

การลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ ตามมาตรฐานของประเทศไทย
กรณีศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยประยุกต์ใช้
ดัชนีพืชพรรณ NDVI พื้นที่ป่าเต็งรัง
ในมหาวิทยาลัยพะเยา



ทรงกริช อินตา

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

กุมภาพันธ์ 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ ตามมาตรฐานของประเทศไทย
กรณีศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยประยุกต์ใช้
ดัชนีพืชพรรณ NDVI พื้นที่ป่าเต็งรัง
ในมหาวิทยาลัยพะเยา



ทรงกริช อินตา

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

กุมภาพันธ์ 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

THAILAND VOLUNTARY EMISSION REDUCTION PROGRAM (T-VER): A CASE STUDY OF
ESTIMATION CARBON STOCK USING NDVI IN DRY DIPTEROCARP FOREST
IN UNIVERSITY OF PHAYAO



A Thesis Submitted to University of Phayao
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Master of Science Degree in Environmental Science
February 2022
Copyright 2022 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ ตามมาตรฐานของประเทศไทย

กรณีศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยประยุกต์ใช้

ดัชนีพืชพรรณ NDVI พื้นที่ป่าเต็งรัง

ในมหาวิทยาลัยพะเยา

ของ ทรงกริช อินตา

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ดร. มนตรี แสนวังสี)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐภูมิ พรหมณะ)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขทัย พงศ์พัฒน์ศิริ)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม

(รองศาสตราจารย์ ดร. ตอพงศ์ กวีธาดา)

| | |
|--------------------------|---|
| เรื่อง: | การลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจ ตามมาตรฐานของประเทศไทย กรณีศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยประยุกต์ใช้ ดัชนีพืชพรรณ NDVI พื้นที่ป่าเต็งรัง ในมหาวิทยาลัยพะเยา |
| ผู้วิจัย: | ทรงกริช อินตา, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2564 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา: | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐภูมิ พรหมณะ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขทัย พงศ์พัฒน์ศิริ |
| คำสำคัญ: | การกักเก็บคาร์บอน, การลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย, ป่า เต็งรัง |

บทคัดย่อ

ปัจจุบันปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ส่วนหนึ่งเกิดจากการทำลายป่าและทำให้ป่าเสื่อมโทรมก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้นการปลูกป่าและการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อเป็นแหล่งดูดซับและกักเก็บคาร์บอนไว้ในระบบนิเวศของโลก โดยระบบนิเวศป่าไม้มีบทบาทสำคัญในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง และกักเก็บในรูปของคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ ในการศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินในพื้นที่ระบบนิเวศป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา และเพื่อเตรียมความพร้อมเรื่องคาร์บอนเครดิตผ่านกลไกลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเท่ากับ 11.97 tC/rai (43.90 tCO₂eq) แบ่งเป็นการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินในส่วนของรากมีค่าเท่ากับ 9.43 (34.56 tCO₂eq) และ 2.55 tC/rai (9.33 tCO₂eq) ตามลำดับ (ข้อมูลเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562) นอกจากนี้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้มีค่า 723 tCO₂eq/year คิดเป็นมูลค่าคาร์บอนเครดิตโดยใช้กลไกตลาดคาร์บอน ได้แก่ Verified carbon standard (VCS), European Union Emissions Trading System (EU ETS) และ Thailand Voluntary Emission Reduction (T-VER) มีมูลค่าประมาณ 95,110.54, 401,120.13 และ 24,842.94 บาท/ปี ตามลำดับ ซึ่งในประเทศไทยการซื้อขายขึ้นอยู่กับตลาดคาร์บอนแบบภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ยังไม่ได้ประเมินการกักเก็บคาร์บอนในไม้หนุ่มและในดิน ดังนั้นจึงควรปรับปรุงวิธีการเก็บข้อมูลให้มีความเหมาะสมและศึกษาในระยะยาวเพื่อให้เกิดความเข้าใจต่อกลไกการกักเก็บคาร์บอนในระบบป่าไม้ รวมทั้งสร้างแรงจูงใจเชิงบวกในการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ เพิ่มรายได้จากแหล่งกักเก็บคาร์บอนในธรรมชาติ และเป็นทางเลือกในการสร้างเศรษฐกิจฐานรากจากชุมชนเพื่อความยั่งยืนต่อไป

Title: THAILAND VOLUNTARY EMISSION REDUCTION PROGRAM (T-VER): A CASE STUDY OF ESTIMATION CARBON STOCK USING NDVI IN DRY DIPTEROCARP FOREST IN UNIVERSITY OF PHAYAO

Author: Songkrit Inta, Thesis: M.S. (Environmental Science), University of Phayao, 2021

Advisor: Assistant Professor Dr. Rattapoom Prommana Co-advisor Assistant Professor Dr.Sukthai Pongpattanasiri

Keywords: Carbon Stock, Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER, Dry dipterocarp forest

ABSTRACT

Currently, global climate change and temperature were intensified. These are partly due to deforestation, and forest degradation was causing carbon dioxide emissions into the atmosphere. Therefore, forest conservation and reforestation will be an alternative way to reduce greenhouse gas emissions to absorb and store carbon stock in the earth's ecosystem. Forest ecosystems play an important role in reducing atmospheric carbon dioxide through photosynthesis and stored in the tree biomass. The objective of this study was to estimate aboveground and belowground carbon stock in Dry dipterocarp forest, University of Phayao, and to prepare carbon credit for the voluntary greenhouse gas reduction emission mechanism according to Thai standards. The results show that total carbon stock was 11.97 tC/rai (43.90 tCO₂eq) and divided into aboveground and belowground (roots) carbon sequestration were 9.43 (34.56 tCO₂eq) and 2.55 tC/rai (9.33 tCO₂eq), respectively (Data from May 2018 to June 2019). In addition, the expected amount of greenhouse gas reduction is 723 tCO₂eq/year, and equivalent to carbon credit markets in the Verified carbon standard (VCS), European Union emissions trading system (EU ETS) and Thailand voluntary reduction emission (T-VER) program was approximately 95,110.54, 401,120.13 and 24,842.94 THB/year respectively. In Thailand, carbon trading depends on negotiation prices under Thailand's voluntary carbon market agreements. However, this study has not assessed carbon sequestration in sapling and soil organic carbon. Therefore, data collection methods should be optimized and studied in the long term to understand the mechanisms of carbon sequestration in forest systems. As well as create positive incentives to conserve forest resources. Increase revenue from natural carbon sequestration and provide an alternative to building a grassroots economy for further sustainability.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ดร.มนตรี แสนวังสี ที่ได้ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไขปัญหา รวมถึงการให้ความรู้ วางแผนงานวิจัย ตลอดจนหาทุนสนับสนุนงานวิจัย และผลักดันให้มีโอกาสไปนำเสนอผลงานวิจัยในระดับชาติ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐภูมิ พรหมณะ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชทัย พงศ์พัฒนศิริ กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และแนวทางตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความรู้ และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์ ที่ได้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยที่ดีมา โดยตลอด ตลอดจนขอขอบคุณกลุ่มวิจัยจุลอุตุนิยมวิทยา (Micrometeorology Laboratory; MiLab) และสมาชิกในกลุ่มวิจัยทุกคนที่ได้ช่วยเหลือด้านข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และคนในครอบครัวทุกคน ที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจที่มีค่า จนเป็นแรงผลักดันให้งานวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ทรงกรีช อินตา

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง | ญ |
| สารบัญภาพ | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| สมมติฐานของการวิจัย..... | 3 |
| วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 4 |
| ขอบเขตการศึกษา..... | 4 |
| ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย..... | 4 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 5 |
| การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ | 5 |
| ภาวะเรือนกระจก | 5 |
| คาร์บอนไดออกไซด์ | 7 |
| ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอน | 8 |
| อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ | 10 |
| พิธีสารเกียวโต..... | 12 |
| กลไกการพัฒนาที่สะอาด | 13 |
| กลไกเรดด์พลัส..... | 15 |

| | |
|--|----|
| โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย | 16 |
| การรับรู้ระยะไกล (Remote sensing) | 19 |
| ข้อมูลในลักษณะรูปภาพ | 19 |
| ข้อมูลในลักษณะเชิงตัวเลข | 20 |
| การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม..... | 20 |
| ค่าดัชนีพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์..... | 21 |
| การวิเคราะห์สังคมพืช..... | 21 |
| ดัชนีความสำคัญของพรรณพืช | 21 |
| ความหนาแน่นของพรรณพืช..... | 22 |
| ความถี่ของพรรณพืช | 22 |
| ความเด่นของพืชพรรณ | 22 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 23 |
| บทที่ 3 วิธีการทดลอง..... | 28 |
| พื้นที่ศึกษา | 28 |
| การจำแนกประเภทป่า..... | 32 |
| การกำหนดจำนวนแปลงเก็บตัวอย่าง | 33 |
| การวางแผนแปลงทดลอง | 34 |
| การเก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงทดลอง | 34 |
| การวิเคราะห์สังคมพืช..... | 37 |
| การประเมินปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตรี..... | 38 |
| การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ | 38 |
| การประเมินอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... | 39 |
| การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน | 40 |
| บทที่ 4 ผลการทดลอง | 41 |

| | |
|---|----|
| การจำแนกชั้นภูมิพื้นที่ป่า | 41 |
| แปลงเก็บตัวอย่าง | 43 |
| จำนวนชนิดพรรณของต้นไม้ | 44 |
| ความหนาแน่นลำพื้ | 49 |
| ความถี่ลำพื้ | 49 |
| ความเด่นลำพื้ | 49 |
| ดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้ | 50 |
| ปริมาณมวลชีวภาพ | 54 |
| การประเมินการกักเก็บคาร์บอน | 55 |
| ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า | 57 |
| อัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | 58 |
| การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน | 59 |
| บทที่ 5 บทสรุป | 61 |
| สรุปผลการวิจัย | 61 |
| ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ | 62 |
| ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป | 62 |
| บรรณานุกรม | 63 |
| ประวัติผู้วิจัย | 68 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตาราง 1 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินและใต้ดินป่าธรรมชาติของประเทศไทย..... | 10 |
| ตาราง 2 โครงการ T-VER ประเภทป่าไม้และพื้นที่สีเขียว | 17 |
| ตาราง 3 ข้อมูลการบันทึกภาพแต่ละช่วงคลื่นของดาวเทียม Landsat 8 OLI..... | 20 |
| ตาราง 4 การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าของประเทศไทย..... | 25 |
| ตาราง 5 ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI..... | 43 |
| ตาราง 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร | 43 |
| ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นไม้ เส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงต้นไม้ในแปลงทดลอง | 44 |
| ตาราง 8 จำนวนชนิดพรรณของต้นไม้ | 45 |
| ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสัมพัทธ์ ความถี่สัมพัทธ์ ความเด่นสัมพัทธ์ และดัชนี ความสำคัญของพันธุ์ไม้ที่พบในแปลงตัวอย่าง | 52 |
| ตาราง 10 ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินในส่วนของราก | 54 |
| ตาราง 11 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ | 55 |
| ตาราง 12 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในมวลชีวภาพของต้นไม้ | 57 |
| ตาราง 13 การประเมินอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ | 58 |
| ตาราง 14 มูลค่าคาร์บอนในพื้นที่ป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา | 59 |

สารบัญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| ภาพ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556 | 7 |
| ภาพ 2 วัฏจักรคาร์บอน..... | 8 |
| ภาพ 3 กรอบแนวความคิดการดำเนินการวิจัย | 28 |
| ภาพ 4 แผนที่เขตพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา..... | 30 |
| ภาพ 5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าปี พ.ศ. 2542 (a) และปี พ.ศ. 2560 (b)..... | 30 |
| ภาพ 6 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา | 31 |
| ภาพ 7 การปฏิบัติหน้าที่ของหน่วยติดตามไฟป่า | 32 |
| ภาพ 8 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 วันที่ 6 มกราคม 2562 | 33 |
| ภาพ 9 แปลงทดลองขนาด 40 เมตร x 40 เมตร และขนาด 80 เมตร x 20 เมตร..... | 34 |
| ภาพ 10 สายวัดวัดความโตของต้นไม้ (a) และ Forestry pro (b)..... | 35 |
| ภาพ 11 แท้กรหัสต้นไม้ในแปลงทดลอง..... | 35 |
| ภาพ 12 ตำแหน่งวัดความโตที่ระดับ DBH ของต้นไม้ที่มีลักษณะพิเศษ และในพื้นที่ลาดชัน | 37 |
| ภาพ 13 แผนที่ตำแหน่งแปลงตัวอย่างในแต่ละชั้นภูมิ | 42 |

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกได้ทวีความรุนแรงทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโลกสูงขึ้น (Global mean surface temperature) เนื่องจากการปลดปล่อยกลุ่มก๊าซเรือนกระจกชั้นบรรยากาศ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพต่อการสร้างระดับความร้อนให้แก่พื้นผิวโลกในระดับสูง ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้น เนื่องจากกลุ่มก๊าซเรือนกระจกมีศักยภาพในการดูดซับและปล่อยรังสีช่วงคลื่นอินฟราเรดซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาวที่สามารถแผ่ความร้อน (Thermal radiation) ได้ดีเมื่อมีการหักเหช่วงคลื่นยาวดังกล่าวกลับสู่ชั้นบรรยากาศ และสะท้อนสู่พื้นโลกอีกครั้ง จากรายงานผลการศึกษาคณะกรรมาการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ได้คาดการณ์ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในอีก 100 ปีข้างหน้า ในกรณีที่ไม่มีมาตรการใด ๆ อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจะสูงขึ้นประมาณ 1.1 – 6.4 °C จากรายงานขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization) ถึงสถานะสภาพภูมิอากาศของโลกปี 2020 พบว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในปี 2019 ถึง 2020 โดยค่าเฉลี่ยของคาร์บอนไดออกไซด์ทั่วโลกสูงเกิน 410 ppm และสามารถสูงเกิน 414 ppm ในปี 2021 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021) ถ้าปริมาณก๊าซเรือนกระจกเพิ่มสูงขึ้นมากกว่า 450 ppm จะทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้นกว่า 2 °C และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลให้ระบบนิเวศและเศรษฐกิจของโลกได้รับความเสียหายจนไม่สามารถฟื้นตัวกลับให้เป็นอย่างเดิมได้ และร้อยละ 30 ของสิ่งมีชีวิตทั่วโลกจะมีความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ ผลผลิตข้าวและธัญพืชในเขตร้อนจะลดลงเกิดภาวะแห้งแล้ง น้ำท่วมในซีกโลกต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของทุกประเทศ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558)

จากปัญหาดังกล่าวทำให้ทั่วโลกให้ความสำคัญในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ โดยแนวทางการดำเนินมาตรการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต้องใช้เทคโนโลยีกลไกเศรษฐศาสตร์และสังคมอย่างเป็นรูปธรรม จึงมีมติรับรองอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework

Convention on Climate Change) หรือ อนุสัญญา UNFCCC โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศให้มีค่าคงที่ ไม่ให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์และระบบภูมิอากาศโลก และมีการประชุมสมัชชารัฐภาคีอนุสัญญาฯ (Conference of the Parties) หรือ COP เพื่อการเจรจากำหนดข้อตกลงต่าง ๆ ร่วมกันในกลุ่มประเทศสมาชิก มีการให้สัตยาบันเข้าเป็นภาคีต่อความตกลงปารีส (Paris Agreement) โดยมีองค์ประกอบหลัก คือ การดำเนินงานด้านการลดก๊าซเรือนกระจก การปรับตัวต่อผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การรับมือกับความสูญเสียและความเสียหาย การสนับสนุนด้านการเงิน การพัฒนา และถ่ายทอดเทคโนโลยี รวมถึงการเสริมสร้างศักยภาพ พร้อมทั้งวางกรอบเพื่อรับรองความโปร่งใสของการดำเนินงานและการสนับสนุน โดยกำหนดให้มีการทบทวนสถานการณ์ และการดำเนินงานระดับโลกเป็นระยะเพื่อประเมินความก้าวหน้าต่อการบรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายระยะยาวของข้อตกลงนี้เพื่อจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และรักษาระดับอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกให้ไม่เกิน 2 °C ซึ่งมีการดำเนินงานร่วมกันเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์เริ่มต้นด้วยการทำสนธิสัญญาในพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) โดยให้ประเทศ ที่อยู่ในภาคผนวกที่ 1 กลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วต้องลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามพันธกรณี และประเทศนอกภาคผนวกที่ 1 กลุ่มประเทศกำลังพัฒนาไม่พันธกรณีในการลดการปล่อยแต่สามารถร่วมมือในการดำเนินกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism: CDM) ซึ่งประเทศกำลังพัฒนาลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศ และสามารถขายปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้หรือคาร์บอนเครดิต เพื่อให้ประเทศพัฒนาแล้วนำไปใช้บรรลุเป้าหมายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามสนธิสัญญา

ประเทศไทยโดยคณะรัฐมนตรี จึงมีมติเมื่อวันที่ 15 พฤษภาคม 2550 เห็นชอบให้มีการจัดตั้ง “องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน)” เรียกโดยย่อว่า “อบก.” มีชื่อภาษาอังกฤษว่า “Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization)” เรียกโดยย่อว่า “TGO” ขึ้นภายใต้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นศูนย์กลางข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ดำเนินงานด้านก๊าซเรือนกระจก จัดทำฐานข้อมูลเกี่ยวกับโครงการที่ได้รับคำรับรอง และการขายปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ได้รับการรับรอง ส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพ ตลอดจนให้คำแนะนำแก่หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชน เกี่ยวกับการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการดำเนินงานพัฒนาโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดในประเทศไทยพบว่ามีความซับซ้อนของขั้นตอนของการดำเนินโครงการ เช่น ต้นทุนทางธุรกรรมที่สูง ความล่าช้าในการขึ้นทะเบียนและรับรองคาร์บอนเครดิต ทำให้เกิดการยกเลิกการพัฒนาโครงการทั้งผู้ที่ได้พัฒนาโครงการไปแล้วและผู้พัฒนารายใหม่ องค์การบริหาร

จัดการก๊าซเรือนกระจกจึงได้พัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program: T-VER) เพื่อสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศ ทั้งภาคพลังงาน อุตสาหกรรม การจัดการขยะ การเกษตร การขนส่ง และป่าไม้ สามารถนำปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกหรือกักเก็บได้จากโครงการ T-VER ที่เรียกว่า คาร์บอนเครดิตไปซื้อขายหรือแลกเปลี่ยนเพื่อนำไปชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์กร บุคคล งานบริการ หรือจากการผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งสามารถกระตุ้นให้เกิดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศได้เพิ่มขึ้น และเหมาะสมกับบริบทของประเทศไทย (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) โดยในภาคป่าไม้เป็นโครงการที่มีลักษณะพิเศษที่มีการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากมีการดูดซับก๊าซเรือนกระจกจากชั้นบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง เป็นแหล่งเก็บคาร์บอนโดยธรรมชาติที่สำคัญ (Carbon sink) โดยกลไกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบบที่สามารถดูดซับคลื่นรังสีอินฟราเรดและสะท้อนกลับสู่พื้นผิวโลกให้เป็นคาร์บอนในรูปแบบของมวลชีวภาพของต้นไม้ (ลำต้น, กิ่ง, ราก และใบ) (Kongmeesup, 2020) ทำให้คาร์บอนสามารถยึดอยู่กับเนื้อไม้ในระยะเวลาที่ยาวนาน (ประเสริฐ เนตรประจิตร, ศุภกิจ เอ็นมี และชวลิต เนื่องดี, 2553) ขณะเดียวกันศักยภาพและปริมาณในการกักเก็บคาร์บอนของป่าธรรมชาติมีความผันแปรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ในแต่ละระบบนิเวศ

ดังนั้นการศึกษาถึงบทบาทและหน้าที่ของระบบนิเวศป่าไม้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในสภาวะปัจจุบันเพื่อสร้างศักยภาพและปรับตัวต่อสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในระยะยาว ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประเมินการเปลี่ยนแปลงการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าเพื่อนำไปสู่การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่าและความเสื่อมโทรมของป่า รวมทั้งสร้างแรงจูงใจเชิงบวกในการเพิ่มแหล่งกักเก็บคาร์บอนในธรรมชาติที่ยั่งยืน กลไกเหล่านี้สามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกจากบรรยากาศ และสามารถปรับสมดุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างบรรยากาศและระบบนิเวศป่าไม้ได้อย่างดี

สมมติฐานของการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิที่สูง ปริมาณน้ำฝนที่ลดลง ฤดูแล้งที่ยาวนาน ป่าเต็งรังนั้นยังคงปรับตัวเข้ากับสภาพอากาศที่รุนแรงและทำหน้าที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนและสามารถลดก๊าซเรือนกระจกจากบรรยากาศได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินในพื้นที่ระบบนิเวศป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา
2. เพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่กระบวนการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย (Thailand Voluntary Emission Reduction Program, T-VER)

ขอบเขตการศึกษา

ขอบเขตพื้นที่การศึกษาตั้งอยู่บริเวณฝั่งป่าไม้ทิศเหนือของมหาวิทยาลัยพะเยา ตำแหน่งอ้างอิงของพื้นที่ดำเนินการศึกษาคือเสาดรวงวัดจุลอุตุนิยมวิทยา พิกัดทางภูมิศาสตร์ ละติจูดที่ 19° 02' 14.38" N, ลองจิจูด : 99° 54' 10.96" E, มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 512 เมตร โดยขอบเขตการศึกษาเป็นพื้นที่เต็งรังขนาด 2,244 ไร่ โดยมีพันธุ์ไม้เด่น เหียง (*Dipterocarpus obtusifolius*), พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.), เต็ง (*Shorea obtusa* Wall.) และรัง (*Shorea siamensis*) ซึ่งในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าเต็งรัง โดยจะอ้างอิงจากคู่มือการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และเกษตร ปี พ.ศ. 2558 โดยวางแปลงทดลองขนาด 40 เมตร × 40 เมตร จำนวน 10 แปลง และในแต่ละแปลงทดลองจะแบ่งออกเป็น 16 แปลงทดลองย่อยขนาด 10 เมตร × 10 เมตร เพื่อเก็บข้อมูลเส้นรอบวง และความสูงของไม้ใหญ่ที่มีขนาดเส้นรอบวงที่ความสูงระดับอก (Girth at Breast Height : G.B.H.) มากกว่าหรือเท่ากับ 14.14 เซนติเมตร และความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 130 เซนติเมตร โดยมีระยะเวลาทำการการศึกษา ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562

ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1. เพื่อเป็นข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนพื้นฐาน (base line) ของตัวแทนระบบนิเวศป่าเต็งรัง และใช้สำหรับการประเมินคาร์บอนเครดิต ในโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย T-VER (Thailand Voluntary Emission Reduction Program)
2. ส่งเสริมให้บุคลากรมีส่วนร่วมในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในองค์กร ให้ตระหนักถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรป่าไม้ควบคู่กับการบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกอย่างเป็นระบบ
3. ส่งเสริมและสนับสนุนการมุ่งสู่ Clean and Green University ของมหาวิทยาลัยพะเยา และชุมชนรอบข้างต่อไป

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate change) คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่ง รวมถึงลักษณะทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอากาศ เช่น อุณหภูมิ ฝน ลม เป็นต้น ในความหมายตามกรอบของอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือ การเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศที่เป็นผลทั้งโดยตรงและโดยอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่ไปเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศของโลก และเป็นสิ่งที่เนื่องจากการแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติ แต่ความหมายที่ใช้ในคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ไม่ว่าจะเนื่องมาจากความผันแปรตามธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดจากปัจจัยธรรมชาติ เช่น วัฏจักรของอาทิตย์ วงโคจรของโลก ฝุ่นละอองในบรรยากาศ และปัจจัยจากมนุษย์ เช่น การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก การทำลายป่า

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ คือ การเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นผลโดยตรงหรือโดยอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศโลก และเป็นการเปลี่ยนแปลงที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความแปรปรวนทางสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติในช่วงเวลาเดียวกัน (รัตนาลักษณ์วารกุล, 2558)

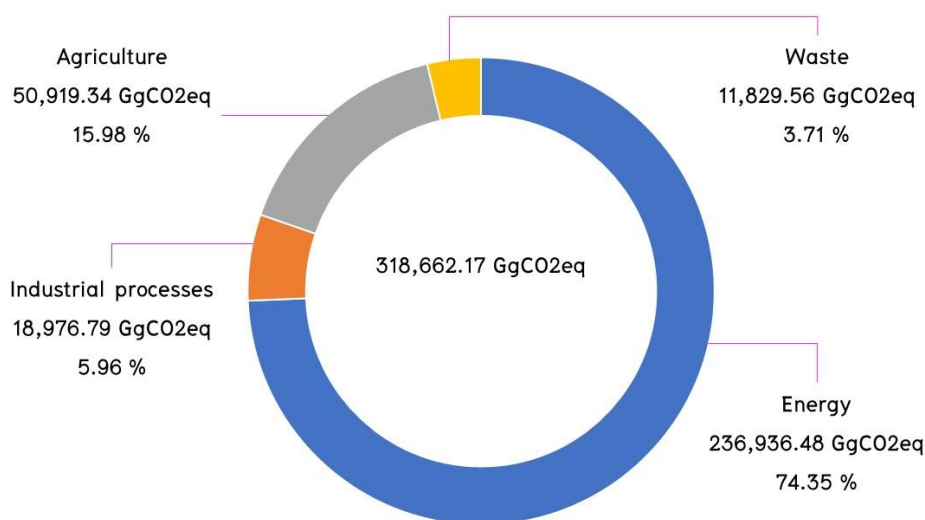
จากรายงาน National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) สถานการณ์ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศเฉลี่ยของโลก พบว่าเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 2021 มีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) 413.66 ppm ก๊าซมีเทน (CH₄) 1.8866 ppm และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) 0.3342 ppm (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021) ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกมีความเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับภาวะเรือนกระจก และภาวะโลกร้อน

ภาวะเรือนกระจก

ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse Effect) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการที่ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases; GHGs) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติในดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วง

อินฟราเรดและคายพลังงานความร้อนได้ดี ก๊าซเหล่านี้มีความจำเป็นต่อการรักษาอุณหภูมิในบรรยากาศของโลกให้คงที่ ซึ่งหากในชั้นบรรยากาศโลกไม่มีก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศจะทำให้อุณหภูมิตอนกลางวันร้อนจัด และในตอนกลางคืนนั้นหนาวจัด เนื่องจากก๊าซเหล่านี้ดูดซับคลื่นรังสีความร้อนไว้ในเวลากลางวันแล้วค่อย ๆ แผ่รังสีความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิตอนกลางวันในบรรยากาศโลกไม่เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน โดยมีก๊าซจำนวนมากที่มีคุณสมบัติในการดูดซับคลื่นรังสีความร้อน และถูกจัดอยู่ในกลุ่มก๊าซเรือนกระจก ซึ่งมีทั้งก๊าซที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554) แต่ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกควบคุมโดยพิธีสารเกียวโต (Kyoto protocol) มีเพียง 6 ชนิด โดยจะต้องเป็นก๊าซที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic greenhouse gas emission) เท่านั้น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFC) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFC) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) ทั้งนี้ ยังมีก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่ง คือ สารซีเอฟซี (Chlorofluorocarbon; CFC) ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นและใช้ในการผลิตโฟมแต่ไม่ถูกกำหนดในพิธีสารเกียวโต เนื่องจากเป็นสารที่ถูกจำกัดการใช้ในพิธีสารมอนทรีออล (Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer) (สุชาติณี ภากา, 2560) และผลการศึกษาของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ระบุว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมในบรรยากาศของโลกมากที่สุด และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในบรรดาก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ๆ จากการรายงาน National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) จากสถานีตรวจวัด Mauna Loa รัฐฮาวาย ประเทศสหรัฐอเมริกา ถึงสถานกรณ์ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ. 2021 มีปริมาณเท่ากับ 413.93 ppm เพิ่มขึ้นจากปีฐาน ปี ค.ศ 1850 อยู่ที่ 128.93 ppm (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021)

ข้อมูลปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย จากรายงานความก้าวหน้ารายสองปี ฉบับที่ 2 (Second Biennial Updated Report of Thailand) สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมได้เสนอต่อสำนักเลขาธิการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พบว่าประเทศไทยปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในปี พ.ศ. 2556 จากทุกภาคและสาขารวมทั้งสิ้น 318,662 GgCO₂eq หรือ 318.66 MtCO₂eq (สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2562) ดังภาพ 1



ภาพ 1 ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556

ที่มา : ดัดแปลงจากสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร, 2562

คาร์บอนไดออกไซด์

คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide; CO₂) เป็นก๊าซที่มีฤทธิ์เป็นกรด ไม่มีสีและกลิ่น มีแหล่งกำเนิดมาจากหลายทาง เช่น การเผาไหม้หรือการออกซิเดชันของวัตถุที่มีส่วนประกอบของคาร์บอน อาทิ ถ่านหิน ไม้ น้ำมัน หรืออาหาร กระบวนการที่น้ำตาลเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ กระบวนการเปลี่ยนรูปของสารประกอบจำพวกคาร์บอนเนต ภายใต้อิทธิพลของความร้อนหรือกรด (รัตนา ลักษณ์วารกุล, 2558) คาร์บอนไดออกไซด์มีการหมุนเวียนในระบบนิเวศผ่านวัฏจักรคาร์บอน (Carbon Cycle) คือ การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไหลเวียนเข้าสู่สิ่งมีชีวิตหรือออกจากสิ่งมีชีวิตกลับคืนสู่บรรยากาศ ดังภาพ 2 วัฏจักรคาร์บอนเกิดการเปลี่ยนรูปของธาตุคาร์บอนในสถานะต่าง ๆ ที่หมุนเวียนเป็นองค์ประกอบในอากาศ แร่ธาตุ น้ำ สัตว์ และพืช ด้วยกระบวนการทางเคมี และการย่อยสลายของจุลินทรีย์จากระบบหนึ่งไปสู่ระบบหนึ่ง มีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นดิน (Lithosphere) พื้นน้ำ (Hydrosphere) บรรยากาศ (Atmosphere) และสิ่งมีชีวิต (Biosphere) รวมถึงกิจกรรมของมนุษย์ คาร์บอนสามารถหมุนเวียนเป็นวัฏจักรได้หลายทาง อาทิ การหายใจของพืชและสัตว์ การย่อยสลายมูลสัตว์และซากพืชซากสัตว์ การเผาไหม้ของถ่านหินน้ำมัน และคาร์บอนเนต การละลายคาร์บอนในน้ำจืดและน้ำทะเล ในรูปของกรดคาร์บอนิก การหายใจของพืชน้ำ สัตว์ แพลงก์ตอนในแหล่งน้ำ การย่อยสลาย

อินทรีย์วัตถุและอินทรีย์วัตถุ การทับถม ในรูปของฟอสซิล และการสะสมอยู่ในชั้นหินและแร่ ซึ่งคาร์บอนจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งป่าไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนโดยธรรมชาติที่สำคัญ (Carbon sink) โดยกลไกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปแบที่สามารถดูดซับคลื่นรังสีอินฟราเรดและสะท้อนกลับสู่ผิวโลกให้เป็นสารประกอบคาร์บอนสะสมในรูปของมวลชีวภาพในลำต้น กิ่งก้าน ใบ และรากผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้พื้นที่ป่ายังเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในดินผ่านกระบวนการย่อยสลายของซากอินทรีย์ และบางส่วนของกระบวนการย่อยสลายจะปล่อยคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับสู่ชั้นบรรยากาศเป็นวัฏจักร (Kongmeesup, 2020)



ภาพ 2 วัฏจักรคาร์บอน

ความสัมพันธ์ระหว่างระบบนิเวศป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอน

ระบบนิเวศป่าไม้มีความสำคัญในด้านการกักเก็บและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) เพื่อสร้างอินทรีย์สารซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบนำมาสะสมไว้ในรูปมวลชีวภาพ (Biomass) โดยแหล่งสะสมที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของระบบนิเวศป่าไม้ จำแนกเป็น 6 แหล่งดังนี้ (Watson, 2009)

1. มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Above-ground biomass) ได้แก่ทุกส่วนของต้นไม้ที่อยู่เหนือพื้นดิน คือ ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก และผล รวมทั้งพื้นพรรณอื่น ๆ

2. มวลชีวภาพใต้พื้นดิน (Below-ground biomass) ได้แก่ ส่วนของต้นไม้ที่อยู่ใต้ดิน คือ ราก
3. ไม้ตาย (Dead organic matter in wood) ได้แก่ ต้นไม้ที่ล้มหรือยืนต้นตาย
4. ซากพืช (Dead organic matter in litter) ได้แก่ ส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ที่ร่วงหล่นสู่ดิน ได้แก่ กิ่ง ก้าน ใบ ดอก และผล
5. อินทรีย์วัตถุในดิน (Soil organic matter)
6. ผลิตภัณฑ์ไม้ (Harvested wood product) ได้แก่ ส่วนของเนื้อไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ ภายหลังการตัดฟัน

หากมีผลผลิตของมวลชีวภาพเพิ่มขึ้นก็จะมีการกักเก็บคาร์บอนตามผลผลิตมวลชีวภาพ และการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนกลับสู่ชั้นบรรยากาศของต้นไม้ผ่านกระบวนการหายใจ เรียกว่า Autotrophic respiration การตาย และการย่อยสลาย ปัจจัยหลักของการดูดซับคาร์บอนคือใบที่มีบทบาทในกระบวนการสังเคราะห์แสง ปริมาณน้ำที่พืชดูดขึ้นมา ปริมาณความชื้นของแสงอาทิตย์ และความสามารถในการดูดซับคาร์บอนของแต่ละระบบนิเวศป่าไม้ ดังนั้นปริมาณคาร์บอนสุทธิจากกระบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซของต้นไม้จึงเป็นปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในมวลชีวภาพของต้นไม้ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้ชนิดต่าง ๆ ดังตาราง 1 นอกจากนี้เศษซากพืชที่ตายแล้ว (Litter) ได้แก่ กิ่ง ใบ ดอก และผล ตลอดจนรากฝอย และอินทรีย์วัตถุในดิน (Organic matter) จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ต่าง ๆ และปลดปล่อยคาร์บอนกลับสู่บรรยากาศในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เรียกว่า Heterotrophic respiration แต่คาร์บอนส่วนหนึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนทำให้เอนไซม์ที่หลังจากจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้ เช่น สารประกอบฮิวมัส (Humus) ซึ่งจัดเป็นสารประกอบที่เสถียรและมักพบเป็นรูปแบบสุดท้ายของคาร์บอนที่สะสมอยู่ในดิน (สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, 2550)

ตาราง 1 การกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือดินและใต้ดินป่าธรรมชาติของประเทศไทย

| ระบบนิเวศป่า | ปริมาณคาร์บอนสะสม | | | การกักเก็บคาร์บอนรวม (ตัน/ไร่) |
|--------------|-------------------|--------|-----|-----------------------------------|
| | (ตัน/เฮกแตร์) | | | |
| | เหนือดิน | ใต้ดิน | รวม | |
| ป่าดงดิบ | 182 | 86 | 268 | 42.8 |
| ป่าเบญจพรรณ | 118 | 55 | 173 | 27.6 |
| ป่าเต็งรัง | 62 | 29 | 91 | 14.5 |
| ป่าสน | 77 | 36 | 113 | 18.1 |
| ป่าชายเลน | 110 | 52 | 162 | 25.9 |

การตัดไม้ทำลายป่าที่เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ของพืชบนบก ถึงร้อยละ 80 จะทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศประมาณ 1.7 พันล้านตันต่อปี ดังนั้นการอนุรักษ์พื้นที่ป่าไม้จึงเป็นมีความสำคัญที่ช่วยทำให้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเกิดช้าลง และคุ้มครองความหลากหลายทางชีวภาพ รายงานของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ กล่าวว่า เพื่อความคุ้มครองเพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในสภาวะสมดุลให้อยู่ที่ระดับประมาณ 2 °C กลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้ว และกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา จะต้องร่วมกันลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับที่แตกต่างกัน โดยมีกิจกรรมที่ส่งเสริมการอนุรักษ์ป่าไม้การฟื้นฟูป่า การปลูกป่า และส่งเสริมการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน รวมถึงการจัดทำข้อตกลงระหว่างประเทศ ได้แก่ อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change) เพื่อร่วมกันดำเนินกิจกรรมที่เป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (ริตนา ลักขณาวารกุล, 2558)

อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (United Nations Framework Convention on Climate Change) หรือ อนุสัญญา UNFCCC ได้รับการรับรองเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม ค.ศ. 1992 โดยมีจุดเริ่มต้นจากความร่วมมือกันระหว่างโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme; UNEP) ร่วมกับองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization; WMO) และจัดตั้งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate

Change; IPCC) เพื่อเป็นหน่วยงานกลางในการศึกษาให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ ทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐกิจและสังคม ตลอดจนสร้างความรู้ความเข้าใจด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในปี ค.ศ.1988 จนนำมาสู่การเป็นอนุสัญญาที่จัดทำขึ้นเพื่อหาแนวทางยับยั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และป้องกันผลกระทบที่จะเกิดกับมนุษย์ ซึ่งครอบคลุมถึงการดำเนินงานและความร่วมมือที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทั้งหมด โดยมีเป้าหมายเพื่อรักษาความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศให้มีค่าคงที่และอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดการรบกวนโดยมนุษย์ที่จะก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบภูมิอากาศโลกโดยอนุสัญญา UNFCCC มีผลบังคับใช้ตั้งแต่ 21 มีนาคม ค.ศ. 1994 ปัจจุบันมีประเทศเข้าร่วมรวมทั้งสิ้นจำนวน 197 ประเทศ (ข้อมูล ณ วันที่ 12 พฤศจิกายน 2021) และมีการประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาระหว่างประเทศว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Conference of the Parties) หรือ COP ของประเทศที่เข้าร่วม โดยพันธกรณีของภาคีตามภาคผนวกของอนุสัญญาคือทุกภาคีมีพันธกรณีในการจัดเตรียมและแจ้งข้อมูลบัญชีก๊าซเรือนกระจกแห่งชาติและข้อมูลอื่น ๆ ตามที่กำหนดแก่ที่ประชุมรัฐภาคี จัดทำและดำเนินงานแผนงานที่กำหนดมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกและมาตรการในการปรับตัว รวมทั้งส่งเสริมความร่วมมือในด้านต่าง ๆ ประเทศไทยได้ร่วมให้สัตยาบันเป็นภาคี ในกรอบอนุสัญญาฯ เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม ค.ศ. 1994 และต่อมาในปี ค.ศ. 1997 มีการประชุมสมัชชารัฐภาคีอนุสัญญาฯ ครั้งที่ 3 ณ กรุงเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ได้มีการรับรองพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) และแบ่งกลุ่มภาคีตามภาคผนวก ดังนี้

ภาคีในภาคผนวกที่ 1 Annex I Countries เป็นกลุ่มประเทศที่มีเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของตนเองตามพิธีสารเกียวโต ประกอบด้วยกลุ่มประเทศพัฒนาแล้วในกลุ่มสมาชิกของ OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) และประเทศที่อยู่ระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจ EIT (Economic in Transition) ซึ่งจะต้องเป็นผู้นำในลดก๊าซเรือนกระจก และจะต้องปฏิบัติตามพันธกรณีของอนุสัญญาฯ ประเทศในกลุ่มนี้ยังมีพันธการส่งรายงานแห่งชาติ (National communication) เพื่อการตรวจสอบปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยในประเทศ

ภาคีในภาคผนวกที่ 2 Annex II Countries เป็นกลุ่มประเทศที่ถือเป็นประเทศพัฒนาแล้วโดยกลุ่มประเทศในภาคผนวกที่ 2 นี้ นอกจากจะมีเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของตนเองตามพิธีสารเกียวโตแล้ว จะต้องให้ความช่วยเหลือทางการเงินและการถ่ายทอดเทคโนโลยีกับประเทศนอกภาคผนวกที่ 1

ภาคีนอกภาคผนวกที่ 1 Non-Annex I Countries เป็นกลุ่มประเทศกำลังพัฒนารวมทั้งประเทศไทย และบางประเทศเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะประเทศที่ติดชายฝั่งทะเล และพื้นที่แห้งแล้ง โดยไม่มีพันธะในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเช่นเดียวกับกลุ่มประเทศภาคผนวกที่ 1 แต่ต้องมีการดำเนินการเพื่อช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2 ประการ คือการจัดทำเอกสารแห่งชาติรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการให้ความร่วมมือระหว่างประเทศในการดำเนินการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก

พิธีสารเกียวโต

พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) เกิดขึ้นในการประชุมสมัยที่ 3 ของการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาฯ (COP3) ณ กรุงเกียวโต ประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ.1997 พิธีสารนี้ถือเป็นพิธีสารฉบับแรกของโลกในด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยกำหนดให้กลุ่มประเทศพัฒนาแล้ว (กลุ่มประเทศในภาคผนวกที่ 1) มีเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างน้อย ร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับระดับการปล่อยในปี ค.ศ. 1990 ภายในช่วงปี ค.ศ. 2008 ถึง 2012 หรือเรียกว่าช่วงพันธกรณีแรก (First Commitment Period) และมติที่ประชุมสมัยที่ 8 ได้กำหนดพันธกรณีที่สอง (Second Commitment Period) เป็นระยะเวลา 8 ปี ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2013 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม ค.ศ. 2020 โดยแต่ละประเทศจะต้องส่งข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของปี ค.ศ. 1990 ให้ทางสหประชาชาติเพื่อใช้ในการอ้างอิงเปรียบเทียบการลดลงของตัวเอง เพื่อช่วยให้ประเทศในภาคผนวกที่ 1 สามารถบรรลุเป้าหมายได้ จึงได้กำหนดกลไกยืดหยุ่น (Flexibility mechanisms) ขึ้น 3 กลไก ประกอบด้วย

1. กลไกการดำเนินการร่วมกันระหว่างประเทศพัฒนาแล้วในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Joint Implementation; JI) ซึ่งกำหนดให้ประเทศพัฒนาแล้วสามารถดำเนินโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร่วมกันเองระหว่างประเทศในกลุ่มภาคผนวกที่ 1 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ เรียกว่า ERUs (Emission Reduction Units)

2. กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism; CDM) กำหนดให้ประเทศในภาคผนวกที่ 1 สามารถดำเนินโครงการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร่วมกับประเทศกำลังพัฒนาหรือประเทศในกลุ่ม Non-Annex I ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จะต้องผ่านการรับรอง เรียกว่า CERs (Certified Emission Reductions)

3. กลไกการซื้อขายใบอนุญาตหรือเครดิตในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (International Emission Trading; ET) ตามที่ระบุไว้ในมาตรา 17 ซึ่งกำหนดให้ประเทศในภาคผนวก

ที่ 1 ที่ไม่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศตามที่กำหนดไว้ได้ สามารถซื้อสิทธิ์การปล่อยจากประเทศในภาคผนวกที่ 1 ด้วยกันเองที่มีสิทธิ์การปล่อยเหลืออาจเป็นเครดิตที่เหลือจากการทำโครงการ JI และ CDM หรือ สิทธิ์การปล่อยที่เหลือเนื่องจากระบบเศรษฐกิจทำให้ปริมาณการปล่อยในปัจจุบัน น้อยกว่าปริมาณการปล่อยเมื่อปี ค.ศ. 1990 จึงมีสิทธิ์การปล่อยเหลือพร้อมที่จะขายได้ เรียกสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่จะซื้อขายกันนี้ว่า AAUs (Assigned Amount Units)

โดยการลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสามารถทำได้ 2 แนวทางหลักคือ

1. การลดโดยตรงจากแหล่งที่มา
2. การลดทางอ้อมเคลื่อนโดยการย้ายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ คือ การเพิ่มพื้นที่กักเก็บ เช่น การเพิ่มพื้นที่ป่า

ประเทศไทยได้ลงนามรับรองพิธีสารเกียวโต เมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1999 และได้ให้สัตยาบันเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม ค.ศ. 2002 ในฐานะภาคีสมาชิกในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา จึงไม่มีพันธกรณีใด ๆ ภายใต้พิธีสารเกียวโต ยกเว้นมาตรา 10 ซึ่งกำหนดให้ทุกภาคีร่วมรับผิดชอบดำเนินการด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศตามขีดความสามารถและสถานการณ์ของแต่ละประเทศด้วยความสมัครใจ และมีสิทธิ์เข้าร่วมโครงการตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism; CDM) ที่เปิดโอกาสให้มีการร่วมมือกันระหว่างประเทศที่มีพันธกรณีและประเทศที่ไม่มีพันธกรณี ร่วมมือกันลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของโลก และพัฒนาโครงการที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศกำลังพัฒนา ได้รับความตอบแทนในทางเศรษฐศาสตร์ที่ดีขึ้นในรูปแบบของโครงการพัฒนาที่สะอาด (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2554)

กลไกการพัฒนาที่สะอาด

กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism; CDM) เป็นหนึ่งในกลไกการลดก๊าซเรือนกระจกภายใต้พิธีสารเกียวโต มีเป้าหมายที่จะลดก๊าซเรือนกระจกจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์, มีเทน, ไนตรัสออกไซด์, ไฮโดรฟลูออไรด์คาร์บอน, ฟลูออไรด์คาร์บอน และ ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ โดยสนับสนุนการนำเนินการระหว่างกลุ่มประเทศ Annex I และกลุ่มประเทศ Non-Annex I เพื่อส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนด้วยการถ่ายทอดความรู้ด้านวิชาการ งานวิจัย เทคโนโลยีที่สะอาด รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารเพื่อนำเนินงานด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศภายใต้กลไกที่สะอาด

โดยประเทศไทยจัดอยู่ในกลุ่มประเทศ Non-Annex I ไม่ได้ถูกจำกัดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกภายใต้พิธีสารเกียวโตภายในระยะเวลาและปริมาณที่กำหนดไว้ แต่สามารถร่วมดำเนินโครงการในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยสมัครใจตามแต่ศักยภาพของประเทศ โครงการที่เกิดขึ้นในประเทศกำลังพัฒนา และสามารถพิสูจน์ได้ว่าลดก๊าซเรือนกระจกได้จริงจะได้รับเครดิตที่เรียกว่า Certified Emission Reductions (CERs) โดยจะได้รับการขึ้นทะเบียนกับคณะกรรมการบริหารกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM EB) และได้รับการออกหนังสือรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้ (Issuance of CERs) (วิกานดา วรณวิเศษ, 2558) และสามารถนำค่าคาร์บอนเครดิตไปขายในตลาดคาร์บอน และกลุ่มประเทศ Annex I สามารถซื้อคาร์บอนเครดิตนำไปหักลบปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเทศ เพื่อให้ประเทศของตนสามารถบรรลุพันธกรณีในการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และประเทศกำลังพัฒนายังสามารถบรรลุถึงเป้าหมายของการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้ (ลือชัย ครุฑน้อย, 2554)

โครงการภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาดที่สามารถลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพเพียงพอนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. การหลีกเลี่ยงการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการปรับเปลี่ยนใช้เชื้อเพลิงที่ สะอาด
2. การดูดซับก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในบรรยากาศ เช่น การปลูกป่า และการเพิ่มความสามารในการดูดซับก๊าซเรือนกระจกของดิน หลักเกณฑ์โครงการที่สามารถดำเนินการภายใต้กลไกการพัฒนาที่สะอาดนั้น ต้องทำให้ก๊าซเรือนกระจกลดลงอย่างเป็นรูปธรรม และสามารถวัดได้ และจะต้องเป็นโครงการที่ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกเหนือไปจากที่มีการลดอยู่แล้วในโครงการอื่น ๆ ซึ่งการดำเนินโครงการจะต้องมีการจัดระบบที่สามารถวัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาในช่วงเวลาฐานหรือเวลาอ้างอิง (baseline scenario) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการปล่อยหลังจากมีโครงการ ทั้งนี้ผู้ที่กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ในระยะเวลาอ้างอิงคือนักลงทุนและเจ้าของโครงการโดยใช้ระเบียบวิธีการวัดที่ได้ผ่านการเห็นชอบของคณะกรรมการบริหาร

กลไกการพัฒนาที่สะอาดได้มีข้อกำหนดประเภทของโครงการที่สามารถดำเนินการได้ทั้งหมด 15 ประเภท โดยมีโครงการที่เกี่ยวข้องกับภาคป่าไม้เพียงประเภทเดียว คือ โครงการปลูกป่า (Afforestation/Reforestation) ซึ่งเป็นโครงการที่เน้นการเพิ่มพื้นที่ป่าสำหรับเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน จึงแตกต่างจากโครงการประเภทอื่น ๆ ที่เน้นการลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อย่างไรก็ตามเนื่องจากการนำเนินการปลูกป่าตามกลไกการพัฒนาที่สะอาดมีเงื่อนไขและข้อกำหนดมากจึงไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร และมีประเทศส่วนน้อย

ที่ดำเนินการ จึงมีแนวคิดใหม่ในการประชุมสมัชชาภาคีอนุสัญญาฯ สมัยที่ 11 เมื่อปี ค.ศ. 2005 ณ เมืองมอนทรีออล ประเทศแคนาดา ที่เรียกว่า กลไกเรดด์พลัส โดยมีเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการทำลายป่าและการทำให้ป่าเสื่อมโทรม (รัตนา ลักขณาวรรกุล, 2558)

กลไกเรดด์พลัส

กลไกเรดด์พลัส (REDD Plus) คือ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่า การทำให้ป่าเสื่อมโทรม รวมถึงการอนุรักษ์คาร์บอนในป่า การจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน และการเพิ่มการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าในประเทศกำลังพัฒนา เป็นกลไกที่ส่งเสริมการจัดการป่าอย่างยั่งยืน การอนุรักษ์พื้นที่ป่า การฟื้นฟูป่าโดยการปลูกเสริม ซึ่งเป็นการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการตัดไม้ทำลายป่า เพิ่มการสะสมของคาร์บอน และการทำให้ป่าเสื่อมโทรมในประเทศกำลังพัฒนาโดยเน้นคุณค่าในบทบาทของป่าต่อการลดวิกฤติของสภาพภูมิอากาศบนพื้นฐานของความสามารถในการเก็บกักคาร์บอนไดออกไซด์ของป่า เป้าหมายรวม คือ ความยั่งยืนของทรัพยากรป่าไม้ การอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพ คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น ความมั่นคงทางอาหารและแหล่งน้ำ เรดด์มาจากแนวคิดที่ว่าประเทศกำลังพัฒนาที่สามารถลดการทำลายป่าหรือการทำให้ป่าเสื่อมโทรมลง ควรได้ค่าชดเชยหรือผลตอบแทนทางการเงินจากประเทศที่พัฒนาแล้ว และในการประชุมสมัชชาภาคีก็มีการขยายแนวคิดที่มุ่งเน้นเป้าหมายด้วยสิ่งแวดล้อม ให้ครอบคลุมถึงการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์ป่า การจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน รวมไปถึงการเพิ่มพูนการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่า จึงได้มีชื่อเรียกใหม่เป็น เรดด์พลัส (REDD Plus) ที่มีนัยต่อการเพิ่มโอกาสตอบสนองเป้าหมายทางเศรษฐกิจในแง่การเพิ่มรายได้ให้กับประเทศกำลังพัฒนาจากการส่งเสริมโครงการปลูกป่าเพื่อขายคาร์บอนเครดิต (รัตนา ลักขณาวรรกุล, 2558) สำหรับประเทศไทยได้เข้าร่วมกิจกรรมเรดด์พลัสและกองทุนหุ้นส่วนคาร์บอนป่าไม้ เนื่องจากกลไกเรดด์พลัสเป็นกลไกที่มีเป้าหมายในการดูแลรักษาป่า ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายป่าไม้แห่งชาติ การเข้าร่วมกิจกรรมจึงเป็นการแสดงให้เห็นถึงความรับผิดชอบต่อการพยายามลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อรักษาสภาพอากาศที่กำลังเปลี่ยนแปลงของโลก อย่างไรก็ตามกลไกเรดด์พลัสยังคงมีประเด็นข้อถกเถียงระหว่างผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งในส่วนของภาครัฐและภาคประชาสังคมในประเด็นค่านิยมของป่าที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย สิทธิของชุมชนท้องถิ่นเรื่องการกระจายผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น กลไกทางการเงินที่เหมาะสมรวมไปถึงปัญหาความขัดแย้งด้านป่าไม้และที่ดิน นอกจากนี้ยังมีประเด็นในเชิงวิชาการ เช่น การกำหนดฐานอ้างอิงหรือระดับ

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เหมาะสม ระบบการตรวจวัด การรายงานและการทวนสอบ (Measurable, Reporting and Verification; MRV) สำหรับภาคป่าไม้

โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย

Thailand Voluntary Emission Reduction Programs หรือ T-VER คือ โครงการลดก๊าซเรือนกระจกที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (อบก.) พัฒนาขึ้นเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนมีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศด้วยความสมัครใจ และสามารถนำปริมาณการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นที่เรียกว่าคาร์บอนเครดิตซึ่งภายใต้โครงการ T-VER นี้เรียกว่า “TVER” ไปขายในตลาดคาร์บอนภาคสมัครใจ (voluntary market) ภายในประเทศ โดยเป็นการเจรจาซื้อขายคาร์บอนเครดิตระหว่างผู้รับซื้อกับผู้ขาย ไม่มีผลผูกพันตามกฎหมาย (Non-legally binding target) ผู้พัฒนาโครงการที่ต้องการขายคาร์บอนเครดิตโดยตรงกับภาคธุรกิจหรือองค์กรต่าง ๆ ที่จะยินดีเข้ามามีส่วนร่วมในการลดหรือสนับสนุนการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นการซื้อเครดิตชดเชยเพื่อแสดงความรับผิดชอบต่อสังคม โดยราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิตของตลาดภาคสมัครใจในแต่ละโครงการนั้นจะต่างกันขึ้นกับประเภทของโครงการ ปีที่ผลิต ที่ตั้งของโครงการ มาตรฐานที่ใช้ และผลประโยชน์ร่วมทางด้านสังคม (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2562) ทั้งนี้ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกได้กำหนดหลักเกณฑ์และขั้นตอนในการพัฒนาโครงการ ระเบียบวิธีการในการลดก๊าซเรือนกระจก (Methodology) การขึ้นทะเบียนและการรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยจะต้องเป็นโครงการที่ก่อให้เกิดการลดก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นภายในประเทศไทย โดยโครงการลดก๊าซเรือนกระจกสาขาป่าไม้เป็นโครงการที่มีลักษณะพิเศษ คือ เป็นโครงการที่มีการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก โดยการดูดกลับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากบรรยากาศผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงของต้นไม้และสะสมในรูปของมวลชีวภาพ ซึ่งมีส่วนสำคัญต่อการลดก๊าซเรือนกระจกจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากป่าไม้เป็นรูปแบบอื่น ผ่านกิจกรรมที่ป้องกันการตัดไม้ทำลายป่า กิจกรรมป้องกันการเสื่อมโทรมของป่า และกิจกรรมเพิ่มพูนการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าจากการปลูก ดูแล และจัดการอย่างถูกต้อง โดยการรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน การลดลงของพื้นที่ป่าในอดีตจนถึงปัจจุบันจากการรับรู้ระยะไกล (Remote sensing) อาทิ ภาพถ่ายดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรป่าไม้ และการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวางแผนการจัดการพื้นที่ป่าไม้

แต่ละแห่งให้เหมาะสม และเกิดประโยชน์สูงสุด (นวลปราง นวลอุไร, 2548) โดยมีโครงการ T-VER ประเภทป่าไม้และพื้นที่สีเขียวที่ได้รับการขึ้นทะเบียน แสดงดังตาราง 2

ตาราง 2 โครงการ T-VER ประเภทป่าไม้และพื้นที่สีเขียว

| ชื่อโครงการ | ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่คาดว่าจะลดได้ (tCO ₂ eq/y) |
|---|---|
| การปลูกป่าอย่างยั่งยืน ณ วัดหนองจรเข้ ตำบลบานนา อำเภอแก่ง จังหวัดระยอง | 44 |
| โครงการปลูกป่ายั่งยืนของศูนย์การเรียนรู้ป่าวังจันทร์ โดย สถาบันปลูกป่าและระบบนิเวศ ปตท. ป่านิเวศระยองวนารมย์ กลุ่ม ปตท. | 176 |
| การฟื้นฟูป่าอย่างยั่งยืน ภายใต้โครงการ ปตท.สผ. ปลูกป่า ลดภาวะโลกร้อน | 1,083 |
| การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่าและ ความเสื่อมโทรมของป่า และการเพิ่มพูนการกักเก็บคาร์บอน ในพื้นที่อนุรักษ์ป่าพื้นถิ่นในพื้นที่เทศบาลตำบลสอง อำเภอ สอง จังหวัดแพร่ | 4,940 |
| การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่า และ ความเสื่อมโทรมของป่า และการเพิ่มพูนการกักเก็บคาร์บอน ในพื้นที่ป่าชุมชนบ้านโค้งตาบาง จังหวัดเพชรบุรี | 18 |
| โครงการพัฒนาอดอยตุ้ง (พื้นที่ทรงงาน) อันเนื่องมาจาก พระราชดำริ จังหวัดเชียงราย | 743 |
| โครงการปลูกป่า สร้างคน บนวิถีพอเพียง รักษาต้นน้ำ บรรเทาอุทกภัย จังหวัดน่าน | 106,788 |
| การปลูกป่าอย่างยั่งยืน โครงการขนาดใหญ่ ในพื้นที่สวนป่า ขุนแม่คำมี สวนป่าวังชัน สวนป่าแม่ยม-แม่แปง จังหวัดแพร่ | 176,704 |
| โครงการสนามกอล์ฟฟนอธานีปอดของกรุงเทพมหานคร | 43,628 |
| มหาวิทยาลัยสีเขียวเชิงนิเวศ | 161 |
| ป่ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เพื่อสังคมคาร์บอนต่ำ | 223 |
| | 495 |

ตาราง 2 (ต่อ)

| ชื่อโครงการ | ปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่คาดว่าจะลดได้ (tCO ₂ eq/y) |
|---|---|
| โครงการปลูกป่าอย่างยั่งยืนโรงไฟฟ้าราชบุรี โดย บริษัท ผลิตไฟฟ้าราชบุรี จำกัด | 57 |
| การพัฒนาพื้นที่สีเขียวโครงการสระเก็บน้ำพระราม 9 อันเนื่องมาจากพระราชดำริ เพื่อเป็นพื้นที่ต้นแบบในการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ | 281 |
| โครงการธนาคารคาร์บอนสีเขียว บ้านท่าลี่ อำเภอหนองเรือ และ บ้านแดง อำเภอบ้านฝาง จังหวัดขอนแก่น | 151 |

หมายเหตุ: tCO₂eq/y ต้นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี

ในวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ประเทศไทยได้เข้าร่วมการประชุม COP26 ณ เมืองกลาสโกว์ สหราชอาณาจักร โดยประเทศไทยได้ตั้งเป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ภายในปี ค.ศ. 2050 และจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ (Net zero greenhouse gas emission) ภายในปี ค.ศ. 2065 และกำหนดยุทธศาสตร์ระยะยาวในการพัฒนาที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำ (Long-term low greenhouse gas emission development strategies: LT-LEDS) เพื่อร่วมแก้ปัญหาดังกล่าวอย่างเร่งด่วน โดยคำนึงว่าไทยเป็น 1 ใน 10 ประเทศที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสูงสุดในโลก

การจัดทำโครงการลดก๊าซเรือนกระจกสาขาป่าไม้ต้องอาศัยการวางแผนสำรวจปริมาณการกักเก็บคาร์บอนซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการประเมินปริมาณการกักเก็บ โดยหลักการสำคัญในการวางแผนคือความละเอียด แม่นยำ และรอบคอบ จากการกำหนดชั้นภูมิตามความหนาแน่นของพืชพรรณ การคำนวณขนาดพื้นที่และตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนตัวอย่าง รวมถึงการจำแนกชนิดป่าเพื่อใช้สมการคำนวณที่เหมาะสม เพื่อส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บได้มีความถูกต้อง และส่งผลต่อความถูกต้องของคาร์บอนเครดิต (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) ซึ่งการใช้เทคนิคการรับรู้ระยะไกลเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้เพื่อการสำรวจอย่างแพร่หลายเนื่องจากสามารถเก็บบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากอย่างเป็นระบบทั้งในด้านของเวลา ช่วงคลื่น และเชิงพื้นที่จากดาวเทียมสามารถนำไปผลิตและวิเคราะห์ภาพและนำไปใช้ร่วมกับระบบภูมิสารสนเทศที่สามารถเก็บรวบรวม

ข้อมูลเชิงพื้นที่หรือข้อมูลที่สามารถระบุตำแหน่งพิกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Rattanachuchok, 2021) ในพื้นที่บริเวณกว้างเมื่อเทียบกับการสำรวจภาคสนามที่ได้ข้อมูลเฉพาะส่วน โดยอาศัยการทำงานของคนแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่หรือสะท้อนมาจากสิ่งที่ต้องการสำรวจเป็นสื่อในการวัด ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานป่าไม้ เช่น การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่า การจำแนกชนิดป่า การแบ่งชั้นภูมิ และการจัดทำแผนที่จากข้อมูลแปลงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การรังวัดค่าพิกัดด้วยระบบกำหนดตำแหน่งที่ได้จากการสำรวจด้วยดาวเทียมที่สามารถนำข้อมูลมาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของป่าไม้จากเหตุการณ์ทางธรรมชาติและที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์

การรับรู้ระยะไกล (Remote sensing)

เป็นเทคโนโลยีที่ใช้จำแนกหรือวิเคราะห์วัตถุ พื้นที่ จากเครื่องบันทึกข้อมูล (Sensor) โดยปราศจากการสัมผัสวัตถุเป้าหมาย โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic energy) ที่สะท้อนหรือแผ่ออกจากวัตถุต้นกำเนิดเป็นสื่อ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีลักษณะสะท้อนหรือแผ่ที่ต่างกันออกไป ทั้งนี้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อที่ได้มาซึ่งข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น (Spectral), รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นผิวโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) (นวลปราง นวลอุไร, 2548)

ปัจจุบันการสำรวจข้อมูลทรัพยากรป่าไม้ มีการนำภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial photograph) และภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite imagery) มาประยุกต์ใช้ศึกษาข้อมูลข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรที่นำมาใช้ มี 2 ประเภท คือ ข้อมูลรูปถ่ายที่และข้อมูลเชิงตัวเลข สิ่งที่แสดงในข้อมูลทั้งสองรูปแบบคือ ระดับการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสีของวัตถุพื้นผิวของโลกตามสภาพความเป็นจริง เรียกว่าข้อมูลเบื้องต้นหรือข้อมูลดิบ

ข้อมูลในลักษณะรูปถ่าย

ข้อมูลในลักษณะรูปถ่ายเป็นข้อมูลที่ได้จากการบันทึกสัญญาณภาพดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่นจากสถานีภาคพื้นดิน ทั้งช่วงคลื่นสั้นและยาวตามลำดับของแสงในช่วงที่ตามองเห็นจนถึงอินฟราเรดแล้วเปลี่ยนสัญญาณภาพที่ได้เป็นตัวเลขและเปลี่ยนข้อมูลตัวเลขเป็นระดับสีเทา จึงทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะภาพขาว ดำ โดยมีระดับสีเทาเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าการสะท้อนหรือดูดซับแสงหรือการทำภาพสี คือการให้สีแต่ละช่วงคลื่นแล้วนำภาพที่ให้สีแล้วมารวมกันอย่างน้อย 3 ภาพ จึงเกิดสีผสมขึ้นโดยปกตินิยมใช้แสงสีน้ำเงิน (Blue) สีเขียว (Green) และสีแดง (Red) (ธงชัย สิมกิง, 2536)

ข้อมูลในลักษณะเชิงตัวเลข

ข้อมูลเชิงตัวเลขเป็นลักษณะการแบ่งกลุ่มย่อยของข้อมูลภาพพื้นที่นั้น ๆ ตรงตำแหน่ง ศูนย์กลางและแทนที่ด้วยค่าจำนวนเต็มของค่าความเข้มเฉลี่ย พื้นที่ย่อย ๆ แต่ละพื้นที่เรียกว่า จุดภาพ (Pixel) มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อความสะดวกในการใช้งานกับคอมพิวเตอร์ (นวลปราง นวลอุไร, 2548)

การสำรวจทรัพยากรธรรมชาติด้วยดาวเทียม

ดาวเทียม Landsat 8 เป็นหนึ่งในชื่อของชุดดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งปัจจุบันมี 8 รุ่น คือ Landsat 1 – 8 ดาวเทียม Landsat 8 เริ่มปฏิบัติการวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 ภายใต้การบริหารจัดการของ United States Geological Survey; USGS โคจรสูงเหนือพื้นโลก 705 กิโลเมตร สามารถบันทึกภาพแต่ละช่วงคลื่น แสดงดังตาราง 3 ระบบการเก็บข้อมูล 16 บิต โคจรกลับมาถ่ายภาพซ้ำตำแหน่งเดิมทุก 16 วัน

ตาราง 3 ข้อมูลการบันทึกภาพแต่ละช่วงคลื่นของดาวเทียม Landsat 8 OLI

| แบนด์ | ความยาวคลื่น (ไมโครเมตร) | รายละเอียดภาพ (เมตร) |
|-------|---|----------------------|
| 1 | 0.43 – 0.45 (Coastal Aerosol) | 30 |
| 2 | 0.45 – 0.51 (Blue) | 30 |
| 3 | 0.53 – 0.59 (Green) | 30 |
| 4 | 0.64 – 0.67 (Red) | 30 |
| 5 | 0.85 – 0.88 (Near Infrared NIR) | 30 |
| 6 | 1.57 – 1.65 (SWIR 1) | 30 |
| 7 | 2.11 – 2.29 (SWIR 2) | 30 |
| 8 | 0.50 – 0.68 (Panchromatic) | 15 |
| 9 | 1.36 – 1.38 (Cirrus) | 30 |
| 10 | 10.60 – 11.19 (Thermal Infrared – TIRS 1) | 100 |
| 11 | 11.50 – 12.51 (Thermal Infrared – TIRS 2) | 100 |

ค่าดัชนีพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์

ค่าดัชนีพืชพรรณแบบนอร์แมลไลซ์ (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นกับการปกคลุมของพืชพรรณ จากภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงคลื่นที่เกี่ยวกับพืชพรรณ ได้แก่ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Band) ที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนมาก และช่วงคลื่นตามองเห็น คือ คลื่นช่วงแสงสีแดง (RED Band) ที่คลอโรฟิลล์ของพืชจะดูดกลืนพลังงานมาทำสังเคราะห์แสงแล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุมกับที่ไม่ใช่พืชพรรณ ค่าของ NDVI จะมีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ -1 ถึง 1 (Mongkolsawat et al., 2021) ในบริเวณที่ค่าของ NDVI มีค่าติดลบแสดงถึงพื้นผิวที่ไม่มีพืชพรรณสีเขียวอ่อนปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ต่ำกว่าช่วงคลื่นสีแดง ค่า NDVI จึงมีค่าติดลบ และถ้าค่าของ NDVI มีค่าเป็นบวกแสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่มากจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูงกว่าช่วงคลื่นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก

การวิเคราะห์สังคมพืช

สังคมพืช (plant community) การอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเป็นก้อนของพันธุ์พืชชนิดที่ขึ้นอยู่ร่วมกันและปรากฏให้เห็นในพื้นที่ต่าง ๆ มีลักษณะภายนอกทั่วไปคล้ายกัน มีความสัมพันธ์กันระหว่างชนิดไม้เหล่านั้นกับปัจจัยแวดล้อมที่เป็นสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตในพื้นที่นั้น และสามารถวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญของพรรณพืช (importance value index : IVI) คือ ผลรวมของค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของชนิดพันธุ์ไม้ในสังคม นั่นคือผลรวมของค่าความถี่สัมพัทธ์ค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ และค่าความเด่นสัมพัทธ์ (อุทิศ ภูฏินทร, 2541)

ดัชนีความสำคัญของพรรณพืช

ดัชนีความสำคัญของพรรณพืช (importance value index; IVI) เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงระดับความสำคัญในเชิงนิเวศวิทยาของชนิดพันธุ์พืชนั้น ๆ ต่อพื้นที่ศึกษาในการครอบครองพื้นที่ ชนิดพันธุ์ใดที่มีค่าดัชนีความสำคัญสูงแสดงว่าชนิดพันธุ์นั้นเป็นชนิดพันธุ์เด่นและมีความสำคัญในพื้นที่นั้น สำหรับไม้ใหญ่มีค่าตั้งแต่ 0 – 300 โดยพิจารณาจากผลรวมของค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (relative density; RD) ค่าความถี่สัมพัทธ์ (relative frequency; RF) และค่าความเด่นสัมพัทธ์ (relative dominance; RD_o)

ความหนาแน่นของพรรณพืช

ความหนาแน่นของพรรณพืชเป็นค่าที่แสดงถึงจำนวนต้นหรือค่าเฉลี่ยของพืชชนิดนั้น ๆ ต่อหน่วยพื้นที่หรือต่อหน่วยแปลงตัวอย่าง สามารถจำแนกความหนาแน่นออกเป็น 2 ชนิด คือความหนาแน่นที่ถือเรือนร่างเป็นหลัก (root density) ที่นิยมใช้วัดหญ้า และความหนาแน่นที่ถือลำต้นเป็นหลัก (stump density) ซึ่งใช้กับไม้ใหญ่ (ดอกรัก มารอด, 2554) ซึ่งค่าความหนาแน่นของพรรณพืชจะแตกต่างกันในป่าแต่ละชนิด (Smith, 1973)

ความถี่ของพรรณพืช

ความถี่ของพรรณพืชเป็นค่าที่แสดงถึงการกระจายของพืชแต่ละชนิดในพื้นที่นั้น ๆ และแสดงค่าของความถี่นั้นเป็นเปอร์เซ็นต์ความถี่ โดยหาได้จากการสุ่มตัวอย่างพืชจากแปลงตัวอย่าง ค่าความถี่จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนครั้งที่พบพืชชนิดนั้นในแปลงตัวอย่าง พืชที่มีการกระจายทั่วพื้นที่แปลงตัวอย่างที่ศึกษาทุกแปลงจะมีค่าความถี่สูงเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพืชที่มีการกระจายอยู่เพียงพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง ถึงแม้จะมีจำนวนต้นมาก แต่การกระจายไม่ทั่วทั้งพื้นที่ ค่าความถี่ของพืชชนิดนั้นจะมีค่าต่ำ ดังนั้นพืชที่มีความถี่สูงจะเป็นพืชที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วพื้นที่นั้น ๆ

ความเด่นของพืชพรรณ

ความเด่นของพืชพรรณเป็นค่าที่แสดงถึงพืชชนิดนั้น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อสังคมพืช ต่อหน่วยพื้นที่หรือแปลงตัวอย่าง โดยเฉพาะไม้ใหญ่นิยมวัดกันเป็นพื้นที่หน้าตัด ซึ่งเป็นค่าที่สามารถแปลงเป็นปริมาตรได้ เช่น อิทธิพลในการบดบังแสงสว่างที่ส่องลงสู่พื้นดิน เป็นต้น ซึ่งความเด่นของพืชสามารถบอกได้ถึงรูปของการปกคลุม หมายถึง เนื้อที่ของพื้นดินที่ถูกปกคลุมโดยส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของพืชชนิดนั้น ๆ โดยขนาดของพื้นที่หน้าตัดสามารถชี้ถึงความเด่นของพืชชนิดนั้นได้เพราะขนาดของพื้นที่หน้าตัดย่อมสัมพันธ์กับขนาดของเรือนยอด กล่าวคือ พืชที่มีพื้นที่หน้าตัดมากจะมีความเด่นมาก ซึ่งการวัดพื้นที่หน้าตัดต้นไม้จะวัดที่ความสูงเพียงอก (Diameter at Breast Height; DBH) 130 เซนติเมตร ซึ่งจะมีความเสถียร (Stable) โดยไม่มีปัญหาต่อการคำนวณลักษณะของรูปทรงต้นไม้ (taper) ที่เปลี่ยนแปลงมาก โดยเฉพาะบริเวณโคนต้นที่ไม้ใหญ่มักมีการสร้างรากพอน (Buttress) ขึ้นมาเพื่อค้ำยันลำต้นให้ตรงตัวอยู่ได้ในป่าธรรมชาติ (ดอกรัก มารอด, 2554)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบนิเวศป่าไม้มีความสำคัญในด้านการกักเก็บ (Sink) และปลดปล่อย (Source) ก๊าซคาร์บอน ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) เพื่อสร้างอินทรีย์สารซึ่งมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบนำมาสะสมไว้ในรูปมวลชีวภาพ (Biomass) (Watson, 2009) จากการประเมินของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) ป่าไม้สามารถดูดซับคาร์บอนประมาณ 2.6 GtC/year และการทำลายป่าปลดปล่อยคาร์บอนประมาณ 1.7 GtC/year (รัตนา ลักขณาวรกุล, 2558) โดยเฉพาะป่าเขตร้อนที่มีอัตราการตัดไม้ทำลายป่าที่สูง (Gurung, Bigsby, Cullen and Manandhar, 2015) ซึ่งในเขตเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีการสูญเสียพื้นที่ป่ามากถึง 610,000 ตารางกิโลเมตร ทำให้การสูญเสียแหล่งเก็บคาร์บอนประมาณ 424 TgC/year ในช่วงปี ค.ศ. 2001 ถึง 2019 (Feng et al., 2021) โดยป่าเขตร้อนสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ป่าไม้ผลัดใบ (Evergreen forest) และป่าผลัดใบ (Deciduous forest) ระบบนิเวศป่าไม้ของประเทศไทยเป็นหนึ่งในระบบนิเวศป่าเขตร้อนที่สำคัญ ทั้งด้านทรัพยากรและความหลากหลายทางชีวภาพ โดยเฉพาะบทบาทในการกักเก็บคาร์บอนผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงในช่วง 1-2 kg/m² ซึ่งป่าไม้ส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นป่าเขตร้อนประเภทผลัดใบถึง 55% ของป่าทั้งหมด โดยแบ่งเป็นป่าผลมผลัดใบ 34% และป่าเต็งรัง 21% พบมากทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย (FAO, 2005) ทั้งนี้ความสามารถในการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในแต่ละพื้นที่ป่าไม้ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนชนิดพันธุ์และความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้เพียงอย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของป่าไม้เป็นสำคัญป่าที่ถูกรบกวนทำลายโดยมนุษย์มักมีการสะสมมวลชีวภาพ และคาร์บอนในระบบนิเวศน้อย ทำให้มวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนแตกต่างกัน (ชนิษฐา เสถียรพิระกุล, สุนทร คำยอง, นิวัติ องณรงค์รัช และเกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง, 2554) จากการศึกษาการสะสมคาร์บอนในพื้นที่มรดกอาเซียน อุทยานแห่งชาติกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ พบว่าสังคมพืชที่มีค่าการสะสมคาร์บอนมากที่สุดคือ ป่าดิบชื้น รองลงมาได้แก่ ป่าดิบเขา (เฉพาะไม้ยืนต้น) โดยมีค่าเท่ากับ 17.77 และ 16.74 tC/rai ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพจะลดหลั่นลงตามสังคมพืชที่มีความชื้นสูงไปยังสังคมพืชที่มีความชื้นต่ำ (กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช, 2559) การศึกษาการสะสมคาร์บอนในป่าชนิดต่าง ๆ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าป่าดิบแล้งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 37.81 tC/rai รองลงมาได้แก่ ป่าดิบเขา ป่าสน ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง มีค่าเท่ากับ 23.79 17.65 12.85 และ 9.45 tC/rai ตามลำดับ และพบว่าลักษณะดินในป่าเต็งรังมีปริมาณความชื้นและอินทรีวิตฤต่ำ เนื่องจาก

มีไฟป่าในช่วงฤดูแล้งทำให้มีการเผากร่อนหน้าดิน (ณัฐลักษณ์ คำยอง, 2552) การประเมินความหลากหลายชนิดพันธุ์ไม้ สภาพป่าและปริมาณคาร์บอนสะสมในระบบนิเวศป่าเต็งรังบนพื้นที่หินแกรนิต บริเวณวนอุทยานไม้กลายเป็นหิน จังหวัดตาก พบว่ามีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน มีค่า 3.8 tC/rai โดยพบว่าสภาพป่าและดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ เนื่องจากการเกิดไฟป่าในช่วงหน้าแล้งทำให้ปริมาณการสะสมอินทรีย์วัตถุในดินมีน้อย (พัชรีดา วงอินทร์, 2554) การศึกษาพลวัตของสังคมพืชและการกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังผสมสน สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าการกักเก็บคาร์บอนในปี พ.ศ.2555 เท่ากับ 10.97 tC/rai และปี พ.ศ. 2560 มีค่าเท่ากับ 12.99 tC/rai ซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น 2.02 tC/rai เนื่องจากมีการลักลอบตัดไม้และไฟป่าเกิดขึ้นหลายครั้งทำให้ต้นไม้ถูกทำลายและส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (ถวิกา คำใบ, จรรย์ มากน้อย, ปรัชญา ศรีสง่า และประทีป ปัญญาดี, 2562) แสดงดังตารางที่ 4 ป่าเต็งรังเป็นป่าไม้ที่พบในพื้นที่แห้งแล้งและมีสภาพดินทางกายภาพไม่สมบูรณ์ แต่มีการใช้ประโยชน์ในพื้นที่เป็นอย่างมาก เช่น การหาของป่า การใช้ประโยชน์จากเนื้อไม้ แต่หากมีการใช้ประโยชน์ โดยไม่มีการจัดการที่ดีแล้วอาจก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมของสภาพป่าได้ นอกจากการใช้ประโยชน์โดยตรงจากทรัพยากรที่อยู่ในป่า ป่าเต็งรังยังมีความสำคัญทางนิเวศวิทยาเป็นป่าเบิกนำก่อนที่จะมีการทดแทนโดยป่าชนิดอื่น ๆ เพราะมีพันธุ์ไม้ที่สามารถขึ้นได้ในพื้นที่แห้งแล้งและมีดินชั้น ช่วยเป็นตัวเร่งการผุพังของหินและเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินทำให้ดินมีการพัฒนาขึ้น จนเหมาะสมต่อการกระจายเข้ามาแทนที่ของพันธุ์ไม้ในป่าชนิดอื่น ๆ (ณัฐลักษณ์ คำยอง, 2552) การเกิดไฟป่าในระบบนิเวศป่าเต็งรังเป็นตัวกำหนดโครงสร้างป่า (Fire climax community) หากระบบนิเวศป่าเต็งรังไม่มีไฟป่าก็จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นป่าชนิดอื่น ในทางตรงกันข้ามหากปล่อยให้เกิดไฟป่าในป่าเต็งรังอย่างต่อเนื่องและรุนแรงโดยปราศจากการควบคุม ไฟป่าจะทำลายสภาพสังคมพืช ทำให้ต้นไม้แคระแกรนหรืออาจกลายเป็นป่าทุ่งในที่สุด (วรพรรณ หินพานต์ และสัน เกตุปราณีต, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าเต็งรังที่มีไฟป่า และไม่มีไฟป่า พบว่าป่าเต็งรังที่มีไฟป่าและไม่มีไฟป่า มีปริมาณคาร์บอนสะสมเท่ากับ 8.41 และ 10.14 tC/rai ตามลำดับ และพบว่าพรรณไม้ที่ขึ้นในป่าเต็งรังที่ไม่มีไฟป่ามีพื้นที่หน้าตัดลำต้นมากกว่าป่าเต็งรังที่มีไฟป่า ส่งผลให้มีศักยภาพในการ กักเก็บมวลชีวภาพและคาร์บอนเพิ่มสูงขึ้น (สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, สุนทร คำยอง, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และนิวัตติ อนงค์รักษ์, 2555) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในป่าธรรมชาติ พบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอน ทำให้ต้นไม้ที่ขนาดใหญ่มีมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในปริมาณที่สูงแม้ว่าจะมีความ

หนาแน่นของต้นไม้ที่ต่ำ และสอดคล้องกับรายงานของ (อัญชัน พิมพ์สวรรค์, ยุวดี อินสำราญ และญาณวุฒิ อุทาร์กซ์, 2562) ที่ศึกษาโครงสร้างของต้นไม้ในพื้นที่ป่าเต็งรัง จังหวัดมหาสารคาม พบว่าเมื่อต้นไม้มีขนาดเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะลดลงตามลักษณะการปรับสมดุลของระบบนิเวศป่าไม้ และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ทำให้ต้นไม้ที่มีขนาดใหญ่มีการกักเก็บคาร์บอนที่มากกว่าแม้จะมีความหนาแน่นที่น้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ ที่ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนที่สัมพันธ์กับชนิดของต้นไม้ ในพื้นที่ป่าดิบแล้ง ประเทศกัมพูชา เมื่อวิเคราะห์การกักเก็บคาร์บอนสัมพันธ์พบว่าพื้นที่หน้าตัดของลำต้นมีความสัมพันธ์สูงกับการกักเก็บคาร์บอน ในขณะที่ความหนาแน่นของลำต้นมีความสัมพันธ์ต่ำกับปริมาณคาร์บอน (Chheng et al., 2016) และการศึกษาประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของป่าเขตร้อนชื้น ในพื้นที่ Terai Arc Landscape ประเทศเนปาลจากการศึกษาไม้แนะนำให้คิดการกักเก็บคาร์บอนในส่วนที่เป็นไม้พื้นล่าง และซากไม้ (litter) เนื่องจากมีอัตราส่วนเพียงร้อยละ 1 ของการกักเก็บคาร์บอนทั้งหมด (Gurung, Bigsby, Cullen and Manandhar, 2015) การประเมินมวลชีวภาพของต้นไม้ และการกักเก็บคาร์บอนทำได้โดยใช้สมการแอลโลเมตรีระหว่างมวลชีวภาพกับส่วนต่าง ๆ กับตัวแปรขนาดของต้นไม้ อาทิ ความสูง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือเส้นรอบวง เพื่อหลีกเลี่ยงการตัดต้นไม้ และสามารถประเมินในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ (Chave et al., 2005)

ตาราง 4 การศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในป่าของประเทศไทย

| ระบบนิเวศ | ปัจจัยทาง สิ่งแวดล้อม | ปริมาณ คาร์บอน (tC/rai) | อ้างอิง |
|-------------|--------------------------|-------------------------------|--|
| ป่าดิบชื้น | - | 17.77 | กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (2559) |
| ป่าดิบแล้ง | - | 37.81 | ณัฐลักษณ์ คำยอง (2552) |
| ป่าดิบเขา | - | 23.79 | ณัฐลักษณ์ คำยอง (2552) |
| ป่าดิบเขา | - | 16.74 | กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช (2559) |
| ป่าสน | - | 17.65 | ณัฐลักษณ์ คำยอง (2552) |
| ป่าเบญจพรรณ | - | 12.85 | ณัฐลักษณ์ คำยอง (2552) |
| ป่าเต็งรัง | - | 10.14 | สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล และคณะ (2555) |

ตาราง 4 (ต่อ)

| ระบบนิเวศ | ปัจจัยทาง สิ่งแวดล้อม | ปริมาณ คาร์บอน (tC/rai) | อ้างอิง |
|--------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| ป่าเต็งรัง | ไฟป่า | 9.45 | ณัฐลักษณ์ คำของ (2552) |
| ป่าเต็งรัง | ไฟป่า | 8.41 | สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล และคณะ (2555) |
| ป่าเต็งรัง | ไฟป่า | 3.8 | พัชณิดา วงอินทร์ (2554) |
| เต็งรังผสมสน | ไฟป่า | 12.99 | ถวิกา คำใบ และคณะ (2562) |

จากการทบทวนงานวิจัยที่ศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ในประเทศไทยยังไม่มี การนำข้อมูลการกักเก็บคาร์บอนมาเชื่อมโยงกับกลไกการตลาดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย แต่มีการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนและประเมินมูลค่าคาร์บอน โดยใช้กลไกการตลาดก๊าซเรือนกระจกและตลาดคาร์บอนตามมาตรฐานของต่างประเทศ เช่น การศึกษาการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในป่าเต็งรังบริเวณอุทยานแห่งชาติแม่ปิง มีมูลค่าเท่ากับ 1,061.16 บาท/ไร่ โดยการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนขึ้นอยู่กับราคาซื้อขายคาร์บอนตามกลไกตลาดภาคสมัครใจ (voluntary carbon market: VCM) มูลค่าเท่ากับ 3.8 ดอลลาร์สหรัฐ/ tCO₂e อัตราแลกเปลี่ยนเงินไทย 31.48 บาท/ดอลลาร์สหรัฐ (กันย์ จ้างนงค์ภักดี และณัฐวุฒิ อุดมศิริพงษ์ 2558) การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในป่าเบญจพรรณ และป่าเบญจพรรณผสมไม้ บริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำสาขาย่อยแม่พ่อง-แม่พูล จังหวัดอุดรธานี พบว่ามีมูลค่าเท่ากับ 11,412.56 และ 12,791.93 บาท/ไร่ ตามลำดับ อัตราแลกเปลี่ยนเงินไทย 31.4063 บาท/ดอลลาร์สหรัฐ ซึ่งคำนวณจากผลรวมของคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน และปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน (Maosew, Thanacharoenchanaphas and Boonyanuphap, 2019) การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในป่าชายเลน ศูนย์ศึกษาเรียนรู้ระบบนิเวศป่าชายเลนสิรินาถราชินี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ มีมูลค่าเท่ากับ 8,027 บาท/ไร่ อัตราแลกเปลี่ยนเงินไทย 31.78 บาท/ดอลลาร์สหรัฐ คำนวณจากผลรวมของคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดิน (Sribut, Sunthornhao and Diloksumpun, 2020) โดยการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนขึ้นอยู่กับราคาซื้อขายคาร์บอนตามกลไกตลาดภาคสมัครใจตามมาตรฐานต่างประเทศ (voluntary emission reduction program: VER) ได้แก่ ตลาด Verified Carbon Standard (VCS) โดยกำหนดราคา

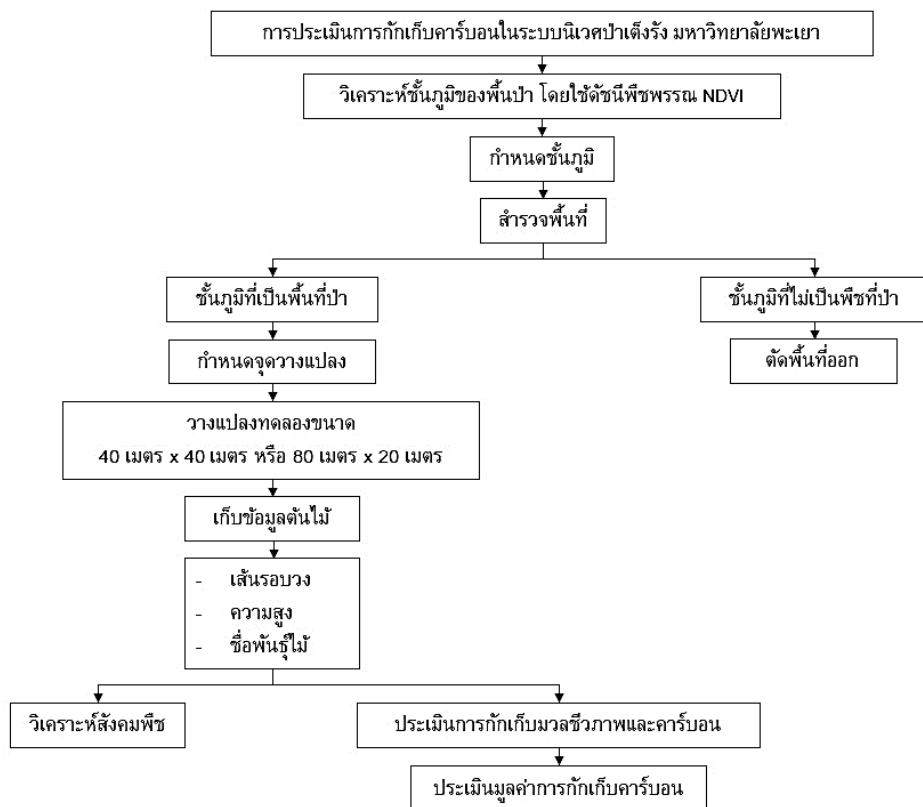
เฉลี่ยของคาร์บอนเครดิตในปี พ.ศ. 2560 เท่ากับ 3.9 ดอลลาร์สหรัฐ/tCO₂e และกำหนดค่าธรรมเนียมการซื้อขายคาร์บอน เท่ากับ 0.1 ดอลลาร์สหรัฐ/tCO₂e

การศึกษากลไกของระบบนิเวศป่าไม้ที่เป็นแหล่งกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอน โดยธรรมชาติที่สำคัญสามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศและบรรเทาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ รวมถึงการตอบสนองต่อเป้าหมายในการลดก๊าซเรือนกระจกตามอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จากการศึกษาก่อนหน้านี้ รายงานว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่าไม้ที่มีปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์และความอุดมสมบูรณ์ของป่า การเกิดไฟป่า รวมถึงการรบกวนระบบนิเวศโดยมนุษย์ เช่น บุกรุกเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การลักลอบตัดไม้ ส่งผลให้พื้นที่ป่าไม้และการกักเก็บคาร์บอนลดลง ซึ่งการนำกลไกโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทยและกลไกตลาดคาร์บอน เข้ามามีส่วนร่วมในการดูแลป่าทำให้สามารถสร้างแรงจูงใจเชิงบวกในการรักษาป่าและสามารถสร้างรายได้จากการดูแลป่า เพื่อให้มนุษย์อยู่ร่วมกับป่าได้อย่างยั่งยืน ปัจจุบันคาร์บอนกลายเป็นสินค้าสามารถแลกเปลี่ยนหรือซื้อขายกันในตลาดก๊าซเรือนกระจกที่นำปริมาณคาร์บอนมาประเมินเป็นมูลค่าของค่าคาร์บอนเครดิต เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การนำปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการดำเนินงานไปรายงาน การนำไปใช้ชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากองค์กร บุคคล งานบริการ หรือจากการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นจะทำให้การพัฒนาประเทศไปสู่สังคมคาร์บอนต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินในพื้นที่ระบบนิเวศป่าเต็งรังแล้วยังสามารถเป็นแนวทางให้กับองค์กรหรือเกษตรกรเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่กระบวนการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

กรอบแนวคิดการดำเนินงานวิจัย ดังภาพ 3 ซึ่งประกอบด้วย การแบ่งชั้นภูมิของพื้นที่ป่าโดยใช้ดัชนีพืชพรรณ Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) การวิเคราะห์หลังคัมพีซ การประเมินมวลชีวภาพโดยใช้สมการแอลโลเมตริก และการคำนวณประมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้



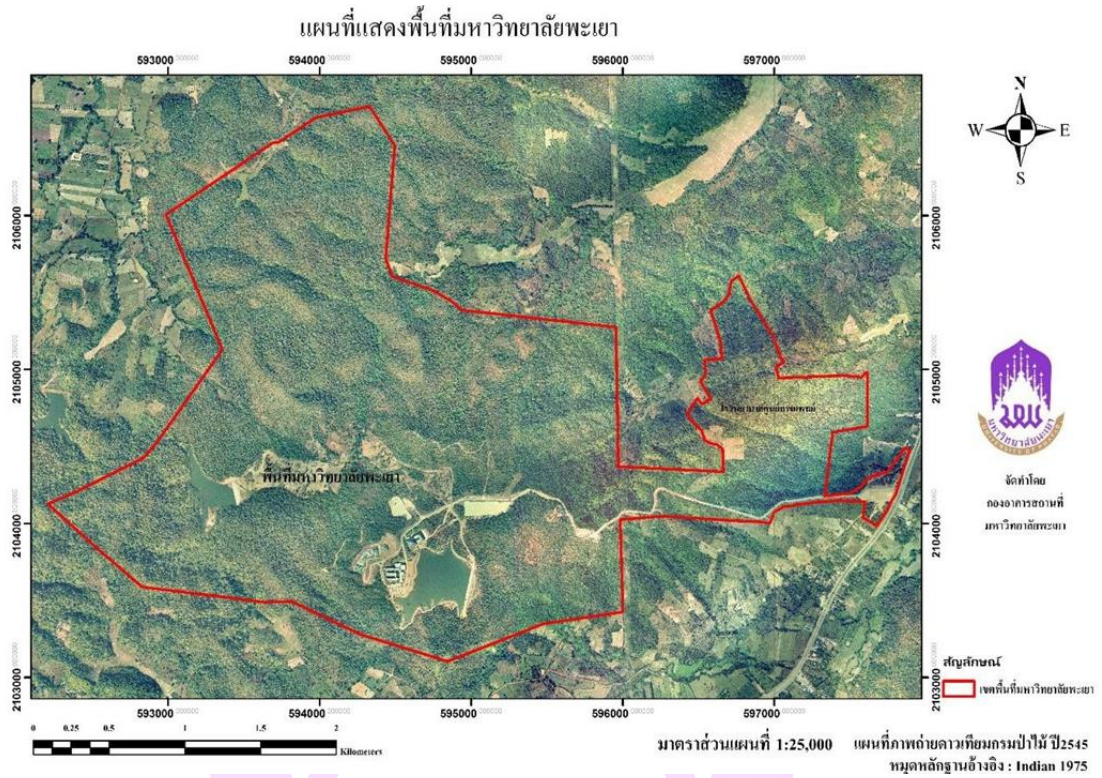
ภาพ 3 กรอบแนวความคิดการดำเนินการวิจัย

พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาในพื้นที่ป่าไม้ด้านทิศเหนือของมหาวิทยาลัยพะเยา ตั้งอยู่เลขที่ 19 หมู่ 2 ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000 ถนนพหลโยธิน ปัจจุบันมหาวิทยาลัยพะเยามีพื้นที่

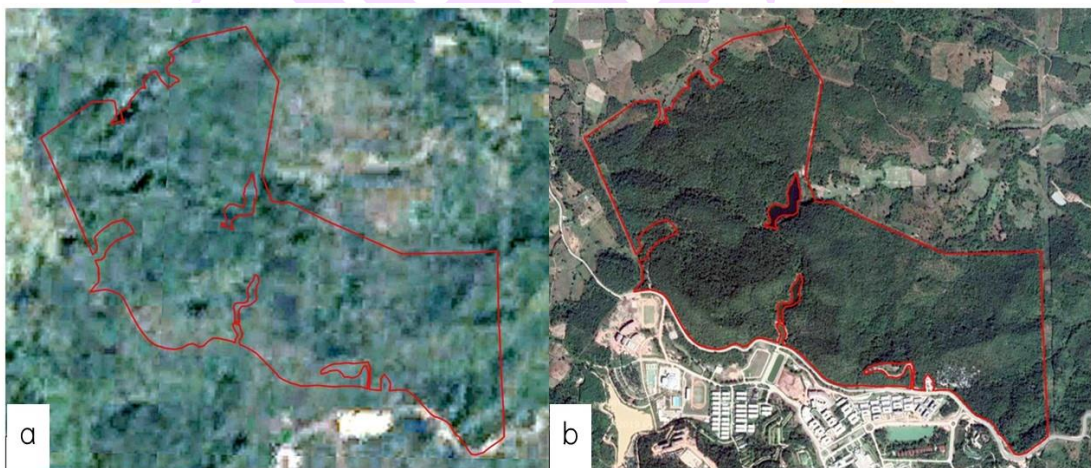
ทั้งหมด 5,700 ไร่ ดังภาพ 4 พื้นที่ก่อนทำการศึกษาเป็นป่าไม้ดั้งเดิม โดยเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศป่าไม้จากภาพถ่ายดาวเทียมโดยใช้โปรแกรม Google Earth Pro ในปี พ.ศ. 2542 และปี พ.ศ. 2560 ดังภาพ 5 คิดเป็นพื้นที่ป่าไม้ที่ทำการศึกษาโดยทำการตัด พื้นที่แหล่งน้ำและสิ่งปลูกสร้างออกมีพื้นที่เท่ากับ 2,244 ไร่ ดังภาพ 6 ตำแหน่งอ้างอิงของพื้นที่ ศึกษาคือเสาดตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา (Dry Dipterocarp Forest Flux Phayao site Thailand; DPT) พิกัด ทางภูมิศาสตร์ ละติจูดที่ 19° 02' 14.38" N, ลองจิจูด : 99° 54' 10.96" E, โดยพื้นที่ศึกษา เป็นระบบนิเวศป่าเต็งรังตั้งอยู่บริเวณป่าต้นน้ำกว๊านพะเยา (ป่าแม่ต๋ำ) ติดกับเทือกเขาฝิ่ปันน้ำ (ดอยหลวง) มีลักษณะภูมิประเทศแบบภูเขาสลับซับซ้อนและมีความลาดชัน (Slope terrain) มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง 512 เมตร มีลักษณะภูมิอากาศแบบมรสุมเขตร้อน โดยข้อมูล อุณหภูมิอากาศจากการตรวจสภาพภูมิอากาศด้วยเสาดตรวจวัดจุลอุตุนิยมวิทยา มหาวิทยาลัย พะเยาตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2560 พบว่าอุณหภูมิอากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 18.64 – 31.62 °C และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.84 °C เนื้อดินมีลักษณะเป็นดินร่วน ปนทรายที่ระดับความลึก 0 – 10 เซนติเมตร และเป็นเนื้อดินแบบร่วนเหนียวปนทรายที่ระดับ ความลึก 11–40 เซนติเมตร อุณหภูมิดินมีค่าอยู่ในช่วง 19.07 – 31.86 °C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.85 °C โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยเท่ากับ 801.45 มิลลิเมตร และความชื้น ในดินอยู่ในช่วง 11.84 – 31.21 %WFPS (% Water-filled pore space) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 21.20%WFPS (พัลลภ อินทะนิล, 2560)

พื้นที่ป่าไม้ด้านทิศเหนือของมหาวิทยาลัยพะเยาที่ทำการศึกษา มีการให้บริการ ของระบบนิเวศแก่ชุมชน หรือที่เรียกว่านิเวศบริการ (Ecosystem service) โดยเฉพาะในช่วง ฤดูแล้งที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเผาพื้นที่ทำกินของชุมชนบริเวณรอบ ๆ จึงได้มีการจัดตั้งหน่วย ติดตามไฟป่า ที่ดำเนินการรวมกันกับหน่วยงานทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย เพื่อร่วมกันป้องกันและความคุ้มครองถึงมาตรการทำแนวกันไฟในพื้นที่ ดังภาพ 7

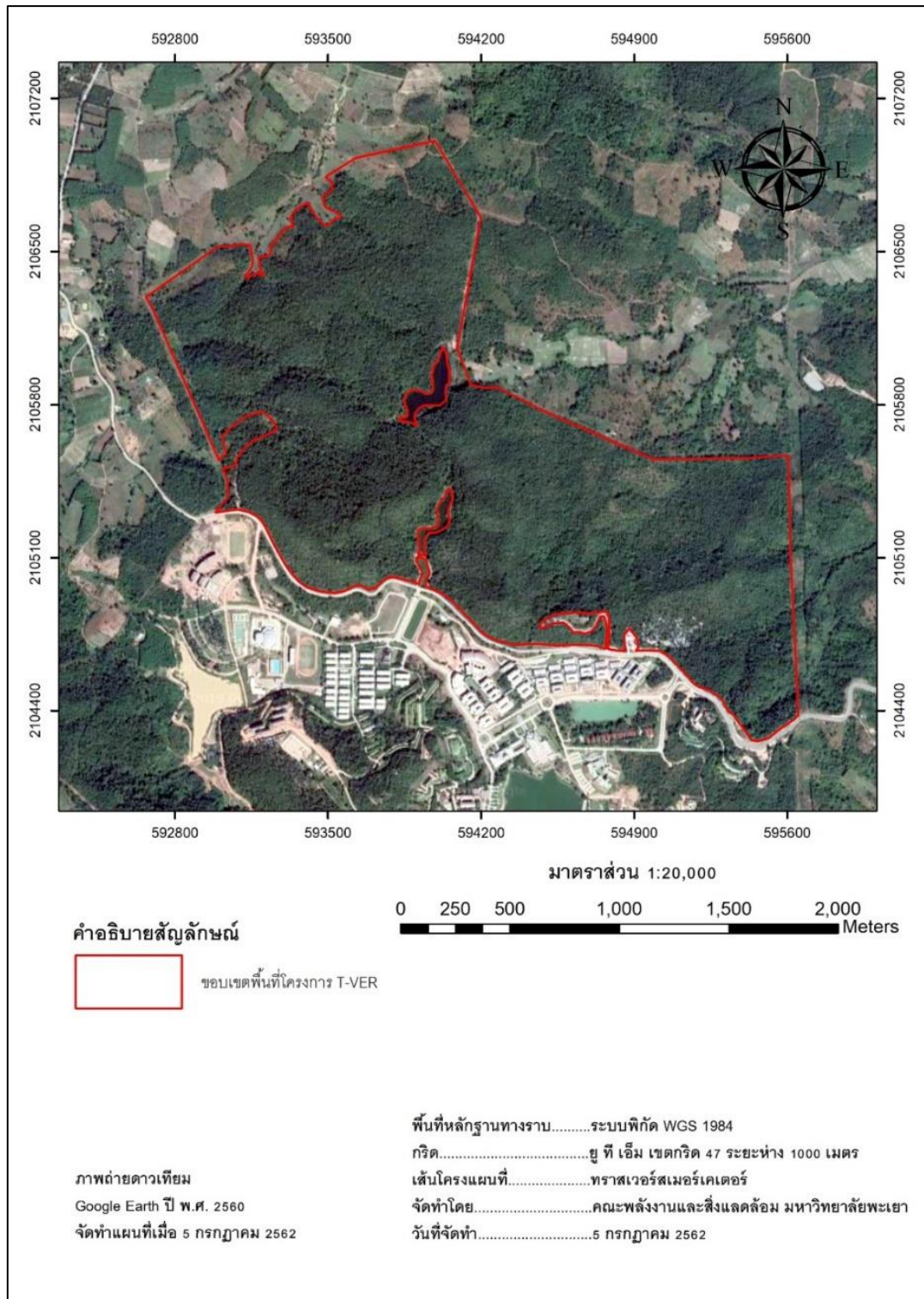


ภาพ 4 แผนที่เขตพื้นที่มหาวิทยาลัยพะเยา

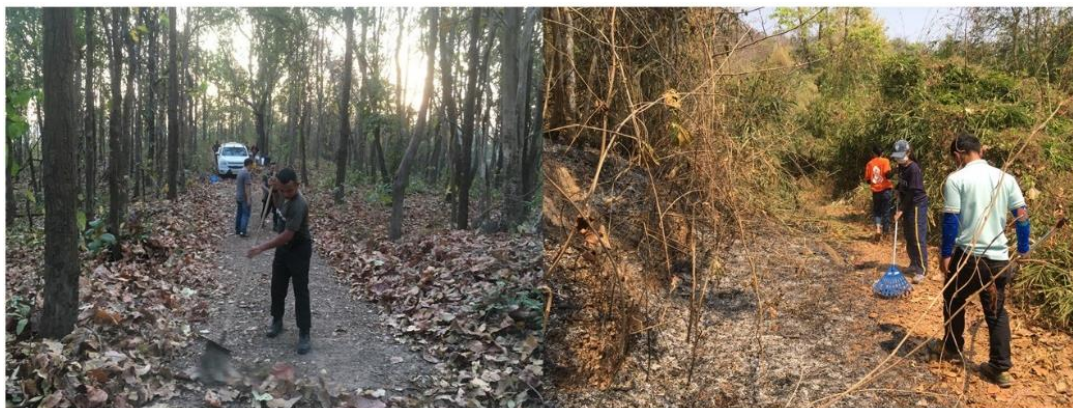
ที่มา: กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยพะเยา



ภาพ 5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าปี พ.ศ. 2542 (a) และปี พ.ศ. 2560 (b)



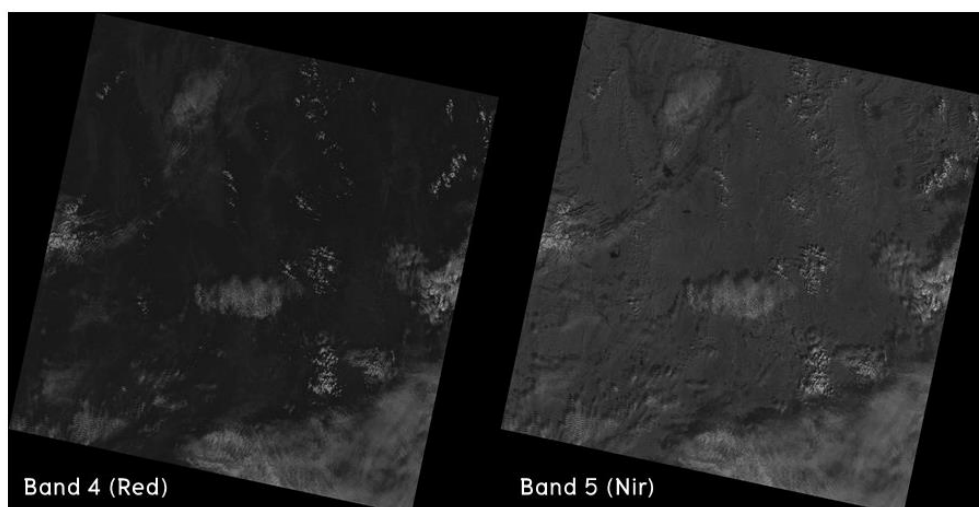
ภาพ 6 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา



ภาพ 7 การปฏิบัติหน้าที่ของหน่วยติดตามไฟป่า

การจำแนกประเภทป่า

การวิเคราะห์และการแปลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อจำแนกพื้นที่ป่าไม้จะใช้การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital analysis and image processing) โดยใช้เทคนิค Normalize Difference Vegetation Index (NDVI) คือการจำแนกพื้นที่ด้วยดัชนีพืชพรรณ (Vegetation index) เป็นวิธีการจำแนกด้วยการคำนวณค่าการสะท้อนแสงของพืช ในรูปแบบตัวเลข แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุมกับไม่มีพืชพรรณ โดยช่วงคลื่นสีแดง (Red) ที่มีคุณสมบัติในการวัดค่าสะท้อนจากส่วนที่มีการดูดกลืนพลังงานในใบพืช หรือส่วนที่มีคลอโรฟิลล์ (Band 4) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near infrared band) มีคุณสมบัติในการแยกพืชพรรณ (Band 5) มาทำสัดส่วนกันดังสมการ 1 (Mongkolsawat et al.,2001) จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ของวันที่ 6 มกราคม 2562 ความละเอียดภาพ 30 เมตร x 30 เมตร ดังภาพ 8



ภาพ 8 ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 วันที่ 6 มกราคม 2562

ที่มา: <https://earthexplorer.usgs.gov>

วิเคราะห์ชั้นภูมิของป่าไม้โดยดัชนีพืชพรรณ NDVI ดังสมการ (Rouse, Haas, A., and Deering, 1973)

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

โดยที่

- NDVI = Normalize Difference Vegetation Index
- NIR = Near Infrared Band
- RED = Red Band

การกำหนดจำนวนแปลงเก็บตัวอย่าง

การวางแผนแปลงทดลองเพื่อสำรวจข้อมูลต้นไม้ จำเป็นต้องมีความเหมาะสมของจำนวนแปลงทดลอง ในการศึกษาลักษณะของโครงสร้างป่าและประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยใช้วิธีวางแผนทดลองแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified random sampling) ตามระดับความหนาแน่นพืชพรรณที่ปกคลุม 3 ชั้นภูมิคือ ความหนาแน่นสูง ความหนาแน่นกลาง และความหนาแน่นต่ำ โดยเก็บข้อมูลมวลชีวภาพต้นไม้ในแต่ละชั้นภูมิเพื่อนำมาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation; CV) โดยค่า CV ที่ได้จะต้องไม่เกินร้อยละ 25 จึงจะถือว่าแปลงทดลองดังกล่าวเป็นตัวแทนที่เหมาะสมตามที่

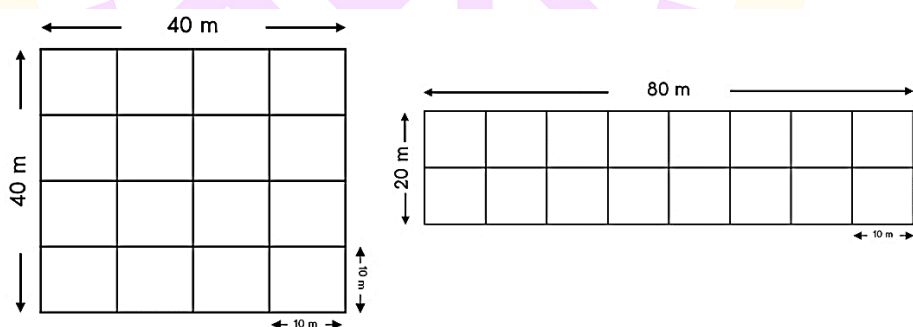
องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกกำหนด (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่า CV ได้ดังสมการ 2

$$CV = \frac{SD \times 100}{\bar{X}} \quad (2)$$

โดยที่ CV = ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation)
 SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
 \bar{X} = ค่าเฉลี่ย

การวางแปลงทดลอง

ขั้นตอนการวางแปลงตัวอย่างและการเก็บข้อมูลจากแปลงตัวอย่างจากคู่มือการพัฒนาโครงการการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้ และเกษตร ปี พ.ศ. 2558 การวางแปลงทดลอง (Sampling plot) ได้เลือกรูปแบบแปลงทดลองรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square sample plot) ขนาด 40 เมตร × 40 เมตร และแปลงทดลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular sample plot) ขนาด 80 เมตร × 20 เมตร หรือคิดเป็นพื้นที่เท่ากับ 1 ไร่ แบ่งเป็นแปลงย่อยขนาด 10 เมตร × 10 เมตร จำนวน 16 แปลง (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) ดังภาพ 9

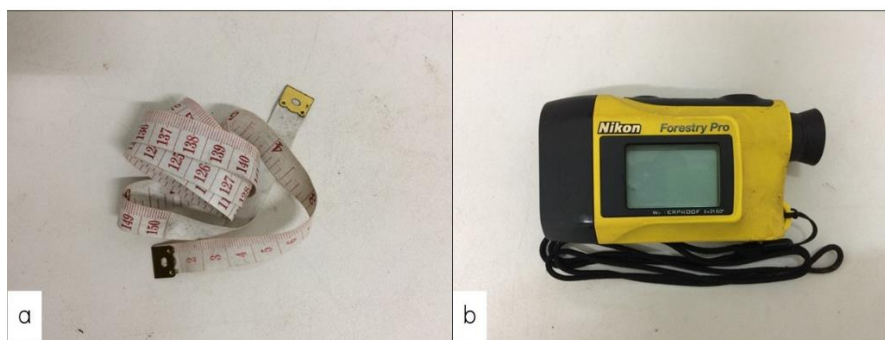


ภาพ 9 แปลงทดลองขนาด 40 เมตร × 40 เมตร และขนาด 80 เมตร × 20 เมตร

การเก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงทดลอง

การเก็บข้อมูลในแปลงทดลองจะเก็บข้อมูลต้นไม้ใหญ่ คือต้นไม้ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางระดับอก (Diameter at Breast Height; DBH) มากกว่า 4.5 เซนติเมตร ในแปลงขนาด 10 เมตร

× 10 เมตร ทั้ง 16 แปลง โดยความโตของต้นไม้จะวัดเส้นรอบวงระดับอกด้วยสายวัด แล้วนำข้อมูลไปคำนวณเส้นผ่านศูนย์กลาง สำหรับการวัดความสูงของต้นไม้จะวัดด้วยกล้องวัดความสูง (Forestry pro) ดังภาพ 10



ภาพ 10 สายวัดวัดความโตของต้นไม้ (a) และ Forestry pro (b)

บันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกข้อมูล ได้แก่ รหัสต้นไม้ ชื่อพันธุ์ไม้ เส้นรอบวงและความสูงของต้นไม้ จากนั้นทำการติดแท็กรหัสต้นไม้ซึ่งจะใช้ตัวเลขจำนวน 7 หลักแทนข้อมูล ดังภาพ 11



ภาพ 11 แท็กรหัสต้นไม้ในแปลงทดลอง

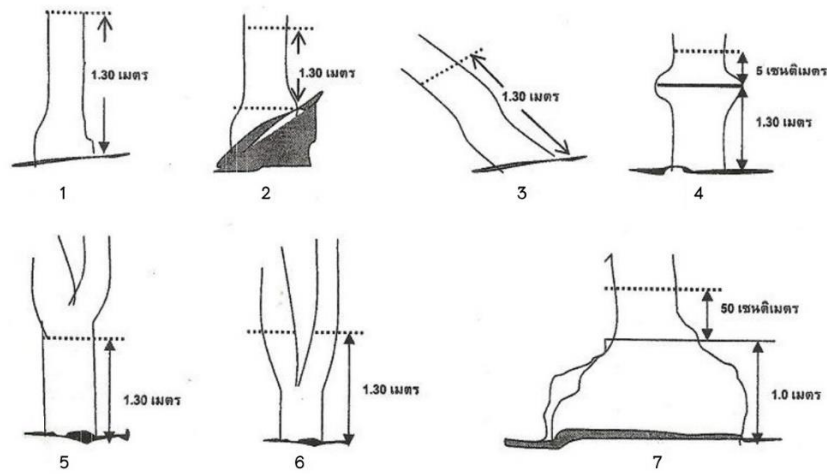
ตัวอย่างรหัสต้นไม้ 1 07 15 10

| | | |
|----------|------|---|
| ความหมาย | - 1 | = ชนิดของป่า |
| | - 07 | = ลำดับแปลงทดลองขนาด 40 เมตร × 40 เมตร |
| | - 15 | = ลำดับแปลงทดลองขนาด 10 เมตร × 10 เมตร |
| | - 10 | = ลำดับที่ของต้นไม้ในแปลง 10 เมตร × 10 เมตร |

การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในป่าธรรมชาติ ถ้าเป็นพื้นที่ค่อนข้างเรียบหรือมีความลาดชันไม่มาก ต้นไม้มีลักษณะเป็นลำต้นเดี่ยวและไม่มีพุ่มจะทำการตรวจวัดได้ง่าย แต่กรณีพื้นที่มีความลาดชันหรือเกิดความผิดปกติตรงจุดเส้นผ่าศูนย์กลางระดับอกหรือที่ตำแหน่ง 1.30 เมตร สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อให้เหมาะสมและเป็นมาตรฐานเดียวกัน (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, 2558) ดังแสดงดังภาพ 12

โดยการวัดขนาด DBH ของต้นไม้ที่มีลักษณะพิเศษสามารถจำแนกได้เป็น 7 ชนิด คือ

1. ต้นไม้ที่มีลักษณะลำต้นปกติและขึ้นอยู่บนพื้นราบ ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร
2. ต้นไม้ที่ขึ้นอยู่บนที่ลาดเท (slope) ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางทางด้านบนของพื้นที่ลาดเท ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร
3. ต้นไม้ที่มีลักษณะลำต้นที่เอียงหรือเอน ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ด้านมุมเอียงออกไป
4. ต้นไม้ที่มีลักษณะพุ่มพุ่ม ที่ตำแหน่ง 1.30 เมตร ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือพุ่มขึ้นไป 5 เซนติเมตร เพื่อหลบพุ่มพุ่มดังกล่าว
5. ต้นไม้ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตแตกนาง ที่ระดับสูงกว่าตำแหน่ง 1.30 เมตร ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.30 เมตร ตามปกติ เพียงแค่ลำต้นหลัก
6. ต้นไม้ที่มีลักษณะการเจริญเติบโตแตกนาง ที่ระดับต่ำกว่าตำแหน่ง 1.30 เมตร ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ของแต่ละต้น
7. ต้นไม้ที่มีลักษณะรากพอน (buttress) ที่สูงจากพื้นดิน ประมาณ 1 เมตร ให้วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือจุดรากพอนขึ้นไปอีก 50 เซนติเมตร



ภาพ 12 ตำแหน่งวัดความโตที่ระดับ DBH ของต้นไม้ที่มีลักษณะพิเศษ และในพื้นที่ลาดชัน

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2558

การวิเคราะห์สังคมพืช

วิเคราะห์ดัชนีความสำคัญของพรรณพืช (Importance Value Index: IVI) ในเชิงปริมาณ (Quantitative characteristics) ของสังคมพืช ได้แก่ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density; RD), ความถี่สัมพัทธ์ (relative frequency; RF) และความเด่นสัมพัทธ์ (relative dominance; RD₀) ดังสมการ 3 (Whittaker, 1970)

$$IVI = RD + RF + RD_0 \quad (3)$$

โดยที่

$$D = \frac{\text{Total number of species}}{\text{Total area of plot sample}}$$

$$RD = \frac{\text{Density of a species (D)}}{\text{Total density of all species}} \times 100$$

$$F = \frac{\text{Number of plot which a species occurs}}{\text{Total number of plot sample}}$$

$$RF = \frac{\text{Frequency value of a species (F)}}{\text{Total frequency value of a species}}$$

$$D_0 = \frac{\text{Total basal area of a species}}{\text{Total area of plot sample}}$$

$$RD_0 = \frac{\text{Dominance of a species } (D_0)}{\text{Total dominance of all species}} \times 100$$

การประเมินปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตรี

การประเมินปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground biomass) ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ของไม้ยืนต้น โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของพรรณไม้ป่าเต็งรัง สามารถคำนวณได้จากสมการ 4 (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2558) สำหรับมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground biomass) สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้น ดังสมการ 5 โดยใช้ค่าสัดส่วนน้ำหนักแห้งกลุ่มพรรณไม้ทั่วไป มีค่าเท่ากับ 0.27 (IPCC, 2006)

$$ABG = W_S + W_B + W_L \quad (4)$$

$$BLG = AGB \times 0.27 \quad (5)$$

| | | |
|--------|-------|---|
| โดยที่ | ABG | = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม) |
| | BLG | = มวลชีวภาพใต้ดิน (กิโลกรัม) |
| | W_S | = $0.0396(D^2H)^{0.933}$ |
| | W_B | = $0.00349(D^2H)^{1.03}$ |
| | W_L | = $(28 / (W_S + W_B + 0.025))^{-1}$ |
| | D | = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (เซนติเมตร) |
| | H | = ความสูง (เมตร) |

การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในรูปของมวลชีวภาพสามารถประเมินได้จากสัดส่วนคาร์บอน (carbon fraction) คือ ปริมาณคาร์บอนที่สะสมในมวลชีวภาพของต้นไม้ มีการผันแปรระหว่างชนิดของพรรณไม้ คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรี ซึ่งสัดส่วนคาร์บอนเฉลี่ยของกลุ่มพรรณไม้ทุกชนิดเท่ากับ 0.47 (IPCC, 2006) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ 6

$$C \text{ total} = (ABG + BLG) \times 0.47 \quad (6)$$

โดยที่

C total = การกักเก็บคาร์บอนรวมของต้นไม้ (กิโลกรัม)

AGB = มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (กิโลกรัม)

BLG = มวลชีวภาพใต้ดิน (กิโลกรัม)

0.47 = carbon fraction

การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าจากบรรยากาศผ่านการสังเคราะห์แสงของพืชเพื่อใช้ในการสร้างมวลชีวภาพ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ 7

$$CO_{2eq} = C \text{ total} \times (44/12) \quad (7)$$

โดยที่

CO_{2eq} = การกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (กิโลกรัม)

C total = การกักเก็บคาร์บอนรวมของต้นไม้ (กิโลกรัม)

44/12 = ค่ามวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคาร์บอน

การประเมินอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ระยะเวลาในการคิดคาร์บอนเครดิตของโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทยที่ทางองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกได้กำหนดไว้มีช่วงระยะเวลาในการคิดคาร์บอนเครดิต 10 ปี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$\text{ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์} = C + C_{TTO} \times (ARC/100) \times t \quad (8)$$

โดยที่

C = ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก = $C_{SEQ} - C_{TTO} - GHG_{LEAK}$

C_{TTO} = ปริมาณการกักเก็บก๊าซคาร์บอนในกรณีฐาน = พื้นที่ศึกษา × ค่าเฉลี่ยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

ARC = อัตราการเปลี่ยนแปลงรายปีของพื้นที่ป่า (ร้อยละ/ปี)

t = ปีที่ดำเนินการติดตามผล

การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน

การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนจากอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คูณด้วยราคาคาร์บอน โดยอ้างอิงราคาตลาดคาร์บอน 3 แห่งได้แก่ verified carbon standard (VCS) ราคาคาร์บอนเฉลี่ยปี พ.ศ. 2560 เท่ากับ 3.9 ดอลลาร์สหรัฐ/tCO₂e (Sribut, Sunthomhao and Diloksumpun, 2020) European Union Emissions Trading System (EU ETS) ราคาคาร์บอนเฉลี่ยในช่วงปี พ.ศ. 2551–2564 เท่ากับ 14.51 ยูโร/tCO₂e และ Thailand Voluntary Emission Reduction (T-VER) ราคาคาร์บอนเฉลี่ยปี พ.ศ. 2564 เท่ากับ 34.34 บาท/ tCO₂e (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก, 2564) ใช้อัตราการแลกเปลี่ยนเงินตรา ณ วันที่ 8 ธันวาคม พ.ศ. 2564 เท่ากับ 1 ดอลลาร์สหรัฐ มีค่า 33.7102 บาท และ 1 ยูโร มีค่า 38.2124 บาท (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2564) สามารถคำนวณหามูลค่าการกักเก็บคาร์บอนได้จากสมการที่ 9

$$VC = CO_2 \times P \quad (9)$$

โดยที่

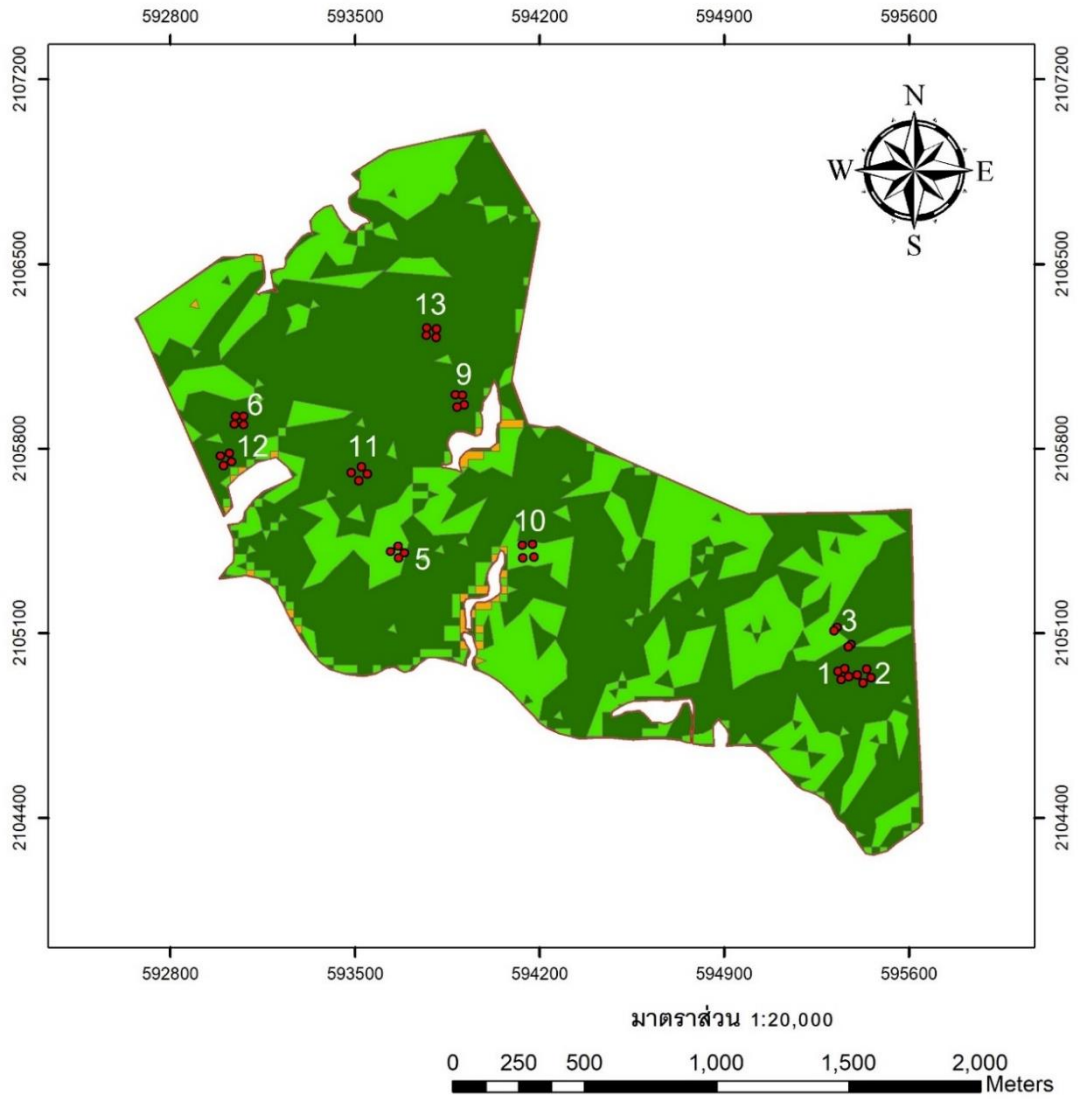
- VC = มูลค่าการกักเก็บคาร์บอน (บาท)
- CO₂ = ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (tCO₂)
- P = ราคาซื้อขายคาร์บอนในหน่วยบาท/ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การจำแนกชั้นภูมิพื้นที่ป่า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ความละเอียดภาพ 30 เมตร \times 30 เมตรของวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2562 โดยใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI พบว่ามีค่าดัชนีพืชพรรณอยู่ในช่วง -0.2496 ถึง 0.4628 สามารถแบ่งได้ทั้งหมด 3 ชั้นภูมิ ได้แก่ ชั้นภูมิที่ 1 คือพื้นที่ที่ไม่ใช่ป่ามีค่าอยู่ระหว่าง -0.2496 ถึง 0.2058 โดยจัดให้อยู่ในประเภทพื้นที่ทุ่งหญ้า มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 15.29 ไร่ ชั้นภูมิที่ 2 คือพื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 1 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2059 ถึง 0.3259 อยู่ในประเภทพื้นที่ป่าไม้ความหนาแน่นที่ 1 มีขนาดพื้นที่เท่ากับ 738.19 ไร่ และชั้นภูมิที่ 3 คือพื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.3259 ถึง 0.4628 จัดให้อยู่ในประเภทพื้นที่ป่าไม้ความหนาแน่นที่ 2 มีขนาดพื้นที่เท่ากับ $1,505.81$ ไร่ (ตาราง 5) โดยเลือกวางแปลงทดลองในชั้นภูมิที่ 2 และ 3 ที่เป็นพื้นที่ป่ามีพื้นที่รวมในการศึกษาเท่ากับ $2,244$ ไร่ ดังภาพ 13 จากข้อมูลที่กำลังกล่าวมาแสดงให้เห็นว่า ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI บริเวณที่ไม่มีพืชพรรณปกคลุมจะมีค่าติดลบ ส่วนบริเวณที่มีพืชพรรณอยู่มากจะมีค่าเป็นบวก ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะสัมพันธ์ระหว่างช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และคลื่นช่วงแสงสีแดงกับการปกคลุมของพืชพรรณ (Mongkolsawat et al., 2001) เนื่องจากบริเวณที่ค่า NDVI มีค่าติดลบแสดงถึงพื้นผิวที่มีพืชพรรณสีเขียวปกคลุมน้อยจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ต่ำกว่าช่วงคลื่นสีแดง ค่า NDVI จึงมีค่าติดลบเพราะว่าค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มีค่าต่ำกว่าค่าการสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดง แต่ในกรณีที่เป็นพื้นผิวดินค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นสีแดงและค่าสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้จะมีค่าใกล้เคียงกัน ทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับศูนย์ (อินวา สัจจาพิทักษ์วงศ์, 2552) ถ้าค่าของ NDVI มีค่าเป็นบวกแสดงถึงพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมอยู่มากจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูงกว่าช่วงคลื่นสีแดงทำให้ NDVI มีค่าเป็นบวก เนื่องจากคลอโรฟิลล์ในพืชจะดูดกลืนค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในช่วงคลื่นสีแดงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และจะสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ออกมาถึง 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ (Green, Mumby, Edwards, Clark and Ellis, 1997)



คำอธิบายสัญลักษณ์

1,2,3,5,6,9,10,11,12,13 ตัวเลขลำดับแปลง

● จุดมุมแปลง

ภาพถ่ายดาวเทียม Google Earth ปี พ.ศ. 2560 จัดทำแผนที่เมื่อ 5 กรกฎาคม 2562

ภาพ 13 แผนที่ตำแหน่งแปลงตัวอย่างในแต่ละชั้นภูมิ

ตาราง 5 ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI

| ชั้นภูมิ | ดัชนีพืชพรรณ NDVI | ประเภทพื้นที่ | เนื้อที่ (ไร่) |
|----------|-------------------|----------------------------|----------------|
| 1 | -0.2496 – 0.2058 | พื้นที่ทุ่งหญ้า | 15.29 |
| 2 | 0.2059 – 0.3259 | พื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 1 | 738.19 |
| 3 | 0.3259 – 0.4628 | พื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 2 | 1505.81 |

แปลงเก็บตัวอย่าง

ในการศึกษานี้การกำหนดตำแหน่งแปลงตัวอย่าง ได้นำค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI มาทำการกำหนดชั้นภูมิ (stratification) ตามความหนาแน่นของพืชพรรณที่ปกคลุม และวางแผนเก็บตัวอย่างแต่ละชั้นภูมิ ไม่น้อยกว่า 3 แปลง เก็บข้อมูลจากแปลงตัวอย่างมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร (Coefficient of variation: CV) จากข้อมูลมวลชีวภาพ ซึ่งต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 25 จึงจะถือว่าแปลงตัวอย่างดังกล่าวเป็นตัวแทนที่เหมาะสม โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของแต่ละชั้นภูมิที่ทำการวางแผนตัวอย่าง พบว่าชั้นภูมิที่ 2 (พื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 1) สามารถวางแผนได้จำนวน 3 แปลง และชั้นภูมิที่ 3 (พื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 2) สามารถวางแผนได้จำนวน 7 แปลง มีค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร เท่ากับ 16.47 และ 24.94 ตามลำดับ ดังตาราง 6

ตาราง 6 ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปร

| ชั้นภูมิ | ประเภทพื้นที่ | แปลงตัวอย่าง | มวลชีวภาพ (ตัน) |
|-----------|----------------------------|--------------|-----------------|
| 2 | พื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 1 | 3 | 26.37 |
| | | 5 | 29.39 |
| | | 10 | 20.44 |
| ค่าเฉลี่ย | | | 25.06 |
| SD | | | 4.13 |
| CV | | | 16.47 |
| 3 | พื้นที่ป่าความหนาแน่นที่ 2 | 1 | 22.10 |
| | | 2 | 19.26 |
| | | 6 | 23.42 |
| | | 9 | 37.59 |
| | | 11 | 21.65 |

ตาราง 6 (ต่อ)

| ชั้นภูมิ | ประเภทพื้นที่ | แปลงตัวอย่าง | มวลชีวภาพ (ตัน) |
|-----------|---------------|--------------|-----------------|
| | | 12 | 24.63 |
| | | 13 | 30.88 |
| ค่าเฉลี่ย | | | 25.65 |
| SD | | | 6.39 |
| CV | | | 24.94 |

จำนวนชนิดพรรณของต้นไม้

จากการสำรวจโดยการวางแปลงตัวอย่างขนาด 40 เมตร x 40 เมตร เพื่อสำรวจต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก 4.5 ซม. ขึ้นไป พบว่ามีจำนวนต้นไม้ใหญ่ทั้งหมด 2,078 ต้น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 207.8 ต้น/ไร่ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงมีค่าเท่ากับ 14.31 ซม. และ 10.86 ม. ตามลำดับ (ตาราง 7) สามารถจำแนกพันธุ์ไม้ได้เป็น 24 วงศ์ 52 ชนิด และพบว่าชนิดของพรรณไม้ที่มีอยู่ในพื้นที่มากที่สุดคือ วงศ์ DIPTEROCARPACEAE เขียนให้ถูกต้องตามหลักชื่อทางวิทยาศาสตร์ มีจำนวน 5 ชนิด รวม 1418 ต้น ชนิดที่พบมากที่สุดในการแปลงคือ เต็ง พบ 475 ต้น รองลงมาได้แก่ พลวง เหียง และรัง พบ 393 357 และ 189 ต้น ตามลำดับ ดังตาราง 8

ตาราง 7 ค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นไม้ เส้นผ่าศูนย์กลาง และความสูงต้นไม้ในแปลงทดลอง

| แปลง | จำนวน (ต้น) | เส้นผ่าศูนย์กลาง (cm) | ความสูง (cm) |
|------|-------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 352 | 12.24 | 7.82 |
| 2 | 351 | 11.16 | 7.61 |
| 3 | 231 | 14.70 | 10.23 |
| 4* | - | - | - |
| 5 | 129 | 18.08 | 14.73 |
| 6 | 169 | 15.02 | 10.72 |
| 7* | - | - | - |
| 8* | - | - | - |
| 9 | 103 | 21.38 | 17.58 |

ตาราง 7 (ต่อ)

| แปลง | จำนวน (ต้น) | เส้นผ่านศูนย์กลาง (cm) | ความสูง (cm) |
|--------|----------------|---------------------------|-----------------|
| 10 | 175 | 14.47 | 9.98 |
| 11 | 206 | 13.42 | 11.97 |
| 12 | 169 | 16.05 | 12.73 |
| 13 | 193 | 15.69 | 15.03 |
| เฉลี่ย | 207.8 | 15.22 | 11.84 |

หมายเหตุ * หมายถึง แปลงทดลองที่ไม่นำมาคิดเป็นกลุ่มตัวอย่าง

ตาราง 8 จำนวนชนิดพรรณของต้นไม้

| ลำดับ | วงศ์ | ชื่อวิทยาศาสตร์ | ชนิด | จำนวน (ต้น) | | |
|-------|------------------|---|---------------|---|---------|----|
| 1 | DIPTEROCARPACEAE | <i>Shorea obtusa</i> Wall. ex Blume. | เต็ง | 475 | | |
| | | <i>Dipterocarpus tuberculatus</i> Roxb. | พลวง | 393 | | |
| | | <i>Dipterocarpus obtusifolius</i> Teijsm. ex Miq. | เหียง | 357 | | |
| | | <i>Shorea siamensis</i> Miq. | รัง | 189 | | |
| | | <i>Dipterocarpus intricatus</i> Dyer. | กราด | 4 | | |
| | | 2 | FABACEAE | <i>Dalbergia oliveri</i> Gamble ex Prain. | ชิงชัน | 36 |
| | | | | <i>Dalbergia assamica</i> Benth. | เก็ดแดง | 31 |
| | | <i>Pterocarpus macrocarpus</i> Kurz. | ประดู่ | 13 | | |
| | | <i>Dalbergia cultrata</i> Graham ex Benth. | กระพี้เขาควาง | 4 | | |

ตาราง 8 (ต่อ)

| ลำดับ | วงศ์ | ชื่อวิทยาศาสตร์ | ชนิด | จำนวน (ต้น) |
|-------|----------------|--|---------------------|----------------|
| | | <i>Albizia chinensis</i> (Osbeck) Merr. | กางหลวง | 2 |
| | | <i>Dalbergia oliveri</i> Gamble ex Prain. | เก็ด | 2 |
| | | <i>Dalbergia cultrata</i> Graham ex Benth. | เก็ดดำ | 9 |
| | | <i>Dalbergia cana</i> Graham ex Kurz var. <i>cana</i> . | กระพี้จั่น | 1 |
| | | <i>Albizia odoratissima</i> (L. f.) Benth. | กางขี้มอด | 1 |
| 3 | FAGACEAE | <i>Quercus oidocarpa</i> Korth. | ก้อ | 87 |
| | | <i>Castanopsis argyrophylla</i> King ex Hook. f. | ก้อหุยม | 6 |
| | | <i>Quercus kerrii</i> Craib. | ก้อแพะ | 4 |
| 4 | PHYLLANTHACEAE | <i>Bridelia retusa</i> (L.) A. Juss. | เต็งหนาม | 4 |
| | | <i>Aporosa villosa</i> (Wall.ex Lindl.) Baill. | เหมือดโลด | 81 |
| 5 | ANACARDIACEAE | <i>Buchanania lanzan</i> Spreng. | มะม่วงหาวแมง วัน | 47 |
| | | <i>Gluta usitata</i> (Wall.) Ding Hou. | รักใหญ่ | 28 |
| | | <i>Lannea coromandelica</i> (Houtt.) Merr. | กูก | 1 |
| 6 | BURSERACEAE | <i>Canarium subulatum</i> Guillaumin. | มะกอกเกลื่อน | 76 |

ตาราง 8 (ต่อ)

| ลำดับ | วงศ์ | ชื่อวิทยาศาสตร์ | ชนิด | จำนวน (ต้น) |
|-------|------------------------------|---|-------------|----------------|
| 7 | ERICACEAE | <i>Craibiodendron stellatum</i> W.W. Smith. | ดาวฉาย | 71 |
| 8 | RUBIACEAE | <i>Gardenia sootepensis</i> Hutch. | คำมอกหลวง | 51 |
| | | <i>Psydrax umbellata</i> (Wight) Bridson. | หว้าชู้กวาง | 5 |
| | | <i>Gardenia obtusifolia</i> Roxb. ex Hook. f. | คำมอกน้อย | 2 |
| | | <i>Morinda coreia</i> Buch. – Ham. | ยอป่า | 4 |
| | | <i>Mitragyna rotundifolia</i> (Roxb.) Kuntze. | กระท่อมหมู | 2 |
| | | <i>Morinda citrifolia</i> L. | ยอเถื่อน | 2 |
| | | <i>Haldina cordifolia</i> (Roxb.) Ridsdale. | ขั้วว | 1 |
| | | <i>Wendlandia paniculata</i> (Roxb.) DC. | แข่งกวาง | 1 |
| 9 | LYTHRACEAE | <i>Lagerstroemia loudonii</i> Teijsm. & Binn. | เสลา | 18 |
| | | <i>Lagerstroemia ovalifolia</i> Teijsm. & Binn. | อินทนิล | 1 |
| 10 | LEGUMINOSAE – MIMOSOIDEAE | <i>Xylia xylocarpa</i> (Roxb.) W. Theob. var. <i>Kerrii</i> (Craib & Hutch.) I. C. Nielsen. | แดง | 19 |
| 11 | COMBRETACEAE | <i>Terminalia alata</i> B. Heyne ex Roth. | รกฟ้า | 13 |

ตาราง 8 (ต่อ)

| ลำดับ | วงศ์ | ชื่อวิทยาศาสตร์ | ชนิด | จำนวน (ต้น) |
|-------|---------------|---|-----------|----------------|
| 12 | MYRTACEAE | <i>Syzygium claviflorum</i> (Roxb.) Wall. ex A. M. Cowan & Cowan. | มะห้ | 4 |
| | | <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels. | ห้ | 5 |
| 13 | LAURACEAE | <i>Litsea glutinosa</i> (Lour.) C. B. Rob. | หมีเหม็น | 5 |
| 14 | APOCYNACEAE | <i>Holarrhena pubescens</i> Wall. ex G. Don. | โมกหลวง | 4 |
| 15 | MORACEAE | <i>Ficus annulata</i> Blume. | ไทร | 4 |
| 16 | IRVINGIACEAE | <i>Irvingia malayana</i> Oliv. ex A. W. Benn. | กะบก | 3 |
| 17 | DILLENIACEAE | <i>Dillenia obovata</i> (Blume) Hoogland. | ส้าน | 2 |
| 18 | EBENACEAE | <i>Diospyros ehretioides</i> Wall. ex G. Don. | ด้เตาดัน | 2 |
| 19 | MALVACEAE | <i>Colona winitii</i> (Craib) Craib. | ปอตีนเต่า | 1 |
| | | <i>Colona flagrocarpa</i> (C.B. Clarke) Craib. | ปอยาบ | 1 |
| 20 | BIGNONIACEAE | <i>Markhamia stipulata</i> (Wall.) Seem. var. <i>kerrii</i> Sprague. | แคหางค่าง | 1 |
| 21 | EUPHORBIACEAE | <i>Croton delpyi</i> Gagnep. | เปล้าใหญ่ | 1 |
| 22 | HYPERICACEAE | <i>Cratoxylum form sum</i> | ด้หนาม | 1 |
| 23 | LAMIACEAE | <i>Vitex limonifolia</i> Wall. ex Walp. | ตีนนก | 1 |
| 24 | LOGANIACEAE | <i>Strychnos nux-vomica</i> Linn. | แสลงใจ | 1 |

ความหนาแน่นสัมพัทธ์

ความหนาแน่นสัมพัทธ์เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงจำนวนประชากรของพันธุ์ไม้ชนิดต่าง ๆ ในสังคมพืชภายในพื้นที่หรือค่าเฉลี่ยจำนวนต้นของชนิดพรรณพืชต่อหน่วยพื้นที่ (ดอกรัก มารอด, 2554) โดยเฉลี่ยต่อแปลงลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาทั้งหมด พันธุ์ไม้ที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์มากที่สุดเป็นดัชนีบ่งชี้ว่าเป็นป่าเต็งรัง ได้แก่ เต็ง มีความหนาแน่น 47.5 ต้น/ไร่ หรือคิดเป็น 22.86% ของไม้ทั้งหมด รองลงมาคือ พลวง เหียง และรัง มีความหนาแน่น 39.3 35.7 และ 18.9 ต้น/ไร่ (18.91 17.18 และ 9.10%) ตามลำดับ ดังตาราง 9

ความถี่สัมพัทธ์

ค่าความถี่สัมพัทธ์ของการพบพันธุ์ไม้แต่ละชนิดแสดงให้เห็นถึงการกระจายตามพื้นที่ของพันธุ์ไม้ เป็นลักษณะที่วัดถึงอัตราปรากฏของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างจากแปลงทั้งหมดที่ทำการศึกษาโดยไม่ว่าจำนวนและขนาดของต้นไม้ และช่วยให้ทราบถึงความสม่ำเสมอในการกระจาย (ดอกรัก มารอด, 2554) เนื่องจากข้อจำกัดของค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์หรือค่าความเด่นสัมพัทธ์ที่แสดงถึงความหนาแน่นและมีความเด่นสูง แต่อาจปรากฏอยู่เพียงพื้นที่เล็ก ๆ ในพื้นที่สำรวจ จากการศึกษาค้นพบว่าพื้นที่ในมหาวิทยาลัยพะเยา ได้แก่ เต็ง เหียง รัง และมะกอกเกลี้น โดยมีความถี่สูงถึง 5.92 % แสดงให้เห็นว่าเป็นพันธุ์ไม้ที่มีการกระจายตามพื้นที่มากที่สุดสามารถพบได้ค่อนข้างบ่อย รองลงมาได้แก่ ก่อ (5.33 %) พลวง ดาวกระจาย มะม่วงหัวแมงวัน (4.73 %) และเหมือดโลด เกิดแดง (4.14 %) ตามลำดับ ดังตาราง 9

ความเด่นสัมพัทธ์

ความเด่นสัมพัทธ์ของพันธุ์ไม้แต่ละชนิดพิจารณาจากผลรวมของหน้าตัดลำต้นของพันธุ์ไม้ชนิดนั้น ๆ ที่มีขนาดลำต้นต่างกัน ความสูงของลำต้นจะมีความสัมพันธ์กับความสูงและการปกคลุมเรือนยอด รวมไปถึงการให้ผลผลิตทางด้านปริมาณมวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอน เป็นการวัดถึงอิทธิพลของพันธุ์ไม้ที่เหนือกว่ากันหรือด้อยกว่ากัน และการแสดงออกในบางด้านของไม้ชนิดนั้น ๆ ค่าความเด่นของพันธุ์ไม้ป่าเต็งรังเป็นป่าที่ขึ้นอยู่ในพื้นที่แห้งแล้งพันธุ์ไม้เด่นในป่าจะเป็นพันธุ์ไม้ทนแล้งและจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ พบว่าพันธุ์ไม้ที่มีค่าความเด่นสัมพัทธ์มากที่สุด ได้แก่ เหียง มีพื้นที่หน้าตัด 10.92 ตารางเมตร/ไร่ หรือคิดเป็น 26.84% ของไม้ทั้งหมด รองลงมาได้แก่ พลวง เต็ง และรัง มีพื้นที่หน้าตัด 8.55 6.90 และ 2.25 ตารางเมตร/ไร่ (21.01 16.97 และ 5.52%) ตามลำดับ ดังตาราง 9

ดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้

จากผลการสำรวจความหลากหลายทางชีวภาพในพื้นที่ป่าของมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าดัชนีความสำคัญของชนิดพันธุ์ไม้ พบว่า ชนิดพันธุ์ไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุดในพื้นที่ป่าเต็งรัง ในมหาวิทยาลัยพะเยา ได้แก่ เหียง มีค่าเท่ากับ 49.94 รองลงมาได้แก่ เต็ง พลวง และรัง มีค่าเท่ากับ 45.75 44.66 และ 20.53 ตามลำดับ (ตาราง 9) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะโครงสร้างเกี่ยวกับชนิดพันธุ์ไม้เพื่อให้เห็นภาพโดยรวมเกี่ยวกับอิทธิพลทางนิเวศวิทยาของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด เมื่อรวมค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ ความถี่สัมพัทธ์ และความเด่นสัมพัทธ์ของพันธุ์ไม้แต่ละชนิด โดยค่าดัชนีความสำคัญสูงสุดมีค่าเท่ากับ 300 แต่เมื่อมีพืชตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปในสังคมจะทำให้ค่าดัชนีความสำคัญมีค่าสูงสุดไม่ถึง 300 ในพันธุ์ไม้แต่ละชนิดแต่ผลรวมต้องมีค่าเท่ากับ 300 (Whittaker, 1970) ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่าพันธุ์ไม้ชนิดที่มีอิทธิพลต่อระบบนิเวศวิทยาของพื้นที่ป่ามาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ป่าของมหาวิทยาลัยพะเยาเป็นสังคมป่าเต็งรัง ที่ประกอบด้วยพันธุ์ไม้วงศ์ยางพลัดใบ 2 ชนิด จาก 5 ชนิด ในจำนวนนี้เป็นสกุล Dipterocarpus 3 ชนิด คือ เหียง พลวง และกราด และสกุล Shorea 2 ชนิด คือ เต็ง และรัง ที่สามารถขึ้นได้ดีในพื้นที่แห้งแล้ง ดินมีอนุภาคทราย ซึ่งเป็นลักษณะสำคัญของป่าเต็งรังทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาคุณสมบัติของดินในป่าเต็งรังของมหาวิทยาลัยพะเยา ตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2560 โดยพบว่าเนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วนปนทราย อุณหภูมิดินอยู่ระหว่าง 17.9 – 30.9 °C โดยมีปริมาณฝนสะสมเท่ากับ 979.87 มิลลิเมตร และความชื้นในดินอยู่ในช่วง 11.68 – 35.77 %WFPS (พัลลภ อินทะนิล, 2560) และสอดคล้องกับการศึกษาความหลากหลายชนิดพันธุ์ไม้ในระบบนิเวศป่าเต็งรัง บริเวณวนอุทยานไม้กลายเป็นหิน จังหวัดตาก พบว่าต้นรังมีอิทธิพลต่อสิ่งแวดล้อมในป่ามากที่สุด รองลงมาได้แก่ ตะแบกเลือด แดง และเต็ง โดยปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 1,104.20 มิลลิเมตร ลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทราย (พัชนีดา วงอินทร์, 2554) ส่วนการพิจารณาแยกเฉพาะค่าหนาแน่นสัมพัทธ์ ความถี่สัมพัทธ์ หรือความเด่นสัมพัทธ์ อาจมีความหมายเฉพาะเรื่อง เช่น พันธุ์ไม้บางชนิดมีความหนาแน่นสูงแต่ขึ้นเป็นกลุ่มเล็ก ๆ แต่ไม่ครอบคลุมพื้นที่ หรือพันธุ์ไม้ที่มีความถี่สูงอาจมีลำต้นเล็กหรือมีจำนวนน้อยแต่กระจายทั่วพื้นที่ ส่วนพันธุ์ไม้ที่มีพื้นที่หน้าตัดมากอาจเป็นไม้ขนาดใหญ่ที่มีจำนวนต้นน้อยในสังคม การใช้ค่าใดค่าหนึ่งในการตัดสินใจเปรียบเทียบความสำคัญของพันธุ์ไม้ในแต่ละสังคมจึงอาจไม่เด่นชัด จึงนิยมใช้ค่าดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้เป็นตัวชี้ และเปรียบเทียบกันในแต่ละสังคม (ดอกรัก มารอด และอุทิศ ภูฏอินทร์, 2552) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาสภาพสังคมพืชของป่าเต็งรังในประเทศไทย เช่น สวนพฤกษศาสตร์สุโขทัย จังหวัดพิษณุโลก พบว่าพันธุ์ไม้ที่มีดัชนี

ความสำคัญสูงสุดได้แก่ ประดู่ป่า เหียง มะกอกเกลื่อน แดง และเต็งตามลำดับ (Pairuang, Thapyai and Asanok, 2020) ป่าระหาร จังหวัดสุรินทร์พบว่า ลำดวน มีค่าความหนาแน่น สัมพันธ์ และความถี่สัมพันธ์มากที่สุด รองลงมาคือ เหียง พะยอม แต่เมื่อวิเคราะห์ความเด่น สัมพันธ์พบว่า เหียง และพะยอม มีค่ามากกว่าลำดวน เพราะพื้นที่หน้าตัดมีค่ามากกว่า และพบว่าพันธุ์ไม้วงศ์ DIPTEROCARPACEAE มีดัชนีความสำคัญมากที่สุดคือ เหียง พะยอม และเต็ง ตามลำดับ (สมชญา ศรีธรรม, 2559) ป่าชุมชนบ้านหินลาด และหินลาด-เก่าน้อย จังหวัดมหาสารคาม พบว่าดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้สูงสุดของทั้งสองแห่งเป็นชนิดที่ต่างกัน โดยป่าชุมชนบ้านหินลาดพบว่า มะค่าแต้ มีค่าดัชนีความสำคัญสูงสุด และป่าชุมชนบ้าน หินลาด-เก่าน้อยพบว่า เหียง มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุด ส่วนชนิดพันธุ์ที่รองลงมายังเป็น กลุ่มเดียวกันคือ แดง มะกอกเกลื่อน และเต็ง แต่กลุ่มชนิดพันธุ์ที่มีค่าดัชนีความสำคัญต่ำมีชนิด ที่แตกต่างกัน (อัญชัน พิมพ์สวรรค์, ยุวดี อินสำราญ และญาณวุฒิ อุทริกษ์, 2562) เช่นเดียวกับการศึกษาบริเวณชุมชนบ้านหนองใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรีที่ศึกษาความ เปลี่ยนแปลงลำดับดัชนีความสำคัญของไม้ใหญ่ในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2559 พบว่าประดู่ ป่าเป็นชนิดพันธุ์ที่มีดัชนีความสำคัญสูงสุด รองลงมาได้แก่ มะค่าแต้ แดง เต็ง และรัง ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้ลำดับที่ 1 ถึง 5 ส่วนลำดับรองลงมา มีการเปลี่ยนแปลงของชนิดพันธุ์เนื่องจากลำดับความสำคัญของไม้ ใหญ่สามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาหากปล่อยไปตามธรรมชาติ ชนิดพันธุ์ที่อยู่ลำดับ ต้น ๆ อาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากชนิดพันธุ์เหล่านั้นมีความเหมาะสมและสามารถ ปรับตัวต่อสภาพแวดล้อม ส่วนชนิดพันธุ์อื่น ๆ อาจมีการเปลี่ยนแปลงลำดับความสำคัญสูงขึ้น หรือต่ำลง ขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตัวของชนิดพันธุ์นั้น ๆ (กุลธิดา คำใจ, พรเทพ เหมือนพงษ์ และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์, 2560) จากการเปรียบเทียบก่อนหน้านี้จะเห็นได้ว่าลำดับ ดัชนีความสำคัญของพันธุ์ไม้จะมีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ต่าง ๆ เช่น ลักษณะภูมิประเทศ (ความชื้นชื้นของพื้นที่) สภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิ ความชื้น) คุณสมบัติของดิน (เนื้อดิน ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนในดิน) มีความผันแปร เกี่ยวข้องกับชนิดของไม้เด่นและพืชที่เป็นองค์ประกอบในสังคมป่าชนิดเดียวกัน การมีอยู่ของ ชนิดพันธุ์ต่าง ๆ ในพื้นที่หนึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้งหมดที่เหมาะสมสำหรับชนิดพันธุ์ ชนิดนั้น

ตาราง 9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นสัมพัทธ์ ความถี่สัมพัทธ์ ความเด่นสัมพัทธ์ และดัชนี
ความสำคัญของพันธุ์ไม้ที่พบในแปลงตัวอย่าง

| ลำดับ | ชนิดพันธุ์ | RD (%) | RF (%) | RD ₀ (%) | IVI (%) |
|-------|-----------------|--------|--------|---------------------|---------|
| 1 | เหียง | 17.18 | 5.92 | 26.84 | 49.94 |
| 2 | เต็ง | 22.86 | 5.92 | 16.97 | 45.75 |
| 3 | พลวง | 18.91 | 4.73 | 21.01 | 44.66 |
| 4 | รัง | 9.10 | 5.92 | 5.52 | 20.53 |
| 5 | มะกอกเกลื่อน | 3.66 | 5.92 | 4.48 | 14.06 |
| 6 | ก้อ | 4.19 | 5.33 | 4.33 | 13.84 |
| 7 | เหมือดโลด | 3.90 | 4.14 | 1.70 | 9.74 |
| 8 | ดาวราย | 3.42 | 4.73 | 1.51 | 9.66 |
| 9 | มะม่วงหัวแมงวัน | 2.26 | 4.73 | 2.15 | 9.15 |
| 10 | ชิงชัน | 1.73 | 3.55 | 2.17 | 7.45 |
| 11 | เก็ดแดง | 1.49 | 4.14 | 1.26 | 6.89 |
| 12 | ค้ำมอกหลวง | 2.45 | 2.37 | 1.81 | 6.63 |
| 13 | แดง | 0.91 | 2.96 | 0.96 | 4.84 |
| 14 | ประดู่ | 0.63 | 2.37 | 1.52 | 4.51 |
| 15 | รักใหญ่ | 1.35 | 1.78 | 1.03 | 4.16 |
| 16 | กะบก | 0.14 | 1.78 | 1.59 | 3.51 |
| 17 | เสลา | 0.87 | 1.78 | 0.73 | 3.37 |
| 18 | รกฟ้า | 0.63 | 2.37 | 0.31 | 3.30 |
| 19 | เก็ดดำ | 0.43 | 1.78 | 0.47 | 2.68 |
| 20 | ไทร | 0.19 | 1.78 | 0.65 | 2.62 |
| 21 | หว้า | 0.24 | 1.78 | 0.16 | 2.17 |
| 22 | ยอป่า | 0.19 | 1.78 | 0.20 | 2.16 |
| 23 | เต็งหนาม | 0.19 | 1.78 | 0.15 | 2.11 |
| 24 | ก้อหยุ่ม | 0.29 | 1.18 | 0.33 | 1.80 |
| 25 | ก้อแพะ | 0.19 | 1.18 | 0.18 | 1.56 |
| 26 | ยอเถื่อน | 0.10 | 1.18 | 0.04 | 1.32 |
| 27 | ต๊ับเต่าตัน | 0.10 | 1.18 | 0.03 | 1.31 |

ตาราง 9 (ต่อ)

| ลำดับ | ชนิดพันธุ์ | RD (%) | RF (%) | RD ₀ (%) | IVI (%) |
|-------|--------------|--------|--------|---------------------|---------|
| 28 | सान | 0.10 | 1.18 | 0.03 | 1.31 |
| 29 | กระท่อมหมึก | 0.10 | 1.18 | 0.02 | 1.29 |
| 30 | หว้าขี้กวาง | 0.24 | 0.59 | 0.42 | 1.25 |
| 31 | หมีเหม็น | 0.24 | 0.59 | 0.18 | 1.01 |
| 32 | โมกหลวง | 0.19 | 0.59 | 0.18 | 0.97 |
| 33 | กระพีเขาควาย | 0.19 | 0.59 | 0.16 | 0.94 |
| 34 | กราด | 0.19 | 0.59 | 0.12 | 0.91 |
| 35 | มะหา | 0.19 | 0.59 | 0.11 | 0.89 |
| 36 | ปอดตีนเต่า | 0.05 | 0.59 | 0.25 | 0.89 |
| 37 | กางหลวง | 0.10 | 0.59 | 0.09 | 0.78 |
| 38 | กางขี้มอด | 0.05 | 0.59 | 0.07 | 0.71 |
| 39 | เก็ด | 0.10 | 0.59 | 0.02 | 0.71 |
| 40 | ค้ำมอกน้อย | 0.10 | 0.59 | 0.01 | 0.70 |
| 41 | แคหางค่าง | 0.05 | 0.59 | 0.05 | 0.69 |
| 42 | ตีนนก | 0.05 | 0.59 | 0.04 | 0.68 |
| 43 | แข่งกวาง | 0.05 | 0.59 | 0.03 | 0.67 |
| 44 | กระพีจั่น | 0.05 | 0.59 | 0.03 | 0.67 |
| 45 | เปลาใหญ่ | 0.05 | 0.59 | 0.03 | 0.67 |
| 46 | กุก | 0.05 | 0.59 | 0.02 | 0.66 |
| 47 | แสลงใจ | 0.05 | 0.59 | 0.02 | 0.66 |
| 48 | ขวาว | 0.05 | 0.59 | 0.01 | 0.65 |
| 49 | ตีว | 0.05 | 0.59 | 0.01 | 0.65 |
| 50 | ปอຍาบ | 0.05 | 0.59 | 0.01 | 0.65 |
| 51 | อินทนิล | 0.05 | 0.59 | 0.01 | 0.65 |
| 52 | ตีวหนาม | 0.05 | 0.59 | 0.01 | 0.65 |

ปริมาณมวลชีวภาพ

จากการศึกษาการประเมินหาปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินในส่วนของรากภายในแปลงตัวทั้งหมด 10 แปลง โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของป่าเต็งรัง โดยเลือกเก็บข้อมูลเฉพาะไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 4.5 เซนติเมตรขึ้นไป พบว่ามีปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้เฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 25.47 t/rai แยกเป็นการกักเก็บมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้ดินในส่วนของรากมีค่าเท่ากับ 20.06 t/rai และ 5.42 t/rai ตามลำดับ โดยส่วนของลำต้นมีมวลชีวภาพมากที่สุด รองลงมาได้แก่ส่วนราก กิ่ง และใบ เท่ากับ 16.03 5.42 3.34 และ 0.69 t/rai ตามลำดับ และพบว่าแปลงที่ 9 มีมวลชีวภาพมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 37.59 t/rai และแปลงที่ 2 มีมวลชีวภาพน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 19.26 t/rai (ตาราง 10) เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ในป่าเต็งรัง จังหวัดสกลนคร พบว่ามีปริมาณมวลชีวภาพที่ใกล้เคียงกัน มีค่าเท่ากับ 18.89 t/rai (ดอกกรัก มารอด และคณะ, 2560) และมีค่าใกล้เคียงค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินพื้นดินทั้งหมดที่กระจายตัวอยู่ในประเทศไทย มีค่า 20.17 (สาริโรจน์ วัฒนสุขสกุล, สุนทร คำของม เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และนิวัติ อนงค์รัก, 2555) นอกจากนี้ยังพบว่าการป้องกันไฟในพื้นที่อย่างต่อเนื่องส่งผลให้มีการตั้งตัวของต้นไม้ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระดับอก มากกว่า 4.5 เซนติเมตร เป็นจำนวนมาก ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการทดแทนด้วยธรรมชาติ ส่งผลต่อปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและคาร์บอนพืชมขึ้น โดยการเกิดไฟป่าในระบบนิเวศป่าเต็งรังเป็นตัวกำหนดโครงสร้างป่า หากระบบนิเวศป่าเต็งรังไม่มีไฟป่าก็จะเปลี่ยนเป็นป่าชนิดอื่นแต่เกิดไฟป่าอย่างรุนแรงและต่อเนื่องโดยปราศจากการควบคุมไฟป่า จะทำลายสภาพสังคมพืชทำให้ต้นไม้แคระแกรนหรืออาจกลายเป็นป่าทุ่งในที่สุด (วรพรรณ หินพานต์ และสัน เกตุปราณีต, 2551)

ตาราง 10 ปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและใต้พื้นดินในส่วนของราก

| แปลง | การกักเก็บมวลชีวภาพ (t/rai) | | | | | |
|------|-----------------------------|------|------|--------------|--------------|-------|
| | ลำต้น | กิ่ง | ใบ | เหนือพื้นดิน | ใต้ดิน (ราก) | รวม |
| 1 | 14.08 | 2.72 | 0.60 | 17.40 | 4.70 | 22.10 |
| 2 | 12.28 | 2.36 | 0.52 | 15.16 | 4.09 | 19.26 |
| 3 | 16.67 | 3.37 | 0.72 | 20.76 | 5.61 | 26.37 |
| 4* | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 17.76 | 3.82 | 0.77 | 22.35 | 6.03 | 28.39 |
| 6 | 14.70 | 3.11 | 0.64 | 18.44 | 4.98 | 23.42 |

ตาราง 10 (ต่อ)

| แปลง | การกักเก็บมวลชีวภาพ (t/rai) | | | | | |
|--------|-----------------------------|------|------|--------------|--------------|-------|
| | ลำต้น | กิ่ง | ใบ | เหนือพื้นดิน | ใต้ดิน (ราก) | รวม |
| 7* | - | - | - | - | - | - |
| 8* | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 23.25 | 5.32 | 1.02 | 29.60 | 7.99 | 37.59 |
| 10 | 12.89 | 2.65 | 0.56 | 16.10 | 4.35 | 20.44 |
| 11 | 13.70 | 2.76 | 0.59 | 17.05 | 4.60 | 21.65 |
| 12 | 15.51 | 3.21 | 0.67 | 19.39 | 5.24 | 24.63 |
| 13 | 19.43 | 4.04 | 0.84 | 24.31 | 6.56 | 30.88 |
| เฉลี่ย | 16.03 | 3.34 | 0.69 | 20.06 | 5.42 | 25.47 |

หมายเหตุ * หมายถึง แปลงทดลองที่ไม่นำมาคิดเป็นกลุ่มตัวอย่าง

การประเมินการกักเก็บคาร์บอน

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้ที่ใช้ในการเจริญเติบโตสามารถหาได้จากค่ามาตรฐานซึ่งคิดเป็นร้อยละ 47 ของน้ำหนักมวลชีวภาพ (IPCC, 2006) ผลการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของแปลงตัวอย่างป่าเต็งรังเฉลี่ย เท่ากับ 11.97 tC/rai โดยมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เท่ากับ 9.43 tC/rai และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินในส่วนของราก เท่ากับ 2.55 tC/rai ค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเฉลี่ยต่อต้น เท่ากับ 57.61 kgC/tree ส่วนของลำต้นเป็นส่วนที่มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนมากที่สุด รองลงมาได้แก่ราก กิ่ง และใบ เท่ากับ 7.53 2.55 1.57 และ 0.33 ตามลำดับ และพบว่าแปลงที่ 9 มีการกักเก็บคาร์บอน ในมวลชีวภาพสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 64.77 tC/rai และแปลงที่ 2 มีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 33.18 tC/rai (ตาราง 11)

ตาราง 11 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้

| แปลง | การกักเก็บในมวลชีวภาพ (tC/rai) | | | | | |
|------|--------------------------------|------|------|--------------|--------------|-------|
| | ลำต้น | กิ่ง | ใบ | เหนือพื้นดิน | ใต้ดิน (ราก) | รวม |
| 1 | 6.62 | 1.28 | 0.28 | 8.18 | 2.21 | 10.39 |
| 2 | 5.77 | 1.11 | 0.25 | 7.13 | 1.92 | 9.05 |
| 3 | 7.84 | 1.58 | 0.34 | 9.76 | 2.63 | 12.39 |

ตาราง 11 (ต่อ)

| แปลง | การกักเก็บในมวลชีวภาพ (tC/rai) | | | | | |
|--------|--------------------------------|------|------|--------------|--------------|-------|
| | ลำต้น | กิ่ง | ใบ | เหนือพื้นดิน | ใต้ดิน (ราก) | รวม |
| 4* | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 8.35 | 1.79 | 0.36 | 10.51 | 2.84 | 13.34 |
| 6 | 6.91 | 1.46 | 0.30 | 8.67 | 2.34 | 11.01 |
| 7* | - | - | - | - | - | - |
| 8* | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 10.93 | 2.50 | 0.48 | 13.91 | 3.76 | 17.67 |
| 10 | 6.06 | 1.25 | 0.26 | 7.57 | 2.04 | 9.61 |
| 11 | 6.44 | 1.30 | 0.28 | 8.01 | 2.16 | 10.17 |
| 12 | 7.29 | 1.51 | 0.31 | 9.11 | 2.46 | 11.57 |
| 13 | 9.13 | 1.90 | 0.39 | 11.43 | 3.09 | 14.51 |
| เฉลี่ย | 7.53 | 1.57 | 0.33 | 9.43 | 2.55 | 11.97 |

หมายเหตุ * หมายถึง แปลงทดลองที่ไม่นำมาคิดเป็นกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนกับพื้นที่ป่าผลัดใบอื่น ๆ ในประเทศไทย ได้แก่ ป่าเต็งรังและป่าเบญจพรรณ พบว่ามีการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินที่แปรผันสูงขึ้นอยู่กับโครงสร้างป่า (ลือชัย ครุฑน้อย, 2554) จากการรายงานของ IPCC พบว่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าในภูมิภาคเอเชียมีค่าระหว่าง 16 – 25.60 t/rai และป่าเต็งรังมีมวลชีวภาพรวมแปรผันระหว่าง 10.72 – 25.28 t/rai และมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมระหว่าง 5.44 – 12.80 tC/rai (กู่พงษ์ ทองพระพิภักตร์, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และนิตยา เมี้ยนมิตร, 2559) เมื่อต้นไม้มีขนาดเพิ่มขึ้นความหนาแน่นจะลดลงตามลักษณะการปรับความสมดุลของระบบนิเวศวิทยาป่าไม้ เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณของมวลชีวภาพ การกักเก็บคาร์บอน และปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ต้นไม้ขนาดใหญ่มากกว่าแม้จะมีความหนาแน่นน้อยกว่า (อัญชัน พิมพ์สวรรค์ อุวดี อินล้าราญ และญาณวุฒิ อุทร์ักษ์, 2562)

ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า

การคำนวณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ได้จากการนำค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้คูณด้วยอัตราส่วนของน้ำหนักธาตุคาร์บอนต่อน้ำหนักโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 44/12 หน่วยที่ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 43.90 tCO₂eq แสดงดังตาราง 12 โดยมีการกักเก็บเหนือพื้นดินเฉลี่ย เท่ากับ 34.56 tCO₂eq และใต้พื้นดินในส่วนของรากเฉลี่ย เท่ากับ 9.33 tCO₂eq ส่วนประกอบของต้นไม้ที่มีการกักเก็บเฉลี่ยมากที่สุดได้แก่ ลำต้น (27.62 tCO₂eq) รองลงมาได้แก่ราก (9.33 tCO₂eq) กิ่ง (5.75 tCO₂eq) และใบ (1.19 tCO₂eq) ตามลำดับ ทั้งนี้ศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าไม้แต่ละชนิด สามารถพิจารณาจากการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพในส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ลักษณะโครงสร้างสังคมพืช ศักยภาพของการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพรรณไม้แต่ละชนิดที่เป็นองค์ประกอบของป่าธรรมชาติ และผลผลิตมวลชีวภาพของป่า ลักษณะทางชีวลักษณะของต้นไม้ที่เป็นองค์ประกอบของป่า หรืออาจกล่าวได้ว่า โครงสร้างสังคมพืชที่หนาแน่น ค่าดัชนีพื้นที่ใบที่สูงกว่า และลักษณะทางชีวลักษณะที่ไม่มีการผลัดใบในฤดูแล้ง ส่งผลให้สังคมพืชนั้น ๆ มีศักยภาพในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้สูงกว่า (วสันต์ จันทน์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร, นพพร จันเกิด และนรินทร จำวงษ์, 2563)

ตาราง 12 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าในมวลชีวภาพของต้นไม้

| แปลง | ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO ₂ eq) | | | | | |
|------|---|------|------|--------------|--------------|-------|
| | ลำต้น | กิ่ง | ใบ | เหนือพื้นดิน | ใต้ดิน (ราก) | รวม |
| 1 | 24.27 | 4.68 | 1.03 | 29.99 | 8.10 | 38.08 |
| 2 | 21.16 | 4.06 | 0.90 | 26.13 | 7.06 | 33.18 |
| 3 | 28.73 | 5.81 | 1.23 | 35.78 | 9.66 | 45.44 |
| 4* | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 30.61 | 6.58 | 1.33 | 38.52 | 10.40 | 48.92 |
| 6 | 25.33 | 5.36 | 1.10 | 31.79 | 8.58 | 40.37 |
| 7* | - | - | - | - | - | - |
| 8* | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 40.07 | 9.17 | 1.76 | 51.00 | 13.77 | 64.77 |

ตาราง 12 (ต่อ)

| แปลง | ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (tCO ₂ eq) | | | | | |
|--------|---|------|------|--------------|--------------|-------|
| | ลำต้น | กิ่ง | ใบ | เหนือพื้นดิน | ใต้ดิน (ราก) | รวม |
| 10 | 22.21 | 4.57 | 0.96 | 27.74 | 7.49 | 35.23 |
| 11 | 23.61 | 4.75 | 1.01 | 29.38 | 7.93 | 37.31 |
| 12 | 26.73 | 5.53 | 1.15 | 33.42 | 9.02 | 42.44 |
| 13 | 33.49 | 6.97 | 1.45 | 41.90 | 11.31 | 53.22 |
| เฉลี่ย | 27.62 | 5.75 | 1.19 | 34.56 | 9.33 | 43.90 |

หมายเหตุ * หมายถึง แปลงทดลองที่ไม่นำมาคิดเป็นกลุ่มตัวอย่าง

อัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การประเมินอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของป่าเต็งรังในมหาวิทยาลัยพะเยา คำนวณได้จากการนำพื้นที่ศึกษา 2,244 ไร่ คูณด้วยค่าเฉลี่ยคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่มีค่าเท่ากับ 43.90 tCO₂eq โดยกำหนดให้ปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำการศึกษาในปี 2562 เป็นข้อมูลกรณีฐานเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 98,501.44 tCO₂eq และประเมินอัตราการเพิ่มพูนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคตอีก 10 ปี พบว่ามีปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่คาดว่าจะลดได้เท่ากับ 723 tCO₂eq/year ภายใต้เงื่อนไขว่าป่าจะไม่ถูกรบกวนจากมนุษย์และไฟป่า แสดงดังตาราง 13

ตาราง 13 การประเมินอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

| ปีที่ | ปริมาณการกักเก็บก๊าซในกรณีฐาน | ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ | ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกนอกเขตโครงการ | ปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจก | ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บได้จากการดำเนินโครงการ (tCO ₂ eq/year) |
|-------|-------------------------------|---|---|--------------------------------|--|
| 1 | 98,501.44 | 99,107 | 0 | 606 | 723 |
| 2 | 98,501.44 | 99,713 | 0 | 1,212 | 1,447 |
| 3 | 98,501.44 | 100,319 | 0 | 1,818 | 2,170 |
| 4 | 98,501.44 | 100,925 | 0 | 2,424 | 2,894 |
| 5 | 98,501.44 | 101,531 | 0 | 3,029 | 3,617 |

ตาราง 13 (ต่อ)

| ปีที่ | ปริมาณการ กักเก็บก๊าซใน กรณีฐาน | ปริมาณการกัก เก็บก๊าซเรือน กระจกจากการ ดำเนินโครงการ | ปริมาณการ ปล่อยก๊าซ เรือนกระจก นอกขอบเขต โครงการ | ปริมาณการ กักเก็บก๊าซ เรือนกระจก | ปริมาณคาร์บอนที่ กักเก็บได้จากการ ดำเนินโครงการ (tCO ₂ eq/year) |
|--------|---------------------------------------|---|--|--|---|
| 6 | 98,501.44 | 102,137 | 0 | 3,635 | 4,341 |
| 7 | 98,501.44 | 102,743 | 0 | 4,241 | 5,064 |
| 8 | 98,501.44 | 103,348 | 0 | 4,847 | 5,788 |
| 9 | 98,501.44 | 103,954 | 0 | 5,453 | 6,511 |
| 10 | 98,501.44 | 104,560 | 0 | 6,059 | 7,234 |
| รวม | 98,501.44 | 104,560 | 0 | 6,059 | 7,234 |
| เฉลี่ย | | | | | 723 |

การประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอน

จากการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนประเมินจากค่าเฉลี่ยของปริมาณการดูดซับ
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้กลไกตลาดคาร์บอน 3 แห่ง ได้แก่ Verified carbon standard (VCS),
European Union Emissions Trading System (EU ETS) และ Thailand Voluntary Emission Reduction
(T-VER) มีมูลค่าเท่ากับ 95,110.54, 401,120.13 และ 24,842.94 บาท/ปี ตามลำดับ แสดงดัง
ตาราง 14

ตาราง 14 มูลค่าคาร์บอนในพื้นที่ป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยพะเยา

| ตลาด คาร์บอน | ราคา (บาท/ tCO ₂ eq) | ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บได้ จากการดำเนินโครงการ (tCO ₂ eq/year) | มูลค่าคาร์บอน (บาท/ปี) |
|-----------------|------------------------------------|---|---------------------------|
| VSC | 131.47 | 723 | 95,110.54 |
| EU ETS | 554.46 | 723 | 401,120.13 |
| T-VER | 34.34 | 723 | 24,842.94 |

มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนโดยใช้กลไกตลาดแบบภาคสมัครใจผ่านกลไกโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย เป็นเจรจาค่าซื้อขายคาร์บอนเครดิตโดยตรงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายซึ่งไม่ได้มีผลผูกพันตามกฎหมาย (Non-legally binding target) ผู้ที่เข้าร่วมซื้อขายในตลาดอาจจะมีการตั้งเป้าหมายในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของตนเอง (Voluntary cap-and-trade) และดำเนินการซื้อขายคาร์บอนเครดิตหรือสิทธิในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาชดเชยปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของตนเอง เพื่อสนับสนุนให้ทุกภาคส่วน โดยเฉพาะผู้พัฒนาโครงการรายเล็ก มีส่วนร่วมในการลดก๊าซเรือนกระจกในประเทศโดยความสมัครใจ ขณะที่ไม่ต้องผ่านขั้นตอนที่ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายน้อย นอกจากนี้โครงการ T-VER ยังมีประโยชน์ร่วม (Co-benefit) ของการลดก๊าซเรือนกระจก เช่น ช่วยลดมลพิษ เพิ่มความร่มรื่น และพื้นที่สีเขียว ลดการใช้พลังงานและไฟฟ้า สนับสนุนเศรษฐกิจในชุมชนและอื่น ๆ รวมถึงส่งเสริมการพัฒนาอาชีพใหม่ ๆ ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้นด้วย



บทที่ 5

บทสรุป

การศึกษากการประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI พื้นที่ป่าเต็งรัง ในมหาวิทยาลัยพะเยา เป็นการศึกษาเพื่อข้อมูลพื้นฐานในการประเมินการเปลี่ยนแปลงการกักเก็บคาร์บอนในระบบนิเวศป่า เพื่อลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการทำลายป่า

สรุปผลการวิจัย

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ป่าเต็งรังในมหาวิทยาลัยพะเยา ระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 มีค่าเท่ากับ 11.97 tC/rai โดยมีการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินเท่ากับ 9.43 tC/rai และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพใต้พื้นดินในส่วนของรากเท่ากับ 2.55 tC/rai คิดเป็นปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าที่ต้นไม้สามารถดูดซับจากบรรยากาศ เฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 43.90 tCO₂eq โดยมีการกักเก็บเหนือพื้นดินเฉลี่ยเท่ากับ 34.56 tCO₂eq และใต้พื้นดินในส่วนของรากเฉลี่ยเท่ากับ 9.33 tCO₂eq และมีอัตราการเพิ่มพูนการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอนาคตอีก 10 ปี มีค่า 723 tCO₂eq/year คิดเป็นมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนจากพื้นที่ศึกษาโดยอ้างอิงราคาตลาดคาร์บอน 3 แห่งได้แก่ Verified carbon standard (VCS), European Union Emissions Trading System (EU ETS) และ Thailand Voluntary Emission Reduction (T-VER) มีมูลค่าเท่ากับ 95,110.54, 401,120.13 และ 24,842.94 บาท/ปี ตามลำดับ โดยมีปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ได้แก่ ชนิดพันธุ์ไม้ การถูกบุกรุกลักลอบตัดไม้ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งการนำกลไกกระบวนการการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย และตลาดคาร์บอนเครดิตเข้ามามีส่วนร่วมในการดูแลป่าทำให้สามารถสร้างกฎเกณฑ์และความร่วมมือรวมถึงแรงจูงใจเชิงบวกในการรักษาป่า และสามารถสร้างรายได้จากการดูแลป่าเพื่อให้นักอนุรักษ์สามารถปรับตัวให้เกิดการใช้ประโยชน์และอยู่ร่วมกับป่าได้อย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

การศึกษาการประเมินการประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI พื้นที่ป่าเต็งรังนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำไปใช้ในการเปรียบเทียบกับระบบนิเวศป่าไม้อื่น ๆ โดยเฉพาะป่าเต็งรังได้ รวมถึงเข้าใจกระบวนการการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานประเทศไทย และการประเมินราคาคาร์บอนเครดิต

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

จากการศึกษาการประเมินการกักเก็บคาร์บอนโดยประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณ NDVI พื้นที่ป่าเต็งรัง ในมหาวิทยาลัยพะเยา ข้อมูลที่ได้นี้เป็นการประเมินมูลค่าการกักเก็บคาร์บอนจากต้นไม้ใหญ่ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระดับอกมากกว่า 4.5 เซนติเมตร ยังไม่ได้ประเมินแหล่งกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนของไม้หนุ่ม (sapling), ไม้ตาย (dead wood), เศษซากพืช (litter) และอินทรีวัตถุในดิน (soil organic carbon) เพื่อเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลและปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่ส่งผลต่อคาร์บอนเครดิต และการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องในระยะยาวเพื่อให้เข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ได้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกตามมาตรฐานต่างประเทศ เพื่อขยายกลไกตลาดคาร์บอนให้มีการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในระดับสากล

บรรณานุกรม

- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., et al. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, 145(1), 87–99.
- Chheng, K., Sasaki, N., Mizoue, N., Khorn, S., Kao, D., and Lowe, A. (2016). Assessment of carbon stocks of semi-evergreen forests in Cambodia. **Global Ecology and Conservation**, 5, 34–47.
- FAO. (2005). **Nation's global forest resources assessment (2005) and the state of the world's forests**. Retrieved December 3, 2021, from <http://fao.org>.
- Feng, Y., Ziegler, A. D., Elsen, P. R., Liu, Y., He, X., Spracklen, D. V., et al. (2021). Upward expansion and acceleration of forest clearance in the mountains of Southeast Asia. **Nature Sustainability**, 4(10), 892–899.
- Gurung, M. B., Bigsby, H., Cullen, R., and Manandhar, U. (2015). Estimation of carbon stock under different management regimes of tropical forest in the Terai Arc Landscape, Nepal. **Forest Ecology and Management**, 365, 144–152.
- Kongmeesup, C. (2020). Interactions between Climate Change and the World's Forest Sector. **Naresuan Agriculture Journal**, 17, 1–19.
- Maosew, K., Thanacharoenchanaphas, K., and Boonyanuphap, J. (2019). Valuation of carbon stock in undisturbed natural forest and mixed fruit tree-based agroforestry system by landslide and under natural succession. **Thai Journal of Forestry**, 38(1), 81–95.
- Mongkolsawat, C., Thirangoon, P., Suwanweraknamtorn, R., Karladee, N., Paiboonsak, S., and Champathet, P. (2001). Evaluation of Drought Risk Area in Northeast Thailand using Remotely Sensed Data and GIS. **Asian Journal of Geoinformatics**, 1(4), 33–44
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2021). **Trends in Atmospheric Carbon Dioxide**. Retrieved December 3, 2021, from <https://gml.noaa.gov>
- Pairuang, N., Thapyai, C., and Asanok, L. (2020). The Influence of Fire Protection on Plant Community Changes in Sakunothayan Botanical Garden, Wang Thong District, Phitsanulok Province. **Thai Journal of Forestry**, 39(1), 28–40.

- Rattanachuchok, P. (2021). Geographic Information System for Managing Plant Data and Displaying Plant Data Using QR Code Technology in the Area of Huay Kaeo. **Journal of Research Unit on Science, Technology and Environment for Learning**, 12(1), 160–172.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., A., S. J., and Deering, D. W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Planins with ERTS. **Third ERTS Symposium NASA**, 1, 309–317.
- Smith, A. P. (1973). Stratification of temperature and tropical forests. **The American Naturalist**, 107(975), 671–683.
- Sribut, S., Sunthornhao, P., and Diloksumpun, S. (2020). Valuation of Carbon Stock and Utilization of Non-timber Forest Products at the Sirinart Rajini Ecosystem Learning Center, Prachuap Khiri Khan Province. **Thai Journal of Forestry**, 39(2), 41–51.
- Watson, C. (2009). **Forest Carbon Accounting: Overview & Principles**. London: London School of Economics and Political Science.
- Whittaker, R. H. (1970). **Communities and ecosystems**. England: Macmillan
- กรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืช. (2559). **รายงานการศึกษาการสะสมคาร์บอนในพื้นที่มรดกอาเซียน อุทยานแห่งชาติกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์**. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กันย์ จำนงค์ภักดี และณัฐวุฒิ อุดมศิริพงษ์. (2558). มูลค่าการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นที่ดินป่าเต็งรังอุทยานแห่งชาติแม่ปิงจังหวัดลำพูนและจังหวัดตาก. **วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย**, 5, 115–119.
- กุลธิดา คำใจ, พรเทพ เหมือนพงษ์ และสาพิศ ดิลกสัมพันธ์. (2560). พลวัตของสังคมของป่าเต็งรังและปริมาณการกักเก็บคาร์บอน บริเวณป่าชุมชนบ้านหนองใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี. **วารสารวิทยาศาสตร์**, 36(2), 55–66.
- ภูพงษ์ ทองพระพักตร์, สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ และนิตยา เมี้ยนมิตร (ผู้บรรยาย). (2559). ลักษณะสังคมพืช และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าเต็งรังในป่าชุมชนบ้านโค้งตาบาง จังหวัดเพชรบุรี. ใน **การสัมมนาทางวณวิวัฒนาการ ครั้งที่ 10** (หน้า 159). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนิษฐา เสถียรพิระกุล, สุนทร คำยอง, นิวัติ อนงค์รักษ์ และเกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง. (2554). มูลค่าผลผลิตไม้และการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของป่าดิบเขา บริเวณ

- ดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่. N.U.J., 19(2), 27–37.
- ณัฐลักษณ์ คำยอง. (2552). **ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้ ลักษณะดินและการสะสมคาร์บอนในป่าชนิดต่างๆ บริเวณอุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย จังหวัดเชียงใหม่.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ดอกรัก มารอด. (2554). **เทคนิคการสุ่มตัวอย่างและการวิเคราะห์สังคัมพีช.** Retrieved 14 สิงหาคม 2562, from <http://bioff.forest.ku.ac.th>,
- ดอกรัก มารอด, ประทีป ด่วงแค, จักรพงษ์ ทองสวี่, วงศธร พุ่มพวง, สถิต ถิ่นกำแพง และ สุธีระ เข็มฮึก. (2560). **การจัดกลุ่มหมู่ไม้และการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรัง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร.** **วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย**, 1(1), 1–9.
- ถวิกา คำใบ, จรรย์ มากน้อย, ปรัชญา ศรีสง่า และประทีป ปัญญาดี. (2562). **พลวัตของสังคัมพีชและการกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังผสมสนในสวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย.** **วารสารวิจัยนิเวศวิทยาป่าไม้เมืองไทย**, 3(1), 28–37.
- ธงชัย ลิมกิ่ง. (2536). **เทคนิคการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมชนิดภาพโปร่งใสด้วยสายตา.** กรุงเทพฯ: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2564). **อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ.** สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2564, from <https://www.bot.or.th>
- ธันวา สัจจาพิทักษ์วงศ์. (2552). **การใช้ค่าดัชนีพีชพรรณที่ได้จากเทคนิคการสำรวจระยะไกลแบบไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อศึกษาตัวแปรทางชีววิทยาของป่าชายเลน.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- นวลปราง นวลอุไร. (2548). **การเปรียบเทียบค่าดัชนีพื้นที่ใบ มวลชีวภาพและปริมาณคาร์บอนสะสมที่อยู่เหนือพื้นดินของระบบนิเวศป่า จากการสำรวจด้านป่าไม้และการรับรู้จากระยะไกลบริเวณอุทยานแห่งชาติแก่งกระจาน.** วิทยานิพนธ์ วท.ม., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.
- ประเสริฐ เนตรประจิดร, ศุภกิจ เอ็นมี และชวลิต เนื่องดี. (2553). **โครงการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกพื้นที่สวนป่าองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.** กรุงเทพฯ: สำนักนวัตกรรมไม้เศรษฐกิจองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- พัชนีดา วงอินทร์. (2554). **การประเมินความหลากหลายชนิดพันธุ์ไม้ สภาพป่าและปริมาณ**

คาร์บอนสะสมในระบบนิเวศป่าเต็งรังบนพื้นที่หินแกรนิต บริเวณวนอุทยานไม้กลายเป็นหิน อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

- พัลลภ อินทะนิล. (2560). การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจผิวดินในป่าเต็งรัง ภาคเหนือ ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา.
- รัตนา ลักขณาวารกุล. (2558). การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเรดด์พลัส. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ส่วนสิ่งแวดล้อมป่าไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้ และพันธุ์พืช.
- ลือชัย ครุฑน้อย. (2554). แนวทางการจัดการพื้นที่โดยใช้กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism) เพื่อเศรษฐกิจการซื้อขายคาร์บอนเครดิตในบริเวณพื้นที่ศูนย์ศึกษาการพัฒนาห้วยทรายอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อ.ชะอำ จ. เพชรบุรี. กรุงเทพฯ: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรพรรณ หิมพานต์ และสันต์ เกตุปราณีต. (2551). ผลของไฟต่อพืชพรรณในป่าเต็งรังในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง จังหวัดอุทัยธานี. *วารสารวนศาสตร์*, 27, 43–55.
- วสันต์ จันทร์แดง, ลดาวัลย์ พวงจิตร, นพพร จันเกิด และนรินทร จำวงษ์. (2563). การกักเก็บคาร์บอนในสังคมพืชป่าไม้ชนิดต่าง ๆ ณ สถานีวิจัยและฝึคนิสิตวนศาสตร์วังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา. *วารสารวนศาสตร์ไทย*, 39(1), 57–70.
- วิกานดา วรรณวิเศษ. (2558). *คาร์บอนเครดิต : ธุรกิจลดโลกร้อน*. กรุงเทพฯ: สำนักวิชาการสำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา.
- สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล, สุนทร คำยอง, เกรียงศักดิ์ ศรีเงินยวง และนิวัติ อนงค์รัก. (2555). ความหลากหลายชนิดพันธุ์ไม้และการสะสมคาร์บอนในป่าเต็งรังที่มีไฟป่าและไม่มีไฟป่า บริเวณสถานีวนวัฒนวิจัยอินทิล จังหวัดเชียงใหม่. *วารสารวนศาสตร์*, 31(3), 1–14.
- สาพิศ ดิลกสัมพันธ์. (2550). การกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้กับสภาวะโลกร้อน. *วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ*, 22, 40–49.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. (2562). *แผนปฏิบัติการลดก๊าซเรือนกระจกของประเทศปี พ.ศ. 2564 – 2573 สาขาคมนาคมขนส่ง*. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร. กระทรวงคมนาคม
- สุทธาสินี ผากา. (2560). พลังงานทดแทนในสถานการณ์ภาวะโลกร้อน. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย*, 11(2), 49–57.
- องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2554). *พื้นฐานด้านกลไกการพัฒนาที่สะอาด*. พิมพ์

- ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2558). **คู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร.**
- พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2562). **สู่ภัยโลกร้อนด้วยตลาดคาร์บอน.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน).
 องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก. (2564). **ตลาดคาร์บอน.** สืบค้นเมื่อ 8 ธันวาคม 2564, from <http://carbonmarket.tgo.or.th>
- อัณัฐัน พิมพ์สวรรค์, ยุวดี อินสำราญ และญาณวุฒิ อุทริภัย. (2562). โครงสร้างไม้ต้น ความหลากหลาย และชนิดการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของป่าชุมชนบ้านหินลาด และบ้านหินลาด-เก่าน้อย ตำบลแว้งนาง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม. **วารสารเกษตรพระจอมเกล้า**, 37(1), 88-96.
- อุทิศ กุญอินทร์. (2541). **นิเวศวิทยาพื้นฐานเพื่อการป่าไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ประวัติผู้วิจัย

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | ทรงกริช อินตา |
| วัน เดือน ปี เกิด | 24 ตุลาคม 2538 |
| สถานที่เกิด | น่าน |
| วุฒิการศึกษา | 2560 วท.บ.(จุลชีววิทยา) มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | 235 ม.5 ต.ตาลชุม อ.ท่าวังผา จ.น่าน 55140 |
| ผลงานตีพิมพ์ | ทรงกริช อินตา, มนตรี แสนวังสี, พิมพ์ศิริ สุวรรณพัฒน์ และพัลลภ อินทะนิล. 2563. การประเมินมูลค่าจากการกักเก็บคาร์บอนของป่าเต็งรังในมหาวิทยาลัยพะเยา. การประชุมวิชาการระดับชาติพะเยาวิจัยครั้งที่ 9, 1846-1855 |
| รางวัลที่ได้รับ | 2562 รางวัลนิสิตเกียรตินิยม ด้านกิจกรรมเสริมหลักสูตร กิจกรรมบำเพ็ญประโยชน์และรักษาสีแกดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 2560 รางวัลนิสิตเกียรตินิยม ด้านกิจกรรมเสริมหลักสูตร กิจกรรมบำเพ็ญประโยชน์และรักษาสีแกดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 2560 รางวัลนิสิตเกียรตินิยม ด้านกิจกรรมเสริมหลักสูตร กิจกรรมบำเพ็ญประโยชน์และรักษาสีแกดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา 2559 รางวัลนิสิตเกียรตินิยม ด้านกิจกรรมเสริมหลักสูตร กิจกรรมบำเพ็ญประโยชน์และรักษาสีแกดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา |