

การประเมินปริมาณคาร์บอนของป่าชุมชนด้วยเทคนิคอากาศยานไร้คนขับ กรณีศึกษาป่าชุมชนบ้านบุตาตอง จังหวัดนครราชสีมา

Estimation of Carbon Sequestration in Community forests using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) technique: A Case Study of Ban Bu Ta Tong Community forest, Nakornratchasima Province.

ธนวิทย์ ถมกระจำง ^{1*} เอกกมล วรรณเมธี ²

Thanawit Thomkrajang ^{1*} Ekkamol Vannameteetee ²

* นักศึกษาหลักสูตรอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

** อาจารย์ประจำสาขาวิชาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* E-mail: t_thomkrajang@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) เพื่อศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้ โดยในการศึกษาขั้นต้นผู้วิจัยเลือกป่าชุมชนบ้านบุตาตองเป็นพื้นที่ศึกษาเนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างของสังคมพืชพรรณในป่าไม้ซับซ้อนมาก นักผู้วิจัยคำนวณความสูงของต้นไม้แต่ละต้นจากข้อมูลความสูงของพื้นผิวที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและเปรียบเทียบกับข้อมูลความสูงของต้นไม้จากการสำรวจภาคสนามในแปลงตัวอย่างจำนวน 10 แปลง หลังจากนั้นจึงประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยสมการแอลโลเมตรีของป่าเต็งรังและประเมินปริมาณคาร์บอนกักเก็บในแปลงตัวอย่างและทั้งพื้นที่ศึกษา ผลการวิจัยพบว่าความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและความสูงของต้นไม้ที่ได้จากการสำรวจในแปลงตัวอย่างมีความสอดคล้องกันค่อนข้างมาก ($r^2 = 0.715-0.898$) ความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยรายแปลงอยู่ระหว่าง -0.025 ถึง 0.07 เมตร ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลความสูงต้นไม้จากอากาศยานไร้คนขับในการประเมินปริมาณคาร์บอนกักเก็บได้ ผลการศึกษายังพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าชุมชน 9.13 ตันคาร์บอน/ไร่ และการคำนวณปริมาณคาร์บอนกักเก็บรายแปลงจากการใช้ข้อมูลอากาศยานไร้คนขับมีความแตกต่างจากการใช้ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่าง 13% - 59% การศึกษานี้สามารถใช้ในการสร้างกรอบขั้นตอนการประเมินคาร์บอนจากเทคนิคอากาศยานไร้คนขับเพื่อเป็นต้นแบบและเป็นแนวทางประยุกต์สำหรับพื้นที่ป่าไม้อื่นๆ ที่มีโครงสร้างของพืชพรรณซับซ้อนกว่าป่าชุมชนได้

คำสำคัญ: ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน, มวลชีวภาพ, อากาศยานไร้คนขับ, ป่าชุมชน

ABSTRACT

This study aims to estimate the amount of sequestered carbon in the community forest at Ban Bu Ta Tong, Nakornratchasima province using Unmanned Aerial Vehicle technique (UVA). This technique obtained height of surface as point clouds, which were subsequently converted into Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DEM). Height of individual trees are derived by subtracting DSM and DEM over tree crown identified by

<http://jeet.siamtechu.net>

visual interpretation. We also conducted field measurement of Individual tree heights (H) and diameter at the breast height of trees (DBH) in 10 plots of 40 * 40 meters for accuracy assessment of data obtained by UAV technique. Relations between H and DBH were formulated and used to estimate biomass and carbon amount of individual trees in the plots through allometric equations of deciduous dipterocarp forest type. The results show that height of trees derived by UAV techniques are strongly correlated to the field data (r^2 between 0.715 – 0.898). Average errors in tree height range between -0.025 to 0.07 meters among plots. The amount of carbon storage for all individual trees in the plots estimated using UAV data is different from those estimated using field data in a range of 13%-59%. These discrepancies can be explained by errors in estimating DBH given H from UAV since there is no clear relation between H and DBH in the plots. The amount of carbon for the entire forest is about 1827 tons or 9.13 tons per rai. This study may be used as a prototype in carbon estimation using UAV that can be further applied to forests in other areas with more complex tree structure.

