

การพัฒนาแบบประเมินความเสี่ยง
ของไม้ยืนต้นชั้นพื้นฐาน :
กรณีศึกษามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

The Development of Basic Visual Tree
Assessment Form: A Case Study of
Thammasat University Rangsit Center

ศุภวัจน์ แก้วขาว^{1*} และมานัส ศรีวนิช²

¹สาขากภูมิสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

²สาขาการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

Suppawad Kaewkhaw^{1*}, Manat Srivanit²

¹Department of Landscape Architecture, Faculty of Architecture and Planning,
Thammasat University

²Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Planning,
Thammasat University

*Corresponding author, Email: Suppawad@gmail.com

Received: 30/09/2024 Revised: 09/12/2024 Accepted: 17/12/2024

บทคัดย่อ

การประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นถือได้ว่าเป็นเรื่องใหม่สำหรับประเทศไทย ข้อมูลและวิธีการประเมินยังคงต้องอาศัยความรู้จากต่างประเทศเป็นหลัก แต่สภาพแวดล้อมและพรรณไม้ของต่างประเทศกับประเทศไทยนั้นมีความแตกต่างกันมาก หากนำเกณฑ์และวิธีการดังกล่าวมาใช้งานโดยตรงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ประกอบกับปัจจัยในการประเมินมีจำนวนมากและวิธีการให้ค่าระดับของความเสี่ยงมีความซับซ้อนทำให้การประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้นจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากสำหรับผู้ที่ไม่มีความรู้ ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการคัดเลือกตัวแปรที่สำคัญต่อการประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นและนำมาพัฒนาเป็นแบบประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นอย่างง่าย โดยการพัฒนาแบบประเมินได้นำปัจจัยที่มาจากทบทวนวรรณกรรม 35 ปัจจัยมาคัดเลือกโดยผู้เชี่ยวชาญด้านรุกขกรรม 3 ท่าน แล้ววิเคราะห์ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity Analysis) ด้วยการคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence, IOC) พบ 30 ปัจจัยที่ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าเป็นปัจจัยที่จำเป็นเพื่อพัฒนาเป็นแบบประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้นขั้นพื้นฐาน และนำไปพิสูจน์ความแม่นยำในการประเมินกับไม้ยืนต้นจำนวน 442 ต้นเปรียบเทียบระหว่างรุกขกรวิชาชีพกับอาสาสมัครบริเวณหอพักนักศึกษาในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต พบค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) มีค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa Coefficient) เฉลี่ยที่ 0.72 หรือ 72% และมีเพียง 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะปลูกและแนวรับลม ที่พบความสอดคล้องของสถิติ Inter-Rater Reliability (IRR) ที่น้อยกว่า 0.20 จึงปรับไปใช้ตัวแปร Slenderness Coefficient (SC) แทนความมั่นคงของไม้ยืนต้น และ Live Crown Ratio (LCR) แทนสุขภาพโดยรวม จากตัวแปรทั้งหมดนำไปสู่แบบประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นขั้นพื้นฐานที่ประกอบไปด้วยข้อมูลในการประเมิน 3 ส่วนคือ ข้อมูลทั่วไปในการสำรวจ ข้อมูลส่วนเหนือดิน ข้อมูลส่วนผิวดินและใต้ดิน

คำสำคัญ : การประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น, การประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นขั้นพื้นฐาน, ระดับความเสี่ยงไม้ยืนต้น, การประเมินไม้ยืนต้นทางสายตา

Abstract

Tree risk assessment is a relatively new concept in Thailand, where current methods and data are predominantly adapted from foreign sources. However, differences in environmental conditions and tree species between Thailand and other countries may lead to inaccuracies when applying these methods directly. Moreover, the complexity of factors and risk rating methods poses challenges for individuals without prior experience in tree risk assessment. This study aimed to develop a simplified and localized basic tree risk assessment form tailored to Thailand's context. The development process involved reviewing 35 factors from existing literature, which were evaluated for content validity by three arboriculture experts. A total of 30 factors were identified as essential for creating the assessment form. To test its accuracy, the form was applied to 442 trees in the student dormitory area at Thammasat University, Rangsit Center, with assessments conducted by professional arborists and volunteers. The results showed an overall accuracy with an average Kappa Coefficient of 0.72 (72%). However, two factors—planting distance and wind direction—exhibited low Inter-Rater Reliability (IRR) values (<0.20). Consequently, adjustments were made: the Slenderness Coefficient (SC) was adopted to represent tree stability, and the Live Crown Ratio (LCR) was introduced to reflect overall tree health. The finalized basic tree risk assessment form includes three main components: general survey information, above-ground factors, and surface/subsurface factors. This tool provides a practical framework for tree risk assessment in Thailand, improving accessibility and accuracy for both professionals and non-experts.

Keywords: Tree Risk Assessment, Basic Tree Risk Assessment, Tree Risk Rating, Visual Tree Evaluation

1. บทนำ

ในปัจจุบันเมืองมีการขยายตัวมากขึ้นจากการคาดการณ์ของสหประชาชาติตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 ประชากรที่อาศัยในเมืองมีจำนวนมากกว่าประชากรที่อาศัยอยู่ในชนบทและภายในปี ค.ศ. 2050 ประชากรที่อาศัยในเขตเมืองจะเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 70 (Salbitano et al., 2016) ทำให้เมืองมีความหนาแน่นมากขึ้นและต้องการพื้นที่สำหรับเป็นที่อยู่อาศัยและทำกิจกรรมต่างๆ มากขึ้น ไม้ยืนต้นในเมืองซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างสีเขียวได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงเกิดความเครียด (Stress) เนื่องจากได้รับปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโตไม่เหมาะสม ทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่ถดถอยและช่วงอายุลดลงเมื่อเทียบกับไม้ยืนต้นชนิดเดียวกันที่อยู่ในพื้นที่ชนบทและไม้ยืนต้นที่อยู่ตามแนวถนนจะมีความเครียดมากกว่าบริเวณอื่น (Czaja et al., 2020) โดยความเครียดของไม้ยืนต้นแสดงเป็นอาการออกมาให้เห็นหลายลักษณะ เช่น ทรงพุ่มเบาบางลง ปริมาณกิ่งแห้งในทรงพุ่ม การตายจากปลายยอด สีขอบใบที่ซีดลง การร่วงหล่นของใบในช่วงเวลาที่ผิดปกติ กิ่งกระโดงหรือหน่อที่แทงขึ้นจากโคนต้น เป็นต้น (Gauthier et al., 2020) ไม้ยืนต้นที่มีความเครียดสะสมในระยะยาวจะพบข้อบกพร่องตามส่วนต่างๆ เมื่อมีปัจจัยภายนอกเข้ามาซ้ำเติม เช่น การทำลายของโรคและแมลง การปฏิบัติการณ์ดูแลรักษาไม่เหมาะสม การรับแรงลมอย่างรุนแรง ทำให้เกิดการหักของชิ้นส่วนหรือการโค่นล้มทั้งต้นสร้างความเสียหายให้กับชีวิตทรัพย์สินโดยรอบ รวมถึงสร้างผลกระทบในวงกว้างตามมาภายหลัง เช่น ไฟฟ้าดับ การปิดกั้นถนน การหยุดชะงักของกิจกรรม

ภาพที่ 1

ความเสียหายของทรัพย์สินที่เกิดจากการหักโค่นของไม้ยืนต้น



ความเสียหายจากการหักโค่นของไม้ยืนต้นดังกล่าวอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุเบาบางลงด้วยกระบวนการที่เรียกว่า “การประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น” ซึ่งเป็นกระบวนการตรวจสอบที่เป็นขั้นตอนมีระบบแบบแผนโดยการประเมินควรทำโดยผู้ที่มีความรู้หรือความเชี่ยวชาญ (Coder, 2021) ทั้งนี้ขึ้นกับระดับและรายละเอียดของการประเมินรวมถึงประเภทของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบ (Smiley et al., 2012) สำหรับประเทศไทยการประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่ มีการนำแนวคิดของสมาคมรุกขกรนานาชาติ (International Society of Arboriculture; ISA) มาใช้ในการประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น โดยแบบประเมินความเสี่ยงดังกล่าวมีการสำรวจครอบคลุมรายละเอียดหลากหลายประเด็น ซึ่งมีข้อดีคือทำให้แก้ปัญหาในการเจริญเติบโตได้ค่อนข้างตรงจุดและมีความแม่นยำแต่มีข้อเสียคือค่อนข้างมีความซับซ้อน ทำให้ผู้ใช้งานต้องมีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ ดังนั้นการพัฒนาแบบและระบบประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นที่ลดความซับซ้อนของการจัดเก็บข้อมูลและง่ายต่อการใช้งาน เพื่อคัดกรองไม้ยืนต้นที่มีความเสี่ยงขึ้นต้นให้ผู้รับผิดชอบนำไปใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่เมืองจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตเป็นวิทยาเขตหนึ่งจากจำนวน 4 วิทยาเขตของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ โดยเกิดจากแนวคิดของศาสตราจารย์ ดร. ปวย อึ้งภากรณ์ ที่เห็นความสำคัญของการเรียนการสอนทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาสังคม และเห็นว่าพื้นที่บริเวณท่าพระจันทร์ไม่เพียงพอต่อการดำเนินการขยายตัวทางด้านวิชาการ จึงได้เร่ร่อนจากกระทรวงอุตสาหกรรมเพื่อขอใช้ที่ดินนิคมอุตสาหกรรมที่อยู่บริเวณทุ่งรังสิตจำนวน 2,430 ไร่ จากนั้นจึงมีมติสภามหาวิทยาลัยในวันที่ 24 มกราคม 2526 ให้ขยายการศึกษาไปยังศูนย์รังสิต โดยมีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นคณะแรกที่เริ่มดำเนินการเรียนการสอน จากนั้นจึงเริ่มสร้างอาคารในปี พ.ศ. 2527 จำนวน 4 อาคาร บริเวณแกนกลางของมหาวิทยาลัย โดยผังแม่บท

ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตมีแนวทางการวางแผนการออกแบบให้สอดคล้องกับลักษณะพื้นที่ถิ่น รักษาหน้า และคันดินเดิมเพื่อรักษาเอกลักษณ์และเชื่อมต่อระบบคูคลองเดิม ต่อมาในปี พ.ศ. 2538 คณะรัฐมนตรีได้มีมติให้ใช้มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตเป็นสนามหลักในการแข่งขันกีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งที่ 13 ทำให้มีการก่อสร้างอาคาร สิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ และสนามกีฬาเป็นจำนวนมาก (ศูนย์วัฒนธรรมการออกแบบและวิจัย, 2556) ปัจจุบันในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตมีนักศึกษาระดับปริญญาตรีจำนวนประมาณ 30,000 คน มีพื้นที่ลาดชันซึ่งประกอบไปด้วย สนามหญ้า กลุ่มต้นไม้และน้ำ ประมาณร้อยละ 26 พื้นที่ลาดเชิงร้อยละ 74 จากช่วงเวลาที่ผ่านมามองเห็นได้ว่าพื้นที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตมีความเป็นเมืองมากขึ้น มีความต้องการใช้พื้นที่เพื่อกิจกรรมที่หลากหลาย เริ่มพบปัญหาการรบกวนของพุ่มพุ่มของไม้ยืนต้นกับระบบสัญญาณ ประกอบกับลักษณะดินที่เป็นดินเหนียวและการนำไม้ล้มขนาดใหญ่มาปลูกเพื่อใช้ในการกีฬาเอเชียนเกมส์ครั้งที่ 13 ซึ่งบางชนิดอาจไม่เหมาะสมกับสภาพนิเวศของพื้นที่ ทำให้เกิดปัญหาการหักโค่นของไม้ยืนต้นตามมามากมาย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาทางด้านการประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้น เพื่อนำไปใช้ในการจัดการพื้นที่ได้อย่างทัน่วงที่ก่อนที่จะเกิดความเสียหายในภายหลัง

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อทบทวนวรรณกรรมวิธีการจัดทำฐานข้อมูลต้นไม้ในเมือง (Urban Tree Inventory Methods) พารามิเตอร์และปัจจัยความผิดปกติของต้นไม้ (Parameters and Tree Defects) ที่ส่งผลต่อสุขภาพระดับรายต้น
- 2.2 เพื่อคัดเลือกปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสุขภาพและความเสี่ยงของไม้ยืนต้น (Key Factors Affecting Tree Health and Risk Status)
- 2.3 เพื่อสร้างแบบประเมินสุขภาพและความเสี่ยงของไม้ยืนต้นในพื้นที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิตสำหรับการประเมินความเสี่ยงด้วยสายตาขั้นพื้นฐาน (Basic Visual Trees Assessment)

3. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น

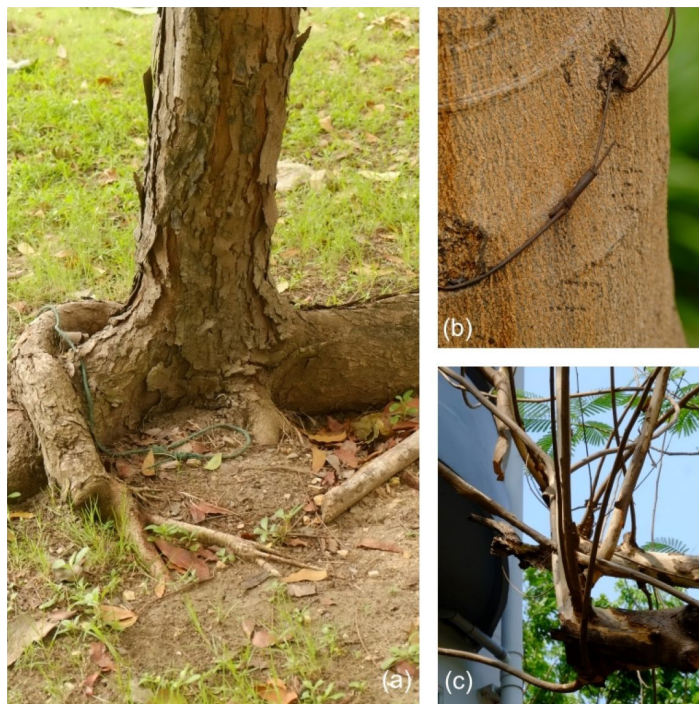
3.1 ความเสี่ยงของไม้ยืนต้น (Tree Risk) ไม้ยืนต้นที่อันตราย (Hazard Tree) ข้อบกพร่องของไม้ยืนต้น (Defects) และการหักโค่นของไม้ยืนต้น (Tree Failure)

ความเสี่ยง (Risk) คืออันตรายหรือโอกาสที่จะสูญเสียสิ่งใดสิ่งหนึ่ง สามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา และทุกอย่างมีความเสี่ยง (Miller, 2006) ความเสี่ยงของไม้ยืนต้น คือโอกาสหรือความเป็นไปได้ที่จะทำให้เกิดการบาดเจ็บหรือเสียหายจากการหักโค่นของไม้ยืนต้น (Matheny & Clark, 2009) ไม้ยืนต้นที่หักโค่นจะมีสิ่งที่ยเรียกว่าข้อบกพร่องทางโครงสร้างในส่วนของราก ลำต้นหรือกิ่งก้านที่เป็นสาเหตุให้เกิดการโค่นล้มทั้งต้นหรือชิ้นส่วนร่วงลงมาโดยการร่วงหล่นอาจเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินหรือการบาดเจ็บของผู้อื่น ซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้และเป็นตัวบ่งบอกโอกาสในการหักโค่น (Failure Potential) (Miller, 2006) และเป็นสิ่งที่คาดการณ์ล่วงหน้าได้ (Draper & Richards, 2009) การหักโค่นของไม้ยืนต้นจะส่งผลต่อ “เป้าหมาย” (Targets) เช่น ผู้คน สิ่งปลูกสร้างหรือทรัพย์สินต่าง ๆ และสร้างผลกระทบที่ตามมา (Consequence of Failure) เช่น การบาดเจ็บของคน การเสียหายต่อทรัพย์สิน หรือส่งผลต่อการทำกิจกรรมต่างๆ เป็นต้น (Smiley et al., 2012) ในระดับที่เกินกว่าระดับที่ยอมรับได้ของผู้ที่รับผิดชอบดูแลพื้นที่นั้นๆ (Worrall, n.d.) ไม้ยืนต้นที่มีลักษณะดังกล่าวเรียกว่า “ไม้ยืนต้นที่อันตราย”

ข้อบกพร่องของไม้ยืนต้นเป็นสภาพของไม้ยืนต้นที่ทำให้เพิ่มโอกาสในการหักโค่น โดยเฉพาะโครงสร้างที่ผิดปกติซึ่งอาจมีความเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต ความเสียหายเชิงกลจากลม ความเสียหายจากการถูกกระแทกโดยวัตถุอื่น โรคทางราก การเปื่อยของลำต้น ความรุนแรงของข้อบกพร่องมีได้หลายระดับแตกต่างกันออกไป (Worrall, n.d.) โดยเฉพาะความบกพร่องที่ลดความแข็งแรงของโครงสร้าง หรือความมั่นคงของไม้ยืนต้น (Angwin et al., 2022) ข้อบกพร่องบางชนิดอาจมองไม่เห็นสามารถวิเคราะห์ด้วยสายตาและบางชนิดอาจมองไม่เห็นเช่นส่วนที่อยู่ใต้ดินหรือลำต้นที่เปื่อยทางด้านใน ซึ่งยากต่อการตรวจสอบ และในไม้ยืนต้นอาจพบข้อบกพร่องอันเดียวหรือหลายอันก็ได้ (Purcell, n.d.) โดยข้อบกพร่องของไม้ยืนต้นดังกล่าวแบ่งออกเป็น 7 กลุ่ม ได้แก่ การเปื่อยของเนื้อไม้ (Decayed Wood) รอยฉีกขาด (Crack) ปัญหาบริเวณราก (root problems) รอยต่อของกิ่งที่ไม่แข็งแรง (Weak Branch Union) โรคแคงเกอร์ (Canker) รูปทรงไม่เหมาะสม (Poor Architecture) และมีกิ่งแห้งในทรงพุ่มหรือยอดหรือยืนต้นตาย (Dead Trees, Branches, or Tops) (Albers & al., 1992)

ภาพที่ 2

ตัวอย่างข้อบกพร่องของไม้ยืนต้น (a) รากขุดวน (b) ลวดรัดลำต้นและตะปู (c) กิ่งแห้งในทรงพุ่ม



การหักโค่นของไม้ยืนต้น เป็นการฉีกขาดออกจากกันของโครงสร้างไม้ยืนต้นได้แก่ ลำต้น กิ่งและราก (Boldgett et al., 2020) โดยการหักโค่นของไม้ยืนต้นจะเกี่ยวข้องกับ 3 ปัจจัย อันดับแรกคือ โครงสร้างและสภาพของโครงสร้างไม้ยืนต้นซึ่งเกี่ยวข้องโดยตรงกับลักษณะทางพันธุกรรมของไม้ยืนต้นแต่ละชนิด ทำให้เนื้อไม้มีความแข็งแรงหรือเปราะบางแตกต่างกันออกไป อันดับที่สองคือสภาพความจำเพาะของพื้นที่ ได้แก่สภาพภูมิอากาศและพื้นที่ปลูกซึ่งส่งผลต่อ รูปแบบของการเจริญเติบโต ความแข็งแรงทนทานต่อโรค แมลง และการเปื่อยของเนื้อไม้ และอันดับที่สามคือ แรงที่กระทำใส่ไม้ยืนต้น โดยจากสถิติการหักโค่นของไม้ยืนต้นที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตในประเทศสหรัฐอเมริกามากกว่าร้อยละ 50 เกิดจากแรงลมที่เข้าปะทะไม้ยืนต้น (Ogle, 2021) โดยที่เมื่อมีแรงลมที่กระทำรุนแรงเกินกว่าความแข็งแรงของโครงสร้างของไม้ยืนต้นที่หรือเกินความสามารถของดินที่จะยึดส่วนเหนือดินไว้ได้ ทำให้ไม้ยืนต้นหักโค่นลงมาได้ (Smiley et al., 2017) โดยการหักโค่นของไม้ยืนต้นแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะได้แก่ การหักโค่นบริเวณลำต้น (Trunk/Stem Failure) หักโค่นบริเวณกิ่ง (Branch Failure) และหักโค่นบริเวณราก (Root Failure) (Boldgett et al., 2020)

3.2 การประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น (Tree Risk Assessment)

การประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นเป็นกระบวนการที่ทำอย่างเป็นระบบเพื่อประเมินโอกาสของไม้ยืนต้นหรือชิ้นส่วนของไม้ยืนต้นที่ร่วงหรือหักโค่นลงมาสร้างความบาดเจ็บต่อผู้คนและเสียหายต่อทรัพย์สิน ซึ่งส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับผลของข้อบกพร่องของไม้ยืนต้น เช่น การเปื่อยของเนื้อไม้ การประสานของรอยต่อระหว่างกิ่ง และสภาพอากาศที่ผิดปกติ เช่น ลมกรรโชกอย่างรุนแรง โดยที่ระดับความเสี่ยงขึ้นกับขนาดของไม้ยืนต้นหรือชิ้นส่วนที่จะร่วงลงมา สภาพอากาศ สภาพพื้นที่ปลูก และลักษณะของเป้าหมาย ดังนั้น หากไม้ยืนต้นปลูกอยู่ในพื้นที่ไม่มีเป้าหมายที่จะได้รับผลจากการหักโค่น ไม้ยืนต้นนั้นก็จะไม่มีความเสี่ยง (Matheny & Clark, 2009) โดยรูปแบบการประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้นมี 2 รูปแบบคือ การประเมินในเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) และการประเมินในเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) ในการประเมินเชิงปริมาณตัวเลขของค่าระดับความเสี่ยงที่ได้เป็นค่าจริงสามารถนำไปเปรียบเทียบกับความเสี่ยงรูปแบบอื่นได้ ตัวเลขดังกล่าวเกิดจากการคำนวณจากสูตร ความเสี่ยง (Risk) = โอกาสในการหักโค่น (Probability) x ผลกระทบของเหตุการณ์ (Consequences) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลเชิงสถิติอย่างเป็นระบบเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะนำมาใช้ ส่วนการประเมินในเชิงคุณภาพตัวเลขที่ได้มีลักษณะเป็นตัวแทนของความเสี่ยงไม่ได้เป็นตัวเลขที่แท้จริง ข้อจำกัดของ

การประเมินรูปแบบนี้คือ ลักษณะตามธรรมชาติของไม้ยืนต้นบางอย่างสร้างความไม่ชัดเจนในการประเมิน จะต้องแก้ไขได้อธิบายประเด็นที่ต้องตรวจสอบในแต่ละประเด็นในเชิงรายละเอียดมากขึ้น วิธีการประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้นด้วยวิธีการแบบนี้มีการใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Smiley et al., 2012) โดยตัวอย่างวิธีการประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ตัวอย่างวิธีการประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้นรูปแบบต่างๆ (ดัดแปลงจาก Noris & Moore, 2020)

ชื่อวิธีการประเมินความเสี่ยง	เกณฑ์ในการประเมิน	วิธีการให้คะแนนความเสี่ยงและระดับคะแนน
Colorado Tree Coalition (สหรัฐอเมริกา)	ชนิดของไม้ยืนต้น (Tree Species) เป้าหมายที่เป็นไปได้ (Potential Target) อาการผิดปกติของต้นไม้ (Defects Present)	นำค่าที่ได้จาก 3 ปัจจัยมาคูณกัน คะแนนอยู่ในช่วง 1-60 คะแนน คะแนนผลลัพธ์แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ต่ำ (1-14) ปานกลาง (15-35) และสูง (36-60)
Hume City Council (ออสเตรเลีย)	โอกาสในการหักโค่น (Failure Potential), ขนาดของชิ้นส่วนที่จะหัก (Size of Part) การใช้งานของเป้าหมาย (Target Usage) มูลค่าของเป้าหมาย (Target Value) โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย (Damage Probability)	การรวมกันของการบวกและการคูณของเกณฑ์ต่างๆ โดย 4 เกณฑ์แรกมีคะแนนระหว่าง 0.5-4 และ เกณฑ์สุดท้ายมีค่าระหว่าง 0.2-1 ระดับคะแนนรวม อยู่ระหว่าง 3-64
Quantified Tree Risk Assessment (QTRA) (สหราชอาณาจักร)	โอกาสในการหักโค่น (Probability of Failure) ขนาดของชิ้นส่วน (Size of Part) และเป้าหมาย (Targets)	ผู้ประเมินต้องให้ค่าเป็นตัวเลขของประเด็นต่างๆ เช่น จำนวนคนที่ผ่านไม้ยืนต้น จำนวนยานพาหนะที่ผ่านไม้ ยืนต้นต่อวัน ขนาดของกิ่งไม้/ชิ้นส่วน เพื่อนำไปประเมิน ออกมาเป็นตัวเลขในลักษณะของสัดส่วน โดยระดับความ เสี่ยง 1:10000 คือระดับที่ยอมรับได้
Tree Risk Assessment Qualification (TRAQ) (สหรัฐอเมริกา)	โอกาสในการหักโค่น (Likelihood failure) โอกาสของผลกระทบ (Likelihood Impact) ผลกระทบที่ตามมา (Consequence)	ประเมินจากเกณฑ์ 2 ส่วนแรกก่อน โดยคะแนนจาก การประเมินส่วนแรกที่ได้ 2-6 จะถูกจัดอันดับให้เท่ากับ 1 ส่วนคะแนนที่มากกว่า 12 ถูกจัดอันดับให้เท่ากับ 4 แล้วประเมินร่วมกับผลกระทบที่ตามมาได้คะแนนออกมา เป็นช่วงตั้งแต่ 1-16 โดย 1-4 ถือว่าความเสี่ยงต่ำ 5-8 ความเสี่ยงปานกลาง 9-12 ความเสี่ยงสูง และมากกว่า 12 ความเสี่ยงระดับรุนแรง

3.2.1 ระดับการประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น

การประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นเป็นวิธีการประเมินเพื่อที่จะใช้เป็นแนวทางในการป้องกัน บรรเทา หรือคาดการณ์
สิ่งที่จะเกิดขึ้นล่วงหน้า โดยความเสี่ยงดังกล่าวเป็นโอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุที่จะทำให้เกิดความเสียหาย หรือการบาดเจ็บ ความเสี่ยง
ดังกล่าวสามารถคาดการณ์ได้ วิธีการประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้นสามารถประเมินด้วยวิธีและเครื่องมือหลากหลายด้วยการวินิจฉัย
ข้อบกพร่องของโครงสร้างของไม้ยืนต้น ลักษณะอาการที่แสดงออกมา และการประเมินดังกล่าวควรกระทำโดยผู้ที่มีประสบการณ์
(Draper & Richards, 2009) และมีความรู้ทางด้านชีววิทยา (Biology) โครงสร้าง (Structure) และชีวกลศาสตร์ (Biomechanics)
ของไม้ยืนต้น (Hayes, 2019) สามารถจำแนกออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 (Level 1) การประเมินแบบมีข้อจำกัดในการมองเห็น (Limited Visual Assessment) เป็นการประเมินความเสี่ยงของไม้ยืนต้นอย่างรวดเร็ว ความละเอียดของการสำรวจค่อนข้างน้อย ใช้กับการสำรวจในพื้นที่ที่มีจำนวนไม้ยืนต้นจำนวนมาก หรือมีเวลาที่จำกัดในการทำงาน หรือภายหลังเกิดเหตุการณ์อย่างใดอย่างหนึ่ง

ระดับ 2 (Level 2) การประเมินด้วยสายตาขั้นพื้นฐาน (Basic Visual Assessment) เป็นการสำรวจลงไปรายละเอียดที่มากขึ้นทั้งในส่วนไม้ยืนต้นและสภาพแวดล้อมโดยรอบ ผู้วิเคราะห์สามารถเข้าถึงและตรวจสอบสภาพไม้ยืนต้นตั้งแต่พุ่มพอราก ลำต้น กิ่ง รวมถึงสภาพแวดล้อมรอบๆ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสังเคราะห์เพื่อรายงานผล การประเมินระดับนี้ใช้เครื่องมืออย่างง่ายได้แก่ แถบวัดสำหรับวัดขนาดต่างๆ อุปกรณ์สำหรับวัดความสูงของไม้ยืนต้น กล้องส่องทางไกล แวนขยาย ค้อนหัวยางหรือเรซินสำหรับเคาะ เหล็กแหลม เกรียงหรือพลั่วมือ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นในการตรวจสอบมากขึ้น ข้อจำกัดของการประเมินขั้นนี้คือ ทำได้เพียงส่วนที่อยู่บริเวณพื้นและใกล้ๆ พื้นเท่านั้น ไม่สามารถทำได้ถึงทรงพุ่มได้ทางด้านบน หรือบริเวณทางใต้ดินได้

ระดับ 3 (Level 3) การประเมินขั้นสูง (Advance Assessment) เป็นการประเมินที่เฉพาะด้านลงไปให้รายละเอียดที่ต้องการเพิ่มเติม มักจะใช้กับการอนุรักษ์หรือสวนต้นไม้หรือต้นไม้ที่มีมูลค่าสูง เช่น การตรวจสอบการเปื่อยของเนื้อไม้ด้านใน (Assessment Internal Decay) การตรวจสอบราก (Root Assessment) การวัดการเอียงของลำต้น (Measurement of Lean Changing) การรับแรงของต้นไม้ (Load Tests) (Smiley et al., 2012b)

ภาพที่ 3

การตรวจสอบโพรงในลำต้นของไม้ยืนต้นด้วยโดยการใช้เครื่อง (a) Resistograph และ (b) Tomograph



หมายเหตุ (Guller & Guller, 2020). (ภาพ (a))

(Dudkiewicz & Durlak, 2021). (ภาพ (b))

3.3 การเก็บข้อมูลไม้ยืนต้น (Tree Inventory)

การเก็บข้อมูลไม้ยืนต้นเป็นสิ่งนิยมทำมากที่สุดเพื่อใช้ในการวางแผนสำหรับการจัดการป่าไม้ในเมือง ข้อมูลที่ได้เป็นการสะท้อนถึงสถานการณ์ในปัจจุบันและอดีตที่ผ่านมาของป่าในเมือง นอกจากนั้นแล้วยังเป็นข้อมูลพื้นฐานในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของไม้ยืนต้นในเมือง (Hauer et al., 2020a; Hauer et al., 2020b; Podrázský et al., 2014) รวมถึงให้ข้อมูลพื้นฐานเพื่อที่จะนำไปปฏิบัติและปรับปรุงวิธีจัดการกับป่าในเมือง (Kielbaso, 2008; Long et al., 2008; Miller et al., 2015; Morgenroth et al., 2016) ในการเก็บข้อมูลไม้ยืนต้นตัวแปรในการจัดเก็บมีจำนวนมาก การเลือกตัวแปรที่จะนำมาใช้ในการสำรวจควรมีความสัมพันธ์กับวัตถุประสงค์และการนำไปใช้งาน (Ma et al., 2021) ลักษณะของการเก็บข้อมูลส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การเก็บข้อมูลที่ระดับรายต้น มากกว่าการจัดเก็บในลักษณะเป็นกลุ่ม (Sjöman 2012; Östberg et al., 2013)

3.3.1 วิธีการเก็บข้อมูลไม้ยืนต้น (Tree Inventory Methods)

Nielsen, Östberg, และ Delshammar (2014) ได้สำรวจวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลของไม้ยืนต้นระดับรายต้นจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในฐานข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ระหว่างปี คศ. 1984 -2012 พบว่ามีวิธีการในการเก็บข้อมูลไม้ยืนต้นระดับรายต้น (Single Tree Level) แบ่งออกเป็น 4 วิธีการหลักตามลักษณะของการสำรวจ ได้แก่ การเก็บใช้ดาวเทียมสำรวจ (Satellite - supported Methods) การเก็บข้อมูลโดยใช้อากาศยาน (Airplane – supported Methods) การเก็บข้อมูลโดยการสแกนภาคพื้นดินหรือถ่ายภาพ (Ground Scanning or Photo Methods) และการเก็บข้อมูลโดยการสำรวจภาคสนาม (Field Survey Methods) เป็นการเก็บข้อมูลด้วยการวัดโดยตรงด้วยเครื่องมือหรือตรวจสอบด้วยสายตาโดยใช้คนลงพื้นที่ อาจใช้ร่วมกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่างๆ เพื่อเก็บข้อมูลที่สำรวจและสามารถทราบตำแหน่งจากค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ ถึงแม้วิธีการใช้นี้ใช้แรงงานและเวลาในการสำรวจค่อนข้างมาก แต่ก็ยังเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุด

3.3.2 ตัวแปรของไม้ยืนต้นที่จัดเก็บ (Tree Inventory Parameter)

การเลือกตัวแปรเพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของไม้ยืนต้นถือได้ว่ามีความสำคัญ ตัวแปรที่จัดเก็บควรมีอย่างเพียงพอและสามารถนำมาใช้ตัดสินใจสำหรับวางแผนต่างๆ ได้ (Morgenroth & Östberg, 2017) ทั้งนี้การเก็บรวบรวมตัวแปรของไม้ยืนต้นส่วนใหญ่จัดเก็บในลักษณะของกลุ่มตัวอย่างของไม้ยืนต้นมากกว่าการเก็บตัวอย่างทั้งหมดของประชากรไม้ยืนต้น (Ma et al., 2021) โดย Nielsen, Östberg, และ Delshammar (2014) ทำการสำรวจตัวแปรการเก็บข้อมูลของไม้ยืนต้นระดับรายต้นของไม้ยืนต้นในงานวิจัยที่ผ่านการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญและตีพิมพ์ในแหล่งข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์ทางด้านวิทยาศาสตร์และฐานข้อมูล Scopus ระหว่างปี คศ. 1984 -2012 พบว่ามีตัวแปรทั้งหมด 59 ตัวแปรจากงานวิจัยทั้งหมด 57 ชิ้นและจัดกลุ่มตัวแปรได้ 15 กลุ่ม ได้แก่ อายุการปลูกของไม้ยืนต้น (Age or Year of Planting) พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Coordinate) ขนาดและความหนาแน่นทรงพุ่ม (Crown Size and Density) ความเสียหาย โรค แมลง (Damage, Insects and Pests) เส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพิงอก (Diameter at Breast Height; DBH) ความเป็นอันตราย (Hazard) ความสัมพันธ์กับโครงสร้างและอาคาร (Interaction with Infrastructure and Buildings) สภาพพื้นที่โดยรอบ (Location) สภาพพื้นที่ปลูก (Planting Site) ความจำเป็นในการดูแลรักษา (Maintenance Needs and History) ข้อมูลการจัดการ (Management Information) ขนาดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทรงพุ่มและเส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพิงอก (Size) ชนิดของไม้ยืนต้น (Species) ลักษณะที่ปรากฏและการใช้งาน (Tree Appearance and Use) ความมีชีวิต (Vitality) (ตารางผนวกที่ 1)

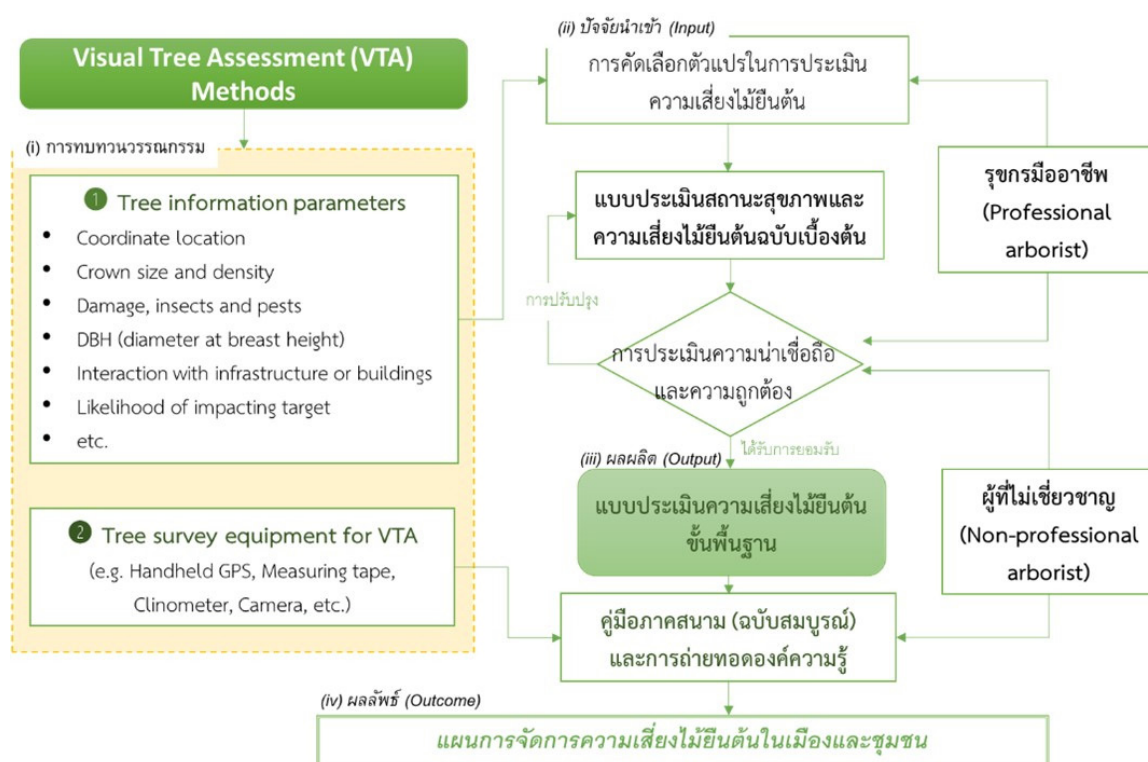
4. ระเบียบวิธีวิจัย

จากการทบทวนวรรณกรรมนำข้อมูลตัวแปรของไม้ยืนต้นมาลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลและจัดกลุ่มได้ 11 กลุ่มได้แก่ อายุที่ปลูกของไม้ยืนต้น ขนาดและความหนาแน่นทรงพุ่ม ความเสียหายของไม้ยืนต้น โรคและศัตรูพืชอื่นๆ เส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพิงอก ความอันตราย ความสัมพันธ์กับงานโครงสร้างหรืออาคาร ที่ตั้ง ลักษณะพื้นที่ปลูก ความต้องการในการดูแลรักษาและประวัติของพื้นที่

ขนาดอื่นๆ (ไม่ใช่เส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพียงอกและทรงพุ่ม) และสภาพไม้ยืนต้นและการใช้งาน โดยที่แต่ละกลุ่มตัวแปรมีข้อมูลที่ต้องจัดเก็บแตกต่างกันออกไป ตัวแปรที่ได้นำมาประเมินอีกครั้งโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านรุกขกรรมจำนวน 3 ท่าน โดย 2 ท่านเป็นอาจารย์ประจำในมหาวิทยาลัยและอีก 1 ท่านเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานทางด้านรุกขกรรมวิชาชีพ ด้วยวิธีการสัมภาษณ์เชิงลึก จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าความสอดคล้อง (Index of item congruence; IOC) ที่คำนวณจากการให้คะแนนของผู้เชี่ยวชาญในแต่ละตัวแปรแล้วนำมาหารด้วยจำนวนของผู้เชี่ยวชาญ กำหนดให้ตัวแปรที่สมควรเก็บข้อมูลจะมีค่าเป็น 1 และตัวแปรที่ไม่สมควรเก็บข้อมูลมีค่าเป็น 0 ตัวแปรที่ได้ค่า IOC ต่ำกว่า 0.5 ถือว่ายังใช้ไม่ได้ (สุรพงษ์ คงสัตย์ & อธิชาติ ธรรมวงศ์, 2551) สำหรับตัวแปรที่ค่า IOC มากกว่า 0.5 จะนำมาพัฒนาเป็นส่วนประกอบแบบร่างขั้นต้นของการสำรวจไม้ยืนต้น หลังจากนั้นจึงประเมินความเชื่อมั่นและความเที่ยงตรง (Reliability and Validity Assessment) ในพื้นที่ทดสอบบริเวณหอพักเอเชียนเกมส์โซน B มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี เพื่อหาความสอดคล้องระหว่างรุกขกรวิชาชีพกับบุคคลทั่วไป โดยเป็นประเมินความเชื่อมั่นระหว่างระหว่างผู้ประเมิน (Inter-Rater Reliability; IRR) ด้วยค่าสัมประสิทธิ์แคปปา (Kappa coefficient) คำนวณจากจำนวนที่ประเมินเหมือนกันต่อผลรวมของจำนวนประเมินที่เหมือนกันกับจำนวนประเมินที่ต่างกัน ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (ประสพชัย พสุนนท์, 2558) เกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์แคปปาระดับปานกลางถึงดีมาก โดยกรอบในการพัฒนาเครื่องมือแสดงดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4

กรอบของการวิจัย



5. อุปกรณ์ในการสำรวจ

อุปกรณ์สำรวจต้นไม้ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและประเมินความเสี่ยงของต้นไม้เบื้องต้นประกอบด้วย กล้องวัดระยะ (Laser Rangefinder) ยี่ห้อ NIKON รุ่น Forest Pro เครื่องหาพิกัดด้วยสัญญาณดาวเทียมแบบพกพา (GPS) Garmin GPSMAP 64s Handheld และเทปวัดระยะ

6. ผลการศึกษา

6.1 การคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการตรวจสอบด้วยสายตาสำหรับการประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นขั้นพื้นฐาน

จากการประเมินค่าตัวแปรจำนวน 11 กลุ่ม 35 ชนิดตัวแปร ไม่มีค่าเฉลี่ย IOC ของแต่ละกลุ่มตัวแปรใดน้อยกว่า 0.67 โดยเรียงลำดับค่า IOC จากมากไปน้อยได้ดังนี้ ลักษณะที่ปรากฏและการใช้งาน (IOC = 1.00) ความเสียหายของไม้ยืนต้น โรคและศัตรูพืชอื่นๆ (IOC = 0.86) ความอันตราย และขนาดอื่นๆ (ไม่ใช่เส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพียกอกและทรงพุ่ม) (IOC = 0.84) ที่ตั้ง (IOC = 0.78) ความสัมพันธ์กับงานโครงสร้างหรืออาคาร (IOC = 0.74) อายุที่ปลูกของไม้ยืนต้น ขนาดและความหนาแน่นทรงพุ่ม ลักษณะพื้นที่ปลูก ความต้องการในการดูแลรักษาและประวัติของพื้นที่ เส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพียกอก (IOC = 0.67) เมื่อพิจารณาในระดับตัวแปร (ตารางที่ 2) พบว่าตัวแปรที่เลือกมาทั้งหมดไม่มีตัวแปรใดได้ค่า IOC ต่ำกว่า 0.67 และมีตัวแปรจำนวน 11 ตัวแปรที่มีค่า IOC = 1.00 แบ่งตามกลุ่มตัวแปรได้ดังนี้ กลุ่มตัวแปรความเสียหายของไม้ยืนต้น โรคและศัตรูพืชอื่นๆ ได้แก่ ความเสียหายของไม้ยืนต้น (Damage to Tree) ใบที่เปลี่ยนสี (Discolored Leaves) ความเสียหายเชิงกล (Mechanical Damage) การเข้าทำลายของโรคและแมลง (Presence of Insects/Disease) กลุ่มตัวแปรความอันตราย ได้แก่ ขึ้นส่วนที่มีโอกาสหักโค่น (Tree Part Most Likely to Fail) กลุ่มตัวแปรความสัมพันธ์กับงานโครงสร้างหรืออาคาร ได้แก่ อาคาร/โครงสร้างข้างเคียง (Proximity to Building) กลุ่มตัวแปรของที่ตั้ง ได้แก่ พิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geographical Location) ชื่อของที่ตั้ง (Local Name) กลุ่มตัวแปรขนาดอื่นๆ (ไม่ใช่เส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพียกอกและทรงพุ่ม) ได้แก่ ความสูง (Height) กลุ่มตัวแปรกลุ่มสภาพไม้ยืนต้นและการใช้งาน ได้แก่ โพรง (Cavities) ความกว้างของแนวกันลม (Windbreak Width) สำหรับตัวแปรอื่นๆ ที่นอกเหนือออกไปทั้งหมดมีค่า IOC = 0.67

ตารางที่ 2

ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากการประเมินค่าตัวแปรประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น

กลุ่มของตัวแปร	จำนวนข้อมูล (n=35)	ค่าเฉลี่ย IOC ของกลุ่มตัวแปร	ค่าเฉลี่ย IOC รายตัวแปร*	ค่าความน่าเชื่อถือของตัวแปร	
				เชื่อถือได้ (IOC ≥ 0.67)	ไม่น่าเชื่อถือ (IOC < 0.67)
จำนวนปีที่ปลูก (Age or year of planting)	1	0.67	0.67	อายุหลังการย้ายปลูกลงดิน (Number of years after transplantation)	-
ขนาดทรงพุ่มและความหนาแน่น (Crown size, density)	5	0.67	0.67 0.67 0.67 0.67 0.67	ขนาดทรงพุ่ม (Crown size) ความโปร่งทรงพุ่ม (Canopy transparency) ความเสียหายทรงพุ่ม (Crown damage) ความหนาแน่นทรงพุ่ม (Crown density) การตายจากปลายยอด (Crown dieback)	-
ความเสียหาย, แมลง และศัตรูพืชอื่น ๆ (Damage, insects, and pests)	7	0.86	1.00 0.67 1.00 1.00 0.67 0.67 1.00	ความเสียหายของไม้ยืนต้น (Damage to the tree) การตายจากปลายยอด (Dieback) ใบมีสีผิดปกติ (Discolored leaves) ความเสียหายเชิงกล (Mechanical damage) การตายของขึ้นส่วนในทรงพุ่ม (Tree mortality) อาการใบเหลือง (Presence/absence of chlorosis) อาการเข้าทำลายของแมลงหรือโรค (Presence of insects/disease)	-
เส้นผ่าศูนย์กลางเพียกอก (diameter at breast height; DBH)	1	0.67	0.67	เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นที่ระดับอก (Diameter at breast height)	-
ระดับความเสี่ยง (Hazard status)	2	0.84	0.67 1.00	มีรากขุดวน (Existence of girdled roots) ขึ้นส่วนที่จะหักโค่น (Tree part most likely to fail)	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) จากการประเมินค่าตัวแปรประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น

กลุ่มของตัวแปร	จำนวนข้อมูล (n=35)	ค่าเฉลี่ย IOC ของกลุ่ม ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย IOC รายตัวแปร*	ค่าความน่าเชื่อถือของตัวแปร	
				เชื่อถือได้ (IOC ≥ 0.67)	ไม่น่าเชื่อถือ (IOC < 0.67)
ปฏิสัมพันธ์กับโครงสร้าง หรืออาคาร (Interaction with infrastructure or buildings)	5	0.74	1.00 0.67 0.67 0.67 0.67	อาคารบริเวณข้างเคียง (Proximity to building) ตำแหน่งของอาคาร (Building direction) ปัญหาทางโครงสร้าง (Conflict with infrastructure) รากค้ำทางเดินเท้า (Whether the sidewalk is raised) ความสัมพันธ์กับการจราจร (Tree position in relation to traffic)	-
ที่ตั้ง (Location)	6	0.78	0.67 0.67 1.00 1.00 0.67 0.67	ความเพียงพอของพื้นที่ปลูก (Available planting spaces) ที่ตั้ง (Location) พิกัดภูมิศาสตร์ (Geographical location) ชื่อท้องถิ่น (Local name) ที่ตั้งของไม้ยืนต้น (Location of the trees) ชื่อถนน (Street name)	-
ลักษณะพื้นที่ปลูก (Planting site)	3	0.67	0.67 0.67 0.67	การปกคลุมด้วยพื้นตาข่าย (Amount of impermeable cover) ลักษณะการใช้ที่ดิน (Land use type) สภาพพื้นที่ปลูก (Site condition)	-
ความจำเป็นในการ ดูแลรักษาและประวัติ การใช้พื้นที่ (Maintenance needs and history)	1	0.67	0.67	การตัดแต่ง (Pruning)	-
ขนาดอื่นๆ (Size; except crown and DBH)	2	0.84	0.67 1.00	จำนวนลำต้น (Number of trunks) ความสูง (Height)	-
ลักษณะที่ปรากฏ และการใช้งาน (Tree appearance and use)	2	1.00	1.00 1.00	โพรง (Cavities) ขนาดแนวกันลม (Windbreak width)	-

6.2 การประเมินความเชื่อมั่นระหว่างรุกรกรอาชีพกับบุคคลทั่วไป

จากการสำรวจพื้นที่หอพักเอเชียนเกมส์ โซน B เพื่อทดสอบความสอดคล้องและความเข้าใจในแบบสำรวจและคำอธิบายข้อมูล ไม้ยืนต้นของรุกรกรอาชีพและบุคคลทั่วไปจำนวน 50 ชุด ในการทดสอบความสอดคล้องมี 29 ตัวแปร ประเมินโดยใช้การทดสอบทางสถิติแคปปา และ IRR มีผลการประเมินดังตารางที่ 2 โดยความถูกต้องโดยรวมได้ค่าสัมประสิทธิ์แคปปา เฉลี่ยที่ 0.72 หรือ 72% เมื่อเทียบกับรุกรกรวิชาชีพผลการผลสอบความเชื่อมั่นจากทั้งหมด 29 ตัวแปร มีตัวแปรที่อยู่ระดับสอดคล้องดีมากมี 11 ตัวแปรที่อยู่ระดับสอดคล้องดีมี 13 ตัวแปร ตัวแปรที่อยู่ระดับสอดคล้องปานกลางมี 4 ตัวแปรและตัวแปรอยู่ในเกณฑ์ความสอดคล้องเล็กน้อยมี 2 ตัวแปร สาเหตุที่เกิดความสอดคล้องที่แตกต่างกันเกิดจากระดับประสบการณ์ที่ต่างกันของผู้สำรวจ (Coder, 2021) หรือคำอธิบายของแบบสำรวจที่ไม่ชัดเจน เช่น ไม้ยืนต้นที่ปลูกบนสนามหญ้าผู้เชี่ยวชาญมองเป็นไม้คลุมดิน แต่บุคคลทั่วไปมองเป็นหญ้าสนามธรรมดา หรือกรณีของโพรงรุกรกรวิชาชีพอาจสังเกตได้ดีกว่าเนื่องจากมีประสบการณ์ในภาคสนามมากกว่า สำหรับตัวแปรระดับความสอดคล้องน้อยได้แก่ ระยะปลูก แนวรั้วลม ตัดออกไปเนื่องจากความสูงของไม้ยืนต้นและรั้วมีของทรงพุ่มซึ่งเป็นตัวแปรที่จัดเก็บอยู่แล้วมีความสัมพันธ์กับการหักโค่นและเป้าหมายมากกว่า ส่วนแนวรั้วลมมีการเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงของปีควรใช้ข้อมูลทิศทางลมจากหน่วยงาน

ราชการแทน โดยตัวแปรที่นำมาทดแทนคือค่าความเพียว (Slenderness) ซึ่งเป็นสัดส่วนของความสูงของไม้ยืนต้นต่อเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นระดับอกคุณด้วย 100 ค่าที่ได้หากเกิน 50 ไม้ยืนต้นมีอัตราความเสี่ยงต่อการหักโค่นมากขึ้น (Mattheck, 2007) และสัดส่วนทรงพุ่มที่มีชีวิต (Live Crown Ratio; LCR) เป็นตัวชี้วัดความสามารถของเรือนยอดในการปรุงอาหารให้กับไม้ยืนต้นแสดงถึงความแข็งแรงของไม้ยืนต้นทางอ้อม โดย LCR ประเมินจากร้อยละของความสูงของส่วนกิ่งก้านที่มีชีวิตต่อความสูงทั้งหมด ค่าที่เหมาะสมคือมากกว่า 40 (ทศพร วัชรางกูร และคณะ, 2558)

ภาพที่ 5

(a) แผนที่แสดงตำแหน่งของต้นไม้ที่ศึกษา (b) ตัวอย่างของแบบฟอร์มการประเมินสถานะสุขภาพและความเสี่ยงของต้นไม้ และ (c) การสำรวจของรุกขกรมืออาชีพและผู้ไม่เชี่ยวชาญด้านรุกขกรรมในการทดสอบภาคสนามแบบประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นขั้นพื้นฐาน



หมายเหตุ (Kaewkhaw & Srivanit, 2020)

ตารางที่ 3

ความเชื่อมั่นระหว่างรุกขกรอาชีพและบุคคลทั่วไป

ลำดับ	ตัวแปร	ความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมิน (IRR)	ร้อยละ
1	เสาไฟ	1	100.00%
2	สายไฟ	0.9	90.00%
3	ป้าย	0.88	88.00%
4	ไฟถนน	0.72	71.88%
5	ไฟจราจร	1	100.00%
6	ระยะปลูก	0.04	4.00%
7	แนวรับลม	0	0.00%
8	ร่องรอยความเสียหายของต้นไม้	0.62	62.00%
9	รอยฉีก	0.66	66.00%
10	ลวด	0.9	90.00%
11	ตะปู	0.88	88.00%
12	การตายจากปลายยอด	0.8	80.00%
13	กิ่งแห้งในทรงพุ่ม	0.58	58.00%
14	กิ่งที่แตกเป็นกระจุก	0.78	78.00%
15	การเข้าทำลายของโรคหรือแมลง	0.62	62.00%

ลำดับ	ตัวแปร	ความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมิน (IRR)	ร้อยละ
15	โพรง	0.56	56.00%
16	บน	0.98	98.00%
17	กลาง	0.78	78.00%
18	ล่าง	0.96	96.00%
19	อาการผิดปกติของใบ	0.74	74.00%
20	พื้นที่ปลูกจำกัด	0.62	62.00%
21	พื้นไม่ซึมน้ำรอบราก	1	100.00%
22	ไม้พุ่ม/ไม้คลุมดินที่โคนต้น	0.54	54.00%
23	ลักษณะพื้นที่ปลูก	0.74	74.00%
24	ถนน	0.6	60.00%
25	ทางเท้า	0.68	68.00%
26	ท่อต่าง ๆ	0.62	62.00%
27	รากชวน	0.88	88.00%
28	รากดันวัสดุปูพื้น	0.86	86.00%

ระดับความสอดคล้องของสถิติแคปปา

น้อยกว่า 0.00	ไม่มีความสอดคล้อง (Poor)	0.41 - 0.60	ความสอดคล้องปานกลาง (Moderate)
0.0 - 0.20	ความสอดคล้องเล็กน้อย (Slight)	0.61 - 0.80	ความสอดคล้องดี (Substantial)
0.21 - 0.40	ความสอดคล้องพอใช้ (Fair)	0.81 - 1.00	ความสอดคล้องดีมาก (Almost Perfect)

6.3 การพัฒนาแบบประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้น

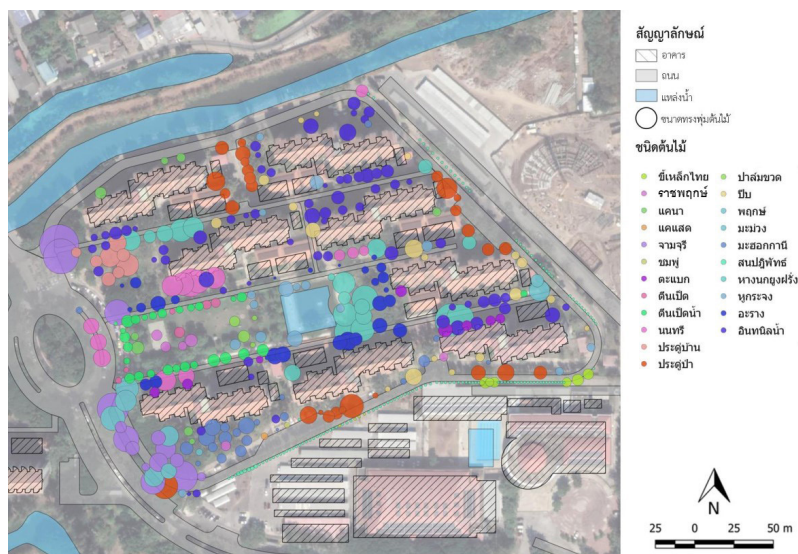
จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและประเมินความเชื่อมั่นทำให้ทราบถึงข้อมูลที่จำเป็นในการประเมินและนำมาพัฒนาเป็นแบบสำรวจเพื่อใช้ประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต โดยข้อมูลที่จัดเก็บแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนข้อมูลทั่วไปของไม้ยืนต้นประกอบไปด้วยวันที่สำรวจ ชื่อผู้สำรวจ ชื่อของไม้ยืนต้น พิกัดทางภูมิศาสตร์ และสภาพของไม้ยืนต้น โดยรวมส่วนเหนือดิน รวมถึงแผนที่เพื่อแสดงตำแหน่งของลำต้นไม้ยืนต้นกับบริบทโดยรอบ ส่วนเหนือดินประกอบไปด้วยข้อมูล 3 ส่วน ส่วนแรกคือข้อมูลทั่วไป ได้แก่ ขนาดของทรงพุ่มตามแนวเหนือใต้ และตะวันออกตะวันตก ความสูงของไม้ยืนต้น ความสูงของกิ่งล่างสุด เส้นรอบลำต้นที่ระยะ 1 เมตร จำนวนลำต้น ส่วนที่สองคือบริบทพื้นที่ ได้แก่ งานโครงสร้างหรือสิ่งอำนวยความสะดวกใกล้เคียงหรือใต้ทรงพุ่ม ระยะปลูก การรับลม ส่วนที่สามคือข้อบกพร่องหรือลักษณะอาการที่ไม่พึงประสงค์ที่ เช่น ความเสียหายต่างๆ การตายจากปลายยอด โพรง การทำลายของโรคและแมลง กิ่งแห้งในทรงพุ่ม กิ่งที่แตกเป็นกระจุก และอาการที่ผิดปกติของใบ ส่วนผิวดินและใต้ดินประกอบไปด้วย ข้อมูล 2 ส่วน ส่วนแรกคือบริบทของพื้นที่ ได้แก่ สภาพพื้นที่ปลูก การปลูกไม้ชนิดอื่นที่โคนต้น ลักษณะของพื้นที่ปลูก และงานโครงสร้างที่อยู่บริเวณราก ส่วนที่สองคือ ข้อบกพร่องหรือลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ส่วนใต้ดิน ได้แก่ รากขดวนและรากดันวัสดุ โดยแบบฟอร์มการประเมินแสดงในตารางผนวกที่ 2

6.4 ข้อมูลไม้ยืนต้นในพื้นที่ศึกษา

ผลจากการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลไม้ยืนต้นบริเวณหอพักเอเชียนเกมส์ โซนบี ที่มีหน้าตัดขนาด 6 นิ้วขึ้นไป จำนวน 442 ต้น 22 ชนิด ไม้ยืนต้นที่มีมากที่สุดในพื้นที่ คือ สนปญพัทธ์จำนวน 125 ต้นคิดเป็นร้อยละ 28.28 รองลงมาคือ อินทนิลน้ำจำนวน 67 ต้น คิดเป็นร้อยละ 15.15 ของต้นไม้ทั้งหมด รองลงมาเป็นต้นประดู่ป่าและอะรางจำนวน 27 ต้น ในส่วนต้นไม้ที่มีน้อยที่สุด คือ แคแสดและ ชมพูมีจำนวนอย่างละ 1 ต้น ในภาพรวมมีระดับความสูงเฉลี่ย 9.46 เมตร ไม้ยืนต้นที่มีความสูงเฉลี่ยมากที่สุดคือต้นพฤษภ สูง 18.70 เมตร รองลงมาคือ จามจุรีสูง 15.38 เมตรและนนทรีสูง 12.91 เมตรตามลำดับโดยต้นไม้ที่มีความสูงเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ ชมพูสูง 5.7 เมตร จะเห็นได้ว่าไม้ยืนต้นที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาส่วนหนึ่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ เช่น จามจุรี นนทรี ประดู่บ้าน ประดู่ป่า พฤษภ ราชพฤกษ์ ทางนกยูงฝรั่ง หูกะจิง โดยเฉพาะจามจุรีและพฤษภที่อยู่ตามแนวถนนมีรถยนต์จอดตลอดเวลาและทางนกยูงฝรั่งบริเวณลานนั่งเล่นที่มีผู้ใช้งานเป็นประจำ เนื่องจากทั้งรถยนต์และคนที่ใช้งานพื้นที่เป็นเป้าหมายมีลักษณะหนึ่ง ด้านผลกระทบจากการหักโค่นที่ตามมารุนแรง ทำให้เสียหายต่อทรัพย์สินหรือชีวิต ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและระยะของชิ้นส่วนที่ร่วงลงมา (Coder, 2021) ผู้รับผิดชอบพื้นที่ดังกล่าวต้องตรวจสอบข้อบกพร่องของไม้ยืนต้นบริเวณนั้นอย่างสม่ำเสมอ

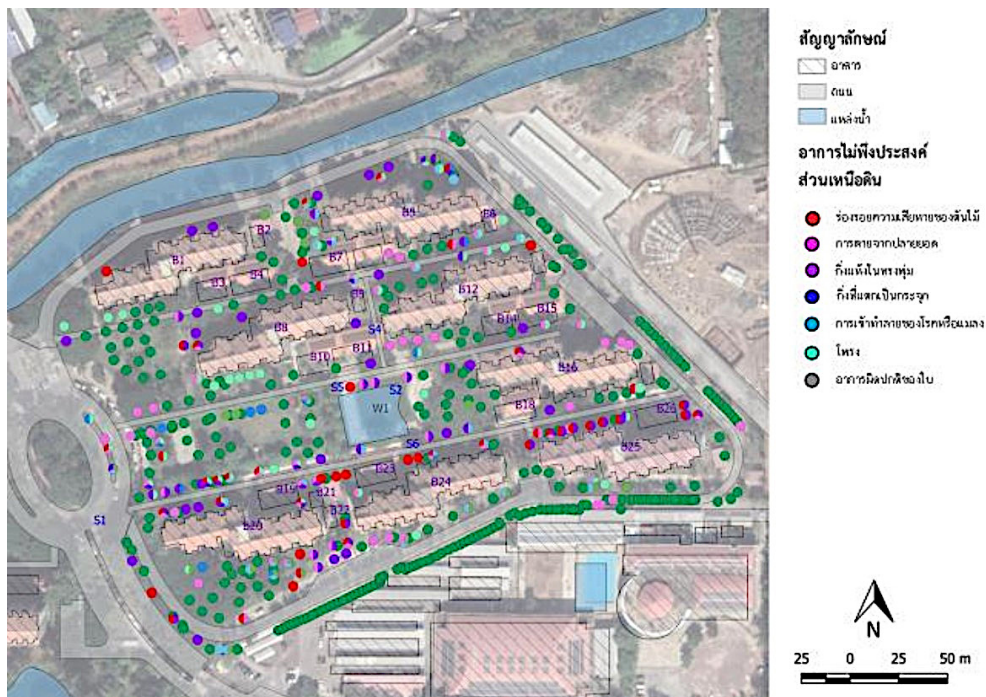
ภาพที่ 6

การกระจายตัวของชนิดพันธุ์ไม้ยืนต้นในพื้นที่ทดสอบภาคสนามต้นแบบประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นขั้นพื้นฐาน



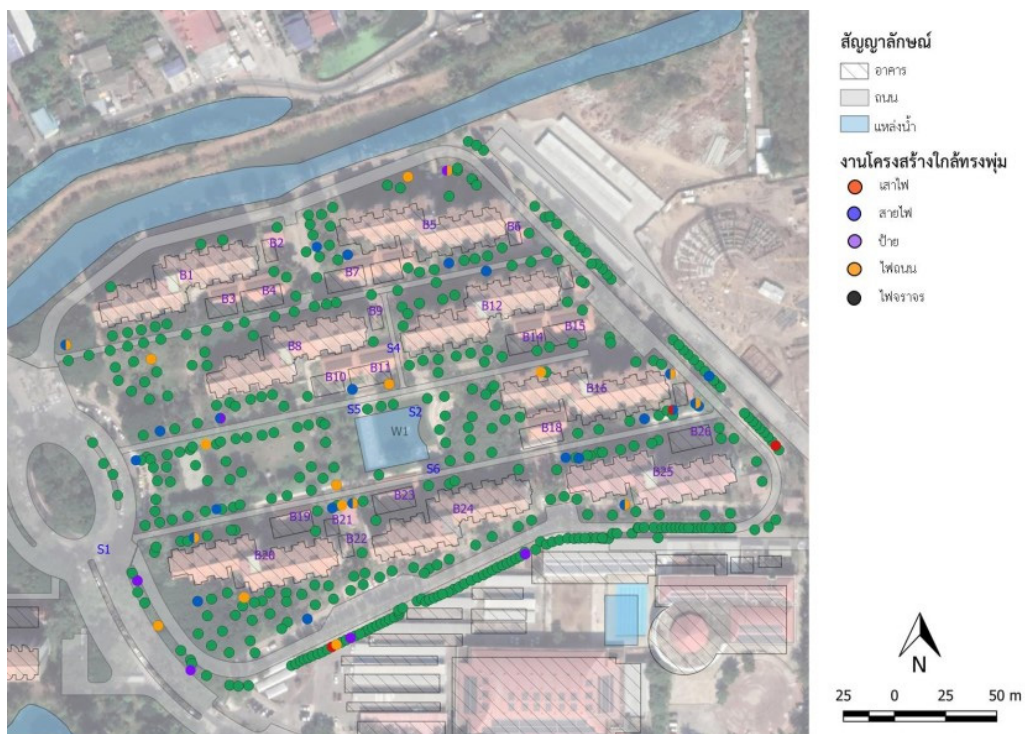
ภาพที่ 8

การกระจายของอาการไม่พึงประสงค์ส่วนเหนือดิน



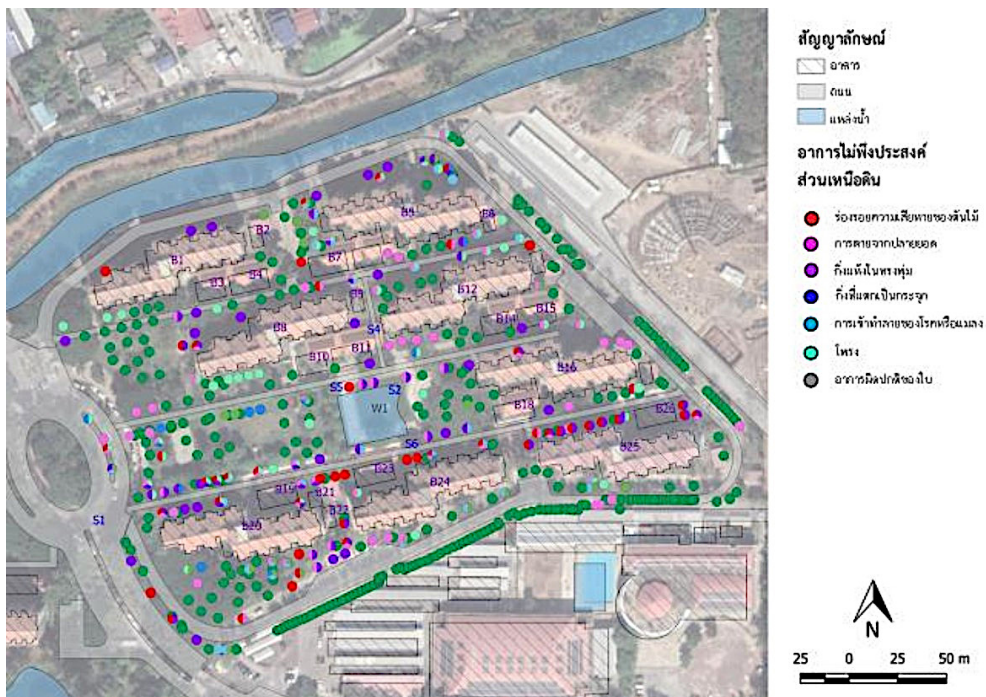
ภาพที่ 9

โครงสร้างหรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่อยู่ใกล้ทรงพุ่ม



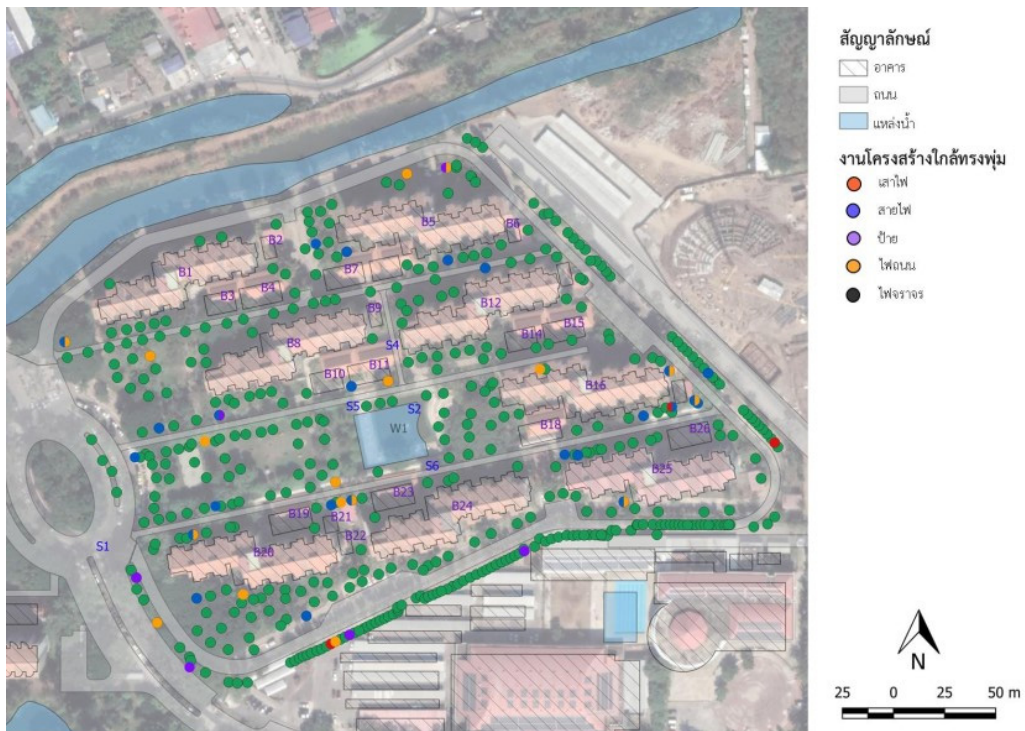
ภาพที่ 10

การกระจายตัวของไม้ยืนต้นที่มีพื้นที่รากจำกัด



ภาพที่ 11

โครงสร้างหรือสิ่งอำนวยความสะดวกที่อยู่ใกล้ราก



7. สรุป

7.1 จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีความแปรปรวนในการสำรวจเพื่อเก็บข้อมูลไม้ยืนต้นในเมืองเป็นจำนวน 15 กลุ่มตัวแปร ได้แก่ อายุการปลูกของไม้ยืนต้น พิกัดทางภูมิศาสตร์ ขนาดและความหนาแน่นทรงพุ่ม ความเสียหาย โรค แมลง เส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพียงความเป็นอันตราย ความสัมพันธ์กับโครงสร้างและอาคาร สภาพพื้นที่โดยรอบ สภาพพื้นที่ปลูก ความจำเป็นในการดูแลรักษา ข้อมูลการจัดการ ขนาดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทรงพุ่มและเส้นผ่าศูนย์กลางระดับเพียงออก ชนิดของไม้ยืนต้น ลักษณะที่ปรากฏและการใช้งาน และควมมีชีวิต แต่ละกลุ่มตัวแปรมีการเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อนและแตกต่างกันออกไป

7.2 ปัจจัยที่สำคัญและมีผลต่อสุขภาพและความเสี่ยงของไม้ยืนต้นประกอบไปด้วย 11 กลุ่มตัวแปร 35 ชนิดตัวแปร โดยกลุ่มตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ จำนวนปีที่ปลูก ขนาดทรงพุ่มและความหนาแน่น ความเสียหาย, แมลงและศัตรูพืชอื่นๆ เส้นผ่าศูนย์กลางเพียงออก ระดับความเสี่ยง ปฏิสัมพันธ์กับโครงสร้างหรืออาคาร ที่ตั้ง ลักษณะพื้นที่ปลูก ความจำเป็นในการดูแลรักษาและประวัติการใช้พื้นที่ ขนาดอื่นๆ ลักษณะที่ปรากฏและการใช้งาน โดยกลุ่มตัวแปรทั้งหมดและแต่ละชนิดของตัวแปรมีค่าเฉลี่ย IOC เกิน 0.67 ถือว่าผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นสอดคล้องกันทั้งหมดในการใช้ตัวแปร

7.3 การประเมินความสอดคล้องระหว่างรูกขกรอาชีพกับบุคคลทั่วไปพบว่ามีความแปร 2 ตัวที่มีความสอดคล้องต่ำ ได้แก่ ระยะปลูกและแนวรั้ว โดยทั้งระยะปลูกแต่ละพืชมี่มีความเหมาะสมที่แตกต่างกันทำให้ไม่สามารถบอกถึงความเหมาะสมที่แท้จริงแต่ละชนิดได้ ส่วนแนวรั้วในระดับพื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลควรใช้ข้อมูลจากหน่วยงานราชการที่มีข้อมูลทางด้านนี้แทน ทั้งสองตัวแปรได้มีการปรับไปใช้ความเปรี้ยวและและสัดส่วนทรงพุ่มที่มีชีวิตแทนส่วนตัวแปรที่เหลือนี่มีความสอดคล้องระดับกลางถึงระดับสูงจึงนำมาพัฒนาใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อประเมินสุขภาพและความเสี่ยงของไม้ยืนต้นภายในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

7.4 การสร้างแบบประเมินสุขภาพและความเสี่ยงไม้ยืนต้นได้นำเอาตัวแปรที่ได้มาจัดกลุ่มเป็น 3 กลุ่ม โดยประกอบไปด้วย ส่วนข้อมูลทั่วไปประกอบไปด้วยตำแหน่ง ชื่อผู้สำรวจ ชื่อพรรณไม้ พิกัดทางภูมิศาสตร์ ขนาดทรงพุ่ม ความสูง ความสูงถึงกิ่งล่างสุดที่มีชีวิต เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นระดับเพียงออก ส่วนเนื้อดินประกอบไปด้วยขนาดที่เกี่ยวกับทรงพุ่ม บริบทของพื้นที่ ขอบกพร่องหรือลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ ส่วนผิวดินและใต้ดินประกอบไปด้วยบริบทของพื้นที่ ขอบกพร่องหรือลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ โดยข้อมูลที่จัดเก็บสามารถนำมาพัฒนาเป็นฐานข้อมูลไม้ยืนต้นเพื่อใช้ในการจัดการไม้ยืนต้นภายในมหาวิทยาลัยต่อไป

7.5 การนำแบบทดสอบไปใช้งานจริงในภาคสนามผู้ประเมินสามารถแบบประเมินได้ซ้ำในช่วงแรกและเริ่มเร็วขึ้นเมื่อคุ้นกับแบบประเมินมากขึ้นในช่วงท้ายของการสำรวจ ถึงแม้ว่าผู้ประเมินได้รับการอบรมขั้นต้นก่อนลงพื้นที่เก็บข้อมูลก็ตาม ทั้งนี้แสดงให้เห็นถึงบทบาทของประสบการณ์ที่ส่งผลต่อการประเมิน ในด้านแบบประเมินพบข้อบกพร่องหลายประเด็น เช่น ความไม่ชัดเจนของลักษณะที่ต้องประเมินในบางหัวข้อ ขนาดของกิ่งแห้งที่ถือว่าเป็นความเสี่ยง ขนาดของโพรงที่จะทำให้หักโค่น การประเมินค่อนข้างมุ่งไปที่ข้อบกพร่องของไม้ยืนต้นมากกว่าการประเมินทางด้านเป้าหมายและผลกระทบ แนวทางการพัฒนาควรคู่มือในการประเมิน ให้มีความชัดเจนในด้านนิยามความหมายต่างๆ หรือมีรูปประกอบเพื่อให้ผู้ประเมินเข้าใจได้ง่ายขึ้น การประเมินไม่ควรมุ่งที่ข้อบกพร่องของไม้ยืนต้นเพียงอย่างเดียวควรคำนึงถึงองค์ประกอบความเสี่ยงด้านเป้าหมายและผลกระทบที่ตามมาด้วย

8. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการพัฒนาฐานข้อมูลไม้ยืนต้นเพื่อสนับสนุนการจัดการสารสนเทศด้านรูกขกรมในการวางแผนภูมิทัศน์เขตพื้นที่มหาวิทยาลัย (Development of the Urban Tree Inventory to Support Arboriculture Information Management in an Institutional Campus Landscape Planning) ทุนสนับสนุนการวิจัยประเภททุนวิจัยทั่วไปกำหนดหัวข้อชุดโครงการวิจัยตามประเด็นการวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีงบประมาณ 2562 สัญญาเลขที่ TUGT 2/2562 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้เชี่ยวชาญทางด้านรูกขกรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บรรจง สมบูรณ์ชัย สาขามิสสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ รองศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ เหมือนพงษ์ ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ คุณธราดล ทันท่วน ที่มีส่วนสำคัญในการให้แนวทางการสร้างแบบประเมินความเสี่ยงไม้ยืนต้นขึ้นพื้นฐานแก่โครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

- ทศพร วัชรางกูร, วรพรรณ หิมพานต์, ปิยนุช รับพร และจารุณี โนนีเวช (2558). แนวทางการตัดขยายระยะสวนป่าในเชิงพาณิชย์. งานวิจัยการปลูกสร้างสวนป่า กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. https://forprod.forest.go.th/forprod/silvic/for_plant/data/RFD/1.pdf
- ประสพชัย พสุนนท์. (2558). การประเมินความเชื่อมั่นระหว่างผู้ประเมินโดยใช้สถิติแคปปา. *วารสารวิชาการศิลปศาสตร์ประยุกต์*, 8(1), 1-19. <https://ojs.kmutnb.ac.th/index.php/faa/article/view/784/729>
- มานัส ศรีวนิช, ศุภวัจน์ แก้วขาว และชาญยุทธ เมืองเรือง. (2567). รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) การพัฒนาฐานข้อมูลไม้ยืนต้น เพื่อสนับสนุนการจัดการสารสนเทศด้านรุกขกรรมในการวางแผนภูมิทัศน์เขตพื้นที่มหาวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต
- สุรพงษ์ คงสัตย์ และธีรชาติ ธรรมวงศ์. (25 พฤศจิกายน 2558). การหาความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC). มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย. <https://www.mcu.ac.th/article/detail/14329>
- ศูนย์นวัตกรรมกรรมการออกแบบและวิจัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง. (2556). รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) โครงการปรับปรุงผังแม่บทมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต พ.ศ. 2577 ส่วนที่ 1 รายละเอียดการวางผังแม่บท. น.2 (1-5). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

ภาษาอังกฤษ

- Albers J. S., Pokorny J. D., & Johnson G. R. (1992). How to detect and assess hazardous defects in trees. In D. J. Pokorny (Ed.). *Urban tree risk management: A community guide to program design and implementation* (pp. 41-109). USDA Forest Service, Northeastern Area, State and Private Forestry. <https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/na/NA-TP-03-03.pdf>
- Angwin A. P., Cluck R. D., Rosen J., Woodruff C. W., Hawkins E. A., Barnes W. C., Cannon G. P., & Hazelhurst S. (2022). *Hazard tree identification and mitigation forest health technical report* (FHP Report # RO-22-01). USDA Forest Service Pacific Southwest Region. https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fseprd1087205.pdf
- Boldgett T. J., Burns S. K., & Lalande M. B. (2020). *Tree failures evaluation using survey123* (Technical Report R2-75 Version 2). USDA Forest Service, Rocky Mountain Region, State, Private, and Tribal Forestry Forest Health Protection. https://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/fseprd773032.pdf
- Coder K. D. (2021, n.d. July). *Tree risk and hazard management concept*. (Publication WSFNR-21-50C) Warnell School of Forestry & Natural Resources, University of Georgia. <https://bugwoodcloud.org/resource/files/25259.pdf>
- Czaja M., Kolton A., & Muras P. (2020). The complex issue of urban trees—stress factor accumulation and ecological service possibilities. *Forests*, 11(9), 932. <https://doi.org/10.3390/f11090932>
- Draper B. D., & Richards A. P. (2009). *Dictionary for managing trees in urban environments*. Victoria: CSIRO Publishing. <https://doi.org/10.1071/9780643096868>
- Dudkiewicz, M., & Durlak, W. (2021). Sonic tomograph as a tool supporting the sustainable management of historical greenery of the UMCS Botanical Garden in Lublin. *Sustainability*, 13(16), 9451. <https://doi.org/10.3390/su13169451>
- Gauthier W. N. Kaiser C., Dockery J., Scott D., & Goodin K, (2020, 21 July). *Stress and decline in woody plant*. Kentucky Pest News. <https://kentuckypestnews.wordpress.com/2021/07/20/stress-and-decline-in-woody-plants/>

- Guller, B., Guller, A., & Kazaz, G. (2013). *Is resistograph an appropriate tool for the annual tree-ring analysis of conifers?*. NDE for Safety / Defektoskopie 2012, 42nd International Conference , Oct 30 - Nov 1, 2012, Seč, Czech Republic. <https://www.ndt.net/?id=14410>
- Hauer R.J., Hanou I.S. & Sivyer D. (2020a). Planning for active management of future invasive pests affecting urban forests: the ecological and economic effects of varying Dutch elm disease management practices for street trees in Milwaukee. *Urban Ecosystem*, 23, 1005–1022. <https://doi.org/10.1007/s11252-020-00976-6>
- Hauer R.J., Koeser A. K., Parbs S., Kringer J., Ottman K., Miller R.W., Sivyer D., Timilsina, N., & Werner L.P., (2020b). Long-term effects and development of a tree preservation program on tree condition, survival, and growth. *Landscape and Urban Planning* 193, 103670. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103670>.
- Hayes E. (2002). Tree risk assessment and tree mechanics. *Arborist News*, 11(6), 33-37.
- Hirons, A., & Thomas, P. A. (2018). *Applied tree biology* (1st ed.). Wiley.
- Kaewkhaw S. & Srivanit, M. (2020). Aggregation of Thai arborist judgments on urban tree hazard inventories used to determine tree health at single-tree level. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 910. 012023. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/910/1/012023>
- Kielbaso J.J. (2008). Management of urban forests in the United States. In: Carreiro, M. M., Song, Y.-C., & Wu, J. (Eds.), *Ecology, Planning, and Management of Urban Forests*. Springer. (pp. 240–258).
- Long, W.D., Faller, M.C., & Megalos, M.A. (2008, 1 November). City Tree Inventory: the Experience of a Small Town. *A Regional Peer Reviewed Technology Bulletin*. Southern Regional Extension Forestry, <https://sref.info/resources/publications/city-tree-inventory-the-experience-of-a-small-town>
- Ma B., Hauer R. J., Ostberg J., Koeser K. A., Wei H., & Xu C., (2021). A global basis of urban tree inventories: What comes first, the inventory or the program. *Urban Forestry & Urban Greening*, 60, 127087. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127087>
- Mattheck C. (2007). *Updated field guide for visual tree assessment*. Forschungszentrum Karlsruhe
- Miller G. (2006). Basic tree risk assessment. *Arborist News*, 15(5), 12-17. <https://www.historictreecare.com/wp-content/uploads/2012/05/ISA-CEU-Basic-Tree-Risk-Assessment-complete.pdf>
- Matheny P. N. and Clark J. (2009). Tree risk assessment: What we know (and what we don't know). *Arborist news*, 18(1), 28-33. https://www.isa-arbor.com/education/resources/educ_Portal_Risk_AN.pdf
- Miller, R.W., Hauer, R.J., & Werner, L.P. (2015). *Urban forestry : planning and managing urban greenspaces* (3rd ed.). Waveland Press.
- Morgenroth J., Östberg J. (2017). Measuring and monitoring urban trees and urban forests. In Ferrini, F., Konijnendijk C.C., Fini, A. (Eds.), *Routledge Handbook of Urban Forestry* (1st ed., pp. 33–48). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781315627106-3/measuring-monitoring-urban-trees-urban-forests-justin-morgenroth-johan-östberg>
- Nielsen B. A., Östberg J., & Delshammar T. (2014). Review of urban tree inventory methods used to collect data at single-tree level. *Arboriculture & Urban Forestry*, 40(2), 96–111. <https://doi.org/10.48044/jauf.2014.011>
- Norris M.B. and Moore G.M. (2020). How tree risk assessment methods work: Sensitivity analyses of sixteen methods reveal the value of quantification and the Impact of Inputs on risk ratings. *Arboriculture & Urban Forestry*. 46(6). 402–431. <https://doi.org/10.48044/jauf.2020.030>

- Norris M.B. (2007, May 5). Tree risk assessments – what works – what does not – can we tell? A review of a range of existing tree risk assessment methods [Conference Presentation]. *ISAAC Conference, Perth, Australia*. https://unri.org/ECO%20697U%20S14/norris-_tree_risk_assessments.pdf
- Ogle C. (2021, October 11). Structural Defects, Tree Failure, and Risk. In C. King & L. Marlowe (Eds.), *Tree Stewardship Manual* (pp.260-301). Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech. <https://doi.org/10.21061/treesteward>
- Östberg, J., Delshammar T., Wiström B., & Nielsen A. B. (2013, August 7). Grading of Parameters for Urban Tree Inventories by City Officials, arborists, and a academics Using the Delphi Method [Conference presentation]. The 89th Annual Conference of the International Society of Arboriculture, Toronto, Ontario, Canada. https://www.isa-arbor.com/events/conference/proceedings/2013/OSTBERG_extended_abstract.pdf
- Podr'azský, V., Zahradník, D., & Remeš, J. (2014). Potential consequences of tree species and age structure changes of forests in the Czech Republic – Review of forest inventory data. *Wood Research* 59(3), 483–490. <https://www.woodresearch.sk/wr/201403/11.pdf>
- Prucell L. (n.d). *Tree risk management* (FNR-475-W). Department of Forestry & Natural Resources, Purdue University Extension. <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/FNR/FNR-475-W.pdf>
- Salbitano F., Borelli S., Conigliaro M., & Chen Y. (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/items/ed818e71-49f8-4247-91eb-56158955dfff6>
- Sjöman H. (2012). Trees for tough urban sites : learning from nature. [Doctoral dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences]. SLU publication database. <https://res.slu.se/id/publ/78990>
- Smiley E. T., Matheny P. N. & Lilly, J. S. (2017). Tree risk assessment. In F. Ferrini, C. C. Konijnendijk, & A. Fini (Eds.), *Routledge handbook of urban forestry* (1st ed., pp. 478-488). Routledge.
- Smiley E. T., Matheny P. N. & Lilly, J. S. (2012a). Qualitative tree risk assessment. *Arborist News*, 21(1), 12-18. https://www.isa-arbor.com/events/conference/proceedings/2013/SMILEY_MATHENY_Tree_Risk_Assessment_Qualitative_AN_Feb_2012.pdf
- Smiley E. T., Matheny P. N. & Lilly, J. S. (2012b). Tree risk assessment: Levels of Assessment. *Arborist News*, 21(2), 12-20.
- Worrall J. J. (n.d.). *Hazard Trees*. Forest Pathology. <https://forestpathology.org/hazard-trees/>
- Zhao, J., Wang, X., & Liu, L. (2021). Sustainability assessment of urbanization using an improved entropy-weighted TOPSIS method: A case study in China. *Sustainability*, 13(16), 9451. <https://doi.org/10.3390/su13169451>