

Received: 30 เม.ย. 2567

Revised: 20 ก.ย. 2567

Accepted: 23 ก.ย. 2567

การพัฒนากระบวนการคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>)

จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา

Development of an Algorithm for Calculating PM<sub>10</sub> from  
Geostationary Satellite Data

อิสระ มะศิริ<sup>1\*</sup>, รุ่งรัตน์ วัตตาล<sup>1</sup>, สุมามาลย์ บรรเทิง<sup>1</sup>, กรทิพย์ โต๊ะสิงห์<sup>1</sup> และ สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

Itsara Masiri<sup>1\*</sup>, Rungrat Wattan<sup>1</sup>, Sumaman Buntoung<sup>1</sup>, Korntip Tohsing<sup>1</sup>

and Somjet Pattarapanithchai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University

\*Corresponding author: masiri\_i@su.ac.th

## Abstract

In this study, an algorithm for estimating particulate matter up to 10 micrometers in size (PM<sub>10</sub>) over Thailand using geostationary satellite images was developed. Ground-based measurements of PM<sub>10</sub> at various stations of Pollution Control Department (PCD) were collected. For satellite data, MTSAT satellite images were used to estimate aerosol optical depth using a look-up table algorithm. Relationship between PM<sub>10</sub> and satellite-derived aerosol optical depth was examined and a statistical-based model for estimating PM<sub>10</sub> was obtained as a result. Validation of the model was accomplished against an independent PM<sub>10</sub> measurement data collected at the PCD stations. The comparison yielded good agreement with mean bias error (MBE) of -4.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (-11.3 %) and root mean square Error (RMSE) of 10.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (26.9 %). The model was used to generate graphic maps of PM<sub>10</sub> for the entire region of Thailand.

**Keywords:** PM<sub>10</sub>; Aerosols; Satellite data

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนากระบวนการสำหรับคำนวณหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) โดยการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทย ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูล PM<sub>10</sub> จากสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ สำหรับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหาได้จากดาวเทียม MTSAT เพื่อนำมาใช้ในการคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองโดยใช้เทคนิค look-up table จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM<sub>10</sub> กับความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ ในการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองทำได้ โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่า PM<sub>10</sub> จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นและค่าที่ได้จากสถานีวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ ผลการเปรียบเทียบพบว่าข้อมูลทั้งสองมีความสอดคล้องกันอยู่ในระดับดี โดยมีความคลาดเคลื่อนในรูปของ Mean Bias Error (MBE) เท่ากับ  $-4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (-11.3%) และ Root Mean Square Error (RMSE) เท่ากับ  $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (26.9%) จากนั้นผู้วิจัยจึงได้นำกระบวนการที่พัฒนาขึ้นนี้ไปคำนวณหาปริมาณ PM<sub>10</sub> ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศพร้อมทั้งแสดงผลในรูปของแผนที่

**คำสำคัญ:** PM<sub>10</sub>; ฝุ่นละออง; ข้อมูลดาวเทียม

## 1. บทนำ

ฝุ่นละอองเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งมีสถานะเป็นได้ทั้งของแข็งและของเหลว (Hinds, 2004) ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองอาจเปลี่ยนแปลงไปขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองและสภาพแวดล้อม ทั้งนี้หากพื้นที่ใดมีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กอยู่ในชั้นบรรยากาศมากเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยเฉพาะผู้ที่ได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้เกิดโรคทางเดินหายใจและโรคหลอดเลือดหัวใจได้ ประเทศไทยประสบกับปัญหาหมอกควันซึ่งเกิดจากไฟป่าและกิจกรรมการเผาพื้นที่เกษตรกรรม หน่วยงานภาครัฐและหน่วยวิจัยด้านบรรยากาศต่าง ๆ จึงมีการตรวจวัดคุณภาพอากาศในรูปของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) อย่างไรก็ตามการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศดังกล่าวมักอาศัยการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดที่ติดตั้งในสถานีวัดภาคพื้นดิน ทั้งนี้หากแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองรอบสถานีวัดมีความสม่ำเสมอก็จะทำให้ข้อมูลที่ตรวจวัดได้เป็นตัวแทนของคุณภาพอากาศในพื้นที่รอบข้างได้ ในทางตรงกันข้ามหากแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอก็จะส่งผลให้ข้อมูลการ

ตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ได้ไม่สามารถนำมาเป็นตัวแทนของข้อมูลคุณภาพอากาศในพื้นที่ดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีดาวเทียมมาใช้สำรวจร่วมกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณปริมาณฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่ที่ไม่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดอย่างแพร่หลายช่วยให้เห็นการกระจายตัวเชิงพื้นที่ฝุ่นละอองในพื้นที่กว้างได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเทคโนโลยีทางภาพถ่ายดาวเทียมมาช่วยในการคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  และจัดแสดงผลการคำนวณออกมาในรูปของแผนที่แสดงการกระจายตัวของ  $PM_{10}$  ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย ทั้งนี้จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าปริมาณ  $PM_{10}$  มีความสัมพันธ์กับปริมาณความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (Saleh and Hasan, 2014; Péré et al., 2009; Kumar et al., 2007; Kasstele et al, 2006; Grgurić et al, 2014; Phayungwiwatthanakoon et al, 2014; Dehghan et al, 2017; Saleous et al, 2021; Najim et al, 2023) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาแบบค้างฟ้า (geostationary) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในทางอุตุนิยมวิทยาทำการคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  เนื่องจากเป็นภาพจากดาวเทียมที่มีเส้นทางของวงโคจรประจำอยู่ตำแหน่งเดิมตลอดเวลา ทำให้สามารถนำภาพที่ได้ในแต่ละชั่วโมงที่ดาวเทียมบันทึกไว้มาใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณและสร้างเป็นแผนที่แสดงการกระจายตัวของมลพิษฝุ่นละอองที่แม่นยำสำหรับประเทศไทยได้

## 2. วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนากระบวนการสำหรับคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) จากภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา
- 2) เพื่อคำนวณหาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ทั่วประเทศพร้อมทั้งจัดแสดงผลในรูปแผนที่
- 3) เพื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ที่คำนวณได้จากกระบวนการที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษทั่วประเทศไทย

## 3. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงระยะเวลากว่า 20 ปีที่ผ่านมา ได้มีการนำเทคนิคการใช้ข้อมูลดาวเทียมมาใช้ในการศึกษาปริมาณ  $PM_{10}$  ในชั้นบรรยากาศและจัดทำเป็นแผนที่แสดงการกระจายตัวของฝุ่นละอองอย่างแพร่หลาย เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในประเทศ ดังนั้นหน่วยงานทางด้านสิ่งแวดล้อมและสาธารณสุขในประเทศต่าง ๆ จึงได้พยายามศึกษาวิธีการหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กโดยอาศัยเทคโนโลยีทางด้านดาวเทียมดังนี้

Kasstele และคณะ (2006) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ  $PM_{10}$  จากสถานีวัดคุณภาพอากาศกับข้อมูล  $PM_{2.5}$  ในประเทศออสเตรเลีย เบลเยียม สาธารณรัฐเช็ก ฝรั่งเศส เยอรมัน อังกฤษ อิตาลี เนเธอร์แลนด์ และสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งคำนวณได้จากแบบจำลอง LOTOS-EUROS และข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS จากนั้นนำความสัมพันธ์ที่ได้มาสร้างเป็นแบบจำลองเชิงสถิติ พร้อมทั้งนำแบบจำลองที่ได้มาสร้างเป็นแผนที่แสดงปริมาณ  $PM_{10}$  ครอบคลุมพื้นที่ของสหภาพยุโรป โดยได้แสดงผลการคำนวณเป็นแผนที่แยกตามกรณีที่ใช้ input แบบต่าง ๆ

Kumar และคณะ (2007) ได้พัฒนาแบบจำลองเชิงสถิติซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองกับค่า  $PM_{2.5}$  โดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดจำนวนกว่า 100 สถานีในเมือง Delhi ประเทศอินเดีย แบบจำลองสำหรับคำนวณค่า  $PM$  ที่พัฒนาขึ้นเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นซึ่งเขียนเป็นฟังก์ชันของปริมาณความลึกเชิงแสง ผลจากการศึกษาพบว่าเมื่อนำค่าความลึกเชิงแสงจากข้อมูลดาวเทียม MODIS มาใช้ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะสามารถคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  ได้ทั่วประเทศ

ในปี ค.ศ. 2009 Péré และคณะ (2009) ได้นำเสนอวิธีการคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  จากข้อมูลดาวเทียม MODIS ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศฝรั่งเศส ผู้วิจัยได้หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ  $PM_{10}$  ซึ่งได้จากการวัดในระหว่างโครงการทดลอง ESCOMPTE กับค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองซึ่งรวบรวมจากสถานีวัดในเครือข่าย AERONET ผลการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่าปริมาณ  $PM_{10}$  และค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้น โดยมีความสอดคล้องกันแสดงอยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) อยู่ระหว่าง 0.69 – 0.79 นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำผลของความสัมพันธ์ที่ได้มาทำการคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศโดยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS เป็นข้อมูลอินพุทของแบบจำลอง

Saleh และ Hasan (2014) ได้พัฒนากระบวนการสำหรับทำแผนที่  $PM_{10}$  ในประเทศอิรัก โดยใช้ข้อมูลสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 OLI ในช่วง 4 สัญญาณซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง  $0.43 \mu m - 0.67 \mu m$  มาหาความสัมพันธ์เชิงสถิติกับปริมาณ  $PM_{10}$  โดยจำแนกในรูปของสมการออกเป็นกรณีต่าง ๆ ผลที่ได้พบว่าข้อมูลสัมประสิทธิ์การสะท้อนในช่วงความยาวคลื่นระหว่าง  $0.53 \mu m - 0.59 \mu m$  มีความสัมพันธ์กับปริมาณ  $PM_{10}$  มากที่สุด

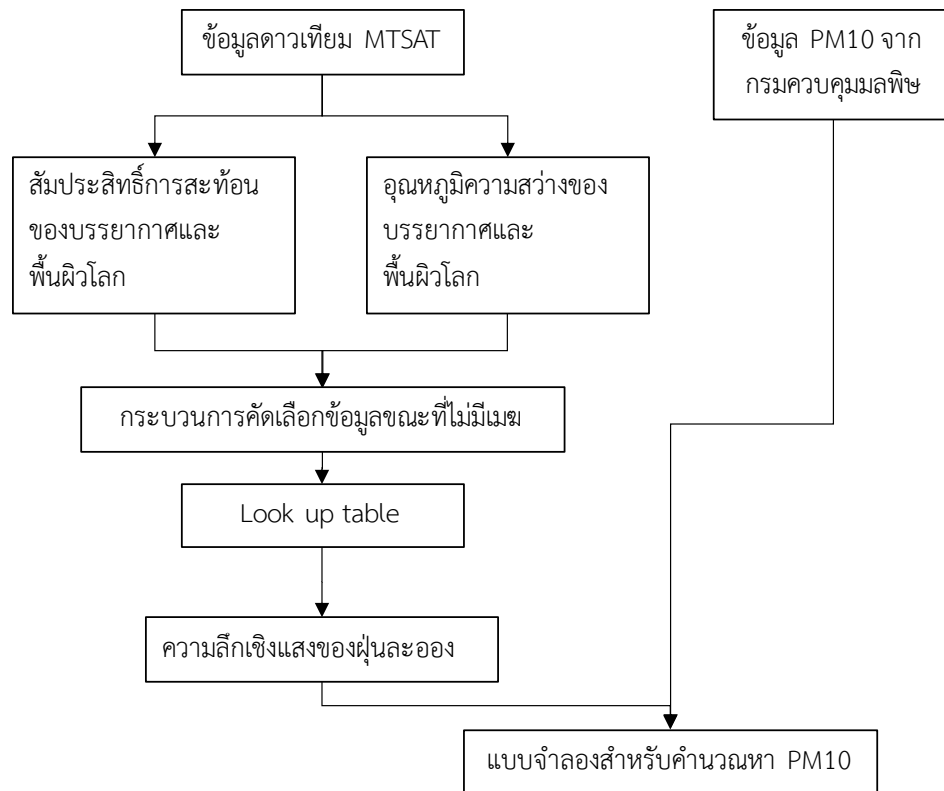
Nguyen และคณะ (2015) ได้นำข้อมูล  $PM_{2.5}$  จากสถานีวัดมลพิษจำนวน 98 แห่ง ในประเทศเวียดนามมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม MODIS ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2009 – 2014 ผลที่ได้พบว่าปริมาณ  $PM_{2.5}$  กับค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่น

ละอองที่ได้จากดาวเทียม MODIS มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี จากนั้นจึงได้นำเทคนิค Multiple linear regression มาทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวและนำสมการที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ  $PM_{2.5}$  และจัดแสดงผลการคำนวณในรูปแบบของแผนที่แสดงค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณ  $PM_{2.5}$  ครอบคลุมทั่วทุกพื้นที่ของประเทศเวียดนาม

หากพิจารณากระบวนการคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  จากข้อมูลดาวเทียมในงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมา จะพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้ข้อมูลจากดาวเทียมประเภท sun-synchronize หรือแบบ low earth orbit ซึ่งโคจรผ่านที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาใกล้เคียงวัน ดังนั้น ผลการคำนวณที่ได้จากงานวิจัยเหล่านี้จึงมีข้อจำกัดในการคำนวณในช่วงเวลาที่ดาวเทียมไม่ได้โคจรผ่าน ส่งผลให้ข้อมูลแผนที่  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  ที่ได้จากดาวเทียมประเภทนี้ไม่สามารถเป็นตัวแทนในการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองที่เวลาเช้าและบ่ายได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมประเภทค้างฟ้าซึ่งเป็นดาวเทียมที่บันทึกภาพที่ตำแหน่งเดิมตลอดเวลา ส่งผลให้การคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  ที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้อย่างถูกต้อง

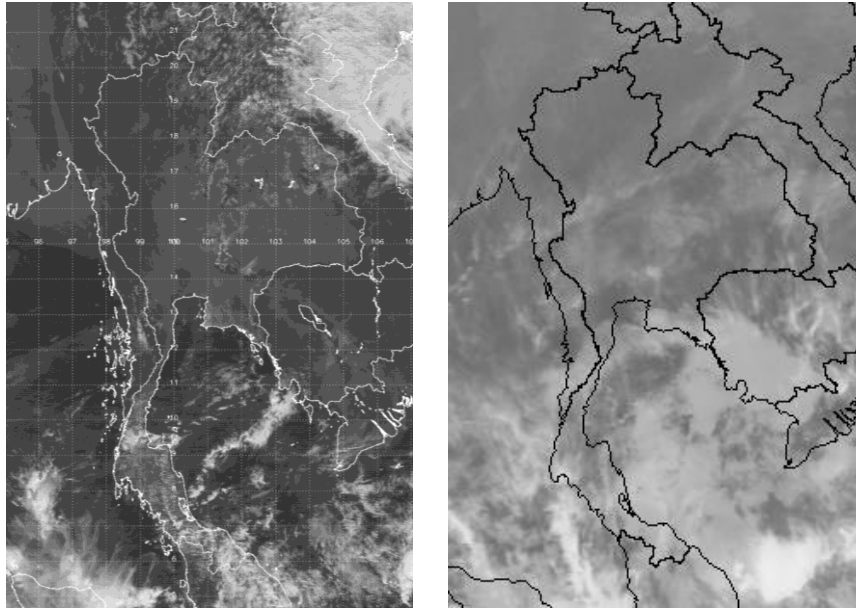
#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณปริมาณ  $PM_{10}$  และจัดแสดงผลที่ได้ในรูปแบบแผนที่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยมีกระบวนการในการพัฒนาแบบจำลองดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการพัฒนาแบบจำลอง

ผู้วิจัยได้จัดเตรียมและรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น ได้แก่ ข้อมูล PM<sub>10</sub> จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 8 สถานี และข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT ที่สามารถถ่ายภาพบรรยากาศและพื้นผิวโลกที่ตำแหน่งเดิมได้ทุกชั่วโมงตลอดทั้งวัน จึงมีความถี่ในการถ่ายภาพที่มากกว่าดาวเทียมแบบ low earth orbit ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT ในช่องสัญญาณ Visible และ Infrared จาก Japan Meteorological Business Support Center (JMBS) ในระหว่างปี ค.ศ. 2011-2015 มาทำการประมวลผล โดยข้อมูลดาวเทียมดังกล่าวเป็นข้อมูลดิจิทัล 8-bit ครอบคลุมพื้นที่ของทวีปเอเชียและออสเตรเลียตอนบน มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 km × 5 km มีขอบเขตของละติจูดอยู่ระหว่าง 70°N – 20°S และลองจิจูดอยู่ระหว่าง 70°E – 160°E ผู้วิจัยนำภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT มาทำการตัดเฉพาะส่วนพื้นที่ของประเทศไทยพร้อมทั้งระบุพิกัดของภาพโดยใช้โปรแกรมซ้อนทับเส้นแผนที่ของประเทศไทยและคำนวณหาพิกัดบนแต่ละพิกเซล (pixel) ของภาพเพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทย ตัวอย่างของข้อมูลดาวเทียมที่นำมาใช้แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT ในช่องสัญญาณ Visible (ซ้าย) และ Infrared (ขวา) ที่ผ่านกระบวนการหาพิกัดแล้ว

สำหรับข้อมูลในช่องสัญญาณ visible จะนำมาแปลงเป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (earth-atmosphere reflectivity) ซึ่งแปรค่าอยู่ระหว่าง 0-1 โดยใช้ตารางสอบเทียบซึ่งได้มาจากผู้ผลิตดาวเทียม แล้วใช้วิธีการ composite image เพื่อหาสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก ส่วนข้อมูลในช่องสัญญาณ Infrared จะนำมาแปลงเป็นค่าอุณหภูมิความสว่างของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (brightness temperature) โดยอาศัยตารางสอบเทียบของผู้ผลิตดาวเทียม

จากนั้นผู้วิจัยได้คำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของผุ้่นละอองจากภาพถ่ายดาวเทียม โดยใช้เทคนิค Look-up Table (Masiri et al., 2011) ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลองการส่งผ่านรังสีเรียกว่า Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum model (6S) (Vermote et al., 1997) โดยใน Look-up table นี้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกและความลึกเชิงแสงของผุ้่นละอองกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆที่ครอบคลุมเงื่อนไขต่าง ๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวแปรอินพุทในแบบจำลองส่งผ่านรังสี 6S

ตัวแปร	Step size	ช่วงของข้อมูล
มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์	10°	0° - 80°
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก	0.1	0.01 - 0.10
ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง	0.01	0 - 5

ในการคัดเลือกข้อมูลในสภาพท้องฟ้าที่ปราศจากเมฆจะใช้การกำหนดขอบเขตให้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนไม่เกิน 0.2 และค่าอุณหภูมิความสว่างของบรรยากาศและพื้นผิวโลกมากกว่า 297 K จากนั้นนำข้อมูลสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลกจากช่องสัญญาณ visible เข้าเป็นอินพุทใน Look-up Table เพื่อหาความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองทั่วประเทศไทยระหว่างปี ค.ศ. 2011-2015

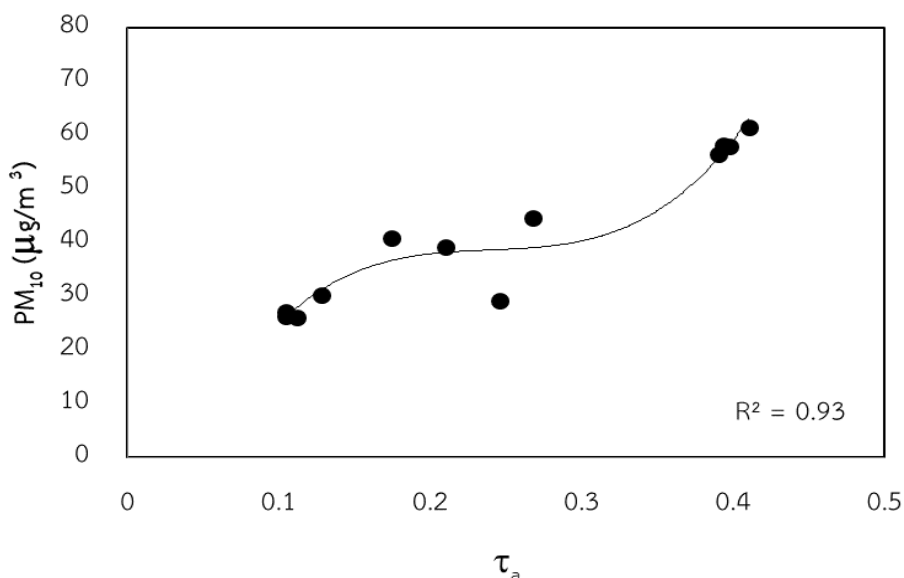
ผู้วิจัยได้นำข้อมูลค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ดาวเทียม MTSAT กับปริมาณ PM<sub>10</sub> ที่วัดภาคพื้นดิน ณ ตำแหน่งสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 8 สถานี (ตารางที่ 2) มาหาค่าเฉลี่ยรายเดือน ทั้งนี้ในการเฉลี่ยข้อมูลดังกล่าวจะเป็นการพิจารณาคิดค่าเฉลี่ยรวมทุกช่วงเวลาที่มีข้อมูลมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 2 สถานีวัดปริมาณฝุ่นละอองที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับข้อมูล ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากดาวเทียม

ลำดับ	ชื่อสถานี	จังหวัด
1	กรมอุตุนิยมวิทยา	กรุงเทพฯ
2	บ้านพักกรมอุตุนิยมวิทยาพื้นฐานและการเหมือง	สมุทรปราการ
3	มหาวิทยาลัยกรุงเทพ วิทยาเขตรังสิต	ปทุมธานี
4	สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 ราชบุรี	ราชบุรี
5	สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง	ระยอง
6	ศาลากลางจังหวัดเชียงใหม่	เชียงใหม่
7	โรงไฟฟ้าอัยยธนูบุรี	กรุงเทพฯ
8	สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่	แพร่



ผลที่ได้พบว่าค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองกับปริมาณ  $PM_{10}$  มีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.93 ดังแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นผู้วิจัยได้นำความสัมพันธ์ที่ได้ดังกล่าวมาพิตสมการ โดยใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองสำหรับการใช้ในการคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  จากข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทย อย่างไรก็ตามเนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดฝุ่นละอองที่นำมาใช้สร้างแบบจำลองมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่ในภูมิภาคต่าง ๆ ผู้วิจัยจึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ของแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลวัดฝุ่นละอองรวมทั้ง 8 สถานี ทั้งนี้แบบจำลองที่ได้จะมีสัมประสิทธิ์ชุดเดียวซึ่งจะเป็นตัวแทนสำหรับการใช้ในการคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองดังกล่าวสร้างโดยใช้ข้อมูลจากสถานีวัดที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย จึงส่งผลให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมของประเทศไทย



**รูปที่ 3** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลดาวเทียม ( $\tau_a$ ) กับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ที่วัดได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษ

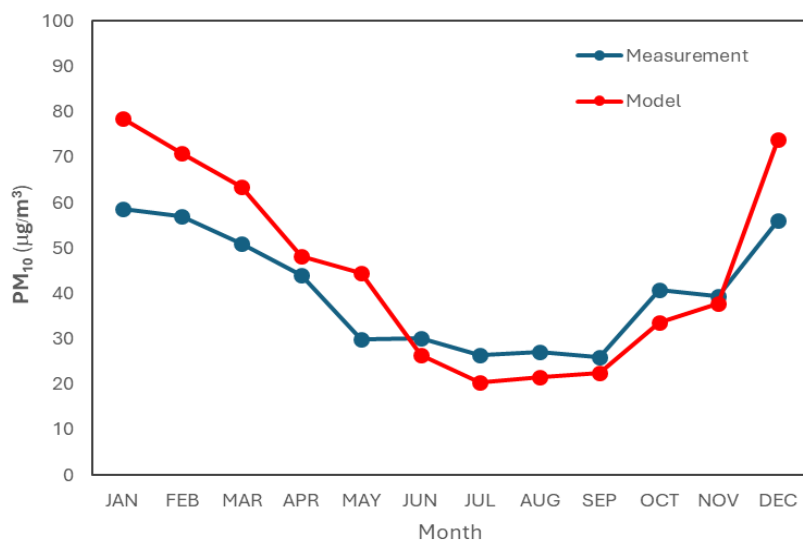
จากความสัมพันธ์ในรูปที่ 3 โดยใช้สมการการถดถอยในรูปฟังก์ชันพหุนาม สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$PM_{10} = 4,481.8\tau_a^3 - 3,216.3\tau_a^2 + 780.7\tau_a - 25.4 \quad (1)$$

โดยที่  $PM_{10}$  คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

$\tau_a$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองผู้วิจัยได้นำข้อมูล PM<sub>10</sub> ที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมควบคุมมลพิษ ผลการเปรียบเทียบแสดงดังรูปที่ 4 โดยพบว่ามีความสอดคล้องกัน ในรูป Mean Bias Error (MBE) เท่ากับ -4.6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (-11.3 %) และ Root Mean Square Error (RMSE) เท่ากับ 10.9  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (26.9%)



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณ PM<sub>10</sub> เฉลี่ยรายเดือน ที่คำนวณได้จากแบบจำลองโดยใช้ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MTSAT และจากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษ

## 5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

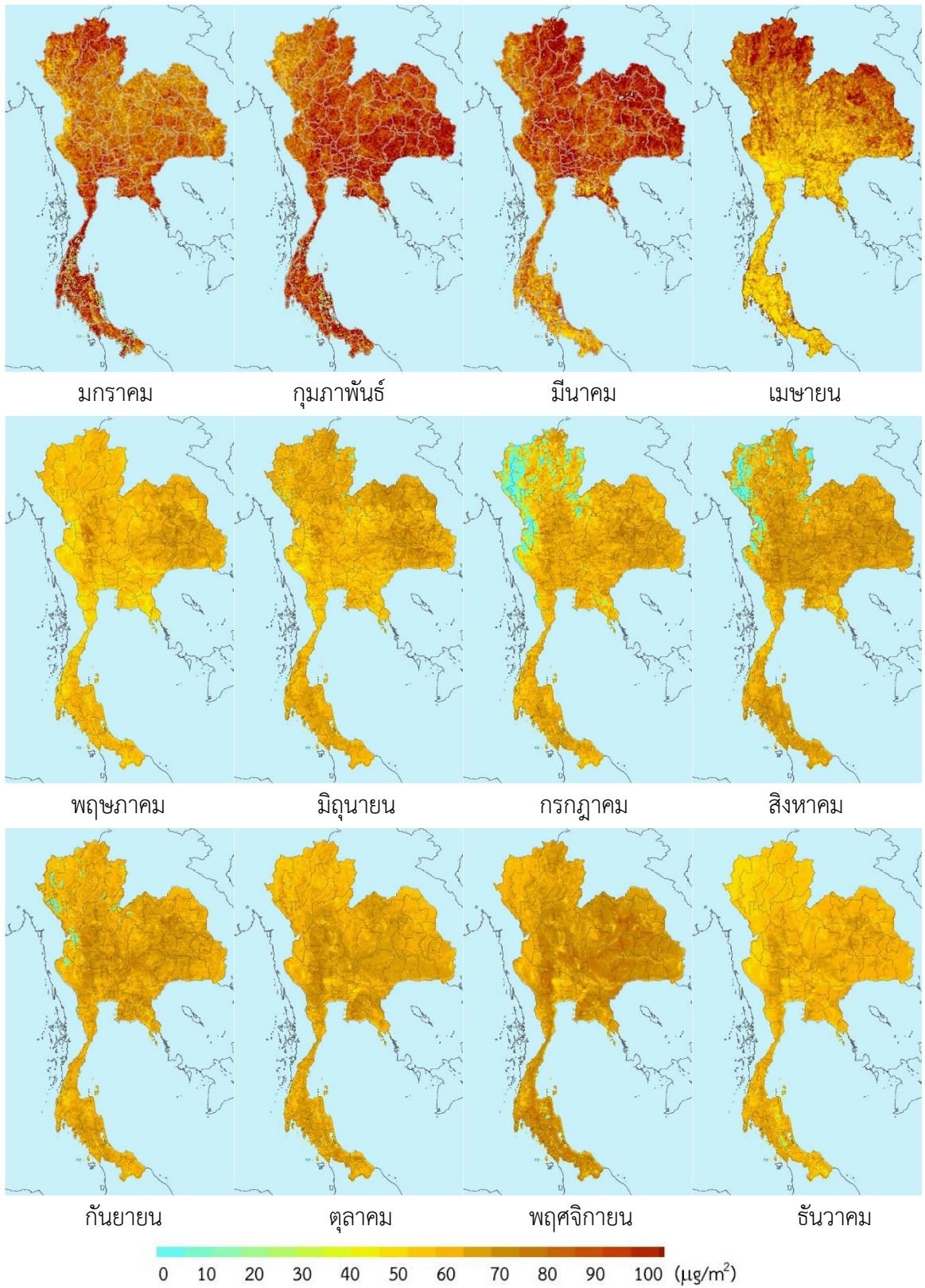
ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่ได้ (สมการที่ 1) มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายเดือนของปริมาณ PM<sub>10</sub> และนำค่าที่คำนวณได้ในแต่ละตำแหน่งมาแสดงในรูปของแผนที่แสดงการกระจายตัวของปริมาณ PM<sub>10</sub> ครอบคลุมทุกพื้นที่ทั่วประเทศไทย ผลการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณ PM<sub>10</sub> ตลอดทั้งปี พบว่า ปริมาณ PM<sub>10</sub> ส่วนมากจะมีค่าสูงในบริเวณภาคกลาง ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้ง จังหวัดนครปฐม สุพรรณบุรี ชัยนาท นครสวรรค์ ลพบุรี และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในพื้นที่ของ จังหวัดนครราชสีมา มหาสารคาม และร้อยเอ็ด ดังแสดงในรูปที่ 5 ทั้งนี้จากการวิเคราะห์การแปรค่า รายเดือนพบว่าปริมาณ PM<sub>10</sub> จะมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึง เดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่ประเทศไทยมีอากาศร้อนและมีความชื้นต่ำ โดยมีการกระจายตัวของฝุ่นละอองครอบคลุมพื้นที่ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง นอกจากนี้หาก พิจารณาผลการคำนวณในระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน พบว่าปริมาณ PM<sub>10</sub> มีค่าน้อยใน

บริเวณทั่วทุกพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตกชุกส่งผลให้เกิดการชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศออกไปตามธรรมชาติ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 แผนที่แสดงปริมาณ  $PM_{10}$  ที่คำนวณได้จากดาวเทียม MTSAT เฉลี่ยตลอดทั้งปี

หากพิจารณาการแปรค่าฝุ่นละอองในแต่ละพื้นที่ พบว่าปริมาณฝุ่นละอองในตอนเหนือของประเทศไทยจะมีค่าสูงในเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ซึ่งสอดคล้องกับช่วงที่มีอากาศร้อน มีความชื้นต่ำ และมักจะมีสถานการณ์ไฟป่าในช่วงดังกล่าว หากพิจารณาพื้นที่ทางภาคใต้ของประเทศไทยพบว่าปริมาณฝุ่นละอองจะมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากภาคใต้ของประเทศไทยมีช่วงฤดูฝนที่ยาวนานจึงส่งผลให้มีการชะล้างของฝุ่นละอองในบรรยากาศตามธรรมชาติ



รูปที่ 6 แผนที่แสดงปริมาณ  $\text{PM}_{10}$  เฉลี่ยรายเดือนที่คำนวณได้จากดาวเทียม MTSAT

จากผลการจัดทำแผนที่ที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่าในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน มีปริมาณ  $PM_{10}$  ที่มีค่าสูง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jinsart และ Mitmark (2017) ซึ่งได้ศึกษาการกระจายตัวของปริมาณ  $PM_{10}$  ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยมีผลการจัดทำแผนที่แสดงปริมาณ  $PM_{10}$  ในช่วงฤดูแล้ง (เดือนมกราคม - เมษายน) มีการแปรค่าอยู่ระหว่าง  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ถึง  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีค่า  $PM_{10}$  ต่ำในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายน - ตุลาคม) อยู่ระหว่าง  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ถึง  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  นอกจากนี้ Itsarawisit และ Laosuwan (2022) ได้แสดงผลการจัดทำแผนที่ปริมาณ  $PM_{10}$  ในบริเวณภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้เทคนิคการ interpolation ในกรณีต่างๆ พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณ  $PM_{10}$  มีค่าสูงในช่วงเดือนมกราคม ถึง เดือนเมษายน ซึ่งแปรค่าระหว่าง  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3 - 101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยพบค่าสูงสุดอยู่ในเดือนมีนาคม ซึ่งสอดคล้องกับผลการจัดทำแผนที่แสดงปริมาณ  $PM_{10}$  ในงานวิจัยนี้

## 6. สรุปผล

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่องสัญญาณ Visible และ Infrared จากดาวเทียม MTSAT ของประเทศญี่ปุ่น มาคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง และข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษจำนวน 8 สถานี มาใช้ในการสร้างและทดสอบแบบจำลองสำหรับคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  ทั่วประเทศไทย โดยข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาในช่องสัญญาณ Visible และ Infrared ที่ได้สามารถคำนวณเป็นค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและอุณหภูมิความสว่างของบรรยากาศและพื้นผิวโลกเพื่อใช้เป็นอินพุทของแบบจำลอง จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบข้อมูล  $PM_{10}$  ที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลดาวเทียมกับข้อมูล  $PM_{10}$  ที่ได้จากสถานีวัดของกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีความสอดคล้องกันในระดับดี สุดท้ายผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาคำนวณหาปริมาณ  $PM_{10}$  และแสดงผลในรูปแบบแผนที่ประเทศไทย ผลการจัดทำแผนที่พบว่าปริมาณ  $PM_{10}$  มีค่าสูงโดยเฉพาะในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ทั้งนี้แผนที่ดังกล่าวสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการแก้ปัญหาฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยได้ นอกจากนี้กระบวนการการคำนวณที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับใช้คำนวณหา  $PM_{2.5}$  รายชั่วโมงโดยใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้จากดาวเทียมได้ต่อไป

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนการวิจัย นวัตกรรมและการสร้างสรรค์ คณะวิทยาศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ (Grant number: SRF-JRG-2560-05) และขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์สำหรับดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Dehghan, M., Omidvar, K., Mozafari, G. and Mazidi, A. (2017). Estimation of Relationship Between Aerosol Optical Depth, PM10 and Visibility in Separation of Synoptic Codes, As Important Parameters in Researches Connected to Aerosols; Using Genetic Algorithm in Yazd. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 7(4), 108-116.
- Grgurić, S., Križan, J., Gašparac, G., Antonić, O., Špirić, Z., Mamouri, R.E., Christodoulou, A., Nisantzi, A., Agapiou, A., Themistocleous, K. and Fedra, K. (2014). Relationship between MODIS based aerosol optical depth and PM10 over Croatia. *Central European journal of geosciences*, 6, 2-16.
- Hinds, W.C. (2004). Aerosol properties. In *Aerosols handbook* ). CRC Press.
- Itsarawisut, J., and Laosuwan, T. (2022). Estimation of particulate matter less than 10 microns volume through various formats of spatial interpolation methods. *Geographia Technica*, 17(2), 26-34.
- Jinsart, W., and Mitmark, B. (2017). A GIS Model for PM10 Exposure from Biomass Burning in the North of Thailand. *Applied Environmental Research*, 39, 77-87.
- Kasstele, J. V. D., Koelemeijer, R. B. A., Dekkers, A. L. M., Schaap, M., Homan, C. D. and Stein, A. (2006). Statistical mapping of PM10 concentrations over Western Europe using secondary information from dispersion modeling and MODIS satellite observations. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 21, 183-194.
- Kumar, N., Chu, A. and Foster, A. (2007). An empirical relationship between PM2. 5 and aerosol optical depth in Delhi Metropolitan. *Atmospheric Environment*, 41(21), 4492-4503.



- Masiri, I., Janjai, S. and Jantarach, T. (2011). An Algorithm for the Retrieval of Aerosol Optical Depth from Geostationary Satellite Data in Thailand. *Journal of the Institute of Engineering*, 8(3), 32-41.
- Najim, A.O., Meteab, M.A., Jasim, A.T., Ajaj, Q.M., Jumaah, H.J. and Sulyman, M.H.A. (2023). Spatial analysis of particulate matter (PM10) using MODIS aerosol optical thickness observations and GIS over East Malaysia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 26(2), 265-271.
- Nguyen, T.T., Bui, H.Q., Pham, H.V., Luu, H.V., Man, C.D., Pham, H.N., Le, H.T. and Nguyen, T.T. (2015). Particulate matter concentration mapping from MODIS satellite data: a Vietnamese case study. *Environmental Research Letters*, 10(9), p.095016.
- Péré, J.C., Pont, V., Mallet, M. and Bessagnet, B. (2009). Mapping of PM10 surface concentrations derived from satellite observations of aerosol optical thickness over South-Eastern France. *Atmospheric Research*, 91(1), 1-8.
- Phayungwiwatthanakoon, C., Suwanwaree, P. and Dasananda, S. (2014). Application of new MODIS-based aerosol index for air pollution severity assessment and mapping in upper northern Thailand. *EnvironmentAsia*, 7(2), 133-141.
- Saleh, S.A.H. and Hasan, G. (2014). Estimation of PM10 Concentration using Ground Measurements and Landsat 8 OLI Satellite Image. *Journal of Geophysics & Remote Sensing*, 3(2), 1-6.
- Saleous, N., Issa, S. and Alsuwaidi, M., (2021). Using modis aerosol optical depth to predict PM10 over al ain region, UAE. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, 419-423.
- Vermote, E.F., Tanré, D., Deuzé, J.L., Herman, M. and Morcrette, J.-J. (1997). Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An Overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(3), 675-686.