การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา

ชโลธร ชุมภูกุล

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
พฤษภาคม 2555
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

อาจารย์ที่ปรึกษา และคณบดีวิทยาลัยการศึกษาต่อเนื่อง ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง เรื่อง “การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา” เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....

(ดร.อนุสรณ์ บุญปก)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ นพรัก)

คณบดีวิทยาลัยการศึกษาต่อเนื่อง

พฤษภาคม 2555

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากอาจารย์ ดร.อนุสรณ์ บุญปก อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองสำเร็จสมบูรณ์ได้ ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณอย่างยิ่ง สำหรับเจ้าหน้าที่ศูนย์ประสานงานป่าไม้พะเยา ที่ช่วยผู้ศึกษาค้นคว้าเก็บข้อมูลภาคสนามได้อย่างครบถ้วน ขอขอบคุณทุกท่าน ที่มีส่วนช่วยสนับสนุนให้การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ขอมอบและอุทิศคุณค่าและประโยชน์อันจะพึงมีจากการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้ แด่บิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชโลธร ชุมภูกุล

ชื่อเรื่อง การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา
ผู้ศึกษาค้นคว้า ชโลธร ชุมภูกุล
ที่ปรึกษา ดร.อนุสรณ์ บุญปก
ประเภทสารนิพนธ์ การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.ม. สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยพะเยา, 2555
คำสำคัญ การกักเก็บคาร์บอน, มวลชีวภาพ, สวนป่าสัก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่าสักในจังหวัดพะเยา ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลต้นไม้และดินในพื้นสวนป่าสัก แล้วประเมินเป็นปริมาณมวลชีวภาพด้วยสมการแอโลแมตริก โดยศึกษาสวนป่าสักที่มีอายุแตกต่างกัน 4 ช่วงอายุ ได้แก่ 2 ปี 9 ปี 15 ปี และ 34 ปี ทำการเก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอกและความสูงของต้นสัก เก็บข้อมูลไม้หนุ่ม กล้าไม้ ไม้พื้นล่าง ไม้เถา เฟิร์น พืชล้มลุก หญ้าและซากพืช นำมาอบหาความชื้นแล้วคำนวณเป็นมวลชีวภาพ เก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ โดยใช้วิธีของ Walkley และ Black ผลการศึกษาพบว่า สวนป่าสักอายุ 34 ปี 15 ปี 9 ปี และ 2 ปี มีปริมาณมวลชีวภาพ เท่ากับ 233.18 ตันต่อเฮกแตร์ 184.63 ตันต่อเฮกแตร์ 60.83 ตันต่อเฮกแตร์ และ 9.44 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ และพบว่า สวนป่าสักอายุ 34 ปี 15 ปี 9 ปี และ 2 ปี มีค่าการกักเก็บคาร์บอน 116.59 ตันต่อเฮกแตร์ 92.32 ตันต่อเฮกแตร์ 30.42 ตันต่อเฮกแตร์ และ 4.72 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินของสวนป่าสัก อายุ 34 ปี 15 ปี 9 ปี และ 2 ปี เท่ากับ 43.33, 52.39, 33.46, และ 104.95 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ จากสถิติการส่งเสริมปลูกไม้สักในจังหวัดพะเยามีพื้นที่ 2,208.04 เฮกแตร์ คิดเป็นการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักทั้งสิ้น 127,798.48 ตันคาร์บอน

Title CARBON SEQUESTRATION ASSESSMENT OF TEAK PLANTATION IN PHAYAO PROVINCE

Author Chalodhorn Chumpukul

Advisor Dr. Anusorn Boonpoke

Academic Paper Independent Study M.S. in Natural Resources and Environmental Management, University of Phayao, 2012

Keywords Carbon Sequestration Assessment, Biomass, Teak plantation

ABSTRACT

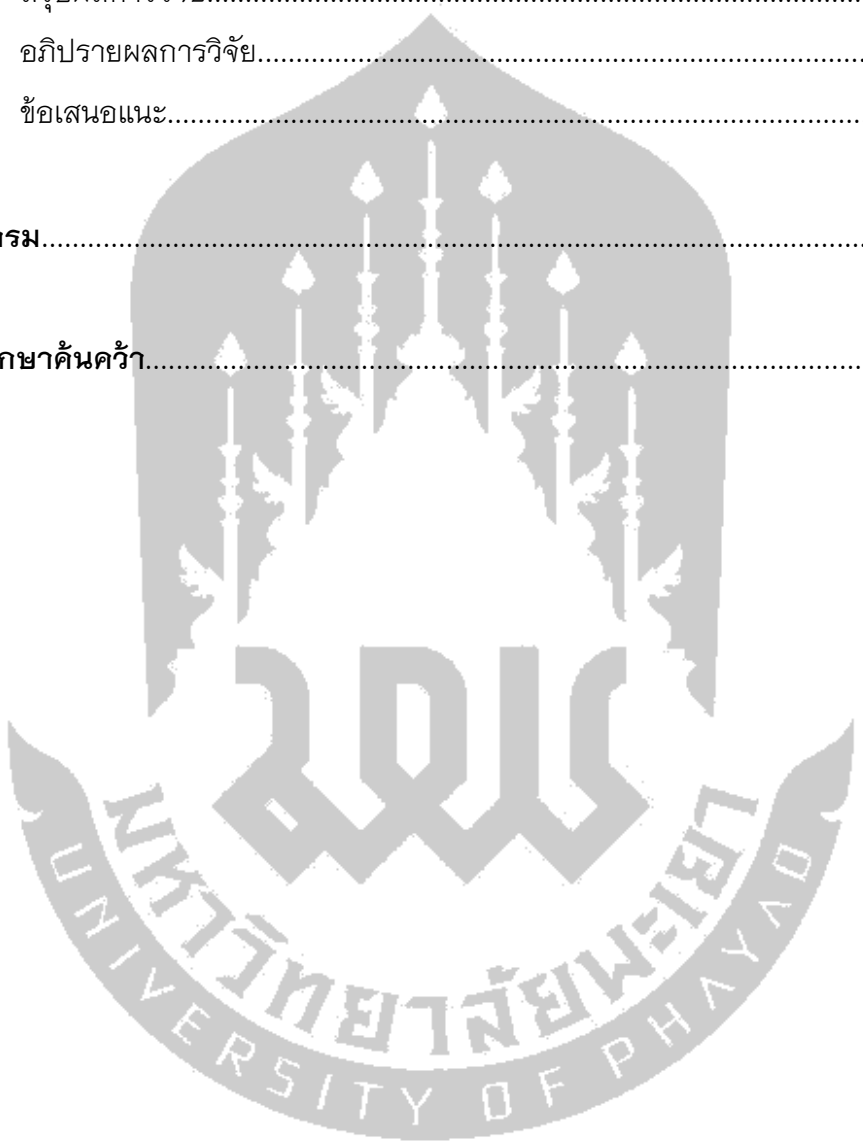
This work aims to estimated the amount of carbon sequestration at teak plantation area in Phayao province. The above ground biomass, root biomass and soil carbon content of four different teak plantation ages (2, 9, 15 and 34 years old) were examined. The height and diameter at breast height (DBH) of each tree in the plots were measured. Allometric equations were used to calculate the amount of biomass for the trees. Seedling, undergrowth, climbers, fern, herbs, grass and litter were collected and dried and then the percentage of moisture content were used to estimate the aboveground biomass content. Soil carbon contents at different dept were characterized using Walkley and Black method. The results showed that the biomass of teak plantation trended to increase with increasing of teak ages. The biomass in 34, 15, 9 and 2 years old of teak plantation were 233.18, 184.63, 60.83 and 9.44 ton/ha, respectively. The carbon sequestration in 34, 15, 9 and 2 years old of teak plantation were 116.59, 92.32, 30.42 and 4.72 ton C /ha, respectively. Accumulation of soil carbon content in 34, 15, 9 and 2 years old of teak plantation were 43.33, 52.39, 33.46, and 104.95 ton C /ha, respectively. Based on the statistic records, teak plantation in Phayao province was 2,208.04, the potential of carbon sequestration in teak plantation was 127,798.48 ton C.

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ความเป็นมาของปัญหา	1
	จุดมุ่งหมายของการวิจัย	2
	ความสำคัญของการวิจัย	2
	ขอบเขตของการวิจัย	2
	ข้อจำกัดงานวิจัย	3
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	4
	ปรากฏการณ์เรือนกระจก	4
	ก๊าซเรือนกระจก	5
	วัฏจักรคาร์บอน	9
	กระบวนการสังเคราะห์แสง	11
	โครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่า	12
	การประเมินปริมาณมวลชีวภาพ	13
	การประเมินคาร์บอนในมวลชีวภาพ	14
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**	17
	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	17
	การเก็บรวบรวมข้อมูล	17
	การวิเคราะห์ข้อมูล	20
4	**ผลการวิเคราะห์ข้อมูล**	24
	สภาพทั่วไป	24
	การเจริญเติบโต	27
	ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน	28
	ปริมาณคาร์บอนในดินของสวนป่าสัก	30
	ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้สัก	30
	การกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก	32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
5	**บทสรุป**	34
	สรุปผลการวิจัย	34
	อภิปรายผลการวิจัย	34
	ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม		36
ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า		39



สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 ระยะเวลาและประสิทธิภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน.... 8

2 เนื้อที่สวนป่าสักที่เข้าร่วมโครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่า ท้องที่จังหวัดพะเยา แยกเป็นรายอำเภอ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 – 2552..... 13

3 อายุ ระยะปลูก ความหนาแน่น ความสูงเฉลี่ย และเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ย ของไม้สัก..... 28

4 ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสัก..... 29

5 เปรียบเทียบการศึกษาปริมาณการกักเก็บในสวนป่าสัก..... 29

6 ปริมาณคาร์บอนในดินของสวนป่าสัก..... 30

7 ค่าความเพิ่มพูนรายปีของการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสักจังหวัดพะเยา..... 31

8 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก จังหวัดพะเยา..... 32

สารบัญภาพ

ภาพ **หน้า**

1 ปรากฏการณ์เรือนกระจกที่เกิดจากการกักเก็บความร้อนของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์..... 5

2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยกิจกรรมมนุษย์ ปี พ.ศ. 2543..... 6

3 วัฏจักรคาร์บอน..... 10

4 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช..... 11

5 แผนผังการดำเนินการวิจัย..... 18

6 การกำหนดตำแหน่งและขนาดแปลงศึกษา..... 19

7 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 2 ปี..... 24

8 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 9 ปี..... 25

9 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 15 ปี..... 26

10 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 34 ปี..... 26

11 สภาพแปลงไม้สักตัวอย่างที่ทำการศึกษา..... 27

12 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุต้นสักและปริมาณการกักเก็บคาร์บอน..... 31

13 สวนป่าสักในจังหวัดพะเยา..... 33

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาของปัญหา

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นแล้วจริงและไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งสาเหตุนั้นเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า เกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่บรรยากาศมากเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากกิจกรรมของมนุษย์ ก๊าซเรือนกระจกมีหลายชนิดแต่ที่เป็นตัวการหลัก ๆ ที่ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของโลก ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) และ ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นต้น จากการรายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) แสดงให้เห็นว่า บรรยากาศของโลกนั้นมีความเข้มข้นของ CO_2 เพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็วเปรียบเทียบกับยุคก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรม (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007) ซึ่งเกิดจากภาคการผลิตและใช้พลังงานเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้ สาเหตุของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่สำคัญคือ ภาคการเกษตรและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006) ประเทศไทยมีการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้อย่างต่อเนื่อง (นาฏสุดา ภูมิจำนงค์, 2550) จากสถิติของกรมป่าไม้พบว่าพื้นที่ป่าไม้ของประเทศไทยลดลงจากปี พ.ศ. 2516 ที่มีพื้นที่ป่าไม้ร้อยละ 43.21 เหลือเพียงร้อยละ 33.44 ในปี พ.ศ. 2551 (กรมป่าไม้, 2553) สาเหตุสำคัญของการลดลงของพื้นที่ป่าเกิดจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในประเทศ และการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจทำให้มีความต้องการใช้ประโยชน์จากป่าไม้มากขึ้น เช่น เป็นที่อยู่อาศัย การตัดไม้เพื่อการค้า การใช้และการเผาพื้นที่ป่าเพื่อการเกษตร การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าเป็นพื้นที่ท่องเที่ยว การกว้านซื้อที่ดินเพื่อการเก็งกำไร และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของรัฐ

จากข้อมูลปี พ.ศ. 2547 พบว่าพื้นที่ที่อยู่ภายใต้โครงการปลูกป่าทดแทนและการปลูกป่าเชิงพาณิชย์มีพื้นที่ประมาณ 4,257,500 ไร่ (หรือมากกว่า 6 เท่าของพื้นที่ที่สูญเสียไปในแต่ละปี) ถึงแม้ว่าการปลูกป่าจะทำให้พื้นที่ป่าเพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณของ CO_2 ที่ถูกดูดซับไว้ในป่าไม้ก็ยังมีน้อย เนื่องจากป่าไม้ที่ปลูกหรือขึ้นทดแทนตามธรรมชาติก็ยังมีขนาดเล็กและเจริญเติบโตช้าจนไม่ทันกับการทำลายป่าและการเผาป่าที่เกิดขึ้น (นาฏสุดา ภูมิจำนงค์, 2547) และจากรายงานการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย (National Greenhouse gas Inventory) พบว่า ในภาคการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์พื้นที่และป่าไม้ ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีน้อยกว่าปริมาณดูดกลับ จึงทำให้ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมของภาคนี้เท่ากับ –7.90 $TgCO_{2eq}$ คิดเป็นร้อยละ –3.4 ของปริมาณการปล่อยทั้งหมดของประเทศ

