

การเปรียบเทียบวิธีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ โดยใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์และไม้วัดความสูง

ศรายุทธ มาลัย¹, ละม้าย จันทะขาว^{2*}, ดลฤดี สุขใจ³, ถิรนนท์ สอนแก้ว³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง

²สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง

³สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ลำปาง

*Corresponding author email: lamay@lpru.ac.th

ได้รับบทความ: 18 เมษายน 2567

ได้รับบทความแก้ไข: 13 สิงหาคม 2567

ยอมรับตีพิมพ์: 19 กันยายน 2567

บทคัดย่อ

ต้นไม้เป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพที่สำคัญอย่างหนึ่ง ซึ่งหนึ่งในวิธีการประมาณค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ถูกกักเก็บไว้ในต้นไม้ ได้แก่ การหามวลชีวภาพ ด้วยความสัมพันธ์ในรูปของสมการ แอลโลเมตรี โดยใช้ข้อมูลค่าความสูงและเส้นรอบวงของต้นไม้ในการคำนวณ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบเครื่องมือวัดความสูงของต้นไม้ระหว่างการใช้ไม้วัดระยะความสูงและการใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ สำหรับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างของต้นไม้เป็นประเภทพรรณไม้ทั่วไป ชนิดไม้ยืนต้น ทั้งหมด 97 ต้น ในมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง บนพื้นที่ 15,605.10 ตารางเมตร โดยค่าความสูงของต้นไม้จากการวัดทั้งสองวิธีได้นำมาหาค่าเฉลี่ยพร้อมจัดระดับชั้นเป็นช่วงความสูงของต้นไม้ (H-Class) ทั้งหมด 5 ช่วง ได้แก่ ช่วง 2-4, 4-6, 6-8, 8-10 และมากกว่า 10 เมตร โดยพบว่าค่าความสูงของต้นไม้ที่วัดโดยใช้ไม้วัดความสูงในแต่ละช่วงมีค่าเท่ากับ 3.467, 5.033, 6.980, 9.180 และ 11.117 เมตร ตามลำดับ และการใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ได้ค่าเฉลี่ยของ

ความสูงของต้นไม้เท่ากับ 3.290, 4.909, 6.876, 9.062 และ 10.940 เมตร ตามลำดับ การคำนวณทางสถิติพบว่าการใช้เครื่องมือวัดทั้งสองชนิดไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ของการวัดทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากับ 0.996 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของค่าที่ได้จากผู้วัดความสูงของต้นไม้หมด 3 คน ด้วยกล้องวัดระยะความสูงเลเซอร์และการวัดซ้ำของแต่ละคนพบว่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นกัน เมื่อนำผลดังกล่าวมาคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จากการใช้ไม้วัดความสูงและกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ พบว่ามีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน 19,329 และ 19,126 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า (kgCO_2eq) ตามลำดับ ซึ่งให้ความแตกต่าง 1.3 % เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าการวัดความสูงทั้งสองวิธีให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ: ไม้วัดระยะความสูง/ กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์/
การกักเก็บคาร์บอน/ ความสูงต้นไม้

A Comparative Analysis of Estimating Tree Carbon Stock using Rangefinder Camera and Measuring Pole for Tree Height Measurements

Sarayut malai¹, Lamay Junthakhao^{2*}, Donrudee Sookjai³,
Thiranan Sonkaew³

¹Department of Civil Technology Program Program,
Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University, Lampang

²Department of Environmental Science Program, Faculty of Science,
Lampang Rajabhat University, Lampang

³Department of Physics Program, Faculty of Science,
Lampang Rajabhat University, Lampang

*Corresponding author email: lamay@lpru.ac.th

Received: 18 April 2024

Revised: 13 August 2024

Accepted: 19 September 2024

Abstract

Trees play a crucial role in capturing carbon dioxide and storing it as biomass. One method to estimate carbon dioxide equivalent absorption and storage in trees is through measuring biomass using the Allometric equation, which utilizes height and circumference information. This research aims to compare tree height measurement tools using a traditional height measuring pole and laser rangefinder camera. A sample group of 97 trees of general deciduous types within a 15,605.10 square meter area of Rajabhat Lampang University was studied. The heights measured by both methods were averaged and categorized into five height classes (H-Class): 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, and higher than 10 meters. The average heights measured using the traditional measuring pole were 3.467, 5.033, 6.980, 9.180, and 11.117 meters, respectively. The heights measured with the laser rangefinder yielded averages of 3.290, 4.909,

6.876, 9.062, and 10.940 meters, respectively. Statistical analysis revealed no significant difference between the two measurement tools at a 95% confidence level and the correlation coefficient (R^2) value of 0.996. Furthermore, considering measurement errors from three different observers using the laser rangefinder and repeating measurements, no significant differences were found at a 95% confidence level. Calculations for carbon storage in trees using both methods resulted in 19,329 and 19,126 kilograms of carbon dioxide equivalent (kgCO_2eq), respectively, with a difference of 1.3%.

Keywords: Measuring Pole/ Laser Rangefinder/ Carbon Sequestration/
Tree Height

บทนำ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถือเป็นก๊าซเรือนกระจกหลักที่ส่งผลให้เกิดปัญหาโลกร้อนในปัจจุบัน โดยนับวันปัญหาดังกล่าวก็ยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น จากข้อมูลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของโลก [1] ในเดือนกุมภาพันธ์ 2567 พบว่าอยู่ที่ระดับ 425 ppm ซึ่งเพิ่มขึ้น 3 ppm จากช่วงเดียวกันกับปีที่แล้ว และคิดเป็นเฉลี่ยมากกว่า 10 ppm ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา จากผลกระทบของภาวะโลกร้อน ทำให้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกตื่นตัวในการดำเนินงานเพื่อลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยประเทศไทยเป็นภูมิภาคหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาโลกร้อนทั้งในเรื่องของน้ำท่วมที่เกิดจากความรุนแรงของพายุที่เพิ่มมากขึ้นหรือภัยแล้งในบางปี ทั้งนี้ต้นไม้และป่าไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญเมื่อต้นไม้เติบโต คาร์บอนได้ถูกกักเก็บอยู่ในราก ลำต้น กิ่งก้านและใบโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าไปเก็บอยู่ในรูปของชีวมวล [2-3] ทำให้เกิดโครงการคาร์บอนเครดิตขึ้นในปัจจุบัน ซึ่งงานวิจัยนี้ถือว่าเป็นการเริ่มต้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสะสมคาร์บอนเครดิตของมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ประมาณ 48.96% ของมวลชีวภาพของต้นไม้มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ [4] การคำนวณค่าชีวมวลคาร์บอนทำได้โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อประมาณความหนาแน่นของเนื้อไม้แล้วนำมาคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในต้นไม้ ซึ่งต้องมีการวัดการเจริญเติบโตของต้นไม้โดยดูจากขนาดของต้นไม้ เช่น ความสูง เส้นรอบวง หรือจำนวนกิ่งก้านสาขาของต้นไม้ ทั้งนี้วิธีการวัดมีทั้งแบบทางตรงและทางอ้อม วิธีการทางตรงทำได้โดยการวัดความสูงของต้นไม้โดยตรงด้วยการสุ่มตัดต้นไม้หรือพืชทั้งหมดที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่เราศึกษาแล้วนำมาชั่งน้ำหนัก ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับการศึกษาในพื้นที่ที่มีขนาดเล็ก หากเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่จำเป็นต้องใช้วิธีการทางอ้อมที่ไม่เป็นการทำลายทรัพยากรป่าไม้ โดยการวัดขนาดและความสูงของต้นไม้แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ การวัดความสูงแบ่งได้ 2 วิธีหลัก ๆ คือ วิธีทางตรงวิธีทางอ้อมได้แก่ 1) การปีนขึ้นต้นไม้แล้วใช้เสาสำเร็จรูปและเทปวัดระยะวัดความสูงต้นไม้ หรือการติดตั้งวัดระยะ ซึ่งเป็นวิธีการที่แม่นยำแต่ใช้ได้กับต้นไม้บางชนิด [5] และมีข้อจำกัด โดยทั่วไปแล้วเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายสูงและมีความเสี่ยง มักเลือกใช้ในการทดลองเท่านั้น 2) ใช้ไม้วัดระยะเป็นวิธีการที่น่าเชื่อถือมีข้อผิดพลาดของเครื่องมือต่ำกว่า 1% แต่การวัดต้นไม้ที่มีความสูงมากกว่า 20 เมตร อาจมีความยุ่งยากด้วยความยาวของเครื่องมือที่จำกัด ฉะนั้นการเลือกวิธีการวัดความสูงจึงขึ้นอยู่กับ

กับตำแหน่งหรือสภาพของต้นไม้ที่ขึ้นหรือถูกตัดโค่นล้มลงบนบนพื้นดิน และเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความสูงของต้นไม้มีข้อจำกัดในหลายประการ

ปัจจุบันเครื่องมือในการวัดความสูงได้ถูกพัฒนาเป็นอย่างมาก ทั้งนี้อาศัยหลักการทางตรีโกณมิติในการวัดมุมเข้ามาช่วยในการวัดความสูง เช่นเครื่องมือ Clinometer, Rangefinder, Hypsometer, Abney level หรือ Altimeter เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยของ Pariyar และ Mandal [6] ได้มีการทดสอบผลการวัดเปรียบเทียบการใช้เครื่องมือการวัดความสูงของต้นไม้หลากชนิดที่มีการจัดชั้นความสูง H-Class ในช่วง 5 - 23 เมตร และพบว่าการใช้เครื่องมือ Rangefinder ให้ผลความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเป็น 2.95% (และประมาณ 6 % สำหรับต้นไม้ที่มีความสูง 5-15 เมตร) การใช้ Abney level ให้ความคลาดเคลื่อน 4.3% และ การใช้ Clinometer ให้ความคลาดเคลื่อนมากที่สุด 8.3% เป็นต้น

โดยข้อมูลความสูงที่ได้จะนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของต้นไม้กับปริมาณคาร์บอนที่เก็บสะสมไว้ด้วยสมการแอลโลเมตรี (Allometric equations) ได้ถูกพัฒนาต่อยอดมาจากวิธีทางตรงก่อนหน้านี้ เป็นวิธีที่สะดวก ใช้ต้นทุนต่ำ และได้รับการยอมรับจากคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ IPCC ในปี 2006 [4] โดยสมการจะแตกต่างกันไปตามภูมิภาค ลักษณะของพื้นที่ และชนิดของพรรณไม้นั้น ๆ ที่เจริญเติบโต สำหรับในเขตร้อน (Tropical forest) พบว่าในป่าแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันโดยป่าดงดิบจะมีค่าการกักเก็บมากกว่าป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง ตามลำดับ ดังนั้นการเลือกสมการให้เหมาะสมจะต้องทราบลักษณะป่าและพันธุ์ไม้ที่พบหรือสำรวจได้ จึงจะบ่งชี้ได้ว่าเป็นป่าชนิดใดและต้องเลือกสมการแอลโลเมตรีใดจึงจะเหมาะสมกับพื้นที่ ในปี ค.ศ. 2022 Pothong et al. [7] ได้นำเสนองานวิจัยเพื่อสร้างสมการแอลโลเมตรีสำหรับต้นไม้และป่าไม้ที่อยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกอยู่ที่ 1- 39.2 เซนติเมตร โดยพบว่าความหนาแน่นของเนื้อไม้ (Wood Density; WD) โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ $0.53 \pm 0.09 \text{ g/cm}^3$ และมีสมการแอลโลเมตรีที่ให้ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (AGB) ที่ดีที่สุดมีสมการเป็น $\ln(\text{AGB}) = a + b \ln(\text{D2H} \times \text{WD})$ โดยมีค่าคงที่ a และ b มีค่าเท่ากับ -2.003 และ 0.847 ตามลำดับ นอกจากนี้ Kearsley และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ Nikon Laser Rangefinder Forestry Pro งานวิจัยนี้นับเป็นการศึกษาแรกที่มีการเก็บข้อมูลปริมาณ

คาร์บอนสะสมในพื้นที่ป่าตอนกลางของกลุ่มน้ำคงโกที่ Yangambi ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยคองโก ผลการศึกษาพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมเหนือพื้นดินในป่าสมบูรณ์มีค่าเฉลี่ย 162 ± 20 MgC ต่อเฮกแตร์ ซึ่งต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากบริเวณรอบนอกของกลุ่มน้ำ ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางต้นไม้ที่ดีที่สุดที่มีอยู่สำหรับแอฟริกากลางให้ผลประมาณความสูงเรือนยอดไม่ถูกต้องสำหรับพื้นที่ศึกษา นี้ โดยจะทำให้ประมาณค่าคาร์บอนสะสมเหนือพื้นดินสูงเกินจริงถึง 24% หากนำ ความสัมพันธ์ดังกล่าวมาใช้ นอกจากนี้ยังนับว่าป่าที่ศึกษามีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับป่าบริเวณรอบนอกของกลุ่มน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบที่ได้จากการสำรวจระยะไกล [9]

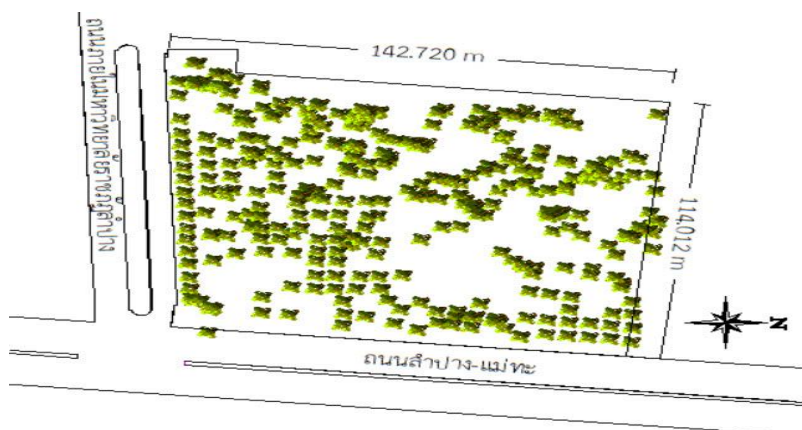
จากข้อจำกัดดังกล่าวในเรื่องการเลือกใช้เทคนิคเครื่องมือในการวัดความสูงของต้นไม้ และเพื่อเป็นแนวทางหรือทางเลือกหนึ่ง คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษา 1) การใช้เทคโนโลยีการวัดความสูงเปรียบเทียบกันระหว่างการวัดด้วยเครื่องวัดความสูงชนิดเลเซอร์และไม้วัดความสูง เพื่อศึกษาความเที่ยงตรงและแม่นยำ และจะได้นำไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้เครื่องมือในการวัดความสูงของต้นไม้ทั้งหมดในมหาวิทยาลัยต่อไป และ 2) เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสะสมในต้นไม้ ทั้งนี้งานวิจัยนี้ได้ทำการประมาณค่ามวลชีวภาพของต้นไม้จากสมการแอลโลเมตรีของหน่วยงานอบก. 2566 โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก [9] ความแม่นยำของการวัดความสูงต้นไม้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการประเมินมวลชีวภาพ วิธีการวัดความสูงที่ใช้กันโดยทั่วไปมีทั้งวิธีทางตรงและทางอ้อม โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือใหม่ ๆ ที่อาศัยหลักการทางตรีโกณมิติในการวัดความสูง เช่น เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ (Laser rangefinder) ผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ให้ความแม่นยำในการวัดสูงสุดเมื่อเทียบกับเครื่องมือชนิดอื่น [10] สอดคล้องกับการศึกษาของ Martin ที่พบว่าเครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์มีค่าความคลาดเคลื่อน (RMSE) ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.7235 เมตร [11] นอกจากนี้ การศึกษาของ Pace และคณะในเมือง Porano ประเทศอิตาลี ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้สมาร์ตโฟนที่มีเซนเซอร์ LIDAR สามารถวัดความสูงต้นไม้ได้อย่างแม่นยำเทียบเท่ากับวิธีดั้งเดิม [12] ข้อมูลความสูงที่ได้จะนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บโดยใช้สมการแอลโลเมตรี ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับจาก IPCC [4] แม้ว่าสมการจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของป่าและพรรณไม้ที่พบ [13] โดยล่าสุดในปี ค.ศ. 2022 มีการพัฒนาสมการแอลโลเมตรีสำหรับการประเมินมวลชีวภาพในป่าไม้ภาคเหนือของไทย [7]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้เครื่องวัดระยะด้วยเลเซอร์ ในการวัดความสูงต้นไม้อย่างแม่นยำเปรียบเทียบกับวิธีการวัดแบบดั้งเดิมด้วยไม้วัดระยะ และ คำนวณ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางโดย ใช้สมการแอลโลเมตรี ข้อมูลที่ได้จะเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะนำไปสู่การพัฒนาโครงการลด ก๊าซเรือนกระจกหรือคาร์บอนเครดิตของมหาวิทยาลัย เพื่อขับเคลื่อนประเทศไทยสู่สังคม คาร์บอนต่ำได้อย่างยั่งยืนในอนาคต

วิธีการและวิธีการ

ขั้นตอนที่ 1 พื้นที่ศึกษาและการเลือกต้นไม้

การศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการสำรวจและคัดเลือกพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย ราช ภัฏลำปาง ผลการสำรวจพบว่า บริเวณหน้ามหาวิทยาลัยฝั่ช้างโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัย ราชภัฏลำปาง มีความเหมาะสมต่อการดำเนินการวิจัย เนื่องจากมีความหลากหลายของ พรรณไม้ รวมถึงลักษณะทางกายภาพของพื้นที่และต้นไม้ที่เอื้ออำนวยต่อการสำรวจ โดยได้ ทำการกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาเป็นรูปสี่เหลี่ยม ขนาด 15,605.10 ตารางเมตร หรือ 9.75 ไร่ ที่ละติจูด 55.1315°E และลองจิจูด 20.16096°N ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งมีต้นไม้ทั้งสิ้น 409 ต้น ประกอบด้วยพรรณไม้ทั่วไป เช่น เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) พิกุล (*Mimusops elengi* L.) มะม่วง (*Mangifera indica* L.) มะกอก (*Spondias cytherea* Sonn.) มะขาม (*Tamarindus indica* L.) และสะเดา (*Azadirachta indica* A. Juss. var. *siamensis* Valetton) เป็นต้น ทั้งนี้ ได้คัดเลือกต้นไม้ที่มีเส้นรอบวงไม่น้อยกว่า 15 เซนติเมตร และมีความสูงระหว่าง 2-15 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับขีดจำกัดความสูงสูงสุดของ อุปกรณ์ไม้วัดที่ 15.00 เมตร ส่งผลให้ได้ต้นไม้ที่ใช้ในการวัดจำนวน 97 ต้น คิดเป็นประมาณ 1/4 ของต้นไม้ทั้งหมดในแปลงที่ศึกษา



ภาพที่ 1 พื้นที่และต้นไม้ที่ศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 การวัดความสูงของต้นไม้และเส้นรอบวง

เพื่อใช้ในการคำนวณหาการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวัดความสูงและเส้นรอบวงของต้นไม้ ดังนี้

1. การวัดความสูงของต้นไม้

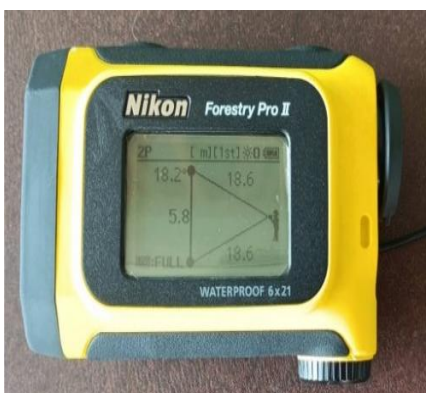
การเลือกวิธีการวัดความสูงขึ้นอยู่กับตำแหน่งหรือสถานภาพของต้นไม้ การศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งวิธีการวัดความสูงของต้นไม้เป็น 2 วิธีหลัก ได้แก่ วิธีทางตรงและวิธีทางอ้อม โดยวิธีการวัดทางตรงใช้ไม้วัดความสูงต้นไม้ (Measuring Rod) และวิธีทางอ้อมใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ตามหลักการเรนจ์ไฟน์เดอร์ (Rangefinder) มีรายละเอียดดังนี้

1.1) การวัดความสูงต้นไม้โดยวิธีทางตรง ใช้ไม้วัดความสูงยี่ห้อ Hastings ซึ่งผลิตจากไฟเบอร์กลาส ดังภาพที่ 2 ก) มีน้ำหนักเบา ผิวสีเหลืองพร้อมตัวเลขสีแดงแสดงความสูงที่ระดับสายตา สามารถปรับได้สูงสุด 15.00 เมตร กระบวนการวัดดำเนินการโดยทีมผู้วิจัย 2-3 คน ดังภาพที่ 3 เริ่มจากการประเมินลักษณะการแตกกิ่งก้านของต้นไม้และเลือกตำแหน่งตั้งไม้วัดที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงการหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางและแสงแดด ผู้ปฏิบัติงานหนึ่งคนทำหน้าที่ยึดหัดและจับยึดไม้วัดในแนวดิ่ง โดยวางฐานไม้วัดให้อยู่ในระดับเดียวกับโคนต้นไม้ ขณะที่ผู้สังเกตการณ์ยืนห่างจากต้นไม้ในตำแหน่งที่สามารถมองเห็นปลายไม้วัดและยอดต้นไม้ด้วยมุมองศา 30-45 องศา เมื่อปลายไม้วัดถึงยอดต้นไม้ ผู้วัดอ่านค่าความสูงโดยตรงจากตัวเลขบนไม้วัด ระหว่างการปรับความยาวของไม้วัด มีการนับจำนวนท่อนเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ค่าที่วัดได้จากวิธีนี้ถือเป็นความสูงจริงของต้นไม้และใช้เป็นค่าอ้างอิงในการวิจัย วิธีการนี้ช่วยให้ได้ข้อมูลความสูงต้นไม้ที่แม่นยำ

1.2) การวัดความสูงของต้นไม้โดยวิธีทางอ้อมดำเนินการด้วยกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ยี่ห้อ Nikon รุ่น Forestry Pro2 ดังภาพที่ 2 ข) ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นคือน้ำหนักเบา สามารถปรับเปลี่ยนหน่วยวัดระหว่างเมตรและฟุต มีพิสัยการวัดสูงสุด 1,600 เมตร พร้อมความแม่นยำ ± 0.3 เมตร สำหรับระยะไม่เกิน 1,000 เมตร และมีจอแสดงผล LCD ที่ด้านข้างตัวเครื่อง ใช้การวัดในโหมด 2P (Two-Point Measurement) โดยผู้ปฏิบัติงานยืนห่างจากโคนต้นไม้อย่างน้อย 7.50 เมตร จากนั้นทำการส่องกล้องไปยังโคนและยอดของต้นไม้ ตามลำดับ อุปกรณ์จะประมวลผลและแสดงข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ระยะทางลาดเอียง (Actual Distance) ของทั้งสองจุด ค่ามุมมุม (Vertex Angle) และความสูงในแนวตั้งจากโคนถึงปลายยอดของต้นไม้ ซึ่งกล้องจะคำนวณความสูงของต้นไม้โดยอัตโนมัติจากข้อมูลระยะทางและมุมที่วัดได้

ทั้งสองวิธีให้ผลการวัดที่มีความแม่นยำสูง โดยวิธีแรกอาศัยการวัดค่าความสูงโดยตรง ในขณะที่วิธีหลังใช้หลักการทางตรีโกณมิติในการคำนวณ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างทั้งในด้านกระบวนการและจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องในการวัดความสูงของต้นไม้แต่ละวิธี ทั้งนี้เพื่อศึกษาความแปรปรวนในการวัดระหว่างผู้ปฏิบัติงาน การวิจัยนี้ใช้ผู้วัด 3 คน โดยแต่ละคนทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งต่อต้น ณ ตำแหน่งและระยะห่างจากโคนต้นไม้ที่เท่ากัน จากนั้นนำข้อมูลมาคำนวณค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ เพื่อประเมินความแม่นยำของการวัดและความแปรปรวนระหว่างผู้ปฏิบัติงาน

ยอดต้นไม้กับปลายไม้วัดคลยในแนวระดับ

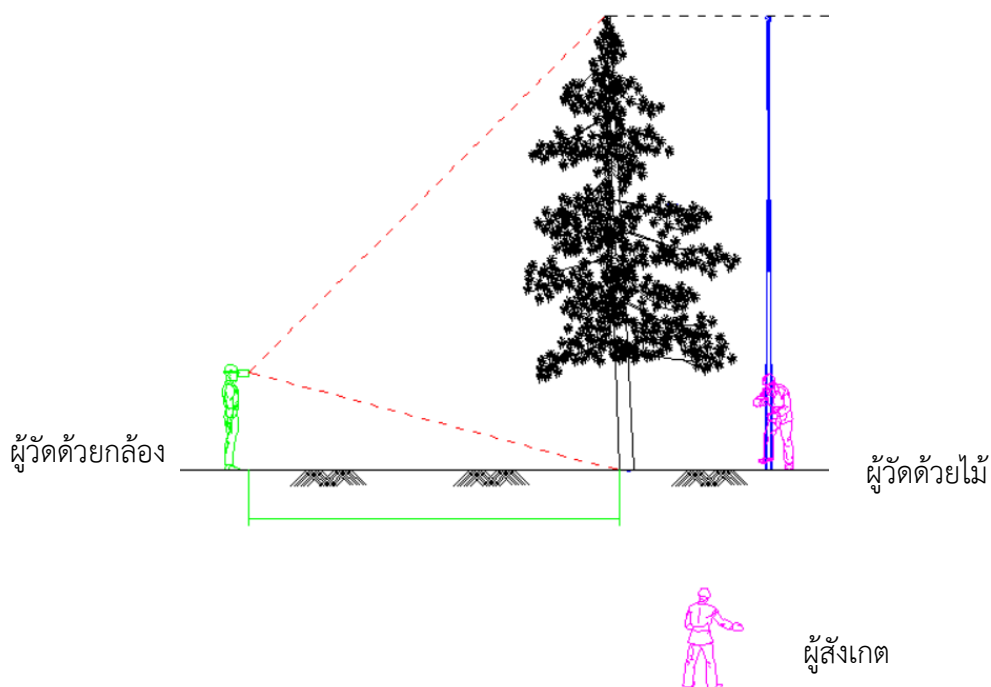


ก)



ข)

ภาพที่ 2 เครื่องมือการวัดความสูงของต้นไม้ ก) ไม้วัดระยะความสูง และ ข) กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์



ภาพที่ 3 การเปรียบเทียบวิธีการวัดความสูงต้นไม้แบบทางตรงและทางอ้อม

2. การวัดเส้นรอบวง

ในการวัดเส้นรอบวงได้ทำการเส้นรอบวงเพียงอกโดยการวัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ยืนต้นโดยใช้เทปวัดระยะ ที่ระดับความสูง 1.3 เมตร [14]

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Excel 365 Office ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ ได้แก่ 1) วิเคราะห์ความแตกต่างของการวัดและการอ่านค่าจากผู้วิจัย 3 คน โดยใช้สถิติ One-way ANOVA และ 2) วิเคราะห์ความแตกต่างในการวัดความสูงของต้นไม้ระหว่างการใช้เครื่องมือ 2 ชนิด คือ วัดความสูงและเครื่องวัดความสูงชนิดเลเซอร์ โดยใช้สถิติ Z-test จากข้อมูลความสูงของต้นไม้ตัวอย่างจำนวน 97 ต้น ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางสถิติดังกล่าว จะช่วยให้สามารถประเมินความแตกต่างและความแปรปรวนของผลการวัดที่ได้จากผู้วิจัยและ

เครื่องมือที่แตกต่างกัน อันจะนำไปสู่การสรุปผลที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับความแม่นยำและความสอดคล้องของวิธีการวัดความสูงต้นไม้ในการศึกษานี้

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

ผลจากค่าความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ นำมาคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (kgCO_2eq) โดยใช้สมการแอลโลเมตรีสำหรับพรรณไม้ทั่วไป [9, 13] รายละเอียดดังสมการ

1) คำนวณการกักเก็บคาร์บอนมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (W_T) โดยใช้สมการแอลโลเมตรี ชนิดของพรรณไม้ทั่วไปรายละเอียดดังสมการ

$$W_T = W_S + W_B + W_L \quad (1)$$

$$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.933} \quad (2)$$

$$W_B = 0.00349 (D^2H)^{1.030} \quad (3)$$

$$W_L = (28/(W_S + W_B + 0.025))^{-1} \quad (4)$$

โดยที่	W_T	=	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)
	W_S	=	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)
	W_B	=	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)
	W_L	=	มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)
	D	=	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร
	H	=	ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

2) คำนวณมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (RB) ได้จาก $RB = W_T \times 27.00$ (กิโลกรัม)

3) คำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (kgCO_2eq) แต่ละต้นจากสมการการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ = มวลชีวภาพของต้นไม้ $\times (44/7) \times 47.00$

โดยที่มวลชีวภาพของต้นไม้ = $RB + W_T$ (กิโลกรัม)

ผลการศึกษาวิจัย

จากการสำรวจต้นไม้ในแปลงที่ศึกษา พบว่าต้นไม้ส่วนใหญ่มีความสูงอยู่ในช่วง 2-15 เมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 5 - 106 เซนติเมตร รายละเอียดการศึกษามีดังนี้

1. ผลพิจารณาความคลาดเคลื่อนของข้อมูลค่าความสูงของต้นไม้ที่ได้จากผู้วัด

เพื่อเป็นการทดสอบว่าข้อมูลการวัดความสูงด้วยกล้องวัดระยะชนิดเลเซอร์ด้วยผู้วัดแต่ละครั้งและผู้วัดแต่ละคนนั้นให้ค่าที่แตกต่างกันหรือไม่ โดยพิจารณาความคลาดเคลื่อนค่าที่ได้จากผู้วัดความสูงของต้นไม้โดยใช้กล้องวัดระยะความสูงกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ ของผู้วัด 3 คน และทำการคำนวณเพื่อทดสอบสถิติ ANOVA ใน 2 ประเด็นดังนี้

1.1 การวัดความสูงของจำนวนซ้ำของผู้วัดแต่ละคน จากการทดสอบสมมติฐานว่าความสูงของต้นไม้โดยใช้กล้องวัดของจำนวนซ้ำของแต่ละคนต่างกันหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีรายละเอียดผลการเปรียบเทียบการวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้ผู้วัดทั้ง 3 คน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลค่าความคลาดเคลื่อนค่าที่ได้จากผู้วัดความสูงของต้นไม้จำนวน 97 ต้น โดยใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ ของผู้วัด 3 คน

ผู้วัด	จำนวนซ้ำ	ค่าเฉลี่ย	SD	df	F	P-value
คนที่ 1	ซ้ำที่ 1	6.59	2.77	290	0.003	0.997
	ซ้ำที่ 2	6.59	2.75			
	ซ้ำที่ 3	6.56	2.73			
คนที่ 2	ซ้ำที่ 1	6.60	2.84	290	0.004	0.996
	ซ้ำที่ 2	6.60	2.81			
	ซ้ำที่ 3	6.64	2.85			
คนที่ 3	ซ้ำที่ 1	6.58	2.85	290	0.002	0.998
	ซ้ำที่ 2	6.56	2.83			
	ซ้ำที่ 3	6.56	2.84			

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าผู้วัดคนที่ 1 2 และ 3 ที่ทำการวัดจำนวนซ้ำความสูงของต้นไม้โดยใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ ให้ค่า P value มีค่าเท่ากับ 0.997, 0.996 และ 0.998 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จะยอมรับสมมติฐานแสดงให้เห็นว่าผลการวัดจากผู้วัดทุกคนในแต่ละซ้ำ ให้ค่าความสูงของต้นไม้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ผู้วัดไม่มีผลต่อการใช้เครื่องมือทั้งการวัดซ้ำด้วยผู้วัดเดิม

1.2 การวัดความสูงของต้นไม้โดยผู้วัดแต่ละคน จากการทดสอบสมมติฐานว่าความสูงของต้นไม้โดยใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ของผู้วัดแต่ละคนต่างกันหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีรายละเอียดผลการเปรียบเทียบการวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้ผู้วัดทั้ง 3 คน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความแตกต่างของข้อมูลความสูงของต้นไม้ที่วัดด้วย ผู้วัดจำนวน 3 คน

ผู้วัด	จำนวนต้น	ค่าเฉลี่ย	SD	df	F	P-value
คนที่ 1	97	6.58	2.73	2	0.058	0.944
คนที่ 2	97	6.72	2.85			
คนที่ 3	97	6.67	2.88			

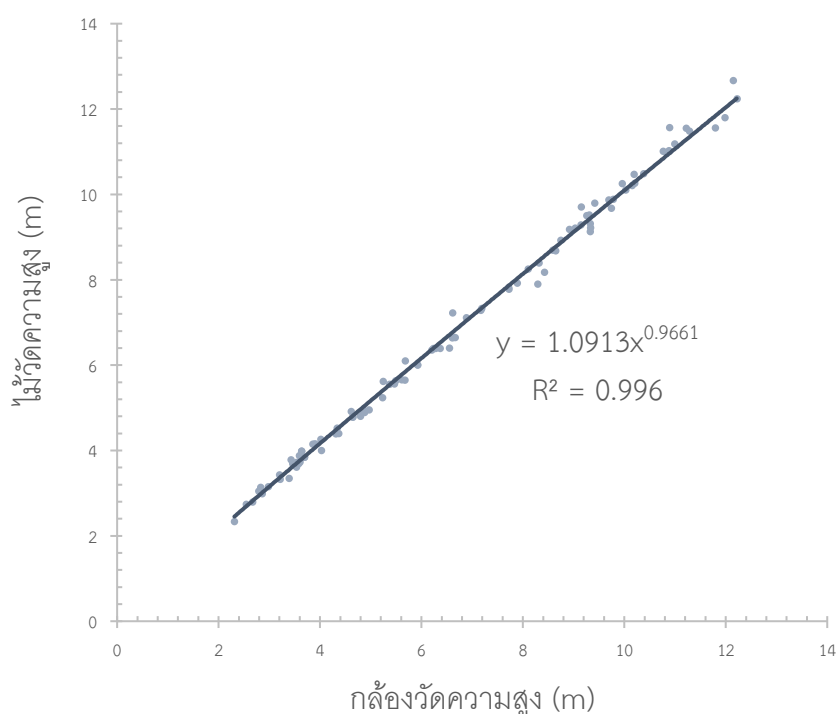
จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าผู้วัดคนที่ 1 2 และ 3 ที่ทำการวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ให้ค่า P value มีค่าเท่ากับ 0.944 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จะยอมรับสมมติฐานแสดงให้เห็นว่าผลการวัดจากผู้วัดทุกคนในแต่ละคน ให้ค่าความสูงของต้นไม้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ผู้วัดไม่มีผลต่อการใช้เครื่องมือในการวัดของผู้วัดที่แตกต่างกัน

1.3 ความแตกต่างของความสูงของต้นไม้ที่เกิดจากเครื่องมือวัด จากการทดสอบสมมติฐานว่าความสูงของต้นไม้โดยใช้เครื่องมือวัดทั้งสองชนิดต่างกันหรือไม่ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาความแตกต่างที่เกิดจากเครื่องมือวัดด้วยผลทางสถิติ Z-test มีรายละเอียดผลการเปรียบเทียบการวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้ผู้วัดทั้ง 3 คน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบทางสถิติพิจารณาความแตกต่างที่เกิดจากเครื่องมือวัดด้วยไม้วัดความสูงและกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์

เครื่องมือวัดความสูง	จำนวนต้น	ค่าเฉลี่ย	SD	z	P-value two-tail
ไม้วัดความสูง	97	6.80	0.29	0.350	0.790
กล้องวัดระยะความสูง ชนิดเลเซอร์	97	6.66	0.29		

จากรายละเอียดผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3 สูงให้ค่า P value มีค่าเท่ากับ 0.790 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จะยอมรับสมมติฐานการวัดค่าความสูงของต้นไม้ทั้งสองวิธีให้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และทั้งนี้เมื่อนำมาคำนวณประสิทธิภาพสัมพัทธ์ของข้อมูล (R^2) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.996



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ความสูงของต้นไม้ระหว่างกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ และไม้วัดความสูง กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า การวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้เลเซอร์และไม้วัดความสูง ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ และผลการวัดที่มีความใกล้เคียงกันอย่างมาก ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การวัดความสูงของต้นไม้ด้วยกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์สามารถใช้ทดแทนการใช้ไม้วัดโดยตรงได้ เมื่อนำค่าความสูงจากจำนวนตัวอย่างต้นไม้จำนวน 97 ต้น นำมาหาค่าเฉลี่ยพร้อมจัดระดับขึ้นเป็นช่วงของความสูงของต้นไม้ (H-Class) ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าต้นไม้ที่มีความสูงในช่วง 2-4, 4-6, 6-8, 8-10 และช่วงที่มากกว่า 10 เมตร มีความสูงค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.467, 5.033, 6.980, 9.180 และ 11.117 เมตร ตามลำดับ และการใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ได้ค่าเฉลี่ยของความสูงของต้นไม้เท่ากับ 3.290, 4.909, 6.876, 9.062 และ 10.940 เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบการวัดความสูงของต้นไม้โดยใช้ไม้วัดความสูงและกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์

H-Class (m)	จำนวน ต้น	ความสูงที่ได้ จากไม้วัด (P; m)	ความสูงที่ได้ จากกล้องวัด ระยะความสูง ชนิดเลเซอร์ (L; m)	ความแตกต่าง ($\Delta h = P - L$; m)	ความ แตกต่าง (%)
2-4	23	3.467±0.447	3.290±0.430	0.177	5.102
4-6	23	5.033±0.581	4.909±0.616	0.125	2.475
6-8	16	6.980±0.618	6.876±0.700	0.104	1.490
8-10	19	9.180±0.523	9.062±0.472	0.118	1.280
มากกว่า 10	16	11.117±0.751	10.940±0.749	0.177	2.016
ค่าเฉลี่ย		6.799±2.825	6.658±2.830	0.141	2.986

จากผลของการวัดความสูงดังแสดงในตารางที่ 4 จะเห็นว่า การใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ให้ค่าการวัดที่น้อยกว่าการวัดความสูงด้วยการใช้ไม้วัดในทุกช่วงระยะความสูงของต้นไม้ และเมื่อนำมาคำนวณความแตกต่างเพื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าในระดับช่วงชั้นของความสูงต้นไม้ที่ 2-4 และ 4-6 เมตร มีค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน 5.102 และ 2.475 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าต้นไม้ที่มีช่วงชั้นความสูงมากกว่า โดยค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนในการวัดความสูงของต้นไม้ทั้งหมดของงานวิจัยนี้ พบว่าการใช้กล้องวัดระยะ

ความสูงชนิดเลเซอร์ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.986 % โดยความสูงต้นไม้ช่วง 4 ถึงมากกว่า 10 เมตร มีความคลาดเคลื่อนในช่วง 1.289-2.475% ซึ่งมิต้าน้อยกว่าผลของ Pariyar และ Mandal [6] ประมาณ 2-3 เท่า (ได้ผลความคลาดเคลื่อนประมาณ 6 % สำหรับความสูงต้นไม้ช่วง 5-15 เมตร) เนื่องจากเมื่อพิจารณาจากความละเอียดในการวัดมุมและระยะทางแล้ว Nikon Forestry Pro II ที่ใช้งานวิจัยครั้งนี้ มีความแตกต่างกับ Powerline 660 ที่ใช้งานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยเฉพาะความละเอียดในการวัดมุมที่ถึง $\pm 0.1^\circ$ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อความแม่นยำในการคำนวณความสูง เนื่องจากการวัดความสูงต้นไม้จะอาศัยการวัดมุมด้วยกล้องร่วมกับการวัดระยะทาง แล้วนำมาคำนวณหาความสูงด้วยหลักตรีโกณมิติ

2. ผลการประมาณค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (kgCO_2eq)

จากการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ต้นไม้ 97 ต้น สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ในแปลงตัวอย่างในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ด้วยการคำนวณจากสมการแอลโลเมตรีแบบทั่วไป และแบบเฉพาะภาคเหนือให้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (kgCO_2eq)

สมการแอลโลเมตรี	ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (kgCO_2eq)	
	ใช้ไม้วัดความสูง	ใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์
พรรณไม้ทั่วไป	19,392	19,126

จากตารางที่ 5 พบว่าการใช้ไม้วัดความสูงและกล้องวัดระยะความสูงชนิด Laser Rangefinder พบว่ามีปริมาณการกักเก็บคาร์บอน 19,329 และ 19,126 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า (kgCO_2eq) ซึ่งเมื่อนำมาทำการคำนวณเป็นปริมาณร้อยละพบว่ามีค่าแตกต่างอยู่ที่ 1.3 %

วิจารณ์

ผลการวัดความสูงของต้นไม้เพื่อใช้สำหรับการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์และ ไม้วัดความสูง และเพื่อเปรียบเทียบวิธีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยใช้ไม้วัดโดยตรงและกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์จากกลุ่มตัวอย่างของต้นไม้ทั้งหมด 97 ต้น เพื่อเป็นการศึกษาผล

ของความคลาดเคลื่อนในการวัดของผู้วัดและเครื่องมือวัด จะเห็นว่าผู้วัดแต่ละคนวัดค่าความสูงของต้นไม้แต่ละซ้ำไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และผู้วัดทั้งสามคนวัดค่าความสูงของต้นไม้ได้ค่าไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นกัน ทั้งนี้การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดทั้งสองแบบวัดความสูงของต้นไม้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั้นแสดงว่าเครื่องมือวัดทั้งสองแบบในการวิจัยนี้สามารถใช้แทนกันได้ในการวัดความสูงของต้นไม้ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Martin [11] ที่เปรียบเทียบความแม่นยำและความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดความสูงต้นไม้ 3 ชนิด ได้แก่ วิธีใช้ไม้ (stick method) โคลโนมิเตอร์ และเลเซอร์เรนจ์ไฟน์เดอร์ โดยพบว่าเลเซอร์เรนจ์ไฟน์เดอร์มีความแม่นยำสูงสุด (RMSE = 0.7235 เมตร) รองลงมา คือ คลิโนมิเตอร์ (RMSE = 0.8022 เมตร) และวิธีใช้ไม้ (RMSE = 0.9723 เมตร) ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม การวัดความสูงต้นไม้ทั้งสองวิธีมีข้อจำกัดบางประการโดยเฉพาะในกรณีของป่าดิบชื้นที่มีความหนาแน่นของเรือนยอดสูงหรือต้นไม้ที่มีพุ่มใบหนาที่บดบังยากต่อการมองเห็นปลายยอด ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องมือวัดความสูงชนิดใดจึงต้องพิจารณาถึงลักษณะของป่าและสภาพแวดล้อมในการทำงานเป็นปัจจัยสำคัญด้วย [15] และพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนการวัดแบบกล้องที่ได้นี้ใกล้เคียงผลที่ได้จากงานวิจัยของ Pariyar and Mandal [6] ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.950 % หากพิจารณาเปรียบเทียบวิธีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยใช้ไม้วัดโดยตรงและกล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์ แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยพร้อมจัดระดับชั้นเป็นช่วงของความสูงของต้นไม้ (H- Class) พบว่าในช่วง 2-4 การใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุดคือ 5.102 % ซึ่งบ่งชี้ว่าการวัดความสูงของต้นไม้ขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าต้นไม้ขนาดใหญ่ อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของทรงพุ่มที่ส่งผลต่อการกำหนดมุมในการวัดความสูง ทั้งนี้ Martin [11] พบผลที่สอดคล้องกัน โดยรายงานวาททั้ง 3 วิธีให้ความแม่นยำสูงกว่าเมื่อวัดไม้สนเทียบกับไม้ใบกว้าง เนื่องจากสามารถระบุจุดยอดของต้นไม้สนได้ชัดเจนกว่า [12] และโดยความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่ในการวัดความสูงด้วย Vertex III เกิดจากความแม่นยำในการกำหนดแนวสายตาไปยังยอดของต้นไม้ที่ทำการวัดนั่นเอง นอกจากนี้ยังพบว่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation) ของค่าความสูงที่วัดได้จะลดลงตามความสูงของต้นไม้ที่เพิ่มขึ้น [16] ต้นไม้ที่สูงกว่าจะให้ค่าการวัด

