

# 02

## การกำหนดพื้นที่วิกฤติทางอากาศ โดยใช้ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาและ GOOGLE EARTH ENGINE CRITICAL AIR QUALITY ZONING BY USING METEOROLOGICAL STATION DATA AND GOOGLE EARTH ENGINE

รสสมนต์ จารยะพันธุ์<sup>๑</sup> สุรัตน์ บัวเลิศ <sup>๑,✉</sup> ภาคภูมิ ชูมณี<sup>๑</sup> ธัญภัสสร ทองเย็น<sup>๒</sup> และ ทิตติชัย ดวงมลาย<sup>๑</sup>

<sup>๑</sup>ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

<sup>๒</sup>ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

Rossumont Jaryabhand<sup>๑</sup>, Surat Bualert <sup>๑,✉</sup>, Parkpoom Choomanee<sup>๑</sup>, Thunyapat Thongyen<sup>๒</sup> and Kittichai Duangmal<sup>๑</sup>

<sup>๑</sup>Department of Environmental Science Faculty of Environment Kasetsart University Bangkhen Campus

<sup>๒</sup>Department of Environmental Technology and management Faculty of Environment Kasetsart University Bangkhen Campus

✉ surat.b@ku.ac.th

วันที่รับ (received) 14 ส.ค. 2567 วันที่แก้ไข (revised) 10 ต.ค. 2567 วันที่ตอบรับ (accepted) 22 ต.ค. 2567

## บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการวัดประสิทธิผลการจัดส่งงานวิจัยที่มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อหาพื้นที่วิกฤติทางอากาศ คือพื้นที่ที่เมื่อปล่อยมลพิษในระดับใกล้เคียงกับพื้นที่ปรกติ แต่ผลกระทบรุนแรงกว่าเนื่องจากสภาพภูมิศาสตร์ โดยหาจากสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศที่มีความเสถียรสูงบนพื้นที่ตัวอย่าง 2) เพื่อนำพื้นที่ตัวอย่างที่มีค่าความวิกฤติสูงสุดมาศึกษาแนวโน้มระหว่าง PM 2.5 กับเสถียรภาพของอากาศที่เกี่ยวข้องกับการสะสมมลสารทางอากาศงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎี Monin-Obukhov Similarity Theory นำค่ามาจำแนกเสถียรภาพของอากาศ โดยใช้ข้อมูลปริมาณเมฆปกคลุม ความเร็วลมและอุณหภูมิที่ระดับ 10 เมตร จากสถานีอุตุนิยมวิทยา 20 แห่ง ได้แก่ เก็บข้อมูลทุก 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 01:00 - 22:00 น. รวม 8 ครั้งต่อวัน ตลอดปี 2566 และใช้ข้อมูลพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ จาก Google Earth Engine

ผลการวิจัย 20 สถานี พบว่า สถานีที่มีสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศ มีมีค่าความวิกฤติสูงสุด 5 ลำดับแรกได้แก่ ลำปาง ร้อยละ 51.37 กาญจนบุรี/ทองผาภูมิ ร้อยละ 50.36 น่าน ร้อยละ 49.7 แม่ฮ่องสอน ร้อยละ 49.29 และพะเยา ร้อยละ 48.66 พื้นที่ตัวอย่างใน จังหวัดลำปางมีค่า PM 2.5 ความสัมพันธ์กับเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงโดยฝุ่นในระดับที่ส่งผลต่อสุขภาพคิดเป็นร้อยละ 67.6 จากจำนวนเสถียรภาพอากาศทั้งหมด และจากปัจจัยทางภูมิศาสตร์และอุตุนิยมวิทยามีผลต่อสะสมของมลพิษทางอากาศ นำไปสู่การกำหนดกลยุทธ์การจัดการคุณภาพอากาศแบบเฉพาะเจาะจงในพื้นที่ภูมิศาสตร์

**คำสำคัญ :** การจำแนกความเสถียรของอากาศ ความยาว Obukov พื้นที่วิกฤติทางอากาศ

## Abstract

This study aims to 1) identify critical air areas where pollution emissions have disproportionately severe impacts due to geographical conditions, determined by the proportion of very stable atmospheric conditions, and 2) examine the relationship between PM2.5 and atmospheric stability associated with air pollutant accumulation in the most critical area identified. The Monin-Obukhov Similarity Theory was applied to classify atmospheric stability using cloud cover, wind speed, and temperature data at 10 meters from 20 meteorological stations. Data was collected at 3-hour intervals from 01:00 to 22:00, eight times daily throughout 2023. Geographical data was sourced from Google Earth Engine.

Results identified five critical air areas with the highest proportions of very stable atmospheric conditions: Lampang (51.37%), Kanchanaburi/Thong Pha Phum (50.36%), Nan (49.7%), Mae Hong Son (49.29%), and Phayao (48.66%). Further analysis of Lampang province, the most critical area, revealed a significant relationship between PM2.5 levels and very stable atmospheric conditions. Health-affecting dust levels were present in 67.6% of all atmospheric stability conditions observed. This research contributes the understanding the geographical and meteorological factors influencing air pollution accumulation, potentially informing targeted air quality management strategies in critical areas.

**Keywords :** Atmospheric Stability classification, Obukov Length, Critical Air Quality Zoning

## บทนำ

มลพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และคุณภาพสิ่งแวดล้อม การสะสมของมลพิษทางอากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์ (Arya, 2001) งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดเรื่อง พื้นที่วิกฤติทางอากาศ หมายถึงพื้นที่ที่แม้จะมีการปล่อยมลพิษในระดับที่ใกล้เคียงกัน แต่ผลกระทบจะรุนแรงกว่า เนื่องจากมลพิษจมนตัวสะสมบนพื้นที่ ทั้งนี้บรรยากาศที่มีความเสถียรสูง (Very Stable) อากาศจมนตัว การผสมผสานในแนวตั้งจะถูกจำกัด ส่งผลให้เกิดความเข้มข้นของมลพิษที่ระดับพื้นดินสูงขึ้น การสะสมของมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้น (Stull, 2012) ปัจจัยที่ส่งผลต่อเสถียรภาพอากาศ ได้แก่ สภาพภูมิศาสตร์ การใช้ประโยชน์ที่ดิน และปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เป็นต้น การหาพื้นที่วิกฤติจากสัดส่วนของเสถียรภาพของอากาศแบบเสถียรสูงจากทฤษฎี Monin Obukov Similarity Theory (MOST) เป็นทฤษฎีที่มีการคำนวณค่าความยาว Obukhov โดยใช้ตัวแปรปัจจัยทางภูมิศาสตร์ เช่น ค่าอัลบิโด (Albedo) ค่าความขรุขระของพื้นผิว ค่าอัตราส่วนโบเวน (Bowen Ratio) และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทย เพื่อจำแนกเสถียรภาพของอากาศ การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะปัจจัยทางภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพอากาศ นำไปสู่การทำนายการสะสมของมลพิษทางอากาศ เพราะความรู้ที่ได้จะมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนากลยุทธ์ในการให้ความรู้ หรือเพื่อกำหนดนโยบายการปล่อยมลพิษที่มีเป้าหมายเฉพาะเจาะจงบนพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ใดๆ

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยากับเสถียรภาพของอากาศในประเทศไทย เช่น ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อสภาพภูมิอากาศ (Yaung et al., 2021) การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินมีผลต่ออุณหภูมิอากาศเหนือผิวดิน เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศ เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพอากาศ แม้จะไม่ได้คำนวณหาเสถียรภาพของอากาศโดยตรง หรือในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศจากการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Yan et al., 2017) นั้นศึกษาในประเทศจีนว่าสิ่งปกคลุมดินสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของสภาวะภูมิอากาศอย่างไร และในเรื่องการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม เพื่อประเมินการแพร่กระจายของฝุ่น ที่เกิดจากการเผา (Kamthonkiat et al., 2021) เป็นการนำเสถียรภาพอากาศแบบไม่เสถียรสูง (Very Unstable) มาศึกษา เพราะการกระจายของมลพิษขึ้นกับสภาวะอากาศไม่เสถียรสูง ทำให้มลสารกระจายตัวออกไป งานวิจัยนี้แตกต่างไปเพราะจะศึกษาในกรณีที่อากาศจมนตัวและสะสมมลพิษบนพื้นที่จากสภาวะอากาศแบบเสถียรสูง และใช้ MOST ในการคำนวณโดยตรง นอกจากนี้งานวิจัยในต่างประเทศ เช่น การหาเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูง โดยสนใจพื้นที่เหนือมหาสมุทร (Kantha & Luce, 2018) ใช้ ค่า Richardson ในการจำแนกเสถียรภาพของอากาศ สรุปโดยรวมว่า งานวิจัยนี้ มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา โดยใช้สมการคำนวณจาก MOST มาเขียนโปรแกรมเพื่อหาสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูง จากปัจจัยทางภูมิศาสตร์บนพิกัดของสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยา ใช้ค่าเฉพาะตัวทางภูมิศาสตร์จาก Google Earth Engine เพื่อหาว่าพื้นที่ใดและมีลักษณะทางภูมิศาสตร์แบบใดที่มีความวิกฤติหรือมีสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงมากที่สุด และเมื่อเกิดสภาวะอากาศแบบเสถียรสูง มลพิษจมนตัว งานวิจัยนี้จึงเลือกสถานี 1 สถานี เพื่อมาเปรียบเทียบแนวโน้มของปริมาณของมลพิษกับสภาวะของอากาศแบบเสถียรสูง ว่าเกี่ยวข้องกับสัมพันธ์กันหรือไม่ ค่าปริมาณ PM 2.5 เป็นตัวแทนของมลพิษ ที่ผู้วิจัยเลือกมาจากมลพิษหลายประเภท เช่น PM10 ความเข้มข้นคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น เนื่องจากเป็นค่าที่ถูกกล่าวถึงตลอดในสื่อสังคม ทั้งนี้เลือกข้อมูลจากจังหวัดที่มีสัดส่วนของอากาศเสถียรภาพแบบเสถียรสูงมากที่สุด

การจำแนกเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงนี้มีเป้าหมายเพื่อให้ข้อมูลในการกำหนดพื้นที่วิกฤติทางอากาศ เป็นแนวทางแก่ผู้กำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและนักวางผังเมือง โดยความรู้และผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดกลยุทธ์การจัดการคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและเฉพาะเจาะจงกับพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ เพื่อควบคุมการปล่อยมลพิษ คุณภาพอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีลักษณะทางภูมิประเทศที่ทำให้ผลกระทบจากมลพิษทางอากาศรุนแรงขึ้น การศึกษานี้ไม่เพียงแต่เพิ่มความเข้าใจเกี่ยวกับพลวัตของมลพิษทางอากาศในภูมิประเทศที่ซับซ้อนเท่านั้น แต่ยังวางรากฐานสำหรับมาตรการควบคุมคุณภาพอากาศที่มีเป้าหมายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อหาพื้นที่วิกฤติทางอากาศ โดยหาจากสัดส่วนเสถียรภาพของอากาศแบบเสถียรสูง บนพื้นที่ตัวอย่าง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการสิ่งแวดล้อม
2. เพื่อนำพื้นที่ตัวอย่างที่มีความวิกฤติสูงสุดมาศึกษาแนวโน้มระหว่างฝุ่น PM 2.5 กับเสถียรภาพของอากาศ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสะสมมลสารทางอากาศ

## วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย 20 แห่ง และจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต บางเขน 1 แห่ง ในปี 2023 เก็บข้อมูลรายชั่วโมงทุก 3 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 1:00 - 22:00 น รวม 8 ครั้งต่อวัน ค่าทางอุตุนิยมวิทยาที่นำมาใช้ คือ ค่าปกคลุมเมฆ ความเร็วลมและอุณหภูมิที่ความสูง 10 เมตร เพื่อจำแนกเสถียรภาพอากาศโดยใช้สมการจากทฤษฎี MOST (Foken, 2006) มาคำนวณ การหาค่าพารามิเตอร์ทางภูมิศาสตร์ที่นำมาใช้ใน MOST นั้นมาจากค่าพิกัดของสถานีอุตุนิยมวิทยาโดยใช้ Google Earth Engine (GEE) เนื่องจากการจำแนกเสถียรภาพของอากาศนั้นมีหลายวิธี (Mohan & Siddiqui, 1998) แต่ละวิธีต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือพิเศษ เช่น อุณหภูมิอากาศ/ความเร็วลมที่ความสูงหลายค่า เป็นต้น ซึ่งการหาความยาวโอบุคอฟ (Obukov Length) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้จำแนกเสถียรภาพอากาศโดยทั่วไปต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เช่น วิธี Eddy Covariant Method (Aubinet, 2008) เป็นต้น แต่การใช้ MOST นั้นไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษ ใช้เพียงข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไปเพียงพอ และเนื่องจากชุดสมการคณิตศาสตร์ของ MOST มีตัวแปรค่าอัลบิโด อัตราส่วนโบเวน และความขรุขระของผิวที่เป็นค่าเฉพาะตัวของพื้นที่ จึงเป็นทฤษฎีที่หาเสถียรภาพของอากาศจากข้อมูลเฉพาะพื้นที่ได้ ไม่ว่าจะมาจากสภาพทางภูมิศาสตร์ หรือการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งงานวิจัยนี้จะเน้นเฉพาะสภาพทางภูมิศาสตร์ โดยการนำสมการจากทฤษฎีมาคำนวณหาความยาว Obukhov ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการจำแนกความเสถียรของบรรยากาศ วิธีการนี้มีความเป็นเอกลักษณ์โดยการผสมผสานข้อมูลอุตุนิยมวิทยามาตรฐานกับพารามิเตอร์ทางภูมิศาสตร์ที่ได้จาก Google Earth Engine ทำให้สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อเขตคุณภาพอากาศวิกฤติได้อย่างครอบคลุม เมื่อนำพิกัดสถานีอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทยใส่ในGoogle Eart Engine ได้พิกัดบนแผนที่ประเทศไทย ตามภาพที่ 1



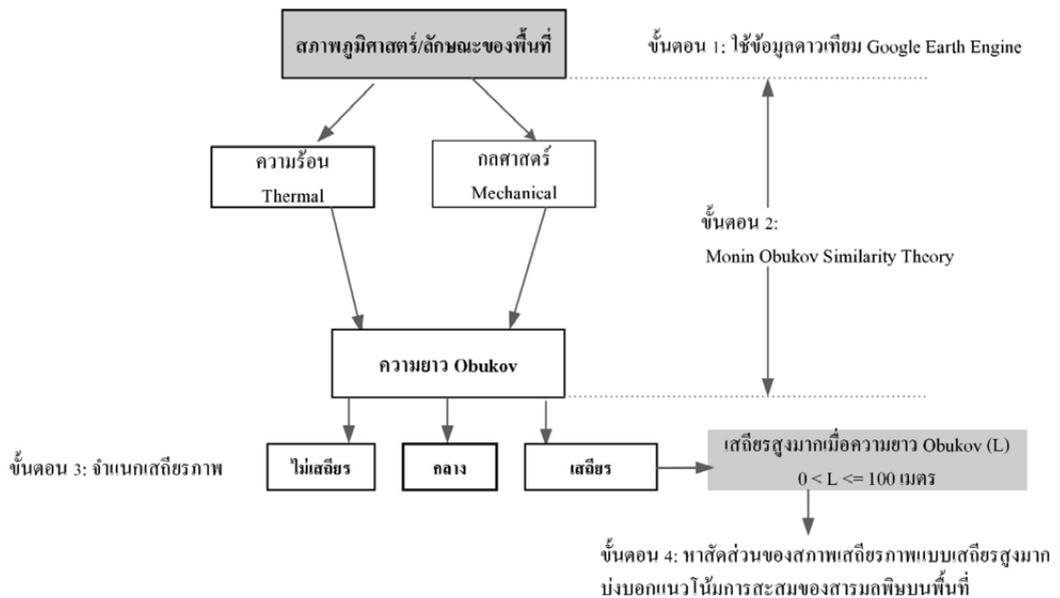
ภาพที่ 1: สถานีอุตุนิยมวิทยา จุดตำแหน่งพิกัดสถานีอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศไทย ภาพจาก GEE

