นิพนธ์ต้นฉบับ

การศึกษาประสิทธิภาพในการประเมินผลผลิตยูคาลิปตัส สายต้น K58 โดยตัวแปรขนาดปกคลุมเรือนยอดจากอากาศยานไร้คนขับ

Efficiency Study on Estimation of Yield of *Eucalyptus* Clone K58 Trees Using Canopy Cover Variable from Unmanned Aerial Vehicle

สมรักษ์ ชาติไทย[1,2]
พิชิต ลำใย[1*]
วีระภาส คุณรัตนสิริ[1]

Somrak Chatthai[1,2]
Pichit Lumyai[1*]
Weeraphart Khunrattanasiri[1]

[1]คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900
[1] Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand
[2]สำนักอนุรักษ์สัตว์ป่า กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กรุงเทพฯ 10900
[2]Wildlife Conservation Office, Department of National Parks Wildlife and Plant Conservation, Bangkok 10900, Thailand
*Corresponding Author, E-mail: fforpcl@ku.ac.th

รับต้นฉบับ 11 เมษายน 2567 **รับแก้ไข** 8 กรกฎาคม 2567 **รับลงพิมพ์** 19 กรกฎาคม 2567

ABSTRACT

Forest inventory is the collection and analysis to know yields of forest resource. There are various forms and methods of forest inventory. Estimation models were created of the yield from eucalypt clone K58 (volume, biomass and fresh weight) at age 5 years, using field data variables (tree height, diameter at breast height, tree position, canopy cover) and compared with using a canopy cover variable from an unmanned aerial vehicle.

Based on the results of the study, several models were developed to estimate the yield of eucalypt clone K58: volume (V) = $0.000128(DBH^{2.236})(Ht^{0.392})$, with R^2 =0.978;; biomass (Bm) = $0.0590(DBH^{2.220})(Ht^{0.609})$, with R^2 =0.9763) and fresh weight (W) = $0.0785(DBH^{2.202})(Ht^{0.651})$, with R^2 =0.9767. In addition, the same yield estimates using a canopy cover variable (Ap) from an unmanned aerial vehicle generated equations: V = $0.017(Ap^{0.944})$, with R^2 = 0.869; Bm = $13.489(Ap^{0.968})$, with R^2 = 0.845 and W = $19.396(Ap^{0.969})$, with R^2 = 0.845.

Keyword: Eucalyptus K58; Tree's yields; Remote sensing; Unmanned aerial vehicle

บทคัดย่อ

การสำรวจทรัพยากรป่าไม้ เป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงผลผลิตของทรัพยากรป่าไม้ ซึ่งการสำรวจทรัพยากรป่าไม้มีรูปแบบและวิธีการที่หลากหลาย ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบประเมินผลผลิตยูคาลิปตัส สายต้น K58 อายุ 5 ปี ได้แก่ ปริมาตร มวลชีวภาพ และน้ำหนักสด โดยข้อมูลการสำรวจภาคสนาม ได้แก่ ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกตำแหน่งของต้นไม้ ขนาดปกคลุมเรือนยอด และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการประเมินผลผลิตยูคาลิปตัส สายต้น K58 อายุ 5 ปี โดยตัวแปรขนาดปกคลุมเรือนยอดจากอากาศยานไร้คนขับ

ผลการศึกษาพบว่า ข้อมูลจากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นระหว่างผลผลิตของยูคาลิปตัส สายต้น K58 และข้อมูลภาคสนาม สามารถสร้างตัวแบบประเมินผลผลิต ดังนี้ $V = 0.000128(DBH^{2.236})(Ht^{0.392})$ (R^2 =0.978) $Bm = 0.059020108(DBH^{2.220})(Ht^{0.609})$ (R^2 =0.976) และ$W = 0.078523563(DBH^{2.202})(Ht^{0.651})$ (R^2 =0.977) และจากการวิเคราะห์สมการระหว่างผลผลิตของยูคาลิปตัส สายต้น K58 และขนาดปกคลุมเรือนยอดจากภาพถ่ายทางอากาศ สามารถเขียนได้ ดังนี้ $V = 0.005 + 0.015Ap$ (R^2 = 0.808) $Bm = 13.489(Ap^{0.968})$ (R^2 = 0.845) และ $W = 19.396(Ap^{0.969})$ (R^2 = 0.845)