(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีบทบาททั้งในการทำหน้าที่กักเก็บและปลดปล่อย CO_2 ป่าไม้สามารถดูดซับ CO_2 โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งจะกักเก็บไว้ในรูปของชีวมวล ทั้งในส่วนเหนือพื้นดิน (ลำต้น กิ่ง ใบ) และส่วนใต้ดิน (ราก) ในขณะเดียวกันก็จะมีการปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศ ด้วยกระบวนการหายใจของพืช การย่อยสลายของเศษซากพืช และการตัดต้นไม้ออกไปจากพื้นที่ป่า ดังนั้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้ จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเพิ่ม (Source) และลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Sink)

จังหวัดพะเยามีสวนป่าสักของเอกชนหรือป่าเศรษฐกิจที่เกษตรกรเข้าร่วมโครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่ากับกรมป่าไม้ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 จนถึง ปี พ.ศ.2552 รวมทั้งสิ้น 13,800.25 ไร่ ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวยังไม่มีข้อมูลการประเมินปริมาณคาร์บอน การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองนี้จึงมุ่งเน้นการประเมินปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักปลูกในจังหวัดพะเยา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวางแผนพัฒนาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนของจังหวัดพะเยาต่อไป

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อประเมินปริมาณมวลชีวภาพในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา
2. เพื่อประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา

ความสำคัญของการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองนี้ มุ่งเน้นการประเมินปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักปลูกในจังหวัดพะเยา เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวางแผนพัฒนาทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนของจังหวัดพะเยาต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

1. กำหนดพื้นที่ศึกษาโดยเลือกแปลงสวนป่าสักที่มีช่วงอายุแตกต่างกันในพื้นที่จังหวัดพะเยา
2. สำรวจและกำหนดแปลงตัวอย่าง นำตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าความชื้นและชั่งน้ำหนักในห้องปฏิบัติการ
3. เก็บตัวอย่างดินจากแปลงศึกษาที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนและความหนาแน่น

4. ประเมินปริมาณมวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตริกที่เหมาะสม
5. ประเมินปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา

ข้อจำกัดงานวิจัย

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองนี้ มุ่งเน้นการประเมินปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักปลูกในจังหวัดพะเยา ศึกษาเฉพาะสวนป่าสักเอกชนหรือสวนป่าเศรษฐกิจที่เกษตรกรได้เข้าร่วมโครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่ากับกรมป่าไม้ ตั้งแต่ พ.ศ. 2537 ถึงปี พ.ศ. 2545 โครงการส่งเสริมการปลูกต้นไม้เพื่อเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2552 และสวนป่าสักของสถานีวนวัฒนวิจัยแม่กา ได้แก่ แปลงสวนป่าสักอายุ 2 ปี 9 ปี 15 ปี และแปลงสวนป่าสักอายุ 34 ปี

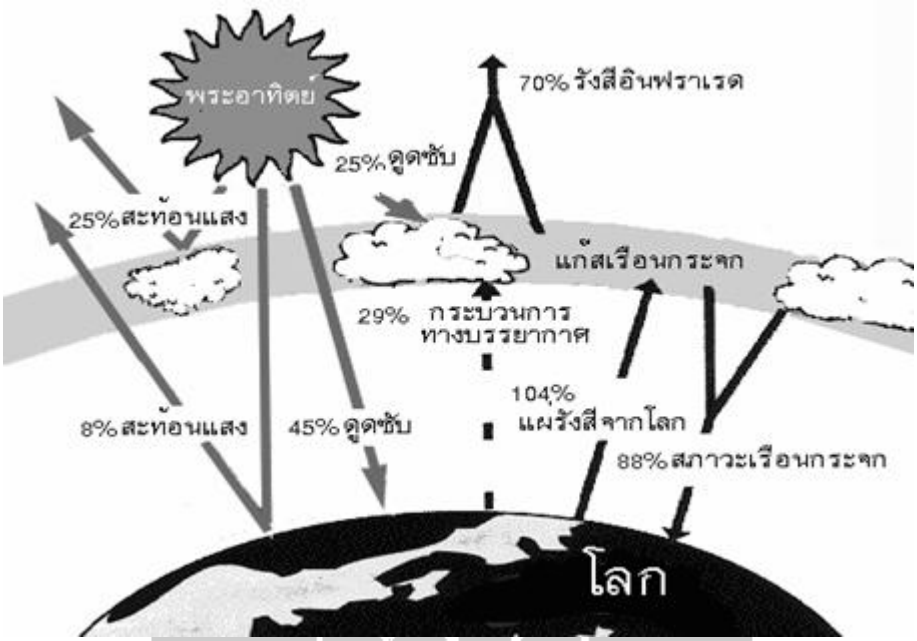
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในที่นี้จะกล่าวถึง ปรากฏการณ์เรือนกระจก ก๊าซเรือนกระจก วัฏจักรคาร์บอน กระบวนการสังเคราะห์แสง โครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่า การประเมินปริมาณมวลชีวภาพ การประเมินคาร์บอนในมวลชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดทั้งหมดดังนี้

ปรากฏการณ์เรือนกระจก

ในชั้นบรรยากาศของโลกมีก๊าซต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ นอกจากนี้จะมีไอน้ำ ฝุ่นละอองและเชื้อโรคในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของโลก ส่องลงมายังโลกโดยการแผ่รังสีในรูปของแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นประกอบด้วย รังสีอุตราไวโอเลต รังสีที่มองเห็น และรังสีอินฟราเรด รังสีจากดวงอาทิตย์สามารถผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นผิวโลกได้ประมาณร้อยละ 70 ที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะกระจายและถูกสะท้อนกลับไปนอกอวกาศ โลกจะเปลี่ยนรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวโลกประมาณ 27 องศาเซลเซียส ดังนั้นเมื่อโลกแผ่รังสีกลับสู่บรรยากาศจึงเป็นรังสีความร้อนหรือรังสีอินฟราเรด (รังสีคลื่นยาว) ออกสู่บรรยากาศ ก๊าซที่สามารถดูดซึมพลังงานความร้อนที่สะท้อนกลับจากโลกได้ดี คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำในบรรยากาศ ทำให้โลกอบอุ่น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) กระบวนการของปรากฏการณ์เรือนกระจกเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในบรรยากาศระหว่างชั้นโทรโบสเฟียร์และชั้นสตราโทรเฟียร์ ทำหน้าที่ช่วยรักษาสมดุลของพลังงานให้แก่โลก เป็นการเก็บรักษาความร้อนของโลกให้เพียงพอกับการอยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต และก๊าซที่สามารถดูดซึมรังสีความร้อนไว้ได้ เรียกว่า ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ระบบภูมิอากาศเมื่อมีความสมดุล พลังงานที่ดูดซับจะเท่ากับรังสีที่ปล่อยออกไปนอกอวกาศ ปัจจัยที่รบกวนความสมดุลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเรียกว่ากำลังในการแผ่รังสี (Radiative forcing) ซึ่งเกิดจากการเพิ่มปริมาณในการแผ่รังสีของก๊าซเรือนกระจก มีผลจากปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศที่เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิของโลกมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงและมีผลต่อการหมุนเวียนและรูปแบบของสภาพอากาศ การที่โลกร้อนขึ้นมีผลจากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในแต่ละตัว คุณสมบัติของการแผ่รังสีของก๊าซเรือนกระจก

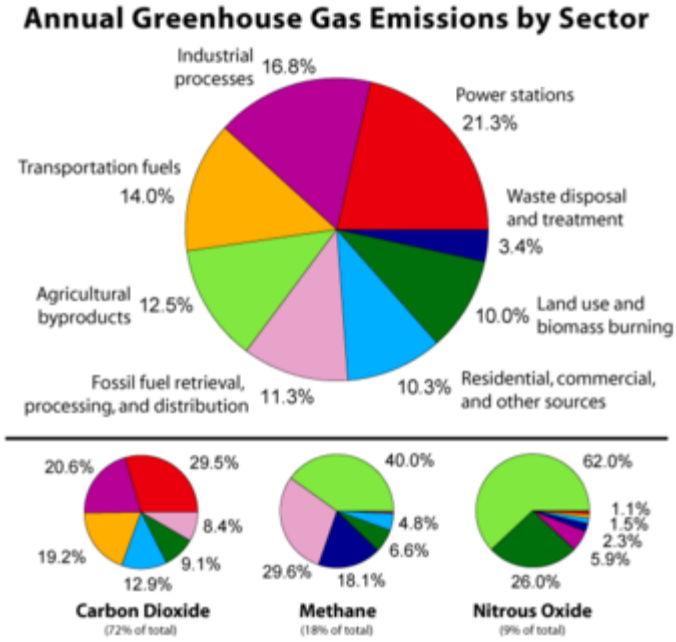


ภาพ 1 ปรากฏการณ์เรือนกระจกที่เกิดจากการกักเก็บความร้อนของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์

ที่มา: http://www.grida.no/climate/Vital/index.html

ก๊าซเรือนกระจก

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและป่าไม้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้เพื่อใช้ประโยชน์ในการเกษตร ทำให้ต้องมีการตัดไม้ทำลายป่า และผลจากการใช้ชีวมวลที่เป็นแหล่งเก็บสะสมปริมาณคาร์บอน ทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซชนิดอื่น ๆ เกิดขึ้นในปริมาณไม่มากนัก ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ดังรายละเอียดดังนี้



ภาพ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยกิจกรรมมนุษย์ ปี พ.ศ. 2543

ที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/แก๊สเรือนกระจก

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)

สูตรทางเคมีของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ CO_2 เป็นก๊าซเฉื่อยที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ หนักกว่าอากาศประมาณ 1.5 เท่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถดูดซึมรังสีอินฟราเรด (รังสีความร้อน) ในช่วงคลื่น 12,000–18,000 นาโนเมตร การดูดซึมรังสีความร้อนเกิดขึ้นในชั้นล่างของบรรยากาศเหนือผิวโลกขึ้นไปภายใน 50 กิโลเมตร จึงทำให้ความร้อนกระจายลงสู่พื้นโลก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าช่วงชีวิต (lifetime) ในบรรยากาศโดยประมาณ 120 ปี

แหล่งกำเนิดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือ การหายใจของพืชและสัตว์เป็นส่วนใหญ่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เกิดจากซากสิ่งมีชีวิต การทำลายป่าไม้ การเผาไหม้ชีวมวล เป็นต้น

2. ก๊าซมีเทน (Methane)

สูตรทางเคมีของก๊าซมีเทน คือ CH_4 เป็นสารไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว เป็นก๊าซติดไฟที่ไม่มีสี ละลายน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ ก๊าซมีเทนสามารถดูดซึมความร้อนได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 25 เท่าโดยประมาณ ดังนั้นในปริมาณที่เท่ากัน ก๊าซมีเทน

จะทำให้บรรยากาศของโลกอุ่นขึ้นมากกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 25 เท่า ก๊าซมีเทนมีช่วงชีวิตในบรรยากาศ 10.5 ปี

แหล่งกำเนิดของก๊าซมีเทนส่วนใหญ่มาจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในนาข้าว บึงสังเคราะห์ การฝังกลบและการเผาไหม้ชีวมวล

3. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

สูตรทางเคมีของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ CO ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แหล่งเกิดหรือแหล่งที่มาเกิดจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหิน ถ่านไม้ หรือสารอื่น ๆ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เบากว่าอากาศเพียงเล็กน้อยและละลายน้ำได้บ้าง ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นก๊าซเฉื่อยในสภาพอุณหภูมิและความกดดันอากาศปกติแต่ไวต่อปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง เมื่อก๊าซมีเทนเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนขึ้นตามธรรมชาติ จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พื้นผิวมหาสมุทรเป็นแหล่งกำเนิดในระดับรองลงมา นอกจากนั้น ไฟป่า พายุ ภูเขาไฟ หลุมบึง ฝนฟ้าคะนอง หรือการแยกตัวของก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพราะก๊าซนี้ละลายน้ำได้ การละลายน้ำและการกลายเป็นก๊าซขึ้นอยู่กับความกดดันของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ในบรรยากาศและอุณหภูมิของน้ำ จุลินทรีย์สามารถใช้ก๊าซนี้และส่วนใหญ่อยู่ในพื้นดิน ดินที่มีอินทรียสารอยู่บนพื้นผิวมากจะสามารถตรึงเอาก๊าซนี้ออกจากอากาศได้มากกว่าด้วย การประกอบอาหารในครัว การใช้เครื่องทำความร้อนในฤดูหนาว การจราจร การสูบบุหรี่ ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์มีผลกระทบที่คล้ายคลึงและต่อเนื่องเช่นเดียวกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อมนุษย์สูดดมเข้าไปเป็นจำนวนมากก๊าซนี้จะเข้าไปรวมตัวกับฮีโมโกลบินทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน ซึ่งทำให้มีผลถึงตายได้

4. ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen oxide)

ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ที่มีอยู่ในบรรยากาศ คือ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) หรือก๊าซหัวเราะ ก๊าซไนโตรเจนไตรออกไซด์ (NO_3) ก๊าซไดไนโตรเจนออกไซด์ (N_2O_3) ก๊าซไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ (N_2O_5) ก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) สารสองตัวสุดท้ายเป็นสารที่มนุษย์สร้างขึ้น ค่ารวมของปริมาณความเข้มข้นของสารสองตัวจะแสดงในรูป ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X)