ซ้ำที่สอดคล้องกันมากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะต้นไม้ที่สูงขึ้นจะทำให้มองเห็นยอดได้ชัดเจนกว่า ส่งผลให้การกำหนดแนวสายตาเพื่อวัดความสูงทำได้แม่นยำยิ่งขึ้น เมื่อนำค่าความสูงที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองนำไปคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไปโดยพบว่าไม้วัดความสูงมีค่าเท่ากับ 19,329 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า (kgCO_2eq) และ การใช้กล้องวัดระยะความสูงพบว่ามีค่าเท่ากับ 19,126 กิโลกรัมคาร์บอนเทียบเท่า (kgCO_2eq) ซึ่งมีความแตกต่างกัน 1.3 % หากพิจารณาแล้วมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างน้อย จึงกล่าวได้ว่าทั้งสองวิธีให้ผลการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ เลเซอร์เรนจ์ไฟน์เดอร์ใช้ระยะเวลาในการวัดที่รวดเร็วและช่วยลดความผิดพลาดจากการคำนวณของผู้วัด จึงมีความเหมาะสมสำหรับการสำรวจป่าไม้เมือง โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องพึ่งพาอาสาสมัครในการจัดเก็บข้อมูล [3] อย่างไรก็ตาม แม้วิธีใช้ไม้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงกว่า แต่ยังคงสามารถนำมาใช้ประมาณรัศมีการล้มของต้นไม้ได้อย่างเหมาะสม [1] ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเทคโนโลยีสมัยใหม่ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวัดขนาดของต้นไม้ แต่ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของผู้วัดที่มีระดับประสบการณ์แตกต่างกัน รวมถึงทดสอบเครื่องมือกับต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการวัดเหล่านี้ได้อย่างรอบด้านยิ่งขึ้น

สรุป

ผลการวัดความสูงของต้นไม้เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้และไม้วัดความสูง พบว่าการวัดซ้ำของผู้วัดแต่ละคนไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงให้เห็นถึงความสอดคล้องของผลการวัดในแต่ละครั้ง นอกจากนี้ ผลการวัดความสูงของต้นไม้โดยผู้วัดทั้งสามคนก็ไม่มีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เช่นกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าผู้วัดไม่มีผลต่อการใช้เครื่องมือวัดความสูง เมื่อนำค่าความสูงที่ได้จากเครื่องมือทั้งสองไปคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ทั่วไป พบว่ามีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 1.3% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้กล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์มีความแม่นยำในการวัดใกล้เคียงกับไม้วัดความสูงซึ่งเป็นวิธีการวัดโดยตรง ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่ากล้องวัดระยะความสูงชนิดเลเซอร์เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและน่าเชื่อถือในการวัดความสูงของต้นไม้เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในการศึกษานี้

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปางที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. NOAA. Trends in atmospheric carbon dioxide [Internet]. 2024 [cited 2024 February 20]. Available from: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>
2. นาฏสุตา ภูมิจำนงค์. แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโต. ใน: การประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, 16-17 ส.ค.2547, กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะวนศาสตร์; 2547. 1-16.
3. วัฒนณรงค์ มากพันธ์, จิตติมา รับไพรทอง, สุภาวดี แซ่อาหลี่. ปริมาณคาร์บอนสะสมในต้นไม้ บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช [อินเทอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 20 มกราคม 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://ejournals.swu.ac.th/index.php/SWUJournal/article/view/10872>
4. Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [Internet]. 2006 [cited 2024 January 20]. Available from: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
5. Larjavaara M, Muller-Landau HC. Measuring tree height: a quantitative comparison of two common field methods in a moist tropical forest. *Methods Ecol Evol.* 2013;4:793–801. doi: <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12071>
6. Pariyar S, Mandal RA. Comparative tree height measurement using different instrument. *Int J Ecol Environ Sci.* 2019;1(2):12-7.
7. Pothong T, Elliott S, Chairuang Sri S. New allometric equations for quantifying tree biomass and carbon sequestration in seasonally dry secondary forest in northern Thailand. *New Forests* 2022;53:17–36. doi: <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09844-3>
8. Kearsley E, de Haulleville T, Hufkens K, Kidimbu A, Toirambe B, Baert G, et al. Conventional tree height–diameter relationships significantly overestimate aboveground carbon stocks in the Central Congo Basin. *Nat Commun.* 2013;4:2269. doi: <https://doi.org/10.1038/ncomms3269>

9. อบก. โครงการด้านป่าไม้และการเกษตร. [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 25 มกราคม 2567]. เข้าถึงได้จาก: <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/calculation/less-calculate-document/less-forest-agriculture.html>
10. ดอกรัก มารอด. บทปฏิบัติการการวิเคราะห์สังคมพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
11. Martin AJF. Accuracy and precision in urban forestry tools for estimating total tree height. *Arboric. Urban For.* 2022;48(6):319-32. doi: <https://doi.org/10.48044/jauf.2022.024>
12. Pace R, Masini E, Giuliarelli D, Biagiola L, Tomao A, Guidolotti G, et al. Tree measurements in the urban environment: Insights from traditional and digital field instruments to smartphone applications. *Arboric. Urban For.* 2022;48(2):113-23. doi: <https://doi.org/10.48044/jauf.2022.009>
13. Ogawa H, Yoda K, Ogino K, Kira T. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand II plant biomass. *Nat Life SE Asia.* 1965;4:49-80.
14. Avery TE, Burkhardt HE. *Forest Measurements*. 5th ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2001.
15. Pumijumnong N, Payomrat P, Techamahasaranont J, Panaadisai S. Environmental factors control and climate change impact on forest type: Dong PraYa Yen-KhaoYai world heritage in Thailand. *Nat Sci.* 2013 5;135-43. doi: 10.4236/ns.2013.51A021
16. Vasilescu MM. Standard error of tree height using vertex III. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II: For Wood Ind Agric Food Eng.* 2013;6(55):75-80