## กรอบแนวคิดการวิจัย

เนื่องจากสภาพทางภูมิศาสตร์ส่งผลให้ค่าความขรุขระของผิว ค่าalbedo ค่า Bowen ratio มีความแตกต่างกันตามพื้นที่ ข้อมูลค่าดังกล่าวหาได้จากข้อมูลดาวเทียมโดย Google Earth Engine เนื่องจากสภาพทางภูมิศาสตร์/ลักษณะของพื้นที่ ส่งผลต่อพลังงานความร้อน (ค่าalbedo ค่า Bowen ratio )และ

การกำหนดพื้นที่วิกฤติทางอากาศ โดยใช้ข้อมูลสถานีอุตุนิยมวิทยาและ Google Earth Engine

การเคลื่อนที่ของอากาศ (ค่าความขรุขระของผิว) พื้นฐานของทฤษฎี MOST มาจากความรู้เกี่ยวกับพลังงานความร้อนและกลศาสตร์ของไหลทางฟิสิกส์ เพื่อคำนวณหาความยาว Obukov จากนั้นนำค่า  $L$  จำแนกเสถียรภาพของอากาศ และนำสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูง มาพิจารณาแนวโน้มการสะสมของมลพิษ ทั้งนี้ กรอบแนวคิดในการวิจัย ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2: กรอบแนวคิดในการวิจัย

## กระบวนการวิจัย

**ขั้นตอนที่ 1: ศึกษาข้อมูลภูมิประเทศ (Topography)/ลักษณะของพื้นที่และนำข้อมูลจาก Google Earth Engine**

การเลือกพื้นที่ศึกษาโดยข้อมูล งานวิจัยเกี่ยวกับภูมิประเทศ พบว่า พื้นที่ราบและพื้นที่ภูเขา มีผลต่อการไหลของอากาศและการสะสมของความร้อน (Arya, 2001) หุบเขาและแอ่งกระทะทำให้เกิดการสะสมของอากาศเย็นและมลพิษ (Whiteman, 2000) จากงานวิจัยเกี่ยวกับพื้นผิว (Surface characteristics) ความขรุขระของพื้นผิวมีผลต่อความเร็วลมและการผสมของอากาศ (Stull, 2012) การสะท้อนของพื้นผิวมีผลต่อการดูดซับและสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ (Oke, 2004) งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ที่ดิน (Land use) เช่น พื้นที่เมือง/ชนบท เกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island) (Oke et al., 2017) และพื้นที่เกษตรกรรม/ป่าไม้มีผลต่อการระเหยของน้ำและการแลกเปลี่ยนความร้อน (Finnigan, 2000) งานวิจัยเกี่ยวกับแหล่งน้ำ เช่น ทะเล, ทะเลสาบ, แม่น้ำ มีผลต่อความชื้นและการเกิดลมท้องถิ่น (Arya, 2001) การจำแนกพื้นที่เพื่อหาลักษณะของพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพอากาศ (Davenport et al., 2000)

งานวิจัยนี้เลือกพื้นที่ศึกษาโดยพิจารณาจากความซับซ้อนของภูมิประเทศ (Terrain Complexity) และความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness) เป็นวิธีการที่ปรับปรุงจากการจำแนกพื้นที่เพื่อหาลักษณะของพื้นที่ ความขรุขระของพื้นที่เกี่ยวข้องกับความเป็นเมือง ป่าหรือ พื้นราบ พื้นน้ำทะเลที่มีคลื่นและไม่มีความคลื่น ส่งผลกับเสถียรภาพอากาศ โดย (Davenport et al., 2000) และลักษณะทางภูมิศาสตร์เป็นภูเขาจะได้ผลการหาค่าต่างๆทางอุตุนิยมวิทยาแตกต่างออกไปจากพื้นราบ (Whiteman, 2000) โดยในงานวิจัยนี้ไม่ได้วิจัยบนพื้นที่ผิวน้ำ เช่น ทะเล การแบ่งพื้นที่ออกเป็น 6 ประเภทหลัก ดังนี้

1) พื้นที่ที่มีความซับซ้อนของภูมิประเทศสูง ความขรุขระของพื้นผิวสูง (Complex Terrain with High Surface Roughness) เช่น ภูเขา หุบเขา และพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก ความขรุขระของพื้นผิวสูง เนื่องจากมีสิ่งปกคลุมพื้นที่ที่หลากหลาย เช่น ป่าไม้ (Finnigan, 2000) หรืออาคารสูง ส่งผลให้เกิดการไหลเวียนของอากาศที่ซับซ้อนการปั่นป่วนและการผสมผสานของอากาศในแนวตั้งสูง และการกระจายตัวของอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่สม่ำเสมอ ได้แก่ ป่าบนภูเขา และเมืองที่อยู่ในหุบเขา

2) พื้นที่ภูมิประเทศที่มีความซับซ้อนสูง ความขรุขระของพื้นผิวดำ (Complex Terrain with Low Surface Roughness) เนื่องจากมีสิ่งปกคลุมพื้นที่ที่สม่ำเสมอ เช่น ทุ่งหญ้าบนภูเขา หรือพื้นที่ลาดชันที่มีพืชพรรณขนาดเล็ก หรือภูเขาที่ทำเหมือนปรับพื้นที่ ส่งผลให้เกิดการไหลเวียนของอากาศที่ซับซ้อน แต่การปั่นป่วนและการผสมผสานของอากาศในแนวตั้งต่ำกว่า ได้แก่ ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์บนภูเขา เขาหัวโล้น หุบเขาที่ปรับพื้นที่ใช้ประโยชน์

3) พื้นทีราบเรียบที่ ความขรุขระของพื้นผิวสูง (Smooth Terrain with High Surface Roughness) พื้นทีที่ราบเรียบ เช่น ที่ราบ หรือพื้นที่ที่มีความลาดชันน้อย ความขรุขระของพื้นผิวสูง เนื่องจากมีสิ่งปกคลุมพื้นที่ที่หลากหลายและขนาดใหญ่ เช่น ป่าไม้ หรือเมืองที่มีอาคารสูง ส่งผลให้เกิดการปั่นป่วนและการผสมผสานของอากาศในแนวตั้งสูง แต่การไหลเวียนของอากาศสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับพื้นที่ภูมิประเทศซับซ้อน ได้แก่ ป่าไม้ในที่ราบ และเมืองใหญ่บนพื้นที่ราบ

4) พื้นทีที่ราบเรียบที่มีความขรุขระของพื้นผิวดำ (Smooth Terrain with Low Surface Roughness) เนื่องจากมีสิ่งปกคลุมพื้นที่ที่ค่อนข้างสม่ำเสมอและมีขนาดเล็ก เช่น ทุ่งหญ้า พื้นที่เกษตรกรรม ส่งผลให้เกิดการไหลเวียนของอากาศที่สม่ำเสมอ และการปั่นป่วนและการผสมผสานของอากาศในแนวตั้งต่ำ ได้แก่ ทุ่งหญ้าในที่ราบ ทะเลทรายและพื้นที่เกษตรกรรมขนาดใหญ่

5) พื้นที่ในเขตเมือง (Urban area) ที่มีความขรุขระของผิวสูง (High surface roughness) เช่น ย่านใจกลางเมืองที่มีตึกสูงกระจายตัวหนาแน่นมาก เมืองที่มีอาคารพาณิชย์และโรงงานอุตสาหกรรมอยู่อย่างหนาแน่น

6) พื้นที่ในเขตเมือง (Urban area) ที่มีความขรุขระของผิวดำ (Low surface roughness) เช่น ชุมชนเมืองที่มีบ้านเรือนกระจายตัวอยู่อย่างเบาบาง เมืองที่มีอาคารไม่สูงมาก แต่มีสวนและลานโล่งล้อมรอบ ในการกำหนดสถานีอุตุนิยมวิทยา 20 สถานี เลือจากเงื่อนไข 6 ประเภทข้างต้น นำค่าพิกัดตำแหน่งส่งค่ายัง GEE เพื่อหาค่าทางฟิสิกส์ของพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ได้แก่ ค่าอัตราส่วนโบเวน (Bowen Ratio) ค่าอัลบิโด (Albedo) และความขรุขระผิวทางอุตุนิยมวิทยา ทั้งนี้ Google Earth Engine ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มคลาวด์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลภูมิสารสนเทศและการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) ที่พัฒนาโดยบริษัท Google ให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงประมวลผลและวิเคราะห์ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลภูมิสารสนเทศจำนวนมากผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้โดยการเขียนคำสั่งเรียกใช้งานด้วยภาษา Java ทั้งนี้จะสรุปการหาค่าชุดข้อมูลจากแหล่งที่มาดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1: ชุดข้อมูล GEE สำหรับวิเคราะห์ข้อมูล

ค่าทางกายภาพของพื้นที่ทางภูมิศาสตร์	ชื่อชุดข้อมูลที่ดึงจาก GEE
ค่าอัลเบโด	MODIS Albedo collection
อัตราส่วนไบนวน	ECMWF/ERA5-Land
ความขรุขระของพื้นผิวทางพลศาสตร์	USGS/SRTMGL1_003
PM 2.5	ECMWF/CAMS/NRT

ความขรุขระของผิวทางพลศาสตร์ (Atmospheric Surface Roughness) ต่างจากความขรุขระของผิวพื้น (Surface Roughness) ความขรุขระของผิวพื้นเป็นลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว ซึ่งบ่งบอกถึงความขรุขระของพื้นผิวนั้น เช่น ความสูงต่ำ หรือสิ่งกีดขวางต่างๆ ส่วนความขรุขระของผิวทางพลศาสตร์ (Lettau, 1969) พิจารณาถึงความขรุขระของพื้นผิวที่มีผลต่อการไหลของอากาศ งานวิจัยนี้ความขรุขระของผิวทางพลศาสตร์ใช้อ้างอิงจากทฤษฎีความเท่าเทียม (Oke, 2017) ความขรุขระของผิวทางพลศาสตร์เท่ากับ ความขรุขระของผิวพื้นในเขตเมือง ผู้วิจัยกำหนดให้ทุกลักษณะพื้นที่ที่ประมาณโดยหลักการเดียวกัน

## ขั้นตอนที่ 2: คำนวณค่าความยาว Obukov โดยทฤษฎี Monin Obukov Similarity Theory (MOST)

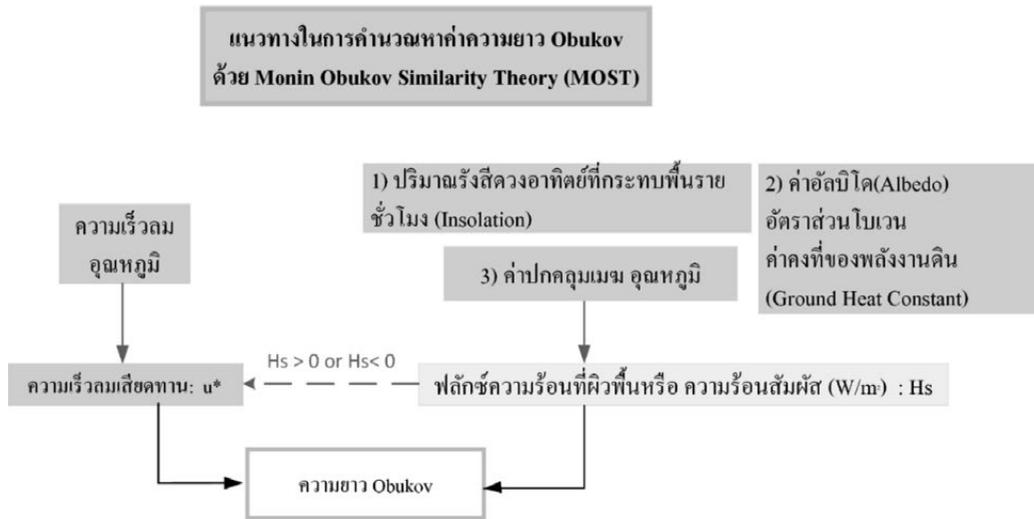
การศึกษานี้ใช้ทฤษฎีความคล้ายคลึงของ Monin-Obukhov (MOST) ในการคำนวณหาความยาว Obukov ทั้งนี้จากการหาค่าความยาว Obukhov (L) เป็นพารามิเตอร์สำคัญ โดยสมการพื้นฐานในการหาความยาว Obukov (L) คือ

$$L = - \frac{\rho C_p T u_*^3}{g H_s} \quad (1)$$

$u_*$  แทน ความเร็วลมเสียดทาน (Friction Velocity): m/s  $k$  แทน ค่าคงที่ของ Von Karman (0.41)  
 $g$  แทน ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (9.81 m/s<sup>2</sup>)  $T$  แทน อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย (K)  
 $H_s$  แทน ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวพื้นหรือ ความร้อนสัมผัส (W/m<sup>2</sup>)  $\rho$  แทน ความหนาแน่นของอากาศ (1.12 kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$  แทน ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศที่ความดันคงที่ (1004 J/kg/K)

สมการที่ (1) เป็นสมการที่ใช้หาค่าความยาว Obukov (Monin&Obukhov, 1954) คำนำเข้าสมการ นอกจากอุณหภูมิจะมี 1) ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ผิวพื้นหรือความร้อนสัมผัส ( $H_s$ ) และ 2) ความเร็วลมเสียดทาน ( $u_*$ ) ค่าที่นำไปป้อนสมการที่ (1) คำนวณจาก Monin Obukov Similarity Theory ( Foken, 2006) ทั้งนี้สูตรคำนวณมีความซับซ้อน ใช้สมการต่างชุดเมื่อค่าฟลักซ์ความร้อนที่ผิวพื้น ( $H_s$ ) มากกว่าหรือน้อยกว่า ศูนย์ สรุปแนวทางการคำนวณด้วยภาพที่ 3



**ภาพที่ 3:** แนวทางในการคำนวณตามทฤษฎี Monin Obukov Similarity Theory

แนวทางการหาความยาว Obukov จากภาพที่ 3 การหาฟลักซ์ความร้อนที่พื้นผิวหรือความร้อนสัมผัส ( $H_s$ ) ใช้ข้อมูล 1) ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์รายชั่วโมง (Insolation) คำนวณจากค่าพิคัดและเวลาสมการคำนวณจาก Stull (2012) 2) ค่าอัลบิโด อัตราส่วนโบเวน ใช้ข้อมูลจาก Google Earth Engine 3) ข้อมูลค่าปกคลุมเมฆ และอุณหภูมิจากสถานีอุตุนิยมวิทยา นำมาคำนวณได้ค่าความร้อนสัมผัส  $H_s$  การหาความเร็วลมเสียตทาน  $u^*$  จากทฤษฎี MOST ใช้สมการที่แตกต่างกันของสภาวะเสถียร (Hu et al., 2020) และสภาวะไม่เสถียร โดยใช้เงื่อนไขความร้อนสัมผัส  $H_s$  ถ้าค่ามากกว่าศูนย์ใช้สมการของสภาวะไม่เสถียร ถ้าความร้อนสัมผัส  $H_s$  น้อยกว่าศูนย์ใช้สมการของสภาวะเสถียร และเมื่อ  $H_s = 0$  อยู่ในสภาวะกลาง (Cheng & Brutsaert, 2005) ในการคำนวณหาความเร็วลมเสียตทาน ใช้ค่าอุณหภูมิและความเร็วลมรายสามชั่วโมงที่ได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยา ถ้าความเร็วลมมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการใน MOST จะคำนวณหาค่าไม่ได้ เกิดค่าหารด้วยศูนย์ จาก Mahrt (1998) วิจัยว่า กรณีนี้ให้แก้ไขข้อมูลโดยกำหนดว่า เมื่อข้อมูลความเร็วลมเท่ากับศูนย์ ให้แทนการคำนวณด้วยความเร็วลมอย่างน้อย 0.1 เมตรต่อวินาที เมื่อได้ข้อมูลหาฟลักซ์ความร้อนที่พื้นผิวหรือความร้อนสัมผัส  $H_s$  และค่าความเร็วลมเสียตทาน  $u^*$  คำนวณโดยสมการที่ 1 และนำผลสู่กระบวนการจำแนกเสถียรภาพอากาศต่อไป

### ขั้นตอนที่ 3: การจำแนกเสถียรภาพของอากาศ

งานวิจัยนี้สนใจเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูง เพราะเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าอากาศจมตัว ทำให้สะสมมลพิษบริเวณนั้น การจำแนกเสถียรภาพอากาศเป็นไปตามตารางที่ 2 (Seinfeld & Pandis, 2016) โดยเมื่อได้ค่า ความยาว Obukov นำมาจำแนกเสถียรภาพอากาศ หว่าอยู่ในช่วงของเสถียรภาพอากาศแบบใด

**ตารางที่ 2:** การจำแนกเสถียรภาพของอากาศ

เสถียรภาพอากาศ (Atmospheric Stability Class)	ช่วงความยาว Obukhov (L)
ไม่เสถียรสูง (Very Unstable)	$-100 \text{ m} \leq L < 0$
ไม่เสถียร (Unstable)	$105 \text{ m} \leq L < -100 \text{ m}$
กลาง (Neutral)	$LI > 105 \text{ m}$
เสถียร (Stable)	$100 \text{ m} < L \leq 105 \text{ m}$
เสถียรสูง (Very Unstable)	$0 < L \leq 100 \text{ m}$

ที่มา: Seinfeld and Pandis (2016)

**ขั้นตอนที่ 4: เปรียบเทียบค่า PM 2.5 กับจำนวนรายสามชั่วโมงของเสถียรภาพอากาศบนพื้นที่วิกฤตสูงสุด**

ปริมาณฝุ่น PM 2.5 จากข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาที่มีอากาศแบบเสถียรสูง สูงที่สุด โดยนำพิกัดสถานีไปนำเข้าเพื่อส่งออกข้อมูล PM 2.5 จาก GEE เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนเสถียรภาพของอากาศรายสามชั่วโมง ทั้งนี้จากค่ามาตรฐานของ PM 2.5 กำหนดโดย กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department - PCD) กำหนดว่า มาตรฐานคุณภาพอากาศและระดับเฝ้าระวังสำหรับ PM2.5 โดย มาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 37.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) มาตรฐานค่าเฉลี่ยรายปีไม่เกิน  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ค่า PM2.5 รายชั่วโมง ได้กำหนดระดับการเฝ้าระวังและผลกระทบต่อสุขภาพ ตามตารางที่ 3

**ตารางที่ 3: ปริมาณ PM 2.5 กับคุณภาพอากาศ กำหนดโดย กรมควบคุมมลพิษ**

ปริมาณ PM 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	คุณภาพอากาศ
0-25	ดี
26-37	ปานกลาง
38-50	เริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพ
51-90	ผลกระทบสูง
มากกว่า 90	ผลกระทบรุนแรง

ที่มา: Pollution Control Department (2023)

เนื่องจากปริมาณ PM 2.5 แต่ละชั่วโมงในอากาศ เกิดขึ้นจากสาเหตุหลักจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การเผาขยะ การเผาซึ่งหญ้า มลพิษจากเครื่องจักร เช่น ไอเสียจากรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ช่วงเวลาในการปล่อย PM 2.5 ในกิจกรรมของมนุษย์ผลที่ได้อาจไม่สอดคล้องกับค่าเสถียรภาพแบบเสถียรสูง ดังนั้นปริมาณของ PM 2.5 ที่เกิดขึ้นนั้น ปัจจัยทางภูมิศาสตร์ที่นำมาคำนวณหาเสถียรภาพอากาศจึงเป็นปัจจัยรอง ผู้วิจัยไม่ได้คาดหวังว่าผลของ PM2.5 จะสอดคล้องกับเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูง แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ลองเลือกพื้นที่ที่มีความวิกฤตมากที่สุดมา เพื่อหาความสัมพันธ์ที่อาจเป็นไปได้ ระหว่างความถี่ของเสถียรภาพของอากาศแบบเสถียรสูงและระดับ PM 2.5 โดยวัดเปรียบเทียบความถี่ของเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงกับคุณภาพอากาศ

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากข้อมูล 20 สถานีจากกรมอุตุนิยมวิทยา ในจังหวัดต่างๆ ได้แก่ น่าน จันทบุรี ลพบุรี บุรีรัมย์ แม่ฮ่องสอน พะเยา แพร่ สกลนคร ขอนแก่น อุทัยธานี พระนครศรีอยุธยา ราชบุรี กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) นครปฐม เชียงใหม่ (เมือง) ลำปาง นครสวรรค์ (ตากฟ้า) และสงขลา (หาดใหญ่) และข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดินและมลสารทางอากาศ (KU Tower) คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร นำพิกัดตำแหน่งของสถานี GEE สร้างขอบเขตรัศมีพื้นที่ 500 เมตร ได้ค่าอัตราส่วนโบเวน อัลบิโด และความขรุขระของผิวพลาศาสตร์ ตามตารางที่ 4 ทั้งนี้จากผลการกำหนดพิกัดและได้ผลตามตารางที่ 4 ของสถานีตรวจอากาศนั้น มีระยะห่างจากสถานีที่ครอบคลุมพื้นที่ รัศมีที่ครอบคลุม ไม่อาจเป็นตัวแทนของค่า เสถียรภาพอากาศทั้งจังหวัดได้ แต่งานวิจัยนี้อนุมานถึงจังหวัดเนื่องจากการใช้จุดพิกัดตำแหน่งมาศึกษา ไม่ใช่เนื้อที่ทั้งจังหวัด และนอกจากนี้ ค่า PM 2.5 ขึ้นกับกิจกรรมของมนุษย์ โดยแต่ละตำแหน่งมีค่าแตกต่างกัน จึงคิดเฉพาะบริเวณพิกัดนั้น

ตารางที่ 4: ข้อมูลตำแหน่งพื้นที่ ค่าอัตราส่วนโบเวนและค่าความขรุขระของผิวทางพลาศาสตร์ โดย GEE

สถานี/หอดูดุณิยมวิทยา	ละติจูด	ลองจิจูด	อัตราส่วนโบเวน	อัลบิโด	ความขรุขระผิว
KU Tower กรุงเทพ บางเขน	100.5700473	13.85466	1.71716	0.12538	3.51242
327501- เมือง จ.เชียงใหม่	98.97694444	18.79	0.27463	0.13397	2.95092
328201- เมือง จ.ลำปาง	99.51666667	18.28333333	0.31645	0.1439	7.47464
400301-ตากฟ้า จ.นครสวรรค์	100.5302778	15.34944444	0.59898	0.11832	1.95162
455301- บางนา กรุงเทพ	100.6061111	13.66638889	0.25167	0.13459	3.10951
568502- หาดใหญ่ จ.สงขลา	100.4333333	6.916666667	0.105	0.14163	3.79256
455201- กกม ศูนย์สิริกิตต์	100.56	13.72638889	1.32343	0.12917	5.47719
331401-ท่าวังผา จ.น่าน	100.8025	19.11055556	2.59633	0.16591	2.16525
480201-เมือง จ.จันทบุรี	102.1133333	12.50861111	0.48304	0.10823	2.91201
426201- เมือง จ.ลพบุรี	100.645	14.79972222	2.34513	0.15555	1.90628
436201- เมือง จ.บุรีรัมย์	103.2480833	15.22575	1.4632	0.18503	3.3957
300201-เมือง จ.แม่ฮ่องสอน	97.97577778	19.29897222	3.63551	0.14595	6.71436
310201-เมือง จ.พะเยา	99.9	19.13333333	1.02204	0.16257	1.70095
330201-เมือง จ.แพร่	100.1666667	18.16666667	1.28375	0.17168	1.28375
356201-เมือง จ.สกลนคร	104.1333333	17.15	1.49115	0.16034	2.79757
415301-เมือง จ.อยุธยา	100.7191667	14.53611111	1.57742	0.15556	1.98519
381301- ท่าพระ จ.ขอนแก่น	102.8166667	16.33333333	1.75479	0.15787	2.71699
410201-เมือง จ.อุทัยธานี	100.0116667	15.35222222	1.26834	0.16169	1.77506
424301-เมือง จ.ราชบุรี	99.79238889	13.48930556	1.4109	0.15861	2.36833
450401-ทองผาภูมิ กาญจนบุรี	98.63638889	14.74222222	1.45711	0.1458	9.48731
451301-เมือง จ.นครปฐม	99.97	14.01166667	1.19221	0.15486	2.15396

จากนั้นนำผลจากตารางที่ 4 และข้อมูลค่าปกคลุมเมฆ ความเร็วลมและอุณหภูมิ รายสามชั่วโมง ในปี 2023 จากกรมอุตุนิยมวิทยา มาคำนวณความยาว Obukov และนำผลมาจำแนกเสถียรภาพอากาศ และคำนวณหาสัดส่วนของเสถียรภาพของอากาศ ได้ผลตามตารางที่ 5

**ตารางที่ 5:** สัดส่วน (ร้อยละ)เสถียรภาพอากาศบนสถานีอุตุนิยมวิทยา ประเทศไทย 20 สถานีและจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานี/หอดูดาว	ชนิดพื้นที่	ความสูง	ไม่เสถียรสูง	ไม่เสถียร	กลาง	เสถียร	เสถียรสูง
KU Tower กรุงเทพฯ	เมือง	สูง	28.11	31.39	0.86	22.31	17.33
327501- เมือง จ.เชียงใหม่	ภูมิประเทศซับซ้อน	สูง	12.03	34.37	3.63	10.66	39.31
328201- เมือง จ.ลำปาง	ภูมิประเทศซับซ้อน	ต่ำ	43.97	1.79	1.78	1.13	51.37
400301- ตากฟ้านครสวรรค์	พื้นที่ราบ	ต่ำ	36.06	13.92	0.07	13.85	36.10
455301- บางนา กรุงเทพฯ	เมือง	สูง	9.06	40.69	0.24	29.95	20.07
568502- หาดใหญ่ จ.สงขลา	Flat Terrain	สูง	6.44	29.55	13.92	32.91	17.18
455201- กทม ศูนย์สิริกิตต์	เมือง	สูง	13.88	35.85	0.31	29.61	20.36
331401- ท่าวังผา จ.น่าน	ภูมิประเทศซับซ้อน	ต่ำ	36.98	9.4	0.63	3.91	49.70
480201- เมือง จ.จันทบุรี	พื้นที่ราบ	สูง	13.95	35.16	19.57	21.32	10.01
426201- เมือง จ.ลพบุรี	พื้นที่ราบ	ต่ำ	31.42	18.56	1.58	26.42	22.02
436201- เมือง จ.บุรีรัมย์	พื้นที่ราบ	ต่ำ	21.30	28.71	0.00	19.73	30.26
300201- เมือง จ.แม่ฮ่องสอน	ภูมิประเทศซับซ้อน	ต่ำ	42.11	4.35	0.66	3.59	49.29
310201- เมือง จ.พะเยา	ภูมิประเทศซับซ้อน	ต่ำ	29.49	15.45	1.62	7.78	45.66
330201- เมือง จ.แพร่	ภูมิประเทศซับซ้อน	ต่ำ	31.14	15.84	0.34	7.06	45.61
356201- เมือง จ.สกลนคร	ภูมิประเทศซับซ้อน	ต่ำ	10.39	39.60	0.03	26.26	23.72
415301- เมือง จ.อยุธยา	พื้นที่ราบ	ต่ำ	14.13	34.55	1.41	26.28	23.64
381301- ท่าพระ จ.ขอนแก่น	ภูมิประเทศซับซ้อน	สูง	33.10	16.50	0.45	6.42	43.53
410201- เมือง จ.อุทัยธานี	พื้นที่ราบ	ต่ำ	20.60	26.13	2.30	14.56	35.47
424301- เมือง จ.ราชบุรี	พื้นที่ราบ	สูง	15.46	32.92	0.63	21.56	29.42
450401- กองฟากภูมิ กาญจนบุรี	ภูมิประเทศซับซ้อน	ต่ำ	35.47	0.21	0.00	13.96	50.36
451301- เมือง จ.นครปฐม	เมือง	ต่ำ	25.04	22.87	2.07	21.78	28.24

งานวิจัยนี้เพื่อหาพื้นที่วิกฤติทางอากาศที่มีสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศแบบความเสถียรสูง (Very Stable) เพราะอากาศแบบเสถียรสูง มลพิษจมตัว จากตารางที่ 5 พบว่า 5 จังหวัดแรกที่มีสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศที่มีความเสถียรสูง มากที่สุด ได้แก่ ลำปาง ร้อยละ 51.37 กาญจนบุรี (ทองผาภูมิ) ร้อยละ 50.36 น่าน ร้อยละ 49.7 แม่ฮ่องสอน ร้อยละ 49.29 และพะเยา ร้อยละ 45.66 โดยลำดับที่ 6 จังหวัดแพร่ ร้อยละ 45.61 พบว่าพื้นที่เหล่านี้มีภูมิประเทศซับซ้อนในหุบเขาที่มีความขรุขระของพื้นผิวดำ ดังนั้น

สภาพภูมิศาสตร์นี้ ควรระมัดระวังควบคุมการปล่อยมลพิษเป็นพิเศษ ผลจากตารางที่ 5 มีข้อสังเกตผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมดังนี้ พื้นที่ราบมีแนวโน้มที่จะมีการกระจายตัวของเสถียรภาพอากาศที่สมดุลกว่าเมื่อพิจารณาความแตกต่างตามพื้นที่ในพื้นที่เมือง (เช่น กรุงเทพฯ, เชียงใหม่) มีสัดส่วนของสภาวะความไม่เสถียรและความเสถียรมากกว่าพื้นที่อื่นๆ ซึ่งอาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผล พื้นที่ที่มีความขรุขระสูงมีสัดส่วนของความไม่เสถียรสูงกว่าพื้นที่ที่มีความขรุขระต่ำ เกิดจากการเพิ่มการปั่นป่วนของอากาศเนื่องจากสิ่งก่อสร้างและโครงสร้างในเมือง พื้นที่ที่มีความขรุขระต่ำ เช่น เมืองนครปฐมกับกรุงเทพฯ นครปฐมมีแนวโน้มที่จะมีสภาพอากาศที่เสถียรมาก (Very Stable) สูงกว่ากรุงเทพฯ เป็นไปได้ว่าเพราะกรุงเทพฯ อยู่ใกล้ทะเลมากกว่านครปฐม ทั้งนี้การที่มีค่าสัดส่วนของอากาศแบบเสถียรสูงและแบบไม่เสถียรสูงมีค่าสูงทั้งสองกรณีในเขตเมืองใหญ่ แสดงถึงความผันผวนของสภาพอากาศในพื้นที่นั้น ๆ สภาวะกลางมีสัดส่วนน้อยมากในเกือบทุกพื้นที่ ยกเว้นบางพื้นที่ เช่น หาดใหญ่และจันทบุรี เกิดจากลักษณะภูมิอากาศเฉพาะของพื้นที่นั้น โดยอิทธิพลของลมทะเล และจังหวัดสกลนครที่เป็นแอ่งกระทะ เรียกว่าแอ่งสกลนคร ค่าสัดส่วนของเสถียรภาพสูงน้อยกว่าที่คาดไว้ ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังตามแนวทางของจังหวัดลำปางที่มีแอ่งกระทะทำให้เปอร์เซ็นต์ของอากาศเสถียรภาพสูง จึงคาดเดาว่าแอ่งสกลนครน่าจะมีสัดส่วนของเสถียรภาพสูงมากเช่นเดียวกับลำปาง แต่ผลไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ เนื่องจากจังหวัดสกลนครมีหนองหานเป็นแหล่งน้ำจืดขนาดใหญ่ ทำให้เกิดลม ดังนั้นอัตราส่วนของเสถียรภาพแบบเสถียรสูง จึงมีเพียงร้อยละ 23.8

เมื่อเลือกพื้นที่ตำแหน่งสถานีอุตุนิยมวิทยาในตัวเมืองจังหวัดลำปาง จังหวัดที่มีค่าเสถียรภาพสูงสุดจากการเปรียบเทียบใน 20 จังหวัด นำมาวิเคราะห์ ค่าฝุ่น PM 2.5 ว่าเกี่ยวข้องกับสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศหรือไม่ สิ่งสำคัญที่ต้องทราบคือในจากการวัดมีความถี่ชั่วโมงการตรวจวัดฝุ่นเพียงสามชั่วโมงต่อครั้ง และความเป็นจริง ปริมาณของ PM 2.5 ได้รับอิทธิพลหลักจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยมีปัจจัยทางภูมิศาสตร์เป็นปัจจัยรอง แม้เสถียรภาพอากาศเป็นแบบไม่เสถียรสูง มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นสูง ในเวลากลางวัน และค่า PM 2.5 จากกิจกรรมของมนุษย์จะสูง และมีแนวโน้มว่าจะฟุ้งกระจายมาจากบริเวณอื่น อย่างไรก็ตาม ผลจากการเปรียบเทียบโดยการนับจำนวนครั้งเป็นไปตามตารางที่ 6

#### ตารางที่ 6: จำนวนครั้งที่ปริมาณฝุ่น PM 2.5 เกิดขึ้นในค่าที่แตกต่างกัน จากช่วงของเสถียรภาพของอากาศ จังหวัดลำปาง

เสถียรภาพของอากาศ	PM2.5 น้อยกว่า 37.5		PM2.5 มากกว่า 37.5		รวม	ร้อยละเสถียรภาพ PM2.5 > 37.5
	จำนวนครั้ง	ร้อยละ	จำนวนครั้ง	ร้อยละ	จำนวนครั้ง	
ไม่เสถียรสูง (Very Unstable)	1,047	95.88	45	4.12	1,092	31.69
ไม่เสถียร (Unstable)	52	100.00	0	0.00	52	0.00
กลาง (Neutral)	42	97.67	1	2.33	43	0.70
เสถียร (Stable)	36	100.00	0	0.00	36	0.00
เสถียรสูง (Very Unstable)	1,581	94.28	96	5.72	1,677	67.61
รวม	2,758	95.10	142	4.90	2,900	100.00

แม้ว่าการนำข้อมูลฝุ่นจากลำปางเพียงหนึ่งแห่งไม่เพียงพอต่อการสรุปผลได้อย่างชัดเจน และข้อมูลของ PM2.5 ที่ได้จาก GEE ให้ผลค่าหลายค่าในเวลาเดียวกันเพราะการเก็บข้อมูลของ GEE ใช้หลายวิธีในพิกัดเดียวกัน การที่ผู้วิจัยเลือก GEE เพราะตำแหน่งจากสถานีตรวจวัดมลพิษจากกรมควบคุมมลพิษกับสถานีอุตุนิยมวิทยาต่างตำแหน่ง ต่างสถานที่กัน ทำให้ผลผิดพลาดมากขึ้น เมื่อกำหนดพิกัดจาก GEE สามารถดึงผลการตรวจวัดออกมาได้ สรุปจากตารางที่ 6

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนครั้งที่ปริมาณ PM 2.5 ในอากาศ เทียบกับความเสถียรภาพของอากาศ พบว่าปริมาณ PM 2.5 ส่วนใหญ่น้อยกว่า  $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  จึงสรุปได้ว่า ค่า PM 2.5 ปริมาณที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ 2758 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 95.1 ปริมาณ PM 2.5 ที่เริ่มส่งผลกระทบต่อสุขภาพจำนวน 142 ครั้ง จากทั้งหมด 2900 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 4.9 และในร้อยละ 4.9 นั้น จะอยู่ในช่วงสภาวะเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูง 96 ครั้ง หรือ ร้อยละ 67.6 เห็นได้ว่าเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงมีความสัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของ PM2.5 ทั้งนี้กิจกรรมของมนุษย์ในช่วงกลางวันที่เสถียรภาพอากาศเป็นแบบไม่เสถียรสูง และมลพิษจะฟุ้งกระจายออกจากแหล่งกำเนิดและในเวลาากลางคืนที่สภาวะเสถียรสูง อากาศจมน้ำเกิดการสะสมของมลพิษ ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นระหว่างสภาวะบรรยากาศที่มีเสถียรภาพสูงมากกับความเข้มข้นของ PM2.5 เฉพาะส่วนที่เกินมาตรฐานนั้น มีความสอดคล้องกัน แม้ว่าค่า PM 2.5 โดยภาพรวมส่วนใหญ่จะต่ำกว่าเกณฑ์อันตรายก็ตาม

## สรุป

การประยุกต์นำ The Monin-Obukhov Similarity Theory (MOST) และ Google Earth Engine (GEE) มาใช้เพื่อกำหนดพื้นที่ทางอากาศโดยใช้พื้นที่สถานีอุตุนิยมวิทยาดำเนินการศึกษาคณะ 20 แห่ง พบว่าสามารถนำมาใช้จำแนกพื้นที่ที่มีเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงได้ โดยพื้นที่ที่มีสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงที่ควรระวังเป็นพิเศษ พบว่าเป็นพื้นที่ภูมิประเทศซับซ้อนและมีความขรุขระต่ำ ยกเว้นที่ปัจจัยตามภูมิศาสตร์อื่นๆ เช่น แหล่งน้ำ เป็นต้น เป็นผลให้เสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงของพื้นที่ภูมิประเทศซับซ้อนและมีความขรุขระต่ำ ไม่ได้มีเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงทุกพื้นที่ นอกจากนี้ความแตกต่างระหว่างเมืองใหญ่ตึกสูงและเมือง โดยในพื้นที่เมืองใหญ่ อย่างกรุงเทพฯ มีการกระจายของชั้นเสถียรภาพต่างๆมากกว่าเมือง เป็นผลจากปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมืองและความขรุขระของพื้นผิวที่สูงกว่า นอกจากนี้เมืองใหญ่ที่ใกล้ทะเลมากกว่าส่งผลให้เสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูงมีค่าน้อยกว่า นอกจากนี้ผลการศึกษาดังกล่าว พบว่า มีความสอดคล้องในการสะสม PM 2.5 ในช่วงที่อากาศมีความเสถียรสูง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ากระบวนการวิจัยโดยวิธี MOST และใช้ GEE สามารถใช้หาเสถียรภาพได้ทั้งแบบเสถียรสูงและไม่เสถียร งานวิจัยนี้สนใจพื้นที่วิกฤติ แบบเสถียรสูง พื้นที่ในการสะสมมลพิษ จะเห็นได้ว่า สามารถเลือกศึกษาสภาวะอากาศที่จมน้ำ หรือสภาวะอากาศที่กระจายตัว และสามารถเลือกพื้นที่และเวลาใดๆ ในการเฝ้าระวัง ณ พิกัดใดๆ ในเวลาใดๆ ทั้งนี้เพื่อสามารถนำกระบวนการวิจัยนี้มาเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยอื่นๆต่อไป

ข้อมูลนี้มีประโยชน์ในการวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศและการออกแบบนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีสัดส่วนของสภาวะความเสถียรสูงมากซึ่งเสี่ยงต่อการสะสมของมลพิษในอากาศ

## ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้จะนำข้อมูลมาให้เกิดประโยชน์ดังนี้

- 1) การจัดการคุณภาพอากาศเฉพาะพื้นที่ โดยการนำกลยุทธการจัดการคุณภาพอากาศที่เหมาะสมกับแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีแนวโน้มเกิดสภาวะเสถียรภาพสูงมาก เพื่อลดการสะสมของมลพิษ
- 2) เพิ่มการตรวจสอบ โดยการจัดตั้งเครือข่ายการตรวจสอบที่ครอบคลุมมากขึ้นในพื้นที่ที่มีสภาวะเสถียรภาพสูงมากบ่อยครั้ง เพื่อเข้าใจพลวัตคุณภาพอากาศในท้องถิ่นได้ดีขึ้น
- 3) การวางผังเมือง การพิจารณาเสถียรภาพของบรรยากาศเข้าสู่การวางผังเมืองและการพัฒนา โดยเฉพาะในเมืองที่ตั้งอยู่ในภูมิภาคชบช้อน

นอกจากนี้ข้อเสนอแนะทางการวิจัยเพิ่มเติมโดย

- 1) ศึกษาพื้นที่ทุกจังหวัดที่มีสถานีอุตุนิยมวิทยา เพื่อศึกษาวิเคราะห์ผล และเพื่อการจัดการคุณภาพอากาศในแต่ละพื้นที่
- 2) ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จาก GEE ที่มีข้อมูลมากกว่า 10 ปี นำมาวิจัยหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพอากาศได้ เช่น การนำมาทำนายการเปลี่ยนแปลงจากป่าสู่เมือง ค่าเสถียรภาพอากาศจะ เปลี่ยนแปลงอย่างไร
- 3) ศึกษาเชิงลึกเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพของบรรยากาศและความเข้มข้นของมลพิษ

โดยพิจารณาความแปรปรวนตามฤดูกาลและแหล่งกำเนิดมลพิษในท้องถิ่น

- 4) แนวโน้มของการสะสมของมลพิษต่างๆ เช่น PM 2.5 PM10 CO2 SO2 เป็นต้น บนพื้นที่ที่มีเสถียรภาพของอากาศ ต่างกัน ทั้งนี้แหล่งข้อมูลจาก Google Earth Engine สามารถดึงข้อมูลได้ ทั้งสารพิษฝุ่นและอื่นๆ เป็นต้น

- 5) นำข้อมูลจาก Google Earth Engine ศึกษาพื้นที่เฉพาะที่สนใจโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นช่องกริดย่อย หาความยาว Obukov และจำแนกเสถียรภาพอากาศ หาสัดส่วนของเสถียรภาพอากาศแบบเสถียรสูง ในแต่ละกริดย่อยนำผลมารวมกันเพื่อหาพื้นที่วิกฤติในโครงกว้าง และนำผลที่ได้มากำหนดพื้นที่วิกฤติทางอากาศโดยเหมาะสม โดยกำหนดเกณฑ์ที่เหมาะสม และในที่สุดสามารถทำแผนที่วิกฤติทางอากาศได้ นอกจากนี้จะทำการกำหนดในการหาพื้นที่ที่อากาศมีแนวโน้มในการกระจายตัวได้

- 6) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาพื้นฐานรายชั่วโมง นำข้อมูลจาก Google Earth Engine มาเพื่อหาเสถียรภาพอากาศ ที่พิกัดและเวลาขณะชั่วโมงใดๆ เพื่อเฝ้าระวังจากกรณีการกระจายตัวของอากาศ เช่น ขณะเกิดเพลิงไหม้ เป็นต้น หรือกรณีที่อากาศจ่มตัวเกิดการสะสมมลพิษ

การพัฒนานโยบายโดยการสร้างนโยบายที่คำนึงถึงความแปรปรวนของเสถียรภาพบรรยากาศในภูมิภาคต่างๆ ของไทย เพื่อจัดการคุณภาพอากาศในระดับประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้การสร้างตระหนักแก่สาธารณะโดยเพิ่มความตระหนักของประชาชนเกี่ยวกับผลกระทบของลักษณะทางภูมิศาสตร์ในท้องถิ่นต่อคุณภาพอากาศ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีแนวโน้มเกิดสภาวะบรรยากาศที่เสถียรสูงและในแนวทางสหวิทยาการโดยส่งเสริมความร่วมมือระหว่างนักอุตุนิยมวิทยา นักวางผังเมือง และนักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม เพื่อพัฒนาแนวทางแบบองค์รวมในการจัดการคุณภาพอากาศ

การนำข้อเสนอแนะเหล่านี้ไปปฏิบัติ จะช่วยให้ประเทศไทยพัฒนายุทธศาสตร์การจัดการคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและเฉพาะเจาะจงกับแต่ละพื้นที่ โดยคำนึงถึงลักษณะเฉพาะทางบรรยากาศและภูมิศาสตร์ของแต่ละภูมิภาค

## เอกสารอ้างอิง

- Arya, S. P. (2001). *Introduction to Micrometeorology*. Academic Press.
- Aubinet, M. (2008). Eddy covariance CO<sub>2</sub> flux measurements in nocturnal conditions: an analysis of the problem. *Ecological applications*, 18 (6), 1368-1378. <https://doi.org/10.1890/06-1336.1>
- Cheng, Y., & Brutsaert, W. (2005). Flux-profile relationships for wind speed and temperature in the stable atmospheric boundary layer. *Boundary-Layer Meteorology*, 114 (3), 519-538. <https://doi.org/10.1007/s10546-004-1425-4>
- Davenport, A. G., Grimmond, C. S. B., Oke, T. R., & Wieringa, J. (2000, May). *Estimating the roughness of cities and sheltered country*. In Preprints of the 12th Conference on Applied Climatology (pp. 96–99). American Meteorological Society.
- Finnigan, J. (2000). Turbulence in plant canopies. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 32 (1), 519-571. <https://doi.org/10.1146/annurev.fluid.32.1.519>
- Foken, T. (2006). 50 years of the Monin–Obukhov similarity theory. *Boundary-Layer Meteorology*, 119, 431-447. <https://doi.org/10.1007/s10546-006-9048-6>
- Hu, X. M., Klein, P. M., Guo, Z., & Zhou, Y. (2020). Evaluation of Monin-Obukhov similarity theory under strong stable atmospheric stratification. *Boundary-Layer Meteorology*, 176 (1), 31-52.
- Kamthonkiat, D., Thanyapraneeekul, J., Nuengjumnong, N., Ninsawat, S., Unapumnuk, K., & Vu, T. T. (2021). Identifying priority air pollution management areas during the burning season in Nan Province, Northern Thailand. *Environment, Development and Sustainability*, 23 (4), 5865-5884. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00850-7>
- Kantha, L., & Luce, H. (2018). Mixing coefficient in stably stratified flows: A new perspective. *Geophysical Research Letters*, 45 (17), 8830-8837.
- Lettau, H. (1969). Note on aerodynamic roughness-parameter estimation on the basis of roughness-element description. *Journal of Applied Meteorology (1962-1982)*, 8 (5), 828-832. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1969\)008<0828:NOARPE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1969)008<0828:NOARPE>2.0.CO;2)
- Mahrt, L. (1998). Stratified atmospheric boundary layers and breakdown of models. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 11 (3), 263-279. <https://doi.org/10.1007/s001620050093>
- Mohan, M., & Siddiqui, T. (1998). Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification. *Atmospheric Environment*, 32 (21), 3775-3781. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(98\)00109-5](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(98)00109-5)
- Monin, A., & Obukhov, A.M. (1954). Basic laws of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere. *Contributions of the Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences*, 151, 163-187.
- Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. A. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.
- Oke, T. R. (2004). Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. In *Air pollution modelling and its application XVII* (pp. 615–631). Springer.

- Pollution Control Department (2023, July 5). *Thailand air quality index announcement B.E. 2566*.  
[https://www.pcd.go.th/pcd\\_news/30028/](https://www.pcd.go.th/pcd_news/30028/)
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*. John Wiley & Sons.
- Stull, R.B. (2012). *An introduction to boundary layer meteorology* (Vol. 13). Springer Science & Business Media.
- Whiteman, C. D. (2000). *Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications*. Oxford University Press.
- Yan, M., Liu, J., & Wang, Z. (2017). Global climate responses to land use and land cover changes over the past two millennia. *Atmosphere*, 8 (4), 64. <https://doi.org/10.3390/atmos8040064>
- Yaung, K. L., Chidthaisong, A., Limsakul, A., Varnakovida, P., & Nguyen, C. T. (2021). Land use land cover changes and their effects on surface air temperature in Myanmar and Thailand. *Sustainability*, 13 (19), 10942. <https://doi.org/10.3390/su131910942>