ก๊าซไนตริกออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสามารถดูดซึมรังสีที่ความยาวคลื่นน้อยกว่า 2,300 อังสตรอม เมื่อไนตริกออกไซด์ถูกปล่อยสู่บรรยากาศจะถูกออกซิไดซ์เป็นก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่มีสีน้ำตาล มีกลิ่นคล้ายคลอรีน สามารถดูดซึมรังสี

ที่มองเห็นได้ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (ก๊าซไนตริกออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์) มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและชีวมวล

ตาราง 1 ระยะเวลาและประสิทธิภาพในการทำให้โลกร้อนของก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน

ชื่อก๊าซ	แหล่งกำเนิด	ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่จะอยู่ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ * (ปี)	ศักยภาพสัมพัทธ์ในการสร้างปรากฏการณ์เรือนกระจก, GWP ** (CO_2= 1)	ปริมาณที่มีอยู่ในปัจจุบัน (ร้อยละ)
คาร์บอนไดออกไซด์, CO_2	การเผาเชื้อเพลิงฟอสซิล, การตัดไม้และ เผาทำลายป่า	<10	1	~ 57
มีเทน, CH_4	ทุ่งข้าว, สัตว์เคี้ยวเอื้อง, การถมพื้นที่, ผลผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิล	10	25	~ 12
ไนตรัสออกไซด์, N_2O	ปุ๋ยที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ, การเผาป่า, การเผาไร่นา, หรือพื้นที่เกษตรกรรมอื่น ๆ	170	230	~ 6
คลอโรฟลูออโรคาร์บอน, CFC's	สารทำความเย็น, ตัวทำละลายทางเคมี,โฟม	60–100	15,000	~ 25
เปอร์ฟลูออโรมีเทน, CF_4	อุตสาหกรรมอลูมิเนียม	50,000	6,500	เล็กน้อย
ซัลเฟอร์เฮกซาฟลูออไรด์, SF_6	Dielectric fluid	3,200	23,900	เล็กน้อย

ตาราง 1 (ต่อ)

* โดยทั่วไป, ระยะเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในชั้นโทรโพสเฟียร์ หมายความว่าจำนวนของปีที่โมเลกุลจะอยู่ได้ในชั้นบรรยากาศก่อนที่จะถูกนำไปใช้โดยกระบวนการทางชีวะต่าง ๆ บนผิวโลก หรือถูกแยกสลายไปในชั้นสตาร์โทรสเพียร์ ระยะเวลาเฉลี่ยที่อยู่ในชั้นโทรโพสเฟียร์ ของก๊าซ CO_2 ค่อนข้างจะสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซ CFC เนื่องจากมีสิ่งมีชีวิตมากมายที่สามารถนำ CO_2 ไปใช้ประโยชน์ได้ ในขณะที่ CFC เป็นก๊าซที่มนุษย์สร้างขึ้น จึงไม่มีกระบวนการทางชีวะใด ๆ ที่จะนำก๊าซเหล่านี้ ไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นเวลาที่อยู่ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ของ CFC จึงเป็นเวลาที่ CFC ใช้ในการกระจายตัวออกไปอยู่ในบรรยากาศชั้น สตาร์โทรสเพียร์ ที่อยู่สูงขึ้นไป

เนื่องจากกระบวนการทางชีวะที่จะใช้ประโยชน์จาก CH_4 และ N_2O บนพื้นโลก ยังไม่ค่อยเป็นที่เข้าใจนักในเวลานี้ ดังนั้นระยะเวลาที่เขียนไว้จึงเป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

**ศักยภาพสัมพัทธ์ในการสร้างปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นการเปรียบเทียบความสามารถระหว่างโมเลกุลของก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ กับ CO_2 ในเรื่องการดักจับหรือส่งถ่ายพลังงานความร้อนในชั้นบรรยากาศ

ที่มา: http://www.fact–index.com/i/in/intergovernmental_panel_on_ climate_change. html

วัฏจักรคาร์บอน

คาร์บอน (Carbon) เป็นธาตุที่มีอยู่ในสารประกอบอินทรีย์เคมีทุกชนิด ดังนั้น วัฏจักรคาร์บอนมักไปสัมพันธ์กับวัฏจักรอื่น ๆ ในระบบนิเวศ คาร์บอน เป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของสารอินทรีย์ในสิ่งมีชีวิต เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน

วัฏจักรคาร์บอน หมายถึง การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศถูกนำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตหรือออกจากสิ่งมีชีวิตคืนสู่บรรยากาศและน้ำอีก หมุนเวียนกันไปเช่นนี้ไม่มีที่สิ้นสุดโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในบรรยากาศและน้ำถูกนำเข้าสู่สิ่งมีชีวิต ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช (CO_2) จะถูกเปลี่ยนเป็นอินทรียสารที่มีพลังงานสะสมอยู่ ต่อมาอินทรียสารที่พืชสะสมไว้บางส่วนถูกถ่ายทอดไปยังผู้บริโภคในระบบต่าง ๆ โดยการกิน CO_2 ออกจากสิ่งมีชีวิตคืนสู่บรรยากาศและน้ำได้หลายทาง ได้แก่

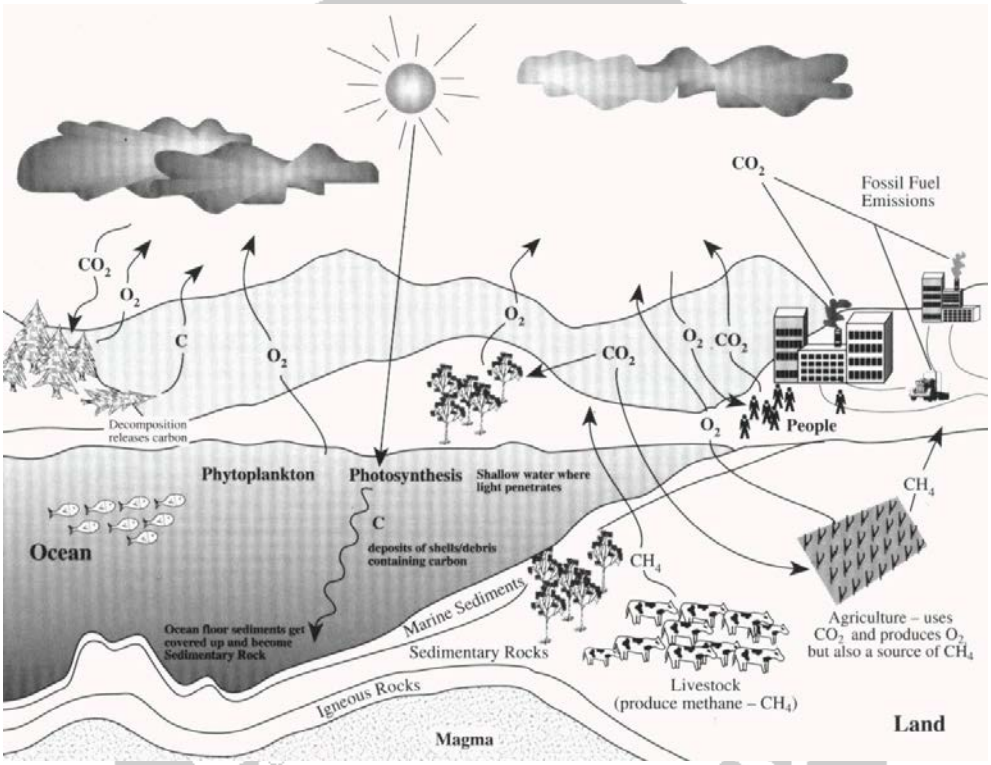
ก. การหายใจของพืชและสัตว์ เพื่อให้ได้พลังงานออกมาใช้ ทำให้คาร์บอนที่อยู่ในรูปของอินทรียสารถูกปลดปล่อยออกมาเป็นอิสระในรูปของ CO_2

ข. การย่อยสลายสิ่งขับถ่ายของสัตว์และซากพืชซากสัตว์ ทำให้คาร์บอนที่อยู่ในรูปของอาหารถูกปลดปล่อยออกมาเป็นอิสระในรูปของ CO_2

ค. การเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน และคาร์บอเนต เกิดจากการทับถมของซากพืช ซากสัตว์เป็นเวลานาน

วัฏจักรของคาร์บอนสัมพันธ์กับวัฏจักรของน้ำเสมอ ความสมดุลของ CO_2 ในอากาศ เกิดจากการแลกเปลี่ยนของ CO_2 ในอากาศกับน้ำ ถ้าในอากาศ CO_2 มากเกินไป ก็จะมีการละลายอยู่ในรูปของ H_2CO_3 (กรดคาร์บอนิก) ดังสมการต่อไปนี้

$$CO_2 + H_2O \longrightarrow H_2CO_3$$



ภาพ 3 วัฏจักรคาร์บอน

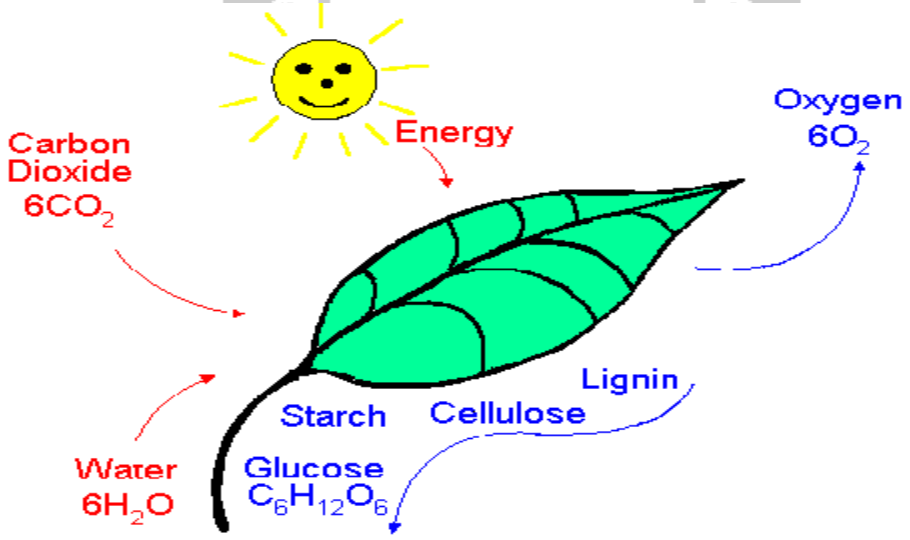
ที่มา: http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/oceancolor/additional/science–focus/space/ocdst _global_carbon_cycle.shtml

กระบวนการสังเคราะห์แสง

การสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นกระบวนการที่พืชสีเขียวใช้พลังงานแสงเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี โดยมีน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ ปฏิกิริยาของการสังเคราะห์แสงเขียนสรุปได้ดังนี้

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสง}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

ผลจากการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากออกซิเจนแล้ว จะได้คาร์โบไฮเดรตเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม คือ กลูโคส น้ำ และพลังงานที่สะสมในรูปสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสิ่งมีชีวิตทั้งหลายจะนำไปใช้ในกระบวนการเมตาบอลิซึม เพื่อสร้างสารประกอบอื่น ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพ อาหารที่พืชสร้างขึ้นมานี้ นอกจากจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตเองแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมวลที่ไม่สามารถสร้างอาหารโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงตลอดทั้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึมต่าง ๆ และการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งหลายรวมทั้งมนุษย์ด้วย



ภาพ 4 กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืช

ที่มา: http://www.thaigoodview.com/node/40162

ในอดีตประเทศไทยเคยมีป่าไม้อย่างอุดมสมบูรณ์ ซึ่งสามารถผลิตไม้ใช้สอยได้เพียงพอต่อความต้องการใช้สอยไม้ในประเทศ และยังสามารถส่งเป็นสินค้าออกที่สำคัญนำรายได้เข้าประเทศแต่ละปีเป็นจำนวนมหาศาล แต่ต่อมาเมื่อประเทศมีการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมมากขึ้น ประกอบกับการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรโดยเฉพาะในภาคเกษตร ทำให้มีความต้องการพื้นที่ทำการเกษตรมากขึ้น การบุกรุกพื้นที่ป่าไม้จึงขยายตัวออกไปอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว จนป่าธรรมชาติที่เหลืออยู่ไม่สามารถผลิตไม้ได้เพียงพอต่อการใช้สอยภายในประเทศ รัฐบาลจึงมีนโยบายปิดป่าสัมปทานไปเมื่อปี พ.ศ.2532 แต่ความต้องการไม้ใช้สอยของประชากรนับวันจะมีเพิ่มมากขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนไม้ใช้สอยภายในประเทศ จึงได้มีการนำเข้าไม้จากต่างประเทศ เพื่อลดความรุนแรงของปัญหาการขาดแคลนไม้ จำเป็นจะต้องเร่งให้มีการปลูกไม้เพื่อใช้สอยภายในประเทศให้มากขึ้น โดยการส่งเสริมให้เกษตรกรหันมาประกอบอาชีพปลูกต้นไม้ให้มากขึ้น โดยเฉพาะในพื้นที่ของเกษตรกรที่มีเอกสารสิทธิ์และสิทธิครอบครอง โดยรัฐเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนและปัจจัยอื่นตามความจำเป็น จะเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ป่าไม้ของประเทศ เพื่อผลิตไม้ให้เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต กรมป่าไม้ได้ตระหนักถึงสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นได้มีความพยายามหลายวิถีทางที่จะเพิ่มพูนทรัพยากรป่าไม้ของชาติ ปีงบประมาณ พ.ศ.2537 กรมป่าไม้ได้รับอนุมัติเงินงบประมาณรายจ่ายประจำปี เพื่อดำเนินการส่งเสริมการปลูกป่า ภายใต้ชื่อ “โครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่า” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกป่าในที่ดินกรรมสิทธิ์หรือสิทธิครอบครอง เพื่อให้มีไม้ใช้สอยเพียงพอต่อความต้องภายในประเทศ และลดการนำเข้าไม้จากต่างประเทศ เพื่อสร้างงานและอาชีพที่มั่นคงแก่ราษฎรให้มีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และลดการบุกรุกทำลายป่า

