รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง

การพัฒนาวิธีการประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ภายใต้โครงการพัฒนาเครื่องมือ/วิธีการประเมินกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ปีงบประมาณ 2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์
เรื่อง

การพัฒนาวิธีการประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ภายใต้โครงการพัฒนาเครื่องมือ/วิธีการประเมินกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
ปีงบประมาณ 2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง
การพัฒนาวิธีการประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ภายใต้โครงการพัฒนาเครื่องมือ/วิธีการประเมินกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน

โดย

นายอัศมน ลิ่มสกุล	หัวหน้าโครงการวิจัย
นายสุนทร งดงาม	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวนันท์ธีรา ศรีบุรินทร์	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวภาฤทธิ์ดา สุวรรณี	ผู้ร่วมวิจัย
นางสาวรัชนีกร ไพศาล	ผู้ร่วมวิจัย

กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ
ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

กันยายน 2561

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมและผู้อำนวยการกลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ที่เล็งเห็นความสำคัญของการพัฒนาวิธีการประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนของต้นไม้และป่า ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นและคำปรึกษา จนกระทั่งการดำเนินงานในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

ขอขอบคุณ ดร.บุญลือ คะเชนทร์ชาติ อาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และเทคนิคการเก็บตัวอย่างที่เกี่ยวกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในป่านิเวศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.สาวิตร มีจุ้ย สถาบันเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และการเตรียมพื้นที่การทดลองที่เกี่ยวกับกระบวนการหายใจและการสังเคราะห์แสงของพืช

ขอขอบคุณข้อมูลจากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้ และผู้วิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ ร้านหัวกะทิ รีมิกซ์ ดีไซด์ ที่ให้คำปรึกษาเชิงเทคนิคด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์และร่วมพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

และขอขอบคุณคณาจารย์และผู้เชี่ยวชาญที่ช่วยให้ข้อเสนอแนะต่อการพัฒนาวิธีการคำนวณและประเมินการกักเก็บและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนของต้นไม้และป่า

สุดท้ายต้องขอขอบคุณคณะผู้วิจัยทุก ๆ ท่าน ที่ร่วมกันดำเนินงานให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คณะผู้วิจัย
กันยายน 2561

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าด้วยสมการแอลโลเมตรีที่เหมาะสม พร้อมทั้งศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

ผลการศึกษา ประกอบด้วย (1) การรวบรวมสมการแอลโลเมตรีและค่าสัมประสิทธิ์ของป่าและพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกสมการที่เหมาะสม สำหรับพัฒนาเป็นเครื่องมือการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้อย่างง่าย โดยใช้เพียงข้อมูลความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเป็นข้อมูลนำเข้า ทั้งนี้ เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้ผ่านการรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ และนำไปทดลองใช้คำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ที่มีอยู่เดิมในศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยผลการคำนวณต้นตะเคียนทอง จำนวน 57 ต้น พบว่า มีการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 73,130.95 กิโลกรัม (2) ผลการตรวจวัดตัวแปรที่เกี่ยวกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในบริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net Carbon Dioxide Exchange rate หรือ NCER) ของป่านิเวศปลูกใหม่มีค่าสูงกว่าป่านิเวศดั้งเดิม มากกว่า 5 เท่า สาเหตุประการหนึ่ง เนื่องมาจากดินและสารอินทรีย์ที่ใช้เตรียมแปลงในป่านิเวศปลูกใหม่ ยังคงมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง แต่ในขณะที่กระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในดินพื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิม อยู่ในสภาวะที่ค่อนข้างสมดุล ทั้งนี้ NCER ของป่านิเวศปลูกใหม่มีค่าใกล้เคียงกับผลการตรวจวัดที่พุทธมณฑล และคณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (3) ผลการเปรียบเทียบตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาระหว่างพื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิมและสนามหญ้า พบว่า ป่านิเวศสามารถช่วยลดความรุนแรงและความแปรปรวนของฝนได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาไม่บ่งชี้ถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างป่านิเวศดั้งเดิมและสนามหญ้า

ผลการศึกษาในส่วนเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น ควรนำไปทดลองใช้เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดและข้อบกพร่องที่จะนำมาปรับแก้ให้เครื่องมือมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น รวมทั้งการจัดทำขั้นตอนการคำนวณคาร์บอนแบบแปลง ส่วนการศึกษากระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในป่านิเวศ ควรตรวจวัดตัวแปรเพิ่มเติมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อประมาณการการแลกเปลี่ยนและการกักเก็บคาร์บอนของป่านิเวศในภาพรวม

คำสำคัญ: การกักเก็บคาร์บอน, พื้นที่สีเขียว, ป่านิเวศ, สมการแอลโลเมตรี

Abstract

This study aims to develop the calculating and processing method for carbon stock in tree and forest based on allometric equations, and to study the variables related to the carbon exchange processes and meteorology in the Eco-forest of Environmental Research and Training Center (ERTC). The results derived from this study can be summarized as follows;

1) Available allometric equations and various coefficients of forests and tree species were compiled, and those suitable equations were then selected for subsequent development of a simple tool for calculating carbon stock in tree and forest using only the variables of diameter at breast height and height. This developed tool was passed the expert consultation process to get additional comments and suggestions and tried to use to calculate carbon stock the existing trees in the ERTC. The preliminary calculation based on this developed tool for 57 *Hopea odorata showed that carbon stock was about* 73,130.95 kilograms.

2) Field measurement of the variables related to carbon exchange process in the ERTC revealed that Net Carbon Dioxide Exchange rate (NCER) of newly planted Eco-forest was greater five times higher than that of the existing Eco-forest. One reason is that soil and organic matter used for planting preparation of the newly planted Eco-forest have continued to decompose. Whereas, decomposition of organic matter in the existing Eco-forest is relatively stable and low. The NCER of the newly planted Eco-forest is comparable to those measured previously at Buddha Monthon and the Faculty of Pharmacy, Chulalongkorn University.

3) Comparison of meteorological variables measured between the existing Eco-forest and the lawn found that the existing Eco-forest can significantly reduce intensity and variance of rainfall. However, this study did not show any statistically significant differences in temperature and relative humidity between the existing Eco-forest and the lawn.

The output of this study in the part of the developed tool should be tested and used calculate carbon stock in different tree species and forest in order to know limitations and defects which can be adjusted to make the tool more complete. For the part of the carbon exchange processes in Eco-forest, additional variables relevant to photosynthesis processes should be further studied to estimate carbon exchange and stock in the Eco-forest as a whole.

Keywords: Carbon stock, Eco-forest, Allometric equations, Carbon exchange process

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**(1)**
บทคัดย่อภาษาไทย	**(2)**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**(3)**
สารบัญ	**(4)**
สารบัญตาราง	**(5)**
สารบัญภาพ	**(6)**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 พื้นที่สีเขียว	10
2.2 กระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในระบบนิเวศบนบก	14
2.3 การกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้	17
2.4 หลักการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้	18
2.5 วิธีการประมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตรี	21
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**25**
3.1 กรอบแนวคิดของการศึกษาวิจัย	26
3.2 การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า	27
3.3 การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่งสนามหญ้า	
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	**32**
4.1 การพัฒนาวิธีการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้	32
4.2 ผลการศึกษาเบื้องต้นของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศ	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	**79**
5.1 วิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า	79
5.2 ผลการศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า	80
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การประชุมรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญเรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้การกักเก็บคาร์บอนในป่านิเวศ	
ภาคผนวก ข การอบรม เรื่อง เทคนิคการเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนในป่านิเวศ	
ภาคผนวก ค การกักเก็บคาร์บอนรายต้นของต้นตะเคียนทอง จำนวน 57 ต้น	
ภาคผนวก ง คู่มือการวางแปลงตัวอย่างในพื้นที่ป่า และการวัดขนาดและความสูงของต้นไม้	
ประวัติผู้วิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 พื้นที่ตัวอย่างที่ได้ดำเนินการปลูกป่านิเวศ ในประเทศไทย 9
2.2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพและในดินป่าธรรมชาติของประเทศไทย 15
2.3 ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของชนิด/ กลุ่มของพรรณไม้ 16
2.4 ปริมาณการสะสมคาร์บอนในพืชและดินที่ระดับความลึก 1 เมตร ในไบโอม ประเภทต่าง ๆ 17
4.1 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้ภายใต้โครงการ T-VER ของ อบก. 32
4.2 สมการแอลโลเมตรีของต้นไม้รายต้น โดยแยกตามชนิดป่าของประเทศไทย 33
4.3 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าธรรมชาติ ชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกมากกว่า 4.5 เซนติเมตร และของไม้ไผ่ 35
4.4 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าดิบแล้ง และป่าชนิดอื่น ๆ ที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และความสูง มากกว่า 1.30 เมตร (ไม้รุ่น) 36
4.5 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการหามวลชีวภาพรายต้นของส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ในป่าชนิดต่าง ๆ ของประเทศไทย 37
4.6 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพันธุ์ไม้รองบางชนิด ในพื้นที่ป่าธรรมชาติ 39
4.7 การปรับสมการเพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสักในประเทศไทย 42
4.8 สมการแอลโลเมตรีกล้าไม้วงศ์ยาง 43
4.9 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้สำหรับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินใน ป่าพรุควนเคร็ง หลังจากเกิดไฟป่าอย่างรุนแรง เมื่อปี พ.ศ. 2555 43
4.10 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร 45
4.11 สมการแอลโลเมตรีสำหรับใช้ประเมินมวลชีวภาพเหนือดินของไม้อะเคเซียลูกผสม รายต้นต่าง ๆ 46
4.12 สมการแอลโลเมตรีที่ได้จากไม้แต่ละชนิด เพื่อนำมาคำนวณหามวลชีวภาพ 47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.13 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ ป่าชุมชนห้วยข้าวก่ำ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา 49

4.14 สมการแอลโลเมตรีที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัสของสวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น 51

4.15 สมการแอลโลเมตรีที่พัฒนาเพื่อใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสักและยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ในประเทศไทย 52

4.16 สมการแอลโลเมตรีสำหรับการประมาณมวลชีวภาพและการเก็บกักคาร์บอนในสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 18 ปี 53

4.17 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้สำหรับการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสวนป่าสนสามใบ อายุ 14 - 34 ปี พื้นที่ต้นน้ำภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ 54

4.18 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ ในป่าดิบแล้งที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และ ความสูงมากกว่า 1.30 เมตร (ไม้รุ่น) 56

4.19 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ ในป่าดิบแล้งที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และ ความสูงมากกว่า 1.30 เมตร (ไม้รุ่น) 57

4.20 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของในป่าชนิดอื่น ๆ ที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และความสูงมากกว่า 1.30 เมตร (ไม้รุ่น) 58

4.21 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้ 58

4.22 สรุปผลการประชุมผู้เชี่ยวชาญเรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าไม้ 65

4.23 ผลการประมาณการกักเก็บคาร์บอนรายต้นของต้นตะเคียนทอง จำนวน 57 ต้น 71

4.24 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER) และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แบบอ้างอิง (Cref) ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม 73

4.25 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER) และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แบบอ้างอิง (Cref) จากงานวิจัยอัตราการหายใจของดินบริเวณการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานคร 74

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 หลักการปลูกป่านิเวศ 8
2.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ใช้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบเกิดน้ำตาลและก๊าซออกซิเจนที่นำไปใช้ในกระบวนการหายใจซึ่งทำให้เกิดน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 11
2.3 กระบวนการไหลเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศ 12
2.4 แหล่งกักเก็บคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ 14
3.1 กรอบแนวคิดภาพรวมการพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอน การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรอุตุนิยมวิทยา 26
3.2 พื้นที่ศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่ง 28
3.3 Soil Respiration Chamber ที่ติดตั้งในพื้นที่ทดลอง 28
3.4 Portable Soil Respiration Systems (SRS-SD1000) 29
3.5 Open Dynamic Closed chamber แบบโปร่งแสง และ Air supply pipe สำหรับดูดอากาศให้เครื่อง IRGA วัดความเข้มข้นของ CO_2 30
3.6 พื้นที่ติดตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา สถานีที่ 1 พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิม 30
3.7 พื้นที่ติดตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา สถานีที่ 2 พื้นที่โล่งสนามหญ้า 31
4.1 โครงสร้างของการพัฒนาวิธีการคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้ 64
4.2 การเริ่มต้นใช้งานวิธีการสำหรับการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอน 66
4.3 คำแนะนำใช้งาน 67
4.4 แสดงเมนูประเภทป่า 68
4.5 แสดงเมนูต้นไม้ 68
4.6 แสดงเมนูคำอธิบายพรรณไม้ 69
4.7 แสดงเมนูสมการแอลโลเมตรี 69
4.8 แสดงเมนูฐานข้อมูลต้นไม้ 70
4.9 แสดงเมนู User Define 70
4.10 แสดงการรายงานผล (Reporting) 71
4.11 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER) 74

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

4.12 ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แบบอ้างอิงที่เป็นความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศเหนือพื้นดิน 3 เมตร (Cref) 75
4.13 การกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า 76
4.14 Box plot เปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนสะสมรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า 76
4.15 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า 77
4.16 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า 77
4.17 Box plot เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า 78
78
4.18 Box plot เปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า 78

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การส่งเสริมการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองและชุมชน นับเป็นเป้าหมายหนึ่งของเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals; SDGs) เพื่อส่งเสริมการบริหารจัดการป่าไม้ทุกประเภทโดยหยุดยั้งการตัดไม้ทำลายป่า ฟื้นฟูป่าที่เสื่อมโทรม และเพิ่มการปลูกป่าทั่วโลก (องค์การสหประชาชาติ, 2561) ซึ่งเป้าหมายดังกล่าวสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ 20 ปีของประเทศ และแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 รวมทั้งยุทธศาสตร์กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม 20 ปี ที่ให้ความสำคัญในการเพิ่มพื้นที่ป่าและพื้นที่สีเขียว ให้ได้ร้อยละ 40 ของพื้นที่ประเทศ หรือประมาณ 128 ล้านไร่ อีกทั้ง เพื่อช่วยเพิ่มการดูดซับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ตามเป้าหมายการมีส่วนร่วมในการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ประเทศไทยกำหนด (Thailand Nationally Determined Contribution; Thailand's NDC) ที่ตั้งเจตจำนงในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกให้ได้ร้อยละ 20 - 25 ภายในปี พ.ศ. 2573 (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

ปัจจุบันประเทศไทย มีนโยบายเพิ่มพื้นที่สีเขียวในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น การปลูกป่าเศรษฐกิจสำหรับพื้นที่ในเมือง โดยเริ่มดำเนินการในทุกองค์กร ประกอบด้วย หน่วยงานภาครัฐ เอกชน สถานศึกษาและชุมชน เพื่อให้ภาคส่วนต่างๆ ตระหนักและเล็งเห็นความสำคัญต่อประโยชน์ของการเพิ่มพื้นที่สีเขียวซึ่งมีหลายมิติ เช่น ลดมลภาวะหมอกควัน เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน สร้างสมดุลธรรมชาติ และลดโลกร้อน เป็นต้น (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2560) นอกจากนี้ พื้นที่สีเขียวและป่าไม้ ยังมีบทบาทสำคัญต่อปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทั้งแง่การดูดซับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และในขณะเดียวกัน ช่วยลดความรุนแรงและเพิ่มความต้านทานและภูมิคุ้มกันจากผลกระทบด้านต่างๆ อันเนื่องมาจากภาวะโลกร้อนและเหตุการณ์ที่เป็นผลพวงมาจากปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้รับมอบหมายจากกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ให้ดำเนินการส่งเสริมและสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนตระหนักและมีส่วนร่วมในการเพิ่มพื้นที่ป่าและพื้นที่สีเขียวในเมือง รวมทั้งศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนากลไกและวิธีการต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มพื้นที่สีเขียวและเข้าใจถึงพลวัตและการแลกเปลี่ยนคาร์บอนของพื้นที่สีเขียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งป่านิเวศ จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้ดำเนินการพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่านิเวศ ด้วยวิธีการประมาณค่าจากสมการแอลโลเมตรี รวมถึงการศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ของดินในพื้นที่ป่านิเวศ และเปรียบเทียบข้อมูลอุตุนิยมวิทยาต่างๆ ที่ตรวจวัดในบริเวณพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่ง โดยการศึกษาในครั้งนี้ เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากงานวิจัยที่ได้

ดำเนินการในปีงบประมาณ 2560 ในการปลูกป่านิเวศในพื้นที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม มีพื้นที่ประมาณ 2,649 ตารางเมตร จำนวน 7 แปลง มีต้นไม้ทั้งหมด จำนวน 3,313 ต้น ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้ จะเป็นเครื่องมือและวิธีการที่ช่วยสนับสนุนให้ภาคส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สามารถประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ได้ด้วยตนเอง อีกทั้ง ช่วยสร้างความเข้าใจต่อประเด็นพลวัตคาร์บอนในพื้นที่ป่าในเมืองเพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า

2) เพื่อศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่ง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้มีขอบเขตการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้างต้น หลัก ๆ อยู่ 2 ส่วน คือ

1) การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าบนพื้นฐานการประมาณค่าจากสมการแอลโลเมตรีของป่าประเภทต่างๆ ที่ได้ดำเนินการศึกษาในประเทศไทยในช่วงที่ผ่านมา ซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนของภาคป่าไม้ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2559)

2) การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ของดิน โดยทำการเก็บข้อมูลในภาคสนามอย่างต่อเนื่องในพื้นที่ศึกษาในบริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งติดตั้งเครื่องตรวจวัดตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างป่านิเวศและพื้นที่โล่ง

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

พื้นที่สีเขียว หมายถึง พื้นที่กลางแจ้ง และกึ่งกลางแจ้งที่มีขอบเขตที่ดินทั้งหมดหรือบางส่วนปกคลุมด้วยพืชพรรณที่ปลูกบนดินที่ซึมน้ำได้ โดยที่ดินนั้นอาจมีสิ่งปลูกสร้างหรือพื้นผิวแข็งที่ไม่ซึมน้ำรวมอยู่หรือไม่ก็ได้ หมายรวมถึงพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและเขตนอกเมือง อาจจะเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชนที่สาธารณะสามารถเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2548)

ป่านิเวศ (Eco Forest) หมายถึง ป่าที่มนุษย์สร้างขึ้นจากพื้นที่เสื่อมโทรม (Degraded Area) เพื่อให้เป็นป่าธรรมชาติ (Natural Forest) โดยการปลูกต้นไม้ท้องถิ่น (Native Species) ด้วยเทคนิคการปลูกหลายชั้น (Multilayer) เลียนแบบโครงสร้างป่าธรรมชาติ ปลูกถี่ (Dense Planting) ปลูกแบบสุ่ม (Random) เพื่อช่วยเร่งการเจริญเติบโต ร่นระยะเวลาการสืบพันธุ์พืชตามธรรมชาติ ทำให้การทดแทนของสังคมพืชเข้าสู่สังคมพืชขั้นสูงสุด (Climax Community) เร็วกว่าการฟื้นตัวตามธรรมชาติ ตลอดจนสร้างความหลากหลายทางชีวภาพ (สิรินทร์ แก้วละเอียด และอนงค์ ชานะมูล, 2560)

การกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศอย่างถาวรหรือกึ่งถาวร (อรรถชัย จินตะเวช, 2547) โดยโลกมีระบบเก็บและกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งบนบกและในมหาสมุทร ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารต่างๆ ที่ใช้ในการเติบโตของพืชทั้งบนบกและในน้ำ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ, 2552) การกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (หรือคาร์บอน) คือ การยึดคาร์บอนในต้นไม้และผลิตภัณฑ์ของไม้ที่มีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ต้นไม้และป่าไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ ดังนั้น เมื่อต้นไม้เติบโต คาร์บอนจึงถูกกักเก็บอยู่ในราก ลำต้น กิ่งก้านและใบ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าไปเก็บในมวลชีวภาพของต้นไม้ ดังนั้น คาร์บอนจึงสามารถยึดอยู่กับเนื้อเยื่อของต้นไม้และเนื้อไม้ได้อย่างเสถียรและมีระยะเวลาค่อนข้างยาวนาน (นาฏสุดา ภูมิจำนงค์, 2547)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) วิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า เพื่อเป็นเครื่องมือเผยแพร่และขยายผลแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

2) ข้อมูลเบื้องต้นถึงตัวแปรบางตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซค์ของดิน และผลการเปรียบเทียบตัวแปรอุตุนิยมวิทยาบางตัวแปรระหว่างพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่ง

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นที่สีเขียว

2.1.1 ความหมายของพื้นที่สีเขียว

นิยามและความหมายของพื้นที่สีเขียว มีหลากหลายขึ้นอยู่กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้คำจำกัดความที่ใช้อ้างอิงโดยทั่วไป ประกอบด้วย

1) พื้นที่สีเขียว (Green Space หรือ Green Area) หมายถึง พื้นที่ที่มีพรรณไม้เป็นองค์ประกอบหลัก และเมื่อกล่าวถึงพื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืน มักหมายถึง พื้นที่สีเขียวที่มีไม้ต้นขนาดใหญ่และได้รับการดูแลบำรุงรักษาให้มีความสมบูรณ์และสามารถคงอยู่อย่างต่อเนื่อง พื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืนในเมืองอาจเป็นพื้นที่ธรรมชาติหรือพื้นที่ที่มนุษย์สร้างขึ้นในชุมชนเมือง ตั้งอยู่กลางแจ้งหรือกึ่งกลางแจ้ง ปกคลุมไปด้วยพืชพรรณบนดินที่ซึมน้ำได้ทั้งหมด หรือมีสิ่งก่อสร้างรวมอยู่ด้วยเป็นบางส่วนอาจเป็นพื้นที่สาธารณะหรือเอกชนที่ประชาชนเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ ในทางผังเมือง “พื้นที่สีเขียว” ถูกจัดให้อยู่ในประเภทของพื้นที่โล่ง เป็นพื้นที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้เมืองมีความน่าอยู่ ช่วยสร้างสาธารณประโยชน์ให้แก่ชุมชน ทั้งในด้านสุขภาวะ ความปลอดภัยและสวัสดิการ ช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศ ลดอุณหภูมิของเมือง ลดปรากฏการณ์เรือนกระจก กรองรังสีอุลตราไวโอเลตที่แผ่จากชั้นบรรยากาศ ช่วยลดการพังทลายของดินริมแหล่งน้ำ ช่วยลดความเร็วของลมหรือเปลี่ยนทิศทางลม ลดมลภาวะทางเสียง ส่งเสริมให้ระบบนิเวศมีความสมบูรณ์เป็นแหล่งอาหารและแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์นานาชนิด ช่วยลดการสะท้อนจากแสงไฟของยานพาหนะ สร้างภูมิทัศน์ที่สวยงามช่วยเพิ่มมูลค่าที่ดินและสิ่งก่อสร้างเป็นที่พักผ่อนหย่อนใจ เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้ด้านพฤกษศาสตร์และธรรมชาติวิทยาช่วยปกป้องประชาชนและชุมชนจากภัยธรรมชาติกรณีน้ำหลากน้ำท่วม เป็นพื้นที่กันชน (Buffer Zone) ระหว่างพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันด้านการใช้ประโยชน์ ช่วยส่งเสริมรักษาวัฒนธรรมของเมือง โดยเฉพาะแหล่งมรดกโบราณสถาน และยังมีหน้าที่อื่น ๆ แล้วแต่แนวคิดนวัตกรรมและบริบทของแต่ละท้องถิ่น (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2560)

2) พื้นที่สีเขียวในเขตชุมชนเมือง หมายถึง พื้นที่โล่งว่างในเขตเทศบาล ซึ่งมีพืชพรรณเป็นองค์ประกอบหลัก ได้รับการจัดการตามหลักวิชาวนวัฒนวิทยา และหลักการทางภูมิสถาปัตย์เพื่อเสริมสร้างภูมิทัศน์ให้เอื้ออำนวยต่อการพักผ่อนหย่อนใจ และเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมของเมืองอันจะทำให้ชุมชนเมือง เป็นเมืองสีเขียวที่ร่มรื่นสวยงามและน่าอยู่ตลอดไป ทั้งนี้ จะเป็นที่ดินของรัฐ เอกชน หรือที่ดินประเภทพิเศษก็ได้ และให้นับรวมถึงพื้นที่ธรรมชาติ อันได้แก่ แม่น้ำ คูคลอง หนอง บึง ภูเขา และป่าไม้เข้าไปด้วยซึ่งพื้นที่เหล่านี้ควรได้รับการปกป้องและอนุรักษ์ให้คงอยู่ตลอดไป สำหรับพื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืนนั้น จะต้องมีต้นไม้ใหญ่หรือไม้ยืนต้นเป็นองค์ประกอบหลัก เนื่องจากไม้ยืนต้นมีอายุยืนนาน มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ทางจิตใจ และสามารถเสริมสร้างคุณค่าทางสิ่งแวดล้อมได้

ดีกว่าไม้ล้มลุก ส่วนการพิจารณาคัดเลือกชนิดไม้ปลูกในพื้นที่สีเขียวที่ยั่งยืนนั้นควรเน้นบทบาทหน้าที่ของต้นไม้และความหลากหลายของชนิดพรรณเป็นสำคัญ หากเป็นไปได้ควรพิจารณาเลือกไม้ท้องถิ่นมากกว่าไม้ต่างถิ่น (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547)

จึงพอสรุปได้ว่า พื้นที่สีเขียวในเมือง คือ พื้นที่ใดๆ ก็ตามที่มีพืชพันธุ์ขึ้นปกคลุม ทั้งในเขตเมืองและนอกเมืองที่ประชาชนสามารถเข้าไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งในด้านการพักผ่อนหย่อนใจ และ/หรือ ปรับปรุงคุณภาพสิ่งแวดล้อมของชุมชนเมือง พื้นที่สีเขียวอาจมีได้หลากหลายรูปแบบ ได้แก่ พื้นที่ธรรมชาติ พื้นที่สีเขียวเพื่อบริการ พื้นที่สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม พื้นที่สีเขียวบริเวณเส้นทางสัญจร และพื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน

2.1.2 ประเภทของพื้นที่สีเขียว

การจำแนกประเภทของพื้นที่สีเขียวสามารถจำแนกได้หลากหลายตามบทบาทหน้าที่ของพื้นที่นั้น ๆ แต่การจำแนกประเภทตามสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560) สามารถจำแนกได้ดังนี้

1) พื้นที่สีเขียวธรรมชาติ เป็นพื้นที่ที่ต้องได้รับการดูแลรักษา เพื่อความสมดุลของระบบนิเวศ เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ เป็นแหล่งอาหาร รักษาสภาพบรรยากาศ สร้างความร่มรื่น เช่น ป่าไม้ เนินเขา แหล่งน้ำธรรมชาติ ป่าชุมชน ป่าชายเลน ป่าพรุ

2) พื้นที่สีเขียวเพื่อการบริการสาธารณะ นันทนาการและการพักผ่อน ประชาชนสามารถเข้าไปใช้บริการเพื่อคุณภาพชีวิต และในขณะเดียวกันก็ช่วยเสริมสร้างทัศนียภาพที่สวยงามให้แก่เมือง เช่น สวนสาธารณะ สนามเด็กเล่น สนามกีฬา สวนหย่อม ลานเมือง และสวนสุขภาพลานกิจกรรม

3) พื้นที่สีเขียวเพื่ออรรถประโยชน์ เสริมสร้างคุณค่าด้านสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศให้แก่ชุมชน เช่น สวนในบ้าน โรงแรม ศาสนสถาน หมู่บ้านจัดสรร ห้างสรรพสินค้า สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ โรงพยาบาล และพื้นที่ฝังกลบขยะ

4) พื้นที่สีเขียวริมเส้นทางสัญจรและรักษาภูมิทัศน์ของเมือง เช่น แนวถนนเกาะกลางถนน ริมทางเท้า ริมเส้นทางรถไฟ ไหล่ทาง ริมแม่น้ำลำคลอง และจัตุรัสกลางเมือง

5) พื้นที่สีเขียวเพื่อเศรษฐกิจชุมชน เป็นพื้นที่ที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้แก่เจ้าของ พร้อมทั้งมีคุณค่าด้านสิ่งแวดล้อม เป็นพื้นที่การผลิตทางเกษตรกรรมแหล่งอาหาร และการท่องเที่ยว เช่น สวนเกษตร สวนสมุนไพร สวนป่าเศรษฐกิจ และสวนผลไม้

6) พื้นที่เพื่อการป้องกันภัยพิบัติที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น เช่น พื้นที่กันชนระหว่างชุมชนกับอุตสาหกรรม พื้นที่ป้องกันและรองรับน้ำท่วม

7) พื้นที่สีเขียวอื่น ๆ เช่น พื้นที่รกร้าง สำหรับพื้นที่สีเขียวบางรูปแบบ เช่น สวนหลังคา (Roof Garden) และสวนผนัง (Vertical Garden) ตามอาคาร ช่วยลดความร้อนในเมืองและสร้างบรรยากาศที่ร่มรื่น และพื้นที่โครงข่ายสีเขียว (Green Corridor) ตามเส้นทางสัญจร ช่วยส่งเสริมให้ประชาชนในเมืองใช้จักรยานและพัฒนาระบบทางเดินเท้าให้เป็นย่านแห่งการเดิน (Walkable Community)

นอกจากนี้ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ร่วมกับสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้แบ่งประเภทพื้นที่สีเขียวจากโครงการนำร่องแนวคิดใหม่สู่การเป็นเมืองสีเขียว ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ และพื้นที่เมืองโดยรอบ ภายใต้ Green City Chiangmai Thailand (ข้อมูลจากเว็บไซต์ http://www.greencity.mju.ac.th/greencity/subject/green/green_type.htm) ซึ่งได้แบ่งประเภทพื้นที่สีเขียวออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

1) พื้นที่สีเขียวเพื่อนันทนาการและความงามทางภูมิทัศน์ ได้แก่ พื้นที่ใช้สำหรับกิจกรรมนันทนาการกลางแจ้งทั้งการออกกำลังกาย และการพักผ่อนหย่อนใจ รวมถึงสวนสาธารณะระดับต่างๆ เช่น สวนหย่อม สวนสัตว์ สวนพฤกษศาสตร์ ตลอดจนพื้นที่สีเขียวในบริเวณที่อยู่อาศัยของเอกชน

2) พื้นที่สีเขียวอรรถประโยชน์ เป็นพื้นที่ใช้ประโยชน์ที่สำคัญของชุมชน หมายรวมถึงพื้นที่ที่ใช้สำหรับการผลิตและเก็บไว้ใช้ประโยชน์ เช่น พื้นที่เกษตรกรรม ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ แหล่งน้ำตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้น อ่างเก็บน้ำ พื้นที่สาธารณูปการ พื้นที่ฝังกลบขยะ พื้นที่บำบัดน้ำเสีย ตลอดจนพื้นที่ที่กันไว้เพื่อควบคุมน้ำท่วม ฯลฯ พื้นที่สุสานทุกประเภท พื้นที่สีเขียวในบริเวณวัดทุกศาสนา พื้นที่สีเขียวในแหล่งโบราณสถานและประวัติศาสตร์ พื้นที่สีเขียวในสถาบันต่างๆ เช่น สถาบันการศึกษาทุกระดับ สถานที่ราชการ หรือสถาบันอื่นๆ ของเอกชน

3) พื้นที่สีเขียวเพื่อการอนุรักษ์ธรรมชาติ เป็นพื้นที่ที่มีสภาพธรรมชาติและกึ่งธรรมชาติอันเป็นแหล่งที่ควรอนุรักษ์ เพื่อความสมดุลของระบบนิเวศและภูมิอากาศ เป็นที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์ ได้แก่ พื้นที่ป่าทุกประเภท หมายรวมถึงป่าธรรมชาติ ป่าชุมชน เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า พื้นที่ชุ่มน้ำ พื้นที่ป่าชายเลน ป่าชายหาด พื้นที่ริมน้ำ ริมตลิ่งที่เป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของพืชและสัตว์น้ำ ฯลฯ

4) พื้นที่สีเขียวที่เป็นริ้วยาว เป็นพื้นที่สีเขียวที่มีลักษณะพิเศษ เป็นแนวยาวไปตามเส้นทางคมนาคมทางบกและทางน้ำ เช่น พื้นที่สีเขียวตามแนวถนน รวมถึงเกาะกลางถนน ตามแนวทางรถไฟ ทางจักรยาน ทางเดินริมถนนและแม่น้ำ ลำคลอง ตลอดจนพื้นที่สีเขียวที่เป็นริ้วยาวตามแนวสาธารณูปการต่างๆ เช่น สายไฟฟ้าแรงสูง คลองชลประทาน ฯลฯ และยังเป็นแนวเชื่อมโยงถิ่นอาศัยของสัตว์ระหว่างชนบทและเมืองด้วย

5) พื้นที่สีเขียวอื่นๆ ได้แก่ พื้นที่สีเขียวที่ไม่สามารถจำแนกในประเภทที่ 1 - 4 เช่น พื้นที่สีเขียวที่ปล่อยรกร้าง พื้นที่สีเขียวที่ถูกรบกวนสภาพธรรมชาติ และพื้นที่สีเขียวที่มีการใช้ประโยชน์ผสมผสานกัน นอกจากนั้น พื้นที่สีเขียวทุกแห่งไม่ว่าจะมีขนาดเท่าใดก็ตาม ล้วนมีประโยชน์ช่วยลดการระบายน้ำของเมืองได้ เนื่องจากพืชพรรณที่ปกคลุมดินสามารถดูดซับน้ำไว้ในดินทำให้ดินชุ่มชื้น และลดปริมาณน้ำไหลบ่าที่ต้องระบายทิ้งในระบบท่อ ช่วยประหยัดงบประมาณการก่อสร้างระบบระบายน้ำได้มากทางหนึ่ง ด้วยเหตุนี้ ทุกชุมชนจึงควรแสวงหาพื้นที่สีเขียวให้ได้มากที่สุด แทนที่จะสร้างสิ่งที่มีพื้นผิวแข็งไม่ซึมซับน้ำ

