การศึกษาการปรับแก้การสะท้อนในชั้นบรรยากาศด้วยเครื่องมือเซนทูคอร์
The Study of Atmospheric Correction by Sen2Cor

ภูกฤษ ศรีวิลาศ[1,*] สรวิศ สุภเวชย์[2] และ อนุเผ่า อบแพทย์[3]

[1,2,3] วิศวกรรมสำรวจและภูมิสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

** Corresponding author; E-mail address: Phukrit.s@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับแก้การสะท้อนของข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม Sentinel-2 ข้อมูลบนชั้นบรรยากาศ (Top of Atmosphere : TOA) เป็นข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (Bottom of Atmosphere : BOA) ด้วยเครื่องมือเซนทูคอร์ จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือเซนทูคอร์สามารถปรับเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ (Configuration : L2A_GIPP.xml) ให้สอดคล้องไปตามพื้นที่ได้ ทั้งหมด 2 เงื่อนไข ได้แก่ คำนวณร่วมกับค่าความสูงภูมิประเทศ (DEM) และปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้จะแสดงผลลัพธ์ข้อมูลหลังการปรับค่าพื้นฐาน โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงสถิติ จากการทดสอบปรับแก้เงื่อนไขความสูงภูมิประเทศในพื้นที่ลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ พื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือ พื้นที่ราบลุ่มบริเวณภาคกลาง พื้นที่ราบภาคอีสาน และพื้นที่บริเวณภาคใต้ ความสูงภูมิประเทศในแต่ละพื้นที่มีความสัมพันธ์กับค่าความแตกต่างของประมาณละอองลอยในบรรยากาศ (Aerosol Optical Thickness : AOT) ระหว่างข้อมูลที่ไม่ได้ใส่เงื่อนไขความสูงภูมิประเทศกับข้อมูลที่ใส่เงื่อนไขความสูงภูมิประเทศ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในพื้นที่ทดสอบอยู่ระหว่าง - 0.82 ถึง - 0.95 สำหรับปริมาณโอโซนในประเทศไทยที่ตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรมีปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศอยู่ระหว่าง 235 – 275 ด็อปสัน จึงต้องคำนวณหาค่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย โดยได้สร้างสมการแบบจำลองคำนวณปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศพื้นที่ประเทศไทย $y = 2E\text{-}05x^3 - 0.0105x^2 + 1.3818x + 320.22$ โดย x แทนวันของปี (Day of Years), y แทน ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทยหน่วยเป็นด็อปสัน

คำสำคัญ: เซนทูคอร์, ข้อมูลบนชั้นบรรยากาศ, ปริมาณละอองลอยในชั้น-บรรยากาศ, ความสูงภูมิประเทศ, ด็อปสัน

Abstract

This research studies about the atmosphere correction data of Top of Atmosphere (TOA) to Bottom of Atmosphere (BOA) obtained from Sentinel-2 satellite by Sen2Cor. The study finds that Sen2Cor can adjust the basic default correction (Configuration: L2A_GIPP.xml) to be consistent with the area by two conditions; calculated together with the digital elevation model (DEM) and the amount of ozone in the atmosphere. In addition, this study also shows the results of the data after corrected basis value using a statistical comparison method. From the test to correct the conditions of the terrain elevation in different areas, including the high area in the north, the lowland area in the central region, the plain area in the northeast, and the southern area, the digital elevation models (DEMs) in each area which related to the difference of the aerosol optical thickness (AOT) between the terrain elevation data with condition and terrain elevation data without condition have coefficient of determination in the test region between - 0.82 and - 0.95. As the amount of ozone in the atmosphere of Thailand which located near the equator is between 235 - 275 DU, therefore, it must be calculated to be appropriate for the area of the country. A model is created to calculate the ozone value of Thailand area equal to $y = 2E\text{-}05x^3 - 0.0105x^2 + 1.3818x + 320.22$ where x represents the Day of Years and y represents the amount of ozone in the atmosphere of the Thailand in units of Dobson.

Keywords: Sen2Cor, Top of Atmosphere, Aerosol Optical-Thickness, Digital Elevation Model, Dobson

1. คำนำ

Sentinel-**2** Atmosphere **Cor**rection หรือ Sen2Cor (เซนทูคอร์) เป็นเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นโดยองค์การอวกาศแห่งสหภาพยุโรป (The European Space Agency : ESA) สำหรับประมวลผลโดยนำข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel -2 ข้อมูลบนชั้นบรรยากาศ (Top of Atmosphere : TOA) ผลิตภัณฑ์ระดับ L1C มาสร้างแบบจำลองต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาผลรวมละอองลอยในอากาศ และจำแนกประเภทของข้อมูล จากนั้นปรับแก้ค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น เป็นค่าสะท้อนแสงพื้นผิวและจัดเก็บเป็นข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (Bottom of Atmosphere : BOA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ระดับ L2A

เนื่องจากดาวเทียม Sentinel-2 เป็นดาวเทียมระบบ Passive เป็นการรับรู้ระยะไกลที่อาศัยพลังงานจากแสงอาทิตย์ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์เดินทางออกจากแหล่งกำเนิดผ่านชั้นบรรยากาศจะกระทบกับวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ระหว่างแหล่งกำเนิดกับพื้นผิวโลก โดยพลังงานเหล่านั้นจะส่งผ่านพลังงาน (Transitive) ได้บางส่วน ส่วนที่ผ่านได้จะสะท้อนพลังงาน (Reflect) กับวัตถุระหว่างบรรยากาศหรือพื้นผิวโลก บางส่วนจะถูกดูดกลืนพลังงาน (Absorb) กักเก็บในวัตถุ พลังงานแสงอาทิตย์จะถูกปลดปล่อยออกมาในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.1 นาโนเมตร – 10 เซนติเมตร พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 0.1 ไมครอน จะถูกดูดกลืนโดยไนโตรเจนและออกซิเจน ดูดกลืนจนหมดที่ความสูง 90 – 200 กิโลเมตรจากผิวโลก พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.1 – 0.2 ไมครอน จะเดินทางถึงช่วงความสูง 50 – 110 กิโลเมตร และจะถูกดูดกลืนจนหมดจากปฏิกิริยาโฟโตดิสโซซิเอชัน(ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนเกิดเป็นโอโซน) พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 0.2 – 0.3 ไมครอน จะเดินทางมาถึงช่วง 30 – 60 กิโลเมตร และถูกดูดกลืนในช่วงความสูงดังกล่าว พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 0.3 ไมครอน จะเดินทางมายังพื้นผิวโลกโดยบางส่วนจะถูกดูดกลืนด้วยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (เสริม จันทร์ฉาย, 2560)

การรับรู้เกิดจากปริมาณพลังงานที่ได้ในแต่ละพื้นที่จะมีสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยวัตถุต่างชนิดกัน จะมีลักษณะการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีที่แตกต่างกันไป (GISTDA, 2548) ค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นจะถูกปรับสัดส่วนและจัดเก็บเป็นข้อมูลบนชั้นบรรยากาศ (TOA) การจะได้มาซึ่งข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (BOA) จึงจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือสำหรับการประมวลผล โดย Sen2Cor จะเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เพราะถูกคิดค้นและพัฒนาโดย ESA

ในงานวิจัยนี้ศึกษาเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ (Configuration) ของเครื่องมือ Sen2Cor ทั้ง 2 เงื่อนไขจากทั้งหมด 4 เงื่อนไขในไฟล์ L2A_GIPP.xml (Ground Image Processing Parameters) ได้แก่ เงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Set DEM) และเงื่อนไขปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone)

2. วัตถุประสงค์

ศึกษาเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ (Configuration) ของเครื่องมือ Sen2Cor เงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Set DEM) และเงื่อนไขปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone) ที่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย

3. การศึกษาการประมวลผลเครื่องมือ Sen2Cor และเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ (Configuration)

การทำงานของเครื่องมือ Sen2Cor จะแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ ส่วนก่อนการประมวลผล (Pre Process) ส่วนการประมวลผล (Processing) และส่วนหลังการประมวลผล (Post Process)

การประมวลผลจะเริ่มต้นด้วยส่วนก่อนประมวลผล จะครอบคลุมการสร้างที่จัดเก็บผลลัพธ์ (ผลลัพธ์ข้อมูล L2A ที่ได้จากการประมวลผลด้วยเครื่องมือ Sen2Cor) การเรียกข้อมูลอธิบายข้อมูล (Metadata) การเรียกเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ (Configuration) การเรียกข้อมูลสิ่งปกคลุมพื้นผิวจากข้อมูลโครงการริเริ่มเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศขององการอวกาศแห่งสหภาพยุโรป (ESA Climate Change Initiative Land Cover : ESA-CCI LC) และเรียกข้อมูลค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นเพื่อเตรียมสำหรับการประมวลผลในส่วนการประมวลผล

Sen2Cor จะเริ่มต้นประมวลผลด้วยการเรียกข้อมูลค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นมาสร้างแบบจำลองต่าง ๆ สำหรับการจำแนกประเภทของพื้นที่ (Scene Classification : SC) โดยจำแนกเป็น 11 ประเภท (ดังรูปที่ 1)

Label	Classification
0	NO_DATA
1	SATURATED_OR_DEFECTIVE
2	DARK_AREA_PIXELS
3	CLOUD_SHADOWS
4	VEGETATION
5	NOT_VEGETATED
6	WATER
7	UNCLASSIFIED
8	CLOUD_MEDIUM_PROBABILITY
9	CLOUD_HIGH_PROBABILITY
10	THIN_CIRRUS
11	SNOW

รูปที่ 1 ประเภทของพื้นที่ที่จำแนกได้ของข้อมูล Scene Classification (European Space Agency)

จากนั้นนำเข้าข้อมูลสิ่งปกคลุมพื้นผิว ESA-CCI LC และข้อมูลค่าสะท้อนแสงในช่วงความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร เพื่อประมวลผล Atmosphere Correction มาคำนวณ Visible Index Calculate เพื่อปรับค่าสะท้อนแสงของแต่ละช่วงคลื่นด้วย Look Up Tables : LUTs (เครื่องมือแปลงค่าสีหรือช่วงของสี ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ ให้อยู่ในช่วงค่าของสีที่กำหนดไว้) (ESA, 2021)และประมวลความหนาละอองลอยในบรรยากาศ (Aerosol Optical Thickness : AOT) ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (Water Vapor : WV) และประมวลผลค่าสะท้อนแสงพื้นผิว.(Surface Reflectance) ในแต่ละช่วงคลื่น ซึ่งเป็นข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (BOA)

ส่วนหลังการประมวลผล (Post Process) จะเริ่มด้วยการนำข้อมูลที่ได้จากส่วนการประมวลผล มาจัดให้อยู่ในรูปแบบไฟล์ .SAFE ของข้อมูลที่มีขนาดของข้อมูล (Pixel size) 20 เมตร จากนั้นนำข้อมูล 20 เมตร มาประมวลผล Resampling เป็นข้อมูลที่มีขนาด 60 เมตร และประมวลผลข้อมูล 10 เมตร

ในงานวิจัยนี้แสดงจะศึกษาการปรับค่าตั้งต้นพื้นฐานในการปรับแก้ (Configuration : L2A_GIPP.xml) ของเครื่องมือเซนทูคอร์ 2 เงื่อนไข ดังนี้

3.1 เงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Set DEM)

ดาวเทียม Sentinel - 2 เป็นดาวเทียมระบบ Passive จำเป็นต้องอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ในการเก็บข้อมูล ความสูงต่ำของภูมิประเทศจะมีผลต่อค่าสะท้อนแสงในพื้นที่ที่มีความสูงแตกต่างกัน 2 ประการ ได้แก่ ปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศ และเงาที่เกิดจากความสูงที่แตกต่างกันของภูมิประเทศ

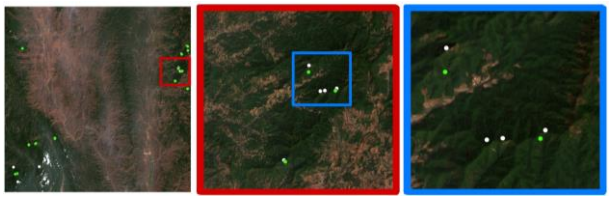
เมื่อตั้งเงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ การประมวลผลค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นจะถูกปรับแก้สัดส่วนของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากสัณฐานของพื้นที่ และปรับแก้ค่าสะท้อนแสงในบริเวณที่เกิดเงาจากความสูงภูมิประเทศให้มีความสอดคล้องกับพื้นที่มากขึ้น

(a) (b) (c)

รูปที่ 2 (a) ข้อมูลบนชั้นบรรยากาศ (Top of Atmosphere : TOA) (b) ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (Bottom of Atmosphere : BOA) ที่ได้จากเครื่องมือ Sen2Cor ไม่ได้นำความสูงภูมิประเทศมาร่วมคำนวณ (c) ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (Bottom of Atmosphere : BOA) ที่ได้จากเครื่องมือ Sen2Cor และปรับแก้เงื่อนไขใส่แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) ของพื้นที่ อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ข้อมูลวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2565 (True Color)

จากรูปที่ 2 การกำหนดเงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Set DEM) ข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่นจะถูกปรับแก้ผลกระทบจากเงาเนื่องจากลักษณะที่แตกต่างกันของความสูงภูมิประเทศ โดยเฉพาะพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ติดเงาที่เกิดจากความสูงภูมิประเทศก็จะถูกปรับแก้ด้วย

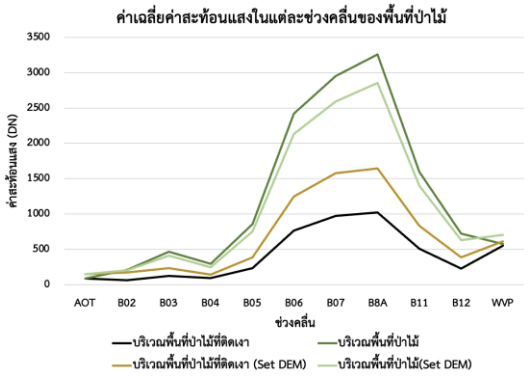
จากนั้นทดสอบสุ่มจุดในพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด 30 จุด จากข้อมูลที่มีลักษณะเป็นพื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือ (Sentinel-2 Grid T47QLA) เป็นพื้นที่บริเวณ อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน ข้อมูลวันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2565 แบ่งเป็นจุดบนพื้นที่ป่าไม้ที่อยู่บริเวณเงาของสัณฐานบดบังพื้นที่ (เป็นพื้นที่เงา) 15 จุด และพื้นที่ป่าไม้ปกติ 15 จุด (ดังรูปที่ 3a, 3b และ 3c)



(a) (b) (c)

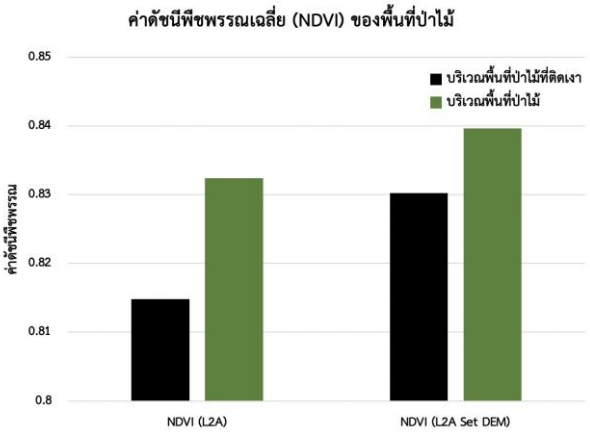
รูปที่ 3 (a) การสุ่มจุดพื้นที่ป่าไม้โดยรวมของพื้นที่ (b) และ (c) ตัวอย่างการสุ่มจุดพื้นที่ป่าไม้เฉพาะพื้นที่สีขาวแทนพื้นที่ป่าไม้ที่ที่อยู่บริเวณพื้นที่เงา สีเขียวแทนพื้นที่ป่าไม้ปกติ พื้นที่อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2565 (True Color)

นำจุดทั้งหมดมาหาค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นของข้อมูล L2A ระหว่างข้อมูลที่ไม่ได้ปรับแก้เงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ กับข้อมูลที่ปรับแก้เงื่อนไขความสูงภูมิประเทศ ได้กราฟในลักษณะดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นข้อมูล พื้นที่ที่เป็นป่าไม้บริเวณที่ไม่ติดเงาและติดเงา (Set DEM เป็นข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขความสูงภูมิประเทศลงในการตั้งค่าพื้นฐานการปรับแก้ของเครื่องมือเซนทูคอร์)

จากรูปที่ 4 แสดงค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นของพื้นที่ป่าไม้ที่ไม่ติดเงาและพื้นที่ป่าไม้ที่ติดเงา ค่าสะท้อนแสงของพื้นที่ป่าไม้ที่ติดเงา (เส้นสีดำ) ในแต่ละช่วงคลื่นจะมีปริมาณที่น้อยกว่าค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นของพื้นที่ป่าที่ไม่ติดเงา (เส้นสีเขียวเข้ม) ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นประเภทเดียวกับ (พื้นที่ป่าไม้) หากกำหนดเงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Set DEM) ค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นของพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นพื้นที่เงาจะถูกปรับตัวสูงขึ้น (เส้นสีน้ำตาล) ใกล้เคียงกับค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นของพื้นที่ป่าไม้มากขึ้น สร้างดัชนีต่าง ๆ ที่ใช้ข้อมูลค่าสะท้อนแสงก็จะมีความถูกต้องมากขึ้น เช่น การหาค่าดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) ของข้อมูลในพื้นที่ดังกล่าว จะได้ค่าดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแท่งแสดงค่าเฉลี่ยค่าดัชนีพืชพรรณของพื้นที่ป่าไม้

ค่าดัชนีพืชพรรณในพื้นที่ทดลองดังกล่าวควรจะมีปริมาณของค่าดัชนีพืชพรรณที่ใกล้เคียงกัน (เป็นประเภทป่าไม้เหมือนกัน) จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า การปรับเงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Set DEM) ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณของพื้นที่ป่าไม้ที่เป็นพื้นที่เงากับพื้นที่ป่าไม้ปกติ มีความใกล้เคียงกันมากขึ้น ทำให้ทราบว่าการปรับเงื่อนไขแบบจำลองความสูงทำให้ข้อมูลมีความใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่มากขึ้น

3.2 เงื่อนไขปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone)

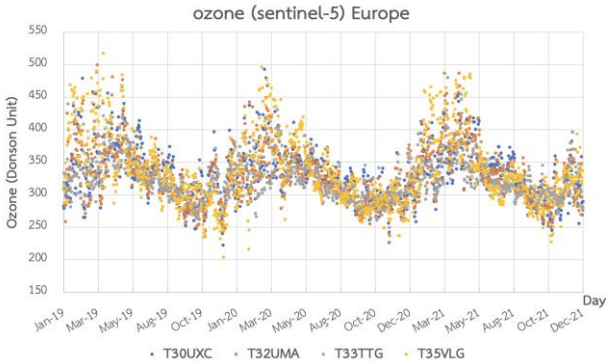
ค่าเริ่มต้นปริมาณโซนในชั้นบรรยากาศที่ทาง ESA ได้กำหนดไว้มีค่าเท่ากับ 331 ด็อปสัน (Dobson เป็นหน่วยการวัดปริมาณโอโซนรวมในชั้น

บรรยากาศ) ซึ่งคำนวณมากจากปริมาณโอโซนพาะเจาะจงพื้นที่ของกลุ่มผู้ผลิตดาวเทียม ไม่ได้เป็นค่าประมาณที่ได้จากพื้นที่ประเทศไทย จึงจำเป็นต้องศึกษาปริมาณโอโซนในพื้นที่ยุโรป (พื้นที่ของกลุ่มผู้ผลิตดาวเทียม) เพื่อเป็นแนวทางสำหรับหาค่าปริมาณโอโซนที่เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย

เริ่มต้นการวิเคราะห์ปริมาณโอโซนในทวีปยุโรปจากผลิตภัณฑ์ Sentinel-5P NRTI O3: Near Real-Time Ozone ข้อมูลรายวันตั้งแต่ปี 2019 – 2021 ในพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ของทวีปยุโรป (อ้างอิงพื้นที่จาก Grid ของ Sentinel-2) ได้แก่ T30UWD (London England) T34VFN(Helsinki Finland) T32UMA(Frankfurt Germany) และ T33TTG (Rome Italy) ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 พื้นที่ที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของทวีปยุโรป อ้างอิงจาก Grid ของข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2

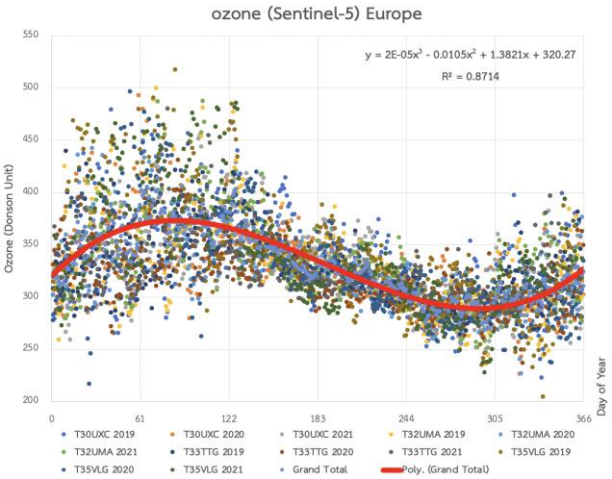
ข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ Sentinel-5P NRTI O3: Near Real-Time Ozone จะเป็นปริมาณโอโซนรายวันมีหน่วยเป็นมิลลิโมลต่อตารางเมตร ($mmol/m^2$) จำเป็นต้องแปลงเป็นด๊อปสันก่อนเพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบข้อมูล โดยสถาบันอวกาศรอยัลเบลเยียม (Royal Belgian Institute for Space Aeronomy) ได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยมิลลิโมลกับหน่วยด๊อปสัน โดย 1 หน่วยมิลลิโมลจะเท่ากับ 2,241.3986 ด๊อปสัน หลังจากแปลงค่าเป็นด๊อปสันแล้ว วิเคราะห์ข้อมูลด้วยด้วยเครื่องมือ Zonal Statistic (จะได้ค่าเฉลี่ยปริมาณโอโซนในพื้นที่) ได้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศรายวันในแต่ละพื้นที่ มีปริมาณดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ค่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศรายวัน ปี 2019 – 2021 ของทวีปยุโรป

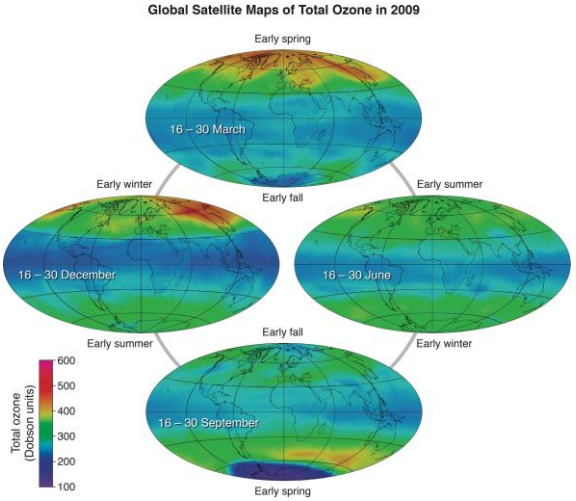
จากรูปที่ 7 จะแสดงถึงปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ ในแต่ละปี (ปี 2019 – 2021) มีลักษณะเป็นวัฏจักรตามช่วงเวลาของปี (ตามฤดูกาล)

หากปรับลักษณะของกราฟให้เป็นวันของปี (ข้อมูลรายปี) ได้รูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศรายวัน (วันของปี Day of Years) ปี 2019 – 2021 ของทวีปยุโรป

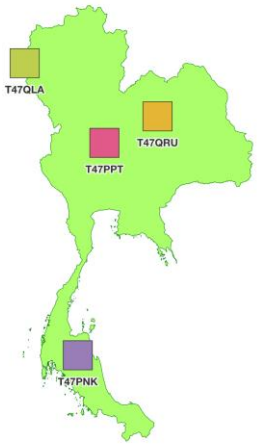
จากรูป 8 รูปแบบของค่าโอโซนในช่วงต้นปี มีปริมาณที่สูงและลดลงในช่วงปลายปี เป็นวัฏจักรตามฤดูกาล มีค่าเฉลี่ยของปริมาณโอโซนทั้งปีประมาณ 331.16 ด๊อปสัน ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าค่าพื้นฐานปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศที่เครื่องมือ Sen2Cor



รูปที่ 9 ปริมาณโอโซนรวมของแต่ละช่วงเวลาตามฤดูกาล ปี 2009 (World Meteorological Organization)

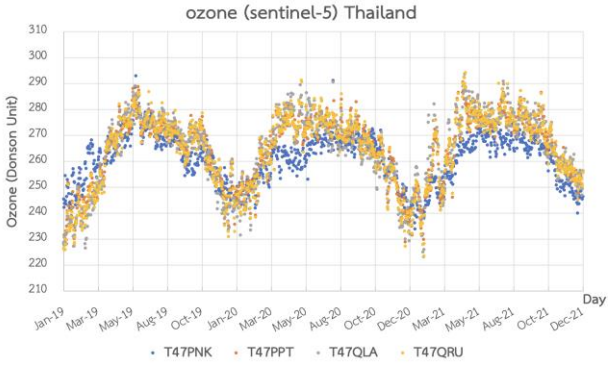
จากรูปที่ 9 แสดงวัฏจักรของปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ จะเห็นว่าในแต่ละพื้นที่มีปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกัน บริเวณพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตร ตั้งแต่เส้นทรอปิกออฟแคนเซอร์ (23.5°N) จนถึงเส้นทรอปิกออฟแคปริคอร์น (23.5°S) จะปริมาณโอโซนที่ต่ำกว่าบริเวณอื่น นอกจากนี้ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ ยังมีความสัมพันธ์กับฤดูกาล โดยช่วงฤดูร้อนจะมีปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศต่ำกว่าในช่วงฤดูหนาว ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นทีผลต่อปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับในแต่ละพื้นที่ส่งผลกับปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ

ทดสอบปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทย คำนวณจากผลิตภัณฑ์ Sentinel-5P NRTI O3: Near Real-Time Ozone ข้อมูลรายวันตั้งแต่ปี 2019 – 2021 ในพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ของพื้นที่ประเทศไทย โดยเลือกพื้นที่ที่แตกต่างกัน (อ้างอิงพื้นที่จาก Grid ของ Sentinel-2) ได้แก่ พื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือ T47QLA (แม่ฮ่องสอน ประเทศไทย) พื้นที่ราบลุ่มบริเวณภาคกลาง T47PPT (นครสวรรค์ ประเทศไทย) พื้นที่ราบภาคอีสาน T47QRU (ขอนแก่น ประเทศไทย) และพื้นที่บริเวณภาคใต้ T47PNK (นครศรีธรรมราช ประเทศไทย) ดังรูปที่ 10



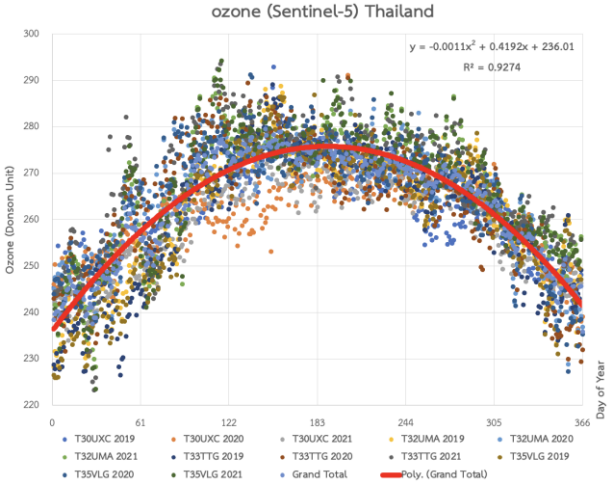
รูปที่ 10 พื้นที่ที่นำมาวิเคราะห์ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทย

เก็บข้อมูลด้วยด้วยเครื่องมือ Zonal Statistic จะได้เป็นข้อมูลปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่นั้น ๆ ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศรายวันของแต่ละพื้นที่มีปริมาณดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ค่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศรายวัน ปี 2019 – 2021 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากรูปจะแสดงถึงปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ ในแต่ละปี (ปี 2019 – 2021) มีลักษณะเป็นวัฏจักรตามช่วงเวลาเช่นเดียวกับข้อมูลปริมาณโอโซนในทวีปยุโรป แต่ลักษณะของวัฏจักรมีความแตกต่างกัน หากปรับลักษณะของกราฟให้เป็นวันของแต่ละปีดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ค่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศรายวัน (วันของปี Day of Years) ปี 2019 – 2021 ของพื้นที่ประเทศไทย

จากรูปสำหรับปริมาณโอโซนรวมในประเทศไทยจะเริ่มต้นประมาณ 235 ด๊อปสัน และเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงกลางปีที่มีค่าโอโซนรวมสูงสุดที่ 275 ด๊อปสัน และลดลงมาถึงปลายปี เป็นวัฏจักรตามฤดูกาล และเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 263.42 ด๊อปสัน โดยสูตรการคำนวณปริมาณโอโซนตามช่วงเวลาของพื้นที่ประเทศไทย (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ : R^2 เท่ากับ 0.9274) มีดังนี้

$$Y = -0.0011X^2 + 0.4192X + 236.01$$

Y แทน ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทยในช่วงเวลานั้น

X แทน วันของปี (Day of Year)

สรุปได้ว่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศที่องค์การอวกาศแห่งสหภาพยุโรป (ESA) กำหนดค่าเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งปีของปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศในพื้นที่บริเวณทวีปยุโรป หากต้องการใช้เครื่องมือ Sen2Cor กับพื้นที่อื่น ๆ และช่วงเวลาที่เฉพาะเจาะจง สามารถคำนวณและปรับปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศให้เหมาะสมกับพื้นที่ หากต้องการกำหนดปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศให้เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย กำหนดค่าเท่ากับ 263.42 ด๊อปสัน (ปริมาณโอโซนเฉลี่ยรายปีของพื้นที่ประเทศไทย) หรือหากต้องการปรับปริมาณตามช่วงเวลาของข้อมูล ใช้สูตรจากสมการหาปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ

3.3 การปรับแก้เงื่อนไขให้เหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทย

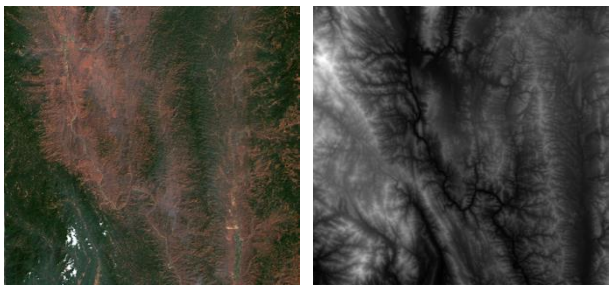
นำข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel – 2 จากตัวแทนพื้นที่ประเภทต่าง ๆ ที่อยู่ในประเทศไทย ได้แก่ พื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือ T47QLA (แม่ฮ่องสอน ประเทศไทย) พื้นที่ราบลุ่มบริเวณภาคกลาง T47PPT (นครสวรรค์ ประเทศไทย) พื้นที่ราบภาคอีสาน T47QRU (ขอนแก่น ประเทศไทย) และพื้นที่

บริเวณภาคใต้ T47PNK (นครศรีธรรมราช ประเทศไทย) ข้อมูลที่นำมาประมวลผลเป็นข้อมูลที่ครอบคลุมวันที่ 25 – 26 กุมภาพันธ์ 2564 วันดังกล่าวเป็นวันที่ 56 และ 57 ของปี พ.ศ. 2564 นำวันดังกล่าวมาวิเคราะห์หาปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทยจากสูตรวิเคราะห์ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทยที่กล่าวมาข้างต้น $Y = -0.0011X^2 + 0.4192X + 236.01$ เมื่อ Y แทน ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทยในช่วงเวลานั้น และ X แทน วันของปี (Day of Year) ปริมาณโอโซนที่วิเคราะห์ได้ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าประมาณ 256.03 – 256.33 ด็อปสัน จึงกำหนดให้ค่าประมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของเวลานี้มีค่าเท่ากับ 256 ด็อปสัน

จากนั้นการปรับแก้เงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้เครื่องมือ Sen2Cor ทั้ง 2 เงื่อนไข ได้แก่ แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ ไฟล์ L2A_GIPP.xml เครื่องมือ Sen2Cor

การปรับแก้เงื่อนไขแบบจำลองความสูงไปทำหัวข้อ DEM_Reference (ดังรูปที่ 13) กำหนดแหล่งที่มาของข้อมูลแบบจำลองความสูง โดยทางองค์การอวกาศแห่งสหภาพยุโรป (ESA) ได้แนะนำให้ใช้แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ Shuttle Radar Topographic Mission (*SRTM*) *5* degree ขนาดของข้อมูล (Pixel Size) 90 เมตร (จากแหล่งข้อมูล https://srtm.csi.cgiar.org/wp-content/uploads/files/srtm_5x5/TIFF/) (ดังรูปที่ 14)

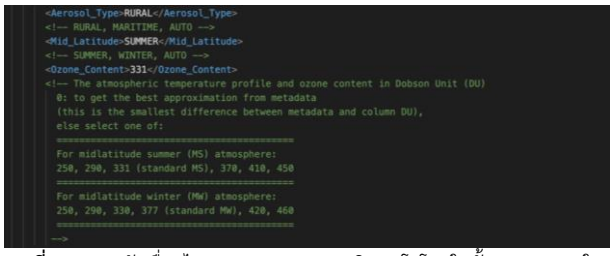
รูปที่ 13 การปรับเงื่อนไข (Configuration) แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ ในไฟล์ L2A_GIPP.xml เครื่องมือ Sen2Cor



(a) (b)

รูปที่ 14 (a) ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศ (Bottom of Atmosphere : BOA) พื้นที่อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2565 (b) ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ Shuttle Radar Topographic Mission (*SRTM*) *5* degree ขนาดของข้อมูล (Pixel Size) 90 เมตร ในพื้นที่ดังกล่าว (Gird T47QLA)

ปรับแก้เงื่อนไขปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ ในหัวข้อ Ozone_Content โดยกำหนดปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศที่ได้คำนวณมา (จากการคำนวณช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศของพื้นที่ประเทศไทยประมาณ 256 ด็อปสัน) (ดังรูปที่ 15)



รูปที่ 15 การปรับเงื่อนไข (Configuration) ปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ ในไฟล์ L2A_GIPP.xml เครื่องมือ Sen2Cor

เมื่อปรับค่าในการปรับแก้เงื่อนไขทั้ง 2 แล้ว (เงื่อนไขแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ และปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศจากเครื่องมือ Sen2Cor จะได้ผลลัพธ์ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศที่ปรับแก้เงื่อนไข ที่แตกต่างจากผลลัพธ์ที่เป็นค่าตั้งต้น

ความแตกต่างระหว่างข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขปรับแก้เป็นค่าเริ่มต้นกับข้อมูลที่ปรับแก้เงื่อนไข ค่าในแต่ละช่วงคลื่นที่อยู่ในรูปของ Digital Number ของข้อมูลในแต่ละจุดข้อมูล (Pixel) จะถูกปรับแก้ตามเงื่อนไขที่ตั้งค่าทั้ง 2 เงื่อนไข (พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความสูงภูมิประเทศจะถูกปรับแก้ลักษณะสัณฐาน และปรับแก้สัดส่วนจากค่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ) มีความแตกต่างของข้อมูลดังตารางที่ 1 (ความแตกต่างของข้อมูลที่ได้)

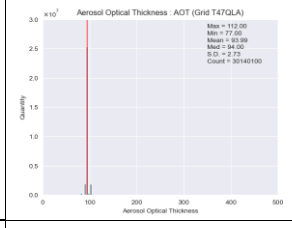
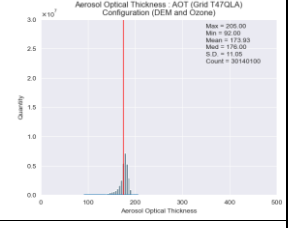
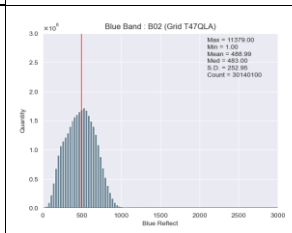
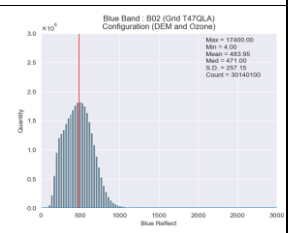
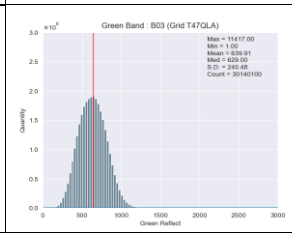
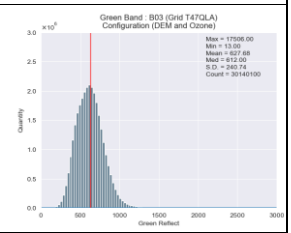
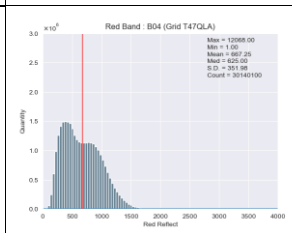
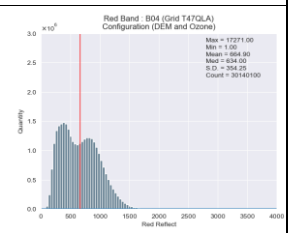
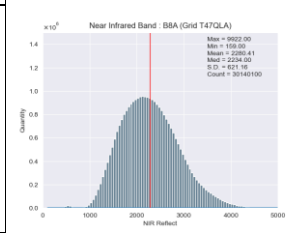
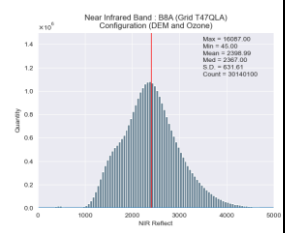
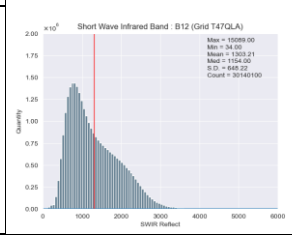
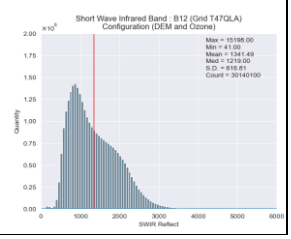
ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลลัพธ์จากเครื่องมือ Sen2Cor ในการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ข้อมูลบนชั้นบรรยากาศ (Bottom of Atmosphere : BOA) พื้นที่ อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2565 (Gird T47QLA)

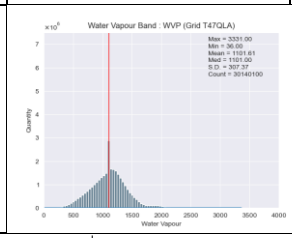
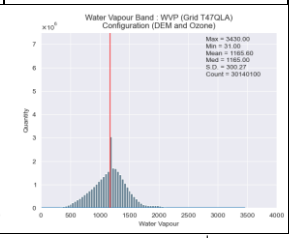
เงื่อนไข		เงื่อนไขแบบจำลองความสูง	
		ไม่ได้กำหนดแบบจำลองความสูง	กำหนดแบบจำลองความสูง
เงื่อนไขปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ	331 (Default)		
	256 (ค่าปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศในช่วงเวลาดังกล่าว)		

4. ผลลัพธ์จากการประมวลผลเครื่องมือ Sen2Cor (กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้)

นำข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศที่ได้จากการประมวลผลด้วยเครื่องมือ Sen2Cor ทั้งข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้เป็นค่าเริ่มต้นกับข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ มาสร้างเป็นฮิสโตแกรม (Histogram) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่แตกต่างกันระหว่างข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น ดังที่แสดงในตารางที่ 2

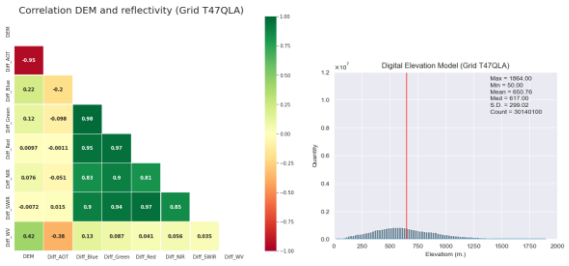
ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลลัพธ์ (ฮิสโตแกรม) จากเครื่องมือ Sen2Cor ข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลเป็นปรับแก้เป็นค่าเริ่มต้น และข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการปรับแก้ (ความสูงภูมิประเทศและปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ) ตัวอย่างพื้นที่ อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2565 (Gird T47QLA)

Band	Histogram ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศในช่วงคลื่นต่าง ๆ (ค่าเริ่มต้น)	Histogram ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศในช่วงคลื่นต่าง ๆ(กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ DEM & Ozone)
Aerosol Optical Tickness		
Blue Band		
Green Bang		
Red Band		
Near Infrared Band		
Short Wave Infrared		

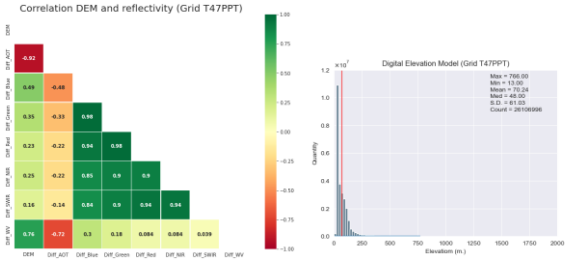
Band	Histogram ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศในช่วงคลื่นต่าง ๆ (ค่าเริ่มต้น)	Histogram ข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศในช่วงคลื่นต่าง ๆ(กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ DEM & Ozone)
Water Vapour Band		

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า ข้อมูลข้างต้นข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่นมีความแตกต่างกัน เนื่องจากในแต่ละจุดข้อมูลมีการปรับแก้ค่าสะท้อนอนุภาคระหว่างบรรยากาศออกไป จึงทำให้ค่าเฉลี่ย, มัธยฐาน และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเปลี่ยนแปลงไป

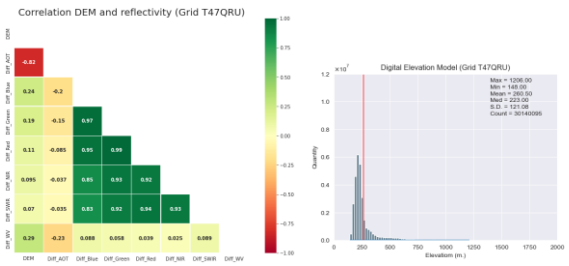
จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละจุดข้อมูล (คำนวณปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปจากข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ลบด้วยข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้เป็นค่าเริ่มต้น ในแต่ละจุดข้อมูล) และใส่ข้อมูลความสูงภูมิประเทศในแต่ละจุดข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (Correlation Heatmap) ของข้อมูลในพื้นที่ทั้ง 4 ประเภท (พื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือ T47QLA – จังหวัดแม่ฮ่องสอน พื้นที่ราบลุ่มบริเวณภาคกลาง T47PPT – จังหวัดนครสวรรค์, พื้นที่ราบภาคอีสาน T47QRU – จังหวัดของแก่น และพื้นที่บริเวณภาคใต้ T47PNK – จังหวัดนครศรีธรรมราช) ได้ความสัมพันธ์ของข้อมูลดังรูปที่ 16



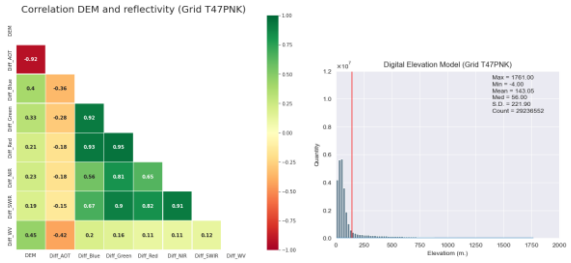
(a)



(b)



(c)



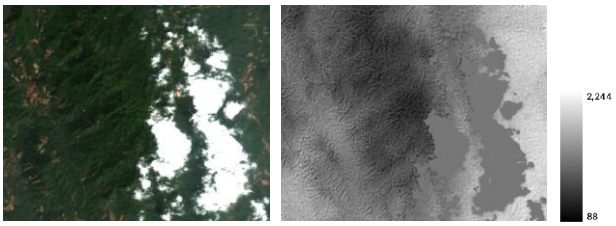
(d)

รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่น (Diff AOT, Diff Blue, Diff Green, Diff Red,Diff NIR, Diff SWIR และ Diff WV) และข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) (ซ้าย) และแสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (ฮิสโตแกรม) (ขวา) (a) พื้นที่สูงบริเวณภาคเหนือ T47QLA – จังหวัดแม่ฮ่องสอน, (b) พื้นที่ราบลุ่มบริเวณภาคกลาง T47PPT – จังหวัดนครสวรรค์, (c) พื้นที่ราบภาคอีสาน T47QRU – จังหวัดของแก่น, (d) พื้นที่บริเวณภาคใต้ T47PNK – จังหวัดนครศรีธรรมราช

จากรูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่น โดยความสูงภูมิประเทศจะมีความสัมพันธ์กับค่าต่างของปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศอยู่ที่ - 0.82 ถึง – 0.95 ตามลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (ขวา) แสดงถึงความสัมพันธ์ในลักษณะที่ผกผันกัน กล่าวคือค่าสูงภูมิประเทศจะมีทิศทางที่ตรงข้ามกับค่าต่างของปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศ (ค่าความสูงภูมิประเทศสูงขึ้นจะมีค่าต่างของปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศลดลง) เนื่องจากค่าต่างของปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศคำนวณจากนำข้อมูลใต้ชั้นบรรยากาศของข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้เป็นตัวตั้งและลบด้วยข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการปรับแก้เป็นค่าเริ่มต้น สามารถอนุมานได้ว่าพื้นที่อยู่ในบริเวณที่สูง (ค่าความสูงภูมิประเทศมีปริมาณมาก) ค่าของปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศถูกปรับให้มีสัดส่วนของปริมาณที่น้อยกว่าในพื้นที่ที่มีความสูงของภูมิประเทศที่น้อยกว่า ความสัมพันธ์ที่กล่าวข้างต้นมีความสัมพันธ์ดังนี้

ค่าความสูงภูมิประเทศ ↑ : ผลต่างของปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศ ↓
ค่าความสูงภูมิประเทศ ↓ : ผลต่างของปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศ ↑

เนื่องจากเงื่อนไขความสูงภูมิประเทศ ค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นจะถูกปรับแก้พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความสูงภูมิประเทศ และเงื่อนไขประมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศจะปรับแก้ค่าสะท้อนของอนุภาคระหว่างชั้นบรรยากาศ ทำให้ในแต่ละช่วงคลื่นมีการปรับแก้ในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน และมีความสัมพันธ์ของผลต่างในทิศทางเดียวกับ (จากการปรับแก้ค่าสะท้อนของอนุภาคที่ใช้ค่าโอโซนเดียวกันทั้งภาพ ทำให้การสัดส่วนปรับแก้ใกล้เคียงกับส่งผลให้ผลต่างมีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน)



(a) (b)

รูปที่ 17 (a) แสดงข้อมูลบนใต้บรรยากาศ (Bottom of Atmosphere : BOA) True Color (b) แสดงข้อมูลไอน้ำในบรรยากาศ (Water Vapour : WV) พื้นที่อำเภอแม่ลาน้อย จังหวัดแม่ฮ่องสอน วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2565 (Gird T47QLA)

จากรูปที่ 17 ค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (Water Vapour) เป็นข้อมูลไอน้ำระหว่างชั้นบรรยากาศกับพื้นผิวภูมิประเทศ ทำให้ค่าต่างของค่าสะท้อนปริมาณไอน้ำไปบรรยากาศระหว่างข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้กับข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้เป็นค่าเริ่มต้น มีความสัมพันธ์กันระหว่าง 0.29 – 0.76 ในแต่ละพื้นที่ (จากรูปที่ 16) จากปริมาณไอน้ำในบรรยากาศซึ่งเป็นอนุภาคระหว่างชั้นบรรยากาศ มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความสูงภูมิประเทศ ทำให้การปรับแก้ไอน้ำในชั้นบรรยากาศมีผลต่างที่มีความสัมพันธ์กับความสูงภูมิประเทศ

นำข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่นมาประมวลค่าสถิติในแต่ละพื้นที่ จะได้ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของแต่ละช่วงคลื่น ข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้ และข้อมูลที่กำหนดเงื่อนไขการประมวลผลปรับแก้เป็นค่าเริ่มต้น มีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของข้อมูลความสูงภูมิประเทศ และข้อมูลค่าสะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่น

	QLA		PPT		QRU		PNK	
Band	**mean**	**std**	**mean**	**std**	**mean**	**std**	**mean**	**std**
DEM	650.76	299.02	70.24	61.03	260.5	121.08	143.05	221.9
AOT (Defult)	93.99	2.73	459.89	2.35	247.84	9.8	76.88	2.46
AOT (Set Configuration)	173.93	11.05	447.08	5.83	276.44	11.35	135.53	5.7
Blue (Defult)	488.99	252.95	689.95	247.51	904.17	457.42	580.67	519.39
Blue (Set Configuration)	483.95	257.15	687.96	239.47	882.94	466.74	550.06	547.49
Green (Defult)	639.91	240.48	989.82	301.18	1086.29	434.55	822.98	482.74
Green(Set Configuration)	627.68	240.74	960.14	289.3	1045.14	435.13	790	494.66
Red (Defult)	667.25	351.98	1246.65	512.63	1233.6	515.83	677.55	533.54
Red (Set Configuration)	664.9	354.25	1230.97	500.32	1208.26	516.2	659.33	549.01
NIR (Defult)	2280.41	621.16	2676.88	762.48	2463.27	602.12	3462.89	676.2
NIR (Set Configuration)	2398.99	631.61	2661.96	744.71	2459.22	604.66	3504.03	671.5
SWIR (Defult)	1303.21	648.22	2308.32	833.95	2181.31	947.52	1232.33	599.36
SWIR (Set Configuration)	1341.49	616.81	2297.62	825.26	2163.03	934.52	1236.35	592.22
WV (Defult)	1101.62	307.37	2546.23	191.26	2235.3	277.46	2076.83	295.38
WV (Set Configuration)	1165.6	300.27	2565.55	188.62	2299.95	272.13	2109.26	275.79

จากตารางที่ 3 ผลต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลในแต่ละช่วงคลื่น จะมีปริมาณหรือสัดส่วนตามความสูงภูมิประเทศ (ข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยของความสูงภูมิประเทศมาก จะมีผลต่างของของค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงคลื่น มากกว่า ข้อมูลที่มีค่าเฉลี่ยของความสูงน้อย) กล่าวคือมีการปรับแก้ปริมาณผลกระทบจากลักษณะที่แตกต่างกันความสูงภูมิประเทศ

5. สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการปรับแก้การสะท้อนในชั้นบรรยากาศด้วยเครื่องมือเซนทูคอร์ ศึกษาเงื่อนไขการปรับแก้ทั้ง 2 เงื่อนไข (จากทั้งหมด 4 เงื่อนไขที่สามารถปรับแก้ได้ของเครื่องมือเซนทูคอร์) ได้แก่ เงื่อนไขความสูงภูมิประเทศ และเงื่อนไขปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ

เงื่อนไขความสูงภูมิประเทศจะนำเข้าข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (Shuttle Radar Topographic Mission (*SRTM*) *5* degree) และปรับแก้ข้อมูลให้มีความใกล้เคียงกับพื้นที่มากขึ้น (ปรับแก้พื้นที่ติดเงาจากความสูงภูมิประเทศ ปรับแก้ข้อมูลปริมาณละอองลอยและไอน้ำในชั้นบรรยากาศที่มีความสัมพันธ์กับความสูงภูมิประเทศ)

เงื่อนไขปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ องค์การอวกาศแห่งสหภาพยุโรปได้กำหนดค่าปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศอยู่ที่ 331 ด็อปสัน ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทั้งปีของปริมาณโอโซนในทวีปยุโรป ซึ่งพื้นที่ประเทศไทยอยู่ใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร จะมีปริมาณโอโซนที่แตกต่างกับทวีปยุโรป จากการศึกษาพบว่าปริมาณโอโซนในแต่ละพื้นที่จะมีวัฏจักรตามฤดูกาลที่แตกต่างกัน โดยในพื้นที่ประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศทั้งปี ประมาณ 263.42 ด็อปสัน หากต้องการตั้งค่าประมาณโอโซนที่มีความเหมือนสมใกล้เคียงกับข้อมูลมากที่สุด จำเป็นต้องคำนวณให้เข้ากับช่วงเวลาของข้อมูลที่นำมาประมวลผล โดยใช้สูตร $Y = -0.0011X^2 + 0.4192X + 236.01$ เมื่อ Y แทนปริมาณโอโซนในชั้นบรรยากาศ และ x แทนปีของวัน พื้นที่ประเทศไทยก็จะมีปริมาณโอโซนระหว่าง 235 – 275 ด็อปสัน เพื่อให้ข้อมูลมีความใกล้เคียงเหมาะสมกับพื้นที่และเวลาของข้อมูล (Nearest Time : NRT) มากขึ้น

การปรับแก้ข้อมูลจะแบ่งเป็นการปรับแก้ 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ การปรับแก้ค่าสะท้อนแสงจากผลกระทบของความแตกต่างของความสูงภูมิประเทศ ซึ่งเป็นการปรับแก้รายพื้นที่ (จากความสูงภูมิประเทศที่แตกต่างกัน) และการปรับแก้ค่าสะท้อนแสงของอนุภาคระหว่างชั้นบรรยากาศ มีทั้งการปรับแก้รายจุดข้อมูลจากความสูงภูมิประเทศที่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลนั้น ๆ และการปรับแก้ทั้งภาพ จากการตั้งเงื่อนไขปริมาณโอโซน ข้อมูลปริมาณละอองลอยในชั้นบรรยากาศและข้อมูลไอน้ำในชั้นบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับความสูงภูมิประเทศ เพราะปรับแก้ค่าสะท้อนแสงจากผลกระทบของความแตกต่างของความสูงภูมิประเทศ ในช่วงคลื่นตามองเห็นสีน้ำเงิน ข้อมูลในช่วงคลื่นตามองเห็นสีเขียว ข้อมูลในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง ข้อมูลช่วงคลื่นใกล้สีแดง ข้อมูลในช่วงคลื่นสั้น มีการปรับแก้ค่าสะท้อนแสงของอนุภาคระหว่างชั้นบรรยากาศในปริมาณหรือสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันทั้งภาพ

การศึกษาการปรับแก้การสะท้อนในชั้นบรรยากาศด้วยเครื่องมือเซนทูคอร์ จึงเป็นศึกษาและนำเสนอเงื่อนไขการปรับแก้ที่ทำให้ข้อมูลมีความใกล้เคียงกับเวลา สภาพแวดล้อม และเหมาะสมกับพื้นที่ประเทศไทยมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผศ.พท.ดร.สรวิศ สุภเวชย์ และ ผศ.ดร.อนุเผ่า อบแพทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] European Space Agency : ESA. (2021). Sentinel-2 Products Specification Document.

[2] European Space Agency : ESA. (2021). Sen2Cor Configuration and User Manual.

[3] Support to Aviation Control Service : SACA. (2011). What is the Dobson Unit(DU)?.Lectures at https://sacs.aeronomie.be/info/dobson.php

[4] World Meteorological Organization. (2010). How is total ozone distributed over the globe?. *20 Questions: 2010 Update Section I: OZONE IN OUR ATMOSPHERE*, pp.10-11

[5] เสริม จันทร์ฉาย (2560). รังสีอาทิตย์. หน่วยวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, หน้า 26-148.

[6] สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) : Gistda (2548). Remote Sensing