

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคามด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล

Evaluation of Above-Ground Carbon Sequestration of Forest in Mahasarakham University Using Remote Sensing Data

ธนวุฒิ ทองมี¹, จตุรงค์ สมอาจ², วรวิทย์ จิตรสุขชา²

Tanavut Thongmee¹, Jaturong Som-ard², Worawit Jitsukka²

Received: 26 February 2019 ; Revised: 10 June 2019 ; Accepted: 25 June 2019

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโลกเพิ่มสูงขึ้น สามารถแก้ไขด้วยการเพิ่มพื้นที่สีเขียว การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคามด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินพื้นที่ป่าในปี 2561 ด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (Object-Based Image Analysis: OBIA) แบบจุดภาพใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor: NN) เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าและเปรียบเทียบค่าความถูกต้อง โดยทำการรวบรวมข้อมูลภาคสนามแปลงตัวอย่าง 10x10 เมตร จำนวน 44 แปลง ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลาง ความสูง และจำนวนต้น เพื่อคำนวณค่ามวลชีวภาพและนำมาคำนวณค่าความสัมพันธ์กับค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (Excess Green Index: ExG) ร่วมกับข้อมูลภาคสนาม เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนด้วยสมการแอลโลเมตรี (Allometric equation) ผลการศึกษาพบว่า การจำแนกพื้นที่ป่าด้วยภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีความถูกต้องโดยรวม 89% และ 68% ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มีความถูกต้องสูงกว่าเพราะความละเอียดจุดภาพสูง การแบ่งภูมิภาควัตถุภาพได้ชัดเจน และค่าการสะท้อนที่ถูกรบกวนจากชั้นบรรยากาศค่อนข้างน้อย การวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์พบว่า ค่ามวลชีวภาพกับดัชนีสีเขียวส่วนเกินมีความสัมพันธ์มากที่สุด ($r: 0.80$) และการประเมินค่ามวลชีวภาพได้จำนวน 16,166,339 กิโลกรัม และมีปริมาณกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด 7,598,179 กิโลกรัม งานที่เกี่ยวข้องสามารถใช้เป็นแนวทางการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเพื่อกระตุ้นการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในพื้นที่มหาวิทยาลัย

คำสำคัญ: ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ประเมินคาร์บอนเหนือพื้นดินการจำแนกเชิงวัตถุ

Abstract

At present, the increase of greenhouse gas has led to an increase in global temperature. This problem can be solved by extending green areas to reduce the amount of gas. The purposes of this study was to classify a forest area in Mahasarakham University by using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Sentinel-2 images and to assess the above-ground carbon stock in 2018 using Object-Based Image Analysis (OBIA). In order to do this, a Nearest Neighbor (NN) method was applied to identify forest and validate the classification accuracy. Data for all 44 sampling plots were

¹ นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาภูมิศาสตร์ สาขาภูมิศาสตร์พัฒนาเพื่อการจัดการทรัพยากร คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² อาจารย์ประจำภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Undergraduate student, Department of Geography, Program of Development Geography for Resource Management, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province, 44150, Thailand.

² Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province, 44150, Thailand.

* Corresponding author; Mr. Jaturong Som-ard, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province, 44150, Thailand. Email: Jaturong.somard@gmail.com

collected from field surveying including height, diameter, and number of tree. These were measured and biomass was calculated the, and the excess green index (EXG) with ground data generated using correlation coefficient (r) for carbon stock monitored by the allometry equation. The finding demonstrated the overall accuracy of UAV and sentinel-2 images as 89% and 68%, respectively. UAV images had higher accuracy than others because of very high spatial resolution, clear image object segmentation, and less effect from atmosphere. The biomass was high related with EXG index ($r: 0.80$). The EXG index was used to measure biomass covering the forest area as 16,166,339 kilograms and the amount of carbon stock of 7,598,179 kilograms. The related agencies can apply this method to evaluate carbon stock for increasing the green area in the University.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle, Sentinel-2 Image, Evaluate the above-ground carbon, OBIA

บทนำ

ก๊าซเรือนกระจกเป็นก๊าซห่อหุ้มชั้นบรรยากาศที่จำเป็นต่อการรักษาความสมดุลอุณหภูมิของโลกให้คงที่¹ หากก๊าซเรือนกระจกไม่มีในชั้นบรรยากาศจะส่งผลให้สิ่งมีชีวิตไม่สามารถอาศัยอยู่ได้เพราะโลกมีอุณหภูมิต่ำลง² แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่มีปริมาณมากที่สุดในชั้นบรรยากาศ สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจาก กิจกรรมมนุษย์^{3,4} ได้แก่ การปลดปล่อยก๊าซจากภาคการผลิตไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การคมนาคมขนส่ง และกิจกรรมทางการเกษตร⁵ ซึ่งควบคุมการปลดปล่อยได้ค่อนข้างยาก นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโลกจนทำให้เกิดภัยธรรมชาติ⁶

อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถควบคุมโดยการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเนื่องจากต้นไม้สามารถนำก๊าซมาใช้สร้างอาหารเพื่อเพิ่มผลผลิตมวลชีวภาพทั้งในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก จึงทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ทั่วโลกมีการสนับสนุนการพัฒนาพื้นที่สีเขียว⁷ มหาวิทยาลัยจึงเป็นส่วนหนึ่งของการเพิ่มพื้นที่สีเขียวทำให้มีการจัดโครงการมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก ยูไอ กรีนเมตริก ภายใต้การดูแลของมหาวิทยาลัยอินโดนีเซียเพื่อจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวเพื่อให้สถาบันการศึกษาตระหนักถึงการจัดการทรัพยากรที่ยั่งยืน โดยเฉพาะการลดการปลดปล่อยและเพิ่มศักยภาพการดูดซับก๊าซเรือนกระจกทำให้ปัจจุบันมีมหาวิทยาลัยเข้าร่วมกว่าโครงการทั้งหมด 719 แห่ง⁸

จากปี 2552 มหาวิทยาลัยต่าง ๆ ในประเทศไทยได้เล็งเห็นความสำคัญการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและเข้าร่วมโครงการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างเข้มข้น (Green University) และได้เข้าร่วมการจัดอันดับกับทั่วโลกเพื่อดำเนินการมหาวิทยาลัยสีเขียว ปี 2561 พบว่า มี 10 อันดับของมหาวิทยาลัยสีเขียว ได้แก่ มหิดล เกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ ทรูทิจบัตินทรีย์เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ นครสวรรค์

สยาม เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี มหาสารคาม และมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตามลำดับซึ่งมีการกำหนดนโยบายและแนวทางการปฏิบัติสู่มหาวิทยาลัยสีเขียวอย่างเข้มข้น โดยเฉพาะมหาวิทยาลัยมหาสารคามถูกจัดอันดับที่ 181 ของโลก อันดับ 9 ของประเทศ และอันดับ 1 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เพราะมีพื้นที่สีเขียวค่อนข้างมาก⁹

อดีตปี 2538 มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้มีการขยายวิทยาเขตพื้นที่มายังบริเวณพื้นที่สาธารณะป่าโคกหนองไผ่^{10,11} จึงทำให้ประชากรย้ายเข้ามาตั้งถิ่นฐานเพิ่มขึ้นบริเวณมหาวิทยาลัย ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่เพื่อสร้างอาคารเรียน หอพัก และสถานที่ราชการ แต่อย่างไรก็ตามพื้นที่ป่าที่เป็นแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนที่สำคัญได้มีการรักษาและพัฒนาพื้นที่อย่างยั่งยืน นอกจากนี้มหาวิทยาลัยยังมีการสนับสนุนให้นิสิตและประชาชนดูแลพื้นที่ป่าไม้แบบมีส่วนร่วม¹² ดังนั้นหากมีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จะช่วยเพิ่มการสนับสนุนการตัดสินใจดำเนินนโยบายและปลูกฝังการปลูกป่าเพื่อช่วยลดปริมาณคาร์บอนด้วยพื้นที่สีเขียว