จากการจำแนกประเภทพื้นที่สีเขียวยังสามารถแยกย่อยออกไปได้อีกในแต่ละประเภทตามความเหมาะสม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถกำหนดรายละเอียดเกณฑ์การจำแนกได้อย่างชัดเจน เพื่อให้ผู้ปฏิบัติสามารถจำแนก เพื่อทำการสำรวจและจัดเก็บข้อมูล ทำแผนที่พื้นที่สีเขียวที่มีรายละเอียดอธิบายได้ และเมื่อจำแนกได้ชัดเจนแล้วก็จะสามารถนำข้อมูลที่ได้ จากการสำรวจ มาวิเคราะห์เพื่อหาศักยภาพและกำหนดแนวทางการบริหารจัดการพื้นที่สีเขียวอย่างยั่งยืนต่อไป

2.1.3 ป่านิเวศ

ป่านิเวศ คือ การฟื้นฟูสภาพของป่าพื้นเมืองด้วยต้นไม้พื้นเมือง ทำให้ป่ามีความอุดมสมบูรณ์ มีความหนาแน่นและมีประสิทธิภาพ โดยหลักการปลูกต้นไม้ตามหลักมิยาวากิต้องปลูกต้นไม้หลากหลายชนิดไว้ใกล้ การปลูกต้นไม้แบบสุ่มหลายชนิดไว้ใกล้เคียงกันในพื้นที่ขนาดเล็กจะช่วยเสริมสร้างความอุดมสมบูรณ์ของต้นไม้ในพื้นที่นำไปสู่การดำรงอยู่ร่วมกันของสังคมพืช (ข้อมูลจากเว็บไซต์ https://web.archive.org/web/20120511111500/http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/237na4.pdf)

ป่านิเวศ คือ ป่าที่มีวิวัฒนาการสูงสุด (Climax Forest) ที่มีพันธุ์ไม้ดั้งเดิมของพื้นที่นั้นเติบโตอย่างสมบูรณ์เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพมาก (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2554)

ป่านิเวศ คือ ป่าที่มนุษย์สร้างขึ้นเลียนแบบโครงสร้างการปลูกป่าธรรมชาติ เพื่อฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรมด้วยการปลูกพันธุ์ไม้เรือนยอดสูง พันธุ์ไม้เรือนยอดชั้นรอง พันธุ์ไม้พุ่มและพันธุ์ไม้คลุมดิน ซึ่งเป็นพันธุ์ไม้ท้องถิ่นที่มีความหลากหลายชนิดพันธุ์ ปลูกด้วยเมล็ดที่มีรากแก้ว มีเทคนิคการปลูกที่พิถีพิถัน สามารถสร้างระบบนิเวศของป่าให้เป็นป่าธรรมชาติในระยะเวลาสั้นๆ ภายใน 10 ปี และเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์นานาชนิด (สิรินทร์ แก้วละเอียด และอนงค์ ชานะมูล, 2560)

บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด (2559) ได้กล่าวว่า ป่านิเวศ (Eco Forest) คือ ป่าดั้งเดิมที่เกิดขึ้นในพื้นที่ก่อนสภาพป่าจะถูกทำลาย ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในป่านิเวศเป็นต้น ไม้สายพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งการปลูกป่านิเวศตามหลักการของ ศ.ดร.อาคิระ มิยาวากิ จะทำให้ต้นไม้มีอัตราการรอดตายสูง (มากกว่า 90 %) และร่นระยะเวลาการสืบพันธ์ตามธรรมชาติให้เร็วขึ้น 10 เท่า และสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้มากกว่าการปลูกป่าโดยทั่วไป

2.1.4 หลักการปลูกป่านิเวศ

1) สำรวจและคัดเลือกพันธุ์ไม้พื้นเมืองในบริเวณที่จะปลูกเพราะจะทนต่อสภาพภูมิอากาศ เจริญเติบโตได้ดี ทนต่อโรคและแมลง และง่ายต่อการดูแลรักษา

2) เตรียมกล้าไม้ที่ปลูกในถุงพลาสติก ซึ่งกล้าไม้จะต้องมีระบบรากที่แข็งแรง โดยมีความสูงเฉลี่ย 80 - 100 เซนติเมตร เพื่อให้ต้นไม้พร้อมสำหรับการปลูกในช่วงแรกของการปลูกป่านิเวศ

3) สร้างเนินดินเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวดิน ช่วยในการระบายน้ำและอากาศ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังในฤดูฝน ดินควรผสมด้วยมูลสัตว์ และวัสดุธรรมชาติ เช่น แกลบ ขุยมะพร้าว เพื่อให้ดินโปร่ง

และร่วนซุย ปรับพื้นที่ให้เป็นเนินดินตามความเหมาะสมของพื้นที่ซึ่งสามารถสร้างเนินดิน จำนวน 4 แบบ ดังนี้

แบบเนินดินหลังเต่า โดยปรับเนินดินให้ลาดเอียง 15 องศา เหมาะสำหรับพื้นที่ปลูกแบบแคบๆ ต้องการเน้นพื้นที่ปลูกมากขึ้น ไถพรวนดินเดิมลึก 50 เซนติเมตร ซึ่งต้นทุนในการสร้างเนินดินแบบเนินหลังเต่าค่อนข้างสูง

แบบเนินขั้นบันได กรณีพื้นที่ปลูกเป็นดินลาดชัน ต้องเติมดินให้ลึก 50 เซนติเมตร การสร้างใช้ต้นทุนปานกลางในการสร้างเนินดินแบบเนินขั้นบันได

แบบเนินเตี้ย การทำเนินเตี้ย ๆ สูงไม่เกิน 1 เมตร ผสมมูลสัตว์และวัสดุธรรมชาติ เหมาะสำหรับพื้นที่กว้าง และควรไถพรวนดินเดิมให้ลึกลงไป 50 เซนติเมตร การสร้างใช้ต้นทุนปานกลางในการสร้างเนินดินแบบเนินเตี้ย

แบบเนินราบ เหมาะสำหรับพื้นที่สูงน้ำไม่ท่วมขัง ลดต้นทุนการสร้างเนินดินต้องไถพรวนดินให้ร่วนซุย โดยใช้ต้นทุนต่ำในการสร้างเนินดินแบบเนินราบ

4) มีความหนาแน่นในการปลูก 3 - 4 ต้น ต่อตารางเมตร โดยทำการปลูกแบบสุ่ม ไม่เป็นแถวเป็นแนว การปลูกถี่จะทำให้เกิดการแก่งแย่งแสงแดด ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นไม้ในด้านความสูงในระยะ 3 ปีแรก และทำให้มีการคัดเลือกพันธุ์ตามธรรมชาติ ต้นที่แข็งแรงจะอยู่รอด

5) ปลูกพันธุ์ไม้หลากหลายชนิดพันธุ์ ทั้งไม้ยืนต้นและไม้พุ่ม เพื่อให้มีสภาพคล้ายป่าธรรมชาติ

6) การปลูกมีเทคนิคแบบพิเศษ เช่น การนำกล้าไม้จุ่มน้ำ จากนั้นจึงคลุมด้วยฟางข้าว ซึ่งจะช่วยรักษาความชื้นในดิน จะทำให้กล้าไม้อยู่ได้โดยไม่ต้องรดน้ำประมาณ 1 เดือน และฟางข้าวจะย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยช่วยเพิ่มอัตราการรอดให้สูงขึ้น

ภาพที่ 2.1 หลักการปลูกป่านิเวศ

ที่มา : ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (2560)

2.1.5 การปลูกป่านิเวศในประเทศไทย

พื้นที่ตัวอย่างที่ได้ดำเนินการปลูกป่านิเวศในประเทศไทย ซึ่งศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมได้รวบรวมไว้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 พื้นที่ตัวอย่างที่ได้ดำเนินการปลูกป่านิเวศ ในประเทศไทย

ปีที่ดำเนินการ	**พื้นที่ตัวอย่าง**
2534 - 2539	โครงการสวนป่าเทพประทาน บ้านบ่อหวี อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรีโครงการส่วนพระองค์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
2539, 2560	ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนธานี ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
2551 - 2555	บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทราและกระจายทุกภาคของประเทศไทย
2551 - 2553	บริษัท โยโกฮามา ไทร์ แมนูแฟคเจอริ่ง (ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดระยอง จังหวัดสุราษฎร์ธานี และบริษัท โตโยดะ โกเซ (ประเทศไทย) จำกัด
2554	บริษัท ไออาร์พีซี จำกัด (มหาชน) จังหวัดระยอง
2555	โครงการระยองวนารมย์ จังหวัดระยอง
2556	เทศบาลเมืองแกลง จังหวัดระยอง
2556	โครงการป่าในกรุง เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร
2557	โครงการป่านิเวศ เทศบาลนครเชียงราย จังหวัดเชียงราย
2558	โครงการป่าวังจันทร์ อำเภอวังจันทร์ จังหวัดระยอง
2559	โครงการซีพีเอฟ จังหวัดฉะเชิงเทรา
2560	โครงการบางกะเจ้า จังหวัดสมุทรปราการ

ที่มา : ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม (2561)

2.2 กระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในระบบนิเวศบนบก

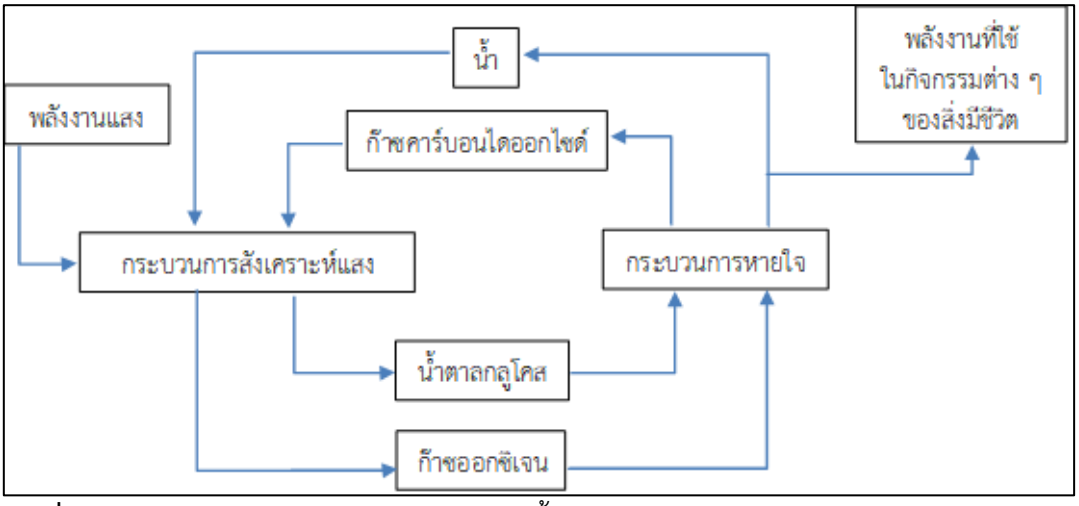
จิรัชญา สุวรรณพงศ์ และคณะ (2559) กล่าวว่า ระบบนิเวศบกเป็นที่สะสมของอินทรียสาร ในพืชที่มีชีวิต เศษซากพืชและซากสัตว์ รวมถึงอินทรียวัตถุในดิน ดินอินทรีย์ พีทและมอสในดินพื้นที่ชุ่มน้ำและคาร์บอนที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตที่ถูกแช่แข็งไว้ดิน โดยในวัฏจักรคาร์บอนในระบบนิเวศบกได้ เริ่มต้นจากพืชตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศและเปลี่ยนเป็นคาร์บอนที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง ส่วนหนึ่งของคาร์บอนที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตถูกใช้ไปในการเจริญเติบโตของพืช บางส่วนใช้เป็นแหล่งพลังงานของพืชเองด้วยกระบวนการหายใจ ในกระบวนการนี้เองที่พืชปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ การสะสมคาร์บอนที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตในต้นพืช ในส่วนใบ ลำต้นและราก มีบางส่วนที่ตายร่วงลงดิน คาร์บอนที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดินใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตและกิจกรรมอื่น ในเวลาเดียวกันก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศจากการหายใจของจุลินทรีย์ มวลชีวภาพของจุลินทรีย์ผสมกับเศษซากพืชกลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน (Soil Organic Matter : SOM) ซึ่งอินทรียวัตถุสามารถกักเก็บคาร์บอนในดินไว้ได้นานหลายร้อยปีถึงพันปี ก่อนถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในสภาพที่เหมาะสม

นอกจากนี้ พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ (2557) ได้ศึกษา กลไกการหมุนเวียนคาร์บอนในระบบป่าไม้ที่เป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนในชั้นบรรยากาศ หรือ Carbon Sequestration ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง เพื่อนำมากักเก็บไว้ในรูปของชีวมวล เช่น ใบ กิ่ง ลำต้นและราก ในขณะเดียวกันป่าไม้ก็ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่บรรยากาศโดยกระบวนการหายใจของพืช (Autotrophic Respiration หรือ Plant Respiration) ได้แก่ การหายใจของส่วนใบ ราก ลำต้น และการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ (Heterotrophic Respiration หรือ Soil Respiration) ผ่านกระบวนการย่อยซากพืชและสัตว์ของจุลินทรีย์ในดินและการหายใจของสัตว์ในดิน ซึ่งกระบวนการดังกล่าว มีความสำคัญต่อการหมุนเวียนของธาตุอาหารในป่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ โดย ใบ กิ่ง ดอก ผล และส่วนอื่น ๆ ของพืชร่วงหล่นลงสู่ดินจากนั้นก็จะค่อย ๆ สลายตัวเป็นอนุภาคขนาดเล็กโดยกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีววิทยา ซึ่งกระบวนการสลายตัวจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อม กิจกรรมของจุลินทรีย์และปริมาณผลผลิตของซากพืช ตามลักษณะของป่าในแต่ละบริเวณ และเมื่อซากพืชสลายตัวจะเปลี่ยนเป็นธาตุอาหารสะสมอยู่ตามบริเวณผิวดิน จนกระทั่งมีฝนตกธาตุอาหารดังกล่าวจะถูกนำพาไปกับน้ำที่ซึมลงไป จากนั้นรากของพืชก็จะดูดเอาธาตุอาหารไปใช้เพื่อการเจริญเติบโตและส่วนที่เหลือจะถูกสะสมกลายเป็นอินทรียวัตถุในดิน

จากการศึกษากระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในระบบนิเวศบก พบว่า เกิดการกักเก็บและการปลดปล่อยคาร์บอนจากกระบวนการ ดังต่อไปนี้

2.2.1 กระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช

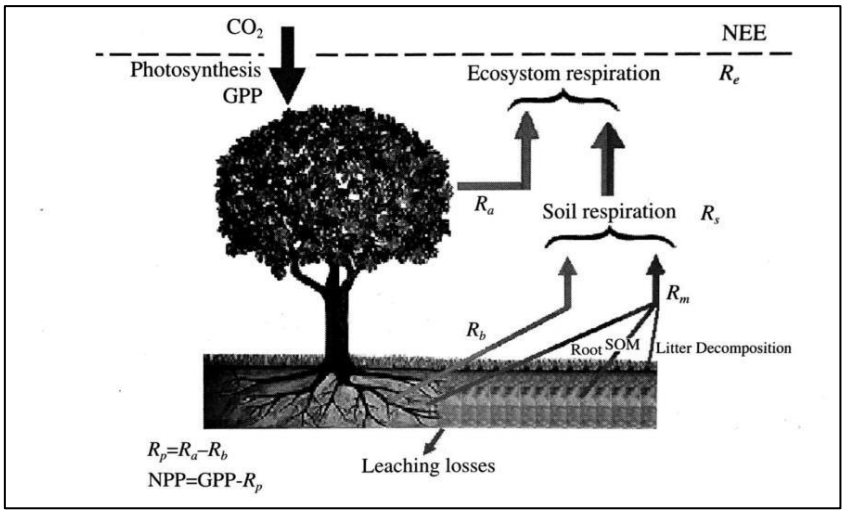
กระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้กลายเป็นสารประกอบประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยมีรงควัตถุภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทำหน้าที่ดูดพลังงานแสง ปัจจัยต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมก็เป็นปัจจัยที่จำเป็นในการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช เช่น อุณหภูมิ น้ำ ความชื้น แสงสว่าง และดิน กระบวนการสังเคราะห์มีผลต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม โดยจะช่วยเพิ่มก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศและเป็นการสร้างอาหารขั้นปฐมภูมิในระบบนิเวศทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานระดับต่าง ๆ ในระบบนิเวศขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ใช้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นองค์ประกอบเกิดน้ำตาลและก๊าซออกซิเจนที่นำไปใช้ในกระบวนการหายใจ ซึ่งทำให้เกิดน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
ที่มา : https://sites.google.com/site/kawfangjaa/1-2-phl-thi-di-rab-cak-kar-sangkheraah-dwy-saeng

2.2.2 การหายใจของดิน (Soil Respiration : Rs)

การหายใจของดิน เป็นกระบวนการที่สำคัญในวัฏจักรคาร์บอนของระบบนิเวศ คิดเป็น 30 – 80 % ของการหายใจทั้งระบบนิเวศ โดยทั่วไปการหายใจของดินเป็นกระบวนการที่เกิดจากการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดินที่สร้างอาหารเองไม่ได้ (Heterotrophic Respiration : Rh) และการหายใจของพืช (Autotrophic Respiration : Ra) โดยปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่ออัตราการหายใจของดิน เช่น อุณหภูมิดิน ความชื้นดิน อินทรียวัตถุและความเค็ม การหายใจของดินเป็นผลรวมของการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดิน และการหายใจของพืช ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กระบวนการไหลเวียนของคาร์บอนในระบบนิเวศ
ที่มา : จิรัชญา สุวรรณพงศ์และคณะ (2559)

การหายใจของสิ่งมีชีวิตในดิน หมายถึง คาร์บอนที่สูญหายไปโดยสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ ซึ่งถือว่าเป็นการหายใจของสิ่งมีชีวิตเหนือพื้นดิน แต่สำคัญที่สุด คือ การหายใจของสิ่งมีชีวิตจากพืช และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินและบริเวณพื้นผิว และการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งรวมถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการสลายตัวของต้นไม้ที่ยืนต้นตายและเศษใบไม้

การหายใจของพืช เป็นกระบวนการที่พืชตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยการสังเคราะห์แสง ซึ่งในที่นี้ใช้เพื่อแสดงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงโดยการสังเคราะห์แสงขั้นต้นลบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูญหายไปในกระบวนการหายใจ บางส่วนของการสังเคราะห์แสงนี้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงจะสูญหายไปในกระบวนการเมทะบอลิซึมภายในพืช โดยการสูญหายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการเมทะบอลิซึมนี้ เรียกว่า การหายใจของพืช (Autotrophic Respiration : Ra) ปกติแล้วจะมีจำนวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงไว้โดยพืช ดังนี้

1) อัตราการผลิตปฐมภูมิรวม (Gross Primary Production : GPP) คือ จำนวนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมดที่ถูกตรึงในกระบวนการสังเคราะห์โดยพืชในระบบนิเวศ รวมถึงคาร์บอนที่ใช้ไปในการหายใจด้วย

2) อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net Ecosystem Exchange : NEE หรือ Net Carbon Dioxide Exchange Rate : NCER) คือ การวัดปริมาณของคาร์บอนที่เข้าและออกจากระบบนิเวศ โดยปกติจะเกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างระบบนิเวศบกและชั้นบรรยากาศ ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาจะมีอัตราการผลิตปฐมภูมิรวมและการหายใจของระบบนิเวศผันแปรแตกต่างกัน โดยค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ มีค่าลบ บ่งบอกว่า คาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศถูกดูดกลับหรือเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน ถ้าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ มีค่าบวก บ่งบอกว่า การหายใจมีค่ามากกว่าอัตราการผลิตปฐมภูมิรวม ชี้ให้เห็นว่าระบบนิเวศปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ หรือเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอน ดังสมการที่ 1

NEE หรือ NCER = GPP – Rs = GPP - Ra- Rh (1)

โดย NEE หรือ NCER คือ อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ

GPP คือ อัตราการผลิตปฐมภูมิรวม และ Rs คือ อัตราการหายใจของดิน

การหายใจของดินและบทบาทต่อสมดุลคาร์บอนในระบบนิเวศ

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกผลิตขึ้นมาจากการหายใจของพืช (Plant Respiration : Rp) และจุลินทรีย์ (Microbial Respiration : Rm) โดยการหายใจของสิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์แสง (Autotrophic Respiration : Rp) จำแนกเป็นการหายใจของส่วนเหนือดินของพืช (Aboveground Plant Respiration : Ra) และการหายใจของส่วนใต้ดินของพืช (Belowground Plant Respiration : Rb) หรือ การหายใจของราก (Root Respiration) การหายใจของสิ่งมีชีวิตในดินของจุลินทรีย์กลุ่มผู้บริโภค (Heterotrophic Respiration : Rm) ดังนั้น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน (Soil Surface CO_2 Flux: Rs) จึงเป็นผลรวมของ Rb และ Rm ดังสมการที่ 2

Rs = Rb + Rm (2)

ดังนั้น การหายใจทั้งหมดของระบบนิเวศ (Ecosystem Respiration : Re) คือ การหายใจของส่วนเหนือดินของพืช (Ra) และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน (Rs) ดังสมการที่ 3

Re = Ra + Rs (3)

ดัชนีของสมดุลคาร์บอนในระบบนิเวศ ที่สำคัญนอกจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน คือ ดัชนีผลผลิตของระบบนิเวศ (Ecosystem Production : EP) ได้แก่ ผลผลิตขั้นปฐมภูมิรวม (Gross Primary Productivity : GPP) คือ พลังงานทั้งหมดที่ถูกสะสมจากการสังเคราะห์แสงหรือสังเคราะห์ทางเคมีโดยผู้ผลิต ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (Net Primary Productivity : NPP) คือ อัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิรวมที่ได้หักพลังงานส่วนที่ใช้ในการหายใจของผู้ผลิตออกไปแล้ว (NPP = GPP - Ra) และผลผลิตคาร์บอนสุทธิของระบบนิเวศ (Net Ecosystem Production : NEP) คือ ผลต่างของ GPP กับ Re โดย NEP มีความสัมพันธ์กับการหายใจของดิน ดังต่อไปนี้

NEP = GPP - Ra - Rs หรือ (4)

NEP = NPP - Rm หรือ (5)

NEP = NPP + Rb - Rs (6)

ทั้งนี้ NEP มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ มีค่ามากกว่าการหายใจ บ่งชี้ว่าระบบนิเวศนี้เป็นแหล่งดูดกลับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หากค่า NEP มีค่าเป็นบวก แสดงว่า อัตราการหายใจของระบบนิเวศ มีค่ามากกว่าผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ บ่งชี้ว่า ระบบนิเวศนี้เป็นแหล่งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.3 การกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้

การกักเก็บคาร์บอน หมายถึง การดึงคาร์บอนออกจากชั้นบรรยากาศอย่างถาวรหรือกึ่งถาวร (อรรถชัย จินตะเวช, 2547) โดยโลกมีระบบกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ ทั้งบนบกและในมหาสมุทร ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เพื่อเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารต่างๆ ที่ใช้ในการเติบโตของพืชทั้งบนบกและในน้ำ (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ, 2552) การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ (หรือคาร์บอน) คือ การยึดคาร์บอนในต้นไม้และผลิตภัณฑ์ของไม้ที่มีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ต้นไม้และป่าไม้จึงเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ ดังนั้น เมื่อต้นไม้เติบโต คาร์บอนจึงถูกกักเก็บอยู่ในราก ลำต้น กิ่งก้านและใบ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าไปเก็บในมวลชีวภาพของต้นไม้ ดังนั้น คาร์บอนจึงสามารถยึดอยู่กับเนื้อเยื่อของต้นไม้และเนื้อไม้ได้อย่างเสถียรและมีระยะเวลาค่อนข้างยาวนาน (นาฏสุดา ภูมิจำนงค์, 2547)

แหล่งสะสมคาร์บอนของป่าไม้ (Carbon Pool) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของป่า หรือเป็นพื้นที่ที่มีต้นไม้เป็นองค์ประกอบ (Watson, 2009) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ได้จำแนกแหล่งสะสมคาร์บอนในพื้นที่ป่าไม้เป็น 6 แหล่ง ดังนี้

1) มวลชีวภาพเหนือดิน (Living Above-ground Biomass) ได้แก่ ส่วนของต้นไม้ที่อยู่เหนือดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก และผล รวมทั้งพืชพรรณอื่น ๆ

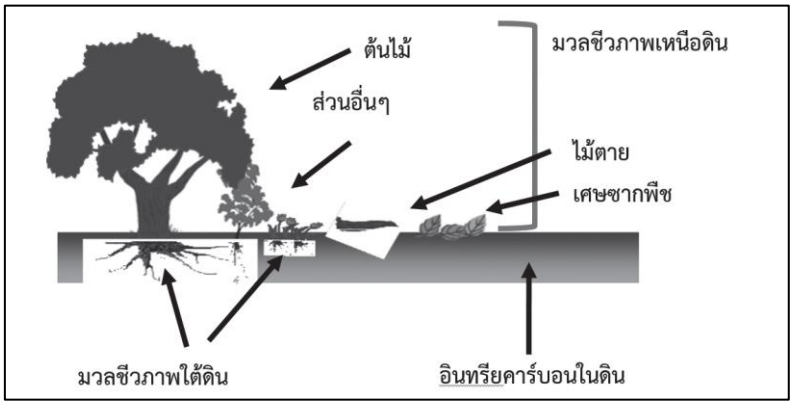
2) มวลชีวภาพใต้ดิน (Living Below-ground Biomass) ได้แก่ ส่วนของต้นไม้ที่อยู่ใต้ดิน ได้แก่ ราก

3) ไม้ตาย (Dead Organic Matter in Wood) ได้แก่ ต้นไม้ที่ล้ม หรือยืนต้นตาย

4) ซากพืช (Dead Organic Matter in Litter) ได้แก่ ส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ที่ร่วงหล่นสะสมบนผิวดิน ได้แก่ กิ่ง ก้าน ใบ ดอก และผล

5) อินทรียวัตถุในดิน (Soil Organic Matter)

6) ผลิตภัณฑ์ไม้ส่วนอื่นๆ (Harvested Wood Product) ซึ่งได้จากการตัดฟันไม้ เพื่อนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทั้งนี้อายุของการกักเก็บคาร์บอนขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 2.4 แหล่งกักเก็บคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้
ที่มา : ศูนย์วนศาสตร์ชุมชน (2557)

ขั้นตอนหลัก ๆ ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินและใต้ดิน ประกอบด้วย

1) หาน้ำหนักมวลชีวภาพแห้ง (Biomass : Mass Dry Weight)

2) หาสัดส่วนคาร์บอนในมวลชีวภาพ (Carbon Fraction)

3) คำนวณปริมาณคาร์บอน (C) = Biomass x Carbon Fraction

4) คำนวณปริมาณการดูดกลับคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ CO_2 = C x (44/12)

สำหรับประเทศไทย ได้มีการศึกษาการสะสมและกักเก็บคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของป่าธรรมชาติดังแสดงในตารางที่ 2.2 ส่วนการศึกษาปริมาณคาร์บอนที่สะสมในส่วนต่างๆ ของชนิดและกลุ่มของพรรณไม้บางกลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ตารางที่ 2.4 แสดงผลการศึกษาการสะสมและกักเก็บคาร์บอนในส่วนของพืชและดินที่ระดับความลึก 1 เมตร โดยแบ่งตามประเภทของป่าต่างๆ

ตารางที่ 2.2 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพและในดินป่าธรรมชาติของประเทศไทย

ชนิดป่า	**ปริมาณคาร์บอน[1] (ร้อยละ โดย นน. แห้ง)**	**การกักเก็บคาร์บอน (ตันต่อไร่)**		**การกักเก็บคาร์บอนรวม (ตันต่อไร่)**
		เหนือดิน[1]	**ใต้ดิน[2]**	
ป่าดงดิบ	54	29.12	13.76	42.8
ป่าเบญจพรรณ	52	18.88	8.80	27.6
ป่าเต็งรัง	49	9.92	4.64	14.5
ป่าสน	48	12.32	5.76	18.1
ป่าชายเลน	55	17.60	8.32	25.9

หมายเหตุ : Tangtham and Tantasirin (1997)

Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) อัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินของป่าเขตร้อน เท่ากับ 0.47

ที่มา : สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ (2550)

ตารางที่ 2.3 ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่าง ๆ ของชนิด/ กลุ่มของพรรณไม้

ชนิดไม้	ปริมาณคาร์บอน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)				
	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ราก	เฉลี่ย
สัก	48.23	45.66	48.58	46.42	48.39
ยูคาลิปตัส	48.24	49.46	52.30	49.19	49.88
อะคาเซีย	48.13	45.02	48.43	Na	47.19
โกงกาง	47.57	47.49	46.41	Na	47.19
ยางพารา	48.01	50.55	52.77	47.88	49.90
ไม้อื่น ๆ - ไม้โตช้า - ไม้ปลูกในเมือง - ไม้เอนกประสงค์	49.14	48.46	48.15	Na	48.59
กระถินยักษ์	48.19	47.24	50.37	49.19	48.54
IPCC (1996)	50.00				
IPCC (2006)	47.00				

หมายเหตุ :

Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) กำหนดค่า Default Value ของปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าร้อยละ 50 ของน้ำหนักแห้ง

Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) กำหนดค่า Default Value ของปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้ง

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2554)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณการสะสมคาร์บอนในพืชและดินที่ระดับความลึก 1 เมตร ในไบโอม ประเภทต่าง ๆ

ไบโอม	พื้นที่ (10^6 กม^2)	ปริมาณคาร์บอนที่สะสม (10^9 ตัน)		
		พืช	ดิน	รวม
ป่าเขตร้อน (Tropical forests)	17.6	212	216	428
ป่าเขตอบอุ่น (Temperate forests)	10.4	59	100	159
ป่าเขตหนาวเหนือ (Boreal forests)	13.7	88	471	559
สะวันนาเขตร้อน (Tropical savannas)	22.5	66	264	330
ทุ่งหญ้าเขตอบอุ่น (Temperate grasslands)	12.5	9	295	304
ทะเลทรายและกึ่งทะเลทราย (Deserts and Semideserts)	45.5	8	191	199
ทุนดร้า (Tundra)	9.5	6	121	127
พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetlands)	3.5	15	225	240
พื้นที่การเกษตร (Croplands)	16.0	3	128	131
รวม	151.2	466	2,011	2,477

ที่มา : ณิชาภัทร์ ดวงทิพย์ (2558)

2.4 หลักการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

ศศิธร พ่วงปาน (2555) ได้กล่าวถึง หลักการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ โดยการประมาณมวลชีวภาพ สามารถทำได้โดยทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

2.4.1 การประมาณมวลชีวภาพโดยทางตรง ทำได้โดยการตัดต้นไม้หรือพืชทั้งหมดที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่เราสนใจศึกษา แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก แต่จะเห็นได้ว่าวิธีนี้เหมาะกับการประมาณมวลชีวภาพในพื้นที่ศึกษาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น หากแต่ในความเป็นจริงที่เราต้องประมาณมวลชีวภาพของป่าไม้ซึ่งเป็นระบบนิเวศที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ การวัดมวลชีวภาพทางตรง โดยการตัดชั่งทั้งหมดคงเป็นไปได้ยาก และยังเป็นการทำลายทรัพยากรอย่างมหาศาลอีกด้วย

2.4.2 การประมาณมวลชีวภาพโดยทางอ้อม เป็นวิธีที่มีความสะดวกมากกว่าในเชิงปฏิบัติ วิธีการประมาณมวลชีวภาพโดยทางอ้อมวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมมาก คือ วิธีแอลโลเมตรี (Allometry Method) วิธีแอลโลเมตรี มีแนวคิดหลัก คือ การเจริญเติบโตของร่างกายทั้งหมดของสิ่งมีชีวิตมีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของอวัยวะใดอวัยวะหนึ่งของร่างกาย (Huxley, 1972)

ซึ่งความสัมพันธ์ในเชิงคณิตศาสตร์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตของร่างกายทั้งหมด (Y) และอัตราการเติบโตของอวัยวะหนึ่ง (X) สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ในรูปพาวเวอร์ฟังก์ชั่นได้ดังนี้

$$Y = bX^k \quad (1)$$

โดยที่ b และ k คือค่าคงที่ และเรียกสมการนี้ว่า สมการแอลโลเมตรี (Allometric Equation) และเมื่อแปลงความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยล็อกการิธึม จะได้สมการเป็น รูปแบบความสัมพันธ์เส้นตรงดังนี้

$$\log Y = k \log X + \log b \quad (2)$$

ซึ่งหมายความว่าเมื่อเขียนความสัมพันธ์ลงในกราฟ log-log scale จะได้เป็นความสัมพันธ์แบบเส้นตรงที่มีค่า k คือ ความชันของกราฟ และ ค่า log b เป็นจุดตัดแกน Y ของกราฟ