Keywords: carbon sequestration; biomass; UAV; community forest

1. บทนำ

คาร์บอนเป็นธาตุเป็นองค์ประกอบหลักของสิ่งมีชีวิตและมีความสำคัญต่อระบบนิเวศ คาร์บอนถูกเก็บกักภายในองค์ประกอบต่างๆ ในสิ่งแวดล้อมและมีการหมุนเวียนไปตามวัฏจักรของคาร์บอน (Carbon Cycle) ต้นไม้มีบทบาทสำคัญในการกักเก็บ (Sink) และดูดซับคาร์บอนจากบรรยากาศด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงให้อยู่ในรูปของมวลชีวภาพ (Biomass) ของต้นไม้ การลดจำนวนป่าไม้จึงเป็นการลดแหล่งกักเก็บคาร์บอนและทำให้เกิดการปลดปล่อยคาร์บอนจากแหล่งกักเก็บสู่ระบบบรรยากาศ ซึ่งนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) และภาวะโลกร้อน (Global warming) ดังนั้นข้อมูลปริมาณคาร์บอนกักเก็บในป่าไม้จึงมีความสำคัญในการวางแผนการลดปริมาณของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศโลก

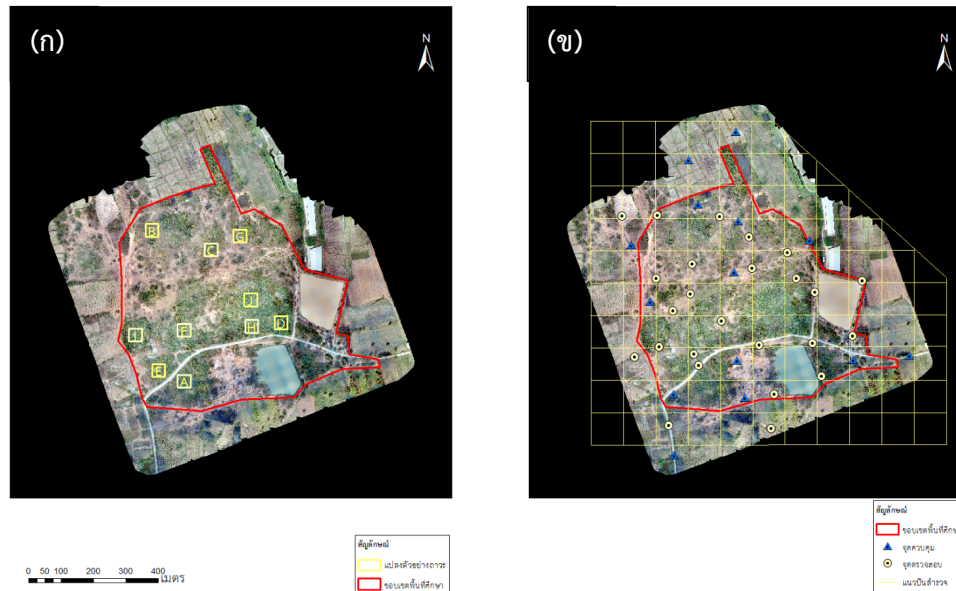
โดยทั่วไปแล้ว ปริมาณคาร์บอนกักเก็บของป่าไม้คำนวณจากลักษณะทางกายวิภาคของต้นไม้ในป่า เช่น ความสูง ความกว้างลำต้น ซึ่งได้จากการสำรวจในภาคสนามจากต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง [1] วิธีการดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากไม่ได้คำนวณปริมาณคาร์บอนจากต้นไม้ทุกต้นในพื้นที่ป่า การเก็บข้อมูลต้นไม้ในภาคสนามต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก [2] การวิจัยครั้งนี้จึงมีแนวคิดในการนำอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle : UAV) ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถเก็บข้อมูลความสูงพื้นผิวของภูมิประเทศและสิ่งปกคลุมดินได้ เพื่อเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้ทุกต้นในพื้นที่ป่า ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้ต่อไป ผลจากการศึกษาจะสามารถเป็นต้นแบบในการประเมินปริมาณคาร์บอนกักเก็บของป่าไม้ในบริเวณอื่นๆ ต่อไปได้

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

ประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าชุมชนบ้านบุตาต้อง จังหวัดนครราชสีมา

3. พื้นที่ศึกษา

ป่าชุมชนบ้านบุตาต้อง จังหวัดนครราชสีมา ตั้งอยู่ที่ตำบลนากลาง อำเภอสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา มีเนื้อที่ประมาณ 0.37 ตารางกิโลเมตร (230.19 ไร่) พรรณไม้ที่พบในป่าส่วนใหญ่ได้แก่ มะค่าแต้ ตะโก รัง และประดู่ป่า ขึ้นกระจายตัวเต็มพื้นที่ศึกษา และสภาพดินเป็นดินร่วนปนทราย [3] (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 (ก) ขอบเขตพื้นที่ศึกษาและตำแหน่งของแปลงตัวอย่างถาวร (ข) แนวการบินสำรวจ ตำแหน่งจุดควบคุม และจุดตรวจสอบในการผลิตแบบจำลองระดับสูงของภูมิประเทศ

4. วิธีการวิจัย

ขั้นตอนการศึกษประกอบด้วย การเก็บข้อมูลทางกายวิภาคต้นไม้จากการใช้อากาศยานไร้คนขับ และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม จากนั้นจึงทำการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้และปริมาณคาร์บอนกักเก็บในแปลงตัวอย่างทุกแปลง โดยเทียบเคียงระหว่างการใช้ข้อมูลจาก UAV และข้อมูลจากการสำรวจในภาคสนาม ตลอดจนปริมาณคาร์บอนกักเก็บของป่าชุมชนทั้งพื้นที่ รายละเอียดการดำเนินการวิจัยมีดังนี้

4.1 การเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้

4.1.1 การใช้อากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้

ผู้วิจัยใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ยี่ห้อ Phantom 4 PRO ความละเอียดของกล้องถ่ายภาพขนาด 20 ล้านเมกะพิกเซล ผู้วิจัยได้ทำการวางแผนการบินโดยจะบินสำรวจที่ความสูง 100 เมตร จากพื้นดินโดยให้มีส่วนซ้อนของภาพ (Overlap) ร้อยละ 85 และส่วนเกยของภาพ (Sidelap) ร้อยละ 70 ใช้เส้นทางการบินแบบ Double Grid ข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการบินสำรวจมีนามสกุลไฟล์ .JPG ขนาด $4,864 \times 3,648$ พิกเซล ผู้วิจัยใช้จุดควบคุม จำนวน 14 จุด เพื่อใช้ในการปรับแก้ความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลทั้งในแนวราบและแนวดิ่งของข้อมูลภาพถ่าย ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ผู้วิจัยใช้จุดตรวจสอบจำนวน 25 จุด (รูปที่ 1ข) และจะได้แผนที่มาตราส่วน 1: 5,000 โดยต้องมีค่า RMSE, ไม่เกิน 88.4 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING 2014 (ASPRS 2014) [4] การรังวัดจุดควบคุมและจุดตรวจสอบ ผู้วิจัยใช้วิธีการระบุพิกัดบนพื้นโลกจากการสำรวจด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) ประเภทการสำรวจแบบจลน์ในทันที (Real time Kinematic Survey : RTK) ในการระบุพิกัดดังกล่าว ผู้วิจัยประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยโปรแกรม PIX 4D โดยผลลัพธ์ภายหลังจากการประมวลผลข้อมูลจะได้ข้อมูลกลุ่มจุดสามมิติ (Point Cloud) ซึ่ง

สามารถทำไปผลิตเป็นแบบจำลองความสูงปกคลุมพื้นผิว (Digital Surface Model: DSM) แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) และภาพออร์โท (Orthophoto) ในลำดับต่อไป

ผู้วิจัยทำการประเมินตำแหน่งของต้นไม้จากค่าพิกัดของต้นไม้ที่ได้เก็บจากภาคสนาม สำหรับการหาความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ สามารถทำได้โดยการหาค่าความแตกต่างของความสูงจาก DSM และ DEM

4.1.2 การเก็บข้อมูลตำแหน่งและลักษณะทางกายวิภาคของต้นไม้จากการสำรวจในภาคสนาม

ผู้วิจัยสร้างแปลงตัวอย่างขนาด 40×40 เมตร จำนวน 10 แปลง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 10 ของพื้นที่ศึกษา โดยเลือกตำแหน่งของแปลงตัวอย่างด้วยวิธีสุ่ม (random sampling) ผู้วิจัยเก็บข้อมูลความสูง (H_t) เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่ระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดิน หรือเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at Breast Height : DBH) และตำแหน่งของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่างถาวร ยกเว้นต้นไม้ที่มี DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และ H_t สูงมากกว่า 1.30 เมตร [5] ผู้วิจัยใช้กล้องสำรวจประมวลผลรวม (Total Station) ในการเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้ โดยกำหนดให้ค่าพิกัดของต้นไม้ทุกต้นมีความสัมพันธ์กับค่าพิกัดของภาพถ่ายทางอากาศ และผู้วิจัยใช้เทปไนลอน (Nylon Tapes) ในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจจากแปลงตัวอย่างในภาคสนามจะใช้ตรวจสอบความถูกต้องกับของข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

4.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ (D-H Relations)

ผู้วิจัยได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ โดยการนำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่ทำการสำรวจภาคสนามและความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อมาหาความสัมพันธ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ของต้นไม้ที่อยู่นอกพื้นที่แปลงตัวอย่างถาวร เพื่อเป็นข้อมูลในการหามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ นอกแปลงพื้นที่ตัวอย่างถาวร โดยผู้วิจัยอ้างอิงสมการของ Ogawa, et al., 1965

$$DBH = H_t \times \left[\frac{1}{H_{max}} - \frac{1}{a} \right]^{-\frac{1}{b}} \quad (1)$$

เมื่อ H_t คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

DBH คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ (เซนติเมตร)

H_{max} คือ ความสูงของต้นไม้ที่สูงที่สุดในแปลงตัวอย่าง (เมตร)

a และ b คือ พารามิเตอร์

ผู้วิจัยประมาณค่าพารามิเตอร์ a , b ที่เหมาะสมในสมการ (1) ของแต่ละแปลงตัวอย่างโดยเลือกข้อมูลต้นไม้ร้อยละ 50 ในการประมาณค่าพารามิเตอร์และตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์จากต้นไม้อีกร้อยละ 50 ที่ไม่ได้ใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงเลือกแปลงตัวอย่างถาวรจำนวน 2 แปลง ที่มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดกำลังสองน้อยที่สุด (Rooted mean squared errors: RMSE) เป็นตัวแทนในการประมาณค่า a , b ของสมการที่ (1) ที่เหมาะสมของพื้นที่ศึกษา

4.3 การประเมินปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณมวลชีวภาพ (biomass) ซึ่งเป็นค่ามวลรวมขององค์ประกอบทางโครงสร้างของพืชทั้งส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ดังนี้

$$C_t = W_{ct} \cdot FC \quad (2)$$

เมื่อ C_t คือ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (กิโลกรัม)

W_{ct} คือ ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ (กิโลกรัม)

FC คือ สัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อมวลชีวภาพของต้นไม้ (กำหนดให้เท่ากับ 0.47) [5]

มวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ประกอบด้วยมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบของต้นไม้ ดังนี้

$$W_{ct} = W_s + W_b + W_l \quad (3)$$

เมื่อ W_s คือ มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

W_l คือ มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

W_b คือ มวลชีวภาพส่วนของกิ่ง (กิโลกรัม)

มวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของต้นไม้หาได้จากใช้สมการแอลโลเมตรี (allometry equations) ซึ่งเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพและลักษณะทางกายวิภาคของต้นไม้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้สมการของ Ogawa, et al. (1965) ซึ่งเป็นสมการประมาณค่ามวลชีวภาพของพรรณไม้ในป่าเต็งรัง[6]

$$W_s = 0.0396 DBH^2 H_t^{0.9326} \quad (4)$$

$$W_b = 0.00348 DBH^2 H_t^{1.0270} \quad (5)$$

$$W_l = \left[\frac{28}{(W_{ct} + 0.025) - 1} \right] \quad (6)$$

ผู้วิจัยประเมินปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนกักเก็บของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่างทั้ง 10 แปลงโดยใช้ความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ทุกต้นจากการใช้สมการ (1) ผู้วิจัยเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างปริมาณคาร์บอนกักเก็บในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงจากการใช้ข้อมูลความสูงของต้นไม้และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ได้จากการสำรวจในภาคสนาม จากนั้นผู้วิจัยทำการคำนวณปริมาณคาร์บอนกักเก็บของป่าชุมชน เนื่องจากไม่ทราบจำนวนต้นไม้นอกแปลงตัวอย่าง ผู้วิจัยจึงแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นกริดเซลขนาด 40 x 40 เมตร และประมาณค่าคาร์บอนกักเก็บเฉลี่ยของแต่ละกริดเซลจากข้อมูลความสูงเฉลี่ยของต้นไม้ที่ได้จากการอากาศยานไร้คนขับและประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกจากความสูงเฉลี่ยของแต่ละกริดเซล ผลรวมปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งพื้นที่จึงสามารถคำนวณได้จากผลรวมของคาร์บอนในแต่ละกริดเซล

5. ผลการวิจัย

5.1 การสร้างแบบจำลองระดับความสูงจากอากาศยานไร้คนขับ

ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีจำนวนทั้งหมด 1,818 ภาพ โดยการปรับแก้ความถูกต้องของภาพถ่ายทางอากาศจากจุดควบคุมภาคพื้นดินมีค่า RMSE (m) ของแกน X Y, และ Z เท่ากับ 0.013 0.010 และ 0.046 ตามลำดับ และการตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้ง (Accuracy XY/Z) ของภาพถ่ายจากจุดตรวจสอบทั้ง 25 จุดพบว่า มีค่า RMSE (m) ของแกน X Y และ Z เท่ากับ 0.025 0.017 และ 0.107 ตามลำดับ ข้อมูลกลุ่มจุด

<http://jeet.siamtechu.net>

สามมิติ (Point Cloud) ที่มีความหนาแน่นเฉลี่ย 188 จุดต่อตารางเมตร (รูปที่ 2) ซึ่งทำให้สามารถผลิตแบบจำลองความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวเชิงเลข (DSM) มีขนาดจุดภาพเท่ากับ 4.76 เซนติเมตร แบบจำลองความสูงพื้นผิวเชิงเลข (DEM) ขนาดจุดภาพเท่ากับ 11.9 เซนติเมตร และภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) มีขนาดจุดภาพเท่ากับ 2.83 เซนติเมตร ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหาความสูงของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่างในลำดับถัดไป



รูปที่ 2 ความสูงของสิ่งปกคลุมดินจากการประมวลผลข้อมูลกลุ่มจุดความสูง (point clouds) ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

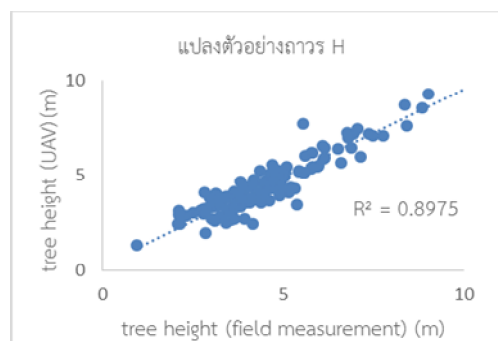
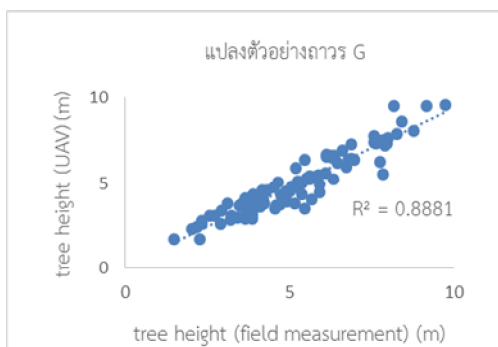
5.2 ความสูงต้นไม้จากการเก็บภาคสนามและอากาศยานไร้คนขับ

ผู้วิจัยคำนวณความสูงของต้นไม้ทุกต้นในแปลงตัวอย่างจากผลต่างของ DSM และ DEM และคำนวณค่าทางสถิติของความสูงต้นไม้ในแต่ละแปลง (ตารางที่ 1) พบว่าความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและจากการสำรวจภาคสนามมีความสอดคล้องกันทุกแปลงตัวอย่าง โดยมีค่า r^2 อยู่ระหว่าง 0.715 – 0.898 แปลงตัวอย่าง H มีความสัมพันธ์ของข้อมูลความสูงของต้นไม้มากที่สุด ($r^2 = 0.898$) และแปลงตัวอย่าง G มีความสัมพันธ์รองลงมา ($r^2 = 0.888$) (รูปที่ 3) ความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับแตกต่างจากความสูงของต้นไม้จากการสำรวจในภาคสนามเฉลี่ย -0.25 ถึง 0.07 เมตร จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลความสูงจากอากาศยานไร้คนขับใกล้เคียงกับความสูงของต้นไม้จากการสำรวจในภาคสนาม

ตารางที่ 1 ความสูงของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและการสำรวจภาคสนาม

แปลง	จำนวนต้นไม้ (ต้น)	ความสูงต้นไม้จากอากาศยานไร้คนขับ (เมตร)				ความสูงต้นไม้จากการสำรวจภาคสนาม (เมตร)				สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2)
		min	max	mean	SD	min	max	mean	SD	
A	229	2.11	7.53	4.66	0.93	2.24	7.41	4.71	1.03	0.762
B	183	1.57	9.66	4.92	1.57	1.34	9.51	4.99	1.40	0.810
C	95	1.36	6.51	3.81	1.02	1.57	6.36	3.77	1.16	0.758

D	150	1.50	8.37	4.33	1.54	1.35	8.58	4.44	1.59	0.840
E	145	2.00	6.34	4.05	0.95	1.79	6.56	4.07	0.98	0.775
F	195	1.98	6.78	4.08	0.93	1.95	7.18	4.17	1.03	0.789
G	106	1.70	9.57	4.88	1.76	1.48	9.75	5.14	1.78	0.888
H	155	1.35	11.93	4.58	1.75	1.94	12.21	4.63	1.80	0.898
I	110	1.90	7.57	4.33	1.17	1.64	7.99	4.41	1.20	0.715
J	187	2.68	10.56	5.88	1.75	2.26	12.06	6.03	1.79	0.873



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง G และ H ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (แกนตั้ง) และจากการรังวัดในภาคสนาม (แกนนอน)

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ (D-H Relations)

ผลการศึกษา พบว่า สมการ (1) สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความสูง (H) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ (D_{BH}) ในแปลงตัวอย่างถาวร H และ I ได้ดีที่สุดโดยมีค่า RMSE 0.79 เมตร และ 0.87 เมตรตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้ข้อมูลจากแปลงตัวอย่างทั้งสองแปลงนี้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ a และ b ในสมการ (1) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.86 และ 0.649 ตามลำดับ เมื่อนำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณความสูงของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างอื่นๆ พบว่าผลการคำนวณความสูงของต้นไม้ที่ได้จากสมการ (1) มีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลที่สำรวจในภาคสนามที่ RMSE ระหว่าง 0.873-1.929 เมตร โดยแปลงตัวอย่างที่ D มีค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าความสูงของต้นไม้มากที่สุด

การประมาณค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้จากความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับโดยใช้สมการ (1) และค่าพารามิเตอร์ a และ b ที่ได้จากแปลงตัวอย่าง 2 แปลงพบว่ามีค่า RMSE กับข้อมูลจากการวัดในภาคสนามอยู่ระหว่าง 4.640-34.310 เซนติเมตร โดยแปลงตัวอย่างที่ J มีค่าความคลาดเคลื่อนในการประมาณค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้มากที่สุด

5.4 การประเมินปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

การคำนวณปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนกักเก็บของต้นไม้จากข้อมูลความสูงต้นไม้และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลการสำรวจในภาคสนามมากที่สุด ในแปลงตัวอย่างถาวร A โดยมีความแตกต่างอยู่ที่ร้อยละ 13 ในขณะที่แปลงตัวอย่างถาวร D และ J เป็นแปลงตัวอย่างที่มีค่าปริมาณมวลชีวภาพและคาร์บอนกักเก็บที่แตกต่างจากข้อมูลจากการสำรวจภาคสนามมากที่สุดคือร้อยละ 59 และ 49 ตามลำดับ ผู้วิจัยพบว่าความสูงของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างทั้งสองแปลงนี้มีความหลากหลายภายในแปลงค่อนข้างมากกว่าแปลงอื่นๆ (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ค่า RMSE จากการประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต้นไม้ที่สำรวจจริงในภาคสนาม

กับค่าที่ได้จากการประมาณด้วยสมการที่ (1) มีค่าสูงกว่าแปลงตัวอย่างอื่น (11.87 และ 34.31 เซนติเมตรในแปลง D และ J ตามลำดับ) ดังนั้นจึงอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงในการประเมินปริมาณคาร์บอนกักเก็บในแปลงตัวอย่างนี้

ตารางที่ 2 ปริมาณมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างถาวร

แปลง	มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)		ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (กิโลกรัม)		ผลต่าง (%)
	อากาศยานไร้คนขับ	ภาคสนาม	อากาศยานไร้คนขับ	ภาคสนาม	
A	3,319	2,948	1,385	1,560	-13
B	5,298	3,366	1,582	2,490	-36
C	701	1,117	525	329	37
D	3,323	8,044	3,781	1,562	59
E	1,014	1,672	786	476	39
F	1,775	2,289	1,076	834	22
G	5,466	8,667	4,073	2,569	37
H	3,727	2,897	1,362	1,752	-22
I	1528	2,175	1,022	718	30
J	11,215	5,729	2,693	5,271	-49

จากผลการวิจัยการประมาณคาร์บอนกักเก็บในป่าชุมชน พบว่าป่าชุมชนบ้านบุตาตองมีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งพื้นที่เป็น 1,827 ตัน หรือคิดประมาณ 9.13 ตัน/ไร่

6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

จากการวิจัย พบว่า อากาศยานไร้คนขับสามารถใช้ในการประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ได้เนื่องจากการเก็บข้อมูลความสูงของต้นไม้มีความสอดคล้องกับข้อมูลความสูงต้นไม้ที่มีการสำรวจภาคสนาม แต่ในการประเมินปริมาณคาร์บอนกักเก็บจากข้อมูลความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอย่างเดียวจากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลความสูงของต้นไม้จากอากาศยานไร้คนขับ มีความแตกต่างกันสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 59 เมื่อเปรียบเทียบกับงานสำรวจในภาคสนาม ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมาจากการประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่ไม่ถูกต้องเพราะเนื่องจากความสูงของต้นไม้และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอย่างเดียวมีความสัมพันธ์ที่ไม่ชัดเจนและไม่สามารถอธิบายได้จากสมการ (1) อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับทำให้สามารถทราบความสูงของต้นไม้ทุกต้นในพื้นที่จึงทำให้สามารถประมาณปริมาณคาร์บอนกักเก็บรวมของทั้งพื้นที่ตลอดจนทำให้สามารถศึกษากระจายตัวของปริมาณคาร์บอนกักเก็บในเชิงพื้นที่ได้

7. ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการประเมินค่ามวลชีวภาพด้วยสมการแอลโลเมตรีแยกตามชนิดของพืชพรรณเพื่อให้ได้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าการใช้สมการแอลโลเมตรีตามประเภทของป่าไม่ในการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้แต่ละต้น

<http://jeet.siamtechu.net>

2. ควรประยุกต์ใช้เทคนิคการนับจำนวนต้นไม้และระบุตำแหน่งของต้นไม้แบบอัตโนมัติ แทนการระบุตำแหน่งต้นไม้จากการตีความภาพถ่ายทางอากาศด้วยสายตาเพื่อประหยัดเวลาและลดแรงงาน

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ส่วนพัฒนานวนศาสตร์ชุมชน (2557). คู่มือการสำรวจการกักเก็บคาร์บอนและความหลากหลายทางชีวภาพในป่าชุมชน, กรุงเทพฯ: สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้
- [2] ชิงชัย วิริยะบัญชา (2546). คู่มือการประเมินมวลชีวภาพของหมูไม้, กรุงเทพฯ: ฝ่ายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
- [3] กรมป่าไม้ บุตาต้อง. (2560). ทะเบียนป่าชุมชน [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://forestinfo.forest.go.th/fCom_detail.aspx?id=8998, เข้าดูเมื่อวันที่ 02/09/2017.
- [4] ASPRS. AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. ASPRS accuracy standards for large-scale maps. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1078-1080, 1990.
- [5] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (2558). สาขาป่าไม้และการเกษตร กรุงเทพฯ: การพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย
- [6] Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K. & Kira, T. (1965). Comparative Ecological Studies on Three Main Type of Forest Vegetation in Thailand II. Plant Biomass, Nature and Life in Southeast Asia Vol 4, pp.49-80.