

นิพนธ์ต้นฉบับ

การประยุกต์ใช้แอพลิเคชัน Google Earth และ Spreadsheet (LESS-FOR-01) ในการจัดทำแผนที่ออนไลน์
การกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้น บริเวณป่าเขาหน้าซับ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรีเมธิ จันทโรปกรณ์¹, กฤษณชัย รอดสุข¹, กัญญารัตน์ ใจดี¹,
มณีนันท์ โพธิสาร¹, สิริกร ชาญเจริญ¹, นพิมพ์พร แสงวิเชียร¹ และ อรุณ นิลเขต^{1*}

รับต้นฉบับ: 14 สิงหาคม 2568

ฉบับแก้ไข: 7 ตุลาคม 2568

รับลงพิมพ์: 20 ตุลาคม 2568

บทคัดย่อ

ความเป็นมาและวัตถุประสงค์: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศป่าไม้ทั่วโลก ซึ่งเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ การประเมินคาร์บอนส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่พื้นที่ป่าไม้ขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม พื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก เช่น พื้นที่สีเขียวในมหาวิทยาลัย ในเขตเมือง หรือเส้นทางศึกษาธรรมชาติ ก็มีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับก๊าซเรือนกระจกและการเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อม การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้รายต้น และจัดทำแผนที่คาร์บอนเชิงพื้นที่แบบโต้ตอบ ในพื้นที่ป่าเขาหน้าซับ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา เพื่อประยุกต์ใช้ในการจัดการพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กอย่างยั่งยืน เป็นข้อมูลสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ข้อที่ 13 และ 15 รวมถึงสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ BCG Economy Model ของประเทศไทย

วิธีการ: ทำการศึกษาในพื้นที่ป่าพื้นที่ป่าเขาหน้าซับ ที่ประกอบด้วยสังคมพืชป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) และป่าผสมผลัดใบ (Mixed deciduous forest) โดยเก็บข้อมูลตามเส้นทางศึกษาธรรมชาติ 2 เส้นทาง คือ เส้นทางขึ้นยอดเขา (ระยะทาง 1.5 กม.) และเส้นทางเชิงเขา (ระยะทาง 2.5 กม.) ดำรวจและจำแนกชนิดไม้ต้นและไม้เลื้อยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ≥ 4.5 ซม. พร้อมทั้งวัดค่า DBH ความสูงทั้งหมด และบันทึกพิกัดด้วยระบบพิกัด WGS84 ผ่านโปรแกรม Google Earth Mobile รวมถึงบันทึกภาพถ่ายฐานวิทยางานบางส่วน ทำการวิเคราะห์มวลชีวภาพเหนือดิน (AGB) และมวลชีวภาพใต้ดิน (BGB) ด้วยสมการแอลโลเมตรีที่เหมาะสมกับชนิดป่า พร้อมประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ที่พบทั้งหมด (ร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพทั้งหมด) และแปลงค่าเป็นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) ประยุกต์ใช้แอพลิเคชัน Google Earth ร่วมกับ Spreadsheet LESS-FOR-01 Version 6 ที่พัฒนาโดยองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก เพื่อทำแผนที่เชิงโต้ตอบในโปรแกรม Google Earth โดยแสดงหมวดหมู่ตำแหน่งที่ประกอบด้วยชื่อวิทยาศาสตร์ ขนาดเส้นรอบวง ความสูงทั้งหมด ปริมาณคาร์บอน และภาพถ่ายฐานวิทยาด้านไม้แต่ละต้นทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ วิจัยช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม พ.ศ. 2567

ผลการศึกษา: พบไม้ต้นและไม้เลื้อยรวม 467 ลำต้น ครอบคลุม 70 ชนิด 59 สกุล 33 วงศ์ แสดงถึงความหลากหลายของพรรณไม้ในพื้นที่ศึกษา โดย กระไดลิง (*Lasiobema scandens*) เป็นไม้เลื้อยที่พบมากที่สุด ต้นไม้ทั้งหมดมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูงเฉลี่ย เท่ากับ 15.40 ± 8.00 เซนติเมตร และ 8.76 ± 4.21 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการฟื้นตัวของป่าที่มีทั้งไม้ขนาดเล็กและใหญ่ร่วมกัน มวลชีวภาพโดยรวมมีค่าเท่ากับ 61.56 ตัน จำแนก

เป็นมวลชีวภาพเหนือดินและใต้ดินเท่ากับ 48.47 และ 13.09 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นคาร์บอนสะสม 28.93 ตัน คาร์บอน หรือ 106.07 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เมื่อพิจารณาตามเส้นทางศึกษาธรรมชาติ พบความแตกต่างชัดเจน โดยเส้นทางขึ้นยอดเขา มีจำนวนต้นไม้มากที่สุด (321 ลำต้น จาก 48 ชนิด) แต่ส่วนใหญ่เป็นไม้ขนาดเล็ก มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงเฉลี่ย 14.37 ± 7.47 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 7.89 ± 2.45 เมตร มีมวลชีวภาพรวม 31.51 ตัน (จำแนกเป็นมวลชีวภาพเหนือดิน 24.81 ตัน และใต้ดิน 6.70 ตัน) คิดเป็นคาร์บอนสะสม 14.81 ตัน คาร์บอน หรือ 54.29 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ส่วนเส้นทางเชิงเขา มีจำนวนต้นน้อยกว่า (146 ลำต้น จาก 52 ชนิด) แต่ต้นไม้มีขนาดใหญ่และสูงกว่า โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงเฉลี่ย 17.87 ± 8.16 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 10.65 ± 5.04 เมตร มีมวลชีวภาพรวม 30.05 ตัน (จำแนกเป็นมวลชีวภาพเหนือดิน 23.66 ตัน และใต้ดิน 6.39 ตัน) คิดเป็นคาร์บอนสะสม 14.12 ตันคาร์บอน หรือ 51.78 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งใกล้เคียงกับเส้นทางขึ้นยอดเขา สะท้อนให้เห็นว่าต้นไม้ขนาดใหญ่มีอิทธิพลต่อการกักเก็บคาร์บอนมากกว่าความหนาแน่นของไม้ขนาดเล็ก แม้เส้นทางเชิงเขาจะมีจำนวนน้อยกว่า แต่กักเก็บคาร์บอนได้ใกล้เคียงกับเส้นทางขึ้นยอดเขา อย่างไรก็ตาม โครงสร้างป่าในพื้นที่ทั้งสองเส้นทางยังไม่สมบูรณ์เมื่อเทียบกับป่าธรรมชาติ แต่ก็แสดงถึงการฟื้นคืนกลับสู่ป่าดิบแล้งและป่าผสมผลัดใบ ปริมาณคาร์บอนสะสมยังมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการประเมินทั้งพื้นที่ป่าเขาน้ำซับ อาจเกิดจากข้อจำกัดในการวัดความสูง การใช้อัตราส่วนรากต่อส่วนเหนือดินแบบคงที่ (0.27 เท่า) รวมทั้งการเก็บข้อมูลตามแนวเส้นทางศึกษาธรรมชาติที่อยู่ขอบป่า อาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของทั้งผืนป่าได้โดยตรง แม้ว่าความแม่นยำของพิกัดจาก Google Earth Mobile ขึ้นอยู่กับคุณภาพสัญญาณโทรศัพท์มือถือ แต่ก็มีเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการจัดทำแผนที่เชิงโต้ตอบ และการสื่อสารเชิงพื้นที่ โดยช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลต้นไม้ริมเส้นทางศึกษาธรรมชาติได้ง่ายและชัดเจนมากขึ้น ซึ่งมีข้อมูลสำคัญของชนิดไม้แต่ละต้นที่แสดงไว้ทั้งแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ เอื้อประโยชน์ต่อการเรียนรู้ และการจัดการพื้นที่สีเขียวให้มีประสิทธิภาพต่อไป

สรุป: การประยุกต์ใช้ Google Earth ร่วมกับ Spreadsheet (LESS-FOR-01) เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการประเมินและแสดงผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้รายต้นในพื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก การพัฒนาแผนที่แบบโต้ตอบช่วยส่งเสริมการประเมินศักยภาพการดูดซับคาร์บอนในระดับพื้นที่ย่อย (micro-scale) รวมทั้งสนับสนุนการเรียนรู้เชิงพื้นที่ และสร้างความตระหนักรู้ถึงบทบาทของต้นไม้แต่ละต้นต่อการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศได้ดี แนวทางดังกล่าวมีต้นทุนต่ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสนับสนุนการจัดการพื้นที่สีเขียว ตลอดจนการมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutrality) และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน ในระดับสถาบันการศึกษา และชุมชนของประเทศไทย

คำสำคัญ: Google Earth Spreadsheet แผนที่เชิงโต้ตอบ การกักเก็บคาร์บอน เส้นทางธรรมชาติ

¹ ภาควิชาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

* ผู้รับผิดชอบบทความ: E-mail: oranut.ni@ku.th

<https://doi.org/10.34044/tferj.2025.9.2.6421>

ORIGINAL ARTICLE

Integration of Google Earth and a Spreadsheet (LESS-FOR-01) to Create an Online Tree-Level Carbon Storage Map at Khao Nam Sub, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi Province

Methee Juntaropakorn¹, Kritsanachai Rodsuk¹, Kanyarat Jaidee¹,
Manirat Phothisan¹, Sirikorn Chancharean¹, Napimporn Sangvichien¹ and Oranut Ninkhet^{1*}

Received: 14 August 2025

Revised: 7 October 2025

Accepted: 20 October 2025

ABSTRACT

Background and Objectives: Climate change has become a critical global issue affecting ecosystems worldwide, especially forests, which play a key role in carbon sequestration. While assessments often focus on large forests, small green spaces such as green university, nature trails, and urban green areas—also contribute to carbon storage and serve as platforms for environmental education. This study aimed to assess carbon storage of individual trees and generate spatially interactive carbon map the Khao Nam Sub Forest area at Kasetsart University, Sriracha Campus, Chonburi Province. This knowledge can apply the sustainable management of urban small green areas, including serve as a database for supporting environmental learning, as well as to supports the Sustainable Development Goals (SDGs 13 and 15) and aligns with Thailand's Bio-Circular-Green (BCG) Economy Model.

Methodology: The study was conducted within Khao Nam Sub area comprising dry evergreen forest (DEF) and mixed deciduous forest (MDF) types. Field data were collected along two designated nature trails: the summit trail (1.5 km) and the foothill loop trail (2.5 km), during August–October 2024. All trees and lianas with a diameter at breast height (DBH) ≥ 4.5 cm were identified, measured for DBH and total height, and georeferenced using the WGS84 coordinate system via the Google Earth mobile application. Some morphological characteristics were also photographed. Aboveground biomass (AGB) was estimated using forest-type-specific allometric equations, and belowground biomass (BGB) was derived as $0.27 \times \text{AGB}$. Carbon stock was calculated as 47% of total biomass (AGB + BGB) and expressed in tones of CO₂ equivalent (tCO₂e). The integrated application between Google Earth and Spreadsheet LESS-FOR-01 Version 6 which developed by Thailand Greenhouse Gas Management Organization (TGO) was used to create the interactive map that included information of scientific names, GBH, carbon values, and morphological images of each tree in both 2D and 3D formats. The research was done during August to October 2024.

Main Results: A total of 467 individual trees and climbing lianas were recorded along two designated nature trails, representing 70 species, 59 genera, and 33 families, indicating relatively high species richness within the study area. The most abundant climbing species was *Lasiobema scandens*. Across all individuals, the average diameter at breast height (DBH) was 15.40 ± 8.00 cm, and the average height was 8.76 ± 4.21 m, reflecting a structurally mixed stand composed of both small and maturing tree stages. The estimated total tree biomass for the entire surveyed area was 61.56 tons, comprising 48.47 tons of aboveground biomass (AGB) and 13.09 tons of belowground biomass. This corresponded to a total carbon stock of 28.93 tons carbon (tC), or 106.07 tons of CO₂-equivalent (tCO₂e). Upon analysis, clear structural differences were evident. The Summit trail contained the highest number of individuals (321 stems representing 48 species), which were mostly small in size, with a mean DBH of 14.37 ± 7.47 cm and a mean height of 7.89 ± 2.45 m. The total biomass was 31.51 tons (24.81 tons AGB and 6.70 tons BGB), storing 14.81 tC or 54.29 tCO₂e. In contrast, the Foothill trail contained fewer trees (146 stems from 52 species), but trees were generally larger and taller, with a mean DBH of 17.87 ± 8.16 cm and a mean height of 10.65 ± 5.04 m. Its total biomass was 30.05 tons (23.66 tons AGB and 6.39 tons BGB), sequestering 14.12 tC or 51.78 tCO₂e. Despite the smaller number of individuals, the foothill trail showed comparable carbon stocks to the summit trail, highlighting the greater influence of large-sized trees on carbon storage compared with high densities of small-sized trees. The forest composition and structure along both routes reflect a transitional mosaic of DEF and MDF tree species, with stratified canopy layers and varied stem sizes indicating ongoing regeneration and partial recovery from past disturbance. However, the accumulated carbon stock was lower compared with estimates from full-plot assessments of the entire Khao Nam Sub Forest. This discrepancy may be attributed to several limitations, including measurement uncertainties of tree height measured, the use of a fixed root-to-shoot ratio (0.27), and the linear-based sampling design along nature trails, which access forest edges and cannot fully represent the entire landscape. Although the positional accuracy of Google Earth Mobile depends on mobile signal quality, it proved suitable for generating interactive mapping and spatial visualization in the Khao Nam Sub Forest. The resulting map enables users to easily and clearly access tree-specific information along the nature trails, including scientific name, GBH, total height, carbon stock, and morphological images, with georeferenced positions displayed in both 2D and 3D formats. Such tools facilitate participatory learning, future research applications, and effective management of small-scale green spaces.

Conclusion: Integrating Google Earth with the LESS-FOR-01 spreadsheet proved to be an effective method for assessing and visualizing tree-level carbon storage in small green areas. The resulting interactive Tree Carbon Storage Map enhances the assessment of carbon sequestration potential at a micro-scale level and spatial-based learning while raising awareness of each tree's contribution to carbon storage in an ecosystem. This low-cost and replicable approach provides practical support for green space management, environmental education, and Thailand's pursuit of Carbon Neutrality and the Sustainable Development Goals (SDGs 13 and 15) within academic institutions and local communities.

Keywords: Google Earth, Spreadsheet, Interactive map, Tree carbon storage, Nature trail

¹ Department of Resources and Environment, Faculty of Science at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus, Chonburi Province 20230, Thailand

* **Corresponding author:** E-mail: oranut.ni@ku.th

<https://doi.org/10.34044/tferj.2025.9.2.6421>

คำนำ (Introduction)

ในปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทั่วโลก โดยเฉพาะระบบนิเวศป่าไม้ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการดูดซับและกักเก็บคาร์บอน ช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศและบรรเทาวิกฤตโลกร้อน (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021; Nowak *et al.*, 2013; Griscom *et al.*, 2017; Le Quéré *et al.*, 2019) อย่างไรก็ตาม ในเขตเมืองและพื้นที่กึ่งเมืองที่มีพื้นที่สีเขียวจำกัด และพื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก เช่น ป่าในมหาวิทยาลัย สวนสาธารณะ หรือเส้นทางศึกษาธรรมชาติ ยังคงมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับคาร์บอนและการเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อม (Chen *et al.*, 2022; Song *et al.*, 2018; Ziter *et al.*, 2019) การเพิ่มพื้นที่สีเขียวสอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDG 13 Climate Action และ SDG 15 Life on Land) และยุทธศาสตร์ Bio-Circular-Green (BCG) Economy Model ของประเทศไทย ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรอย่างสมดุลเพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมควบคู่กัน (Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (ONEP), 2021; Royal Thai Government, 2023) ในระดับประเทศ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization; TGO)) ได้พัฒนา Spreadsheet สำเร็จรูป “LESS-FOR-01”

เพื่อประเมินคาร์บอนรายต้นจากข้อมูลภาคสนาม เช่น เส้นรอบวงที่ระดับอก (GBH) และความสูง (H) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ Google Earth เพื่อสร้างแผนที่เชิงพื้นที่ที่เข้าใจง่ายและเข้าถึงได้สำหรับการจัดการทรัพยากรในชุมชนและสถาบันการศึกษา (Thailand Greenhouse Gas Management Organization, 2022; Chavan *et al.*, 2020; Thompson *et al.*, 2021)

พื้นที่ป่าเขา น้ำ ชัย นัน ทางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ได้รับอนุญาตจากกรมป่าไม้ให้ใช้ประโยชน์ป่าเพื่อดำเนินโครงการอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ครอบคลุมพื้นที่กว่า 53.2 เฮกตาร์ (332.5 ไร่) ทางวิทยาเขตได้พัฒนาเส้นทางธรรมชาติ 2 เส้นทาง คือ เส้นทางขึ้นยอดเขา และเส้นทางเชิงเขา เพื่อเป็นแหล่งเรียนรู้ระบบนิเวศและความหลากหลายทางชีวภาพ โดยมีไม้เรือนยอดพื้นถิ่นขนาดใหญ่ เช่น จี้อาย (*Terminalia nigrovenulosa* Pierre) และประดู่ป่า (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz) ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการสร้างโครงสร้างเรือนยอดดูดซับคาร์บอนระยะยาว และสะท้อนศักยภาพการฟื้นฟูป่าธรรมชาติ (Chazdon & Brancalion, 2019; Poorter *et al.*, 2021) งานวิจัยที่ผ่านมาได้ชี้ว่าพื้นที่ป่าขนาดเล็กในเขตเมืองและชุมชนสามารถกักเก็บคาร์บอนได้ในระดับใกล้เคียงกับป่าธรรมชาติ (Mokopena *et al.*, 2021; Nowak *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024) และในปัจจุบันมีการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ต่าง ๆ

