

การวิเคราะห์ระบบไม้ค้ำยันเพื่อเลือกใช้และเป็นแนวทางในการออกแบบไม้ค้ำยันที่
เหมาะสมกับไม้ชุดล้อมขนาดต่าง ๆ

Analysis of crutches system to select and guide the design of crutches
suitable for different sizes of siege timber

ณภัตตรา ลัทธิกพงษ์^{1*} และดร.อรวลี อมรลีตระกูล²

Napassara Lattikapong^{1*} and Dr.Onvalee Amornleetrakul²

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท, หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมและการออกแบบเพื่อความยั่งยืน,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹ Graduate student, Department of Master of Architecture Program in Innovation and Designing for
Sustainability, Faculty of Architecture and Design, King Mongkut's University of Technology North
Bangkok.

² คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² Department of Master of Architecture Program in Innovation and Designing for Sustainability,
Faculty of Architecture and Design, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

*Corresponding author, E-mail: l.napas.d@gmail.com

บทคัดย่อ

ระบบราก ถือเป็นระบบสำคัญของต้นไม้ในการดูดสารอาหารและสิ่งสำคัญคือการยึดให้ต้นไม้
สามารถเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ แต่สำหรับต้นไม้ยืนต้นในเมืองเมื่อทำการชุดล้อมรากแล้วจะถูกตัด
ออกทำให้สูญเสียความสามารถในการยึดเกาะ เมื่อถูกลมพายุกระทำก็ทำให้เกิดความเสียหายจนถึงการ
ล้มแบบถอนรากถอนโคนส่งผลต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้งาน ดังนั้นต้นไม้ยืนต้นในเมืองจึงจำเป็นต้อง
ทำการค้ำยันเพื่อให้ต้นไม้แข็งแรง แต่ในการออกแบบไม้ค้ำยันผู้ใช้งานทั่วไปมักไม่ทราบถึงระบบการติดตั้ง
การใช้งานตลอดจนระยะเวลาของการติดตั้ง

ผลของงานวิจัยนี้จึงแสดงความแตกต่างของความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับการค้ำยันที่
ต่างกันสามรูปแบบ ได้แก่ ไม้ค้ำยันแบบกระโจม ไม้ค้ำยันแบบรากเทียมและการยึดโยงด้วยลวดสลิง
โดยการคำนวณขนาดของต้นไม้และการค้ำยัน จุดศูนย์ถ่วงของต้นไม้ ขั้นตอนและความซับซ้อนในการ
ทำงานของระบบค้ำยันแต่ละรูปแบบและความยั่งยืนทนทานของวัสดุ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและ
นำไปประยุกต์ใช้รวมถึงควบคุมการติดตั้งให้เข้ากับขนาดของต้นไม้ยืนต้นในการออกแบบพื้นที่ภูมิทัศน์ของ
ตนเอง

คำสำคัญ: ไม้ค้ำยัน, ต้นไม้, การยึดของราก, ระบบค้ำยัน



Abstract

Root system is the most important of trees for absorb nutrients and were anchorage to growth tree. But when the urban trees were transplanting, they always moved out the taproot affect to reduces tree anchorage. In some cases, severe wind loads can trigger uprooting affects the life and property of users. Therefore, the urban trees must be supported by crutches. However, about designing the crutches some users never know about how to install and usability as well as the duration of use.

The results of this research show the difference in suitability for use of three varies tree crutches are the pavilion tree crutches, the implant crutches, and wire rope anchors. By calculating the size of the tree and bracing, the gravity of the tree, process and complexity of work, and sustainability of materials. In order that users can understand and apply and control the installation for various tree sizing to the design of their own landscape area.

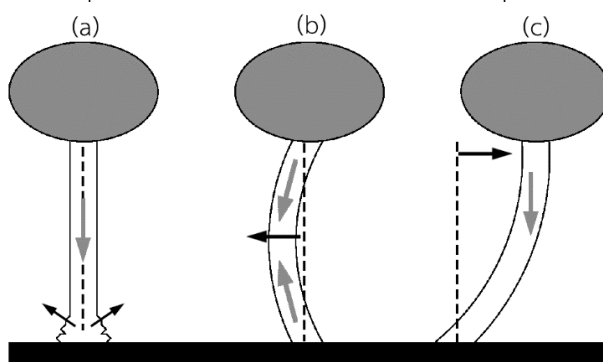
Keywords: Crutches, Tree, Root anchorage, Support system

บทนำ

โดยทั่วไปผู้ใช้งานมักจะเลือกติดตั้งไม้ค้ำยันต้นไม้โดยจ้างตามงบประมาณที่มีโดยไม่ได้ทราบถึงความเหมาะสมที่แท้จริงของระบบค้ำยันต้นไม้ซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดของต้นไม้ พื้นที่ใช้สอยสำหรับติดตั้ง หรือแม้แต่ความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยอาจารย์ธราดล หันด่วนกล่าวว่าในความเป็นจริงของรากแก้วนั้น สำหรับต้นไม้ในเมืองไม่มีรากแก้วอยู่แล้ว โดยธรรมชาติของต้นไม้ในเมืองร้อนเมื่อเจริญเติบโตถึงจุดหนึ่ง รากแก้วจะสูญสลายไป อีกสาเหตุหนึ่งคือสภาพดินในกรุงเทพมหานครไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของรากแก้ว (ปางปราบมาร, 2560) ระบบของรากแก้ว เมื่อหยั่งรากลึกลงไปดินพอเจอระดับน้ำใต้ดินรากแก้วก็จะหยุดการเจริญเติบโตเพราะไม่ได้อากาศหายใจ เมื่อต้นไม้เจริญเติบโตจนเป็นไม้ยืนต้นแล้วรากแก้วจะหายไปและจะสร้างรากแขนงผิวดินจนเจริญเติบโตรอบ ๆ ต้นไม้ขึ้นมาเรื่อย ๆ ซึ่งรากแขนงนี้เองมีส่วนสำคัญในการช่วยพยุงต้นไม้ไม่ให้ล้ม ดังนั้น หน้าที่สำคัญที่แท้จริงของระบบค้ำยันต้นไม้คือ พยุงต้นไม้ชุดล้อยจนกว่ารากแขนงจะเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ เนื่องจากไม้ชุดล้อยยืนต้นส่วนใหญ่ถูกตัดรากแก้วออกไปตอนชุดล้อย แต่สำหรับต้นไม้ยืนต้นริมทางสาธารณะ จะมีการเทปูนห่อรอบต้นไม้จนไม่เหลือพื้นที่ให้รากแขนงเจริญเติบโต ทำให้รากแขนงไม่สามารถเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ยังคงต้องติดตั้งระบบค้ำยันระยะยาวต่อไป งานวิจัยของ Pirone (1948) กล่าวว่าไม้ชุดล้อยที่ปลูกใหม่ควรจะค้ำยันทันทีเพื่อป้องกันไม่ให้ลำต้นเอียงหรือเคลื่อนตัวเมื่อมีลมพัดมา ซึ่งจะรบกวนระบบรากและเป็นอุปสรรคต่อการเติบโตของต้นไม้ การค้ำยันต้นไม้จะช่วยให้ต้นไม้ชุดล้อยหรือต้นไม้ที่ปลูกมั่นคง ไม่ให้โยกไปมาหรือปลิวไปตามแรงลมในวันที่มีลมแรง การโยกของต้นไม้เพียงเล็กน้อยก็อาจจะทำให้รากฝอยที่แตกออกมาใหม่ในดินชำรุดได้ (เอี่ยมพร, 2554)

ระดับความเสียหายของต้นไม้ยืนต้นในเมืองกับในผืนป่ามีความต่างกันค่อนข้างมาก หากต้นไม้ยืนต้นในเมืองล้มจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้คนในบริเวณใกล้เคียง สาเหตุที่ทำให้ต้นไม้เกิดความเสียหายจนถึงการล้มแบบถอนรากถอนโคนนั้น ได้แก่ ต้นไม้อาจเอนเข้าหาแสง ต้นไม้เคลื่อน พุ่มใบไม่สมดุลจากการตัดแต่ง ต้นไม้ข้างเคียงถูกเคลื่อนย้ายออกไป ต้นไม้ถูกชนด้วยยานพาหนะ หรือเครื่องจักรกลหนัก และลมที่พัดมาเป็นประจำทำให้ต้นไม้โค้งงอ หรือทำให้จุดศูนย์ถ่วงเคลื่อนที่ งานวิจัยของ Carpenter et al. (1975) พบว่าโดยทั่วไปจะค้ำยันต้นไม้ที่ขุดล้อมแบบปลีกรากที่มีความสูงมากกว่า 1.8 เมตร ไม้ขุดล้อมที่มีดินติดไปกับระบบรากซึ่งมีขนาดเล็กและไม้ที่ปลูกในกระถางไม่จำเป็นต้นค้ำยัน ยกเว้นไม้ขุดล้อมที่มีลำต้นใหญ่กว่า 6 นิ้ว โดยระบบค้ำยันต้นไม้ที่ทำการวิจัยเพื่อความเหมาะสมในการเลือกใช้งานนั้นแบ่งออกเป็นสามประเภทที่แตกต่างกัน คือ ระบบค้ำยันต้นไม้แบบกระโจม ระบบค้ำยันต้นไม้แบบรากเทียม และระบบค้ำยันต้นไม้แบบสลิง สำหรับต้นไม้ยืนต้นอายุ 6 เดือนถึง 1 ปี เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นไม่มากกว่า 6 นิ้ว ส่วนมากจะปลูกแบบรากเปลือยทำให้มีความอ่อนไหวต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ดังนั้นควรทำการค้ำยันเป็นเวลา 1 ถึง 2 ปี จนกว่าระบบรากจะสร้างและขยายจนมั่นคง ส่วนต้นไม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมากกว่า 6 นิ้ว มักเป็นไม้ขุดล้อมยืนต้น และมีความหนักพอที่จะสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงโดยเฉพาะช่วงที่มีพายุ หรือโคนจากน้ำหนักของต้นไม้เอง (Equator tree care industry network, 2564) จะสังเกตได้ว่าต้นไม้เกิดการเอียงด้วยเหตุผลและปัจจัยที่แตกต่างกัน ดังนั้นการมีระบบค้ำยันต้นไม้ที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงที่ต้นไม้จะล้มได้

Brickell (2007) แนะนำเรื่องการค้ำยันต้นไม้ไว้ว่า ปกติไม้พุ่มไม้ต้องค้ำยันยกเว้นมีทรงพุ่มขนาดใหญ่ ซึ่งต้องค้ำยันในระยะ 1-2 ปีแรกจนกระทั่งรากต้นไม้เริ่มแผ่ออกไปและต้นไม้ก็จะมั่นคง วิธีที่ดีที่สุดสำหรับไม้พุ่มที่มีกิ่งก้านสาขาพุ่มใบต่ำควรค้ำยันเป็น 3 เสารอบทรงพุ่ม



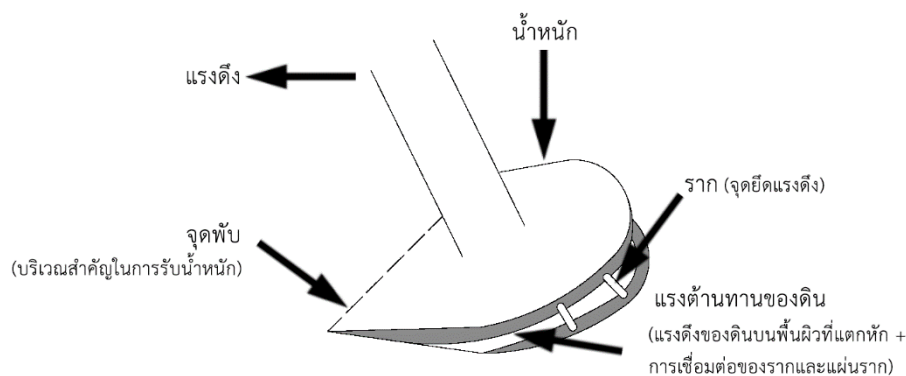
ภาพที่ 1 การเสียหายของต้นไม้จากแรงกระทำต่างๆ

มีงานวิจัยมากมายที่อธิบายเกี่ยวกับแรงที่กระทำกับต้นไม้ โดยแรงดังกล่าว ส่งผลกับต้นไม้ในด้านต่างๆ แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Force) เป็นแรงที่มีผลกับการทรงตัวหรือการคงอยู่ของต้นไม้ รวมไปถึงระบบการลำเลียงอาหาร ซึ่งทำให้ต้นไม้ยืนต้นแต่ละสายพันธุ์ มีความสูงมากที่สุดที่ 25 – 100 เมตร (Niklas, 1997) หากมองต้นไม้เป็นเสาต้นหนึ่ง แรงที่กระทำจนต้นไม้เกิดความเสียหาย เกิดได้ 3 รูปแบบ

ดั่งภาพที่ 1

- (a) เสาที่ล้มเหลวด้วยแรงอัด - การบีบอัด
(b) เสาที่ล้มเหลวโดย "การโก่งงออยเลอร์" ซึ่งเป็นโหมดที่ด้านใดด้านหนึ่งประสบกับแรงดึง
(c) เสาที่ล้มเหลวโดยได้รับแรงด้านข้าง ในลักษณะของคานยื่น ซึ่งทำให้คานโก่งงอ เมื่อองแล้ว น้ำหนักของตัวมันเองจะสร้างโมเมนต์หมุนรอบฐาน

ไม้มีกำลังรับแรงอัดประมาณ 50 MPa และความหนาแน่นประมาณ 500 กก. ลบ.ม. (Niklas, 1997) ซึ่งดีกว่าอิฐ และหากพิจารณาจากการรับแรงอัดเพียงอย่างเดียว ตามรูปที่ 1a ต้นไม้จะสามารถสูงได้ถึง 10 กม. ส่วนต้นไม้กับการโก่งงอในรูป 1b ตามสมการมาตรฐานของ Euler Buckling (ดู Vogel, 2003) ต้นไม้สามารถมีความสูงได้ถึง 100 เมตร ในหน้าตัด 1 เมตร ซึ่งพบว่าแรงดึงดูดของโลกผ่านสมการของ buckling ไม่มีผลกับการโก่งงอเท่าใดนัก การเกิดความเสียหายที่เป็นไปได้มากที่สุดกับต้นไม้ จึงเป็นไปตามรูปที่ 1c การวิเคราะห์ของ Greenhill (1881) คือการเกิดแรงกระทำโดยเฉพาะในส่วนยอดของต้นไม้ และเคลื่อนจุดศูนย์กลางไปด้านข้าง ทำให้ต้นไม้โค่นล้ม ในเวลาเดียวกัน จะเกิดแรงต้านทานการคืบตัวยืดหยุ่นในเนื้อไม้ ซึ่งก็คือพฤติกรรมของคานยื่นที่รับน้ำหนักตัวเองนั่นเอง (self-loaded cantilever beam) ในทางปฏิบัติ หากใช้สมการมาตรฐานและความสัมพันธ์มาตรฐานระหว่างโมดูลัสและความหนาแน่นของ Young ต้นไม้ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เมตร อาจสูงได้ถึง 120 เมตร ก่อนที่ไม้ของต้นไม้จะมีความเครียดสูงสุด (maximum tolerable stress) ที่ทนได้ ทั้งนี้ ในสถานการณ์จริง แรงโน้มถ่วงจะเป็นตัวช่วยเสริมให้เกิดความเสียหายเร็วขึ้นเมื่อมีการเอียงหลุดจากจุดศูนย์กลาง (Vogel, 2006)



ภาพที่ 2 แสดงระบบรากตื้น (Shallow-rooted) ในการยึดต้นไม้ไว้กับดิน

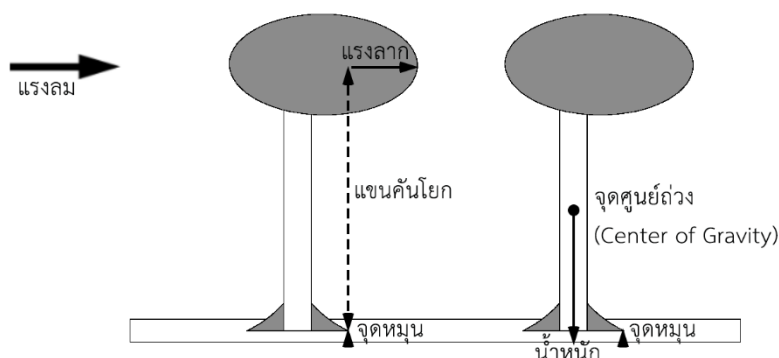
Jonathan Ramos Rivera (2019) กล่าวว่า มืองค์ประกอบ 4 ประการ (ดูภาพที่ 2) ที่ช่วยยึดต้นไม้ไว้ นั่นคือ

- ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน (bearing capacity of soil)
- ความต้านทานการล้มพับของตุ้มรากจากแรงดัด
- การยึดเกาะของรากแขนงและรากฝอย ซึ่งเป็นเหมือนสมอียึดอยู่ในดิน
- มวลหรือน้ำหนักของราก หรือรากที่ยึดประกอบกับดินอยู่ (root plate – soil plate)

ทั้งนี้ การอธิบายทั้งหมดข้างต้น เป็นการอธิบายถึงต้นไม้ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งมีระบบรากแก้ว รากแขนง และรากฝอย ซึ่งสามารถทำให้ต้นไม้ต้านทานแรงลมได้และยืนต้นสูงได้ รวมถึงต้นไม้ที่เกิดเองตามธรรมชาติ หากเกิดในป่า จะมีการบังลมซึ่งกันและกันและมีราก รวมถึงไม้คลุมดินที่เป็นเหมือนตัวช่วยยึดหน้าดินไว้ (Vogel, 2006)

Vogel (1996) ได้กล่าวไว้ว่า ต้นไม้สามารถยืนต้นตรงต้านทานแรงลมได้หลายวิธี คือ

1. ด้วยรากแก้วที่แข็งแรงและยาวเหยียดต่อจากลำต้นลงไปตามด้านล่าง ต้นไม้สามารถใช้ประโยชน์จากความต้านทานแรงเฉือนและแรงอัดของดินได้ และจะทำงานร่วมกับรากด้านข้างทำให้การยึดเกาะดินเป็นไปด้วยดี
2. การพันกันของพีชรอบ ๆ เช่น เถาวัลย์ หรือพีชอื่น ๆ ซึ่งพฤติกรรมเหล่านี้เป็นเหมือนสายเคเบิลเส้นทแยงมุมจากลำต้นถึงราก ซึ่งจะเป็นตัวช่วยค้ำยันต้นไม้ ต้นไม้ที่มีค้ำยันแรงดึงดังกล่าวมักจะมีลำต้นผอมเมื่อเทียบกับความสูง
3. ส่วนรากแผ่ด้านข้างระดับพื้นดินมีความกว้างมาก และทรงพุ่มของต้นไม้ใบกว้างในเขตอบอุ่นขนาดใหญ่หลายแห่งนั้นอยู่ต่ำกว่าในเขตร้อนและใบหนากว่า ซึ่งมันจะทำงานด้วยแรงกดด้วยน้ำหนักของ มันที่กระทำกับแรงดึงดูดของโลก ต้นไม้ที่มีฐานกว้างและหนักเหล่านี้ มักจะมีลำต้นหนาทึบ และไม่โค้งงอเมื่อโดนลม ในกรณีนี้แรงโน้มถ่วงทำงานอีกหน้าที่หนึ่ง ซึ่งช่วยให้ต้นไม้ตั้งตรงได้



ภาพที่ 3 จุดศูนย์กลางของต้นไม้

ดังนั้นในการถอนราก ต้นไม้ที่ค้ำยันอย่างแน่นหนาจะหมุนรอบแกนนอนไปด้านข้างของแกนลำต้น ดังในภาพที่ 3 ในการถอนรากถอนโคนต้นไม้ โมเมนต์การหมุน (Turning moment) ต้องเกินโมเมนต์ทรงตัว (Stabilizing moment) – ผลคูณของแรงลากคูณความสูงของจุดศูนย์กลางของทรงพุ่มต้องเกินผลคูณของน้ำหนักของต้นไม้คูณระยะห่างจากแกนลำต้นถึงแกนหมุน

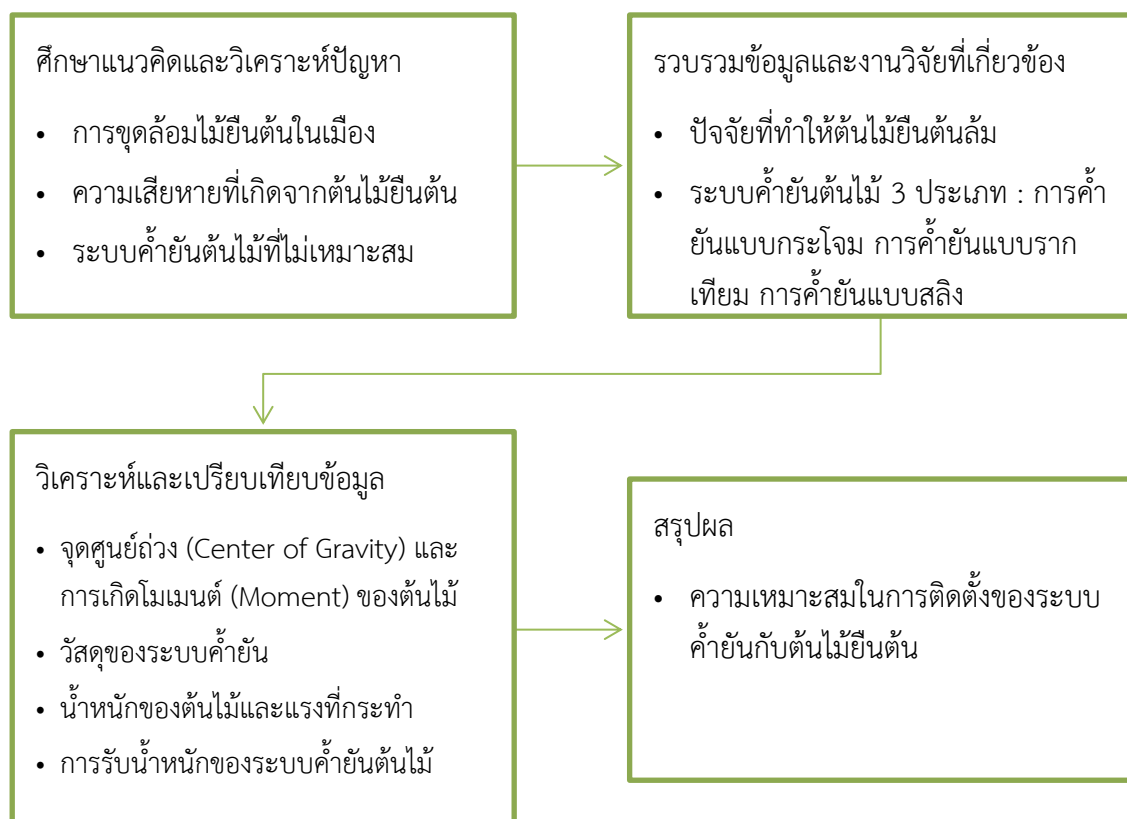
Johnatan Ramos Rivera (2019) กล่าวว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดการเสียหายของต้นไม้เกิดจากสามองค์ประกอบหลัก ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของแรงเฉือนในดิน ความเสียหายจากการสุกของต้นไม้ และการผสมผสานที่ซับซ้อนระหว่างพันธะของรากในดิน ซึ่งในการค้ำยันต้นไม้ไม่ควรยึดต้นไม้แน่นจนไม่

สามารถเอนไหวตามลมได้ เพราะทำให้ต้นไม้ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ ถ้าไม่มีการค้ำยัน เมื่อมีลมพัดต้นไม้จะโอนอ่อนไปตามแรงลม ทำให้เกิดการพัฒนาของต้นไม้ จะมีลำต้นที่ใหญ่และแข็งแรงขึ้น ดังนั้นการยึดลำต้นโดยเว้นระยะให้โยกไหวได้บ้างเล็กน้อยเมื่อถูกลมพัดจะทำให้ลำต้นแข็งแรงและเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น (Carpenter et al., 1975) แต่หากพิจารณาไม้ยืนต้นที่นำมาปลูกตามบ้าน สวนสาธารณะ หรือตามถนน ในปัจจุบัน มักเป็นไม้ชุดล้อม ซึ่งไม่มีรากแก้ว ทำให้ระบบรากที่ยึดเกาะกับดินสูญเสียไป รวมทั้งประเทศในเขตร้อนชื้นและมีฤดูฝนอย่างในประเทศไทย ทำให้ดินมีความอ่อนนุ่ม และทำให้ต้นไม้ยึดเกาะกับดินได้ไม่มั่นคง การใช้ไม้ค้ำยัน หรือระบบรากเทียม จึงยังมีความสำคัญกับต้นไม้ยืนต้นในเมืองอยู่มาก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์แนวทางการเลือกใช้ระบบค้ำยันต้นไม้ที่เหมาะสมกับขนาดของไม้ชุดล้อม
2. เพื่อวิเคราะห์ระบบค้ำยันต้นไม้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ติดตั้ง

วิธีดำเนินการวิจัย



ผลการวิจัย

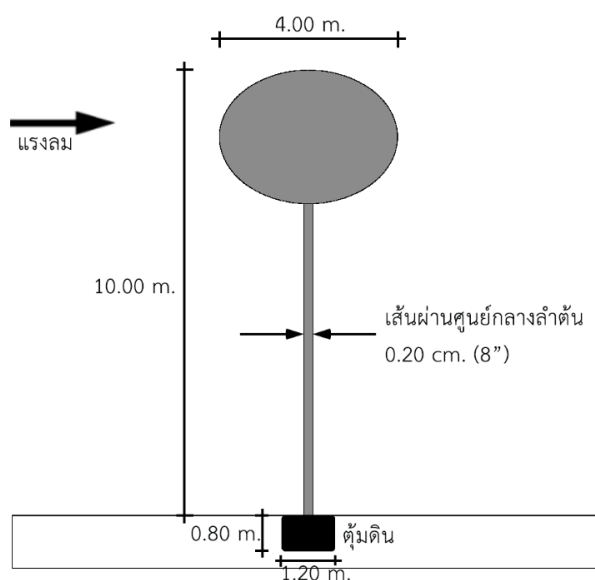
ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วงของต้นไม้ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดของตมดินของไม้ชุดล้อม การคำนวณหาขนาดตมดินของไม้ชุดล้อมหาได้จาก เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นชิดดิน คูณด้วย 3 จะได้รัศมีของตมดิน ความลึกของตมดินให้เพิ่มอีก 1 ส่วนจาก 3 ส่วนของรัศมีตมดิน (นพพร, 2563) เมื่อทำการติดตั้งระบบค้ำยันต้นไม้จะสามารถเปลี่ยนจุดศูนย์ถ่วงของต้นไม้ได้ ช่วยให้ต้นไม้สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าเดิม

จากการทบทวนวรรณกรรม ต้นไม้ในป่าสามารถสูงได้มากกว่า เนื่องจากจำนวนของต้นไม้ที่หนาแน่นทำให้ต้องแย่งแย่งแสงแดดกัน รวมทั้งพืชคลุมดินและการบังลมซึ่งกันและกัน ทำให้โค่นล้มได้ยากกว่าการยืนต้นเดี่ยว แต่ทรงพุ่มของต้นไม้ในเมืองไม่ได้หนาแน่นจนบดบังแสงแดดของต้นไม้อื่น ๆ ทำให้เติบโตแผ่กิ่งก้านในวงกว้างมากกว่าการเติบโตแบบสูงขึ้นด้านบน โดยทั่วไปการชุดล้อมต้นไม้ในเมืองจะทำการทอนความสูงของต้นไม้ลง ในตอนที่น่ามาปลูก (นพพร, 2563)

- กรณีต้นไม้สูงเกิน 5 เมตรถึง 15 เมตร จะทอนความสูงลง 1/4 ของความสูงทั้งหมด
- กรณีต้นไม้สูงเกิน 15 เมตรถึง 25 เมตร ให้ทอนความสูงลง 1/3 ของความสูงทั้งหมด
- กรณีต้นไม้สูงเกิน 25 เมตรถึง 35 เมตร ให้ทอนความสูงลง 1/2 ของความสูงทั้งหมด
- กรณีต้นไม้สูงเกิน 35 เมตรขึ้นไป ให้ทอนความสูงลง 2/3 ของความสูงทั้งหมด

ส่วนใหญ่ต้นไม้ในเมืองหรือในโครงการจัดสรร มักใช้ไม้ชุดล้อมที่ความสูงประมาณ 8 ถึง 10 เมตร และตัดแต่งทรงพุ่มให้ไม่เกิน 4 เมตร เพื่อให้สะดวกและปลอดภัยต่อการขนย้าย และการปลูก ซึ่งหากมีขนาดใหญ่มาก และรากยังไม่แข็งแรง จะเป็นอันตรายกับผู้ใช้งานได้ โดยมีขนาดโดยประมาณ ดังภาพที่ 4

1. แนวทางการคำนวณแรงที่กระทำต่อระบบค้ำยันต้นไม้



ภาพที่ 4 ขนาดของต้นไม้ที่น่ามาเป็นแนวทางในการคำนวณ

1.1 การหาน้ำหนักของไม้ยืนต้น

น้ำหนักเฉลี่ยของไม้เนื้อแข็งเป็น 900 กก./ลบ.ม. (สายสองคำไม้, 2019)

หาปริมาตรของลำต้น จากสมการ

$$\pi r_t^2 h$$

①

เมื่อ	r_t	คือ	รัศมีของลำต้น
	h	คือ	ความสูงของต้นไม้
		=	$(3.142 \times 0.1^2) \times 10$
		=	0.32 m^3
น้ำหนักของลำต้น		=	0.32×900
		=	288 กก.

หาปริมาตรของตมดิน จากสมการ

$$\pi r_r^2 h$$

②

เมื่อ	r_r	คือ	รัศมีของตมดิน
		=	$(3.142 \times 0.6^2) \times 0.8$
		=	0.91 ลบ.ม.

น้ำหนักของดินร่วนชื้นเท่ากับ 1,280 กก./ลบ.ม. (thaicontractors, 2009)

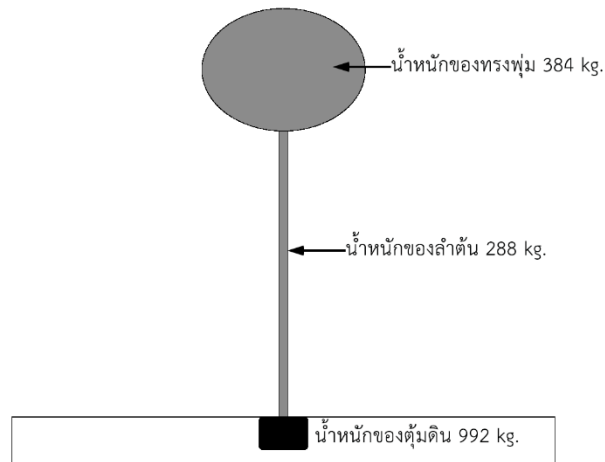
โดยประมาณว่าตมดินมีน้ำหนักรากไม้ ต่อน้ำหนักดิน ที่ 1: 1 หรือน้ำหนักไม้ร้อยละ 50 และ น้ำหนักดิน ร้อยละ 50

น้ำหนักของตมดิน	=	$(0.455 \times 900) + (0.455 \times 1,280)$
	=	$991.9 \text{ กก.} \approx 992 \text{ กก.}$
น้ำหนักต้น + ตมดิน	=	$288 + 992$
	=	$1,280 \text{ กก.}$

ส่วนน้ำหนักของกิ่ง ก้าน ใบ คิดเป็น 30% ของน้ำหนักรวมโดยประมาณ ดังนั้น

น้ำหนักของกิ่ง ก้าน ใบ	=	$1,280 \times 0.30$
	=	384 กก.

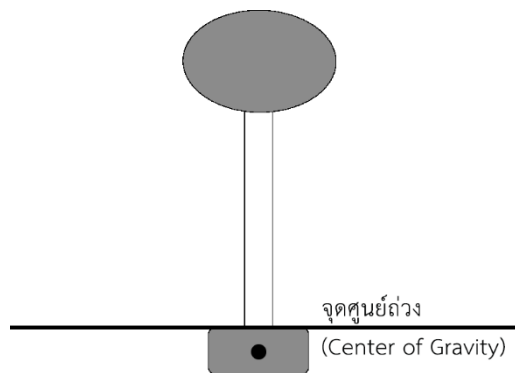
$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น น้ำหนักรวมของต้นไม้} &= 1,280 + 384 \\ &= 1,664 \text{ กก.}\end{aligned}$$



ภาพที่ 5 น้ำหนักของต้นไม้ในแต่ละส่วน

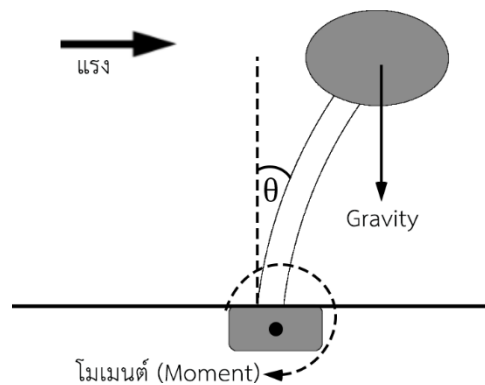
1.2 การวิเคราะห์จุดศูนย์ถ่วง และการล้มของต้นไม้

จากการวิเคราะห์น้ำหนักต้นไม้ พบว่า ต้นไม้ขนาดตามข้างต้น มีน้ำหนักตมมากกว่าน้ำหนักของลำต้นรวมกับกิ่งก้านใบ ทำให้จุดศูนย์ถ่วง (CG: Center of gravity) อยู่ที่บริเวณตมถ่วง ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 จุดศูนย์ถ่วง (CG: Center of gravity) ของต้นไม้สูง 10 เมตร ศก. 0.20 เมตร

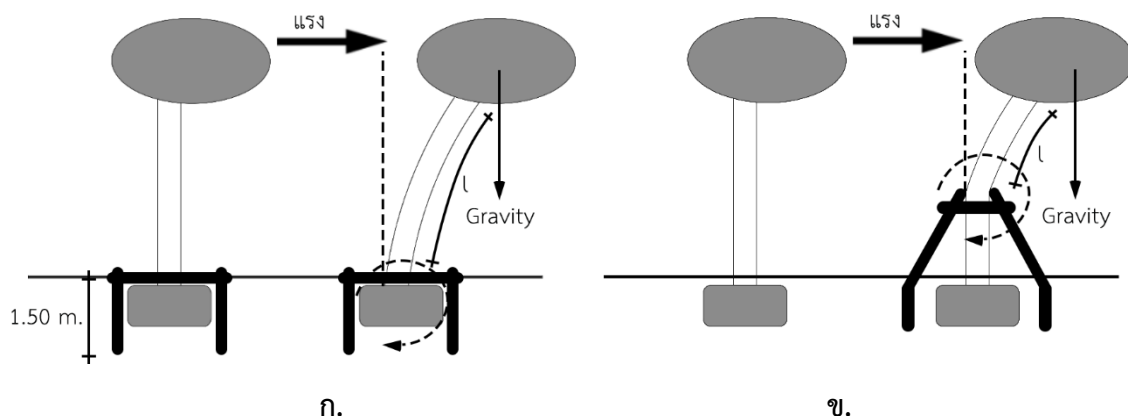
แต่ในความเป็นจริงแล้ว ต้นไม้มีรากยึดกับพื้นดิน ทำให้ต้นไม้มีลักษณะเป็นเหมือนคานยื่นที่ยื่นขึ้นมาตั้งฉากกับพื้นดิน และมีแรงลมกระทำจากด้านข้าง ที่ทำให้เกิดการล้ม ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 พฤติกรรมของต้นไม้เมื่อเกิดแรงลมกระทำจากด้านข้าง

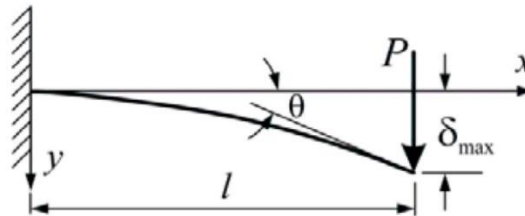
เมื่อมีแรงลมกระทำจากด้านข้าง ต้นไม้จะเอนตัวและเกิดโมดูลัสความยืดหยุ่นในส่วนลำต้น เกิดโมเมนต์ทำให้เกิดการพลิกที่บริเวณตัมดิน และเมื่อมุม θ เพิ่มมากขึ้น บริเวณพุ่มใบจะถูกแรงโน้มถ่วงกระทำเพิ่มมากขึ้น จนถึงจุดที่โคนล้มลง

เมื่อโมเมนต์ คือผลของแรงคูณด้วยระยะทาง หากจะวิเคราะห์ระบบไม้ค้ำยันที่มีอยู่ในปัจจุบัน พบว่า ระบบรากเทียม (เอื้อมพร, 2554) เป็นระบบที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะและน้ำหนักให้กับบริเวณตัมดิน โดยตอกไม้ยึดตัมลึก 1.50 เมตรลงในดิน แต่หากคำนวณโมเมนต์ ยิ่งต้นไม้สูงขึ้น โมเมนต์ที่เกิดขึ้นยิ่งมากขึ้น ดังภาพที่ 8ก. ทำให้ระบบรากเทียมใช้งานได้กับต้นไม้ขนาดไม่สูงมากนัก ส่วนไม้ค้ำยันระบบกระโจม เป็นการย้ายจุดยึด (stiffness) ให้สูงขึ้นไป จุดหมุนที่เกิดก็จะย้ายไปอยู่บริเวณจุดยึดค้ำยัน ทำให้ระยะทาง l ลดน้อยลง ทำให้ใช้กับต้นไม้ที่มีขนาดสูงใหญ่ได้มากขึ้น ดังภาพที่ 8ข. เมื่อเกิดแรงลมกระทำที่มากจะช่วยลดโอกาสเสี่ยงที่ต้นไม้จะล้มแบบถอนรากถอนโคนได้ ดังนั้นการค้ำยันแบบกระโจมจึงมีความสามารถในการรับแรงได้ดีกว่าแบบรากเทียมเมื่อต้องพายุต้นไม้ที่มีขนาดเท่ากัน



ภาพที่ 8 พฤติกรรมของไม้ค้ำระบบรากเทียม และไม้ค้ำแบบกระโจม

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นทำให้เกิดการล้มเอียงของต้นไม้เปรียบเทียบกับพฤติกรรมของคานยื่น (Jonathan 2019) ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 Slope-Deflection Equation for cantilever beam (Jonathan, 2019)

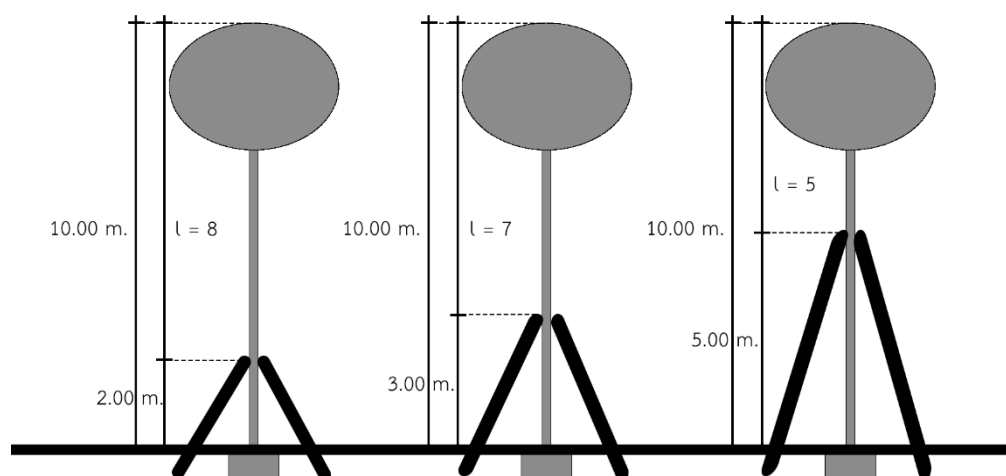
โดยสูตรคำนวณสำหรับคานยื่น คือ

$$\delta_{max} = \frac{Pl^3}{3EI} \quad \text{-----} \textcircled{3}$$

เมื่อ	δ_{max}	=	ระยะโน้มเอียงมากที่สุดของคานเมื่อถูกแรงกระทำ
	P	=	แรงกระทำ
	l	=	ความยาวของคาน (ความสูงต้นไม้)
	E	=	Elastic Young Modulus
	I	=	Second Moment of Inertia

การวิเคราะห์ระยะความเอียงจากสูตร

จากสูตรจะเห็นได้ว่า หากระยะ l น้อยลง ระยะความเอียง (δ_{max}) ก็จะน้อยลงไปด้วย ทำให้การล้มเอียงของต้นไม้ลดลง ดังนั้น การค้ำต้นไม้แบบกระโจมจึงเหมาะสมกับการค้ำต้นไม้ขนาดใหญ่ได้มากกว่าแบบรากเทียม ทั้งนี้ ระยะของการค้ำ ไม่ควรน้อยกว่า 1 ใน 5 ของระยะความยาวต้น (Jonathan, 2019)



ภาพที่ 10 การค้ำยันและระยะ l ของต้นไม้

ตารางที่ 1 รูปแบบไม้ค้ำยันต้นไม้ที่เหมาะสมกับความสูงของต้นไม้ 3 ระดับ

ระบบค้ำยัน	ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก (สูงไม่เกิน 9 เมตร)	ไม้ยืนต้นขนาดกลาง (สูง 9 ถึง 15 เมตร)	ไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ (สูง 15 เมตรขึ้นไป)
รากเทียม	✓	-	-
ค้ำยันแบบกระโจม	✓	✓	✓
สลิง	✓	✓	✓

ไม้ยืนต้นระดับความสูงขนาดกลาง (intermediate trees) มีความสูง 9-15 เมตร ส่วนไม้ยืนต้นระดับสูงขนาดใหญ่ (large trees) จะมีความสูงมากกว่า 15 เมตร ต้นไม้ระดับนี้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักในสวนเพราะมีขนาดสูงมองเห็นได้ก่อน สามารถใช้ปิดล้อมพื้นที่ด้านบนและด้านข้างเพื่อป้องกันลม ไม้ยืนต้นระดับสูงขนาดเล็กหรือไม้ยืนต้นประดับ (small trees and ornamentals) ขนาดความสูงต่ำกว่า 9 เมตร ใช้เพื่อบ่งบอกขอบเขตของพื้นที่ทั้งด้านบนและด้านข้าง สามารถมองลอดผ่านลำต้นได้ เหมาะกับพื้นที่ขนาดเล็กที่ (ศศิยา ศิริพานิช. ภูมิทัศน์พื้นฐาน. นครปฐม : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน , 2558)

2. วัสดุและการติดตั้งของระบบค้ำยันแต่ละประเภทที่มีในปัจจุบัน

การเลือกวัสดุเพื่อใช้ทำไม้ค้ำยันส่งผลต่อหลายด้าน ได้แก่ ความสามารถในการรับน้ำหนัก ความคงทนของระบบค้ำยัน พื้นที่สำหรับการติดตั้ง ความสวยงาม ขั้นตอนและความซับซ้อนในการติดตั้ง รวมไปถึงการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของค้ำยันแต่ละประเภทที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

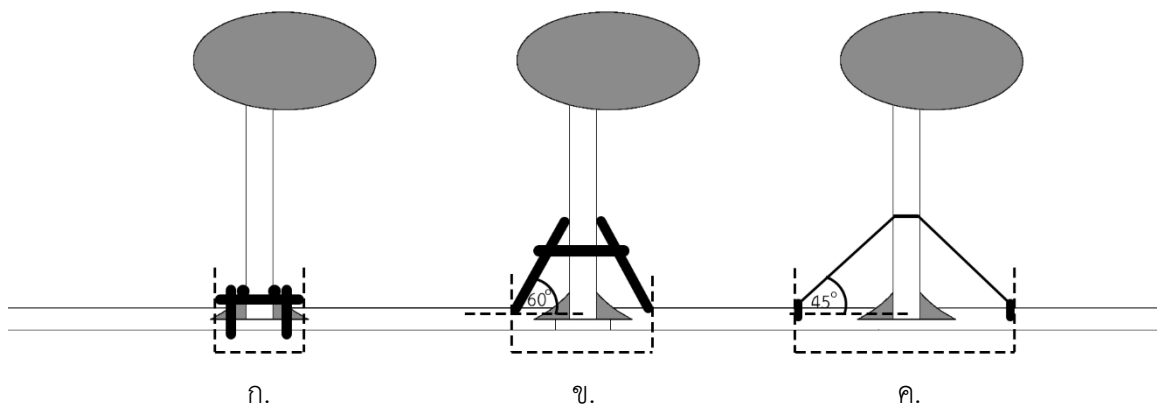
วัสดุ	ไม้ยูคาลิปตัส		เหล็ก	ลวดสลิง
ระบบค้ำยัน	แบบกระโจม แบบคอก	แบบรากเทียม	แบบกระโจม	แบบกระโจมคล้ายเต็นท์
การติดตั้ง	ง่ายสำหรับช่างทั่วไป ใช้ตะปูหรือเชือก	ช่างผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ติดตั้ง	ช่างผู้เชี่ยวชาญ ต้องใช้การเชื่อม	ช่างผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ติดตั้ง
อายุการใช้งาน	6 เดือน – 1 ปี	6 เดือน – 1 ปี	ถาวร	ต้องหมั่นคอยดูแล ลวด
พื้นที่ติดตั้ง	ขึ้นกับขนาดของต้นไม้ ค่าเอียง 60° โดยประมาณกับพื้น	กว้างเท่าขนาดตุ้มรากโดยประมาณ	ขึ้นกับขนาดของต้นไม้ ค่าเอียง 60° โดยประมาณกับพื้น	ขึ้นกับขนาดของต้นไม้ ค่าเอียง 45° โดยประมาณกับพื้น

ตารางที่ 2 (ต่อ) เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสีย ของค้ำยันแต่ละประเภทที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน

วัสดุ	ไม้ยูคาลิปตัส		เหล็ก	ลวดสลิง
อื่นๆ	- เปลือกจะพองและลอกออก ความสวยงาม - ปลวกขึ้น	- เปลือกจะพองและลอกออก ขาดความสวยงาม - ปลวกขึ้น - ค้ำในดินไม่สามารถเปลี่ยนได้ อาจเกิดการผุ สูญเสียความแข็งแรง	มีขนาดใหญ่กินพื้นที่ และราคาสูง	ราคาสูง อาจเกิดบาดแผลรอบต้นไม้

วัสดุไม้ยูคาลิปตัส เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำไม้ค้ำยันกันอย่างแพร่หลายแต่การติดตั้งจะมีปัญหา คือเมื่อถึงฤดูฝนจะต้องบำรุงรักษา เพราะเมื่อเกิดความชื้นจะเกิดเชื้อราในเนื้อไม้ทำให้มีความคงทนต่ำ นอกจากนี้เปลือกยังลอกไม่สวยงาม อีกทั้งยังเป็นอาหารของปลวก และยังมีงานวิจัยที่ศึกษาในเรื่องของการสลายตัวของใบยูคาลิปตัสและการเปลี่ยนแปลงของธาตุอาหารพืช ได้แก่ โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และไนโตรเจน พบว่าการปลูกพืชเชิงเดี่ยวอย่างยูคาลิปตัสทำให้สมดุลของธาตุอาหารในพืชเปลี่ยนไปในทางที่แย่ลง และความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตหน้าดินก็มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้คุณภาพดินและสิ่งแวดล้อมค่อยๆเสื่อมคุณภาพลงไปในที่สุด (สุทธิพงษ์ พงษ์วร, 2557)

ในการค้ำยันแบบรากเทียมและแบบกระโจมมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในด้านการใช้พื้นที่ติดตั้ง ระบบรากเทียมใช้พื้นที่เท่ากับขนาดของต้นไม้ชุดล้อมแต่การค้ำยันแบบกระโจม จะใช้ไม้ค้ำยันยาว 3 เมตรติดตั้งทำมุม 30 องศากับลำต้น ยิ่งต้นไม้สูงก็จะต้องใช้พื้นที่มากขึ้น การค้ำยันด้วยลวดสลิงมีความสวยงามกว่าการใช้ไม้ยูคาลิปตัส แต่ผู้ใช้งานจะต้องคอยหมั่นดูแลลวดที่รัดลำต้น เนื่องจากเวลาที่ต้นไม้เจริญเติบโตจะถูกลวดรัดจนเกิดบาดแผลและจะต้องปรับแรงดึงของ สลิงให้อยู่ในสภาพตึงแน่น เมื่อเกิดการหย่อนก็จะต้องไม่มีประโยชน์อีกต่อไป ทั้งนี้ลวดสลิงควรติดตั้งทำมุมอย่างน้อย 45 องศา ซึ่งจะใช้พื้นที่มากกว่าแบบอื่น ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 พื้นที่การติดตั้งไม้ค้ำแต่ละแบบ ก.รากเทียม ข.กระโจม ค.สลิง

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาวิเคราะห์ทั้งหมดข้างต้น พบว่าปัจจัยที่ทำให้เกิดการเสียหาย หรือการล้มของต้นไม้ คือ สภาพดิน (การยึดเกาะของราก) น้ำหนักและความสูงของต้นไม้และทรงพุ่ม และขนาดของแรงที่กระทำต่อต้นไม้ ทั้งนี้ไม่นับรวมความเสียหายที่อาจเกิดจากแมลงทำลายราก หรือเชื้อราอื่น ๆ

พฤติกรรมของการล้มของต้นไม้ มักเกิดแรงกระทำจากด้านข้าง เช่น แรงลม จากนั้นแรงจะทำให้เกิดโมเมนต์ที่บริเวณตุ้มราก และเกิดลักษณะของการพับ (Hinge) และเมื่อต้นไม้เอียง น้ำหนักและทรงพุ่มของต้นไม้จะมีผล ทำให้ต้นไม้เอียงเกินจุด CG (Center of Gravity) และทำให้เกิดการโค่นล้มได้

ทั้งนี้การแก้ไขปัญหของไม้ค้ำมี 2 แบบคือ

1. เพิ่มน้ำหนัก หรือแรงกดให้กับตุ้มราก เพื่อให้เกิดการยึดเกาะที่แน่นขึ้นที่พื้นดิน เช่น รากเทียม วิธีนี้ไม่ได้เปลี่ยนตำแหน่งจุดหมุน แต่ทำให้จุดหมุนแข็งแรงขึ้น
2. การเปลี่ยนหมุน หรือจุดที่เกิดโมเมนต์ ให้อยู่ในตำแหน่งที่สูงขึ้น เพื่อให้ต้นไม้เอียงล้มได้น้อยลง เช่น ระบบกระโจม และสลิง

ซึ่งแนวความคิดนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการเลือกใช้ไม้ค้ำให้เหมาะสมกับต้นไม้ ประกอบกับข้อมูลอื่น ๆ ในการพิจารณา เช่น พื้นที่ติดตั้ง ความคงทนของวัสดุ และข้อดีข้อเสียต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปต่อยอดออกแบบไม้ค้ำที่เหมาะสมกับต้นไม้ขนาดต่างๆได้

เอกสารอ้างอิง

นพพร นนทภา (ขุนดง...พันธุ์ไม้ฟรี24ชั่วโมง). เทคนิควิธีล้อมต้นไม้ใหญ่ให้ได้คุณภาพ.

สืบค้นเมื่อ 24 มกราคม 2565 จาก <https://bit.ly/2VQKEBN>

ปางปราบมาร. (2560). ความเชื่อผิดๆ “ชีวิตบนความเสี่ยง” ต้นไม้ในเมืองส่วนใหญ่ไร้รากแก้ว.

สืบค้นเมื่อ 6 มกราคม 2565 จาก www.sanook.com/news/2239362



- สุทธิพงษ์ พงษ์วร. (2557). คู่มือปลูก ประโยชน์หรือโทษมหันต์ต่อสุขภาพดิน. สถาบันส่งเสริมการสอน
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ.
- ศศิยา ศิริพานิช. (2558). ภูมิทัศน์พื้นฐาน. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน,
นครปฐม.
- เอื้อมพร วิสมหมาย. (2550ข). การค้าต้นไม้ในงานภูมิทัศน์, น. 301-336. ใน เอ็ม เขียวรัตน์,
กองบรรณาธิการ. คู่มือการเกษตร. บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- เอื้อมพร วิสมหมาย. (2554). การขุดล้อม การปลูกและการค้าต้นไม้สำหรับงานภูมิทัศน์ในประเทศไทย.
โรงพิมพ์ เอ็ม เอ็น กรุ๊ป จำกัด, กรุงเทพฯ. 444 หน้า.
- Carpenter, P.L., T.D. Walker and F.O. Lanphear, (1975). Plants in the Landscape. W.H.
Freeman and Co., San Francisco. 409 p.
- Equator tree care industry network. (2564). วิธีการค้าต้นไม้เอน. สืบค้นเมื่อ 20 กุมภาพันธ์
2565 จาก www.th-arbor.com/blog/how-to-stake-leaning-tree
- Thaicontractors. (2009). ตารางวัสดุ. สืบค้นเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2565
จาก <https://scheduledatathaicon.wordpress.com/category/น้ำหนักวัสดุดิน/>
- Gilman, E.F. (1997). Trees for Urban and Suburban Landscapes. Delmar Publishers,
New York. 647 p.
- Greenhill A G. (1881). Determination of the greatest height consistent with stability that a
vertical pole or mast can be made, and of the greatest height to which a tree of
given proportions can grow (pp. 65-73). Cambridge Philos.
- Johnatan Ramos Rivera. (2019). Tree-root anchorage: stability of trees based on real tree-
root architecture (master's thesis). National university of Colombia, Medellin,
Colombia.
- Niklas K J. (1997). The evolutionary biology of plants (master's thesis). University of Chicago
Press, Chicago.
- Steven Vogel. (2015). Living in a physical world VII. Gravity and life on the ground
(research report). USA. Duke University.
- Vogel S. (1996). Blowing in the wind: storm-resisting features of the design of trees.
Journal of Arboriculture, (22), 92-98.
- Vogel S. (2003). Comparative biomechanics. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Vogel S. (2006). Living in a physical world. VI. Gravity and life in the air. Journal of Biosci,
(31), 12-25