คำสำคัญ: ยูคาลิปตัส สายต้น K58 ผลผลิตของไม้ การรับรู้ระยะไกล อากาศยานไร้คนขับ

คำนำ

ในทุกวันนี้การทำงานในพื้นที่สวนป่าต่าง ๆ ถือว่าเป็นงานที่หนักสำหรับคนงาน เพราะเป็นงานที่ทำได้ยาก สกปรก อันตราย และมีความเสี่ยงสูง อีกทั้ง ยังเป็นงานที่มีลักษณะเฉพาะ (Na Takuathung and Diloksumpun, 2020) รวมถึงการสำรวจผลผลิตสวนป่าให้ได้ข้อมูลอย่างถูกต้องและแม่นยำ ยังเป็นสิ่งสำคัญในการดำเนินงานทางด้านสวนป่า โดยการหาผลผลิตของสวนป่าแบบดั้งเดิมจะต้องรู้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูงของต้นไม้นั้น ๆ ในกรณีที่ต้องการวัดผลผลิตโดยตรง จะเป็นการเสียเวลา และเพิ่มภาระงานทางกายเป็นอย่างมาก และไม่สามารถสำรวจได้ครอบคลุมพื้นที่สวนป่า (Pranchai *et al*., 2022) จึงมีการพัฒนาวิธีการใช้ วิธีการรับรู้ระยะไกล (remote sensing) เพื่อเป็นแนวทางในการนำมาใช้หาผลผลิตของต้นยูคาลิปตัส (Prasertsingkul, 2021) และง่ายต่อการประเมินข้อมูลสภาพพื้นที่ให้เป็นไปได้อย่างถูกต้อง ชัดเจน ลดระยะเวลาในการหาผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส

ดังนั้น อากาศยานไร้คนขับ (unmanned aerial vehicle, UAV) หรือโดรน (drone) จึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งสำหรับการสำรวจด้วยวิธีการรับรู้ระยะไกล เพราะเป็นอุปกรณ์ที่เข้าถึงง่าย ความสามารถในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photography) ได้อย่างรวดเร็ว ขนาดกะทัดรัด มีประสิทธิภาพสูง สามารถสำรวจครอบคลุมพื้นที่เป็นวงกว้าง รวมทั้งยังสามารถสำรวจในพื้นที่ที่สามารถเข้าถึงลำบาก (Sanitwaja, 2016) เช่น การศึกษาประเมินปริมาตรไม้สักด้วยอากาศยานไร้คนขับ บริเวณสวนป่าแม่สรอย อำเภอวังชิ้น จังหวัดแพร่ เป็นต้น ฉะนั้น อากาศยานไร้คนขับ จึงอาจจะสามารถตอบโจทย์ในด้านการลดภาระงานของคนงาน และเพิ่มวิธีการสำรวจผลผลิตของสวนป่ายูคาลิปตัสอีกทางหนึ่ง

ยูคาลิปตัส ถือว่าเป็นไม้เศรษฐกิจที่ใช้ประโยชน์แพร่หลายทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยเองก็เป็นประเทศที่ต้องการใช้ไม้ยูคาลิปตัสเป็นวัตถุดิบสำหรับธุรกิจภาคอุตสาหกรรมปีละหลายล้านตัน และมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นทุกปี ซึ่งความต้องการของภาคอุตสาหกรรม สามารถจำแนกเป็นรายอุตสาหกรรมได้ดังนี้ อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมผลิตไม้สับส่งออก รวมถึงอุตสาหกรรมหลังแผ่นไม้ประกอบและไม้ชีวมวล โดยไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 เป็นไม้ยูคาลิปตัสสายต้นหนึ่งที่มีความสำคัญในการนำมาผลิตเยื่อกระดาษ หรือนำมาแปรรูปเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทางไม้ด้วย (Borisuthipongsakul, 2013)

พื้นที่ศึกษาบริเวณสถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์สนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา เนื้อที่ 1,944 ไร่ 1 งาน 9 ตารางวา อยู่ในพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติโดยได้รับอนุญาตจากกรมป่าไม้ให้ใช้ประโยชน์ ระยะเวลา 30 ปี ตั้งแต่ 15 กันยายน พ.ศ. 2560 ถึง 14 กันยายน พ.ศ. 2590 (RFD, 2017) ในพื้นทีมีการปลูกไม้เศรษฐกิจส่วนใหญ่เป็นต้นยูคาลิปตัส สายต้น K58 งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 อายุ 5 ปี ที่ระยะปลูก 1.5 เมตร x 2 เมตร ในสถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์สนามชัยเขต ระหว่างข้อมูลการสำรวจภาคสนาม และภาพถ่ายทางอากาศ และสร้างตัวแบบประเมินผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 ด้วยการประยุกต์เทคนิคจากการรับรู้ระยะไกลโดยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อเป็นกลไกส่วนหนึ่งในการบริหารจัดการทรัพยากรสวนป่าอย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

อุปกรณ์และวิธีการ

พื้นที่ศึกษา

สถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์สนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา ตั้งอยู่บริเวณท้องที่บ้านอ่างตะแบก ตำบลทุ่งพระยา อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่สังกัดคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เนื้อที่ประมาณ 1,944-1-9 ไร่ (Figure 1)

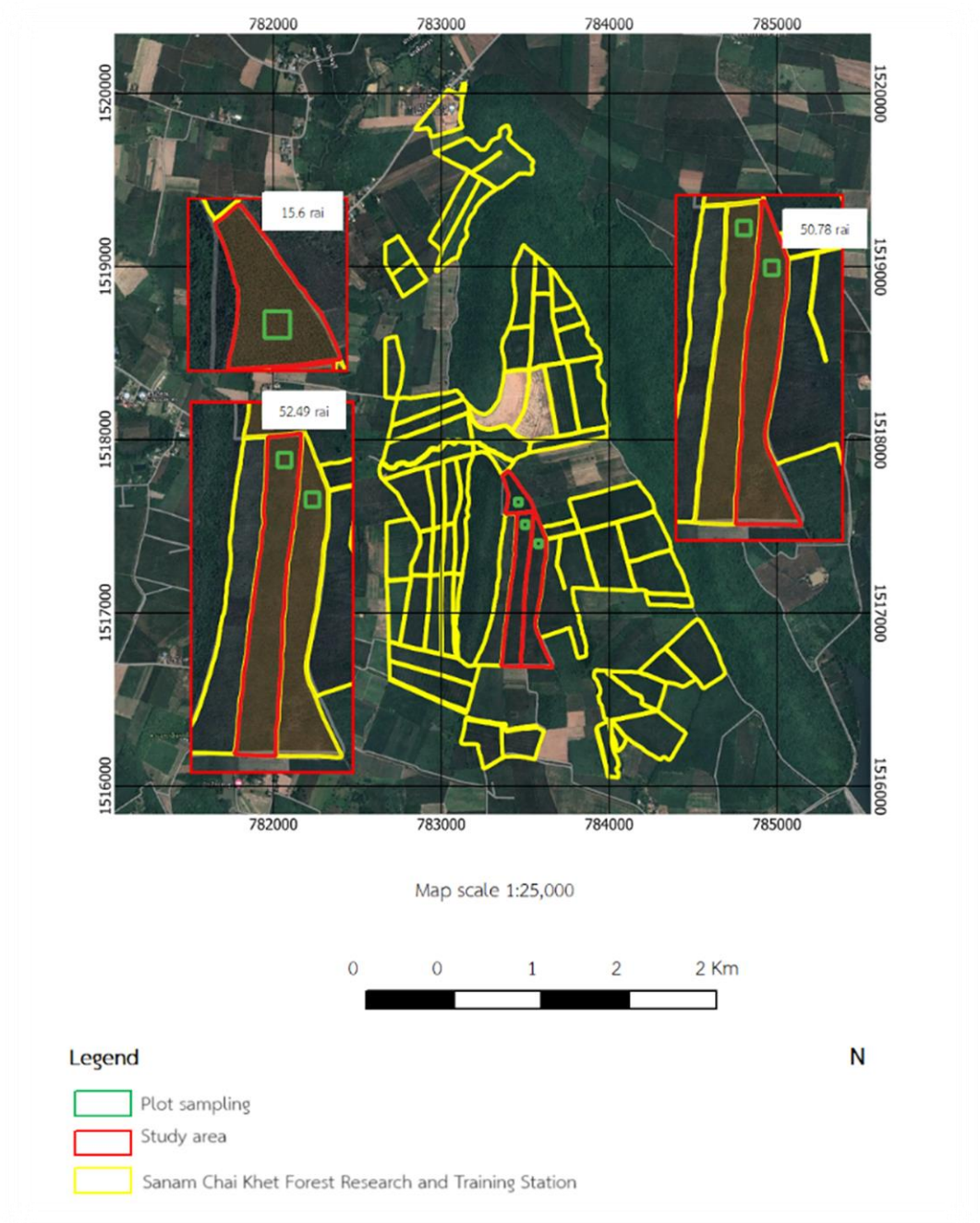

Figure 1 Sanam Chai Khet Forest Research and Training Station, Chachoengsao province

การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

การสุ่มตัวอย่างจำนวนแปลงตัวอย่าง ขนาด 40 เมตร x 40 เมตร โดยคำนวณจากร้อยละ 2.5 ของพื้นที่แปลงตัวอย่างประมาณ 120 ไร่ ซึ่งมีระยะปลูก 1.5 เมตร x 2 เมตร จำนวน 3 แปลง ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height, DBH) ที่ระดับ 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน โดยใช้เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงทั้งหมด โดยใช้ Haga altimeter และตำแหน่งของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 ด้วยเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (global positioning system, GPS) ทุกต้นที่อยู่ภายในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลง รวมถึงเก็บข้อมูลขนาดปกคลุมเรือนยอดจากการใช้เทปวัดระยะรัศมีของเรือนยอดทั้ง 4 ทิศ นอกจากนี้ทำการจดบันทึกตำแหน่งต้นไม้ภายในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงเพื่อช่วยในการระบุต้นไม้ในภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับได้ถูกต้องยิ่งขึ้น โดยเฉพาะกรณีที่ตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อน (Rinnamang, 2020) จากนั้นนำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เพียงอกของต้นไม้ มาแจกแจงความถี่ จำนวน 5 อันตรภาคชั้น ซึ่งกำหนดจำนวนต้นไม้ในอันตรภาคชั้นละ 6 ต้น และกำหนดเส้นศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยในแต่ละชั้น แล้วตัดต้นไม้ที่ระดับชิดพื้นดิน บันทึกความสูงของต้นไม้ทั้งหมด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับชิดพื้นดิน ที่ระดับความสูงเหนือพื้นดิน 0.30 เมตร และทุก ๆ 1 เมตร จนถึงปลายยอดของต้นไม้ จากนั้นตัดไม้ตามระดับความสูงที่วัดไว้ก่อนหน้าจนถึงปลายยอด หลังจากนั้นทำการบันทึกภาพถ่ายทางอากาศโดยอากาศยานไร้คนขับ ขนาด 40 เมตร x 40 เมตร บริเวณแปลงที่ผู้ศึกษาได้ทำการกำหนด เพื่อหาตำแหน่งและขนาดเรือนยอดของต้นไม้ โดยอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการสำรวจครั้งนี้ คือ อากาศยานไร้คนขับ ยี่ห้อ DJI รุ่น Phantom 4 RTK ในการนี้มีการกำหนดค่าซ้อนทับกันด้านหน้า (front overlap) ร้อยละ 80 และค่าซ้อนทับด้านข้างกัน (side overlap) ร้อยละ 75 กำหนดความสูงที่ระดับ 90 เมตร จากจุดปล่อยอากาศยานไร้คนขับ ตามขั้นตอนของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) โดยสุ่มเก็บตัวอย่างทุก ๆ ส่วนเหนือพื้นดินของยูคาลิปตัส สายต้น K58 โดยนำมาชั่งน้ำหนักสด โดยทำการเก็บตัวอย่างในแต่ละส่วน ไม่น้อยกว่า 500 กรัม จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 176 องศาฟาเรนไฮธ์ (80 องศาเซลเซียส) ไม่น้อยกว่า 72 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างจะอยู่ในระดับคงที่ (Hnukaew *et al*, 2015) พร้อมนำน้ำหนักแห้งเพื่อคำนวณหามวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนของยูคาลิปตัส สายต้น K58 เพื่อสร้างตัวแบบประเมินผลผลิตต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

การคำนวณปริมาตรไม้ การวิเคราะห์ข้อมูล ในรูปปริมาตรไม้ที่ได้ค่าต่าง ๆ แล้ว ได้แก่ ความโตที่ระดับความสูงเพียงอก ความสูงทั้งหมด นำความโตที่ได้นำไปคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วนแล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรไม้ (Duangsathaporn and Prasomsin, 2003) ภายในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ทำการสุ่มเลือกไว้ ดังตัวแบบที่ 1

$$V = 1/2(B+b)\,L \qquad (1)$$

ส่วนท่อนสุดท้ายของลำต้นสามารถคำนวณได้จากสูตรรูปทรงกรวย (Duangsathaporn and Prasomsin, 2003) ดังตัวแบบที่ 2

$$V_{top} = 1/3(Ba \times L_{top}) \qquad (2)$$

กำหนดให้ V คือ ปริมาตรไม้ (m^3)

V_{top} คือ ปริมาตรไม้ลำต้นช่วงสุดท้าย (m^3)

B คือ พื้นที่หน้าตัดโคนต้น (m^2)

b คือ พื้นที่หน้าตัดปลายท่อน (m^2)

L คือ ความยาวท่อนไม้ (m)

Ba คือ พื้นที่หน้าตัดของส่วนโคนต้นที่เหลือ (m^2) เมื่อแบ่งเป็นท่อน ๆ ละ 1 เมตร สามารถวิเคราะห์ได้ ดังตัวแบบที่ 3

$$Ba = (G)^2/4\boldsymbol{\pi} \qquad (3)$$

กำหนดให้ G คือ เส้นรอบวง (m)

ขั้นตอนการนำตัวอย่างจากการเก็บตัวอย่างและผ่านการอบแห้งเรียบร้อยแล้ว มาชั่งน้ำหนักเพื่อหามวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอน ดังตัวแบบที่ 4 5 และ 6

$$\text{มวลชีวภาพ} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสด}}{100+\text{ร้อยละความชื้น}} \qquad (4)$$

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง}}{\text{น้ำหนักแห้ง}} \times 100 \qquad (5)$$

$$\text{การกักเก็บคาร์บอน} = 0.4899 \times \text{มวลชีวภาพ} \qquad (6)$$

กระบวนการนำข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่จะได้จากอากาศยานไร้คนขับ เข้าสู่การประมวลผลภาพ และปรับแก้ภาพ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Pix4D Mapper เพื่อให้ได้ภาพถ่ายทางอากาศ และนำไปเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์หาขนาดปกคลุมเรือนยอด จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางภูมิศาสตร์ โดยสร้างตัวแบบประเมินผลผลิต ซึ่งคัดเลือกตัวแบบประเมินผลผลิตจากความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว คือ ตัวแปรตาม ได้แก่ ปริมาตร มวลชีวภาพ และน้ำหนักสดของต้นไม้ ส่วนตัวแปรอิสระ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูงของต้นไม้ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกด้วยความสูงของต้นไม้ (DBH x Ht) เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสอง (DBH^2) และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสองคูณด้วยความสูงของต้นไม้ (DBH^2Ht) เลือกตัวแบบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (coefficient of determination, R^2) สูงสุด แสดงว่าเป็นตัวแบบที่ดีและเหมาะสม สามารถอธิบายความสัมพันธ์ตัวแปร

ดังกล่าวข้างต้นดีที่สุด ส่วนค่า F-test สูงกว่า จะเหมาะสมกว่า รวมถึงตัวแปรอิสระมีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (standard error: SE) ต่ำกว่า จะมีความเหมาะสมมากกว่าตัวแบบที่ประมาณค่าผลผลิต (Pimtongngam, 2009) ดัง Table 1 จากนั้นนำค่าที่ได้ ไปคำนวณหาปริมาตร มวลชีวภาพ และน้ำหนักสด สุดท้ายทำการเปรียบเทียบความโตความสูง ปริมาตร มวลชีวภาพ และน้ำหนักสด โดยใช้การวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

Table 1 Yield equations based on multiple regression analysis using eucalypt clone K58 data

No.	Equation
1	$Y = a + b\ DBH$
2	$Y = a + b\ DBH^2Ht$
3	$Y = a + b\ DBH + cDBH^2$
4	$Log\ Y = log\ a + b\ logDBH + c\ logHt$ หรือ $Y = aDBH^bHt^c$
5	$Log\ Y = log\ a + b\ logDBH^2Ht$ หรือ $Y = a\ (DBH^2Ht)^b$
6	$Y = a + b\ DBH + c\ Ht$
7	$Y = a(DBH)^b$
Remarks:	Y = Yield (volume, biomass, fresh weight) Ht = Total height (meters)
	DBH = Diameter at breast height (meters) a–c = Equation constants
Sources:	Spurr (1952); Kira and Shidei (1967); Wongnam and Prosomsin (2020)

การวิเคราะห์สมการถดถอย โดยกำหนดตัวแปรตามได้แก่ ปริมาตร มวลชีวภาพ และน้ำหนักสด ส่วนตัวแปรอิสระคือ ขนาดปกคลุมเรือนยอดจากอากาศยานไร้คนขับ ที่วิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางภูมิศาสตร์ โดยใช้รูปแบบ ดัง Table 2 เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพของขนาดปกคลุมเรือนยอดจากอากาศไร้คนขับ

Table 2 Yield equations based on non-linear regression analysis using eucalypt clone K58 data

Model	Equation
Linear	$Y = a + b\ Ap$
Logarithmic	$Y = a + b\ ln(Ap)$
Exponential	$Y = a(e^{b\ Ap})$
Power	$Y = a(Ap)^b$
Remarks:	Y = Yield (volume, biomass, fresh weight)
	Ap = Canopy cover based on aerial photos (square meters)
	a–c = Equation constants
Sources:	Upadhyaya *et al*. (2023)

ผลและวิจารณ์

การสำรวจภาคสนาม

จากการศึกษาและเก็บตัวอย่างข้อมูลภาคสนามโดยการวัดความโต ความสูง และขนาดปกคลุมเรือนยอดทั้ง 3 แปลง ปรากฏว่า แปลงที่ 1 มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 9.3±2.4 เซนติเมตร ความสูงทั้งหมดของต้นไม้เฉลี่ย เท่ากับ 17.0±2.5 เมตร ขนาดปกคลุมเรือนยอดเฉลี่ยเท่ากับ 3.616±1.902 ตารางเมตร แปลงที่ 2 มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 8.2±1.9 เซนติเมตร ความสูงทั้งหมดของต้นไม้เฉลี่ย เท่ากับ 16.3±2.3 เมตร ขนาดปกคลุมเรือนยอดเฉลี่ย เท่ากับ 2.754±1.597 ตารางเมตร และแปลงที่ 3 มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 8.2±1.7 เซนติเมตร ความสูงทั้งหมดของต้นไม้เฉลี่ย เท่ากับ 18.3±8.6 เมตร ขนาดปกคลุมเรือนยอดเฉลี่ย เท่ากับ 3.267±1.542 ตารางเมตร

ผลผลิต

จากการศึกษาและเก็บตัวอย่างข้อมูลจากภาคสนามและจากภาพถ่ายทางอากาศ ปรากฏว่า ยูคาลิปตัส สายต้น K58 จำนวน 30 ต้น มีค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย เท่ากับ 8.2±2.4 เซนติเมตร ความสูงทั้งหมดของต้นไม้เฉลี่ย เท่ากับ 15.8±2.6 เมตร ขนาดปกคลุมเรือนยอดเฉลี่ย เท่ากับ 2.8957±1.8204 ตารางเมตร และขนาดปกคลุมเรือนยอดจากภาพถ่ายทางอากาศเฉลี่ย เท่ากับ 2.9473±1.8409 ตารางเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความโต และความสูงของ Klangprapan *et al*. (2019) แล้ว พบว่า มีค่าความโตและความสูงของยูคาลิปตัส สายต้น K58 สอดคล้องกัน

จากการศึกษาผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 พบว่า ปริมาตรไม้ รายต้น มีค่าตั้งแต่ 0.01 ถึง 0.104 ลูกบาศก์เมตร และค่ามวลชีวภาพ รายต้น มีค่าตั้งแต่ 7.691 ถึง 83.600 กิโลกรัม และค่าน้ำหนักสด รายต้น มีค่าตั้งแต่ 11.100 ถึง 120.7 กิโลกรัม โดยมีปริมาตรเฉลี่ย เท่ากับ 0.048±0.03 ลูกบาศก์เมตร มวลชีวภาพเฉลี่ย เท่ากับ 39.367±24.403 กิโลกรัม และน้ำหนักสดเฉลี่ย เท่ากับ 56.727±35.267 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าผลผลิตยูคาลิปตัสของ Sawiangphon *et al*. (2021) แล้ว พบว่า ผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 ของผู้วิจัยมีค่าผลผลิตสูงกว่ายูคาลิปตัส สายต้น K7 และ K62

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นระหว่างผลผลิตไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58

จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นระหว่างตัวแปรตาม คือ ผลผลิตของยูคาลิปตัส สายต้น K58 ได้แก่ ปริมาตร มวลชีวภาพ น้ำหนักสด และตัวแปรอิสระ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูงของต้นไม้ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกคูณด้วยความสูงของต้นไม้ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสอง และเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสองคูณด้วยความสูงของต้นไม้ พบว่า ตัวแบบประเมินผลผลิตที่มี DBH x Ht เป็นตัวแปรอิสระที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกำหนดสูงที่สุด สามารถเขียนสมการ ดัง Table 3

Table 3 Yield equations based on regression analysis using eucalypt clone K58 data

Equation	R^2	SE	F	P-Value
$V = 0.000128(DBH^{2.236})(Ht^{0.392})$	0.978	0.0496	609.232	0.00*
$Bm = 0.0590(DBH^{2.220})(Ht^{0.609})$	0.976	0.0539	557.198	0.00*
$W = 0.0785(DBH^{2.202})(Ht^{0.651})$	0.977	0.0535	566.263	0.00*

Remarks: V = Volume (cubic meters) Bm = Biomass (kilograms)
W = Fresh weight (kilograms) Ht = Total height (meters)
DBH = Diameter at breast height (meters) * = Significant difference at p-value < 0.05

จาก Table 3 สามารถกำหนดรูปแบบตัวแบบประเมินมวลชีวภาพและน้ำหนักสดของลำต้น ใบ กิ่ง โดยสามารถเขียนรูปแบบ ดัง Table 4 อีกทั้ง ตัวแบบประเมินผลผลิตมีความสัมพันธ์กับผลผลิตจากข้อมูลภาคสนามอย่างมากและเหมาะสม ที่จะนำไปหาค่าผลผลิต ซึ่งสอดคล้องกับ Klangprapan *et al*. (2019) กล่าวว่า สมการความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีเพื่อประมาณผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัสสายต้น K58 ส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน จะช่วยในการประมาณผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัสในการตัดสินใจทำไม้หรือจำหน่ายไม้ โดยเพียงทำการวัด DBH ในแปลงที่จะขายไม้ และสมการความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีเพื่อประมาณผลผลิต มีประโยชน์ในการใช้ประมาณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เพื่อการตัดสินใจซื้อขายคาร์บอน เครดิตต่อไปในอนาคต ดังนั้น การปลูกสร้างสวนป่าที่ให้ผลผลิตสูงต้องมีการวางแผนงานที่ดี มีความตั้งใจ มีความรู้ด้านลักษณะทางกายภาพและปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตของยูคาลิปตัส

Table 4 Equations for tree parts based on regression analysis using eucalypt clone K58 data

Tree part	Equation	R^2	SE	F	P-value
Stem	$Bm_S = 0.0608(DBH^{2.221})(Ht^{0.572})$	0.976	0.0542	542.027	0.00*
	$W_S = 0.0877(DBH^{2.221})(Ht^{0.572})$	0.976	0.05424	542.027	0.00*
Leaves	$Bm_L = 0.00007(DBH^{2.127})(Ht^{1.926})$	0.857	0.1748	80.717	0.00*
	$W_L = 0.0001(DBH^{2.127})(Ht^{1.926})$	0.857	0.1748	80.717	0.00*
Branches	$Bm_b = 0.0012(DBH^{2.296})(Ht^{0.615})$	0.763	0.1990	43.437	0.00*
	$W_b = 0.0018(DBH^{2.296})(Ht^{0.615})$	0.763	0.1990	43.437	0.00*

Remarks: Bm_S = Stem biomass (kilograms) Bm_L = Leaf's biomass (kilograms)
Bm_b = Branch's biomass (kilograms) W_S = Fresh weight stem (kilograms)
W_L = Fresh weight leaf (kilograms) W_b = Fresh weight branch (kilograms)
Ht = Total height (meters) DBH = Diameter at breast height (meters)
* = Significant difference at p-value < 0.05

จากการวิเคราะห์สมการถดถอย ระหว่างตัวแปรตาม คือ ผลผลิตของยูคาลิปตัส สายต้น K58 ได้แก่ ปริมาตร มวลชีวภาพ น้ำหนักสด และตัวแปรอิสระ คือ ขนาดปกคลุมเรือนยอดที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศทั้ง 4 รูปแบบ สามารถเขียนในรูปได้ ดัง Table 5

Table 5 Yield equations based on non-linear regression analysis using eucalypt clone K58 data

Equation	R^2	SE	F	P-value
1. V = 0.005 + 0.015Ap	0.808	0.0134	117.810	0.00*
2. $Bm = 13.489(Ap^{0.968})$	0.845	0.3122	152.301	0.00*
3. $W = 19.396(Ap^{0.969})$	0.845	0.3121	152.786	0.00*

Remarks: V = Volume (cubic meters) Bm = Biomass (kilograms)
W = Fresh weight (kilograms) Ap = Canopy cover based on aerial photos (square meters).
* = Significant difference at p-value < 0.05

จาก Table 5 ตัวแบบประเมินผลผลิตดังกล่าวมีรูปแบบสอดคล้อง Sanitwaja (2016) ทั้งนี้ Rinnamang (2020) กล่าวว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับ มีข้อดีในด้านการประเมินผลผลิต นอกจากนี้ความคลาดเคลื่อนของการประเมินผลผลิตสามารถเกิดได้จากการวางแปลงตัวอย่างซึ่งไม่ทราบแน่ชัดว่าบริเวณที่มีการสุ่มวางแปลงตัวอย่างเป็นตัวแทนที่แท้จริงของพื้นที่ทั้งหมดหรือไม่ มีความยากในการตรวจสอบ จึงส่งผลให้เกิดความผิดพลาดต่อการประเมินผลผลิต และก่อเกิดความผิดพลาดในการวางแผนจัดการสวนป่าที่ผิดพลาดได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลตัวอย่างไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 จำนวน 30 ต้น พบว่า มีช่วงค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 5.8-10.6 เซนติเมตร ช่วงความสูงทั้งหมดของต้นไม้ เท่ากับ 13.2-18.4 เมตร และช่วงขนาดปกคลุมเรือนยอดจากภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เท่ากับ 1.106-4.788 ตารางเมตร รวมถึงผลผลิตของไม้ยูคาลิปตัส สายต้น K58 โดยมีช่วงปริมาตรเท่ากับ 0.018-0.078 ลูกบาศก์เมตร ช่วงค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เท่ากับ 14.964-63.770 กิโลกรัม และช่วงค่าน้ำหนักสดเท่ากับ 21.460-91.994 กิโลกรัม โดยจากการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างผลผลิตของยูคาลิปตัส สายต้น K58 และขนาดการปกคลุมเรือนยอดจากอากาศยานไร้คนขับ สามารถเขียนในรูปแบบได้ ดังนี้ $V = 0.005 + 0.015Ap$ ($R^2 = 0.808$) $Bm = 13.489(Ap)^{0.968}$ ($R^2 = 0.845$) และ $W = 19.396(Ap^{0.969})$ ($R^2 = 0.845$)

ข้อเสนอแนะจากการศึกษามีดังต่อไปนี้ 1) การบินถ่ายภาพทางอากาศ จะมีวัชพืชต่าง ๆ ที่ขึ้นเบียดบัง หรือซ้อนเกยเรือนยอดของต้นยูคาลิปตัส สายต้น K58 และปัจจัยเรื่องกระแสลมที่ทำให้เรือนยอดเอนเอียง ส่งผลให้การแปลผลภาพถ่ายทางอากาศเกิดความคลาดเคลื่อนจากเดิม ทั้งนี้สามารถแก้ไขปัญหาเบื้องต้นโดยการตัดวัชพืชที่เบียดบัง หรือซ้อนเกยเรือนยอด ออกไป และ 2) จำนวนการศึกษาโดยใช้การบินถ่ายภาพทางอากาศยังมีการศึกษาน้อยดังนั้นจึงควรมีการศึกษาและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาให้แบบจำลองสามารถประเมินผลผลิตได้แม่นยำมากขึ้นในอนาคต

คำนิยม

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยป่าไม้ สถานีวิจัยและฝึกนิสิตวนศาสตร์สนามชัยเขต คณะวนศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่สนับสนุนความรู้ และอุปกรณ์ด้านอากาศยานไร้คนขับ รวมทั้งผู้มีส่วนร่วมทุกท่านที่มีส่วนร่วมการเก็บข้อมูล จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

REFERENCES

Borisuthipongsakul, Y. 2013. **Contract Farming: Thai Demand for *Eucalyptus* Wood**. Department of Foreign Trade. Bangkok, Thailand.

Duangsathaporn, K., Prasomsin, P. 2003. **Forest Mensuration I**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Hnukaew, M., Poolsiri, R., Haruthaithanasan, M., Chompoowiset, P. 2015. Yield and nutrient contents of various 5-year-old *Eucalyptus* clones in the upper northeast. **Thai Journal of Forestry,** 34(2): 11–21. (in Thai)

Kira, T., Shidei, T. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the Western Pacific. **Japan Journal of Ecology,** 17(2): 70-87.

Klangprapan, A., Maelim, S., Meunpong, P. 2019. Growth yields and financial return of 4-years-old *Eucalyptus* clone K58 and K62 planted in paired rows at Sa Kaeo plantation, Sa Keao province. **KKU Research Journal**, 19: 22–34. (in Thai)

Na Takuathung, C., Diloksumpun, P. 2020. An assessment of physical workload of timber harvesting workers in teak plantation, Phare province. **Thai Journal of Forestry,** 39(1): 125–134. (in Thai)

Pimtongngam, T. 2009. **Statistics For Research**. Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, Thailand. (in Thai)

Pranchai, A., Kaakkurivaara, N., Premashthira, A. 2022. **Application of Precision Forestry in Teak Plantations in Northern Thailand**. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Prasertsingkul, S. 2021. Determining **The Volume of a Eucalyptus Tree Trunk Using a 3D Laser Scanner (TLS) Survey**. http://www.https://www.intaniamagazine.com/eucalyptus-tls/, 15 January 2022.

Rinnamang, S. 2020. **Teak (*Tectona grandis* Linn.f.) Biomass Estimation Using Aerial**

Photogrammetry from Unmanned Aerial Vehicle at Thong Pha Phum Plantation, Kanchanaburi Province. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Royal Forest Department (RFD). 2017. **Royal Forest Department Announcement No. 25/2017: Designated Areas for Government Agencies or Government Organizations to Enter National Reserved Forests**. Royal Forest Department, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Sanitwaja, S. 2016. **Teak Volume Estimate by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) in Mae Saroy Forest Plantation, Wang Chin district, Phare Province**. M.S. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, Thailand. (in Thai)

Sawiangphon, B., Lumyai, P., Maelim, S., Boukaew, C. 2021. Growth and yield models of four-year-old *Eucalyptus* Clones K7 and K62 at the Sa Keao plantation, Sa Keao province. **Thai Journal of Forestry,** 40(2): 187–203. (in Thai).

Spurr, S.H. 1952. **Forest Inventory**. The Ronald Press Co., New York, NY, USA.

Upadhyaya, S., Gyawali, P.,Sapkota, S., Nishan, N. 2023. Estimation of above ground biomass and carbon stock using UAV image. **Journal on Geoinformatics**, 22: 36–46. doi:10.3126/njg.v22i1.55123

Wongnam, P. Prasomsin, P. 2020. Local merchantable volume table of *Dalbergia cochinchinensis* Pierre: A case study at the Tha Kum Noboru Umeda plantation, Trat province. **Thai Journal of Forestry**, 39(2): 164-175 (in Thai)