โดยเฉพาะในป่าดิบเขาในประเทศไทย ซึ่งมีศักยภาพการสะสมคาร์บอนได้มากกว่า 150 ตันต่อเฮกตาร์ (Marod *et al.*, 2014) อย่างไรก็ตามมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ยังขาดข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้บริเวณเส้นทางศึกษาธรรมชาติ ซึ่งเป็นพื้นที่สีเขียวขนาดเล็ก เพื่อใช้ประกอบการจัดทำเส้นทางศึกษาธรรมชาติและเรียนรู้ทางนิเวศวิทยา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและสื่อสารข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นรายต้นในเส้นทางธรรมชาติ สำหรับใช้เป็นต้นแบบของฐานข้อมูลคาร์บอนสำหรับการจัดการพื้นที่สีเขียว และส่งเสริมบทบาทของเส้นทางศึกษาธรรมชาติ และนโยบายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon neutrality)

อุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

1. สถานที่ศึกษา (Study area)

พื้นที่ป่าเขาหน้าซั้ว ตั้งอยู่ภายในเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี มีขนาดพื้นที่ 53.2 เฮกตาร์ (หรือ 332.5 ไร่) ประกอบด้วยป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) และ ป่าผสมผลัดใบ (Mixed deciduous forest) (Thinkampheang *et al.*, 2025) ซึ่งยังคงมีความหลากหลายทางชีวภาพในระดับค่อนข้างสูง พื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาหินทรายและหินปูนสลับกัน มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางระหว่าง 50–250 เมตร มีความลาดชันปานกลางถึงสูง ภูมิอากาศจัดอยู่ในแบบมรสุมเขตร้อน

ฤดูฝนเริ่มในเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,200–1,500 มิลลิเมตรต่อปี และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี 27–30 องศาเซลเซียส (Thai Meteorological Department, 2024)

2. การเก็บข้อมูล (Data collection)

2.1 การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

คัดเลือกเส้นทางธรรมชาติ 2 เส้นทาง คือ 1) เส้นทางขึ้นยอดเขา เริ่มจากประตูทางเข้าตรงข้ามจุดชมวิวดวงจันทร์ ไปยังยอดเขาจุดสูงสุดของเขาน้ำซับ รวมระยะทาง 1.5 กิโลเมตร (Figure 1A) และ 2) เส้นทางศึกษาธรรมชาติเชิงเขา เริ่มจากถนนแยกมะขามป้อมด้านหลังหอพักนิสิต เดินตามแนวด้านหลังพื้นที่อนุรักษ์จนถึงคณะเศรษฐศาสตร์ ศรีราชา บริเวณศาลปู่พระฤๅษิตาวัว รวม 2.5 กิโลเมตร (Figure 1B) วิจัยระหว่างเดือนสิงหาคม-ตุลาคม พ.ศ. 2567

พิจารณาค้นไม้และไม้เลื้อยทุกต้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Diameter at breast height, DBH) ≥ 4.5 เซนติเมตร ทำการวัดขนาดความโต (DBH) ติดป้ายหมายเลข (Tag number) วัดความสูงรวม (Total height) ด้วยเครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ Leica DISTO™ X4 และระบุชนิดไม้และเก็บตัวอย่างชนิดที่ไม่สามารถระบุชนิดได้เพื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่หอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช โดยการระบุชื่อพรรณไม้อ้างอิงตาม Smitinand (2014) จากนั้นใช้แอปพลิเคชัน Google Earth บนโทรศัพท์มือถือที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบ

เรียลไทม์ เพื่อระบุและบันทึกตำแหน่งต้นไม้ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ WGS84 และถ่ายภาพลักษณะทางต้นฐานที่สำคัญ เช่น ลำต้น เปลือก ใบ ดอก ผล และทรงพุ่ม ข้อมูลทั้งหมดถูกบันทึกในช่องคำอธิบาย (Description) ของแต่ละจุดพิกัด

ใน Google Earth เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการสร้างแผนที่คาร์บอนเชิงโต้ตอบ (Interactive tree carbon storage map) ในการวิเคราะห์เชิงพื้นที่และการสื่อสารข้อมูล

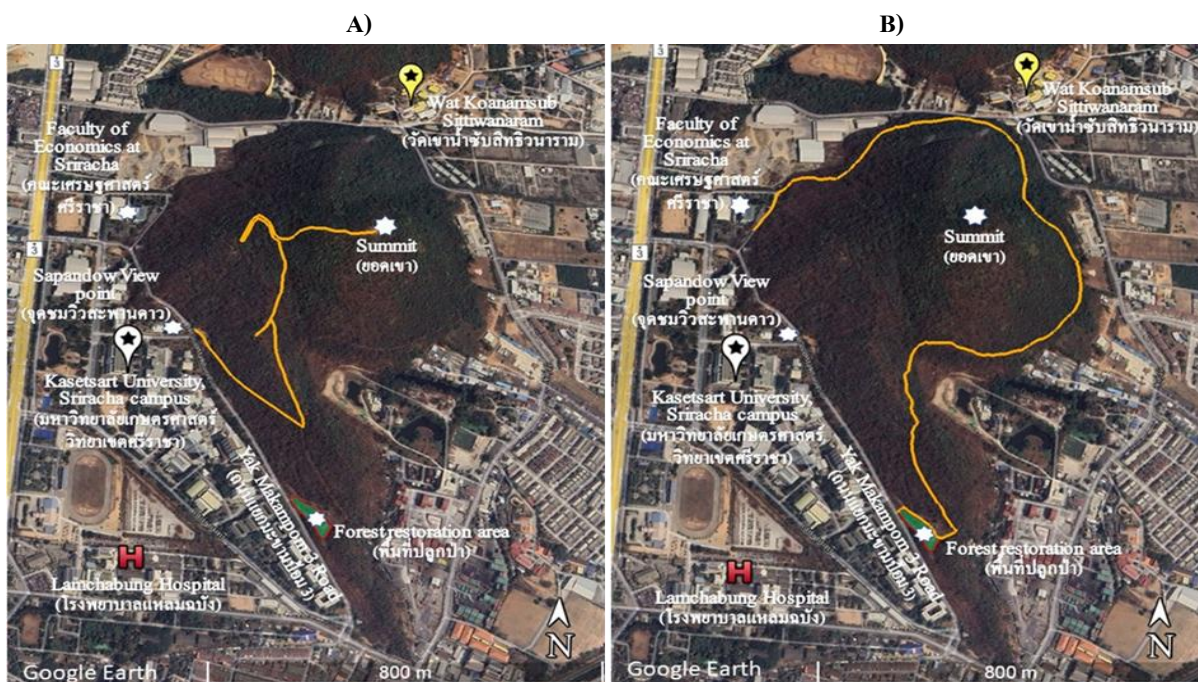


Figure 1. Nature trail routes in the Khao Nam Sub area, consisting of (A) the summit trail and (B) the foothill trail, located partially within the forest restoration area of Kasetsart University, Sriracha Campus, Chonburi Province.

3. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis)

นำข้อมูลของต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ≥ 4.5 เซนติเมตร ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และ ความสูงทั้งหมด (Total height: H) คำนวณปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้ Spreadsheet LESS-FOR-01 Version 6 (ไฟล์: LESS-FOR-01-version 06_271166.xlsx) ซึ่งพัฒนาโดย องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือน

กระจก (องค์การมหาชน) (Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization); TGO) ภายใต้โครงการสนับสนุนกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจกในภาคป่าไม้และการเกษตร (TGO, 2023) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1) การประเมินมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน

ทำการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above-ground biomass: AGB) โดยเลือกใช้

สมการแอลโลเมตรีเพื่อคำนวณหามวลชีวภาพของไม้ใหญ่ในป่าเต็งรังและป่าผสมผลัดใบ ใช้สมการของ Ogawa *et al.* (1965) ดังนี้

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

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

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

$$W_T = W_S + W_B + W_L$$

และใช้สมการของ Tsutsumi *et al.* (1983) เพื่อประเมินมวลชีวภาพไม้ในป่าดิบแล้ง ดังนี้

$$W_S = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$$

$$W_B = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$$

$$W_L = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$$

$$W_T = W_S + W_B + W_L$$

ใช้สมการของ Viriyabancha *et al.* (2011) ประเมินมวลชีวภาพในกลุ่มเถาวัลย์ ดังนี้

$$W_T = 0.8622 \times (D)^{2.0210}$$

เมื่อ W_S = มวลชีวภาพเหนือดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

การประเมินปริมาณมวลชีวภาพส่วนใต้ดิน (Belowground biomass; BGB) คำนวณจากสัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้น ดังนี้

$BGB = AGB \times \text{สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้}$

หมายเหตุ: ใช้ ค่าสัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้น ของกลุ่มพรรณไม้ทั่วไป และเถาวัลย์ เท่ากับ 27.00 (IPCC, 2006)

สัดส่วนการกักเก็บคาร์บอน (Carbon fraction: CF) ในมวลชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) ของต้นไม้ มีค่าประมาณร้อยละ 47 (IPCC, 2006) หรือ 0.47 ดังนั้น ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ คำนวณได้จาก “ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (ตัน C) = มวลชีวภาพ (ตัน) $\times$ 0.47”

การแปลงปริมาณคาร์บอนให้เป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ต้นไม้ดูดซับ (CO_2 sequestration) จำเป็นต้องใช้อัตราส่วนมวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคาร์บอน (เท่ากับ 44/12) โดยคำนวณได้จาก “ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอน) $\times$ (44/12)”

3.2) การวิเคราะห์การกระจายขนาดลำต้น (DBH size-class distribution)

จัดชั้นขนาด DBH เริ่มจาก 4.5 ซม. โดยแบ่งช่วงเท่า ๆ กัน (เช่น 4.5–10, 10–20, 20–30, ...) เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการสืบต่อพันธุ์ (Regeneration pattern) ว่ามีการกระจายเป็นรูปแบบใด รวมถึงเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางขึ้นยอดเขา และ เส้นทางเชิงเขา

3.3) การวิเคราะห์ทางสถิติ

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย DBH, ความสูง (H), มวลชีวภาพเหนือดิน (AGB), มวลชีวภาพใต้ดิน (BGB), คาร์บอน (C) และ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) ระหว่างสองเส้นทาง ด้วย Independent samples t-test และ รายงานค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean $\pm$ SD) ของแต่ละตัวแปร โดยใช้โปรแกรม SPSS Statistics version 26.0 (Field, 2013)

3.4) การจัดทำแผนที่การกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นรายต้น โดยประยุกต์ใช้ Google Earth และ Spreadsheet LESS-FOR-01

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนรายต้นดำเนินการโดยใช้ Spreadsheet LESS-FOR-01 Version 6 ซึ่งพัฒนาโดย องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) โดยนำข้อมูลของไม้ต้นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตร และข้อมูลชนิดไม้ ได้แก่ ชื่อวิทยาศาสตร์ ชื่อสามัญ และภาพถ่ายลักษณะทางต้นฐานวิทยา เพื่อกำหนดมวลชีวภาพเหนือดิน (AGB) โดยเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีให้สอดคล้องกับชนิดป่า โดยใช้ตาม Ogawa *et al.* (1965) สำหรับป่าผสมผลัดใบ และ Tsutsumi *et al.* (1983) สำหรับป่าดิบแล้ง รวมถึงใช้สมการของ Viriyabancha *et al.* (2011) สำหรับเถาวัลย์ จากนั้นคำนวณมวลชีวภาพใต้ดิน (BGB) โดยใช้อัตราส่วนรากต่อลำต้นที่แนะนำโดย Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) ส่วนปริมาณคาร์บอนสะสม

(Carbon stock) คำนวณจากมวลชีวภาพรวมคูณด้วยค่า Carbon fraction (CF) = 0.47 ตามแนวทางของ IPCC และแปลงเป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO_2e) ด้วยอัตราส่วนมวลโมเลกุล 44/12

ข้อมูลผลการคำนวณถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบในแอปพลิเคชัน Google Earth เพื่อสร้าง “แผนที่การกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นรายต้น (Tree carbon storage map)” โดยระบุตำแหน่งต้นไม้แต่ละต้นด้วยหมุด และเพิ่มรายละเอียดในช่องคำอธิบายของชนิดไม้แต่ละต้นดังที่กล่าวมาแล้ว เพื่อสร้างแผนที่ซึ่งถูกออกแบบเป็นระบบเชิงโต้ตอบ (Interactive map) ที่แสดงผลทั้ง สองมิติ (2D) และ สามมิติ (3D) ผู้ใช้สามารถคลิกดูข้อมูลของต้นไม้แต่ละต้นเพื่อเข้าถึงรายละเอียดเชิงพื้นที่และค่าคาร์บอนแบบเรียลไทม์ ก่อนเผยแพร่ข้อมูลได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งพิกัดและข้อมูลประกอบ โดยเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามและการตรวจสอบบนอุปกรณ์พกพา เพื่อยืนยันความสอดคล้องกับสภาพจริงในพื้นที่

ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

1. ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นริมเส้นทางเดินศึกษาธรรมชาติ

จากการสำรวจไม้ต้นและไม้เลื้อยตลอดเส้นทางศึกษาธรรมชาติเขาน้ำซับมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี พบไม้ต้นรวมทั้งหมด 467 ลำต้น

ครอบคลุม 70 ชนิด 59 สกุล 33 วงศ์ และมีไม้เลื้อย 1 ชนิด คือ กระไดลิง (*Lasiobema scandens* (L.) de Wit) พรรณไม้เด่นส่วนใหญ่เป็นไม้พื้นถิ่นของป่าดิบแล้งและป่าผสมผลัดใบ เช่น จี้อ้าย ประดู่ป่าเขลง (*Dialium cochinchinense* Pierre) สวอง (*Vitex limonifolia* Wall. ex Walp.) ลำตาควาย (*Diospyros coactanea* H. R. Fletcher) กูก (*Lannea coromandelica* (Houtt.) Merr.) จีวป่า (*Bombax anceps* Pierre) ปอแก่นเทา (*Grewia eriocarpa* Juss.) มะนาวผี (*Atalantia monophylla* (L.) DC.) และมะกอกป่า (*Spondias pinnata* (L.f.) Kurz) เป็นต้น ไม้ที่สำรวจทั้งหมดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 15.40 ± 8.00 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 8.76 ± 4.21 เมตร แสดงถึงโครงสร้างป่าที่กำลังฟื้นฟู โดยมีทั้งไม้ขนาดเล็กที่กำลังเติบโตและไม้ขนาดใหญ่ขึ้นร่วมกัน มีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 61.55 ตัน แบ่งเป็นมวลชีวภาพเหนือดิน (AGB) 48.47 ตัน และใต้ดิน (BGB) 13.09 ตัน คิดเป็นปริมาณคาร์บอนสะสมรวม 28.93 ตัน คาร์บอน หรือ 106.07 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Table 1)

เมื่อพิจารณาแยกตามเส้นทาง พบว่าเส้นทางขึ้นยอดเขา มีจำนวนต้นไม้มากที่สุด คือ 321 ลำต้น ครอบคลุม 48 ชนิด 42 สกุล 28 วงศ์ และมีไม้เลื้อย 1 ชนิด คือกระไดลิง ชนิดไม้เด่นได้แก่ จี้อ้าย เขลง ประดู่ป่า สวอง ลำตาควาย กระเบาหลัก (*Hydnocarpus ilicifolia* King) กัดลิ้น (*Walsura trichostemon* Miq.) กูก มะนาวผี และกระเจียน (*Hubera cerasoides* (Roxb.)

Chaowasku) ชนิดไม้ในเส้นทางนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 14.37 ± 7.47 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 7.89 ± 2.45 เมตร มีมวลชีวภาพรวม 31.51 ตัน (AGB = 24.81 ตัน และ BGB = 6.70 ตัน) คาร์บอนสะสม 14.81 ตันคาร์บอน และ 54.29 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ชนิดไม้ที่มีขนาดเฉลี่ยใหญ่ที่สุดในเส้นทางนี้คือ จี้อ้าย มีขนาด DBH เฉลี่ย 33.20 ± 6.45 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 18.60 ± 3.50 เมตร ดังนั้น จี้อ้าย จึงเป็นไม้พื้นถิ่นสำคัญที่ช่วยสร้างเรือนยอดและกักเก็บคาร์บอนได้อย่างมีนัยสำคัญในพื้นที่ (Table 2)

เส้นทางเชิงเขา พบไม้ต้นรวม 146 ลำต้น ครอบคลุม 52 ชนิด 48 สกุล 25 วงศ์ และมีไม้เลื้อย 1 ชนิด คือกระไดลิง พรรณไม้เด่น ได้แก่ ประดู่ป่า ลำตาควาย จี้อ้าย จีวป่า ปอแก่นเทา มะกอกเกลื่อน (*Canarium subulatum* Guillaumin) พฤษ์ (*Albizia lebbek* (L.) Benth.) สวอง กูก และมะกอกป่า ชนิดไม้ในเส้นทางนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 17.87 ± 8.16 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 10.65 ± 5.04 เมตร มีมวลชีวภาพรวม 30.06 ตัน (AGB = 23.66 ตัน, BGB = 6.39 ตัน) คาร์บอนสะสม 14.12 ตันคาร์บอน หรือ 51.78 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า โดยไม้ที่มีขนาดเฉลี่ยใหญ่ที่สุดคือ ประดู่ป่า ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย 42.50 ± 9.32 เซนติเมตร และความสูงเฉลี่ย 20.40 ± 4.25 เมตร จึงถือเป็นไม้พื้นถิ่นที่มีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ (Table 3)

Table 1. Biomass and carbon sequestration of tree species along the nature trails in the Khao Nam Sub Conservation Area, Kasetsart University Sriracha Campus.

Scientific Name	Family	Number of trees	Mean DBH (cm)	Mean Tree Height (m)	Above-Ground Biomass (WT) (t)	Below-Ground Biomass (t)	Biomass (t)	Carbon Storage (tC)	Sequestered CO ₂ (tCO ₂ e)
<i>Terminalia nigrovenulosa</i> Pierre	Combretaceae	44.00	21.48	11.19	8.92	2.41	11.32	5.32	19.51
<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Fabaceae	25.00	22.43	11.62	7.39	2.00	9.39	4.41	16.17
<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre	Fabaceae	19.00	16.60	11.00	2.49	0.67	3.16	1.48	5.44
<i>Vitex limonifolia</i> Wall. ex Walp.	Lamiaceae	25.00	17.43	8.57	2.20	0.59	2.79	1.31	4.81
<i>Diospyros coactanea</i> H. R. Fletcher	Ebenaceae	16.00	18.49	10.52	2.18	0.59	2.77	1.30	4.77
<i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.	Anacardiaceae	40.00	13.11	8.10	1.99	0.54	2.53	1.19	4.36
<i>Bombax anceps</i> Pierre	Malvaceae	12.00	19.86	8.91	1.93	0.52	2.45	1.15	4.22
<i>Grewia eriocarpa</i> Juss.	Malvaceae	23.00	15.39	8.31	1.57	0.42	1.99	0.94	3.43
<i>Atalantia monophylla</i> (L.) DC.	Rutaceae	16.00	15.32	7.40	1.34	0.36	1.70	0.80	2.93
<i>Spondias pinnata</i> (L.f.) Kurz.	Anacardiaceae	9.00	17.64	10.36	1.32	0.36	1.68	0.79	2.90
<i>Lasiobema scandens</i> (L.) de Wit.	Fabaceae	6.00	13.05	-	1.22	0.33	1.55	0.73	2.66
<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	Burseraceae	3.00	26.52	13.60	1.14	0.31	1.45	0.68	2.51
<i>Wrightia arborea</i> (Dennst.) Mabb.	Apocynaceae	6.00	21.27	11.36	1.01	0.27	1.28	0.60	2.21
<i>Pterospermum grandiflorum</i> Craib	Malvaceae	2.00	28.99	16.40	0.84	0.23	1.07	0.50	1.84
<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth.	Fabaceae	1.00	33.92	28.30	0.81	0.22	1.03	0.49	1.78
<i>Lagerstroemia floribunda</i> Jack var. <i>floribunda</i>	Lythraceae	5.00	18.96	11.92	0.78	0.21	0.99	0.47	1.71
<i>Cordia cochinchinensis</i> Pierre.	Boraginaceae	1.00	33.73	25.00	0.72	0.19	0.91	0.43	1.57
<i>Garuga pinnata</i> Roxb.	Burseraceae	5.00	18.54	9.72	0.69	0.19	0.87	0.41	1.50
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss. var. <i>siamensis</i> Valetton.	Meliaceae	1.00	49.00	10.70	0.65	0.18	0.83	0.39	1.43
<i>Hubera cerasoides</i> (Roxb.) Chaowasku	Annonaceae	18.00	10.62	7.66	0.61	0.16	0.77	0.36	1.33
Other 50 species		190.00	12.81	7.34	8.68	2.34	11.02	5.18	19.00
Total		467.00	15.40±8.00	8.76±4.21	48.47	13.09	61.55	28.93	106.07

Table 2. Biomass and carbon sequestration of tree species along the summit nature trail in the Khao Nam Sub Conservation Area.

Scientific Name	Family	Number of trees	Mean DBH (cm)	Mean Tree Height (m)	Above-Ground Biomass (WT) (t)	Below-Ground Biomass (t)	Biomass (t)	Carbon Storage (tC)	Sequestered CO ₂ (tCO ₂ e)
<i>Terminalia nigrovenulosa</i> Pierre	Combretaceae	37	21.51	10.77	7.56	2.04	9.60	4.51	16.54
<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre	Fabaceae	16	16.27	10.26	2.01	0.54	2.55	1.20	4.40
<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz	Fabaceae	18	17.94	9.27	1.80	0.49	2.29	1.07	3.94
<i>Vitex limonifolia</i> Wall. ex Walp.	Lamiaceae	19	17.42	8.05	1.58	0.43	2.01	0.94	3.46
<i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.	Anacardiaceae	35	12.71	7.56	1.50	0.41	1.91	0.90	3.29
<i>Atalantia monophylla</i> (L.) DC.	Rutaceae	13	16.69	6.76	1.25	0.34	1.58	0.74	2.73
<i>Spondias pinnata</i> (L.f.) Kurz.	Anacardiaceae	8	16.53	10.03	1.08	0.29	1.37	0.64	2.36
<i>Bombax anceps</i> Pierre	Malvaceae	8	17.92	8.04	0.77	0.21	0.98	0.46	1.69
<i>Grewia eriocarpa</i> Juss.	Malvaceae	13	14.80	7.56	0.76	0.20	0.96	0.45	1.66
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss. var. <i>siamensis</i> Valetton.	Meliaceae	1	49.00	10.70	0.65	0.18	0.83	0.39	1.43
<i>Hubera cerasoides</i> (Roxb.) Chaowasku	Annonaceae	17	10.87	7.70	0.60	0.16	0.76	0.36	1.31
<i>Lasiobema scandens</i> (L.) de Wit.	Fabaceae	5	10.25	-	0.54	0.15	0.69	0.32	1.18
<i>Cratoxylum cochinchinense</i> (Lour.) Blume	Hypericaceae	11	12.13	7.26	0.50	0.14	0.64	0.30	1.11
<i>Tamarindus indica</i> L.	Leguminosae	2	29.99	8.45	0.46	0.12	0.58	0.27	1.00
<i>Microcos tomentosa</i> Sm.	Malvaceae	10	10.36	8.01	0.35	0.09	0.44	0.21	0.76
<i>Diospyros coactanea</i> H. R. Fletcher	Ebenaceae	7	13.46	8.08	0.34	0.09	0.43	0.20	0.74
<i>Lagerstroemia cochinchinensis</i> Pierre.	Lythraceae	6	11.19	8.88	0.33	0.09	0.42	0.20	0.72
<i>Lagerstroemia duperreana</i> Pierre ex Gagnep. var. <i>duperreana</i>	Lythraceae	7	12.65	6.49	0.30	0.08	0.38	0.18	0.65
<i>Diospyros malabarica</i> (Desr.) Kostel. var. <i>malabarica</i>	Ebenaceae	7	12.85	6.02	0.23	0.06	0.30	0.14	0.51
<i>Wrightia arborea</i> (Dennst.) Mabb.	Apocynaceae	1	29.75	9.20	0.22	0.06	0.28	0.13	0.48
Other 28 species		80.00	15.21	8.97	1.98	0.53	2.51	1.18	4.33
Total		321.00	14.27±7.47	7.89±2.45	24.81	6.70	31.50	14.81	54.29

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลเชิงโครงสร้างและศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนระหว่างสองเส้นทาง พบว่าเส้นทางเชิงเขามีค่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย (DBH) ความสูง (Height) มวลชีวภาพเหนือดิน (AGB) มวลชีวภาพใต้ดิน (BGB) คาร์บอนสะสม และค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เฉลี่ยต่อหนึ่งต้นสูงกว่าเส้นทางขึ้นยอดเขาอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.001$) ในขณะที่เส้นทางขึ้นยอดเขามีจำนวนต้นและความหนาแน่นสูงกว่า แต่ต้นมีขนาดเล็กกว่า

ผลการทดสอบทางสถิติด้วย Independent samples t-test แสดงให้เห็นว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เฉลี่ย ($t = -4.88, p < 0.001$) ความสูงเฉลี่ย ($t = -6.03, p < 0.001$) AGB ($t = -4.27, p < 0.001$) BGB ($t = -4.18, p < 0.001$) ปริมาณคาร์บอน ($t = -4.36, p < 0.001$) และค่าคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($t = -4.36, p < 0.001$) ของเส้นทางเชิงเขาสูงกว่าอย่างชัดเจน แสดงว่าเส้นทางเชิงเขาอยู่ในระยะฟื้นตัวไปสู่โครงสร้างป่าไม้ใหญ่และเรือนยอดที่หนาแน่นมากขึ้น ขณะที่เส้นทางขึ้นยอดเขายังอยู่ในระยะฟื้นฟูที่มีไม้ขนาดเล็กถึงขนาดกลางอยู่มาก แต่มีการสืบต่อพันธุ์ใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง

พื้นที่ศึกษามีองค์ประกอบพรรณไม้ที่หลากหลายของป่าดิบแล้งและป่าผสมผลัดใบทางชายฝั่งภาคตะวันออกของประเทศไทย การที่พบพรรณไม้มากถึง 70 ชนิด 59 สกุล และ 33 วงศ์ภายในพื้นที่ค่อนข้างจำกัด สะท้อนถึงความสมบูรณ์ของโครงสร้างพรรณไม้และความ

เหมาะสมของสภาพแวดล้อมในท้องถิ่นที่เหมาะสมสำหรับความหลากหลายทางชีวภาพ) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า ความหลากหลายทางชีวภาพมีบทบาทสำคัญต่อความเสถียรและหน้าที่ของระบบนิเวศ รวมถึงศักยภาพการกักเก็บคาร์บอน (Cardinale *et al.*, 2012; Chazdon, 2014) การที่พื้นที่นี้ยังสามารถรองรับชนิดไม้เด่นของป่าธรรมชาติ เช่น จี๋อาย ประดู่ป่า สวอง และ เขลง ซึ่งเป็นชนิดไม้เด่นที่พบในป่าดิบแล้ง (Marod *et al.*, 2018) แสดงให้เห็นถึงกระบวนการฟื้นฟูที่มีแนวโน้มคืนโครงสร้างป่าดั้งเดิมได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างเส้นทางศึกษาธรรมชาติทั้งสอง พบความแตกต่างที่สะท้อน ระยะการฟื้นตัวของป่า (Successional stage) ได้ชัดเจน โดยเส้นทางขึ้นยอดเขามีจำนวนต้นไม้มากกว่า (321 ลำต้น) แต่มีขนาดเล็กกว่า (เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เฉลี่ย 14.37 ± 7.47 เซนติเมตร ความสูง 7.89 ± 2.45 เมตร) บ่งชี้ถึงระยะการฟื้นตัวช่วงแรก (Early successional phase) ที่มีไม้ขนาดเล็กและการสืบต่อของต้นรุ่นใหม่จำนวนมาก ขณะที่เส้นทางเชิงเขา มีจำนวนลำต้นน้อยกว่า (146 ลำต้น) แต่มีขนาดใหญ่กว่าอย่างมีนัยสำคัญ (DBH เฉลี่ย 17.87 ± 8.16 เซนติเมตร; ความสูง 10.65 ± 5.04 เมตร) และมีมวลชีวภาพต่อต้นสูงกว่า ทั้งมวลชีวภาพเหนือดิน (AGB) และมวลชีวภาพใต้ดิน (BGB) มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$)

Table 3. Biomass and carbon sequestration of tree species along the foothill nature trail in the Khao Nam Sab Conservation Area.

Scientific Name	Family	Number of trees	Mean DBH (cm)	Mean Tree Height (m)	Above-Ground Biomass (WT) (t)	Below-Ground Biomass (t)	Biomass (t)	Carbon Storage (tC)	Sequestered CO ₂ (tCO ₂ e)
<i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz.	Fabaceae	7.00	33.97	17.68	5.59	1.51	7.10	3.34	12.24
<i>Diospyros coaetanea</i> H. R. Fletcher	Ebenaceae	9.00	22.41	12.42	1.84	0.50	2.34	1.10	4.03
<i>Terminalia nigrovenulosa</i> Pierre	Combretaceae	7.00	21.32	13.42	1.36	0.37	1.72	0.81	2.97
<i>Bombax anceps</i> Pierre	Malvaceae	4.00	23.74	10.64	1.15	0.31	1.47	0.69	2.53
<i>Canarium subulatum</i> Guillaumin	Burseraceae	3.00	26.52	13.60	1.14	0.31	1.45	0.68	2.51
<i>Pterospermum grandiflorum</i> Craib	Malvaceae	2.00	28.99	16.40	0.84	0.23	1.07	0.50	1.84
<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth.	Fabaceae	1.00	33.92	28.30	0.81	0.22	1.03	0.49	1.78
<i>Grewia eriocarpa</i> Juss.	Malvaceae	10.00	16.17	9.28	0.81	0.22	1.03	0.48	1.77
<i>Wrightia arborea</i> (Dennst.) Mabb.	Apocynaceae	5.00	19.57	11.79	0.79	0.21	1.00	0.47	1.73
<i>Lagerstroemia floribunda</i> Jack var. <i>floribunda</i>	Lythraceae	5.00	18.96	11.92	0.78	0.21	0.99	0.47	1.71
<i>Cordia cochinchinensis</i> Pierre.	Boraginaceae	1.00	33.73	25.00	0.72	0.19	0.91	0.43	1.57
<i>Lasiobema scandens</i> (L.) de Wit.	Fabaceae	1.00	27.05	-	0.68	0.18	0.86	0.40	1.48
<i>Garuga pinnata</i> Roxb.	Burseraceae	4.00	20.24	10.23	0.65	0.18	0.83	0.39	1.43
<i>Vitex limonifolia</i> Wall. ex Walp.	Lamiaceae	6.00	17.44	10.21	0.62	0.17	0.79	0.37	1.36
<i>Dalbergia cochinchinensis</i> Pierre	Fabaceae	3.00	23.70	11.40	0.52	0.14	0.65	0.31	1.13
<i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr.	Anacardiaceae	5.00	15.88	11.87	0.49	0.13	0.62	0.29	1.07
<i>Dialium cochinchinense</i> Pierre	Fabaceae	3.00	18.36	14.90	0.47	0.13	0.60	0.28	1.04
<i>Lagerstroemia loudonii</i> Teijsm. & Binn.	Lythraceae	4.00	17.94	10.99	0.41	0.11	0.52	0.24	0.89
<i>Streblus asper</i> Lour.	Moraceae	4.00	19.35	6.88	0.38	0.10	0.48	0.23	0.83
<i>Mallotus philippensis</i> (Lam.) Müll. Arg.	Euphorbiaceae	7.00	12.77	9.86	0.36	0.10	0.45	0.21	0.78
Other 35 species		55.00	13.47	8.19	3.25	0.88	4.13	1.94	7.12
Total		146.00	17.87±8.16	10.65±5.04	23.66	6.39	30.05	14.12	51.78

สะท้อนการพัฒนาไปสู่ป่าระยะกลางถึงระยะเปลี่ยนผ่าน ซึ่งมีโครงสร้างไม้ใหญ่และเรือนยอดซับซ้อนมากขึ้น สอดคล้องกับแนวคิดของ Poorter *et al.* (2016) ที่ระบุว่า การกักเก็บคาร์บอนมีความสัมพันธ์กับขนาดต้นไม้มากกว่าจำนวนต้นไม้ ค่าการกักเก็บคาร์บอนรวมของพื้นที่ศึกษานี้เท่ากับ 28.93 ตันคาร์บอน หรือ 106.07 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ซึ่งต่ำกว่าค่าที่รายงานโดย Thinkampheang *et al.* (2025) ที่ศึกษาในป่าดิบแล้งบริเวณเดียวกัน (209.18 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์) ความแตกต่างนี้ส่วนหนึ่งมาจากวิธีการสำรวจที่เน้นเฉพาะแนวเส้นทางศึกษาธรรมชาติ ซึ่งมีความกว้างจำกัดและไม่ได้ครอบคลุมพื้นที่ป่าทั้งหมด

การกระจายชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นทางขึ้นยอดเขามีลักษณะเป็น Reverse J-shaped แสดงถึงการงอกใหม่และไม้ขนาดเล็กจำนวนมาก ส่วนเส้นทางเชิงเขามีลักษณะทรงระฆังคว่ำ (Bell-shaped) แสดงถึงโครงสร้างป่าที่มีไม้ขนาดใหญ่เป็นสัดส่วนที่ไม่สม่ำเสมอ การกระจายของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ปกติ อาจเนื่องมาจากการรบกวนจากการใช้ประโยชน์ของพื้นที่ในอดีต โดยพบไม้ขนาดใหญ่เด่น เช่น ประดู่ป่า ในเส้นทางเชิงเขา (DBH เฉลี่ย 30.2 ± 6.1 เซนติเมตร; ความสูง 16.4 ± 3.8 เมตร) และ จี้อ้าย ในเส้นทางขึ้นยอดเขา (DBH เฉลี่ย 24.7 ± 5.2 เซนติเมตร; ความสูง 14.1 ± 2.9 เมตร)

นอกจากนี้ การบูรณาการข้อมูลมวลชีวภาพและคาร์บอนรายต้นกับเทคโนโลยีภูมิ

สารสนเทศคือ Google Earth ในการสร้างแผนที่การกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นรายต้น ช่วยเพิ่มศักยภาพในการสื่อสารข้อมูลเชิงพื้นที่และสนับสนุนการเรียนรู้ด้านสิ่งแวดล้อมในสถาบันการศึกษาและชุมชน การนำเสนอข้อมูลเชิงโต้ตอบแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงรายละเอียดเชิงพื้นที่ได้ง่ายและเพิ่มความเข้าใจเชิงลึกต่อการกักเก็บคาร์บอนรายต้น สอดคล้องกับ Nowak *et al.* (2013) ที่ระบุว่า การใช้ข้อมูลคาร์บอนของต้นไม้รายต้นร่วมกับเทคโนโลยีออนไลน์ช่วยเพิ่มการตระหนักรู้ต่อระบบนิเวศบริการของประเทศไทยที่เน้นการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนควบคู่กับการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ONEP, 2021) รวมถึงการติดตามป่าไม้ด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล (FAO, 2022; Kumar *et al.*, 2023)

2. แผนที่ออนไลน์การกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Tree carbon storage map)

ได้จัดทำแผนที่การกักเก็บคาร์บอนของไม้ต้นตามเส้นทางเดินธรรมชาติทั้งสองเส้นทางในพื้นที่ป่าเขาน้ำซับ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา โดยบันทึกพิกัดตำแหน่งไม้ต้นทุกต้นที่มีการติดป้ายหมายเลข อย่างเป็นระบบผ่านแอปพลิเคชัน Google Earth ทำให้สามารถจัดการข้อมูลทั้งด้านตำแหน่งทางภูมิศาสตร์และข้อมูลพฤกษศาสตร์ของไม้ต้นรายต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม้ต้นแต่ละต้นถูกระบุตำแหน่งด้วยสัญลักษณ์หมุดสีฟ้า พร้อมชื่อชนิดไม้และ

หมายเลขต้นไม้ในมุมมองภาพถ่ายดาวเทียมแบบ 2 มิติ (Figure 2A and 2B) บริเวณที่ต้นไม้อยู่ใกล้กันหรือกระจุกตัว หมุดอาจซ้อนทับกัน ผู้ใช้สามารถปรับขยาย (Zoom in/out) หรือเปลี่ยนเป็นมุมมอง 3 มิติ (3D fly-through) เพื่อสำรวจภูมิประเทศแบบ 360 องศาเพิ่มความแม่นยำในการระบุต้นไม้ในพื้นที่ลาดชัน (Figure 2C and 2D) ข้อมูลที่แสดงภายในคำอธิบายของหมุดแต่ละต้นไม้ ผู้ใช้สามารถเชื่อมโยงไปยังฐานข้อมูลออนไลน์ เช่น Tropicos, POWO หรือ ThaiPlants เพื่อศึกษาข้อมูลชนิดไม้เพิ่มเติมได้

ผลการสำรวจพบว่าเส้นทางเชิงเขา มีต้นไม้ขนาดใหญ่และกักเก็บคาร์บอนได้มากกว่า โดยเฉพาะ ประดู่ป่า (มีค่าเฉลี่ย DBH 42.1 ± 5.6 เซนติเมตร และความสูง 18.3 ± 3.4 เมตร) กักเก็บคาร์บอนได้สูงสุด 1.24 ตันคาร์บอน/ต้น (4.55 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า) ขณะที่ เส้นทางขึ้นยอดเขา พบ จี้อ้าย เป็นไม้ที่มี DBH ใหญ่ที่สุด (36.7 ± 4.8 เซนติเมตร; สูง 15.9 ± 2.8 เมตร) กักเก็บคาร์บอนเฉลี่ย 0.98 ตันคาร์บอน/ต้น (3.59 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

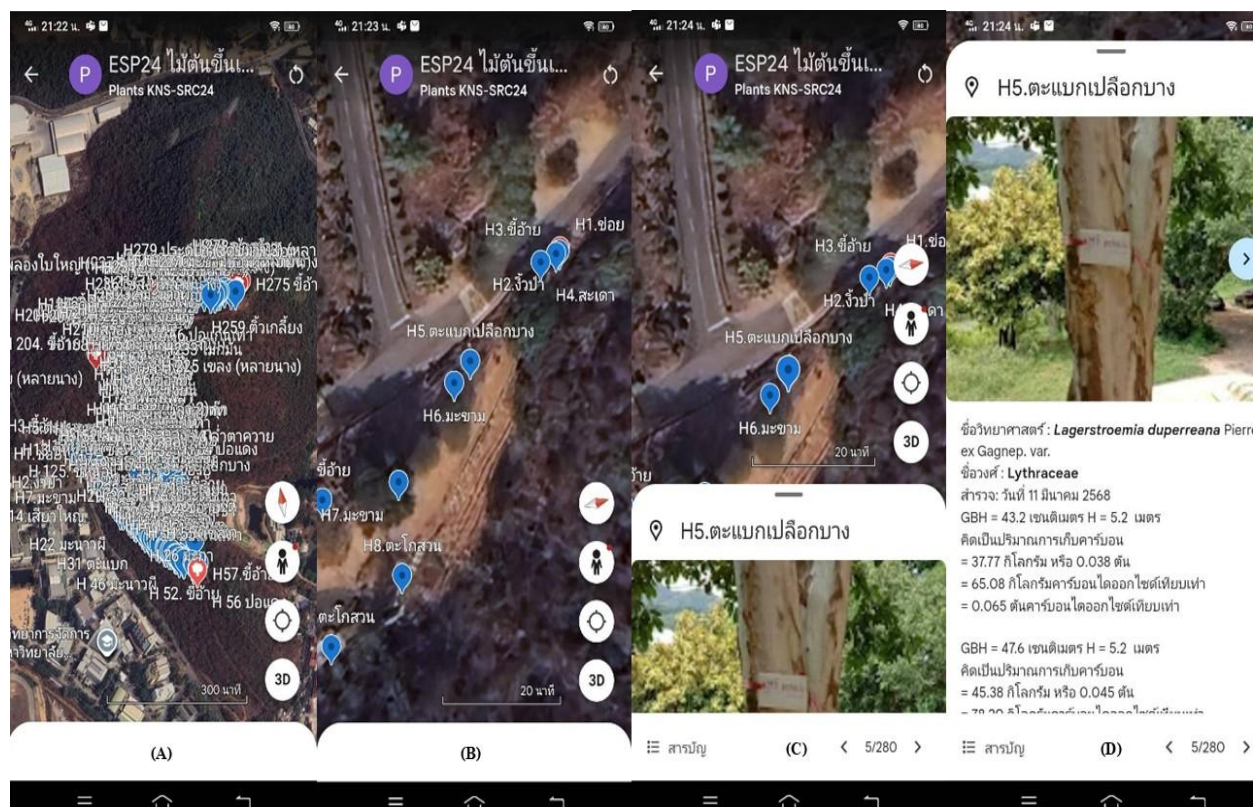


Figure 2. Mobile interface view when tapping Tag no. H5 *Lagerstroemia duperreana* on the Google Earth map of the summit trail, shown from a visitor's perspective. A) Overview tree mapping on mobile screen, B) view when zooming to an interesting location, C) view when tapping Tag no. H5 and D) view when swiping up mobile screen to show Tag no. H5 information

การระบุตำแหน่งไม้เด่นผ่านแผนที่เชิงโต้ตอบนี้ช่วยให้สามารถจัดลำดับความสำคัญในการอนุรักษ์และบริหารจัดการพื้นที่สีเขียวได้อย่างแม่นยำ เทคโนโลยี Google Earth แสดงศักยภาพสูงในการผสานข้อมูลมวลชีวภาพรายต้นกับภูมิสารสนเทศ ทำให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้งานง่าย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Deng *et al.* (2021) ที่ยืนยันว่า Google Earth Pro ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการจัดการพื้นที่สีเขียวและฐานข้อมูลพืชพรรณในเขตเมือง และสามารถประยุกต์ใช้กับพื้นที่อนุรักษ์ขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจัดทำแผนที่เชิงโต้ตอบยังสนับสนุนการเรียนรู้เชิงพื้นที่ตามแนวทางของ Nowak *et al.* (2013) ช่วยให้ผู้ใช้ตระหนักถึงบทบาทของต้นไม้ในการดูดซับคาร์บอนได้อย่างเป็นรูปธรรม รวมถึงสนับสนุนงานวิจัยที่ชี้ว่าพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กสามารถมีบทบาทสำคัญต่อการดูดซับคาร์บอนในระดับชุมชน (Mokopena *et al.*, 2021)

อย่างไรก็ตาม การใช้ Google Earth ในการจัดทำแผนที่อาจมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำของพิกัดในกรณีที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร หรือสภาพอากาศมีฝนตกและเมฆหนาแน่น ซึ่งอาจส่งผลต่อความถูกต้องของตำแหน่งที่บันทึก (IPCC, 2021) จึงควรมีการตรวจสอบภาคสนามอย่างสม่ำเสมอเพื่อปรับปรุงข้อมูลให้สอดคล้องกับสภาพจริง และสามารถต่อยอดไปสู่การ

ติดตามชนิดไม้ต่างถิ่นรุกราน ด้วยการประยุกต์กับระบบเครือข่ายดิจิทัล (Chuanpeng *et al.*, 2024)

สรุป (Conclusion)

ศักยภาพของพื้นที่สีเขียวขนาดเล็กมีส่วนช่วยในการสนับสนุนการกักเก็บคาร์บอนและการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ โดยพื้นที่เขาน้ำซับมีความหลากหลายชนิดไม้สูง สะท้อนถึงความสมบูรณ์ในการฟื้นตัวเชิงนิเวศ ผลการเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางศึกษาธรรมชาติแสดงให้เห็นถึงระยะการฟื้นตัวป่าที่แตกต่างกัน โดยเส้นทางขึ้นยอดเขามีไม้ขนาดเล็กหนาแน่น ขณะที่เส้นทางเชิงเขามีโครงสร้างไม้ใหญ่และเรือนยอดที่พัฒนามากขึ้น สะท้อนถึงศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนที่สูงขึ้นแม้จำนวนต้นจะน้อยกว่า ส่วนการบูรณาการข้อมูลภาคสนามกับเครื่องมือภูมิสารสนเทศ เพื่อสร้างแผนที่การกักเก็บคาร์บอนรายต้นนับเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการจัดเก็บ วิเคราะห์ และนำเสนอข้อมูลคาร์บอนในรูปแบบเชิงพื้นที่ที่เข้าถึงได้ง่ายและเข้าใจได้ทันที ทำให้การบริหารจัดการพื้นที่สีเขียว และการสื่อสารด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง (References)

- Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, & S. Naeem. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486(7401): 59–67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

- Chavan, S. B., A. Keerthika, S. K. Dhyani, A. K. Handa, R. Newaj, K. Rajarajan, & R. Prasad. 2020. National agroforestry policy in India: A low hanging fruit for carbon sequestration to meet INDCs and SDGs. **Environmental Sustainability** 3(1): 5–17. <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00094-1>
- Chazdon, R. L. & P. H. S. Brancalion. 2019. Restoring forests as a means to many ends. **Science** 365(6448): 24–25. <https://doi.org/10.1126/science.aax9539>
- Chazdon, R. L. 2014. **Second growth: The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation**. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Chen, B., M. Artmann & Q. Zhou. 2022. Contrasting inequality in human exposure to greenspace: A cross-continental analysis of 1,028 cities. **Nature Communications** 13: 32258. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32258-4>
- Chuanpeng, L., Y. Zhang, X. Wei & C. Huang. 2024. Deep learning-based tree species identification and mapping for biodiversity monitoring using high-resolution remote sensing. **Ecological Indicators** 160: 112114. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.112114>
- Deng, C., C. Wu, J. Li, R. Chen, L. Wang & G. Li. 2021. Integration of Google Earth Pro and field inventory for efficient urban green space mapping and management. **Urban Forestry & Urban Greening** 61: 127103. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127103>
- FAO. 2022. **State of the World's Forests 2022: Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available source: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/70248d2a-4340-4b7a-983a-8eea18a575a6/content> (Access: July 10, 2025)
- Field, A. 2013. **Discovering statistics using IBM SPSS statistics**. 4th ed. London: SAGE.
- Griscom, B. W., J. Adams, P. W. Ellis, R. A. Houghton, G. Lomax, D. A. Miteva, & J. Fargione. 2017. Natural climate solutions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 114(44): 11645–11650. <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4:**

- Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU).** Hayama, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Available source: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html> (Accessed: July 10, 2025)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2021. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: Cambridge University Press. Available source: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf (Accessed: July 10, 2025)
- Kumar, P., K. Okabe, J. M. Tylianakis, E. G. Bockerhoff, N. A. Schellhorn & T. Takahashi. 2023. Digital forest monitoring for climate-smart forestry and biodiversity conservation. **Forest Ecology and Management** 543: 121139. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121139>
- Le Quéré, C., P. Friedlingstein, J. G. Canadell, S. Sitch, J. Pongratz, P. Ciais, & D. Zhu. 2019. Global carbon budget 2018. **Earth System Science Data** 11: 1783–1838. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>
- Marod, D., S. Sangkaew, A. Panmongkol & A. Jingjai. 2014. Influences of environmental factors on tree distribution of lower montane evergreen forest at Doi Sutep-Pui National Park, Chiang Mai Province. **Thai Journal of Forestry** 33(3): 23–33. (in Thai). <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/tjf/article/view/255453>
- Marod, D., S. Thinkamphaeng, J. Thongsawi, W. Phumphuang, T. Kokoet, S. Hermhuk & A. Nakthanom. 2018. Forest structure and species composition in the dry evergreen forest at Wang Nam Khiao Forestry Student Training and Research Station, Nakhon Ratchasima province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 2(1): 45-54. (in Thai). <https://kwojs.lib.ku.ac.th/index.php/tferj/article/view/6191>
- Mokopena, T., P. W. Chirwa, D. J. Gumbo & C. Wekesa. 2021. Carbon sequestration potential of small urban and peri-urban forests: Evidence from Southern Africa. **Urban Forestry & Urban Greening** 63: 127188. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127188>
- Nowak, D. J., A. R. Bodine, R. E. Hoehn, A. Ellis, S. Hirabayashi, A. K. Koeser & D. McLean. 2023. Carbon storage and annual sequestration by trees in urban and community areas of the conterminous United States. **Environmental Research Letters** 18(7): 074040. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acd7d0>

- Nowak, D. J., E. J. Greenfield, R. E. Hoehn & E. LaPoint. 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. **Environmental Pollution** 178: 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>
- Office of Natural Resources and Environmental Policy and Planning (ONEP). 2021. **Thailand Climate Change Master Plan 2021–2030**. Bangkok: Ministry of Natural Resources and Environment. (in Thai). Available source: <https://www.onep.go.th> (Accessed: July 10, 2025)
- Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino & T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. **Nature and Life in Southeast Asia** 4: 49–80.
- Poorter, L., F. Bongers, T. M. Aide, A. M. A. Zambrano, P. Balvanera, J. M. Becknell, & R. L. Chazdon. 2016. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature** 530(7589): 211–214. <https://doi.org/10.1038/nature16512>
- Poorter, L., F. Bongers, T. M. Aide, A. M. A. Zambrano, P. Balvanera, J. M. Becknell, & R. L. Chazdon. 2021. Multidimensional tropical forest recovery. **Science** 374(6573): 1370–1376. <https://doi.org/10.1126/science.abh3629>
- Royal Thai Government. 2023. **Bio-Circular-Green (BCG) Economy Model**. Bangkok: Office of the National Higher Education Science Research and Innovation Policy Council. (in Thai). Available source: <https://www.nxpo.or.th/en/?p=12639> (Accessed: July 10, 2025)
- Smitinand, T. 2014. **Thai plant names: Revised edition 2014**. Bangkok: Forest Herbarium, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation. (in Thai).
- Song, X. P., P. Y. Tan, P. Edwards & D. Richards. 2018. The economic benefits and costs of trees in urban forest stewardship: A systematic review. **Ecological Indicators** 91: 301–317. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.070>
- Thai Meteorological Department. 2024. **Climate statistics of Thailand 2024**. Bangkok: Thai Meteorological Department. (in Thai). Available source: <https://www.tmd.go.th> (Accessed: July 10, 2025)
- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO). 2022. **LESS-FOR-01: Spreadsheet for calculating tree-level carbon storage**. Bangkok, Thailand. (in Thai). Available source: <https://www.tgo.or.th> (Accessed: July 10, 2025)

- Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO). 2023. **LESS-FOR-01: Spreadsheet for calculating tree-level carbon storage, Version 6**. Bangkok, Thailand. (in Thai). Available source: <https://www.tgo.or.th> (Accessed: July 10, 2025)
- Thinkampeang, S., N. Punthunan, T. Korkerd, R. Saikhammoon, C. Yatar, C. Sawasmongkol & W. Phumphuang. 2025. Forest structure and potential of carbon storage at Khao Nam Sab, Kasetsart University, Sri Racha Campus, Chonburi Province. **Thai Forest Ecological Research Journal** 9(1): 73–92. <https://doi.org/10.34044/tferj.2025.9.1.6291>
- Thompson, I. D., K. Okabe, J. M. Tylianakis, P. Kumar, E. G. Brockerhoff, N. A. Schellhorn & T. Takahashi. 2021. Forest biodiversity and ecosystem services: A global perspective. **Nature Sustainability** 4: 720–734. <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00706-4>
- Tsutsumi, T., K. Yoda, P. Sahunalu, P. Dhanmanonda & B. Prachaiyo. 1983. Forest: Foliage, biomass and productivity in dry tropical forests of Thailand. **Journal of Ecology** 71(2): 439–454. <https://doi.org/10.2307/2259729>
- Viriyabancha, C., Ladpala, P., & Sakchoowong, W. 2011. Carbon accumulation of lianas in natural forest at Kaeng Krachan National Park. In **Proceedings of the 2nd National Conference on Thailand and Global Climate Change: Paradigm Shift toward Green Economy**, 18–19 August 2011, Bangkok, Thailand. Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization). (in Thai)
- Wang, X., Z. Wang, J. Zhu, J. Liu, H. Zheng, Z. Ouyang & Y. Xiao. 2024. Small urban forests can store carbon comparable to natural forests under intensive management. **Urban Forestry & Urban Greening** 92: 128147. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128147>
- Ziter, C. D., E. J. Pedersen, C. J. Kucharik & M. G. Turner. 2019. Scale-dependent interactions between tree canopy cover and impervious surfaces reduce daytime urban heat during summer. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 116(15): 7575–7580. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817561116>