ปัจจุบันการประยุกต์ใช้การรับรู้ระยะไกลมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วจากการศึกษางานวิจัยของ สุทธิ บุญสร้างและวันชัย อรุณประภารัตน์¹³ วรณพร เป้าเนวล และคณะ¹⁴ นิชา โล่ห์พิมานและคณะ¹⁵ ประเมินการกักเก็บคาร์บอนด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 และ 8 ด้วยการจัดจำแนกพื้นที่ป่าและค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณร่วมกับข้อมูลภาคสนามด้วยสมการแอลโลเมตรีพบว่า การจำแนกพื้นที่ป่ามีความถูกต้องต่ำ ส่งผลให้การประเมินคาร์บอนมีความผิดพลาดเนื่องจากความละเอียดจุดภาพค่อนข้างหยาบ การประยุกต์ใช้ภาพถ่าย Sentinel-2 รายละเอียดสูงเพื่อประเมินคาร์บอนพื้นที่ป่าซึ่งแสดงค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (Normalized difference vegetation index: NDVI) มีความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามค่อนข้างต่ำ การศึกษาควรประเมินป่าประเภทต่าง ๆ และพื้นที่ลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน¹⁶ ธนวิทย์ ถมกระจำงและเอกกมล วรณเมธี¹⁷ ใช้ข้อมูลความสูงปกคลุม

พื้นผิว (Digital surface model: DSM) จากอากาศยานไร้คนขับ ประเมินคาร์บอนร่วมกับข้อมูลภาคสนามในแต่ละแปลง ตัวอย่างพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมีความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจนกับความสูงปกคลุมพื้นผิว นอกจากนี้ยังไม่มีการประเมินมวลชีวภาพด้วยสมการแอลโลเมตรีของพื้นที่ป่าทั้งหมดและไม่มีการแยกชนิดของพื้นที่ป่า ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังไม่มีการจำแนกและประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่าด้วยสมการแอลโลเมตรีจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับในรูปแบบกริดเซลล์

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการจำแนกและประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้วยข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่าย Sentinel-2 มาทำการจำแนกพื้นที่ป่าด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (OBIA) จากนั้นวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of correlation: R) ข้อมูลภาคสนามร่วมกับค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกินและดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์เพื่อใช้ดัชนีที่มีความสัมพันธ์ที่สุดมาวิเคราะห์หาค่ามวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยสมการแอลโลเมตรีผลลัพธ์จะแสดงแผนที่พื้นที่ป่าปี 2561 และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม สามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวตามนโยบายของมหาวิทยาลัยและเป็นแนวทางการประเมินศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่า

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อจำแนกพื้นที่ป่าในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล
- 2) เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าร่วมกับข้อมูลภาคสนาม

พื้นที่ศึกษา

การวิจัยเลือกพื้นที่ศึกษามหาวิทยาลัยมหาสารคามวิทยาเขตขามเริง เนื่องจากมีการเข้าร่วมโครงการอย่างเข้มข้นและเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียวอันดับที่ 1 ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยมีพื้นที่ทั้งหมด 1265.36 ไร่ (Figure 1)

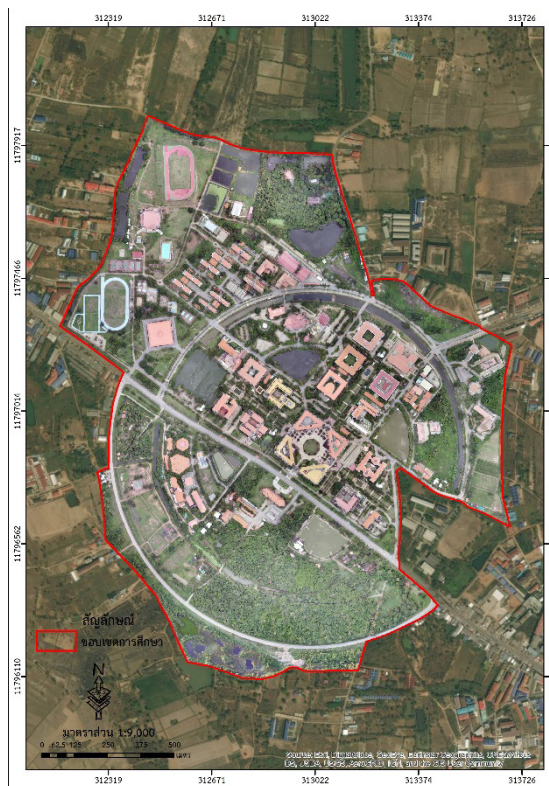


Figure 1 Study area

อุปกรณ์

การศึกษาครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ในการประมวลผลและเก็บข้อมูลภาคสนามประกอบด้วย

- 1) อากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 3 Professional ช่วงคลื่น Red Green Blue ใช้เพื่อถ่ายภาพทางอากาศครอบคลุมพื้นที่ศึกษา
- 2) แอปพลิเคชัน Pix4D Capture ใช้ในการวางแผนและควบคุมการบินภาพทางอากาศแบบอัตโนมัติ
- 3) เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก ใช้จัดเก็บข้อมูลตำแหน่งแปลงตัวอย่าง
- 4) โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ใช้วิเคราะห์ค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและจัดพิมพ์แผนที่

วิธีการศึกษา

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินมีขั้นตอนการศึกษาได้แก่ การรวบรวมข้อมูล เตรียมข้อมูล จำแนกพื้นที่ป่าไม้ และการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินดัง Figure 2

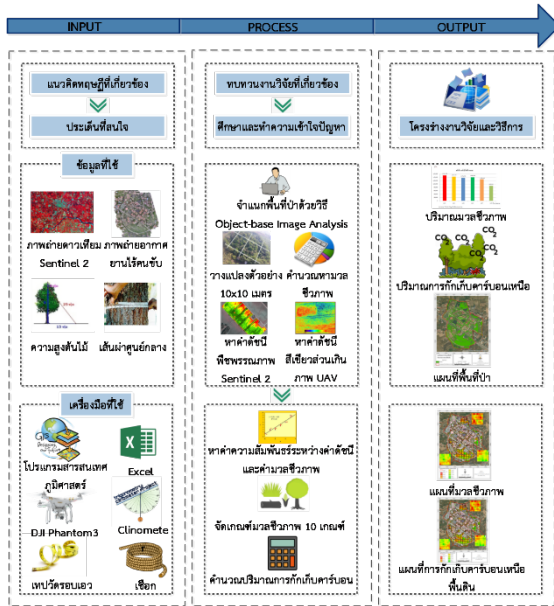


Figure 2 Concept framework

การรวบรวมข้อมูล

1) การจัดเก็บข้อมูลภาคสนามด้วยการวางแผนในรูปแบบกริดเพื่อจัดข้อมูลภาพถ่ายของพืชพรรณประกอบด้วย ความสูงของต้นไม้ เส้นผ่าศูนย์กลาง และจำนวนต้นโดยการศึกษทำการกำหนดแปลงตัวอย่างด้วยสมการทาโรยามาเน่ (Taro Yamane) รายละเอียดดังนี้¹⁸

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

- โดย n คือ ขนาดกลุ่มตัวอย่าง
- N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด
- e คือ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้

การศึกษครั้งนี้สุ่มและกำหนดแปลงตัวอย่างทั้งหมดจำนวน 44 แปลงขนาดแปลง 10x10 เมตร กระจายครอบคลุมพื้นที่ป่าของพื้นที่ศึกษา เพื่อจัดเก็บข้อมูลภาคสนาม ซึ่งใช้สร้างเกณฑ์คำนวณชีวมวลและประเมินค่าคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้ทั้งหมดในรูปแบบกริด (Figure 3)

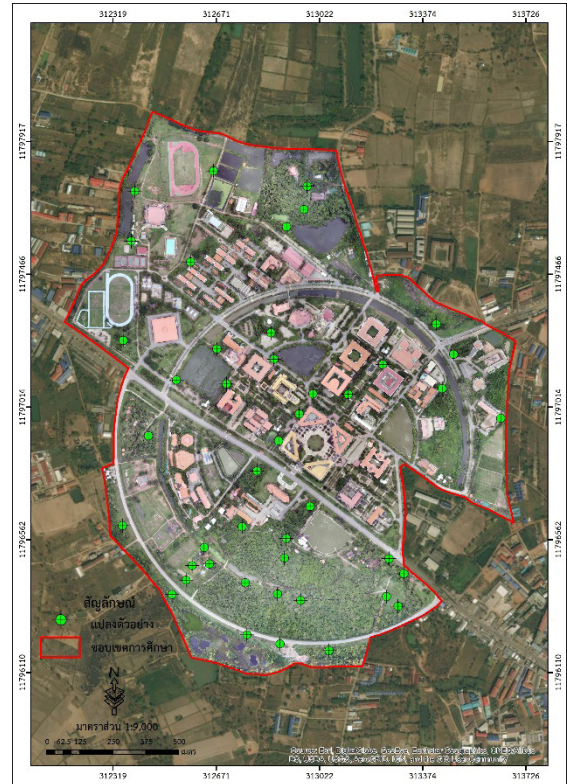


Figure 3 Sampling plots

2) การสำรวจถ่ายภาพทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับโดยบินถ่ายภาพแบบอัตโนมัติจำนวนทั้งหมด 8 แนวบินเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาซึ่งสำรวจวันที่ 14 กรกฎาคม 2561 การวิจัยครั้งนี้ทำการตั้งค่าคุณสมบัติการบินถ่ายได้แก่ กำหนดมุมกล้อง 90% เพื่อให้กล้องตั้งฉากกับพื้นโลกกำหนดการซ้อนทับด้านหน้า (Front overlap) เป็น 60% การซ้อนทับด้านข้าง (Side overlap) คือ 40% และกำหนดความสูงบินถ่ายเป็น 120 เมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่มีความคมชัดและเหมาะสมต่อการจำแนกพื้นที่ป่า¹⁷

3) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 โดยดาวนี้โหลดภาพถ่ายจากเว็บไซต์ <https://earthexplorer.usgs.gov/> เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายครอบคลุมพื้นที่มหาวิทยาลัย ข้อมูลภาพถ่ายบันทึกวันที่ 3 กรกฎาคม 2561 เป็นช่วงป่าไม้มีความอุดมสมบูรณ์ซึ่งเป็นช่วงเวลาใกล้เคียงกับการบินถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ และมีลักษณะภาพถ่ายป่าไม้ไม่แตกต่างกันมาก

การเตรียมข้อมูล

1. ประมวลผลภาพจากอากาศยานไร้คนขับมีขั้นตอนประกอบด้วย 1) กระบวนการเรียงภาพ (Align Photo) 2) สร้างจำนวน Tie point ของภาพ (Build dense cloud) 3) การรวมข้อมูลภาพ (Build mesh) และ 4) กระบวนการสร้างเนื้อภาพตามลักษณะภูมิประเทศจริง (Build texture) เพื่อแสดงผลพร้อมออกมาเป็นภาพออร์โธโรรี (Ortho photo) (Figure 4) เพื่อใช้จำแนกพื้นที่ป่าและประเมินการกักเก็บคาร์บอนร่วมกับข้อมูลภาคสนาม¹⁷

2. จัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ก่อนการหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนาม มีขั้นตอนได้แก่ 1) รวมช่วงคลื่นภาพถ่ายดาวเทียม (Layer Stacking) การศึกษาครั้งนี้ทำเลือกช่วงคลื่นแบนด์ 2(Blue) 3(Green) 4(Red) และแบนด์ 8(NIR) เพื่อให้ได้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกพื้นที่ป่าด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ 2) การปรับแก้เชิงรังสี (Radiometric correction) เป็นการปรับปรุงค่าสะท้อนเชิงคลื่น (Spectral reflectance) ซึ่งเป็นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศและค่าการสะท้อนรังสีจากวัตถุบนพื้นผิวในช่วงขณะที่ทำการถ่ายภาพ การวิจัยครั้งนี้ทำการปรับแก้โดยใช้เครื่องมือ sen2cor บนโปรแกรม SNAP Desktop เพื่อได้รับข้อมูลวัตถุในภาพมีความคมชัดและค่าการสะท้อนสอดคล้องกับวัตถุจริงบนพื้นผิว¹⁸ 3) การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) เป็นกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นของภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อให้ได้ภาพที่มีความถูกต้องตรงกับความเป็นจริงเชิงตำแหน่งบนพื้นโลก¹⁹ และ 4) ตัดขอบเขตพื้นที่ศึกษา (Subset Image) ซึ่งนำภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 มาทำการตัดขอบเขตเฉพาะพื้นที่ศึกษาคือ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เขตพื้นที่ขามเรียง (Figure 4)

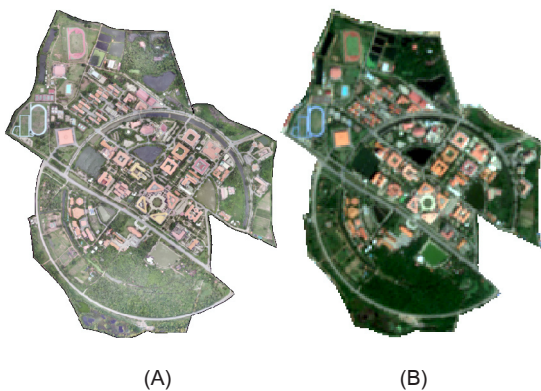


Figure 4 (A) UAV image (B) Sentinel-2 image

3. การคำนวณค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณเพื่อหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภาคสนามและประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่า ดังนี้

1) การคำนวณค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (ExG) ของภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับเป็นดัชนีที่ใช้ในการหาค่าสีเขียวที่มีปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ค่อนข้างสูง โดยการวิจัยได้ใช้กล้องบันทึกภาพช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (Blue) เขียว (Green) และสีแดง (Red) เพื่อตรวจวัดความหนาแน่นของพืชพรรณได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีสมการคำนวณดังนี้²⁰

$$\text{ExG} = 2 * \text{G} - \text{R} - \text{B} \quad (1)$$

โดย G หมายถึง ช่วงคลื่นสีเขียว
R หมายถึง ช่วงคลื่นสีแดง
B หมายถึง ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน

2) การหาค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel-2 เป็นการนำค่าความแตกต่างการสะท้อนของพื้นผิวดินระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดกับช่วงคลื่นสีแดงเพื่อวิเคราะห์สัดส่วนค่าการสะท้อนต่อการบ่งชี้ถึงการเจริญเติบโต โดยค่าสะท้อนจะอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 หากค่าการสะท้อนเข้าใกล้ 1 แสดงว่าพืชพรรณมีความอุดมสมบูรณ์ และเข้าใกล้ -1 แสดงว่าไม่มีความอุดมสมบูรณ์ โดยมีสมการคำนวณดังนี้²¹

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}} \quad (2)$$

โดย NIR หมายถึง ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้
Red หมายถึง ช่วงคลื่นสีแดง

การจำแนกพื้นที่ป่าไม้

การจำแนกพื้นที่ป่าจากข้อมูลภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่าย Sentinel-2 ด้วยเทคนิคการจำแนกเชิงวัตถุ (OBIA) เป็นการจำแนกคุณลักษณะของวัตถุเชิงภาพหรือกลุ่มของจุดภาพร่วมกับค่าสะท้อนรังสีจุดภาพ โดยมีกระบวนการจำแนกประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่^{21,22}

1. การสร้างวัตถุภาพ (Image segmentation) เป็นกระบวนการสร้างรูปปิด ซึ่งสามารถสร้างได้หลายวิธีจากการรวมจุดภาพข้างเคียงที่เป็นภูมิภาคเดียวกันเข้าด้วยกัน งานวิจัยครั้งนี้ทำการเลือกสร้างวัตถุภาพแบบ Multiresolution segmentation เป็นการสร้างและแบ่งส่วนวัตถุภาพโดยอาศัยข้อมูลคุณลักษณะสี ขนาดวัตถุ และเนื้อภาพที่คล้ายกัน ซึ่ง

สามารถกำหนดปัจจัยแบ่งส่วนวัตถุประกอบด้วย 3 เกณฑ์ ได้แก่ขนาด (Scale) สี (Color) และ ความหนาแน่น (Compactness) ดังนี้

1) เกณฑ์ขนาด (Scale) เป็นการกำหนดการแบ่งส่วนวัตถุโดยพิจารณาจากจุดภาพของวัตถุที่เป็นเนื้อเดียวกัน สามารถกำหนดค่าได้ตั้งแต่ 0 - ∞ (Figure 5)



Figure 5 Scale parameter setting

2) เกณฑ์การกำหนดค่าสี (Color) หรือรูปร่าง (Shape) เป็นการพิจารณาจุดภาพเพื่อสร้างวัตถุเชิงภาพขึ้นมา สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะตั้งแต่ 0-1 เทียบค่า 1 เท่ากับ 100% มีสมการคือ

$$\text{Color} = 1 - \text{Shape} \quad (3)$$

นอกจากนี้การพิจารณารูปร่างวัตถุภาพที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นปัจจัยพิจารณาเพื่อสร้างวัตถุเชิงภาพ สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะตั้งแต่ 0-1 โดย 1 มีค่าเทียบกับ 100% มีสมการคือ

$$\text{Shape} = \text{Compactness} + \text{Smoothness} \quad (4)$$

3) เกณฑ์ความหนาแน่นสี (Compactness) หรือความราบเรียบ (Smoothness) เป็นการพิจารณาวัตถุเชิงภาพที่จะสร้างด้วยปัจจัยรูปร่างที่มีลักษณะเกาะกลุ่มกันแน่น เช่น บริเวณป่าไม้ที่หนาแน่น สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะได้ตั้งแต่ 0 - 1 ซึ่ง 1 เทียบค่า 100% มีสมการดังนี้

$$\text{Compactness} = \beta \text{Compactness} \times \text{Shape} \quad (5)$$

ส่วนความราบเรียบเป็นการพิจารณาค่าวัตถุเชิงภาพที่จะสร้างแบบใช้ปัจจัยด้านรูปร่างที่วางตัวสม่ำเสมอ เช่น บริเวณที่เป็นป่าชนิดเดียวกัน ลักษณะเนื้อภาพเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถกำหนดค่าน้ำหนักตั้งแต่ 0 - 1 ซึ่ง 1 เทียบค่า 100% มีสมการเป็น

$$\text{Smoothness} = (1 - \beta \text{Compactness}) \times \text{Shape} \quad (6)$$

2. การจำแนกเชิงวัตถุภาพด้วยวิธีการจำแนกแบบจุดภาพที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest neighbor classification) เป็นการกำหนดวัตถุตัวอย่าง (Training area) ที่เป็นพื้นที่ป่าและไม่ใช่ป่าที่มีความแน่นอน เพื่อวิเคราะห์จุดข้างเคียงของพื้นที่ตัวอย่างด้วยค่าการสะท้อนช่วงคลื่นในแต่ละวัตถุซึ่งเป็นการรวมข้อมูลวัตถุภูมิภาคเดียวกันเข้าด้วยกัน (Homogeneous) โดยการตัดสินใจการจำแนกด้วยหลักการความน่าจะเป็นของความเป็นสมาชิกกลุ่มเดียวกัน เพื่อการจำแนกพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม²³

3. การตรวจสอบความถูกต้องของแผนที่พื้นที่ป่าไม้ที่ได้จากการจำแนกข้อมูลภาพอากาศยานไร้คนขับและภาพถ่าย Sentinel-2 ด้วยวิธีการคำนวณค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall accuracy) เพื่อตัดสินใจเลือกใช้แผนที่ที่มีถูกต้องมากที่สุดในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมดการวิจัยเลือกวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling) และกำหนดจุดตรวจสอบทั้งหมดจำนวน 200 จุด แบ่งเป็นพื้นที่ป่า 100 จุดและพื้นที่ไม่ใช่ป่า 100 จุด จากนั้นทำการลงภาคสนามเพื่อตรวจสอบความถูกต้องร่วมกับข้อมูลตำแหน่งจุดตรวจสอบด้วยเครื่องกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS)

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass: AGB) ของต้นไม้จากแปลงตัวอย่างจำนวน 44 แปลง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนามประกอบด้วย ความสูงต้นไม้ (H) เส้นผ่าศูนย์กลาง (DBH) และจำนวนต้น จากนั้นคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน มีสมการคำนวณดังนี้²⁴

$$WS = 0.0396 \cdot (D^2 \cdot H)^{0.9326} \quad (7)$$

$$WB = 0.003487 \cdot (D^2 \cdot H)^{1.0270} \quad (8)$$

$$WL = ([28.0 / (WS + WB)] + 0.025)^{-1} \quad (9)$$

$$AGB = WS + WB + WL \text{ (กิโลกรัม)} \quad (10)$$

- โดย
- Ws = มวลชีวภาพส่วนลำต้น (กิโลกรัม)
 - Wb = มวลชีวภาพส่วนกิ่ง (กิโลกรัม)
 - WL = มวลชีวภาพส่วนใบ (กิโลกรัม)
 - D = เส้นผ่าศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร)
 - H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)
 - AGB = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)

เนื่องจากการเก็บข้อมูลภาพถ่ายต้นไม้ในพื้นที่บริเวณกว้างเพื่อวิเคราะห์มวลชีวภาพต้องใช้เวลาและยากลำบาก^{13,14} การวิจัยครั้งนี้ทำการใช้ข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกลเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่าทั้งหมด การศึกษาจึงทำการวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณและปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ที่เก็บรวบรวมจากการออกภาคสนามจากนั้นคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient correlation: R) เป็นการนำค่าดัชนีกับปริมาณมวลชีวภาพต้นไม้จากแปลงตัวอย่างมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรทั้งสอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่ามวลชีวภาพและประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยทั้งหมดดังนั้นสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์มีสมการดังนี้¹⁸

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (11)$$

- โดย r หมายถึง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
- X หมายถึง ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระ
- Y หมายถึง ตัวแปรตาม
- \bar{X} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ
- \bar{Y} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม
- Σ หมายถึง ผลรวม

การวิจัยครั้งนี้นำค่าดัชนีที่มีความสัมพันธ์มากที่สุดมาทำการจัดเกณฑ์ออกทั้งหมด 10 เกณฑ์ตามข้อมูลมวลชีวภาพจากแปลงตัวอย่างที่ได้จากการรวบรวมภาคสนาม จากนั้นทำการแบ่งกลุ่มค่ามวลชีวภาพแปลงกริดครอบคลุมพื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยมาจัดเกณฑ์ โดยทำการแบ่งกลุ่มมวลชีวภาพต่างกันจากค่าดัชนีเพื่อให้ได้มวลชีวภาพของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยทั้งหมด เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าคาร์บอนต่อแปลงทั้งหมดอย่างมีประสิทธิภาพ²⁵

การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยทั่วไปค่ามวลชีวภาพจะมีปริมาณคาร์บอนสะสมอยู่ประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพ¹⁹ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (IPCC) จึงทำการกำหนดสมการคำนวณปริมาณคาร์บอนของพื้นที่ป่าด้วยค่ามวลชีวภาพที่ได้จากสมการแอมไพเรติ โดยใช้ค่ามวลชีวภาพคูณกับ 0.47 เพื่อทราบปริมาณการกักเก็บคาร์บอน มีสมการคือ

$$\text{Carbon stock} = \text{AGB} \times 0.47 \quad (12)$$

- 0.47 หมายถึง สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพ

เมื่อทราบถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของพื้นที่ศึกษาและทำการจัดทำแผนที่ที่แสดงคาร์บอนครอบคลุมพื้นที่ศึกษา โดยทำการแบ่งกลุ่มปริมาณการกักเก็บต่อแปลงที่แตกต่างกัน การวิจัยทำการแบ่งแปลงออกทั้งหมด 10 กลุ่ม ต่อปริมาณการกักเก็บที่แตกต่างกัน เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

เกณฑ์แบ่งแยกข้อมูลภาพถ่าย

1) การแบ่งส่วนข้อมูลภาพของภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับ (UAV) พบว่า การกำหนดเกณฑ์แบ่งข้อมูลภาพที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ Scale; 30 Shape; 0.7 และ Compactness; 0.7 เนื่องจากข้อมูลภาพสามารถแยกพื้นที่ป่าออกจากกันของวัตถุได้อย่างเห็นชัดและมีจำนวนของวัตถุที่ไม่ใหญ่มากเกินไป เพราะคุณสมบัติของข้อมูลจุดภาพมีความละเอียดที่สูง นอกจากนี้ลักษณะภาพถ่ายทางพื้นที่มีลักษณะเฉพาะค่อนข้างโดดเด่นมองเห็นครอบคลุมพื้นที่และสามารถเลือกพื้นที่ตัวอย่างในการจำแนกได้ง่าย²⁵ ส่งผลต่อการเลือกเกณฑ์แบ่งแยกวัตถุตัวอย่างในภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะสามารถเปรียบเทียบเกณฑ์ที่เหมาะสมร่วมกับข้อมูลภาคสนามได้อย่างชัดเจน (Figure 6)

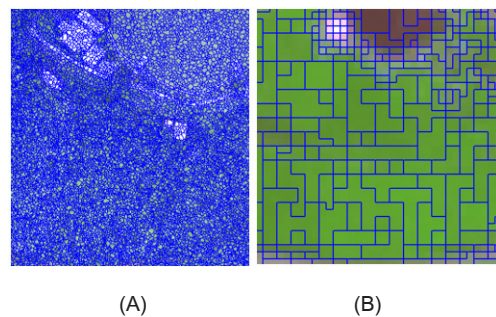


Figure 6 Segmentation of (A) UAV (B) Sentinel-2 image

2) การแบ่งส่วนข้อมูลภาพของภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 พบว่า Scale;10 Shape;0.3 และ Compactness; 0.3 มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากการกำหนดขนาดของวัตถุมีค่าเป็น 10 เพราะภาพถ่ายดาวเทียมมีความละเอียดค่อนข้างสูง การพิจารณาค่าสีมากกว่ารูปร่าง ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะสามารถสะท้อนค่าช่วงคลื่นสีเขียวของพืชพรรณได้ดีสามารถแบ่งภูมิภาคตามลักษณะของสีได้ดี ดังนั้นหากกำหนดการพิจารณารูปร่างมากกว่าสีอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการแบ่งภูมิภาคของวัตถุ เพราะภาพถ่ายมองเห็นลักษณะของรูปร่างบางวัตถุที่มีขนาดเล็กไม่ชัดเจน^{23,25}

ดังนั้นการแยกข้อมูลวัตถุของพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัย มีลักษณะกายภาพสังคมพืชที่แตกต่างกัน สามารถทำการแบ่งแยกโดยการพิจารณาคุณสมบัติข้อมูลภาพ ตามหลักการแบ่งส่วนจุดภาพแบบภูมิภาค (Region-Based)²³ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการพัฒนาและเปรียบเทียบการแยกวัตถุของข้อมูลภาพ ร่วมกับข้อมูลภาคสนาม พบว่า ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับสามารถแยกวัตถุได้ดีกว่า เพราะจุดภาพที่ละเอียดกว่า สามารถจัดกลุ่มภูมิภาคและแบ่งแยกเงาวัตถุได้ถูกต้องและชัดเจน

การจำแนกพื้นที่ป่า

การจำแนกพื้นที่ป่าด้วยภาพจากอากาศยานไร้คนขับ พบว่า มีพื้นที่ป่าเป็น 550,573.52 ตารางเมตร หรือ 344.10 ไร่ ดัง (Figure 7)



Figure 7 Forest map using UAV image

การจำแนกพื้นที่ป่าด้วยภาพดาวเทียม Sentinel-2 พบว่ามีพื้นที่ป่า 171,300 ตารางเมตร หรือ 107.06 ไร่ (Figure 8)

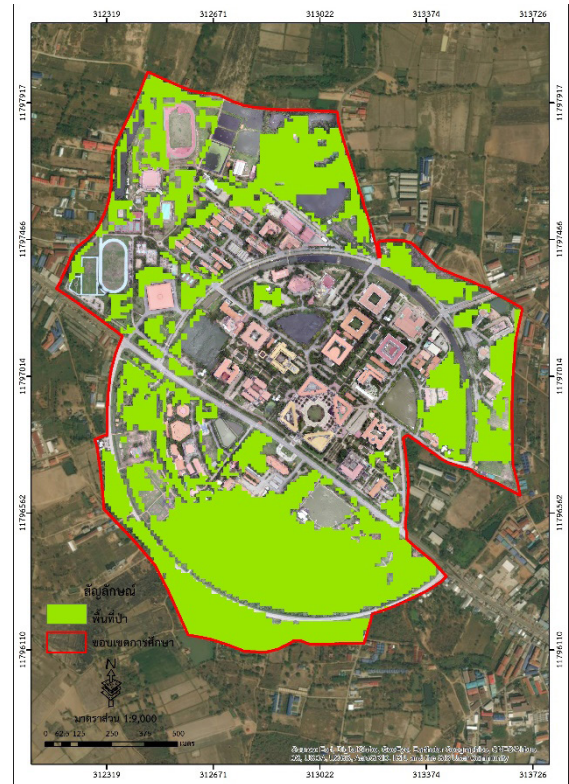


Figure 8 Forest map using Sentinel-2 image

การจำแนกพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยด้วยข้อมูลภาพรายละเอียดสูงแสดงถึงการแยกข้อมูลวัตถุขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้การจำแนกป่ามีค่าความถูกต้องสูง โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีลักษณะวัตถุที่คล้ายคลึงกันและขนาดเล็ก ข้อมูลจากเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับจึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการและวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ขนาดเล็กได้อย่างละเอียด

การตรวจสอบความถูกต้องแผนที่

การรวบรวมข้อมูลภาคสนามเพื่อตรวจสอบแผนที่พื้นที่ป่าได้เก็บข้อมูลจุดตรวจสอบพื้นที่ป่าและไม่ใช้ป่าจำนวน 200 จุด พบว่า แผนที่ป่าไม้ที่จำแนกจากภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับมีความถูกต้องโดยรวม 89% และการจำแนกภาพดาวเทียม Sentinel-2 มีความถูกต้อง 68% การจำแนกด้วยภาพถ่ายอากาศยานไร้คนขับมีค่าความถูกต้องสูงกว่า เนื่องจากข้อมูลมีค่าความละเอียดของภาพมากกว่า สามารถแบ่งส่วนภูมิภาคได้ชัดเจนและมองเห็นพื้นที่ป่าได้ง่าย การศึกษาีความสอดคล้องกับการงานวิจัยของ Som-ard *et al.*,²⁵ ทำการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ จำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยด้วยวิธี OBIA แสดงให้เห็นว่าภาพถ่ายที่มีความละเอียดจุดภาพสูงสามารถจำแนกพื้นที่อ้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจำแนกด้วยวิธีการ OBIA มีความถูกต้อง

มากเพราะการจำแนกเชิงวัตถุพิจารณาคุณสมบัติรายละเอียดภาพสูงและการสร้างวัตถุที่มีความเหมาะสม²⁵ การศึกษาจึงนำแผนที่ป่าไม้ที่มีความถูกต้องสูงมาใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมหาสารคาม

แต่อย่างไรก็ตาม แม้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับให้ความถูกต้องการจำแนกสูง การพิจารณาการสำรวจบินถ่ายภาพมีองค์ประกอบได้แก่ สภาพอากาศ ฤดูกาล ส่วนซ้อนทับ และคุณสมบัติเครื่องอากาศยาน²³ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพ จึงมีความสำคัญเนื่องจากการจำแนกพื้นที่ป่าด้วยข้อมูลอากาศยานไร้คนขับใช้วิธีการประมวลผลภาพ จะต้องมีการวิเคราะห์ความละเอียดค่าสี เนื้อภาพ และจุดภาพ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน

การประเมินคาร์บอนพื้นที่ทั้งหมดด้วยข้อมูลจากการรับรู้ระยะไกล การวิจัยทำการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีและค่ามวลชีวภาพจากรวบรวมข้อมูลภาคสนาม เพื่อหาดัชนีที่ความสัมพันธ์มากที่สุดกับข้อมูลภาคสนามมาวิเคราะห์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนพื้นที่ป่าทั้งหมด ซึ่งมีการวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ ดังนี้

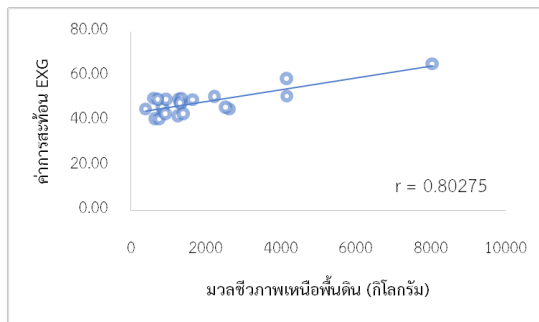


Figure 9 Correlation between biomass with EXG index

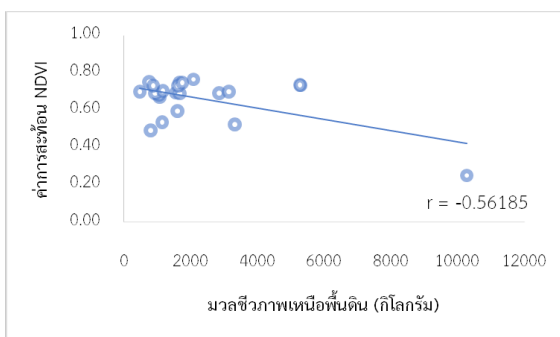


Figure 10 Correlation between biomass with NDVI index

กราฟ Figure 9 และ Figure 10 แสดงความสัมพันธ์ค่ามวลชีวภาพและค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ โดยการศึกษากำหนดค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินเป็นตัวแปรต้น (Independent variable, X) และดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณเป็นตัวแปรตาม (Dependent variable, Y) พบว่า ค่าการสะท้อนของดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (ExG) มีความสัมพันธ์ทางบวก ($R: 0.80$) เนื่องจากบริเวณที่มีพื้นที่ป่าจะมีปริมาณมวลชีวภาพสูง ส่งผลให้ค่าการสะท้อนสีเขียวสูงตามไปด้วย เพราะลักษณะทางกายภาพของต้นไม้เมื่อมีอายุเพิ่มขึ้นจะทำให้ต้นไม้มีขนาดใหญ่และมีเรือนยอดปกคลุมหนาแน่นจึงส่งผลให้มีความสัมพันธ์ที่ดีในเชิงบวกส่วนค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) มีความสัมพันธ์ทางลบ ($R: -0.56$) เนื่องจากบริเวณมหาวิทยาลัยมีพื้นที่ป่าเบาบาง ส่วนใหญ่เป็นป่าเบญจพรรณและเต็งรัง ขณะเดียวกันความละเอียดจุดภาพดาวเทียม Sentinel-2 มีขนาด 10x10 เมตร จึงทำให้ได้รับค่าการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างเข้าด้วยกันในแปลงตัวอย่างขนาด 10 x 10 เมตร ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์มีความแปรปรวนไปจากสภาพพื้นที่จริงของแต่ละแปลงตัวอย่างส่งผลให้ค่าดัชนีเกิดความผิดเพี้ยนต่อการประเมินคาร์บอนนอกจากนี้จากการสำรวจภาคสนามพบว่า พื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมีความหนาแน่นของสังคมพืชที่เบาบางและขนาดต้นไม้มีขนาดที่แตกต่างกัน ข้อมูลภาพถ่ายที่ใช้มีการบันทึกช่วงเดือนกรกฎาคมมีพืชพรรณสมบูรณ์และปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) ในใบแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ ทำให้ต้นไม้มีความสัมพันธ์กับขนาดพุ่มและต้น^{26,27} ส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ของดัชนีพืชพรรณความต่างแบบนอร์มัลไลซ์ (NDVI) จึงมีผลลัพธ์ในทิศทางลบ ดังนั้นช่วงเวลาในการเลือกใช้ข้อมูลภาพมีความสำคัญต่อการพิจารณาลักษณะกายภาพพืชแต่ละชนิดที่สัมพันธ์กับคุณสมบัติข้อมูลภาพถ่ายและขนาดของแปลงควรมีการทดสอบเพื่อทำการเลือกแปลงที่เหมาะสมต่อการพิจารณาลักษณะกายภาพของพืชพรรณ^{13,14,15}

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R) พบว่า ดัชนีสีเขียวส่วนเกิน (ExG) มีค่าความสัมพันธ์กับมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากที่สุดการศึกษาทำการเลือกใช้ค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกินเพื่อจัดเกณฑ์ช่วงค่าดัชนีสีเขียวส่วนเกินเทียบกับการคำนวณการสะสมมวลชีวภาพต่อแปลงตัวอย่างจึงสามารถจัดเกณฑ์ช่วงค่ามวลชีวภาพจำนวน 10 เกณฑ์เพื่อคำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินพื้นที่ป่าทั้งหมดพบว่า พื้นที่ป่ามหาวิทยาลัยมีมวลชีวภาพทั้งหมด 16,166,339 กิโลกรัม จากนั้นทำการหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่า โดยทั่วไปมวลชีวภาพจะมีคาร์บอนเหนือพื้นดินสะสมอยู่ประมาณร้อยละ 47 ดังนั้นจึงนำมวลชีวภาพที่ได้รับ *0.47 เพื่อทราบถึงปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินแสดงดัง Table 1

Table 1 The amount of the above-ground biomass and carbon storage

Sequence	Rule-base		Above-ground carbon storage				
	ExGvalue	Number of plots	biomass (Kg./plot)	Number of covering plots	biomass (Kg./area)	Carbon (Kg./area)	Carbon (Ton/area)
1	23.41 – 27.68	2	726.79	1,258	914,301.80	429,721.90	429.72
2	27.68 – 31.95	6	1,273.09	1,556	1,980,928	931,036.20	931.03
3	31.95 – 36.22	2	1,456.04	1,843	2,683,482	1,261,236	1,261.23
4	36.22 – 40.48	5	1,476.68	1,716	2,533,983	1,190,972	1,190.97
5	40.49 – 44.75	7	1,576.58	1,454	2,292,347	1,077,403	1,077.40
6	44.76 – 49.03	7	1,868.09	1,068	1,995,120	937,706.50	937.70
7	49.03 – 53.30	8	1,989.20	769	1,529,695	718,956.60	718.95
8	53.30 – 57.57	2	2,080.76	468	973,795.70	457,684	457.68
9	57.57 – 61.84	3	2,179.67	313	682,236.70	320,651.30	320.65
10	61.84 – 66.11	2	3,154.62	184	580,450.10	272,811.50	272.81
Total	-	-	-	-	16,166,339	7,598,179	7,598.17

จาก Table 1 แสดงพื้นที่ป่าทั้งหมดมีปริมาณมวลชีวภาพเท่ากับ 16,166,339 กิโลกรัม และกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน 7,598,179 กิโลกรัม หรือ 7,598.17 ตัน ซึ่งสามารถแสดงแผนที่การกระจายตัวของพื้นที่กักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินดังแผนที่ Figure 11

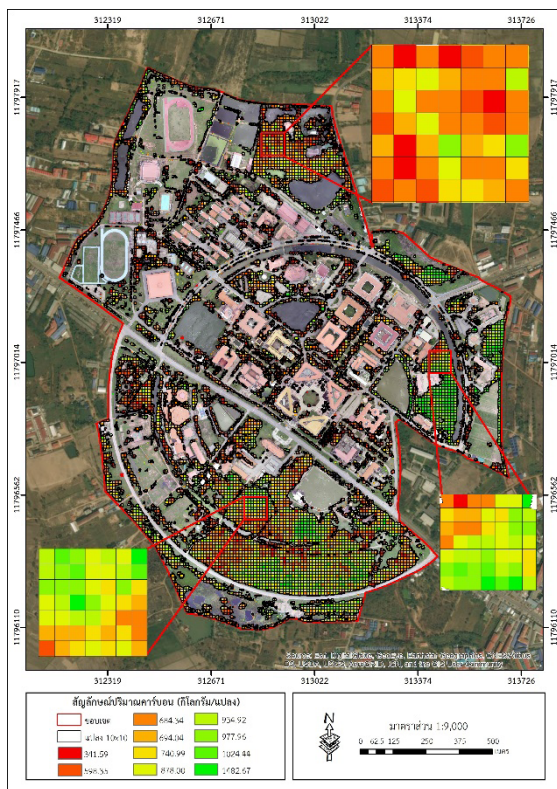


Figure 11 Quality of above-ground carbon stock per plot

จาก Figure 11 เมื่อนำข้อมูลปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่ได้มาจัดทำแผนที่ให้อยู่ในรูปแบบแผนที่เชิงปริมาณ (Quantitative map) โดยแสดงลักษณะสีที่แตกต่างกันในรูปแบบกริดจึงกำหนดให้สีแดงเป็นแปลงที่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ต่ำที่สุดจำนวน 341.59 กิโลกรัมต่อแปลงมีการกระจายตัวกันหนาแน่นอยู่ภายในมหาวิทยาลัยใกล้เคียงตึกอาคารเรียนเนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นต้นไม้ที่มีขนาดเล็ก ความสูงน้อยและขนาดลำต้นเล็ก จึงส่งผลให้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้น้อย²⁸ และสีเขียวเป็นแปลงที่สามารถกักเก็บมวลชีวภาพได้มากที่สุดจำนวน 1,482.67 กิโลกรัมต่อแปลง มีการกระจายตัวอย่างหนาแน่นอยู่บริเวณศูนย์ศึกษาธรรมชาติทางทิศใต้และทิศตะวันออกของมหาวิทยาลัย เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นที่ป่าที่มีมาก่อนก่อตั้งมหาวิทยาลัยและได้ทำการอนุรักษ์ไว้หลังจากก่อตั้ง¹² ต้นไม้ส่วนใหญ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงมาก ทำให้สามารถดูดซับและกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณมากแผนที่สามารถวางแผนตัดสินใจในการบริหารจัดการพื้นที่สีเขียวให้เกิดประโยชน์อย่างยั่งยืน การวิจัยครั้งนี้เป็นการพัฒนาต่อยอดจากการศึกษาของ ธนวิทย์ ฤกษ์จางและเอกกมล วรธรรมศรี¹⁷ ที่ประยุกต์ใช้ข้อมูลความสูงพื้นผิวจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่แปลงตัวอย่าง และจากข้อเสนอแนะพบว่าควรทำการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมดเพื่อใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ดังนั้นการศึกษาจึงนำข้อมูลจากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับร่วมกับข้อมูลภาคสนามมาจำแนกและประเมินคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมดของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลลัพธ์ให้ค่าความถูกต้องสูงกว่าภาพถ่าย

ดาวเทียม Sentinel-2 สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาพื้นที่อื่น ๆ เช่น ป่าชุมชน ป่าบุ่งทาม และสวนป่า¹⁷ การวิเคราะห์ด้วยการประมวลผลข้อมูลภาพร่วมกับข้อมูลภาคสนาม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพิจารณาคุณสมบัติข้อมูลที่เกิดจากความแปรปรวนภายนอกและภายในระบบเครื่องอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งส่งผลต่อค่าความถูกต้องของการประมวลผลข้อมูลภาพ

สรุป

การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้ภาพอากาศยานไร้คนขับเพื่อจำแนกและประเมินการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีทางภูมิศาสตร์ที่ทันสมัยและประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ค่อนข้างน้อย การวิจัยจึงนำมาใช้จำแนกด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (OBIA) ร่วมกับแบบจุดภาพที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest neighbor) และคำนวณค่ามวลชีวภาพที่ได้จากค่าความสัมพันธ์กับค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณ เพื่อเลือกใช้ค่าการสะท้อนที่มีความสัมพันธ์มากที่สุดมาคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าทั้งหมด พบว่า การจำแนกภาพอากาศยานไร้คนขับมีความถูกต้องโดยรวม 89% มีความถูกต้องมากกว่าภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เนื่องจากภาพมีความละเอียดสูงและการจำแนกด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุเหมาะสมกับภาพที่มีความละเอียดสูง สามารถแบ่งส่วนรายละเอียดวัตถุของพื้นที่มหาวิทยาลัยได้อย่างชัดเจน การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน พบว่า มีปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมด 16,166,339 กิโลกรัม สามารถกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินได้ 7,598,179 กิโลกรัมต่อไปสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการวางแผนการใช้ที่ดินร่วมกับการใช้ยานพาหนะในพื้นที่มหาวิทยาลัยเพื่อลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์

ข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับเพื่อใช้จำแนกพื้นที่ขนาดเล็กและประเมินการกักคาร์บอนพื้นที่ป่าได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ และในอนาคตควรประยุกต์ใช้ประเมินการกักคาร์บอนของป่าชุมชน ป่าต้นน้ำ และพื้นที่แปลงเกษตร เพื่อวางแผนจัดการพื้นที่ป่าอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และคำปรึกษาการแก้ไขปัญหาเป็นอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษา คณาจารย์ใน ความช่วยเหลือเป็นอย่างยิ่งจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์ยุทธศาสตร์การวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. การเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2561. ได้จาก: <http://ccrc.nrct.go.th/การเปลี่ยนแปลงในประเทศไทย>.
2. สุรินทร์ เหล่าสุขสถิต. ภาวะเรือนกระจกหรือภาวะโลกร้อนคืออะไร ? วารสารพัฒนาเทคนิคนักศึกษา. 2551; (65): 22-28.
3. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. สถานการณ์การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้พลังงานปี 2559. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2561. ได้จาก : [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders\[publishUp\]=publishUp&isearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/situation-co2/per-year?orders[publishUp]=publishUp&isearch=1).
4. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. การปลดปล่อย CO2 จากการใช้พลังงานของประเทศ. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2561. ได้จาก : [http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-co2?orders\[publishUp\]=publishUp&isearch=1](http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/static-energy/static-co2?orders[publishUp]=publishUp&isearch=1).
5. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. การแปลตีความข้อมูลจากดาวเทียมด้วยสายตา. สืบค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2561. ได้จาก: <https://www.gistda.or.th/main/th/node/997>.
6. กรีนพีซไทยแลนด์. ผลกระทบการเพิ่มขึ้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์. สืบค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2561. ได้จาก <http://www.greenpeace.org/seasia/th/solar/gen/climate-change/impacts/>.
8. สำนักนวัตกรรมไม่เศรษฐกิจ. โครงการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกพื้นที่สวนปาล์มการอุตสาหกรรมป่าไม้. สืบค้นเมื่อ 26 มิถุนายน 2561. ได้จาก: <http://www.fico.th/p/km/document/km-530108.pdf>.
9. คู่มือการจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียวโลก. ความร่วมมือระดับโลกเพื่ออนาคตที่ยั่งยืน. สืบค้นเมื่อ 27 มิถุนายน 2561 ได้ จาก http://green.wu.ac.th/wp-content/uploads/2017/11/UI-GreenMetric-Guideline-2017_Thai-1.pdf.
10. UI Green Metric World University Ranking. Overall Ranking 2018. [Serial Online] 10 April 2018; . Available from: <http://greenmetric.ui.ac.id/overall-ranking-2018/>.
11. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาวิทยาลัยมหาสารคามสู่การเป็นมหาวิทยาลัยสีเขียว. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน

2561. ได้จาก <http://www.web.msu.ac.th/sweb/Gmsu/gmsu.ph>.
12. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ประวัติความเป็นมา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2561. ได้จาก : http://www.web.msu.ac.th/msucont.php?mn=mhistory&paction=SHOW_ABOUTMSU.
 13. จตุรงค์สมอาจสวาทวีร์รัตนโณภาส สุวรรณลีไพบูลย์บุญไชย และบุศรินทร์เอมโอซ. การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินก่อนและหลังก่อตั้งมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2561;37(1):141-156.
 14. สุชี บัญสร้าง และวันชัย อรุณประภารัตน์. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของป่าไม้ ด้วยเทคนิคการสำรวจระยะไกลบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าแม่ต๋ำ จังหวัดตาก. วารสารวนศาสตร์. 2554;30(3):14-23.
 15. วรณพร เป็นนวล กาณจน์เชจร ชูชีพ และวิพัทธ์ จินตนา. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าพรุควนเค็ง หลังจากเกิดไฟป่าอย่างรุนแรง เมื่อปี พ.ศ. 2555 ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม. วารสารวนศาสตร์. 2558;34(1):16-28.
 16. ทิชา โลลูพิมานกาญจนา นาคะภากรอัจฉรา อัครจุฑกุล ชัยสิริกร กาญจนสุนทร และสุเพชร จิรขจรกุล. การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนยางพาราโดยการประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลกรณีศึกษา จังหวัดระยอง. วารสารวนศาสตร์. 2559;24(6):914-926.
 17. Pandit S, Tsuyuki S, Dube T. Estimating above-ground biomass in sub-tropical buffer zone community forests, Nepal, using Sentinel-2 data. Remote Sensing. 2018 Apr;10(4):601.
 18. ธนวิทย์ ถมกระจ่างและเอกกมล วรณเมธี. การประเมินปริมาณคาร์บอนของป่าชุมชนด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับกรณีศึกษาป่าชุมชนบ้านบุตาต๋อง จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2561; 5(2): 34-42.
 19. Gascon F, Bouzinac C, Thépaut O, Jung M, Francesconi B, Louis J, Lonjou V, Lafrance B, Massera S, Gaudel-Vacaresse A, Languille F. Copernicus Sentinel-2A calibration and products validation status. Remote Sensing. 2017;9(6):584.
 20. ธนสิทธิ์ ศิริวารินทร์วีระภาส คุณรัตน์สิริวันชัย และอรุณประภารัตน์. การใช้แบบจำลอง Markov Chain และ ภาพดาวเทียม Landsat 5 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณอุทยานแห่งชาติ หมู่เกาะช้าง จังหวัดตราด. วารสารจัดการป่าไม้. 2558;(17-18):1-19.
 21. Meyer GE, Neto JC. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications. Computers and electronics in agriculture. 2008 Oct 1;63(2):282-93.
 22. นวลปราง นวลอุไร. การเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าจากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกลบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน ประเทศไทย. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2548.
 23. สุภาสพงษ์ ภูทำนอง. หลักการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ. สืบค้นเมื่อ 3 เมษายน 2561. ได้จาก: <https://www.goto-know.org/posts/492648>.
 24. Blaschke T. Object based image analysis for remote sensing. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing. 2010 Jan 1;65(1):2-16.
 25. Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K. and Kira, T. 1965. Comparative ecological studies on threemain type of forest vegetation in Thailand.II. Plant Biomass. Nature and Life in SoutheastAsia 4: 49-80.
 26. Som-ard J, Hossain MD, Ninsawat S, Veerachitt V. Pre-harvest Sugarcane Yield Estimation Using UAV-Based RGB Images and Ground Observation. Sugar Tech. 2018 Dec 1;20(6):645-57.
 27. A Medium Corporation. สถิติเบื้องต้นที่จะทำให้คุณเข้าใจการวิเคราะห์ได้มากขึ้น. สืบค้นเมื่อ 25 มิถุนายน 2561. ได้จาก : https://medium.com/@info_46914/.
 28. ฉันทภัทร์ ดวงทิพย์ ปวีณา ไกรวิจิตรและเสวีวัน เปรมประสิทธิ์. การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปกปักษ์อนุรักษ์พันธุ์กรรมพีชอันเนื่องมาจากพระราชด าริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ) บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. วิจัยและนวัตกรรมพัฒนาประเทศ ครั้งที่ 12, 99-112.
 29. อาหนู ศรีรัฐนิคม, ทิพย์ทิว่า สัมพันธ์มิตร. ปริมาณคาร์บอนสะสมของป่าชุมชนบ้านหนองถิ่น ตำบลเกาะเต่า อำเภอป่าพะยอม จังหวัดพัทลุง. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 2556;(16): 34-40.