# T-VER-S-TOOL-01-01

# การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้

# (Calculation for Carbon Sequestration in tree)

## ฉบับที่ 2

## วันที่บังคับใช้ 26 มีนาคม 2568

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.)
Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO)

## 1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินและใต้ดินของต้นไม้ในพื้นที่โครงการ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณการกักเก็บทั้งในส่วนของกรณีฐานและการดำเนินงานภายใต้กิจกรรมโครงการ อีกทั้งเครื่องมือฉบับนี้สามารถนำไปใช้กับโครงการที่ต้องการประเมินปริมาณการกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการที่เกี่ยวข้องกับด้านป่าไม้ และ/หรือโครงการที่ต้องการประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากต้นไม้ที่ปลูกหรือขึ้นตามธรรมชาติภายในพื้นที่โครงการ

## 2. คำนิยามที่เกี่ยวข้อง

**เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (Diameter at Breath Height; DBH)**
เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้วัดที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน

**ต้นไม้ (Tree)**
ต้นไม้ หรือ ไม้ยืนต้นที่มีเนื้อไม้ และอายุยืนยาวหลายปี มีความสูงเกิน 1.30 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ตั้งแต่ 4.50 เซนติเมตรขึ้นไป

**ไม้หนุ่ม (Sapling)**
ต้นไม้ที่เป็นไปตามคำจำกัดความของต้นไม้ ซึ่งมีความสูงเกิน 1.30 เมตร แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร น้อยกว่า 4.50 เซนติเมตร

**มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน** (Aboveground Biomass)
น้ำหนักแห้งของทุกส่วนของต้นไม้ที่อยู่เหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก และผล รวมทั้งไม้หนุ่ม (sapling) และไผ่

**มวลชีวภาพใต้ดิน** (Belowground Biomass)
น้ำหนักแห้งของส่วนของต้นไม้ที่อยู่ใต้ดิน

**สมการแอลโลเมตรี**
สมการแอลโลเมตรี คือ สมการความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง และ/หรือ ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ ซึ่งใช้คำนวณน้ำหนักแห้งของต้นไม้

**ไม้ขุดล้อม**
ต้นไม้ (Tree) ที่ปลูกขึ้น แล้วขุดล้อมต้นไม้เพื่อเคลื่อนย้ายไปปลูกในสถานที่อื่น

## 3. ลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย และเงื่อนไขการนำไปใช้

เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ โดยจะรวมการคำนวณทั้งการกักเก็บเหนือพื้นดินและใต้ดิน ซึ่งอาจนำไปใช้ในการคำนวณในพื้นที่ที่มีการสำรวจทั้งพื้นที่ (100%) หรือ การสุ่มวางแปลงตัวอย่างก็ได้ รายละเอียดแนวทางการวางแปลงสำรวจและเก็บข้อมูล ดังภาคผนวกที่ 1

## 4. การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน

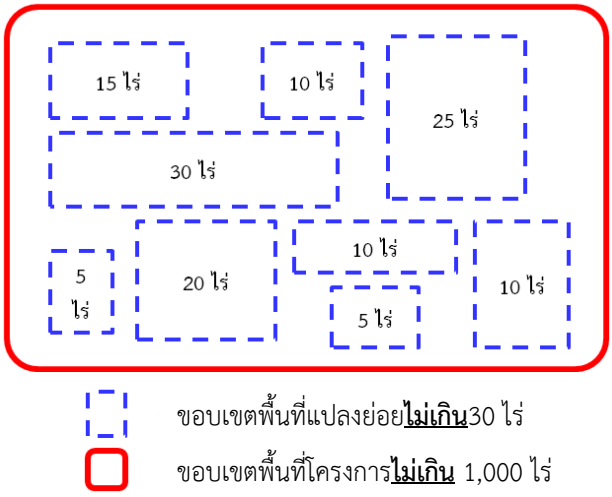
การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน สามารถประเมินได้ 4 ทางเลือก ดังนี้

**ทางเลือกที่ 1: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการนับจำนวนต้นไม้**

สามารถคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของโครงการ โดยกำหนดให้ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บของต้นไม้ในแต่ละปี มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง และมีอัตราการเพิ่มพูนปริมาณการเก็บกักคาร์บอนเท่ากับ 9.5 กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ต้น/ปี

ผู้พัฒนาโครงการต้องดำเนินการตามเงื่อนไข ดังนี้

1) ใช้สำหรับพื้นที่ที่มีการดำเนินการปลูกต้นไม้ไปแล้วเท่านั้น โดยขนาดแปลงย่อยไม่เกิน 30 ไร่ (แปลงย่อย หมายถึง พื้นที่ที่มีเนื้อที่ติดกันและครอบครองโดยผู้ถือครองเดียวกัน) และรวมพื้นที่ทั้งโครงการไม่เกิน 1,000 ไร่




2) จำนวนต้นไม้ในพื้นที่โครงการที่ถูกประเมิน หมายถึง ต้นไม้ (Tree) และไม้หนุ่ม (Sapling) ไม่รวมกล้าไม้ ต้นจาก และไผ่ชนิดต่าง ๆ กรณีที่ต้นไม้มีหลายนางจะถูกนับเป็นหนึ่งต้นเท่านั้น
3) ต้องมีการระบุวิธีการติดตามผลที่สามารถระบุอัตลักษณ์ของต้นไม้ได้อย่างชัดเจน และถาวร ครอบคลุมช่วงระยะเวลาการคิดคาร์บอนเครดิต
4) กรณีที่ต้นไม้ หรือไม้หนุ่มในพื้นที่โครงการตาย จะไม่มีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้หรือไม้หนุ่มนั้นๆ ในช่วงระยะเวลาที่ขอการรับรองคาร์บอนเครดิต เป็นไปตามหลักการอนุรักษ์ (Conservativeness)
5) กรณีที่มีการปลูกต้นไม้เสริมในพื้นที่โครงการ หลังจากที่โครงการได้รับการขึ้นทะเบียนไปแล้ว ให้เริ่มนับปีที่ดำเนินการติดตามผลสำหรับต้นไม้ที่ปลูกเสริม คือวันถัดไปที่ได้รับหนังสือแจ้งตอบรับการเปลี่ยนแปลงจาก อบก. ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่ อบก. กำหนด

โดยประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่ได้จากสมการ

$$C_{TT} = T \times t \times MAI \times 10^{-3}$$

เมื่อ $C_{TT}$ = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการ (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

$T$ = จำนวนต้นไม้ในพื้นที่โครงการทั้งหมด (ต้น)

$t$ = ปีที่ดำเนินการติดตามผล (ปี)

ตัวอย่าง การประเมินสำหรับการขอรับรองคาร์บอนเครดิต
ช่วงระยะเวลาที่ขอการรับรองคาร์บอนเครดิตตั้งแต่ 1 ม.ค. 68 – 30 มิ.ย. 71
ดังนั้นปีที่ดำเนินการติดตามผล เท่ากับ 3.49 ปี (3 ปี 182 วัน)

$MAI$ = อัตราการเพิ่มพูนปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ($kgCO_2$/ต้น/ปี)

ในการจัดทำเอกสารข้อเสนอโครงการ (PDD) สำหรับทางเลือกที่ 1: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการนับจำนวนต้นไม้ กำหนดให้ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในปีฐานเท่ากับศูนย์

**ทางเลือกที่ 2: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการวัดขนาดต้นไม้หรือไม้หนุ่ม**

เป็นการประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากมวลชีวภาพของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตรี ซึ่งมวลชีวภาพของต้นไม้ ประกอบด้วยมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass; ABG) และมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground Biomass; BLG) โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วางแปลงตัวอย่างสำรวจให้เป็นไปตามที่ อบก. กำหนด บันทึกชนิด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ในพื้นที่แปลงตัวอย่างของโครงการตามเงื่อนไขสมการประเมินมวลชีวภาพที่เลือกใช้กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน โดยเลือกสมการแอลโลเมตรี (Allometric equation) ที่เหมาะสมกับชนิดของพรรณไม้หรือพื้นที่โครงการ เป็นไปตามเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งต่อไปนี้

1) สมการแอลโลเมตรีใช้สำหรับการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ของประเทศ หรือ ในการจัดทำบัญชีก๊าซเรือนกระจกของประทศ
2) สมการแอลโลเมตรีที่มีใช้ในเชิงพาณิชย์ของภาคป่าไม้เป็นเวลาตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป
3) สมการอื่นที่มีการศึกษาและตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่โครงการ
4) สมการที่ อบก. แนะนำ (รายละเอียดดังภาคผนวกที่ 2)

กรณีที่มีการใช้สมการแอลโลเมตรีอื่น ๆ ที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้น หรือสมการประเมินมวลชีวภาพต้องเสนอให้ อบก. พิจารณาและเห็นชอบ

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground Biomass; BLG)

*ทางเลือกที่ 1* ใช้สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้แต่ละชนิด โดยสามารถใช้ค่าสัดส่วนที่ อบก. แนะนำ หรือค่าอื่นๆ ที่มีการศึกษาและตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่โครงการ หรือ พัฒนาค่าสัดส่วนต้นต่อรากสำหรับพื้นที่ที่ดำเนินโครงการเองและต้องเสนอให้ อบก. พิจารณาและเห็นชอบ

$$b_{BLG_j} = b_{ABG_j} \times R$$

เมื่อ

$b_{BLG_j}$ = ค่ามวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้ชนิด j (ตันน้ำหนักแห้ง)

$b_{ABG_j}$ = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ชนิด j (ตันน้ำหนักแห้ง)

$R$ = สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้

$j$ = ชนิดไม้ 1, 2, 3,... z

*ทางเลือกที่ 2* สามารถคำนวณจากสมการแอลโลเมตรี (Allometric equation) โดยเงื่อนไขการเลือกใช้สมการเป็นไปตามที่ระบุไว้ในขั้นตอนที่ 2

กรณีการนำไม้ล้อมมาปลูกในพื้นที่โครงการ จะไม่พิจารณาค่ามวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้ $(b_{BLG} = 0)$ เพื่อเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแต่ละชั้นภูมิ

ทำการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ การคำนวณค่าเฉลี่ยของการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแต่ละชั้นภูมิ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$b_{TREE_j} = b_{ABG_j} + b_{BLG_j}$$

$$c_{TREE,p,i} = \sum_{j=1}^{Z} (b_{TREE_j} x\ CF)$$

$$C_{TREE,i} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} C_{TREE,p,i}}{a_p}$$

เมื่อ

$b_{TREE_j}$ = ค่ามวลชีวภาพของต้นไม้ชนิด j (ตันน้ำหนักแห้ง)

$b_{ABG_j}$ = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ชนิด j (ตันน้ำหนักแห้ง)

$b_{BLG_j}$ = ค่ามวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้ชนิด j (ตันน้ำหนักแห้ง)

$C_{TREE,p,i}$ = ค่าการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง p ชั้นภูมิ i (ตันคาร์บอน)

$CF$ = สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ (ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง)

$C_{TREE,i}$ = ค่าเฉลี่ยของการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแต่ละชั้นภูมิ i (ตันคาร์บอนต่อไร่)

$a_p$ = พื้นที่รวมของแปลงตัวอย่าง p (ไร่)

$p$ = แปลงตัวอย่าง 1, 2, 3,...n

$j$ = ชนิดไม้ 1, 2, 3,... z

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่โครงการ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$C_{TREE} = \sum_{i=1}^{M} (a_i \times C_{TREE,i})$$

เมื่อ

$C_{TREE}$ = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการ (ตันคาร์บอน)

$C_{TREE,i}$ = ค่าเฉลี่ยของการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในแต่ละชั้นภูมิ i (ตันคาร์บอนต่อไร่)

$a_i$ = พื้นที่ของชั้นภูมิ i (ไร่)

$i$ = ชั้นภูมิ 1, 2, 3,...m

**ทางเลือกที่ 3 : การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI)**

เป็นรูปแบบการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ที่เป็นการนำเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลมาพัฒนาเป็นอัลกอลิทึมเพื่อให้ได้ปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบของโปรแกรม หรือ application ที่สามารถนำไปประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ โดยโปรแกรม หรือ application ดังกล่าวจะต้องได้รับการเห็นชอบจาก อบก. ตาม แนวทางการพิจารณารับรองวิธีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้โดยเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ที่ อบก. กำหนดขึ้น

$$C_{TREE} = C_{TREE,model}$$

เมื่อ

$C_{\mathrm{TREE}}$ = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการ (ตันคาร์บอน)

$C_{\mathrm{TREE},model}$ = ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการประเมินโดยใช้แบบจำลอง (ตันคาร์บอน)

**ทางเลือกที่ 4 : อื่นๆ ตามที่ อบก. พิจารณาเห็นชอบ**

## 5. พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

### 5.1 พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องติดตามผล

| พารามิเตอร์ | MAI |
|---|---|
| ค่า | 9.5 |
| หน่วย | กิโลกรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อต้นต่อปี |

| | |
|---|---|
| ความหมาย | อัตราการเพิ่มพูนปริมาณการเก็บกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ |
| แหล่งของข้อมูล | การศึกษาลักษณะของพรรณไม้ ปริมาณการดูดซับก๊าซเรือนกระจก และขนาดพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้, 2553 |
| หมายเหตุ | **สำหรับทางเลือกที่ 1**: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการนับจำนวนต้นไม้<br>ดัดแปลงจากค่าพรรณไม้พื้นเมืองโตช้า เพื่อเป็นไปตามหลักการอนุรักษ์ |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | R |
| หน่วย | ตันน้ำหนักแห้งของรากต่อตันน้ำหนักแห้งของต้น |
| ความหมาย | สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้ |
| แหล่งของข้อมูล | ทางเลือกที่ 1 ตามที่ อบก. กำหนด |

| ชนิด/กลุ่มพรรณไม้ | สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้ (ร้อยละ) |
|---|---|
| พรรณไม้ทั่วไป | 27 |
| โกงกาง | 48 |
| ปาล์ม | 41 |
| ไผ่ | 27 |
| เถาวัลย์ | 27 |

ทางเลือกที่ 2 ตารางที่ 4.4 2019 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4

ทางเลือกที่ 3 ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่ดำเนินโครงการ

| | |
|---|---|
| หมายเหตุ | - |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | CF |
| หน่วย | ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง |
| ความหมาย | สัดส่วนคาร์บอนในเนื้อไม้ |
| แหล่งของข้อมูล | ทางเลือกที่ 1 ตามที่ อบก. กำหนด |

| ชนิด/กลุ่มพรรณไม้ | สัดส่วนคาร์บอนในเนื้อไม้ (ร้อยละ) |
|---|---|
| พรรณไม้ทั่วไป | 47.00 |
| โกงกาง | 47.15 |
| ปาล์ม | 41.30 |
| ไผ่ | 47.00 |
| เถาวัลย์ | 47.00 |

| | |
|---|---|
| | ทางเลือกที่ 2 ตารางที่ 4.3 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 (Default 0.47)<br>ทางเลือกที่ 3 ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่ดำเนินโครงการ |
| หมายเหตุ | - |

### 5.2 พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | T |
| หน่วย | ต้น |
| ความหมาย | จำนวนต้นไม้ในพื้นที่โครงการทั้งหมด ที่มีความสูงมากกว่า 1.30 เมตร หมายถึง ต้นไม้ (Tree) และไม้หนุ่ม (Sapling) ไม่รวมกล้าไม้ ต้นจาก และพรรณไม้กลุ่มไผ่<br>กรณีที่ต้นไม้มีหลายนาง จะถูกนับเป็นหนึ่งต้นเท่านั้น |
| แหล่งของข้อมูล | รายงานการสำรวจในพื้นที่ |
| วิธีการติดตามผล | บันทึกโดยเกษตรกรหรือผู้พัฒนาโครงการด้วยวิธีการที่เหมาะสม |
| ความถี่ในการติดตามผล | ตลอดช่วงที่ติดตามผล |
| หมายเหตุ | **สำหรับทางเลือกที่ 1**: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการนับจำนวนต้นไม้<br>● ต้องมีการระบุวิธีการติดตามผลที่สามารถระบุอัตลักษณ์ของต้นไม้ได้อย่างชัดเจน และถาวร ครอบคลุมช่วงระยะเวลาการคิดคาร์บอนเครดิต เช่น การติดแถบหมายเลขกำกับไว้ทุกต้นในตำแหน่งที่เห็นได้ชัดเจน ชื่อพรรณไม้ พิกัด แผนที่ ความโต เป็นต้น หากแถบหมายเลขกำกับเกิดการชำรุดเสียหาย หรือสูญหาย ผู้พัฒนาโครงการมีหน้าที่ในการดูแลบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่สามารถตรวจสอบได้<br>● กรณีที่ไม่สามารถยืนยันอัตลักษณ์ของต้นไม้ได้ ให้พิจารณาค่าการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้นั้นเท่ากับศูนย์ เป็นไปตามหลักการอนุรักษ์ |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | A |
| หน่วย | ไร่ |
| ความหมาย | พื้นที่โครงการทั้งหมด |
| แหล่งของข้อมูล | รายงานการสำรวจพื้นที่ที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ |

| | |
|---|---|
| วิธีการติดตามผล | - สำรวจในพื้นที่<br>- ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ |
| ความถี่ในการติดตามผล | ตามรอบของการประเมินติดตามผลเพื่อขอการรับรอง |
| หมายเหตุ | - |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | $a_i$ |
| หน่วย | ไร่ |
| ความหมาย | พื้นที่ของชั้นภูมิ i |
| แหล่งของข้อมูล | รายงานการสำรวจพื้นที่ที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ |
| วิธีการติดตามผล | - สำรวจในพื้นที่<br>- ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ |
| ความถี่ในการติดตามผล | ตามรอบของการประเมินติดตามผลเพื่อขอการรับรอง |
| หมายเหตุ | รายละเอียดเพิ่มเติมภาคผนวกที่ 1 |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | $a_p$ |
| หน่วย | ไร่ |
| ความหมาย | พื้นที่แปลงตัวอย่าง p ที่ทำการสำรวจข้อมูลตัวอย่างเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอน |
| แหล่งของข้อมูล | รายงานการสำรวจพื้นที่ที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ |
| วิธีการติดตามผล | - สำรวจในพื้นที่<br>- ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ |
| ความถี่ในการติดตามผล | ตามรอบของการประเมินติดตามผลเพื่อขอการรับรอง |
| หมายเหตุ | รายละเอียดเพิ่มเติมภาคผนวกที่ 1 |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | D |
| หน่วย | เซนติเมตร |
| ความหมาย | เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ ที่ระดับความสูง 1.30 เมตร หรือตามเงื่อนไขสมการประเมินมวลชีวภาพที่เลือกใช้กำหนดไว้ |
| แหล่งของข้อมูล | บันทึกโดยผู้พัฒนาโครงการด้วยวิธีการที่เหมาะสม |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจวัดในพื้นที่ จากการวางแปลงตัวอย่าง |
| ความถี่ในการติดตามผล | ตามรอบของการประเมินติดตามผลเพื่อขอการรับรอง |
| หมายเหตุ | **สำหรับทางเลือกที่ 2**: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการวัดขนาดต้นไม้ |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | H |
| หน่วย | เมตร |
| ความหมาย | ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ |
| แหล่งของข้อมูล | บันทึกโดยผู้พัฒนาโครงการด้วยวิธีการที่เหมาะสม |
| วิธีการติดตามผล | ตรวจวัดในพื้นที่ จากการวางแปลงตัวอย่าง |
| ความถี่ในการติดตามผล | ตามรอบของการประเมินติดตามผลเพื่อขอการรับรอง |
| หมายเหตุ | **สำหรับทางเลือกที่ 2**: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการวัดขนาดต้นไม้ |

| | |
|---|---|
| พารามิเตอร์ | $C_{TREE,model}$ |
| หน่วย | ตันคาร์บอน |
| ความหมาย | ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในพื้นที่โครงการประเมินโดยใช้แบบจำลอง |
| แหล่งของข้อมูล | เงื่อนไขตามที่แบบจำลองกำหนดไว้ |
| วิธีการติดตามผล | เงื่อนไขตามที่แบบจำลองกำหนดไว้ |
| ความถี่ในการติดตามผล | เงื่อนไขตามที่แบบจำลองกำหนดไว้ |
| หมายเหตุ | **สำหรับทางเลือกที่ 3**: ข้อมูลสำหรับการติดตามผลการดำเนินโครงการจะต้องระบุไว้ในเอกสารข้อเสนอโครงการ (Project Design Document: PDD) |

**เอกสารอ้างอิง**


1. Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities (AR-TOOL14 Version 04.2)
2. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use
3. 2019 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use
4. A/R Methodology Tool “Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities”
5. คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้ครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้, อบก.
6. คู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร, อบก.

## ภาคผนวกที่ 1
## การวางแปลงสำรวจและเก็บข้อมูลสำหรับโครงการประเภทป่าไม้

### ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดชั้นภูมิ (Stratification)

หากพื้นที่ดำเนินโครงการมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ (heterogeneous) จำเป็นต้องมีการจำแนกชั้นภูมิ (stratification) เพื่อให้การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพมีความถูกต้องยิ่งขึ้น ในการกำหนดชั้นภูมิควรจำแนกตามสภาพที่ปรากฏ โดยในชั้นภูมิเดียวกันควรมีลักษณะความคล้ายคลึงกันมากที่สุด แต่มีความแตกต่างกันระหว่างชั้นภูมิมากที่สุด ลักษณะที่นำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกชั้นภูมิจะต้องมีความสัมพันธ์กับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของแต่ละชั้นภูมิที่ทำการจำแนก เช่น ประเภทป่า ชนิดพืชพรรณ ระดับความสูงจากน้ำทะเล ระดับความลาดชัน ความอุดมสมบูรณ์ ชั้นอายุของพืชพรรณ ปีที่ปลูก แปลงที่ปลูก เป็นต้น

กรณีที่เป็นสวนป่าเชิงเดี่ยวที่มีการจัดการอย่างประณีต หรือพื้นที่ที่มีลักษณะสม่ำเสมอ (heterogeneous) รวมถึงมีลักษณะทางกายภาพที่มีความคล้ายคลึงกันจนไม่สามารถแบ่งชั้นภูมิได้ อาจไม่ต้องทำการแบ่งชั้นภูมิ

### ขั้นตอนที่ 2 ขนาดแปลงตัวอย่าง

แปลงตัวอย่างอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือวงกลม ให้พิจารณาวางแปลงตัวอย่างในรูปแบบและขนาดอื่น ๆ ตามความเหมาะสมของพื้นที่ และถูกต้องตามหลักวิชาการ ขนาดแปลงตัวอย่างที่ อบก. แนะนำ คือ แปลงสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 40 x 40 เมตร (ขนาด 1 ไร่)

### ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดจำนวนแปลงตัวอย่าง

จำนวนแปลงตัวอย่างที่ใช้ในการสำรวจขึ้นอยู่กับความแม่นยำและความถูกต้องที่ต้องการ การตัดสินใจใช้จำนวนตัวอย่างมากน้อยเพียงใดจึงขึ้นอยู่กับผู้ที่ทำการศึกษาต้องตัดสินใจเลือกวิธีการต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของสภาพพื้นที่นั้น ๆ ทั้งนี้ อบก. ได้กำหนดจำนวนแปลงตัวอย่างในการสำรวจ ให้ 3 แนวทาง ดังนี้

**ทางเลือกที่ 1** พื้นที่ของแปลงตัวอย่างรวมต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ดำเนินโครงการทั้งหมด โดยการวางแปลงตัวอย่างต้องกระจายในแต่ละชั้นภูมิอย่างเหมาะสม และในแต่ละชั้นภูมิจะต้องมีจำนวนของแปลงตัวอย่างไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของพื้นที่ชั้นภูมินั้น ๆ ซึ่งการแบ่งชั้นภูมิต้องเป็นการนำปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสำหรับการแบ่งชั้นภูมิ โดยในชั้นภูมิเดียวกันควรให้มีลักษณะความคล้ายคลึงกันมากที่สุด ตามรายละเอียดในขั้นตอนที่ 1

**ทางเลือกที่ 2** การวางแปลงตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified random sampling) มีขั้นตอนดังนี้

1) ภายหลังจากทำการแบ่งชั้นภูมิเรียบร้อยแล้ว โดยให้วางแปลงตัวอย่างกระจายในแต่ละกลุ่มชั้นภูมิสุดท้ายควรกระจายตามสัดส่วน (Proportional allocation) กล่าวคือ ชั้นภูมิใดมีพื้นที่เยอะควรมีจำนวนแปลงตัวอย่างเป็นตัวแทนที่มากกว่า และกำหนดให้วางแปลงตัวอย่างในกลุ่มชั้นภูมิสุดท้าย จำนวนไม่น้อยกว่า 3 แปลง โดยขนาดแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงไม่น้อยกว่า 1 ไร่ ดังรูปที่ 1 กรณีที่พื้นที่โครงการไม่สามารถวาง

แปลงตัวอย่างขนาด 1 ไร่ สามารถแบ่งเป็นแปลงตัวอย่างย่อยได้ เช่น 20 x 40 เมตร จำนวน 2 แปลง โดยตำแหน่งแปลงตัวอย่างย่อยควรอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันเพื่อลดความคลาดเคลื่อน

2) นำค่ามวลชีวภาพในแต่ละกลุ่มชั้นภูมิสุดท้าย มาคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation: CV) โดยค่า CV ที่ได้ต้องไม่เกินร้อยละ 25 ให้ถือว่าจำนวนแปลงตัวอย่างดังกล่าวเป็นตัวแทนที่เหมาะสม

3) กรณีค่า CV ของกลุ่มชั้นภูมิสุดท้ายใด ๆ เกินร้อยละ 25 จำเป็นต้องทำการวางแปลงตัวอย่างเพิ่มเติมในชั้นภูมินั้น หรือจำแนกชั้นภูมิเพิ่มเติม เพื่อให้ค่า CV อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

**การคำนวณค่า CV**

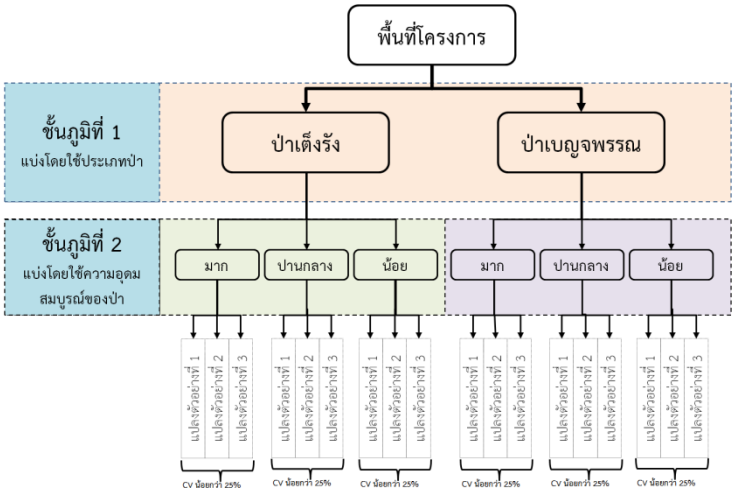
$$CV = \frac{SD \times 100}{\bar{x}}$$

เมื่อ

*CV* = ค่าสัมประสิทธิ์การกระจาย (Coefficient of variation)

*SD*= ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ย




**รูปที่ 1** ตัวอย่างการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ (Stratified random sampling)

**ทางเลือกที่ 3** การหาจำนวนแปลงตัวอย่างตาม A/R Methodology Tool “Calculation of the number of sample plots for measurements within A/R CDM project activities”

$$n = \left(\frac{t_{VAL}}{E}\right)^2 \times (\sum_i w_i \times s_i)^2$$

เมื่อ

$n$ = จำนวนแปลงตัวอย่างที่เหมาะสม

$t_{VAL}$ = ค่า Student's t-value
ในที่นี้กำหนดให้มีระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 90

$w_i$ = สัดส่วนของพื้นที่ในชั้นภูมิที่ $i$ ต่อพื้นที่ทั้งหมด

$s_i$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชั้นภูมิที่ $i$

$E$ = ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ได้แก่ ครึ่งหนึ่งของช่วงความเชื่อมั่น (confidence interval) ในการประมาณปริมาณมวลชีวภาพในขอบเขตโครงการ ในที่นี้กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เท่ากับ ร้อยละ 10

**ขั้นตอนที่ 4 การเก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง**

เมื่อวางแปลงตัวอย่างแล้วเสร็จ ให้ทำการเก็บข้อมูลต้นไม้ ได้แก่ ชนิด ขนาดความโต และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (Tree) เพื่อนำไปประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ตามสมการแอลโลเมตรีที่เลือกใช้ต่อไป

## ภาคผนวกที่ 2
## สมการแอลโลเมตรี

**ตารางที่ 1** สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามกลุ่มชนิดของไม้

| กลุ่มชนิดไม้ | สมการ | อ้างอิง |
|---|---|---|
| กลุ่มพรรณไม้ทั่วไป | $W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.933}$<br>$W_B = 0.00349 (D^2H)^{1.030}$<br>$W_L = \left(\frac{28}{(W_s + W_B)} + 0.025\right)^{-1}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | Ogawa et al. (1965) |
| กลุ่มพรรณไม้ป่าชายเลน | $W_S = 0.05466 (D^2H)^{0.945}$<br>$W_B = 0.01579 (D^2H)^{0.9124}$<br>$W_L = 0.0678 (D^2H)^{0.5806}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | Komiyama et al. (1987) |
| กลุ่มปาล์ม | $W_T = 6.666 + 12.826 (H)^{0.5}(\ln H)$ | Peason et al. (2005) |
| กลุ่มไผ่ | ไผ่บงป่า $W_T = 0.1466(D)^{0.7187}$<br>ไผ่บงดำ $W_T = 0.49522 (D^2)^{0.8726}$<br>ไผ่ข้าวหลาม $W_T = 0.17446 (D^2)^{1.0437}$<br>ไผ่ไร่และไผ่ผาก $W_T = 0.2425(D^2)^{1.0751}$ | อิทธิพงศ์ (2557)<br>Kutintara (1995)<br>Kutintara (1995)<br>Kutintara (1995) |
| กลุ่มเถาวัลย์ | $W_T = 0.8622 (D)^{2.0210}$ | ชิงชัยและคณะ (2554) |
| เงาะ | $W_S = 0.0083(D_0)^{3.1573}$<br>$W_B = 0.00002(D_0)^{4.4921}$<br>$W_L = 0.0033(D_0)^{2.6908}$<br>$W_T = 0.0065(D_0)^{3.3102}$ | ลดาวัลย์ พวงจิตร และออ พรานไชย. (2561). |
| ทุเรียน | $W_S = 0.0051(D_0)^{2.9820}$<br>$W_B = 0.0046(D_0)^{2.4675}$<br>$W_L = 0.0101(D_0)^{1.9889}$<br>$W_T = 0.0078(D_0)^{2.9605}$ | ลดาวัลย์ พวงจิตร และออ พรานไชย. (2561). |
| มังคุด | $W_S = 0.0492(D)^{2.6368}$<br>$W_B = 0.1635(D)^{1.9872}$<br>$W_L = 0.0795(D)^{2.0795}$<br>$W_T = 0.2164(D)^{2.3548}$ | ลดาวัลย์ พวงจิตร และออ พรานไชย. (2561). |

| กลุ่มชนิดไม้ | สมการ | อ้างอิง |
|---|---|---|
| ลองกอง | $W_S = 0.0090(D_0)^{2.9849}$<br>$W_B = 0.0031(D_0)^{2.9358}$<br>$W_L = 0.0084(D_0)^{2.2572}$<br>$W_T = 0.0234(D_0)^{2.7680}$ | ลดาวัลย์ พวงจิตร และออ พรานไชย. (2561). |

**หมายเหตุ** $W_S$ = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กก.)
$W_B$ = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กก.)
$W_L$ = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กก.)
$W_T$ = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กก.)
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร (ซม.)
$D_0$ = เส้นผ่านศูนย์กลางระดับชิดดิน (ซม.)
H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)

**ตารางที่ 2** สมการแอลโลเมตรีประเมินมวลชีวภาพจำแนกตามชนิดป่าของประเทศไทย

| ชนิดป่า | สมการ | อ้างอิง |
|---|---|---|
| ป่าดิบแล้ง<br>ป่าดิบเขา | $W_S = 0.0509 (D^2H)^{0.919}$<br>$W_B = 0.00893 (D^2H)^{0.977}$<br>$W_L = 0.0140 (D^2H)^{0.669}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | Tsutsumi et.al. (1983) |
| ป่าดิบชื้น | $W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.9326}$<br>$W_B = 0.006003 (D^2H)^{1.027}$<br>$W_L = \left(\frac{28}{(W_s + W_B)} + 0.025\right)^{-1}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | Ogawa et.al. (1965) |
| ป่าเต็งรัง และ<br>ป่าเบญจพรรณ | $W_S = 0.0396 (D^2H)^{0.933}$<br>$W_B = 0.00349 (D^2H)^{1.030}$<br>$W_L = \left(\frac{28}{(W_s + W_B)} + 0.025\right)^{-1}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | Ogawa et.al. (1965) |
| ป่าสนเขา<br>(สนสองใบ) | $W_S = 0.2141 (D^2H)^{0.9814}$<br>$W_B = 0.00002 (D^2H)^{1.4561}$<br>$W_L = 0.00072 (D^2H)^{1.0138}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | สุนันทา (2531) |
| ป่าสนเขา<br>(สนสามใบ) | $W_S = 0.02698 (D^2H)^{0.946}$<br>$W_B = 0.00018 (D^2H)^{1.455}$<br>$W_L = 0.00072 (D^2H)^{1.094}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | พงษ์ศักดิ์ (2524) |
| ไม้โกงกาง<br>(*Rhizophora* spp.) | $W_S = 0.05466 (D^2H)^{0.945}$<br>$W_B = 0.01579 (D^2H)^{0.9124}$<br>$W_L = 0.0678 (D^2H)^{0.5806}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | Komiyama et al. (1987) |
| พรรณไม้ในป่า<br>ชายเลนชนิดอื่น ๆ | $W_S = 0.0449 (D^2H)^{0.9549}$<br>$W_B = 0.02412 (D^2H)^{0.8649}$<br>$W_L = 0.09422 (D^2H)^{0.5439}$<br>$W_T = W_S + W_B + W_L$ | Komiyama et al. (1987) |

**หมายเหตุ**
$W_S$ = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นลำต้น (กก.)
$W_B$ = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นกิ่ง (กก.)
$W_L$ = มวลชีวภาพเหนือพื้นดินในส่วนที่เป็นใบ (กก.)
$W_T$ =มวลชีวภาพเหนือพื้นดินทั้งหมด (กก.)
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร (ซม.)
H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)

| บันทึกการแก้ไข T-VER-S-TOOL-01-01 |
|---|

| ฉบับที่ | แก้ไขครั้งที่ | วันที่บังคับใช้ | รายการแก้ไข |
|---|---|---|---|
| 02 | 01 | 26 มีนาคม 2568 | - คำนิยาม<br>- การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ทางเลือกที่ 1: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการนับจำนวนต้นไม้<br>- การคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอน ทางเลือกที่ 2: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากการวัดขนาดต้นไม้หรือไม้หนุ่ม<br>- พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องติดตามผล<br>- พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล<br>- ภาคผนวกที่ 1 การวางแปลงสำรวจและเก็บข้อมูลสำหรับโครงการประเภทป่าไม้<br>- ภาคผนวกที่ 2 สมการแอลโลเมตรี |
| 01 | - | 1 มีนาคม 2566 | ปรับแก้ไขจาก T-VER-TOOL-FOR/AGR-01 Version 04 |