จากหลักการของวิธีแอลโลเมตรีจึงสามารถประมาณน้ำหนักของสิ่งมีชีวิต (Organism) ได้โดยใช้ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) เป็นขนาดของอวัยวะที่มีความสัมพันธ์กับน้ำหนักทั้งหมดของร่างกาย ซึ่งขนาดของอวัยวะที่ใช้เป็นตัวแปรอิสระมัก เป็นค่าที่วัดได้ง่าย นำไปแทนค่าลงในสมการแอลโลเมตรีเพื่อคำนวณน้ำหนักของสิ่งมีชีวิตที่ต้องการทราบค่าต่อไป เช่น การใช้ความยาวรอบศีรษะในการประมาณน้ำหนักสมองของสัตว์บางชนิด เป็นต้น

2.5 วิธีการประมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตรี

2.5.1 การเลือกใช้สมการที่เหมาะสมกับชนิดป่า

จากที่กล่าวว่าการคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในป่าสามารถทำได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยทางตรงเป็นการใช้วิธีการสุ่มตัดต้นไม้ วัดขนาด ชั่ง อบแห้งส่วนต่างๆ ของต้นไม้ ชั่งค่าน้ำหนักแห้งจากส่วนต่างๆ ของต้นไม้ แล้วนำมาพัฒนาสมการแอลโลเมตรีหรือสมการความสัมพันธ์ระหว่างความโตและความสูงกับมวลชีวภาพของต้นไม้ ส่วนทางอ้อมเป็นการอาศัยสมการแอลโลเมตรีที่มีอยู่แล้วและเป็นที่ยอมรับมาใช้คำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอน เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกมากกว่าทางตรง และใช้ต้นทุนต่ำ

จากการศึกษาสมการการประมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตรีที่มีอยู่แล้วและเป็นที่ยอมรับนั้น พบว่าในป่าแต่ละชนิดมีค่าแตกต่างกันโดยป่าดงดิบจะมีค่าการกักเก็บมากกว่าป่าเบญจพรรณและป่าเต็งรัง ตามลำดับ ดังนั้นการเลือกสมการให้เหมาะสมจะต้องทราบลักษณะป่าและพันธุ์ไม้ที่พบหรือสำรวจได้ จึงจะบ่งชี้ได้ว่าเป็นป่าชนิดใดและต้องเลือกสมการแอลโลเมตรีใดจึงจะเหมาะสมกับพื้นที่ หรือใช้ค่าดัชนีความสำคัญ (Important Value Index; IVI) ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงระดับความสำคัญในเชิงนิเวศวิทยาของชนิดพันธุ์พืชนั้น ๆ ต่อพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาจากความหนาแน่น (D) ความถี่ที่พบ (F) และ ความเด่น (Do) หรือพื้นที่หน้าตัด (BA) โดยค่าดัชนีนี้สามารถหาได้จากผลรวมของค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (R_D) ค่าความถี่สัมพัทธ์ (R_F) และ ค่าความเด่นสัมพัทธ์ (R_{Do}) ดังสมการ

$$IVI = R_D + R_F + R_{Do}$$

เมื่อ ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (R_D) = $\frac{\text{ค่าความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นๆ**}}{\text{ผลรวมของค่าความหนาแน่นของทุกชนิดที่พบในแปลงตัวอย่าง}} \times 100$

ค่าความถี่สัมพัทธ์ (R_F) = $\frac{\text{จำนวนแปลงที่พบพันธุ์ไม้ชนิดนั้นๆ}}{\text{จำนวนแปลงย่อยที่ศึกษาทั้งหมด}} \times 100$

ค่าความเด่นสัมพัทธ์ (R_{Do}) = $\frac{\text{พื้นที่หน้าตัดของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นๆ}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของทุกชนิดรวมกัน}} \times 100$

**ค่าความหนาแน่นของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นๆ = $\frac{\text{จำนวนต้นของพันธุ์ไม้ชนิดนั้นๆ}}{\text{พื้นที่แปลงสำรวจ}} \times 100$

โดยชนิดพันธุ์ที่มีค่าความสำคัญสูงเรียกว่าชนิดพันธุ์เด่น ดังนั้น ข้อมูลชนิดพันธุ์เด่นจะเป็นตัวชี้วัดว่าป่าที่กำลังประเมินค่ากักเก็บคาร์บอนเป็นป่าชนิดใด เพื่อสามารถเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีได้อย่างถูกต้อง

Kira and Shidei (1967) กล่าวว่า การประมาณค่ามวลชีวภาพโดยอาศัยความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตรี (Allometry) นั้น ควรคำนึงถึงหลักการ 3 ข้อต่อไปนี้

1. ไม่ควรจะเลือกไม้ตัวอย่างเฉพาะต้นที่มีลักษณะดีหรือเติบโตดีเพราะค่าที่ประมาณได้จะสูงกว่าความเป็นจริง

2. ไม่ควรเลือกไม้มีขนาดใหญ่ที่สุดในแปลงเพราะถ้าเรานำความสัมพันธ์มาใช้ประมาณค่ามวลชีวภาพของไม้ขนาดเล็กจะทำให้ได้ค่าปริมาณมวลชีวภาพที่มากกว่าความเป็นจริง

3. การใช้ค่าความสูงทั้งหมดของลำต้นมาเป็นตัวแปรร่วมในรูป D^2H จะทำให้การประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2.5.2 การประเมินมวลชีวภาพ

ณิชาภัทร์ ดวงทิพย์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ใต้ดิน และไม้พื้นล่างในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชบริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาปริมาณมวลชีวภาพด้วยสมการแอลโลเมตรีของ Ogawa et al. (1965) การวิเคราะห์มวลชีวภาพใต้ดินด้วยสมการ Cairne et al. (1997) ดังนี้

1. ประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above Ground Biomass: AGB) บนพื้นฐานรูปแบบพันธุ์ไม้ที่พบทั่วไปตามป่าเบญจพรรณ โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของ Ogawa et al. (1965) คือ

$$W_S = 0.0396\ D^2H^{0.9326}$$
$$W_B = 0.003487 D^2H^{1.0270}$$

$W_L = (28.0/W_{tc} + 0.025)^{-1}$

$GB = (W_S + W_B + W_L)$

เมื่อ $W_{TC} = W_S + W_B$

หมายเหตุ

W_S = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

2. ประเมินมวลชีวภาพใต้พื้นดิน (Belowground (root) biomass, RB) ใช้สมการของ Cairne et al. (1997)

มวลชีวภาพใต้ดิน = 0.28 x ปริมาณมวลชีวภาพรวมของต้นไม้

3. AGB+ BGB คือมวลรวมชีวภาพทั้งต้น

2.5.3 การประเมินการกักเก็บคาร์บอน

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) ได้กำหนดว่าประมาณร้อยละ 47 ของมวลชีวภาพของต้นไม้เป็นคาร์บอน จึงมีสมการดังนี้

$C = GB \times 0.47$

เมื่อ 0.47 คือ ร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ

โดย C คือ การกักเก็บคาร์บอน

GB คือ มวลชีวภาพเหนือดินของต้นไม้

2.5.4 การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดในพื้นที่

ขั้นที่ 1 ให้คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมดในแต่ละแปลงสำรวจตามแนวทางข้างต้น (หน่วยเป็นตันคาร์บอน)

ขั้นที่ 2 นำปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของแปลงสำรวจแต่ละแปลงมาหาค่าเฉลี่ย (หน่วยเป็นตันคาร์บอนต่อไร่)

ขั้นที่ 3 คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ดังสมการ

ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ย x พื้นที่ป่าทั้งหมด

2.5.5 การแปลงค่าการกักเก็บคาร์บอนเป็นการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์

การแปลงค่าการกักเก็บคาร์บอนเป็นการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เป็นเพียงการนำค่าสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 44) และคาร์บอน (C มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 12) คือ 44/12 หรือ 3.66 (ค่าคงที่) คูณด้วยค่าการกักเก็บคาร์บอน ดังนั้น

การดูดซับ CO_2 ของป่า = ค่าการกักเก็บ C ทั้งหมด x 3.66 (หน่วยเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์)

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

ชัญษา กันฉิ่งและคณะ (2559) ได้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ป่าชุมชนห้วยข้าวก่ำ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา โดยสำรวจชนิดพันธุ์พืชและประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอน ในพื้นที่สำรวจรวม 4,000 ตารางเมตร พร้อมเก็บข้อมูลพรรณไม้โดยวิธีการวางแปลงตัวอย่าง (Quadrat) 5 สถานี และคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินโดยใช้สมการแอลโลเมตริก ผลการศึกษา พบพรรณไม้ใน 23 วงศ์ 48 สกุล 58 ชนิด มวลชีวภาพรวม 74,949.67 กิโลกรัม (ต่อ 4,000 ตารางเมตร) และปริมาณการกักเก็บคาร์บอนโดยรวม เท่ากับ 38,547.23 กิโลกรัมคาร์บอน (ต่อ 4,000 ตารางเมตร)

วสันต์ จันทร์แดงและคณะ (2553) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส อายุ 1 - 4 ปี ณ สวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น โดยวางแปลงตัวอย่างขนาด 40 X 40 เมตร ในสวนป่ายูคาลิปตัส ชั้นอายุละ 1 แปลง และป่าเต็งรัง จำนวน 4 แปลง และประมาณหามวลชีวภาพเหนือดินและใต้ดิน ด้วยสมการแอลโลเมตรี โดยผลการศึกษาพบว่า สวนป่ายูคาลิปตัส อายุ 3 ปี มีการสะสมคาร์บอนรวมมากที่สุด เท่ากับ 64.70 ตันต่อเฮกแตร์ รองลงมาได้แก่ สวนป่ายูคาลิปตัส อายุ 4 ปี ป่าเต็งรัง สวนป่ายูคาลิปตัส อายุ 2 ปี และสวนป่ายูคาลิปตัส อายุ 1 ปี มีค่าเท่ากับ 60.41, 58.36, 54.55 และ 48.48 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ ความแตกต่างของการสะสมคาร์บอนขึ้นอยู่กับมวลชีวภาพของไม้ยืนต้นมากกว่าคาร์บอนในดิน

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณและคณะ (2551) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ 3 ชนิด ในบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดาริ ได้แก่ ไม้สักอายุ 22 ปี ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 23 ปี และไม้ยางพาราอายุ 23 ปี ทำการศึกษาโดยวางแปลงตัวอย่าง ขนาด 40 เมตร x 40 เมตร ชนิดละ 1 แปลง และวัดมิติต่างๆ ของต้นไม้เพื่อนำไปประมาณหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน ด้วยวิธี stratified clip technique ผลการศึกษาพบว่าไม้ยางพารามีการเติบโตมวลชีวภาพรวมสูงสุด รองลงมาคือ ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และไม้สักตามลาดับ โดยมีมวลชีวภาพรวมเท่ากับ 150.98, 118.32 และ 27.46 ตัน/เฮกตาร์ และมีมวลชีวภาพใต้พื้นดินคิดเป็นร้อยละ 33, 44 และ 43 ของมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของ

คาร์บอนเฉลี่ยในมวลชีวภาพของไม้ยางพารามีค่าสูงสุด รองลงมา คือ ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และไม้สัก ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 49.90, 48.95 และ 46.60 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า ไม้ยางพารามีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพสูงกว่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และไม้สัก โดยมีการกักเก็บคาร์บอนรวมเท่ากับ 73.21, 56.97 และ 12.86 ตัน/เฮกตาร์ ตามลำดับ ทั้งนี้ความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนเป็นผลมาจากความแตกต่างของมวลชีวภาพมากกว่าความเข้มข้นของคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของต้นไม้

อาริสา สาดิษฐ์และปิยะกาญจน์ เที้ยธิทรัพย์ (2560) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่สวนลุมพินี กรุงเทพมหานคร ในสิ่งปกคลุมดิน 2 ประเภท คือ พื้นที่ปลูกต้นไม้ ทั้งในกลุ่มชนิดพันธุ์ไม้ผสมและชนิดพันธุ์เดี่ยวและสนามหญ้า โดยทำการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เศษซากพืชและในดิน จากการศึกษา พบว่า การกักเก็บคาร์บอนรวมเฉลี่ยในพื้นที่ปลูกต้นไม้เท่ากับ 66.10 ตันต่อเฮกตาร์ เป็นการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เศษซากพืชร่วงหล่น เศษหญ้าและในดิน เท่ากับ 34.85, 2.24, 0.17 และ 28.84 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลำดับ ในขณะที่การกักเก็บคาร์บอนรวมเฉลี่ยในสนามหญ้า เท่ากับ 20.93 ตันต่อเฮกตาร์ เป็นการกักเก็บคาร์บอนในเศษหญ้าและในดิน เท่ากับ 0.27 และ 20.67 ตันต่อเฮกตาร์ ตามลาดับ โดยความแตกต่างของการกักเก็บคาร์บอนรวมขึ้นอยู่กับการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินมากกว่าในส่วนอื่นๆ ซึ่งแปลงนนทรี *Peltophorum pterocarpum* และจามจุรี *Samanea saman* มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและคาร์บอนรวมมากที่สุด

ชมพูนุช แสนภพ (2554) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนสันติภาพ กรุงเทพมหานคร โดยทำการสำรวจและเก็บข้อมูลพรรณต้นไม้ทั้งหมด พร้อมวัดมิติต่างๆ ของต้นไม้ เพื่อไปประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้พื้นดิน ด้วยสมการแอลโลเมตรี ผลการศึกษา พบว่า มวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้พื้นดิน และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน มีทิศทางไปในทางเดียวกัน คือ นนทรี มีมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ มากที่สุด เนื่องจากต้นไม้มีขนาดใหญ่และมีจำนวนมาก ทั้งนี้ ต้นไม้ทั้งหมดในสวนสันติภาพ มีมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด 137.75 และ 64.74 ตัน ตามลำดับ

สายรุ้ง แววตะคุและคณะ (2558) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง (บริเวณสวนเบญจสิริ กรุงเทพมหานคร) และพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท (บริเวณป่าชายเลน โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี) พบว่าค่าความเข้มข้นและการเคลื่อนที่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทำการตรวจวัดในรูปแบบ CO_2 Flux Measurements และใช้วิธี Eddy Covariance ด้วยเครื่องมือ 3D Sonic Anemometer พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท ที่มีพื้นที่สีเขียว 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นพื้นที่มีความหลากหลายของแพลงก์ตอนพืชอยู่บริเวณนั้น มีประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่าพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากความแตกต่างทางด้านชนิดพันธุ์ จึงควรปลูกพืชที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ดียิ่งขึ้น

องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ (2553) ได้ศึกษาปริมาณการดูดซับคาร์บอน การกักเก็บคาร์บอน การปลดปล่อยคาร์บอน และปริมาณสุทธิก๊าซเรือนกระจก ในพื้นที่สวนป่าองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ในปี 2533, 2543 และ 2552 ประกอบด้วย ไม้สัก ไม้ยูคาลิปตัส ยางพารา ไม้เศรษฐกิจโตช้า และไม้เศรษฐกิจโตเร็ว พบว่า ในปี 2552 พื้นที่สวนป่าองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ มีความสามารถในการดูดซับคาร์บอนและกักเก็บคาร์บอนเพิ่มขึ้น 2.15 เท่า จากปี 2533 และปริมาณการดูดซับคาร์บอนตามชนิดไม้ พบว่า ไม้สักสามารถดูดซับคาร์บอนได้มากที่สุด รองลงมา ได้แก่ ไม้เศรษฐกิจโตช้า ไม้ยางพารา ไม้ยูคาลิปตัส และ ไม้เศรษฐกิจโตเร็ว ตามลำดับ

สุภา ศิรินาม และวรวุฒิ ประสิทธิวุฒิศักดิ์ (2559) ได้ศึกษาการปลูกป่าลดภาวะโลกร้อนได้หรือไม่ ซึ่งพบว่า กิจกรรมการปลูกป่าไม่สามารถดูดซับก๊าซเรือนกระจกได้หมด เนื่องจากศักยภาพของการกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้ไม่สามารถรองรับการปล่อยคาร์บอนจากกิจกรรมการดำเนินชีวิตของมนุษย์ได้ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม ป่าไม้ก็ยังคงเป็นแหล่งเดียวที่สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ และมีส่วนในการช่วยลดภาวะโลกร้อนได้ในหลายๆ ด้าน เช่น ช่วยดูดซับความร้อน ลดการสะท้อนแสงอาทิตย์ รักษาความชุ่มชื้นในดิน และยังมีคุณประโยชน์ทางอ้อม เช่น เป็นแหล่งออกซิเจนที่ใหญ่ที่สุดของโลก และเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญ

สมศักดิ์ สุขวงศ์ และคณะ (2556) ได้พัฒนาการนำสมการแอลโลเมตรีของต้นไม้ขนาดต่างๆ มาทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณหาค่ามวลชีวภาพ (น้ำหนักแห้ง) ของต้นไม้เป็นรายต้น โดยใส่ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง (DBH) ของต้นไม้ลงไป โปรแกรมจะสามารถคำนวณค่ามวลชีวภาพกับค่าปริมาณที่กักเก็บไว้ในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของต้นไม้ต้นนั้นทันที ซึ่งสะดวกและรวดเร็วในการคำนวณและประเมินข้อมูลคาร์บอนในพื้นที่ป่าชุมชน

เกษราภรณ์ อุ่นเกิดและคณะ (2557) ได้ศึกษาชนิดและความหนาแน่นของพรรณไม้ มวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และประเมินมูลค่าคาร์บอนที่กักเก็บในไม้ยืนต้นบริเวณป่าชุมชนเขาวง จังหวัดชัยภูมิ ทำการเก็บข้อมูลพรรณไม้ทุกต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป และความสูงทั้งหมดของต้นไม้เพื่อนำข้อมูลไปประเมินหาปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดิน ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน พบว่า ป่าชุมชนเขาวงบริเวณป่าเพื่อการอนุรักษ์พบพรรณไม้ 43 ชนิด มีความ หนาแน่น 133 ต้น/ไร่ มีปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมด 84,182.06 ตัน (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน 39,565.57 ตันคาร์บอน คิดเป็นปริมาณการดูดซับคาร์บอน 145,086.93 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ และมีมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 153,792,150 บาท ส่วนป่าชุมชนเขาวงบริเวณป่าเพื่อการใช้ประโยชน์พบพรรณไม้ 49 ชนิด มีความหนาแน่น 151 ต้น/ไร่ มีปริมาณมวลชีวภาพทั้งหมด 74,222.74 ตัน (โดยน้ำหนักแห้ง) ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน 34,884.69 ตันคาร์บอน คิดเป็นปริมาณการดูดซับคาร์บอน127,922.15 ตัน คาร์บอนไดออกไซด์ และมีมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 135,597,477 บาท ดังนั้น มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้นทั้งหมดของป่าชุมชนเขาวง จังหวัดชัยภูมิ เท่ากับ 289,389,627 บาท ที่ระดับอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 6 ต่อปี ณ ราคาซื้อขายสูงสุด 1,000 บาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด

2.6.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของดินและพลวัตรของคาร์บอน

จิรัชญา สุวรรณพงศ์และคณะ (2559) ได้ศึกษาอัตราการหายใจของดินบริเวณการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานคร พบว่าอัตราการหายใจของดิน ในเขตเมืองมีค่ามากกว่าอัตราการหายใจของดินในเขตชานเมืองที่มีการจราจรเบาบาง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอินทรียสารคาร์บอนที่ได้รับจากการจราจรบนถนนในทิศทางบวก โดยพิจารณาจากพื้นที่เมืองที่มีการจราจรหนาแน่น จะมีค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศใกล้พื้นดินและอินทรียวัตถุในดิน มากกว่าพื้นที่ในชานเมืองที่มีการจราจรเบาบางกว่า โดยประชากรแบคทีเรียที่ย่อยสลายฟรีแนนทรีนบ่งชี้ว่าบริเวณเขตเมืองมีมลสารที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากระบบขนส่งตกสะสมมากกว่าพื้นที่ชานเมือง

Dalia Feizien et al. (2008) ได้ศึกษาการหายใจของดิน อัตราการแลกเปลี่ยนน้ำผิวดินในระบบนิเวศเกษตรที่แตกต่างกันในระยะยาว ฤดูใบไม้ผลิและฤดูหนาว ด้วยเครื่องวิเคราะห์การหายใจแบบพกพา SRS-1000 ซึ่งเป็นระบบวัดค่าการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในดิน โดยการวัดซ้ำบริเวณเดียวกันจะมีการติดตั้งปลอกหุ้มสแตนเลสไว้ในดินเพื่อให้แน่ใจว่าตำแหน่งและการวัดกิจกรรมของชั้นดินทั้งหมด ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิและอัตราการแลกเปลี่ยนน้ำผิวดิน พบว่า อัตราการแลกเปลี่ยนน้ำผิวดินลดลง อัตราการหายใจของดินในทุ่งหญ้าธรรมชาติสูงกว่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ของดิน สามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า การปลูกพืชคลุมข้าวสาลีสามารถลดผลกระทบจากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นของดินและความผันผวนของไอน้ำ อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิทั้งการเกษตรแบบอินทรีย์และแบบธรรมดาโดยมีพืชคลุมโดยตรงและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ และอัตราการแลกเปลี่ยนน้ำผิวดินในฤดูหนาวทำให้ข้าวสาลีอ่อนแอ อาจสรุปได้ว่าพืชบางชนิดที่มีความหนาแน่นได้รับผลกระทบโดยตรงจากความชื้นอากาศ อุณหภูมิของดิน ความชุ่มชื้นของดินและความผันผวนของไอ แนวโน้มการหายใจในดินที่สูงขึ้นด้วยวัสดุชีวมวล เกิดจากความสัมพันธ์ของพืชและดินที่นำไปสู่อัตราที่สูงขึ้นจากกิจกรรมของอินทรียวัตถุในดิน

จีรนันท์ เพชรแก้วและคณะ (2557) ได้ศึกษาการหายใจของดินในระบบนิเวศป่าชายเลน จังหวัดเพชรบุรี โดยวางแปลงศึกษาขนาด 50 x 50 ตารางเมตร โดยวัดการหายใจของดินในระหว่างน้ำลง ด้วยเครื่อง portable photosynthesis system ที่เชื่อมต่อกับ soil chamber ผลการศึกษาพบว่า อัตราการหายใจของดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.749 ถึง 1.676 umol CO_2 $m^{-2}s^{-1}$ โดยอัตราการหายใจของดินในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ พบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหายใจของดินกับอุณหภูมิดิน จากผลการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่าการหายใจของดินจะผันแปรไปตามฤดูกาลและเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิดิน

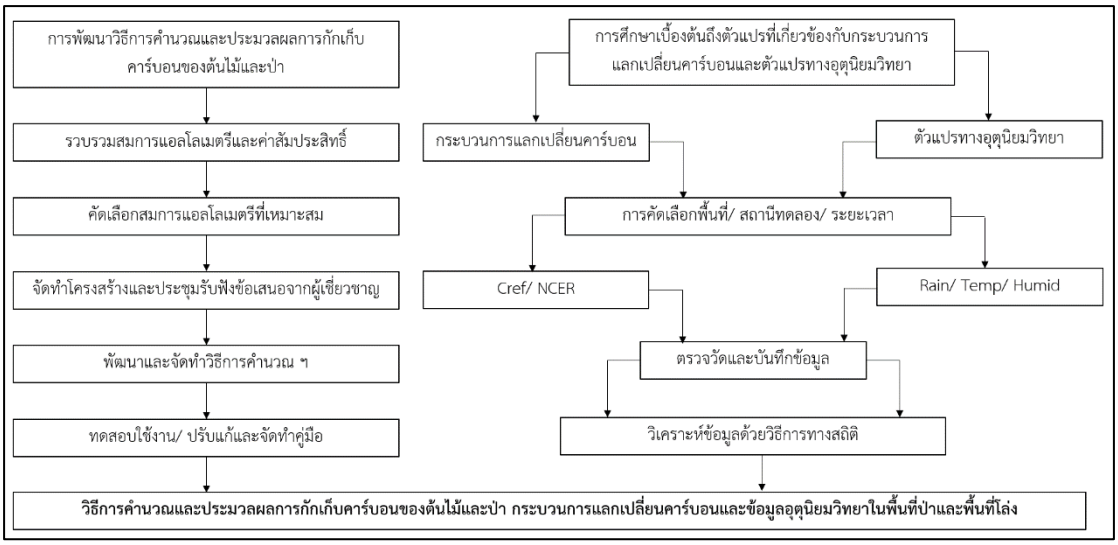
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดของการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้ มีกรอบแนวคิดของการศึกษาวิจัยและการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องและเชื่อมโยงกันใน 2 องค์ประกอบ ดังนี้ (กรอบแนวคิดในภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 3.1)

3.1.1 การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า เป็นการรวบรวมสมการแอลโลเมตรีและค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากงานศึกษาวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อทำการคัดเลือกสมการแอลโลเมตรีที่เหมาะสมสำหรับออกแบบโครงสร้างวิธีการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า ผ่านกระบวนการจัดประชุมรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญในภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐ เอกชน และสถาบันการศึกษา พร้อมทั้งดำเนินการทดสอบและปรับแก้วิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า เพื่อให้เป็นวิธีมาตรฐาน มีความเหมาะสมเป็นที่ยอมรับในเชิงวิชาการ รวมทั้งหน่วยงาน องค์กร และผู้มีส่วนได้เสียในทุกภาคส่วนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเป็นรูปธรรม

3.1.2 การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่ง ประกอบด้วย 2 กิจกรรมย่อย ดังนี้ (1) การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนด้วยการศึกษาอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net Carbon Dioxide Exchange rate หรือ NCER) และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดิน (CO_2 reference หรือ Cref) ในพื้นที่ป่านิเวศของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิม พื้นที่โล่งสนามหญ้า พื้นที่ป่านิเวศปลูกใหม่ (บริเวณด้านหลังอาคารไดออกซิน) และพื้นที่ป่านิเวศปลูกใหม่ (บริเวณหน้าอาคารรัตนชาติ) (2) การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิมและพื้นที่โล่งสนามหญ้า ซึ่งตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบ ได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝนสะสม (Rainfall) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air Temperature) และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) โดยกำหนดให้พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิมและพื้นที่โล่งสนามหญ้าเป็นพื้นที่ศึกษา



ภาพที่ 3.1 กรอบแนวคิดภาพรวมการพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอน การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรอุตุนิยมวิทยา

3.2 การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า

การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่ามีขั้นตอนการดำเนินงานหลัก ๆ 5 ขั้นตอน (ดังแสดงในภาพที่ 3.1) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 รวบรวมสมการและทำการทบทวนเอกสารและประมวลผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการประมาณการกักเก็บคาร์บอนและกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน

3.2.2 คัดเลือกสมการและค่าสัมประสิทธิ์สำหรับใช้ในการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้และป่าประเภทต่าง ๆ

3.2.3 จัดทำโครงสร้างของวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้และป่า พร้อมจัดประชุมปรึกษาหารือเพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะร่วมกับผู้เชี่ยวชาญและนักวิชาการในภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

3.2.4 ดำเนินการพัฒนาและจัดทำวิธีการคำนวณและประมวลผลปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้และป่าด้วยสมการแอลโลเมตรี ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลนำเข้า ฐานข้อมูล การคำนวณ การประมวลผล การแสดงผลและการรายงานผล

3.2.5 เชื่อมต่อองค์ประกอบต่าง ๆ ของวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้และป่าเข้าด้วยกัน ทำการทดสอบและใช้งานจริงปรับแก้ให้วิธีการคำนวณ ฯ สามารถใช้งานได้ดีและมีความเหมาะสม พร้อมทั้งจัดทำคู่มือวิธีการใช้งาน

3.3 การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่งสนามหญ้า

3.3.1 การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) การคัดเลือกพื้นที่และกำหนดจุดเก็บข้อมูล (ดังแสดงในภาพที่ 3.2)

พื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ปลูกป่านิเวศภายในศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จำนวน 4 สถานี ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

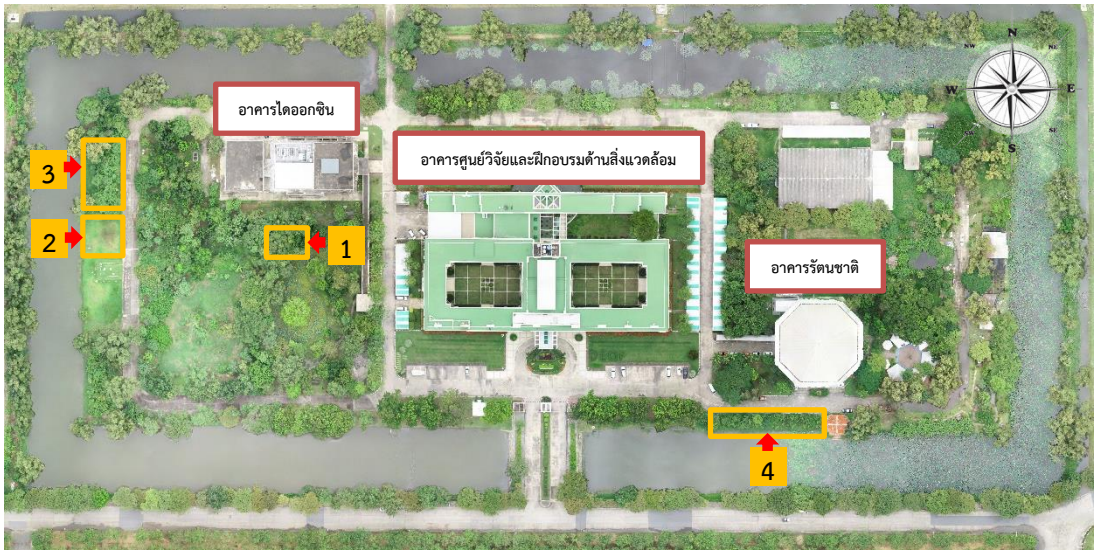
สถานีที่ 1 พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิม ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของอาคารศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ด้านขวาของอาคารไดออกซิน ปลูกเมื่อปี พ.ศ. 2539 เป็นป่าดั้งเดิมที่ปลูกเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นต้นตะเคียนทองและมีขนาดพื้นที่ 110 ตารางเมตร

สถานีที่ 2 พื้นที่โล่งสนามหญ้า ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของอาคารศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ด้านหลังอาคารไดออกซิน มีขนาดพื้นที่ 330 ตารางเมตร

สถานีที่ 3 ป่านิเวศปลูกใหม่ (บริเวณด้านหลังอาคารไดออกซิน) ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของอาคารศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ปลูกป่าเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม 2560 เป็นป่าที่ปลูกตามหลักการปลูกป่านิเวศแบบยั่งยืนตามหลักทฤษฎีของศาสตราจารย์ ดร.อาคิระ มิยาวากิ มีพันธุ์ไม้ 89 ชนิดพันธุ์ มีขนาดพื้นที่ 360 ตารางเมตร

สถานีที่ 4 ป่านิเวศปลูกใหม่ (บริเวณหน้าอาคารรัตนชาติ) ปลูกเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2560 เป็นป่าที่ปลูกตามหลักการปลูกป่านิเวศแบบยั่งยืนตามหลักทฤษฎีของศาสตราจารย์ ดร.อาคิระ มิยาวากิ มีพันธุ์ต้นไม้ 79 ชนิดพันธุ์ โดยส่วนใหญ่จะเป็นต้นมะตูมแขก มีขนาดพื้นที่ 180 ตารางเมตร

เมื่อดำเนินกำหนดพื้นที่ทดลองแล้ว คณะวิจัยได้ทำการติดตั้ง Chamber โลหะสแตนเลส ขนาด 97.5 ตารางเซนติเมตร วางแปลงทดลองขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ในพื้นที่ทดลองทั้ง 4 สถานี โดยวาง Chamber แนวนอนบริเวณผิวดินตามหลักวิชาการ เพื่อให้รบกวนโครงสร้างของดินและสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในดินให้น้อยที่สุด ทั้งนี้ ติดตั้ง Chamber สถานีละ 2 อัน (ดังแสดงในภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.2 พื้นที่ศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและพื้นที่โล่ง
หมายเหตุ : พื้นที่ศึกษา 1, 2, 3 และ 4 คือ พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิม พื้นที่โล่งสนามหญ้า ป่านิเวศปลูกใหม่ (บริเวณด้านหลังอาคารไดออกซิน) และป่านิเวศปลูกใหม่ (บริเวณหน้าอาคารรัตนชาติ) ตามลำดับ

ภาพที่ 3.3 Soil Respiration Chamber ที่ติดตั้งในพื้นที่ทดลอง

2) พารามิเตอร์ที่ตรวจวัดและช่วงเวลาเก็บข้อมูล

พารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ อัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net Carbon Dioxide Exchange rate หรือ NCER) มีหน่วยเป็น $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดิน (CO_2 reference หรือ Cref) หน่วยเป็น ppm ดำเนินการเก็บข้อมูลในช่วงเวลากลางวัน โดยเลือกเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 9.00 - 11.00 น. ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพอากาศที่เหมาะสมและคงที่ (สายรุ้ง แววตะคุ, สุจิณณา กรรณสูต และ สุรัตน์ บัวเลิศ, 2558) ตรวจวัดและบันทึกข้อมูล 1 ครั้ง/ สัปดาห์ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 รวมทั้งสิ้น 16 ครั้ง

3) การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการตรวจวัดอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (Net Carbon Dioxide Exchange rate หรือ NCER) ด้วยวิธี Open Dynamic Closed chamber แบบโปร่งแสง โดยใช้เครื่องวัดการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดิน ยี่ห้อ ADC Bio Scientific Ltd. (UK) รุ่น SRS-SD1000 (ดังแสดงในภาพที่ 3.4) และวัดความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ซึ่งเป็นความเข้มข้นของ CO_2 ในอากาศเหนือพื้นดิน 3 เมตร (CO_2 reference หรือ Cref) โดยดึงอากาศด้วย Air supply pipe (ดังแสดงในภาพที่ 3.5) และวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นของอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดิน

ภาพที่ 3.4 Portable Soil Respiration Systems (SRS-SD1000)

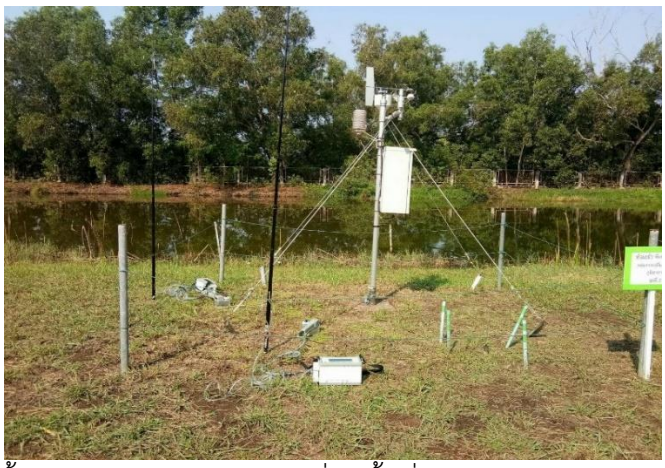
ภาพที่ 3.5 Open Dynamic Closed chamber แบบโปร่งแสง และ Air supply pipe สำหรับดูดอากาศให้เครื่อง IRGA วัดความเข้มข้นของ CO_2

3.3.2 การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรอุตุนิยมวิทยาในป่านิเวศเดิมและพื้นที่โล่งสนามหญ้า

1) การคัดเลือกพื้นที่และกำหนดจุดเก็บข้อมูล

พื้นที่ศึกษาตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 2 สถานี โดยกำหนดสถานีที่ 1 พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิม กับสถานีที่ 2 พื้นที่โล่งสนามหญ้า (ดังแสดงในภาพที่ 3.2) ดำเนินการติดตั้งสถานีตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาแบบอัตโนมัติ (Weather Station ยี่ห้อ Delta-t รุ่น DL2e Data Logger) ในพื้นที่ทั้ง 2 สถานี (ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และ 3.7)

ภาพที่ 3.6 พื้นที่ติดตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา สถานีที่ 1 พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิม



ภาพที่ 3.7 พื้นที่ติดตั้งสถานีอุตุนิยมวิทยา สถานีที่ 2 พื้นที่โล่งสนามหญ้า

2) พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด และช่วงเวลาเก็บข้อมูล

พารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ ข้อมูลปริมาณฝนสะสม (Rainfall) ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ (Air Tempareture) และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (Humudity) โดยใช้โปรแกรม DL2 deltalink 3.0 กำหนดตั้งค่าให้ Weather Station ทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องทุก ๆ 30 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 4 พฤศจิกายน 2560 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม 2561

3) การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลภาคสนามที่ได้ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลจะถูกนำมาตรวจสอบคุณภาพข้อมูลเบื้องต้นด้วยวิธีการทางสถิติ โดยข้อมูลปริมาณฝนสะสม ข้อมูลอุณหภูมิอากาศ และข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์จะถูกนำมาเปรียบเทียบในแต่ละตัวแปรระหว่างพื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิมและพื้นที่โล่งสนามหญ้า ทำการทดสอบในเชิงสถิติด้วย Non-parametric Mann-Whitney U test และค่าความแปรปรวนที่แสดงในรูปของ Standard Deviation

บทที่ 4
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 การพัฒนาวิธีการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

4.1.1 การทบทวนสมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

จากการทบทวนและประมวลผลจากเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และพื้นที่ป่า สามารถรวบรวมสมการแอลโลเมตรีที่นำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยได้ดังนี้

1) สมการแอลโลเมตรีที่แนะนำเพื่อใช้การประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้ ภายใต้โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program; T-VER) สาขาป่าไม้และการเกษตร ขององค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) หรือ อบก. ซึ่งแบ่งตามกลุ่มของชนิดไม้ที่สำคัญ และพบได้โดยทั่วไปในประเทศไทย ซึ่งจำแนกเป็น 5 กลุ่ม ดังสรุปในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้ ภายใต้โครงการ T-VER ของ อบก.

กลุ่มพรรณไม้	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
กลุ่มพรรณไม้ทั่วไป	$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.933}$ $W_B = 0.00349 (D^2H)^{1.030}$ $W_L = (28/ (W_S+W_B+0.025))^{-1}$ $W_T = W_S + W_B + W_L$	- - - -	- - - -	Ogawa et al. (1965)
กลุ่มพรรณไม้ป่าชายเลน	$W_S = 0.05466 (D^2H)^{0.945}$ $W_B = 0.01579 (D^2H)^{0.9124}$ $W_L = 0.0678 (D^2H)^{0.5806}$ $W_T = W_S + W_B + W_L$	- - - -	- - - -	Komiyama et al. (1987)
กลุ่มปาล์ม	$W_T = 6.666 + 12.826 (H)^{0.5}(\ln H)$	-	-	Peason et al. (2005)

ตารางที่ 4.1 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้ ภายใต้โครงการ T-VER ของ อบก. (ต่อ)

กลุ่มพรรณไม้	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
กลุ่มไผ่	ไผ่บงป่า $W_T = 0.1466\ (D)^{0.7187}$	-	-	อิทธิพงศ์ วรรณลังกา และคณะ (2557)
	ไผ่บงดำ $W_T = 0.49522\ (D)^{0.8726}$	-	-	Kutintara et al. (1995)
	ไผ่ข้าวหลาม $W_T = 0.17446\ (D)^{1.0437}$	-	-	Kutintara et al. (1995)
	ไผ่ไร่ และไผ่ผาก $W_T = 0.2425\ (D)^{1.0751}$	-	-	Kutintara et al. (1995)
กลุ่มเถาวัลย์	$W_T = 0.8622\ (D)^{2.0210}$	-	-	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2554)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559)

2) การประเมินมวลชีวภาพตามชนิดป่าไม้ของประเทศไทยที่มีการศึกษา และตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ผ่านมา ดังสรุปได้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมการแอลโลเมตรีของต้นไม้รายต้น โดยแยกตามชนิดป่าของประเทศไทย

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ป่าดิบแล้ง ป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา ป่าสนเขา (ยกเว้นไม้สน)	$W_S = 0.0509\ (D^2H)^{0.919}$	0.978	-	Tsutsumi et.al. (1983)
	$W_B = 0.00893\ (D^2H)^{0.977}$	0.890	-	
	$W_L = 0.0140\ (D^2H)^{0.669}$	0.714	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	

ตารางที่ 4.2 สมการแอลโลเมตรีของต้นไม้รายต้น โดยแยกตามชนิดป่าของประเทศไทย (ต่อ)

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ป่าดิบชื้น	$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$	-	-	Ogawa et.al. (1965)
	$W_B = 0.006003 (D^2H)^{1.027}$	-	-	
	$W_L = (28/(W_S + W_B + 0.025))^{-1}$	-	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	
ป่าเต็งรัง และ ป่าเบญจพรรณ	$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.933}$	-	-	Ogawa et al. (1965)
	$W_B = 0.00349 (D^2H)^{1.03}$	-	-	
	$W_L = (28/(W_S + W_B + 0.025))^{-1}$	-	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	
ป่าสนเขา (สนสองใบ) เฉพาะไม้สนเขา	$W_S = 0.2141 (D^2H)^{0.9814}$	0.995	-	สุนันทา ขจรศรีชล (2531)
	$W_B = 0.00002 (D^2H)^{1.4561}$	0.929	-	
	$W_L = 0.00072 (D^2H)^{1.0138}$	0.937	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	
ป่าสนเขา (สนสามใบ)	$W_S = 0.02698 (D^2H)^{0.946}$	-	-	พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ (2524)
	$W_B = 0.00018 (D^2H)^{1.455}$	-	-	
	$W_L = 0.00072 (D^2H)^{1.094}$	-	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	
ไม้โกงกาง *Rhizophora* spp.	$W_S = 0.05466 (D^2H)^{0.945}$	-	-	Komiyama et al. (1987)
	$W_B = 0.01579 (D^2H)^{0.9124}$	-	-	
	$W_L = 0.0678 (D^2H)^{0.5806}$	-	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	
พรรณไม้ในป่าชายเลนชนิดอื่นๆ	$W_S = 0.0449 (D^2H)^{0.9549}$	-	-	Komiyama et al. (1987)
	$W_B = 0.02412 (D^2H)^{0.8649}$	-	-	
	$W_L = 0.09422 (D^2H)^{0.5439}$	-	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	

หมายเหตุ :

WS = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

WL = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

WB = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

WT = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (2559

3) สมการแอลโลเมตรีภายใต้โครงการเรดด์พลัส หรือ REDD+ (Reducing Emission from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries) ของกรมอุทยาน สัตว์ป่าและพันธ์พืช โดยสมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับสูงเพียงอก มากกว่า 4.5 เซนติเมตร และของไม้ไผ่ ดังสรุปในตารางที่ 4.3 ส่วนสมการสมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าดิบแล้งและป่าชนิดอื่นๆ ในกรณีไม้รุ่นหรือต้นไม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับสูงเพียงอก น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และความสูงมากกว่า 1.30 เมตร ดังสรุปในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกมากกว่า 4.5 เซนติเมตร และของไม้ไผ่

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา	$W_S = 0.0509\ D^2H^{0.919}$ $W_B = 0.00893\ D^2H^{0.977}$ $W_L = 0.0140\ D^2H^{0.669}$ $W_R = 0.0313\ D^2H^{0.805}$	- - - -	- - - -	Tsutsumi et al. (1983)
ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง	$W_S = 0.0396\ (D^2H)^{0.933}$ $W_B = 0.00349\ (D^2H)^{1.030}$ $W_L = (28/\ (W_S+W_B+0.025))^{-1}$	- - -	- - -	Ogawa et al. (1965)
ป่าดิบชื้น	$W_S = 0.0396\ (D^2H)^{0.9326}$ $W_B = 0.006003\ (D^2H)^{1.027}$ $W_L = (28/\ (W_S+W_B+0.025)^{)-1}$	- - -	- - -	Ogawa et.al. (1965)
ป่าสนเขา (สนสองใบ)	$W_S = 0.2141\ (D^2H)^{0.9814}$ $W_B = 0.00002\ (D^2H)^{1.4561}$ $W_L = 0.00072\ (D^2H)^{1.0138}$	- - -	- - -	สุนันทา ขจรศรีชล (2531)
ป่าสนเขา (สนสามใบ)	$W_S = 0.02698\ (D^2H)^{0.946}$ $W_B = 0.00018\ (D^2H)^{1.455}$ $W_L = 0.00072\ (D^2H)^{1.094}$	- - -	- - -	พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ (2524)
ไผ่รวก	$W_T = 0.22187\ (D)^{2.2749}$	-	-	Suwannapinunt (1983)
ไผ่บงดำ	$W_T = 0.49522\ (D^2)^{0.8726}$	-	-	Kutintara et al. (1995)
ไผ่ข้าวหลาม	$W_T = 0.17446(D^2)^{1.0437}$	-	-	Kutintara et al. (1995)
ไผ่ไร่และ ไผ่ผาก	$W_T = 0.2425\ (D^2)^{1.0751}$	-	-	Kutintara et al. (1995)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ส่วนสิ่งแวดล้อมป่าไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช (2557)

ตารางที่ 4.4 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าดิบแล้ง และป่าชนิดอื่น ๆ ที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และความสูงมากกว่า 1.30 เมตร (ไม้รุ่น)

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ป่าดิบแล้ง	$W_S = 89.3059\ DBH^2\ H^{0.66513}$	-	-	มานพ อิสสะรีย์ (2525)
	$W_B = 15.3063\ DBH^2\ H^{0.58255}$	-	-	
	$W_L = 0.0140\ DBH^2\ H^{0.44363}$	-	-	
ป่าชนิดอื่นๆ	$W_S = 0.0702\ DBH^2\ H^{0.8737}$	-	-	ธิติ วิสารัตน์ และชลธิดา เชิญขุนทด (2547)
	$W_B = 0.0093\ DBH^2\ H^{0.9403}$	-	-	
	$W_L = 0.0244\ DBH^2\ H^{1.0517}$	-	-	

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ส่วนสิ่งแวดล้อมป่าไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช (2557)

4) สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการประมาณหามวลชีวภาพรายต้นในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ที่ระบุในคู่มือการสำรวจการกักเก็บคาร์บอนและความหลากหลายทางชีวภาพในป่าชุมชน ของส่วนพัฒนาวนศาสตร์ชุมชน สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้ ดังสรุปในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการหามวลชีวภาพรายต้นของส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ในป่าชนิดต่าง ๆ ของประเทศไทย

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
<u>ป่าชายเลน</u>				
แสมขาว	Log W_S = 0.5063 + 0.0442 Log D^2H	0.9663	-	ชิงชัย
Avicennia alba	Log W_B = 0.2619 + 0.0315 Log D^2H	0.8763	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = 0.0940 + 0.0310 Log D^2H	0.8624	-	(2553)
แสมดำ	Log W_S = 0.3389 + 0.0570 Log D^2H	0.9737	-	ชิงชัย
Avicennia officinalis	Log W_B = 0.0775 + 0.0403 Log D^2H	0.8804	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = 0.1119 + 0.0392 Log D^2H	0.8700	-	(2553)
ถั่วขาว	Log W_S = 0.4754 + 0.0413 Log D^2H	0.9026	-	ชิงชัย
Bruguiera cylindrical	Log W_B = - 0.4325 + 0.0382 Log D^2H	0.8841	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = - 0.1984 + 0.0349 Log D^2H	0.9574	-	(2553)
ถั่วดำ	Log W_S = 0.3470 + 0.458 Log D2H	0.9217	-	ชิงชัย
Bruguiera parviflora	Log W_B = - 0.6811 + 0.0659 Log D^2H	0.8431	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = - 0.2965 + 0.0393 Log D^2H	0.8787	-	(2553)
พังกาหัวสุมดอกแดง	Log W_S = 0.4703 + 0.0437 Log D^2H	0.9221	-	ชิงชัย
Bruguiera gymnorrhiza	Log W_B = - 0.0443 + 0.0551 Log D^2H	0.9263	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = 0.1266 + 0.0283 Log D^2H	0.7851	-	(2553)
โปรงแดง	Log W_S = 0.2432 + 0.0587 Log D^2H	0.9076	-	ชิงชัย
Ceriops tagal	Log W_B = - 0.4632 + 0.0625 Log D^2H	0.8185	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = - 0.4187 + 0.0529 Log D^2H	0.7758	-	(2553)
โกงกางใบเล็ก	Log W_S = 0.8074 + 0.0289 Log D^2H	0.9681	-	ชิงชัย
Rhizophora apiculata	Log W_B = - 0.2344 + 0.0424 Log D^2H	0.9175	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = - 0.0682 + 0.0277 Log D^2H	0.8521	-	(2553)
	Log W_{pr} = - 0.7566 + 0.0311 Log D^2H	0.8771	-	
โกงกางใบใหญ่	Log W_S = 0.6171 + 0.0357 Log D^2H	0.9367	-	ชิงชัย
Rhizophora mucronata	Log W_B = - 0.3606 + 0.0467 Log D^2H	0.7972	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = - 0.3778 + 0.0360 Log D^2H	0.8420	-	(2553)
	Log W_{pr} = - 0.6908 + 0.0496 Log D^2H	0.8815	-	
ลำพูทะเล	Log W_S = 0.2520 + 0.0507 Log D^2H	0.9816	-	ชิงชัย
Sonneratia alba	Log W_B = - 0.3567 + 0.0449 Log D^2H	0.8453	-	วิริยะบัญชา
	Log W_L = - 0.4976 + 0.0418 Log D^2H	0.8232	-	(2553)

ตารางที่ 4.5 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการหามวลชีวภาพรายต้นของส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ในป่าชนิดต่าง ๆ ของประเทศไทย (ต่อ)

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ตะบูนขาว *Xylocarpus granatum*	Log W_S = 0.2374 + 0.0589 Log D^2H Log W_B = - 0.5046 + 0.0637 Log D^2H Log W_L = - 0.5179 + 0.0558 Log D^2H	0.9698 0.9558 0.9450	- - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)
ตะบูนดำ *Xylocarpus moluccensis*	Log W_S = 0.2572 + 0.0566 Log D^2H Log W_B = - 0.7659 + 0.0562 Log D^2H Log W_L = - 0.7823 + 0.0511 Log D^2H	0.9898 0.9192 0.8675	- - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)
<u>เถาวัลย์</u>	AGB = 0.8622 $(D)^{2.0210}$	0.9533	-	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2554)
<u>ไผ่</u> ไผ่รวก *Thyrsostachys siamensis*	 W_C= 0.0691512 D^2 $H^{0.7930}$ W_T = 0.0883689 D^2 $H^{0.7703}$ W_{B+L} = W_T - W_C	 - - -	 - - -	
ไผ่ไร่ *Gigantochloa albociliata*	Log W_T = - 0.6152 + 1.0951 log D^2 Log W_C = - 0.8457 + 1.1939 log D^2	- -	- -	
ไผ่ผาก *Gigantochloa hasskarliana*	Log W_T = - 0.6464 + 1.0214 log D^2 Log W_C = - 0.9527 + 1.1257 log D^2	- -	- -	
ไผ่บงดำ *Bambusa tulda*	Log W_T = - 0.3052 + 0.8726 log D^2 Log W_C = - 0.6817 + 1.0596 log D^2	- -	- -	
ไผ่ข้าวหลาม *Cephalostachyum pergracial*	Log W_T = - 0.7583 + 1.0487 log D^2 Log W_C = - 1.0242 + 1.1556 log D^2	- -	- -	

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

W_C = มวลชีวภาพส่วนของลำของไผ่ (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

W_{PR} = มวลชีวภาพรากค้ำยัน (กรณีไม้โกงกาง) (กิโลกรัม)

ที่มา : ส่วนพัฒนาวนศาสตร์ชุมชน สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้ (2557)

5) สมการแอลโลเมตรีสำหรับประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพันธุ์ไม้รองบางชนิดในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ซึ่งทำการศึกษาและรวบรวมโดยสำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ดังสรุปในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพันธุ์ไม้รองบางชนิดในพื้นที่ป่าธรรมชาติ

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ป่าเต็งรัง*	$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$	-	119	Ogawa et al.
และป่าเบญจพรรณ*	$W_B = 0.003487 (D^2H)^{1.027}$	-	45	(1965)
	$W_L = (28.0/ W_{TC} + 0.025)^{-1}$	-	45	
ป่าดิบชื้น*	$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$	-	119	Ogawa et al.
	$W_B = 0.006002 (D^2H)^{1.027}$	-	74	(1965)
	$W_L = (18.0/ W_{TC} + 0.025)^{-1}$	-	74	
	$W_R = 0.0264 (D^2H)^{0.775}$	-	3	
ป่าเต็งรัง ดิบแล้ง	$AGB = 0.0569 (D^2H)^{0.9071}$	0.9833	25	
	$AGB = 0.0888 (D^2H)^{0.8513}$	0.9456	37	
ป่าดิบแล้ง*	$W_S = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$	0.978	60	Tsutsumi et
	$W_B = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$	0.890	60	al. (1983)
ไผ่รวก*	$W_C = 0.15780 (D)^{2.4859}$	0.9773	100	วิสุทธิ์
	$W_B = 0.02892 (D)^{1.9180}$	0.7149	100	สุวรรณาภินันท์
	$W_L = 0.01244 (D)^{1.7046}$	0.6718	77	และคณะ
	$AGB = 0.22187 (D)^{2.2749}$	0.9550	100	(2526)
ไผ่ไร่**	$W_C = 0.14266 (D^2)^{1.1556}$	0.9281	16	Kutintara et
	$AGB = 0.24250 (D^2)^{1.0951}$	0.9343	16	al. (1995)
ไผ่บงดำ*	$W_C = 0.20811 (D^2)^{1.0596}$	0.9665	10	
	$AGB = 0.49522 (D^2)^{0.8726}$	0.9682	10	
ไผ่ข้าวหลาม**	$W_C = 0.09458 (D^2)^{1.1556}$	0.9968	10	
	$AGB = 0.49522 (D^2)^{0.8726}$	0.9908	10	
ไผ่ผาก**	$W_C = 0.11151 (D^2)^{1.1257}$	0.9835	10	
	$AGB = 0.22574 (D^2)^{1.0214}$	0.9726	10	

ตารางที่ 4.6 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพันธุ์ไม้รองบางชนิดในพื้นที่ป่าธรรมชาติ (ต่อ)

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ไผ่รวก	$W_C = 0.3121 (D)^{1.6116}$	0.8379	10	สาพิศ ร้อยอำแพง(2533)
	$W_B = 0.0480 (D)^{2.1613}$	0.6164	10	
	$W_L = 0.0457 (D)^{1.3303}$	0.4603	10	
	$AGB = 0.4174 (D)^{1.6645}$	0.8250	10	
ไผ่บงดำ	$W_C = 0.3845 (D)^{1.8644}$	0.8901	10	
	$W_B = 0.0070 (D)^{2.2825}$	0.5163	10	
	$W_L = 0.0082 (D)^{2.0603}$	0.6932	10	
	$AGB = 0.3243 (D)^{2.1167}$	0.9590	10	
ไผ่ป่า**	$W_C = 0.3044 (D)^{1.7526}$	0.8886	10	สาพิศ ร้อยอำแพง(2533)
	$W_B = 0.0795 (D)^{2.0827}$	0.8369	10	
	$W_L = 0.0088 (D)^{1.1385}$	0.2347	10	
	$AGB = 0.3939 (D)^{1.8325}$	0.8948	10	
ไผ่ซาง	$W_C = 0.3044 (D)^{1.7526}$	0.8886	10	
	$W_B = 0.0795 (D)^{2.0827}$	0.8369	10	
	$W_L = 0.0088 (D)^{1.1385}$	0.2347	10	
	$AGB = 0.3939 (D)^{1.8325}$	0.8948	10	
ไผ่บงป่า**	$W_C = 0.0867 (D^2H)^{0.7822}$	0.9281	40	อิทธิพงศ์ วรรณลังกา และคณะ (2558)
	$W_B = 0.1384 (D^2H)^{0.7232} - W_C$	0.8980	40	
	$W_L = 0.0940 (D^2H)^{0.7748} - W_C$	0.9278	40	
	$AGB = 0.1466 (D^2H)^{0.7187}$	0.8962	40	
ไผ่บงใหญ่**	$W_C = 0.0136 (D^2H)^{0.9548}$	0.8695	40	
	$W_B = 0.0184 (D^2H)^{0.9293} - W_C$	0.8547	40	
	$W_L = 0.0174 (D^2H)^{0.9313} - W_C$	0.8562	40	
	$AGB = 0.0222 (D^2H)^{0.9098}$	0.8413	40	
ไผ่หก**	$W_C = 0.0834 (D^2H)^{0.7650}$	0.8280	40	
	$W_B = 0.1671 (D^2H)^{0.6832} - W_C$	0.7510	40	
	$W_L = 0.1107 (D^2H)^{0.7358} - W_C$	0.8297	40	
	$AGB = 0.2061 (D^2H)^{0.6627}$	0.7492	40	
ไผ่หวานอ่างขาง**	$W_C = 0.0324 (D^2H)^{0.8340}$	0.8118	40	
	$W_B = 0.0476 (D^2H)^{0.7947} - Wc$	0.7868	40	
	$W_L = 0.0446 (D^2H)^{0.7962} - Wc$	0.8046	40	
	$AGB = 0.0627 (D^2H)^{0.7630}$	0.7761	40	

ตารางที่ 4.6 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการหามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพันธุ์ไม้รองบางชนิดในพื้นที่ป่าธรรมชาติ (ต่อ)

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ไผ่หอม**	$W_C = 0.111 (D)^{2.147}$	0.9281	40	Chan et.al. (2013)
	$W_B = 0.028 (D)^{1.551}$	0.8980	40	
	$W_L = 0.038 (D)^{1.452}$	0.9278	40	
	$AGB = 0.189 (D)^{1.956}$	0.8962	40	
ไผ่ซาง*	$W_C = 0.021 (D)^{1.875}$	0.8695	40	
	$W_B = 0.076 (D)^{1.455}$	0.8547	40	
	$W_L = 0.034 (D)^{1.364}$	0.8562	40	
	$AGB = 0.308 (D)^{1.767}$	0.8413	40	
	$AGB = 0.0001 (H)^{4.228}$	0.8280	40	
ไผ่ไล่ลอ**	$W_C = 0.114 (D)^{2.380}$	0.7510	40	
ไผ่บงดำ	$W_B = 0.017 (D)^{1.960}$	0.8297	40	
	$AGB = 0.131 (D)^{2.351}$	0.7492	40	
เถาวัลย์ที่มีเนื้อไม้	$AGB = 0.8622 (D)^{2.0210}$	0.9533	26	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2554)
กล้วยน้ำว้า	$AGB = 0.0303 (D)^{2.1345}$	0.9887	10	Arifin (2001)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

W_C = มวลชีวภาพส่วนของลำของไผ่ (กิโลกรัม)

W_{TC}= มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง (กิโลกรัม)

W_{PR} = มวลชีวภาพรากค้ำยัน กรณีไม้โกงกาง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

AGB = น้ำหนักส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

* ป่าชนิดเดียวกันหรือพันธุ์ไม้ชนิดเดียวกันควรใช้สมการนี้ในการคำนวณหามวลชีวภาพ เนื่องจากมีความเหมาะสม และมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า

** เป็นสมการที่จำเป็นต้องใช้ เนื่องจากไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบ

ที่มา : ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2560)

6) ชิงชัย วิริยะบัญชา และกันตินันท์ ผิวสะอาด (2554) ได้ปรับสมการแอลโลเมตรี เพื่อการประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสักในประเทศไทย ซึ่งได้ทำการศึกษาในพื้นที่สวนป่าไม้สักขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ โดย 1) ตัดฟันไม้สักตัวอย่างจากสวนป่าทองผาภูมิ อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี จำนวน 3 ชั้นอายุ คือ 6, 14 และ 21 ปี จำนวน 15 ต้น และสวนป่าศรีสัชนาลัย อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย จำนวน 3 ชั้นอายุ คือ 9, 13 และ 21 ปี จำนวน 18 ต้น และ 2) รวบรวมข้อมูลไม้สักจากการตรวจเอกสาร ของสวนป่าแม่แจ่ม อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 2 ชั้นอายุ คือ 8 และ 21 ปี จำนวน 20 ต้น จากสวนป่าสบพลึง อำเภองาว จังหวัดลำปาง อายุ 14 ปี จำนวน 10 ต้น รวมเป็นต้นไม้ที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 63 ต้น ดังสรุปในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การปรับสมการเพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสักในประเทศไทย

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
สัก (มีอายุระหว่าง 8 - 21 ปี)	$Ws = 0.0271\ DBH^2H^{0.9435}$	0.9915	63	ชิงชัย วิริยะบัญชา และกันตินันท์ ผิวสะอาด (2554)
	$W_T = 0.0358\ DBH^2H^{0.9468}$	0.9851	63	
	$Vs = 0.0001\ DBH^2H^{0.8904}$	0.9967	53	

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

V_S = ปริมาตรลำต้น (ลูกบาศก์เมตร)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ชิงชัย วิริยะบัญชา และกันตินันท์ ผิวสะอาด (2554)

7) เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ ศศิธร พ่วงปาน และ พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์ (2555) สร้างความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีสำหรับประมาณมวลชีวภาพของกล้าไม้วงศ์ยางที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ 3 ชนิด คือ พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) เหียง (*D. obtusifolius Teijsm. ex* Miq.) และเต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) ในป่าเต็งรังที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 800 เมตร บริเวณสวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ จังหวัดเชียงใหม่ โดยความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรี ดังสรุปในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สมการแอลโลเมตรีกล้าไม้วงศ์ยาง

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
พลวง	$W_{AG} = 0.572(D_0H)^{0.99}$ $W_{BG} = 30.10(D_0H)^{0.52}$	0.687 0.406	7	เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ และคณะ (2555)
เหียง	$W_{AG} = 0.212(D_0H)^{1.29}$ $W_{BG} = 0.843 (D_0H)^{1.34}$	0.944 0.963	7	เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ และคณะ (2555)
เต็ง	$W_{AG} = 0.098(D_0H)^{0.74}$ $W_{BG} = 1.608(D_0H)^{1.18}$	0.507 0.765	7	เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ และคณะ (2555)

หมายเหตุ :

W_{AG} = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)

W_{BG} = มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (กิโลกรัม)

D_0 = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ และคณะ (2555)

8) วรรณพร แป้นนวล, กาญจน์เขจร ชูชีพ และวิพักตร์ จินตนา ได้พัฒนาสมการแอลโลเมตรีสำหรับไม้เสม็ดขาวยืนต้นตาย และประยุกต์ใช้สมการแอลโลเมตรีของพันธ์ไม้ชนิดต่าง ๆ ที่มีผู้ทำไว้แล้วสำหรับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือดินในป่าพรุควนเคร็ง หลังจากเกิดไฟป่าอย่างรุนแรง เมื่อปี พ.ศ. 2555 ซึ่งสมการที่ใช้ ดังสรุปในตารางที่ที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้สำหรับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ในป่าพรุควนเคร็ง หลังจากเกิดไฟป่าอย่างรุนแรง เมื่อปี พ.ศ. 2555

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
เสม็ดขาวยืนต้นตาย	$W = 0.0381(D)^2H^{0.8952}$	0.9314	-	วรรณพร แป้นนวล และคณะ (2558)
เสม็ดขาว *(Melaleuca cajuputi)* and other species	*$W_S = 105.04(D)^{1.9916}$ *$W_B = 20.059(D)^{2.1419}$ *$W_L = 6.247(D)^{2.9918}$	- - -	- - -	Wanthongchai (2013)
Melaleuca cajuputi trees	**$W = 0.062(D^2H)^{0.91}$	-	-	Tange *et al.* (2000)

ตารางที่ 4.9 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้สำหรับการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ในป่าพรุควนเคร็ง หลังจากเกิดไฟป่าอย่างรุนแรง เมื่อปี พ.ศ. 2555 (ต่อ)

ชนิดป่า	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
Other trees besides *Melaleuca cajuputi*	$^{**}W_S = 0.0396(D^2H)^{0.9326}$ $^{**}W_B = 0.006002(D^2H)^{1.027}$ $^{**} W_L = (18.0/W_{TC}+0.025)^{-1}$	- - -	- - -	Ogawa *et al.* (1965)

หมายเหตุ :

W = มวลชีวภาพเหนือดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

W_{TC}= มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

* = ชีวมวลมีหน่วยเป็นกรัม

** = ชีวมวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัม

ที่มา : วรรณพร แป้นนวล และคณะ (2558)

9) ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ดุริยะ สถาพร และ เจด็จ รัตนแก้ว. (2551) ได้ศึกษาศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้ 3 ชนิด ที่ปลูกอยู่แล้วในบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพาน อันเนื่องมาจากพระราชดำริ ได้แก่ ไม้สักอายุ 22 ปี ไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส อายุ 23 ปี และไม้ยางพาราอายุ 23 ปี ซึ่งสมการแอลโลเมตรีที่จัดทำขึ้น ดังสรุปในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
สัก	$W_S = 0.0439 (DBH^2H)^{0.8666}$	0.99	-	ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ (2551)
	$W_B = 0.0307 (DBH^2H)^{0.8434}$	0.93	-	
	$W_L = 0.0056 (DBH^2H)^{0.9568}$	0.82	-	
	$W_R = 0.1286 (DBH^2H)^{0.6069}$	0.97	-	
	$W_r = 0.2924 (DBH^2H)^{0.4255}$	0.79	-	
	$W_T = 0.0798 (DBH^2H)^{0.8706}$	0.99	-	
ยูคาลิปตัส	$W_S = 0.0305 (DBH^2H)^{0.9862}$	0.93	-	ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ (2551)
	$W_B = 0.0008 (DBH^2H)^{1.2698}$	0.89	-	
	$W_L = 0.0003 (DBH^2H)^{1.1666}$	0.93	-	
	$W_R = 0.0121 (DBH^2H)^{0.969}$	0.94	-	
	$W_r = 0.0104 (DBH^2H)^{0.9456}$	0.94	-	
	$W_T = 0.0296 (DBH^2H)^{1.028}$	0.94	-	
ยางพารา	$W_S = 0.0804 (DBH^2H)^{0.8341}$	0.97	-	ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ (2551)
	$W_B = W_T - W_S - W_L$	-	-	
	$W_L = 0.000008 (DBH^2H)^{1.4986}$	0.91	-	
	$W_R = 0.0005 (DBH^2H)^{1.269}$	0.95	-	
	$W_r = 0.0022 (DBH^2H)^{1.0296}$	0.92	-	
	$W_T = 0.0046 (DBH^2H)^{1.2046}$	0.95	-	

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

W_r = มวลชีวภาพส่วนของรากฝอย (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ (2551)

10) ฤกษ์พงษ์ โคตรมา, รุ่งเรือง พูลศิริ และมะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันติ์ (2559) ได้ศึกษามวลชีวภาพเหนือดินของไม้อะเคเซียลูกผสมสายต้นต่างๆ (สายต้น 1, 3, 5, 14, 18 และ 19) อายุ 4 ปี ที่ปลูกในพื้นที่สวนป่าดอนแสลบเลาขวัญ อำเภอเลาขวัญ จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งสมการแอลโลเมตรีที่จัดทำขึ้นดังสรุปในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สมการแอลโลเมตรีสำหรับใช้ประเมินมวลชีวภาพเหนือดินของไม้อะเคเซียลูกผสมสายต้นต่าง ๆ

อะเคเซียลูกผสมรายต้น	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
1	$W_S = 0.0511\ DBH^2H^{0.8405}$ $W_B = 0.0004\ DBH^2H^{1.4583}$ $W_L = 0.0043\ DBH^2H^{0.9869}$	0.9820 0.9044 0.8891	- - -	ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559
3	$W_S = 0.0761\ DBH^2H^{0.7815}$ $W_B = 0.0413\ DBH^2H^{0.8039}$ $W_L = 0.0051\ D0^2H^{0.9654}$	0.9358 0.8166 0.7515	- - -	ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559)
5	$W_S = 0.0240\ DBH^2H^{0.9692}$ $W_B = 0.1881\ DBH^2H^{0.5049}$ $W_L = 0.0683DBH^2H^{0.6077}$	0.9525 0.9884 0.8731	- - -	ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559)
14	$W_S = 0.0282\ DBH^2H^{0.9495}$ $W_B = 0.0006\ DBH^2H^{1.3556}$ $W_L = 0.0020\ DBH^2H^{1.1216}$	0.9908 0.9589 0.9664	- - -	ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559)
18	$W_S = 0.0658\ DBH^2H^{0.8277}$ $W_B = 0.0001\ DBH^2H^{1.5642}$ $W_L = 0.0039\ DBH^2H^{0.9952}$	0.9870 0.9011 0.9055	- - -	ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559)
19	$W_S = 0.0248\ DBH^2H^{0.9510}$ $W_B = 0.0107\ DBH^2H^{0.9124}$ $W_L = 0.0429\ DBH^2H^{0.6654}$	0.9864 0.8468 0.9749	- - -	ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559)

11) ชิงชัย วิริยะบัญชา, วิโรจน์ รัตนพรเจริญ, จตุพร มังคลารัตน์ และประสิทธิ์ เพียรอนุรักษ์ (2547) ได้ทำการศึกษามวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เพื่อหาสมการแอลโลเมตรีจากพันธุ์ไม้จำนวน 4 ชนิด คือ ไม้สะเดา ไม้ตะเคียนทอง ไม้พฤกษ์ ที่อายุ 6 ปี และไม้เลี่ยน ที่อายุ 5 ปี รวมกับข้อมูลมวลชีวภาพจากการตรวจเอกสารจำนวน 3 ชนิด คือ ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ไม้สัก ที่อายุ 6 ปี และไม้กระถินเทพา ที่อายุ 5 ปี จึงมีชนิดไม้ที่ใช้ในการศึกษาทั้งสิ้นจำนวน 7 ชนิด ซึ่งสมการแอลโลเมตรีที่ได้จากไม้แต่ละชนิดเพื่อนำมาคำนวณหามวลชีวภาพ ดังสรุปในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สมการแอลโลเมตรีที่ได้จากไม้แต่ละชนิด เพื่อนำมาคำนวณหามวลชีวภาพ

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ไม้สะเดา	$W_S = 0.0410(DBH^2H)^{0.9148}$	0.9937	14	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
	$W_L = 0.0023(DBH^2H)^{0.9388}$	0.9354	14	
	$W_B = 0.0018(DBH^2H)^{1.1037}$	0.9717	14	
	$W_T = 0.0435(DBH^2H)^{0.9370}$	0.9934	14	
	$V_S = 0.000098(DBH^2H)^{0.8799}$	0.9963	14	
ไม้ตะเคียนทอง	$W_S = 0.0223(DBH^2H)^{1.0199}$	0.9442	12	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
	$W_L = 0.0032(DBH^2H)^{1.0477}$	0.9016	12	
	$W_B = 0.0027(DBH^2H)^{1.2228}$	0.8580	12	
	$W_T = 0.0241(DBH^2H)^{1.0842}$	0.9457	12	
	$V_S = 0.000077(DBH^2H)^{0.9091}$	0.9773	12	
ไม้พฤกษ์	$W_S = 0.0661(DBH^2H)^{0.8527}$	0.9984	15	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
	$W_L = 0.0041(DBH^2H)^{0.8646}$	0.9177	15	
	$W_B = 0.0014(DBH^2H)^{1.2497}$	0.9743	15	
	$W_T = 0.0534(DBH^2H)^{0.9380}$	0.9965	15	
	$V_S = 0.000157(DBH^2H)^{0.8055}$	0.9939	15	
ไม้เลี่ยน	$W_S = 0.0185(DBH^2H)^{0.9742}$	0.9953	13	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
	$W_L = 0.0011(DBH^2H)^{0.8680}$	0.8171	13	
	$W_B = 0.00014(DBH^2H)^{1.2761}$	0.7927	13	
	$W_T = 0.0177(DBH^2H)^{0.9945}$	0.9932	13	
	$V_S = 0.000082(DBH^2H)^{0.9085}$	0.9952	13	
ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส	$W_S = 0.0239(DBH^2H)^{0.9778}$	0.9991	5	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
	$W_L = 0.0030(DBH^2H)^{0.8088}$	0.9743	5	
	$W_B = 0.0035(DBH^2H)^{0.9345}$	0.9755	5	
	$W_T = 0.0292(DBH^2H)^{0.9690}$	0.9994	5	
	$V_S = 0.000211(DBH^2H)^{0.7900}$	0.9995	5	

ตารางที่ 4.12 สมการแอลโลเมตรีที่ได้จากไม้แต่ละชนิด เพื่อนำมาคำนวณหามวลชีวภาพ (ต่อ)

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ไม้สัก	$W_S = 0.0441(DBH^2H)^{0.8445}$	0.9790	5	ชิงชัย วิริยะบัญชา
	$W_L = 0.0026(DBH^2H)^{1.0066}$	0.9333	5	และคณะ (2547)
	$W_B = 0.0012(DBH^2H)^{1.0712}$	0.9486	5	
	$W_T = 0.0454(DBH^2H)^{0.8801}$	0.9734	5	
	$V_S = 0.000090(DBH^2H)^{0.8940}$	0.9984	5	
ไม้กระถินเทพา	$W_S = 0.0258(DBH^2H)^{0.9541}$	0.9982	19	ชิงชัย วิริยะบัญชา
	$W_L = 0.0070(DBH^2H)^{0.8846}$	0.9207	19	และคณะ (2547)
	$W_B = 0.0040(DBH^2H)^{1.0699}$	0.9391	19	
	$W_T = 0.0353(DBH^2H)^{0.9714}$	0.9889	19	
	$V_S = 0.000076(DBH^2H)^{0.9115}$	0.9981	19	

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

V_S = ปริมาตรลำต้น (ลูกบาศก์เมตร)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)

12) ชัญษา กันฉิ่ง (2559) ได้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ ป่าชุมชนห้วยข้าวก่ำ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา โดยประยุกต์ใช้สมการแอลโลเมตรี เพื่อคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน สำหรับพรรณไม้ใน 23 วงศ์ 48 สกุล 58 ชนิด โดยดัชนีความสำคัญสูงสุด คือ เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. Ex Blume) รองลงมาคือ ขว้าว (*Haldina cordifolia* (Roxb.) Ridsdale) สัก (*Tectona grandis* L.f.) รัง (*Shorea siamensis* Miq.) และมะเดื่อปล้อง (*Ficus hispida* L.f.) ตามลำดับ โดยสมการแอลโลเมตรีที่นำมาประยุกต์ใช้ ดังในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ ป่าชุมชนห้วยข้าวก่ำ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ป่าดิบแล้ง/ป่าดิบเขา	$W_S = 0.0509(D^2H)^{0.919}$	-	-	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2546)
	$W_B = 0.0893(D^2H)^{0.977}$	-	-	
	$W_L = 0.0140(D^2H)^{0.669}$	-	-	
ป่าดิบชื้น	$W_S = 0.0369(D^2H)^{0.9326}$	-	-	
	$W_B = 0.006003(D^2H)^{1.0270}$	-	-	

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ชัญษา กันฉิ่ง และคณะ (2559)

13) ณิชาภัทร์ ดวงทิพย์ และคณะ (2559) ได้ศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ใต้ดิน และไม้พื้นล่าง ในพื้นที่ปกปักพันธุกรรมพืชบริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์ โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลหาปริมาณมวลชีวภาพด้วยสมการแอลโลเมตรีของ Ogawa et al. (1965) การวิเคราะห์มวลชีวภาพใต้ดินด้วยสมการ Cairne et al., (1997) และคำนวณหาการกักเก็บคาร์บอนด้วยสมการ IPCC, (2006) ดังนี้

1. การคำนวณปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน บนพื้นฐานรูปแบบพันธุ์ไม้ที่พบทั่วไปตามป่าเบญจพรรณ โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของ Ogawa et al. (1965) คือ

$$W_S = 0.0396\ D^2H^{0.9326}$$

$$W_B = 0.003487D^2H^{1.0270}$$

$$W_L = (28.0/W_{TC} + 0.025)^{-1}$$

$$AGB = (W_S + W_B + W_L)$$

เมื่อ $W_{TC} = W_S + W_B$

โดย W_S = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพส่วนของใบ (กิโลกรัม)

W_{TC}= มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง (กิโลกรัม)

AGB = น้ำหนักส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

2. การวิเคราะห์มวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground (root) biomass, RB) ใช้สมการของ Cairne et al. (1997)

$$RB = EXP \{-1.0587 + 0.8836 \times \ln(GB)\}$$

โดย GB = น้ำหนักมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)

3. คำนวณหาการกักเก็บคาร์บอน ที่อยู่ในมวลชีวภาพจากสูตรของ IPCC (2006)

$$C = GB \times 0.47$$

เมื่อ 0.47 = ร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำหนักแห้งของมวลชีวภาพ

โดย GB = น้ำหนักมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)

14) เบญจวรรณ คำรศ และคณะ (2556) ได้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าผลัดใบที่มีความถี่ของไฟแตกต่างกันในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี โดยศึกษาลักษณะโครงสร้างสังคมพืชในป่าผลัดใบ และมวลชีวภาพและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของแต่ละแปลงตัวอย่าง สมการแอลโลเมตรีของ Ogawa et al. (1965) ได้ถูกนำมาใช้ในการประเมินมวลชีวภาพ

$$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$$

$$W_B = 0.003487 (D^2H)^{1.027}$$

$$W_L = ([28.0/(W_S+W_B)] + 0.025)^{-1}$$

โดย W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

พร้อมทั้งนำมวลชีวภาพที่ได้มาคำนวณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่าเป็นร้อยละ 48 ของน้ำหนักแห้ง

15) วสันต์ จันทร์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์ (2553) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรัง และสวนป่ายูคาลิปตัสอายุ 1 - 4 ปี ของสวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น โดยได้พัฒนาสมการแอลโลเมตรีสำหรับประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ดังสรุปในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สมการแอลโลเมตรีที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรัง และสวนป่ายูคาลิปตัสของสวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ป่าเต็งรัง	$W_S = 0.0396(D^2H)^{0.9326}$ $W_B = 0.003487(D^2H)^{1.027}$ $W_L = 22.5/W_S+0.025$ $W_R = 0.0264(D^2H)^{0.775}$ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน = 0.5056 × มวลชีวภาพ	- - - -	- - - -	Ogawa et al. (1965)
ป่ายูคาลิปตัส	$W_S = 0.26827(D^2H)^{0.973647}$ $W_B = 0.00045(D^2H)^{1.26077}$ $W_L = 0.10114(D^2H)^{0.46007}$ $W_R = 0.01378(D^2H)^{0.87935}$ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน = 0.4899 × มวลชีวภาพ	0.995 0.945 0.929 0.996	- - - -	วสันต์ จันทร์แดง และคณะ (2553

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : เบญจวรรณ คำรศ และคณะ (2556)

16) อริสา สาดิษฐ์ และ ปิยะกาญจน์ เที้ยธิทรัพย์ (2560) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่สวนลุมพินี ซึ่งทำการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินด้วยสมการมวลชีวภาพของป่าดิบชื้น และป่าดิบแล้งในประเทศไทย (Tsutsumi et al., 1983) เนื่องจากปัจจุบันยังขาดสมการมวลชีวภาพเฉพาะสำหรับต้นไม้ในสวนสาธารณะ โดยคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

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

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

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

โดยที่ W_S = มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัมต่อต้น)

W_B = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัมต่อต้น)

W_L= มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัมต่อต้น)

H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

ทั้งนี้ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน คำนวณจากการนำมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ คูณด้วยปริมาณคาร์บอน (carbon content) ของต้นไม้ โดยใช้ค่าปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 47 ของน้ำหนักแห้ง (IPCC, 2006) และนำมวลชีวภาพของเศษซากพืชคูณด้วยปริมาณคาร์บอนเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 40 ของน้ำหนักแห้ง (Kong et al., 2014)

17) Ratchata Phochayavanich (2014) ใช้สมการแอลโลเมตรีของ Ogawa, 1965 เพื่อประเมินปริมาณการสะสมคาร์บอนเหนือพื้นดินของไม้ต้นระหว่างหย่อมป่าในมหาวิทยาลัยขอนแก่น วิทยาเขตหนองคาย โดยคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$$

$$W_B = 0.003487 (D^2H)^{1.0270}$$

$$W_L = (28.0/W_S+0.025)^{-1}$$

โดยที่ W_S = มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัมต่อต้น)

W_B = มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัมต่อต้น)

W_L= มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัมต่อต้น)

H = ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

18) วราภรณ์ อุ่นบ้าน (2558) ได้พัฒนาสมการและทดสอบสมการ เพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสัก ที่อายุ 25, 29, 30, 34 และ 35 ปี ณ สวนป่าไทรโยค จังหวัดกาญจนบุรี และยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ที่อายุ 3, 5 และ 6 ปี ณ สวนป่าองค์พระ จังหวัดสุพรรณบุรี สมการแอลโลเมตรีที่พัฒนาได้ ซึ่งสรุปดังในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 สมการแอลโลเมตรีที่พัฒนาเพื่อใช้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสัก และยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ในประเทศไทย

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
สัก	$W = 0.045(D^2H)^{0.921}$	0.975	84	วราภรณ์ อุ่นบ้าน (2558)
ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส	$W = 0.033(D^2H)^{0.959}$	0.982	94	วราภรณ์ อุ่นบ้าน (2558)

หมายเหตุ :

W = มวลชีวภาพเหนือดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : วราภรณ์ อุ่นบ้าน (2558)

19) ชมพูนุช แสนภพ (2554) ได้ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนสันติภาพซึ่งมีจำนวนต้นไม้ ทั้งสิ้น 720 ต้น จำแนกเป็น 23 วงศ์ 58 ชนิด โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของป่าดิบชื้น และป่าดิบแล้งในประเทศไทย ซึ่งทำการศึกษาโดย Tsutsumi et al. (1983) เนื่องจากยังไม่มีสมการเฉพาะสำหรับต้นไม้ในสวนสาธารณะ

$$W_S = 0.0509(D^2H)^{0.919}$$
$$W_B = 0.00893(D^2H)^{0.977}$$
$$W_L = 0.0140(D^2H)^{0.669}$$

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ส่วนมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (ลำต้น กิ่ง และใบ) ของพรรณไม้วงศ์ปาล์ม ใช้สมการมวลชีวภาพของ Pearson et al. (2005) ดังนี้

มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (W) = 6.666 + 12.826*H0.5* LN(H)

20) อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์ และคณะ (2556) ได้ประมาณมวลชีวภาพไม้ และการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 18 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยห้วยบง จังหวัดเชียงใหม่ และได้จัดทำสมการแอลโลเมตรีสำหรับสนคาริเบีย ดังสรุปในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 สมการแอลโลเมตรีสำหรับการประมาณมวลชีวภาพและการเก็บกักคาร์บอนในสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 18 ปี

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
สนคาริเบีย	$W_S = 0.1004(DBH)^{2.3852}$	0.9432	-	อำไพ พรลีแสง
	$W_B = 0.0003(DBH)^{3.5713}$	0.9426	-	สุวรรณ์, และคณะ
	$W_L = 0.4527(W_B)^{0.8048}$	0.9235	-	(2556)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D หรือ DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์ และคณะ (2556)

21) ขนิษฐา เสถียรพีระกุล (2555) ได้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสวนป่าสนสามใบ อายุ 14 - 34 ปี พื้นที่ต้นน้ำภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้สมการแอลโลเมตรี ดังสรุปในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้สำหรับการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสวนป่าสนสามใบ อายุ 14 - 34 ปี พื้นที่ต้นน้ำภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
สนสามใบ	$W_S = 0.0503 (D^2H)^{0.8775}$	0.9749	-	สมชาย นองเนือง และคณะ (2553)
	$W_B = 0.0012 (D^2H)^{1.0996}$	0.4982	-	
	$W_L = 0.4536 (W_B)^{0.7933}$	0.6324	-	
พันธุ์ไม้ชนิดอื่นๆ	$W_S = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$	0.978	-	Tsutsumi et al. (1983)
	$W_B = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$	0.890	-	
	$W_L = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$	0.714	-	

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

ที่มา : ขนิษฐา เสถียรพีระกุล (2555)

ทั้งนี้ การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ คำนวณหาปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของคาร์บอนในเนื้อเยื่อพืชส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และใบ โดยกำหนดให้คาร์บอนในมวลชีวภาพมีค่า เท่ากับ 49.9, 48.7 และ 48.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับบนพื้นฐานการศึกษาของ Tsutsumi et al. (1983)

4.1.2 หลักเกณฑ์การพิจารณาในการคัดเลือกสมการแอลโลเมตรี

การคัดเลือกสมการแอลโลเมตรี ซึ่งเป็นการหามวลชีวภาพบนพื้นฐานของความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างการเจริญเติบโตทั้งหมดของต้นไม้ และการเจริญเติบโตของส่วนใดส่วนหนึ่งของต้นไม้ ควรพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ เพื่อให้ได้สมการแอลโลเมตรีที่มีความเหมาะสม และสามารถประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้และป่าไม้ที่กำลังศึกษาให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และลดความคลาดเคลื่อนลง โดยข้อพิจารณาที่ควรคำนึงถึงประการหนึ่ง คือ สมการแอลโลเมตรี ซึ่งมีการพัฒนาบนหลักการสร้างสมการถดถอย (regression equation) ระหว่างน้ำหนัก (เป็นตัวแปรตาม) และมิติหรือขนาดความโต (เป็นตัวแปรอิสระ) จากตัวอย่างที่ทราบขนาดและน้ำหนัก โดยอย่างน้อยจะใช้ตัวอย่างประมาณ 5 - 6 ตัวอย่างต่อหนึ่งสมการ เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในทางสถิติ ทั้งนี้ ตัวอย่างดังกล่าว ควรมีขนาดอยู่ในช่วงที่ครอบคลุมขนาดความโตของสิ่งที่ต้องการหาน้ำหนักทั้งหมดในพื้นที่ที่เราต้องการประมาณมวลชีวภาพ

นอกจากนี้การนำเอาความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (H) มาเป็นตัวแปรอิสระร่วมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดินยกกำลังสอง (D^2) ในรูปของ D^2H จะทำให้สามารถประมาณหาปริมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง และรากได้อย่างถูกต้องที่สุด เนื่องจาก D^2H เป็นค่าโดยประมาณของปริมาตรของลำต้นซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับมวลชีวภาพ หรือน้ำหนัก ในกรณีที่ไม่สามารถขุดรากใต้ดิน เพื่อสร้างสมการประมาณหามวลชีวภาพของรากได้โดยตรง สามารถคำนวณหามวลชีวภาพในส่วนใต้พื้นดิน จากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดินและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Root/Shoot ratio) ซึ่ง Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2006) ได้กำหนดให้ค่าสัดส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดินต่อมวลชีวภาพเหนือดิน เท่ากับ 0.28

การเลือกใช้สมการแอลโลเมตรี มีข้อควรพิจารณา ดังนี้

1. ความเชื่อมั่นของสมการ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การประมาณค่า (Coefficient of determination, หากเป็นไปได้ใช้ค่า $R^2 > 0.9$)

2. Metadata

2.1 พิสัยของตัวแปรอิสระ D และ H

2.2 จำนวนตัวอย่าง

2.3 มาตราส่วนของการวัด เช่น Individual/Stand

2.4 Output; Biomass / Volume

2.5 Input type

2.6 Vegetation component; Stem biomass

จากข้อพิจารณาที่กล่าวข้างต้น ได้นำมาเป็นหลักเกณฑ์เพื่อคัดเลือกสมการแอลโลเมตรี เพื่อนำไปจัดทำวิธีประมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ของป่าประเภทต่างๆ ซึ่งหลักเกณฑ์ที่ใช้ดังกล่าว สามารถแบ่งประเภทของสมการแอลโลเมตรี ออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

1) สมการแอลโลเมตรีของต้นไม้รายต้นแยกตามระบบนิเวศป่า (Forest ecosystem) ของประเทศไทยซึ่งสามารถแบ่งประเภทของป่าออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ 1) ป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest) ประกอบด้วย ป่าดงดิบชื้น (Tropical Rain Forest) ป่าดิบแล้ง (Dry Evergreen Forest) ป่าดิบเขา (Hill Evergreen Forest) ป่าสน (Coniferous Forest) ป่าพรุ (Swamp Forest) และป่าชายเลน (Mangrove Swamp Forest) และ 2) ป่าผลัดใบ (Deciduous Forest) ประกอบด้วย ป่าเบญจพรรณ (Mixed Deciduous Forest) และป่าเต็งรัง (Dry Deciduous Dipterocarp Forest)

2) สมการแอลโลเมตรีกลุ่มพรรณไม้ เช่น ไม้ทั่วไป ปาล์ม ไผ่ ไม้ป่าชายเลน

3) สมการแอลโลเมตรีมีความจำเพาะต่อชนิดของต้นไม้ (species specific)

4.1.3 สมการแอลโลเมตรีที่คัดเลือก

สำหรับการออกแบบและพัฒนาวิธีการใช้สำหรับคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ได้ทำการคัดเลือกสมการแอลโลเมตรีที่มีอยู่ในปัจจุบันทั้งหมดที่ได้จากการการทบทวนรายงาน และเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ สำหรับชนิดป่า กลุ่มพรรณไม้ต่าง ๆ รวมถึงชนิดพันธุ์ของต้นไม้ ซึ่งสมการแอลโลเมตรีที่ได้คัดเลือกมีดังนี้

1) สมการแอลโลเมตรีที่แบ่งตามชนิดป่าของประเทศไทย ดังสรุปในตารางที่ 4.18 – 4.21

ตารางที่ 4.18 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ ในป่าธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาด DBH มากกว่า 4.5 เซนติเมตร

ชนิดป่า	สมการ	อ้างอิง
ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา	$W_S = 0.0509\ D^2H^{0.919}$ $W_B = 0.00893\ D^2H^{0.977}$ $W_L = 0.0140\ D^2H^{0.669}$ $W_R = 0.0313\ D^2H^{0.805}$	Tsutsumi et al. (1983)
ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง	$W_S = 0.0396\ (D^2H)^{0.933}$ $W_B = 0.00349\ (D^2H)^{1.030}$ $W_L = (28/\ (W_S+W_B+0.025))^{-1}$	Ogawa et al. (1965)
ป่าดิบชื้น	$W_S = 0.0396\ (D^2H)^{0.9326}$ $W_B = 0.006003\ (D^2H)^{1.027}$ $W_L = (28/\ (W_S+W_B+0.025)^{)-1}$ $W_R = 0.0264\ D^2H^{0.7750}$	Ogawa et.al.(1965)

ตารางที่ 4.18 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ ในป่าธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ที่มีขนาด DBH มากกว่า 4.5 เซนติเมตร (ต่อ)

ชนิดป่า	สมการ	อ้างอิง
ป่าสนเขา (สนสองใบ)	$W_S = 0.2141 (D^2H)^{0.9814}$ $W_B = 0.00002 (D^2H)^{1.4561}$ $W_L = 0.00072 (D^2H)^{1.0138}$	สุนันทา ขจรศรีชล (2531)
ป่าสนเขา (สนสามใบ)	$W_S = 0.02698 (D^2H)^{0.946}$ $W_B = 0.00018 (D^2H)^{1.455}$ $W_L = 0.00072 (D^2H)^{1.094}$	พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ (2524)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)
W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)
W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)
D = เส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)
H = ความสูง (เมตร)

ตารางที่ 4.19 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของต้นไม้ ในป่าดิบแล้ง ที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และ ความสูงมากกว่า 1.30 เมตร (ไม้รุ่น)

ชนิดป่า	สมการ	อ้างอิง
ป่าดิบแล้ง	$W_S = 89.3059 (D^2H)^{0.66513}$ $W_B = 15.3063 (D^2H)^{0.58255}$ $W_L = 0.0140 (D^2H)^{0.44363}$	มานพ อิสสะรีย์ (2525)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลาต้น (กิโลกรัม)
W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)
W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)
D = เส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)
H = ความสูง (เมตร)

ตารางที่ 4.20 สมการแอลโลเมตรีที่ใช้ในการคำนวณหามวลชีวภาพของในป่าชนิดอื่นๆ ที่มีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร และความสูงมากกว่า 1.30 เมตร (ไม้รุ่น)

ชนิดป่า	สมการ	อ้างอิง
ป่าชนิดอื่นๆ	$W_S = 0.0702(D^2H)^{0.8737}$ $W_B = 0.0093(D^2H)^{0.9403}$ $W_L = 0.0244(D^2H)^{1.0517}$	ธิติ วิสารัตน์ และชลธิดา เชิญขุนทด (2547)

หมายเหตุ :

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

H = ความสูง (เมตร)

2) สมการแอลโลเมตรีที่แบ่งตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้ ดังสรุปในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
พรรณไม้ในป่าชายเลนชนิดอื่นๆ	$W_S = 0.0449\ (D^2H)^{0.9549}$	-	-	Komiyama et al. (1987)
	$W_B = 0.02412\ (D^2H)^{0.8649}$	-	-	
	$W_L = 0.09422\ (D^2H)^{0.5439}$	-	-	
	$W_T = W_S + W_B + W_L$	-	-	
กลุ่มปาล์ม	$W_T = 6.666 + 12.826\ (H)^{0.5}(\ln H)$	-	-	Pearson et al. (2005)
ยางพารา	$W_S = 0.0804\ (D^2H)^{0.8341}$	0.97	-	ประดิษฐ์ ตรีพัฒนา และคณะ (2551
	$W_B = W_T - W_S - W_L$	-	-	
	$W_L = 0.000008\ (D^2H)^{1.4986}$	0.91	-	
	$W_R = 0.0005\ (D^2H)^{1.269}$	0.95	-	
	$W_T = 0.0046\ (DBH^2H)^{\ 1.2046}$	0.95	-	
สนคาริเบีย	$W_S = 0.1004(DBH)^{2.3852}$	0.9432	-	อำไพ พรลีแสง สุวรรณ์ และคณะ (2556)
	$W_B = 0.0003(DBH)^{3.5713}$	0.9426	-	
	$W_L = 0.4527(WB)^{0.8048}$	0.9235	-	

ตารางที่ 4.21 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้ (ต่อ)

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
สนสามใบ	$W_S = 0.0503 (D^2H)^{0.8775}$ $W_B = 0.0012 (D^2H)^{1.0996}$ $W_L = 0.4536 (W_B)^{0.7933}$	0.9749 0.4982 0.6324	- - -	สมชาย นอง เนือง และคณะ (2553)
พันธุ์ไม้ชนิดอื่นๆ	$W_S = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$ $W_B = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$ $W_L = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$	0.978 0.890 0.714	- - -	Tsutsumi et al. (1983)
ไม้ยูคาลิปตัส	$W_S = 0.26827(D^2H)^{0.973647}$ $W_B = 0.00045(D^2H)^{1.26077}$ $W_L = 0.10114(D^2H)^{0.46007}$ $W_R = 0.01378(D^2H)^{0.87935}$ ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน = 0.4899 × มวลชีวภาพ	0.995 0.945 0.929 0.996	- - - -	วสันต์ จันทร์แดง และคณะ (2553)
ไม้สะเดา	$W_S = 0.0410(D^2H)^{0.9148}$ $W_L = 0.0023(D^2H)^{0.9388}$ $W_B = 0.0018(D^2H)^{1.1037}$ $W_T = 0.0435(D^2H)^{0.9370}$	0.9937 0.9354 0.9717 0.9934	14 14 14 14	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
ไม้ตะเคียนทอง	$W_S = 0.0223(D^2H)^{1.0199}$ $W_L = 0.0032(D^2H)^{1.0477}$ $W_B = 0.0027(D2H)^{1.2228}$ $W_T = 0.0241(D^2H)^{1.0842}$	0.9442 0.9016 0.8580 0.9457	12 12 12 12	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
ไม้พฤกษ์	$W_S = 0.0661(D^2H)^{0.8527}$ $W_L = 0.0041(D^2H)^{0.8646}$ $W_B = 0.0014(D^2H)^{1.2497}$ $W_T = 0.0534(D^2H)^{0.9380}$	0.9984 0.9177 0.9743 0.9965	15 15 15 15	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
ไม้เสี่ยน	$W_S = 0.0185(D^2H)^{0.9742}$ $W_L = 0.0011(D^2H)^{0.8680}$ $W_B = 0.00014(D^2H)^{1.2761}$ $W_T = 0.0177(D^2H)^{0.9945}$	0.9953 0.8171 0.7927 0.9932	13 13 13 13	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)
ไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส	$W_S = 0.0239(D^2H)^{0.9778}$ $W_L = 0.0030(D^2H)^{0.8088}$ $W_B = 0.0035(D^2H)^{0.9345}$ $W_T = 0.0292(D^2H)^{0.9690}$	0.9991 0.9743 0.9755 0.9994	5 5 5 5	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2547)

ตารางที่ 4.21 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้ (ต่อ)

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ไม้สัก	$W_S = 0.0441(D^2H)^{0.8445}$	0.9790	5	ชิงชัย วิริยะ
	$W_L = 0.0026(D^2H)^{1.0066}$	0.9333	5	บัญชา และ
	$W_B = 0.0012(D^2H)^{1.0712}$	0.9486	5	คณะ (2547)
	$W_T = 0.0454(D^2H)^{0.8801}$	0.9734	5	
ไม้กระถินเทพา	$W_S = 0.0258(D^2H)^{0.9541}$	0.9982	19	ชิงชัย วิริยะ
	$W_L = 0.0070(D^2H)^{0.8846}$	0.9207	19	บัญชา และ
	$W_B = 0.0040(D^2H)^{1.0699}$	0.9391	19	คณะ (2547)
	$W_T = 0.0353(D^2H)^{0.9714}$	0.9889	19	
ไผ่รวก	$W_C = 0.15780(D)^{2.4859}$	0.9773	100	วิสุทธิ์ สุวรรณา
	$W_B = 0.02892(D)^{1.9180}$	0.7149	100	ภินันท์ และ
	$W_L = 0.01244(D)^{1.7046}$	0.6718	77	คณะ (2526)
	$AGB = 0.22187(D)^{2.2749}$	0.9550	100	
ไผ่ไร่	$W_C = 0.14266(D^2)^{1.1556}$	0.9281	16	Kutintara et
	$AGB = 0.24250(D^2)^{1.0951}$	0.9343	16	al. (1995)
ไผ่บงดำ	$W_C = 0.20811(D^2)^{1.0596}$	0.9665	10	
	$AGB = 0.49522(D^2)^{0.8726}$	0.9682	10	
ไผ่ข้าวหลาม	$W_C = 0.09458(D^2)^{1.1556}$	0.9968	10	
	$AGB = 0.49522(D^2)^{0.8726}$	0.9908	10	
ไผ่ผาก	$W_C = 0.11151(D^2)^{1.1257}$	0.9835	10	
	$AGB = 0.22574(D^2)^{1.0214}$	0.9726	10	
ไผ่ป่า	$W_C = 0.3044(D)^{1.7526}$	0.8886	10	สาพิศ ร้อยอา
	$W_B = 0.0795(D)^{2.0827}$	0.8369	10	แพง. (2533)
	$W_L = 0.0088(D)^{1.1385}$	0.2347	10	
	$AGB = 0.3939(D)^{1.8325}$	0.8948	10	
ไผ่บงป่า	$W_C = 0.0867(D^2H)^{0.7822}$	0.9281	40	อิทธิพงศ์ วรรณ
	$W_B = 0.1384(D^2H)^{0.7232} - W_S$	0.8980	40	ลังกาและคณะ
	$W_L = 0.0940(D^2H)^{0.7748} - W_S$	0.9278	40	(2558)
	$AGB = 0.1466(D^2H)^{0.7187}$	0.8962	40	
ไผ่บงใหญ่	$W_C = 0.0136(D^2H)^{0.9548}$	0.8695	40	
	$W_B = 0.0184(D^2H)^{0.9293} - W_S$	0.8547	40	
	$W_L = 0.0174(D^2H)^{0.9313} - W_S$	0.8562	40	
	$AGB = 0.0222(D^2H)^{0.9098}$	0.8413	40	

ตารางที่ 4.21 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้ (ต่อ)