สำหรับจังหวัดพะเยา ได้ดำเนินโครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ถึง ปี พ.ศ. 2552 รวมเนื้อที่ 13,800.25 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ทั้ง 9 อำเภอ ของจังหวัดพะเยา ข้อมูลแสดงไว้ดังตาราง 2

ตาราง 2 เนื้อที่สวนป่าสักที่เข้าร่วมโครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่า ท้องที่จังหวัดพะเยา แยกเป็นรายอำเภอ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 – 2552

ลำดับที่	อำเภอ	เนื้อที่ปลูก (ไร่)									
		2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2545	2552	รวม
1	จุน	550.00	341.00	44.00	70.00	22.00	161.00	168.00	77.00	100.00	1,533.00
2	เชียงคำ	2,062.00	510.75	457.75	155.50	168.00	–	86.00	65.50	48.00	3,553.50
3	เชียงม่วน	257.25	254.25	93.00	106.50	9.50	–	–	17.00	50.00	787.50
4	ดอกคำใต้	573.50	204.75	201.25	76.75	26.50	–	17.00	148.00	179.00	1,426.75
5	ปง	560.00	150.50	–	–	17.00	–	36.75	55.75	53.00	873.00
6	เมืองพะเยา	2,140.50	854.75	223.75	321.00	57.50	84.25	321.75	133.25	303.00	4,439.75
7	แม่ใจ	387.00	–	72.00	18.00	–	–	28.00	16.25	35.00	556.25
8	ภูกามยาว	–	60.75	3.00	22.75	9.25	160.00	50.00	57.75	–	363.50
9	ภูซาง	–	–	–	80.25	62.25	–	63.00	29.50	32.00	267.00
	รวม	6,530.25	2,376.75	1,094.75	850.75	372.00	405.25	770.50	600.00	800.00	13,800.25

ที่มา: ศูนย์ประสานงานป่าไม้พะเยา, 2552

การประเมินปริมาณมวลชีวภาพ

เนื่องจากป่าไม้จะมีบทบาททั้งในการทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บ (sink) และแหล่งปลดปล่อย (source) ก๊าซ CO_2 การกักเก็บหรือดูดซับก๊าซ CO_2 จะผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยพืชทุกชนิดจะนำก๊าซ CO_2 มาใช้ในการปรุงอาหารแล้วเปลี่ยนสภาพเป็นเซลลูโลสและกลายเป็นมวลชีวภาพในที่สุด ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการลดก๊าซ CO_2 ในอากาศ ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์ต้นทุน–ผลตอบแทน พบว่าทางเลือกในสาขาป่าไม้เพื่อลดก๊าซ CO_2 นั้นเป็นทางเลือกที่ “ไม่มีผลเสีย” ต่อประเทศ และในขณะเดียวกันป่าไม้ก็จะปลดปล่อยก๊าซ CO_2 เข้าสู่บรรยากาศผ่านกระบวนการหายใจ การตาย และการย่อยสลายของเศษซากพืช

ดังนั้นในการลดก๊าซ CO_2 ในภาคป่าไม้ในปัจจุบันจึงต้องมีภาระกิจหลักที่ต้องรักษาพื้นที่ป่าเดิมให้คงอยู่พร้อมกับสนับสนุนการปลูกป่าเพิ่มเติม หรือป้องกันรักษาพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมให้ค่อย ๆ ฟื้นตัวเองตามธรรมชาติโดยไม่ให้ถูกรบกวนโดยคน ซึ่งป่าไม้ที่มีอายุน้อยจะมีประสิทธิภาพในการลดก๊าซ CO_2 ในอากาศสูงกว่าป่าไม้ที่มีอายุมาก เนื่องจากพลังงานของดวงอาทิตย์จะถูกตรึงหรือดูดซับโดยพืชสีเขียว โดยใช้ก๊าซ CO_2 และน้ำ (H_2O) เป็นวัตถุดิบในการสร้างผลผลิต ดังสมการดังนี้

$$6H_2O + 6CO_2 \xrightarrow[\text{คลอโรฟิลล์}]{\text{แสงแดด}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

ซึ่งผลผลิต $C_6H_{12}O_6$ ก็คือน้ำตาล หรือแป้ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเซลลูโลสหรือเนื้อไม้นั่นเอง (ชิงชัย, 2546)

ในธรรมชาติสังคมของหมู่ไม้ ย่อมมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อันเนื่องมาจากการเจริญเติบโต และการสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ โดยที่พืชสีเขียวจะเปลี่ยนแปลงพลังงานจากดวงอาทิตย์มาเป็นพลังงานทางชีวเคมีเพื่อสร้างเนื้อเยื่อโดยขบวนการสังเคราะห์แสง เนื้อเยื่อของพืชที่ได้จากขบวนการนี้ ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เรียกว่า ผลผลิตขั้นปฐมภูมิ และเนื้อเยื่อที่เกิดขึ้นจากขบวนการนี้ต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา เรียกว่า primary productivity (Kvet et al.,1971) โดยมีหน่วยเป็น ตัน/เฮกแตร์/ปี (ton/ha/yr) นอกจากนี้ยังมีขบวนการอีกขบวนการหนึ่งซึ่งเกิดควบคู่ไปกับขบวนการสังเคราะห์แสง คือ ขบวนการที่เผาผลาญอาหารส่วนที่พืชผลิตได้เพื่อใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีพของพืช เรียกขบวนการนี้ว่า การหายใจ (respiration) ดังนั้นการเพิ่มพูนของเนื้อเยื่อของต้นไม้ หรือของหมู่ไม้ จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อขบวนการแรกมีอัตราสูงกว่าขบวนการหลัง ด้วยเหตุนี้จึงแบ่งผลผลิตขั้นปฐมภูมิออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) ปริมาณเนื้อเยื่อทั้งหมดที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสงรวมทั้งส่วนที่สูญเสียไปจากขบวนการหายใจในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เรียกว่า ผลผลิตขั้นปฐมภูมิทั้งหมด (Gross Primary Production, GPP) และ 2) ปริมาณเนื้อเยื่อทั้งหมดที่ได้จากขบวนการสังเคราะห์แสงโดยไม่รวมทั้งส่วนที่สูญเสียไปเนื่องจากขบวนการหายใจ เรียกว่า ผลผลิตขั้นปฐมภูมิสุทธิ (Net Primary Production, NPP) ส่วนของเนื้อเยื่อที่เกิดจากการสังเคราะห์แสง และมีหน้าที่ต่อการเจริญเติบโตของพืช หรือหมู่ไม้ในขณะใดขณะหนึ่งนั้นเรียกว่ามวลชีวภาพ (biomass) และนิยมวัดออกมาในรูปน้ำหนักแห้ง หรือน้ำหนักแห้งปราศจากขี้เถ้า (Chapman, 1976) โดยมีค่าเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อต้น จะมีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ต้น หรือต่อหน่วยพื้นที่ จะมีหน่วยเป็น กิโลกรัม/ไร่ หรือ ตัน/เฮกแตร์

การประเมินคาร์บอนในมวลชีวภาพ

คำนวณหาปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในเนื้อไม้ โดยการนำน้ำหนักแห้งของไม้ตัวอย่างคูณด้วยเปอร์เซ็นต์คาร์บอนในเนื้อไม้ จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนของไม้ตัวอย่างกับมิติต่างๆ ของต้นไม้ในรูปแบบของสมการแอลโลเมตรี แล้วนำสมการที่เหมาะสมที่สุดไปประมาณหาปริมาณคาร์บอนรายต้น ผลรวมของทุกต้นคือปริมาณคาร์บอนในแปลงตัวอย่างจากนั้นแปลงค่าเป็นเมตริกตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ (tonnescarbon/hectare, tC/ha)

รูปแบบของการนำสมการคาร์บอน (carbon equation) ไปใช้ประมาณปริมาณมวลชีวภาพรายต้น มี 2 รูปแบบ รูปแบบแรกคือ allometric model เป็นรูปแบบที่ใช้กันมากสำหรับการศึกษาในอดีตที่ผ่านมา หมายถึง การนำสมการที่สร้างจากไม้ตัวอย่างในแหล่งอื่นหรือพื้นที่อื่นซึ่งไม่ใช่พื้นที่ที่จะทำการศึกษามาใช้ประมาณมวลชีวภาพ รูปแบบนี้มีข้อเสียคือ สมการที่ใช้

ประมาณค่าได้จากข้อมูลของต้นไม้ในแหล่งอื่น ซึ่งอาจเป็นตัวแทนซึ่งแสดงลักษณะของพื้นที่ที่ทำการศึกษาหรือไม่ก็ได้ อีกรูปแบบหนึ่งคือ biometric model หมายถึง การประมาณมวลชีวภาพการใช้สมการคาร์บอนที่สร้างขึ้นจากไม้ตัวอย่างในพื้นที่หรือแหล่งเดียวกันกับพื้นที่ที่ทำการศึกษา มีข้อดีคือ สมการจะเป็นตัวแทนที่แสดงลักษณะเฉพาะของต้นไม้ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา (Nicodemus and Williams, 2004) อีกวิธีหนึ่งในการประมาณค่าคาร์บอนอย่างหยาบ คือ การประมาณว่าปริมาณคาร์บอนมีเท่ากับ 50% ของมวลชีวภาพ หรือน้ำหนักแห้งของส่วนต่าง ๆ ของพืช จากการศึกษาที่ผ่านมา มีรายงานว่าปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้และความหนาแน่นของไม้ (wood basic density) แปรผันตามชนิดพันธุ์ไม้ถึงแม้ว่า ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ของพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ จะมีค่ากระจัดกระจาย แต่ค่าประมาณที่มีค่าเท่ากับ 0.5 เป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางว่าเป็นค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนต่อน้ำหนักแห้งของไม้ (COFORD,1999) ดังนั้น เมื่อนำค่ามวลชีวภาพของส่วนต่าง ๆ ของพืชคูณด้วย 0.5 ผลลัพธ์คือ ปริมาณคาร์บอนของส่วนต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปประมาณหามวลชีวภาพรายต้นและต่อพื้นที่ได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทศพร วัชรางกูร และคณะ (2548) ศึกษาการประมาณปริมาณการสะสมของคาร์บอนในต้นไม้ในสวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย พบว่า การประมาณปริมาณคาร์บอนส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดของสวนป่าไม้สักและไม้ยูคาลิปตัสเพื่อการอุตสาหกรรมสามารถประมาณได้จากมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดของสวนป่าคูณด้วยค่ามาตรฐาน (0.5) ผลที่ได้รับไม่แตกต่างจากการประมาณด้วยสมการคาร์บอน ยกเว้นสวนป่าไม้สักที่มีอายุน้อย (ต่ำกว่า 10 ปี)

ชลธิดา เชิญขุนทด และธิติ วิสารัตน์ (2550) ศึกษาการเก็บกักคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของยูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่าแต่ละช่วงอายุ พบว่า เมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นจะมีแนวโน้มการสะสมมวล ชีวภาพในส่วนของลำต้นมากกว่าในส่วนของกิ่งและใบ

นาฏสุดา ภูมิจำนง (2550) ศึกษาปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในราก และคาร์บอนในดินของสวนป่าไม้สักที่ช่วงอายุต่าง ๆ กัน พบว่าความผันแปรของคาร์บอนเหนือพื้นดิน ในราก และในดินมีความผันแปรไป เนื่องจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น การจัดการสวนป่า การเผา สภาพภูมิประเทศ

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ (2551) ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของพรรณไม้บางชนิดที่ปลูก ณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริจังหวัดสกลนคร พบว่า การกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ขึ้นอยู่กับปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้

นั้นมากกว่าความเข้มข้นของคาร์บอนที่อยู่ในมวลชีวภาพ กล่าวคือ ถ้าต้นไม้มีมวลชีวภาพมากก็สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณมากเช่นกัน

นิวัฒน์ ภูผาสุก และขวัญชัย ดวงสถาพร (2553) ศึกษาการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนป่าไม้สัก กรณีศึกษา สวนป่าเกริงกระเวีย อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี พบว่า มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินเฉลี่ยต่อไร่ ระหว่าง 5.86 ถึง 11.63 ตันต่อไร่

ลดาวัลย์ พวงจิต (2547) ศึกษาการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยและกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและป่าไม้ แสดงให้เห็นว่าในปี พ.ศ. 2537 สาขาป่าไม้ในประเทศไทยมีการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 รวม 99.6 ล้านตัน และมีการกักเก็บก๊าซ CO_2 จากการปลูกป่าและการฟื้นคืนธรรมชาติของป่า จำนวน 39.1 ล้านตัน ดังนั้น ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ CO_2 สุทธิจากสาขาป่าไม้เท่ากับ 60.5 ล้านตัน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

