

การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนสาธารณะในเมือง กรณีศึกษาศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม จังหวัดนครปฐม

วันชพร รุ่งแจ้ง^{1*}, ปาติยะ พัฒนาศักดิ์¹ และ นุตฐกานต์ ภูมิกอกรักษ์¹

Estimation of Above Ground Carbon Sequestration in Urban Public Park: A Case Study of Nakhon Pathom Municipality Youth Center, Nakorn Pathom Province

Wanatchaporn Rungjaeng^{1*}, Patiya Pattanasak¹ and Nutthakarn Phumkokrux¹

¹ Department of Geography, Faculty of Education, Ramkhamhaeng University, Bangkok, 90000

* Corresponding author: 6404000405@rumail.ru.ac.th

Received: October 6, 2023; Revised: December 7, 2023; Accepted: December 25, 2023

บทคัดย่อ

การกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้สามารถช่วยลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์ (1) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง (2) เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างพื้นที่ศึกษา ได้แก่ บริเวณพื้นที่ศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม จังหวัดนครปฐม โดยลงพื้นที่สำรวจแปลงตัวอย่างขนาด 10×10 เมตร จำนวน 4 แปลง เก็บข้อมูลเฉพาะต้นไม้ที่สูงมากกว่า 1.30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกมีขนาดตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป ทำการจดบันทึกชื่อพันธุ์ไม้ เส้นรอบวงที่ความสูงระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดิน ความสูงของต้นไม้ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินจากสมการแอลโลเมตรีที่มีผู้ศึกษาไว้ และคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างและในพื้นที่ศึกษา ซึ่งผลการศึกษาพบว่าไม้พันธุ์ไม้ที่พบในพื้นที่แปลงตัวอย่างทั้งหมด 12 ชนิด โดยพบต้นหางนกยูงฝรั่งและต้นมะฮอกกานีใบใหญ่มากที่สุด ส่วนพื้นที่แปลงตัวอย่างมีปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด 17.555 ตัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยของการกักเก็บคาร์บอนทั้ง 4 แปลงตัวอย่างเท่ากับ 33.004 ตันคาร์บอน/ไร่ ดังนั้นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สีเขียวของศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม นครปฐมเท่ากับ 602.983 ตันคาร์บอน ซึ่งสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ต่อไป

คำสำคัญ: ต้นไม้, การกักเก็บคาร์บอน, มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน, ศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม

¹ ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

Abstract

Carbon sequestration of trees can reduce carbon dioxide in atmosphere which is part of the factors that cause global warming. The purposes of this study were (1) to analyse the above-ground biomass of trees in the sample plots and (2) to evaluate the carbon storage of trees in the sample plots. The study area was separated into 4 sample plots with 10x10 meters in Nakhon Pathom Municipality Youth Center, Nakorn Pathom Province. Survey data consisted of name, height, diameter at breast height (DBH) of trees which were higher than 1.30 meters with diameter at breast height over 4.5 centimetres. Then, plant's name, diameter value, and tree's height data were recorded. Estimation of above-ground biomass from allometric equation and carbon storage in the sample plots of study area was operated. The results indicated that there were 12 species of plants such as Flamboyant tree, Broad Lead Mahogany and Pride of India which were the most found. Above-ground biomass in sample plots area was 17.555 tons, average carbon sequestration of 4 sample plots was at 33.004 tons C/rai. Therefore, carbon sequestration in greenfield of Nakhon Pathom Municipality Youth Centre was 602.983 tons C. This information can be a guideline to improve the efficiency of carbon storage in further.

Keywords: Tree, Carbon sequestration, Above ground biomass, The Nakhon Pathom Municipality Youth Center

บทนำ

วัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle) มีการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงสถานะตามธรรมชาติอย่างสมดุล แต่กิจกรรมของมนุษย์ที่ปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปีทั้งจากกระบวนการหายใจ การเผาไหม้เชื้อเพลิง หรือการผลิตในภาคอุตสาหกรรม ล้วนทำลายความสมดุลของวัฏจักรคาร์บอนและเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณแก๊สเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นจนเกิดภาวะโลกร้อนได้ (Global warming) (NOAA, 2023a; Kabir et al, 2023) ซึ่งในปี พ.ศ. 2565 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเฉลี่ยทั่วโลกอยู่ที่ 417.06 ppm ถือเป็นสถิติสูงสุดตั้งแต่เริ่มปฏิวัติอุตสาหกรรมในปี พ.ศ. 2293 (NOAA, 2023b) ผลกระทบที่เห็นได้ชัดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ คือ การเกิดฝนกรดทำให้โครงสร้างต่าง ๆ ที่ประกอบด้วยเหล็กหรือหินปูนจะเกิดการผุกร่อนเร็วกว่าปกติ (EPA, 2023) หรือการดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกินสภาวะปกติของมหาสมุทร ทำให้มหาสมุทรมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของสัตว์ทะเล (IPCC, 2023)

การปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทยเพิ่มขึ้นทุกปีตั้งแต่ พ.ศ. 2541 แม้จะลดลงในปี พ.ศ. 2562-2564 จากมาตรการต่าง ๆ ในช่วงการแพร่ระบาด covid-19 แต่หลังจากกลับเข้าสู่สถานการณ์ปกติใน พ.ศ. 2565 ปริมาณการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเป็น 247.7 ล้านตันคาร์บอน หรือเพิ่มขึ้น 1.5% จาก พ.ศ. 2564 (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2565; สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2566) ซึ่งหลายหน่วยงานได้ให้ความสำคัญในการลดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ปตท. ได้เข้าร่วมศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Capture and Storage: CCS) (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย, 2565) ส่วนในภาคอุตสาหกรรมมีการส่งเสริมการขึ้นทะเบียนเครื่องหมายความคาร์บอนฟุตพริ้นท์ เพื่อผลักดันให้ผู้ประกอบการปรับใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, ม.ป.ป.) หรือโครงการปลูกต้นไม้ล้านต้นในพื้นที่กรุงเทพมหานครของชัชชาติ สิทธิพันธุ์ ที่ช่วยฟอกอากาศ เพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับกรุงเทพมหานคร และช่วยดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารและเก็บสะสมใน

รูปมวลชีวภาพ (biomass) ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ได้แก่ ราก ลำต้น กิ่ง ใบ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559; ชัชชาติ สิทธิพันธุ์, 2565) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปลูกต้นไม้เป็นวิธีการลดปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ง่ายและยั่งยืนที่สุด

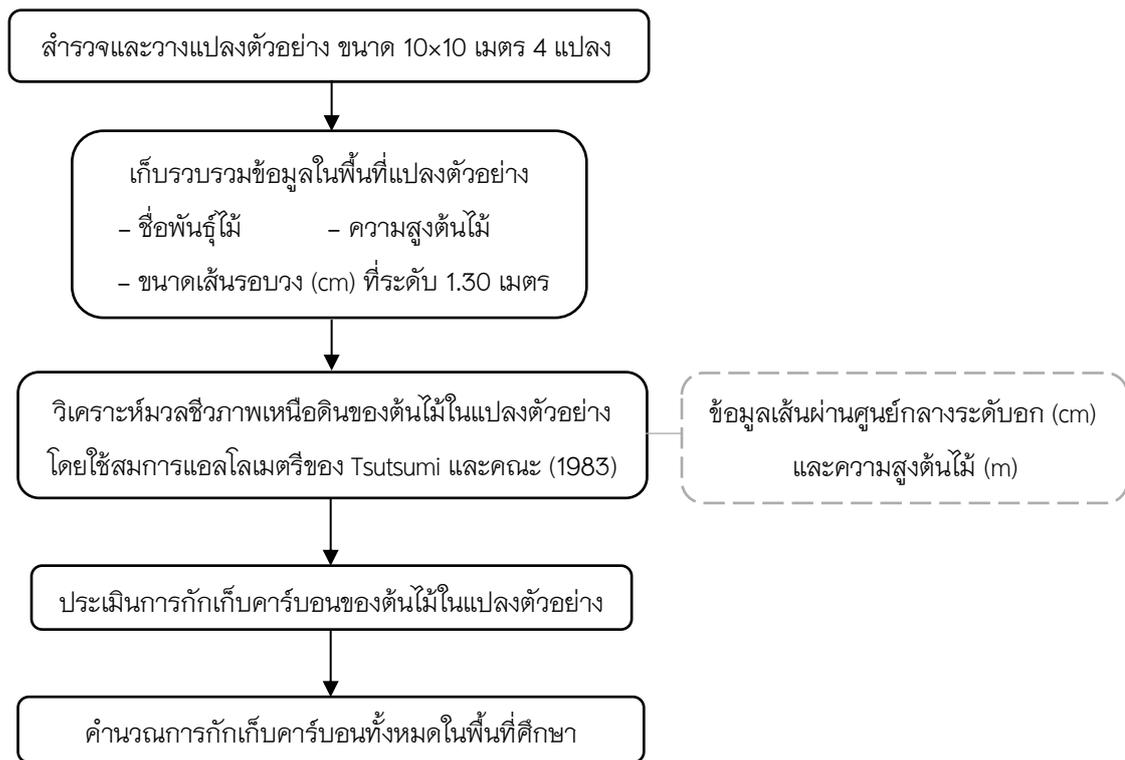
จังหวัดนครปฐมเป็นจังหวัดที่รองรับการขยายตัวในภาคอุตสาหกรรมจากกรุงเทพมหานคร ซึ่งอำเภอเมืองนครปฐมเป็นอำเภอที่มีอุตสาหกรรมหนาแน่นเป็นอันดับ 2 ของจังหวัดและเป็นอำเภอที่มีประชากรมากที่สุดในจังหวัด ทำให้พบปัญหาในเรื่องของการจราจรที่หนาแน่นและมลพิษต่าง ๆ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) ซึ่งพื้นที่ศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายของกิจกรรม ประกอบไปด้วย สนามผู้สูงอายุ สนามแบดมินตัน สนามเทนนิส สระว่ายน้ำ อาคารอเนกประสงค์ สวนสัตว์ สนามฟุตบอลสนามจันทร์ และสวนสุขภาพ ให้ประชาชนในพื้นที่สามารถทำกิจกรรมต่าง ๆ ร่วมกันได้ นอกจากนี้สภาพแวดล้อมในพื้นที่มีต้นไม้ให้ความร่มเงาและสร้างความร่มรื่นให้กับประชาชนแล้วนั้น ยังช่วยดูดซับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างของศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม จังหวัดนครปฐม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ศูนย์เยาวชนเทศบาลนคร เพื่อลดปริมาณการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง
2. เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง

วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง กรณีศึกษาศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1 คือ สำรวจและวางแผนแปลงตัวอย่าง การเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์มวลชีวภาพเหนือดิน ประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง และคำนวณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังนี้