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
ไผ่หก	$W_C = 0.0834(D^2H)^{0.7650}$	0.8280	40	อิทธิพงศ์ วรรณลังกาและคณะ (2558)
	$W_B = 0.1671(D^2H)^{0.6832} - W_S$	0.7510	40	
	$W_L = 0.1107(D^2H)^{0.7358} - W_S$	0.8297	40	
	$AGB = 0.2061(D^2H)^{0.6627}$	0.7492	40	
ไผ่หวานอ่างขาง	$W_C = 0.0324(D^2H)^{0.8340}$	0.8118	40	
	$W_B = 0.0476(D^2H)^{0.7947} - W_S$	0.7868	40	
	$W_L = 0.0446(D^2H)^{0.7962} - W_S$	0.8046	40	
	$AGB = 0.0627(D^2H)^{0.7630}$	0.7761	40	
ไผ่หอม	$W_C = 0.111(D)^{2.147}$	0.9281	40	Chan et.al. (2013)
	$W_B = 0.028(D)^{1.551}$	0.8980	40	
	$W_L = 0.038(D)^{1.452}$	0.9278	40	
ไผ่ซาง	$AGB = 0.189(D)^{1.956}$	0.8962	40	
ไผ่ไล่ลอ	$W_C = 0.021(D)^{1.875}$	0.8695	40	
	$W_B = 0.076(D)^{1.455}$	0.8547	40	
	$W_L = 0.034(D)^{1.364}$	0.8562	40	
	$AGB = 0.308(D)^{1.767}$	0.8413	40	
เถาวัลย์ที่มีเนื้อไม้	$AGB = 0.8622(D)^{2.0210}$	0.9533	26	ชิงชัย วิริยะบัญชา และคณะ (2554)
กล้วยน้ำว้า	$AGB = 0.0303(D)^{2.1345}$	0.9887	10	Arifin (2001)
พลวง	$W_{AG} = 9.402(D_02)^{0.93}$	-	-	เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ และคณะ (2555)
	$W_{BG} = 125.0(D_02)^{0.52}$	-	-	
เหียง	$W_{AG} = 38.09(D_0^2)^{1.26}$	-	-	เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ และคณะ (2555)
	$W_{BG} = 190.0(D_0^2)^{1.36}$	-	-	
เต็ง	$W_{AG} = 32.13(D_0^2)^{0.80}$	-	-	เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์ และคณะ (2555)
	$W_{BG} = 241.1(D_0^2)^{1.05}$	-	-	
อะเคเซียลูกผสม	$W_S = 0.0248(D^2H)^{0.9510}$	0.9864	19	ฤกษ์พงษ์ โคตรมา และคณะ (2559)
	$W_B = 0.0107(D^2H)^{0.9124}$	0.8468	-	
	$W_L = 0.0429(D^2H)^{0.6654}$	0.9749	-	

ตารางที่ 4.21 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้ (ต่อ)

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
เสม็ดขาว (Melaleuca cajuputi) and other specie	$W_S = 105.04(D)^{1.9916}$ $W_B = 20.059(D)^{2.1419}$ $W_L = 6.247(D)^{2.9918}$	- - -	- - -	Wanthongchai (2013)
Melaleuca cajuputi trees	$W = 0.062(D^2H)^{0.91}$	-	-	Tange *et al.* (2000)
Other trees besides *Melaleuca cajuputi*	$W_S = 0.0396(D^2H)^{0.9326}$ $W_B = 0.006002(D^2H)^{1.027}$ $W_L = (18.0/W_{TC} + 0.025)^{-1}$	- - -	- - -	Ogawa *et al.* (1965)
แสมดำ *Avicennia officinalis*	Log W_S = 0.3389 + 0.0570 LogD^2H Log W_B = 0.0775+0.0403 LogD^2H Log W_L = 0.1119+0.0392 LogD^2H	0.9737 0.8804 0.8700	- - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)
ถั่วขาว *Bruguiera cylindrical*	Log W_S = 0.4754 + 0.0413 Log D^2H Log W_B = - 0.4325 + 0.0382 Log D^2H Log W_L = - 0.1984 + 0.0349 Log D^2H	0.9026 0.8841 0.9574	- - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)
ถั่วดำ *Bruguiera parviflora*	Log W_S = 0.3470 + 0.458 Log D^2H Log W_B = - 0.6811 + 0.0659 Log D^2H Log W_L = - 0.2965 + 0.0393 Log D^2H	0.9217 0.8431 0.8787	- - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)
พังกาหัวสุมดอกแดง*Bruguiera gymnorrhiza*	Log W_S = 0.4703 + 0.0437 Log D^2H Log W_B = - 0.0443 + 0.0551 Log D^2H Log W_L = 0.1266 + 0.0283 Log D^2H	0.9221 0.9263 0.7851	- - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)
โปรงแดง *Ceriops tagal*	Log W_S = 0.2432 + 0.0587 Log D^2H Log W_B = - 0.4632 + 0.0625 Log D^2H Log W_L = - 0.4187 + 0.0529 Log D^2H	0.9076 0.8185 0.7758	- - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)
ไม้โกงกาง (*Rhizophora* spp.)	$W_S = 0.05466\ (D^2H)^{0.945}$ $W_B = 0.01579\ (D^2H)^{0.9124}$ $W_L = 0.0678\ (D^2H)^{0.5806}$ $W_T = W_S + W_B + W_L$	- - - -	- - - -	Komiyama et al. (1987)
โกงกางใบเล็ก *Rhizophora apiculata*	Log W_S = 0.8074 + 0.0289 Log D^2H Log W_B = - 0.2344 + 0.0424 Log D^2H Log W_L = - 0.0682 + 0.0277 Log D^2H Log W_{PR} = - 0.7566 + 0.0311 Log D^2H	0.9681 0.9175 0.8521 0.8771	- - - -	ชิงชัย วิริยะบัญชา (2553)

ตารางที่ 4.21 สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มพรรณไม้และชนิดพันธุ์ไม้ (ต่อ)

ชนิดพรรณ	สมการ	R^2	จำนวนต้น	อ้างอิง
โกงกางใบใหญ่	$\text{Log } W_S = 0.6171 + 0.0357 \text{ Log } D^2H$	0.9367	-	ชิงชัย
Rhizophora	$\text{Log } W_B = - 0.3606 + 0.0467 \text{ Log } D^2H$	0.7972	-	วิริยะบัญชา
mucronata	$\text{Log } W_L = - 0.3778 + 0.0360 \text{ Log } D^2H$	0.8420	-	(2553)
	$\text{Log } W_{PR} = - 0.6908 + 0.0496 \text{ Log } D^2H$	0.8815	-	
ลำพูทะเล	$\text{Log } W_S = 0.2520 + 0.0507 \text{ Log } D^2H$	0.9816	-	ชิงชัย
Sonneratia alba	$\text{Log } W_B = - 0.3567 + 0.0449 \text{ Log } D^2H$	0.8453	-	วิริยะบัญชา
	$\text{Log } W_L = - 0.4976 + 0.0418 \text{ Log } D^2H$	0.8232	-	(2553)
ตะบูนขาว	$\text{Log } W_S = 0.2374 + 0.0589 \text{ Log } D^2H$	0.9698	-	ชิงชัย
Xylocarpus	$\text{Log } W_B = - 0.5046 + 0.0637 \text{ Log } D^2H$	0.9558	-	วิริยะบัญชา
granatum	$\text{Log } W_L = - 0.5179 + 0.0558 \text{ Log } D^2H$	0.9450	-	(2553)
ตะบูนดำ	$\text{Log } W_S = 0.2572 + 0.0566 \text{ Log } D^2H$	0.9898	-	ชิงชัย
Xylocarpus	$\text{Log } W_B = - 0.7659 + 0.0562 \text{ Log } D^2H$	0.9192	-	วิริยะบัญชา
moluccensis	$\text{Log } W_L = - 0.7823 + 0.0511 \text{ Log } D^2H$	0.8675	-	(2553)

หมายเหตุ :

W = มวลชีวภาพเหนือดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

W_S = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กิโลกรัม)

W_L = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กิโลกรัม)

W_B = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กิโลกรัม)

W_R = มวลชีวภาพส่วนของราก (กิโลกรัม)

W_T = มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง + ใบ (กิโลกรัม)

W_{TC}= มวลชีวภาพส่วนของลำต้น + กิ่ง (กิโลกรัม)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)

D_0 = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับพื้นดิน (เซนติเมตร)

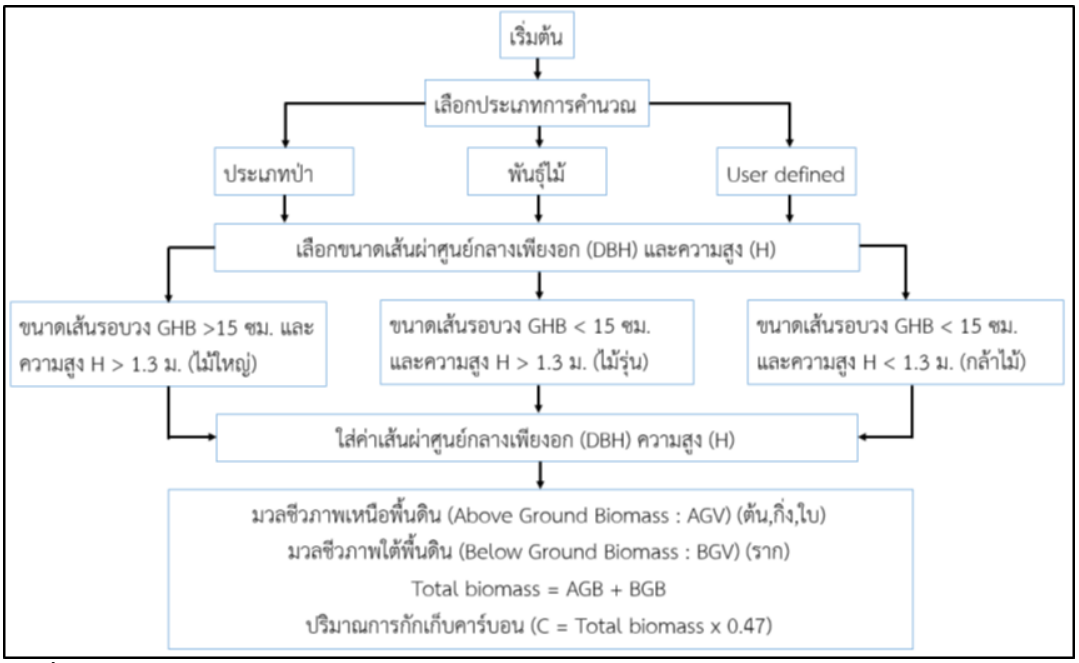
H = ความสูง (เมตร)

AGB = น้ำหนักส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินทั้งหมด (กิโลกรัม)

4.1.4 โครงสร้างการพัฒนาวิธีการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

การพัฒนาวิธีการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการพัฒนาให้เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้ง่าย รองรับผู้ใช้งาน (User) ในระดับที่แตกต่างกันได้ เช่น ผู้ใช้งานเบื้องต้นที่มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับชนิดพันธุ์ไม้ และประเภทป่าไม้ รวมถึงผู้ใช้งานที่มีความเชี่ยวชาญ มีประสบการณ์และความชำนาญด้านป่าไม้และพันธุ์พืช สามารถกำหนดรูปแบบการใช้งานเพื่อเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีเฉพาะด้านที่ต้องการได้ นอกจากนี้ ยังได้คำนึงถึงการนำเข้าของชุดข้อมูล (Input data) มาประยุกต์เพื่อนำข้อมูลของต้นไม้สำหรับใช้คำนวณการกักเก็บคาร์บอนที่มีการจัดเก็บข้อมูลอยู่แล้วมาใช้งานได้ทันที

โครงสร้างของวิธีการคำนวณและประมวลผลปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บในต้นไม้และพื้นที่ป่าเริ่มต้นจากการเลือกประเภทของการคำนวณซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่องทาง ประกอบด้วย การคำนวณปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บจากการระบุประเภทของป่า การคำนวณปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บจากการระบุชนิดพันธุ์ไม้ และ User defined เป็นช่องทางสำหรับผู้ใช้งานที่มีความเชี่ยวชาญ มีประสบการณ์ความชำนาญด้านป่าไม้และพันธุ์พืช อีกทั้งยังสามารถกำหนดรูปแบบการใช้งานเพื่อเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีเฉพาะด้านที่ต้องการได้ จากนั้น เป็นขั้นตอนของการเลือกขนาดเส้นรอบวง (Girth at Breast Height: G.B.H.) และความสูง (Height: H) ตามประเภทและขนาดของไม้ ประกอบด้วย ไม้ใหญ่ ไม้รุ่น และกล้าไม้ เมื่อทำการระบุประเภท และขนาดแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการใส่ข้อมูลขนาดเส้นรอบวง และความสูงของต้นไม้ทำการตรวจวัด ซึ่งวิธีการประมวลผลปริมาณคาร์บอนจะแสดงผลเป็นมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน มวลชีวภาพใต้พื้นดิน Total Biomass และปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 โครงสร้างของการพัฒนาวิธีการคำนวณปริมาณการสะสมคาร์บอนของต้นไม้
ที่มา : หัวกะทิ รีมิกซ์ ดีไซน์ (2561)

4.1.5 ผลการประชุมผู้เชี่ยวชาญเรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

การประชุมรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ เรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2561 ณ โรงแรมอมารีดอนเมือง กรุงเทพมหานคร โดยมีผู้เชี่ยวชาญจากหน่วยงานต่าง ๆ เข้าร่วมประชุมทั้งสิ้น 14 ท่าน 12 หน่วยงาน ประกอบด้วย

1. ดร.อนงค์ ชานะมูล ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม
2. ดร.สิรินทร์ แก้วละเอียด ผู้เชี่ยวชาญด้านการสังเคราะห์นโยบายและแผน
3. ดร.วรนุช เอมมาโนชญ์ หัวหน้าศูนย์ประสานการดำเนินงานด้านปฏิญญานิวยอร์กว่าด้วยป่าไม้
4. ดร.บุญลือ คะเชนทร์ชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล
5. ดร.หะริน สัจเดช มหาวิทยาลัยมหิดล
6. ดร.พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
7. ดร.ดนัย ทิพย์มณี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
8. คุณวิศรา หุ่นธานี สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย
9. คุณผการัตน์ เพ็งสวัสดิ์ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม
10. คุณอภิสิทธิ์ เสนาวงค์ องค์การบริการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน)
11. คุณศิริพร วิริยะตั้งสกุล องค์การบริการจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์กรมหาชน)
12. คุณสมชาย จริยเจริญ สวนขอมดำดิน
13. คุณธารี กาเมือง บริษัท Green Amity
14. คุณพลากร คูหา บริษัท ปูนซีเมนต์ไทย จำกัด (มหาชน)

สรุปผลการประชุมผู้เชี่ยวชาญเรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าไม้ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 สรุปผลการประชุมผู้เชี่ยวชาญเรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าไม้

การพัฒนาสมการแอลโลเมตรี	การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผล
1. เลือกใช้สมการแอลโลเมตรีที่มีความน่าเชื่อถือในระดับสูง 2. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์มีการจัดทำสมการแอลโลเมตรีของป่าเศรษฐกิจ 3. เพิ่มรายละเอียดที่มาของสมการแอลโลเมตรี 4. การเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีควรคำนึงถึงรูปแบบการปลูกป่า	1. พัฒนาให้สามารถใช้งานแบบ online และมีระบบสมาชิก เพื่อให้มีฟังก์ชั่นสำหรับเพิ่มสมการแอลโลเมตรี 2. เพิ่มฟังก์ชั่นระบุตำแหน่งที่ตั้งของพื้นที่รวมถึงพิกัดของต้นไม้ที่ต้องการศึกษา 3. เพิ่มฟังก์ชั่นพยากรณ์ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้หรือป่าไม้ในพื้นที่ศึกษา

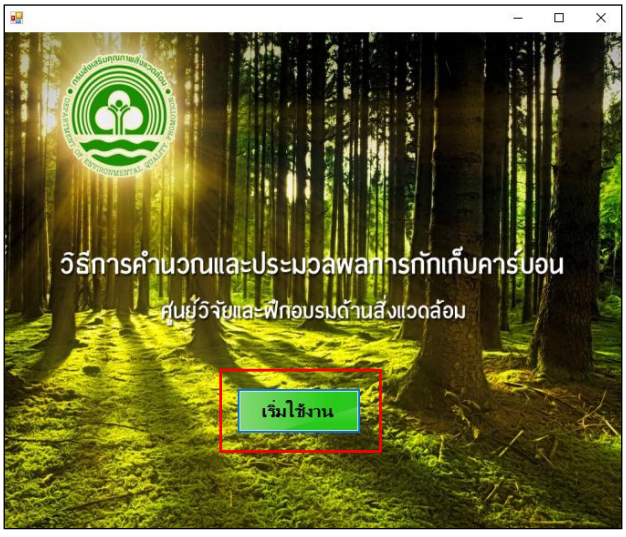
ตารางที่ 4.22 สรุปผลการประชุมผู้เชี่ยวชาญเรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าไม้ (ต่อ)

การพัฒนาสมการแอลโลเมตรี	การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผล
5. เพิ่มการแบ่งประเภทป่าตามรายภูมิภาค เพราะในแต่ละภูมิภาคจะมีการปลูกพันธุ์ไม้แตกต่างกัน 6. พัฒนาสมการแอลโลเมตรีเพื่อประยุกต์ใช้กับพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง	4. จัดทำระบบฐานข้อมูลพันธุ์ไม้ของประเทศไทย 5. เพิ่มคำอธิบายวิธีการสุ่มตัวอย่างและเทคนิควิธีการวัดความสูงและเส้นรอบวง 6. เพิ่มข้อมูลรายละเอียดการคัดเลือกพันธุ์ไม้ 7. เพิ่มคำอธิบายวิธีการใช้งานบริเวณหน้าโปรแกรม 8. จัดทำคู่มือวิธีการใช้งานโปรแกรม 9. การรายงานผลหรือรูปแบบการแสดงผลของโปรแกรมควรจะต้องพัฒนา ออกแบบ ดีไซน์ให้มีกราฟฟิคที่ช่วยเพิ่มความน่าสนใจ 10. ต้องมีการพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าไม้อย่างต่อเนื่อง

4.1.6 โครงสร้างวิธีการสำหรับคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอน

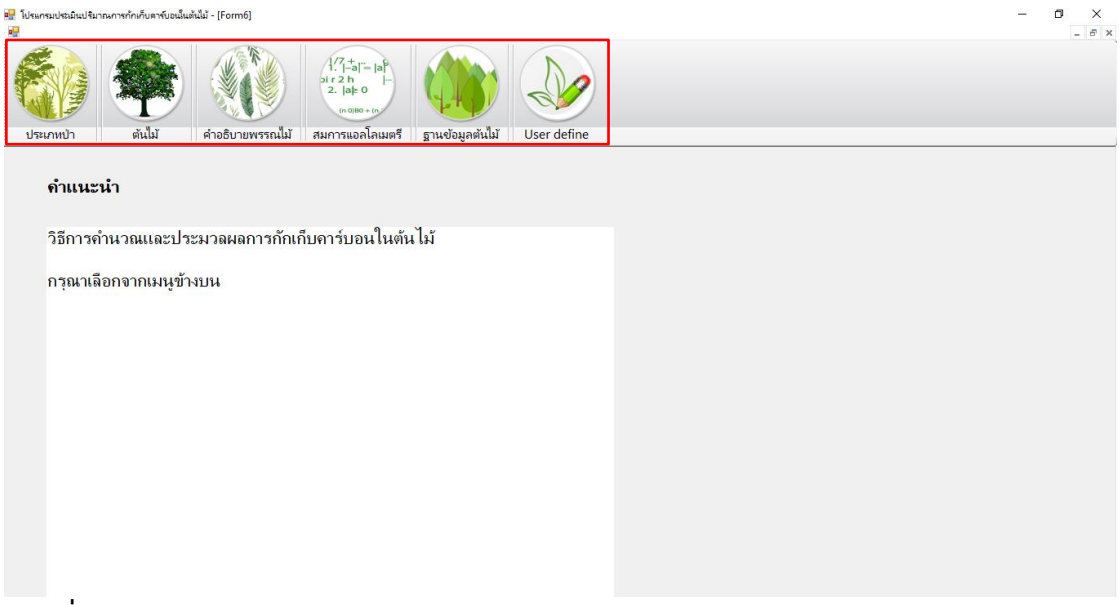
วิธีการสำหรับการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนมีรูปแบบและฟังก์ชั่นการใช้งานดังต่อไปนี้

1) การเริ่มต้นใช้งาน เมื่อผู้ใช้งานกดเข้าสู่หน้าจะปรากฏหน้าต่าง ดังแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การเริ่มต้นใช้งานวิธีการสำหรับการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอน

2) คำแนะนำใช้งาน เมื่อกดปุ่มเริ่มใช้งานจากภาพที่ 4.2 จะแสดงหน้าคำแนะนำวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนโดยมีเมนู ได้แก่ ประเภทป่า ต้นไม้ คำอธิบายพรรณไม้ สมการแอลโลเมตรี ฐานข้อมูลต้นไม้ และ User define ดังแสดงในภาพที่ 4.3

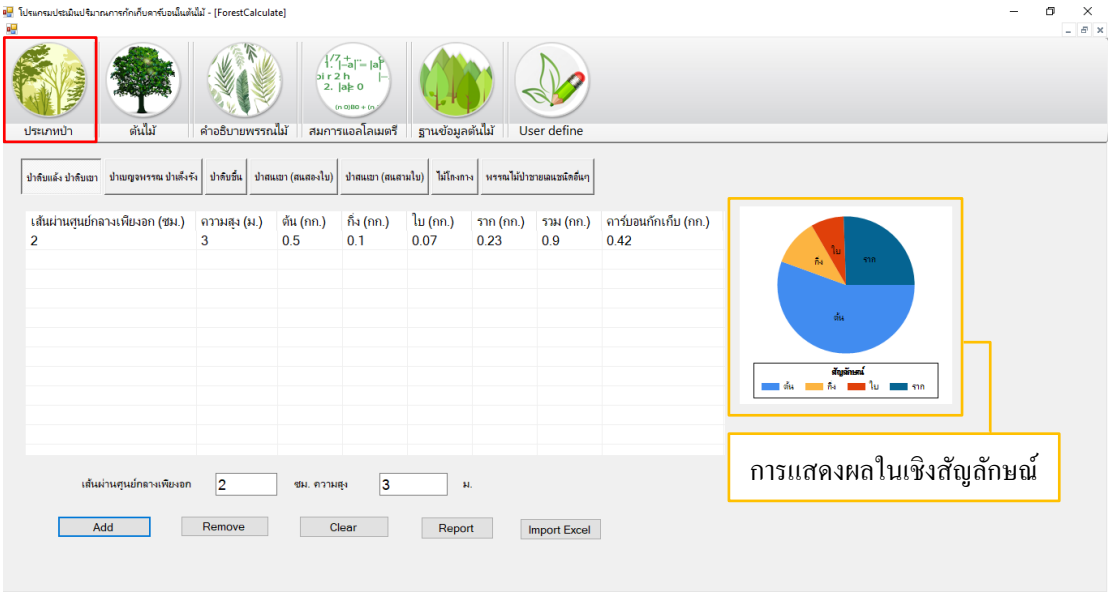


ภาพที่ 4.3 คำแนะนำใช้งาน

3) เมนู “ประเภทป่า” ประกอบด้วยประเภทป่า ดังนี้

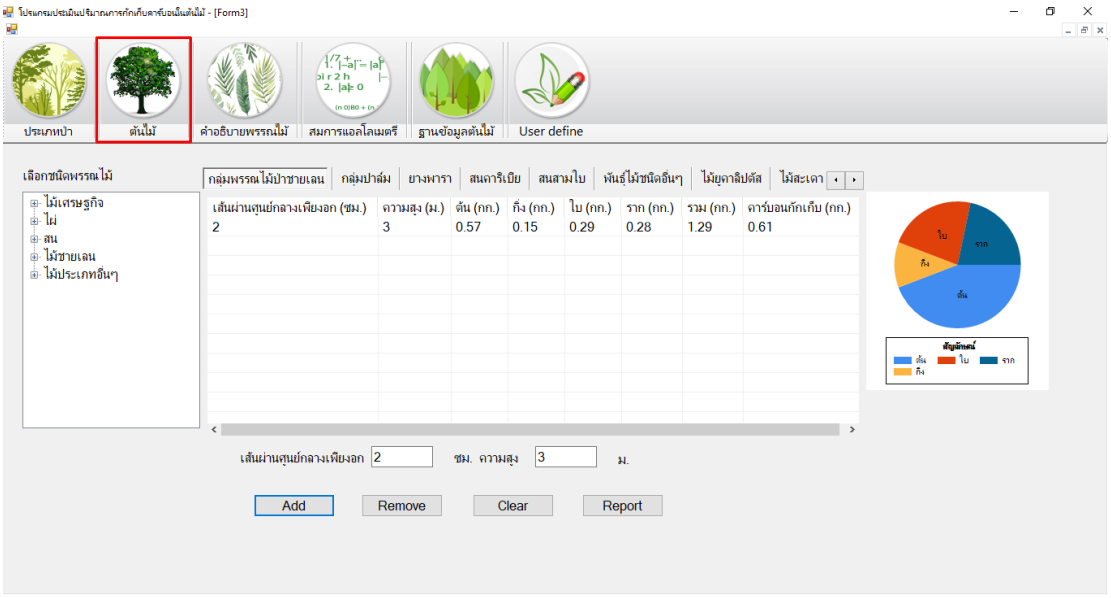
1. ป่าดิบแล้ง ป่าดิบเขา
2. ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง
3. ป่าดิบชื้น
4. ป่าสนเขา (สนสองใบ)
5. ป่าสนเขา (สนสามใบ)
6. ป่าโกงกาง
7. พรรณไม้ป่าชายเลนชนิดอื่น ๆ

ซึ่งจะมีขั้นตอนการใส่ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (หน่วยป็นเซนติเมตร) และความสูง (หน่วยเป็นเมตร) ของต้นไม้รายต้น เมื่อกดที่ปุ่ม Add ระบบจะคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้สมการแอลโลเมตรีออกมาเป็นปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ มวลชีวภาพใต้ดินในส่วนของราก ปริมาณมวลชีวภาพรวมทั้งหมด และปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม และมีการแสดงผลในเชิงสัญลักษณ์ ดังแสดงในภาพที่ 4.4



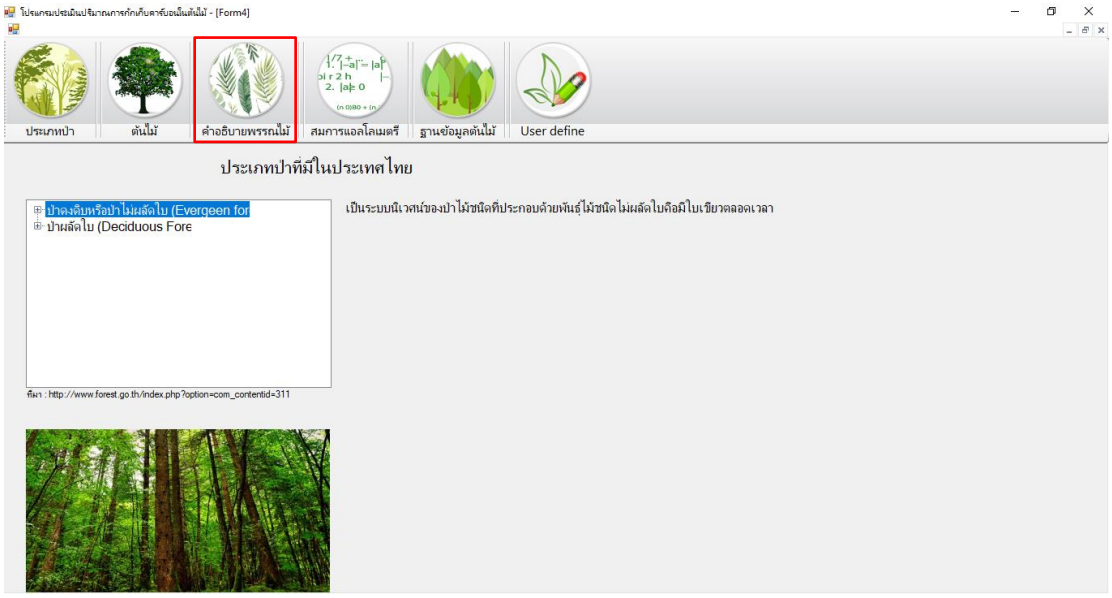
ภาพที่ 4.4 แสดงเมนูประเภทป่า

4) เมนู “ต้นไม้” ประกอบด้วย ชนิดพรรณไม้ที่แสดงทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่ ไม้เศรษฐกิจ ไผ่ สน ไม้ชายเลน และไม้ประเภทอื่น ๆ ซึ่งสามารถกรอกข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (หน่วยเป็นเซนติเมตร) และความสูง (หน่วยเป็นเมตร) ระบบจะคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนออกมาได้เช่นเดียวกันกับเมนูประเภทป่า ดังแสดงในภาพที่ 4.5



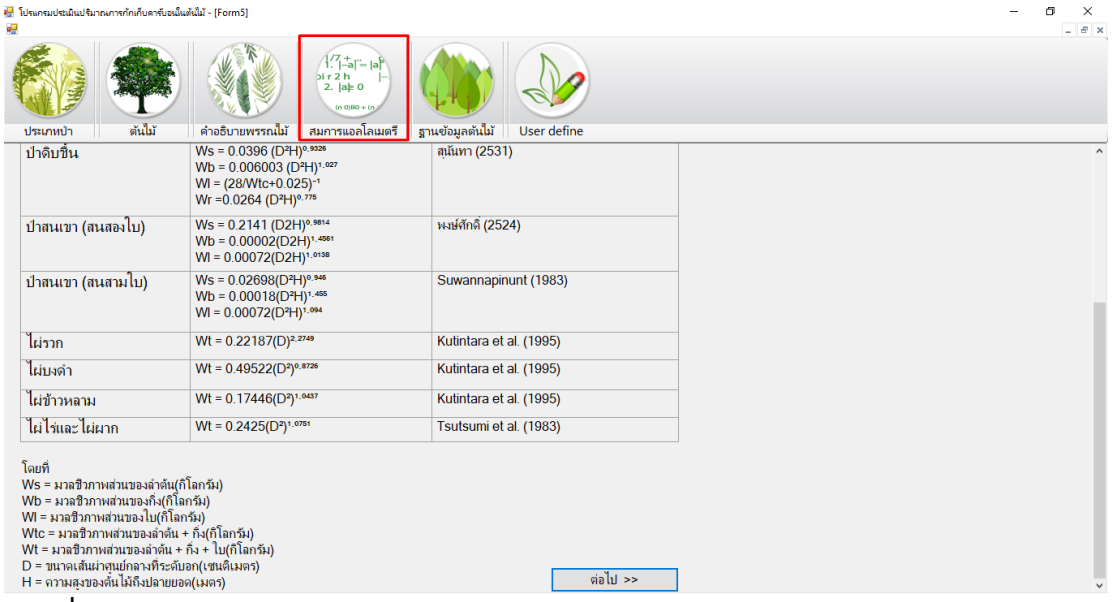
ภาพที่ 4.5 แสดงเมนูต้นไม้

5) เมนู “คำอธิบายพรรณไม้” เป็นเมนูที่อธิบายเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะของป่าที่มีอยู่ในประเทศไทย ซึ่งป่าไม้ในประเทศไทย จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ป่าดงดิบหรือป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest) และป่าผลัดใบ (Deciduous Forest) ดังแสดงในภาพที่ 4.6



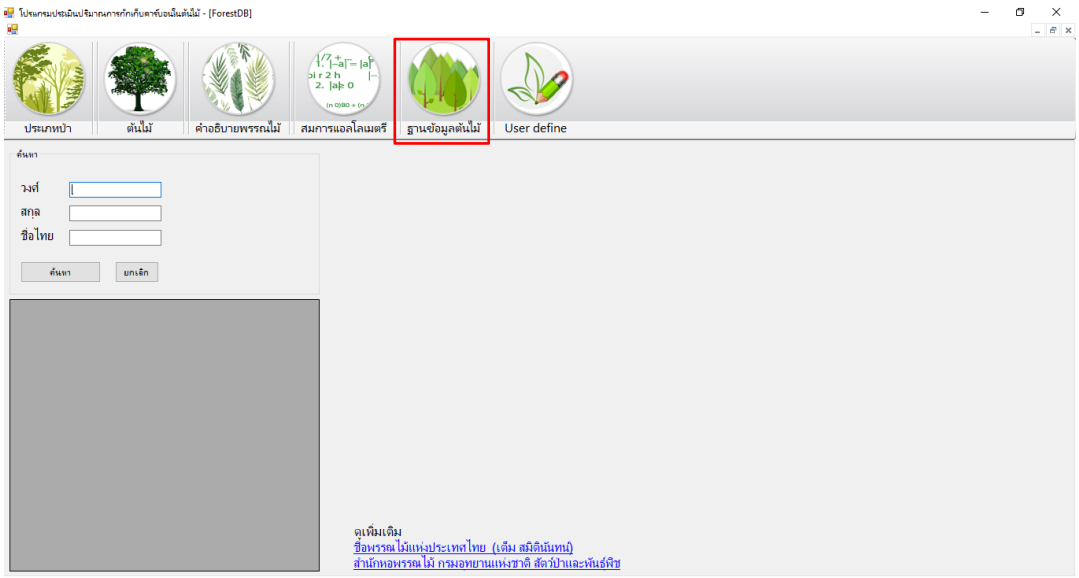
ภาพที่ 4.6 แสดงเมนูคำอธิบายพรรณไม้

6) เมนู “สมการแอลโลเมตรี” เป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ในป่าธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.7



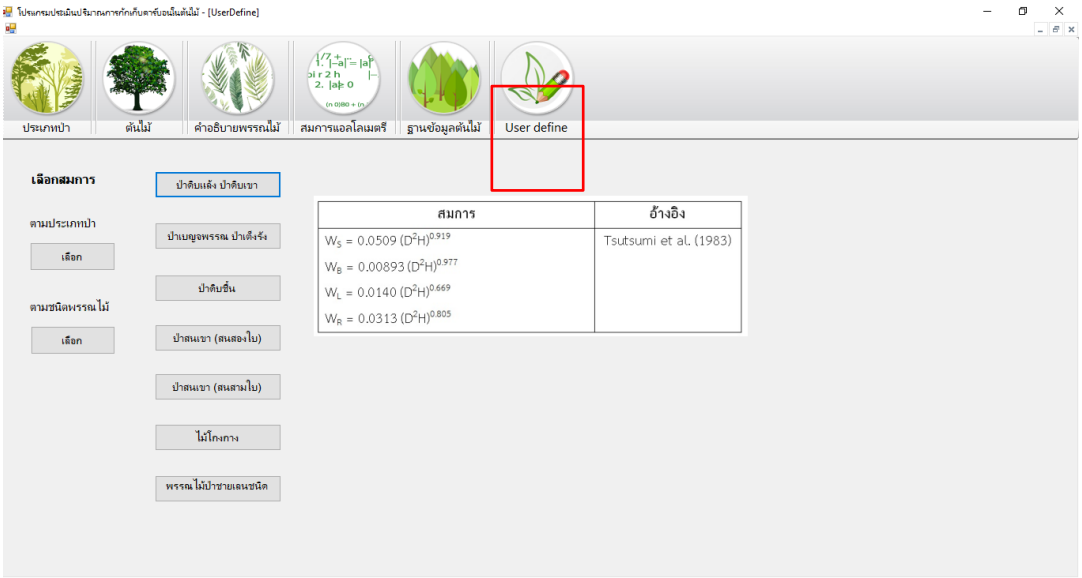
ภาพที่ 4.7 แสดงเมนูสมการแอลโลเมตรี

7) เมนู “ฐานข้อมูลต้นไม้” เป็นเมนูที่ใช้ค้นหารายชื่อต้นไม้หรือพรรณไม้ โดยมีรายการสืบค้นได้แก่ วงศ์ สกุล และชื่อไทย อีกทั้งยังเชื่อมต่อเว็บไซต์สำหรับค้นหารายชื่อพรรณไม้อื่น ๆ ได้เพิ่มเติมที่ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย ของเต็ม สมิตินันทน์ โดยสำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช ซึ่งทำให้การสืบคืนรายชื่อต้นไม้หรือพรรณไม้มีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.8



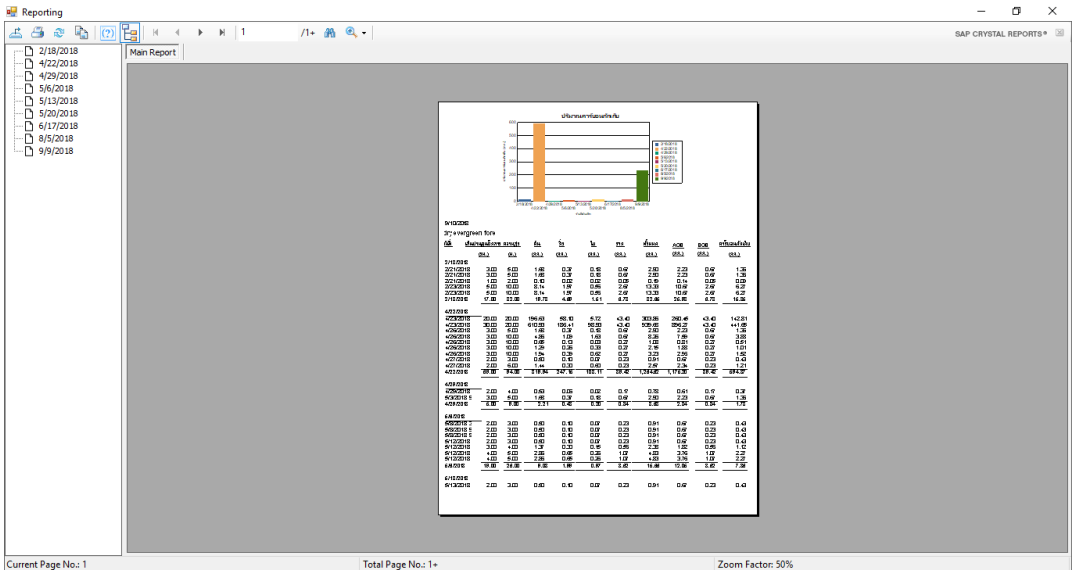
ภาพที่ 4.8 แสดงเมนูฐานข้อมูลต้นไม้

8) เมนู “User Define” เป็นเมนูที่รองรับผู้ใช้งานที่มีความเชี่ยวชาญ มีประสบการณ์และความชำนาญด้านป่าไม้และพันธุ์พืช สามารถกำหนดรูปแบบการใช้งาน เพื่อเลือกใช้สมการแอลโลเมตรีเฉพาะด้านที่ต้องการได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงเมนู User Define

9) การรายงานผล “Reporting” วิธีการคำนวณและประมวลการกักเก็บคาร์บอนจะรายงานผลปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ มวลชีวภาพใต้ดินในส่วนของราก ปริมาณมวลชีวภาพรวมทั้งหมด ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม และผลข้อมูลสัญลักษณ์แสดงสัดส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ดังแสดงในภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงการรายงานผล (Reporting)

4.1.7 ผลการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นตะเคียนทองในพื้นที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

จากการพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลการกักเก็บคาร์บอน โดยนำมาใช้ประมาณการกักเก็บคาร์บอนรายต้นของต้นตะเคียนทอง จำนวน 57 ต้น ในพื้นที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผลการคำนวณ ดังแสดงในตารางที่ 4.23 (รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.23 ผลการประมาณการกักเก็บคาร์บอนรายต้นของต้นตะเคียนทอง จำนวน 57 ต้น

ตัวแปร	ผลการคำนวณ (กิโลกรัม)
มวลชีวภาพของลำต้น	36,241.21
มวลชีวภาพของกิ่ง	6,935.44
มวลชีวภาพของใบ	36,155.59
มวลชีวภาพของราก	76,265.43
มวลชีวภาพรวมทั้งหมด	155,597.67
มวลชีวภาพเหนือดิน	79,332.24
มวลชีวภาพใต้ดิน	76,265.43
ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน	73,130.95

4.2 การศึกษาเบื้องต้นของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศ

4.2.1 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดินและอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิของดิน

การศึกษาเบื้องต้นของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอน ในพื้นที่บริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม จำนวน 4 จุด ซึ่งดำเนินการตรวจวัดรายสัปดาห์ ในช่วงระหว่างวันที่ 9 พฤศจิกายน 2560 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2561 ดังสรุปในตารางที่ 4.24 ผลการศึกษา พบว่า ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดินในบริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 406.79 - 416.09 ppm โดยป่านิเวศดั้งเดิมและสนามหญ้า มีค่าสูงสุดและต่ำสุด ตามลำดับ (ตารางที่ 4.24) โดยความเข้มข้นในช่วงดังกล่าว เป็นค่าที่มักพบในบริเวณเขตเมืองที่มีแหล่งการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สูงกว่าเขตชนบท และมีค่าสูงกว่าค่าตรวจวัดที่ Mauna Loa Observatory เกาะฮาวาย (ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของปี พ.ศ. 2559 เท่ากับ 404.2 ± 2.2 ppm) ซึ่งเป็นสถานีที่ใช้อ้างอิงความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศของโลก (NOAA's, 2018) นอกจากนี้หากเปรียบเทียบกับผลการศึกษาบริเวณการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานครของจิรัชญาและคณะ (2559) ดังแสดงในตารางที่ 4.25 แล้ว พบว่า ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดินในบริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดที่คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอุทยานเบญจสิริ แต่มีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดที่พุทธมณฑล

ผลการตรวจวัด แสดงให้เห็นว่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER) เฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว มีค่าแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจนระหว่างป่านิเวศที่ปลูกใหม่และป่านิเวศดั้งเดิมและสนามหญ้า โดย NCER ของป่านิเวศที่ปลูกใหม่ มีค่าสูงกว่าป่านิเวศดั้งเดิม มากกว่า 5 เท่า และมีค่าสูงกว่าสนามหญ้าประมาณ 2 เท่า (ตารางที่ 4.24) นอกจากนี้ NCER ของป่านิเวศปลูกใหม่มีค่าความแปรปรวนที่แสดงในรูปของ standard deviation สูงกว่าป่านิเวศดั้งเดิม (ตารางที่ 4.24) จากผลการตรวจวัดดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการหายใจของส่วนใต้ดินของพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์กลุ่มผู้บริโภค ถูกปลดปล่อยออกจากป่านิเวศที่ปลูกใหม่สูงกว่าป่านิเวศดั้งเดิมและสนามหญ้า หรืออีกนัยหนึ่ง กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของดินในป่านิเวศที่ปลูกใหม่ สูงกว่าป่านิเวศดั้งเดิม สาเหตุหนึ่งน่าจะเกิดจากดินและสารอินทรียที่ใช้เตรียมแปลงในป่านิเวศที่ปลูกใหม่ ยังคงมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่องตั้งแต่เตรียมแปลงปลูกเมื่อกลางปี 2560 ในขณะที่ การย่อยสลายสารอินทรีย์ของดินในป่านิเวศดั้งเดิม อยู่ในสภาวะที่สมดุลส่งผลให้ NCER มีค่าต่ำ เนื่องจากป่านิเวศมีอายุมากกว่า 5 ปี

จิรัชญาและคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาอัตราการหายใจของดินในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 3 จุด คือ พุทธมณฑล คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอุทยานเบญจสิริ โดยทำการตรวจวัดทุกๆ สัปดาห์ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559 ผลการศึกษา พบว่า NCER ทั้ง 3 จุดตรวจวัด มีค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยอุทยานเบญจสิริ มีค่ามากที่สุด รองลงมา คือ พุทธมณฑล และคณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ตารางที่ 4.24) หากเปรียบเทียบกับผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่า NCER ของป่านิเวศที่ปลูกใหม่ มีค่าใกล้เคียงกับ NCER ของจุดตรวจวัดที่พุทธมณฑล และคณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แต่มีค่าต่ำกว่า NCER ของอุทยานเบญจสิริ ประมาณ 2 เท่า (ตารางที่ 4.24 และตารางที่ 4.25) ส่วน NCER ของป่านิเวศดั้งเดิม มีค่าต่ำกว่าอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับค่า NCER ของทั้ง 3 จุดตรวจวัด (ตารางที่ 4.24 และตารางที่ 4.25) นอกจากนี้ NCER ของป่านิเวศที่ปลูกใหม่ ยังมีค่าสูงกว่า NCER ในระบบนิเวศป่าชายเลน ซึ่งจีรนันท์ เพชรแก้วและคณะ (2014) ได้ศึกษาการหายใจของดินในระบบนิเวศป่าชายเลน จังหวัดเพชรบุรี และพบว่า อัตราการหายใจของดินมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.749 ถึง 1.676 μmol CO^2 $m^{-2}s^{-1}$

ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดินและ NCER ที่ทำการตรวจวัดทั้ง 4 จุดในบริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2560 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงฤดูกาล กล่าวคือ ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดินและ NCER มีค่าต่ำในช่วงเดือนธันวาคมซึ่งเป็นห้วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำสุดในรอบปี และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ ซึ่งตรงกับช่วงต้นของฤดูร้อน (ตารางที่ 4.24 และตารางที่ 4.25)

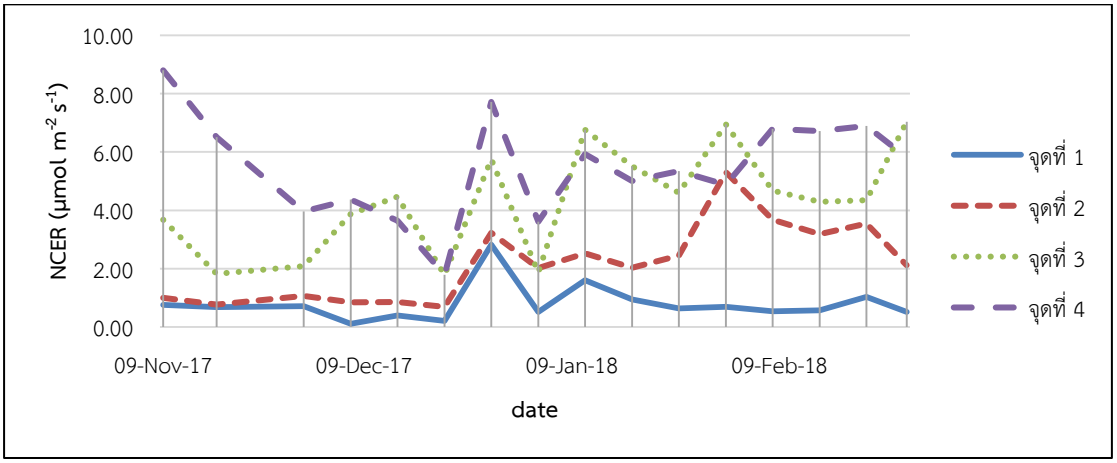
ตารางที่ 4.24 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER) และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แบบอ้างอิง (Cref) ของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

พื้นที่ศึกษา	NCER (μmol m^{-2} s^{-1})	Cref (ppm)
ป่านิเวศดั้งเดิม	0.80 ± 0.64	416.09 ± 12.42
สนามหญ้า	2.21 ± 1.33	406.79 ± 11.89
ป่านิเวศปลูกใหม่ บริเวณด้านหลังอาคารไดออกซินแห่งชาติ	4.35 ±1.79	411.36 ± 10.49
ป่านิเวศปลูกใหม่ บริเวณหน้าอาคารรัตนชาติ	5.49 ± 1.78	407.67 ± 10.84

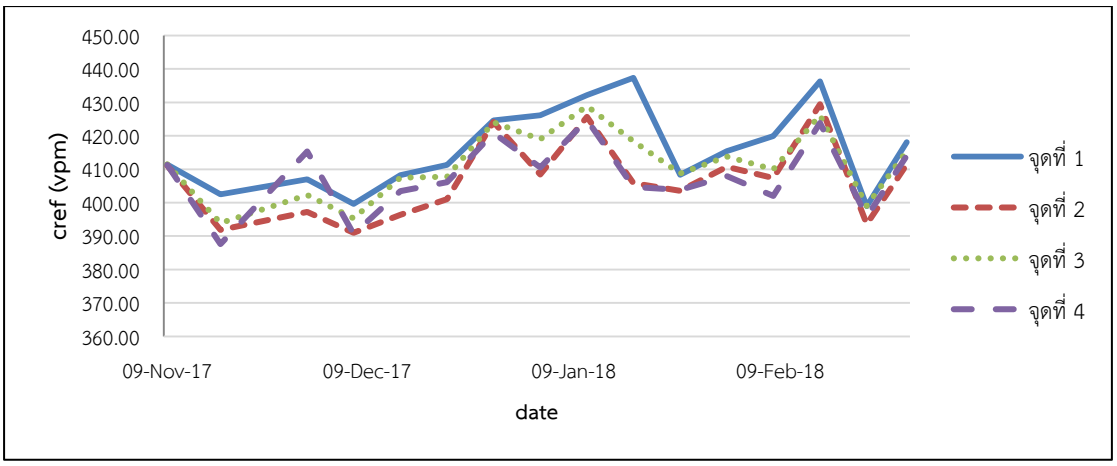
ตารางที่ 4.25 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER) และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แบบอ้างอิง (Cref) จากงานวิจัยอัตราการหายใจของดินบริเวณการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานคร

พื้นที่ศึกษา	NCER (μmol m^{-2} s^{-1})	Cref (ppm)
พุทธมณฑล	5.62 ± 0.69	398.50 ± 3.13
คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	3.89 ± 0.46	408.38 ± 11.50
อุทยานเบญจสิริ	9.96 ± 2.00	415.75 ± 6.50

ที่มา : จิรัชญา และคณะ (2559)



ภาพที่ 4.11 ค่าอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER)
หมายเหตุ : จุดที่ 1 หมายถึง ป่านิเวศดั้งเดิม จุดที่ 2 หมายถึง สนามหญ้า จุดที่ 3 หมายถึง ป่านิเวศปลูกใหม่ บริเวณด้านหลังอาคารไดออกซินแห่งชาติ และจุดที่ 4 หมายถึง ป่านิเวศปลูกใหม่ บริเวณหน้าอาคารรัตนชาติ



ภาพที่ 4.12 ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์แบบอ้างอิงที่เป็นความเข้มข้นของ CO_2 ในบรรยากาศเหนือพื้นดิน 3 เมตร (Cref)

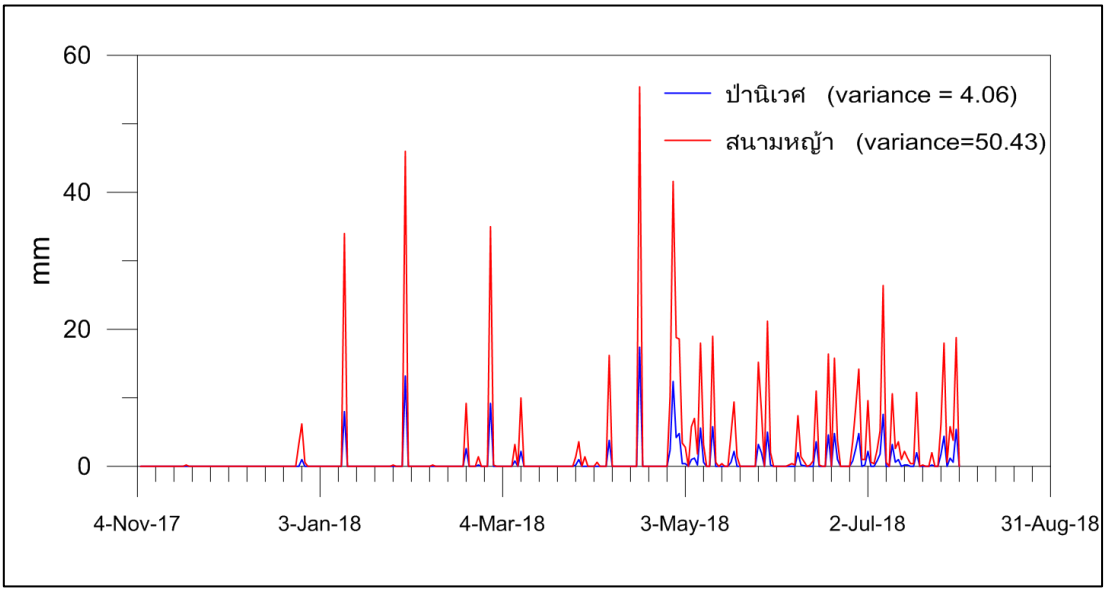
หมายเหตุ : จุดที่ 1 หมายถึง ป่านิเวศดั้งเดิม จุดที่ 2 หมายถึง สนามหญ้า จุดที่ 3 หมายถึง ป่านิเวศปลูกใหม่ บริเวณด้านหลังอาคารไดออกซินแห่งชาติ และจุดที่ 4 หมายถึง ป่านิเวศปลูกใหม่ บริเวณหน้าอาคารรัตนชาติ

4.2.2 การเปรียบเทียบตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาระหว่างป่านิเวศและสนามหญ้า

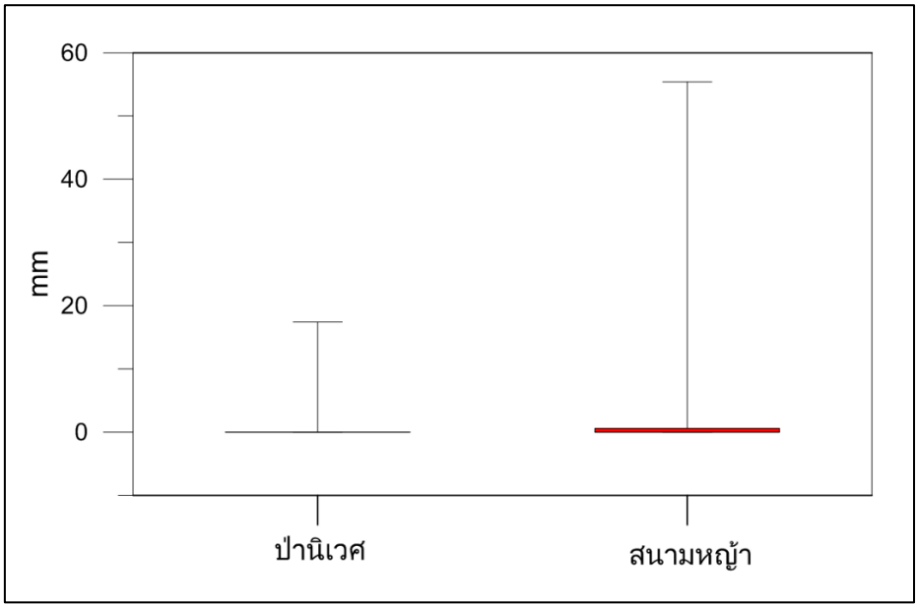
ผลการเก็บข้อมูลปริมาณฝนสะสมรายวันด้วยเครื่อง Weather Station ในช่วงระหว่างวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 – วันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ.2561 ในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้าของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า ปริมาณการสะสมน้ำฝนรายวันในพื้นที่สนามหญ้ามีค่าสูงกว่าป่านิเวศอย่างชัดเจน และมีความแตกต่างของปริมาณการสะสมน้ำฝนรายวันมากที่สุดในเดือนเมษายน พ.ศ.2561 (ภาพที่ 4.14) การสะสมของฝนที่มีปริมาณต่ำในพื้นที่ป่านิเวศ เนื่องจากใบ กิ่งก้านของต้นไม้ช่วยชะลอการตกสะสมของฝน และช่วยลดความแรงและขนาดของฝน เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่โล่งที่เป็นสนามหญ้า จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติเพิ่มเติม พบว่า ปริมาณฝนสะสมรายวันในพื้นที่ป่านิเวศ มีความแปรปรวนน้อยกว่าในพื้นที่สนามหญ้า มากกว่า 10 เท่า (ภาพที่ 4.13) นอกจากนี้ ผลการทดสอบทางสถิติด้วย Non-parametric Mann-Whitney U test (Wilcoxon, 1947) ยังยืนยันให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างปริมาณฝนสะสมรายวันในพื้นที่ป่านิเวศ สุ่มมาจากประชากรคนละกลุ่มกับตัวอย่างปริมาณฝนสะสมรายวันในสนามหญ้า โดย Box plot ซึ่งเปรียบเทียบค่าเปอร์เซนต์ไทล์ที่ 25 50 และ 75 ของปริมาณฝนสะสมรายวันระหว่างในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้าดังแสดงในภาพที่ 4.14

อย่างไรก็ตาม การศึกษาในครั้งนี้ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันและค่าความชื้นสัมพัทธ์ ระหว่างในพื้นที่ป่านิเวศและในบริเวณสนามหญ้า (ภาพที่ 4.15 - 4.18) ทั้งนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ป่านิเวศ มีค่าต่ำกว่าบริเวณสนามหญ้า เล็กน้อย และความแปรปรวนของอุณหภูมิเฉลี่ยรายวันและค่าความชื้นสัมพัทธ์ในพื้นที่ป่านิเวศมีค่าต่ำกว่าสนามหญ้าเล็กน้อย เช่นกัน (ภาพที่ 4.15 - 4.18) ผลการทดสอบทางสถิติด้วย Non-

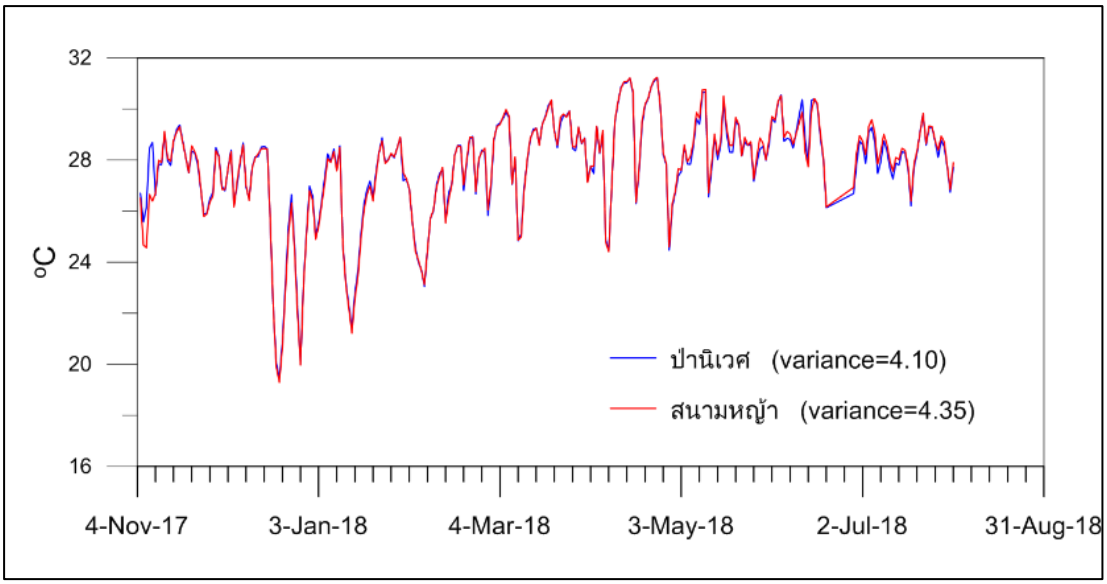
parametric Mann-Whitney U test แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างปริมาณฝนสะสมรายวันในพื้นที่ป่านิเวศ สุ่มมาจากประชากรเดียวกันกับกลุ่มตัวอย่างปริมาณฝนสะสมรายวันในสนามหญ้า โดยค่าเปอร์เซนต์ไทล์ที่ 50 หรือค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่ม ดังแสดงใน Box plot (ภาพที่ 4.17 และ 4.18) มีค่าใกล้เคียงกัน



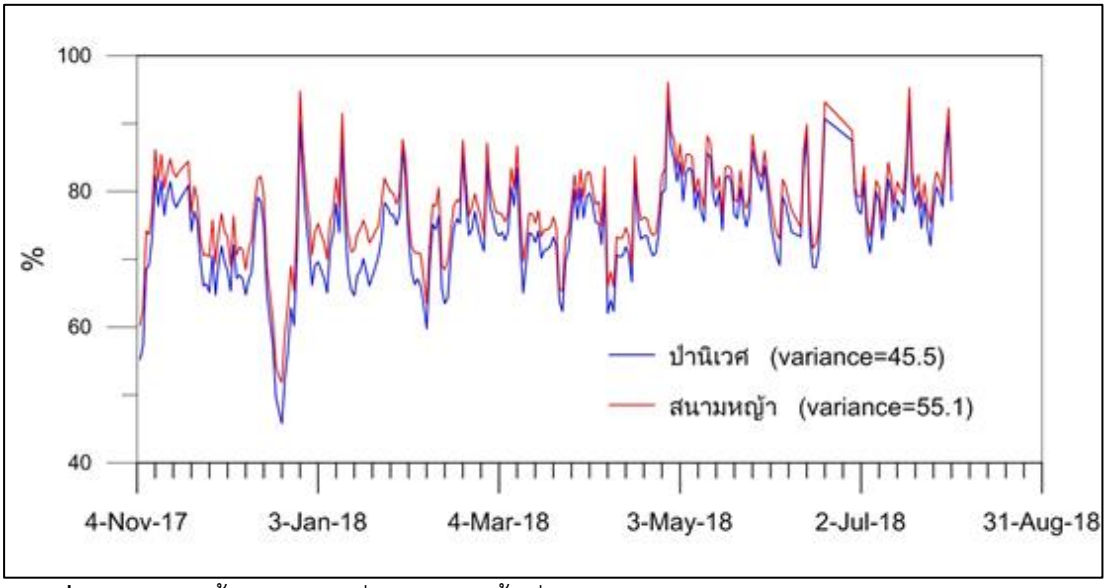
ภาพที่ 4.13 การกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า



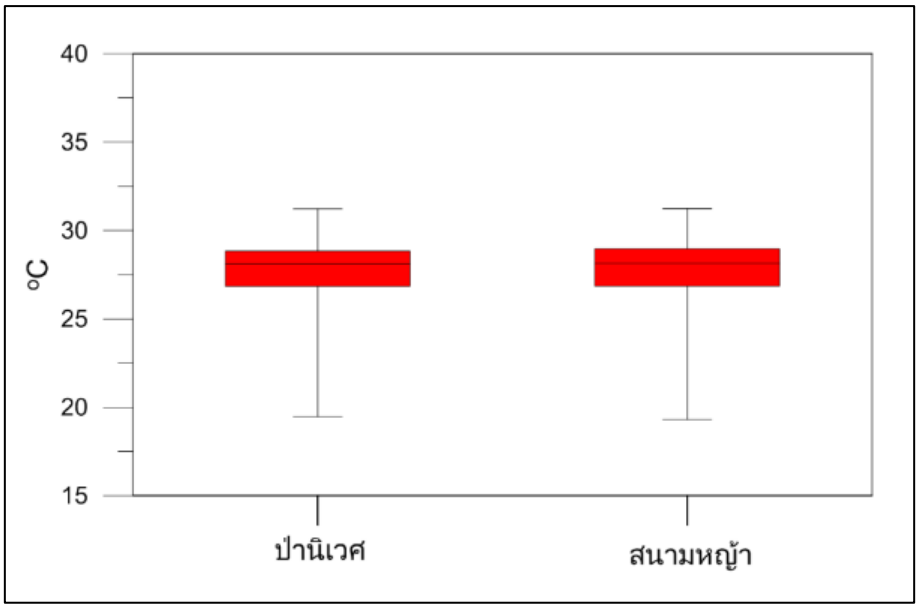
ภาพที่ 4.14 Box plot เปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนสะสมรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า



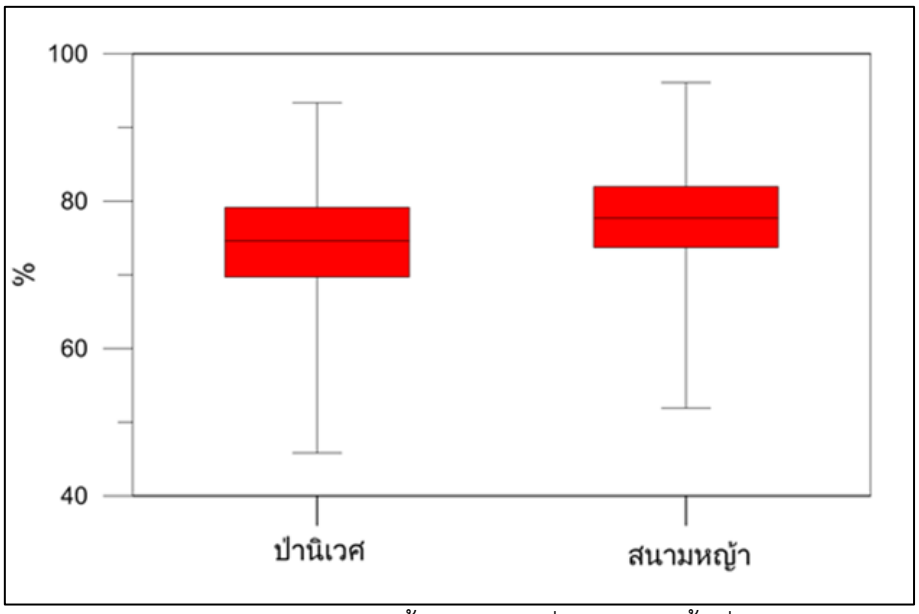
ภาพที่ 4.15 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า



ภาพที่ 4.16 ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า



ภาพที่ 4.17 Box plot เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า



ภาพที่ 4.18 Box plot เปรียบเทียบค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

5.1 วิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า

การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่า เป็นการรวบรวมสมการแอลโลเมตรีและค่าสัมประสิทธิ์ของป่าและพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ ที่มีการศึกษาทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อนำมาคัดเลือกสมการแอลโลเมตรีที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การประมาณค่า (R^2) พร้อมทั้งจัดทำโครงสร้างของวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าผ่านกระบวนการประชุมรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นได้พัฒนาเป็นวิธีการที่สามารถใช้คำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอน ให้เป็นเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้ง่าย โดยใช้ข้อมูลความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก เลือกคำนวณด้วยประเภทป่าหรือชนิดพันธุ์และใส่ข้อมูลลงในวิธีการคำนวณฯ และรายงานผลปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ทั้งนี้ได้ดำเนินการทดสอบใช้งานวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่านิเวศของศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม โดยวัดความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นตะเคียนทอง จำนวน 57 ต้น ผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่า ต้นตะเคียนทองดังกล่าวมีการกักเก็บคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 73,130.95 กิโลกรัม อย่างไรก็ตาม ค่าการกักเก็บคาร์บอนที่ได้ควรมีการศึกษาและตรวจสอบความแม่นยำเพิ่มเติม

จากการพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนและการทดลองใช้งาน มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมคือ

1) สมการแอลโลเมตรีที่คัดเลือกส่วนใหญ่เป็นสมการแอลโลเมตรีที่ศึกษามาจากป่าธรรมชาติ แต่วัตถุประสงค์ของการพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนถูกนำมาใช้เพื่อการประเมินป่านิเวศในเมือง ซึ่งอาจจะไม่ครอบคลุมและไม่ตรงตามชนิดพันธุ์ของต้นไม้ ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงหรือพัฒนาเพิ่มเติม

2) วิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าที่พัฒนาขึ้นต้องเก็บข้อมูลรายต้น แต่ในขณะที่การใช้งานจริงต้องเก็บข้อมูลรายแปลงซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นควรศึกษาและพัฒนาวิธีการสุ่มตัวอย่างรายแปลงโดยใช้วิธีการศึกษาจากหน่วยงานต่าง ๆ เช่น กรมป่าไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)

3) ควรนำวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้และป่าไปใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงข้อจำกัดของการใช้งานและสามารถปรับปรุงให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

5.2 การศึกษาเบื้องต้นถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนและตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ป่านิเวศและสนามหญ้า

5.2.1 ป่านิเวศปลูกใหม่ในพื้นที่ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อมมีอัตราการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิ (NCER) ที่เกิดจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหายใจของดินได้ดีกว่าป่านิเวศดั้งเดิมที่มีอายุมากกว่า 5 ปี (ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.80 – 5.49 $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) เนื่องจากดินและสารอินทรีย์ที่ใช้เตรียมแปลงในป่านิเวศปลูกใหม่ ยังคงมีการย่อยสลายของสารอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง แต่พื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิมนั้นอยู่ในภาวะสมดุล เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น ๆ พบว่า NCER ของป่านิเวศปลูกใหม่ มีค่าใกล้เคียงกับ NCER ที่ตรวจวัดบริเวณพุทธมณฑลและคณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2 ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเหนือพื้นดิน (Cref) ในพื้นที่บริเวณศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 406.79 - 416.09 ppm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคาร์บอนไดออกไซด์ในเขตเมือง นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น ๆ พบว่า ค่า Cref ในพื้นที่ศูนย์วิจัย ฯ มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดที่คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอุทยานเบญจสิริ แต่มีค่าสูงกว่าค่าที่ตรวจวัดที่พุทธมณฑล

5.2.3 เพื่อให้การศึกษากระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในป่านิเวศมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ดังนั้น ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1) ตรวจวัดและเก็บข้อมูลตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการแลกเปลี่ยนคาร์บอนในหลายช่วงเวลาทั้งในกลางวันและกลางคืนเพื่อให้เห็นลักษณะการผันแปรเชิงเวลา

2) ศึกษาและเก็บข้อมูลอัตราการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดินด้วยวิธี Closed Chamber แบบทึบแสง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ไม่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและการสังเคราะห์แสงของพืช

3) ศึกษากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์แสงและการหายใจในส่วนเหนือดินของพืชเพิ่มเติม

4) ศึกษาคุณลักษณะดิน วิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนละลายน้ำในดิน อินทรียวัตถุในดิน ความเป็นกรด-ด่างของดิน เนื้อดิน และแบคทีเรีย

5.2.4 การศึกษาตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาระหว่างพื้นที่ป่านิเวศดั้งเดิมและสนามหญ้า พบว่าปริมาณฝนสะสมรายวันในพื้นที่สนามหญ้ามีค่าสูงกว่าป่านิเวศดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยป่านิเวศสามารถลดความรุนแรงและความแปรปรวนของฝนได้ ในส่วนของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและควรเปรียบเทียบกับผลการศึกษาอื่น ๆ

เอกสารอ้างอิง

เกษราภรณ์ อุ่นเกิด. 2557. **การประเมินมูลค่าคาร์บอนที่กักเก็บในไม้ยืนต้นของป่าชุมชนเขาวง จังหวัดชัยภูมิ.** วารสารวนศาสตร์, 34 (1) , 29-38. กรุงเทพฯ : คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ขนิษฐา เสถียรพีระกุล, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และสมชาย นองเนือง 2554. **การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินสวนป่าสนสามใบพื้นที่ต้นน้ำภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่.** เอกสารงานวิจัยนำเสนอในการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50 : กู้วิกฤติธรรมชาติ สร้างโอกาสเกษตรไทย ก้าวไกลสู่อาเซียน. วันที่ 31 มกราคม – 2 กุมภาพันธ์ 2555.

คณะวนศาสตร์. 2554. **คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้.** อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 88 หน้า.

จิรัชญา สุวรรณพงศ์, ดงกมล ทองหิรัญ, และวชิราภรณ์ ชามน้อย. 2559. **อัตราการหายใจของดินบริเวณการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพมหานคร.** : กรุงเทพฯ. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.

จีรนันท์ เพชรแก้ว. 2557. การหายใจของดินในป่าแสมทะเล Avicennia marina (Forsk.) Vierh. จังหวัดเพชรบุรี. กรุงเทพฯ. คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชมพูนุช แสนภพ 2554. **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนสันติภาพกรุงเทพมหานคร.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารจัดการป่าไม้และสิ่งแวดล้อม), สาขาวิชาการบริหารทรัพยากรป่าไม้และสิ่งแวดล้อม, โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 94 หน้า.

ชัญษา กันฉิ่ง, ณัฐพงษ์ ฟองมณี , ปาริฉัตร ประพัฒน์, สิทธิศักดิ์ ปิ่นมงคลกุล, เกื้อกูล กุสสลานุภาพ และ บัณฑิตา ใจปินตา. 2559. **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพืชที่มีเนื้อไม้ป่าชุมชนห้วยข้าวก่ำ อำเภอจุน จังหวัดพะเยา.** เอกสารงานวิจัยนำเสนอในการประชุมวิชาการการบริหารจัดการความหลากหลายทางชีวภาพแห่งชาติ ครั้งที่ 3. วันที่ 15-17 มิถุนายน 2559, โรงแรม ดิ อิมเพรส น่าน จังหวัดน่าน.

ชิงชัย วิริยะบัญชา และกันตินันท์ ผิวสะอาด. 2554. **การปรับสมการเพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสักในประเทศไทย.** สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 31 หน้า.

ชิงชัย วิริยะบัญชา, วิโรจน์ รัตนพรเจริญ และภาณุมาศ ลาดปาละ. 2560. **สมการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพันธุ์ไม้รองบางชนิดในพื้นที่ป่าธรรมชาติ.** เอกสารประกอบการบรรยายที่คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. วันที่ 20 มกราคม 2560.

ชิงชัย วิริยะบัญชา, วิโรจน์ รัตนพรเจริญ, จตุพร มังคลารัตน์ และประสิทธิ์ เพียรอนุรักษ์. 2547. **มวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้มีค่าทางเศรษฐกิจบางชนิดเพื่อประมาณการ**

สะสมธาตุคาร์บอนในสวนป่า. เอกสารงานวิจัยนำเสนอในการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ : ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. ณ โรงแรมมารวย การ์เด้น กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 16 – 17 สิงหาคม 2547. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช.

ชิงชัย วิริยะบัญชา. 2553. **ความสัมพันธ์ด้านความสูงของเรือนยอดหมู่ไม้กับปริมาณมวลชีวภาพของป่าธรรมชาติและป่าปลูกเพื่อการประเมินการสะสมคาร์บอนในพื้นที่.** เอกสารประกอบการประชุมในงาน “การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2553” (Thailand Research Expo 2010) ระหว่างวันที่ 26-30 สิงหาคม 2553 ณ ศูนย์ประชุมบางกอกคอนเวนชันเซ็นเตอร์เซ็นทรัลเวิลด์ราชประสงค์ กรุงเทพฯ.

ณิชาภัทร์ ดวงทิพย์. 2558. **การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปกปักอนุรักษ์พันธกุรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ) บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์**. พิษณุโลก : วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ณิชาภัทร์ ดวงทิพย์, ปวีณา ไกรวิจิตร และ เสวียน เปรมประสิทธิ์ (2559). **การกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าปกปักอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี (อพ.สธ) บริเวณเขื่อนสิริกิติ์ จังหวัดอุตรดิตถ์.** เอกสารงานวิจัยนำเสนอในการประชุม นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 12: วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ. วันที่ 21 – 22 กรกฎาคม 2559 ณ อาคารเอกาทศรถ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.

ธิติ วิสารัตน์ และชลธิดา เชิญขุนทด. 2547. **องค์ประกอบของชนิดพันธ์พืชและปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในป่าดิบแล้ง.** ในเอกสารการประชุม “การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ” ณ โรงแรมรามาการ์เด้น กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 16-17 สิงหาคม 2547.

นาฏสุดา ภูมิจำนงค์. 2547. แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกภาคป่าไม้และกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโต. **เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ” ณ โรงแรมมารวย การ์เด้น กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 16-17 สิงหาคม 2547.** กรุงเทพฯ : กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช.

บริษัท หัวกะทิ รีมิกซ์ ดีไซด์. 2561. **การพัฒนาวิธีการคานวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่านิเวศและป่าในเมืองจากฐานข้อมูลต้นไม้และชุดการคานวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกจากขยะชุมชน.**

เบญจวรรณ คำรศ, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, กอบศักดิ์ วันธงไชย และอรนุช นิลเขต 2556. **การกักเก็บคาร์บอนในป่าผลัดใบที่มีความถี่ของไฟแตกต่างกันบริเวณเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี.** วารสารวนศาสตร์, 32, 133-141.

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, ดุริยะ สถาพร และ เจด็จ รัตนแก้ว. 2551. **การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร.** รายงานวิจัย. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

พงษ์เทพ หาญพัฒนากิจ. 2557. **การทบทวนวิธีการศึกษาผลผลิตและการย่อยสลายเศษซากชีวมวลในวัฏจักรคาร์บอนต่อการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในป่าเขตเส้นศูนย์สูตร.** วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 6 ฉบับที่ 12 กรกฎาคม - ธันวาคม 2557.

มานพ อิสสะรีย์. 2525. **ผลผลิตขั้นปฐมภูมิของสังคมพืชในไร่ร้าง ณ สถานีวิจัยสิ่งแวดล้อมสะแกราช อำเภอปักธงชัย จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยำลัยเกษตรศาสตร์.

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ร่วมกับสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (มปป.)**โครงการนำร่องแนวคิดใหม่สู่การเป็นเมืองสีเขียว ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ภายใต้ Green City Chiangmai Thailand** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://www.greencity.mju.ac.th/greencity/subject/green/green_type.htm)

เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์, ศศิธร พ่วงปาน และพิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์. 2555. **ความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีสำหรับประมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือดินและใต้ดินของกล้าไม้วงศ์ยาง.** วารสารพฤกษศาสตร์ไทย, 4 (ฉบับพิเศษ), 37-46.

วรรณพร แป้นนวล, กาญจน์เขจร ชูชีพ วิพักตร์ จินตนา. 2558. **การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าพรุควนเคร็งหลังจากเกิดไฟป่าอย่างรุนแรง เมื่อปี พ.ศ. 2555 ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม.** วารสารวนศาสตร์, 34 (1), 16-28.

วราภรณ์ อุ่นบ้าน 2558. **การพัฒนาสมการมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสัก และยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส ในประเทศไทย.** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวนวัฒน์), สาขาเทคโนโลยีวนวัฒน์, ภาควิชาวนวัฒนวิทยา, คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 138 หน้า.

วสันต์ จันทร์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์ 2553. **การกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังและสวนป่ายูคาลิปตัส ณ สวนป่ามัญจาคีรี จังหวัดขอนแก่น.** วารสารวนศาสตร์, 29 (3), 36-44.

วิสุทธิ์ สุวรรณาภินันท์, พงษ์ศักดิ์ สหุนาพุ, ปรีชา ธรรมานนท์ และอนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2526. **ผลผลิตของป่าไผ่รวก หินลับ กาญจนบุรี.** วารสารวนศาสตร์, 2 (2), 114-134.

ฤกษ์พงษ์ โคตรมา, รุ่งเรือง พูลศิริ และมะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันติ์. 2559. **มวลชีวภาพเหนือดิน และปริมาณธาตุอาหารในไม้อะเคเซียลูกผสมสายต้นต่างๆ ที่ปลูกในดินเสื่อมโทรม จังหวัดกาญจนบุรี.** วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 34 (2), 21-30.

ศศิธร พ่วงปาน. 2555. **พัฒนาการของวิธีแอลโลเมตรีเพื่อการประมาณมวลชีวภาพของป่าไม้.** วารสารการจัดการป่าไม้ 6(12) : 64-72 (2555).

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ. 2552. การเก็บและกักคาร์บอนไดออกไซด์. วารสาร Eugineering Today ปีที่ 7 ฉบับที่ 78 มิถุนายน 2552 หน้า 50-52. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรมหาวิทยาลัย.

ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. 2561. **คู่มือปลูกป่านิเวศ ฉบับประชาชน.** : กรุงเทพฯ. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.

ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2547. **รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร โครงการจัดทำมาตรการในการเพิ่มและการจัดการพื้นที่สีเขียวในเขตชุมชนอย่างยั่งยืน.** กรุงเทพฯ : คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สายรุ้ง แววตุ. 2558. **ประสิทธิภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและพื้นที่สีเขียวในเขตชนบท**. วิทยาศาสตร์ มข. 43. 3 : 446-458**.**

สิรินทร์ แก้วละเอียด และอนงค์ ชานะมูล, 2560. **การสร้างป่านิเวศ (Eco Forest) ณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม**. Green Research 14, 36: 1-5

สมชาย นองเนือง, สุนทร คำยอง, เกียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และนิวัติ อนงค์รักษ์. 2553. **ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพของป่าดิบเขาที่เหลือเป็นหย่อมบนพื้นที่ต้นน้ำสูง.** หน่วยจัดการต้นน้ำบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่. ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 6. ระหว่างวันที่ 1-2 สิงหาคม 2553. จังหวัดพิษณุโลก.

สมศักดิ์ สุขวงศ์, ทวี แก้วละเอียด, และสุภาภรณ์ วรพรรณ. 2556. **คู่มือการสำรวจประเมินสภาพป่าและคาร์บอนอย่างง่าย.** กรุงเทพ.

ส่วนพัฒนาวนศาสตร์ชุมชน สำนักจัดการป่าชุมชน กรมป่าไม้ 2557. **คู่มือการสำรวจการกักเก็บคาร์บอนและความหลากหลายทางชีวภาพในป่าชุมชน**. 84 หน้า.

สถิตย์ วัชรกิตติ. 2525. **การสำรวจทรัพยากรป่าไม้**. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สาพิศ ร้อยอำแพง. 2533. **ผลผลิตมวลชีวภาพของไม้ไผ่พื้นเมือง 4 ชนิด.** ภาควิชาวนยวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุภา ศิรินามและวรวุฒิ ประสิทธิวุฒิศักดิ์. 2559. **ปลูกป่าลดภาวะโลกร้อนได้จริงหรือ? Does afforestation reduce global warming?.** สมุทรปราการ : วารสารคณะ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559

สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2557. **ชุดเรียนรู้โลกร้อน เรดด์พลัส และสิ่งแวดล้อมป่าไม้ ลำดับที่ 2 "การสำรวจและประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่า"**. http://www.dnp.go.th/environment.

สุนันทา ขจรศรีชล. 2531. **ลักษณะทางนิเวศวิทยาบางประการของป่าสนธรรมชาติ บริเวณโครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 134 หน้า.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2560. **แผนที่นำทางการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศ ปี พ.ศ. 2564 – 2573 (Thailand's Nationally Determined Contribution Roadmap on Mitigation 2021 -2030).** กรุงเทพฯ : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สำนักสิ่งแวดล้อมชุมชนและพื้นที่เฉพาะ. 2560. **พื้นที่สีเขียว วิถีชีวิตคนเมือง.** กรุงเทพฯ : สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2559. **คู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทยสาขาป่าไม้และการเกษตร.** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : http://ghgreduction.tgo.or.th/t-ver. 68 หน้า.

อริสา สาดิษฐ์ และ ปิยะกาญจน์ เที้ยธิทรัพย์. 2560. **การกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่สวนสาธารณะในกรุงเทพมหานคร: กรณีศึกษาสวนลุมพินี. เอกสารงานวิจัยนำเสนอในการประชุม การป่าไม้ ประจำปี 2560.** วันที่ 5 – 7 กันยายน 2560, โรงแรม มิราเคิล แกรนด์ คอนเวนชั่น, กรุงเทพมหานคร.

อำไพ พรลีแสงสุวรรณ์, สมชาย นองเนือง, พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ, และสาโรจน์ วัฒนสุขสกุล. 2556. **การประมาณมวลชีวภาพและการเก็บกักคาร์บอนในสวนป่าไม้สนคาริเบียอายุ 18 ปี.** เอกสารงานวิจัยนำเสนอในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิชาการเครือข่ายงานวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้ประเทศไทย ครั้งที่ 2. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, จังหวัดเชียงใหม่, วันที่ 24-26 มกราคม พ.ศ. 2556.

อิทธิพงศ์ วรรณลังกา, รุ่งเรือง พูลศิริ และลดาวัลย์ พวงจิตร 2558. **มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในสวนไผ่ 4 ชนิด ที่มีลำอายุต่างกัน ณ สถานีหลวงเกษตรอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่.** วารสารวนศาสตร์, 34 (1), 65-75.

อรรถชัย จินตเวช. 2547. **การสะสมคาร์บอน.** คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). 2559. **คู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลด**

ก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทยสาขาป่าไม้และการเกษตร. กรุงเทพฯ : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

โครงการจัดทาบัญชีก๊าซเรือนกระจกพื้นที่สวนป่าองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้สำนักนวัตกรรมไม้เศรษฐกิจ. 2553. องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

Chan, N., Takeda, S., Suzuki, R., Yamamoto, S. 2013. **Establishment of allometric models and estimation of biomass recovery of swidden cultivation fallows in mixed deciduous forests of the Bago Mountains**, Myanmar. For. Ecol. Manage. 304, 427–436.

Dalia Feizie, Virmantas Povilaitis and Grazina Kadziene. 2008. **Springtime Soil Serface Respiratio and Soil Vapour Flux in Different long-term agro-ecosystems**. EKOLOGIJA. Vol.54. No.4. P.216-225.

IPCC 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme**, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Komiyama, A., Ogino, K., Aksornkoae, S. and Sabhasri, S. 1987. **Root biomass of mangrove forest in southern Thailand: 1. Estimation by the trench method and the zonal structure of root biomass.** Journal of Tropical Ecology, 3, 97–108.

Kutintara, U., Marod, D., Takahashi, M. and Nakashizuka, T. 1995. **Growth and dynamics of bamboos in a tropical seasonal forest. In Proceedings of the International Workshop on "The Changes of Tropical Forest Ecosystems by EL Nino and Others",** Bangkok, Japan Science & Technology Agency + National Research Council of Thailand + Japan International Science & Technology Exchange Center, p.125-139.

Ogawa, H., Yoda, K., Ogino, K. and Kira. T. 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.

Ratchata Phochayavanich 2014. **Species diversity and above ground carbon stock of trees in forest patches at Khon Kaen University, Nong Khai Campus**. KKU Science Journal 42(4), 792-805.

Tsutsumi T., Yoda, K., Sahunalu, P., Dhanmanonda, P. and Prachaiyo, B. 1983. **Forest : Felling, Burning and Regeneration. In Shifting cultivation. An experiment at NamPhrom**,

Thailand and its implications for upland farming in the monsoon Tropics. Edited by K. kyuma and C. Pairintra. p. 13-62.

European Commission DG ENV. 2011. **Restoring Mediterranean forests with the Miyawaki method** [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : https://web.archive.org/web/20120511111500/http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/237na4.pdf

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การประชุมรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ
เรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

การประชุมรับฟังข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ เรื่อง การพัฒนาวิธีการคำนวณและประมวลผลการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2561 ณ โรงแรมอมารีดอนเมืองกรุงเทพมหานคร

ภาคผนวก ข

การอบรม เรื่อง เทคนิคการเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนในป่านิเวศ

การอบรม เรื่อง เทคนิคการเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนในป่านิเวศ
ในวันอังคารที่ 19 มิถุนายน 2561
ณ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

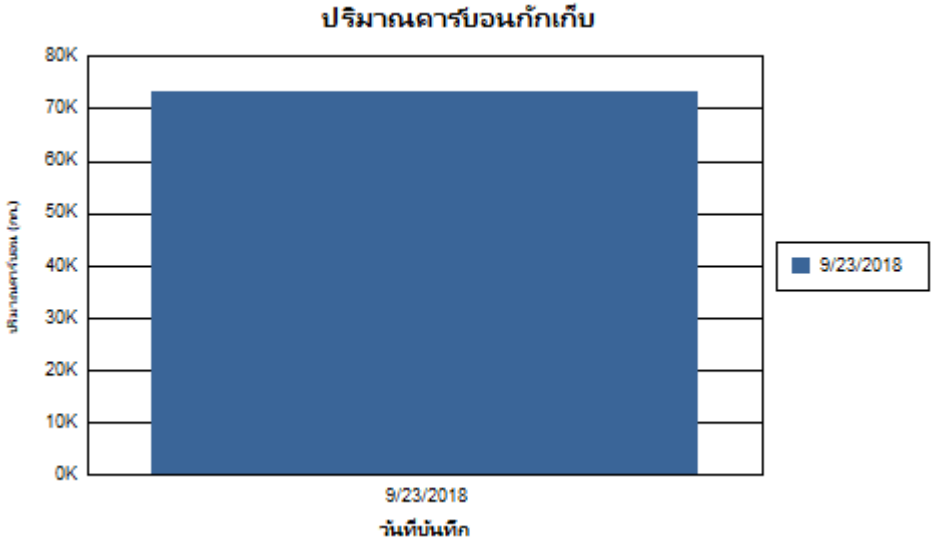
การอบรม เรื่อง เทคนิคการเก็บตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนในป่านิเวศ
ในวันพฤหัสบดีที่ 21 มิถุนายน 2561
ณ ศูนยวิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม

ภาคผนวก ค

การกักเก็บคาร์บอนรายต้นของต้นตะเคียนทอง จำนวน 57 ต้น

ภาคผนวก ง

คู่มือการวางแปลงตัวอย่างในพื้นที่ป่า และการวัดขนาดและความสูงของต้นไม้



9/23/2018

วันที่บันทึก	ID	ต้น	เส้นผ่านศูนย์กลาง เพียงอก (ซม.)	ความสูง (ม.)	ต้น (กก.)	กิ่ง (กก.)	ใบ (กก.)	ราก (กก.)	ทั้งหมด (กก.)	มวลชีวภาพ เหนือดิน (กก.)	มวลชีวภาพ ใต้ดิน (กก.)	คาร์บอน (กก.)
9/23/2018												
9/23/2018	534	ตะเคียนทอง	52.00	13.30	988.15	189.81	1,005.23	2,096.42	4,279.61	2,183.19	2,096.42	2,011.42
9/23/2018	535	ตะเคียนทอง	50.00	16.90	1,164.62	224.71	1,224.12	2,496.54	5,109.99	2,613.45	2,496.54	2,401.70
9/23/2018	536	ตะเคียนทอง	38.00	10.20	397.57	74.50	337.44	796.42	1,605.93	809.51	796.42	754.79
9/23/2018	534	ตะเคียนทอง	52.00	13.30	988.15	189.81	1,005.23	2,096.42	4,279.61	2,183.19	2,096.42	2,011.42
9/23/2018	535	ตะเคียนทอง	50.00	16.90	1,164.62	224.71	1,224.12	2,496.54	5,109.99	2,613.45	2,496.54	2,401.70
9/23/2018	536	ตะเคียนทอง	38.00	10.20	397.57	74.50	337.44	796.42	1,605.93	809.51	796.42	754.79
9/23/2018	538	ตะเคียนทอง	46.00	14.90	864.03	165.36	855.81	1,817.65	3,702.85	1,885.20	1,817.65	1,740.34
9/23/2018	539	ตะเคียนทอง	29.00	8.30	185.64	34.07	135.41	354.44	709.56	355.12	354.44	333.49
9/23/2018	540	ตะเคียนทอง	64.00	8.40	944.55	181.21	952.28	1,998.21	4,076.25	2,078.04	1,998.21	1,915.84
9/23/2018	544	ตะเคียนทอง	23.00	8.60	119.96	21.76	80.23	222.83	444.78	221.95	222.83	209.05
9/23/2018	545	ตะเคียนทอง	32.20	10.90	303.46	56.44	244.09	597.63	1,201.62	603.99	597.63	564.76
9/23/2018	546	ตะเคียนทอง	64.00	17.70	2,020.03	395.66	2,369.08	4,483.22	9,267.99	4,784.77	4,483.22	4,355.96
9/23/2018	547	ตะเคียนทอง	36.00	17.20	606.69	115.00	560.09	1,248.14	2,529.92	1,281.78	1,248.14	1,189.06
9/23/2018	548	ตะเคียนทอง	35.00	10.90	359.72	67.22	299.30	716.06	1,442.30	726.24	716.06	677.88
9/23/2018	549	ตะเคียนทอง	23.80	7.50	111.87	20.25	73.78	206.88	412.78	205.90	206.88	194.01
9/23/2018	550	ตะเคียนทอง	34.00	10.80	335.90	62.65	275.69	665.75	1,339.99	674.24	665.75	629.80
9/23/2018	551	ตะเคียนทอง	27.00	7.80	150.61	27.48	105.38	283.79	567.26	283.47	283.79	266.61
9/23/2018	552	ตะเคียนทอง	36.40	6.50	230.00	42.46	175.07	445.11	892.64	447.53	445.11	419.54
9/23/2018	553	ตะเคียนทอง	33.00	9.90	289.21	53.72	230.41	567.85	1,141.19	573.34	567.85	536.36
9/23/2018	556	ตะเคียนทอง	59.00	15.00	1,445.39	280.53	1,585.93	3,140.88	6,452.73	3,311.85	3,140.88	3,032.78
9/23/2018	558	ตะเคียนทอง	51.40	18.00	1,313.95	254.36	1,414.63	2,838.15	5,821.09	2,982.94	2,838.15	2,735.91
9/23/2018	559	ตะเคียนทอง	57.00	17.90	1,613.33	314.07	1,809.34	3,530.20	7,266.94	3,736.74	3,530.20	3,415.46
9/23/2018	560	ตะเคียนทอง	29.00	5.90	131.07	23.83	89.21	244.82	488.93	244.11	244.82	229.80

9/23/2018

วันที่บันทึก	ID	ต้น	เส้นผ่านศูนย์กลาง เพียงอก (ซม.)	ความสูง (ม.)	ต้น (กก.)	กิ่ง (กก.)	ใบ (กก.)	ราก (กก.)	ทั้งหมด (กก.)	มวลชีวภาพ เหนือดิน (กก.)	มวลชีวภาพ ใต้ดิน (กก.)	คาร์บอน (กก.)
9/23/2018	561	ตะเคียนทอง	23.00	8.60	119.96	21.76	80.23	222.83	444.78	221.95	222.83	209.05
9/23/2018	562	ตะเคียนทอง	32.00	13.70	378.31	70.79	317.94	755.47	1,522.51	767.04	755.47	715.58
9/23/2018	563	ตะเคียนทอง	27.20	7.90	154.89	28.29	108.98	292.38	584.54	292.16	292.38	274.73
9/23/2018	564	ตะเคียนทอง	28.00	8.50	177.06	32.45	127.95	337.06	674.52	337.46	337.06	317.02
9/23/2018	565	ตะเคียนทอง	53.00	6.80	518.27	97.82	463.71	1,055.71	2,135.51	1,079.80	1,055.71	1,003.69
9/23/2018	566	ตะเคียนทอง	41.60	12.70	598.00	113.31	550.49	1,229.14	2,490.94	1,261.80	1,229.14	1,170.74
9/23/2018	567	ตะเคียนทอง	33.80	11.30	347.56	64.89	287.20	690.35	1,390.00	699.65	690.35	653.30
9/23/2018	568	ตะเคียนทอง	68.00	18.30	2,365.00	465.22	2,862.02	5,301.26	10,993.50	5,692.24	5,301.26	5,166.94
9/23/2018	569	ตะเคียนทอง	38.40	16.00	642.84	122.04	600.35	1,327.36	2,692.59	1,365.23	1,327.36	1,265.52
9/23/2018	570	ตะเคียนทอง	54.00	15.00	1,206.53	233.02	1,277.12	2,592.14	5,308.81	2,716.67	2,592.14	2,495.14
9/23/2018	571	ตะเคียนทอง	38.00	15.00	589.17	111.59	540.76	1,209.87	2,451.39	1,241.52	1,209.87	1,152.15
9/23/2018	572	ตะเคียนทอง	33.00	14.20	417.82	78.40	358.15	839.60	1,693.97	854.37	839.60	796.17
9/23/2018	573	ตะเคียนทอง	58.00	16.30	1,519.34	295.29	1,683.71	3,311.98	6,810.32	3,498.34	3,311.98	3,200.85
9/23/2018	574	ตะเคียนทอง	27.80	12.30	254.37	47.09	197.54	495.40	994.40	499.00	495.40	467.37
9/23/2018	575	ตะเคียนทอง	30.60	10.50	263.26	48.78	205.85	513.84	1,031.73	517.89	513.84	484.91
9/23/2018	577	ตะเคียนทอง	42.00	9.20	438.91	82.46	379.93	884.73	1,786.03	901.30	884.73	839.43
9/23/2018	579	ตะเคียนทอง	72.00	8.90	1,274.02	246.42	1,363.23	2,746.54	5,630.21	2,883.67	2,746.54	2,646.20
9/23/2018	580	ตะเคียนทอง	30.00	7.80	186.72	34.27	136.35	356.63	713.97	357.34	356.63	335.57
9/23/2018	584	ตะเคียนทอง	44.60	14.00	761.30	145.20	735.30	1,588.79	3,230.59	1,641.80	1,588.79	1,518.38
9/23/2018	585	ตะเคียนทอง	31.80	11.70	317.98	59.22	258.15	628.07	1,263.42	635.35	628.07	593.81
9/23/2018	586	ตะเคียนทอง	33.60	11.90	361.98	67.65	301.55	720.84	1,452.02	731.18	720.84	682.45
9/23/2018	587	ตะเคียนทอง	40.00	14.30	623.04	118.18	578.24	1,283.92	2,603.38	1,319.46	1,283.92	1,223.59
9/23/2018	588	ตะเคียนทอง	44.00	9.60	504.01	95.05	448.45	1,024.85	2,072.36	1,047.51	1,024.85	974.01
9/23/2018	590	ตะเคียนทอง	60.00	12.80	1,272.39	246.10	1,361.15	2,742.82	5,622.46	2,879.64	2,742.82	2,642.56
9/23/2018	592	ตะเคียนทอง	37.80	8.00	307.00	57.12	247.50	605.03	1,216.65	611.62	605.03	571.83
9/23/2018	593	ตะเคียนทอง	20.80	8.00	90.77	16.34	57.43	165.67	330.21	164.54	165.67	155.20
9/23/2018	594	ตะเคียนทอง	50.00	14.90	1,024.23	196.93	1,049.39	2,177.87	4,448.42	2,270.55	2,177.87	2,090.76
9/23/2018	595	ตะเคียนทอง	47.00	14.50	878.07	168.12	872.50	1,849.05	3,767.74	1,918.69	1,849.05	1,770.84
9/23/2018	597	ตะเคียนทอง	36.00	14.30	502.55	94.77	446.89	1,021.69	2,065.90	1,044.21	1,021.69	970.97
9/23/2018	598	ตะเคียนทอง	22.00	7.90	100.48	18.13	64.87	184.56	368.04	183.48	184.56	172.98
9/23/2018	610	ตะเคียนทอง	46.00	14.90	864.03	165.36	855.81	1,817.65	3,702.85	1,885.20	1,817.65	1,740.34
9/23/2018	612	ตะเคียนทอง	37.00	14.40	535.23	101.11	481.95	1,092.45	2,210.74	1,118.29	1,092.45	1,039.05
9/23/2018	614	ตะเคียนทอง	39.00	12.60	520.03	98.16	465.59	1,059.51	2,143.29	1,083.78	1,059.51	1,007.35
			2,279.80	**673.80**	**36,241.21**	**6,935.44**	**36,155.59**	**76,265.43**	155,597.67	**79,332.24**	**76,265.43**	**73,130.95**
ผลรวมทั้งหมด:			**2,279.80**	**673.80**	36,241.21	**6,935.44**	**36,155.59**	**76,265.43**	**155,597.67**	**79,332.24**	**76,265.43**	**73,130.95**

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ประวัติผู้วิจัย
1. นายอัศมน ลิ่มสกุล	**ตำแหน่งในโครงการ** หัวหน้าโครงการวิจัย **ตำแหน่งงาน** นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ **ปัจจุบันทำงานที่** กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม **วุฒิการศึกษา** ปริญญาเอก (Earth and Planetary Science) มหาวิทยาลัยนาโกย่า (ประเทศญี่ปุ่น)
2. นายสุนทร งดงาม	**ตำแหน่งในโครงการ** ผู้ร่วมวิจัย **ตำแหน่งงาน** เจ้าพนักงานการเกษตรชำนาญงาน **ปัจจุบันทำงานที่** กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม **วุฒิการศึกษา** ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (เกษตรกรรม) วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตสุรินทร์
3. นางสาวนันท์ธีรา ศรีบุรินทร	**ตำแหน่งในโครงการ** ผู้ร่วมวิจัย **ตำแหน่งงาน** นักวิชาการสิ่งแวดล้อม **ปัจจุบันทำงานที่** กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม **วุฒิการศึกษา** ปริญญาโท (การจัดการสิ่งแวดล้อม) สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

ชื่อ-สกุล	ประวัติผู้วิจัย
4. นางสาวภาฤทธิ์ดา สุวรรณี	**ตำแหน่งในโครงการ** ผู้ร่วมวิจัย **ตำแหน่งงาน** นักวิชาการสิ่งแวดล้อม **ปัจจุบันทำงานที่** กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม **วุฒิการศึกษา** ปริญญาตรี (ทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
5. นางสาวรัชนีกร ไพศาล	**ตำแหน่งในโครงการ** ผู้ร่วมวิจัย **ตำแหน่งงาน** นักวิชาการสิ่งแวดล้อม **ปัจจุบันทำงานที่** กลุ่มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม **วุฒิการศึกษา** ปริญญาตรี (การจัดการทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง