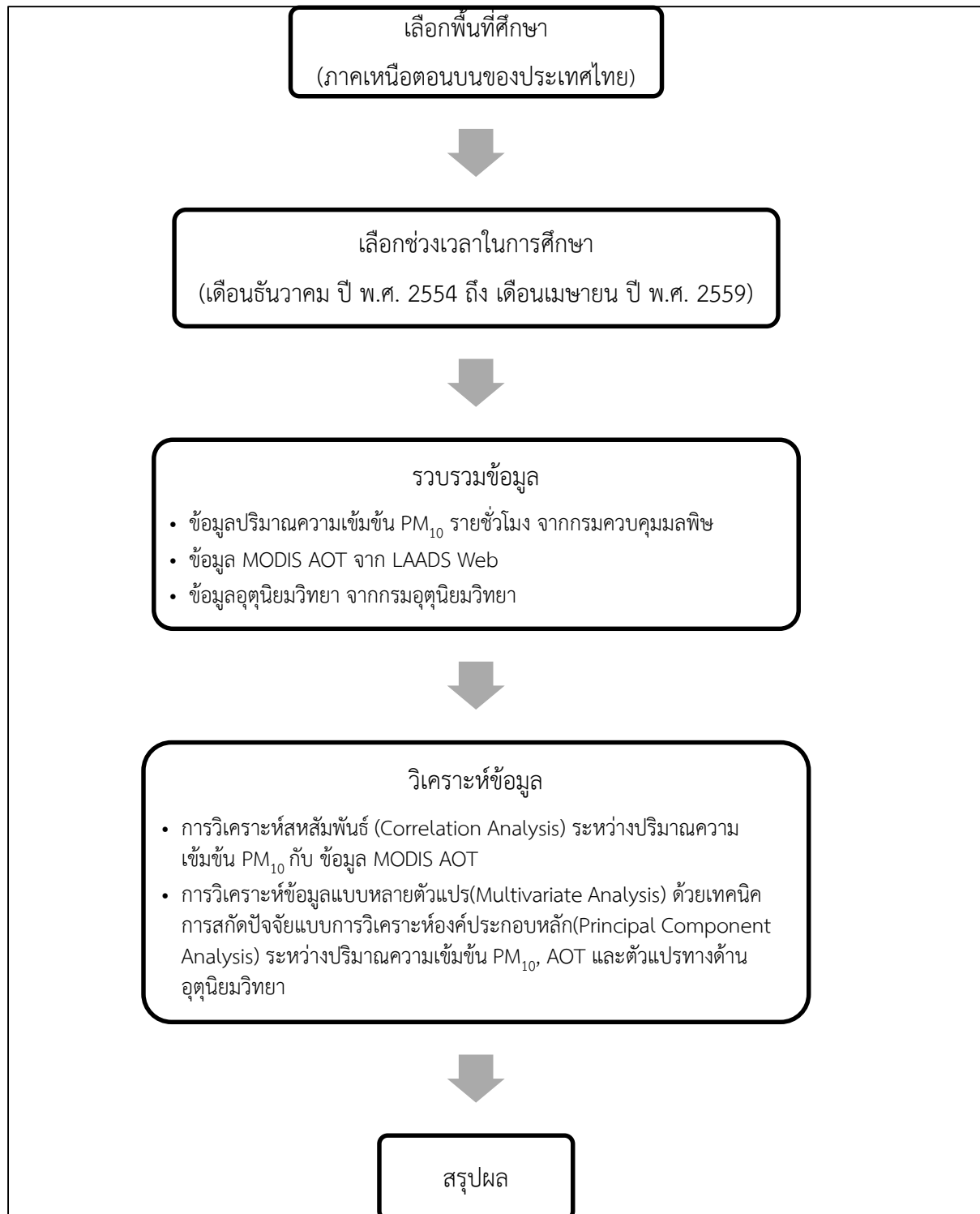
4.3 ชนิดสารมลพิษทางอากาศที่ศึกษาคือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยรายชั่วโมง ช่วงเวลา 10.00 -11.00 น. จากสถานีติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ

4.4 ข้อมูลค่าความหนาแน่นเชิงแสง (AOT) ได้จาก Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) บนดาวเทียม Terra ชุดผลิตภัณฑ์ MOD04\_L2 โดยเลือกช่วงเวลา 10.00 - 11.00 น. (UTC+7) ตามเวลาท้องถิ่นประเทศไทย

4.5 ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายชั่วโมง ได้แก่ ความกดอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็ว ปริมาณเมฆและปริมาณน้ำฝน จากกรมอุตุนิยมวิทยา

## 5. วิธีวิจัย

ในการศึกษาเรื่องการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างดาวเทียมและการติดตามตรวจสอบภาคพื้นดินใน ภาคเหนือ มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้



ภาพที่ 1 แสดงกระบวนการขั้นตอนในการศึกษาวิจัย

## 5.1 พื้นที่และช่วงเวลาในการศึกษา

ตามการแบ่งภูมิภาคของราชบัณฑิตยสถานภาคเหนือตอนบนประกอบไปด้วย 9 จังหวัด ได้แก่ แม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน และอุตรดิตถ์ แต่เนื่องจากจังหวัดอุตรดิตถ์ ไม่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ดังนั้นพื้นที่ศึกษาจึงเหลือเพียง 8 จังหวัดเท่านั้น

ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อน ส่วนใหญ่วางตัวในแนวเหนือใต้ และบางส่วนพาดตัวเป็นแนวยาวทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก พื้นที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ทำให้การระบายอากาศไม่สะดวก เกิดการสะสมของมลพิษทางอากาศในฤดูหนาวได้ง่าย (ภูมิศาสตร์ประเทศไทย, ม.ป.ป.)

ในการศึกษานี้ได้เลือกพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพื้นที่ประสบปัญหาปริมาณ PM<sub>10</sub> สูงสุดในช่วงหน้าแล้งของแต่ละปี จึงจำกัดระยะเวลาในการศึกษาคือช่วงเดือน ธันวาคม ถึง เดือนเมษายน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ถึง ปี พ.ศ. 2559

## 5.2 การรวบรวมข้อมูล

### 5.2.1 ข้อมูลปริมาณ PM<sub>10</sub>

รวบรวมข้อมูลการติดตามตรวจสอบปริมาณ PM<sub>10</sub> รายชั่วโมง ตั้งแต่เดือนธันวาคม-เมษายน พ.ศ. 2554 - 2559 ในช่วงเวลา 10.00- 11.00 น. จากสถานีตรวจวัด 9 สถานี โดยมีรายละเอียดสถานีแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 รายละเอียดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ทั้ง 9 สถานี

ชื่อสถานี	จังหวัด	ตำแหน่งที่ตั้ง	
		Latitude	Longitude
ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่	เชียงใหม่	18.84	98.97
โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย	เชียงใหม่	18.79	98.99
โรงไฟฟ้าแม่เมาะ	ลำปาง	18.28	99.66
สทจ. เชียงราย	เชียงราย	19.91	99.82
สทจ. แม่ฮ่องสอน	แม่ฮ่องสอน	19.31	97.97
สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	น่าน	18.79	100.78
สนามกีฬาอบจ. ลำพูน	ลำพูน	18.57	99.01
อุตุนิยมวิทยาแพร่	แพร่	18.13	100.16
ศาลากลางจังหวัดพะเยา	พะเยา	19.95	99.33

### 5.2.2 ข้อมูล MODIS AOT

ข้อมูลค่าความหนาแน่นเชิงแสงของอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ (AOT) จากการตรวจวัดด้วยระบบเซ็นเซอร์ MODIS ที่สามารถดาวน์โหลดได้จาก LAADS Web ที่เว็บไซต์ [www.ladsweb.nascom.nasa.gov](http://www.ladsweb.nascom.nasa.gov) และเปิดข้อมูลโดยโปรแกรม HDFView ข้อมูล MODIS AOT ที่ใช้เป็นข้อมูลที่อยู่ในชุดผลิตภัณฑ์ Level2 ชื่อ MOD04\_L2 เฉพาะช่วงเวลา 10.00 -11.00 น. (ตามเวลาที่ท้องถิ่น UTC+7) โดยข้อมูลครอบคลุมพื้นที่รัศมี 5 กิโลเมตรจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในแต่ละสถานี



### 5.2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายชั่วโมงจากกรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็ว ปริมาณเมฆและปริมาณน้ำฝน

### 5.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 5.3.1 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis)

ใช้การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>10</sub> กับ ข้อมูล MODIS AOT ในพื้นที่ 10x10 กิโลเมตร จากสถานีตรวจวัดทั้ง 9 ของกรมควบคุมมลพิษ ผลจากการวิเคราะห์จะได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient ; r) ที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด (สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ, 2555)

ในการศึกษานี้ มี 2 ขั้นตอนในการทำการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ คือ

- 1) สร้าง scatter plot diagram สำหรับ 2 ตัวแปร
- 2) กำหนดค่า r โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n(\sum x^2) - (\sum x)^2][n(\sum y^2) - (\sum y)^2]}}$$

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(r) ที่ใช้วัดขนาดของตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ  $-1 \leq r \leq 1$  และ  $0 \leq r \leq 1$  หากค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นๆ มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ในทางกลับกัน หากค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรนั้นๆ มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันน้อย หรือไม่มีเลย (สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ, 2555)

#### 5.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร (Multivariate Analysis) ด้วยเทคนิคการสกัด

ปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis)

ในการศึกษานี้ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร ได้แก่ ข้อมูล PM<sub>10</sub>, AOT และปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา ดังที่แสดงในตาราง 2 โดยใช้เทคนิคการสกัดปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ด้วยโปรแกรม SPSS (Statistical Packages for the Social Science) ในการศึกษาได้นำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมาเป็นเครื่องมือในการสกัดองค์ประกอบของปัจจัยที่มี โดยใช้การหมุนแกน แบบ Varimax เพื่อให้ได้องค์ประกอบเฉพาะ และเลือกค่าไอเกนที่มีค่ามากกว่า 0.4 ตารางที่ 2 แสดงตัวแปรและแหล่งที่มาในการนำมาวิเคราะห์ PCA

ตัวแปร	แหล่งที่มา
PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	กรมควบคุมมลพิษ
MODIS AOT	LAADS Web
ความเร็วลม (m/s)	กรมอุตุนิยมวิทยา
ความกดอากาศ (mb)	
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	
อุณหภูมิ (°C )	
ปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้า	

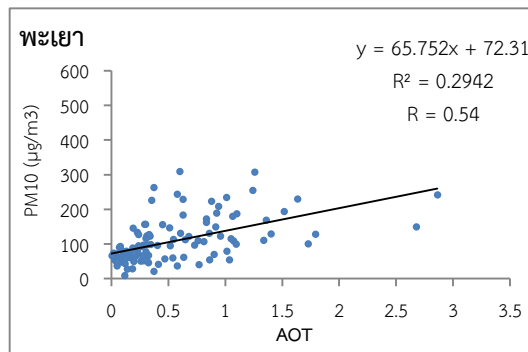
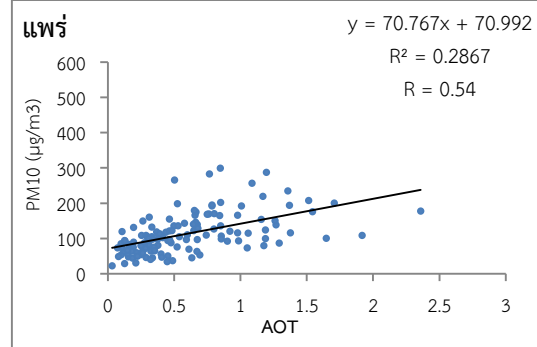
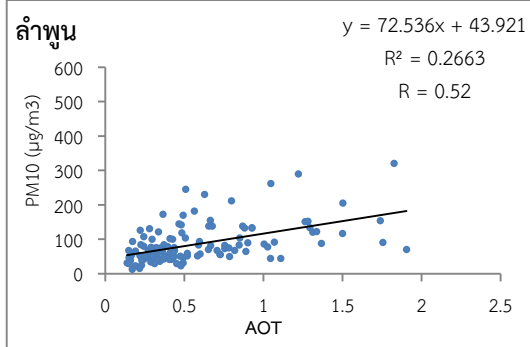
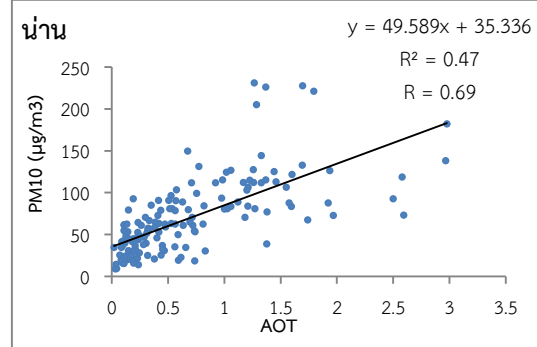
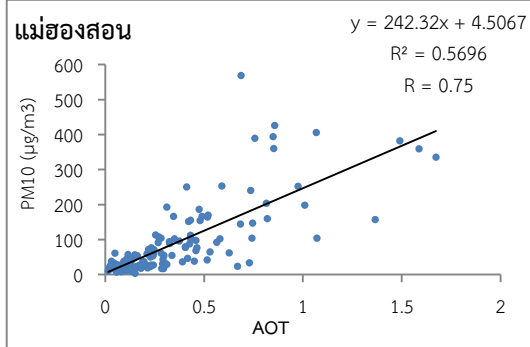
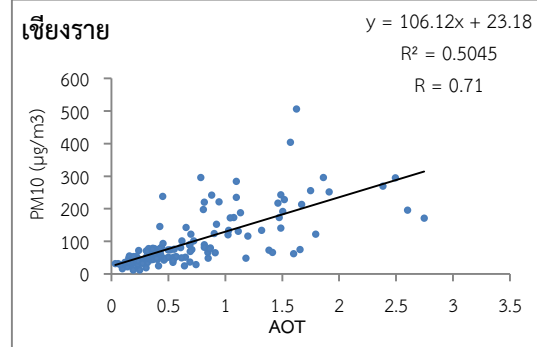
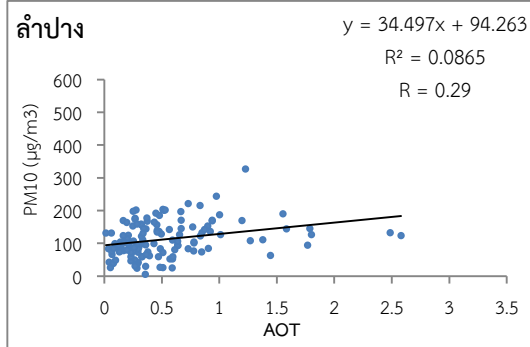
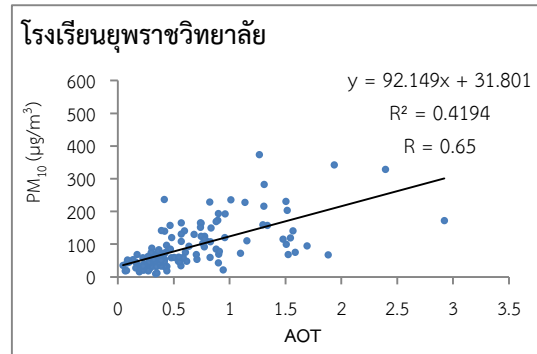
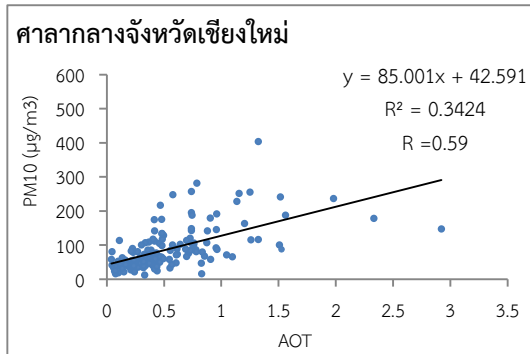
## 6. ผลการศึกษา

### 6.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>10</sub> และ AOT

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>10</sub> และ AOT โดยใช้วิธีการทางสถิติแบบการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าในภาพรวม PM<sub>10</sub> และ AOT มีความสัมพันธ์กัน ยกเว้นสถานี 40T โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สังเกตได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) ของสถานี 40T สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีค่าต่ำมาก (R = 0.29) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สถานีดังกล่าวตั้งอยู่บริเวณโรงไฟฟ้าแม่เมาะซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบของซัลเฟต ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดความสว่างของแสง จึงทำให้ค่า PM<sub>10</sub> และ AOT สัมพันธ์กันน้อย ในการศึกษาครั้งนี้จึงไม่นำสถานี 40T สำนักงานการประปาส่วนภูมิภาคแม่เมาะมาทำการศึกษารายการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ พบว่าจังหวัดแม่ฮ่องสอนมี R มากที่สุด (R = 0.75) รองลงมาเป็นจังหวัดเชียงราย และจังหวัดน่าน โดยมีค่า R เท่ากับ 0.71 และ 0.69 ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 3

ตาราง 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่าง PM<sub>10</sub> และ AOT ของสถานีต่างๆ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ชื่อสถานี	จังหวัด	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R)
ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่	เชียงใหม่	0.59
โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย	เชียงใหม่	0.65
โรงไฟฟ้าแม่เมาะ	ลำปาง	0.29
สทจ. เชียงราย	เชียงราย	0.71
สทจ. แม่ฮ่องสอน	แม่ฮ่องสอน	0.75
สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	น่าน	0.69
สนามกีฬาอบจ. ลำพูน	ลำพูน	0.52
อุตุนิยมวิทยาแพร่	แพร่	0.54
ศาลากลางจังหวัดพะเยา	พะเยา	0.54

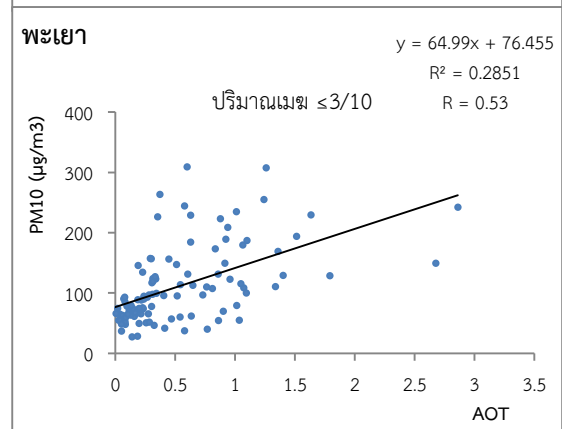
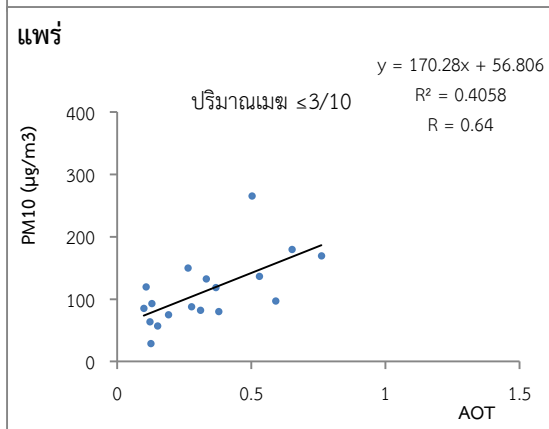
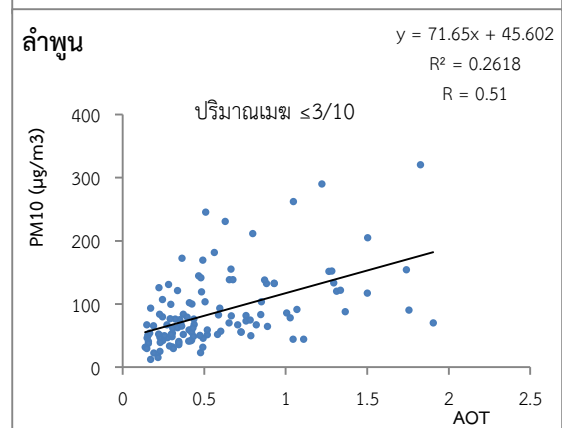
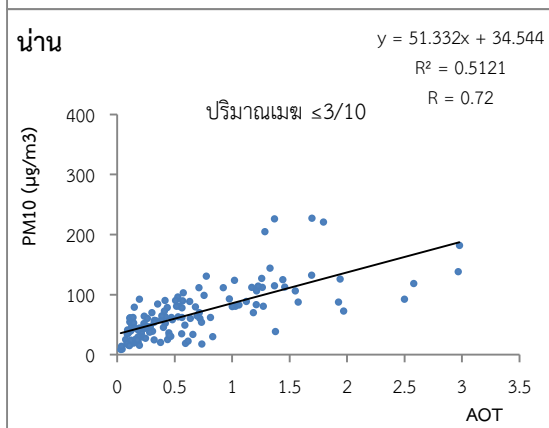
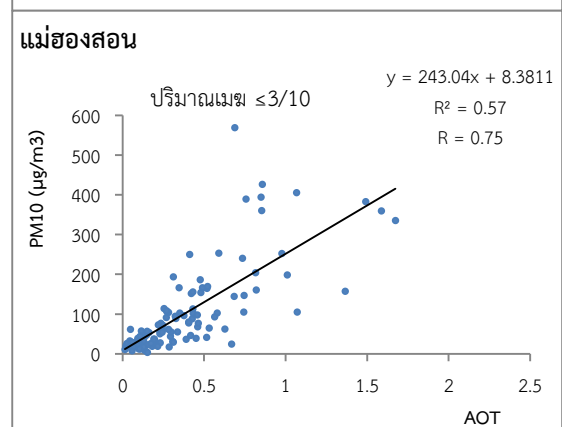
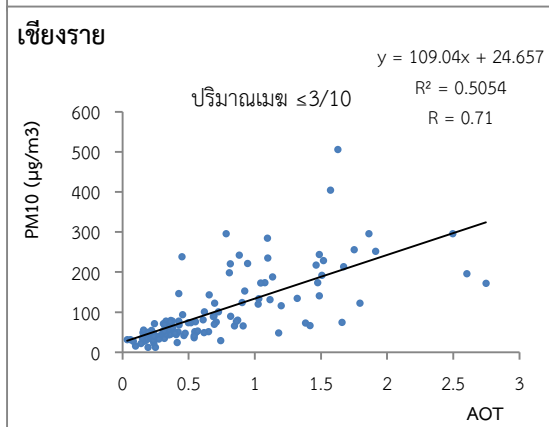
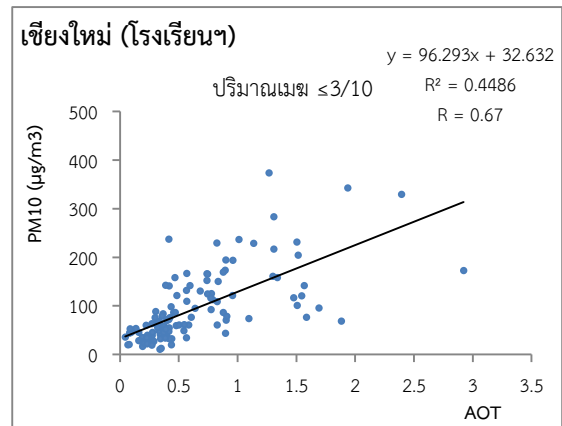
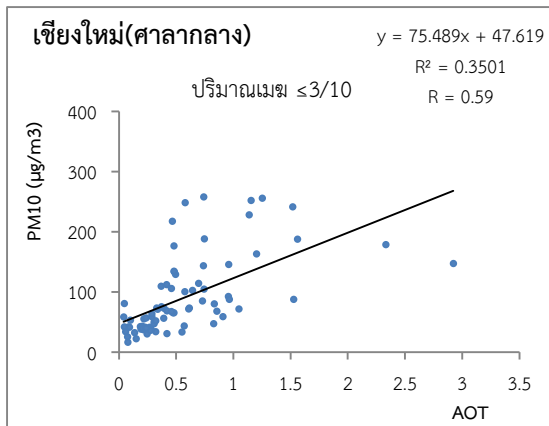


ภาพที่ 3 Scatter plots diagram ระหว่างความเข้มข้น PM<sub>10</sub> (มคก./ลบ.ม.) และ AOT รายชั่วโมง ตั้งแต่เดือน ธันวาคม ปี พ.ศ. 2554 ถึงเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559 ของทั้ง 9 สถานี

เนื่องจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามีผลต่อค่า AOT ที่ได้จากดาวเทียม Terra ในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้ทำการคัดกรองปริมาณเมฆ (Cloud Fraction) ที่ระดับจำนวนต่ำกว่าหรือเทียบเท่า 3 ( $C \leq 3/10$ ) เพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง  $PM_{10}$  และ AOT ผลการคัดกรองเมฆ ทำให้ในภาพรวมความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น  $PM_{10}$  และ AOT มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ดีขึ้น โดยเฉพาะในจังหวัดแพร่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพิ่มขึ้นจาก 0.54 เป็น 0.64 จังหวัดแม่ฮ่องสอนยังคงเป็นพื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด คือ 0.75 รองลงมาเป็นจังหวัดน่าน จังหวัดเชียงราย และเชียงใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตาราง 4 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ระหว่าง  $PM_{10}$  และ AOT ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย เมื่อทำการกรองเมฆแล้ว

ชื่อสถานี	จังหวัด	ก่อนคัดกรองเมฆ	กรองเมฆ (Cloud fraction $\leq 3$ )
ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่	เชียงใหม่	0.59	0.59
โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย	เชียงใหม่	0.65	0.67
สทจ. เชียงราย	เชียงราย	0.71	0.71
สทจ. แม่ฮ่องสอน	แม่ฮ่องสอน	0.75	0.75
สำนักงานเทศบาลเมืองน่าน	น่าน	0.69	0.72
สนามกีฬาอบจ. ลำพูน	ลำพูน	0.52	0.51
อุตุนิยมวิทยาแพร่	แพร่	0.54	0.64
ศาลากลางจังหวัดพะเยา	พะเยา	0.54	0.53



ภาพที่ 4 Scatter plots diagram หลังการกรองเมฆที่จำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 ของความเข้มข้น PM<sub>10</sub> (มคก./ลบ.ม.) และ AOT รายชั่วโมง ตั้งแต่เดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2554 ถึงเดือนเมษายน ปี พ.ศ. 2559

6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร (Multivariate Analysis) ด้วยเทคนิคการสกัดปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก(Principal Component Analysis)

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น PM<sub>10</sub> กับข้อมูล AOT พบว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ภาคเหนือมีผลต่อความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปรระหว่างปริมาณความเข้มข้น PM<sub>10</sub>, AOT และตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยา ด้วยเทคนิคการสกัดปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis) ผ่านโปรแกรม SPSS เพื่อหาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรดังกล่าว

ในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยาจากกรมอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความเร็วลม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความกดอากาศ และปริมาณเมฆ จากแต่ละสถานีตรวจวัด ในช่วงเวลา 10.00 น. ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเมษายน ปี พ.ศ. 2554 - 2559 เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงที่ดาวเทียม Terra โคจรผ่านประเทศไทย นอกจากนี้ เพื่อให้ตัวแปรมีจำนวนมากขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ จึงได้แบ่งพื้นที่ศึกษาเป็น 2 ลักษณะ คือพื้นที่เมือง และพื้นที่ชนบท โดยใช้กิจกรรมในพื้นที่และแหล่งกำเนิดมลพิษโดยรอบสถานีติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ จึงกำหนดให้พื้นที่เชียงใหม่เป็นลักษณะของพื้นที่แบบเมืองและพื้นที่อื่นๆ เป็นลักษณะของพื้นที่เขตชนบท

ตัวแปร	คำอธิบาย	Mean	Standard Deviation
PM <sub>U</sub>	ปริมาณความเข้มข้น PM <sub>10</sub> ในเขตเมือง	82.86	57.554
PM <sub>R</sub>	ปริมาณความเข้มข้น PM <sub>10</sub> ในเขตชนบท	84.11	61.976
WS <sub>U</sub>	ความเร็วลมในเขตเมือง	.80	.359
WS <sub>R</sub>	ความเร็วลมในเขตชนบท	1.65	.883
T <sub>U</sub>	อุณหภูมิในเขตเมือง	24.64	4.108
T <sub>R</sub>	อุณหภูมิในเขตชนบท	25.69	4.052
H <sub>U</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์ในเขตเมือง	71.43	10.021
H <sub>R</sub>	ความชื้นสัมพัทธ์ในเขตชนบท	61.25	10.544
P <sub>U</sub>	ความกดอากาศในเขตเมือง	819.41	12.012
P <sub>R</sub>	ความกดอากาศในเขตชนบท	735.20	2.680
C <sub>U</sub>	ปริมาณเมฆในเขตเมือง	3.12	2.150
C <sub>R</sub>	ปริมาณเมฆในเขตชนบท	2.71	2.275
AOT <sub>U</sub>	ความหนาแข็งแสงในเขตเมือง	613.87	525.567
AOT <sub>R</sub>	ความหนาแข็งแสงในเขตชนบท	611.52	483.369

ตาราง 5 แสดงรายชื่อตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์ PCA ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรเหล่านั้น ระหว่างเดือนธันวาคมถึงเมษายน ปี พ.ศ. 2554 - 2559 ในช่วงเวลา 10.00 น.

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณความเข้มข้น PM<sub>10</sub> ในเขตชนบทมีมากกว่าในเขตเมือง ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความหนาแข็งแสงในเขตเมืองมีมากกว่าในเขตชนบท

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปรด้วยเทคนิคการสกัดปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก แสดงในตารางที่ 6 ได้แสดงผลรวมของการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก ในการศึกษานี้จะทำการศึกษาเฉพาะปัจจัยที่มีค่าน้ำหนักมากกว่า 0.4 ซึ่งแสดงผลดังต่อไปนี้

ตัวแปร	องค์ประกอบหลัก			
	1	2	3	4
PM <sub>U</sub>	<b>.798</b>	<b>-.404</b>	.196	.212
PM <sub>R</sub>	<b>.787</b>	-.337	.283	.170
WS <sub>U</sub>	.312	<b>.475</b>	.086	-.053
WS <sub>R</sub>	-.260	.115	<b>-.603</b>	.382
T <sub>U</sub>	<b>.761</b>	<b>.504</b>	-.223	-.139
T <sub>R</sub>	<b>.742</b>	<b>.497</b>	-.160	-.194
H <sub>U</sub>	<b>-.843</b>	-.151	.338	-.068
H <sub>R</sub>	<b>-.725</b>	.228	.186	-.034
P <sub>U</sub>	-.148	-.090	-.030	<b>.798</b>
P <sub>R</sub>	<b>-.477</b>	-.024	<b>.544</b>	-.144
C <sub>U</sub>	<b>-.403</b>	<b>.631</b>	.322	.120
C <sub>R</sub>	-.240	<b>.639</b>	.221	<b>.408</b>
AOT <sub>U</sub>	<b>.789</b>	.059	.339	.113
AOT <sub>R</sub>	<b>.759</b>	.119	<b>.417</b>	.115
ค่า Eigen	5.455	1.924	1.452	1.150
%Variance	38.964	13.740	10.370	8.218
%Cumulative	38.964	52.704	63.074	71.292

ตารางที่ 6 แสดงผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA)

องค์ประกอบหลักปัจจัยที่ 1 มีค่าความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 38.964 เมื่อค่า อุณหภูมิ ทั้งในเขตชนบทและในเขตเมือง เพิ่มขึ้น และค่าความชื้นสัมพัทธ์ทั้งในเขตเมืองและชนบท ความกดอากาศในเขตเมือง และปริมาณเมฆลดลง จะส่งผลให้ค่า PM<sub>10</sub> และ AOT มีค่าเพิ่มขึ้น จากค่าน้ำหนักของ PM<sub>10</sub> และ AOT แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีผลในทางบวกค่อนข้างมากต่อ PM<sub>10</sub> และ AOT ทั้งในเขตเมืองและเขตชนบท

องค์ประกอบหลักปัจจัยที่ 2 มีค่าความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 13.740 ค่าน้ำหนักของตัวแปรในองค์ประกอบหลักปัจจัยที่ 2 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าความเร็วลมในชนบท อุณหภูมิ และปริมาณเมฆทั้งในเขตเมืองและชนบท เพิ่มขึ้น แปรผกผันกับปริมาณ PM<sub>10</sub> ในเขตชนบท

องค์ประกอบหลักปัจจัยที่ 3 มีค่าความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 10.370 แสดงให้เห็นว่าในเขตเมือง เมื่อทิศทางลมเพิ่มขึ้นในทิศทางลบ และความกดอากาศเพิ่มขึ้นในทิศทางบวก จะมีความสัมพันธ์ในทิศทางบวกกับค่า AOT

องค์ประกอบหลักปัจจัยที่ 4 มีค่าความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมด คิดเป็นร้อยละ 8.21 เมื่อความกดอากาศในเขตชนบทมาก จะส่งผลต่อปริมาณเมฆในเขตเมือง

## 7. สรุปผล

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเข้มข้น PM<sub>10</sub> ที่ได้จากการติดตามตรวจสอบภาคพื้นดิน จำนวน 9 สถานีของกรมควบคุมมลพิษ และค่า MODIS AOT ที่ได้จากดาวเทียม Terra ในพื้นที่ภาคเหนือ

ตอนบนของประเทศไทย ช่วงเดือนธันวาคมถึงเมษายน ปี พ.ศ. 2554 - 2559 พบว่า ปริมาณ  $PM_{10}$  และ ค่า AOT มีความสัมพันธ์กัน ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ระหว่าง 0.52 ถึง 0.75 โดยจังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงราย และน่าน เป็นพื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากที่สุด และเมื่อทำการคัดกรองค่าปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าแล้ว พบว่าทุกพื้นที่ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดีขึ้น เมื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็นเขตชนบทและเขตเมือง โดยกำหนดให้สถานี 35T ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่และสถานี 36T โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย ซึ่งอยู่ในเมืองเชียงใหม่ และที่เหลือเป็นเขตชนบท เพื่อทำการวิเคราะห์พหุตัวแปรระหว่างปริมาณ  $PM_{10}$  AOT และตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ด้วยเทคนิคการสกัดปัจจัยแบบการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าค่า  $PM_{10}$  และ AOT จะลดลง เมื่อความเร็วลมและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความกดอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ลดลง



## อ้างอิง

- กรมอุตุนิยมวิทยา. ภูมิอากาศของประเทศไทย. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.) แหล่งที่มา: [http://www.tmd.go.th/info/climate\\_of\\_thailand-2554-2553.pdf](http://www.tmd.go.th/info/climate_of_thailand-2554-2553.pdf) [10 ธันวาคม 2559]
- กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. ยุทธศาสตร์/มาตรการแก้ไขปัญหาไฟป่าและหมอกควัน ปี ๒๕๕๘. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.) แหล่งที่มา: [www.dnp.go.th/forestfire/2558/ยุทธศาสตร์\\_ปี\\_2558](http://www.dnp.go.th/forestfire/2558/ยุทธศาสตร์_ปี_2558). [10 ธันวาคม 2559]
- กรรณิการ์ มีสุวรรณ. Remote Sensing. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.) แหล่งที่มา: [www.knowledgeofrs.weebly.com](http://www.knowledgeofrs.weebly.com) [10 ธันวาคม 2559]
- ชัยลิขิต สร้อยเพชรเกษม. การวิเคราะห์ส่วนประกอบสำคัญ. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.) แหล่งที่มา: [www.edu.tsu.ac.th](http://www.edu.tsu.ac.th) [10 ธันวาคม 2559]
- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. 1,000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.), 2546.
- ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมควบคุมมลพิษ. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2554. กรุงเทพฯ, 2554.
- ปฏิพัทธ์ วงศ์เรือง, ประจันต์ วงศ์วิเศษ และสิทธิชัย พิมลศรี. ความสัมพันธ์ระหว่างจุดความร้อนกับความเข้มข้น PM10 ในเขตภาคเหนือประเทศไทย. ใน รายงานการประชุมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 11, หน้า 1-8. 21-23 มีนาคม 2555 ณ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- ภูมิศาสตร์ประเทศไทย. [ออนไลน์]. บ้านจอมยุทธ์, (ม.ป.ป.). แหล่งที่มา [www.baanjomyut.com](http://www.baanjomyut.com) [13 ธันวาคม 2556]
- ภูมิเมษฐ์ เมืองใจ, ประจันต์ วงศ์วิเศษ และสิทธิชัย พิมลศรี. การวิเคราะห์กลุ่มความเข้มข้น PM10 ในเขตภาคเหนือของประเทศไทย. ใน รายงานการประชุมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 11, หน้า 1-8. 21-23 มีนาคม 2555 ณ สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- มูลนิธิบูรณะนิเวศ. หมอกควันปกคลุมภาคเหนือตอนบน. [ออนไลน์]. (ม.ป.ป.) แหล่งที่มา: <http://www.earththailand.org/th/pollution/36> [10 ธันวาคม 2559]
- วิจารณ์ สิมาฉายา. มลพิษหมอกควันในพื้นที่ภาคเหนือ: ปัญหาและแนวทาง. ใน การสัมมนาวิกฤตโลกร้อน มลพิษหมอกควัน มหันตภัยใกล้ตัว ของคณะกรรมการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม วุฒิสภา, หน้า 1-6. 11 กุมภาพันธ์ 2554 ณ จังหวัดเชียงใหม่.
- วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กระทรวง. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). คู่มือการใช้ข้อมูลสารสนเทศเพื่อติดตามไฟป่าและหมอกควัน. [ม.ป.ท.], 2548.
- สิทธิชัย พิมลศรี และคณะ. รายงานวิจัยสถานการณ์ปัญหาฝุ่นควันในเขตภาคเหนือประเทศไทย. มหาวิทยาลัยพะเยา. 2555.
- Brandon Maccherone. MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. National Aeronautics and Space Administration (NASA)(Producer). Available from <https://modis.gsfc.nasa.gov> [December, 2016]

Diofantos G. Hadjimitsis, Kyriacos Themistocleous and Argyro Nisantzi. Air Pollution Monitoring Using Earth Observation & GIS, Air Pollution - Monitoring, Modelling and Health, Dr. Mukesh Khare (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/33939. Available from: <http://www.intechopen.com/books/air-pollution-monitoring-modelling-and-health/air-pollution-monitoring-using-earth-observation-gis>, 2012.

Stephen D. Superczynski and Sundar A. Christopher. Exploring Land Use and Land Cover Effects on Air Quality in Central Alabama Using GIS and Remote Sensing. Journal of Remote Sensing, 3, 2552-2567. Doi: 10.3390/rs3122552, 2011.

Tassia Owen, Susannah Pearce and Kurtis Thome. TERRA the EOS Flagships. National Aeronautics and Space Administration (NASA)(Producer), 2016. Available from <http://terra.nasa.gov/data/modis-data>. [December, 2016]