การประเมินระดับความเสี่ยงของต้นไม้ในเมืองด้วยเทคโนโลยีเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน

RISK ASSESSMENT OF URBAN TREES USING A TERRESTRIAL LASER SCANNING TECHNOLOGY

วาริน ชุบขุนทด และ ชัยโชค ไวภาษา

ภาควิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
โทร 02-218-6652-64 โทรสาร 02-218-6650 e-mail: warinrmuti@gmail.com

บทคัดย่อ

การประเมินความเสี่ยงของต้นไม้เป็นคุณสมบัติที่สามารถทำได้จากการประเมินความเสี่ยงโดยการสอนผู้ประเมินผลให้ทำตามรูปแบบที่สอดคล้องกันในการตรวจสอบต้นไม้ หากผู้ประเมินความเสี่ยงมีคุณสมบัติเหมาะสมจะสามารถประเมินต้นไม้ได้อย่างถูกต้องเป็นกลางส่งผลให้ต้นไม้ในเมืองสุขภาพดี ลดความร้อน ลดมลพิษ และทำให้คุณภาพชีวิตของคนเมืองดีขึ้น ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีเครื่องสแกนด้วยเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner : TLS) มาปรับปรุงความถูกต้องในการประเมินความเสี่ยงของต้นไม้ โดยเลือกต้นจามจุรีทรงปลูกในรัชกาลที่ 9 จำนวน 4 ต้น ภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สูง 15-20 เมตร โดยสร้างแบบจำลองต้นไม้ขึ้นในรูปแบบต้นไม้เดี่ยว (single-tree) จากข้อมูล TLS ประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Scan Master ในระบบ point cloud แบบ 3 มิติ แล้วนำไปกรอกในแบบฟอร์มการประเมินความเสี่ยงของต้นไม้ ระดับ 2 Basic Tree Risk Assessment

คำสำคัญ: เครื่องสแกนด้วยเลเซอร์ภาคพื้นดิน การประเมินความเสี่ยงของต้นไม้ ต้นจามจุรีทรงปลูก

Abstract

Tree risk assessment is a qualification that can be done from risk assessment by teaching the assessor to follow a consistent pattern in the tree inspection. If the tree risk assessor has good qualifications. Can evaluate trees properly, neutral, resulting in healthy trees in the city, Reduce heat, reduce pollution and improve the quality of life of urban people. The researcher therefore aims to use Terrestrial Laser Scanner (TLS) technology to improve the accuracy of risk assessment of trees. By selecting 4 Rain tree planted by Rama 9 in Chulalongkorn University with a height of 15-20 meters Create a tree model in a single tree pattern from TLS data. Processed with the Scan Master software in 3D point cloud system. And then fill in the Tree Risk Assessment form of the level 2 Basic Tree Risk Assessment

Keywords: Terrestrial Laser Scanner, Tree risk assessment, Rain tree planted by Rama 9

1. ที่มาและความสำคัญ

สถาบันมาตรฐานแห่งชาติอเมริกัน “American National Standards Institute” (ANSI) [1] ได้มีการรับรองมาตรฐานการประเมินความเสี่ยงของต้นไม้ “International Society of Arboriculture” (ISA) เพื่อจัดทำแผนผังต้นไม้สำหรับรุกขกร และช่วยกำหนดวิธีการวางแผนการทำงานให้เหมาะสมสำหรับงานด้านรุกขกรรม

