T-VER-P-TOOL-01-02

การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนของต้นไม้สำหรับกิจกรรมโครงการป่าไม้

(Calculation for carbon stocks and changes in carbon stocks of trees in forest project activities)

ฉบับที่ 01

มีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2566

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) (อบก.)

Thailand Greenhouse Gas Management Organization (Public Organization) (TGO)

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในต้นไม้และไม้รุ่นซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนทั้งในส่วนของกรณีฐานและการดำเนินงานของโครงการ

2. นิยามที่เกี่ยวข้องและค่าอ้างอิง

รายละเอียดดังภาคผนวกที่ 1

3. ลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย และเงื่อนไขการนำไปใช้

เครื่องมือนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้คำนวณปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนของต้นไม้โดยจะรวมการคำนวณทั้งการกักเก็บเหนือพื้นดินและใต้ดิน มีลักษณะของกิจกรรมที่เข้าข่าย ดังนี้

1) ประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ในกรณีฐาน
2) การคาดการณ์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้จากการดำเนินโครงการ
3) การประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ในการดำเนินโครงการ

4. เงื่อนไขการประเมินการกักเก็บคาร์บอนและการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนเป็นศูนย์ในกรณีฐาน

4.1 การกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ในกรณีฐานสามารถนับเป็นศูนย์ได้ หากตรงตามเงื่อนไขทั้งสามข้อต่อไปนี้

1) ต้นไม้เดิมในพื้นที่ก่อนเริ่มโครงการไม่ถูกตัดฟันออกไปจากพื้นที่ตลอดระยะเวลาโครงการ และ
2) ต้นไม้เดิมในพื้นที่ก่อนเริ่มโครงการไม่ถูกเบียดบังจนตายจากต้นไม้ที่ปลูกในโครงการ หรือถูกทำลายจากขั้นตอนการดำเนินโครงการตลอดระยะเวลาโครงการ และ
3) ต้นไม้เดิมในพื้นที่ไม่ถูกสำรวจและนับรวมไปในการคิดเครดิตของโครงการ

4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้กรณีฐานสามารถประเมินเป็นศูนย์ เมื่อเจ้าของโครงการสามารถแสดงเอกสารหลักฐาน หรือ การวิเคราะห์ชุมชนแบบมีส่วนร่วม(Participatory Rural Appraisal: PRA) ตามตัวชี้วัดอย่างน้อยข้อใดข้อหนึ่งดังนี้

1) การสังเกตการณ์การลดลงของความลึกของดินชั้นบน เช่น การโผล่ของรากจากดิน การปรากฏของฐานสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ การปรากฏของดินชั้นล่าง เป็นต้น
2) การปรากฏของร่องรอยการชะล้างพังทลายของดินหรือการเกิดดินถล่ม

3) การพบชนิดพืชที่เป็นตัวชี้วัดของพื้นที่ที่ขาดความอุดมสมบูรณ์
4) ที่ดินที่ประกอบด้วยเนินทรายหรือที่ดินว่างเปล่า
5) ที่ดินที่ประกอบด้วยดินปนเปื้อน หรือดินที่มีความเป็นด่างสูงหรือดินเค็ม
6) ที่ดินที่ถูกจัดการเป็นวัฏจักร เช่น พื้นที่ทำไร่เลื่อนลอย ซึ่งมวลชีวภาพในกรณีฐานจะมีค่าผันแปรสูงระหว่างค่าต่ำสุดและสูงสุด

5. การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง สามารถดำเนินการตามวิธีการใดวิธีการหนึ่ง ดังนี้

- การประเมินค่าจากการตรวจวัดในแปลงตัวอย่างแบบเป็นชั้นภูมิ (stratified random sampling)
- การประเมินค่าจากการตรวจวัดด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างสองครั้ง (double sampling)
- การประเมินจากสัดส่วนการปกคลุมของเรือนยอด
- การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จากแบบจำลองการเติบโตและพัฒนาการของหมู่ไม้
- อื่น ๆ ตามที่ อบก. พิจารณาเห็นชอบ

5.1 การประเมินค่าจากการตรวจวัดในแปลงตัวอย่างแบบเป็นชั้นภูมิ (stratified random sampling)

วิธีการนี้เป็นวิธีการพื้นฐานในการประเมินปริมาณคาร์บอน โดยการวางแปลงตัวอย่างในหนึ่งชั้นภูมิหรือมากกว่าหนึ่งชั้นภูมิ การประเมินการกักเก็บคาร์บอนจากมวลชีวภาพของต้นไม้ใช้สมการแอลโลเมตรีที่เหมาะสมกับชนิดพันธุ์หรือพืชพรรณในพื้นที่ ซึ่งมวลชีวภาพของต้นไม้ ประกอบด้วยมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass: ABG) และมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground Biomass: BLG) โดยมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

วางแปลงตัวอย่างในแต่ละชั้นภูมิและดำเนินการวัดข้อมูลต้นไม้ การวางแปลงเพื่อสำรวจจะต้องคำนึงถึงความสม่ำเสมอของหมู่ไม้ในแต่ละชั้นภูมิ ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ และความแปรปรวนในแต่ละชั้นภูมิ การคำนวนจำนวนแปลงที่เหมาะสมอ้างอิงตามการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

ตัวอย่างที่ 1 ในแปลงปลูกป่าจำนวน 8 แปลง พบว่า 3 แปลงจะมีการทำไม้ออกในอีก 2 ปี ข้างหน้า ดังนั้น มวลชีวภาพของต้นไม้เฉลี่ยต่อไร่ในพื้นที่เหล่านี้จึงต่ำและค่อนข้างเท่ากัน โดย 3 แปลงที่จะมีการทำไม้ออกจะถูกจัดไว้ในชั้นภูมิเดียวกัน และ 5 แปลงที่เหลือ 2 แปลงมีการเจริญเติบโตของต้นไม้ต่ำเมื่อเทียบกับอีก 3 แปลง เพราะฉะนั้น 5 แปลงที่เหลือจะถูกจัดไว้อีก 2 ชั้นภูมิ รวมเป็น 3 ชั้นภูมิ

ตัวอย่างที่ 2 แปลงสวนป่าที่ปล่อยให้มีการเจริญเติบโตตามธรรมชาติ และต้นไม้มีการเติบโตไม่สม่ำเสมอทั้งพื้นที่ จึงมีการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการประเมินการปกคลุมเรือนยอด (ซึ่งคาดว่าจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับมวลชีวภาพของต้นไม้) มีรูปแบบที่มองเห็นความแตกต่างของการปกคลุมเรือนยอดได้ชัดเจน จึงใช้เป็นข้อมูลในการแบ่งชั้นภูมิของหมู่ไม้ในพื้นที่

5.1.1 การคำนวณปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (Aboveground Biomass: ABG)

ขั้นตอนที่ 1 วางแปลงตัวอย่างที่เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ และจดบันทึกชนิดและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ในพื้นที่แปลงตัวอย่างของโครงการ ขึ้นอยู่กับสมการแอลโลเมตรี (allometric equations) ที่เลือกใช้

ขั้นตอนที่ 2 ทำการคำนวณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินโดยเลือกสมการแอลโลเมตรี (allometric equations) ที่เหมาะสมกับชนิดพันธุ์หรือพืชพรรณในพื้นที่ จากสมการที่องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) แนะนำ หรือ สมการอื่นที่มีการศึกษาและตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่โครงการ หรือ พัฒนาสมการแอลโลเมตรีสำหรับพื้นที่โครงการ

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณหาค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในแต่ละแปลงตัวอย่างสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$b_{ABG,p,i} = \sum_{j=1}^{Z} b_{ABG_j}$$

เมื่อ

$b_{ABG,p,i}$ = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง pชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้ง)

b_{ABG_j} = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ชนิด j ที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรีในพื้นที่แปลงตัวอย่าง(ตันน้ำหนักแห้ง)

i = ชั้นภูมิ 1, 2, 3,...m

p = แปลงตัวอย่าง 1, 2, 3,...n

j = ชนิดไม้ 1, 2, 3,...Z

5.1.2 การคำนวณปริมาณมวลชีวภาพใต้ดิน (Belowground Biomass: BLG)

คำนวณปริมาณมวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้โดยใช้สมการแอลโลเมตรีของราก หรือสัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้แต่ละชนิด โดยสามารถใช้ค่าสัดส่วนที่ อบก. แนะนำ หรือค่าอื่นๆ ที่มีการศึกษาและตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่โครงการ หรือ พัฒนาค่าสัดส่วนรากต่อต้นสำหรับพื้นที่ที่ดำเนินโครงการเอง

การคำนวณมวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้ในแต่ละชั้นภูมิ สามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ

$$b_{BLG,p,i} = \sum_{i=1}^{Z} b_{BLG_j}$$

$$b_{BLG_j} = b_{ABG,j} \times R_{TREE}$$

เมื่อ

$b_{BLG,p,i}$ = ค่ามวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง p ชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้ง)

b_{BLG_j} = ค่ามวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้ชนิด j (ตันน้ำหนักแห้ง)

b_{ABG_j} = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ชนิด j ที่คำนวณได้จากสมการแอลโลเมตรีในพื้นที่แปลงตัวอย่าง(ตันน้ำหนักแห้ง)

R_{TREE} =สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้

i = ชั้นภูมิ 1, 2, 3,...m

p = แปลงตัวอย่าง 1, 2, 3,...n

j = ชนิดไม้ 1, 2, 3,...Z

5.1.3 การคำนวณค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างแต่ละชั้นภูมิ

เมื่อทำการคำนวณปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน และมวลชีวภาพใต้ดินแล้ว สามารถหาค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในแปลงตัวอย่างได้จากสมการ

$$b_{TREE,p,i} = \frac{(b_{ABG,p,i} + b_{BLG,p,i})}{a}$$

เมื่อ

$b_{TREE,p,i}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในแปลงตัวอย่างp ชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

$b_{ABG,p,i}$ = ค่ามวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง p ชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้ง)

$b_{BLG,p,i}$ = ค่ามวลชีวภาพใต้ดินของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง p ชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้ง)

a = พื้นที่แปลงตัวอย่าง p (ไร่)

i = ชั้นภูมิ 1, 2, 3,...m

p = แปลงตัวอย่าง 1, 2, 3,...n

5.1.4 การประเมินค่าปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ และค่าความไม่แน่นอน

$$C_{TREE} = \frac{44}{12} \times CF_{TREE} \times B_{TREE}$$

$$B_{TREE} = A \times b_{TREE}$$

$$b_{TREE} = \sum_{i=1}^{M} w_i \times b_{TREE,i}$$

$$u_c = \frac{t_{VAL} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{M} W_i^2 \times \frac{S_i^2}{n_i}}}{b_{TREE}}$$

เมื่อ

C_{TREE}	=	ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ของพื้นที่โครงการ(ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
CF_{TREE}	=	สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ (ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง)
B_{TREE}	=	ปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ของพื้นที่โครงการ (ตันน้ำหนักแห้ง)
A	=	พื้นที่โครงการ (ไร่)
b_{TREE}	=	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ของพื้นที่โครงการ (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)
W_i	=	อัตราส่วนพื้นที่ในชั้นภูมิ i (A_i)ต่อผลรวมของพื้นที่โครงการ (เช่น $W_i = A_i/A$) (ไม่มีหน่วย)
$b_{TREE,i}$	=	ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในชั้นภูมิ(ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)
u_C	=	ค่าความไม่แน่นอนของ C_{TREE}
t_{VAL}	=	ค่า t value ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 และ degree of freedom เท่ากับ n-M เมื่อ n คือ จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมดในชั้นภูมิ และ M คือ จำนวนชั้นภูมิทั้งหมดที่มีการประเมินชีวมวลของต้นไม้
S_i^2	=	ความแปรปรวนของมวลชีวภาพของต้นไม้ในแปลงตัวอย่างทั้งหมดในชั้นภูมิ i(ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)^2

n_i = จำนวนแปลงตัวอย่างในชั้นภูมิที่ i

44/12 = มวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคาร์บอน เพื่อแปลงหน่วยจากตันคาร์บอนเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์

ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในชั้นภูมิ และความแปรปรวน แสดงดังสมการ ดังนี้

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

$$S_i^2 = \frac{n_i \times \sum_{p=1}^{n_i} b_{TREE,p,i}^2 - (\sum_{p=1}^{n_i} b_{TREE,p,i})^2}{n_i \times (n_i - 1)}$$

เมื่อ

$b_{TREE,i}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในชั้นภูมิi (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

$b_{TREE,p,i}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในแปลงตัวอย่าง p ชั้นภูมิi(ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

S_i^2 = ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ในในชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)^2

n_i = จำนวนแปลงตัวอย่างในชั้นภูมิที่ i

หากค่าความไม่แน่นอน(u_c) มีค่ามากกว่าร้อยละ10 จะต้องนำค่าที่ได้ไปหักลดกับปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ของพื้นที่โครงการ (C_{TREE}) ตามอัตราส่วนในภาคผนวกที่ 2

5.2 การประเมินค่าจากการตรวจวัดด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างสองครั้ง (double sampling)

วิธีการนี้ เป็นการใช้ความสัมพันธ์ของตัวแปรทุติยภูมิที่สามารถวัดได้ง่ายกับมวลชีวภาพของตัวแปรเพื่อประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ โดยตัวแปรทุติยภูมิจะถูกวัดในแปลงตัวอย่างทั้งหมดในชั้นภูมิ เช่น การวัดพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้โดยการสำรวจระยะไกล เป็นต้น และมวลชีวภาพของต้นไม้จะถูกวัดในแปลงย่อยของแปลงตัวอย่างเดียวกันค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของมวลชีวภาพจะประมาณจากค่ามวลชีวภาพที่วัดได้ในแปลงย่อย และสร้างกราฟสมการการถดถอย(regression) เพื่อใช้ในการประมาณค่ามวลชีวภาพจากตัวแปรทุติภูมิ

วิธีการนี้จะสามารถใช้ได้เมื่อปรากฏความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างมวลชีวภาพและตัวแปรทุติยภูมิ

หมายเหตุวิธีการนี้จะใช้เมื่อหมู่ไม้มีการเติบโตและกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ (heterogenous) และไม่แสดงรูปแบบการแบ่งชั้นภูมิที่ชัดเจน วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทุติยภูมิกับค่ามวลชีวภาพในแปลงตัวอย่างมีค่าสูง

ตัวอย่างที่ 1 หมู่ไม้มีการเติบโตไม่สม่ำเสมอ (heterogenous) มากและไม่สามารถแสดงการจำแนกชั้นภูมิที่ชัดเจนได้ เจ้าของโครงการประเมินพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้จากแปลงตัวอย่าง 300 แปลงโดยใช้โดรนหรือเทคโนโลยีอื่น ๆ และดำเนินการประเมินมวลชีวภาพด้วยการวางแปลงตัวอย่างย่อยจำนวน 50 แปลง การออกแบบการสุ่มตัวอย่างสองครั้งนี้ลดความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยประมาณลงครึ่งหนึ่งเพื่อให้ได้ความแม่นยำแบบเดียวกับการวางแปลงสำรวจในแปลงตัวอย่างทั้งหมดซึ่งจะมีต้นทุนที่สูงกว่า

ตัวอย่างที่2 ในพื้นที่โครงการขนาดใหญ่หมู่ไม้มีการเติบโตไม่สม่ำเสมอ (heterogenous) และไม่แสดงการจำแนกชั้นภูมิที่ชัดเจนอย่างไรก็ตาม ข้อมูลดาวเทียมที่ครอบคลุมพื้นที่สามารถหาได้และมีต้นทุนต่ำดัชนี Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลดาวเทียมนี้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับมวลชีวภาพของต้นไม้การออกแบบการสุ่มตัวอย่างสองครั้งถูกนำมาใช้กับ NDVI ในแปลงตัวอย่าง 2,000แปลงและการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ทั้งหมดดำเนินการในแปลงตัวอย่าง 150 แปลงที่เลือกจากแปลงตัวอย่าง2,000 แปลงโดยใช้การสุ่มเลือกอย่างเป็นระบบการสุ่มตัวอย่างสองครั้งนี้ลดความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยโดยประมาณลงหนึ่งในสามเพื่อให้ได้ความแม่นยำแบบเดียวกันโดยการวางแปลงตัวอย่างเพื่อวัดอย่างเดียว จะต้องมีการวัดแปลงตัวอย่างถึง 300 แปลง ซึ่งจะมีต้นทุนที่สูงกว่า

ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในชั้นภูมิ และความแปรปรวน แสดงดังสมการ ดังนี้

$$b_{TREE,i} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} b_{TREE,p,i}}{n_i} + \beta \times (\bar{x}' - \bar{x})$$

$$S_i^2 = \frac{n_i \times \sum_{p=1}^{n_i} b_{TREE,p,i}^2 - \left(\sum_{p=1}^{n_i} b_{TREE,p,i}\right)^2}{n_i \times (n_i - 1)} \times (1 - (1 - \alpha) \times \rho^2)$$

เมื่อ

$b_{TREE,i}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในชั้นภูมิi (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

$b_{TREE,p,i}$ = ค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ในแปลงตัวอย่าง p ชั้นภูมิi (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

n_i = จำนวนแปลงตัวอย่างในชั้นภูมิที่ i

β = ความชันของกราฟการถดถอย (slop of regression) ระหว่างมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ในแปลงตัวอย่างกับตัวแปรทุติยภูมิ

$\bar{x}'$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทุติยภูมิจากแปลงตัวอย่างทั้งหมด

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทุติยภูมิจากแปลงตัวอย่างย่อยที่เก็บข้อมูลมวลชีวภาพของต้นไม้

S_i^2 = ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ในชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)^2

α = อัตราส่วนระหว่างจำนวนแปลงตัวอย่างย่อยที่เก็บข้อมูลต่อจำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมด (α<1)

ρ = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทุติยภูมิและค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ในแปลงตัวอย่าง ประมาณจากแปลงตัวอย่างย่อยทั้งหมด

ความชันของกราฟการถดถอย β และสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ρ แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวกที่ 3

การประเมินค่าปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ และค่าความไม่แน่นอน ใช้สมการคำนวณเช่นเดียวกับการประเมินค่าจากการตรวจวัดในแปลงตัวอย่างแบบเป็นชั้นภูมิ (stratified random sampling) (หัวข้อ5.1.4 การประเมินค่าปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ และค่าความไม่แน่นอน)

หากค่าความไม่แน่นอน (u_c) มีค่ามากกว่าร้อยละ 10 จะต้องนำค่าที่ได้ไปหักลดกับปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ของพื้นที่โครงการ (C_{TREE}) ตามอัตราส่วนในภาคผนวกที่ 2

5.3 การประเมินจากสัดส่วนการปกคลุมของเรือนยอด

วิธีการนี้จะใช้***เฉพาะกรณีฐาน***ที่มีการปกคลุมของเรือนยอดของไม้ยืนต้นต่ำกว่าร้อยละ 20 ของนิยามป่าไม้ ซึ่งประเทศไทยนิยามว่า “ป่าไม้” ต้องมีการปกคลุมของเรือนยอดตั้งแต่ร้อยละ30 ดังนั้น การดำเนินโครงการปลูกป่าสามารถใช้การประเมินจากสัดส่วนของการปกคลุมของเรือนยอดได้เมื่อกรณีฐานมีการปกคลุมของเรือนยอดของไม้ยืนต้นในพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ6 (หมายถึง การปกคลุมของเรือนยอดต่ำกว่าร้อยละ 20 ของร้อยละ30 = 0.2x0.3 = 0.06)

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้จะประเมินจากสัดส่วนการปกคลุมของเรือนยอดก่อนเริ่มดำเนินโครงการ โดยพื้นที่โครงการต้องมีการแบ่งชั้นตามการปกคลุมของเรือนยอด

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของไม้ยืนต้นในกรณีฐานแสดงดังสมการ ดังนี้

$$C_{TREE_BSL} = \sum_{i=1}^{M} C_{TREE_{BSL},i}$$

$$C_{TREE_{BSL},i} = \frac{44}{12} \times CF_{TREE} \times b_{FOREST} \times (1 + R_{TREE}) \times CC_{TREE_{BSL},i} \times A_i$$

เมื่อ

C_{TREE_BSL} = ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของต้นไม้ในกรณีฐาน

(ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

$C_{TREE_{BSL},i}$ = ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพต้นไม้ในกรณีฐานในชั้นภูมิ i (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

CF_{TREE} = สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้(ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง)

b_{FOREST} = ค่าคงที่เฉลี่ยของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าไม้ประเภทเดียวกัน (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

R_{TREE} = สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้ (root-shoot ratio) ในกรณีฐาน (ไม่มีหน่วย)

$CC_{TREE_{BSL},i}$ = การปกคลุมของเรือนยอด (crown cover) ของไม้ยืนต้นในกรณีฐานในชั้นภูมิ i ณ ช่วงเริ่มต้นโครงการแสดงเป็นเศษส่วน (เช่นการปกคลุมของเรือนยอดร้อยละ 10 หมายถึง = 0.10) (ไม่มีหน่วย)

A_i = พื้นที่กรณีฐานในชั้นภูมิ i จำแนกตามการปกคลุมของเรือนยอดของต้นไม้เมื่อเริ่มกิจกรรมโครงการ (ไร่)

5.4 การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จากแบบจำลองการเติบโตและพัฒนาการของหมู่ไม้

วิธีนี้ใช้สำหรับการคาดการณ์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนจาก ***การดำเนินโครงการ***โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่มีอยู่ร่วมกับแบบจำลองการเติบโตของต้นไม้เพื่อคาดการณ์การเติบโตของต้นไม้หรือหมู่ไม้ และคาดการณ์ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้จากสมการข้างต้น โดยผู้พัฒนาโครงการต้องเลือกแบบจำลองการเติบโตของต้นไม้และการพัฒนาของหมู่ไม้ที่ดีที่สุดที่มีอยู่นำไปใช้กับพื้นที่โครงการและชนิดของต้นไม้

พารามิเตอร์ของหมู่ไม้ เช่น ปริมาณไม้ (จำนวนต้นต่อไร่หรือพื้นที่หน้าตัดต่อไร่) โครงสร้างอายุ และองค์ประกอบของชนิด ณ ช่วงเวลาต่างๆจำลองจากแผนและการจัดการหมู่ไม้ (ความหนาแน่น อัตราการรอดตาย การลิดกิ่งและการตัดขยายระยะ เป็นต้น)

การเติบโตของต้นไม้ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความสูง ถูกจำลองโดยข้อมูลการเติบโตของต้นไม้ในอดีต เช่น กราฟเส้นผ่านศูนย์กลางกับอายุ ตารางผลผลิต กราฟผลผลิต เป็นต้น ในขณะเดียวกันก็พิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องของพื้นที่ด้วย เช่น ลักษณะดิน ภูมิประเทศ ความลาดชัน ปริมาณน้ำฝน และพารามิเตอร์ของหมู่ไม้

5.5 อื่นๆ ตามที่ อบก. พิจารณาเห็นชอบ

ผู้พัฒนาโครงการสามารถเสนอวิธีการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้วิธีการอื่นได้ โดยเสนอให้ อบก. พิจารณาและให้ความเห็นชอบ และต้องแสดงวิธีการคำนวณ รวมถึงการประเมินความไม่แน่นอน วิธีการติดตามผล และการทวนสอบด้วย

6. การประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของต้นไม้

การคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้จะประมาณจากความแตกต่างของปริมาณคาร์บอน2 ช่วงเวลา ซึ่งกำหนดให้การตรวจวัดทั้งสองครั้งมีความเป็นอิสระ และสามารถใช้วิธีการประเมินการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ที่แตกต่างกันได้ ซึ่งการประเมินการเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นแนวทางแก่โครงการที่มีการขอรับรองปริมาณคาร์บอนหลายครั้งในช่วงระยะเวลาโครงการดำเนินการตามวิธีการใดวิธีการหนึ่ง ดังนี้

- การประเมินการเปลี่ยนแปลงจากการวัดซ้ำในแปลงตัวอย่าง
- ความแตกต่างของการประเมินการกักเก็บคาร์บอน
- การประเมินจากสัดส่วนของการปกคลุมของเรือนยอด
- การแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น “ไม่ลดลงจากเดิม”
- อื่น ๆ ตามที่ อบก. พิจารณาเห็นชอบ

6.1 การประเมินการเปลี่ยนแปลงจากการวัดซ้ำในแปลงตัวอย่าง

วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะกับการประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้เพื่อติดตามกิจกรรมโครงการโดยการวัดซ้ำในแปลงตัวอย่างระหว่างช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกันและการเปลี่ยนแปลงของมวลชีวภาพนั้นได้มาจากมวลชีวภาพต่อพื้นที่ของแปลงตัวอย่างในครั้งที่สองลบด้วยมวลชีวภาพต่อพื้นที่ของแปลงตัวอย่างในครั้งแรก

วิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพเมื่อพื้นที่โครงการมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องสัมพันธ์กัน เช่น ไม่มีการตัดฟันไม้ออกจากพื้นที่ หรือไม่มีการปลูกต้นไม้เพิ่มในพื้นที่ภายหลังขึ้นทะเบียนโครงการ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนและการประเมินความไม่แน่นอนดำเนินการดังนี้

$$\Delta C_{TREE} = \frac{44}{12} \times (CF_{TREE} \times \Delta B_{TREE})$$

$$\Delta B_{TREE} = A \times \Delta b_{TREE}$$

$$\Delta b_{TREE} = \sum_{i=1}^{M} w_i \times \Delta b_{TREE,i}$$

$$u_{\Delta C} = \frac{t_{VAL} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{M} W_i^2 \times \frac{S_{\Delta,i}^2}{n_i}}}{|\Delta b_{TREE}|}$$

เมื่อ

ΔC_{TREE} = การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ระหว่างสองเวลา t_1 และ

t_2 (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

CF_{TREE} = สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ (ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง)

ΔB_{TREE} = การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ของพื้นที่โครงการ (ตันน้ำหนักแห้ง)

A = พื้นที่โครงการ (ไร่)

Δb_{TREE} = การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในต้นไม้ต่อไร่ของพื้นที่โครงการ (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

W_i = อัตราส่วนพื้นที่ในชั้นภูมิi (Ai)ต่อผลรวมของพื้นที่โครงการทั้งหมด (เช่น Ai/A); ไม่มีหน่วย

$\Delta b_{TREE,i}$ = การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ ในชั้นภูมิที่ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

$u_{\Delta C}$ = ค่าความไม่แน่นอนใน ΔC_{TREE}

t_{VAL} = ค่า t value ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 และ degree of freedom เท่ากับn-M เมื่อ n คือ จำนวนแปลงตัวอย่างทั้งหมดในชั้นภูมิ และ M คือ จำนวนชั้นภูมิทั้งหมดที่มีการประเมินชีวมวลของต้นไม้

$S_{\Delta,i}^2$ = ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ภายในชั้นภูมิ (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)^2

n_i = จำนวนแปลงตัวอย่างในชั้นภูมิที่ i เมื่อมีการวัดมวลชีวภาพของต้นไม้อีกครั้ง

การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่และความแปรปรวนที่เกี่ยวข้องประมาณการดังนี้

$$\Delta b_{TREE,i} = \frac{\sum_{p=1}^{n_i} \Delta b_{TREE,p,i}}{n_i}$$

$$S_{\Delta,i}^2 = \frac{n_i \times \sum_{p=1}^{n_i} \Delta b_{TREE,p,i}^2 - \left(\sum_{p=1}^{n_i} \Delta b_{TREE,p,i}\right)^2}{n_i \times (n_i - 1)}$$

เมื่อ

$\Delta b_{TREE,i}$ = การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ในชั้นภูมิที่ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

$\Delta b_{TREE,p,i}$ = การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ต่อไร่ในแปลงตัวอย่าง p ชั้นภูมิที่ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

$S_{\Delta,i}^2$ = ความแปรปรวนของการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของมวลชีวภาพของ

ต้นไม้ต่อไร่ภายในชั้นภูมิi (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)[2]

n_i = จำนวนแปลงตัวอย่างในชั้นภูมิที่ i เมื่อมีการวัดมวลชีวภาพของต้นไม้อีกครั้ง

หาก $u_{\Delta C}$ที่ประเมินจากสมการที่ มีค่ามากกว่า 10% จะต้องนำค่าที่ได้ไปหักลดกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในต้นไม้(ΔC_{TREE})ตามอัตราส่วนในภาคผนวกที่ 2

6.2 ความแตกต่างของการประเมินการกักเก็บคาร์บอน

วิธีการนี้ เป็นการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ตามความแตกต่างระหว่างผลการประเมินการกักเก็บคาร์บอนจำนวนสองครั้ง ซึ่งวิธีการนี้ใช้ได้กับกรณีที่ค่ามวลชีวภาพจากการประเมินทั้งสองครั้งไม่มีความสัมพันธ์กัน เช่น มีการเก็บเกี่ยวหรือรบกวนในชั้นภูมิหลังจากการประเมินครั้งแรก ทำให้เกิดการกระจายของมวลชีวภาพในชั้นภูมิใหม่

การประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้และค่าความไม่แน่นอน แสดงดังสมการ ดังนี้

$$\Delta C_{TREE} = C_{Tree,t_2} - C_{TREE,t_1}$$

$$u_{\Delta C} = \frac{\sqrt{(u_1 \times C_{TREE,t1})^2 + (u_2 \times C_{TREE,t2})^2}}{|\Delta C_{TREE}|}$$

เมื่อ

ΔC_{TREE} = การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ระหว่างสองเวลา t_1 และ t_2 (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

C_{TREE,t_1} = ปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ณ เวลา t_1 (ตันคาร์บอนไดออกไซด์ เทียบเท่า)

หมายเหตุ

1. การทวนสอบครั้งแรก C_{TREE,t_1}กำหนดให้เท่ากับปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในต้นไม้ก่อนเริ่มโครงการ $(C_{TREE,t_1} = C_{TREE_BSL})$

อย่างไรก็ตาม อาจกำหนดค่าเท่ากับ 0 ถ้าเข้าข่ายตามเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนเป็นศูนย์ในกรณีฐาน

2. แม้ว่า C_{TREE,t_1} ถูกทำให้เป็นค่าอนุรักษ์นิยม (conservative) จากการทวนสอบครั้งก่อนหน้า แต่การประเมินในครั้งนี้ให้ใช้ค่า C_{TREE,t_1}ที่ตรวจวัดได้ (ไม่ถูกหักลด)

C_{TREE,t_2} = ปริมาณคาร์บอนในต้นไม้ณ เวลา t_2 (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)

$u_{\Delta C}$ = ค่าความไม่แน่นอนของ ΔC_{TREE}

u_2, u_1 = ค่าความไม่แน่นอนของ C_{TREE,t_2} และ C_{TREE,t_1} ตามลำดับ

หากความไม่แน่นอน$(u_{\Delta C})$ ที่ประเมินมีค่ามากกว่า 10% จะต้องนำค่าที่ได้ไปหักลดกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในต้นไม้(ΔC_{TREE}) ตามอัตราส่วนในภาคผนวกที่ 2

6.3 การประเมินจากสัดส่วนการปกคลุมเรือนยอดของไม้ยืนต้น

วิธีการนี้จะใช้เฉพาะ***การประเมินการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนในกรณีฐาน***ที่มีการปกคลุมของเรือนยอดของไม้ยืนต้นต่ำกว่าร้อยละ 20 ซึ่งประเทศไทยนิยามว่า “ป่าไม้” ต้องมีการปกคลุมของเรือนยอดตั้งแต่ร้อยละ 30 ดังนั้น การดำเนินโครงการปลูกป่าสามารถใช้การประเมินจากสัดส่วนของการปกคลุมของเรือนยอดได้เมื่อกรณีฐานมีการปกคลุมของเรือนยอดของไม้ยืนต้นในพื้นที่น้อยกว่าร้อยละ6 (หมายถึง การปกคลุมของเรือนยอดต่ำกว่าร้อยละ20 ของร้อยละ30 = 0.2x0.3 = 0.06)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของไม้ยืนต้นในกรณีฐานดำเนินการดังนี้

$$\Delta C_{TREE_BSL} = \sum_{i=1}^{M} \Delta C_{TREE_{BSL},i}$$

$$\Delta C_{TREE_{BSL},i} = \frac{44}{12} \times CF_{TREE} \times \Delta b_{FOREST} \times (1 + R_{TREE}) \times CC_{TREE_{BSL},i} \times A_i$$

เมื่อ

ΔC_{TREE_BSL} = การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยรายปีของปริมาณคาร์บอนของต้นไม้กรณีฐาน (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี)

$\Delta C_{TREE_{BSL},i}$ = การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยรายปีของปริมาณคาร์บอนของต้นไม้กรณีฐานในชั้นภูมิ i(ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี)

CF_{TREE} = สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้(ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง)

Δb_{FOREST} = ค่าคงที่ของความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าไม้ประเภทเดียวกัน (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อปี)

หมายเหตุ มวลชีวภาพของต้นไม้อาจถึงสภาวะคงที่ซึ่งเกิดจากช่วงการเจริญเติบโตที่คงที่ของหมู่ไม้จะมีค่าเป็นศูนย์หรือไม่มีนัยสำคัญซึ่งเป็นลักษณะทางชีววิทยาการเติบโตของต้นไม้ ประเมินจากค่าคงที่ของอัตราความเพิ่มพูนของมวลชีวภาพ

ดังนั้น Δb_{FOREST}กำหนดให้เท่ากับ0 เมื่อมวลชีวภาพของต้นไม้ในกรณีฐานถึงสภาวะคงที่โดยระยะเวลาที่มวลชีวภาพคงที่คือ 20 ปี หลังจากเริ่มโครงการปลูกป่า เว้นแต่จะมีการให้ข้อมูลที่โปร่งใสและตรวจสอบได้เพื่อพิสูจน์ปีที่แตกต่างกัน

R_{TREE} = สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้ (Root-shoot ratio) ของต้นไม้ในกรณีฐาน (ไม่มีหน่วย)

$CC_{TREE_{BSL},i}$ = การปกคลุมของเรือนยอด (crown cover) ของไม้ยืนต้นในกรณีฐานในชั้นภูมิ i ในช่วงเริ่มต้นโครงการแสดงเป็นเศษส่วน (เช่นการปกคลุมของเรือนยอดร้อยละ 10 หมายถึง = 0.10 (ไม่มีหน่วย)

A_i = พื้นที่กรณีฐานในชั้นภูมิ i (ไร่) จำแนกตามการปกคลุมของเรือนยอดของต้นไม้เมื่อเริ่มกิจกรรมโครงการ

6.4 การแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น “ไม่ลดลงจากเดิม”

วิธีการนี้จะใช้เฉพาะการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในต้นไม้จาก***การดำเนินโครงการ*** โดยเจ้าของโครงการจะต้องแสดงให้เห็นว่าปริมาณคาร์บอนในไม้ยืนต้นในชั้นภูมิใดชั้นภูมิหนึ่งหรือทั้งหมดไม่ลดลงจากการตรวจสอบครั้งก่อนหน้าโดยหาความสัมพันธ์จากมวลชีวภาพของต้นไม้ และพิสูจน์ว่า

1) ไม่มีการตัดฟันไม้ออกจากพื้นที่ภายหลังจากการทวนสอบครั้งก่อนหน้า
2) หมู่ไม้ไม่ถูกรบกวนจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น โรคและแมลง ไฟป่า เป็นต้น ซึ่งจะก่อให้เกิดการลดลงของปริมาณคาร์บอนในหมู่ไม้
3) ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลหรือการสำรวจเพื่อแสดงการปกคลุมของเรือนยอดหรือการคงอยู่ของหมู่ไม้ภายหลังจากการทวนสอบครั้งก่อนหน้า

ในกรณีที่แสดงให้เห็นว่าเป็นไปตามเงื่อนไขทั้งสามข้างต้นในแต่ละชั้นภูมิของหมู่ไม้ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนของต้นไม้ในชั้นภูมินั้นอาจยึดหลักความอนุรักษ์โดยประเมินเป็นศูนย์

หมายเหตุกรณีนี้เหมาะสมกับกรณีที่ผู้พัฒนาโครงการต้องการยื่นเอกสารในขั้นตอนการทวนสอบและรับรองปริมาณก๊าซเรือนกระจก ณ เวลาที่มวลชีวภาพของหมู่ไม้เพิ่มขึ้น แต่อาจไม่คุ้มค่าหากต้องมีการสำรวจ เช่น เมื่อต้องมีการทวนสอบและรับรองเครดิตเป็นระยะๆ เพื่อตรวจสอบความใช้ได้ของเครดิตที่ได้รับการรับรองแล้ว และคาดว่าจะมีเครดิตที่ได้รับการรับรองใหม่ไม่มากนัก

6.5 อื่น ๆ ตามที่ อบก. พิจารณาเห็นชอบ

ผู้พัฒนาโครงการสามารถเสนอวิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของต้นไม้วิธีการอื่นได้ โดยเสนอให้ อบก. พิจารณาและให้ความเห็นชอบ และต้องแสดงวิธีการคำนวณ รวมถึงการประเมินความไม่แน่นอน วิธีการติดตามผล และการทวนสอบด้วย

7. การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของไม้รุ่น ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนของไม้รุ่น ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ใช้วิธีการประเมินจากแปลงตัวอย่าง เหมือนกับการคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ ได้แก่ การวางแปลงสำรวจแบบเป็นชั้นภูมิและการวัดซ้ำในแปลงตัวอย่างถาวร โดยใช้แปลงตัวอย่างเดียวกับการสำรวจต้นไม้ โดยไม่หักลดค่าความไม่แน่นอน ดังนี้

การประเมินปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้รุ่นสมการดังนี้

$$C_{SAP} = \frac{44}{12} \times CF_{SAP} \times B_{SAP}$$

$$B_{SAP} = A \times b_{SAP}$$

$$b_{SAP} = \sum_{i=1}^{M} w_i \times b_{SAP,i}$$

เมื่อ

C_{SAP}	=	ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้รุ่น (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
CF_{SAP}	=	สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้(ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง)
B_{SAP}	=	ปริมาณมวลชีวภาพในไม้รุ่น (ตันน้ำหนักแห้ง)
A	=	พื้นที่ในชั้นภูมิ (ไร่)
b_{SAP}	=	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพในไม้รุ่นต่อไร่ (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)
w_i	=	อัตราส่วนพื้นที่ในชั้นภูมิ i (Ai) ต่อผลรวมของพื้นที่โครงการทั้งหมด (เช่น Ai/A) (ไม่มีหน่วย)
$b_{SAP,i}$	=	ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพในไม้รุ่นต่อไร่ในชั้นภูมิ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

8. การประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของไม้รุ่น

การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนของไม้รุ่นจากการวางแปลงตัวอย่าง ดังนี้

$$\Delta C_{SAP} = \frac{44}{12} \times (CF_{SAP} \times \Delta B_{SAP})$$

$$\Delta B_{SAP} = A \times \Delta b_{SAP}$$

$$\Delta b_{SAP} = \sum_{i=1}^{M} W_i \times \Delta b_{SAP,i}$$

เมื่อ

ΔC_{SAP}	=	การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในไม้รุ่น (ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า)
CF_{SAP}	=	สัดส่วนปริมาณคาร์บอนในเนื้อไม้ (ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง)
ΔB_{SAP}	=	การเปลี่ยนแปลงปริมาณมวลชีวภาพในไม้รุ่น (ตันน้ำหนักแห้ง)
A	=	พื้นที่โครงการ (ไร่)
Δb_{SAP}	=	การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยปริมาณมวลชีวภาพในไม้รุ่นต่อไร่ (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)
W_i	=	อัตราส่วนพื้นที่ในชั้นภูมิi (Ai)ต่อผลรวมของพื้นที่โครงการทั้งหมด (เช่น Ai/A)(ไม่มีหน่วย)
$\Delta b_{SAP,i}$	=	การเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพของไม้รุ่นต่อไร่ในชั้นภูมิที่ i (ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่)

9. พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

9.1 พารามิเตอร์ที่ไม่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	CF_{TREE}, CF_{SAP}
หน่วย	ตันคาร์บอนต่อตันน้ำหนักแห้ง
ความหมาย	สัดส่วนคาร์บอนในเนื้อไม้
แหล่งของข้อมูล	ทางเลือกที่ 1 2019 refinement to the 2006 ipcc guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use ทางเลือกที่ 2 ตามที่ อบก. กำหนด ในคู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร ทางเลือกที่ 3 ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่ดำเนินโครงการ

หมายเหตุ	-

พารามิเตอร์	R_{TREE}, R_{SAP}
หน่วย	ตันน้ำหนักแห้งของรากต่อตันน้ำหนักแห้งของต้น
ความหมาย	สัดส่วนน้ำหนักแห้งของรากต่อต้นของต้นไม้
แหล่งของข้อมูล	ทางเลือกที่ 1 2019 refinement to the 2006 ipcc guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4Agriculture, Forestry and Other Land Use ทางเลือกที่ 2 ตามที่ อบก. กำหนด ในคู่มืออ้างอิงการพัฒนา โครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร ทางเลือกที่ 3 ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่ดำเนินโครงการ
หมายเหตุ	-

พารามิเตอร์	44/12
หน่วย	-
ความหมาย	มวลโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ต่อคาร์บอนเพื่อแปลงหน่วยจากตันคาร์บอนเป็นตันคาร์บอนไดออกไซด์
แหล่งของข้อมูล	-
หมายเหตุ	-

พารามิเตอร์	b_{FOREST}
หน่วย	ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่
ความหมาย	ค่าคงที่เฉลี่ยของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าไม้ประเภทเดียวกัน
แหล่งของข้อมูล	ทางเลือกที่ 1 2019 refinement to the 2006 ipcc guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use ทางเลือกที่ 2 ตามที่ อบก. กำหนด ในคู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร ทางเลือกที่ 3 ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่ดำเนินโครงการ
หมายเหตุ	-

พารามิเตอร์	Δb_{FOREST}
หน่วย	ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ต่อปี
ความหมาย	ค่าคงที่ของความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของพื้นที่ป่าไม้ประเภทเดียวกัน
แหล่งของข้อมูล	ทางเลือกที่ 1 2019 refinement to the 2006 ipcc guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use ทางเลือกที่ 2 ตามที่ อบก. กำหนด ในคู่มืออ้างอิงการพัฒนาโครงการลดก๊าซเรือนกระจกภาคสมัครใจตามมาตรฐานของประเทศไทย สาขาป่าไม้และการเกษตร ทางเลือกที่ 3 ค่าที่ได้จากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์ในบทความทางวิชาการที่ได้รับการยอมรับและสามารถระบุได้ว่าเหมาะสมกับพื้นที่ดำเนินโครงการ
หมายเหตุ	-

9.2 พารามิเตอร์ที่ต้องติดตามผล

พารามิเตอร์	A
หน่วย	ไร่
ความหมาย	พื้นที่โครงการทั้งหมด
แหล่งของข้อมูล	- สำรวจในพื้นที่ - ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ
ความถี่ในการติดตาม	ตามรอบของการประเมินติดตามผลเพื่อขอการรับรอง
หมายเหตุ	-

พารามิเตอร์	Ai
หน่วย	ไร่
ความหมาย	พื้นที่แปลงตัวอย่างที่ทำการสำรวจข้อมูลตัวอย่างเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณการกักเก็บคาร์บอน
แหล่งของข้อมูล	- การกำหนดขนาดพื้นที่แปลงตัวอย่างของโครงการ - ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ
ความถี่ในการติดตาม	ตามรอบของการประเมินติดตามผลเพื่อขอการรับรอง
หมายเหตุ	-

พารามิเตอร์	$CC_{TREE_{BSL},i}$
หน่วย	ไม่มีหน่วย
ความหมาย	การปกคลุมของเรือนยอด (crown cover) ของไม้ยืนต้นในชั้นภูมิ i ในกรณีฐาน
แหล่งของข้อมูล	- สำรวจในพื้นที่ - ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม/ภาพถ่ายทางอากาศ
ความถี่ในการติดตาม	ตรวจวัดเพียงครั้งเดียว ก่อนเริ่มต้นโครงการ
หมายเหตุ	-

10. 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) T-VER tool: T-VER-TOOL-FOR/AGR-01 การคำนวณการกักเก็บคาร์บอนของต้นไม้ (Calculation for Carbon Sequestration) (ฉบับที่ 4)
3) 2006 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) คู่มือศักยภาพของพรรณไม้สำหรับส่งเสริมภายใต้โครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาดภาคป่าไม้ (2554)

ภาคผนวก

ภาคผนวกที่ 1 นิยามที่เกี่ยวข้อง

ความไม่แน่นอน (uncertainly)	ความไม่แน่นอนของค่ากลางของพารามิเตอร์ที่ประมาณไว้ซึ่งเท่ากับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานโดยประมาณของค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 หารด้วยค่าเฉลี่ย แสดงเป็นร้อยละ เพื่อใช้ประเมินและควบคุมความไม่แน่นอนของการสุ่มตัวอย่าง ตัวอย่าง ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ = 45.328 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ จำนวนแปลงตัวอย่าง (Sample size) = 34 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 12.776ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานโดยประมาณของค่ากลาง (The estimated standard error of the mean: SEM) = $12.776/\sqrt{34}$ = 2.191 ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ SEM ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 = $2.191 \times t_{(0.1,33)}$ = 2.191 x 1.692 = 3.707ตันน้ำหนักแห้งต่อไร่ ค่าเฉลี่ยมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้มีความไม่แน่นอน = (3.707/45.328) ×100 = 8.18 %
ค่าอนุรักษ์นิยม (conservative value of a parameter)	ค่าซึ่งเมื่อใช้ในการคำนวณมีแนวโน้มที่จะส่งผลให้เกิดการประเมินค่าไม่สูงเกินไป หรือ การประเมินพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต้องยึดหลักความอนุรักษ์
ชนิด (species)	ชนิดของพันธุ์พืชที่ปลูกในพื้นที่โครงการ สามารถอ้างอิงกลุ่มชนิดที่ใกล้เคียงกัน ในการประเมินมวลชีวภาพ เช่น การเลือกใช้สมการแอลโลเมตรี เป็นต้น
ต้นไม้ (tree)	ต้นไม้ หรือ ไม้ยืนต้น หรือไม้ที่มีเนื้อไม้ และอายุยืนยาวหลายปีมีความสูงเกิน 1.30 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร ตั้งแต่ 4.50 เซนติเมตรขึ้นไปยกเว้นไม้พุ่ม

มวลชีวภาพต่อพื้นที่ (plot biomass)	มวลชีวภาพของต้นไม้ต่อพื้นที่ 1 ไร่
มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (aboveground biomass)	น้ำหนักแห้งของทุกส่วนของต้นไม้ที่อยู่เหนือพื้นดิน ได้แก่ ลำต้น กิ่ง ใบ ดอก และผล
มวลชีวภาพใต้ดิน (belowground biomass)	น้ำหนักแห้งของส่วนของต้นไม้ที่อยู่ใต้ดิน กรณีป่าชายเลน หมายถึง มวลชีวภาพของรากทั้งใต้ดิน และบนดิน
ไม้รุ่น (sapling)	ต้นไม้ที่เป็นไปตามคำจำกัดความของต้นไม้ ซึ่งมีความสูงเกิน 1.30 เมตร แต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูง 1.30 เมตร น้อยกว่า 4.50 เซนติเมตร
สมการแอลโลเมตรี (allometric equations)	สมการแอลโลเมตรี คือ สมการความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลาง และ/หรือ ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ ซึ่งใช้คำนวณน้ำหนักแห้งของต้นไม้
เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (Diameter at Breath Height: DBH)	เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้วัดที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน หรือตามเงื่อนไขสมการประเมินมวลชีวภาพที่เลือกใช้กำหนดไว้

ภาคผนวกที่ 2 การใช้ส่วนลดความไม่แน่นอน

ผลการคำนวณที่มีความไม่แน่นอนสูงสามารถนำไปใช้ได้ต่อเมื่อการประเมินดังกล่าวเป็นแบบอนุรักษ์นิยมภาคผนวกนี้แสดงขั้นตอนสำหรับการใช้ส่วนลดความไม่แน่นอนเพื่อทำให้ค่าการประเมินของพารามิเตอร์เป็นแบบอนุรักษ์นิยม (เช่น ปริมาณคาร์บอนในต้นไม้)

เมื่อค่าความไม่แน่นอนในค่าเฉลี่ยของการประเมินของพารามิเตอร์มากกว่าร้อยละ 10 ค่าเฉลี่ยจะถูกปรับเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากร้อยละของความไม่แน่นอน ดังนี้

ปัจจัยส่วนลดของความไม่แน่นอน (uncertainty discount factors)

ความไม่แน่นอน (Uncertainty: U)	ส่วนลด (ร้อยละของความไม่แน่นอน)	การนำไปใช้
U ≤ 10%	0%	**<u>ตัวอย่าง</u>** ค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพ=60 ± 9 ตันน้ำหนักแห้ง/ไร่ ค่าความไม่แน่นอน = 9/60 x 100 = 15% ส่วนลด = 25% x 9 = 2.25 ตันน้ำหนักแห้ง/ไร่ การคำนวณส่วนลดโดยยึดหลักความอนุรักษ์ ดังนี้ กรณีฐาน = 60+2.25 = 62.25 ตันน้ำหนักแห้ง/ไร่ การดำเนินโครงการ = 60-2.25 = 57.75 ตันน้ำหนักแห้ง/ไร่
10<U≤15	25%	
15<U≤20	50%	
20<U≤30	75%	
U>30	100%	

ภาคผนวกที่ 3 การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และความชันของกราฟการถดถอย

$$\beta = \rho \times \frac{S_y}{S_x}$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{n}\{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$$

เมื่อ β = ความชันของกราฟการถดถอย

ρ = ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่าง

S_y, S_x = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

x_i = ตัวแปรอิสระ(*x*)

$\bar{x}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ (*x*)

y_i = ตัวแปรตาม(*y*)

$\bar{y}$ = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม (*y*)

n = จำนวนค่าข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูล

บันทึกการแก้ไข

ฉบับที่	แก้ไขครั้งที่	วันที่บังคับใช้	รายการแก้ไข
01	-	1 มีนาคม 2566	ปรับแก้ไขจาก TVER-TOOL-01-02