



การศึกษาแบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีทรงปลูก ด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

The Study of 3D Modelling of *Peltophorum Pterocarpum* with Terrestrial Laser Scanner

ลัดดาวรรณ เหมยญตระกูล, จิรวัดน์ ยิ่งดี*,ธีระพงษ์ ชุมแสงศรี, ชาศริต ณ ตะกั่วทุ่ง, ปิยวัฒน์
ดิลกสัมพันธ์, ทศพร ลักขณาศรี, ชลภัส โตโสภณ, นลินี อินทิม

ภาควิชาวิศวกรรมป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

Laddawan Rianthakool, Jirawat Yingdee*, Theerapong Chumsangri,
Chakrit Na Takuathung, Piyawat Diloksumpun, Thodsaphon Lakkanasri,
Chonlaphat Tosophon, Nalinee Intim

Department of Forest Engineering, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Bangkok 10900

Received 24 July 2023; Received in revised 3 March 2024; Accepted 19 April 2024

บทคัดย่อ

การสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเป็นการเก็บข้อมูลวัตถุหรือสิ่งต่างๆ โดยคำนวณเวลาในการเดินทางของแสงเลเซอร์และบันทึกข้อมูลแบบจุดพิกัดสามมิติที่สามารถวัดมิติต่างๆ ของแบบจำลองสามมิติได้ การศึกษานี้ได้ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวเก็บข้อมูลต้นนนทรีทรงปลูกในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์จำนวน 9 ต้น ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีสามารถแสดงส่วนลำต้นและเรือนยอด รวมถึงสามารถแสดงส่วนตัดขวางของลำต้นได้ทุกส่วน โดยเปรียบเทียบการวัดพื้นที่หน้าตัดของลำต้นที่ระดับความสูงเพียงอกจากแบบจำลองสามมิติ 4 วิธี คือ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยคาลิปเปอร์ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกอัตโนมัติด้วยโปรแกรม 3D Forest วัดเส้นรอบวงด้วยเทปวัดตามรูปร่างของต้นไม้ และวัดเส้นรอบวงโดยตึงเทปตึง ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่หน้าตัดจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยคาลิปเปอร์และการวัดแบบอัตโนมัติด้วยโปรแกรม 3D Forest มีความแตกต่างกับพื้นที่หน้าตัดอ้างอิงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และการวัดความสูงด้วยแบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบกับ การวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ข้อมูลแบบจำลองสามมิตินี้สามารถนำมาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตหรือการเปลี่ยนแปลงของต้นไม้ในแต่ละปีได้ และเป็นแนวทางที่ดีในการศึกษาการประเมินมิติของต้นไม้ที่มีความละเอียดแม่นยำมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ระบบตรวจจับแสงและวัดระยะ; จุดพิกัดสามมิติ; ต้นไม้; เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก; ความสูงของต้นไม้

*ผู้รับผิดชอบบทความ: jirawat.yin@ku.th

Abstract

The creation of three-dimensional models using a terrestrial laser scanner is a method of collecting data on objects and structures. By employing this technique, the distance between the instrument and objects is determined based on the travel time of laser light, resulting in the representation of three-dimensional coordinate points known as a "point cloud". In this study, this technology was used to collect data on nine *Peltophorum Pterocarpum* trees at Kasetsart University. The study found that the three-dimensional models of the *Peltophorum Pterocarpum* trees could accurately depict the trunk and canopy, including cross-sectional profiles of the entire trunk. The basal area at breast height, derived from the 3D model, was compared with four different methods: the caliper method, automatic DBH by the 3D Forest program, tree contour tape measurements, and tape measurements along the convex shape. The results indicated that there was no statistically significant difference between the basal area calculated from the caliper method and the automatic DBH by the 3D Forest program when compared to the reference data ($p>0.05$). Furthermore, the height of the trees was measured using both a 3D model and a total station, and the average height obtained from both methods did not show any significant differences ($p>0.05$). These three-dimensional models can be used to compare growth patterns or changes in each tree over the years. Additionally, this research can guide further studies in accurately assessing the dimensions of trees with high precision.

Keywords: LiDAR; Point cloud; Tree; DBH; Tree height

1. บทนำ

แบบจำลองสามมิติเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการแสดงวัตถุในรูปแบบสามมิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการสร้าง ซึ่งแบบจำลองสามมิติสามารถให้รายละเอียดของวัตถุได้ชัดเจนมากขึ้น สามารถวัดขนาดตามที่ได้ปรากฏได้ การสร้างแบบจำลองสามมิติเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลวัตถุ สิ่งของหรือสถานที่เพื่อใช้ในการศึกษาดูแลรักษา พัฒนา หรือเก็บรวบรวมเป็นฐานข้อมูลเพื่อประโยชน์ต่างๆ สามารถมองเห็นสิ่งของหรือสถานที่ได้หลายมุมมอง ตัวอย่างการสร้างและใช้ประโยชน์จากภาพสามมิติ เช่น โครงการอนุรักษ์วัดกระเจี๋ยอยุธยา [1] เจดีย์วัดมหาธาตุ พระนครศรีอยุธยา [2] เป็นต้น การสร้างแบบ

จำลองสามารถจัดทำได้หลายวิธีและหลายอุปกรณ์ เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน หรือ Terrestrial laser scanner (TLS) เป็นเทคโนโลยีที่ใช้แสงเลเซอร์ในการสแกนไปยังวัตถุหรือสถานที่แล้วคำนวณเวลาในการเดินทางของแสงเลเซอร์ บันทึกข้อมูลในรูปแบบจุดพิกัดสามมิติ (Point clouds) ที่มีค่าพิกัด (X,Y,Z) ของแต่ละจุด ซึ่งสามารถสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติของวัตถุหรือสถานที่นั้นได้จากข้อมูลพิกัดดังกล่าว

ต้นนทรีทรงปลูกในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขนเป็นต้นไม้ที่มีคุณค่าทั้งต่อสิ่งแวดล้อม ศิษย์เก่า ศิษย์ปัจจุบัน รวมถึงบุคลากรในมหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์ ตลอดจนประชาชนทั่วไป ที่รำลึกถึงพระมหากรุณาธิคุณของในหลวงรัชกาลที่ 9 เมื่อครั้งทรงเสด็จพระราชดำเนินมาทรงปลูกต้นนนทรีทั้ง 9 ต้น เมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2506 ณ บริเวณริมสระน้ำ ด้านหน้าอาคารหอประชุมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นที่มาของต้นไม้สัญลักษณ์ประจำมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อเป็นการเก็บบันทึกข้อมูลของต้นไม้ทรงคุณค่านี้ การสร้างแบบจำลองสามมิติจะช่วยเก็บรวบรวมรายละเอียดของโครงสร้างของต้นนนทรีที่สามารถนำไปวินิจฉัยสุขภาพ นำเสนอ รวมทั้งการเผยแพร่ เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนได้มากยิ่งขึ้น อีกทั้งเมื่อมีการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง จะสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาย้อนเล่าเรื่องราวให้สอดคล้องกับปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องได้ รวมถึงหากมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ก็สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลง และการเจริญเติบโตของต้นไม้ในมิติต่างๆ เพิ่มมากขึ้นกว่า การใช้เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at breast height; DBH) และความสูง เพราะเมื่อสามารถจำลองรูปร่างของต้นไม้ออกมาเป็นสามมิติได้ก็สามารถเปรียบเทียบในเรื่องของรูปร่าง ขนาด ทรงพุ่ม กิ่งก้าน ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้การศึกษาเรื่องของการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้ หรือในด้าน การบำรุงดูแลรักษา มีความละเอียดมากขึ้น

การสร้างแบบจำลองสามมิติของต้นไม้ด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมีการศึกษาและพัฒนาเพื่อวัดมิติของต้นไม้จากแบบจำลองโดยสามารถสร้างแบบจำลองเป็นหมู่มั [3] และแบบจำลองต้นเดี่ยว [4, 5] จากข้อมูลแบบจุดพิกัดสามมิติ และใช้โปรแกรมมาช่วยประมวลผล ซึ่งโปรแกรมสำหรับประมวลผลข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิตินั้นมีทั้งโปรแกรมเชิงพาณิชย์ (Commercial software) เช่น Faro Scene, Autodesk ReCap, Leica Cyclone และ Scan master เป็นต้น และโปรแกรมรหัสเปิด (Open source software) เช่น CloudCompare, PlantScan3D, 3D Forest และ SimpleTree เป็นต้น โดยโปรแกรม 3D Forest พัฒนา

โดย Silva Tarouca research institute และ Department of geoinformation technologies of Mendel university in Brno [6] เป็นโปรแกรมเฉพาะทางที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อจัดทำ ปรับปรุง แก้ไข รายละเอียดของต้นไม้และหมู่มัจากข้อมูลจุดพิกัดสามมิติที่ได้จากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน มีคำสั่งที่สามารถคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และการปกคลุมพื้นดินของเรือนยอดต้นไม้ได้แบบอัตโนมัติซึ่งสะดวกในการใช้งาน แต่โดยหลักการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกด้วยโปรแกรม 3D Forest นั้นจะพิจารณาจุดพิกัดสามมิติเป็นวงกลมรอบต้นที่ระดับความสูงของต้นไม้ 1.25 ถึง 1.35 เมตร [6] ซึ่งหากต้นไม้มีพุ่มรอบลำต้นเป็นรูปหลายเหลี่ยมอาจทำให้ข้อมูลที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างจากความเป็นจริง [7, 8, 9] สำหรับโปรแกรม Faro Scene เป็นโปรแกรมในการวิเคราะห์ข้อมูลจุดพิกัดสามมิติทั่วไปซึ่งสามารถเลือกเครื่องมือวัดจุดพิกัดสามมิติได้เองจึงสามารถวาดรูปหลายเหลี่ยมรอบต้นนนทรีแบบต่างๆ และคำนวณพื้นที่ได้ [10] ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้เลือกใช้โปรแกรม 3D Forest และโปรแกรม Faro Scene มาใช้ประมวลผลข้อมูลแบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีทรงปลูกที่มีพุ่มพุ่ม และไม่สมมาตรเพื่อศึกษารูปแบบการวัดการประเมินพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ในลักษณะดังกล่าวและเป็นแนวทางในการวัดการเจริญเติบโตของต้นไม้ต่อไปในอนาคต

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีทรงปลูกที่มีความละเอียดสูงด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน และวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลพื้นที่หน้าตัดของต้นนนทรีที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดินด้วยรูปแบบการวัดที่ต่างกัน และวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลความสูงของต้นนนทรีจากการวัดด้วยแบบจำลองสามมิติและการวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

1. เครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินรุ่น Faro S150 (Table- 1) พร้อมอุปกรณ์ประกอบ

2. โปรแกรมประมวลผลข้อมูลสามมิติ Faro Scene
3. โปรแกรม 3D Forest
4. คอมพิวเตอร์
5. กล้องประมวลผลรวม (Total station)

Table 1 Faro S150 specifications

Specifications	Faro S150
Laser class	Laser class 1
Range	0.6-150 m
Range finder	Phase shift measurement
Field of view	360° x 300°
Range accuracy	±1 mm
3D Position accuracy	2 mm @10m
Scanning speed	976 KPts/s
Beam divergence	0.3 mrad
Weight	4.2 kg

2.2 วิธีการ

2.2.1 การปฏิบัติงานภาคสนาม

2.2.1.1 การสำรวจพื้นที่ปฏิบัติงานเพื่อออกแบบและกำหนดตำแหน่งตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินพร้อมกับตำแหน่งการวางเป้าอ้างอิง (Reference targets) โดยพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐานเช่น สภาพพื้นที่ สภาพอากาศ ปริมาณแสง และรายละเอียดของต้นไม้ที่ต้องการ โดยให้มีจุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินให้น้อยที่สุดที่สามารถเก็บรายละเอียดต้นนทรีได้ครบถ้วนจากการศึกษาของ [4] กำหนดจุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินอย่างน้อย 3 สถานีและมีเป้าอ้างอิงอย่างน้อย 3 จุดต่อต้นไม้หนึ่งต้น แต่เนื่องจากสภาพพื้นที่ศึกษาที่มีสระน้ำใกล้บริเวณต้นนทรีทำให้มีข้อจำกัดในการกำหนดจุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน การเก็บข้อมูลภาคสนามจึงได้กำหนดจุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินบริเวณรอบต้นนทรี 4 สถานีต่อต้น เนื่องจาก

ต้องการให้ได้รายละเอียดของต้นนทรีที่ดีที่สุดและเพื่อให้ได้ภาพสแกนที่มีการซ้อนทับกันมากพอที่จะใช้ในการประมวลผล โดยใช้สถานีร่วมกันกับต้นนทรีที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลจุดพิกัดสามมิติ แบบต่อเนื่องโดยใช้เป้าอ้างอิงแบบทรงกลม (Spheres) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร อย่างน้อย 3 จุด เป็นจุดอ้างอิงในการเชื่อมต่อข้อมูลจุดพิกัดสามมิติในแต่ละการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินเข้าด้วยกัน

2.2.1.2 การสแกนภาพต้นนทรีโดยใช้วิธีการสแกนแบบวงรอบเปิด (Open traverse strategies) เนื่องจากวัตถุและพื้นที่ที่สนใจมีขนาดใหญ่ วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการสแกน [10] โดยเริ่มจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินตำแหน่งที่ 1 และกำหนดจุดที่จะตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินตำแหน่งที่ 2 และ 3

ไว้ล่วงหน้า ซึ่งการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินแต่ละตำแหน่งนั้นจะต้องมองเห็นเป้าอ้างอิงระหว่างกัน เป้าอ้างอิงแบบทรงกลม 1 ชุด ประกอบด้วยเป้าอ้างอิงแบบทรงกลม 3 ลูก จะวางไว้ระหว่างการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินตำแหน่งที่ 1 และ 2 และเป้าอ้างอิงชุดที่ 2 จะวางไว้ระหว่างจุดที่ตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินตำแหน่งที่ 2 และ 3 (Figure 1 และ 2)

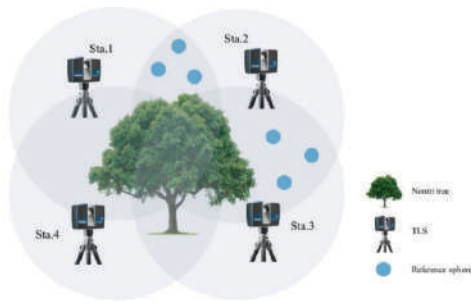


Figure 1 Scanner (TLS) and reference spheres positions



Figure 2 Scanner (TLS) and reference spheres positions in the field.

2.2.1.3 การสแกนภาพจุดตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจุดที่ 1 โดยตั้งค่า Parameter ของเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินดังนี้ ค่าความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 1/5 ค่าคุณภาพ (Quality) เท่ากับ 2x และเปิดการสแกนภาพสี (Scan with color: open)

ตั้งค่าการรับแสงเป็นแบบ Horizon weighted metering และเปิดใช้งานโหมดการสแกนแบบรวดเร็ว (Speed mode: open) ดังนั้นที่ระยะ 10 เมตรจากเครื่องสแกนเลเซอร์จะมีความละเอียด 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งการสแกนข้อมูลแต่ละครั้งจะใช้เวลาเฉลี่ย 6 นาที

2.2.1.4 เมื่อเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสแกนข้อมูลในตำแหน่งที่ 1 เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะย้ายตำแหน่งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมายังตำแหน่งที่ 2 และตั้งค่าเช่นเดียวกับการสแกนในตำแหน่งที่ 1 โดยเป้าอ้างอิงทั้งสองชุดยังอยู่ในตำแหน่งเดิม และเมื่อสแกนในตำแหน่งที่ 2 เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะย้ายเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินมายังตำแหน่งที่ 3 และย้ายเป้าอ้างอิงชุดที่ 1 มาตั้งระหว่างตำแหน่งตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินที่ 3 และ 4 โดยเป้าอ้างอิงชุดที่ 2 ยังวางอยู่ในตำแหน่งเดิม เมื่อจัดวางเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินและเป้าอ้างอิงเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ทำการสแกน โดยตั้งค่าแบบเดียวกับครั้งก่อนหน้า และในตำแหน่งที่ 4 ก็ดำเนินการแบบเดียวกัน

2.2.1.5 เมื่อดำเนินการครบตามขั้นตอน จะได้ภาพการสแกนต้นนนทรีต้นแรกเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นดำเนินการแบบเดียวกันกับต้นนนทรีต้นถัดไป จนครบ 9 ต้น โดยทั้ง 9 ต้นจะมีภาพที่ได้จากการสแกนที่มีส่วนที่ซ้อนทับกัน โดยใช้เป้าอ้างอิงเป็นตัวกำหนดจุดที่ซ้อนทับกันของภาพที่ได้จากการสแกนแต่ละครั้ง เมื่อนำภาพทั้งหมดเข้าโปรแกรม Faro Scene ภาพทั้งหมดจะถูกต่อกันเป็นแบบจำลองสามมิติที่สมบูรณ์

2.2.1.6 วัดความสูงของต้นนนทรีด้วยกล้องประมวลผลรวม โดยวัดบริเวณโคนต้นระดับพื้นดินถึงปลายยอด

2.2.2 การประมวลผลข้อมูลจุดพิกัดสามมิติด้วยซอฟต์แวร์ในคอมพิวเตอร์

2.2.2.1 การประมวลผลข้อมูลจุดพิกัดสามมิติด้วยโปรแกรม Faro Scene โดยการนำข้อมูลจุดพิกัดสามมิติที่ได้จากการสแกนด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาค

พื้นดินแต่ละครั้งมาประมวลผลเพื่อสร้างเป็นข้อมูลจุดพิกัดสามมิติแบบพหุ (Multiple point cloud) และรวบรวมให้เป็นข้อมูลจุดพิกัดสามมิติเชิงเดี่ยว (Single point cloud) แล้วกำหนดขอบเขตข้อมูลของต้นนนทรีแต่ละต้น บันทึกข้อมูลแบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีรายต้น

2.2.2.2 วัดขนาดความโตของต้นนนทรีที่ระดับความสูงเพียงอก หรือสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร ในการวัดภาคสนามด้วยคาลิปเปอร์และเทปวัดอาจทำให้ตำแหน่งการวัดคลาดเคลื่อนและไม่อยู่ในแนวระดับเดียวกันในแต่ละวิธี ในการศึกษานี้จึงได้วัดความโตของต้นนนทรีด้วยข้อมูลหน้าตัดต้นนนทรีที่ระดับความสูงเพียงอกจากแบบจำลองสามมิติ โดยจำลองสถานการณ์การวัดความโต 3 แบบ คือ 1) วัดด้วยคาลิปเปอร์โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางสองครั้งตั้งฉากกันแล้วคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง ($DBH_{caliper}$) 2) วัดด้วยเทปวัดเส้นรอบวงตามรูปร่างของต้นไม้ ($GBH_{perimeter}$) และ 3) วัดด้วยเทปวัดเส้นรอบวงโดยดึงเทปตึง (GBH_{convex}) (Figure 3) แล้วคำนวณพื้นที่หน้าตัดของต้นนนทรีจากการวัดทั้งสามแบบด้วยสมการวงกลม จากนั้นวัดพื้นที่หน้าตัดของต้นนนทรีที่ระดับความสูงเพียงอกด้วยเครื่องมือ Area measurement ในโปรแกรม Faro Scene ซึ่งพิจารณาจากค่าพิกัดของจุดพิกัดสามมิติและกำหนดให้เป็นพื้นที่หน้าตัดอ้างอิงของต้นนนทรี

2.2.2.3 การประมวลผลด้วยโปรแกรม 3D Forest โดยใช้คำสั่งอัตโนมัติภายในโปรแกรมวัดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง การประเมินเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกแบบ Randomized Hough transform (RHT) กำหนดจำนวนการคำนวณซ้ำ 200 ครั้ง ส่วนการประเมินความสูงจะพิจารณาจากตำแหน่งของต้นไม้เพื่อทราบค่าพิกัด XY ของต้นไม้จากจุดข้อมูลทุกจุดตั้งแต่พื้นถึงที่ระดับความสูง 60 ซม. และจึงคำนวณค่า Z ของจุดข้อมูลจากพิกัด XY ที่ได้ กำหนดจุดข้อมูลจำนวน 5 จุดในการคำนวณ จะได้ค่า XYZ ของต้นนนทรีแต่ละต้นเพื่อใช้ในการคำนวณความสูงในคำสั่ง

Height ต่อไป จากนั้นนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกคำนวณพื้นที่หน้าตัดที่ระดับความสูงเพียงอกแล้วเปรียบเทียบกับพื้นที่หน้าตัดอ้างอิง

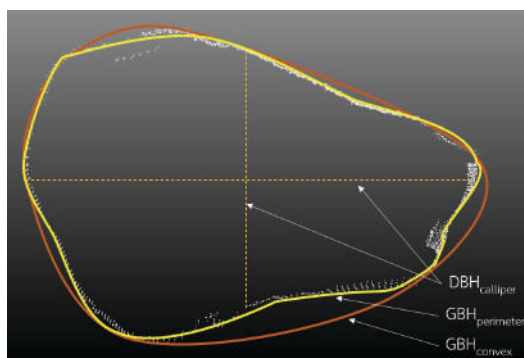


Figure 3 Measurements for 3D model of *Peltophorum Pterocarpum*: diameter at breast height via caliper method ($DBH_{caliper}$); girth at breast height according to perimeter ($GBH_{perimeter}$); girth at breast height according to convex (GBH_{convex}).

3. การวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ทางสถิติในการทดสอบความแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดของต้นนนทรีระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละวิธี (T-test) โดยให้พื้นที่หน้าตัดที่คำนวณจากค่าพิกัดของจุดพิกัดสามมิติเป็นค่าอ้างอิง และวิเคราะห์ความแตกต่างความสูงของต้นนนทรีระหว่างการวัดจากแบบจำลองสามมิติและการวัดจากกล้องประมวลผลรวม

4. ผลและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการสร้างแบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีทรงปลูก

จากการเก็บข้อมูลต้นนนทรีทรงปลูกเมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ต้นนนทรีมีอายุ 58 ปี ลำดับต้นที่ 1 ถึง 9 เรียงลำดับจากบริเวณติดถนนงามวงศ์วานเข้าไปด้านใน จากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินจำนวน 30 ครั้ง และประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรม

Faro Scene จะได้ข้อมูลจุดพิกัดสามมิติเชิงเดี่ยวของต้น
 นนทรีทั้ง 9 ต้น เมื่อกำหนดขอบเขตของต้นนนทรีแต่ละ

ต้นแล้วจะได้แบบจำลองสามมิติของต้นนนทรี และ
 ลักษณะภาพตัดขวางของต้นนนทรีที่ระดับความสูงเพียง
 อก (Figure 4-6)

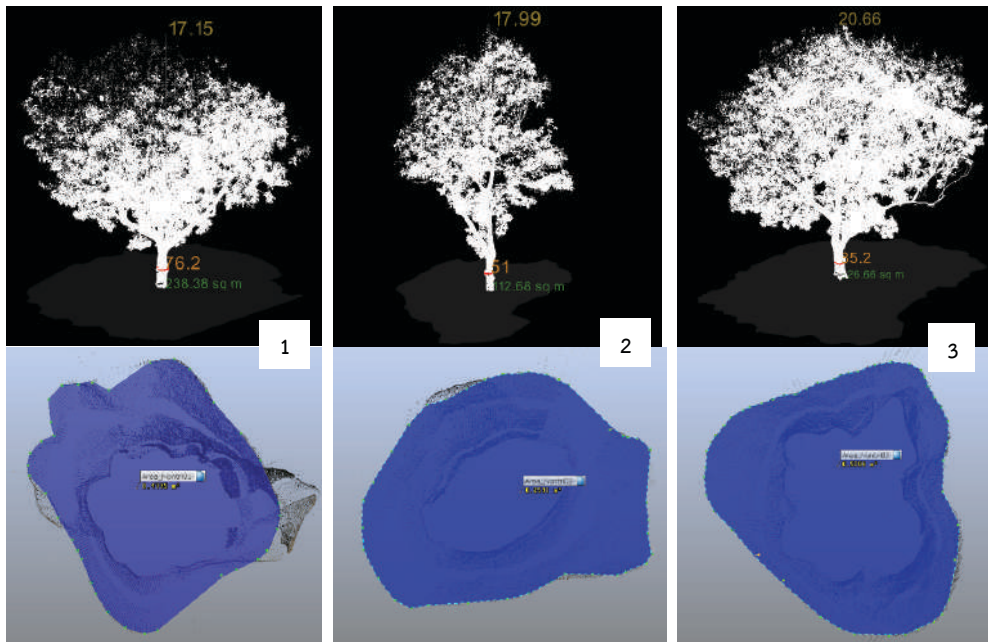


Figure 4 The 3D model and cross-sectional shape of *Peltophorum Pterocarpum* numbered 1-3 in Nov. 2021.

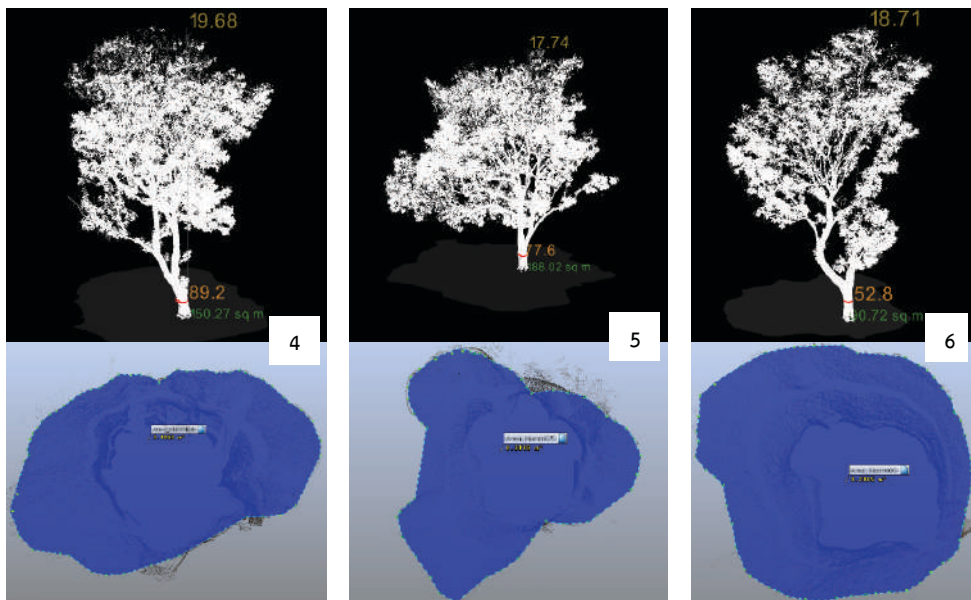


Figure 5 The 3D model and cross-sectional shape of *Peltophorum Pterocarpum* numbered 4-6 in Nov. 2021.

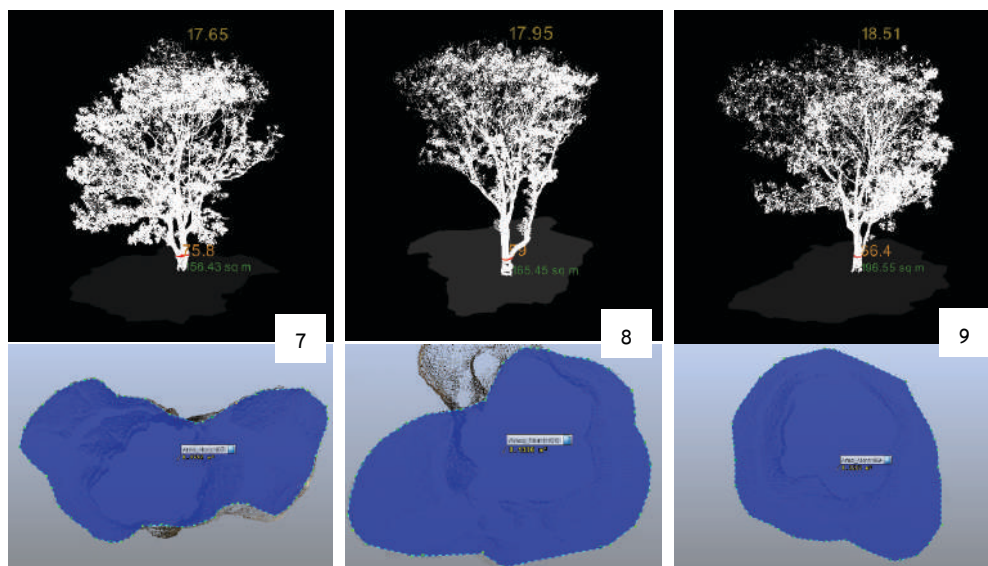


Figure 6 The 3D model and cross-sectional shape of *Peltophorum Pterocarpum* numbered 7-9 in Nov. 2021.

จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปร่างรูปทรงของต้นนทรีแต่ละต้นชัดเจน สามารถเลือกข้อมูลบริเวณที่สนใจมาแสดงและวัดได้อย่างละเอียด เช่น ขนาดพื้นที่หน้าตัดของกิ่งบริเวณที่สูงเกินเอว รวมถึงขนาดทรงพุ่ม เป็นต้น และจากภาพตัดขวางของต้นนทรีที่ระดับความสูงเพียงอกแสดงให้เห็นว่าลำต้นมีพูพอน ไม่สมมาตร บางต้นมีสองนางหรือลำต้นแตกเป็นสองลำต้น

4.2 ผลการวัดมิติของต้นนทรีจากแบบจำลองสามมิติ

4.2.1 ผลการศึกษาความโตของต้นนทรีที่ระดับความสูงเพียงอก

จากการวัดความโต 3 แบบด้วยโปรแกรม Faro Scene คือ 1) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยคาลิปเปอร์ (DBH_{caliper}) 2) วัดเส้นรอบวงตามรูปร่างของต้นไม้ด้วยเทปวัด (GBH_{perimeter}) และ 3) วัดเส้นรอบวงโดยดิ่งเทปดิ่ง (GBH_{convex}) และจากการประมวลผลข้อมูลจุดพิกัดสามมิติด้วยโปรแกรม 3D Forest โดยใช้คำสั่งอัตโนมัติวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นนทรีที่ระดับความสูงเพียงอก (DBH_{automatic}) จากต้นที่ 1 ถึง 9 แสดงดัง Table 2 เมื่อนำค่าการวัดความโตของต้นนทรีทั้งสี่วิธี

จากข้อมูลแบบจำลองสามมิติมาคำนวณพื้นที่หน้าตัดด้วยสมการวงกลมจะได้ พื้นที่หน้าตัดจากการคำนวณด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางโดยคาลิปเปอร์ (BA_{caliper}) พื้นที่หน้าตัดจากการคำนวณด้วยเส้นรอบวงตามรูปร่างของต้นไม้ (BA_{perimeter}) พื้นที่หน้าตัดจากการคำนวณด้วยเส้นรอบวงโดยดิ่งเทปดิ่ง (BA_{convex}) และพื้นที่หน้าตัดจากโปรแกรม 3D Forest (BA_{automatic}) ของต้นนทรีแต่ละต้นดังแสดงใน Figure 7

จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดจากวิธีการวัดความโตแต่ละแบบ กับพื้นที่หน้าตัดอ้างอิง (T-test) พบว่า พื้นที่หน้าตัดจากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยคาลิปเปอร์และวัดอัตโนมัติจากโปรแกรม 3D Forest มีค่าไม่แตกต่างจากค่าพื้นที่หน้าตัดอ้างอิง (p>0.05) และพบว่าพื้นที่หน้าตัดจากการวัดเส้นรอบวงตามรูปร่างของต้นไม้ และพื้นที่หน้าตัดจากการวัดเส้นรอบวงโดยดิ่งเทปดิ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับพื้นที่หน้าตัดอ้างอิง (p<0.05) (Table 3)

เมื่อพิจารณาร้อยละความแตกต่างของพื้นที่หน้าตัดจากแต่ละวิธีกับพื้นที่หน้าตัดอ้างอิง พบว่าค่าเฉลี่ย

พื้นที่หน้าตัดจากการคำนวณด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางโดยคาลิเปอร์น้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดอ้างอิงร้อยละ 2.14 ค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดจากการคำนวณด้วยเส้นรอบวงตามรูปร่างของต้นไม้มากกว่าพื้นที่หน้าตัดอ้างอิงร้อยละ 23.45

ค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดจากการคำนวณด้วยเส้นรอบวงโดยดิ่งเทปตั้งมากกว่าพื้นที่หน้าตัดอ้างอิงร้อยละ 18.06 และค่าเฉลี่ยพื้นที่หน้าตัดจากโปรแกรม 3D Forest น้อยกว่าพื้นที่หน้าตัดอ้างอิงร้อยละ 2.68

Table 2 Tree size measuring via 3D Forest program ($DBH_{\text{automatic}}$), caliper method (DBH_{caliper}), perimeter girth method ($GBH_{\text{perimeter}}$), and perimeter convex method (GBH_{convex}).

No of tree	3D Forest		Faro Scene	
	$DBH_{\text{automatic}}$ (m)	DBH_{caliper} (m)	$GBH_{\text{perimeter}}$ (m)	GBH_{convex} (m)
1	0.7620	0.8634	2.6711	2.6467
2	0.5100	0.5613	2.0173	1.9291
3	0.8520	0.7867	2.7716	2.7306
4	0.8920	0.7923	2.6686	2.6556
5	0.7760	0.5927	2.6197	2.5317
6	0.5280	0.5297	1.802	1.7848
7	0.7580	0.7388	3.0606	2.9454
8	0.5900	0.7906	2.5876	2.5327
9	0.6640	0.6896	2.2359	2.2019

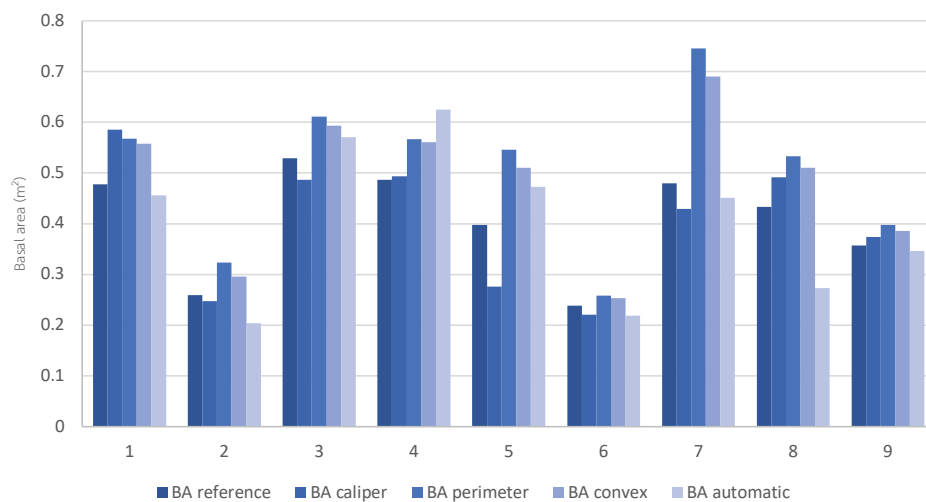


Figure 7 Basal area at breast height for each tree based on measurements made with trunk's boundary coordinates ($BA_{\text{reference}}$), caliper method (BA_{caliper}), perimeter girth method ($BA_{\text{perimeter}}$), perimeter convex method (BA_{convex}), and 3D Forest program ($BA_{\text{automatic}}$).

Table 3 Results of T-test comparing different basal area measurements; computed for the significance level $\alpha=0.05$.

	Mean	Variance	N	df	t	P
The basal area between the reference and diameter measurements via caliper method						
BA _{reference}	0.4064	0.0106	9	8	0.2803	0.7863
BA _{caliper}	0.4002	0.0164	9	8		
The basal area between the reference and perimeter measurements via perimeter girth method						
BA _{reference}	0.4064	0.0106	9	8	-4.1049	<0.05
BA _{perimeter}	0.5053	0.0230	9	8		
The basal area between the reference and perimeter measurements via perimeter convex method						
BA _{reference}	0.4064	0.0106	9	8	-4.0018	<0.05
BA _{convex}	0.4840	0.0206	9	8		
The basal area between the reference and DBH measurements via 3D Forest program						
BA _{reference}	0.4064	0.0106	9	8	0.1514	0.8833
BA _{automatic}	0.4021	0.0225	9	8		

4.2.2 ผลการศึกษาความสูงของต้นนนทรี

จากการวัดความสูงของต้นนนทรีแต่ละต้นด้วยกล้องประมวลผลรวมพบว่าต้นนนทรีสูงดังนี้ 17.40, 15.03, 21.98, 19.02, 17.08, 17.65, 18.27, 18.16 และ 19.32 เมตร ตามลำดับ และเมื่อวัดความสูงด้วยข้อมูลจุดพิกัดสามมิติมีค่าดังนี้ 17.15, 17.99, 20.66,

19.68, 17.74, 18.71, 17.65, 17.95 และ 18.51 เมตร ตามลำดับ จากการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความสูงของต้นนนทรีจากการวัดทั้งสองวิธี พบว่าความสูงจากการวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมมีค่าไม่แตกต่างจากการวัดด้วยข้อมูลจุดพิกัดสามมิติ ($p>0.05$) (Table 4)

Table 4 Results of paired t-test comparing different height measurements; computed for the significance level $\alpha=0.05$.

	Mean	Variance	N	df	t	P
H _{pointcloud}	18.448	1.220	9	8	0.551	0.596
H _{total station}	18.213	3.557	9	8		

แบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีทรงปลูกจากข้อมูลจุดพิกัดสามมิติ ที่ได้จากการสำรวจด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินสามารถแสดงรูปร่างและลักษณะภายนอกของต้นนนทรีได้อย่างละเอียดทำให้สามารถประเมินมิติต่างๆ ของต้นนนทรีได้ เช่น ความโตของลำต้นและส่วนต่างๆ ของต้นนนทรี ความสูง และขนาดพื้นที่ปกคลุมเรือนยอด เป็นต้น ซึ่งเป็นข้อมูลการวัดมิติของต้นไม้ที่สามารถใช้เป็นตัวแปรในการประเมินผลผลิตไม้ ปริมาตรไม้ ปริมาณมวลชีวภาพ และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ได้ [11, 12, 13] นอกจากนี้ข้อมูลแบบจำลองสามมิติของต้นไม้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการประเมินสุขภาพของต้นไม้ได้อย่างละเอียดสอดคล้องกับการศึกษาของ [4] และ [14] จากผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดต้นนนทรีจากการจำลองการวัดผ่านศูนย์กลางด้วยคาลิปเปอร์ การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกอัตโนมัติด้วยโปรแกรม 3D Forest และการวัดเส้นรอบวงแบบตามรูปร่างของต้นไม้ด้วยเทปวัด และการวัดเส้นรอบวงโดยดึงเทปดึง ซึ่งการวัดเส้นรอบวงกับต้นไม้ที่มีพูพอน ไม่สมมาตรนี้จะประเมินพื้นที่หน้าตัดได้สูงกว่าความเป็นจริงสอดคล้องกับการศึกษาของ [15] ที่ใช้เทปวัดรอบต้นสักที่มีพูพอนเปรียบเทียบกับพื้นที่หน้าตัดที่ได้จากการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของไม้สักด้วยการวิเคราะห์จากภาพถ่าย (image analysis) ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่หน้าตัดที่วัดด้วยเส้นรอบวงมีขนาดมากกว่าความเป็นจริงซึ่งเกิดจากพื้นที่ช่องว่างระหว่างเทปวัดและลำต้นที่มีพูพอน อย่างไรก็ตามในการศึกษาด้านนนทรีจากแบบจำลองสามมิตินี้พบว่า การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยคาลิปเปอร์และวัดอัตโนมัติด้วยโปรแกรม 3D Forest สามารถนำมาคำนวณพื้นที่หน้าตัดด้วยสมการวงกลมที่มีค่าไม่แตกต่างจากค่าอ้างอิง โดยคาลิปเปอร์สามารถใช้วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นนนทรีที่ศึกษานี้ได้ควรมีขนาดวัดได้กว้าง 50-90 เซนติเมตรขึ้นไป ในขณะที่ความสูงของต้นนนทรีที่วัดได้จากข้อมูลแบบจำลองสามมิติกับกล้อง

ประมาณความสูงของต้นไม้ด้วยกล้องประมวลผลรวม อาจมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งยอดไม้จากมุมมองหรือตำแหน่งตั้งกล้องที่ต่างกันซึ่งควรเก็บข้อมูลจากการตั้งกล้องหลายมุมมองเพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในขณะที่ข้อมูลจุดพิกัดสามมิติจากเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดินก็มีข้อจำกัดเรื่องมุมมองของจุดข้อมูลที่ได้หากเรือนยอดหนาแน่น ข้อมูลจุดยอดไม้อาจพิจารณาได้ยากจากการตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภายใต้เรือนยอด ซึ่งทำให้ไม่สามารถคำนวณความสูงที่แท้จริงของต้นไม้ได้ [16, 17]

5. สรุป

งานวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีทรงปลูกด้วยเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน พบว่าข้อมูลแบบจำลองสามมิติของต้นไม้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวัดมิติต่างๆ ของต้นไม้ได้อย่างละเอียดทั้งขนาดความโต และความสูงซึ่งเป็นมิติที่สำคัญที่ใช้ในการประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้ นอกจากนี้ข้อมูลแบบจำลองสามมิตียังแสดงให้เห็นการวัดความโตด้วยวิธีที่แตกต่างกันเมื่อนำมาพิจารณาขนาดของพื้นที่หน้าตัดของลำต้นที่ระดับความสูงเพียงอกพบว่าการวัดความโตของต้นนนทรีด้วยคาลิปเปอร์และวัดอัตโนมัติด้วยโปรแกรม 3D Forest สามารถคำนวณพื้นที่หน้าตัดได้ใกล้เคียงค่าอ้างอิงที่พิจารณาจากค่าพิกัดของจุดพิกัดสามมิติรอบลำต้นมากกว่าวิธีการใช้เทปวัดเส้นรอบวงตามรูปร่างของต้นไม้และการวัดเส้นรอบวงโดยดึงเทปดึง เนื่องจากต้นนนทรีมีพูพอนทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเทปวัดกับลำต้นส่งผลต่อการวัดขนาดเส้นรอบวงต้นไม้ ในขณะที่การวัดความสูงด้วยแบบจำลองสามมิติและกล้องประมวลผลรวมมีความสูงเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งทั้งสองวิธีมีข้อจำกัดความหนาแน่นของเรือนยอดที่อาจปิดมุมมองของเรือนยอดทำให้ไม่สามารถวัดความสูงที่แท้จริงของต้นไม้ได้ ข้อมูลแบบจำลองสามมิติของต้นนนทรีทรงปลูกนี้สามารถจัดเก็บเป็นฐานข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตหรือการเปลี่ยนแปลงของต้นนนทรีในแต่ละปีได้ และการศึกษาสามารถให้

เป็นแนวทางในการศึกษาการประเมินมิติของต้นไม้ที่มีความละเอียดแม่นยำมากยิ่งขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Mahasuwanchai, P., Athisakul, C., Sairuamyat, P., Tangchirapat, W., Leelataviwat, S. and Chucheepsakul, S., 2021, An Alternative Method for Long-Term Monitoring of Thai Historic Pagodas Based on Terrestrial Laser Scanning Data: A Case Study of Wat Krachee in Ayutthaya, *Adv. Civ. Eng.* 2021: 1-17.
- [2] Manajitprasert, S., Tripathi, N.K., Arunplod, S., 2019, Three-Dimensional (3D) Modeling of Cultural Heritage Site Using UAV Imagery: A Case Study of the Pagodas in Wat Maha That, Thailand. *Appl. Sci.* 9(18): 3640.
- [3] Calders, K., Adams, J., Armston, J., et al. 2020, Terrestrial Laser Scanning in Forest Ecology: Expanding the Horizon. *Remote Sens. Environ.* 251: 1-17.
- [4] Chuopkhunthod, W., & Viphasa, C., 2020, Assessing the Risk Level of Urban Trees with Ground-based Laser Scanner Technology, pp. 1-6, Proceeding the National Civil Engineering Conference, Chonburi. (in Thai)
- [5] Wang, D., Liang, X., Mofack, G. and Martin-Ducup, O., 2021, Individual Tree Extraction from Terrestrial Laser Scanning Data via Graph Pathing, *For. Ecosyst.* 8(67): 1-11.
- [6] Trochta, J., Krucek, M., Vrška, T., Král, K., 2017, 3D Forest: An Application for Descriptions of Three-dimensional Forest Structures using Terrestrial LiDAR. *PLoS ONE* 12(5): 1-17.
- [7] Phungphong, N., Yingdee, J., Rianthakool, L. and Chumsangsri, T., 2023, 3D Model of Teak Log at Faculty of Forestry, Kasetsart University using Terrestrial Laser Scanner Survey, The 61st Kasetsart University Annual Conference, Kasetsart University, Bangkok, p. 756-764. (in Thai)
- [8] Eto, S., Masuda, H., Hiraoka, Y., Matsushita, M. and Takahashi, M., 2020, Precise Calculation of Cross Sections and Volume for Tree Stem using Point Clouds. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, p. 205–210.
- [9] Pfeifer, N., and Winterhalder, D., 2012, Modelling of Tree Cross Sections from Terrestrial Laser-Scanning Data with Free-Form Curves. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, p. 76-81.
- [10] Faro, 2020, Scene 2019 Faro Focus Laser Scanners Training Workbook. Faro Technologies, 338 p.
- [11] Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), 2016, Reference Guide for the Development of Voluntary Greenhouse Gas Reduction Projects According to Thailand's Standards in the Field of Forestry and Agriculture, Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization), Bangkok, 64 p. (in Thai)

- [12] Wiriyabancham, C., 2020, Handbook of Permanent Plot Placement and Field Data Collection, Forest Ecosystem and Environmental Research Group, Forest and Plant Conservation Research Office, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, 90 p. (in Thai)
- [13] Department of National Parks, Wildlife & Plant Conservation, 2017, Forest Resource Survey Guide, Forest Resource Survey Group Forest Resources Survey and Analysis Division Bureau of Conservation Area Restoration and Development, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Bangkok, 59 p. (in Thai)
- [14] Pusztai, P., 2021, The Advantage of Point Cloud Derived Tree Modelling on Urban Greenery Maintenance: Shortlisting Dangerous Trees, Assessing Ecosystem Services, Master Thesis, Universidad del País Vasco, Spain, 63 p.
- [15] Warner, A. J., Jamroenprucksas, M., & Puangchit, L., 2017, Buttressing Impact on Diameter Estimation in Plantation Teak (*Tectona grandis* L.f.) Sample Trees in Northern Thailand, Agr. Nat. Resour. 51(6): 520-525.
- [16] Xu, W., Su, Z., Feng, Z., Xu, H., Jiao, Y., & Yan, F., 2013, Comparison of Conventional Measurement and LiDAR-Based Measurement for Crown Structures, Comput Electron Agric. 98: 242-251.
- [17] Krautz, N., 2019, Comparison of TLS to Total Station Accuracy for Tree Parameter Measurement in Biomass Estimation, Faculty of Health, Bachelor of Spatial Science (Honours) (Surveying), University of Southern Queensland, Australia, 49 p.