



คู่มือ

การศึกษาเพื่อสร้างสมการ
การกักเก็บคาร์บอนและปริมาตรของต้นไม้

วรพรรณ หิมพานต์
นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ

ส่วนวนวัฒนวิจัย
สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้
กรมป่าไม้

2566

คู่มือ

การศึกษาเพื่อสร้างสมการ

การกักเก็บคาร์บอนและปริมาตรของต้นไม้



วรพรรณ หิมพานต์

นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ

ส่วนวนวัฒนวิจัย

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

คำนำ

จากสภาวะการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เห็นผลประจักษ์ชัด รวมไปถึงสนธิสัญญาหรือคำมั่นต่าง ๆ ที่จะช่วยกันลดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศด้วยการลดก๊าซเรือนกระจก หนึ่งในแนวทางการลดก๊าซเรือนกระจกคือการปลูกต้นไม้ ทำให้มนุษย์เริ่มหันมาสนใจกับการปลูกต้นไม้และปลูกป่า รวมไปถึงการเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยการเพิ่มมากขึ้น การซื้อขายคาร์บอนเป็นแรงจูงใจหนึ่งที่ทำให้ประชาชนหันมาปลูกต้นไม้ จากเดิมวัตถุประสงค์ของการปลูกป่าเศรษฐกิจเพื่อเป็นการสร้างรายได้จากการจำหน่ายเนื้อไม้และผลผลิตอื่น รวมไปถึงเพื่อประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมและนันทนาการ และต่อมาได้ถูกเพิ่มเติมแรงจูงใจในการปลูกต้นไม้ด้วยการซื้อขายคาร์บอน อย่างไรก็ตามรายได้อันเกิดจากการซื้อขายเนื้อไม้และคาร์บอนจำเป็นต้องมีแนวทางในการประเมินผลผลิตและการกักเก็บคาร์บอน ดังนั้นสมการสำหรับการประมาณปริมาตรไม้และการกักเก็บคาร์บอนจึงมีความจำเป็นและเป็นที่ต้องการ เพื่อให้ประชาชนสามารถประมาณผลผลิตของตนเองได้โดยไม่ต้องทำการตัดต้นไม้ลงมาก่อน แต่เนื่องจากวิธีการศึกษาเป็นเรื่องที่ทำได้ยากและต้องมีความชำนาญ ทำให้นักวิจัยไม่นิยมทำการศึกษาแต่อาศัยสมการที่มีคนศึกษามาแล้ว อย่างไรก็ตามสมการการกักเก็บคาร์บอนและปริมาตรไม้ในแต่ละชนิดไม้ อายุ และการเติบโตในแต่ละชั้นคุณภาพของพื้นที่ยังมีจำกัด การศึกษาวิจัยจึงยังมีความจำเป็น เอกสารฉบับนี้เขียนขึ้นจากประสบการณ์การปฏิบัติงาน ซึ่งง่ายต่อการเข้าใจและปฏิบัติตาม โดยหวังว่านักวิจัยสามารถนำไปใช้เป็นคู่มือสำหรับการศึกษาวิจัยต่อไป

วรพรรณ หิมพานต์

2566

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญภาพ	ง
บทนำ	1
บทที่ 1 วิธีการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้	5
เกริ่นนำ	5
อุปกรณ์สำหรับการศึกษา	5
การคัดเลือกต้นตัวอย่าง	6
การเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ	17
การวิเคราะห์ข้อมูล	17
การนำไปใช้ประโยชน์	21
ข้อควรทราบ	23
บทที่ 2 วิธีการศึกษาเพื่อหาสมการสำหรับประมาณปริมาตรของต้นไม้	25
เกริ่นนำ	25
อุปกรณ์สำหรับการศึกษา	25
การคัดเลือกต้นตัวอย่าง	28
การวิเคราะห์ข้อมูล	33
การนำไปใช้ประโยชน์	38
บทที่ 3 สมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพและปริมาตรไม้ในสวนป่า	40
บทที่ 4 สรุปและแนวทางการศึกษาต่อไป	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรายต้น	21
ตารางที่ 2 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในรอบ 100 ปี ตาม IPCC Fourth Assessment (AP4) 2007	24
ตารางที่ 3 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในรอบ 100 ปี ตาม IPCC Fifth Assessment (AR5) 2014	24
ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรลำต้นของต้นไม้ตัวอย่าง	34
ตารางที่ 5 สมการประมาณมวลชีวภาพ	41
ตารางที่ 6 สมการประมาณปริมาตร	42

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ต้นไม้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงและปลดปล่อยออกซิเจนออกมา	3
ภาพที่ 2 ต้นไม้ ไม้ท่อน และสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากเนื้อไม้ยังคงทำหน้าที่กักเก็บคาร์บอนไว้	4
ภาพที่ 3 แผนผังขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน	7
ภาพที่ 4 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงของต้นไม้	8
ภาพที่ 5 รัศมี เส้นรอบวง และเส้นผ่านศูนย์กลาง	8
ภาพที่ 6 ต้นไม้ตัวอย่างที่ได้รับการคัดเลือกเป็นตัวแทน	10
ภาพที่ 7 ตัดต้นไม้ให้ชิดดินที่สุด	11
ภาพที่ 8 แยกใบ กิ่ง และลำต้นออกจากกัน	11
ภาพที่ 9 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณปริมาตร และการตัดทอนลำต้นออกเป็นท่อน	12
ภาพที่ 10 การชั่งน้ำหนักสดของส่วนต่าง ๆ	13
ภาพที่ 11 การเก็บตัวอย่างส่วนต่าง ๆ เพื่อนำไปหาค่าความชื้น	13
ภาพที่ 12 การขุดรากเพื่อนำมาศึกษามวลชีวภาพส่วนใต้ดินหรือมวลชีวภาพของราก	14
ภาพที่ 13 การทำความสะอาด ตาก และนำรากไปชั่งน้ำหนักสด	15
ภาพที่ 14 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลสำหรับสร้างสมการประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้	16
ภาพที่ 15 สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation) ระหว่างส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้กับ DBH และความสูง	19
ภาพที่ 16 สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation) ระหว่างส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้กับ DBH	20
ภาพที่ 17 แผนผังขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน	27
ภาพที่ 18 การวัดเส้นรอบวงที่ระดับต่าง ๆ	29
ภาพที่ 19 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลสำหรับสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้	30
ภาพที่ 20 เครื่องมือวัดความหนาเปลือก (bark gauge)	31
ภาพที่ 21 วิธีการวัดความหนาเปลือก	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 22 การแบ่งส่วนลำต้นของต้นไม้เพื่อการวัดค่านำมาหาปริมาตรลำต้น	34
ภาพที่ 23 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นรวมเปลือก (Over-bark volume) กับ $DBH^2.H$	37
ภาพที่ 24 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นรวมเปลือก (Over-bark volume) กับ DBH และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นไม่รวมเปลือก (Over-bark volume) กับ DBH	39

คู่มือการศึกษาเพื่อสร้างสมการการกักเก็บคาร์บอนและปริมาณของต้นไม้

บทนำ

จากการที่ประเทศไทยเข้าร่วมเป็นภาคอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) เมื่อปี พ.ศ. 2537 และได้กำหนดเป้าหมายในการดำเนินงานและร่วมมือกับนานาประเทศ จึงได้กำหนดนโยบายและแผนต่าง ๆ ได้แก่ แผนแม่บทรองรับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2558-2593 แผนที่น่าสนใจทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ.2564-2573 การดำเนินงานลดก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสมของประเทศ (NAMA Pledge) ภายในปี พ.ศ. 2563 และการมีส่วนร่วมของประเทศในการลดก๊าซเรือนกระจก (Intended Nationally Determined Contribution: INDC) ภายในปี พ.ศ. 2573 เป็นต้น

ในปี พ.ศ. 2564 เมื่อครั้งการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Conference of the Parties) สมัยที่ 26 หรือ COP26 ที่เมืองกลาสโกว์ ของสกอตแลนด์ พลเอกประยุทธ์ จันทร์โอชา นายกรัฐมนตรี ได้ขึ้นกล่าวถ้อยแถลงต่อที่ประชุม แสดงเจตนารมณ์ของประเทศไทยที่ได้ให้ความสำคัญสูงสุดต่อการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศร่วมกับประชาคมโลก และพร้อมร่วมมือกับทุกประเทศ ทุกภาคส่วน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายร่วมกัน แม้ว่าประเทศไทยจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนเพียง ร้อยละ 0.72 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั่วทั้งโลก แต่ประเทศไทยกลับเป็น 1 ใน 10 ประเทศ ที่จะได้รับผลกระทบร้ายแรงที่สุด จากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และในช่วงเวลาที่ผ่านมา ประเทศไทยได้ปฏิบัติตามคำมั่นที่ให้ไว้กับประชาคมโลกทุกประการ และปฏิบัติตามพันธกรณีระหว่างประเทศอย่างต่อเนื่องและเข้มข้น โดยภายใต้กรอบอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ประเทศไทยจะยกระดับการแก้ไขปัญหาสภาพภูมิอากาศอย่างเต็มที่ และด้วยทุกวิถีทาง เพื่อให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (carbon neutrality) ภายในปี 2050 และบรรลุเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (net zero greenhouse gas emission) ภายใน หรือก่อนหน้า ปี 2065 ด้วยการสนับสนุนทางการเงินและเทคโนโลยีอย่างเต็มที่และเท่าเทียม รวมถึงการเสริมสร้างขีดความสามารถจากความร่วมมือระหว่างประเทศและกลไกภายใต้กรอบอนุสัญญาฯ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกชนิดหนึ่งซึ่งถูกปลดปล่อยในปริมาณมหาศาลสู่บรรยากาศจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ และเป็นตัวการสำคัญที่ส่งผลให้ผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และ

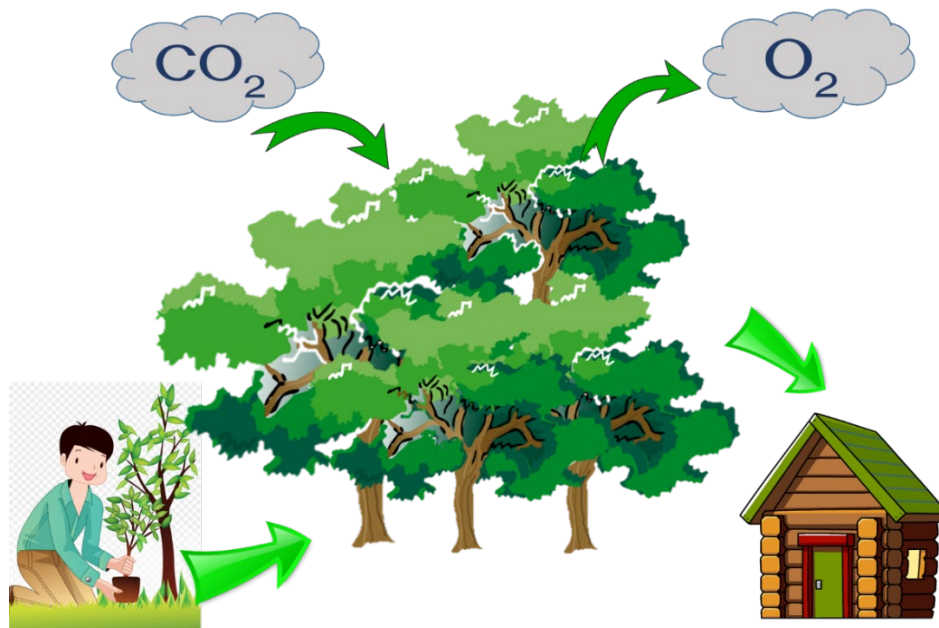
ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และนำมาสะสมไว้ในรูปของมวลชีวภาพ ทั้งในส่วนเหนือพื้นดินและส่วนใต้ดิน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ขึ้นกับปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ จากการที่พื้นที่ป่าไม้ลดลง ไม่เพียงแต่ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ถูกปลดปล่อยออกมาแล้ว ยังเป็นการทำลายแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญอีกด้วย เพราะฉะนั้นการเพิ่มพื้นที่ป่าตามยุทธศาสตร์ชาติระยะ 20 ปี (พ.ศ. 2560 -2579) กำหนดเป้าหมายให้มีพื้นที่ป่าไม้ในประเทศไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศ แบ่งเป็นป่าอนุรักษ์ร้อยละ 25 และป่าเศรษฐกิจร้อยละ 15 จะช่วยบรรเทาผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้

ป่าไม้ เป็นแหล่งของการกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ เนื่องจากต้นไม้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสง และกักเก็บคาร์บอนในรูปของเนื้อไม้ (ภาพที่ 1) การมีป่าไม้หรือมีต้นไม้ คือการมีแหล่งกักเก็บคาร์บอน และแม้ว่าต้นไม้ที่ถูกตัดฟันนำไปใช้ประโยชน์ トラบไคที่ยังคงรูปของเนื้อไม้ トラบไคนั้นยังมีการกักเก็บคาร์บอนอยู่ (ภาพที่ 2) การที่จะช่วยเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนหรือการช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ จึงควรทำการนำต้นไม้ไปใช้ประโยชน์และปลูกต้นไม้ขึ้นทดแทน

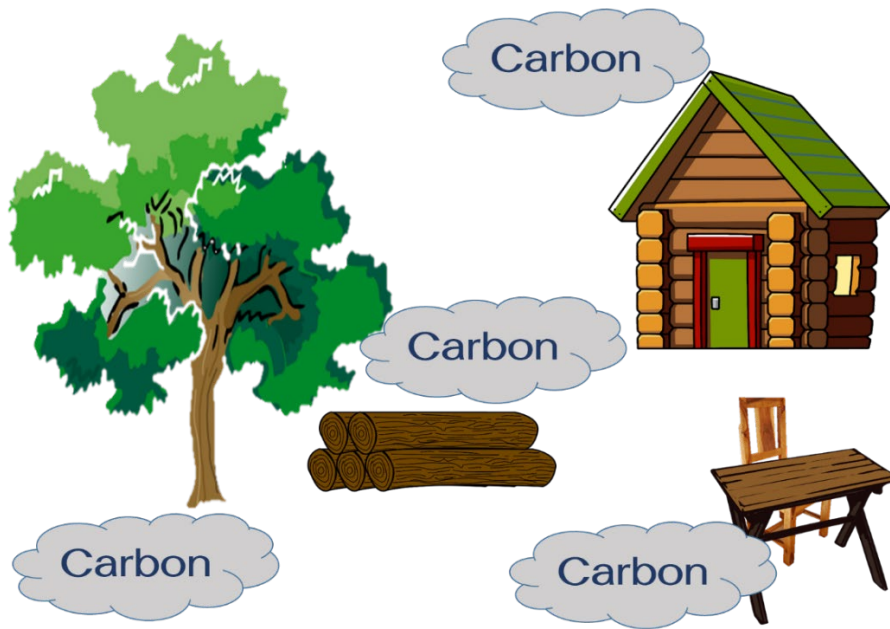
ในขณะที่ความตระหนักถึงปัญหาโลกร้อน และมีการรณรงค์ให้มีการปลูกต้นไม้ รวมทั้งเรื่องคาร์บอนเครดิตกำลังเป็นที่ให้ความสนใจ แต่ศักยภาพของการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าไม้ที่ปลูกกันทั่วไปในประเทศไทยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของชนิดต้นไม้ อายุ ระยะปลูก และสภาพของท้องที่ ตลอดจนงานวิจัยวิธีที่ใช้ในการจัดการ ทำให้สมการที่ใช้สำหรับการประมาณค่าความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนจำเป็นต้องศึกษาในไม้หลากหลายชนิดให้ครอบคลุมกับความต้องการปลูกต้นไม้ของประชาชน ทำให้ฐานข้อมูลในเรื่องความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าแต่ละประเภทจึงเป็นสิ่งสำคัญในปัจจุบัน การศึกษาเพื่อหาสมการประมาณค่ามวลชีวภาพของต้นไม้ด้วยการตัดต้นไม้ เป็นการปฏิบัติงานที่หนัก และต้องอาศัยประสบการณ์ในการปฏิบัติงาน รวมทั้งการตัดต้นไม้ไม่ได้ทำกันได้ง่ายและสะดวกเท่าไรนัก นักวิจัยรุ่นใหม่ก็นิยมนำสมการที่มีการศึกษาเอาไว้แล้วมาใช้เลย แต่อย่างไรก็ตามสมการที่มีการศึกษาไว้ยังไม่ครอบคลุมทุกชนิดไม้ และสมการยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าสามารถนำไปใช้กับไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพื้นที่หรือต่างช่วงอายุกันได้

ต้นไม้ช่วยในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญเป็นประโยชน์ทางอ้อมของต้นไม้ แต่การปลูกสร้างสวนป่าประโยชน์ทางตรงของต้นไม้คือการได้เนื้อไม้ยังเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง การประมาณผลผลิตเนื้อไม้ในรูปของปริมาตรของต้นไม้ นำไปสู่การประเมินมูลค่าของต้นไม้

โดยปริมาตรของต้นไม้ต้องทำการตัดต้นไม้เพื่อวัดมิติทั้งด้านความโต (เส้นรอบวงหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง) และความยาวของไม้แต่ละท่อน เพื่อนำมาประเมินเป็นปริมาตร การศึกษาเพื่อหาสมการสำหรับประเมินปริมาตรของต้นไม้โดยใช้ปัจจัยที่ทำการวัดได้ง่ายที่สุดคือความโต (เส้นรอบวงหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง) ซึ่งเกษตรกรทำได้โดยง่ายจะทำให้เกษตรกรเจ้าของสวนป่าสามารถประเมินราคาหรือมูลค่าที่ตนเองจะได้รับ โดยที่ไม่ต้องทำการตัดหรือโค่นล้มต้นไม้ลงมาก่อน การศึกษาหาสมการเพื่อประเมินปริมาตรไม้กับการประเมินการกักเก็บคาร์บอน ต้องใช้การโค่นล้มต้นไม้และทำการวัดมิติต่าง ๆ ของต้นไม้เช่นเดียวกัน ดังนั้นนักวิจัยส่วนใหญ่จึงทำการศึกษาในทั้งสองเรื่องในเวลาเดียวกัน



ภาพที่ 1 ต้นไม้ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขบวนการสังเคราะห์แสงและปลดปล่อยออกซิเจนออกมา



ภาพที่ 2 ต้นไม้ ไม้ท่อน และสิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากเนื้อไม้ยังคงทำหน้าที่กักเก็บคาร์บอนไว้

ตามเอกสารฉบับนี้ผู้เขียนได้นำข้อมูลจากประสบการณ์ที่ได้ปฏิบัติงานวิจัยของตัวเองมาเรียบเรียงเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัยรุ่นต่อไป หากมีโอกาสได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อสร้างสมการใหม่ ๆ หรือสร้างสมการที่สามารถใช้เป็นตัวแทนกลางของแต่ละชนิดไม้ ที่ปลูกในแต่ละพื้นที่ จะได้เกิดประโยชน์ต่อการประมาณปริมาตรไม้ การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในต้นไม้หรือในสวนป่าเพื่อเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรเจ้าของสวน รวมไปถึงทุกภาคส่วนที่ต้องการปลูกต้นไม้เพื่อเศรษฐกิจหรือสิ่งแวดล้อมต่อไป

ในเอกสารฉบับนี้แบ่งออกเป็น 3 บท คือ บทที่ 1 คือ วิธีการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ บทที่ 2 คือ วิธีการศึกษาเพื่อหาสมการสำหรับประมาณปริมาตรของต้นไม้ บทที่ 3 สมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพและปริมาตรไม้ในสวนป่า และบทที่ 4 สรุปและแนวทางการศึกษาต่อไป

บทที่ 1

วิธีการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้

เกริ่นนำ

การประมาณมวลชีวภาพของสวนป่า ใช้วิธี stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) ซึ่งดำเนินการโดยสุ่มตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน ทั้งเล็ก กลาง และใหญ่ วัดมิติของตัวแทนต้นไม้ และทำการตัดทอนลำต้นออกเป็นท่อน ๆ ไปตลอดความยาวของลำต้น และ/หรือ รวมทั้งการขุดรากเพื่อศึกษามวลชีวภาพของราก ข้อมูลตัวแทนต้นไม้ที่ได้สามารถนำไปจัดสร้างมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบ allometric equation ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation: $Y = aX^b$) ซึ่งสมการที่ได้สามารถนำไปประมาณมวลชีวภาพและนำไปประเมินการกักเก็บคาร์บอนต่อไป โดยทั่วไปการศึกษาหาสมการประมาณมวลชีวภาพมักจะทำการศึกษาไปพร้อมกับการหาสมการประมาณปริมาตรผลผลิตของสวนป่าในคราวเดียวกัน เนื่องจากวิธีการเก็บข้อมูลคล้ายคลึงกัน

อุปกรณ์สำหรับการศึกษา

อุปกรณ์สำหรับการศึกษาการประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ ประกอบด้วย

1. อุปกรณ์การวัด ประกอบด้วย

- 1) สายวัด อาจใช้ diameter tape สำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือ สายวัดธรรมดาสำหรับวัดเส้นรอบวง
- 2) เครื่องมือวัดความสูง อาจใช้ไม้วัดความสูง (measuring pole) หรือเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้สำหรับการวัดความสูงโดยเฉพาะ เช่น Clinometer หรือ Altimeter
- 3) ไม้วัดระดับ 1.30 เมตร เพื่อหมายตำแหน่งสำหรับการวัดความโตและความสูงของต้นไม้
- 4) เทปวัดระยะทาง (20 หรือ 50 เมตร) สำหรับการวางแปลงตัวอย่างในการเก็บข้อมูล
- 5) เวอร์เนียคาลิเปอร์ สำหรับการวัดความโตของปลายยอดที่มีขนาดเล็ก

2. อุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูล ประกอบด้วย

- 1) กระดาษสำหรับจดบันทึกข้อมูลภาคสนาม พร้อมแผ่นรองเขียน
- 2) ดินสอ ปากกา สำหรับจดบันทึกข้อมูล

3) สี่เหลี่ยม สำหรับการทำเครื่องหมายตำแหน่งที่ต้องทำการวัดและตัด

3. อุปกรณ์การตัด ประกอบด้วย

- 1) เลื่อย เลื่อยมือ และเลื่อยยนต์
- 2) มีด
- 3) กรรไกรตัดกิ่ง

4. อุปกรณ์การชั่ง ประกอบด้วย

เครื่องชั่ง ควรมีอย่างน้อย 2 ขนาด ได้แก่ เครื่องชั่งสำหรับการชั่งน้ำหนักสดของส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ตัวอย่าง (15, 20, 60, 150 กิโลกรัม) ขึ้นกับขนาดของต้นไม้ตัวอย่าง และเครื่องชั่งสำหรับการชั่งตัวอย่างที่เก็บไปสำหรับการหาความชื้น ซึ่งนิยมใช้เครื่องชั่งดิจิตอลที่มีทศนิยมอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง

5. อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง ประกอบด้วย

- 1) ภาชนะสำหรับบรรจุส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ เพื่อนำไปชั่งน้ำหนักสด เช่น เชง ลัง ถาด
- 2) ถุงพลาสติก สำหรับเก็บตัวอย่างนำไปหาความชื้นในห้องปฏิบัติการ
- 3) เชือก และหนังยางสำหรับรัดภาชนะเก็บตัวอย่าง

6. อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่

- 1) ผ้าพลาสติกสำหรับปูพื้นในการปฏิบัติงาน หรือกางกันฝน
- 2) เชือกฟาง
- 3) สี่เหลี่ยม

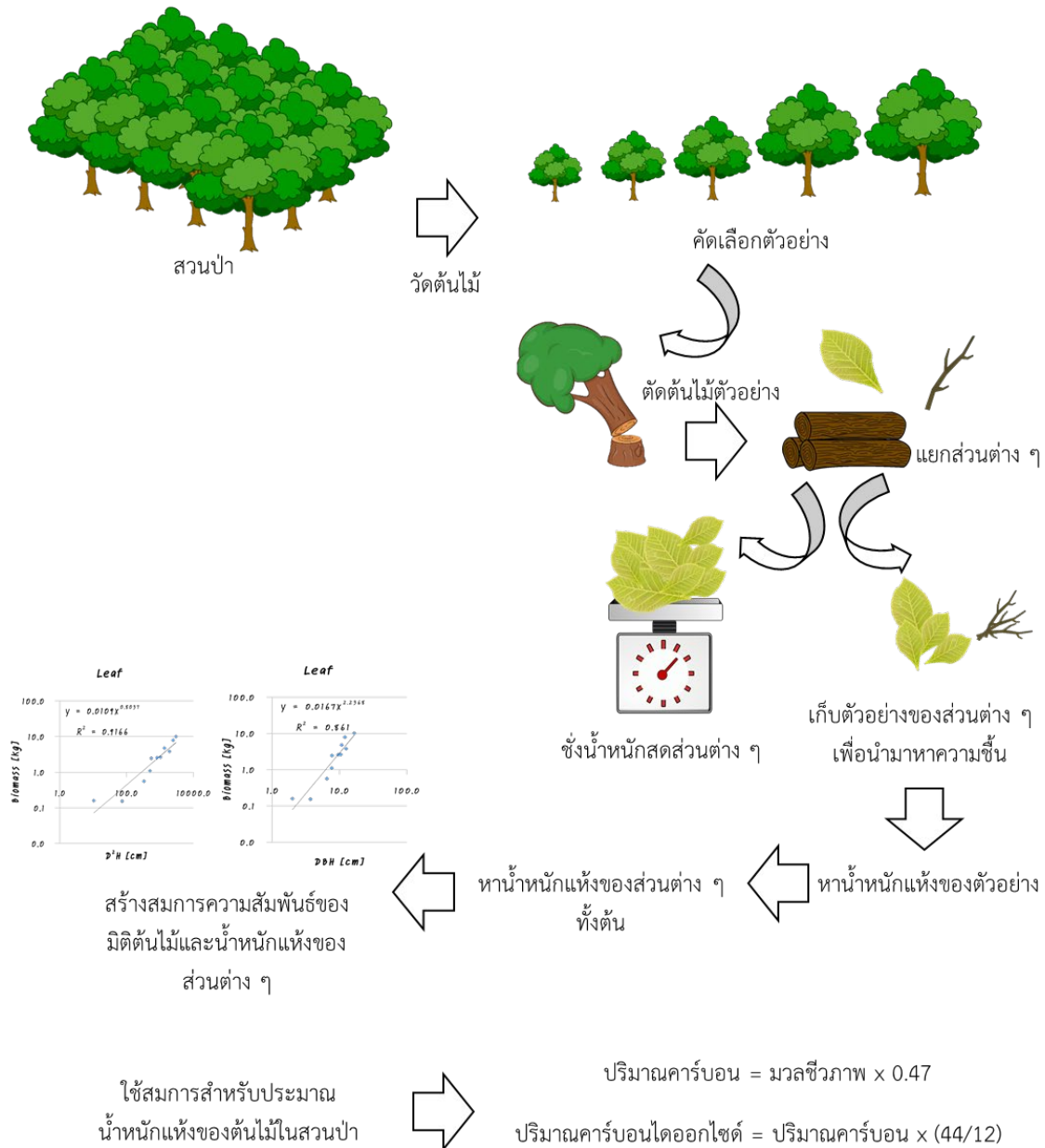
ขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน แผนผังตามภาพที่ 3

การคัดเลือกต้นตัวอย่าง

1. โดยทั่วไปการประมาณค่าต่าง ๆ เช่น มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นวางแผนเพื่อคัดเลือกตัวอย่างในพื้นที่ตามขนาดที่สมควร โดยหลักการของป่าไม้ที่นิยมกันคือ 40 เมตร x 40 เมตร หรือ 1 ไร่ ในพื้นที่ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ขนาดใหญ่ทั้งหมดได้

2. ทำการหมายตำแหน่งที่จะทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) หรือความโตที่ระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดิน โดยใช้ไม้ขนาด 1.30 เมตรทาบกับลำต้นและใช้สี่เหลี่ยมหมายตำแหน่งไว้

3. ทำการวัดข้อมูลต้นไม้ ได้แก่ DBH และความสูงของต้นไม้ ทุกต้น (ภาพที่ 4) ซึ่งสามารถใช้สายวัดธรรมชาติวัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ แต่ต้องทำการแปลงค่าก่อนทำการวิเคราะห์หาสมการต่อไป

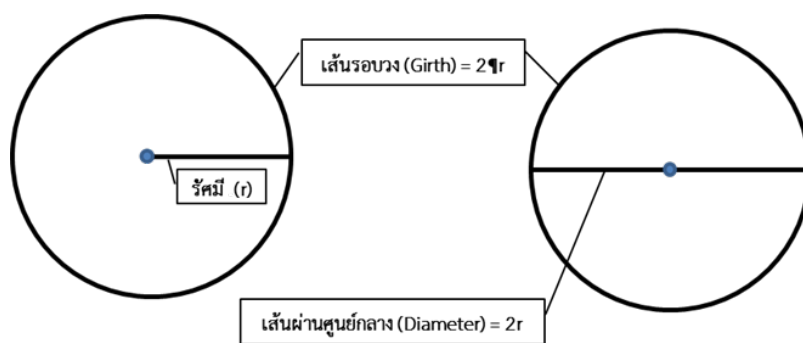


ภาพที่ 3 แผนผังขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน



ภาพที่ 4 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงของต้นไม้

4. สมการประมาณมวลชีวภาพจะใช้ค่ามิติของต้นไม้ ได้แก่ ความสูงทั้งหมด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) กรณีที่ใช้สายวัดธรรมดาและทำการวัดเส้นรอบวง ต้องทำการแปลงค่าให้เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกก่อน (รัศมี เส้นรอบวง และเส้นผ่านศูนย์กลาง แสดงในภาพที่ 5) การแปลงค่าให้ทำดังนี้



ภาพที่ 5 รัศมี เส้นรอบวง และเส้นผ่านศูนย์กลาง

$$\begin{aligned} \text{เส้นรอบวง (Girth)} &= 2\pi r \\ \text{เส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter)} &= 2r \\ &= \text{Girth} / \pi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } r &= \text{รัศมีของวงกลม} \\ \pi &= 22/7 \end{aligned}$$

ตัวอย่าง วัดเส้นรอบวงได้ 55.9 เซนติเมตร

$$\begin{aligned} \text{เส้นรอบวง} &= 55.9 \text{ cm} \\ \text{เส้นผ่านศูนย์กลาง} &= 55.9 / (22/7) \\ &= 17.8 \text{ cm} \end{aligned}$$

5. นำข้อมูล DBH มากำหนดอันตรายภาคขึ้น โดยกำหนดความต้องการตัดตัวอย่างต้นไม้จำนวนกี่ต้น โดยทั่วไปนิยม 5-12 ต้น ขึ้นกับสภาพของต้นไม้ หากต้นไม้มีความสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนต้นไม้มากนัก และข้อจำกัดอื่น ๆ เช่น แรงงาน เวลา และงบประมาณ และคัดเลือกต้นไม้ตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ เพื่อเป็นตัวแทนของต้นไม้ทั้งหมดในพื้นที่

ตัวอย่าง ต้นพะยุงในพื้นที่ 1 ไร่ มีค่า DBH ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{เฉลี่ย} &= 17.8 \text{ cm} \\ \text{ต่ำสุด} &= 6.4 \text{ cm} \\ \text{สูงสุด} &= 28.9 \text{ cm} \\ \text{ค่าสูงสุด - ค่าต่ำสุด} &= 22.5 \text{ cm} \\ \text{ต้องการตัวอย่าง 5 ต้น} &= 22.5 / 5 = 4.5 \text{ cm} \end{aligned}$$

กำหนดอันตรายภาคขึ้น โดยกำหนดค่าต่ำสุด 6.3 cm และเพิ่มทุก 4.5 cm ($6.1 + 4.5 = 10.6$)

เลือกขนาด DBH ค่ากลางระหว่าง 2 ค่า $(6.1 + 10.6) / 2 = 8.4$

ต้นที่ 1 ขนาด 6.1-10.6 cm เลือกต้นขนาด 8.4 cm

ต้นที่ 2 ขนาด 10.7-15.2 cm เลือกต้นขนาด 13.0 cm

ต้นที่ 3 ขนาด 15.3-19.8 cm เลือกต้นขนาด 17.6 cm

ต้นที่ 4 ขนาด 19.9-24.4 cm เลือกต้นขนาด 22.2 cm

ต้นที่ 5 ขนาด 24.5-29.0 cm เลือกต้นขนาด 26.8 cm

6. หมายต้นไม้ที่มีขนาดที่ต้องการคัดเลือกเป็นต้นตัวอย่างในแปลง โดยคัดเลือกต้นไม้ที่มีขนาดตามที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงมากที่สุด เลือกต้นไม้ที่มีลักษณะดี หรือลักษณะปกติทั่วไป เช่น ไม่มีหลายนาง มีสภาพใบที่สมบูรณ์ ไม่มีร่องรอยการทำลายของโรคและแมลง (ภาพที่ 6)
7. ทำการตัดต้นไม้ตัวอย่าง โดยให้ชิดดินมากที่สุด (ภาพที่ 7)
8. แยกส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ออก เป็น ใบ กิ่ง ลำต้น (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 6 ต้นไม้ตัวอย่างที่ได้รับการคัดเลือกเป็นตัวแทน



ภาพที่ 7 ตัดต้นไม้ให้ชิดดินที่สุด



ภาพที่ 8 แยกใบ กิ่ง และลำต้นออกจากกัน

การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1. ส่วนที่เป็นลำต้น ทำการวัดและหมายท่อนที่ตำแหน่ง 0.30 เมตร 1.30 เมตร และทุก ๆ 1 เมตร (ได้แก่ 2.30 เมตร 3.30 เมตร) จนถึงปลายยอด ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่าง ๆ ที่หมายไว้ เพื่อนำมาใช้คำนวณหาปริมาตรของลำต้น (ภาพที่ 9) และทอนลำต้นออกเป็นท่อน ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปและให้สามารถทำการชั่งน้ำหนักสดได้
2. นำส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ใบ กิ่ง ลำต้น มาชั่งน้ำหนัก (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 9 การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณปริมาตร และการตัดทอนลำต้นออกเป็นท่อน



ภาพที่ 10 การชั่งน้ำหนักสดของส่วนต่าง ๆ

3. เก็บตัวอย่างส่วนลำต้น ใบ และกิ่ง ประมาณ 500 กรัม นำมาชั่งหาน้ำหนักสดของตัวอย่าง และเก็บใส่ถุงกระดาษเพื่อนำมาหาความชื้นที่ห้องปฏิบัติการ (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 การเก็บตัวอย่างส่วนต่าง ๆ เพื่อนำไปหาค่าความชื้น

กรณีที่ต้องการศึกษามวลชีวภาพส่วนใต้ดิน หรือมวลชีวภาพของราก ให้ทำการขุดราก และนำส่วนของรากออกมาให้หมด ซึ่งอาจใช้แรงคนหรือเครื่องจักรช่วย (ภาพที่ 12) ในบางการศึกษาต้องการศึกษาถึงสรีระและการกระจายของราก ต้องทำการขุดอย่างประณีตเพื่อดูการกระจายของราก แต่หากต้องการศึกษามวลชีวภาพของรากเท่านั้น สามารถขุดรากออกมาได้เลย แต่ควรนำรากออกมาให้มากที่สุด ข้อควรระวังคือกรณีที่มีรากของต้นข้างเคียง ต้องเลือกเฉพาะรากของต้นที่ทำการศึกษา เพื่อมิให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูล



ภาพที่ 12 การขุดรากเพื่อนำมาศึกษามวลชีวภาพส่วนใต้ดินหรือมวลชีวภาพของราก

และเมื่อได้รากมาแล้ว ต้องทำความสะอาด นำดินหรือส่วนที่มีไช่รากออกให้หมด ตากให้แห้ง ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักสด และเก็บตัวอย่างเพื่อไปหาค่าความชื้นเช่นเดียวกับส่วนอื่น ๆ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 การทำความสะอาด ตาก และนำรากไปชั่งน้ำหนักสด

ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลสำหรับสร้างสมการประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ในภาคสนาม แสดงตามภาพที่ 4

Location : สวนป่า

ตะเคียนทอง จังหวัดสุ

ราษฎร์ธานี

Date :

7/8/2022

Tree	Planted Year	Age (Year)	Spacing (mxm)		DBH (cm)	Ht (m)	Db (cm)	stump (m)	Remarks
T8	2541	24	2x4		13.30	14.70		0.30	
Log	Layer	Diameter (cm)			Weight (kg)				
		stem 1	stem 2	stem 3	stem	branch	twig	leaf	root
	D.0	17.3			4.5	21.4	8.0	5.10	
	0.3	14.5			15.4				
	D1.3(DBH)	13.3			13.3				
	D2.3	12.4			12.2				
	D3.3	12.0			11.0				
	D4.3	11.9			9.8				
	D5.3	10.8			9.4				
	D6.3	11.5			8.0				
	D7.3	9.3			6.4				
	D8.3	8.9			6.4				
	D9.3	7.3			4.6				
	D10.3	6.5			2.8				
	D11.3	5.1			3.8				
	D12.3	4.2							
					stem	branch	twig	leaf	root
				MC(%)					
				TFW(kg)	107.6	21.4	8.0	5.1	0.0
				TDW(kg)					

ภาพที่ 14 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลสำหรับสร้างสมการประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้

การเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

1. นำตัวอย่างแต่ละส่วนของแต่ละต้นเข้าอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของตัวอย่างจะคงที่
2. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง เป็นน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. คำนวณหาค่าความชื้นของตัวอย่าง (เกียร์ติ๊กอง และคณะ, 2530) จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสดตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักแห้งตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักแห้งตัวอย่าง}} \times 100$$

2. คำนวณหาน้ำหนักแห้งของต้นไม้ (เกียร์ติ๊กอง และคณะ, 2530) จากสมการ

$$\text{น้ำหนักแห้ง (กิโลกรัม)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสดทั้งหมด}}{100 + \text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น}}$$

ตัวอย่าง

น้ำหนักสดตัวอย่างส่วนลำต้นที่วัดจากภาคสนาม	=	620 กรัม
น้ำหนักแห้งตัวอย่างที่วัดหลังอบ	=	324 กรัม
ความชื้น	=	$\frac{(620-324)}{324} \times 100$
	=	91.36 %
น้ำหนักสดของส่วนลำต้นทั้งหมดที่วัดจากภาคสนาม	=	26 กิโลกรัม
น้ำหนักแห้งของส่วนลำต้นทั้งหมด	=	$\frac{100 \times 26}{100+91.36}$
	=	13.59 กิโลกรัม

3. สร้างสมการประมาณมวลชีวภาพในรูปแบบแอลโลเมตริก (allometric equation) ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation) ของมวลชีวภาพของแต่ละส่วนกับขนาดของต้นไม้ (DBH และ ความสูง) จากสมการ (พงษ์ศักดิ์, 2552)

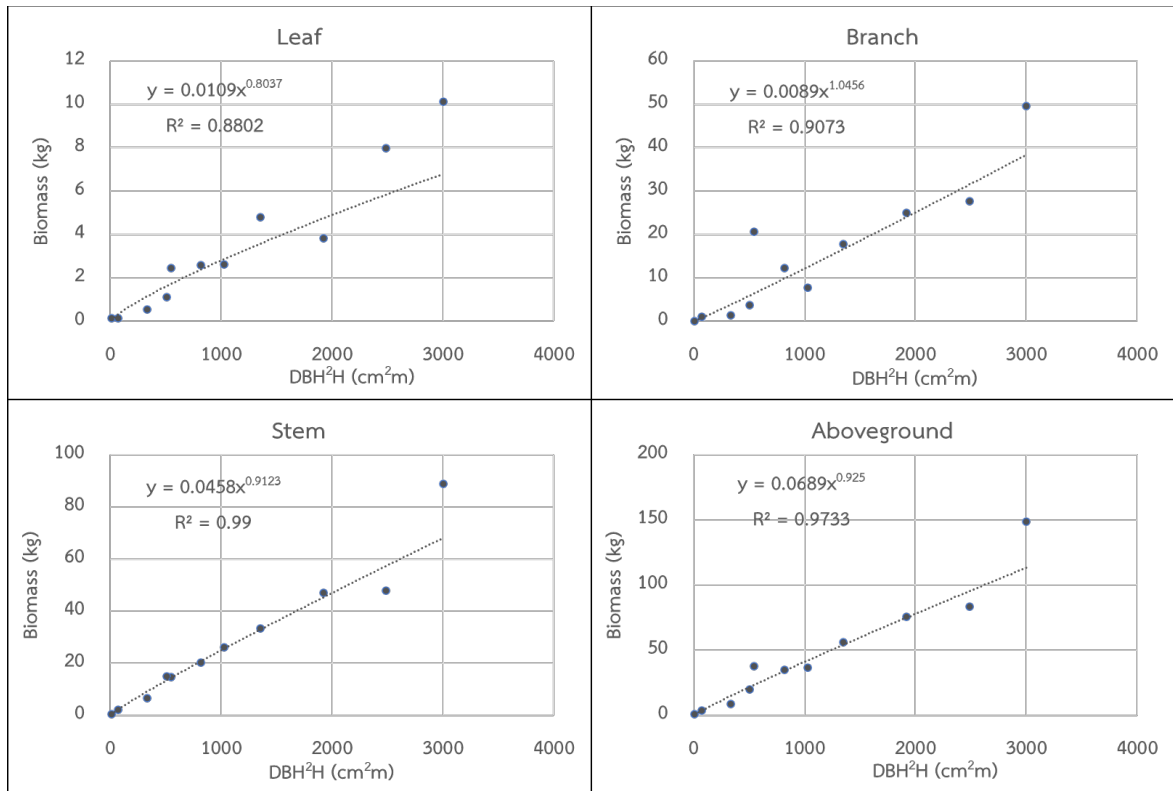
$$Y = aX^b$$

โดย Y = มวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และส่วนเหนือพื้นดิน

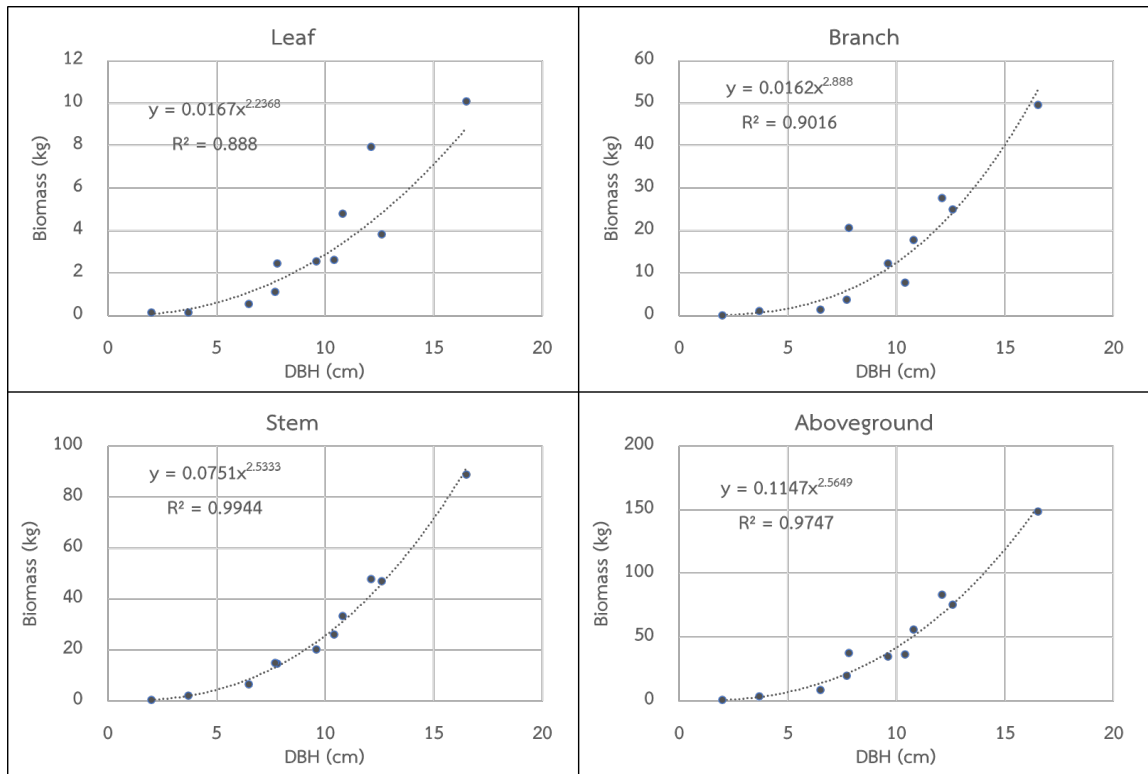
X = ขนาดของต้นไม้ (เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง)

a และ b เป็นค่าคงที่ของสมการ

ความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้กับขนาดของต้นไม้ (DBH และ ความสูง) ในรูปแบบแอลโลเมตริก (allometric equation) ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation) ทางวิชาการป่าไม้ สมการแอลโลเมตริกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้กับค่า DBH และความสูง ($DBH^2 \times H$ หรือ D^2H) แสดงดังภาพที่ 14 ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาสมการแอลโลเมตริกที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้กับค่า DBH เพียงค่าเดียว เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้ โดยผู้ใช้วัดเฉพาะค่า DBH และไม่ต้องวัดความสูง ซึ่งทำได้ยากและอาจให้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำไม่มากนัก อย่างไรก็ตามค่าความเชื่อมั่น (R^2) ยังให้ค่าที่ยอมรับได้ แสดงดังภาพที่ 15 สมการนี้สามารถสร้างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์พื้นฐาน ได้แก่ Microsoft Excel ได้ (ภาคผนวกที่ 1)



ภาพที่ 15 สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation) ระหว่างส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้กับ DBH และความสูง



ภาพที่ 16 สมการแอลโลเมตริก (allometric equation) ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation) ระหว่างส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้กับ DBH

การนำไปใช้ประโยชน์

1. คำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ในพื้นที่

ตัวอย่าง

กรณีการคำนวณหามวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดิน (Above-ground biomass: AGB) ของพะยูน อายุ 6 ปี จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินกับ DBH ที่ได้คือ

$$Y = 0.1147 \times \text{DBH}^{2.5649}$$

เมื่อนำข้อมูล DBH ของต้นไม้แต่ละต้นในพื้นที่มาคำนวณตามสมการที่ได้ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของแต่ละต้น ตัวอย่างแสดงตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรายต้น

Tree	DBH (cm)	HT (m)	AGB (kg)
1	2.40	3.68	1.08
2	3.10	3.63	2.09
3	5.50	5.11	9.09
4	8.50	8.19	27.76
5	10.30	8.23	45.43
6	8.90	7.44	31.24
7	...	...	...
8	...	...	...

และนำค่าของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของทุกต้นมารวมกัน เป็นมวลชีวภาพเหนือพื้นดินรวมในพื้นที่ (ในกรณีทำการวัดต้นไม้ในพื้นที่ 1 ไร่ มวลชีวภาพรวมเป็น กิโลกรัมต่อไร่)

2. คำนวณหาการกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006) ได้กำหนดว่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพของต้นไม้เป็นคาร์บอน และแปลงค่าการกักเก็บคาร์บอนเป็นการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการนำค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (มวลโมเลกุลเท่ากับ 44) และคาร์บอน (มวลโมเลกุลเท่ากับ 12) คือ 44/12 หรือ 3.67 คูณกับคาร์บอน (อภิสหรี, 2564) จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{การกักเก็บคาร์บอน} &= \text{มวลชีวภาพ} \times 0.47 \\ \text{(กิโลกรัมคาร์บอน)} & \quad \quad \quad \text{(กิโลกรัม)} \\ \text{การดูดซับ CO}_2 &= \text{การกักเก็บคาร์บอน} \times (44/12) \\ \text{(กิโลกรัม CO}_2\text{)} & \quad \quad \quad \text{(กิโลกรัมคาร์บอน)} \\ \text{หรือ} &= \text{การกักเก็บคาร์บอน} \times 3.67 \\ & \quad \quad \quad \text{(กิโลกรัมคาร์บอน)} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง

มวลชีวภาพรวมของพะยูน อายุ 6 ปี ในพื้นที่ 1 ไร่ เท่ากับ 4,321 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 4.321 ตันต่อไร่

$$\begin{aligned} \text{การกักเก็บคาร์บอน} &= 4.321 \times 0.47 \\ &= 2.03 \text{ ตันคาร์บอนต่อไร่} \\ \text{การดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์} &= 2.03 \times 3.67 \\ &= 7.45 \text{ ตัน CO}_2 \text{ ต่อไร่} \end{aligned}$$

การสร้างสมการแอลโลเมตริก ส่วนใหญ่นักวิจัยจะทำการแยกสมการของแต่ละส่วน ได้แก่ ใบ กิ่ง ลำต้น และ/หรือ ราก แล้วจึงนำค่ามวลชีวภาพจากการคำนวณมารวมกัน เช่น ส่วนของใบ กิ่ง และลำต้น รวมกันจะเป็นมวลชีวภาพของส่วนเหนือพื้นดิน (Above-ground biomass) และส่วนใต้ดิน (Below-ground biomass) หรือหากนำทุกส่วนมารวมกันทั้งส่วนเหนือพื้นดินและส่วนใต้ดินจะได้มวลชีวภาพรวม และในรายงานการศึกษาบางฉบับนักวิจัยอาจทำการสร้างสมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพรวมของส่วนเหนือพื้นดินด้วยเพื่อนำไปประเมินส่วนเหนือพื้นดิน (โดยไม่ต้องคำนวณแยกส่วนต่าง ๆ ก่อนนำมารวมกัน) การนำไปใช้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ ค่าที่ได้จากการรวมแต่ละส่วนกับค่าที่ได้จากการสร้างสมการรวมจะแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากที่มาของข้อมูลมาจากที่เดียวกัน แต่อาจแตกต่างการลดทอนทศนิยมในแต่ละขั้นตอนการคำนวณ

ข้อควรทราบ

ในการคำนวณคาร์บอนไดออกไซด์จากมวลชีวภาพของต้นไม้ หน่วยที่ได้คือ กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์หรือตันคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในการคำนวณเกี่ยวกับคาร์บอนเครดิตโดยเฉพาะในภาคอื่น ๆ เช่น เกษตรและพลังงานนั้น นอกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แล้วยังมีก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ อีก 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) ก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF_6) ก๊าซไนโตรเจนไตรฟลูออไรด์ (NF_3) ซึ่งมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งการปลูกป่าแม้ว่าจะเป็นการสร้างต้นไม้เพื่อดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในการปลูกป่า (โดยเฉพาะการปลูกป่าเชิงเศรษฐกิจขนาดใหญ่) ที่ต้องมีการไถเตรียมพื้นที่หรือการใส่ปุ๋ย นับว่าเป็นขบวนการที่ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกอื่น ได้ด้วยเช่นกัน เมื่อต้องนำค่าก๊าซเรือนกระจกนอกจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาวิเคราะห์รวมด้วยเพื่อให้ได้ค่าของก๊าซเรือนกระจกสุทธิก่อนนำมาประเมินคาร์บอนเครดิตจึงใช้ภาพรวมของหน่วยการวัดว่า กิโลกรัมหรือตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kgCO_2eq หรือ tonCO_2eq) ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ของก๊าซเรือนกระจกต่าง ๆ เทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ได้อ้างอิงตาม IPCC Fourth Assessment (AP4) 2007 แสดงตามตารางที่ 2 และปรับค่า GWP สำหรับการคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกภายใต้โครงการ T-VER ตาม IPCC Fifth Assessment (AR5) 2014 ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณ
คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในรอบ 100 ปี ตาม IPCC Fourth Assessment (AP4) 2007

ชนิดก๊าซเรือนกระจก	สูตรทางเคมี	ค่า GWP
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298
Hydrofluorocarbon	HFCs	124 - 14,800
Sulphur hexafluoride	SF ₆	22,800
Perfluorocarbon	PFCs	7,390 – 12,200
Nitrogen trifluoride	NF ₃	17,200

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2561

ตารางที่ 3 ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (GWP) ที่ใช้ในการคำนวณค่าปริมาณ
คาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในรอบ 100 ปี ตาม IPCC Fifth Assessment (AR5) 2014

ชนิดก๊าซเรือนกระจก	สูตรทางเคมี	ค่า GWP
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	28
Nitrous oxide	N ₂ O	265

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), 2564

บทที่ 2

วิธีการศึกษาเพื่อหาสมการสำหรับประมาณปริมาตรของต้นไม้

เกริ่นนำ

การประมาณปริมาตรของต้นไม้ คือ การคำนวณปริมาตรไม้จากวิธีมาตรฐานวิธีใดวิธีหนึ่ง โดยพยายามให้มีค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สมการปริมาตรไม้ในการประมาณปริมาตรต้นไม้ โดยการคำนวณปริมาตรไม้ทั้งต้น และนำมาหาความสัมพันธ์กับปัจจัยที่มีผลต่อปริมาตรต้นไม้ ได้แก่ ขนาดเส้นรอบวง ความสูง รูปทรงของต้นไม้ อายุของต้นไม้ คุณภาพของแหล่งไม้ และสภาพแวดล้อม เมื่อได้สมการปริมาตรไม้สามารถนำมาสร้างตารางปริมาตรไม้เพื่อความสะดวกมากยิ่งขึ้น ในการประมาณปริมาตรไม้ (ปัสสี, 2534) ในการคำนวณปริมาตรลำต้นของต้นไม้อาจโค่นล้มไม้ตัวอย่างแล้วแบ่งลำต้นออกเป็นท่อนสั้น ๆ (Relative section method) เพื่อคำนวณปริมาตรของแต่ละท่อนแล้วนำมารวมกันเป็นปริมาตรไม้ทั้งต้น (สมหญิง, 2547) ปริมาตรของต้นไม้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ 1) ความโต อาจจะเป็นขนาดวัดรอบหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง 2) ความสูงหรือความยาว 3) รูปทรง 4) อายุ 5) คุณภาพของแหล่งไม้ และ 6) สภาพแวดล้อม (ปัสสี, 2534)

การสร้างสมการเพื่อประเมินปริมาตรส่วนใหญ่จะทำการตัดไม้ตัวอย่างวัดมิติของต้นไม้และนำมาสร้างสมการสำหรับใช้ประเมินปริมาตรของต้นไม้ในพื้นที่โดยไม่ต้องทำการตัดโค่นเป็นไม้ท่อน ในปัจจุบันมีการสร้างสมการที่หลากหลาย แต่ส่วนใหญ่เป็นสมการที่ใช้ได้เฉพาะในชนิดไม้ นั้น ๆ และสถานที่ปลูกนั้น ๆ เนื่องจากปริมาตรของต้นไม้ขึ้นกับหลายปัจจัยดังกล่าวข้างต้น

โดยทั่วไปการศึกษาหาสมการประมาณปริมาตรต้นไม้ในสวนป่าจะทำได้ในคราวเดียวกันกับการหาสมการประมาณมวลชีวภาพ เนื่องจากวิธีการเก็บข้อมูลคล้ายคลึงกัน

อุปกรณ์สำหรับการศึกษา

อุปกรณ์สำหรับการศึกษาหาสมการประมาณปริมาตรต้นไม้ในสวนป่า ประกอบด้วย

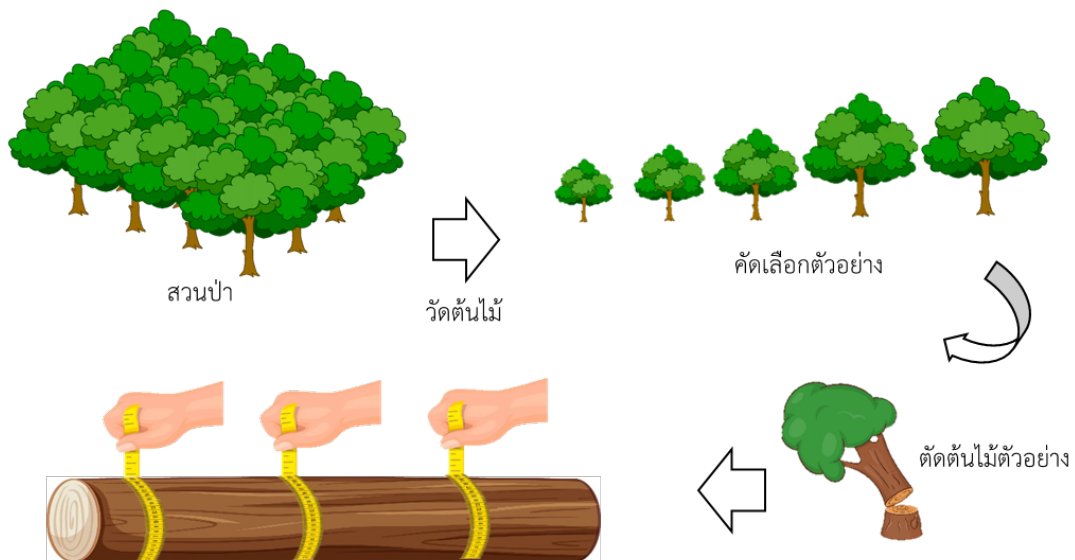
1. อุปกรณ์การวัด ประกอบด้วย

1) สายวัด อาจใช้ diameter tape สำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือ สายวัดธรรมดาสำหรับวัดเส้นรอบวง

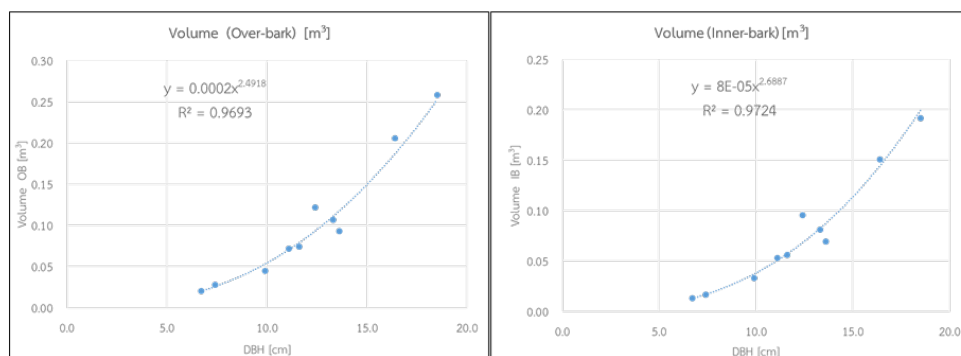
2) เครื่องมือวัดความสูง อาจใช้ไม้วัดความสูง (measuring pole) หรือเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ใช้สำหรับการวัดความสูงโดยเฉพาะ เช่น Clinometer หรือ Altimeter

- 3) ไม้วัดระดับ 1.30 เมตร เพื่อหมายตำแหน่งสำหรับการวัดความโตและความสูงของต้นไม้
 - 4) เทปวัดระยะทาง (20 หรือ 50 เมตร) สำหรับการวางแปลงตัวอย่างในการเก็บข้อมูล
 - 5) เวอร์เนียคาลิเปอร์ สำหรับการวัดความโตของปลายยอดที่มีขนาดเล็ก
2. อุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูล ประกอบด้วย
- 1) กระดาษสำหรับจดบันทึกข้อมูลภาคสนาม พร้อมแผ่นรองเขียน
 - 2) ดินสอ ปากกา สำหรับจดบันทึกข้อมูล
 - 3) สีเมจิก สำหรับการทำเครื่องหมายตำแหน่งที่ต้องทำการวัดและตัด
3. อุปกรณ์การตัด ประกอบด้วย
- 1) เลื่อย เลื่อยมือ และเลื่อยยนต์
 - 2) มีด
 - 3) กรรไกรตัดกิ่ง
4. อุปกรณ์อื่น ๆ ได้แก่
- 1) ผ้าพลาสติกสำหรับปูพื้นในการปฏิบัติงาน หรือกางกันฝน
 - 2) เชือกฟาง
 - 3) สีเมจิก

ขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณปริมาตรของต้นไม้ แสดงแผนผังตามภาพที่ 17



ทำการวัดขนาดความโตของลำต้นในทุกช่วง 1-2 เมตร
อาจทอนต้นไม้ออกเป็นท่อนหรือไม่ก็ได้



สร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างมิติต้นไม้และปริมาตรลำต้น

ภาพที่ 17 แผนผังขั้นตอนการศึกษาเพื่อหาสมการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน

การคัดเลือกต้นตัวอย่าง

1. โดยทั่วไปวางแผนแปลงตัวอย่างขนาด 1 ไร่ หรือ 40 เมตร x 40 เมตร ในพื้นที่ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ขนาดใหญ่ทั้งหมด เช่นเดียวกับการคัดเลือกต้นตัวอย่างในการสร้างสมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือขนาดแปลงที่เหมาะสมในการเป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้งหมด

2. สมการประมาณมวลชีวภาพจะใช้ค่ามิติของต้นไม้ ได้แก่ ความสูงทั้งหมด และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ดำเนินการกับต้นไม้ที่ยืนต้นอยู่เช่นเดียวกับการสร้างสมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้แก่

2.1 ทำการหมายตำแหน่งที่จะทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) หรือความโตที่ระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดิน โดยใช้ไม้ขนาด 1.30 เมตรทาบกับลำต้นและใช้สิมิจิกหมายตำแหน่งไว้

2.2 ทำการวัดข้อมูลต้นไม้ ได้แก่ DBH และความสูงของต้นไม้ ทุกต้น ซึ่งสามารถใช้สายวัดธรรมดาวัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ แต่ต้องทำการแปลงค่าก่อนทำการวิเคราะห์หาสมการต่อไป

2.3 นำข้อมูล DBH มากำหนดอันตรภาคชั้น โดยกำหนดความต้องการตัดตัวอย่างต้นไม้จำนวนกี่ต้น โดยทั่วไปนิยม 5-12 ต้น ขึ้นกับสภาพของต้นไม้ หากต้นไม้มีความสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ มีขนาดใกล้เคียงกัน ไม่จำเป็นต้องใช้จำนวนต้นไม้มากนัก และข้อจำกัดอื่น ๆ เช่น แรงงาน เวลา และงบประมาณ และคัดเลือกต้นไมตัวอย่างที่มีขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ เพื่อเป็นตัวแทนของต้นไม้ทั้งหมดในพื้นที่

2.4 หมายต้นไม้ที่มีขนาดที่ต้องการคัดเลือกเป็นต้นตัวอย่างในแปลง โดยคัดเลือกต้นที่มีขนาดตามที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงมากที่สุด เลือกต้นที่มีลักษณะดี หรือลักษณะปกติทั่วไป เช่น ไม่มีหลายนาง มีสภาพใบที่สมบูรณ์ ไม่มีร่องรอยการทำลายของโรคและแมลง

2.5 ทำการตัดต้นไม้ตัวอย่าง โดยให้ชิดดินมากที่สุด

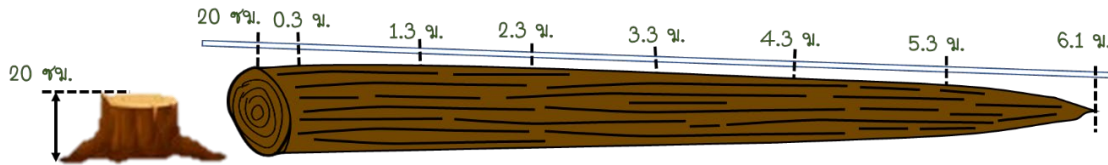
2.6 ลิดกิ่งและนำใบออก ให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นลำต้น

การเก็บข้อมูลภาคสนาม

1. ให้วัดความสูงของตอ

2. ส่วนที่เป็นลำต้น ทำการวัดและทำเครื่องหมายที่ตำแหน่ง 0.30 เมตร 1.30 เมตร และทุก ๆ 1 เมตร (ได้แก่ 2.30 เมตร 3.30 เมตร) จนถึงปลายยอด ทั้งนี้ให้นับรวมความสูงของตอด้วย ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่าง ๆ ที่หมายไว้ เพื่อนำมาใช้คำนวณหาปริมาตรของลำต้น ทำการทอนลำต้นออกเป็นท่อน ท่อนละ 1 เมตร หรือ 2 เมตร หรือยาวกว่านั้น ให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

การวัดข้อมูลขึ้นกับการปริมาตรของลำต้นทั้งหมดต้องวัดถึงส่วนยอดสุด หากต้องการปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ ให้วัดไปถึงขนาดจำกัด เช่น ใช้ประโยชน์ได้ถึงความโต 10 เซนติเมตร) (ภาพที่ 18)



ภาพที่ 18 การวัดเส้นรอบวงที่ระดับต่าง ๆ

3. กรณีที่มีหลายลำต้น (2 นาง ขึ้นไป) ให้ทำการวัดแยกลำต้น โดยระบุให้เป็นลำต้นที่ 1 ลำต้นที่ 2 และนำมาแยกหาปริมาตรก่อนนำมารวมกันเป็นปริมาตรทั้งหมด อย่างไรก็ตามต้นที่มีหลายลำต้นไม่ใช่ตัวแทนที่ดี อาจทำให้ความน่าเชื่อถือของสมการที่ได้ลดลง ดังนั้นการเลือกตัวอย่างควรหลีกเลี่ยงต้นที่มีหลายนาง ยกเว้นชนิดไม้ที่มีหลายนาง เช่น พะยูง มะค่าโมง ควรต้องสร้างสมการสำหรับการประเมินปริมาตรต้นไม้กรณี 2 นาง หรือ 3 นาง ด้วย และจำนวนตัวอย่างจะต้องมีมากขึ้นเพื่อให้เป็นตัวแทนของต้นหลายนางด้วย

4. ให้ทำการระบุตำแหน่งความสูงระดับที่ความโตเท่ากับขนาดจำกัด (เช่น ขนาดจำกัดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร) ด้วย เพื่อนำไปใช้ในการประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลแสดงดังภาพที่ 19

Location : สวนป่าตะเคียนทอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี				Date :	7/8/2022
Tree	Planted Year	Age (Year)	Spacing (mxm)	stump (cm)	
T3	2541	24	2 x 4	20	
DBH (cm)	Ht (m)	Db (cm)	HDb (cm)	HD10 (m)	
24.50	17.00	11.80	12.30	13.00	
Log	Layer		Dia (cm)		Remarks
		stem 1	stem 2	stem 3	
	0	35.4			
	0.3	27.4			
1	1.3	24.5			
2	2.3	23.5			
3	3.3	23.1			
4	4.3	22.7			
5	5.3	21.4			
6	6.3	20.8			
7	7.3	20.3			
8	8.3	20.2			
9	9.3	18.8			
10	10.3	16.3			
11	11.3	14.6			
12	12.3	11.8			
13	13.3	8.4			
14	14.3	7.0			
15	15.3	6.5			
16	16.3	5.0			
17	17				

ภาพที่ 19 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูลสำหรับสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้

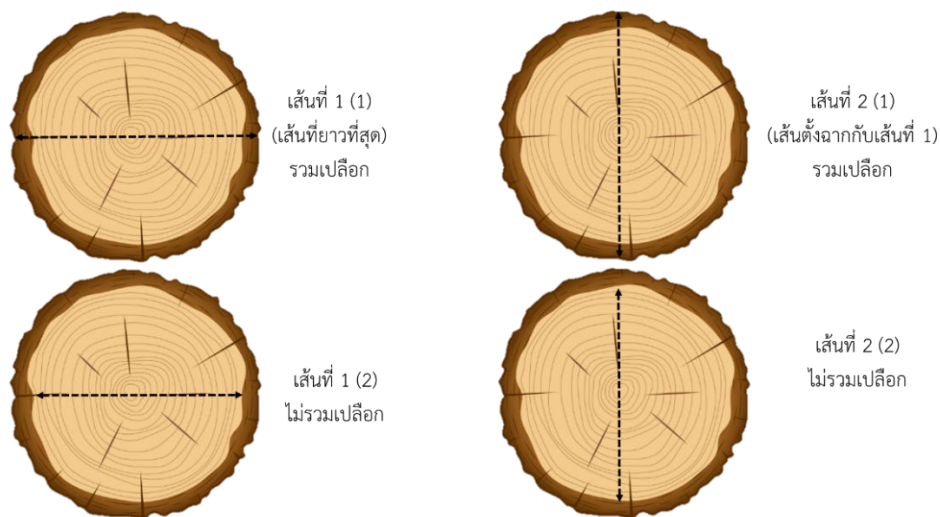
5. ให้ทำการวัดความหนาเปลือก เพื่อนำมาคำนวณปริมาตรส่วนที่ไม่รวมเปลือก โดยใช้เครื่องมือวัดความหนาเปลือก (bark gauge) (ภาพที่ 20) ทำการวัดความหนาเปลือกตำแหน่งเดียวกับที่วัดความโต โดยการกดไปที่ลำต้นให้พอดีมือ วัดทั้ง 4 ด้าน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ในกรณีที่มีการทอนต้นไม้ออกเป็นท่อน ให้ทำการวัดความหนาเปลือกที่หน้าตัดของลำต้น โดยใช้สายวัดหรือตลับเมตรวัดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดด้านที่ยาวที่สุด (เส้นที่ 1) ทำการวัดแบบรวมเปลือก (เส้นที่ 1 (1)) และไม่รวมเปลือก (เส้นที่ 1 (2)) และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านตั้งฉากกับเส้นแรก (เส้นที่ 2) แบบรวมเปลือก (เส้นที่ 2 (1)) และไม่รวมเปลือก (เส้นที่ 2 (2)) เมื่อนำมาลบกันจะเป็นความหนาเปลือก ให้ค่าของทั้ง 4 ด้าน มาหาค่าเฉลี่ย จะได้ความหนาเปลือก (ภาพที่ 21) แต่เนื่องจากการคิดปริมาตรจะใช้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนั้นสามารถใช้ค่าของการวัดที่ไม่รวมเปลือกมาในการคำนวณปริมาตรไม่รวมเปลือกได้



ที่มา : <https://haglofsweden.com/project/barktax-bark-gauge/>

ภาพที่ 20 เครื่องมือวัดความหนาเปลือก (bark gauge)



ภาพที่ 21 วิธีการวัดความหนาเปลือก

ตัวอย่าง การหาความหนาเปลือก

วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.30 เมตร ที่หน้าตัดไม้ ได้ดังนี้

1) เส้นที่ 1 (1) ได้เท่ากับ 23.5 เซนติเมตร เส้นที่ 1 (2) เท่ากับ 21.40 เซนติเมตร

ความหนาเปลือก (2 ด้าน) เท่ากับ $23.5 - 21.40 = 2.10$ เซนติเมตร

หรือเปลือกหนา $2.10 / 2 = 1.05$ เซนติเมตร

2) เส้นที่ 2 (1) ได้เท่ากับ 22.9 เซนติเมตร เส้นที่ 2 (2) เท่ากับ 21.00 เซนติเมตร

ความหนาเปลือก (2 ด้าน) เท่ากับ $22.9 - 21.00 = 1.90$ เซนติเมตร

หรือเปลือกหนา $1.90 / 2 = 0.95$ เซนติเมตร

ความหนาเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 เซนติเมตร

ปกติเปลือกที่ระดับความสูงต่าง ๆ จะมีความหนาไม่เท่ากัน ดังนั้นควรทำการวัดความหนาเปลือกในทุกๆระดับที่ทำกรวัดขนาดเส้นรอบวง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลหาปริมาตรของต้นไม้ตัวอย่าง ในการศึกษาจะหาปริมาตรในแต่ละท่อน แล้วจึงนำมารวมกันเป็นปริมาตรลำต้นทั้งหมด ลักษณะของไม้ท่อนมีรูปทรงโดยทั่วไปจะมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปพาราโบลอยด์ตัด รูปกรวยตัด หรือใกล้เคียงรูปทรงกระบอก (ชาญ, 2525) และ Avery (1967) ได้กล่าวถึงสูตรทั่วไปสำหรับการคำนวณปริมาตรไม้ท่อนในส่วนที่เป็นรูปทรงกระบอก ไว้ดังนี้

$$1) \text{ Huber's formula} = B_{1/2} \times L$$

$$2) \text{ Smalian's formula} = \frac{B_1+B_2}{2} \times L$$

$$3) \text{ Newton's formula} = \frac{B_1+4B_{1/2}+B_2}{6} \times L$$

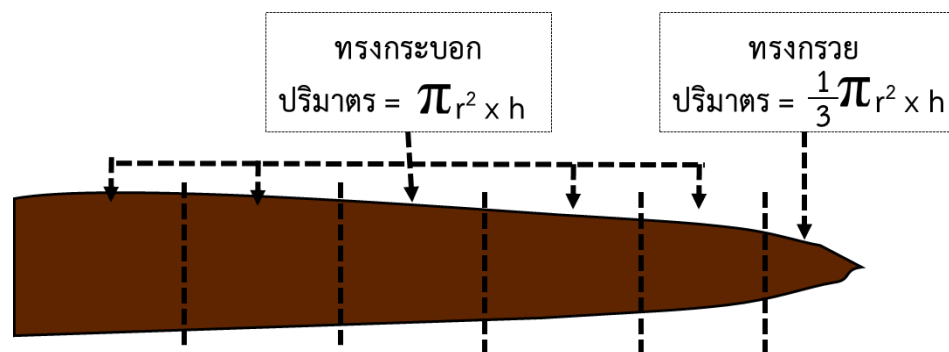
เมื่อ $B_{1/2}$ คือ พื้นที่หน้าตัด ณ กึ่งกลางท่อน

B_1 คือ พื้นที่หน้าตัด ณ โคนท่อน

B_2 คือ พื้นที่หน้าตัด ณ ปลายท่อน

L คือ ความยาวของท่อน

การวิเคราะห์ข้อมูลที่นิยมกันในนักวิชาการป่าไม้ จะใช้ Smalian's formula (León and Uranga-Valencia, 2013) โดยจะแยกส่วนของไม้ท่อนตั้งแต่โคนไปถึงตำแหน่งสูงสุดที่วัดขนาดเส้นรอบวงได้ ใช้สมการปริมาตรของรูปทรงกระบอก และส่วนปลายยอดสุด ใช้สมการปริมาตรของรูปทรงกรวย (ภาพที่ 22) และตัวอย่างการคำนวณปริมาตรของไม้ท่อนแต่ละท่อน แสดงตามตารางที่ 4



ภาพที่ 22 การแบ่งส่วนลำต้นของต้นไม้เพื่อการวัดค่านำมาหาปริมาตรลำต้น

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรลำต้นของต้นไม้ตัวอย่าง

Log	Level	log length (m)	Diameter (cm)	Diameter (m)	Volume (m ³)
	0		12.0	0.12	
1	0.3	0.3	10.2	0.10	0.0029
2	1.3	1	9.9	0.10	0.0079
3	2.3	1	8.9	0.09	0.0070
4	3.3	1	8.3	0.08	0.0058
5	4.3	1	7.6	0.08	0.0050
6	5.3	1	8.1	0.08	0.0048
7	6.3	1	5.9	0.06	0.0039
8	7.3	1	5.6	0.06	0.0026
9	8.3	1	4.8	0.05	0.0021
10	9.3	1	3.7	0.04	0.0014
11	10.3	1	2.6	0.03	0.0008
12	11	0.7	0.0	0.00	0.00012
Total					0.0445

วิธีการคำนวณ

ท่อนที่ 1 ระดับ 0.0 เมตร (โคน) ถึง 0.3 เมตร โดยใช้ Smalian's formula และสูตรหาปริมาตรรูปทรงกระบอก

$$Volume = \frac{B1+B2}{2} \times L$$

$$\begin{aligned} B1 &= \pi \cdot r_1^2 \quad \text{หรือ} \quad = \pi \cdot \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 \\ &= \pi \cdot \left(\frac{0.12}{2}\right)^2 \\ &= 0.0113 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B2 &= \pi \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 \\ &= \pi \cdot \left(\frac{0.10}{2}\right)^2 \\ &= 0.0082 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Volume &= \frac{0.0113+0.0082}{2} \times 0.3 \\ &= 0.0029 \, m^3 \end{aligned}$$

ท่อนที่ 2 – ท่อนที่ 11 ใช้หลักการเดียวกัน

ท่อนที่ 12 ระดับ 10.3 เมตร ถึง 11.0 เมตร ใช้สูตรหาปริมาตรรูปทรงกรวย

$$Volume = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \times L$$

$$\begin{aligned} Volume &= \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.026}{2}\right)^2 \times 0.7 \\ &= 0.00012 \, m^3 \end{aligned}$$

นำปริมาตรของแต่ละท่อนมารวมกันจะได้ปริมาตรทั้งหมดของต้นไม้

$$= 0.00445 \text{ m}^3$$

ถ้าต้องการปริมาตรไม่รวมเปลือกให้นำความหนาเปลือกมาลบออกจากเส้นผ่านศูนย์กลางและทำการคำนวณเช่นเดียวกัน

2. นำข้อมูลปริมาตรกับมิติของต้นไม้แต่ละต้นมาสร้างสมการความสัมพันธ์กับปริมาตรลำต้น เท่าที่มีการศึกษากันมานั้น มีรูปแบบสมการที่หลากหลาย พิทยา และคณะ (2530) ได้กล่าวไว้ว่าเนื่องจากลักษณะการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์มีอัตราการเติบโตไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงไปตามอายุ โดยมีอัตราการเติบโตสูงในช่วงแรก และจะค่อย ๆ ลดลงจนถึงจุดสูงสุดซึ่งอัตราการเติบโตจะคงที่ หลังจากนั้นอัตราการเติบโตจะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ ดังนั้นรูปแบบของสมการที่เหมาะสมสำหรับการประมาณปริมาตรของต้นไม้จึงอยู่ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation)

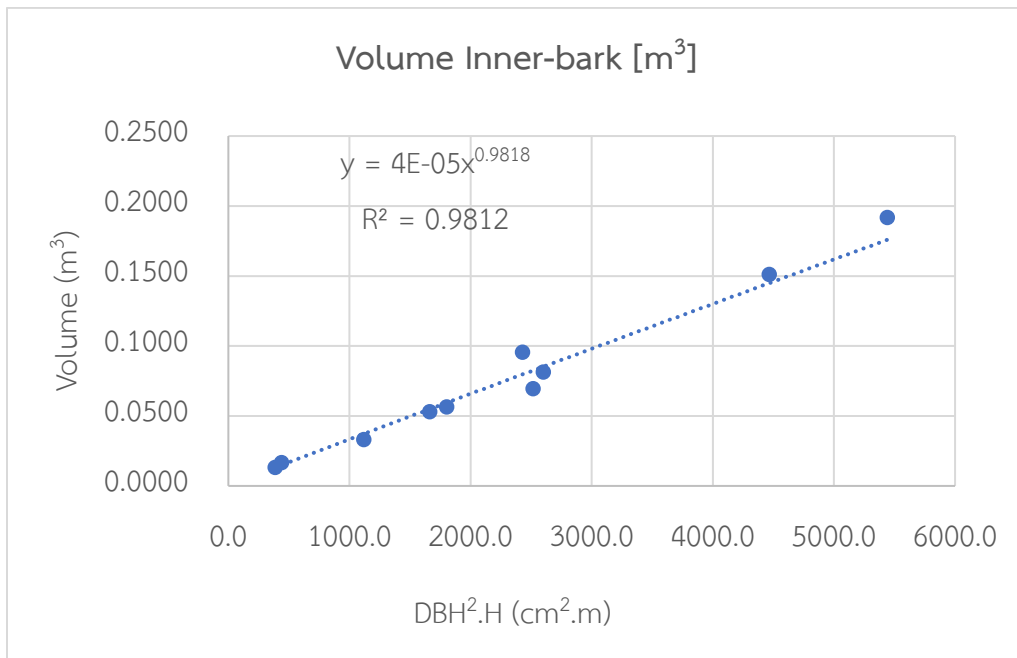
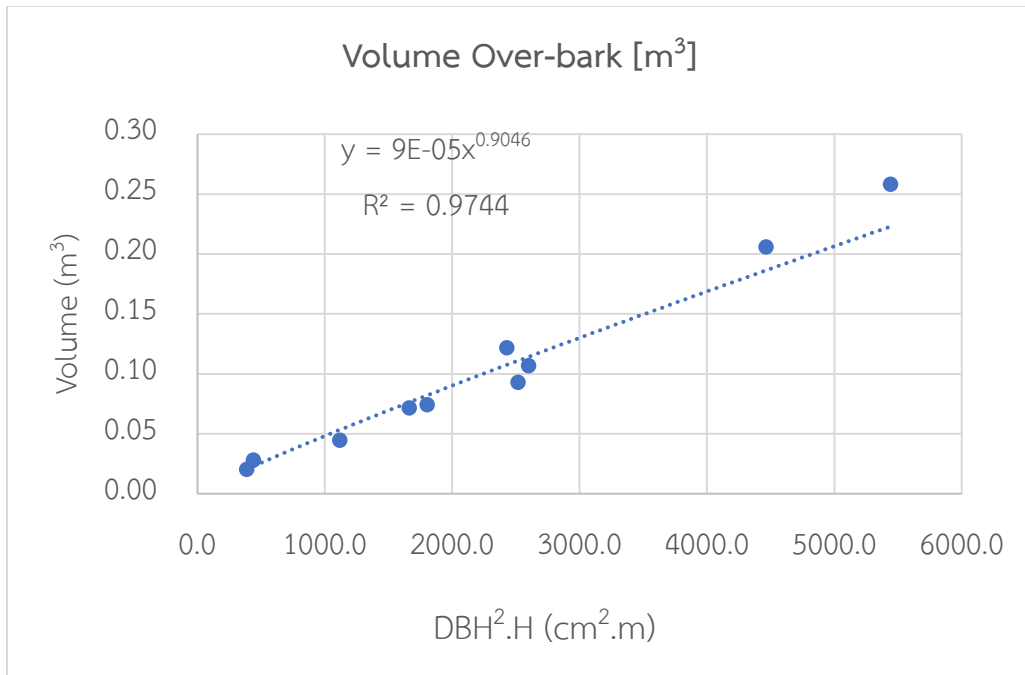
$$Y = aX^b \text{ หรือ } \log Y = \log a + b \log X$$

โดย Y = ปริมาตรส่วนลำต้นของต้นไม้

X = ขนาดของต้นไม้ (เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง)

a และ b เป็นค่าคงที่ของสมการ

สมการความสัมพันธ์สามารถนำข้อมูลไปสร้างสมการได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Microsoft Excel) เช่นเดียวกับการสร้างสมการความสัมพันธ์เพื่อหามวลชีวภาพ ตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นรวมเปลือก (Over-bark volume) กับ $DBH^2 \cdot H$ และปริมาตรลำต้นไม่รวมเปลือก (Inner-bark volume) กับ $DBH^2 \cdot H$ (ภาพที่ 23)

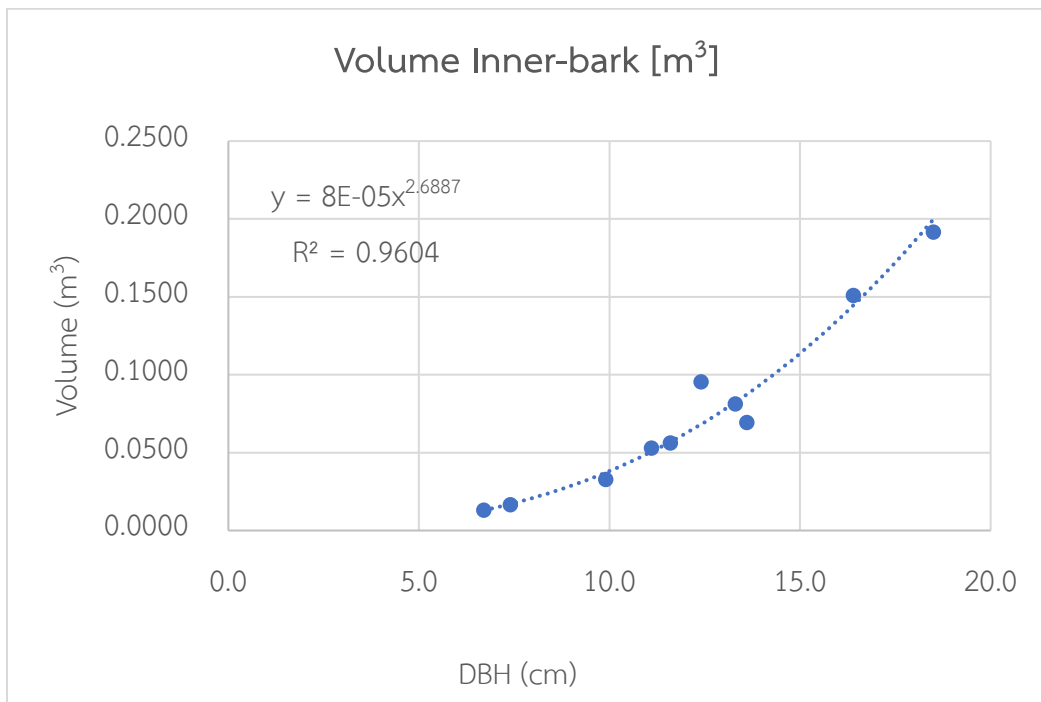
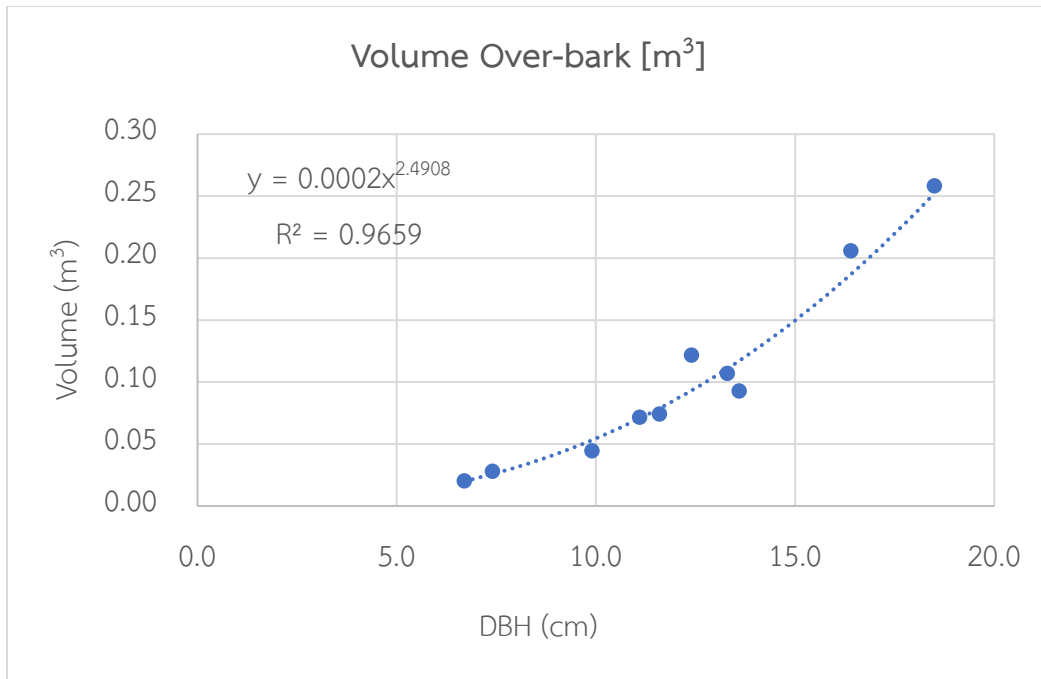


ภาพที่ 23 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นรวมเปลือก (Over-bark volume) กับ DBH².H และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นไม่รวมเปลือก (Over-bark volume) กับ DBH².H

เช่นเดียวกับสมการประมาณมวลชีวภาพ แม้ว่าทั้งนี้ปริมาตรของต้นไม้เป็นปริมาณในรูปของ 3 มิติ คือขึ้นกับความโตและความสูงของต้นไม้ควบคู่กัน สมการปริมาตรของต้นไม้จะมีค่าความถูกต้องมากที่สุด ถ้าสามารถนำขนาดความโตและความสูงของต้นไม้มาใช้เป็นตัวแปรอิสระในการประมาณค่า อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการวัดความสูงของต้นไม้ไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องได้และไม่สะดวกในทางปฏิบัติ (พิทยา และคณะ, 2530) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้เกษตรกรหรือประชาชนทั่วไปที่ไม่มีเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่สามารถวัดความสูงได้อย่างแม่นยำนำมาสมการไปใช้ได้สะดวก นักวิจัยจึงได้พัฒนาสมการในรูปแบบที่ใช้ค่า DBH เพียงค่าเดียวในการประมาณปริมาตรลำต้นของต้นไม้ ตัวอย่างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นรวมเปลือก (Over-bark volume) กับ DBH และปริมาตรลำต้นไม่รวมเปลือก (Inner-bark volume) กับ DBH (ภาพที่ 24)

การนำไปใช้ประโยชน์

1. เมื่อได้สมการความสัมพันธ์แล้ว สามารถนำไปประมาณปริมาตรทั้งหมดได้ ด้วยการวัดความโต (เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) หรือเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน แล้วทำการแปลงค่าเป็น DBH) ของต้นไม้ (ที่ยืนต้น) ได้ การประมาณปริมาตรในพื้นที่ อาจทำการวัดทั้งหมดในพื้นที่ หรือควรเลือกวัดต้นไม้ที่มีขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อให้เป็นตัวแทนของต้นไม้ทั้งหมดในแปลง
2. ในการซื้อขายต้นไม้ จะคิดปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ ในต่างประเทศจะมีการศึกษาค่า form factor ของแต่ละชนิดไม้และนำมาประกอบการคำนวณปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้า ในประเทศไทยมีความหลากหลายของรูปทรงต้นไม้ทั้งแต่ละชนิด และที่ปลูกในพื้นที่แตกต่างกันมาก ยังไม่มีการเก็บข้อมูลต้นไม้แต่ละชนิดมากพอที่จะสร้าง form factor ของต้นไม้ได้ สำหรับการศึกษาปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ของไม้สักนั้น



ภาพที่ 24 สมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นรวมเปลือก (Over-bark volume) กับ DBH และ
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรลำต้นไม่รวมเปลือก (Over-bark volume) กับ DBH

บทที่ 3

สมการสำหรับประมาณมวลชีวภาพและปริมาตรไม้ในสวนป่า

อำไพ และคณะ (2562) ได้ดำเนินการรวบรวมสมการสำหรับการประมาณมวลชีวภาพและปริมาตรไม้ในสวนป่าที่มีการศึกษาไว้ โดยแยกเป็นชนิดและพื้นที่ศึกษา และกรมป่าไม้ ได้มีโครงการวิจัยร่วมกับศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์การเกษตรนานาชาติแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan International Research Center for Agricultural Sciences: JIRCAS) ได้ทำการเก็บข้อมูลสักที่มีอายุ 5-33 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 5-35 เซนติเมตร หรือเทียบกับขนาดเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 1.30 เมตร จากพื้นดิน (GBH) ระหว่าง 15-110 เซนติเมตร และนำมาสร้างสมการแอลโลเมตริกสำหรับประมาณค่ามวลชีวภาพส่วนต่าง ๆ รวมทั้งส่วนเหนือพื้นดินและส่วนใต้ดิน โดยใช้เพียงค่า DBH เป็นตัวแปรในสมการ และจัดทำเป็นตารางแสดงน้ำหนักแห้ง การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่าสักในประเทศไทย เพื่อให้ประชาชนหรือเกษตรกรทั่วไป

โครงการวิจัยการศึกษามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในไม้มีค่าบางชนิด ประกอบด้วย 3 โครงการวิจัยย่อยได้แก่ การศึกษามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในไม้เทพทาโร การศึกษามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในไม้พะยุง และการศึกษามวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในไม้วงศ์ยางและไม้เศรษฐกิจท้องถิ่นบางชนิด ซึ่งมุ่งเน้นการศึกษาในไม้ที่ปลูกในท้องที่ภาคใต้ โดยนางสาววรัญญ ราษฎร์เจริญ นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ ผู้เสนอโครงการวิจัย ผู้เขียนได้มีโอกาสเข้าร่วมในการศึกษาภายใต้ ได้ดำเนินการจัดเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างสมการสำหรับประมาณปริมาตรและมวลชีวภาพของเทพทาโร พะยุง และไม้วงศ์ยาง ได้แก่ เคี่ยมและตะเคียนทอง แสดงในตารางที่ 5-6

ตารางที่ 5 สมการประมาณมวลชีวภาพ

Tree Parts		Equation	R ²
เทพทาโร อายุ 14 ปี จังหวัดสงขลา			
Aboveground	W _{TOP}	$0.0536 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.9159}$	0.9592
Aboveground	W _{TOP}	$0.1671 \times (\text{DBH})^{2.2964}$	0.9620
พะยุง อายุ 10 ปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี			
Aboveground	W _{TOP}	$0.0255 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{1.0278}$	0.8984
Aboveground	W _{TOP}	$0.0447 \times (\text{DBH})^{2.9421}$	0.9666
พะยุง อายุ 7 ปี จังหวัดสงขลา			
Aboveground	W _{TOP}	$0.0689 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.9250}$	0.9290
Aboveground	W _{TOP}	$0.1147 \times (\text{DBH})^{2.5649}$	0.9679
ตะเคียนทอง อายุ 24 ปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี			
Aboveground	W _{TOP}	$0.0621 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.9946}$	0.9325
Aboveground	W _{TOP}	$0.9641 \times (\text{DBH})^{2.7409}$	0.9641
เคี่ยม อายุ 26 ปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี			
Aboveground	W _{TOP}	$0.0600 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.9112}$	0.9765
Aboveground	W _{TOP}	$0.2127 \times (\text{DBH})^{2.2878}$	0.9679

Remarks : W_{TOP} = Biomass of aboveground (kg)

DBH = Diameter at breast height (cm)

H = Total height (m)

ตารางที่ 6 สมการประมาณปริมาตร

Tree Parts		Equation	R ²
เทพทาโร อายุ 14 ปี จังหวัดสงขลา			
Stem volume	Vol.	$0.00006 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.9517}$	0.9794
Stem volume	Vol.	$0.0002 \times (\text{DBH})^{2.4022}$	0.9802
พะยุง อายุ 10 ปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี			
Stem volume	Vol.	$0.00009 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.8991}$	0.9861
Stem volume	Vol.	$0.0001 \times (\text{DBH})^{2.5545}$	0.9822
พะยุง อายุ 7 ปี จังหวัดสงขลา			
Stem volume	Vol.	$0.0001 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.8229}$	0.9723
Stem volume	Vol.	$0.0002 \times (\text{DBH})^{2.3569}$	0.9866
ตะเคียนทอง อายุ 24 ปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี			
Stem volume	Vol.	$0.00009 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{0.9046}$	0.9744
Stem volume	Vol.	$0.0002 \times (\text{DBH})^{2.4908}$	0.9659
เคี่ยม อายุ 26 ปี จังหวัดสุราษฎร์ธานี			
Stem volume	Vol.	$0.0003 \times (\text{DBH}^2 \times \text{H})^{2.2461}$	0.9475
Stem volume	Vol.	$0.00007 \times (\text{DBH})^{0.9304}$	0.9898

Remarks : Vol. = Stem volume (m³)

DBH = Diameter at breast height (cm)

H = Total height (m)

บทที่ 4

สรุปและแนวทางการศึกษาต่อไป

สมการสำหรับประมาณปริมาตรและมวลชีวภาพของไม้แต่ละชนิดมีความสำคัญและเป็นที่ต้องการมากในปัจจุบัน ความต้องการทราบผลผลิตหรือปริมาตรของต้นไม้ก่อนการตัดจะทำให้ผู้ขายไม่เสียเปรียบ เพราะสามารถต่อรองราคาซื้อขายก่อนการตัด หากไม่พอใจกับราคาสามารถเก็บรักษาต้นไม้ไว้ต่อไป เมื่อต้นไม้เติบโตมากขึ้น ปริมาตรมากขึ้น โอกาสในการจำหน่ายและการได้ราคาก็มีมากขึ้นไปด้วย หากเกษตรกรหรือประชาชนตัดต้นไม้ลงมาทำให้จำเป็นต้องจำหน่าย ราคาที่ได้อาจไม่สมเหตุผล แต่เนื่องจากวิธีการศึกษาเพื่อให้ได้สมการทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากต้องมีการตัดต้นไม้ และต้องมีตัวอย่างที่เพียงพอเพื่อสร้างสมการที่เป็นที่ยอมรับได้ เอกสารฉบับนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือหรือคำแนะนำให้แก่นักวิจัยที่มีโอกาสทำการศึกษา เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและปฏิบัติตามได้อย่างถูกต้อง

การศึกษามวลชีวภาพได้มีการศึกษากันเป็นจำนวนมากพอสมควร แต่เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเฉพาะสถานที่และเฉพาะอายุ ยังไม่ได้มีการนำข้อมูลมารวมกันเพื่อสร้างเป็นสมการที่สามารถใช้ได้กับต้นไม้ชนิดนั้นที่ปลูกในทุกสถานที่และช่วงอายุ ในสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการปลูกต้นไม้เพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งความต้องการข้อมูลเรื่องการกักเก็บคาร์บอนเพื่อลดโลกร้อน และเกี่ยวเนื่องต่อไปยังเรื่องคาร์บอนเครดิต การศึกษาเรื่องมวลชีวภาพยังเป็นที่ต้องการอีกจำนวนมาก จึงควรมีการเก็บข้อมูลต้นไม้แต่ละชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่มีค่า หรือไม้ที่ประชาชนนิยมปลูก โดยให้มีข้อมูลที่ครอบคลุมในหลากหลายพื้นที่และหลายชั้นอายุ เพื่อนำมาสร้างสมการที่เป็นตัวแทนของไม้ชนิดนั้น นำไปใช้ในทุกพื้นที่หรือใช้เป็นสมการกลางสำหรับไม้ชนิดนั้น ๆ สำหรับประชาชนหรือเกษตรกรนำไปประเมินศักยภาพของต้นไม้ในสวนป่าของตนเอง จะเกิดประโยชน์ในด้านการซื้อขายไม้ รวมไปถึงการซื้อขายคาร์บอนเครดิตต่อไป

ตารางแสดงน้ำหนักแห้ง การกักเก็บคาร์บอน
และการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่าสัก
ในประเทศไทย

Table of Dry weight, Carbon stock and
CO₂ absorption in Teak Plantation in Thailand



2561

โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยระหว่างกรมป่าไม้ และ JIRCAS





เอกสารอ้างอิง

- เกียรติก้อง พิตรปรีชา อิติ วิสารัตน์ สมบูรณ์ กิรติประยูร และชิงชัย วิริยะบัญชา. 2530. **การประมาณมวลชีวภาพและปริมาตรรายต้นของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส**. เอกสารทางวิชาการ เล่มที่ 18. งานนิเวศวิทยาป่าไม้, ฝ่ายวนวัฒนวิจัย, กองบำรุง, กรมป่าไม้. 23 น.
- ชาญ บุญญสิริกุล. 2525. **การคณิตป่าไม้**. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู. 2538. **ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้**. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- พงษ์ศักดิ์ สหนาฟู. 2552. **การประมาณมวลชีวภาพของพืชและของป่าไม้**. วารสารการจัดการป่าไม้ 3 (5): 63-68 (2552)
- พิทยา เพชรมาก บุญชู บุญทวี สมบูรณ์ กิรติประยูร และสมบูรณ์ บุญยืน. 2530. **ตารางปริมาตรและมวลชีวภาพของลำต้นไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส**. วารสารวนศาสตร์ 6: 399-413 (2530)
- วรพรรณ หิมพานต์ เรืองจิ โยเนตะ นรินทร์ เทศสร. 2561. **ตารางแสดงน้ำหนักแห้ง การกักเก็บคาร์บอนและการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่าสักในประเทศไทย**. โครงการความร่วมมือด้านการวิจัยระหว่างกรมป่าไม้ และ JIRCAS. กรุงเทพฯ.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2561. **แนวทาง การประเมินประสิทธิภาพองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (Local Performance Assessment : LPA) เรื่อง รายงานข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก**. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2564. **ค่าศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) สำหรับโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (T-VER)**. ประกาศเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2564 โดยสำนักประเมินและรับรองโครงการ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
- แหล่งที่มา: <https://ghgreduction.tgo.or.th/th/download-tver/120-tver-gwp-emission-Factor/2695-global-warming-potential-gwp-t-ver.html>, 20 พฤศจิกายน, 2565.

- อภิสิทธิ์ เสนาวงศ์. 2564. **วิธีการคำนวณการลด/กักเก็บก๊าซเรือนกระจก ภาคป่าไม้. เอกสารประกอบฝึกอบรมหลักสูตร ความรู้เบื้องต้นโครงการ T-VER ภาคป่าไม้ และการเกษตรสำหรับผู้ประเมินภายนอกและผู้พัฒนาโครงการ.** องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- อำไพ พรสิแสงสุวรรณ สโรจน์ วัฒนสุขสกุล สมชาย นองเนื่อง ประสิทธิ์ เพียรอนุรักษ์ จันรรจ์ เพียรอนุรักษ์ พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเดชะ และวรพจน์ คำใบ. 2557. **การประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่า.** ศูนย์วนวัฒนวิจัยภาคเหนือ กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.
- อำไพ พรสิแสงสุวรรณ สโรจน์ วัฒนสุขสกุล ประพาย แก่นนาค และสมชาย นองเนื่อง. 2562. **การประเมินผลผลิตและการกักเก็บคาร์บอนภาคป่าไม้.** สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ.
- Avery, T.E. 1967. **Forest Measurements.** McGraw-Hill Inc. New York, USA.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** International Panel on Climate Change. IGES, Japan.
- León, G.C. and Uranga-Valencia, L.P. 2013. **Theoretical evaluation of Huber and Smalian methods applied to tree stem classical geometries.** Bosque (valdivia), 34, 311-317.