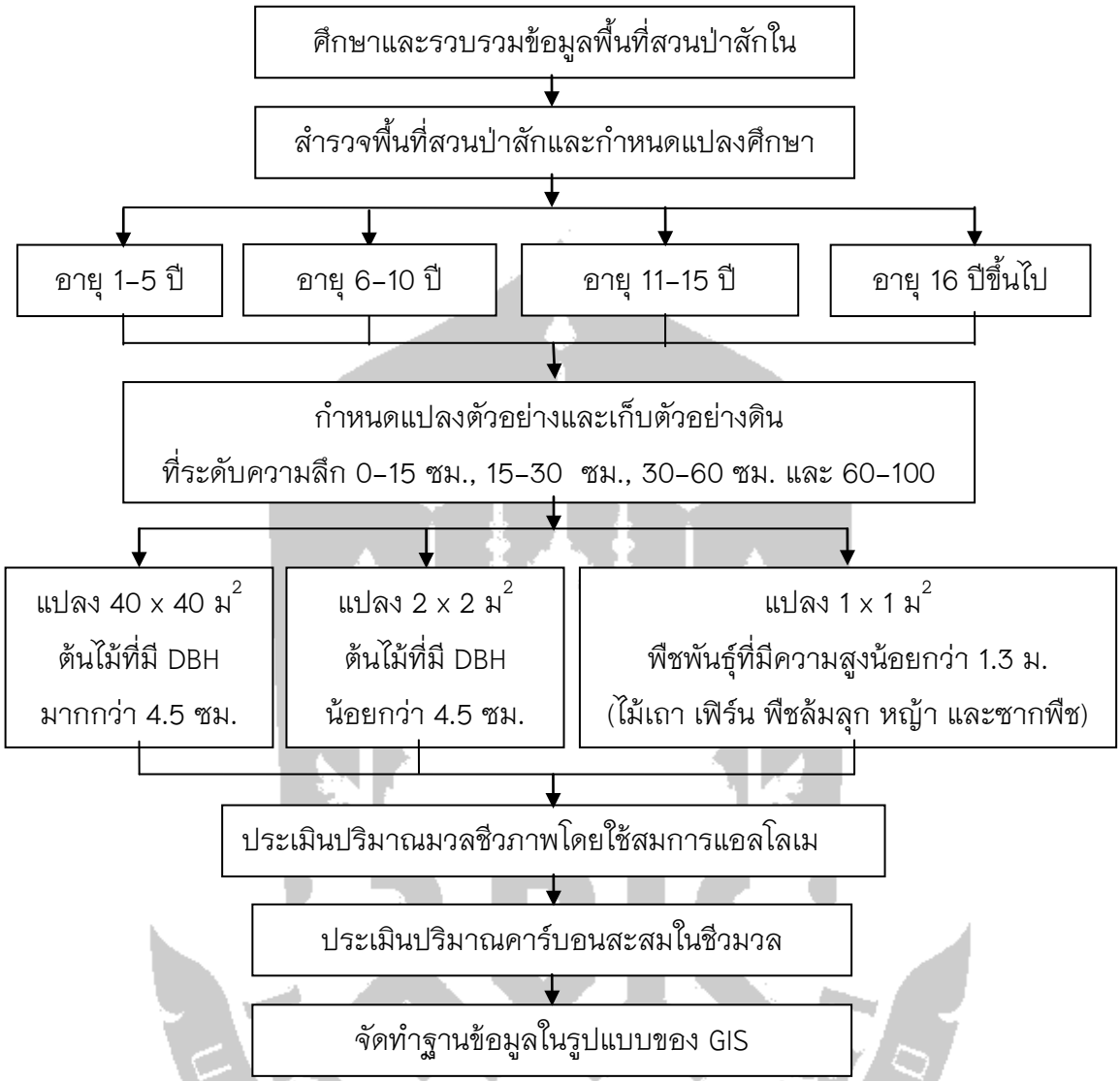
เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่

1. เครื่องชั่ง
2. จอบ
3. ถังพลาสติกใส่ตัวอย่าง
4. ถาดพลาสติก
5. ถุงพลาสติก
6. เชือกฟาง
7. ตลับเมตร
8. เทปวัดระยะ
9. กระดาษบันทึกข้อมูล
10. กระดานรองเขียน
11. ชุดเครื่องเขียน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

กรอบแนวทางการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ขั้นตอนการสำรวจและเก็บตัวอย่างเพื่อคำนวณมวลชีวภาพ และวิเคราะห์สารอินทรีย์ในดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ กัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประเมินปริมาณมวลชีวภาพ และการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพ แสดงในภาพ 5



ภาพ 5 แผนผังการดำเนินการวิจัย

จากภาพ 5 สามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

1. สำรวจพื้นที่สวนป่าสักปลูกในจังหวัดพะเยา เพื่อเลือกเป็นแปลงศึกษา โดยจะเลือกแปลงที่มีต้นสักอายุ 1–5 ปี, อายุ 6–10 ปี, อายุ 11–15 ปี และแปลงที่มีต้นสักอายุ 20 ปีขึ้นไป

2. กำหนดแปลงศึกษาแบ่งเป็นแปลงขนาด 40 x 40 $ม^2$, 2 x 2 $ม^2$ และ 1 x 1 $ม^2$ เพื่อเก็บข้อมูลพันธุ์พืช แสดงได้ดังภาพ 6

3. ในแปลงตัวอย่างขนาด 40 x 40 $ม^2$ วัดขนาดและความสูงของต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร (DBH) ตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป

4. ในแปลงตัวอย่างขนาด 2 x 2 $ม^2$ วัดขนาดและความสูงของต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร (DBH) น้อยกว่า 4.5 เซนติเมตร แต่มีความสูงมากกว่า 1.30 เมตร ซึ่งจัดว่าเป็นลูกไม้หรือไม้หนุ่ม (sapling)

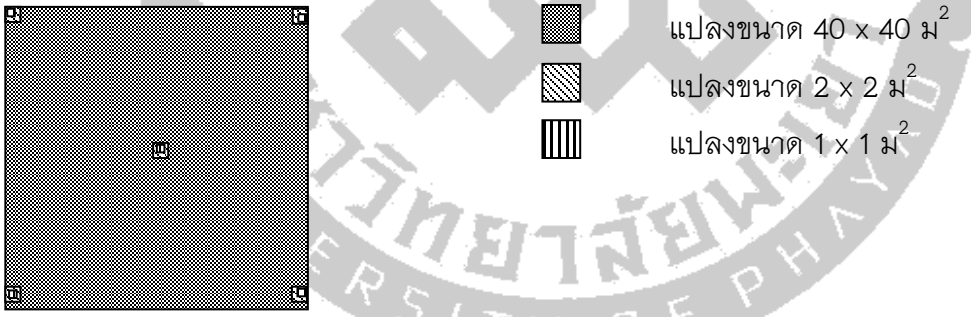
5. ในแปลงตัวอย่างขนาด 1 x 1 $ม^2$ ทำการเก็บข้อมูลพืชประเภทกล้าไม้ และไม้พื้นล่าง (seedling and undergrowths) หรือพันธุ์พืชที่มีความสูงต่ำกว่า 1.30 เมตร รวมถึง ไม้เถา (climbers) เฟิร์น (fern) พืชล้มลุก (herb) หญ้า (grass) และซากพืช (litter) โดยทำการตัดพืชทุกชนิดที่ระดับชิดดิน พร้อมทั้งเก็บรวบรวมซากพืชที่บริเวณผิวดิน แล้วนำมาชั่งน้ำหนักสดและสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปอบแห้งหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นสำหรับประมาณหาน้ำหนักแห้งในห้องปฏิบัติการต่อไป

6. เก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ กัน เช่น 0–15 ซม., 15–30 ซม., 30–60 ซม. และ 60–100 ซม. เพื่อวิเคราะห์สารอินทรีย์และค่าความหนาแน่น

7. นำข้อมูลทั้งหมดมาประเมินปริมาณมวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตริกที่เหมาะสม

8. ประเมินปริมาณคาร์บอน ได้กำหนดให้ค่าการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ของมวลชีวภาพ

9. จัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศการสะสมคาร์บอนในมวลชีวภาพสวนป่าสักของจังหวัดพะเยา



ภาพ 6 การกำหนดตำแหน่งและขนาดแปลงศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน

การประเมินมวลชีวภาพของไม้สักเหนือพื้นดินใช้สมการของ พิทยา เพชรมาก และพงษ์ศักดิ์ สหุนาฟุ (2523) ดังนี้

$\log W_S = 0.9797\log(D^2H) - 1.6902$; $r^2 = 0.9930$.....(1)

$\log W_B = 1.0605\log(D^2H) - 2.6326$; $r^2 = 0.9567$.....(2)

$\log W_L = 0.7088\log(D^2H) - 1.7383$; $r^2 = 0.8523$.....(3)

เมื่อ

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร

H = ความสูงของต้นไม้ (ม.)

W_S = มวลชีวภาพของลำต้น (กก.)

W_B = มวลชีวภาพของกิ่ง (กก.)

W_L = มวลชีวภาพของใบ (กก.)

ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม เช่น DBH ของต้นไม้ และความชื้นของตัวอย่างมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการนำตัวอย่างต้นไม้ที่เก็บได้มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 48 ชั่วโมง หรืออบจนน้ำหนักของตัวอย่างคงที่แล้วหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}} \times 100 \quad \text{.....(4)}$$

โดยที่น้ำหนักสดและน้ำหนักอบแห้งของตัวอย่าง (ลำต้น กิ่งใหญ่ กิ่งเล็ก และใบ) มีหน่วยเป็นกรัม จากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ได้ไปคำนวณเพื่อเปลี่ยนน้ำหนักสดของต้นไม้ตัวอย่างแต่ละต้น ให้เป็นน้ำหนักอบแห้งจากสมการ (5) น้ำหนักสดและน้ำหนักอบแห้งมีหน่วยเป็นกิโลกรัม

$$\text{น้ำหนักอบแห้ง} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสด}}{100 \text{ความชื้น (\%)}} \quad \text{.....(5)}$$

2. การประเมินปริมาณมวลชีวภาพในราก

การประเมินมวลชีวภาพของไม้สักในรากใช้สมการของประดิษฐ์ และคณะ (2551) ดังนี้

$$W_R = 0.1286(DBH^2H)^{0.6069} \quad ; \quad r^2 = 0.97 \text{.....(6)}$$

$$W_r = 0.2924(DBH^2H)^{0.4255} \quad ; \quad r^2 = 0.79 \text{.....(7)}$$

เมื่อ

DBH = เส้นผ่าศูนย์กลางของต้นไม้ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร

H = ความสูงของต้นไม้ (ม.)

W_R = มวลชีวภาพของราก (กก.)

W_r = มวลชีวภาพของรากฝอย (กก.)

3. การประเมินปริมาณคาร์บอน

การประเมินปริมาณคาร์บอนในสวนป่าสัก คำนวณจากปริมาณมวลชีวภาพ โดยใช้สมการของ Margaret *et al.* (2002)

ปริมาณคาร์บอน = 0.5 x มวลชีวภาพ (น้ำหนักอบแห้ง) .....(8)

4. การวิเคราะห์คาร์บอนในดิน

เก็บตัวอย่างดินจากระดับความลึกตั้งแต่ 0–15 ซม., 15–30 ซม., 30–60 ซม. และ 60–100 ซม. นำไปวิเคราะห์หาสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic matter) และความหนาแน่น (Bulk density)

การวิเคราะห์หาสารอินทรีย์ด้วยวิธี Walkley–Black

หลักการของวิธีนี้คือ ใช้ $K_2Cr_2O_7$ ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์อย่างแรงทำปฏิกิริยากับอินทรีย์คาร์บอนในกรดซัลฟูริกเข้มข้น แล้วไตเตรทหา $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือด้วย $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$

น้ำยาเคมีและวิธีเตรียม

1. สารละลายโปแทสเซียมไดโครเมท 1.0 นอร์มอล

ละลาย $K_2Cr_2O_7$ (อบที่ 105–110 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ด้วยน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

2. สารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล

ละลาย $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 . 6H_2O$ 196.1 กรัม ในน้ำกลั่นประมาณ 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น

4. เฟอโรอิน อินดิเคเตอร์

ละลาย 1,10–phenanthroline monohydrate ($C_{12}H_8N_2.H_2O$) 1.48 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล 14 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

ขั้นตอนวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างตะกอนดิน (ที่ร่อนผ่านตะแกรง 0.5 มิลลิเมตร) 0.5–2.00 กรัม (ทั้งนี้แล้วแต่ตัวอย่างจะมีอินทรีย์วัตถุมากหรือน้อย) ใส่ในฟลาสก์รูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายโปแทสเซียมไดโครเมท 1.0 นอร์มอล 10 มิลลิลิตร ด้วย volumetric pipet และเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นด้วยกระบอกตวงลงไป 20 มิลลิลิตร แกว่งฟลาสก์เบา ๆ เพื่อให้สารละลายกับตะกอนดินผสมกันประมาณ 1–2 นาที แล้วทิ้งไว้ประมาณ 20–30 นาที ขั้นตอนนี้ทำในตู้ควัน

3. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 100 มิลลิลิตร และหยดเฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ลงไป 4–5 หยด แล้วไตเตรทด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.5 นอร์มอล จนกระทั่งสีของสารแขวนลอยเปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลแดง บันทึกปริมาตรของสารละลายสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ไป

ถ้าไตเตรทด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเกินจุดยุติ ให้เติมสารละลายโปแทสเซียมไดโครเมท ลงไปอีก 0.5–1 มิลลิลิตร แล้วไตเตรทด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตอีกครั้งหนึ่ง จุดยุติคือ จุดที่อินดิเคเตอร์ เริ่มเปลี่ยนจากเขียวเป็นน้ำตาลแดง

4. วิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ (วิเคราะห์แบลงค์) โดยทำเฉพาะข้อ 2 และข้อ 3 บันทึกปริมาตรของสารละลายสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้

5. คำนวณปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเป็นร้อยละ โดยใช้สูตร

เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน = $\frac{(B-S) \times N \times 0.336}{W}$

เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุ = เปอร์เซ็นต์อินทรีย์คาร์บอน x 1.72

เมื่อ B = ปริมาตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ไตเตรทแบลงค์ (มิลลิลิตร)

S = ปริมาตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

N = นอร์มอลิตี้ของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต

W = น้ำหนักของตัวอย่างตะกอนดิน (กรัม)

การหาความหนาแน่นรวมของดิน

1. เก็บตัวอย่างดินโดยใช้ soil core (กระบอกโลหะ) เจาะลงไปในดินตามความลึกที่ต้องการแล้วใช้มีดปาดหน้าทั้งด้านบนและด้านล่างของ soil core ให้เรียบพอดี

2. นำกระบอก soil core จากข้อ 2.1 ไปอบที่อุณหภูมิ 105 – 110 ^{0}C เป็นเวลานาน 16–24 ชม. จึงนำออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3. ชั่งน้ำหนัก soil core ที่มีดิน บันทึกผล จากนั้นเทดินออกให้หมดแล้วชั่งน้ำหนัก soil core เปล่าที่ไม่มีดิน (เพื่อหาน้ำหนักที่แท้จริงของดิน)

4. หาปริมาตรภายในของ soil core เพื่อคิดเป็นปริมาตรของดินรวมทั้งหมด

ความหนาแน่นรวมของดิน = $\frac{\text{น้ำหนักของดินแห้ง}}{\text{ปริมาตรภายในของ soil core}}$

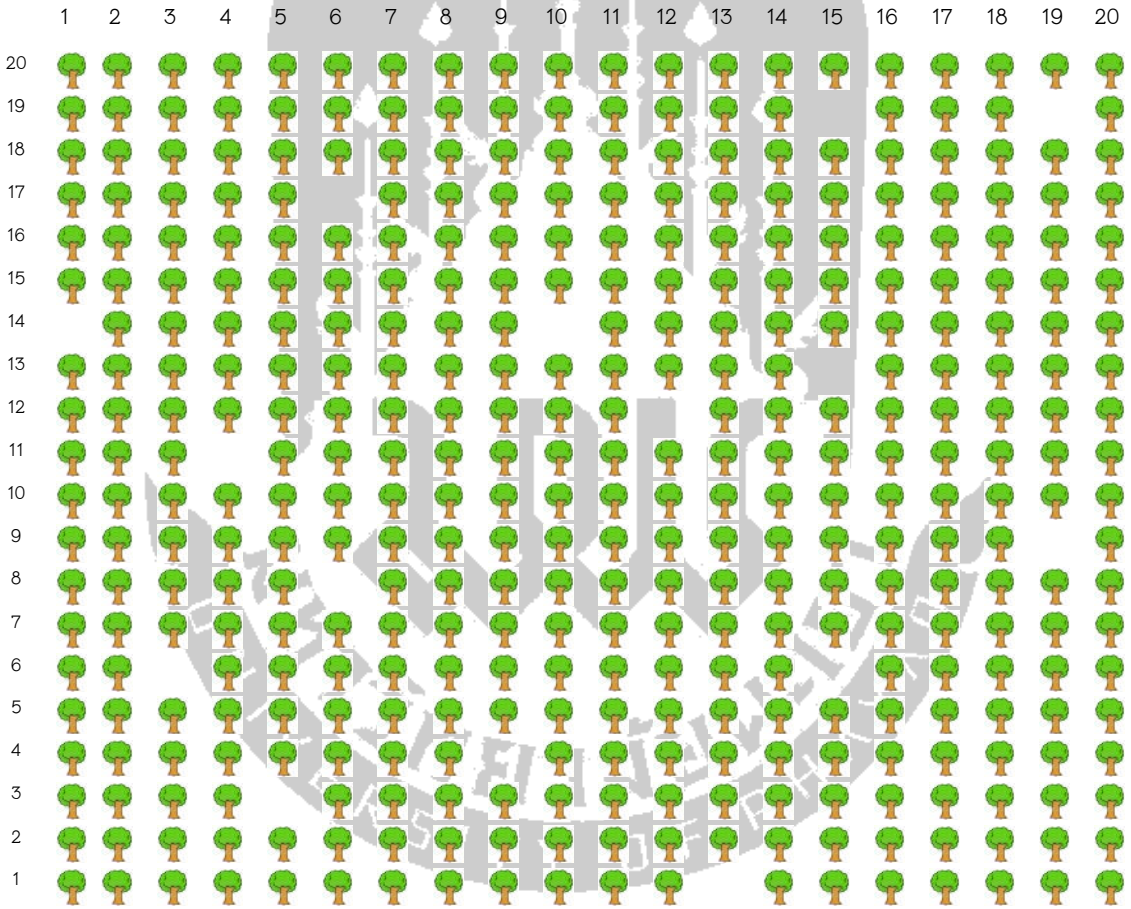
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สภาพทั่วไป

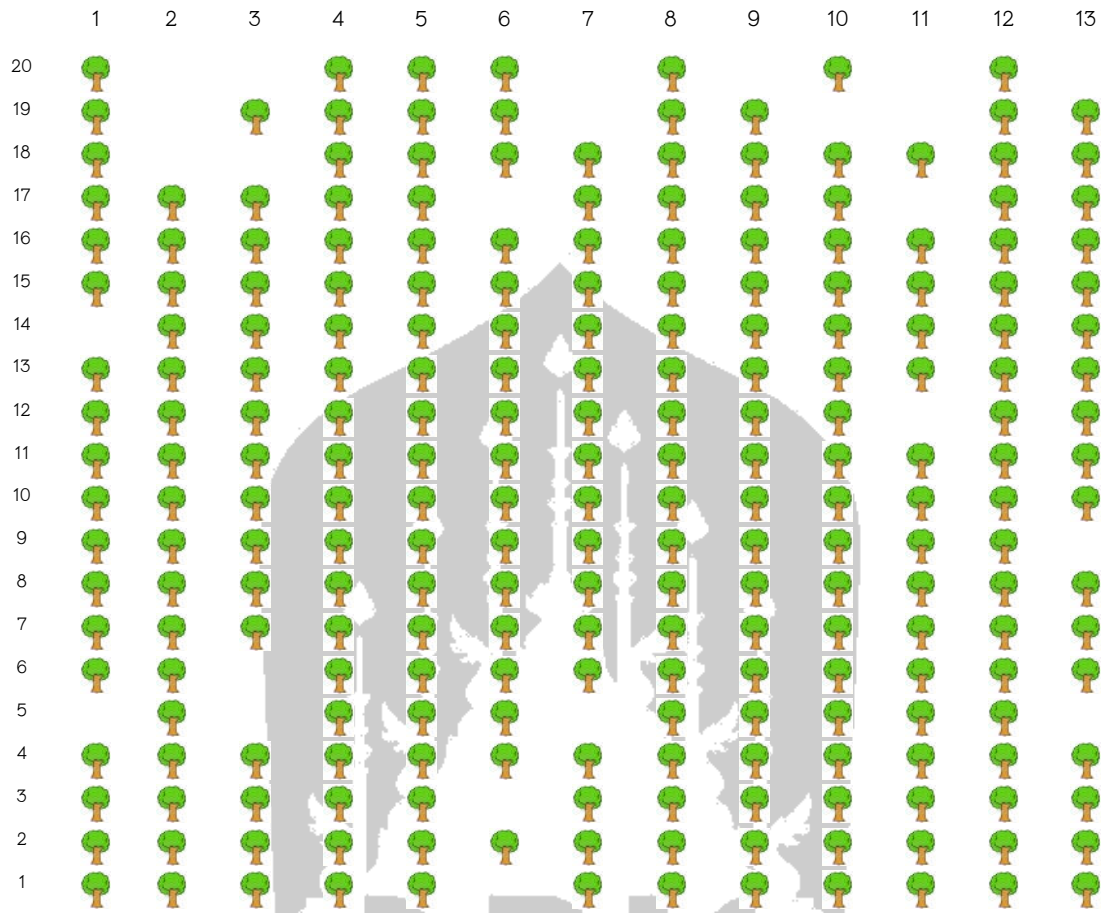
แปลงไม้สักตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ มีด้วยกัน 4 แปลง ได้แก่

1. แปลงไม้สักตัวอย่างอายุ 2 ปี ตั้งอยู่ ณ ตำบลบ้านปิน อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา ปลูกเมื่อ พ.ศ. 2552 ระยะปลูก 2 x 2 เมตร อัตราการรอดตายร้อยละ 95 (ภาพ 7)



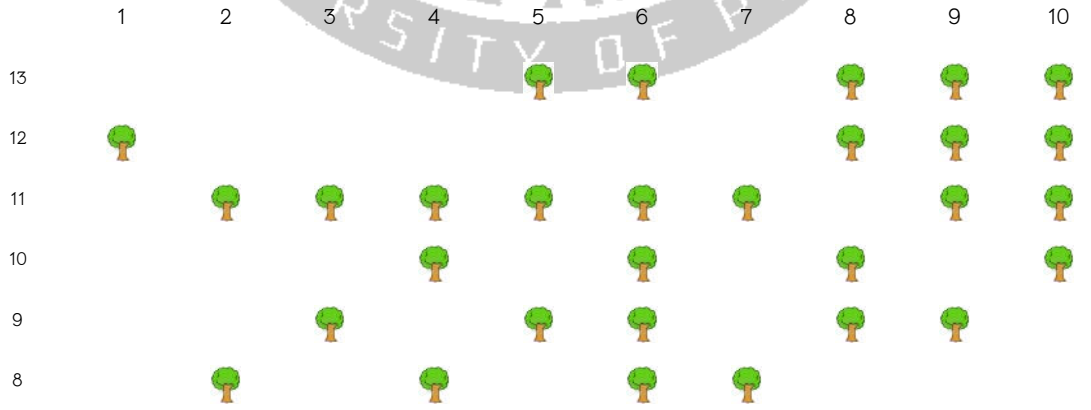
ภาพ 7 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 2 ปี

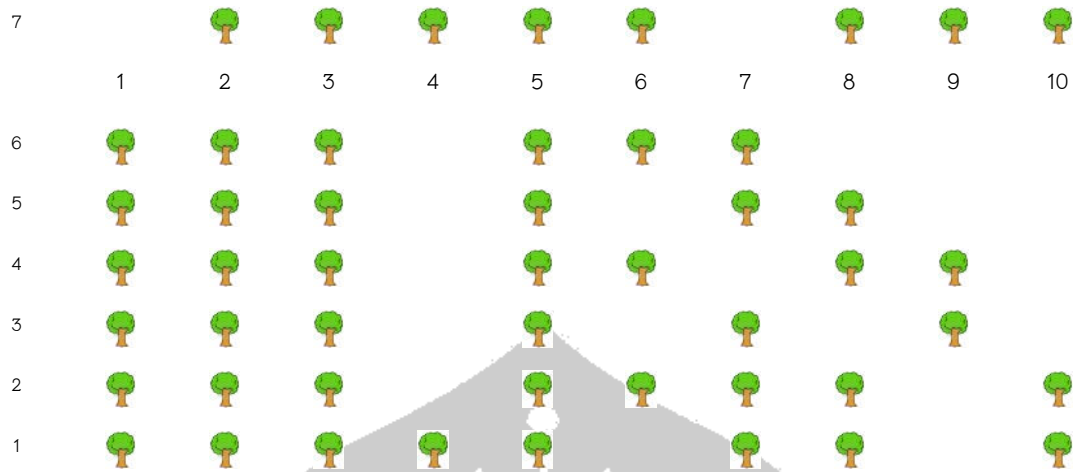
2. แปลงไม้สักตัวอย่างอายุ 9 ปี ตั้งอยู่ ณ ตำบลดงเจน อำเภอภูกามยาว จังหวัดพะเยา ปลูกเมื่อ พ.ศ. 2545 ระยะปลูก 2 x 3 เมตร อัตราการรอดตายร้อยละ 90.77 (ภาพ 8)