ในปัจจุบันเมืองไทยมีการประเมินความเสี่ยงของต้นไม้ที่มีค่าความถูกต้องต่ำ จากปัญหาดังกล่าวจึงนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเพื่อช่วยประเมินความเสี่ยงและความเสียหายต่อทรัพย์สินและอุบัติเหตุอาจเกิดขึ้นกับผู้คนที่อยู่ภายในบริเวณต้นไม้ เทคโนโลยีดังกล่าวคือเทคโนโลยีการสแกนด้วยเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial laser scan : TLS) สามารถสร้างแบบจำลอง 3มิติในพื้นที่ขนาดเล็ก ให้ความละเอียดสูง และไม่สร้างความเสียหายให้ต้นไม้ TLS ช่วยรวบรวมข้อมูลลักษณะโครงสร้างของต้นไม้ตั้งแต่กิ่งจนถึงเรือนยอด [2] [3] ข้อมูลที่ได้จาก TLS คือคุณสมบัติพื้นฐานของต้นไม้ที่ค่อนข้างแม่นยำ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at Breast Height : DBH) และความสูงของต้นไม้ ถูกวัดเป็นพารามิเตอร์ที่ถูกวัดบ่อย และเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ [2][4][5][6] จากข้อมูลดังกล่าว TLS สามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลอย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่นำ TLS เข้ามาช่วยเก็บข้อมูลต้นไม้ เพื่อให้สามารถกรอกแบบฟอร์มการประเมินความเสี่ยงตามมาตรฐาน ISA ระดับ 2 เพื่อเปรียบเทียบค่า DBH(เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก), Height(ความสูงของต้นไม้), Crown Spread Dia.(เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของพุ่มไม้) โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเครื่อง TLS กับค่าที่วัดได้จากวิธีของรุกขกร และยังไม่พบว่ามีการศึกษานี้ในไทยมาก่อน ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้สนใจที่กรณีศึกษาต้นจามจุรีที่ ร.๙ ทรงปลูก จำนวน 4 ต้น ภายในจุฬลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1 ต้นจามจุรีทรงปลูก

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูลเป็นเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน (TLS) Topcon GLS-2000 ได้รับความอุเคราะห์จาก บริษัท ท็อปคอนอินสทรูเมนท์ (ไทยแลนด์) สามารถจับภาพที่มีความหนาแน่นสูงกว่าล้านจุดต่อวินาที ที่ระยะ 100-300 เมตรและความแม่นยำในการวัดอยู่ที่หลักมิลลิเมตร

ข้อมูลจุดพิกัดที่ได้จากการสแกนนำมาประมวลผลเพื่อสร้างเป็นภาพสามมิติด้วยซอฟต์แวร์สแกนมาสเตอร์ (scan master software) ที่มาพร้อมเครื่อง TLS และวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของต้นไม้ด้วยซอฟต์แวร์ CloudCompare ซึ่งดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ http://www.danielgm.net/cc

3. การเก็บข้อมูลต้นจามจุรีด้วยเครื่อง TLS

สแกนตัวอย่างเก็บข้อมูล point cloud แบบ 3มิติ แบบ Single-tree ในการสแกนตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต้องตั้งเครื่อง TLS อย่างน้อย 3 สถานี และต้องตั้งเป้าอ้างอิงอย่างน้อย 3 จุด โดยแต่ละสถานีต้องมองเห็นเป้าอ้างอิงอย่างน้อย 2 จุด จุดละ 2 เป้า เพื่อทำการ Register ดังรูปที่ 2

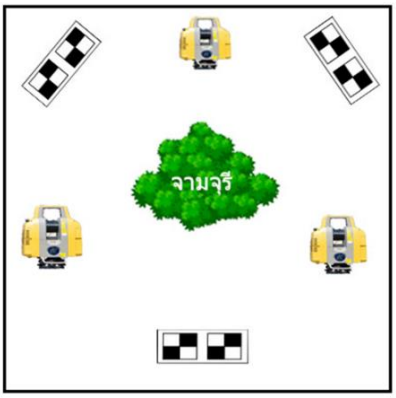
การเก็บข้อมูลภาคสนามหาจุดตั้งเครื่อง TLS และเป้าอ้างอิง ดังรูปที่ 3 โดยตั้งค่าเครื่อง TLS เริ่มจากตั้งชื่อเป้าหมายคือ tcu_01 tcu_02 tcu_03 และ tcu_04 จากนั้นตั้งค่ากล้องเพื่อถ่ายภาพ 360 องศา ตั้งค่าPanorama เป็น Wide, Resolution เป็น High60deg และ Exposure เป็น Auto กด OK ต่อมา ตั้งค่าการสแกน โดยเลือก Resolution เท่ากับ 6.3mm@10m แล้วเลือก Scan Mode เป็น High Speed สุดท้ายเลือก Pulse Select เป็น First จากนั้นกด OK แล้วกด Scan การเก็บข้อมูลภาคสนามโดยใช้เครื่อง TLS เก็บข้อมูล point cloud แบบสามมิติของต้นจามจุรีที่พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ทรงปลูกบริเวณด้านหน้าหอประชุมจุฬาฯ จำนวน 4 ต้น ดังรูปที่ 4

รูปที่ 3 การตั้งค่าเครื่อง TLS

รูปที่ 4 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

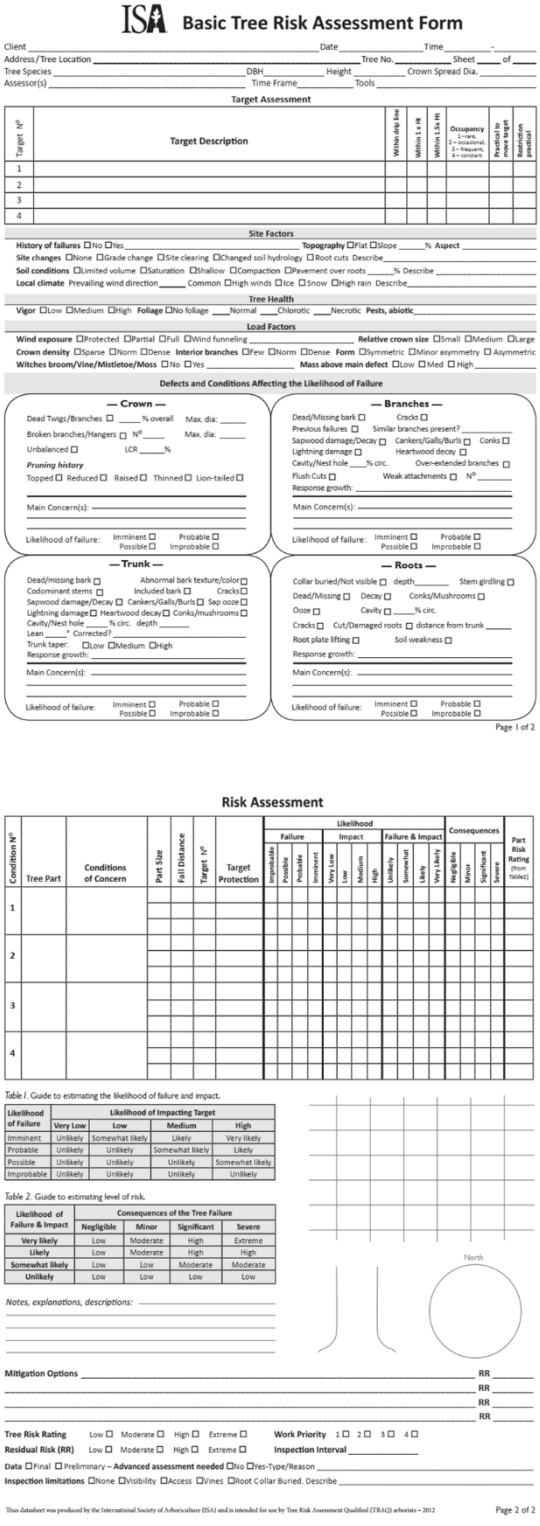
4. การกำหนดหลักเกณฑ์การประเมินและการคำนวณความเสี่ยง

วิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงมีหลากหลายวิธีการและไม่มีวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่มีสูตรการคำนวณที่แน่นอน จึงนำมาประยุกต์ใช้กับแบบฟอร์มการประเมินความเสี่ยงต้นไม้ ISA ระดับ 2 ดังตารางที่ 1 เพื่อหาค่าความเสี่ยง



รูปที่ 2 การตั้งเครื่องสแกนเลเซอร์ภาคพื้นดิน เพื่อเก็บข้อมูล Point cloud

ตารางที่ 1 แบบฟอร์มการประเมินความเสี่ยงของต้นไม้ ระดับ 2 Basic Tree Risk Assessment



ISA **Basic Tree Risk Assessment Form**

Client _____ Date _____ Time _____

Address / Tree Location _____ Tree No. _____ Sheet ____ of ____

Tree Species _____ DBH _____ Height _____ Crown Spread Dia. _____

Assessor(s) _____ Time Frame _____ Tools _____

Target Assessment

Target N°	Target Description	Within drip line	Within 1 x Ht	Within 1.5x Ht	Occupancy 1=rare, 2 = occasional, 3 = frequent, 4 = constant	Practical to move target	Restriction justified
1							
2							
3							
4							

Site Factors

History of failures ☐No ☐Yes _____ **Topography** ☐Flat ☐Slope _____% **Aspect** _____

Site changes ☐None ☐Grade change ☐Site clearing ☐Changed soil hydrology ☐Root cuts Describe _____

Soil conditions ☐Limited volume ☐Saturation ☐Shallow ☐Compaction ☐Pavement over roots _____% Describe _____

