

# การประมาณมวลชีวภาพและ การกักเก็บคาร์บอนในสวนป่า



โดย

อำไพ พรลีแสงสุวรรณ

สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล

สมชาย นองเนื่อง

ประสิทธิ์ เพียรอรุณรักษ์

จำนรรจ์ เพียรอรุณรักษ์

พงษ์ศักดิ์ ฉัตรเตชะ

วรพจน์ คำใบ

ศูนย์วนวัฒนวิจัยภาคเหนือ กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

2557

## คำนำ

การประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่า เป็นการรวบรวมชุดความรู้จากตำรา เอกสารวิชาการ และประสบการณ์ตรงที่ได้จากการปฏิบัติ เนื้อหาสาระได้อธิบายวิธีการสร้างสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพสวนป่าเป็นขั้นตอนอย่างละเอียด เพื่อนำมาใช้ประมาณผลผลิตสวนป่าจากสมการที่สร้างขึ้นเอง รวมทั้งวิธีการประมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในสวนป่าด้วย นอกจากนี้ ตำราเล่มนี้ยังได้รวบรวมสมการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของป่าชนิดต่างๆ ในประเทศไทย และสวนป่าปลูกหลากหลายชนิดในหลายชั้นอายุ ซึ่งสามารถนำมาใช้ประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพจากสมการที่มีนักวิชาการสร้างขึ้นมาก่อนแล้ว ผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำไปปฏิบัติ และสร้างองค์ความรู้ใหม่ๆ ในการประมาณผลผลิตของป่าต่อไป

อำไพ พรสีแสงสุวรรณ

4 พฤศจิกายน 2557

## การประมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่า

### บทนำ

การปลูกสร้างสวนป่าเพื่อเศรษฐกิจ เป็นการปลูกป่าเพื่อหวังผลตอบแทนจากการปลูก ในลักษณะของการนำผลผลิตจากสวนป่าออกมาจำหน่ายเป็นรายได้ในรูปแบบต่างๆ เช่น ไม้ซุง ไม้แปรรูป เสาเข็ม หรือการปลูกสร้างสวนป่าเพื่อขายคาร์บอนเครดิต เป็นต้น การประเมินกำลังผลิตของสวนป่าจึงเป็นข้อมูลที่จะช่วยในการตัดสินใจลงทุนปลูกสร้างสวนป่า ผลผลิตของสวนป่าสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ประโยชน์ หากต้องการนำไปใช้ในรูปแบบไม้ซุงหรือไม้แปรรูปจะประมาณผลผลิตเป็นปริมาตรเนื้อไม้ ส่วนการประมาณผลผลิตสวนป่าในรูปแบบมวลชีวภาพหรือน้ำหนักแห้งจะใช้ในกรณีเป็นการปลูกสร้างสวนป่าเพื่อขายคาร์บอนเครดิต ซึ่งเป็นโครงการกลไกการพัฒนาที่สะอาด หรือ CDM (Clean Development Mechanism) นำมาใช้เป็นกลไกสำหรับประเทศที่พัฒนาแล้วและประสบปัญหาในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก สามารถซื้อโควตาคาร์บอนจากผู้ประกอบการในประเทศกำลังพัฒนาที่มีโครงการพัฒนาที่สะอาด

การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของสวนป่า ใช้วิธี stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) ซึ่งดำเนินการโดยสุ่มตัดตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ทั้งขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ วัดมิติ (dimension) ต่างๆ ของตัวแทนต้นไม้ และทำการตัดทอนลำต้นออกเป็นท่อนๆ ไปตลอดความยาวของลำต้น เพื่อนำไปศึกษาปริมาณการกระจายของมวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง และใบของต้นไม้ รวมทั้งการชั่งตวงเพื่อศึกษามวลชีวภาพของราก ข้อมูลตัวแทนต้นไม้ที่ได้สามารถนำไปจัดสร้างสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบ allometric equation ในรูปของสมการยกกำลัง ซึ่งสมการที่ได้สามารถนำไปประเมินผลผลิตของสวนป่า และประมาณการกักเก็บคาร์บอนในมวลชีวภาพของสวนป่า

### การสร้างสมการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพในสวนป่า

การสร้างสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ สามารถดำเนินการตามวิธี stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) โดยใช้ตัวแทนของต้นไม้ในพื้นที่เพื่อนำไปจัดสร้างสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ โดยการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบ allometric equation ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation:  $Y = aX^b$ ) การดำเนินการมีหลายขั้นตอน ดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์เก็บข้อมูลในสวนป่า
2. การเก็บข้อมูลเบื้องต้น
3. การบันทึกข้อมูล
4. การจัดชั้นความสูงและความโตของต้นไม้ในสวนป่า
5. การเก็บข้อมูลในสวนป่าโดยวิธี Stratified clip technique
6. การวิเคราะห์ข้อมูล
7. การสร้างสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ
8. การปรับแก้สมการ
9. การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพสวนป่า
10. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพ
11. การประมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

## 1. เตรียมอุปกรณ์เก็บข้อมูลในสวนป่า

อุปกรณ์จำเป็นที่ต้องเตรียมให้พร้อมก่อนเข้าไปเก็บข้อมูลในสวนป่า ประกอบด้วย

- |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><u>อุปกรณ์วัด</u></b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. เครื่องมือวัดความสูง</li> <li>2. เครื่องมือวัดความโต</li> <li>3. ไม้วัด 1.30 เมตร</li> <li>4. สายวัด 1 เมตร</li> <li>5. เทปวัด 20 เมตร</li> <li>6. เทปวัด 50 เมตร</li> <li>7. ไม้โปรแทรกเตอร์</li> <li>8. เวอร์เนียแคลิเปอร์</li> </ol> |
| <b><u>อุปกรณ์ตัด</u></b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>9. เลื่อยยนต์</li> <li>10. เลื่อยมือ</li> <li>11. มีด</li> <li>12. ขวาน</li> <li>13. กรรไกรตัดกิ่ง</li> </ol>                                                                                                                              |
| <b><u>อุปกรณ์ซัง</u></b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>14. เครื่องซังขนาดต่างๆ</li> </ol>                                                                                                                                                                                                         |

เครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง

เครื่องชั่ง 500 กรัม

เครื่องชั่งขนาดต่างๆ (1, 3, 7, 15, 20, 60, 150 กิโลกรัม)

#### ภาชนะบรรจุ

15. ข่งพลาสติก
16. ลังพลาสติก
17. กระดัง (ถาดไม้ไผ่)
18. ถังหิ้วพลาสติกขนาดต่างๆ (9x18, 12x20, 12x26, 18x30 นิ้ว)

#### อื่นๆ

19. ผ้าพลาสติกปูพื้นสีฟ้า
20. เชือกฟาง
21. สีเมจิก
22. ถังมือ
23. หนังกาย
24. ปากกาจดบันทึก
25. กระดาษจดบันทึก
26. กระดานรองเขียน
27. ถังกระดาษ

## 2. การเก็บข้อมูลเบื้องต้น

การเก็บข้อมูลเบื้องต้น โดยการวัดความสูงและความโตของต้นไม้ในสวนป่า เพื่อนำมาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการตัดสินใจเลือกต้นไม้ตัวอย่างที่จะนำมาสร้างสมการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ เพื่อใช้ประมาณผลผลิตของสวนป่า การวัดต้นไม้ในแปลงอาจวัดทั้งแปลง หรือวางแปลงถาวรเพื่อใช้เป็นตัวแทนของสวนป่า

### 1. เครื่องมือวัดต้นไม้

#### 1.1 เครื่องมือวัดความโต การวัดความโตของต้นไม้มี 2 ลักษณะ คือ

- 1) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น เครื่องมือที่ใช้ คือ ไดมิเตอร์เทป (diameter tape) เวอร์เนียแคลลิเปอร์ (vernier caliper)
- 2) วัดขนาดเส้นรอบวงลำต้น เครื่องมือที่ใช้ คือ เทปวัดระยะ สายวัด

1.2 เครื่องมือวัดความสูง ได้แก่ เมชชัวร์ริงโพล (measuring pole) ฮาก้า (haga) ไคลโนมิเตอร์ (clinometer) เวอร์เทค (vertex) เป็นต้น

## 2. การวัดการเติบโตของต้นไม้

### 2.1 การวัดความโต ข้อควรปฏิบัติในการวัดความโตของต้นไม้ มีดังนี้

การวัดความโตของต้นไม้ โดยปกติจะวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height: DBH) ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร

1) กรณีวัดต้นไม้ในแปลงถาวร ให้คาดสีต้นไม้ในแปลงทุกต้น โดยคาดสีเป็นแถบเล็กๆ รอบลำต้น ที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน ให้ขอบล่างของแถบสีอยู่ที่ระดับ 1.30 เมตร และวัดความโตที่ขอบล่างของแถบสี

2) กรณีวัดต้นไม้ทั้งแปลง ให้ใช้ท่อนขนาดเล็กหรือไม้ไผ่ที่มีความยาว 1.30 เมตร ทาบโคนต้น และวัดความโตเหนือปลายท่อนหรือไม้ไผ่

ข้อควรระวังในการวัดความโตของต้นไม้ ต้องให้เทปวัดอยู่ในแนวระนาบเสมอ โดยเฉพาะต้นไม้ขนาดใหญ่ให้ระวังเทปวัดเอียงด้านหลังต้นไม้ซึ่งผู้วัดจะมองไม่เห็น ควรให้ผู้ช่วยอีกคนช่วยตรวจสอบสายวัดให้อยู่ในแนวระนาบ

### 2.2 การวัดความสูง

1) ต้นไม้ที่มีความสูงต่ำกว่า 10-15 เมตร ควรวัดความสูงของต้นไม้ด้วยเมชชัวร์ริงโพล (measuring pole) จะสะดวกและให้ความแม่นยำมาก

2) ต้นไม้ที่มีความสูงเกิน 15 เมตร ควรวัดความสูงของต้นไม้ด้วยเวอร์เทค (vertex) จะให้ความแม่นยำมากกว่าฮาก้า (haga) หรือไคลโนมิเตอร์ (clinometer) แต่ราคาแพงกว่า

ข้อควรระวังในการวัดความสูงของต้นไม้ ในหมู่ไม้ที่มีความสูงมากๆ และเรือนยอดชิดกัน อาจมองไม่เห็นเรือนยอดของต้นไม้ที่จะวัด ทำให้การวัดความสูงคลาดเคลื่อนได้

## 3. การบันทึกข้อมูล

การบันทึกข้อมูล แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ การบันทึกข้อมูลในสนาม และการบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์

## 1. การบันทึกข้อมูลในสนาม

ควรเตรียมแบบฟอร์มที่จะใช้บันทึกข้อมูลในสนามให้พร้อม โดยมีรายละเอียดครบถ้วน ได้แก่ สถานที่ ชนิดแปลง ชนิดไม้ วันเดือนปีปลูก ระยะปลูก วันเดือนปีที่เก็บข้อมูล ผู้บันทึกข้อมูล ไร่ที่หวักระดาษทุกครั้ง แบบฟอร์มการเก็บข้อมูลต้นไม้ในแปลงทดลองมีหลายประเภท ดังนี้

1) แบบฟอร์มการเติบโตของต้นไม้ รายละเอียดประกอบด้วย หมายเลขแปลง หมายเลขแม่ไม้ ความสูง (height: H) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (diameter at breast height: DBH) หรือ ขนาดเส้นรอบวงเพียงอก (girth at breast height: GBH) ความกว้างเรือนยอด (crown width: CW) เป็นต้น (แบบฟอร์มที่ 1)

2) แบบฟอร์มวัดมิติต่างๆ ของต้นไม้เพื่อหาสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ รายละเอียดประกอบด้วย หมายเลขแปลง หมายเลขต้นไม้ ความสูง (height: H) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter: D) หรือ ขนาดเส้นรอบวง (girth: G) ที่ระดับต่างๆ ความหนาเปลือก น้ำหนักสดของลำต้น กิ่ง และใบที่ระดับต่างๆ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการเก็บข้อมูลในสนามจะใช้แบบฟอร์มที่ 2 และแบบฟอร์มที่ 3 ควบคู่กันโดยมีคนบันทึกข้อมูล 2 คน

ข้อควรระวัง การบันทึกข้อมูลในสนาม ควรมีความรอบคอบระมัดระวังและตรวจสอบความถูกต้อง ครบถ้วนของข้อมูลทุกครั้ง การบันทึกข้อมูลควรชัดเจน และอ่านง่าย

## 2. การบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์

การบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ ให้ใช้โปรแกรม excel ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณได้ง่าย การบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ควรใช้แบบฟอร์มเดียวกับแบบฟอร์มเก็บข้อมูลในสนาม การกรอกข้อมูลเป็นตัวเลขจำนวนมากๆ ย่อมต้องมีความผิดพลาด ดังนั้น การกรอกข้อมูลให้กรอก 2 ครั้ง หลังจากนั้นให้ตรวจสอบโดยนำข้อมูลทั้งสองครั้งลบกัน ถ้าข้อมูลช่องไหนไม่เป็น 0 แสดงว่ากรอกข้อมูลผิด ให้ตรวจสอบและแก้ไขให้ถูกต้อง

ข้อควรระวัง การบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ มีความสำคัญมาก เพราะหากนำเข้าข้อมูลผิด ผลวิเคราะห์ย่อมผิดพลาดไปด้วย ทำให้ข้อมูลไม่น่าเชื่อถือ

## 4. การจัดชั้นความสูงและความโตของต้นไม้ในสวนป่า

การจัดชั้นความสูงและความโตของต้นไม้ในแปลง จะต้องคำนวณหาค่าต่างๆ โดยใช้โปรแกรม excel ดังต่อไปนี้

1. การหาผลรวม (Sum) ค่าเฉลี่ย (Average: Ave) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: SD) ค่าต่ำสุด (Minimum: Min) ค่าสูงสุด (Maximum: Max) และจำนวนต้นไม้ (Count)

ข้อควรปฏิบัติ เลือก Formulas (สูตร) ➡

SUM ➡ ok ➡ เลือกขอบเขตข้อมูล ➡ ok ➡ ค่าผลรวม (Sum)

$f_x$  ➡ AVERAGE ➡ ok ➡ เลือกขอบเขตข้อมูล ➡ ok ➡ ค่าเฉลี่ย (Average: Ave)

$f_x$  ➡ STDEV ➡ ok ➡ เลือกขอบเขตข้อมูล ➡ ok ➡ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: SD)

$f_x$  ➡ MIN ➡ ok ➡ เลือกขอบเขตข้อมูล ➡ ok ➡ ค่าต่ำสุด (Minimum: Min)

$f_x$  ➡ MAX ➡ ok ➡ เลือกขอบเขตข้อมูล ➡ ok ➡ ค่าสูงสุด (Maximum: Max)

$f_x$  ➡ COUNT ➡ ok ➡ เลือกขอบเขตข้อมูล ➡ ok ➡ จำนวนต้นไม้ (Count)

ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุด นำมาใช้ในการตัดสินใจกำหนดชั้นและความกว้างของชั้นความสูงและความโต

การเลือกขอบเขตข้อมูล

การเลือกขอบเขตข้อมูลให้กด Shift บนแป้นพิมพ์ค้างไว้ แล้ว กดปุ่ม End ตามด้วยสัญลักษณ์ลูกศร ➡ จะปรากฏแถบสีน้ำเงินครอบคลุมข้อมูลในแถวแรก (Row) ถึงเซลล์สุดท้าย หลังจากนั้น ให้กดปุ่ม End อีกครั้ง (ยังคงกด Shift บนแป้นพิมพ์ค้างไว้) ตามด้วยสัญลักษณ์ลูกศร ↓ จะปรากฏแถบสีน้ำเงินครอบคลุมข้อมูลลงมาถึงแถวสุดท้าย เป็นขอบเขตข้อมูลที่เลือก

ข้อควรระวัง

การเลือกขอบเขตข้อมูลโดยวิธีนี้ ข้อมูลแถวแรก และคอลัมน์แรก จะต้องต้องมีข้อมูลต่อเนื่องทุกเซลล์ หากข้อมูลตรงไหนเป็นเซลล์ว่าง การเลือกขอบเขตข้อมูลจะหยุดตรงจุดก่อนเซลล์ที่ว่าง

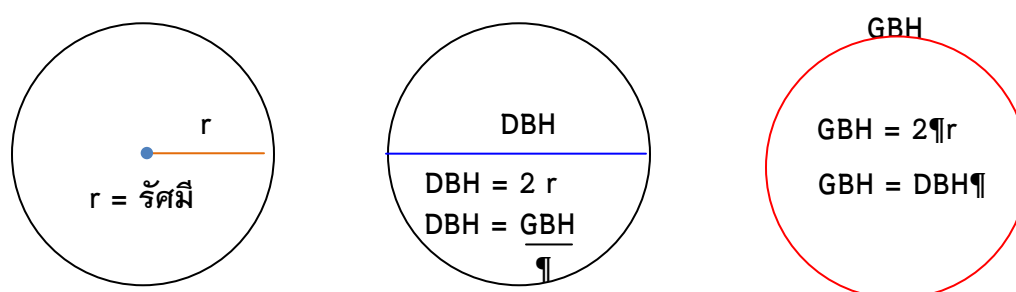
## 2. การจัดชั้นความสูงและความโตของต้นไม้ในแปลง

2.1 การแปลงค่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) เป็น ขนาดเส้นรอบวงเพียงอก (GBH) ใช้สูตรดังนี้ (ภาพที่ 1)

$$GBH = 2 \pi r = DBH \pi \quad (\text{เมื่อ } \pi = 22/7)$$

$$DBH = \frac{GBH}{\pi}$$

**หมายเหตุ** การแปลงค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (Diameter: D) ที่ระดับต่างๆ เป็นขนาดเส้นรอบวง (Girth: G) จะใช้สูตรเดียวกัน



ภาพที่ 1 การแปลงค่าความโตของต้นไม้

2.2 การจัดชั้นต้นไม้ในแปลงควรใช้ชั้นความโตเป็นหลัก ถ้าเลือกต้นไม้ตัวแทน 12 ต้น ให้กำหนดชั้นความโต 10-12 ชั้น การกำหนดความกว้างของชั้นความสูงและความโตควรเป็นตัวเลขจำนวนเต็ม (ไม่มีทศนิยม) เพื่อสะดวกและง่ายต่อการเลือกตัวแทนต้นไม้ในแปลง

### ข้อควรปฏิบัติ

1. ในแบบฟอร์มวัดการเติบโตของต้นไม้ ประกอบด้วยคอลัมน์ หมายเลขต้น (No.) ความสูง (H) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ให้เพิ่มคอลัมน์ 3 คอลัมน์ โดยพิมพ์หัวข้อคอลัมน์ ได้แก่ ขนาดเส้นรอบวงเพียงอก (GBH), H\_class และ GBH\_class และหาค่าของแต่ละคอลัมน์ ดังนี้

1) ขนาดเส้นรอบวงเพียงอก (GBH) ให้แปลงค่าโดยคำนวณจากสูตรใน ข้อ 2.1

## 2) H\_class การจัดชั้นความสูง

การจัดชั้นความสูง กำหนดความกว้างของชั้นความสูง (ตัวอย่าง ถ้ากำหนดทุก 2 เมตร) ให้เลือกขอบเขตข้อมูลทั้งหมด แล้วเลือก Data (ข้อมูล) ➡ Filter (ตัวกรอง) จะปรากฏเครื่องหมาย ▼ ที่หัวตารางด้านขวาทุกคอลัมน์ คลิกตรงเครื่องหมาย ▼ ที่หัวตารางความสูง (H) ➡ Number Filters ➡ Custom Filter ➡ Custom AutoFilter จะปรากฏช่องว่างให้ใส่ข้อมูล คอลัมน์ซ้ายมีข้อความให้เลือก ส่วนคอลัมน์ขวาให้ใส่ตัวเลขความกว้างของชั้นความสูงที่กำหนดไว้

Show rows where:

|                                                               |   |
|---------------------------------------------------------------|---|
| Is less than                                                  | 2 |
| <input checked="" type="radio"/> And <input type="radio"/> Or |   |
|                                                               |   |

➡ ok

จะปรากฏข้อมูลเฉพาะต้นที่มีความสูงต่ำกว่า 2 เมตร ให้พิมพ์ <2 ในคอลัมน์ H\_class แล้ว copy ลงมาทุกแถวที่ปรากฏให้เห็น

ต่อไปเลือก Number Filters ➡ Custom Filter ➡ Custom AutoFilter จะปรากฏช่องว่างให้ใส่ข้อมูล คอลัมน์ซ้ายมีข้อความให้เลือก ส่วนคอลัมน์ขวาให้ใส่ตัวเลขความกว้างของชั้นความสูงที่กำหนดไว้

Show rows where:

|                                                               |   |
|---------------------------------------------------------------|---|
| Is greater than or equal to                                   | 2 |
| <input checked="" type="radio"/> And <input type="radio"/> Or |   |
| Is less than                                                  | 4 |

➡ ok

จะปรากฏข้อมูลเฉพาะต้นที่มีความสูงระหว่าง 2-<4 เมตร ให้พิมพ์ 2-4 ในคอลัมน์ H\_class แล้ว copy ลงมาทุกแถวที่ปรากฏให้เห็น

ต่อไปเลือก Number Filters ➡ Custom Filter ➡ Custom AutoFilter จะปรากฏช่องว่างให้ใส่ข้อมูล คอลัมน์ซ้ายใช้ข้อความเดิม เปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ขวาโดยเพิ่มชั้นความสูงทุก 2 เมตร

Show rows where:

|                                                               |   |
|---------------------------------------------------------------|---|
| Is greater than or equal to                                   | 4 |
| <input checked="" type="radio"/> And <input type="radio"/> Or |   |
| Is less than                                                  | 6 |

➡ ok

จะปรากฏข้อมูลเฉพาะต้นที่มีความสูงระหว่าง 4-6 เมตร ให้พิมพ์ 4-6 ในคอลัมน์ H\_class แล้ว copy ลงมาทุกแถวที่ปรากฏให้เห็น

ทำดังนี้ไปจนถึงชั้นที่ครอบคลุมความสูง สูงที่สุด แล้วเลือก (Select All) จะปรากฏข้อมูลทั้งหมดทุกชั้นความสูงขึ้นมา

### 3) GBH\_class การจัดชั้นขนาดเส้นรอบวง

การจัดชั้นขนาดเส้นรอบวง กำหนดความกว้างของชั้นขนาดเส้นรอบวง (GBH) (ตัวอย่าง ถ้ากำหนดทุก 10 เซนติเมตร) ให้เลือกขอบเขตข้อมูลทั้งหมด แล้วเลือก Data (ข้อมูล) ➡ Filter (ตัวกรอง) จะปรากฏเครื่องหมาย▼ ที่หัวตารางด้านขวาทุกคอลัมน์ คลิกตรงเครื่องหมาย▼ ที่หัวตารางขนาดเส้นรอบวง (GBH)

➡ Number Filters ➡ Custom Filter ➡ Custom AutoFilter จะปรากฏช่องว่างให้ใส่ข้อมูล คอลัมน์ซ้ายมีข้อความให้เลือก ส่วนคอลัมน์ขวาให้ใส่ตัวเลขความกว้างของชั้นความโตที่กำหนดไว้

Show rows where:

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Is less than                                                  | 30 |
| <input checked="" type="radio"/> And <input type="radio"/> Or |    |
|                                                               |    |

➡ ok

จะปรากฏข้อมูลเฉพาะต้นที่มีความโตต่ำกว่า 30 เซนติเมตร ให้พิมพ์ <30 ในคอลัมน์ GBH\_class แล้ว copy ลงมาทุกแถวที่ปรากฏให้เห็น

ต่อไปเลือก Number Filters ➡ Custom Filter ➡ Custom AutoFilter จะปรากฏช่องว่างให้ใส่ข้อมูล คอลัมน์ซ้ายมีข้อความให้เลือก ส่วนคอลัมน์ขวาให้ใส่ตัวเลขความกว้างของชั้นความโตที่กำหนดไว้

Show rows where:

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Is greater than or equal to                                   | 30 |
| <input checked="" type="radio"/> And <input type="radio"/> Or |    |
| Is less than                                                  | 40 |

➡ ok

จะปรากฏข้อมูลเฉพาะต้นที่มีความสูงระหว่าง 30-<40 เมตร ให้พิมพ์ 30-40 ในคอลัมน์ GBH\_class แล้ว copy ลงมาทุกแถวที่ปรากฏให้เห็น

ต่อไปเลือก Number Filters ➡ Custom Filter ➡ Custom AutoFilter จะปรากฏช่องว่างให้ใส่ข้อมูล คอลัมน์ซ้ายใช้ข้อความเดิม เปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ขวาโดยเพิ่มชั้นความสูงทุก 10 เซนติเมตร

Show rows where:

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Is greater than or equal to                                   | 40 |
| <input checked="" type="radio"/> And <input type="radio"/> Or |    |
| Is less than                                                  | 50 |

➡ ok

จะปรากฏข้อมูลเฉพาะต้นที่มีความสูงระหว่าง 40-<50 เมตร ให้พิมพ์ 40-50 ในคอลัมน์ GBH\_class แล้ว copy ลงมาทุกแถวที่ปรากฏให้เห็น

ทำดังนี้ไปจนถึงชั้นที่ครอบคลุมความโต (GBH) โตที่สุด แล้วเลือก (Select All) จะปรากฏข้อมูลทั้งหมดทุกชั้นความโตขึ้นมา

2. การสร้างตารางชั้นความสูง (H) และขนาดเส้นรอบวง (GBH) ให้เลือกขอบเขตข้อมูลทั้งหมด แล้วเลือก Insert (แทรก) ➡ PivotTable จะแสดงขอบเขตข้อมูลที่เลือก ➡ ok แล้วจะมีหน้าต่างใหม่ที่มีกล่องแสดงรายละเอียดและให้เลือกทางขวามือชื่อ Pivot Table Field List และมีข้อความ Chose fields to add to report ให้ลาก H\_class มาไว้ในช่อง Rows Label ลาก GBH\_class มาไว้ในช่อง Columns Label และลาก No. มาไว้ในช่อง  $\Sigma$  Values จะปรากฏเป็น Count of No. และมีตารางจัดชั้นความสูงและความโตแสดงให้เห็นทางด้านซ้าย ให้ copy ตารางชั้นความสูงและความโต (ยกเว้นหัวตารางบรรทัดแรก) มาไว้ใน sheet ใหม่ จัดเรียงข้อมูลตามลำดับชั้น และพิมพ์รายละเอียดหัวตารางให้ครบถ้วน ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ตารางจัดชั้นความสูงและความโตของต้นไม้ในแปลง

|             | GBH_class |       |       |       |       |       |       |       |       |        |             |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------------|
| H_class     | <10       | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 80-90 | 90-100 | Grand Total |
| 2-4         | 1         | 5     |       |       |       |       |       |       |       |        | 6           |
| 4-6         | 1         | 6     | 3     | 1     | 1     |       |       |       |       |        | 12          |
| 6-8         |           | 1     | 13    | 5     | 4     | 1     | 2     |       |       |        | 26          |
| 8-10        |           |       | 11    | 21    | 8     | 3     | 2     |       |       |        | 45          |
| 10-12       |           |       | 1     | 28    | 85    | 52    | 9     |       |       |        | 175         |
| 12-14       |           |       |       | 11    | 125   | 345   | 167   | 20    | 1     | 1      | 670         |
| 14-16       |           |       |       |       | 2     | 17    | 50    | 5     | 2     | 2      | 78          |
| Grand Total | 2         | 12    | 28    | 66    | 225   | 418   | 230   | 25    | 3     | 3      | 1012        |

3. กำหนดจำนวนตัวอย่างต้นไม้ที่จะนำมาสร้างสมการ (10-12 ต้น) ให้เลือกขนาดต้นไม้ที่จะตัด ซึ่งจะต้องมีจำนวนต้นไม้อยู่ในชั้นความโตต่ำสุด 1 ต้น และชั้นความโตสูงสุด 1 ต้น ส่วนต้นไม้ตัวอย่างที่เหลือ (8-10 ต้น) ให้เลือกกระจายตามสัดส่วนของต้นไม้ที่มีอยู่ในแต่ละขนาดชั้นความโต การเลือกขนาดต้นไม้ตัวอย่างให้เลือกตามขนาดชั้นความโตของต้นไม้ก่อน แล้วจึงค่อยพิจารณาเลือกต้นไม้ที่มีความสูงส่วนใหญ่กระจายอยู่ในแต่ละชั้น ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเลือกขนาดตัวแทนต้นไม้ที่จะนำไปคัดเลือกในแปลง

|         | GBH_class |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |
|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| H_class | <10       | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 80-90 | 90-100 | Total |
| 2-4     | 1         | 5     |       |       |       |       |       |       |       |        | 6     |
| 4-6     | 1         | 6     | 3     | 1     | 1     |       |       |       |       |        | 12    |
| 6-8     |           | 1     | 13    | 5     | 4     | 1     | 2     |       |       |        | 26    |
| 8-10    |           |       | 11    | 21    | 8     | 3     | 2     |       |       |        | 45    |
| 10-12   |           |       | 1     | 28    | 85    | 52    | 9     |       |       |        | 175   |
| 12-14   |           |       |       | 11    | 125   | 345   | 167   | 20    | 1     | 1      | 670   |
| 14-16   |           |       |       |       | 2     | 17    | 50    | 5     | 2     | 2      | 78    |
| Total   | 2         | 12    | 28    | 66    | 225   | 418   | 230   | 25    | 3     | 3      | 1012  |
| เลือก   | 1         | 1     | 1     | 1     | 2     | 2     | 2     | 1     | 1     |        | 12    |

4. เมื่อได้ขนาดของตัวแทนต้นไม้อแล้ว ให้เข้าไปเลือกต้นไม้อในแปลงที่มีขนาดตามที่กำหนดไว้และหมายต้นไม้อโดยใช้เชือกฟางสีแดงผูกลำต้นไม้อไว้

#### ข้อควรปฏิบัติในการเลือกตัวแทนต้นไม้อ

- 1) ถ้าข้อมูลต้นไม้อที่นำมาจัดชั้นความสูงและความโตเป็นแปลงถาวร ให้เลือกต้นไม้อนอกแปลง
- 2) ถ้าข้อมูลต้นไม้อที่นำมาจัดชั้นความสูงและความโตเป็นต้นไม้อทั้งหมดในแปลง ควรระมัดระวังในการเลือกตัวแทนต้นไม้อที่มีขนาดชั้นความโตสูงสุด เพราะเป็นไม้อเด่นในแปลง ถ้าต้นไม้อในชั้นนี้มีจำนวนน้อย ควรเลี่ยงไปเลือกต้นไม้อในขนาดชั้นรองลงมาแทน
- 3) ไม่ควรเลือกต้นไม้อริมขอบแปลง เนื่องจากต้นไม้อริมขอบแปลงมักโตดี เรือนยอดกว้าง เพราะได้รับแสงเต็มที่ ซึ่งจะแตกต่างกับต้นไม้อในแปลง
- 4) การเลือกตัวแทนต้นไม้อ นอกจากเลือกตามขนาดแล้ว ให้พิจารณาเลือกต้นที่มีรูปทรงสมบูรณ์ ลำต้นเปลาตรง กิ่งก้านน้อย ไม่แตกง่าม ทรงพุ่มโดยรอบต้นสมดุลกัน

## 5. การเก็บข้อมูลในสวนป่าโดยใช้วิธี Stratified clip technique

เมื่อเลือกตัวแทนต้นไม้อและหมายตัวแทนต้นไม้อที่ต้องการตัดฟันในสวนป่าแล้ว ตัวแทนต้นไม้อแต่ละต้นให้ดำเนินการโดยวิธี Stratified clip technique ดังนี้

### 1. วัดมิติต่างๆ ของต้นไม้อก่อนตัด ได้แก่

#### 1.1 ความสูง (Height: H)

### 1.2 ความโตเป็นขนาดเส้นรอบวง (Girth: G) ที่ระดับต่างๆ คือ

- $G_0$       ขนาดเส้นรอบวงที่ระดับชิดดิน
- $G_{0.30}$     ขนาดเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตรจากพื้นดิน
- $G_{1.30}$     ขนาดเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดิน

### 1.3 ความกว้างของเรือนยอด (Crown width: CW) วัดได้ 2 แบบ คือ

- วัดแนวเหนือ-ใต้ และ ตะวันออก-ตะวันตก
- วัดจากจุดศูนย์กลางลำต้นออกไป 4 ทิศ คือ เหนือ ใต้ ตะวันออก และ

ตะวันตก

## 2. ตัดต้นไม้ให้ชิดดิน

## 3. วัดมิติต่างๆ ของต้นไม้หลังตัด ดังนี้

### 3.1 ความสูงและขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้

- ความสูงทั้งหมด (H) จากโคนถึงปลายยอด (ไม่ใช่ปลายกิ่งยอด)
- ความสูงถึงกิ่งสดกิ่งแรก ( $H_B$ )
- ขนาดเส้นรอบวงที่ระดับกิ่งสดกิ่งแรก ( $G_B$ )

3.2 หมายแนวความสูงของต้นไม้ที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ 0.30, 1.30, 2.30, 3.30, 4.30, ...n ตลอดความยาวของลำต้นถึงปลายยอด โดยให้เขียนหมายเลขท่อนกำกับทุกท่อน บริเวณกลางท่อน ตั้งแต่

- ท่อน 0 ความยาว 0-30 เซนติเมตร
- ท่อน 1 ความยาว 0.30-1.30 เมตร
- ท่อน 2 ความยาว 1.30-2.30 เมตร
- ท่อน 3 ความยาว 2.30-3.30 เมตร
- ท่อน 4 ความยาว 3.30-4.30 เมตร
- ⋮
- ⋮
- n (ท่อนปลายสุด)

3.3 วัดขนาดเส้นรอบวงของต้นไม้ทุกท่อน ตั้งแต่ 2.30, 3.30, 4.30, ...n ตลอดความยาวลำต้นจนถึงท่อนปลายสุด

3.4 เขียนหมายเลขท่อนที่โคนกิ่งทุกกิ่งในแต่ละท่อนให้ตรงกับหมายเลขท่อน

3.5 ตัดแยกกิ่งออกจากลำต้นในแต่ละท่อน เพื่อนำไปแยกชิ้นส่วนของกิ่งและใบออกจากกัน นำไปชั่งน้ำหนักสดของกิ่งและใบในแต่ละท่อน

3.6 ให้ตัดลำต้นท่อนปลายยอดออกก่อน แล้วนำมาตัดแยก กิ่ง และใบออกจากกัน นำไปชั่งน้ำหนักสดของลำต้น กิ่ง และใบ (ควรใช้ตาชั่งขนาด 500 กรัม หรือ 1 กิโลกรัม)

3.7 ตัดลำต้นออกเป็นท่อนๆ ที่ระดับ 0.30, 1.30, 2.30, 3.30, 4.30, ...n จนถึงท่อนปลายสุด

3.8 ชั่งน้ำหนักสดของลำต้นแต่ละท่อนตั้งแต่ท่อนที่ 0, 1, 2, 3,...n จนถึงท่อนปลาย

3.9 วัดความหนาเปลือกของส่วนลำต้นแต่ละท่อน ตั้งแต่โคนต้นถึงปลายยอด โดยวัด 4 จุด ในแนวตั้งฉากกัน

3.10 เก็บตัวอย่างลำต้น กิ่ง และใบ จากทุกท่อน ประมาณ 500–1,000 กรัมต่อตัวอย่างใส่ถุงพลาสติก เขียนหมายเลขต้น และชิ้นส่วนของต้น เช่น ลำต้น กิ่ง ใบ กำกับทุกครั้ง

3.11 เลือกตัวแทนต้นไม้ที่ตัดฟันแล้ว จำนวน 3–5 ต้น โดยเลือกต้นที่มีความโตเล็กสุด 1 ต้น ใหญ่สุด 1 ต้น และอยู่ระหว่างกลาง 1–3 ต้น ทำการชำราก เพื่อศึกษาระบบรากและชั่งน้ำหนักสดของราก เก็บตัวอย่าง เพื่อนำไปอบหาน้ำหนักแห้งและคำนวณหามวลชีวภาพของราก

#### 4. การเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้ในห้องปฏิบัติการ

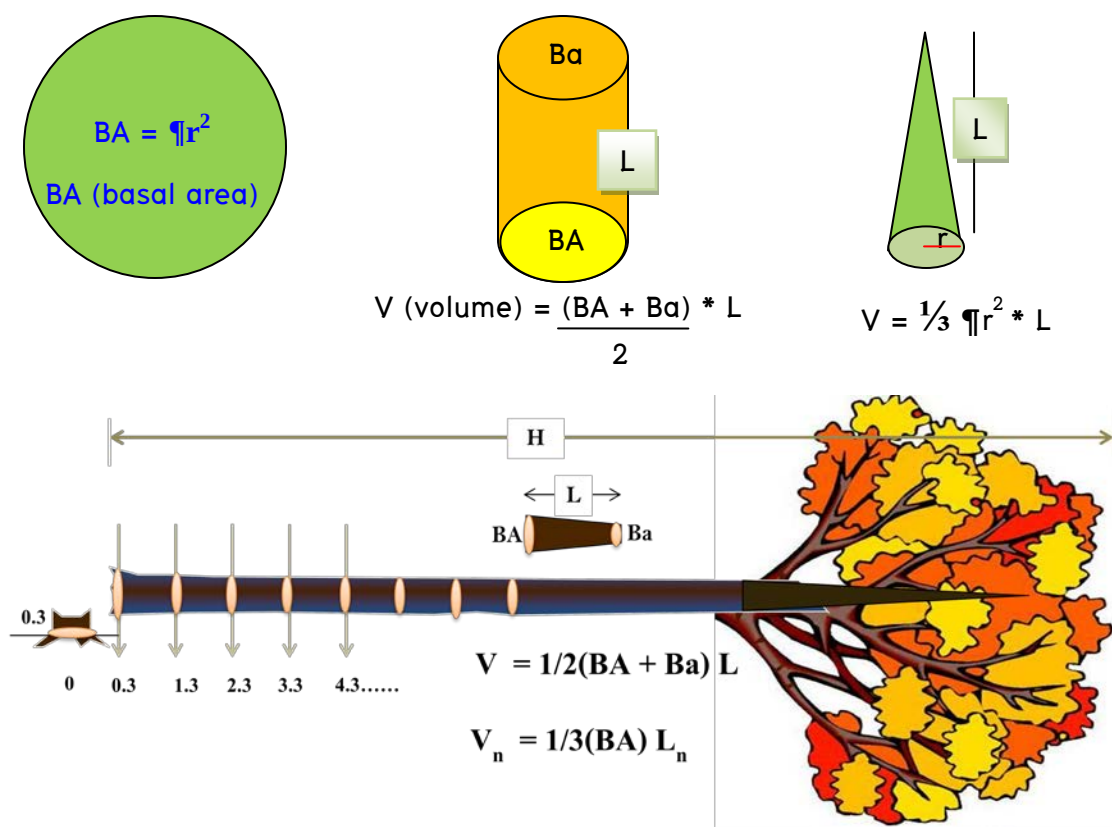
4.1 การเก็บตัวอย่างชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้เพื่อหาน้ำหนักแห้ง (มวลชีวภาพ) ตัวอย่างที่เก็บจากแปลงในข้อ 3.10 และ 3.11 ของทุกวัน ให้สุมมาชั่งน้ำหนักสดอีกครั้งด้วยเครื่องชั่งเทคนิค 1 ตำแหน่ง น้ำหนักประมาณ 500 กรัมต่อตัวอย่าง ควรตัดทอนชิ้นส่วนของกิ่งหรือต้นให้มีขนาดเล็กก่อนนำไปชั่ง จะทำให้อบแห้งได้เร็วขึ้น นำตัวอย่างใส่ถุงกระดาษ เขียนหมายเลขต้น และชิ้นส่วนของต้น เช่น ลำต้น กิ่ง ใบ กำกับทุกครั้ง (ควรเขียนให้ชัดเจน ระวังความชื้นจากตัวอย่างจะซึมออกมาทำให้รายละเอียดที่เขียนไว้บนถุงเลือนไปหรือถูกขาด ให้ตรวจเช็คและเขียนรายละเอียดอย่างชัดเจน หรือเปลี่ยนถุงใหม่หากถุงเดิมขาด) นำไปผึ่งไว้ในที่โล่งเพื่อให้ตัวอย่างแห้งก่อนนำไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $85^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักแห้ง

4.2 เก็บตัวอย่างชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้ทุกต้นรวมกัน โดยแยกชิ้นส่วนเป็น ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ตัวอย่างละประมาณ 200 กรัม บดหรือสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อส่งไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ หาความเข้มข้นของคาร์บอนและธาตุอาหารต่างๆ ที่สะสมในมวลชีวภาพ

## 6. การวิเคราะห์ข้อมูล

### 1. การหาปริมาตรลำต้นของไม้ตัวอย่าง

1.1 การหาปริมาตรเนื้อเปลือก (Volume over bark) โดยหาปริมาตรท่อนไม้แต่ละท่อนจากโคนถึงปลายยอด แล้วนำปริมาตรทุกท่อนมารวมกันเป็นปริมาตรลำต้นทั้งต้น (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 การหาปริมาตรลำต้นจากผลรวมของปริมาตรท่อนไม้ทุกท่อนของต้นไม้แต่ละต้น

1) การหาปริมาตรท่อนไม้แต่ละท่อนจากท่อนโคนจนถึงท่อนสุดท้ายก่อนปลายยอด

ใช้สูตร

$$V \text{ (volume)} = \frac{(BA + Ba) * L}{2}$$

เมื่อ  $V_{\text{overbark}}$  = ปริมาตรเนื้อเปลือก (ลูกบาศก์เมตร)

BA (basal area) = พื้นที่หน้าตัดส่วนโคนท่อน (ตารางเมตร)

Ba (basal area) = พื้นที่หน้าตัดส่วนปลายท่อน (ตารางเมตร)

L (length) = ความยาวท่อน (เมตร)

## 2) การหาปริมาตรท่อนปลายยอด ใช้สูตร

$$V_n = \frac{1}{3} \pi r^2 * L = \frac{1}{3} BA * L$$

เมื่อ  $V_n$  (volume) = ปริมาตรเหนือเปลือกท่อนปลายยอด (ลูกบาศก์เมตร)

$r$  (radius) = รัศมีวงกลม (เมตร)

$BA$  (basal area) = พื้นที่หน้าตัดส่วนโคนท่อน (ตารางเมตร)

$L$  (length) = ความยาวท่อน (เมตร)

## 3) ปริมาตรลำต้นเท่ากับผลรวมของท่อนไม้ทุกท่อน

$$V_{Total} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n$$

**ข้อควรระวัง** การหาปริมาตรลำต้นเหนือเปลือก ต้องแปลงค่ารัศมี ( $r$ ) หรือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) จากหน่วย เซนติเมตร ให้เป็น เมตร ก่อนนำมาเข้าสู่สูตรเสมอ

**1.2 การหาปริมาตรใต้เปลือก (Volume under bark)** ใช้วิธีเดียวกับการหาปริมาตรเหนือเปลือกที่กล่าวมาในข้อ 1.1 แต่ให้ลบค่าความหนาเปลือก (bark thickness) ออกจากค่ารัศมี ( $r$ ) จะเป็นรัศมีใต้เปลือก ก่อนนำไปแปลงค่าเป็น เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกใต้เปลือก พื้นที่หน้าตัดใต้เปลือก และปริมาตรใต้เปลือก

$$r_{underbark} = r_{overbark} - \text{bark thickness}$$

เมื่อ  $r_{underbark}$  = รัศมีใต้เปลือก (เซนติเมตร)

$r_{overbark}$  = รัศมีเหนือเปลือก (เซนติเมตร)

bark thickness = ความหนาเปลือก (เซนติเมตร)

**ข้อควรระวัง** การหาปริมาตรลำต้นใต้เปลือก ต้องแปลงค่ารัศมี ( $r$ ) หรือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) จากหน่วย เซนติเมตร ให้เป็น เมตร ก่อนนำมาเข้าสู่สูตรเสมอ

## 2. การหามวลชีวภาพของไม้ตัวอย่าง มวลชีวภาพป่าไม้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

**2.1 มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน** ได้แก่ ส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ และอื่นๆ เช่น ดอก ผล เป็นต้น ในกรณีนี้มวลชีวภาพเหนือพื้นดินให้คำนวณจากผลรวมของมวลชีวภาพส่วนที่เป็น ลำต้น กิ่ง และใบ

**2.2 มวลชีวภาพใต้พื้นดิน** ได้แก่ ส่วนที่เป็นราก

**การหามวลชีวภาพ มี 2 วิธี คือ**

**วิธีที่ 1** 1) หา % ความชื้นก่อน จากสูตร

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสดตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักแห้งตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักแห้งตัวอย่าง}} \times 100$$

2) หาน้ำหนักแห้งทั้งหมด จากสูตร

$$\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมด} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสดทั้งหมด}}{(100 + \% \text{ ความชื้น})}$$

**วิธีที่ 2** หาน้ำหนักแห้งทั้งหมด จากสูตร

$$\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักสดทั้งหมด} \times \text{น้ำหนักแห้งตัวอย่าง}}{\text{น้ำหนักสดตัวอย่าง}}$$

### ตัวอย่าง

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| น้ำหนักสดทั้งหมด    | 1000 กรัม |
| น้ำหนักสดตัวอย่าง   | 100 กรัม  |
| น้ำหนักแห้งตัวอย่าง | 50 กรัม   |

**วิธีที่ 1**       $\% \text{ ความชื้น} = \frac{(100-50)}{50} \times 100 = 100\%$

$$\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมด} = \frac{100 \times 1,000}{(100+100)} = 500 \text{ กรัม}$$

**วิธีที่ 2**       $\text{น้ำหนักแห้งทั้งหมด} = \frac{1,000 \times 50}{100} = 500 \text{ กรัม}$

## 7. การสร้างสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ

การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของสวนป่า ใช้วิธี stratified clip technique (พงษ์ศักดิ์, 2538) ซึ่งดำเนินการโดยสุ่มตัดตัวแทนต้นไม้ที่มีขนาดต่างๆ กัน ทั้งขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ แล้ววัดมิติ (dimension) ต่างๆ ของตัวแทนต้นไม้ เพื่อนำไปจัดสร้างสมการปริมาตรลำต้น และหาน้ำหนักของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ และราก เพื่อนำไปจัดสร้างสมการมวลชีวภาพของส่วนต่างๆ ของต้นไม้ โดยการประยุกต์ใช้ความสัมพันธ์แบบ allometric equation ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation:  $Y = aX^b$ )

## 1. การสร้างสมการจากกราฟแบบการกระจาย (scatter)

1. เลือกขอบเขตข้อมูลของแกน X และแกน Y
2. เลือก Insert ➡ Charts ➡ Scatter ➡ เลือกกราฟรูปแรกที่แสดงเฉพาะจุด จะปรากฏกราฟขึ้นมา
3. เลือก Design ➡ Chart Layouts ➡ เลือกรูปแรก จะปรากฏกราฟที่มี Chart Title, Axis Title ของแกน X และ Y, Series 1 ให้ตั้งชื่อใหม่ ดังนี้
  - 3.1 ลบ Chart Title ที่ตั้ง หากไม่ต้องการตั้งชื่อกราฟ
  - 3.2 Axis Title ของแกน Y เปลี่ยนเป็น Volume ( $V_{\text{overbark}}$ ,  $V_{\text{underbark}}$ ) หรือ Biomass ( $W_S$ ,  $W_B$ ,  $W_L$ ,  $W_R$ ) ตามข้อมูลที่เลือก โดยใส่หน่วยกำกับด้วย
  - 3.3 Axis Title ของแกน X เปลี่ยนเป็น DBH (cm) หรือ  $D^2H$
  - 3.4 ลบ Series 1 ที่ตั้ง
4. ตรวจสอบว่าข้อมูลแกน X และ Y ว่าถูกต้องหรือไม่ หากไม่ถูกต้องให้แก้ไขโดยเข้าไปคลิกขวาบนรูปกราฟ จะปรากฏกล่องข้อความขึ้นมา ให้เลือก Select Data จะมีกล่อง Select Data Sources ปรากฏขึ้นมา ให้คลิกช่องซ้ายตรง Series 1 (จะเป็นสีน้ำเงิน) แล้วเลือก Edit (อยู่เหนือ Series 1) จะปรากฏกล่อง Edit Series ให้เลือกเขตข้อมูลของแต่ละแกนใหม่ (เฉพาะ Series name จะใส่หรือไม่ใส่ก็ได้) แล้วกด ok 2 ครั้ง จะปรากฏรูปกราฟที่มีขอบเขตข้อมูลตามต้องการ
5. ให้คลิกตรงจุดข้อมูลต่างๆ ของกราฟ (จะเป็นสีน้ำเงิน) แล้วคลิกขวา จะปรากฏกล่องข้อความขึ้นมา เลือก Add Trendline จะปรากฏกล่อง Trendline Options ขึ้นมา
 

|                        |                                  |           |
|------------------------|----------------------------------|-----------|
| Trend/Regression Types | ให้เลือก                         | Power     |
| Trendline Name         | ให้เลือก                         | Automatic |
| ให้คลิกด้านล่างเลือก   | Display equation on chart        |           |
| และเลือก               | Display R-squared value on chart |           |
| เลือก                  | Close                            |           |

 จะปรากฏสมการ Power equation ตามต้องการ พร้อมทั้งค่า  $R^2$  อยู่ในรูปกราฟ

## 2. การสร้างสมการปริมาตรลำต้น

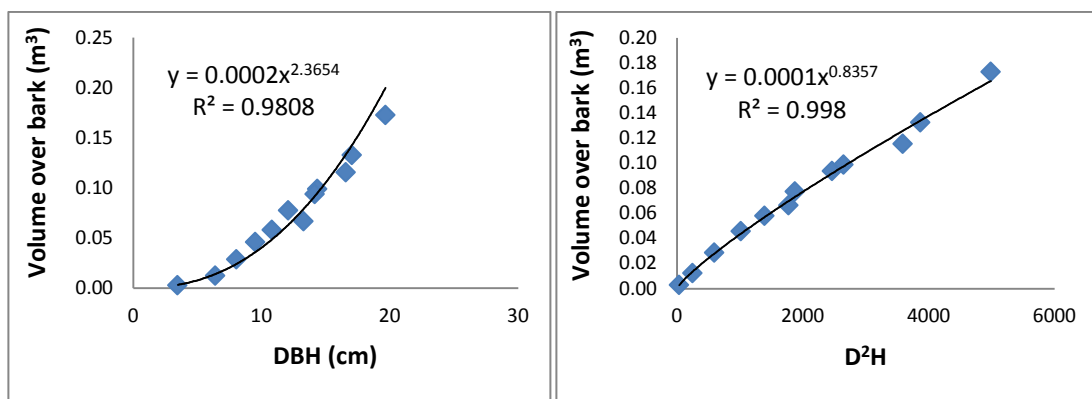
สมการปริมาตรลำต้น ได้จากการสร้างกราฟแบบการกระจาย (scatter) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรลำต้นของตัวแทนต้นไม้ทั้งหมด กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation:  $Y = aX^b$ )

ให้ แกน Y เป็น ปริมาตรลำต้น (Volume: ลูกบาศก์เมตร)

แกน X เป็น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH: เซนติเมตร)

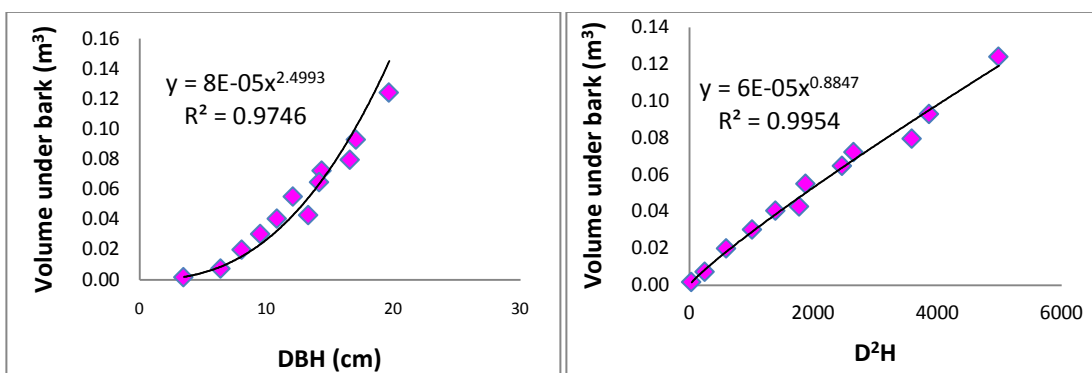
หรือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสองคูณความสูง ( $D^2H$ )

1) สมการปริมาตรลำต้นเหนือเปลือก (ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเหนือเปลือก) แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รูปแบบสมการปริมาตรลำต้นเหนือเปลือก

2) สมการปริมาตรลำต้นใต้เปลือก (ใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใต้เปลือก) แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 รูปแบบสมการปริมาตรลำต้นใต้เปลือก

### ข้อสังเกต

1. สมการตัวแทนในการประมาณปริมาตรลำต้น มี 2 รูปแบบ คือ

สมการที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรลำต้น กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH)

สมการที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรลำต้น กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสองคูณความสูง ( $D^2H$ )

จะเห็นว่า ค่า  $R^2$  (the coefficient of determination) ของสมการที่ 2 สูงกว่า สมการที่ 1 แสดงว่า สมการที่ 2 ใช้ประมาณการปริมาตรลำต้นที่ให้ความถูกต้องมากกว่าสมการ ที่ 1

ค่า  $R^2$  (the coefficient of determination) คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นกับตัวแปร Y มีผลเนื่องมาจากตัวแปร X คิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ เพื่อดูว่าสมการการประมาณค่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้มากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1

- กรณีที่ค่า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y อย่างมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้มาก

- กรณีที่ค่า  $R^2$  มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y น้อยมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้น้อย

2. การเลือกใช้สมการที่ 2 ในการประมาณปริมาตรลำต้นนั้น ควรมั่นใจว่าสามารถวัดความสูงของต้นไม้ได้อย่างแม่นยำเท่านั้น

3. การใช้สมการที่ 1 ในการประมาณปริมาตรลำต้น ทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า เพราะวัดเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ก็สามารถประมาณปริมาตรลำต้นจากสมการได้ ซึ่งจะให้ความถูกต้องสูงเมื่อค่า  $R^2$  สูง

### 3. การสร้างสมการมวลชีวภาพ

สมการมวลชีวภาพของส่วนลำต้น กิ่ง ใบ และราก ได้จากการสร้างกราฟแบบการกระจาย (scatter) โดยหาความสัมพันธ์ระหว่าง มวลชีวภาพ (ลำต้น กิ่ง ใบ และราก) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก หรือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสองคูณความสูง หรือ มวลชีวภาพลำต้นหรือกิ่ง ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation:  $Y = aX^b$ ) ดังนี้

ให้ แกน Y เป็น มวลชีวภาพ (W: กิโลกรัม)

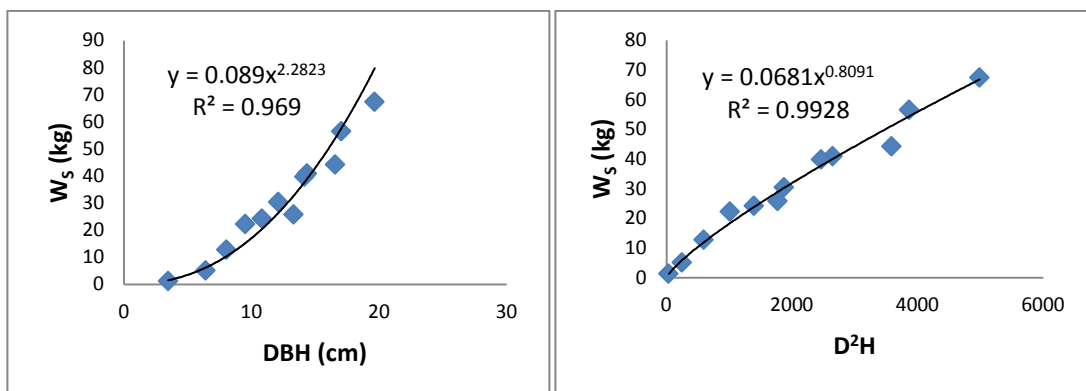
แกน X เป็น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH: เซนติเมตร)

หรือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสองคูณความสูง ( $D^2H$ )

หรือ มวลชีวภาพลำต้น ( $W_s$ : กิโลกรัม)

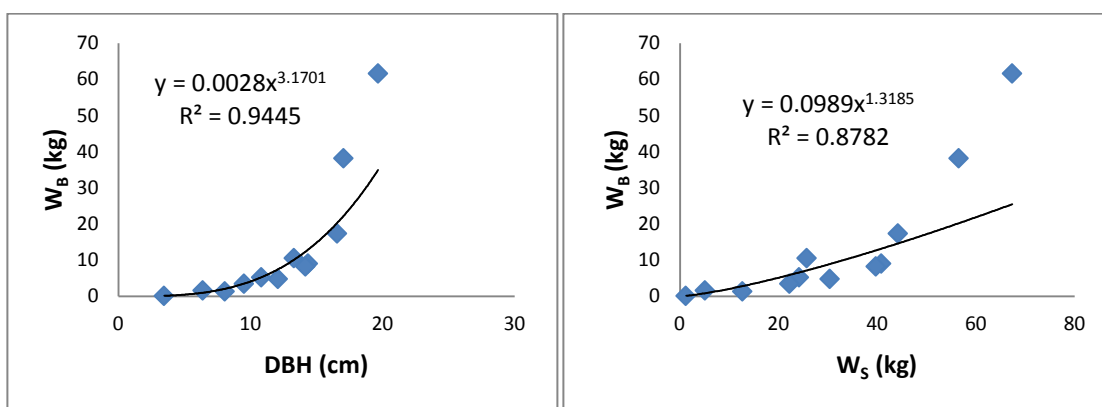
หรือ มวลชีวภาพกิ่ง ( $W_b$ : กิโลกรัม)

1) สมการมวลชีวภาพลำต้น แสดงในภาพที่ 5



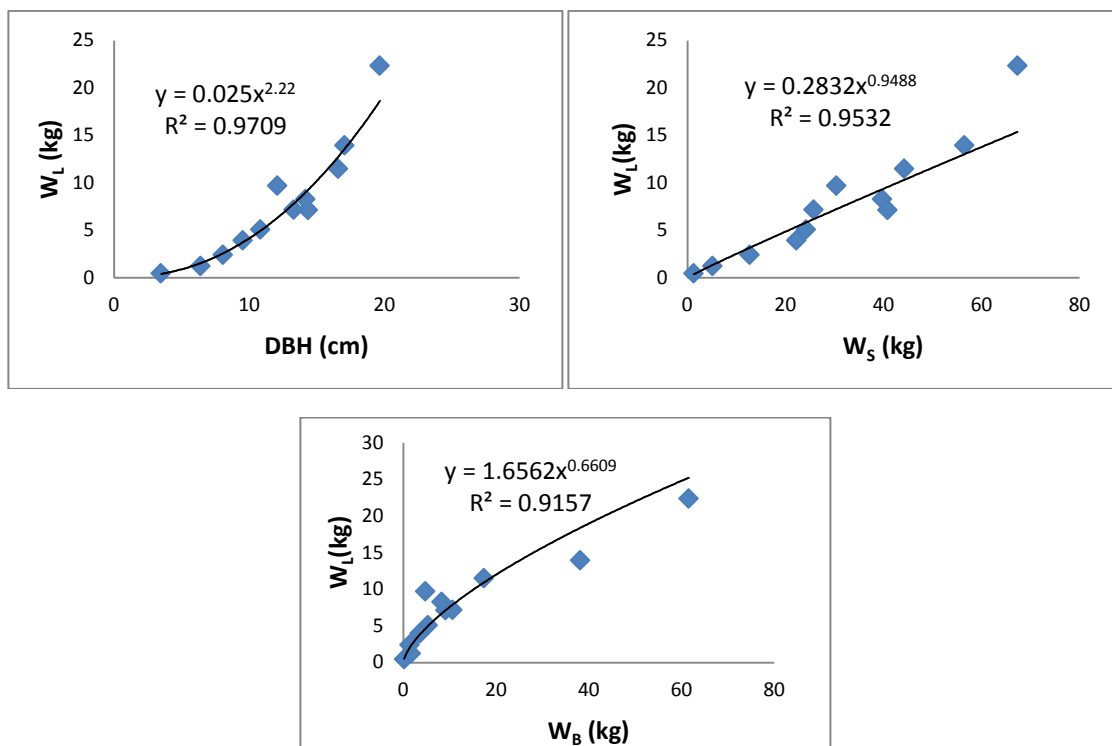
ภาพที่ 5 รูปแบบสมการมวลชีวภาพลำต้น

2) สมการมวลชีวภาพกิ่ง แสดงในภาพที่ 6



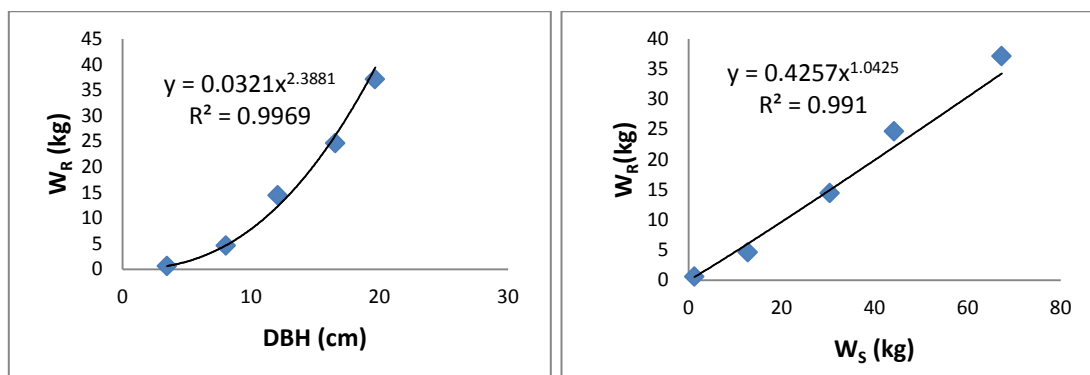
ภาพที่ 6 รูปแบบสมการมวลชีวภาพกิ่ง

### 3) สมการมวลชีวภาพใบ แสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 รูปแบบสมการมวลชีวภาพใบ

### 4) สมการมวลชีวภาพราก แสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 รูปแบบสมการมวลชีวภาพราก

### ข้อสังเกต

1. การเลือกใช้สมการตัวแทนในการประมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ควรเลือกสมการที่มีค่า  $R^2$  สูงที่สุด

2. ควรเลือกใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง มวลชีวภาพลำต้น กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกยกกำลังสองคูณความสูง ( $D^2H$ ) เมื่อสามารถวัดความสูงได้อย่างแม่นยำเท่านั้น

3. การใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่าง มวลชีวภาพ กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ในการประมาณมวลชีวภาพลำต้น (กิ่ง ใบ และราก) ทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า เพราะวัดเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ก็สามารถประมาณมวลชีวภาพจากสมการได้ ซึ่งจะให้ความถูกต้องสูงเมื่อค่า  $R^2$  สูง

## 8. การปรับแก้สมการ

การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพจากสมการยกกำลัง (power equation) ที่สร้างขึ้น เป็นการวิเคราะห์สมการการถดถอยโดยวิธีการแปลงค่า จะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางลบขึ้น (Snowdon, 1991) ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าที่ได้จากการประเมินซึ่งค่าปรับแก้ นั้นสามารถสร้างได้โดยใช้สัดส่วนระหว่างค่าจริงของตัวอย่างกับค่าประมาณที่ได้จากสมการที่จัดสร้างขึ้นของต้นไม้ตัวอย่างนั้นๆ (สมบุรณ์ และ สมหมาย, 2537)

$$\text{ค่าปรับแก้} = \frac{\text{ค่าจริงของตัวอย่าง}}{\text{ค่าประมาณที่ได้จากสมการ}}$$

ค่าปรับแก้ที่ได้สามารถนำไปใช้ในช่วงตอนหนึ่งขั้นตอนใดในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ เช่น อาจจะใช้ค่าปรับแก้ที่ได้นี้ในการประมาณค่าปริมาตรของลำต้นและมวลชีวภาพรายต้น โดยการคูณค่าปรับแก้นี้เข้ากับค่าปริมาตรและมวลชีวภาพรายต้นที่ได้จากสมการ หรืออาจจะทำการปรับแก้เมื่อได้ค่าผลผลิตในรูปของปริมาตรและมวลชีวภาพต่อหน่วยพื้นที่แล้ว โดยคูณค่าปรับแก้นี้เข้ากับผลผลิตที่ประมาณได้ (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3** สมการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ ค่า  $R^2$  และค่าปรับแก้ของสวนป่าไม้สัก  
อายุ 10 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยกำแพงเพชร

| Equations         |   |                                          | $R^2$  | ค่าปรับแก้ |
|-------------------|---|------------------------------------------|--------|------------|
| Volime over bark  | = | $0.0002 \text{ DBH}^{2.3654}$            | 0.9808 | 0.8814     |
| Volume under bark | = | $0.00008 \text{ DBH}^{2.4993}$           | 0.9764 | 1.0794     |
| $W_S$             | = | $0.089 \text{ DBH}^{2.2823}$             | 0.9690 | 1.0189     |
| $W_B$             | = | $0.0028 \text{ DBH}^{3.1701}$            | 0.9445 | 1.0566     |
| $W_L$             | = | $0.025 \text{ DBH}^{2.22}$               | 0.9709 | 1.0181     |
| $W_R$             | = | $0.0321 \text{ DBH}^{2.3881}$            | 0.9969 | 1.0027     |
| Volime over bark  | = | $0.0001 (\text{D}^2 \text{H})^{0.8357}$  | 0.9980 | 1.3472     |
| Volume under bark | = | $0.00006 (\text{D}^2 \text{H})^{0.8847}$ | 0.9954 | 1.0667     |
| $W_S$             | = | $0.0681 (\text{D}^2 \text{H})^{0.8091}$  | 0.9928 | 1.0035     |

ที่มา: ประพาย และคณะ (2557)

## 9. การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพในสวนป่า

การประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพในสวนป่า ดำเนินการโดย

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูง (H วัดเฉพาะกรณีที่  
สามารถวัดได้อย่างแม่นยำเท่านั้น) ของต้นไม้ในสวนป่าทั้งหมด และบันทึกพื้นที่สวนป่า
2. การประมาณปริมาตรลำต้นรายต้น โดยแทนค่าในสมการปริมาตรลำต้นที่สร้างขึ้น  
หาผลรวมของปริมาตรลำต้นทั้งแปลง จะสามารถประมาณปริมาตรลำต้นต่อพื้นที่ได้ (ตารางที่ 4)
3. การประมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก รายต้น โดยแทนค่าในสมการ  
มวลชีวภาพที่สร้างขึ้น หาผลรวมของมวลชีวภาพรายต้นและมวลชีวภาพทั้งแปลง จะสามารถ  
ประมาณมวลชีวภาพต่อพื้นที่ได้ (ตารางที่ 5)

**ตารางที่ 4** การประมาณปริมาตรเหนือเปลือกและปริมาตรใต้เปลือกของสวนป่าไม้สักอายุ 10 ปี ที่  
สถานีวนวัฒนวิจัยกำแพงเพชร

| GBH_Class (cm)            | V <sub>overbark</sub> (m <sup>3</sup> ) |       |       | V <sub>underbark</sub> (m <sup>3</sup> ) |       |       |
|---------------------------|-----------------------------------------|-------|-------|------------------------------------------|-------|-------|
|                           | 8 rai                                   | 1 rai | 1 ha  | 8 rai                                    | 1 rai | 1 ha  |
| <30                       | 2.48                                    | 0.31  | 1.94  | 1.32                                     | 0.16  | 1.03  |
| 30–50                     | 33.14                                   | 4.14  | 25.89 | 18.73                                    | 2.34  | 14.63 |
| 50–100                    | 13.97                                   | 1.75  | 10.91 | 8.20                                     | 1.03  | 6.41  |
| Total                     | 49.59                                   | 6.20  | 38.74 | 28.25                                    | 3.53  | 22.07 |
| Adjust value              | 0.8814                                  |       |       | 1.0794                                   |       |       |
| Adjust volume             | 43.71                                   | 5.46  | 34.15 | 30.49                                    | 3.81  | 23.82 |
| Mean annual increment     | 4.37                                    | 0.55  | 3.41  | 3.05                                     | 0.38  | 2.38  |
| Mean annual increment per | 0.077                                   |       |       | 0.054                                    |       |       |

ที่มา: ประพาย และคณะ (2557)

**ตารางที่ 5** การประมาณมวลชีวภาพลำต้น กิ่ง ใบ และราก ของสวนป่าไม้สักอายุ 10 ปี ที่สถานี  
วนวัฒนวิจัยกำแพงเพชร

| Status                                                                 | Biomass |        |        |        |       |
|------------------------------------------------------------------------|---------|--------|--------|--------|-------|
|                                                                        | Stem    | Branch | Leaf   | Root   | Total |
| Biomass (kg.rai <sup>-1</sup> )                                        | 2,216   | 735    | 528    | 1,056  | 4,536 |
| Adjust value                                                           | 1.0189  | 1.0566 | 1.0181 | 1.0027 |       |
| Adjust biomass (kg.rai <sup>-1</sup> )                                 | 2,258   | 777    | 538    | 1,059  | 4,631 |
| Mean annual increment (kg.rai <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> )        | 225.8   | 77.7   | 53.8   | 105.9  | 463.1 |
| Mean annual increment (kg.individual <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> ) | 32.02   | 11.02  | 7.63   | 15.02  | 65.69 |

ที่มา: ประพาย และคณะ (2557)

## 10. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพ

การศึกษาคาร์บอนและธาตุอาหารที่กักเก็บในมวลชีวภาพ จากตัวอย่างชิ้นส่วนของ  
ลำต้น กิ่ง ใบ และราก ที่นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนและธาตุอาหารที่เก็บสะสมใน  
มวลชีวภาพ ได้แก่ คาร์บอน (Walkley and Black, 1947) ไนโตรเจน (Bremner and Mulvaney, 1982)

ฟอสฟอรัส (Olsen and Sommers, 1982) โพแทสเซียม (Knudsen *et al.*, 1982) แคลเซียม และ แมกนีเซียม (Lanyon and Heald, 1982) ในห้องปฏิบัติการ ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ คาร์บอนและธาตุอาหาร (ตารางที่ 6) สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณการสะสมคาร์บอนและธาตุอาหารในชิ้นส่วนต่างๆ ของต้นไม้ต่อพื้นที่ได้ (ตารางที่ 7)

**ตารางที่ 6** ความเข้มข้นของคาร์บอนและธาตุอาหารของชิ้นส่วนต่างๆ ของไม้สัก อายุ 10 ปี

| Nutrient        |        | Stem  | Branch | Leaf  | Root  |
|-----------------|--------|-------|--------|-------|-------|
| คาร์บอน (C)     | g/100g | 50.55 | 51.44  | 53.72 | 56.08 |
| ไนโตรเจน (N)    | g/100g | 0.31  | 0.54   | 1.84  | 0.25  |
| ฟอสฟอรัส (P)    | g/100g | 0.04  | 0.04   | 0.19  | 0.03  |
| โพแทสเซียม (K)  | g/100g | 0.47  | 0.67   | 1.07  | 0.18  |
| แคลเซียม (Ca)   | g/100g | 0.90  | 1.16   | 0.76  | 0.31  |
| แมกนีเซียม (Mg) | g/100g | 0.16  | 0.22   | 0.37  | 0.09  |

ที่มา: ประพาย และคณะ (2557)

**ตารางที่ 7** ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารของสวนป่าไม้สักอายุ 10 ปี ที่สถานีวนวัฒนวิจัยกำแพงเพชร

|            |          | Stem  | Branch | Leaf | Root  | Total |
|------------|----------|-------|--------|------|-------|-------|
| มวลชีวภาพ  | (kg/rai) | 2,258 | 777    | 538  | 1,059 | 4,631 |
| คาร์บอน    | (kg/rai) | 1,141 | 400    | 289  | 594   | 2,424 |
| ไนโตรเจน   | (kg/rai) | 6.9   | 4.2    | 9.9  | 2.7   | 23.7  |
| ฟอสฟอรัส   | (kg/rai) | 0.9   | 0.3    | 1.0  | 0.4   | 2.6   |
| โพแทสเซียม | (kg/rai) | 10.5  | 5.2    | 5.8  | 2.0   | 23.5  |
| แคลเซียม   | (kg/rai) | 20.3  | 9.0    | 4.1  | 3.3   | 36.7  |
| แมกนีเซียม | (kg/rai) | 3.5   | 1.7    | 2.0  | 1.0   | 8.2   |

ที่มา: ประพาย และคณะ (2557)

## 11. การประมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่า

การประมาณการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสวนป่า สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ตัน CO}_2 = \text{ตันคาร์บอน} \times 44/12$$

## สรุป

การประมาณปริมาตรลำต้น มวลชีวภาพ และการกักเก็บคาร์บอนในสวนป่า มีขั้นตอนโดยสรุป ดังนี้

1. วัดการเติบโตของต้นไม้ในสวนป่า ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง
2. บันทึกข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และความสูง ลงในคอมพิวเตอร์ เพื่อจัดชั้นความสูงและชั้นความโต (แปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นขนาดเส้นรอบวง)
3. เลือกตัวแทนต้นไม้ (10–12 ต้น) กระจายตามขนาดชั้นความโต กำหนดให้มีตัวแทนในชั้นความโตต่ำสุด 1 ต้น ชั้นความโตสูงสุด 1 ต้น และตัวแทนที่กระจายอยู่ระหว่างชั้นความโตต่ำสุดถึงสูงสุด 8–10 ต้น
4. เลือกตัวแทนต้นไม้ในสวนป่า หมายต้นไม้ด้วยเชือกฟาง
5. เตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้เก็บข้อมูลในสนาม พร้อมแบบฟอร์มบันทึกข้อมูล
6. การเก็บข้อมูลในสวนป่าโดยวิธี Stratified clip technique
  - 6.1 วัดมิติต่างๆ ของต้นไม้ก่อนตัดฟัน ได้แก่ ความโตที่  $G_0$ ,  $G_{0.30}$ ,  $G_{1.30}$ , ความกว้างเรือนยอดในแนวตั้งฉาก
  - 6.2 ตัดฟันต้นไม้ให้ชิดดิน
  - 6.3 เขียนหมายเลขท่อน (0, 1, 2, 3,...n) บนลำต้น และเขียนหมายเลขท่อนลงบนโคนกิ่งของแต่ละท่อน
  - 6.4 วัดมิติต่างๆ ของต้นไม้หลังตัดฟัน ได้แก่
    - 6.4.1 ความสูงทั้งหมด
    - 6.4.2 ความสูงถึงกิ่งสดกิ่งแรก
    - 6.4.3 ความโตที่กิ่งสดกิ่งแรก
    - 6.4.4 ความโตที่ระดับ  $G_{2.30}$ ,  $G_{3.30}$ ,  $G_{4.30}$ , ...,  $G_n$
  - 6.5 ตัดท่อนลำต้นออกเป็นท่อนๆ
  - 6.6 วัดความหนาเปลือกบริเวณโคนท่อนทุกท่อน
  - 6.7 เก็บท่อนปลายยอดไปแยก ลำต้น กิ่ง และใบ ออกจากกันก่อน นำไปชั่งน้ำหนักสดแต่ละส่วน
  - 6.8 แยกส่วนของลำต้น กิ่ง และใบ ในแต่ละท่อนออกจากกัน นำไปชั่งน้ำหนักสดแยกแต่ละส่วน

6.9 สุ่มเก็บตัวอย่าง ลำต้น กิ่ง และใบ ของแต่ละต้น ประมาณตัวอย่างละ 500–1,000 กรัม เพื่อนำไปหาน้ำหนักแห้ง และธาตุอาหาร โดยบรรจุใส่ถุงพลาสติก เขียนหมายเลขต้น และชิ้นส่วนให้ชัดเจน

6.10 สุ่มตัวอย่างจาก ข้อ 6.9 มาชั่งน้ำหนักสดอีกครั้งด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตัวอย่างละประมาณ 500 กรัม บรรจุใส่ถุงกระดาษ เขียนหมายเลขต้นและชิ้นส่วน (ลำต้น ใบ กิ่ง) ให้ชัดเจน นำไปผึ่งให้แห้งในที่ร่มก่อนนำไปอบ

6.11 นำตัวอย่างในข้อ 6.10 ไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $85^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง

7. คำนวณหาน้ำหนักแห้ง (มวลชีวภาพ) ของลำต้น กิ่ง และใบทั้งต้น

8. หามวลชีวภาพรากจากตัวแทนต้นไม้ที่ตัดฟัน โดยเลือกต้นเล็กที่สุด 1 ต้น ต้นใหญ่ที่สุด 1 ต้น และต้นที่มีความโตระหว่างกลาง 1–3 ต้น ทำการขุดราก ศึกษาระบบราก นำไปชั่งน้ำหนักสด สุ่มตัวอย่างไปอบเพื่อหามวลชีวภาพของราก

9. นำข้อมูลมวลชีวภาพที่ได้จากตัวแทนต้นไม้ทั้งหมดไปสร้างสมการประมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation:  $Y = aX^b$ )

10. คำนวณหาปริมาตรของตัวแทนต้นไม้ (ผลรวมของปริมาตรลำต้นทุกท่อน) นำข้อมูลที่ได้จากตัวแทนต้นไม้ทั้งหมดไปสร้างสมการประมาณปริมาตรลำต้นเหนือเปลือกและใต้เปลือก ในรูปของสมการยกกำลัง (power equation:  $Y = aX^b$ )

11. นำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (และความสูง ในกรณีที่มีวัดได้แม่นยำ) ของต้นไม้รายต้นในสวนป่าไปแทนค่าในสมการ ข้อ 9 และ 10 เพื่อประมาณปริมาตรลำต้น และมวลชีวภาพของสวนป่า

12. หาค่าปรับแก้ของสมการประมาณปริมาตรลำต้น และมวลชีวภาพ แล้วคูณค่าปรับแก้เข้ากับผลผลิตที่ประมาณได้

13. การประมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารในมวลชีวภาพ โดยใช้ผลจากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการได้ความเข้มข้นของคาร์บอนและธาตุอาหาร นำไปคำนวณหาปริมาณการกักเก็บคาร์บอนและธาตุอาหารต่อพื้นที่

### เอกสารอ้างอิง

- ประพาย แก่นนาค, อำไพ พรสีแสงสุวรรณ, สาริโรจน์ วัฒนสุขสกุล และ อโณทัย ไพยารมณ. 2557. การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพของสวนป่าไม้สักอายุ 10 ปี. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ กรุงเทพฯ. 11 น.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. 2538. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 557 น.
- สมบูรณ์ กิรติประยูร และ สมหมาย นามสวาท. 2537. เทคนิคบางอย่างในการประมาณผลผลิตของสวนป่า II. การประมาณมวลชีวภาพของส่วนของลำต้นที่มีขนาดจำกัด, น. 124-137. ใน รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2537: การปลูกป่าเพื่อพัฒนาสิ่งแวดล้อม. ระหว่างวันที่ 21-25 พฤศจิกายน 2537 ณ โรงแรมวังใต้ อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี.
- Bremner, J.M. and C.S. Mulvaney. 1982. "Nitrogen-total", p: 595-622. In A.L. Page (ed), Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties) 2<sup>th</sup> ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.
- Knudsen, D., G.A. Peterson and P.F. Pratt. 1982. "Lithium, Sodium and potassium", p: 225-245. In A. Klute (ed.), Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties) 2<sup>th</sup> ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.
- Lanyon, L.E. and W.R. Heald. 1982. "Magnesium, calcium, strontium and barium", p: 247-260. In A. Klute (ed.), Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties) 2<sup>th</sup> ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.
- Olsen, S.R. and L.E. Sommers. 1982. "Phosphorus", p: 403-427. In A. Klute (ed.), Methods of Soil Analysis Part 2 (Chemical and Microbiological Properties), 2<sup>th</sup> ed. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.
- Snowdon, P. 1991. A ratio estimator for bias correction in logarithmic regression. *Canadian Journal of Forest Research*, 1991, 21(5): 720-724, 10.1139/x91-101.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1947. Chromic acid titration method for determination of soil organic matter. *Soil Science* 63: 257.

## ภาคผนวก

### ตารางภาคผนวกที่ 1 สัญลักษณ์ที่ควรรู้ในการใช้โปรแกรม Excel

| ลำดับ | สัญลักษณ์                                          | ความหมาย                                                                                                                         |
|-------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | +                                                  | บวก                                                                                                                              |
| 2     | -                                                  | ลบ                                                                                                                               |
| 3     | *                                                  | คูณ                                                                                                                              |
| 4     | /                                                  | หาร                                                                                                                              |
| 5     | ^                                                  | ยกกำลัง                                                                                                                          |
| 6     | <                                                  | น้อยกว่า                                                                                                                         |
| 7     | >                                                  | มากกว่า                                                                                                                          |
| 8     | A3                                                 | คอลัมน์ A แถว 3                                                                                                                  |
| 9     | A\$3                                               | ตรึงแถวเปลี่ยนคอลัมน์                                                                                                            |
| 10    | \$A\$3                                             | ตรึงคอลัมน์และแถว                                                                                                                |
| 11    | 3+6*9                                              | ผลลัพธ์คือ 57 (ถ้าไม่ใส่วงเล็บจะคูณ/หาร ก่อน +/- เสมอ)                                                                           |
| 12    | (3+6)*9                                            | ผลลัพธ์คือ 81 (ถ้าใส่วงเล็บจะคำนวณวงเล็บก่อน)                                                                                    |
| 13    | = หรือ +                                           | ใช้หน้าสูตร เพื่อบำเหน็จค่าตามสูตรที่กำหนด                                                                                       |
| 14    | m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .yr <sup>-1</sup> | ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์ต่อปี                                                                                                      |
| 15    | 8E-05                                              | เท่ากับ 0.00008 พบในสมการที่มีจุดทศนิยมหลายตำแหน่ง<br>8E คือ ตัวเลขบอกค่าตัวสุดท้ายของจุดทศนิยม<br>05 คือ จำนวนหลักหลังจุดทศนิยม |

ตารางภาคผนวกที่ 2    มาตราซั่ง และ วัด ที่ควรรู้

| <u>มาตราซั่ง</u> |                     |   |                         |
|------------------|---------------------|---|-------------------------|
| 1                | เมกกะกรัม (Mg)      | = | 1      ตัน (ton)        |
| 1                | เมกกะกรัม (Mg)      | = | 1,000    กิโลกรัม (kg)  |
| 1                | กิโลกรัม (kg)       | = | 1,000    กรัม (g)       |
| 1                | กรัม (g)            | = | 1,000    มิลลิกรัม (mg) |
|                  |                     |   |                         |
|                  | ตัน CO <sub>2</sub> | = | ตันคาร์บอน x 44/12      |
| <u>มาตราวัด</u>  |                     |   |                         |
| 1                | เฮกแตร์             | = | 6.25      ไร่           |
| 1                | เฮกแตร์             | = | 100 x 100    เมตร       |
| 1                | ไร่                 | = | 40 x 40      เมตร       |

### แบบฟอร์มที่ 1 วัดการเติบโตของต้นไม้ในสวนป่า

สถาบันวิจัย.....

วันที่บันทึก.....

ชนิด.....

แปลง.....

[illegible][illegible]

**แบบฟอร์มที่ 2** วัดมิติต่างๆ ของต้นไม้เพื่อหาสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ

หน่วยงาน \_\_\_\_\_ วันที่เก็บข้อมูล \_\_\_\_\_  
 ชนิดไม้ \_\_\_\_\_ ต้นที่ \_\_\_\_\_  
 ความกว้างเรือนยอด \_\_\_\_\_ เมตร แปลง \_\_\_\_\_  
 Girth ได้ถึงสัดกิ่งแรก \_\_\_\_\_ ซม. ผู้บันทึกข้อมูล \_\_\_\_\_  
 ความสูงทั้งหมด \_\_\_\_\_ เมตร ความสูงถึงกิ่งสัดกิ่งแรก \_\_\_\_\_ เมตร

| ลำดับ | ความสูง<br>(ซม.) | เส้นรอบวง<br>(ซม.) | น้ำหนักสด (กก.) |               | ความหนาเปลือก (ซม.) |   |   |   |
|-------|------------------|--------------------|-----------------|---------------|---------------------|---|---|---|
|       |                  |                    | ลำต้น > 2 ซม.   | ลำต้น < 2 ซม. | 1                   | 2 | 3 | 4 |
|       | 0.00             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 0     | 0.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 1     | 1.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 2     | 2.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 3     | 3.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 4     | 4.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 5     | 5.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 6     | 6.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 7     | 7.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 8     | 8.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 9     | 9.30             |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 10    | 10.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 11    | 11.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 12    | 12.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 13    | 13.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 14    | 14.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 15    | 15.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 16    | 16.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 17    | 17.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 18    | 18.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 19    | 19.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 20    | 20.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 21    | 21.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 22    | 22.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 23    | 23.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 24    | 24.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 25    | 25.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |
| 26    | 26.30            |                    |                 |               |                     |   |   |   |

แบบฟอร์มที่ 3 วัดมิติต่างๆ ของต้นไม้เพื่อหาสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพ

หน่วยงาน

ชนิดไม้

ความกว้างเรือนยอด

Girth ได้กิ่งสดกิ่งแรก

ความสูงทั้งหมด

ความสูงถึงกิ่งสดกิ่งแรก

เมตร

ซม.

เมตร

เมตร

|        |                  |
|--------|------------------|
| แปลง   | วันที่เก็บข้อมูล |
| ต้นที่ | ผู้บันทึกข้อมูล  |

| น้ำหนักตัวอย่าง    | ลำต้น > 2 ซม. ลำต้น < 2 ซม. | กิ่ง > 2 ซม. | กิ่ง < 2 ซม. | ใบ |
|--------------------|-----------------------------|--------------|--------------|----|
| น้ำหนักสด (กรัม)   |                             |              |              |    |
| น้ำหนักแห้ง (กรัม) |                             |              |              |    |

| ลำดับ | ความสูง (ม.) | ความโต | ลำต้น > 2 ซม. | กิ่ง > 2 ซม. | กิ่ง < 2 ซม. | ใบ |
|-------|--------------|--------|---------------|--------------|--------------|----|
| 0     | 0.00         |        |               |              |              |    |
| 1     | 0.30         |        |               |              |              |    |
| 2     | 1.30         |        |               |              |              |    |
| 3     | 2.30         |        |               |              |              |    |
| 4     | 3.30         |        |               |              |              |    |
| 5     | 4.30         |        |               |              |              |    |
| 6     | 5.30         |        |               |              |              |    |
| 7     | 6.30         |        |               |              |              |    |
| 8     | 7.30         |        |               |              |              |    |
| 9     | 8.30         |        |               |              |              |    |
| 10    | 9.30         |        |               |              |              |    |
| 11    | 10.30        |        |               |              |              |    |
| 12    | 11.30        |        |               |              |              |    |
| 13    | 12.30        |        |               |              |              |    |
| 14    | 13.30        |        |               |              |              |    |
| 15    | 14.30        |        |               |              |              |    |
| 16    | 15.30        |        |               |              |              |    |
| 17    | 16.30        |        |               |              |              |    |
| 18    | 17.30        |        |               |              |              |    |
| 19    | 18.30        |        |               |              |              |    |
| 20    | 19.30        |        |               |              |              |    |
| 21    | 20.30        |        |               |              |              |    |
| 22    | 21.30        |        |               |              |              |    |
| 23    | 22.30        |        |               |              |              |    |
| 24    | 23.30        |        |               |              |              |    |
| 25    | 24.30        |        |               |              |              |    |
| 26    | 25.30        |        |               |              |              |    |
| 27    | 26.30        |        |               |              |              |    |

รวมสมการประมาณปริมาตรลำต้น  
และมวลชีวภาพป่าไม้

## รวมสมการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพป่าไม้

### บทนำ

ผลผลิตของป่า โดยทั่วไปสามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ ปริมาตรลำต้น และน้ำหนักแห้งหรือมวลชีวภาพ รูปแบบการประเมินกำลังผลิตของป่าขึ้นกับกลไกของการซื้อขายในตลาด การประเมินผลผลิตของป่าสามารถประเมินในป่าธรรมชาติเพื่อดูความอุดมสมบูรณ์ของป่า ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของป่า หรือประเมินผลผลิตของสวนป่าเพื่อวิเคราะห์ผลตอบแทนที่ได้รับจากการปลูกสร้างสวนป่า

### การประมาณผลผลิตของป่า

การประมาณผลผลิตของป่า แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การประมาณผลผลิตป่าธรรมชาติ
2. การประมาณผลผลิตสวนป่า

#### 1. การประมาณผลผลิตป่าธรรมชาติ

การประมาณผลผลิตของป่าชนิดต่างๆ สามารถเลือกใช้สมการที่มีผู้สร้างขึ้นมาก่อนแล้วให้ตรงกับชนิดหรือสภาพของป่านั้นๆ เช่น ถ้าต้องการประมาณปริมาตรลำต้นของป่าดิบเขาควรเลือกใช้สมการของ Sungpalee, *et al.* (2009) หรือ การประมาณมวลชีวภาพของป่าดิบแล้ง ควรเลือกใช้สมการของ Tsusumi (1983) เป็นต้น สมการประมาณปริมาตรลำต้นหรือมวลชีวภาพของป่าชนิดต่างๆ ในประเทศไทยที่นักวิชาการหลายท่านได้สร้างขึ้น (ตารางที่ 1-5) ยังไม่ครอบคลุมป่าทุกชนิด การสร้างสมการประมาณมวลชีวภาพของป่าธรรมชาติเป็นเรื่องที่ทำได้ยากในปัจจุบันเนื่องจากต้องตัดตัวแทนต้นไม้ทั้งแปลง ซึ่งเสี่ยงต่อการต่อต้านของคนในชุมชนและองค์กรต่างๆ ดังนั้น การประมาณมวลชีวภาพของป่าที่ยังไม่มีสมการตัวแทนของป่าชนิดนั้น อาจเลือกใช้สมการของป่าชนิดอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น การประมาณมวลชีวภาพของป่าดิบเขาอาจเลือกใช้สมการของ Tsusumi (1983) ซึ่งเป็นป่าไม่ผลัดใบเหมือนกัน หรือ การประมาณมวลชีวภาพในป่าเต็งรัง อาจเลือกใช้สมการประมาณมวลชีวภาพป่าผลัดใบของ Ogawa *et al.* (1965) จะให้ค่าใกล้เคียงกว่าการเลือกใช้สมการของป่าไม่ผลัดใบ

## 2. การประมาณผลผลิตสวนป่า

สวนป่าที่ปลูกสร้างขึ้นมักปลูกเป็นพืชเชิงเดี่ยว ซึ่งในปัจจุบันมีสวนป่าหลากหลายชนิด และหลายชั้นอายุ โดยมีนักวิชาการหลายท่านได้สร้างสมการปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพไว้มากมาย (ตารางที่ 6-17) การเลือกใช้สมการต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ชนิดของพันธุ์ไม้ อายุ ระยะปลูก สภาพแวดล้อมของพื้นที่ ให้ใกล้เคียงกับสวนป่าที่ต้องการประเมินมากที่สุด จึงจะทำให้ค่าใกล้เคียงความเป็นจริง

### เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา นิตยะ. 2528. ลักษณะทางคณิตศาสตร์ป่าไม้บางประการของไม้สนสองใบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ชิงชัย วิริยะบัญชา, วิโรจน์ รัตนพรเจริญ, จตุพร มังคลารัตน์ และ ประสิทธิ์ เพ็ชรอนุรักษ์. 2548. มวลชีวภาพและการเจริญเติบโตของพันธุ์ไม้มีค่าทางเศรษฐกิจบางชนิด เพื่อประมาณการสะสมธาตุคาร์บอนในสวนป่า. ฝายวนวัฒนวิจัยและพฤกษศาสตร์ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 8 น.
- ชิงชัย วิริยะบัญชา, กันตินันท์ ผิวนาด และ สิริวัฒน์ จันทรมหเสถียร. 2548. การประเมินศักยภาพของกิจกรรมการปลูกสร้างสวนป่าในการลดความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. ใน รายงานการประชุมวิชาการการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ “ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต” ณ โรงแรมมารวย การ์เด็น กรุงเทพฯ วันที่ 4-5 สิงหาคม 2548. 18 น.
- ชิงชัย วิริยะบัญชา, ประวิทย์ จิตต์จำนงค์, ชัชวาล สุทธิศรีศิลป์ ศุภรัตน์ สำราญ และกันตินันท์ ผิวนาด. 2545. การปรับสมการเพื่อประเมินมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของสวนป่าสักในประเทศไทย. ส่วนวนวัฒนวิจัย, สำนักวิชาการป่าไม้, กรมป่าไม้. 22 น.
- ธิตี วิสารรัตน์ และ ชลธิดา เชิญขุนทด. 2547. องค์ประกอบของชนิดพันธุ์พืชและปริมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินของต้นไม้ในป่าดิบแล้ง. ใน เอกสารประกอบการประชุม “การประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ” ณ โรงแรมมารวยการ์เด็น กรุงเทพฯ ระหว่างวันที่ 16-17 สิงหาคม 2547. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 31 น.

- บพิตร เกียรติวุฒินนท์. 2557. การประมาณผลผลิตของสวนป่าสนคาริเปีย. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 19 น.
- ประพาย แก่นนาค และ อโณทัย ไพยารมย์. 2556. การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพของสวนป่าไม้สัก. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 11 น.
- ประพาย แก่นนาค, อำไพ พรสิแสงสุวรรณ, สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล และ อโณทัย ไพยารมย์. 2557. การประมาณปริมาตรไม้และมวลชีวภาพของสวนป่าไม้สักอายุ 10 ปี. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 11 น.
- เยาวลักษณ์ วงศ์สิงห์, ศศิธร พ่วงปาน และ พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์. 2555. ความสัมพันธ์เชิงแอลโลเมตรีสำหรับประมาณมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดินและใต้ดินของกล้าไม้วงศ์ยาง. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย 4 (ฉบับพิเศษ): 37-46.
- วิจารณ์ มีผล. 2553. การเก็บกักคาร์บอนของป่าชายเลน บริเวณพื้นที่สงวนชีวมณฑลระนอง. วารสารการจัดการป่าไม้ 4(7) : 33-47.
- สมชาย นองเนื่อง, สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล และ ปริญญ์ มโนวงศ์. 2542. การประมาณปริมาตรลำต้นของไม้สนบางชนิด. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 19 น.
- สุนันทา ขจรศรีชล. 2531. ลักษณะทางนิเวศวิทยาบางประการของป่าสนธรรมชาติ บริเวณโครงการหลวงบ้านวัดจันทร์ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 134 น.
- อำไพ พรสิแสงสุวรรณ, สมชาย นองเนื่อง และ วรพจน์ คำใบ. 2557. การประมาณปริมาตรไม้ในป่าเต็งรัง. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 19 น.
- Kutintara, U., D. Marod, M. Takahashi and T. Nakashizuka. 1995. Growth and dynamics of bamboos in tropical seasonal forest, pp. 125-139. *In* International workshop on changes of tropical forest ecosystem, National Research Council, Bangkok.
- Nongnuang, S. 2012. Carbon sinks and nutrient accumulation in ecosystems of series of *Pinus kesiya* plantations and fragmented forests in Boakaew Highland Watershed, Chiang Mai province. Ph.D. Thesis. Chiang Mai University. 267 p.
- Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino, and T. Kira. 1965. Comparative ecological study on three main types of forest vegetation in Thailand. II. Plant biomass. *Nature and Life in Southeast Asia* 4: 49-80.

- Ogino, K., D. Ratanawongs, T. Tsutsumi and T. Shidei. 1967. The primary production of tropical forest in Thailand. *The Southeast Asian Studies* Vol. 5 (1): 122–154, Kyoto, Japan.
- Pornleesangsuwan, A. 2012. Pine growth, soil properties and succession in *Pinus kesiya* plantations, and influence of fragmented forests on reforestation in Boakaew Highland Watershed, Chiang Mai province. Ph.D. Thesis. Chiang Mai University. 304 p.
- Sungpalee, W., A. Itoh, M. Kanzaki, K. Sri-ngernyuang, H. Noguchi, T. Mizuno, S. Teejuntuk, M. Hara, K. Chai-udom, T. Ohkubo, P. Sahunalu, P. Dhanmmanonda, S. Nanami, T. Yamakura and A. Sorn-ngai. 2009. Intra- and interspecific variation in wood density and fine-scale spatial distribution of stand-level wood density in a northern Thai tropical montane forest. *Journal of Tropical Ecology* 25: 359–370.
- Suwannapinunt, W. 1983. A study on the biomass of *Thyrsostachys siamensis* Gamble forest at Hin-Lap, Kanchanaburi. *Journal of Bamboo Research* 2 (2): 82–101.
- Tsutsumi, T., K. Yoda, P. Sahunaru, P. Dhanmanonda and B. Prachaiyo. 1983. Forest: burning and regeneration. In *Shifting cultivation, an experiment at Nam Phrom, Northeast Thailand, and its implications for upland farming in the monsoon tropics*. Kyuma, K and Pairintra, C. (ed.). A report of a cooperative research between Thai-Japanese universities.
- Vacharangkura, T. 2001. Total biomass and nutrient distribution of *Dalbergia cochinchinensis* and *Eucalyptus camaldulensis* stands in Thailand, pp : 29–40. In *Proceeding of the Joint Meeting for the Cooperative Research Project on Ecological Impact Assessment of Tropical Plantations*. 3<sup>rd</sup> October, 2001, Tokyo, Japan, Japan Overseas Plantation Center for Pulpwood (JOPP).
- Viriyabuncha, C. and K. Peawsa-ad. 2002. Assessment of the Potentiality of Re-afforestation Activities in Climate Change Mitigation, Annual Report April, 2001 – March, 2002. Forest Research Office, Royal Forest Department, Thailand. 62 p.

ตารางที่ 1 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นของต้นไม้ในป่าดิบเขาและป่าสน

| ชนิดของป่า | สมการ                                                                                                                                                                                                                         | อ้างอิง                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| ป่าดิบเขา  | $V = 0.00007629674(DBH^2 \cdot H)^{0.914502}$ <p>เมื่อ V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)<br/>           DBH = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)<br/>           H = ความสูงทั้งหมด (เมตร)</p>                                   | Sungpalee, <i>et al.</i> (2009) |
| สนสองใบ    | $\log V = -5.6765 + 1.9402 \log C + 1.1728 \log H$ <p>เมื่อ V = ปริมาตรไม้ไม่รวมเปลือก (ลูกบาศก์เมตร)<br/>           C = ขนาดเส้นรอบวงเหนือเปลือกที่ระดับอก (เซนติเมตร)<br/>           H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)</p> | กาญจนา (2528)                   |

ตารางที่ 2 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นของต้นไม้ในป่าเต็งรัง

| No. | Thai name   | Scienceific name                  | $V = \alpha (DBH)^b$         |        |              | $V = \alpha (D^2H)^b$         |        |              |
|-----|-------------|-----------------------------------|------------------------------|--------|--------------|-------------------------------|--------|--------------|
|     |             |                                   | Equation                     | $R^2$  | Adjust value | Equation                      | $R^2$  | Adjust value |
| 1   | กระบก       | <i>Irvingia malayana</i>          | $V = 0.0003 (DBH)^{2.1982}$  | 0.9673 | 0.8553       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8699}$  | 0.9858 | 1.1035       |
| 2   | ก่อแพะ      | <i>Quercus kerrii</i>             | $V = 0.0001 (DBH)^{2.4235}$  | 0.9354 | 1.1577       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8278}$  | 0.9979 | 1.2238       |
| 3   | เก็ดแดง     | <i>Dalbergia oliveri</i>          | $V = 0.0004 (DBH)^{1.9937}$  | 0.9474 | 1.1081       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8759}$  | 0.9779 | 1.0593       |
| 4   | ตาลเหลือง   | <i>Ochna integerrima</i>          | $V = 0.0003 (DBH)^{2.0779}$  | 0.9473 | 0.8551       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.827}$   | 0.9269 | 1.4854       |
| 5   | ติ้วเกลี้ยง | <i>Cratogeomys cochinchinense</i> | $V = 0.0001 (DBH)^{2.4609}$  | 0.9561 | 1.3934       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8386}$  | 0.9994 | 1.2925       |
| 6   | ตุ้มกว้าว   | <i>Haldina cordifolia</i>         | $V = 0.00008 (DBH)^{2.7951}$ | 0.9682 | 1.0270       | $V = 0.00004 (D^2H)^{1.0413}$ | 0.9740 | 1.0850       |
| 7   | เต็ง        | <i>Shorea obtusa</i>              | $V = 0.0001 (DBH)^{2.45}$    | 0.9385 | 1.1563       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8417}$  | 0.9749 | 1.2312       |
| 8   | เต็งหนาม    | <i>Bridelia retusa</i>            | $V = 0.0003 (DBH)^{2.1489}$  | 0.9935 | 0.8544       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8463}$  | 0.9703 | 1.3416       |
| 9   | ประดู่      | <i>Pterocarpus macrocarpus</i>    | $V = 0.0002 (DBH)^{2.4002}$  | 0.9842 | 0.8014       | $V = 0.0002 (D^2H)^{0.7668}$  | 0.9952 | 0.9629       |
| 10  | มะกอกเกลี้น | <i>Canarium subulatum</i>         | $V = 0.0002 (DBH)^{2.182}$   | 0.9853 | 1.0773       | $V = 0.0002 (D^2H)^{0.8097}$  | 0.9944 | 0.7679       |
| 11  | มะห้        | <i>Syzygium oblatum</i>           | $V = 0.0002 (DBH)^{2.3389}$  | 0.9502 | 0.8203       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8572}$  | 0.9661 | 1.0563       |
| 12  | รักขี้หมู   | <i>Semecarpus albescens</i>       | $V = 0.00009 (DBH)^{2.6811}$ | 0.9584 | 0.9631       | $V = 0.00009 (D^2H)^{0.8997}$ | 0.9592 | 1.0387       |
| 13  | รักใหญ่     | <i>Gluta usitata</i>              | $V = 0.0003 (DBH)^{2.1408}$  | 0.9808 | 0.8541       | $V = 0.0002 (D^2H)^{0.7994}$  | 0.9866 | 0.8529       |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| No. | Thai name  | Scientific name                   | $V = a (DBH)^b$              |        |              | $V = a (D^2H)^b$              |        |              |
|-----|------------|-----------------------------------|------------------------------|--------|--------------|-------------------------------|--------|--------------|
|     |            |                                   | Equation                     | $R^2$  | Adjust value | Equation                      | $R^2$  | Adjust value |
| 14  | รัง        | <i>Shorea siamensis</i>           | $V = 0.0002 (DBH)^{2.1578}$  | 0.9588 | 1.0808       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8482}$  | 0.9783 | 1.1725       |
| 15  | ละมุดป่า   | <i>Manilkara littoralis</i>       | $V = 0.00004 (DBH)^{2.9108}$ | 0.9736 | 1.1196       | $V = 0.00003 (D^2H)^{1.041}$  | 0.9879 | 1.1749       |
| 16  | ส้มป่อย    | <i>Carallia brachiata</i>         | $V = 0.0002 (DBH)^{2.3699}$  | 0.9654 | 0.8218       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8591}$  | 0.9708 | 1.3360       |
| 17  | สัตบรรณ    | <i>Alstonia scholaris</i>         | $V = 0.00008 (DBH)^{2.7147}$ | 0.9263 | 1.0637       | $V = 0.00003 (D^2H)^{1.0609}$ | 0.9738 | 1.1085       |
| 18  | ลิ้น       | <i>Dillenia obovata</i>           | $V = 0.0001 (DBH)^{2.4285}$  | 0.9552 | 1.3293       | $V = 0.0002 (D^2H)^{0.8244}$  | 0.9948 | 0.8150       |
| 19  | สารภีป่า   | <i>Anneslea fragrans</i>          | $V = 0.00007 (DBH)^{2.641}$  | 0.9898 | 0.9908       | $V = 0.0003 (D^2H)^{0.7102}$  | 0.9894 | 0.9769       |
| 20  | หนามมะเค็ด | <i>Catunaregam tomentosa</i>      | $V = 0.0001 (DBH)^{2.567}$   | 0.9548 | 1.0222       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8698}$  | 0.9709 | 1.0146       |
| 21  | เหมือดจู้  | <i>Memecylon scutellatum</i>      | $V = 0.0005 (DBH)^{1.7035}$  | 0.8860 | 1.0253       | $V = 0.0002 (D^2H)^{0.7685}$  | 0.9129 | 0.9115       |
| 22  | เหมือดโสด  | <i>Aporosa villosa</i>            | $V = 0.0002 (DBH)^{2.2204}$  | 0.8966 | 1.3208       | $V = 0.00005 (D^2H)^{0.9943}$ | 0.9527 | 1.2014       |
| 23  | เหียง      | <i>Dipterocarpus obtusifolius</i> | $V = 0.0006 (DBH)^{1.8902}$  | 0.9081 | 0.9828       | $V = 0.0002 (D^2H)^{0.7677}$  | 0.9355 | 1.2372       |
|     | Total      |                                   | $V = 0.0002 (DBH)^{2.310}$   | 0.9260 | 0.8975       | $V = 0.0001 (D^2H)^{0.8724}$  | 0.9590 | 1.0845       |

ที่มา: อำไพ และคณะ (2557)

ตารางที่ 3 สมการที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพรายต้นของส่วนต่างๆ ของต้นไม้ในป่าชนิดต่างๆ

| ชนิดของป่า                                                    | สมการ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | R <sup>2</sup>                   | อ้างอิง                       |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
| ป่าสนเขา (เฉพาะไม้สนเขา)                                      | $W_s \text{ (stem)} = 0.02141(D^2 H)^{0.9814}$<br>$W_b \text{ (branch)} = 0.00002(D^2 H)^{1.4561}$<br>$W_l \text{ (leaf)} = 0.00030(D^2 H)^{1.0138}$<br>เมื่อ $W = \text{biomass (kg)}$<br>$D = \text{diameter at breast height (cm)}$<br>$H = \text{total height (m)}$                                                | 0.995<br>0.929<br>0.937          | สุนันทา (2531)                |
| ป่าดิบแล้ง                                                    | $W_s \text{ (stem)} = 0.0509 (D^2 H)^{0.919}$<br>$W_b \text{ (branch)} = 0.00893 (D^2 H)^{0.977}$<br>$W_l \text{ (leaf)} = 0.0140 (D^2 H)^{0.669}$<br>$W_r \text{ (root)} = 0.0313 (D^2 H)^{0.805}$<br>เมื่อ $W = \text{biomass (kg)}$<br>$D = \text{diameter at breast height (cm)}$<br>$H = \text{total height (m)}$ | 0.978<br>0.890<br>0.714<br>0.981 | Tsutsumi <i>et al.</i> (1983) |
| ป่าดิบแล้ง<br>ต้นไม้หน่อมมีขนาด DBH น้อยกว่า 4.5<br>เซนติเมตร | $W_s = 0.0702 DBH^2 H^{0.8737}$<br>$W_b = 0.0093 DBH^2 H^{0.9403}$<br>$W_l = 0.0244 DBH^2 H^{1.0517}$<br>เมื่อ $W = \text{biomass (kg)}$<br>$DBH = \text{diameter at breast height (cm)}$<br>$H = \text{total height (m)}$                                                                                             |                                  | วิติ และชลธิดา (2547)         |

ตารางที่ 3 (ต่อ)

| ชนิดของป่า                            | สมการ                                                                                                                                                                                                                                                 | R <sup>2</sup> | อ้างอิง                    |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|
| ป่าผลัดใบ (ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง) | $W_S = 189 (D^2 H)^{0.902}$<br>$W_B = 0.125 W_S^{1.204}$<br>$1/W_L = (11.4/W_S^{0.9}) + 0.172$<br>เมื่อ W = biomass (kg)<br>D = diameter at breast height (m)<br>H = total height (m)                                                                 |                | Ogino <i>et al.</i> (1967) |
| ป่าผลัดใบ (ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง) | $W_s = 0.0396 (D^2 H)^{0.9326}$<br>$W_b = 0.003487 (D^2 H)^{1.027}$<br>$W_l = (28.0/WTC + 0.025)^{-1}$<br>$WTC = W_s + W_b$                                                                                                                           |                | Ogawa <i>et al.</i> (1965) |
| ป่าดิบชื้น                            | $W_s = 0.0396 (D^2 H)^{0.9326}$<br>$W_b = 0.006003 (D^2 H)^{1.027}$<br>$W_l = (28.0/WTC + 0.025)^{-1}$<br>$WTC = W_s + W_b$<br>$W_R = 0.0264 (D^2 H)^{0.775}$<br>เมื่อ W = biomass (kg)<br>D = diameter at breast height (cm)<br>H = total height (m) |                | Ogawa <i>et al.</i> (1965) |

ตารางที่ 4 สมการที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพเหนือพื้นดินและมวลชีวภาพใต้พื้นดินของกล้าไม้วงศ์ไม้ยาง

| ชนิดไม้ | มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน                                                                                |       | มวลชีวภาพใต้พื้นดิน               |       | อ้างอิง                  |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|--------------------------|
|         | สมการ                                                                                                | $R^2$ | สมการ                             | $R^2$ |                          |
| พลวง    | $W_{AG} = 9.402 (D_0)^{2.0.93}$                                                                      | 0.418 | $W_{BG} = 125.0 (D_0)^{2.0.52}$   | 0.284 | เขาวงกต และคณะ<br>(2555) |
|         | $W_{AG} = 0.117 (H)^{1.64}$                                                                          | 0.768 | $W_{BG} = 14.54 (H)^{0.83}$       | 0.423 |                          |
|         | $W_{AG} = 0.572 (D_0 * H)^{0.99}$                                                                    | 0.687 | $W_{BG} = 30.10 (D_0 * H)^{0.52}$ | 0.406 |                          |
| เหียง   | $W_{AG} = 38.09 (D_0)^{2.1.26}$                                                                      | 0.846 | $W_{BG} = 190.0 (D_0)^{2.1.36}$   | 0.937 |                          |
|         | $W_{AG} = 0.001 (H)^{2.44}$                                                                          | 0.941 | $W_{BG} = 0.008 (H)^{2.46}$       | 0.902 |                          |
|         | $W_{AG} = 0.212 (D_0 * H)^{1.29}$                                                                    | 0.944 | $W_{BG} = 0.843 (D_0 * H)^{1.34}$ | 0.963 |                          |
| เต็ง    | $W_{AG} = 32.13 (D_0)^{2.0.80}$                                                                      | 0.612 | $W_{BG} = 241.1 (D_0)^{2.1.05}$   | 0.633 |                          |
|         | $W_{AG} = 0.180 (H)^{1.08}$                                                                          | 0.321 | $W_{BG} = 0.023 (H)^{2.01}$       | 0.724 |                          |
|         | $W_{AG} = 1.098 (D_0 * H)^{0.74}$                                                                    | 0.507 | $W_{BG} = 1.608 (D_0 * H)^{1.18}$ | 0.765 |                          |
|         | เมื่อ $D_0$ = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นที่ระดับพื้นดิน (เซนติเมตร)<br>H = ความสูงทั้งหมด (เซนติเมตร) |       |                                   |       |                          |

ตารางที่ 5 สมการที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพรายต้นของส่วนต่างๆ ของต้นไม้ในป่าชายเลน

| ชนิด                                               | สมการ                                                                                                                                             | R <sup>2</sup>             | อ้างอิง        |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| <i>Avicennia alba</i><br>(แสมขาว)                  | Log Ws = 0.5063 + 0.0442 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = 0.2619 + 0.0315 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = 0.0940 + 0.0310 Log D <sup>2</sup> H   | 0.9663<br>0.8763<br>0.8624 | วิจารณ์ (2553) |
| <i>Avicennai officinalis</i><br>(แสมดำ)            | Log Ws = 0.3389 + 0.0570 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = 0.0775 + 0.0403 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = 0.1119 + 0.0392 Log D <sup>2</sup> H   | 0.9737<br>0.8804<br>0.8700 |                |
| <i>Bruguiera cylindrical</i> (ถั่วขาว)             | Log Ws = 0.4754 + 0.0413 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.4325 + 0.0382 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.1984 + 0.0349 Log D <sup>2</sup> H | 0.9026<br>0.8841<br>0.9574 |                |
| <i>Bruguiera parviflora</i><br>(ถั่วดำ)            | Log Ws = 0.3470 + 0.458 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.6811 + 0.0659 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.2965 + 0.0393 Log D <sup>2</sup> H  | 0.9217<br>0.8431<br>0.8787 |                |
| <i>Brugulera gymnorhiza</i><br>(พังกาหัวส้มดอกแดง) | Log Ws = 0.4703 + 0.0437 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.0443 + 0.0551 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = 0.1266 + 0.0283 Log D <sup>2</sup> H  | 0.9221<br>0.9263<br>0.7851 |                |
| <i>Ceriops tagal</i><br>(โปรงแดง)                  | Log Ws = 0.2432 + 0.0587 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.4632 + 0.0625 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.4187 + 0.0529 Log D <sup>2</sup> H | 0.9076<br>0.8185<br>0.7758 |                |

ตารางที่ 5 (ต่อ)

| ชนิด                                          | สมการ                                                                                                                                                                                                | R <sup>2</sup>                       | อ้างอิง        |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|
| <i>Rhizophora apiculata</i><br>(โกงกางใบเล็ก) | Log Ws = 0.8074 + 0.0289 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.2344 + 0.0424 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.0682 + 0.0277 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wpr = -0.7566 + 0.0311 Log D <sup>2</sup> H | 0.9681<br>0.9175<br>0.8521<br>0.8771 | วิจารณ์ (2553) |
| <i>Rhizophora mucronata</i><br>(โกงกางใบใหญ่) | Log Ws = 0.6171 + 0.0357 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.3606 + 0.0467 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.3778 + 0.0360 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wpr = -0.6908 + 0.0496 Log D <sup>2</sup> H | 0.9367<br>0.7972<br>0.8420<br>0.8815 |                |
| <i>Sonneratia alba</i><br>(ลำพูทะเล)          | Log Ws = 0.2520 + 0.0507 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.3567 + 0.0449 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.4976 + 0.0418 Log D <sup>2</sup> H                                                    | 0.9816<br>0.8453<br>0.8232           |                |
| <i>Xylocarpus granatum</i><br>(ตะบูนขาว)      | Log Ws = 0.2374 + 0.0589 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.5046 + 0.0637 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.5179 + 0.0558 Log D <sup>2</sup> H                                                    | 0.9698<br>0.9558<br>0.9450           |                |
| <i>Xylocarpus moluccensis</i><br>(ตะบูนดำ)    | Log Ws = 0.2572 + 0.0566 Log D <sup>2</sup> H<br>Log Wb = -0.7659 + 0.0562 Log D <sup>2</sup> H<br>Log WI = -0.7823 + 0.0511 Log D <sup>2</sup> H                                                    | 0.9898<br>0.9192<br>0.8675           |                |

ตารางที่ 6 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นของต้นไม้ในสวนป่าไม้ตระกูลสน

| Species                                                  | Equation                                                                                                                                                                                                                               | R <sup>2</sup>   | Adjust value         | Reference               |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------|
| สนสามใบ<br>( <i>Pinus kesiya</i> )                       | $V = 0.00014115(Dbh)^{2.347175}$<br>$V = 0.00005320(Dbh^2 \cdot Ht)^{0.940715}$                                                                                                                                                        | 0.9879<br>0.9935 | 1.001535<br>0.995645 | สมชาย และคณะ (2542)     |
| สนคาริเบีย (พื้นที่สูง)<br><i>P.caribaea</i> (High land) | $V = 0.00012142(Dbh)^{2.41881478}$<br>$V = 0.00005456(Dbh^2 \cdot Ht)^{0.936650}$                                                                                                                                                      | 0.9649<br>0.9926 | 1.004368<br>1.001101 |                         |
| สนคาริเบีย (พื้นที่ต่ำ)<br><i>P.caribaea</i> (Low land)  | $V = 0.00010445(Dbh)^{2.452382}$<br>$V = 0.00006634(Dbh^2 \cdot Ht)^{0.9140}$                                                                                                                                                          | 0.9586<br>0.9889 | 1.012279<br>1.00209  |                         |
| สนโอคาร์ปา<br><i>P.oocarpa</i>                           | $V = 0.00015471(Dbh)^{2.363119}$<br>$V = 0.00004447(Dbh^2 \cdot Ht)^{0.9581}$<br>เมื่อ V = ปริมาตรไม้ไม่รวมเปลือก (ลูกบาศก์เมตร)<br>Dbh = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเหนือเปลือกที่ระดับอก (เซนติเมตร)<br>Ht = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร) | 0.9678<br>0.9911 | 1.001427<br>1.002114 |                         |
| สนสามใบ                                                  | $V = 0.00002 (D^2 H)^{1.0514}$<br>เมื่อ V = ปริมาตรไม้เนื้อเปลือก (ลูกบาศก์เมตร)<br>D = เส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร)<br>H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)                                                                   | 0.9783           |                      |                         |
|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                        |                  |                      | Pornleesangsuwan (2012) |

ตารางที่ 7 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนคาริเบียในจังหวัดเชียงใหม่ (ที่มา: บพิตร, 2557)

| Age (yrs) | Station               | Status                                                                                       | Equation    |                                                         | R <sup>2</sup> | Adjust value | Equation                                                        |        | R <sup>2</sup> | Adjust value |
|-----------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|--------|----------------|--------------|
| 6         | In Takin, Chiang Mai  | Spacing: 1.5 × 3 m<br>Height: 6.58 ± 1.75 m<br>DBH: 8.14 ± 2.31 cm<br>Density: 149 trees/rai | Stem volume | $V_{\text{over bark}} = 0.0003 (\text{DBH})^{2.0588}$   | 0.9876         | 1.0008       | $V_{\text{over bark}} = 0.0002 (\text{D}^2\text{H})^{0.7842}$   | 0.9883 | 0.9963         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $V_{\text{under bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.0062}$  | 0.9806         | 1.1645       | $V_{\text{under bark}} = 0.0002 (\text{D}^2\text{H})^{0.7655}$  | 0.9846 | 0.7727         |              |
|           |                       |                                                                                              | Biomass     | $W_S = 0.0628 (\text{DBH})^{2.2693}$                    | 0.9846         | 1.0159       | $W_S = 0.04 (\text{D}^2\text{H})^{0.8644}$                      | 0.9854 | 1.0146         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_B = 0.2305 (\text{WS})^{1.092}$                      | 0.9705         | 1.0833       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_L = 1.2668 (\text{WB})^{0.9737}$                     | 0.9746         | 1.0511       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_R = 0.0445 (\text{DBH})^{1.9099}$                    | 0.9907         | 1.0180       |                                                                 |        |                |              |
| 9         | Baw kaew, Chiang Mai  | Spacing: 3 × 3 m<br>Height: 13.20 ± 2.64 m<br>DBH: 12.80 ± 4.10 cm<br>Density: 114 trees/rai | Stem volume | $V_{\text{over bark}} = 0.00005 (\text{DBH})^{2.1197}$  | 0.9961         | 1.0053       | $V_{\text{over bark}} = 0.00004 (\text{D}^2\text{H})^{0.7757}$  | 0.9967 | 0.9948         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $V_{\text{under bark}} = 0.00003 (\text{DBH})^{2.2002}$ | 0.9784         | 0.9163       | $V_{\text{under bark}} = 0.00002 (\text{D}^2\text{H})^{0.808}$  | 0.9857 | 1.0527         |              |
|           |                       |                                                                                              | Biomass     | $W_S = 0.0274 (\text{DBH})^{2.5541}$                    | 0.9703         | 1.0210       | $W_S = 0.0199 (\text{D}^2\text{H})^{0.9401}$                    | 0.9822 | 1.0122         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_B = 0.0021 (\text{DBH})^{2.8966}$                    | 0.9440         | 1.0494       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_L = 0.0059 (\text{DBH})^{2.6181}$                    | 0.9471         | 1.0549       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_R = 3.2649 (\text{WS})^{0.634}$                      | 0.9850         | 0.8299       |                                                                 |        |                |              |
| 18        | Huey Bong, Chiang Mai | Spacing: 3 × 3 m<br>Height: 20.59 ± 3.32 m<br>DBH: 20.97 ± 4.62 cm<br>Density: 138 trees/rai | Stem volume | $V_{\text{over bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.474}$    | 0.9798         | 0.7979       | $V_{\text{over bark}} = 0.00004 (\text{D}^2\text{H})^{0.9962}$  | 0.9950 | 0.9711         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $V_{\text{under bark}} = 0.00009 (\text{DBH})^{2.5729}$ | 0.9760         | 1.0586       | $V_{\text{under bark}} = 0.00002 (\text{D}^2\text{H})^{1.037}$  | 0.9930 | 1.0852         |              |
|           |                       |                                                                                              | Biomass     | $W_S = 0.1004 (\text{DBH})^{2.3852}$                    | 0.9432         | 1.0186       | $W_S = 0.0244 (\text{D}^2\text{H})^{0.9669}$                    | 0.9707 | 1.0087         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_B = 0.0003 (\text{DBH})^{3.5713}$                    | 0.9426         | 1.1001       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_L = 0.4527 (\text{WB})^{0.8048}$                     | 0.9235         | 1.1226       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             |                                                         |                |              |                                                                 |        |                |              |
| 29        | Huey Bong, Chiang Mai | Spacing: 3 × 3 m<br>Height: 21.08 ± 2.01 m<br>DBH: 25.63 ± 5.97 cm<br>Density: 88 trees/rai  | Stem volume | $V_{\text{over bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.3519}$   | 0.9850         | 1.1633       | $V_{\text{over bark}} = 0.00005 (\text{D}^2\text{H})^{0.9677}$  | 0.9924 | 0.9421         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $V_{\text{under bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.3488}$  | 0.9634         | 0.9197       | $V_{\text{under bark}} = 0.00004 (\text{D}^2\text{H})^{0.9708}$ | 0.9795 | 0.8925         |              |
|           |                       |                                                                                              | Biomass     | $W_S = 0.1009 (\text{DBH})^{2.3642}$                    | 0.9669         | 1.0131       | $W_S = 0.0193 (\text{D}^2\text{H})^{0.9781}$                    | 0.9851 | 1.0065         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_B = 0.0003 (\text{DBH})^{3.3987}$                    | 0.9273         | 1.0865       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_L = 1.1055 (\text{WB})^{0.7364}$                     | 0.9104         | 1.1265       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             |                                                         |                |              |                                                                 |        |                |              |
| All       |                       |                                                                                              | Stem volume | $V_{\text{over bark}} = 0.00006 (\text{DBH})^{2.6406}$  | 0.7984         | 1.2568       | $V_{\text{over bark}} = 0.00004 (\text{D}^2\text{H})^{0.9465}$  | 0.8416 | 1.3125         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $V_{\text{under bark}} = 0.00003 (\text{DBH})^{2.7138}$ | 0.7838         | 1.5792       | $V_{\text{under bark}} = 0.00002 (\text{D}^2\text{H})^{0.9758}$ | 0.8314 | 1.5782         |              |
|           |                       |                                                                                              | Biomass     | $W_S = 0.026 (\text{DBH})^{2.7313}$                     | 0.9592         | 0.8949       | $W_S = 0.0209 (\text{D}^2\text{H})^{0.9661}$                    | 0.9847 | 1.0267         |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_B = 0.0071 (\text{DBH})^{2.5095}$                    | 0.9126         | 1.0272       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_L = 1.225 (\text{WB})^{0.6989}$                      | 0.8036         | 1.5459       |                                                                 |        |                |              |
|           |                       |                                                                                              |             | $W_R = 0.551 (\text{WS})^{0.9364}$                      | 0.9605         | 1.1139       |                                                                 |        |                |              |

ตารางที่ 8 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนคาริเปี้ยอายุ 29 ปี ในพื้นที่ต่างๆ

| Station                                | Status                                                                                      | Equation                                                          | R <sup>2</sup> | Adjust value | Equation                                                        | R <sup>2</sup> | Adjust value |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| Dong Lan,<br>Khon Kaen                 | Spacing: 3 × 3 m<br>Height: 28.65 ± 2.86 m<br>DBH: 30.63 ± 5.20 cm<br>Density: 85 trees/rai | <b>Stem</b> $V_{\text{over bark}} = 0.0008 (\text{DBH})^{2.0729}$ | 0.9676         | 1.0037       | $V_{\text{over bark}} = 0.0001 (\text{D}^2\text{H})^{0.8711}$   | 0.9733         | 1.3858       |
|                                        |                                                                                             | $V_{\text{under bark}} = 0.0007 (\text{DBH})^{2.0584}$            | 0.9639         | 1.0624       | $V_{\text{under bark}} = 0.0001 (\text{D}^2\text{H})^{0.8632}$  | 0.9656         | 1.3243       |
|                                        |                                                                                             | <b>Biomass</b> $W_S = 0.2833 (\text{DBH})^{2.2285}$               | 0.9285         | 1.0115       | $W_S = 0.0404 (\text{D}^2\text{H})^{0.9423}$                    | 0.9456         | 1.0093       |
|                                        |                                                                                             | $W_B = 0.0741 (W_S)^{0.9308}$                                     | 0.9431         | 0.9655       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             | $W_L = 1.914 (W_B)^{0.5876}$                                      | 0.8772         | 1.0229       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             | $W_R = 0.0616 (\text{DBH})^{2.2855}$                              | 0.9745         | 1.0071       |                                                                 |                |              |
| Khong<br>Chiam,<br>Ubon<br>Ratchathani | Spacing: 3 × 6 m<br>Height: 21.19 ± 3.37 m<br>DBH: 29.96 ± 7.01 cm<br>Density: 47 trees/rai | <b>Stem</b> $V_{\text{over bark}} = 0.0007 (\text{DBH})^{2.079}$  | 0.9606         | 0.9447       | $V_{\text{over bark}} = 0.00007 (\text{D}^2\text{H})^{0.9326}$  | 0.9804         | 1.0184       |
|                                        |                                                                                             | $V_{\text{under bark}} = 0.0006 (\text{DBH})^{2.0811}$            | 0.9499         | 0.9414       | $V_{\text{under bark}} = 0.00006 (\text{D}^2\text{H})^{0.937}$  | 0.9765         | 0.9773       |
|                                        |                                                                                             | <b>Biomass</b> $W_S = 0.1705 (\text{DBH})^{2.1959}$               | 0.9453         | 1.0102       | $W_S = 0.0161 (\text{D}^2\text{H})^{0.9859}$                    | 0.9665         | 1.0083       |
|                                        |                                                                                             | $W_B = 0.003 (W_S)^{1.6761}$                                      | 0.9123         | 1.0685       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             | $W_L = 2.7412 (W_B)^{0.5622}$                                     | 0.8429         | 1.0661       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             |                                                                   |                |              |                                                                 |                |              |
| In Takin,<br>Chiang Mai                | Spacing: 3 × 3 m<br>Height: 23.79 ± 4.00 m<br>DBH: 28.07 ± 6.63 cm<br>Density: 66 trees/rai | <b>Stem</b> $V_{\text{over bark}} = 0.0003 (\text{DBH})^{2.357}$  | 0.9801         | 0.9194       | $V_{\text{over bark}} = 0.00004 (\text{D}^2\text{H})^{0.9897}$  | 0.9885         | 1.0060       |
|                                        |                                                                                             | $V_{\text{under bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.4539}$            | 0.9651         | 0.8605       | $V_{\text{under bark}} = 0.00002 (\text{D}^2\text{H})^{1.0326}$ | 0.9775         | 1.1340       |
|                                        |                                                                                             | <b>Biomass</b> $W_S = 0.0946 (\text{DBH})^{2.4488}$               | 0.9516         | 1.0079       | $W_S = 0.0129 (\text{D}^2\text{H})^{1.0276}$                    | 0.9586         | 1.0069       |
|                                        |                                                                                             | $W_B = 0.034 (W_S)^{1.1854}$                                      | 0.8888         | 1.1921       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             | $W_L = 1.2451 (W_B)^{0.6667}$                                     | 0.8310         | 1.1167       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             |                                                                   |                |              |                                                                 |                |              |
| Huey Bong,<br>Chiang Mai               | Spacing: 3 × 3 m<br>Height: 21.08 ± 2.01 m<br>DBH: 25.63 ± 5.97 cm<br>Density: 88 trees/rai | <b>Stem</b> $V_{\text{over bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.3519}$ | 0.9850         | 1.1633       | $V_{\text{over bark}} = 0.00005 (\text{D}^2\text{H})^{0.9677}$  | 0.9924         | 0.9421       |
|                                        |                                                                                             | $V_{\text{under bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.3488}$            | 0.9634         | 0.9197       | $V_{\text{under bark}} = 0.00004 (\text{D}^2\text{H})^{0.9708}$ | 0.9795         | 0.8925       |
|                                        |                                                                                             | <b>Biomass</b> $W_S = 0.1009 (\text{DBH})^{2.3642}$               | 0.9669         | 1.0131       | $W_S = 0.0193 (\text{D}^2\text{H})^{0.9781}$                    | 0.9851         | 1.0065       |
|                                        |                                                                                             | $W_B = 0.0003 (\text{DBH})^{3.3987}$                              | 0.9273         | 1.0865       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             | $W_L = 1.1055 (W_B)^{0.7364}$                                     | 0.9104         | 1.1265       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             |                                                                   |                |              |                                                                 |                |              |
| All (29 yrs)                           |                                                                                             | <b>Stem</b> $V_{\text{over bark}} = 0.0003 (\text{DBH})^{2.3204}$ | 0.9549         | 1.0038       | $V_{\text{over bark}} = 0.00005 (\text{D}^2\text{H})^{0.9662}$  | 0.9843         | 1.0104       |
|                                        |                                                                                             | $V_{\text{under bark}} = 0.0002 (\text{DBH})^{2.3713}$            | 0.9239         | 1.0786       | $V_{\text{under bark}} = 0.00003 (\text{D}^2\text{H})^{0.9949}$ | 0.9668         | 1.0735       |
|                                        |                                                                                             | <b>Biomass</b> $W_S = 0.093 (\text{DBH})^{2.4436}$                | 0.8691         | 1.0428       | $W_S = 0.012 (\text{D}^2\text{H})^{1.0353}$                     | 0.9275         | 1.0235       |
|                                        |                                                                                             | $W_B = 0.0013 (\text{DBH})^{2.9956}$                              | 0.7868         | 1.0997       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             | $W_L = 1.4993 (W_B)^{0.66}$                                       | 0.7840         | 1.1064       |                                                                 |                |              |
|                                        |                                                                                             |                                                                   |                |              |                                                                 |                |              |

ตารางที่ 9 สมการรวมที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนคาริเบีย

| Age (yrs) | Station | Status  | Equation                                                | R <sup>2</sup> | Adjust value | Equation                                                        | R <sup>2</sup> | Adjust value |
|-----------|---------|---------|---------------------------------------------------------|----------------|--------------|-----------------------------------------------------------------|----------------|--------------|
| All       |         | Stem    | $V_{\text{over bark}} = 0.00004 (\text{DBH})^{2.87}$    | 0.8573         | 1.1448       | $V_{\text{over bark}} = 0.00003 (\text{D}^2\text{H})^{1.0092}$  | 0.8990         | 1.1068       |
|           |         |         | $V_{\text{under bark}} = 0.00002 (\text{DBH})^{2.9907}$ | 0.8453         | 1.3133       | $V_{\text{under bark}} = 0.00002 (\text{D}^2\text{H})^{1.0546}$ | 0.8915         | 0.9055       |
|           |         | Biomass | $W_S = 0.0208 (\text{DBH})^{2.8575}$                    | 0.9554         | 1.0778       | $W_S = 0.0173 (\text{D}^2\text{H})^{0.9951}$                    | 0.9826         | 1.0319       |
|           |         |         | $W_B = 0.007 (\text{DBH})^{2.5098}$                     | 0.9061         | 1.1288       |                                                                 |                |              |
|           |         |         | $W_L = 1.2752 (W_B)^{0.699}$                            | 0.8314         | 1.1746       |                                                                 |                |              |

ที่มา: บพิตร (2557)

ตารางที่ 10 สมการที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพของไม้ไผ่ชนิดต่างๆ

| ชนิด                                           | สมการ                                                                                | อ้างอิง                 |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| ไผ่รวก                                         | $Wt = 0.22187 (D)^{2.2749}$                                                          | Suwannapinunt (1983)    |
| ไผ่บงดำ ( <i>Bambusa tulda</i> )               | $Wt = 0.49522 (D)^{2.08726}$                                                         | Kutintara et al. (1995) |
| ไผ่ข้าวหลาม                                    | $Wt = 0.17446 (D)^{2.10437}$                                                         |                         |
| ไผ่ไร่ ( <i>Gigantochloa albociliata</i> ) และ | $Wt = 0.2425 (D)^{2.10751}$                                                          |                         |
|                                                | เมื่อ $Wt = \text{clum biomass (kg)}$<br>$D = \text{diameter at breast height (cm)}$ |                         |

**ตารางที่ 11** สมการที่ใช้ในการประมาณมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสนสามใบหลายชั้นอายุบนพื้นที่ดินน้ำในจังหวัดเชียงใหม่

| สมการ                                                                                      | $R^2$  | อ้างอิง          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------------|
| $W_S = 0.0503 (D^2 H)^{0.8775}$                                                            | 0.9749 | Nongnuang (2012) |
| $W_B = 0.0012 (D^2 H)^{1.0996}$                                                            | 0.4982 |                  |
| $W_L = 0.4536 (W_B)^{0.7933}$                                                              | 0.6324 |                  |
| เมื่อ $W$ = biomass (kg)<br>$D$ = diameter at breast height (cm)<br>$H$ = total height (m) |        |                  |

ตารางที่ 12 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าชนิดต่างๆ ในประเทศไทย

| ชนิด                                                                      | สมการ                                                                                                                                                                                      | R <sup>2</sup>                                 | อ้างอิง              |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|
| สะเดา<br>( <i>Azadirachta indica</i> )<br>ท่าตูม สุรินทร์<br>อายุ 6 ปี    | $Ws = 0.0410 (DBH^2.Ht)^{0.9148}$<br>$Wl = 0.0023 (DBH^2.Ht)^{0.9388}$<br>$Wb = 0.0018 (DBH^2.Ht)^{1.1037}$<br>$Wt = 0.0435 (DBH^2.Ht)^{0.9370}$<br>$Vs = 0.000098 (DBH^2.Ht)^{0.8799}$    | 0.9937<br>0.9354<br>0.9717<br>0.9934<br>0.9963 | ชิงชัย และคณะ (2548) |
| ตะเคียนทอง<br>( <i>Hopea odorata</i> )<br>ห้วยทา ศรีสะเกษ<br>อายุ 6 ปี    | $Ws = 0.0223 (DBH^2.Ht)^{1.0199}$<br>$Wl = 0.0032 (DBH^2.Ht)^{1.0477}$<br>$Wb = 0.0027 (DBH^2.Ht)^{1.2228}$<br>$Wt = 0.0241 (DBH^2.Ht)^{1.0842}$<br>$Vs = 0.000077 (DBH^2.Ht)^{0.9091}$    | 0.9442<br>0.9016<br>0.8580<br>0.9457<br>0.9773 |                      |
| พญากษ<br>( <i>Albizia lebbeck</i> )<br>แม่กา พะเยา<br>อายุ 6 ปี           | $Ws = 0.0661 (DBH^2.Ht)^{0.8527}$<br>$Wl = 0.0041 (DBH^2.Ht)^{0.8646}$<br>$Wb = 0.0014 (DBH^2.Ht)^{1.2497}$<br>$Wt = 0.0534 (DBH^2.Ht)^{0.9380}$<br>$Vs = 0.000157 (DBH^2.Ht)^{0.8055}$    | 0.9984<br>0.9177<br>0.9743<br>0.9965<br>0.9939 |                      |
| เลี่ยน<br>( <i>Melia azedarach</i> )<br>ทองพูนภูมิ กาญจนบุรี<br>อายุ 5 ปี | $Ws = 0.0185 (DBH^2.Ht)^{0.9742}$<br>$Wl = 0.0011 (DBH^2.Ht)^{0.8680}$<br>$Wb = 0.00014 (DBH^2.Ht)^{1.2761}$<br>$Wt = 0.0177 (DBH^2.Ht)^{0.9945}$<br>$Vs = 0.000082 ((DBH^2.Ht)^{0.9085})$ | 0.9953<br>0.8171<br>0.7927<br>0.9932<br>0.9952 |                      |

ตารางที่ 12 (ต่อ)

| ชนิด                                                                                                          | สมการ                                                                                                                                                                                     | R <sup>2</sup>                                 | อ้างอิง                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| ยูคาลิปตัสคามาสดูลเลนซิส<br>( <i>Eucalyptus. camaldulensis</i> )<br>ลาดกระบัง ฉะเชิงเทรา<br>อายุ 6 ปี         | $Ws = 0.0239 (DBH^2.Ht)^{0.9778}$<br>$Wl = 0.0030 (DBH^2.Ht)^{0.8088}$<br>$Wb = 0.0035 (DBH^2.Ht)^{0.9345}$<br>$Wt = 0.0292 (DBH^2.Ht)^{0.9690}$<br>$Vs = 0.000211 (DBH^2.Ht)^{0.7900}$   | 0.9991<br>0.9743<br>0.9755<br>0.9994<br>0.9995 | Vacharangkura (2001)              |
| สัก<br>( <i>Tectona grandis</i> )<br>ทองผาภูมิ กาญจนบุรี<br>อายุ 6 ปี                                         | $Ws = 0.0441 ((DBH^2.Ht)^{0.8445})$<br>$Wl = 0.0026 (DBH^2.Ht)^{1.0066}$<br>$Wb = 0.0012 (DBH^2.Ht)^{1.0712}$<br>$Wt = 0.0454 (DBH^2.Ht)^{0.8801}$<br>$Vs = 0.000090 (DBH^2.Ht)^{0.8940}$ | 0.9790<br>0.9333<br>0.9486<br>0.9734<br>0.9984 | ชิงชัย และคณะ (2545)              |
| กระถินเทพา<br>( <i>Acacia mangium</i> )<br>สถานีวิจัยและฝึกอบรมการ<br>ปลูกสร้างสวนป่า นครราชสีมา<br>อายุ 5 ปี | $Ws = 0.0258 ((DBH^2.Ht)^{0.9541})$<br>$Wl = 0.0070 (DBH^2.Ht)^{0.8846}$<br>$Wb = 0.0040 (DBH^2.Ht)^{1.0699}$<br>$Wt = 0.0353 (DBH^2.Ht)^{0.9714}$<br>$Vs = 0.000076 (DBH^2.Ht)^{0.9115}$ | 0.9982<br>0.9207<br>0.9391<br>0.9889<br>0.9981 | Viriyabuncha and Peawsa-ad (2002) |
|                                                                                                               | เมื่อ<br>$Ws =$ มวลชีวภาพ (กิโลกรัม)<br>$Vs =$ ปริมาตรลำต้น (ลูกบาศก์เมตร)                                                                                                                |                                                |                                   |

ตารางที่ 13 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าสักในจังหวัดกำแพงเพชร

| อายุ  | ผลผลิต    | สมการ                                                                                 | $R^2$  | ค่าปรับแก้ | อ้างอิง                 |
|-------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|-------------------------|
| 10 ปี | ปริมาตร   | Volume over bark = $0.0002 \text{ DBH}^{2.3654}$                                      | 0.9808 | 0.8814     | ประพาย และคณะ (2557)    |
|       |           | Volume over bark = $0.0001 (D^2 H)^{0.8357}$                                          | 0.9980 | 1.3472     |                         |
|       |           | Volume under bark = $0.00008 \text{ DBH}^{2.4993}$                                    | 0.9764 | 1.0794     |                         |
|       |           | Volume under bark = $0.00006 (D^2 H)^{0.8847}$                                        | 0.9954 | 1.0667     |                         |
|       | มวลชีวภาพ | $W_S = 0.089 \text{ DBH}^{2.2823}$                                                    | 0.9690 | 1.0189     |                         |
|       |           | $W_S = 0.0681 (D^2 H)^{0.8091}$                                                       | 0.9928 | 1.0035     |                         |
|       |           | $W_B = 0.0028 \text{ DBH}^{3.1701}$                                                   | 0.9445 | 1.0566     |                         |
|       |           | $W_L = 0.025 \text{ DBH}^{2.22}$                                                      | 0.9709 | 1.0181     |                         |
|       |           | $W_R = 0.0321 \text{ DBH}^{2.3881}$                                                   | 0.9969 | 1.0027     |                         |
|       |           |                                                                                       |        |            |                         |
|       |           |                                                                                       |        |            |                         |
| 12 ปี | ปริมาตร   | Volume over bark = $0.0003 (\text{DBH})^{2.2127}$                                     | 0.9776 |            | ประพาย และอโณทัย (2556) |
|       |           | Volume under bark = $0.0002 (\text{DBH})^{2.2714}$                                    | 0.9664 |            |                         |
|       | มวลชีวภาพ | $W_S = 0.0793 (\text{DBH})^{2.4329}$                                                  | 0.9863 |            |                         |
|       |           | $W_B = 0.0012 (\text{DBH})^{3.3439}$                                                  | 0.9019 |            |                         |
|       |           | $W_L = 0.00009 (\text{DBH})^{3.7333}$                                                 | 0.8221 |            |                         |
|       |           |                                                                                       |        |            |                         |
|       |           | เมื่อ DBH = เส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)<br>H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร) |        |            |                         |

ตารางที่ 14 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าไม้สัก

| Place                                                                    | Equation                                              | R <sup>2</sup> | Reference                         |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------|
| สวนป่าแม่จาง<br>อำเภอแม่เมะ จังหวัดลำปาง<br>อายุ 17 และ 22 ปี            | Ws = 0.0183 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9965</sup>   | 0.9947         | ชิงชัย และคณะ (2548)              |
|                                                                          | Wb = 0.00005 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>1.5098</sup>  | 0.9462         |                                   |
|                                                                          | Wl = 0.0003 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>1.1558</sup>   | 0.8813         |                                   |
|                                                                          | Wt = 0.0115 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>1.0818</sup>   | 0.9907         |                                   |
|                                                                          | Wr = 0.0062 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9845</sup>   | 0.9687         |                                   |
|                                                                          | Vs = 0.000053 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9612</sup> | 0.9946         |                                   |
| สวนป่านาด้วง และสวนป่าห้วยปลาตุก<br>อำเภอนาด้วง จังหวัดเลย<br>อายุ 21 ปี | Ws = 0.0208 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9713</sup>   | 0.9882         |                                   |
|                                                                          | Wb = 0.0009 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>1.1720</sup>   | 0.9360         |                                   |
|                                                                          | Wl = 0.0606 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.5556</sup>   | 0.8351         |                                   |
|                                                                          | Wt = 0.0221 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9987</sup>   | 0.9927         |                                   |
|                                                                          | Vs = 0.000043 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9743</sup> | 0.9988         |                                   |
| เขียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ เลย กาญจนบุรี                                 | Ws = 0.0265 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9468</sup>   | 0.9919         | ชิงชัย และคณะ (2548)              |
|                                                                          | Wb = 0.0011 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>1.1472</sup>   | 0.9331         | Viriyabuncha <i>et al.</i> (2002) |
|                                                                          | Wl = 0.0197 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.6867</sup>   | 0.8090         | Viriyabuncha and Peawsa-ad (2003) |
|                                                                          | Wt = 0.0341 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.9528</sup>   | 0.9861         |                                   |
|                                                                          | Vs = 0.000092 (DBH <sup>2</sup> Ht) <sup>0.8934</sup> | 0.9964         |                                   |

ตารางที่ 15 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส

| Place                                                                                             | Equation                                                                                                                                                                                | R <sup>2</sup>                                 | Reference                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| สวนป่าของเอกชน 3 แห่ง<br>จังหวัดกาญจนบุรี                                                         | $Ws = 0.0276 (DBH^2 Ht)^{0.9662}$<br>$Wb = 0.0002 (DBH^2 Ht)^{1.3684}$<br>$WI = 0.0027 (DBH^2 Ht)^{0.8253}$<br>$Wt = 0.0258 (DBH^2 Ht)^{0.9962}$<br>$Vs = 0.000080 (DBH^2 Ht)^{0.9052}$ | 0.9944<br>0.9202<br>0.7090<br>0.9934<br>0.9938 | ชิงชัย และคณะ (2548)                                      |
| สวนปาลาดกระทิง<br>อำเภอสนามชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา<br>For sprout of <i>E. camaldulensis</i> only | $Ws = 0.0005 (DBH^2 Ht)^{0.9108}$<br>$Wb = 0.0172 DBH^{2.3247}$<br>$WI = 0.0178 DBH^{1.6815}$<br>$Wt = Ws + Wb + WI$<br>$Vs = 0.000001 (DBH^2 Ht)^{0.8976}$                             | 0.9950<br>0.9202<br>0.7090<br>-<br>0.9969      | Tiyanon <i>et al.</i> (1998)                              |
| บุรีรัมย์ กาญจนบุรี ฉะเชิงเทรา                                                                    | $Ws = 0.0215 (DBH^2 Ht)^{0.9900}$<br>$Wb = 0.0011 (DBH^2 Ht)^{1.1472}$<br>$WI = 0.0197 (DBH^2 Ht)^{0.6867}$<br>$Wt = 0.0341 (DBH^2 Ht)^{0.9528}$<br>$Vs = 0.000092 (DBH^2 Ht)^{0.8934}$ | 0.9919<br>0.9331<br>0.8090<br>0.9861<br>0.9964 | ชิงชัย และคณะ (2548)<br>Viriyabuncha <i>et al.</i> (1996) |

ตารางที่ 16 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นและมวลชีวภาพของต้นไม้ในสวนป่าไม้กระถินเทพา

| Place                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Equation                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | R <sup>2</sup>                                                                                             | Reference                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| สวนป่าลาดกระบัง<br>อำเภอสนมชัยเขต จังหวัดฉะเชิงเทรา<br>อายุ 7 ปี                                                                                                                                                                                                                           | $Ws = 0.0170(DBH^2Ht)^{0.9973}$<br>$Wb = 0.00004(DBH^2Ht)^{1.4430}$<br>$Wl = 0.00004(DBH^2Ht)^{1.3462}$<br>$Wt = 0.0130(DBH^2Ht)^{1.0452}$<br>$Vs = 0.00009(DBH^2Ht)^{0.9099}$                                                                                                                                                                                                                             | 0.9928<br>0.8882<br>0.9756<br>0.995<br>0.9938                                                              | the unpublished data from<br>T. Vacharangkura and R. Thaingam |
| อุดรธานี หนองคาย นครพนม นครราชสีมา ชุมพร<br>Ws for several age<br>Wb for age < 4 yrs<br>Wb for age 4–5 yrs<br>Wb for age > 5 yrs<br>Wl for age < 4 yrs<br>Wl for age 4–5 yrs<br>Wl for age > 5 yrs<br>Wt for age < 4 yrs<br>Wt for age 4–5 yrs<br>Wt for age > 5 yrs<br>Vs for several age | $Ws = 0.0334 (DBH^2Ht)^{0.9142}$<br>$Wb = 0.0055 (DBH^2Ht)^{1.0872}$<br>$Wb = 0.0036 (DBH^2Ht)^{1.0671}$<br>$Wb = 0.0003 (DBH^2Ht)^{1.2444}$<br>$Wl = 0.0149 (DBH^2Ht)^{0.8697}$<br>$Wl = 0.0037 (DBH^2Ht)^{0.9529}$<br>$Wl = 0.0017 (DBH^2Ht)^{0.8950}$<br>$Wt = 0.0627 (DBH^2Ht)^{0.9048}$<br>$Wt = 0.0334 (DBH^2Ht)^{0.9709}$<br>$Wt = 0.0235 (DBH^2Ht)^{0.9868}$<br>$Vs = 0.000084 (DBH^2Ht)^{0.9016}$ | 0.9907<br>0.9451<br>0.9445<br>0.8127<br>0.9307<br>0.9266<br>0.7804<br>0.9681<br>0.9895<br>0.9959<br>0.9959 |                                                               |

ตารางที่ 17 สมการที่ใช้ในการประมาณปริมาตรลำต้นของต้นไม้ในรูปแบบของความสัมพันธ์แบบ Multiple regression ของพันธุ์ไม้ชนิดต่างๆ

| Species                                                     | Equation                                                                                                                                                                                  | R <sup>2</sup> | Reference            |
|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|
| สัก ( <i>Tectona grandis</i> )                              | $V_s = 0.00009978 \times DBH^{1.89802} \times Ht^{0.74730}$                                                                                                                               | 0.9967         | ชิงชัย และคณะ (2548) |
| ยูคาลิปตัสคามาลดูลენซิส ( <i>Eucalyptus camaldulensis</i> ) | $V_s = 0.00006514 \times DBH^{1.78698} \times Ht^{1.00091}$                                                                                                                               | 0.9977         |                      |
| กระถินเทพา ( <i>Acacia mangium</i> )                        | $V_s = 0.00009978 \times DBH^{1.69938} \times Ht^{1.03596}$                                                                                                                               | 0.9962         |                      |
|                                                             | เมื่อ $V_s$ = ปริมาตรลำต้นรวมเปลือกจากโคนต้นถึงปลายยอด (ลูกบาศก์เมตร)<br>DBH = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอก (เซนติเมตร)<br>Ht = ความสูงจากโคนต้นถึงปลายยอด (เมตร)<br>a, b, c = ค่าคงที่ |                |                      |