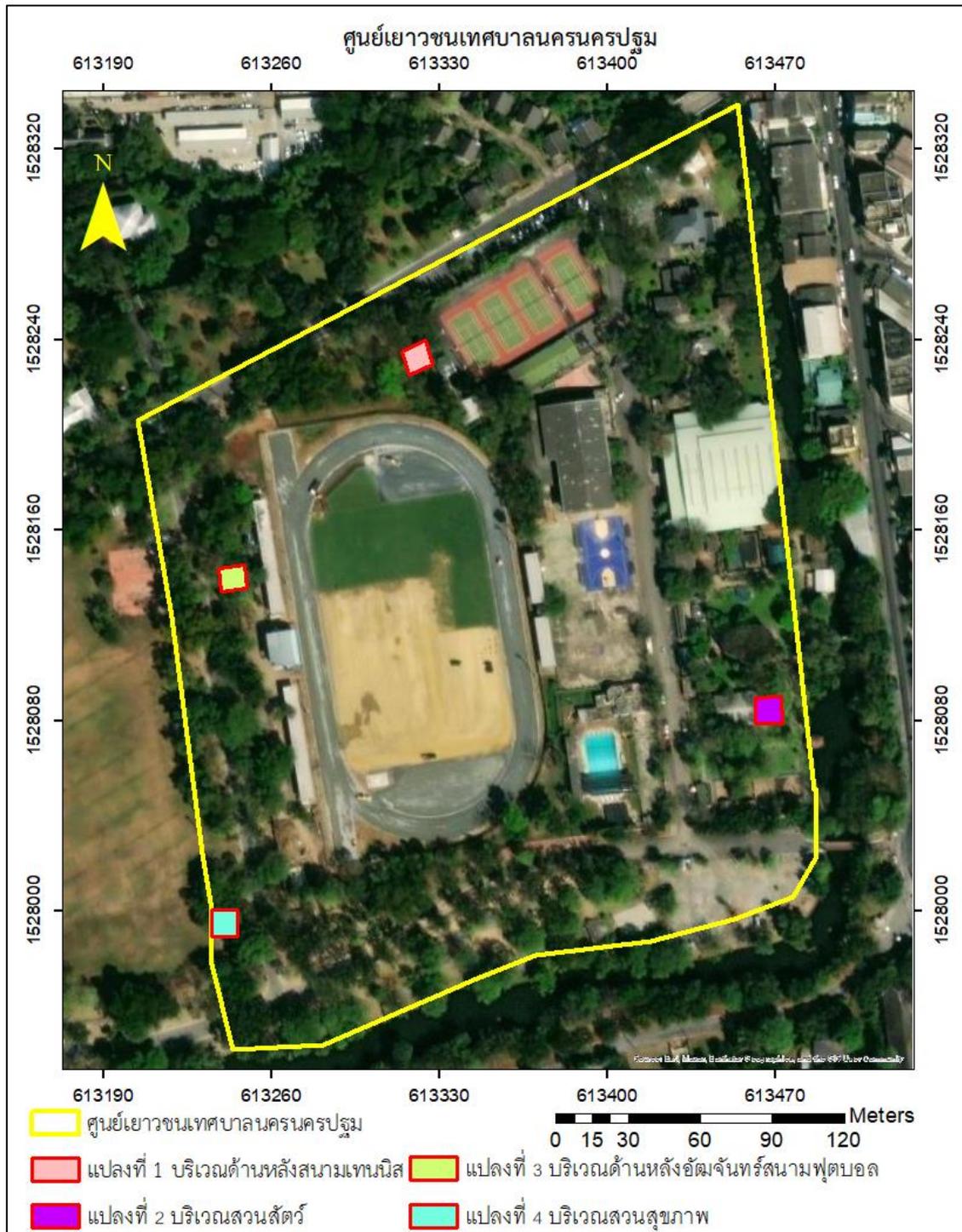


รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาพื้นที่ศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลสนามจันทร์ อำเภอเมืองนครปฐม จังหวัดนครปฐม หรือพิกัด UTM ที่ 47N 613203m E ถึง 613487m E และ 1528338m N ถึง 1527942m N มีเนื้อที่ทั้งหมด 77,696.31 ตารางเมตร หรือ 48.56 ไร่ ดังรูปที่ 2 แบ่งเป็นพื้นที่กิจกรรม 30.29 ไร่ และพื้นที่สีเขียว 18.27 ไร่ ซึ่งลักษณะพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ มีความชันไม่มาก บริเวณโดยรอบมีต้นไม้ให้ความร่มเงาส่งส่วนใหญ่เป็นไม้ยืนต้นผลัดใบและไม่ผลัดใบ

สำรวจและวางแปลงตัวอย่าง

ทำการลงพื้นที่สำรวจและสุ่มวางแปลงตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ตามลักษณะพื้นที่สวนสาธารณะในเมือง โดยเลือกเฉพาะบริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่นและวางกระจายให้ครอบคลุมพื้นที่จำนวน 4 แปลง ขนาด 10x10 เมตร ประกอบไปด้วย แปลงตัวอย่างที่ 1 บริเวณด้านหลังสนามเทนนิส (X: 613317.61 Y: 1528225.21) แปลงที่ 2 บริเวณสวนสัตว์ (X: 613249.91 Y: 1528135.32) แปลงที่ 3 บริเวณด้านหลังอิมจันทร์สนามฟุตบอล (X: 613461.97 Y: 1528089.79) และแปลงที่ 4 บริเวณสวนสุขภาพ (X: 613235.36 Y: 1528000.31) ดังรูปที่ 2 ซึ่งดำเนินการเก็บข้อมูลภาคสนามแปลงที่ 1-3 วันที่ 22 กรกฎาคม 2566 แปลงที่ 4 วันที่ 12 สิงหาคม 2566



รูปที่ 2 พื้นที่ศึกษา

เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์ในเก็บข้อมูลภาคสนามและวางแปลงตัวอย่าง ขนาด 10x10 เมตร จำนวน 4 แปลง ประกอบไปด้วย เทปวัดระยะ 50 เมตร ไม้ไผ่เหลาตัดสั้น ค้อน และเชือกฟางที่ใช้ในการกำหนดพื้นที่แปลงตัวอย่าง, ซอล์กสำหรับขีดระดับที่ใช้ในการวัดเส้นรอบวงของต้นไม้, เทปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, ไม้ฉากสามเหลี่ยมใช้สำหรับวัดค่าความสูงของต้นไม้จากการใช้ทฤษฎีบทของพีทาโกรัส, อุปกรณ์ในการจดบันทึกข้อมูล และอุปกรณ์ในการเก็บค่าพิกัดแปลงตัวอย่าง

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บข้อมูลในพื้นที่แปลงตัวอย่างเฉพาะต้นไม้ที่สูงมากกว่า 1.30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป โดยบันทึกชื่อพันธุ์ไม้และเก็บบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นไม้ ได้แก่ ค่าความสูงของต้นไม้ (Height: H) จากการใช้ทฤษฎีบทของพีทาโกรัส (University of british columbia, 2019) ดังสมการที่ 1 ค่าเส้นรอบวง ของต้นไม้จากการใช้สายเทปวัดที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน (Girth at breast height : GBH) เพื่อนำไปคำนวณหา ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (Diameter at breast height: DBH) ดังสมการที่ 2

$$H = \text{Tan}45 \times d + \text{ความสูงจากตาถึงปลายเท้า} \tag{สมการที่ 1}$$

โดยที่ H คือ ค่าความสูงต้นไม้(m)

d คือ ระยะห่างจากต้นไม้ถึงผู้วัด (m)

$$DBH = GBH / \pi \tag{สมการที่ 2}$$

โดยที่ DBH คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก (cm)

GBH คือ ค่าเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ระดับอก หรือที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน

กรณีลำต้นไม่มีพุ่มพอนที่ระดับความสูง 1.3 เมตร ทำการขยับจุดการวัดเส้นรอบวงขึ้นมา 20-30 เซนติเมตร หรือ ในกรณีที่ลำต้นมีการแยกที่ระดับความสูง 1.3 เมตร ทำการวัดทุกลำต้นแล้วนำมารวมกันเพื่อหาค่าเฉลี่ย (องค์การบริหารแก้สเรือนกระจก, 2563)



รูปที่ 3 การเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ 1 บริเวณด้านหลังสนามเทนนิส



รูปที่ 4 การเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ 2 บริเวณสวนสัตว์



รูปที่ 5 การเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ 3 บริเวณด้านหลังอิมจันทร์สนามฟุตบอล



รูปที่ 6 การเก็บข้อมูลภาคสนามในพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ 4 บริเวณสวนสุขภาพ

วิเคราะห์มวลชีวภาพเหนือดิน

นำค่าข้อมูลความสูงและค่าเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกของต้นไม้ที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจ มาคำนวณมวลชีวภาพเหนือดินของต้นไม้แต่ละต้นในพื้นที่แปลงตัวอย่างด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งลักษณะพืชพรรณส่วนใหญ่ในพื้นที่สวนสาธารณะของศูนย์เยาวชน มีลักษณะคล้ายป่าดิบแล้ง กล่าวคือ มีไม้ไม่ผลัดใบและไม้ผลัดใบขึ้นผสมกัน ดังนั้นสามารถใช้สมการแอลโลเมตรี Tsutsumi et al. (1983) ด้วยวิธีทางอ้อม คำนวณมวลชีวภาพเหนือดินของต้นไม้ได้ดังสมการที่ 3-6 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2564)

$$W_{ob} = W_s + W_b + W_t \quad ; \quad W_{ob} \text{ คือ มวลชีวภาพเหนือดิน (kg)} \quad (\text{สมการที่ 3})$$

$$\text{เมื่อ } W_s = 0.0509(D^2H)^{0.919} \quad ; \quad W_s \text{ คือ มวลชีวภาพลำต้น (kg)} \quad (\text{สมการที่ 4})$$

$$W_b = 0.00893(D^2H)^{0.977} \quad ; \quad W_b \text{ คือ มวลชีวภาพกิ่ง (kg)} \quad (\text{สมการที่ 5})$$

$$W_t = 0.0140(D^2H)^{0.669} \quad ; \quad W_t \text{ คือ มวลชีวภาพใบ (kg)} \quad (\text{สมการที่ 6})$$

โดยที่ D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (cm)

H คือ ค่าความสูงต้นไม้ (m)

ประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Carbon sequestration of trees: CS) ในพื้นที่แปลงตัวอย่าง สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนมวลชีวภาพของต้นไม้ (Carbon fraction of biomass) (IPCC, 2006) ดังสมการที่ 7

$$CS = GB \times 0.47 \quad \text{kgC/tree} \quad (\text{สมการที่ 7})$$

โดยที่ GB คือ มวลชีวภาพเหนือดิน (kg)

0.47 คือ มวลชีวภาพเหนือดินของต้นไม้ 47% เป็นคาร์บอน

คำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม มีเนื้อที่ทั้งหมด 48.56 ไร่ พื้นที่กิจกรรม 30.29 ไร่ และพื้นที่สีเขียว 18.27 ไร่ ดังนั้นการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ทั้งหมดในพื้นที่ศึกษาสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$\text{ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด} = \text{การกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ย} \times 4 \text{ แปลง} \times 18.27 \quad (\text{สมการที่ 8})$$

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

สำนักงานเทศบาลเมืองนครปฐม (2564) ได้รายงานนโยบาย และกรอบแนวทางการบริหารจัดการแก๊สเรือนกระจกเทศบาลเมืองนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม โดยพบว่ากิจกรรมที่มีการปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากที่สุด ในเขตพื้นที่การดูแลของเทศบาลเมืองนครปฐมปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 คือการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต่าง ๆ เช่น เลื่อยยนต์ เครื่องพ่นควัน เครื่องตัดหญ้า รองลงมาคือการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ ซึ่งในปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 พบว่ากิจกรรมที่สามารถช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือ การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตพื้นที่ของเทศบาลฯ ซึ่งช่วยลดปริมาณแก๊สเรือนกระจก 0.02 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี และการลดใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลสำหรับยานพาหนะ ซึ่งช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 0.043 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

ผลการศึกษา

พื้นที่ศึกษาแปลงตัวอย่างที่ 1 บริเวณด้านหลังสนามเทนนิส ขนาด 10x10 เมตร มีต้นไม้ 6 ต้น 2 พันธุ์ไม้ ประกอบด้วย หางนกยูงฝรั่งและต้นนนทรีป่าซึ่งจัดเป็นไม้ผลัดใบทั้งคู่ (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช, 2561) โดยมวลรวมชีวภาพเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่แปลงตัวอย่างมีค่า 5,977.824 กิโลกรัม 2,809.578 กิโลกรัมคาร์บอน ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยการกักเก็บคาร์บอนต่อไร่เท่ากับ 44.953 ตันคาร์บอนไร่

ตารางที่ 1 ชื่อพื้นเมืองพันธุ์ไม้และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการสำรวจแปลงตัวอย่างที่ 1 บริเวณด้านหลังสนามเทนนิส

No.	ชื่อพื้นเมือง	GBH (cm)	DBH (cm)	Ht (m)	W _s (kg)	W _b (kg)	W _t (kg)	W _{ob} (kg)	CS (kg)
1	หางนกยูงฝรั่ง	102	32.463	12.5	310.964	94.577	7.984	413.525	194.357
2	หางนกยูงฝรั่ง	120	38.192	13	434.607	135.004	10.187	579.798	272.505
3	หางนกยูงฝรั่ง	173	55.060	13.4	875.355	284.202	16.959	1,176.516	552.963
4	ต้นนนทรีป่า	223	70.974	12.1	1,270.920	422.455	22.248	1,715.623	806.343
5	หางนกยูงฝรั่ง	169	53.787	11.8	746.040	239.786	15.096	1,000.922	470.433
6	หางนกยูงฝรั่ง	170	54.106	12.8	812.735	262.638	16.067	1,091.440	512.977
ผลรวม					4,450.621	1,438.662	88.541	5,977.824	2,809.578

หมายเหตุ : GBH = ค่าเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ความสูงระดับ 1.30 เมตรจากพื้นดิน Ht = ค่าความสูงต้นไม้
 DBH = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร W_s = มวลชีวภาพลำต้น
 W_b = มวลชีวภาพกิ่ง W_t = มวลชีวภาพใบ W_{ob} = มวลชีวภาพเหนือดิน
 CS = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

พื้นที่ศึกษาแปลงตัวอย่างที่ 2 บริเวณสวนสัตว์เทศบาลนครนครปฐม ขนาด 10×10 เมตร มีต้นไม้ 6 ประกอบด้วย ไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ 2 พันธุ์ไม้ ได้แก่ ต้นมะหาด ต้นยางแดงและ ไม้ยืนต้นประเภทผลัดใบ 3 พันธุ์ไม้ ได้แก่ ต้นตะแบก ต้นสะเดา ต้นอินทนิลน้ำ (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช, 2561) โดยมวลรวมชีวภาพเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่แปลงตัวอย่างมีค่า 5,575.233 กิโลกรัม 2,620.361 กิโลกรัมคาร์บอน ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยการกักเก็บคาร์บอนต่อไร่เท่ากับ 41.926 ตันคาร์บอน/ไร่

ตารางที่ 2 ชื่อพื้นเมืองพันธุ์ไม้และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการสำรวจแปลงตัวอย่างที่ 2 บริเวณสวนสัตว์เทศบาลนครนครปฐม

No.	ชื่อพื้นเมือง	GBH (cm)	DBH (cm)	Ht (m)	W_s (kg)	W_b (kg)	W_t (kg)	W_{ob} (kg)	CS (kg)
1	มะหาด	305.2	97.136	20.3	3,640.084	1,293.052	47.858	4,980.994	2,341.067
2	ยางแดง	86.3	27.467	7.2	137.766	39.802	4.414	181.982	85.532
3	ยางแดง	46.2	14.704	8.4	50.336	13.647	2.121	66.104	31.069
4	ตะแบก	74.7	23.775	8.8	127.059	36.522	4.161	167.742	78.839
5	สะเดา	47.7	15.181	10.5	65.527	18.064	2.570	86.161	40.496
6	ต้นอินทนิลน้ำ	47.7	15.118	11.4	70.133	19.417	2.700	92.250	43.358
ผลรวม					4,090.905	1,420.504	63.824	5,575.233	2,620.361

หมายเหตุ : GBH = ค่าเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ความสูงระดับ 1.30 เมตรจากพื้นดิน

Ht = ค่าความสูงต้นไม้

DBH = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร

W_s = มวลชีวภาพลำต้น

W_b = มวลชีวภาพกิ่ง

W_t = มวลชีวภาพใบ

W_{ob} = มวลชีวภาพเหนือดิน

CS = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

พื้นที่ศึกษาแปลงตัวอย่างที่ 3 บริเวณด้านหลังอิมจันทร์สนามฟุตบอล ขนาด 10×10 เมตร มีต้นไม้ 7 ต้น 5 พันธุ์ไม้ ประกอบด้วย ยูคาลิปตัส ไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบและ ไม้ยืนต้นประเภทผลัดใบ 3 พันธุ์ไม้ ได้แก่ ต้นมะฮอกกานีใบใหญ่, ต้นนนทรีป่า, อินทนิลน้ำ และประดู่กิ่งอ่อน (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช, 2561) โดยคำนวณค่าพารามิเตอร์มวลรวมชีวภาพเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่แปลงตัวอย่างมีค่า 4,136.558 กิโลกรัม 1,944.182 กิโลกรัมคาร์บอน ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยการกักเก็บคาร์บอนต่อไร่เท่ากับ 31.106 ตันคาร์บอน/ไร่

ตารางที่ 3 ชื่อพื้นเมืองพันธุ์ไม้และค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากการสำรวจแปลงตัวอย่างที่ 3 บริเวณด้านหลังอัมรินทร์ สนามฟุตบอล

No.	ชื่อพื้นเมือง	GBH (cm)	DBH (cm)	Ht (m)	W_s (kg)	W_b (kg)	W_t (kg)	W_{ob} (kg)	CS (kg)
1	มะฮอกกานีใบใหญ่	66.5	21.165	7.2	85.328	23.918	3.114	112.360	52.809
2	มะฮอกกานีใบใหญ่	99.0	31.509	15.3	354.464	108.702	8.782	471.948	221.816
3	ต้นนนทรีป่า	219.0	69.701	16.7	1,652.980	558.643	26.939	2,238.562	1,052.124
4	ยูคาลิปตัส	149.1	47.454	9.8	499.625	156.573	11.275	667.473	313.712
5	มะฮอกกานีใบใหญ่	80.6	25.652	8.5	141.520	40.956	4.501	186.977	87.879
6	ต้นอินทนิลน้ำ	72.95	23.218	13.6	181.479	53.351	5.394	240.224	112.905
7	ประดู่กิ่งอ่อน	68.4	21.770	14.0	165.574	48.394	5.046	219.014	102.937
ผลรวม					3,080.970	990.537	65.051	4,136.558	1,944.182

หมายเหตุ : GBH = ค่าเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ความสูงระดับ 1.30 เมตรจากพื้นดิน

Ht = ค่าความสูงต้นไม้

DBH = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร

W_s = มวลชีวภาพลำต้น

W_b = มวลชีวภาพกิ่ง

W_t = มวลชีวภาพใบ

W_{ob} = มวลชีวภาพเหนือดิน

CS = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

พื้นที่ศึกษาแปลงตัวอย่างที่ 4 บริเวณสวนสุขภาพ ขนาด 10×10 เมตร มีต้นไม้ 7 ต้น 5 พันธุ์ไม้ ประกอบด้วย ต้นไทรซึ่งเป็นไม้ยืนต้นไม่ผลัดใบ และไม้ยืนต้นประเภทผลัดใบ 4 พันธุ์ไม้ ได้แก่ ตะแบก ต้นมะฮอกกานีใบใหญ่, อินทนิลน้ำ และประดู่กิ่งอ่อน (สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช, 2561) โดยคำนวณค่าพารามิเตอร์มวลรวมชีวภาพเหนือพื้นดินและการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่แปลงตัวอย่างมีค่า 1,865.674 กิโลกรัม 876.867 กิโลกรัม คาร์บอน ตามลำดับ ดังตารางที่ 4 ซึ่งคิดเป็นค่าเฉลี่ยการกักเก็บคาร์บอนต่อไร่เท่ากับ 14.029 ตันคาร์บอนไร่

ตารางที่ 4 ชื่อพื้นเมืองพันธุ์ไม้และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากการสำรวจแปลงตัวอย่างที่ 4 บริเวณด้านหลังอิมจันทร์สนามฟุตบอล

No.	ชื่อพื้นเมือง	GBH (cm)	DBH (cm)	Ht (m)	W_s (kg)	W_b (kg)	W_t (kg)	W_{ob} (kg)	CS (kg)
1	ประดู่กิ่งอ่อน	96.4	30.681	7.8	181.727	53.428	5.400	240.555	113.061
2	ตะแบก	39.6	12.603	5.2	24.400	6.320	1.252	31.972	15.027
3	มะฮอกกานีใบใหญ่	170	54.106	10.6	683.406	218.442	14.163	916.011	430.525
4	มะฮอกกานีใบใหญ่	34.8	11.076	6.1	22.285	5.739	1.172	29.196	13.722
5	อินทนิลน้ำ	54.5	17.346	7.9	64.459	17.751	2.539	84.749	39.832
6	ไทร	83.5	26.575	12.5	215.258	63.967	6.108	285.333	134.107
7	ไทร	79.5	25.302	13.4	209.665	62.201	5.992	277.858	130.593
ผลรวม					1,401.200	427.848	36.626	1,865.674	876.867

หมายเหตุ : GBH = ค่าเส้นรอบวงของต้นไม้ที่ความสูงระดับ 1.30 เมตรจากพื้นดิน

Ht = ค่าความสูงต้นไม้

DBH = ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร

W_s = มวลชีวภาพลำต้น

W_b = มวลชีวภาพกิ่ง

W_t = มวลชีวภาพใบ

W_{ob} = มวลชีวภาพเหนือดิน

CS = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

จากการสำรวจเก็บข้อมูลพื้นที่แปลงตัวอย่างพบต้นหางนกยูงฝรั่ง, ต้นมะฮอกกานีใบใหญ่ และต้นอินทนิลน้ำมากที่สุดตามลำดับ โดยต้นมะหาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงที่สูงที่สุด ส่งผลให้มีความสามารถในการเก็บคาร์บอนเฉลี่ยสูงที่สุด คือ 2,341.067 กิโลกรัม ดังตารางที่ 5 และค่าเฉลี่ยของการกักเก็บคาร์บอนทั้ง 4 แปลงตัวอย่างเท่ากับ 33.003 ตันคาร์บอน/ไร่ ดังนั้นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สีเขียวทั้งหมดของศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐมมีค่าเท่ากับ 602.964 ตันคาร์บอน

ตารางที่ 5 ตารางแสดงจำนวนพันธุ์ไม้ที่พบทั้งหมดและความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยแต่ละชนิด

No.	ชนิดพันธุ์ไม้	จำนวนต้นไม้	เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm)			ความสูงต้นไม้ (m)			ความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ย (kg)
			สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	
1	หางนกยูงฝรั่ง	5	55.060	32.463	46.722	13.4	11.8	12.7	400.467
2	มะฮอกกานีใบใหญ่	5	54.106	11.076	28.702	15.3	6.1	9.54	161.35
3	อินทนิลน้ำ	3	17.346	15.118	18.561	13.6	11.4	11	65.365
4	ยางแดง	2	27.467	14.704	21.086	8.4	7.2	7.8	58.301
5	ตะแบก	2	23.775	12.603	18.189	8.8	5.2	7	46.933
6	ประดู่กิ่งอ่อน	2	21.77	30.681	26.226	14	7.8	10.9	213.387
7	ไทร	2	26.575	25.302	25.939	13.4	12.5	12.95	132.35
8	ต้นกระถินณรงค์	1	70.974	70.974	70.974	12.1	12.1	12.1	806.343
9	มะหาด	1	97.136	97.136	97.136	20.3	20.3	20.3	2,341.067
10	สะเดา	1	15.181	15.181	15.181	10.5	10.5	10.5	40.496
11	ต้นนนทรีป่า	1	69.701	69.701	69.701	16.7	16.7	16.7	1,052.124
12	ยูคาลิปตัส	1	47.454	47.454	47.454	9.8	9.8	9.8	313.712

สรุปและอภิปรายผล

จากการลงภาคสนามเก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง กรณีศึกษาศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม ลักษณะพืชพรรณส่วนใหญ่ในพื้นที่สวนสาธารณะของศูนย์เยาวชนฯ มีลักษณะคล้ายป่าดิบแล้ง กล่าวคือ มีไม้ไม่ผลัดใบและไม้ผลัดใบขึ้นผสมกันแปลงตัวอย่างทั้งหมด 26 ต้น 12 ชนิด โดยพบมากที่สุด คือ หางนกยูงฝรั่งและมะฮอกกานีใบใหญ่ชนิดละ 5 ต้น และวิเคราะห์มวลชีวภาพเหนือดินของต้นไม้ด้วยวิธีการทางอ้อมหรือการวัดความสูงของต้นไม้และเส้นรอบวงที่ความสูงระดับ 1.30 เมตรจากพื้นดิน แล้วใช้สมการแอลโลเมตรีของ Tsutsumi et al. (1983) คำนวณมวลชีวภาพเหนือดินของต้นไม้ ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็วกว่าวิธีการอื่น ๆ เช่น การประมาณค่ามวลชีวภาพด้วยวิธี stratified-clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) นั้นมีการตัดเก็บชิ้นส่วนต่าง ๆ ทั้งลำต้น กิ่ง ใบ ทุก 1 เมตร ตั้งแต่ลำต้นถึงปลายยอด ก่อนนำไปผึ่งและอบแห้งด้วยความร้อนสูงถึง 85 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วถึงสามารถนำมาชั่งหามวลชีวภาพของต้นไม้ได้ ซึ่งใช้ทั้งเวลาและต้นทุนในการทำสูง แต่ทั้งนี้การใช้สมการแอลโลเมตรีของ Tsutsumi et al. (1983) ประมาณค่าชีวมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสูงเกินไป 17% (Pothong et al.,) ดังนั้นในการศึกษาคั้งนี้จึงเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีของ Tsutsumi et al. (1983) มีความเหมาะสมกับต้นไม้ที่ขึ้นในพื้นที่ไม่สูงมาก เหมาะสมกับสภาพป่าดิบแล้ง และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ส่วนสมการแอลโลเมตรีอื่น ๆ เช่น Owaga et al. (1965) เหมาะสมสำหรับป่าเต็งรัง (บุษรา กันหอมและคณะ, 2562)

ผลการวิจัยพบว่าต้นมะหาดมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงที่สูงที่สุดคือ 97.136 เซนติเมตร 20.3 เมตร ตามลำดับ ส่งผลให้มีมวลชีวภาพเหนือดินและค่าการกักเก็บคาร์บอนสูงที่สุด คือ 4,980.994 กิโลกรัม และ 2,341.067 กิโลกรัมคาร์บอน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Agevi et al. (2017) และ รุจน์ ยศธสารและ เพ็ญประภา เพชระบูรณิน (2563) ที่อธิบายถึงความสูงและขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณมวลชีวภาพเหนือดินและความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแต่ละต้นไม้เท่ากัน นอกจากนี้ในพื้นที่แปลงตัวอย่างมีมวลชีวภาพเหนือดินเท่ากับ 17,555.289 กิโลกรัม หรือ 17.555 ตัน โดยมวลรวมชีวภาพของลำต้น กิ่ง และใบ ในแปลงตัวอย่างมีค่า 13.023 ตัน 4.277 ตัน และ 0.254 ตัน ตามลำดับ คิดเป็นค่าเฉลี่ยของการกักเก็บคาร์บอนทั้ง 4 แปลงตัวอย่างเท่ากับ 33.004 ตันคาร์บอน/ไร่ ดังนั้นในพื้นที่สีเขียวของศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐมจำนวน 18.27 ไร่ มีค่าการกักเก็บคาร์บอน 602.983 ตันคาร์บอน ซึ่งต่ำกว่าค่าการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่สวนลุมพินี กรุงเทพมหานคร ที่มีเนื้อที่ประมาณ 360 ไร่ เป็นสวนอเนกประสงค์ ประกอบไปด้วย สระว่ายน้ำ สนามแบดมินตัน สนามเทนนิส ฯลฯ เป็นสวนสาธารณะในเมือง เช่นเดียวกับศูนย์เยาวชนเทศบาลนครนครปฐม ที่สามารถกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินทั้งหมดได้ 1,270.881 ตันคาร์บอน (วีระ ปะทะชินังและคณะ, 2557) และศูนย์เยาวชนเทศบาลนครปฐมสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการปลูกต้นไม้ในพื้นที่เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2565). *กลุ่ม ปตท. นำร่องศึกษา CCS Hub Model เป็นต้นแบบเทคโนโลยีมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอนและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์*. สืบค้น 21 สิงหาคม 2566, จาก <https://www.pttplc.com/th/Media/News/Content-30295.aspx>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2559). *แผนปฏิบัติการตามแผนแม่บทการพัฒนาเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศจังหวัดนครปฐม*. ม.ป.ท. : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. จาก http://ecocenter.diw.go.th/upload_file/eco_plan/NakhonPathom_2fbee587-2701-47c5-86de-60136f2bc8c3.pdf.
- ชัชชาติ สิทธิพันธุ์. (2565). *นโยบายปลูกต้นไม้ล้านต้น สร้างพื้นที่สีเขียวและกำแพงกรองฝุ่นทั่วกรุง*. สืบค้น 21 สิงหาคม 2566, จาก <https://www.chadchart.com/policy/6215eef94e43cd8b4760bc16/>.
- รุจน์ ยศธสาร และเพ็ญประภา เพชระบูรณิน. (2563). การศึกษาวิธีประมาณค่าการเก็บกักคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นยางนาโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ. *KKU Research Journal (Graduate Studies)*, 20(4), 1-12. จาก <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/gskku/article/view/215094/164399>.
- วีระ ปะทะชินัง, สุรีย์พร นิธิรัฐวิทยา และปกรณ์ เมฆแสงสวย. (2557). การประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนสาธารณะในเมือง กรณีศึกษา: สวนลุมพินีกรุงเทพมหานคร. ใน *โครงการประชุมวิชาการระดับชาติ SMARTS ครั้งที่ 4: อุตสาหกรรมแห่งเอเชีย 2014*. (น. 675-686). ม.ป.ท.: มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์.

- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. (2565). *การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) จากการใช้พลังงาน ปี 2564*. ม.ป.ท. : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. จาก https://www.eppo.go.th/index.php/th/component/k2/item/download/22061_5ccc70b8d6aaf1e3d34dc98b6d138bc2.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2566). *รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2566*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.
- สำนักงานเทศบาลเมืองนครปฐม. (2564). *นโยบาย และกรอบแนวทางการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกเทศบาลเมืองนครปฐม อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม*. นครปฐม: สำนักงานเทศบาลเมืองนครปฐม.
- สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช. (2561). *สารานุกรมพืชในประเทศไทย*. สืบค้น 21 สิงหาคม 2566, จาก <https://www.dnp.go.th/botany/dictindex.html>.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (ม.ป.ป.). *คาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ศูนย์*. สืบค้น 22 กันยายน 2566, จาก <http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/index.php?lang=TH&mod=Y0hKdplVmpkSE5mYVhNP>.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2559). *ปลูกต้นไม้ช่วยลดโลกร้อนได้ยังไงนะ? (พิมพ์ครั้งที่ 2)*. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2563). *วัดต้นไม้อย่างไรให้ถูกต้อง*. สืบค้น 22 กันยายน 2566, จาก <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-less/100-less-management/1364-2020-09-23-10-21-08.html>.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2564). *การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้*. สืบค้น 22 กันยายน 2566, จาก <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/tver-method/tver-tool/for-agr/item/245-t-ver-tool-for-agr.html>.
- Agevi, H., Onwonga, R., Kuyah, S., & Tsingalia, M. (2017). Carbon stocks and stock changes in agroforestry practices: a review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 20(1), 101–109, Retrieved from http://ir-library.mmust.ac.ke:8080/bitstream/handle/123456789/507/CARBON_STOCKS_AND_STOCK_CHANGES_IN_AGROFORESTRYPRACTICES.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- EPA. (2023). *Effects of Acid Rain*. Retrieved 21 August 2023, from <https://www.epa.gov/acidrain/effects-acid-rain>.
- IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture Forestry and Other Land Use*. Japan: IGES.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. In H. Lee and J. Romero (Eds.), *Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (pp. 35–115), Geneva: IPCC.
- Kabir, M., Habiba, U., Iqbal, M. Z., Shafiq, M., Farooqi, Z. R., Shah, A., & Khan, W. (2023). Impacts of anthropogenic activities & climate change resulting from increasing concentration of Carbon dioxide on environment in 21st Century; A Critical Review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1194(1), 012010. doi: 10.1088/1755-1315/1194/1/012010.
- NOAA. (2023a). *What is the carbon cycle?*. Retrieved 21 August 2023, from <https://oceanservice.noaa.gov/facts/carbon-cycle.html#transcript>.
- NOAA. (2023b). *Greenhouse gases continued to increase rapidly in 2022*. Retrieved 21 August 2023, from <https://www.noaa.gov/news-release/greenhouse-gases-continued-to-increase-rapidly-in-2022>.

- Pothong, T., Elliott, S., Chairuangsi, S., Chanthorn, W., Shannon, D. P. & Wangpakapattanawong, P. (2022). New allometric equations for quantifying tree biomass and carbon sequestration in seasonally dry secondary forest in northern Thailand. *New Forests*, 53(1), 17–36. doi: 10.1007/s11056-021-09844-3.
- Tsutsumi, t., yoda, k., sahanalu, p., dhanmanonda, p. & prachaiyo, b. (1983). forest: felling, burning and regeneration. in k. kyume and c. pairintra (eds.). *shifting cultivation*. 13–62. Tokyo: n.p.
- University of british columbia. (2019). *Height measurements*. Retrieved 21 August 2023, from <https://bigtrees.forestry.ubc.ca/measuring-trees/height-measurements/>.