Local climate Prevailing wind direction _____ Common ☐High winds ☐Ice ☐Snow ☐High rain Describe _____

Tree Health

Vigor ☐Low ☐Medium ☐High **Foliage** ☐No foliage ___Normal ___Chlorotic ___Necrotic **Pests, abiotic** _____

Load Factors

Wind exposure ☐Protected ☐Partial ☐Full ☐Wind funneling _____ **Relative crown size** ☐Small ☐Medium ☐Large

Crown density ☐Sparse ☐Norm ☐Dense **Interior branches** ☐Few ☐Norm ☐Dense **Form** ☐Symmetric ☐Minor asymmetry ☐Asymmetric

Witches broom/Vine/Mistletoe/Moss ☐No ☐Yes _____ **Mass above main defect** ☐Low ☐Med ☐High _____

Defects and Conditions Affecting the Likelihood of Failure

— Crown —

Dead Twigs/Branches ☐ ____% overall Max. dia: ____

Broken branches/Hangers ☐ N° ____ Max. dia: ____

Unbalanced ☐ LCR ____%

Pruning history

Topped ☐ Reduced ☐ Raised ☐ Thinned ☐ Lion-tailed ☐

Main Concern(s): _____

Likelihood of failure: Imminent ☐ Probable ☐ Possible ☐ Improbable ☐

— Branches —

Dead/Missing bark ☐ Cracks ☐

Previous failures ☐ Similar branches present? _____

Sapwood damage/Decay ☐ Cankers/Galls/Burls ☐ Conks ☐

Lightning damage ☐ Heartwood decay ☐

Cavity/Nest hole ____% circ. Over-extended branches ☐

Flush Cuts ☐ Weak attachments ☐ N° _____

Response growth: _____

Main Concern(s): _____

Likelihood of failure: Imminent ☐ Probable ☐ Possible ☐ Improbable ☐

— Trunk —

Dead/missing bark ☐ Abnormal bark texture/color ☐

Codominant stems ☐ Included bark ☐ Cracks ☐

Sapwood damage/Decay ☐ Cankers/Galls/Burls ☐ Sap ooze ☐

Lightning damage ☐ Heartwood decay ☐ Conks/mushrooms ☐

Cavity/Nest hole ____% circ. depth _____

Lean _____° Corrected?

Trunk taper: ☐Low ☐Medium ☐High

Response growth: _____

Main Concern(s): _____

Likelihood of failure: Imminent ☐ Probable ☐ Possible ☐ Improbable ☐

— Roots —

Collar buried/Not visible ☐ depth_____ Stem girdling ☐

Dead/Missing ☐ Decay ☐ Conks/Mushrooms ☐

Ooze ☐ Cavity ☐ ____% circ.

Cracks ☐ Cut/Damaged roots ☐ distance from trunk _____

Root plate lifting ☐ Soil weakness ☐

Response growth: _____

Main Concern(s): _____

Likelihood of failure: Imminent ☐ Probable ☐ Possible ☐ Improbable ☐

Page 1 of 2

Risk Assessment

Condition N°	Tree Part	Conditions of Concern	Part Size	Fall Distance	Target N°	Target Protection	Likelihood: Failure: Improbable	Failure: Possible	Failure: Probable	Failure: Imminent	Impact: Very Low	Impact: Low	Impact: Medium	Impact: High	Failure & Impact: Unlikely	Failure & Impact: Somewhat Likely	Failure & Impact: Likely	Failure & Impact: Very Likely	Consequences: Negligible	Consequences: Minor	Consequences: Significant	Consequences: Severe	Part Risk Rating (from Table2)
1																							
2																							
3																							
4																							

Table 1. Guide to estimating the likelihood of failure and impact.

Likelihood of Failure	Likelihood of Impacting Target: Very Low	Low	Medium	High
Imminent	Unlikely	Somewhat likely	Likely	Very likely
Probable	Unlikely	Unlikely	Somewhat likely	Likely
Possible	Unlikely	Unlikely	Unlikely	Somewhat likely
Improbable	Unlikely	Unlikely	Unlikely	Unlikely

Table 2. Guide to estimating level of risk.

Likelihood of Failure & Impact	Consequences of the Tree Failure: Negligible	Minor	Significant	Severe
Very likely	Low	Moderate	High	Extreme
Likely	Low	Moderate	High	High
Somewhat likely	Low	Low	Moderate	Moderate
Unlikely	Low	Low	Low	Low

Notes, explanations, descriptions: _____

North

Mitigation Options _____ RR _____

RR _____

RR _____

RR _____

Tree Risk Rating Low ☐ Moderate ☐ High ☐ Extreme ☐ **Work Priority** 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐

Residual Risk (RR) Low ☐ Moderate ☐ High ☐ Extreme ☐ **Inspection Interval** _____

Data ☐Final ☐Preliminary – **Advanced assessment needed** ☐No ☐Yes-Type/Reason _____

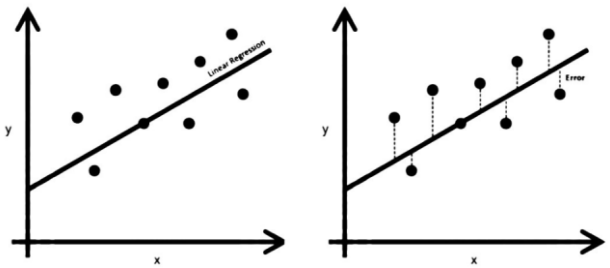
Inspection limitations ☐None ☐Visibility ☐Access ☐Vines ☐Root Collar Buried. Describe _____

This datasheet was produced by the International Society of Arboriculture (ISA) and is intended for use by Tree Risk Assessment Qualified (TRAQ) arborists – 2012

Page 2 of 2

5. การประมาณค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อน (error) สามารถคำนวณได้จากการสร้างกราฟเส้นแนวโน้ม (Linear Regression) และวัดค่าความคลาดเคลื่อนได้จากระยะระหว่างค่าแกน Y กับค่าจากเส้นแนวโน้มดังรูปที่ 5 เพื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมาคำนวณหาค่า MSE และ RMSE ต่อไป



รูปที่ 5 วัดค่าความคลาดเคลื่อน

ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean square error: MSE) เป็นค่าที่ใช้วัดความแม่นยำพารามิเตอร์ของต้นไม้เพื่อประเมินความเสี่ยง ในตารางการประเมินความเสี่ยงของ ISA ระดับ 2 มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_t - \hat{x}_t)^2}{n-p} \qquad (2)$$

รากของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean square error: RMSE) เป็นค่าที่ใช้วัดความแม่นยำของตัวประมาณที่วัดจากรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(x_t - \hat{x}_t)^2}{n-p}} \qquad (3)$$

MSE, RMSE มีค่ายิ่งต่ำยิ่งดี ถ้าเท่ากับ 0 แปลว่าโมเดลทำนายค่า y ได้ถูกต้อง 100%

6. ผลการทดลอง

6.1 ผลการประเมินความเสี่ยงของต้นจามจุรีโดย TLS

เก็บข้อมูลต้นจามจุรีที่ พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ทรงปลูกบริเวณด้านหน้าหอประชุมจุฬาฯ จำนวน 4 ต้น คือ tcu_01 tcu_02 tcu_03 และtcu_04 จากการเก็บข้อมูลต้นจามจุรีโดยเครื่องมือ TLS และสร้างแบบจำลอง point cloud แบบ 3 มิติ ด้วยโปรแกรม cloudcompare ดังรูปที่ 5 ถึง รูปที่ 8 ข้อมูลต้นไม้ที่วัดจากเครื่อง TLS ทำการวัดสามส่วน คือ DBH(เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก), Height(ความสูงของต้นไม้), Crown Spread Dia.(เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของพุ่มไม้ วัดค่าด้วยโปรแกรม cloudcompare ดังตารางที่ 4

รูปที่ 5 แบบจำลอง 3 มิติ ของต้นจามจุรี tcu_01

รูปที่ 6 แบบจำลอง 3 มิติ ของต้นจามจุรี tcu_02

รูปที่ 7 แบบจำลอง 3 มิติ ของต้นจามจุรี tcu_03

รูปที่ 8 แบบจำลอง 3 มิติ ของต้นจามจุรี tcu_04

ตารางที่ 2 ค่าการวัดจากเครื่อง TLS

	tcu_01	tcu_02	tcu_03	tcu_04
DBH	1.139	0.934	1.02	0.865
Height	14.24	14.744	14.406	15.467
Crown Spread Dia.	22.497	22.878	20.796	29.609

6.2 ผลการประเมินความเสี่ยงจากรุขกร

รุกขกรทำการวัด DBH ที่ความสูง 1.30 เมตร นิยมวัดเส้นรอบวง และเส้นผ่านศูนย์กลาง วัดความสูงของต้นไม้ด้วยดินสออาศัยหลักการของสัดส่วนของความสูงอ้างอิงที่ทราบความสูง เทียบกับความสูงของต้นไม้ควรวัดห่างจากต้นไม้ประมาณ 20-25 เมตร การปกคลุมของเรือนยอด ใช้เทปวัดจากขอบเรือนยอดที่ปกคลุมจาดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งแนววัดจะต้องตัดกันเป็นแนวตั้งฉาก ดังตารางที่ 5 คือค่าที่วัดได้จากต้นจามจุรี โดยรุกขกร

ตารางที่ 3 ค่าการวัดจากรุขกร

	tcu_01	tcu_02	tcu_03	tcu_04
DBH	1.23	0.853	1.300	0.883
Height	14.730	14.264	14.947	16.243
Crown Spread Dia.	22.672	23.163	19.984	30.184

6.3 ผลการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน

ต้นจามจุรีตัวอย่างทั้งหมด 4 ต้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกวัดโดยรุกขกรเท่ากับ 1.230 0.853 1.090 และ0.883 เมตร ตามลำดับ และค่าที่วัดจาก TLS เท่ากับ 1.139 0.934 1.02 และ0.865 ดังตารางที่ 4 และรูปที่ 9 แสดงค่าความคลาดเคลื่อน DBH ของรุกขกรเท่ากับ 0.0954 -0.2012 0.1162 และ-0.0104 ค่าความคลาดเคลื่อน DBH ของ TLS เท่ากับ 0.0391 0.0923 0.0673 และ0.0141 ตามลำดับ ค่า MSE ของรุกขกรกับTLS เท่ากับ 0.0157 0.0036 ค่า RMSE ของทั้งสองวิธีเท่ากับ 0.1256 และ 0.0607 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนของ **DBH** ระหว่าง รุกขกร กับ**TLS**

Tree name	**Arborist (m)**	**TLS (m)**	**ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ Arb**	**ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ TLS**	**arborist error**	**TLS error**
tcu_01	1.23	1.139	1.134	1.099	0.0954	0.0391
tcu_02	0.853	0.934	1.054	1.026	-0.2012	0.0923
tcu_03	1.300	1.020	0.973	0.952	0.1162	0.0673
tcu_04	0.883	0.865	0.893	0.879	-0.0104	0.0141
MSE	0.0157	0.0036				
RMSE	0.1256	0.0607				

ตารางที่ 5 แสดงค่าความสูงของต้นจามจุรีที่วัดโดยรุกขกรมีค่าเท่ากับ 14.730 14.264 14.947 และ16.243 ดังรูปที่ 10 ค่าความสูงที่วัดได้จากเครื่อง TLS มีค่าเท่ากับ 14.240 14.744 14.406 และ15.467 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงต้นจามจุรีของรุกขกร เท่ากับ 0.4668 -0.5214 -0.3606 และ0.4132ค่าความคลาดเคลื่อนความสูงของ TLS เท่ากับ 0.0267 0.1964 0.4759 และ0.2508 โดยมีค่า MSE เท่ากับ 0.1976 และ0.0821 ค่า RMSE เท่ากับ 0.4445 และ 0.2866 ตามลำดับ

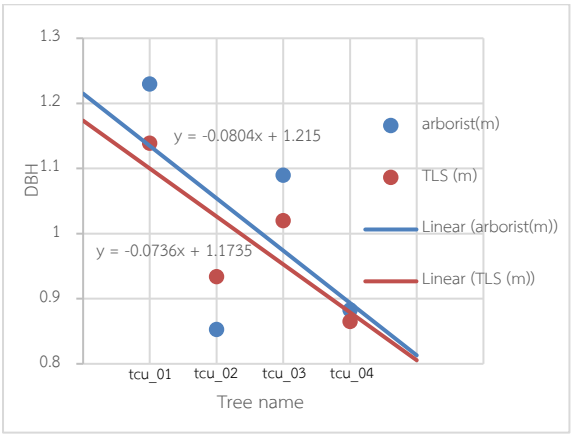
ตารางที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนของ **Height** ระหว่าง รุกขกร กับ**TLS**

Tree name	Arborist (m)	TLS (m)	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ Arb	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ TLS	arborist error	TLS error
tcu_01	14.730	14.24	14.263	14.2133	0.4668	0.0267
tcu_02	14.264	14.744	14.785	14.5476	-0.5214	0.1964
tcu_03	14.947	14.406	15.307	14.8819	-0.3606	0.4759
tcu_04	16.243	15.467	15.829	15.2162	0.4132	0.2508
MSE	0.1976	0.0821				
RMSE	0.4445	0.2866				

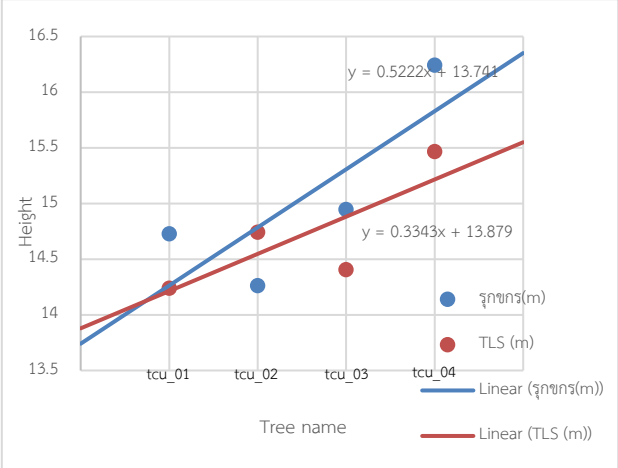
ตารางที่ 6 แสดงค่าความกว้างของทรงพุ่มของต้นจามจุรีซึ่งวัดโดยรุกขกรและTLS โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดของรุกขกรเท่ากับ 1.6146 0.1802 -4.9242 และ3.3504 ค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จาก TLS เท่ากับ 1.4396 -0.1048 -4.1122 และ2.7754 ตามลำดับ ดังรูปที่ 11 ตามลำดับ ค่า MSE ของรุกขกรกับTLS เท่ากับ 9.5248 6.6741ค่า RMSE ของทั้งสองวิธีเท่ากับ 3.0862 และ2.5834 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ค่าความคลาดเคลื่อนของ Crown Spread Dia. ระหว่าง รุกขกร กับ TLS

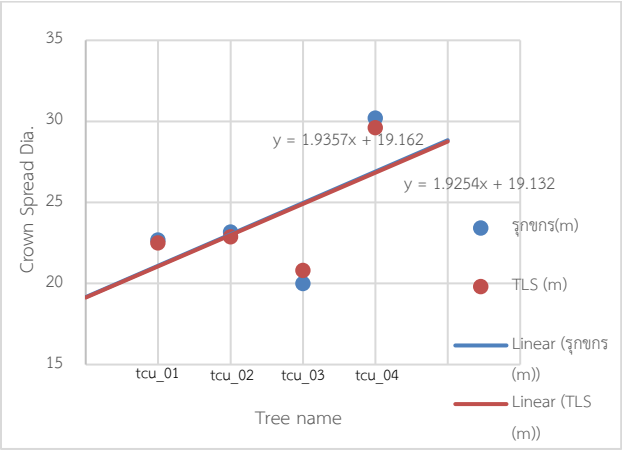
Tree name	Arborist (m)	TLS (m)	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ Arb	ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ TLS	arborist error	TLS error
tcu_01	22.672	22.497	21.0977	21.0574	1.6146	1.4396
tcu_02	23.163	22.878	23.0334	22.9828	0.1802	-0.1048
tcu_03	19.984	20.796	24.9691	24.9082	-4.9242	-4.1122
tcu_04	30.184	29.609	26.9048	26.8336	3.3504	2.7754
MSE	9.5248	6.6741				
RMSE	3.0862	2.5834				



รูปที่ 9 ค่าการวัด DBH ของต้นจามจุรี

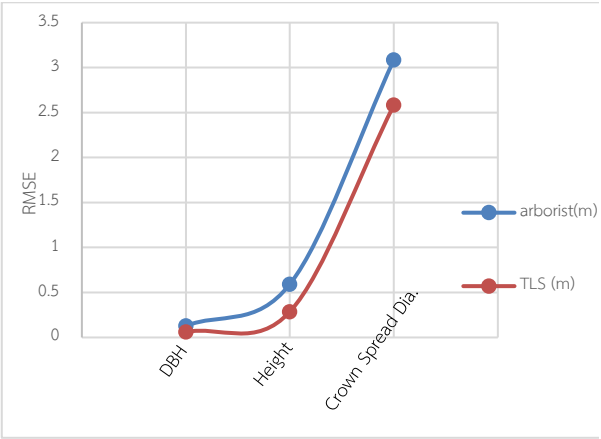


รูปที่ 10 ค่าการวัดความสูงของต้นจามจุรี



รูปที่ 11 ค่าการวัดความกว้างทรงพุ่มของต้นจามจุรี

รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากรุกขกรกับเครื่อง TLS โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากรุกขกรมีค่าเท่ากับ 0.1282 0.5928 3.0867 0.2216 และ1.7789 ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากเคลื่อนที่ได้จากเครื่อง TLS มีค่าเท่ากับ 0.0607 0.2866 2.5834 0.0853 1.0752 ตามลำดับ



รูปที่ 14 ค่าความสัมพันธ์ของ RMSE ระหว่างรุกขกรกับTLS

7. สรุปและอภิปรายผล

จากผลทดลองที่ได้ เมื่อนำผลการทดลองมาคำนวณหาค่า MSE และ RMSE เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการวัดจากรุกขกร กับTLS พบว่า ค่า DBH ที่รุกขกรวัดมีค่าความคลาดเคลื่อน MSE RMSE เท่ากับ 0.0157 และ 0.1256 และค่าความเคลื่อนที่ได้จาก TLS เท่ากับ 0.0036 0.0607 จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จากการวัดโดยรุกขกรมีค่าไม่เท่ากับการวัดจากเครื่อง TLS

ค่า Height จากการวัดของรุกขกรกับ TLS นำมาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อน MSE เท่ากับ 0.1976 0.0821และค่า RMSE เท่ากับ0.4445 0.2866 จะเห็นได้ว่ามีค่าการวัดจากรุกขกรมีค่าไม่เท่ากันกับการวัดจากเครื่อง TLS ค่า Crown Spread Dia. เมื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อน พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน MSE ระหว่างการวัดของรุกขกรกับ TLS มีค่าเท่ากับ 9.5248 และ 6.6741 ค่า RMSE มีค่าเท่ากับ 3.0862 และ2.5834 ตามลำดับ

เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมาพล็อตกราฟทำให้สรุปได้ว่าค่าที่จากการวัดโดยเครื่อง TLS มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากรุกขกร และมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงให้เห็นค่าการวัดจากเครื่อง TLS มีค่าความถูกต้องใกล้เคียงจากการวัดของรุกขกร และสามารถใช้ทดแทนค่าที่ได้จากรุกขกรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประเมินความเสี่ยงของต้นไม้ได้ดี เนื่องจาก TLS มีค่าความละเอียดสูง 6 mm

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเป็นอย่างดีจาก บริษัท ท็อปคอนอินสทรูเมนท์ (ไทยแลนด์) ที่อนุเคราะห์เครื่อง TLS ในการเก็บข้อมูลต้นจามจุรี

ผู้วิจัยขอบคุณเพจ สมาคมรุกขกรรมไทย ที่ให้ข้อมูลและข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] ANSI. (2017). ANSI Tree Risk Assessment Standard Updated. Retrieved from https://pnwisa.org/2017/12/ansi-tree-risk-assessment-standard-updated/

[2] Kuronen, M., Henttonen, H. M., & Myllymäki, M. (2019). Correcting for nondetection in estimating forest characteristics from single-scan terrestrial laser measurements. *Canadian Journal of Forest Research,* 49(1), 96-103.

[3] Liang, X., Kankare, V., Hyyppä, J., Wang, Y., Kukko, A., Haggrén, H., . . . Vastaranta, M. (2016). Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 115, 63-77.

[4] Newnham, G. J., Armston, J. D., Calders, K., Disney, M. I., Lovell, J. L., Schaaf, C. B., . . . Danson, F. M. (2015). Terrestrial laser scanning for plot-scale forest measurement. *Current Forestry Reports,* 1(4), 239-251.

[5] Pitkänen, T. P., Raumonen, P., & Kangas, A. (2019). Measuring stem diameters with TLS in boreal forests by complementary fitting procedure. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,* 147, 294-306.

[6] Zhou, J., Zhou, G., Wei, H., & Zhang, X. (2018). *Estimation of the plot-level forest parameters from terrestrial laser scanning data.* Paper presented at the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS).