

การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณค่าการกักเก็บคาร์บอน
ในสวนป่าสัก สถานีวนวัฒนวิจัยเชียงราย จังหวัดเชียงราย

Use of Unmanned Aerial Vehicles in Quantifying Carbon Sequestration in Teak
Forest Operations at the Chiang Rai Silvicultural Research Station, Chiang Rai
Province

คงศักดิ์ สร้อยเสนา¹, ยุวดี พลพิทักษ์² ปิยะพิศ ขอนแก่น¹, และต่อลาภ คำโย^{2*}
Kongsak Soisena¹, Yuwadee Ponpithuk², Piyapit Khonkaen¹ and Torlarp Kamyo^{2*}

¹ สาขาวิชาการจัดการป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ต.แม่ทราย อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140

¹ Department Forest Management, Maejo University Phrae Campus, Mae Sai, Rong Kwang, Phrae 54140, Thailand

² สาขาวิชาเกษตรป่าไม้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้-แพร่ เฉลิมพระเกียรติ ต.แม่ทราย อ.ร้องกวาง จ.แพร่ 54140

² Department of Agroforestry, Maejo University Phrae Campus, Mae Sai, Rong Kwang, Phrae 54140, Thailand

*Corresponding Author; e-mail address: torlarp66@gmail.com

รับต้นฉบับ 12 สิงหาคม 2568

Received: 12 August 2025

รับแก้ไข 5 ตุลาคม 2568

Revised: 5 October 2025

รับลงพิมพ์ 10 ตุลาคม 2568

Accepted: 10 October 2025

ABSTRACT

In this study, we used unmanned aerial vehicles (UAVs) to estimate the carbon sequestration in a teak plantation at the Chiang Rai Silvicultural Research Station. The research focused on a teak stand established in 1988. Tree height was estimated using digital terrain models (DTMs) and digital surface models (DSMs) generated using UAV imagery and was compared with field measurements obtained from three sample plots (40 × 40 m each). Field data collection included the measurement of diameter at breast height (DBH) and tree height. Results indicated that UAV-derived tree heights were, on average, higher than field measurements by 1.24 m, 1.78 m, and 1.54 m for Plots 1–3, respectively, with a root mean square error (RMSE) of 2.14 m. A strong correlation was observed between UAV and field-based measurements ($R^2 = 0.88$). The estimated carbon stock from UAV data and field inventory was 30.31 and 34.51 tC ha⁻¹, respectively. UAV-based estimates exceeded the field data on average by 4.20 tC ha⁻¹, or 12.89%. The use of UAVs significantly reduced the survey time; however, the accuracy of ground control points remains a critical factor, as it directly affects the reliability of such height models and subsequent carbon sequestration estimates.

Keywords: Unmanned aerial vehicles; Biomass; Carbon sequestration; Chiang Rai Silvicultural Research Station

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicles, UAV) เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักของสถานีวนวัฒนวิจัยเชียงราย โดยศึกษาในแปลงปลูกสักปี พ.ศ. 2531 (อายุ 37 ปี) โดยการหาค่าความสูงของต้นสักจากแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข และแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมพื้นผิวเชิงเลข จากอากาศยานไร้คนขับเปรียบเทียบกับค่าการเก็บข้อมูลภาคสนามโดยวางแผนสำรวจขนาด 40 x 40 เมตร จำนวน 3 แปลง เก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงของต้นสัก ผลการวิจัยพบว่าความสูงจากอากาศยานไร้คนขับมีค่าความสูงเฉลี่ยที่สูงกว่าข้อมูลภาคสนามในแปลงที่ 1 ถึง 3 มีค่าเท่ากับ 1.24 1.78 และ 1.54 เมตร ตามลำดับ มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 2.14 พบว่าค่าความสูงของทั้ง 2 วิธี มีความสอดคล้องกันค่อนข้างมาก ($r^2 = 0.88$) ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ประเมินโดยใช้จากอากาศยานไร้คนขับและจากการสำรวจภาคสนาม มีค่าเท่ากับ 30.31 และ 34.51 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ค่าประเมินการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีสูงกว่าการเก็บข้อมูลภาคสนามเฉลี่ย 4.20 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ หรือคิดเป็นร้อยละ 12.89 การนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนสามารถช่วยลดระยะเวลาในการสำรวจ แต่สิ่งที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติมคือเครื่องมือในการจับค่าพิกัดภาคพื้นดินที่ต้องมีความละเอียดสูงเนื่องจากมีผลต่อความสูงของแบบจำลองความสูงลักษณะภูมิประเทศและการคำนวณค่าความสูงของต้นไม้ซึ่งจะส่งผลต่อการประเมินการกักเก็บคาร์บอนที่คลาดเคลื่อนได้

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ การสำรวจมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน สถานีวนวัฒนวิจัยเชียงราย

คำนำ

ป่าไม้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการกักเก็บคาร์บอนในรูปแบบชีวมวลเหนือพื้นดิน (aboveground biomass, AGB) วิธีการที่ใช้แบบดั้งเดิมคือการวางแผนสำรวจเก็บข้อมูลชนิดพรรณไม้ ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและใช้สมการแอลโลเมตริก ในการคำนวณหาค่ามวลชีวภาพ ความสูงของต้นไม้เป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินชีวมวลภาพของต้นไม้และการกักเก็บคาร์บอน (Larjavaara and Helene, 2013) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา การใช้วิธีการสำรวจระยะไกลและการใช้อากาศยานไร้คนขับ ได้มีการศึกษาและวิจัยเพิ่มขึ้นอย่างมากเนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี (Lu et al. 2019) ซึ่งการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและการใช้อากาศยานไร้คนขับจะเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ทำให้สามารถประเมินความสูงของต้นไม้ได้อย่างแม่นยำในรูปแบบกึ่งอัตโนมัติ (Zarco Tejada et al. 2014; Panagiotidis 2017; Krause et al. 2019) วิธีการดั้งเดิมการหาความสูงของต้นไม้จะได้รับการเข้าไปสำรวจและเก็บข้อมูลจากภาคสนาม โดยใช้เครื่องมือ อาทิเช่น โคลโนมิเตอร์ (clinometer) เครื่องวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก (vertex hypsometer) และไม้วัดความสูงของต้นไม้ที่สามารถวัด 15 -20 เมตร เป็นต้น ปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการสำรวจงานด้านทรัพยากรป่าไม้ งานรังวัดโดยใช้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดสูงจากการนำภาพถ่ายจากโดรนมาผ่านกระบวนการประมวลผลทางด้านโฟโตแกรมเมตรี (photogrammetry) นอกจากนั้นยังใช้ในงานติดตามอุทกภัย ต่างๆ การสำรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพ

พื้นที่ การสำรวจผลผลิตทางการเกษตร แต่อากาศยานไร้คนขับก็ยังมีความจำกัดในเรื่องขนาดของพื้นที่ในการบินสำรวจ ซึ่งเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก โดยครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 1 - 5 ตารางกิโลเมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งจะมีประสิทธิภาพผลลัพธ์ความถูกต้องทางตำแหน่งสูงขึ้นอยู่ที่ระดับน้อยกว่า 10 เซนติเมตร (Ngermin, 2018) นอกจากอากาศยานไร้คนขับจะสามารถจัดทำแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศได้แล้วยังสามารถนำข้อมูลจากภาพถ่ายของโดรนมาจัดทำแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (digital terrain model, DTM) และแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมพื้นผิวเชิงเลข (digital surface model, DSM)

สถานีวนวัฒนวิจัยเชียงราย มีภารกิจในการดูแลบำรุงแปลงปลูกสวนป่าสัก ซึ่งต้องเก็บข้อมูลการความโตและความสูงของต้นสักทุกปี ความสูงเฉลี่ยของสวนป่าสักที่มีอายุเกิน 10 ปี จำนวน 450 ไร่ มีค่าเท่ากับ 17.23 เมตร (Chiang Rai Silvicultural Research Station, 2003) โดยเจ้าหน้าที่ต้องเก็บข้อมูลและวัดความสูงต้นไม้ด้วยไม้วัดความสูง ซึ่งเมื่อลงพื้นที่ปฏิบัติงานจริงจะมีความยุ่งยากและใช้เวลานาน ดังนั้นหากนำเทคโนโลยี การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเข้ามาใช้แทนไม้วัดความสูงจะทำให้การเก็บข้อมูลดังกล่าวมีความสะดวกยิ่งขึ้น รวมถึงสามารถเปรียบเทียบการคำนวณหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (aboveground biomass, AGB) จากสมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ด้วยเครื่องมือทั้ง 2 วิธีการ เพื่อหาวิธีการที่ถูกต้องและแม่นยำซึ่งจะเป็นแนวทางในการช่วยปฏิบัติงานให้กับหน่วยงานภาคสนามของกรมป่าไม้ต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

สถานีวนวัฒนวิจัยเชียงราย ตั้งอยู่ ตำบลป่าแดด อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย เป็นแปลงปลูกสำหรับเป็นแหล่งผลิตเมล็ดพันธุ์ต้นสัก โดยจะทำการศึกษาแปลงปลูกสวน

ป่าสัก แปลงปี พ.ศ.2531 เนื้อที่จำนวน 24 เฮกตาร์ (Figure 1) มีระยะปลูก 8 x 8 เมตร ลักษณะภูมิประเทศพื้นที่เป็นราบและเนินเขา ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 498 -527 เมตร

1

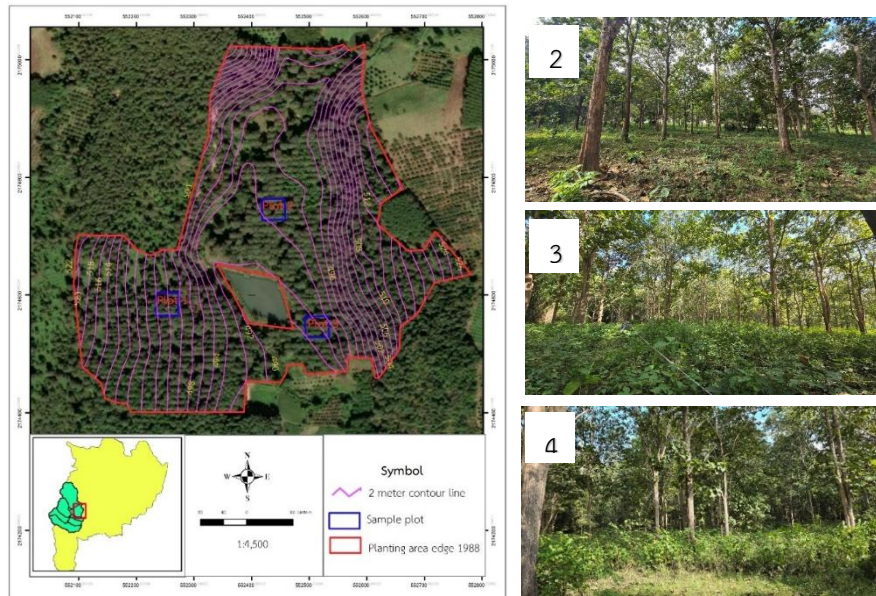


Figure 1 1) Map of the study area (24 ha). 2) Sample plot 1. 3) Sample plot 2. 4) Sample plot 3

วิธีดำเนินการ

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของต้นสัก ทำการวางแผนสำรวจ โดยเลือกแปลงแบบบังใจ (Subjective sampling) โดยพิจารณาความแตกต่างของลักษณะภูมิประเทศกระจายทั้งแปลงปลูกสวนป่าสักและพิจารณาความหนาแน่นของเรือนยอดที่ใกล้เคียงกัน โดยวางแผน จำนวน

3 แปลง ขนาดแปลง 40 x 40 เมตร จับค่าพิกัดมุมแปลงโดยใช้เครื่องจับพิกัดภาคพื้นดิน ยี่ห้อ Garmin etrex 20x เก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน ความสูงของต้นสักใช้ไม้วัดยี่ห้อ Hastings ความยาว 15 เมตร วิธีการวัดทำการวัดจากยอดของต้นสักลงมายังโคนต้น โดยแบ่งการวัดแบบเป็นช่วงๆ เนื่องจากไม้วัดความสูงมีความยาวที่สั้นกว่าความสูงของต้นสัก (Figure 2)



Figure 2 1) Tree dimensions as measured from the mid-stem to the tree base
2) Tree dimensions as measured from the top of the crown down to the mid-stem

2. อากาศยานไร้คนขับบินถ่ายภาพ

2.1 กำหนดจุดวางเป้าจุดควบคุมภาคพื้นดิน (ground control point, GCP) โดยใช้เครื่องจับพิกัดตำแหน่งภาคพื้นดิน ยี่ห้อ Garmin etrex 20x จำนวน 6 จุด ครอบคลุมแปลงปลูกสักพื้นที่ 24 เฮกตาร์ เพื่อใช้ในการปรับแก้ภาพถ่ายทางอากาศทั้งแปลง

2.2 ใช้อากาศยานไร้คนขับ เป็นแบบ 4 ใบพัด (Multirotor) ยี่ห้อ DJI รุ่น Mavic pro เชื่อมต่อกับโทรศัพท์ ทำการวางแผนแนวมินที่ด้วยแอปพลิเคชัน (Application) Copterus ในการบินถ่ายภาพพื้นที่ศึกษา บินที่ระดับความสูง 90 เมตรจากพื้นดิน ในส่วนของการถ่ายภาพนั้นกำหนดให้มีส่วนซ้อน 80% ของภาพ (overlap) และส่วนเกย 70% ของภาพ (side lap) (Rinnamang *et al.*, 2020) ความเร็วในการถ่ายภาพ เท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที ครอบคลุมพื้นที่ 24 เฮกตาร์

3. นำภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับประมวลผล

ในโปรแกรม PIX4Dmatic ใส่ค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCP) ส่งออกข้อมูลเป็นภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูล point cloud ในรูปแบบ las dataset ใช้โปรแกรม ArcGIS Pro ในวิเคราะห์จำแนกชั้นความสูงของ point cloud นำข้อมูล point cloud ground สร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (digital terrain model, DTM) และข้อมูล point cloud ทุกชั้นการสร้างแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมพื้นผิวเชิงเลข (digital surface model, DSM) คำนวณหาแบบจำลองความสูงทรงพุ่ม (canopy height model, CHM) โดยใช้เครื่องมือ Raster Calculator ในโปรแกรม ArcGIS Pro ในการคำนวณ โดยใช้รูปแบบในงานวิจัยของ Ahmad and Qayum, (2017) (Figure 3)

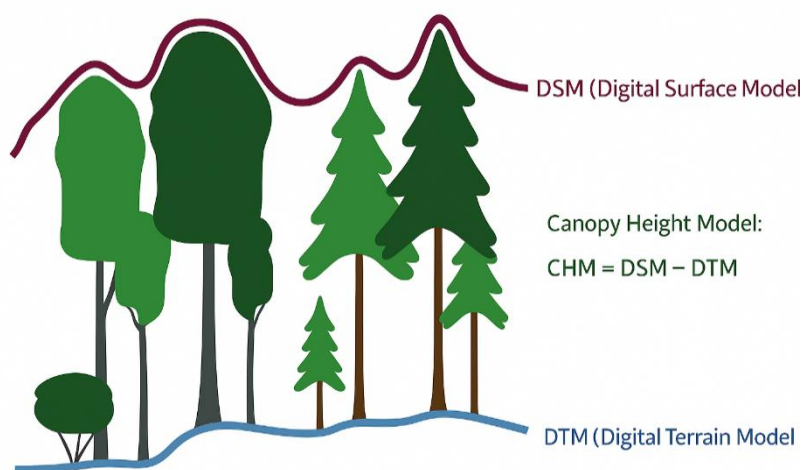


Figure 3 Depiction of canopy height model, CHM (Ahmad and Qayum, 2017)

4. นำภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ ปรับสีและเพิ่มความคมชัดปรับเป็นภาพระดับสีเทาโดยการลบ แลบลีเขียวและสีแดงออกจากภาพ RGB ค่า ปรับเป็นภาพสีเทา ทำการ Binary Image โดยที่สีขาวแทนเรือนยอดของต้นไม้ และสีดำแทนพื้นดิน กำหนดขอบเขตเรือนยอดของต้นไม้ในภาพ Binary Image เพื่อแยกเรือนยอดของต้นไม้แต่ละต้น (Kartinen *et al.*, 2012; Penboon *et al.*, 2023) ในแปลงสำรวจโดยอ้างอิงจากค่าพิกัดแปลงสำรวจและลำดับแถวและต้น

โดยเปรียบเทียบกับลักษณะสภาพในพื้นที่เนื่องจากตำแหน่งของ ต้นสักมีลักษณะเป็นแถวที่ชัดเจน หลังจากการสร้างขอบเขตเรือนยอดของต้นไม้แล้ว คำนวณจุดศูนย์กลางและรัศมีของเรือนยอดของต้นไม้แต่ละต้น จากนั้นหาค่าความสูงของต้นไม้จากรัศมีของ เรือนยอดกับแบบจำลองความสูงทรงพุ่ม (CHM) โดยใช้ วิธี Zonal Statistics ใน Quantum GIS (Khosravipour *et al.*, 2015; Mohan *et al.*, 2017) (Figure 4)

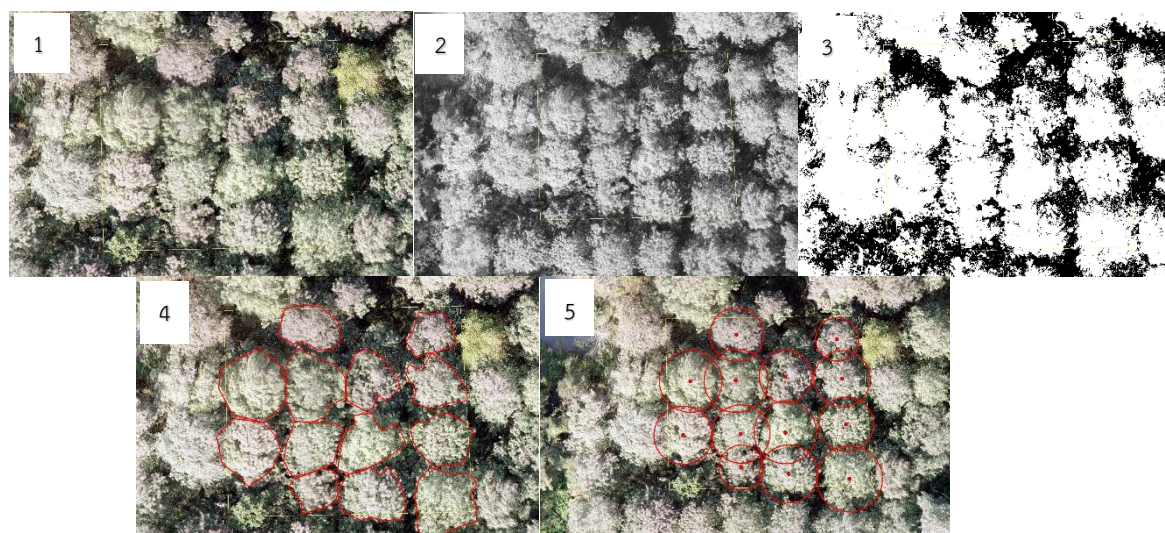


Figure 4 Photogrammetric workflow for tree canopy segmentation: (1) Orthophoto image, (2) Grayscale image, (3) Binary image, (4) Canopy delineation, and (5) Canopy center and canopy cover.

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 ตรวจสอบความถูกต้องระหว่างความสูงของทั้ง 2 วิธี โดยวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (root means squared error, RMSE) ด้วยสมการที่ 1 รวมทั้งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความสูงที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามและอากาศยานไร้คนขับในแต่ละแปลงโดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination, R^2)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad \text{สมการ 1}$$

n = จำนวนตัวอย่าง

x = ความสูงของต้นสักจากอากาศยานไร้คนขับ

y = ความสูงของต้นสักจากภาคสนาม

5.2 วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) ระหว่างข้อมูลความสูงของต้นสักจากการวัดในภาคสนามและการคำนวณความสูงของต้นไม้ด้วยแบบจำลองทรงพุ่ม (CHM)

5.3 การประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของไม้สัก (Wiriabuncha *et al.*, 2004) ตามสมการ

$$\begin{aligned} W_S &= 0.0441(D^2H)^{0.8445} \\ W_L &= 0.0026(D^2H)^{1.0066} \\ W_B &= 0.0012(D^2H)^{1.0712} \\ W_T &= 0.0454(D^2H)^{0.8801} \end{aligned}$$

หมายเหตุ: W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

5.4 การประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นสัก โดยใช้สมการของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) ได้กำหนดว่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพของต้นไม้เป็นคาร์บอน จึงมีสมการดังนี้

$$C = AGB \times 0.47$$

เมื่อ 0.47 คือ ร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ โดย C คือ การกักเก็บคาร์บอน AGB คือ มวลชีวภาพเหนือดินของต้นไม้

ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนด้วยอากาศยานไร้คนขับ แปลงสวนป่าสักแปลงปี พ.ศ. 2531 สถานีวนวัฒนวิจัยเชียงราย ตำบลป่าแดด อำเภอแม่สรวย จังหวัดเชียงราย ผลการวิจัย ดังนี้

1. ข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

ผลการประมวลผลภาพ จากการบินสำรวจและถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ จำนวน 403 ภาพ เมื่อนำ

ไปประมวลผลด้วยโปรแกรม PIX4Dmatic ได้ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียด เท่ากับ 4.52 cm/pixel แบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมพื้นผิวเชิงเลข (Digital Surface Model; DSM) แบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (digital terrain model, DTM) ความละเอียดของภาพเท่ากับ 5 cm/pixel ความสูงของแบบจำลองอยู่ในช่วง 427 - 548 และ 427 - 591 เมตร ตามลำดับ สำหรับแบบจำลองความสูงทรงพุ่ม (canopy height model, CHM) ความสูงอยู่ในช่วง 0 - 40.7 เมตร (Figure 5)

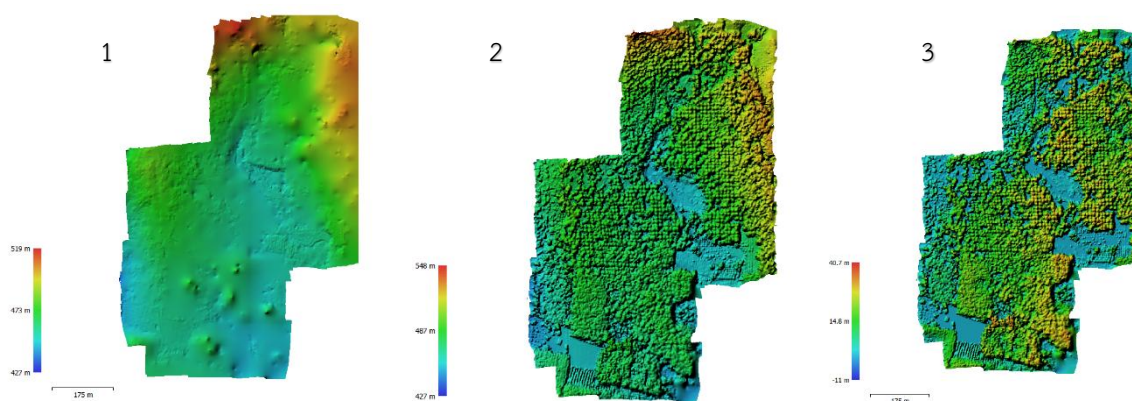


Figure 5. Digital elevation models generated using UAV photogrammetry: (1) Digital Terrain Model (DTM), (2) Digital Surface Model (DSM), and (3) Canopy Height Model (CHM).

2. ผลการตรวจสอบความถูกต้องระหว่างความสูงของต้นสักทั้ง 2 วิธี

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (root mean square error, RMSE) พบว่าแปลงที่ 2 มีค่า RMSE มากที่สุด มีค่าเท่ากับ 2.46 รองลงมาแปลงที่ 1 และ 3 ตามลำดับ

ค่าเฉลี่ยของ RMSE ทั้ง 3 แปลง มีค่าเท่ากับ 2.14 (Table 1) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Penboon (2023) ที่ทำการศึกษาความสูงของต้นไม้โดยใช้อากาศยานไร้คนขับในพื้นที่ป่าของวนอุทยานไชยบวร พบมีค่า RMSE เท่ากับ 2.59 ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

Table 1. Root Mean Square Error (RMSE) between tree heights measured in the field and from UAV data.

Polt	Number of Trees	MSE	RMSE
1	15	3.70	1.92
2	14	6.06	2.46
3	13	4.13	2.03

3. เปรียบเทียบค่าความสูงที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามกับความสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

ผลการศึกษาค่าความสูงที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามกับความสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ จำนวน 3 แปลง พบต้นสักจำนวน 42 ต้น ในแต่ละแปลงมีจำนวนต้น 15, 14 และ 13 ต้น ตามลำดับ จำนวนต้นสักหาได้จากพื้นที่ครอบคลุมของเรื่อนยอวาดด้วยสายตาจากภาพ Binary Image

จากภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับตรงกับจำนวนต้นสักที่ได้จากการสำรวจภาคสนามบริเวณแปลงสำรวจเนื่องจากต้นสักในแปลงศึกษาเป็นต้นสักที่คัดเลือกแม่พันธุ์และมีการตัดแต่งกิ่งทำให้มีลักษณะเปลาตรงและไม่มีต้นแตกนาง ความสูงของต้นสักพบว่าในแปลงที่ 1-3 มีค่าความสูงเฉลี่ยที่แตกต่างกันเท่ากับ 1.24, 1.78 เมตร 1.54 เมตร ตามลำดับ พบแปลงที่ 2 มีค่าความแตกต่างความสูงมากที่สุด (Table 2)

ค่าความสูงของต้นสักที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข เป็นตัวแปรสำคัญจากค่าที่ได้แสดงว่าแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลขมีค่าความสูงที่ต่ำกว่าลักษณะภูมิประเทศจริง โดยเฉพาะบริเวณแปลงที่ 2 ซึ่งเป็นแปลงที่มีวัชพืชปกคลุมพื้นดินมากที่สุดและมีจุด point cloud ground กระจายตัวน้อยที่สุดส่งผลให้การประมวลผลแบบจำลองความสูงพื้นผิวมีความคลาดเคลื่อนประกอบกับจุดควบคุมภาคพื้นดินมีความแม่นยำของความสูง อยู่ในระดับ

5 - 10 เมตร เนื่องจากใช้เครื่องจับพิกัดแบบพกพา เมื่อนำความสูงของทั้ง 2 วิธีทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิแบบกล่อง (box plot) จะเห็นได้ว่าค่าความสูงที่ได้จากจากอากาศยานไร้คนขับจะมากกว่าความสูงที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยในแปลงที่ 2 มีความสูงแตกต่างกันมากที่สุด (Figure 6) และเมื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของทั้ง 2 วิธี พบว่าค่า R^2 เท่ากับ 0.88 พบว่ามีความสัมพันธ์กันค่อนข้างมาก (Figure 7)

Table 2. Comparison of tree heights measured from field surveys and UAV data across the three sample plots.

Polt	Number of Trees	Heigth field (m)			Heigth uav (m)			Sum of Squared Errors (SSE) (m)	R^2
		min	max	mean	min	max	mean		
1	15	17.80	23.80	19.91	17.55	24.23	21.15	1.24	0.45
2	14	24.56	30.60	27.75	24.97	34.07	29.53	1.78	0.65
3	13	22.60	29.8	25.92	23.39	31.7	27.47	1.54	0.76

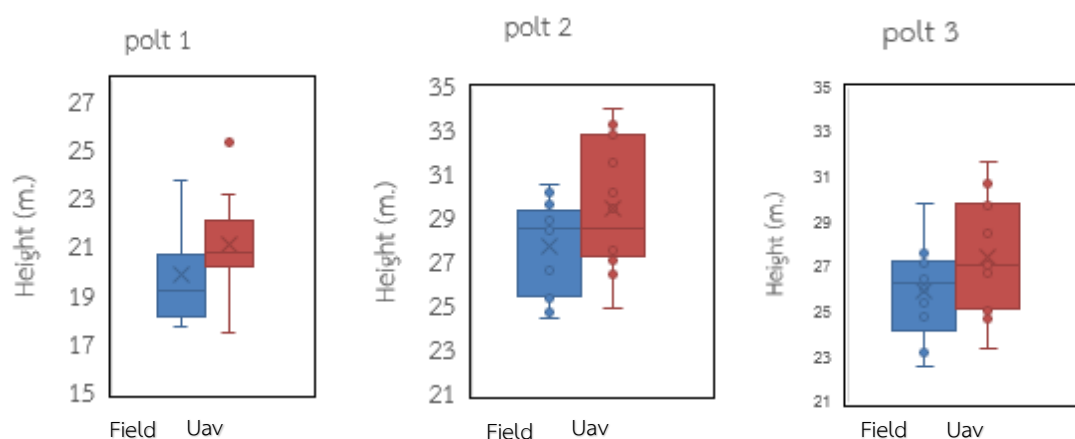


Figure 6 Box-and-whisker plots comparing the teak tree height data between field measurements and UAV-derived measurements for each sample plot.

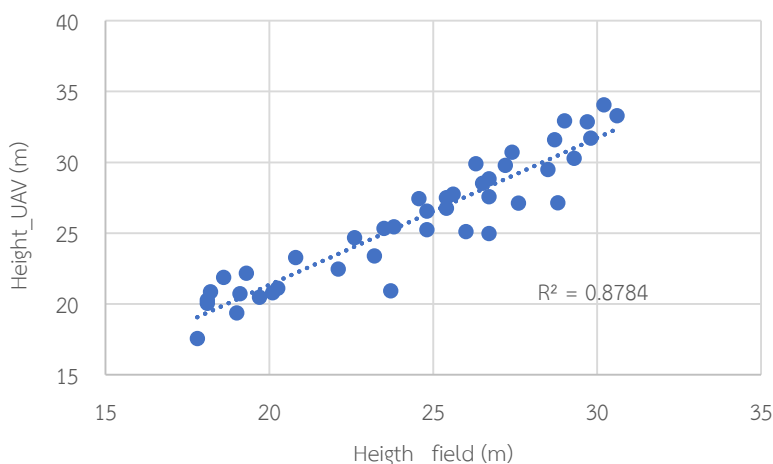


Figure 7 Linear regression models exhibiting the relationship correspondence between teak tree heights estimated using UAV data and field measurements.

4. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกจากข้อมูลภาคสนาม

ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) ได้สมการถดถอยเชิงเส้น $y = 1.8062x + 5.4798$ ค่า R^2 เท่ากับ 0.42 จะเห็นได้ว่าความสูงของต้นสักมีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก

ค่อนข้างน้อย (Figure 8) สาเหตุส่วนหนึ่งเนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นสักทั้ง 3 แปลง มีค่าแตกต่างกันมาก ในแปลงที่ 2 มีขนาดสูงสุดถึง 86.31 เซนติเมตร และน้อยที่สุดในแปลงที่ 1 มีขนาด 28.98 เซนติเมตร ส่วนความสูงนั้นความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย

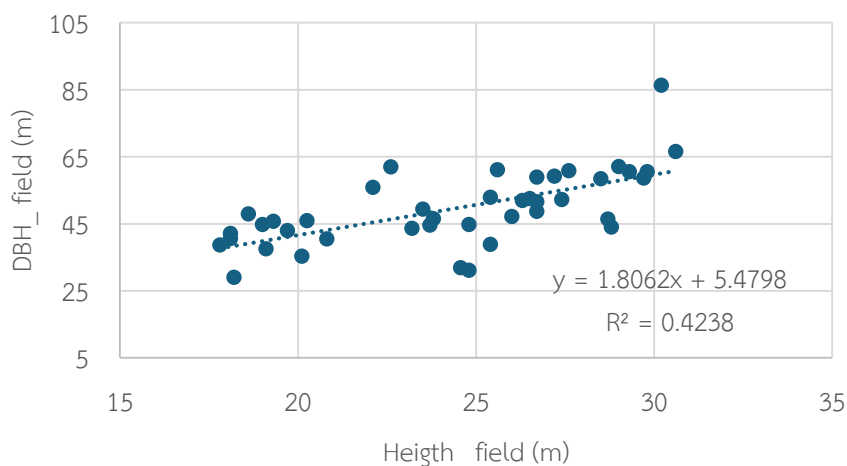


Figure 8 Linear regression models exhibiting the correspondence between tree height and diameter at breast height (DBH) obtained from field measurements.

5. ประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอน

จากการศึกษาพบว่า การประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่คำนวณได้จากอากาศยานไร้คนขับและ

จากข้อมูลภาคสนาม มีค่าเท่ากับ 73.42 และ 64.49 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ เมื่อเทียบผลการศึกษาของ Rinnamang, (2020) ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับสวนป่าสักอายุ 36 ปี มีค่าเท่า 67.13 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์

มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของข้อมูลจากอากาศยานไร้คนขับและข้อมูลจากภาคสนามมีค่าเท่ากับ 30.31 และ 34.51 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ จากผลต่างเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับพบมีค่ามากกว่าข้อมูล

ภาคสนาม เฉลี่ย 4.2 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ คิดเป็นร้อยละ 12.89 (Table 3) จากข้อมูลรายแปลงพบว่าแปลงที่ 2 มีผลต่างการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด

Table 3 Aboveground biomass and carbon sequestration values.

Plot	Above ground biomass (t/ha)		Carbon stock (tC/ha)		Difference	% Difference
	field	UAV	field	UAV		
1	40.26	44.03	18.92	20.69	1.77	9.34
2	84.21	99.76	39.58	46.89	7.31	18.46
3	69.00	76.49	32.43	35.95	3.52	10.86
Sum	193.47	220.27	90.93	103.53	12.60	38.66
Avg/ha	64.49	73.42	30.31	34.51	4.20	12.89

สรุปข้อเสนอแนะ

จากผลการงานวิจัยในการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้ในการประเมินการเก็บกักคาร์บอนสวนป่าสักที่มีอายุ 37 ปี โดยมีระยะปลูกที่ 8 x 8 เมตร พบว่าความสูงที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับมีค่าเฉลี่ยความสูงที่มากกว่าความสูงที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม โดยเฉพาะแปลงที่ 2 ที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นเนินเขา แต่ข้อมูลที่ได้มีลักษณะที่มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบหาค่าความคลาดเคลื่อนพบว่า มีค่าความแตกต่างของความสูง ± 2.14 เมตร ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ได้จากการประเมินโดยใช้อากาศยานไร้คนขับมีค่าที่มากกว่าการเก็บข้อมูลภาคสนามเฉลี่ย 4.20 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ คิดเป็นร้อยละ 12.89 แต่อย่างไรก็ตามสามารถนำอากาศยานไร้คนขับมาช่วยในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสักในเบื้องต้นได้ เพื่อลดระยะเวลาในการสำรวจข้อมูลภาคสนาม

จากผลการวัดความสูงของต้นสักที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับพบว่าผลที่ได้มาจากแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (digital terrain model, DTM) ยังมีที่ไม่วัดคล้อยกับสภาพพื้นที่จริงโดยเฉพาะพื้นที่ที่มีความลาดชัน ประกอบกับความหนาแน่นของเรือนยอดและวัชพืชปกคลุมพื้นผิวดินค่อนข้างสูง

ส่งผลการคำนวณค่าความสูงของต้นไม้มีความคลาดเคลื่อนจากการเก็บข้อมูลภาคสนาม สำหรับการหาค่าความสูงของต้นสักพบว่าต้นสักที่มีความสูงที่แตกต่างกันมีลักษณะในการจำแนกเรือนยอดค่อนข้างยาก เนื่องจากมีการทับซ้อนกันของเรือนยอดที่ทำให้การนับจำนวนต้นสักอาจมีจำนวนไม่ตรงกับพื้นที่จริง การศึกษาในครั้งนี้มีการสำรวจข้อมูลภาคสนามจึงสามารถวิเคราะห์เปรียบเทียบจำนวนต้นสักในแปลงได้ จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้อากาศยานไร้คนขับในการใช้ตรวจนับจำนวนต้นไม้ในพื้นที่ป่า

งานศึกษาวิจัยในครั้งนี้มีข้อจำกัดเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดจุดวางเป้าจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดิน (ground control point, GCPs) โดยใช้เครื่องจับพิกัดภาคพื้นดิน แบบพกพาที่ให้ค่าความถูกต้องและแม่นยำค่อนข้างต่ำ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (digital terrain model, DTM) และแบบจำลองความสูงสิ่งปกคลุมพื้นผิวเชิงเลข ที่นำมาใช้คำนวณหาแบบจำลองความสูงทรงพุ่มควรใช้เครื่องมือกำหนดพิกัดความละเอียดสูงใช้เครื่องรับสัญญาณ ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (Real Time Kinematic GNSS Network, RTK-GNSS) เพื่อใช้กำหนดจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) เนื่องจากสามารถเพิ่มความแม่นยำของผลลัพธ์ได้ในระดับเซนติเมตร

คำนิยม

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากเจ้าหน้าที่สถานีวิจัยวนวัฒนวิทยาเขียงราย ในการให้ความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณ ไว้ ณ โอกาสนี้

REFERENCES

- Ahmad, F., Goparaju, L., Qayum, A. 2017. Natural resource mapping using Landsat and LIDAR towards identifying digital elevation, digital surface and canopy height models. **International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources**, 2(1): 30–37. DOI: 10.19080/IJESNR.2017.02.555580.
- Chiang Rai Silvicultural Research Station. 2023. **Annual performance report 2023**. Forest Resource Management Office No. 2 (Chiang Rai), Royal Forest Department
- Iamsaard, P., Apinyarat, W., Chaengchan, S., Chuleut, P., Obphaet A. 2020. Three-dimensional modeling for tree volume determination using unmanned aerial vehicles: a case study of foxtail trees. **The 25th National Convention on Civil Engineering**. July 15-17, 2020, Chonburi, THAILAND. SGIO7-1–SGIO7-7 pp.
- IPCC 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). Published: IGES, Japan
- Kaartinen, H., Hyypää, J., Yu, X., Vastaranta, M., Hyypää, H., Kukko, A., Holopainen, M., Heipke, C., Hirschmugl, M., Morsdorf, F., Næsset, E., Pitkänen, J., Popescu, S., Solberg, S., Wolf, B. M., Wu, J.C. 2012. An international comparison of individual tree detection and extraction using airborne laser scanning. **Remote Sensing**, 4(4): 950–974. DOI: 10.3390/rs4040950.
- Khosravipour, A., Skidmore, A. K., Wang, T., Isenburg, M., Khoshelham, K. 2015. Effect of slope on treetop detection using a LiDAR Canopy Height Model. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 104: 44–52. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2015.02.013.
- Krause S, Tanja GMS, Jan PM, Klaus G. 2019. UAV-based photogrammetric tree height measurement for intensive forest monitoring. **Remote Sens**, 11(7): 1–19. DOI: 10.3390/rs11070758.
- Larjavaara M, Helene CM. 2013. Measuring tree height: A quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest. **Methods Ecol Evol**, 4(9): 793–801. DOI: 10.1111/2041-210X.12071.
- Lu N, Jie Z, Zixu H, Dong L, Qiang C, Xia Y, Yongchao T, Yan Z, Weixing C, Tao C. 2019. Improved estimation of aboveground biomass in wheat from RGB imagery and point cloud data acquired with a low-cost unmanned aerial vehicle system. **Plant Methods**, 15(1): 1–16. DOI: 10.1186/s13007-019-0402-3.
- Mohan, M., Silva, C. A., Klauberg, C., Jat, P., Catts, G., Cardil, A., Dia, M. 2017. Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (UAV) derived canopy height model in an open canopy mixed conifer forest. **Forests**, 8(9): 340. <https://doi.org/10.3390/f8090340>
- Ngernin, H. 2018. **Quantification of carbon sequestration of Teak areas with UAV (Unmanned Aerial Vehicle) in Amphoe Wang Thong, Phitsanulok**. Thesis B.S. in Geography, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand. (in Thai)
- 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 Journal of Biological Diversity**, 21(6): 2369–2376. DOI: 10.13057/biodiv/d210605.
- Panagiotidis D, Azadeh A, Peter S, Vasco C. 2017. Determining tree height and crown diameter from high-resolution UAV imagery. **IntU Remote Sens**, 38(8-10): 2392–2410. DOI: 10.1080/01431161.2016.1264028.
- 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 Journal of Biological Diversity**, 24(3): 1908–1915. DOI: 10.13057/biodiv/d240368.

Wiriyabuncha, C., Rattanaporncharoen, W., Mungkararat, J., Piananurak, P. 2004. Biomass and growth of some economically important tree species for estimating carbon accumulation in forest plantations. **Research paper presented at the Conference on Climate Change and Forestry: Forests and Climate**

Change. Maruay Garden Hotel, Bangkok, Thailand, August 16–17, 2004. Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, Thailand. (In Thai)

Zarco-Tejada PJ, Diaz-Varela R, Angileri V, Loudjani P. 2014. Tree height quantification using very highresolution imagery acquired from an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. **Eur J Agron**, 55: 89-99. DOI: 10.1016/j.eja.2014.01.004.