

การประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมด้วยอากาศยานไร้คนขับในแปลงป่าสักที่ดูแล โดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

ชินพัฒน์ สะตะ¹, สุธิณี อ่อนอ่วม², ศตายุ ปานจินดา², แรกขวัญ ผลธัญญา³, และ พงษ์ชัย ดำรงโรจน์วัฒนา^{1,3*}

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

²หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

³ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330 ประเทศไทย

* Corresponding author: pongchai.d@chula.ac.th

บทคัดย่อ

ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนภายในปี ค.ศ. 2050 เพื่อร่วมแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับนานาประเทศ มาตรการหนึ่งคือการใช้ระบบนิเวศป่าไม้ที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ ซึ่งจำเป็นต้องมีการติดตามปริมาณคาร์บอนสะสมและการเพิ่มพูนคาร์บอนสะสมในต้นไม้ อย่างไรก็ตาม วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมต้องใช้งบประมาณ และเวลามาก ปัจจุบัน มีการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาใช้เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการใช้ UAV ในแปลงต้นสักอายุ 3 ปี ที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี การศึกษาทำโดยวางแผนศึกษาภาคสนามในพื้นที่ 15 ไร่ บันทึกความสูง และเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (Diameter at Breast Height: DBH) แล้วนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและ DBH จากนั้นคำนวณมวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดินโดยใช้สมการแอลโลเมตรี แล้วหาค่าปริมาณคาร์บอนสะสม สำหรับวิธีการ UAV ทำโดยการถ่ายภาพทางอากาศ จากนั้นนำมาสร้างแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมเชิงเลข (Digital Surface Model: DSM) และแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Terrain Model: DTM) แล้วนำมาสร้างแบบจำลองความสูงทรงพุ่ม (Canopy Height Model: CHM) เพื่อหาความสูงของต้นไม้ และนำมาประมาณค่า DBH ด้วยสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับ DBH ที่สร้างขึ้น ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมจากทั้งสองวิธีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยวิธีการวางแผนภาคสนาม มีค่าเท่ากับ 12.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และวิธีการ UAV มีค่าเท่ากับ 7.9 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่

คำสำคัญ: คาร์บอนสะสม / โฟโตแกรมเมตรี / มวลชีวภาพ / สมการแอลโลเมตรี / อากาศยานไร้คนขับ

Estimation of Carbon Stock using Unmanned Aerial Vehicle in Teak Plantation Plot Managed by Center of Learning Network for the Region, Chulalongkorn University, Saraburi Province

Chinnapat Sata¹, Suthinee Onuam², Satayu Panjinda², Raekkhwan Polthanya³, and
Pongchai Dumrongrojwattana^{1,3*}

¹Department of biology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

²Interdisciplinary Program in Environmental Science, Graduate School, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

³Center of Learning Network for the Region, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

* Corresponding author: pongchai.d@chula.ac.th

Abstract

Thailand has set a carbon neutrality target by 2050 to collaborate with other countries in addressing climate change issue. A key measure is the use of forest ecosystems that can absorb carbon dioxide. To successfully implement this, it is necessary to monitor carbon stock and increment in trees. However, the conventional method requires significant time, labor, and financial resources. To reduce these limitations, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have recently been introduced as an alternative. This study aims to compare the carbon stock measured from conventional method and UAV-based method in a 3-year-old teak plantation managed by the Center of Learning Network for the Region, Chulalongkorn University, Saraburi Province. We established field plots across the study area of 15 rai, where tree height (H) and diameter at breast height (DBH) were recorded. These data were used to develop a DBH-H relationship. Aboveground and belowground biomass were calculated using allometric equation before converting to carbon stock. For the UAV-based method, aerial photographs were captured and used to generate a digital surface model (DSM) and a digital terrain model (DTM). DSM and DTM were used to produce a canopy height model (CHM). Tree height values obtained from the CHM were then used to estimate DBH using DBH-H relationship. The results revealed a statistically significant difference in carbon stocks estimated from two methods at the 95% confidence level. Carbon stock from plot-based method was 12.1 kgC/rai, while the UAV method produced a lower estimate of 7.9 kgC/rai.

Keywords: Allometric equation / Biomass / Carbon storage / Photogrammetry / Unmanned aerial vehicles

1. บทนำ

ประเทศไทยกำหนดเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutrality) ภายในปี ค.ศ. 2050 และปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero greenhouse gas emission) ภายในปี ค.ศ. 2065 [1] เพื่อร่วมแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกับนานาประเทศ มาตรการหนึ่งคือการใช้ระบบนิเวศป่าไม้ที่สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านกระบวนการตรึงคาร์บอน (carbon fixation) ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) [2] และเปลี่ยนเป็นสารประกอบคาร์บอนอื่น เก็บในรูปของมวลชีวภาพ (biomass) โดยสะสมตามส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ [3] ดังนั้น จึงจำเป็นต้องติดตามปริมาณคาร์บอนสะสมและการเพิ่มพูนคาร์บอนสะสมในต้นไม้

ปริมาณคาร์บอนสะสมมีค่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน (aboveground biomass) (belowground biomass) ซึ่งหาได้จากสมการแอลโลเมตริก (allometric equation) [4] โดยมีตัวแปรที่สำคัญ คือ ความสูงของต้นไม้และเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (diameter at breast height: DBH) สามารถเก็บข้อมูลได้จากวิธีการวางแผนภาคสนาม อย่างไรก็ตามการใช้วิธีนี้มีต้นทุนสูงในด้านของงบประมาณ แรงงานและเวลา อีกเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถช่วยลดต้นทุนดังกล่าวได้นั้นคือการใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) [5] โดยอากาศยานไร้คนขับ คือ อากาศยานบังคับหรือควบคุมจากระยะไกลโดยมนุษย์ โดยทั่วไปมักเรียกกันว่า “โดรน” เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น งานสำรวจด้วยภาพถ่าย การสนับสนุนการปรับปรุงแผนที่ให้เป็นปัจจุบันในระบบภูมิสารสนเทศ การทำแผนที่เฉพาะกิจ และยังมีการนำมาใช้ในการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และปริมาณคาร์บอนสะสม [6]

จากการศึกษาก่อนหน้าพบว่ามีการใช้ UAV ในการประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่ป่าธรรมชาติและป่าปลูกในหลายจังหวัดของประเทศไทย เช่น ป่าธรรมชาติในจังหวัดพิจิตร พื้นที่ศึกษา 1,080 ไร่ ปริมาณคาร์บอนสะสมที่วัดได้จากวิธีการวางแผนและ UAV คือ 2,011 และ 1,461 ตัน ตามลำดับ [7] และป่าปลูกในจังหวัดกาญจนบุรี พื้นที่ศึกษา 14,825 ไร่ ปริมาณคาร์บอนสะสมที่วัดได้จากวิธีการวางแผนและ UAV คือ 13,727 และ 12,267 ตัน ตามลำดับ [8] แม้ว่าค่าที่ได้จะมีความแตกต่างกันระหว่างวิธีการทั้งสองวิธี แต่เห็นได้ว่าวิธีการ UAV สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมได้

อย่างไรก็ตาม พบว่ายังขาดการศึกษาเกี่ยวกับการนำ UAV มาใช้ประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมในพื้นที่ป่าปลูกที่มีอายุน้อย แต่มีพื้นที่กว้างและต้องใช้กำลังคนในการเก็บข้อมูลเช่นกัน ผู้วิจัยจึงเลือกพื้นที่ศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีพื้นที่แปลงป่าสักขนาด 15 ไร่ อายุ 3 ปี เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการวางแผนภาคสนาม (ในที่นี้ หมายถึงการเก็บข้อมูลแบบดั้งเดิม โดยวางแผนหรือวางแผนแนวเขต แล้ววัดขนาดและความสูงต้นไม้ในภาคสนาม) และวิธีการ UAV เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการจัดการพื้นที่แปลงปลูกของทางศูนย์ฯ และต่อยอดสำหรับงานวิจัยด้านนี้ต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการใช้ UAV ในแปลงป่าสักอายุ 3 ปีที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี

3. ขอบเขตของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบการประเมินปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการใช้ UAV ในแปลงป่าสักอายุ 3 ปีที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาฯ จ.สระบุรี โดยมีขอบเขตของการศึกษาดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาเฉพาะแปลงปลูกป่าสักอายุ 3 ปี ระยะปลูก 4×4 ม. ในศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาฯ จ.สระบุรี
2. เก็บข้อมูลในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2567
3. ชนิดของพรรณไม้ที่ศึกษาคือ สัก *Tectona grandis*

4. วิธีการศึกษา

4.1. รวบรวมข้อมูล

4.1.1. วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม

4.1.1.1. วัดความสูงโดยใช้ไม้วัดความสูง

4.1.1.2. วัดเส้นรอบวงระดับอกของต้นไม้ทุกต้น (circumference at breast height: CBH) ที่มีความสูงจากพื้นดิน 130 เซนติเมตร โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ เพื่อนำมาหาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้ (diameter at breast height: DBH)

4.1.1.3. บันทึกค่าพิกัดกริด Universal Transverse Mercator (UTM) WSG-1984 ของ ต้นไม้แต่ละต้นโดยใช้ GNSS-RTK ยี่ห้อ Stonex S900 จากนั้นนำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อประมวลผล

4.1.1.4. นำความสูงและ DBH มาหาสมการความสัมพันธ์ (D-H relation) ที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษานี้จาก 29 ฟังก์ชัน [9] ในโปรแกรม MATLAB

คำนวณมวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดินด้วยสมการแอลโลเมตรีของต้นสักอายุ 5-33 ปี [10] ดังนี้

$$\text{มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (AGB)} = 0.065 (\text{DBH})^{2.57} \text{ กิโลกรัม} \quad R^2 = 0.99$$

$$\text{มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (BGB)} = 0.046 (\text{DBH})^{2.1763} \text{ กิโลกรัม} \quad R^2 = 0.90$$

เมื่อ DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร)

4.1.1.5. คำนวณปริมาณคาร์บอนสะสมด้วย convention factor โดยมีค่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน [4]

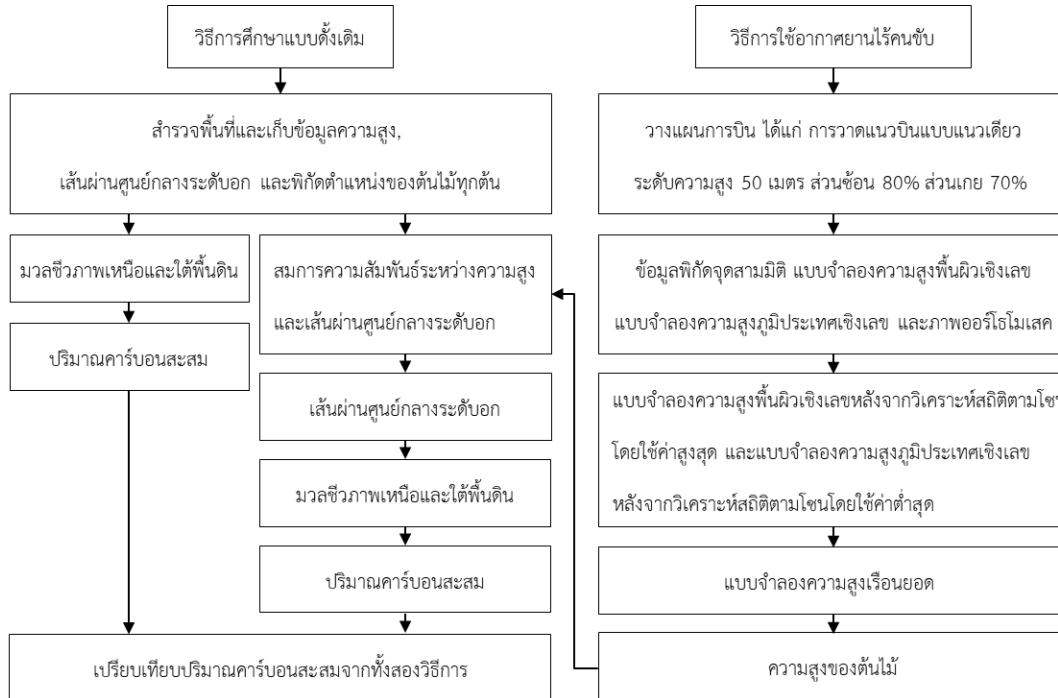
4.1.1.6. ขั้นตอนการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1

4.1.2. วิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

ใช้อากาศยานไร้คนขับรุ่น Autel Robotics Evo II

4.1.2.1. วาดแนวบินแบบแนวเดียว (single grid flight paths) ให้ครอบคลุมทั้งพื้นที่ และตั้งค่าโปรแกรมบินอัตโนมัติในและแปลงปลูกป่าเพื่อคาร์บอนเครดิต โดยบินที่ระดับความสูง 50 ม.จากพื้นดิน ตามลำดับ ในการถ่ายภาพกำหนดให้มีส่วนซ้อน (overlap) 80% ของภาพ และส่วนเกย (sidelap) 70% ของภาพ ความเร็วในการบิน 8 เมตร/วินาที ตั้งมุม กล้องไว้ที่ 90° ด้วยแอปพลิเคชัน Autel Explorer

- 4.1.2.2. นำภาพถ่ายทางอากาศมาประมวลผลในโปรแกรม Agisoft Metashape Professional โดยทำการต่อภาพเพื่อสร้างข้อมูล point cloud ด้วยคำสั่ง align photo จากนั้นเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูลด้วยคำสั่ง build dense cloud
- 4.1.2.3. สร้างแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (digital surface model: DSM) ด้วยคำสั่ง build DEM จากนั้นส่งออกข้อมูลเป็นสกุล .tiff
- 4.1.2.4. ทำการแยกชั้นข้อมูล ด้วยคำสั่ง classify ground point สร้างแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลข (digital terrain model: DTM) ด้วยคำสั่ง build DEM ใน point classes ให้เลือกเฉพาะ ground จากนั้นส่งออกข้อมูลเป็นสกุล .tiff
- 4.1.2.5. สร้างภาพถ่ายออร์โธโมเสค (orthomosaic) ด้วยคำสั่ง build orthomosaic จากนั้นส่งออกข้อมูลเป็นสกุล .tiff
- 4.1.2.6. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ต่อในโปรแกรม ArcGIS v10.8
- 4.1.2.7. นำเข้าพิกัดต้นไม้ที่มีสกุลไฟล์เป็น .csv และ export data จะได้ layers ของพิกัดต้นไม้ที่พร้อมใช้งาน
- 4.1.2.8. สร้าง buffer ออกจากพิกัดจุดต้นไม้รัศมี 1.5 ม. ด้วยเครื่องมือ buffer ในการเลือกรัศมีในการทำ buffer คำนึงถึงระยะการปลูกของต้นไม้ในพื้นที่ศึกษา (4 x 4 ม.) เพื่อไม่ให้เกิดการทับซ้อนของ buffer จากต้นไม้ข้างเคียง
- 4.1.2.9. ทำการหาจุดที่สูงที่สุดของ DSM โดยใช้เครื่องมือ zonal statistics ใน input raster or feature zone data เลือก buffer ที่สร้างขึ้น ใน statistics type เลือก maximum
- 4.1.2.10. ทำการหาจุดที่ต่ำที่สุดของ DTM โดยใช้เครื่องมือ zonal statistics ใน input raster or feature zone data เลือก buffer ที่สร้างขึ้น ใน statistics type เลือก minimum
- 4.1.2.11. สร้างแบบจำลองความสูงเรือนยอด (canopy height model: CHM) เพื่อหาความสูงของต้นไม้ ด้วยเครื่องมือ Raster calculator ในสูตรให้ใส่ DSM-DTM ที่ได้จาก zonal statistics
- 4.1.2.12. ส่งออกข้อมูลความสูงต้นไม้ด้วยเครื่องมือ zonal statistics as table ใน input raster or feature zone data เลือก buffer ใน input value raster ให้เลือก CHM
- 4.1.2.13. คัดข้อมูลที่อยู่ใกล้ต้นไม้ใหญ่ออกโดยสังเกตจากวงบัฟเฟอร์ว่าด้านในมีต้นไม้ใหญ่หรือไม่
- 4.1.2.14. นำความสูงที่ได้มาคำนวณหา DBH จาก D-H relation แล้วคำนวณหามวลชีวภาพเหนือและใต้พื้นดินตามข้อ 4.1.1.4 และคำนวณปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินตามข้อ 4.1.1.5
- 4.1.2.15. ขั้นตอนการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนการดำเนินงานวิธีการศึกษา

4.2. สถิติที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนาใช้เพื่อแสดงค่ากลางและการกระจายของข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) และค่าสูงสุด-ต่ำสุด (maximum-minimum) และสถิติเชิงอนุมาน โดยในการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลใช้ Kolmogorov-Smirnov test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมและวิธีการ UAV ใช้ Mann-Whitney U test การวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดดำเนินการด้วยโปรแกรม IBM SPSS Statistics 29.0.1.0 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติไว้ที่ร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$)

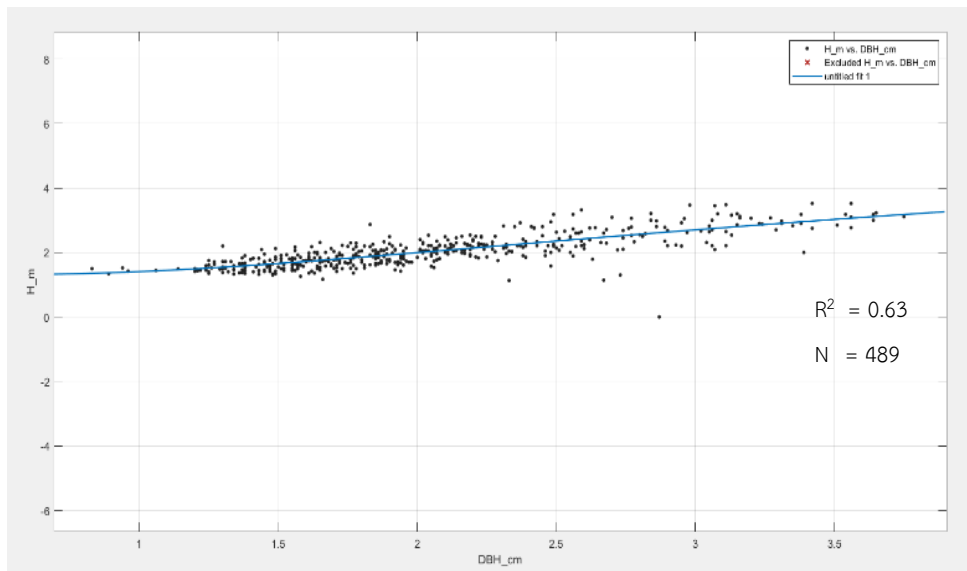
5. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

5.1. สมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม

จากผลการศึกษาพบว่าสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกที่ได้ (รูปที่ 2) คือ

$$DBH = \left(\frac{-4.8977}{\ln(H-1.3)} \right) / 6.5091 - 0.1901 \quad R^2 = 0.63$$

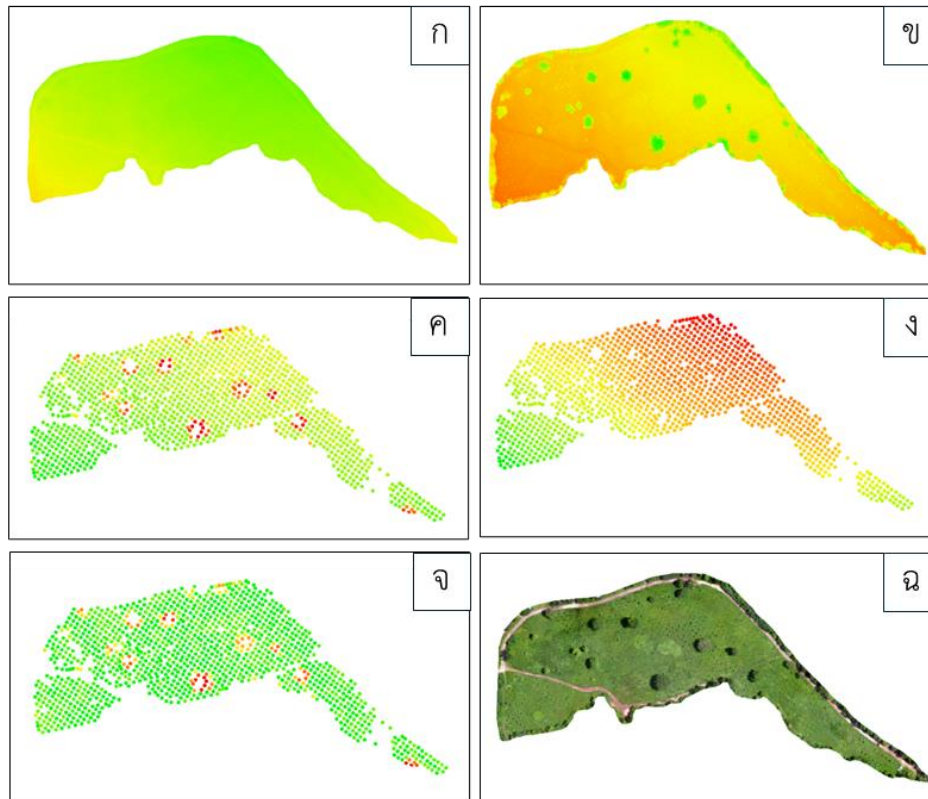
เมื่อ DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (เซนติเมตร); H คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระหว่างความสูงกับเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก

5.2. ชั้นข้อมูลที่ได้การประมวลผลจากวิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

ผู้วิจัยได้จัดทำชั้นข้อมูล ทั้งหมด 6 ชั้นข้อมูล ดังภาพที่ 2 ได้แก่ แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DTM), แบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมเชิงเลข (DSM), แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข เพื่อนำมาหาจุดที่ต่ำที่สุดในรัศมี 1.5 ม., แบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมเชิงเลข เพื่อนำมาหาจุดที่สูงที่สุดในรัศมี 1.5 ม., แบบจำลองความสูงทรงพุ่ม (CHM) คือการนำ zonal statistics of DSM-DTM มาลบกัน และ ภาพออร์โธโมเสคที่มีการปรับพิกัดให้ตรงกับความเป็นจริง (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 (ก) digital terrain model (DTM), (ข) digital surface model (DSM), (ค) zonal statistic of DTM, (ง) zonal statistic of DSM, (จ) zonal statistics of canopy height model (CHM) และ (ฉ) orthomosaic

5.3 ผลจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม

สำหรับจำนวนต้นสักที่นำมาวิเคราะห์ทั้งหมด 489 ต้น และจำนวนลำต้น 595 นาง (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาความสูง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.06 ± 0.52 ม. เมื่อพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.94 ± 0.59 ซม. เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนสะสมพบว่ามีผลรวมเท่ากับ 12.1 กก.คาร์บอน/ไร่ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 ± 0.23 กก.คาร์บอน/ต้น

5.4 ผลจากวิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

สำหรับจำนวนต้นสักที่อากาศยานไร้คนขับตรวจพบทั้งหมด 428 ต้น (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาความสูง พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.89 ± 0.45 ม. เมื่อพิจารณาเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 ± 0.71 ซม. เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์บอนสะสมพบว่ามีผลรวมเท่ากับ 7.9 กก.คาร์บอน/ไร่ และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 ± 0.29 กก.คาร์บอน/ต้น

5.5 เปรียบเทียบวิธีการวางแผนภาคสนามกับวิธีการใช้อากาศยานไร้คนขับ

เมื่อพิจารณาความสูง (ตารางที่ 1) พบว่าวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการใช้ UAV 0.17 ม. (2.06 ± 0.52 ม. และ 1.89 ± 0.45 ม. ตามลำดับ) สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกพบว่า วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีการใช้ UAV

0.14 ซม. (1.94 ± 0.59 ซม. และ 1.80 ± 0.71 ซม. ตามลำดับ) และสำหรับปริมาณคาร์บอนสะสมพบว่า วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม มีปริมาณคาร์บอนสะสมทั้งหมดมากกว่าวิธีการใช้ UAV 4.2 กก.คาร์บอน/ไร่ (12.1 กก.คาร์บอน/ไร่ และ 7.9 กก.คาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ) โดยวิธีใช้ UAV คิดเป็น 65% ของวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม และวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมมีค่าเฉลี่ยมากกว่าวิธีใช้ UAV 0.02 กก.คาร์บอน/ต้น (0.30 ± 0.23 กก.คาร์บอน/ต้น และ 0.28 ± 0.29 กก.คาร์บอน/ต้น)

เมื่อนำความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก และปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมและวิธีใช้ UAV มาวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าค่าเฉลี่ยอันดับมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($Z = -6.007$, $P < 0.001$; $Z = -6.487$, $P < 0.001$ และ $Z = -4.301$, $P < 0.001$ ตามลำดับ)

ตารางที่ 1 จำนวนต้น ลำต้น ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก ปริมาณคาร์บอนสะสม ในวิธีการแบบดั้งเดิมและวิธีใช้ UAV

วิธีการศึกษา	จำนวนต้น, และลำต้น (นาง)	ความสูง [*]				เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก [*]				ปริมาณคาร์บอนสะสม [*]		
		ต่ำสุด (m)	สูงสุด (m)	ค่าเฉลี่ย (m/tree)	ค่ามัธยฐาน (m)	ต่ำสุด (cm)	สูงสุด (cm)	ค่าเฉลี่ย (cm/tree)	ค่ามัธยฐาน (cm)	ผลรวม (kgC/rai)	ค่าเฉลี่ย (kgC/tree)	ค่ามัธยฐาน (kgC)
วิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม	489 ต้น 595 นาง	1.30	3.52	2.06 ± 0.52	2.00	0.17	3.75	1.94 ± 0.59	1.85	12.1	0.30 ± 0.23	0.23
วิธีใช้ UAV	428 ต้น (จำแนกลำต้นไม่ได้)	1.31	3.99	1.89 ± 0.45	1.80	0.55	5.35	1.80 ± 0.71	0.49	7.9	0.28 ± 0.29	0.01

หมายเหตุ เครื่องหมาย ^{*} หมายถึงค่าเฉลี่ยอันดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5.6 อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมในต้นสักที่ได้จากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมสูงกว่าวิธีใช้ UAV โดยวิธีใช้ UAV คิดเป็น 65% จากวิธีการแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการศึกษาก่อนหน้านี้ในจังหวัดพิจิตรและจังหวัดกาญจนบุรี โดยวิธีใช้ UAV คิดเป็น 72% และ 89% ของวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิม ตามลำดับ [7] [8] เนื่องจากวิธีใช้ UAV ยังไม่สามารถวัดความสูงของต้นไม้ได้อย่างแม่นยำและไม่สามารถจำแนกลำต้นของต้นไม้ได้ โดยวิธีศึกษาแบบดั้งเดิมมีจำนวนมากกว่าวิธีใช้ UAV ถึง 167 ต้น อีกทั้งต้องใช้สมการ D-H relation ในการประมาณค่า DBH ซึ่งมีค่า $R^2 = 0.63$ ดังนั้นวิธีการเก็บข้อมูลด้วยวิธีใช้ UAV ยังไม่สามารถใช้ทดแทนวิธีการวางแผนภาคสนามได้

สำหรับข้อจำกัดในการศึกษานี้คือการใช้สมการแอลโลเมตรีของต้นสักอายุ 5-33 ปี ซึ่งไม่ได้อยู่ในช่วงอายุของต้นสักที่ทำการศึกษา หากมีการศึกษาต่อไปควรหาสมการที่มีอายุของต้นไม้ครอบคลุม สำหรับการศึกษาในอนาคตอาจทดลองบิน 2 ช่วงคือช่วงที่ต้นสักทั้งใบเพื่อให้เห็นพื้นดินชัดเจน และช่วงที่ต้นสักกำลังแตกใบ หรือลองลดระดับความสูงในการบินเพื่อให้ได้ภาพที่ชัดเจนกว่าเดิม อาจมีการใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground control point: GCP) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของภาพกับตำแหน่งจริง และควรมีวิธีจำแนกลำต้นของต้นไม้เพื่อลดข้อจำกัดนี้ รวมถึงหาสมการ D-H relation ที่เหมาะสมกับต้นสักมากกว่านี้

6 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาปริมาณคาร์บอนสะสมจากวิธีการศึกษาแบบดั้งเดิมและวิธีใช้ UAV ในแปลงป่าสักอายุ 3 ปีที่ดูแลโดยศูนย์เครือข่ายการเรียนรู้เพื่อภูมิภาค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดสระบุรี มีปริมาณคาร์บอนสะสมรวม 12.1 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ และ 7.9 กิโลกรัมคาร์บอน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตหากจะนำวิธีใช้ UAV ไปประยุกต์ใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Climate Change Conference of the Parties. (2021). *COP26 คืออะไร มีบทบาทสำคัญอย่างไรในการต่อสู้กับ Climate Change*. Available from: <https://thaipublica.org/2021/10/what-is-cop-26/> [5 December 2024]
- [2] Zhu, X. G., Long, S. P. & Ort, D. R. (2008). What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?. *Current Opinion in Biotechnology*. 19(2): 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.004>
- [3] Nowak, D. J., Greenfield, E. J., Hoehn, R. E. & Lapoint, E. (2013). Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*. 178: 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- [4] IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Japan: IGES.
- [5] Zhao, T., Yang, D., Guo, D., Fan, M., Ren, X., Li, M., Wu, K., Wang, J., Cai, Z., Wang, S., Guo, J., Chen, L., & Liu, Y. (2024). Low-cost UAV coordinated carbon observation network: Carbon dioxide measurement with multiple UAVs. *Atmospheric Environment*. 332: 120609. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2024.120609>
- [6] หทัยทิพย์ เงินอิน. (2561). *การหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของสวนสักด้วยอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่ตำบลวังนกแอ่น อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก*. ปรินญาณินพนธ์, ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, คณะเกษตรศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร. 97 หน้า
- [7] Penboon, C., Supavetch, S., Sirirueang, K., Rinnamang, S., Ladpala, P., Kaewgrajang, T. & Meunpong, P. (2023). Estimation of the aboveground biomass and carbon sequestration in an urban forest remnant using aerial photogrammetry from a low-cost Unmanned Aerial Vehicle. *Biodiversitas*. 24(3): 1908–1915. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240368>
- [8] Rinnamang, S., Sirirueang, K., Supavetch, S. & Meunpong, P. (2020). Estimation of aboveground biomass using aerial photogrammetry from unmanned aerial vehicle in teak (*Tectona grandis*) plantation in Thailand. *Biodiversitas*. 21(6): 2369–2376. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210605>
- [9] Song, X., Li J. & Zeng X. (2024). Parameterization of height–diameter and crown radius diameter relationships across the globe. *Journal of Plant Ecology*. 17(2). <https://doi.org/10.1093/jpe/rtae005>
- [10] Kenzo, T., Hirnmapan, W., Yoneda, R., Tedsorn, N., Vacharangkura, T., Hitsuma, G. & Noda I. (2020). General estimation models for above- and below-ground biomass of teak (*Tectona grandis*) plantations in Thailand. *Forest Ecology and Management*. 457. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117701>