ภาพ 8 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 9 ปี

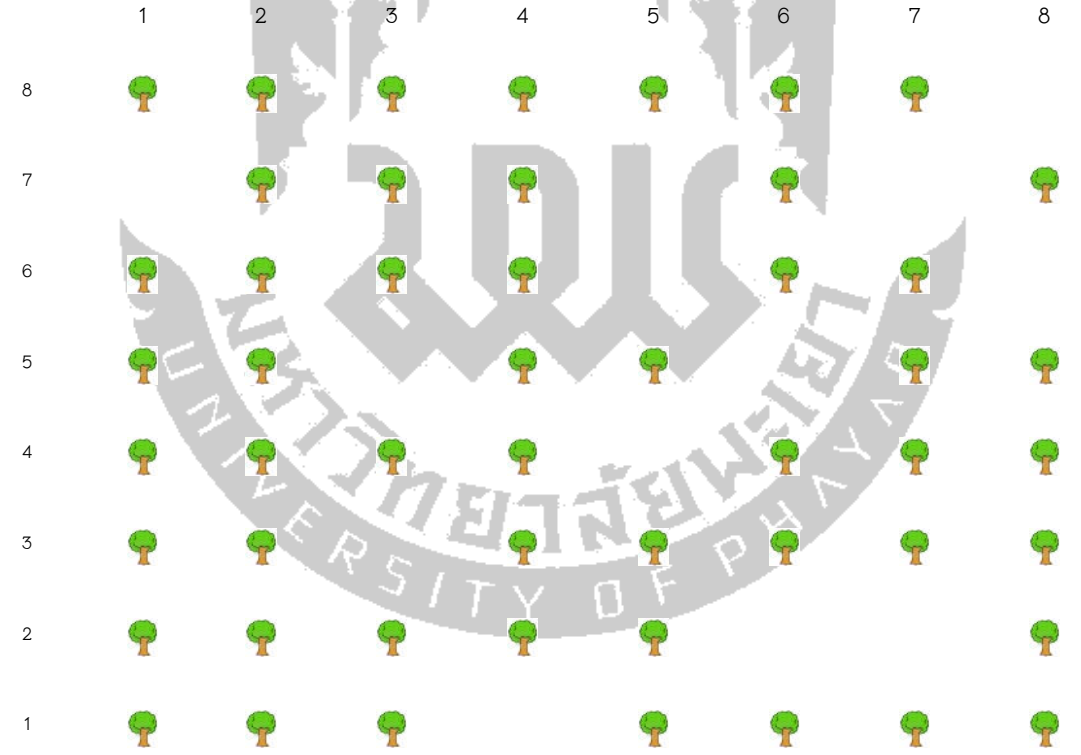
3. แปลงไม้สักตัวอย่างอายุ 15 ปี ตั้งอยู่ ณ ตำบลห้วยเจริญราษฎร์ อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา ปลูกเมื่อ พ.ศ. 2539 ระยะปลูก 3 x 4 เมตร อัตราการรอดตายร้อยละ 60.77 (ภาพ 9)





ภาพ 9 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 15 ปี

4. แปลงไม้สักตัวอย่างอายุ 34 ปี ตั้งอยู่ ณ ตำบลแม่กา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยา ปลูกเมื่อ พ.ศ. 2520 ระยะปลูก 5 x 5 เมตร อัตราการรอดตายร้อยละ 79.69 (ภาพ 10)



ภาพ 10 ลักษณะต้นไม้ที่ขึ้นอยู่ในแปลงตัวอย่างของไม้สักอายุ 34 ปี

ก. แปลงอายุ 2 ปี

ข. แปลงอายุ 9 ปี

ค. แปลงอายุ 15 ปี

ง. แปลงอายุ 34 ปี

ภาพ 11 สภาพแปลงไม้สักตัวอย่างที่ทำการศึกษา

การเจริญเติบโต

จากการนับอัตราการรอดตายและการเติบโตของไม้สักแปลงตัวอย่างอายุ 2 ปี ระยะปลูก 2 x 2 เมตร แปลงตัวอย่างอายุ 9 ปี ระยะปลูก 2 x 3 เมตร แปลงตัวอย่างอายุ 15 ปี ระยะปลูก 3 x 4 เมตร และแปลงตัวอย่างอายุ 34 ปี ระยะปลูก 5 x 5 เมตร พบว่า ไม้สักในแปลงตัวอย่างอายุ 2 ปี มีความหนาแน่น 385 ต้น/ไร่ ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 2.97 เมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร เฉลี่ยเท่ากับ 3.11 เซนติเมตร ไม้สักในแปลงตัวอย่างอายุ 9 ปี มีความหนาแน่น 236 ต้น/ไร่ ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 9.94 เมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร เฉลี่ยเท่ากับ 9.19 เซนติเมตร ไม้สักในแปลงตัวอย่างอายุ 15 ปี มีความหนาแน่น 79 ต้น/ไร่ ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 19.73 เมตร และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร เฉลี่ยเท่ากับ 20.08 เซนติเมตร และไม้สักในแปลงตัวอย่างอายุ 34 ปี มีความหนาแน่น 51 ต้น/ไร่ ความสูงเฉลี่ยเท่ากับ 22.02 เมตร และขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร เฉลี่ยเท่ากับ 31.92 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่า ไม้สักที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดพะเยา จะเจริญเติบโตได้ดีทั้งความโตและความสูง ไม้สักที่ปลูกโดยองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ อายุ 18 ปี มีความสูงเฉลี่ย 14.16 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร เท่ากับ 15.53 เซนติเมตร และไม้สักที่ปลูกในศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร อายุ 22 ปี จะมีความสูงเฉลี่ย 8.16 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร เท่ากับ 9.29 เซนติเมตร เท่ากับไม้สักที่ปลูกที่จังหวัดพะเยาอายุ 9 ปีเท่านั้น (ตาราง 3)

ตาราง 3 อายุ ระยะปลูก ความหนาแน่น ความสูงเฉลี่ย และเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยของไม้สัก

อายุ (ปี)	ระยะปลูก (ม. x ม.)	ความหนาแน่น (ต้น/ไร่)	ความสูง (ม.)	เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร (ซม.)	หมายเหตุ
2	2 x 2	385	2.97 ±0.90	3.11 ±0.49	
9	2 x 3	236	9.94 ± 2.90	9.19 ± 2.40	
15	3 x 4	79	19.73 ± 2.09	20.08 ±3.52	
18	4 x 4	69	14.16	15.53	*
22	4 x 4	90	8.16 ± 2.59	9.29 ± 3.95	**
34	5 x 5	51	22.02 ± 1.16	31.92 ± 6.89	

หมายเหตุ : * บุญเลิศ ศรีสุขใส, 2534

** ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ และคณะ, 2551

ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน

ผลการวิเคราะห์มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสักทั้ง 4 แปลง พบว่า แปลงอายุ 2 ปี 9 ปี 15 ปี และ 34 ปี มีค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพเท่ากับ 9.44, 60.83, 184.63 และ 223.18 ตัน/เฮกแตร์ และค่าเฉลี่ยปริมาณการสะสมคาร์บอน เท่ากับ 4.72, 30.42, 92.32 และ 116.59 ตัน/เฮกแตร์ ตามลำดับ สำหรับแปลงอายุ 2 ปี ไม่มีค่าปริมาณมวลชีวภาพในไม้ใหญ่ เนื่องจากในแปลงตัวอย่างที่ทำการศึกษาไม่มีไม้สักที่มีขนาดความโตที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร เกิน 4.5 เซนติเมตรขึ้นไปปรากฏอยู่เลย และแปลงอายุ 9 ปี 15 ปี และ 34 ปี ไม่มีค่ามวลชีวภาพของไม้หนุ่ม เนื่องจากได้มีการกำจัดวัชพืชในสวนป่า (ตาราง 4)

ตาราง 4 ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสัก

อายุ (ปี)	มวลชีวภาพ									มวลชีวภาพ (ตัน/แฮกแตร์)	การกักเก็บคาร์บอน (ตัน/เฮกแตร์)
	ไม้ใหญ่ (ตัน/แฮกแตร์)			ไม้หนุ่ม (ตัน/แฮกแตร์)			ราก (ตัน/แฮกแตร์)	รากฝอย (ตัน/แฮกแตร์)	ไม้พื้นล่างและซากพืช (ตัน/แฮกแตร์)		
	ลำต้น	กิ่ง	ใบ	ลำต้น	กิ่ง	ใบ					
2	–	–	–	2.14	0.28	0.00	2.52	3.05	1.45	9.44	4.72
9	27.87	5.65	3.71	–	–	–	12.83	8.35	2.42	60.83	30.42
15	114.10	27.17	8.75	–	–	–	22.90	10.06	1.65	184.63	92.32
34	157.32	40.86	9.03	–	–	–	16.41	8.30	1.27	233.18	116.59

ตาราง 5 เปรียบเทียบการศึกษาปริมาณการกักเก็บในสวนป่าสัก

อายุ (ปี)	การกักเก็บคาร์บอน (ตัน/เฮกแตร์)			
	การศึกษาครั้งนี้	นาฏสุดา,2550	ทศพร และคณะ ,2548	ประดิษฐ์ และคณะ,2551
2	4.72	–	–	–
9	30.42	–	19.60	–
10	–	7.90	–	–
13			18.20	–
14	–	12.10	–	–
15	92.32	–	–	–
18	–	11.14	–	–
21			53.70	–
22				12.857
27	–	60.32	–	–
28	–	77.43	–	–
34	116.59	–	–	–

ปริมาณคาร์บอนในดินของสวนป่าสัก

ปริมาณการสะสมคาร์บอนในดินของสวนป่าอายุ 2 ปี 9 ปี 15 ปี และ 34 ปี เท่ากับ 104.95, 33.46, 52.39 และ 43.33 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ (ตาราง 6)

ปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินที่ต้นไม้ยังอายุน้อยจะมีปริมาณการสะสมคาร์บอนมาก ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดินหากแบ่งตามความลึกของชั้นดิน มีแนวโน้มว่าจะมีอินทรีย์คาร์บอนสูงมากที่สุดบริเวณชั้นบนสุดของดิน และเหมือนกันทุกช่วงอายุของไม้สัก

ตาราง 6 ปริมาณคาร์บอนในดินของสวนป่าสัก

อายุ (ปี)	ความลึกของดิน (ซม.)	ร้อยละอินทรีย์คาร์บอน (%)	ความหนาแน่นรวม (กรัม/ซม.^{3})	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (ตัน/เฮกแตร์)	การกักเก็บคาร์บอนในดิน (ตัน/เฮกแตร์)	ปริมาณคาร์บอนในดินที่ความลึก 100 ซม. (ตัน/เฮกแตร์)
2	0–15	2.74	1.48	60.83	60.83	104.95
	15–30	0.55	1.47	12.13	72.96	
	30–60	0.32	1.57	15.07	88.03	
	60–100	0.30	1.41	16.92	104.95	
9	0–15	0.66	1.27	12.57	12.57	33.46
	15–30	0.21	1.25	3.94	16.51	
	30–60	0.19	1.39	7.92	24.43	
	60–100	0.16	1.41	9.02	33.46	
15	0–15	0.95	1.17	16.67	16.67	52.39
	15–30	0.52	1.27	9.91	26.58	
	30–60	0.35	1.27	13.34	39.91	
	60–100	0.30	1.04	12.48	52.39	
34	0–15	0.92	1.00	13.80	13.80	43.33
	15–30	0.55	1.27	10.48	24.28	
	30–60	0.22	1.22	8.05	32.33	
	60–100	0.21	1.31	11.00	43.33	

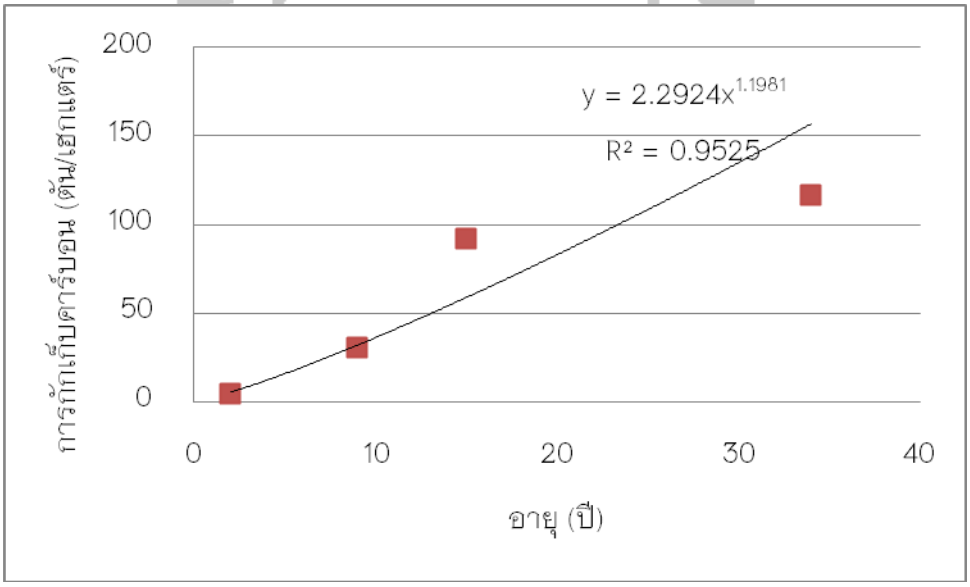
ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของไม้สัก

จากการวิเคราะห์ความเพิ่มพูนรายปีของการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสักจังหวัดพะเยา ที่ทำการศึกษาจำนวน 4 แปลง พบว่า สวนป่าสักอายุ 15 ปี มีความเพิ่มพูนรายปีสูงที่สุดเท่ากับ 0.98 ตัน/ไร่/ปี หรือ 6.15 ตัน/เฮกแตร์/ปี รองลงมาคือสวนป่าสักอายุ 34 ปี 9 ปี และ 2 ปี ซึ่งมีความเพิ่มพูนรายปี เท่ากับ 0.55, 0.54 และ 0.38 ตัน/ไร่/ปี หรือ 3.43, 3.38 และ 2.36 ตัน/เฮกแตร์/ปี ตามลำดับ (ตาราง 7)

ตาราง 7 ค่าความเพิ่มพูนรายปีของการกักเก็บคาร์บอนของสวนป่าสักจังหวัดพะเยา

อายุ (ปี)	ระยะปลูก (ม. x ม.)	ความหนาแน่น (ต้น/ไร่)	ความเพิ่มพูนรายปีของการกักเก็บคาร์บอน	
			ตัน/ไร่/ปี	ตัน/เฮกแตร์/ปี
2	2 x 2	385	0.38	2.36
9	2 x 3	236	0.54	3.38
15	3 x 4	79	0.98	6.15
34	5 x 5	51	0.55	3.43

จากตาราง 7 จะเห็นว่า ไม้สักจะมีค่าความเพิ่มพูนรายปีของการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุดจะอยู่ในช่วงอายุ 15 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.98 ตัน/ไร่/ปี และมีแนวโน้มลดลงเมื่อไม้สักมีอายุมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลผลิตของไม้สักที่ศึกษาในครั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่นาฏสุดา (2547) รวบรวมไว้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.5 ตัน/ไร่/ปี



ภาพ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุต้นสักและปริมาณการกักเก็บคาร์บอน

เมื่อนำอายุต้นสักและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมาหาความสัมพันธ์จะได้กราฟเลขยกกำลัง โดยมีสมการ ดังนี้

$$Y = 2.2924X^{1.1981} \quad r^2 = 0.9525 \quad \text{.....(9)}$$

เมื่อ y = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอน (ตัน/เฮกแตร์)

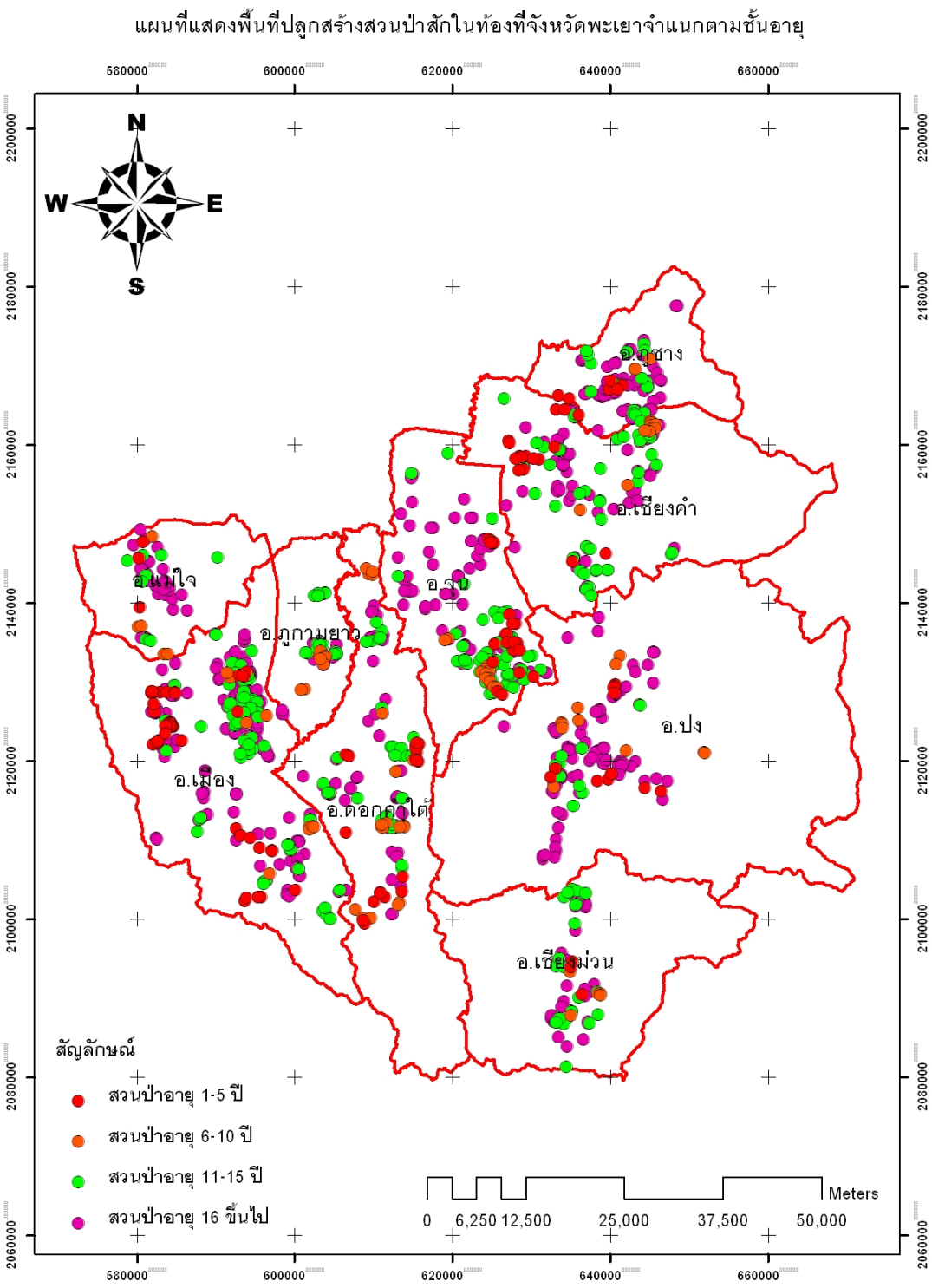
X = อายุต้นสัก (ปี)

การกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก

จังหวัดพะเยามีข้อมูลสวนป่าสักของเอกชนหรือป่าเศรษฐกิจที่เกษตรกรเข้าร่วมโครงการส่งเสริมเกษตรกรปลูกป่ากับกรมป่าไม้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 จนถึง ปี พ.ศ. 2552 รวมทั้งสิ้น 2,208.04 เฮกแตร์ จาก 9 อำเภอ สามารถคำนวณเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งจังหวัดพะเยารวมทั้งสิ้น เท่ากับ 127,798.48 ตันคาร์บอน (ตาราง 8)

ตาราง 8 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสัก จังหวัดพะเยา

อำเภอ	พื้นที่ปลูก (ไร่)	การกักเก็บคาร์บอน (ตันคาร์บอน)
จุน	1,533.00	13,398.14
เชียงคำ	3,553.50	35,646.26
เชียงม่วน	787.50	7,397.14
ดอกคำใต้	1,426.75	12,132.91
ปง	873.00	8,352.53
เมืองพะเยา	4,439.75	41,052.57
แม่ใจ	556.25	5,357.06
ภูกามยาว	363.50	2,687.08
ภูซาง	267.00	1,774.81
รวมจังหวัดพะเยา	13,800.25	127,798.48



ภาพ 13 สวนป่าสักในจังหวัดพะเยา

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา โดยการประมาณมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้จากสวนป่าสักอายุต่างๆ จากสมการความสัมพันธ์ในรูปสมการแอลโลเมตรี แล้วนำมาคำนวณเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอน สามารถสรุปได้ว่า สวนป่าสักอายุ 34 ปี มีปริมาณมวลชีวภาพสูงกว่าสวนป่าสักอายุ 15 ปี 9 ปี และ 2 ปี โดยมีปริมาณมวลชีวภาพ เท่ากับ 233.18 ตันต่อเฮกแตร์ 184.63 ตันต่อเฮกแตร์ 60.83 ตันต่อเฮกแตร์ และ 9.44 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ และพบว่า สวนป่าสักอายุ 34 ปี มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสูงกว่าสวนป่าสักอายุ 15 ปี 9 ปี และ 2 ปี โดยมีค่าการกักเก็บคาร์บอน 116.59 ตันต่อเฮกแตร์ 92.32 ตันต่อเฮกแตร์ 30.42 ตันต่อเฮกแตร์ และ 4.72 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดินของสวนป่าสัก อายุ 2 ปี 9 ปี 15 ปี และ 34 ปี เท่ากับ 104.95, 33.46, 52.39 และ 43.33 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ

จากสถิติการส่งเสริมปลูกไม้สักในจังหวัดพะเยามีพื้นที่ 2,208.04 เฮกแตร์ คิดเป็นการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักประมาณ 127,798.48 ตันคาร์บอน

อภิปรายผล

ปริมาณมวลชีวภาพของสวนป่าสักทั้ง 4 แปลงตัวอย่างค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบสวนป่าสักอื่นที่เคยมีการศึกษาไว้ ทั้งนี้เนื่องจากแปลงปลูกไม้ที่ศึกษาเป็นพื้นที่ของเอกชนปลูกเพื่อประโยชน์ในทางเศรษฐกิจ จึงได้รับการจัดการและดูแลบำรุงรักษาอย่างดีและต่อเนื่อง ประกอบกับสภาพภูมิประเทศมีความเหมาะสม ทำให้ไม้สักเจริญเติบโตได้ดีมีความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพสูง จึงทำให้สามารถกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณสูงด้วย เนื่องจากปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสัมพันธ์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณมวลชีวภาพ

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่าสักจังหวัดพะเยา มีประเด็นที่ควรระมัดระวังและพิจารณา ดังต่อไปนี้

1. การศึกษาปริมาณมวลชีวภาพในครั้งนี้ เป็นการนำสมการแอลโลเมตริกของผู้ที่เคยทำการศึกษาสถานที่อื่น มาใช้ในการคำนวณอาจจะมีความแตกต่างของผลการศึกษาได้ ในการศึกษาครั้งต่อไปควรจะสร้างสมการขึ้นเอง

2. การศึกษาปริมาณมวลชีวภาพมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ อายุ ระยะห่างในการปลูก การดูแลและบำรุงรักษา เป็นต้น ดังนั้น ในการคำนวณปริมาณมวลชีวภาพต่อต้นจากไม้ในแปลงปลูกจึงอาจมีความแตกต่างกันไป

3. ในอนาคตอันใกล้ อาจจะมีการซื้อขายคาร์บอน จากการปลูกสร้างสวนป่าของเอกชน ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สามารถชี้ให้เห็นว่าสวนป่าสักแต่ละแปลงมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้มากน้อยเพียงใด เพื่อที่ทุกภาคส่วนจะร่วมกันสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการปลูกสร้างสวนป่าให้มากขึ้นด้วย

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมป่าไม้. (2553). **เนื้อที่ป่าไม้ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2516–2551.** สืบค้นเมื่อ 5 ตุลาคม 2554, จาก http://web2.forest.go.th /stat/stat53/ตาราง1.pdf

จิรนันท์ ธีระกุลพิศุทธิ์. (2546). **ศักยภาพการสะสมธาตุคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่าทองผาภูมิ.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ.

ชลธิดา เชิญขุนทด. (2550). **การเก็บกักคาร์บอนเหนือพื้นดินในสวนป่ายูคาลิปตัส ยูโรฟิลล่า บริเวณสถานีวนวัฒนวิจัยสะแกราช จังหวัดนครราชสีมา.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทศพร วัชรางกูร, ชิงชัย วิริยะบัญชา และกันตินันท์ ผิวสะอาด. (2548). **การประมาณปริมาณการสะสมของคาร์บอนในต้นไม้ในสวนป่าเพื่อการอุตสาหกรรมในประเทศไทย**, หน้า 137 – 157. ในรายงานการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต”วันที่ 4 – 5 สิงหาคม พ.ศ. 2548. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช และ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

นาฏสุดา ภูมิจำนงค์. (2547). **แหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโต.** การประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, โรงแรมมารวยการ์เด้น กรุงเทพฯ.

นาฏสุดา ภูมิจำนงค์. (2550). **ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ในราก และคาร์บอนในดินของสวนป่าไม้สัก.** วารสารสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ปีที่ 5 (ฉบับที่ 1–2): 109–121

นิวัฒน์ ภูผาสุก และ ขวัญชัย ดวงสถาพร. (2553). **การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนป่าไม้สัก: กรณีศึกษาสวนป่าเกริงกระเวีย อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี.** วารสารการจัดการป่าไม้ 4(7) : 105–106 (2553).

บุญเลิศ ศรีสุกใส. (2534). **การเจริญเติบโตและผลผลิตของไม้สักในสวนป่าอายุ 18 ปี องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ประดิษฐ์ ตรีพัฒนาสุวรรณ สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ ดุริยะ สถาพร และ เจด็จ รัตนแก้ว. (2551). **รายงานการวิจัย การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์**

ของพรรณไม้ป่าบางชนิดในบริเวณศูนย์ศึกษาการพัฒนาภูพานอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดสกลนคร III. การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพ

พิทยา เพชรมาก และ พงษ์ศักดิ์ สหุนาฬุ. (2523). **ผลผลิตขั้นปฐมภูมิของสวนป่าไม้สัก.** รายงานวนศาสตร์วิจัยเล่มที่ 70, คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรกฎาคม 2523.

พัชรี แสนจันทร์. (2542). **ปรากฏการณ์เรือนกระจกกับอุณหภูมิโลกที่กำลังสูงขึ้น และแนวทางการลดผลกระทบ**. วารสารศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม-มีนาคม 2542. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เพลินพิศ พงษ์ประยูร. (2541). **การศึกษาแหล่งปล่อยและดูดกลับของก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้พื้นที่และภาคป่าไม้ของประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

วริศรา ไชยวงศ์. (2539). **การวัดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตถ่าน.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553). **การจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย.**

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2006). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Volume 1: General Guidance and Reporting.** Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). **Climate change 2007: The Physical Science Basis.**

Margaret, K., Alvaro, C., Tim, M. (2002). **Carbon storage of harvest-age teak (Tectona grandis) plantation, Panama.** Forest Ecology and Management [Online]; 5863: 1-13. Available from: URL: http://www.sciencedirect.com/science

ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า

ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า

ชื่อ นามสกุล	นายชโลธร ชุมภูกุล
วัน เดือน ปี เกิด	8 ตุลาคม 2521
ที่อยู่ปัจจุบัน	26 หมู่ที่ 3 ตำบลแม่สุก อำเภอแม่ใจ จังหวัดพะเยา
ที่ทำงานปัจจุบัน	ศูนย์ประสานงานป่าไม้พะเยา สำนักจัดการทรัพยากรป่าไม้ ที่ 2 กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	นักวิชาการป่าไม้
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2544	วท.บ. (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2555	วท.ม. (การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยพะเยา