

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เทคนิคการบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีตเพื่อเพิ่มผลผลิต และคุณภาพเนื้อไม้ของสวนป่าไม้สัก

Intensive tending techniques for enhancing stand yield and tree wood quality of teak plantations

นายทศพร วัชรางกูร	ข้าราชการบำนาญ	ที่ปรึกษาโครงการวิจัย
นางวรพรรณ หิมพานต์	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	หัวหน้าโครงการวิจัย
นายวิโรจน์ ครองกิจศิริ	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายประพาย แก่นนาค	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายศรีศักดิ์ พุ่มพวง	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายนิพนธ์ เกตุก้อน	พนักงานขับเครื่องจักรกลขนาดกลาง ช.2	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายธีรยุทธ วงสอน	เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวภรณ์นัส ภัคคกาญจน์พัฒน์	นักวิชาการป่าไม้	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวปิยนุช รับพร	เจ้าพนักงานธุรการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวจารุณี โนรีเวช	เจ้าหน้าที่ธุรการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวสุพัตรา กล่อมอิม	คนงาน	ผู้ร่วมโครงการวิจัย

แผนงานวิจัย การวิจัยและพัฒนาการปลูก การวิจัยและพัฒนาสวนป่าเชิงเศรษฐกิจ
และการใช้ไม้สวนป่าเพื่อชุมชนและอุตสาหกรรม

ส่วนงานวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้
กรมป่าไม้

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย เทคนิคการบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีตเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพเนื้อไม้ของสวนป่าไม้สัก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการบำรุงรักษาสวนป่า ได้แก่ การตัดขยายระยะและการลิดกิ่งต่อการเติบโต ผลผลิต รูปทรง และคุณภาพของเนื้อไม้ รวมถึงเพื่อพัฒนาสมการที่ใช้ในการประมาณหาปริมาตรลำต้นไม้สักที่แปรผันไปตามขนาดจำกัดด้านความยาวหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่จะนำไม้ไปใช้ประโยชน์ ซึ่งสามารถนำไปประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ทั้งที่เป็นไม้ยืนต้นและไม้ที่โค่นล้มแล้ว

การศึกษาทั้งการตัดขยายระยะและการลิดกิ่ง ดำเนินการในสวนป่าสักของบริษัทเอกชนที่จังหวัดอุดรธานี ผลการศึกษาพบว่า การตัดขยายระยะทั้งที่ดำเนินการในสวนสักในเวลาที่กำลัง และ การตัดขยายระยะตามกำหนด มีแนวโน้มทำให้ค่าการเติบโต ผลผลิต และรูปทรงมีค่าดีกว่าในแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะ แม้ว่าจะยังไม่แสดงผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเนื่องจากระยะเวลาในการศึกษาค่อนข้างสั้น ในขณะที่การลิดกิ่งที่ระดับความสูง 6 เมตร จากพื้นดินเป็นระดับที่มีแนวโน้มเหมาะสมต่อการลิดกิ่งต้นสักมากกว่าการไม่ลิดกิ่งและการลิดกิ่งที่ระดับอื่น นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังได้พัฒนาสมการสำหรับใช้ประมาณปริมาตรไม้รายต้นส่วนที่ทำเป็นสินค้าได้ของไม้สักเมื่อต้นไม้มีขนาดเล็กถึงปานกลางได้ 4 แบบ ผลการศึกษานี้เป็นผลเบื้องต้นในระยะสั้น ต้องมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องในระยะยาว เพื่อให้ทราบผลที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากเทคนิคการบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีตมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการเจ้าของสวนป่าควรพิจารณาถึงรายจ่ายและผลที่ได้รับเพื่อความคุ้มค่า

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากผลงานวิจัยนี้คือเจ้าของสวนป่าสักสามารถนำเทคนิคไปใช้ในการจัดการสวนป่าสักให้ได้รับผลผลิตคุ้มค่า และยังสามารถประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้สำหรับการประมาณราคาจำหน่ายได้ เทคนิคการบำรุงรักษาสวนป่าที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการส่งเสริมการปลูกและการจัดการสวนป่าสัก ผลที่ตามมาคือเป็นการสนับสนุนการเพิ่มพื้นที่สวนป่าเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกด้วย

คำสำคัญ : สัก การตัดขยายระยะ การลิดกิ่ง ปริมาตรไม้รายต้นที่ทำเป็นสินค้าได้ของไม้สัก

ABSTRACT

The objectives of the intensive tending techniques for enhancing stand yield and tree wood quality of teak plantations project were to study the effects of the intensive tending techniques; thinning and pruning to tree growth, stand yield, stem form and wood quality, as well as to develop the equations of variable-top merchantable volume which can be used to estimate merchantable both standing and falling trees.

The thinning and pruning effects were conducted in teak plantation belong to the private company at Uttaradit Province. The results of the effect of thinning to tree growth, stand yield, stem form and wood quality in both late thinning and in time thinning showed better than control. The six meter height pruning showed the more suitable pruning than others. This study also developed the four equations for estimating the variable-top merchantable volume. However, the longer period of study is needed for clear results. The intensive tending techniques take cost; the teak plantation owners should consider the worth of the investments.

The expected result from this research is the teak plantation owners can use the techniques including the equations for estimating variable-top merchantable volume for producing cost-effective production. The suitable techniques can be used to promote the teak planting and management. The consequent result can be supported for increasing the economy tree plantation of Thailand.

Keywords : teak thinning pruning variable-top merchantable volume

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญตาราง	IV
สารบัญภาพ	V
บทนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ตรวจเอกสาร	4
วิธีการศึกษา	13
ผลการศึกษา	22
1. การศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้ (tree growth) ผลผลิตของหมู่ไม้ (stand yield) รูปทรงของต้นไม้ (stem form) และคุณภาพของเนื้อไม้ (wood quality)	22
2. การศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของต้นไม้ (tree growth) คุณภาพของเนื้อไม้ (wood quality) และผลผลิตของหมู่ไม้ (stand yield)	33
3. การศึกษาเพื่อหาสมการประมาณปริมาตรทั้งหมดของส่วนที่เป็นลำต้นและปริมาตรที่ทำสินค้า	39
สรุปผลการศึกษา	52
เอกสารอ้างอิง	54
ภาพประกอบ	60

สารบัญตาราง

Table		หน้า
1	Description of <i>T. grandis</i> plantations and theirs sample trees used to develop model.	17
2	Description of <i>T. grandis</i> plantations and theirs sample trees used for model validation	20
3	Stand characteristics of Thong San Khan plantation at the time before, just after and 3-year after thinning	23
4	Stand characteristics of Den Dan plantation at the time before, just after and 3-year after thinning	29
5	Numbers of epicormic branches of teak after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province	37
6	Total volume Heartwood and Sapwood volume and bark thickness of 3-year sample teak trees after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province	38
7	The ratio of heartwood (H), sapwood (S) and Volume of inner bark (Vib) of 3-year sample teak trees after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province	38
8	Parameter estimates and fit statistics for total volume equations	39
9	Parameter estimates and fit statistics for volume ratio equations	40
10	Statistical values of the model validation in this in this study to estimate total stem volume for <i>T. grandis</i> in Thailand	43
11	Statistical Values of the model validation in this in this study to estimate total stem volume for <i>T. grandis</i>	46

สารบัญภาพ

Figure		หน้า
1	Mean basal area and mean stem volume of Thong San Khan plantation before, just after and since 3-year after thinning.	24
2	Mean stand volume increment and total stand volume production of Thong San Khan plantation	26
3	Live crown ratio and Slenderness ratio of Thong San Khan plantation	27
4	Mean basal area and mean stem volume of Den Dan plantation before, just after and since 3-year after thinning.	30
5	Mean stand volume increment and total stand volume production of Den Dan plantation	31
6	Live crown ratio and Slenderness ratio of Den Dan plantation	32
7	Growth (DBH and Height) of teak before and after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province (thinning was conducted in 1-year after pruning)	34
8	Stem volume and stand volume of teak before and after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province (thinning was conducted in 1-year after pruning)	35
9	Shapes of teak before and after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province (thinning was conducted in 1-year after pruning)	36
10	The best regression model for estimating total stem volume	40
11	Volume-ratio model(Rd) for <i>T. grandis</i> in Thailand developed from Burkhart (1977) (model 5)	41
12	Volume-ratio model(Rd) for <i>T. grandis</i> in Thailand developed from Van Deusen <i>et.al.</i> (1981) (model 6)	41
13	Volume-ratio model(Rh) for <i>T. grandis</i> in Thailand developed from Cao and Burkhart (1980) (model 7)	42
14	Volume-ratio model(Rh) for <i>T. grandis</i> in Thailand developed from Van Deusen <i>et al.</i> (1981) (model 8)	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

Figure		หน้า
15	Predicted vs. measured total stem volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted total stem volume outside bark from DBH and total height(EQ.1) for <i>Tectona grandis</i>	45
16	Predicted vs. measured variable-top merchantable volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted variable-top merchantable volume outside bark (EQ.1) for <i>Tectona grandis</i>	47
17	Predicted vs. measured variable-top merchantable volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted variable-top merchantable volume outside bark (EQ.2) for <i>Tectona grandis</i>	48
18	Predicted vs. measured variable-top merchantable volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted variable-top merchantable volume outside bark (EQ.3) for <i>Tectona grandis</i>	49

บทนำ

ไม้สักเป็นไม้ป่าเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย เนื่องจากเนื้อไม้มีคุณภาพดี สวยงาม ทนทานต่อโรคและแมลง และสามารถเติบโตได้ดีในสภาพพื้นที่ที่เหมาะสม การปลูกสร้างสวนป่าไม้สักในประเทศไทย ได้ดำเนินการมาเป็นเวลามากกว่า 100 ปี แล้ว จากข้อมูลในปี พ.ศ.2551 ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกสร้างสวนป่าไม้สักที่ดำเนินการโดยหน่วยงานภาครัฐและเอกชน 836,000 เฮกตาร์ (Royal Forest Department, 2009) ในระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา การปลูกสร้างสวนป่าดำเนินการโดยภาคเอกชนเป็นส่วนใหญ่ ปัจจุบันมีไม้สักที่ขึ้นทะเบียนที่ดินเป็นสวนป่าตามพระราชบัญญัติสวนป่า พ.ศ.2535 จำนวน 136,040,902 ต้น (กรมป่าไม้, 2561) และจากข้อมูลในปี พ.ศ.2559 มีการผลิตไม้ซุงสักจากสวนป่าเป็นจำนวน 58,170,30 ลบ.เมตร (กรมป่าไม้, 2559)

ในการผลิตไม้ซุงท่อน (timber) ขนาดใหญ่จากการปลูกสร้างสวนป่าเพื่อการค้า และการอุตสาหกรรม อาทิ เช่น การผลิตไม้แปรรูป (ไม้แผ่นและไม้เสา) ที่ใช้ในการก่อสร้าง ไม้ที่ใช้ในการทำเฟอร์นิเจอร์ และไม้บางที่ใช้ในการทำไม้อัดและการตกแต่ง เป็นต้น นั้น คุณสมบัติสำคัญของไม้ที่ผู้ใช้ประโยชน์ในขั้นสุดท้าย (end users) มีความต้องการคือ ไม้ท่อนที่มีลำต้นตรง ลำต้นมีความเรียวน้อยที่สุดมีพุ่มพอนและปุ่มตาน้อยที่สุดด้วย มีสัดส่วนของ กระพี้และ tension wood น้อยที่สุด แต่มีสัดส่วนของแก่นไม้มาก และมีความหนาแน่นและความแข็งแรงของเนื้อไม้ที่เหมาะสม การที่สวนป่าจะสามารถผลิตไม้ที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้นั้น จำเป็นต้องมีการจัดการสวนป่าอย่างประณีต (intensive management) ตั้งแต่การเลือกพื้นที่ที่เหมาะสม การปลูก การบำรุงรักษา จนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตในขั้นตอนการบำรุงรักษา (tending) สวนป่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตัดขยายระยะ (thinning) และการลิดกิ่ง (pruning) ซึ่งเป็นการปฏิบัติทางวนวัฒนวิทยาที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้ต้นไม้ในสวนป่ามีการเติบโตจนได้ขนาดที่ต้องการและเนื้อไม้มีคุณภาพดี อย่างไรก็ตามการศึกษาเกี่ยวกับการบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีต โดยเฉพาะการตัดขยายระยะและการลิดกิ่งในประเทศไทยที่ผ่านมา ยังมีการศึกษาน้อยมากและผลการศึกษาไม่ได้รวบรวมจนสามารถนำมาใช้อ้างอิงเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการสวนป่าเชิงพาณิชย์และอุตสาหกรรมได้ ทำให้การผลิตไม้ซุงท่อนคุณภาพดีของประเทศไทยไม่ได้พัฒนาเท่าที่ควร

ในประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับการคาดคะเนการเติบโตและการจัดการทางวนวัฒนวิทยาของชนิดไม้สำคัญที่นำมาปลูกสร้างสวนป่า เช่น สัก และยูคาลิปตัส มากพอสมควร แต่ข้อมูลไม่ได้มีการรวบรวมหรือเนื่องจากปัจจุบันนี้ปริมาณความต้องการใช้ไม้ซุงท่อนเพื่อการพาณิชย์เพิ่มขึ้นมาก การประมาณปริมาตรไม้รายต้นและการคาดคะเนปริมาตรของหมู่ไม้ให้มีความแม่นยำสูงจึงมีความสำคัญต่อเจ้าของสวนป่าเป็นอันมาก เพราะจะทำให้

สามารถทราบผลตอบแทนทางการเงินจากการปลูกสร้างสวนป่าได้อย่างถูกต้อง ในอดีตที่ผ่านมา การประมาณปริมาตรไม้รายต้นทั้งหมด (total volume) นั้นคือปริมาตรจากโคนถึงปลายยอดสุดของลำต้น มักใช้สมการแอลโลเมตรีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดิน (DBH) และความสูงทั้งหมด (total height) เป็นตัวแปรอิสระ สมการดังกล่าวสามารถนำไปประมาณปริมาตรไม้ทั้งหมดหรือปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ตามขนาดจำกัด ความยาวของลำต้นหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่จะนำไม้ขึ้นไปใช้ประโยชน์นี้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ประมาณปริมาตรไม้ซุงท่อนที่จะทำเป็นสินค้าได้จากโคนต้นถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 10 เซนติเมตร หรือประมาณปริมาตรจากโคนถึงปลายท่อนที่มีความยาว 15 เมตร เป็นต้น ซึ่งสมการประมาณปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ที่ขนาดจำกัดต่างๆ กันนี้ จะเป็นสมการที่เป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากเป็นสมการที่สร้างขึ้นจากชุดข้อมูลตัวอย่างไม้ที่แตกต่างกัน ดังนั้นถ้านำสมการดังกล่าวมาใช้ประมาณปริมาตรไม้ต้นเดียวกันแต่ขนาดจำกัดการนำไปใช้ประโยชน์แตกต่างกันก็มีโอกาสที่การประมาณปริมาตรจะมีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งจะทำให้การคาดคะเนปริมาตรของหมู่ไม้มีความคลาดเคลื่อนสูงตามไปด้วย และเนื่องจากในปัจจุบันนี้ความต้องการใช้ประโยชน์ไม้ซุงท่อนที่มีขนาดต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นขนาดความยาวของลำต้นหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ปลายท่อนก็ตาม มีความหลากหลาย ประกอบกับเทคโนโลยีการผลิตไม้มีความก้าวหน้ากว่าในอดีตมาก ดังนั้นวิธีการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ที่ขนาดจำกัดใดๆ ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการจึงมีความจำเป็น เพราะจะทำให้การประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้มีความถูกต้องแม่นยำและมีความสะดวกรวดเร็วยิ่งกว่าวิธีการที่ใช้อยู่เดิม

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาเทคนิคทางวนวัฒนวิทยาที่สามารถนำไปใช้ปฏิบัติได้จริงในการจัดการสวนป่าแบบประณีต โดยเฉพาะสวนป่าไม้สัก ซึ่งเป็นสวนป่าไม้พื้นเมืองที่มีค่าทางเศรษฐกิจที่สำคัญที่สุดของประเทศไทย โดยมีเป้าหมายคือการรักษาสมดุลระหว่างการเติบโตรายต้น (individual tree growth) และผลผลิตของหมู่ไม้ (stand yield) และคำนึงถึงมูลค่าเพิ่ม (value added) ของสวนป่าไม้สักที่เป็นผลมาจากการปรับปรุงคุณภาพของเนื้อไม้ (wood quality) โดยมีสมมุติฐานว่า การบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีต (intensive tending) โดยเฉพาะการตัดขยายระยะและการลิดกิ่ง และการกำหนดอายุรอบหมุนเวียน (rotation age) ที่เหมาะสมจะทำให้ผู้ประกอบการปลูกสร้างสวนป่าได้รับผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงขึ้น รวมถึงการพัฒนาการสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้สำหรับไม้สักในสวนป่าของประเทศไทย โดยใช้วิธี volume-ratio ซึ่งยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทยมาก่อน

วัตถุประสงค์

โครงการเทคนิคการบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีตเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพเนื้อไม้ของสวนป่าไม้สัก มีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้ (tree growth) ผลผลิต และรูปทรงของลำต้น (stem form)
2. เพื่อศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของต้นไม้ คุณภาพของเนื้อไม้ และผลผลิตของหมู่ไม้
3. เพื่อพัฒนาสมการที่ใช้ในการประมาณหาปริมาตรลำต้นไม้สักที่แปรผันไปตามขนาดจำกัดทางด้านความยาวหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นตรงปลายสุดของลำต้นที่จะนำไปใช้ประโยชน์ (top-variable merchantable volume equations) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการประมาณปริมาตรไม้รายต้นที่ทำเป็นสินค้าได้ของไม้สัก ทั้งที่เป็นไม้ยืนต้น (standing tree) หรือไม้ที่โค่นล้มแล้ว

ตรวจเอกสาร

1. คุณภาพของเนื้อไม้

สักเป็นไม้ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ได้แก่ การก่อสร้าง เฟอร์นิเจอร์ ตู้ใส่ของ ตู้นอนรถไฟ วิเนียร์ เรือ ฯลฯ ไม้สักท่อนสามารถปรับปรุงให้มีคุณภาพดีขึ้นได้โดยการจัดการสวนป่าอย่างประณีต คุณภาพของไม้สักท่อนส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับรูปทรงของต้นไม้ โครงสร้างพื้นฐานของเนื้อไม้และคุณสมบัติที่เกี่ยวกับความแข็งแรงของเนื้อไม้ ปัจจัยหลักที่เกี่ยวกับโครงสร้างของไม้สักท่อนที่ควรให้ความสนใจ คือ ขนาดของลำต้นไม้ รูปทรงของไม้ซุงท่อนที่ทำเป็นสินค้าได้ ขนาดและความถี่ของปมตา และสัดส่วนของแก่นไม้และกระพี้ (Bhat, 2000) ผลการศึกษาเปรียบเทียบกลสมบัติของต้นไม้สักอายุ 21 ปี และ 65 ปี ให้แนวความคิดว่าสามารถลดอายุรอบหมุนเวียนของไม้สักที่มีการเติบโตเร็วได้โดยไม่มีผลต่อความแข็งแรงของไม้ซุงท่อน อย่างไรก็ตามข้อมูลเกี่ยวกับผลของระยะปลูกและระบบการตัดขยายระยะต่อคุณภาพของเนื้อไม้ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยังไม่เพียงพอสำหรับการกำหนดยุทธศาสตร์การจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ (Bhat, 2000)

ลักษณะของเนื้อไม้สักที่เป็นที่ต้องการมากที่สุดสำหรับสวนป่าไม้สัก ประกอบด้วย ลักษณะ 2 ประการ คือ เนื้อไม้มีสัดส่วนของแก่นไม้สูง และเนื้อไม้มีความหนาแน่น (dry wood density) สูง (Tewari, 1999, Baillères and Durand, 2000) มีรายงานผลการศึกษาหลายฉบับที่ศึกษาปริมาณของแก่นไม้และความผันแปรของความหนาแน่นของเนื้อไม้ (dry wood density) จากไส้ไม้ (pith) ถึงเปลือก ซึ่งแปรผันกับความสูงของลำต้น อายุ ความหนาแน่นของหมู่ไม้ และสภาพภูมิอากาศ ของไม้สักในประเทศต่างๆ (Brennan and Radomiljac, 1998; Trockenbrodt and Josue, 1998; Priya and Bhat, 1999; Bhat *et.al.*, 2001) ในขณะที่ยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวในประเทศไทยเลย ต้นไม้ที่โตเต็มวัยแล้วส่วนมาก สีของแก่นไม้ที่อยู่ตรงแกนกลางของลำต้นจะเข้มกว่าสีของกระพี้ที่อยู่โดยรอบ ซึ่งจะมีสีเข้มขึ้นอีกเมื่อพื้นที่ผิวดัดขวางสัมผัสกับอากาศ โดยปกติแล้วการเปลี่ยนรูปจากกระพี้เกิดขึ้นทันทีทันใดภายในสองสามแถวของเซลล์ (Hillis, 1987)

จากการศึกษาสัดส่วนของแก่นไม้สักในประเทศคอซตาริกา พบว่า สัดส่วนสูงสุดของแก่นไม้ในรูปปริมาตรเนื้อเปลือก มีค่าเท่ากับ 61% และต่ำสุด คือ 60.4% ซึ่งแปรผันตามอายุ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (DBH) ความหนาแน่นของหมู่ไม้และสภาพพื้นที่ (Pérez Cordero and Kanninen, 2003) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดส่วนที่เป็นแก่นไม้แปรผันตามการเพิ่มขึ้นของอายุต้นไม้ (เพิ่มขึ้นถึง 80–90%) ในสวนป่าไม้สักอายุมากกว่า 30 ปี ในภูมิภาคต่างๆ ทั่วโลก (Bhat, 1995; Kokutze *et.al.* 2004) จากการศึกษาในหลายๆ ประเทศ

ที่สวนป่าหรือป่าธรรมชาติของไม้สักมีอายุมากกว่า 50 ปี นั้น ให้ความสำคัญเกี่ยวกับสัดส่วนของแก่นไม้เนื้อแข็ง เนื่องจากสัดส่วนของแก่นไม้ไม่เป็นประเด็นสำคัญสำหรับไม้สักอายุมาก (>40 ปี) ที่มีสัดส่วนของแก่นไม้มากกว่า 90% ของพื้นที่หน้าตัดที่ระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดิน

คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของเนื้อไม้สัก คือ ความหนาแน่น (wood density) ความหนาแน่นพื้นฐาน (basic wood density) เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญ ของคุณภาพและความแข็งแรงของเนื้อไม้และส่วนที่เป็นแก่นไม้ของพันธุ์ไม้ในเขตร้อน เป็นสิ่งที่พึงประสงค์มากที่สุดสำหรับคุณค่าทางด้านความงามของเนื้อไม้ (Wiemann and Williamson, 1989 ; Bhat, 1995 ; Tewari, 1999 ; Baillères and Durand, 2000) Betancur *et.al.* (2000) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเนื้อไม้กับกลสมบัติของไม้ ของสวนป่าไม้สักอายุ 13 ปี ที่ปลูกในประเทศคอสตาริกา ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นของเนื้อไม้และกลสมบัติ (อาทิเช่น ค่าโมดูลัสของการยืดหยุ่น ค่าโมดูลัสของการแตกหัก ค่าความเค้นที่ขีดของการได้สัดส่วน เป็นต้น) มีความสัมพันธ์กันสูง โดยทั่วไปแล้วค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นของไม้สัก (dry wood density) ที่ศึกษาในประเทศคอสตาริกามีค่าอยู่ระหว่าง 0.55–0.70 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในประเทศอื่นๆ ที่มีการปลูกสร้างสวนป่าไม้สัก (Kandya, 1974; González *et. al.*, 1979; Sanwo, 1987; Bhat, 1995; Vallil, 1997; Brennan and Radomiljac, 1998; Baillères and Durand, 2000; Betancure *et. al.*, 2000; Bhat, 2000) สำหรับผลการทดสอบความหนาแน่นของไม้สักในประเทศไทย ซึ่งเป็นไม้เนื้อแข็งตามมาตรฐานของกรมป่าไม้ มีค่าความหนาแน่น 650 กก./เมตร³ หรือ 0.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (กรมป่าไม้, 2548)

การศึกษาวิจัยเพื่อให้ได้ความรู้ความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างแนวทางการจัดการป่าไม้ การเติบโตและผลผลิต และคุณภาพของเนื้อไม้ ยังมีไม่เพียงพอ การคาดคะเนการเติบโตและการวางแผนการจัดการสวนป่า เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในอนาคตข้างหน้าไม่ได้คำนึงถึงคุณสมบัติต่างๆ ของเนื้อไม้ที่มีคุณค่าสูง และเป็นคุณสมบัติที่สำคัญในการคัดเลือกคุณภาพไม้ของตลาดไม้ อาทิเช่น ปริมาตรของแก่นไม้ สีไม้และเส้นไม้ ตำหนิ (โดยเฉพาะปุ่มตา) และความหนาแน่นของเนื้อไม้ เป็นต้น

จากการศึกษาวิจัยกับไม้ Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) ทางตอนเหนือของประเทศสวีเดน ซึ่งดำเนินการ โดย Mörling and Valinger (1999) แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขึ้นของเนื้อไม้ของส่วนที่เป็นแก่นไม้ ภายหลังจากการใส่ปุ๋ยและการตัดขยายระยะไม้มีนัยสำคัญ ในขณะที่เนื้อไม้ส่วนที่เป็นกระพี้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งจากการใส่ปุ๋ยและการตัดขยายระยะ ผู้วิจัยได้สรุปว่าปริมาณของส่วนที่เป็นแก่นไม้ในต้นไม้แต่ละต้นไม่ได้เป็นผลมาจากการใส่ปุ๋ยและการตัดขยายระยะ ถึงแม้ว่ารูปแบบการเติบโตของต้นไม้ได้เปลี่ยนแปลงไปก็ตาม ส่วน Ojansuu and Maltamo (1995) ได้รายงานถึงอิทธิพลของขนาดและรูปร่างของต้นไม้ต่อขนาดและรูปร่างของส่วนที่เป็นแก่นไม้และกระพี้ของไม้ *Pinus sylvestris* สรุปได้ว่า สัดส่วนของแก่นไม้มี

ความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของหมู่ไม้และสถานะในสังคมพืชของต้นไม้และได้รายงานด้วยว่า เนื้อที่ของส่วนที่เป็นกระพี้ของต้นไม้มีความเรียว (taper) จากฐานของลำต้นถึงส่วนยอดของลำต้น

รายงานการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับผลของอัตราเติบโต (growth rate) และการปฏิบัติทางวนวัฒนวิทยา ต่อปริมาณของแก่นไม้ที่ศึกษากับพันธุ์ไม้ตระกูลสน (Conifer species) ดังนี้

Ericsson (1966) รายงานว่า จากการสำรวจหมู่ไม้สน (*Pinus sylvestris*) พบว่า ปริมาณของส่วนที่เป็นแก่นไม้ในหมู่ไม้ที่ทำการตัดขยายระยะมีน้อยกว่า (33%) หมู่ไม้ที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ (40%)

Margolis *et.al.* (1988) รายงานว่า การลิดกิ่งอย่างหนัก (heavy pruning) ที่ทำกับหมู่ไม้ *Abies balsamea* ทำให้เนื้อที่ของส่วนที่เป็นแก่นไม้เพิ่มขึ้น จากการศึกษาผลของการลิดกิ่งหมู่ไม้ *Pinus sylvestris* พบว่า การลิดกิ่งทำให้การเติบโตลดลง และเพิ่มเนื้อไม้ส่วนที่เป็นแก่นไม้

การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของเรือนยอด โครงสร้างของเรือนยอด และการเติบโตของส่วนที่เป็นลำต้น โดย Curtin (1970) Krajicek *et.al.* (1961) และ Kendall and Brown (1978) ซึ่งศึกษากับหมู่ไม้ eucalyptus, oak และ conifers ตามลำดับ ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า การก่อรูปของกระพี้ไม้ มีความสัมพันธ์เป็นอย่างสูงกับปริมาณของใบและทำให้มีความสัมพันธ์กับพื้นที่ว่างที่ต้นไม้ขึ้นอยู่ หรือ ระยะปลูก (spacing) ของต้นไม้ในสวนป่าอีกด้วย ในขณะที่การศึกษากับหมู่ไม้สัก โดย Vincent (1964) และ Ramnarine (1994) ได้ผลที่คล้ายคลึงกัน นอกจากนี้ผลการศึกษาในสวนป่าไม้สักที่ประเทศคอซตาริกา โดย Morataya *et. al.* (1999) และ Pérez (1998) ได้ยืนยันผลการศึกษาก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่าส่วนที่เป็นกระพี้กับมวลชีวภาพส่วนที่เป็นใบของต้นไม้ และส่วนที่เป็นกระพี้กับความหนาแน่นของหมู่ไม้และการจัดการทางวนวัฒนวิทยา (การตัดขยายระยะและการลิดกิ่ง) มีความสัมพันธ์กัน

Långström and Helqvist (1991) ได้ทำการประเมินผลของการลิดกิ่งในระดับความหนาแน่นต่างๆ กัน ต่อการเติบโตของต้นไม้ เนื้อที่ของส่วนที่เป็นกระพี้และคุณภาพของไม้ซุงท่อนของพันธุ์ไม้ตระกูลสน (conifer species) พบว่า การแตกกิ่งมีผลอย่างสูงต่อคุณค่าของไม้ซุงแปรรูป (saw timber) ที่นำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ ก็ตาม อย่างไรก็ตามความแตกต่างของการแตกกิ่งของต้นไม้ไม่ได้ทำให้เกิดความแตกต่างทางด้านคุณค่าของเนื้อไม้เสมอไป ผลการวิจัยของ Mäkelä (1997) กับไม้ Scots Pine แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแก่นไม้มีความสัมพันธ์กับการจัดการความหนาแน่นของหมู่ไม้ โดยมีค่ามากที่สุดที่ต้นไม้ที่จัดอยู่ในหมู่ไม้ที่มีความหนาแน่นสูง และมีค่าน้อยที่สุดในต้นไม้ที่อยู่ในชั้นเรือนยอดเด่น (dominant tree) ที่ขึ้นอยู่ภายในหมู่ไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ เนื่องจากการสร้างส่วนที่เป็นกระพี้ของต้นไม้เกิดขึ้นพร้อมกันกับการเติบโตของส่วนที่เป็นเรือนยอดของต้นไม้ ดังนั้น การทำให้ปริมาณของส่วนที่เป็นกระพี้อยู่ในระดับที่

เหมาะสม สามารถทำได้ด้วยการสร้างส่วนที่เป็นแก่นของเนื้อไม้ การสร้างส่วนที่เป็นแก่นของเนื้อไม้เป็นกลไกที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติภายในต้นไม้ เพื่อควบคุมปริมาณของกระพี้ ดังนั้น จึงมีความเป็นไปได้ที่จะควบคุมการสร้างส่วนที่เป็นแก่นไม้ โดยการจัดการความหนาแน่นของหมู่ไม้ (Bamber, 1976).

2. สมการประมาณปริมาตรไม้เพื่อการค้า (Merchantable volume equation)

การประมาณปริมาตรไม้ (growing stock) เป็นสิ่งจำเป็นในการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่จะช่วยในการประเมินมูลค่าของหมู่ไม้ เช่นเดียวกับช่วยในการวางแผนการจัดแบ่งพื้นที่ในการเก็บเกี่ยวผลผลิต (การทำไม้) ออกจากพื้นที่ป่า ในกรณีของผลผลิตไม้ซุง (timber production) การประมาณปริมาตรไม้ มักทำในรูปปริมาตรไม้ท่อนซุง ซึ่งสามารถประมาณได้จากการวัดมิติต่างๆ ของต้นไม้ วิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการประมาณโดยใช้สมการประมาณปริมาตรไม้ (volume equations) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและตัวแปรต่างๆ เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น และความสูง

Avery and Burkhardt (1994) กล่าวว่า สมการประมาณปริมาตรไม้ใช้ในการประมาณปริมาตรเฉลี่ยรายต้นของต้นไม้ที่มีขนาดและชนิดพันธุ์ต่างๆ ความน่าเชื่อถือของการประมาณปริมาตรไม้ ขึ้นอยู่กับค่าพิสัย และการกระจายของข้อมูลของไม้ตัวอย่างที่มีอยู่และสมการนั้น มีความเหมาะสมเข้ากับได้พอดีกับข้อมูลของไม้ตัวอย่างหรือไม่

ความแม่นยำในการคาดคะเนปริมาตรของหมู่ไม้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของสมการที่ใช้ประมาณปริมาตรไม้รายต้น (individual-tree volume equations) สำหรับสมการประมาณปริมาตรไม้สักรายต้นที่ได้มีการศึกษาในประเทศไทยเมื่อประมาณ 16 ปี ที่ผ่านมา โดยศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นสมการที่ใช้ในการประเมินผลผลิตของสวนป่าไม้สักขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ในท้องที่ภาคเหนือ และท้องที่จังหวัดกาญจนบุรี เท่านั้น ไม่ได้รวมสวนป่าไม้สักที่ปลูกโดยภาคเอกชนและหน่วยงานของรัฐอื่นๆ และเป็นสมการที่ประมาณปริมาตรไม้สักรายต้น ที่กำหนดขนาดจำกัดต่ำที่สุดของเส้นรอบวงของลำต้นที่เป็นสินค้าไม้ 30 เซนติเมตร เท่านั้น (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2539)

ทศพร และคณะ (2553) ได้สร้างสมการประมาณปริมาตรทั้งหมดของไม้สักรายต้น โดยรวบรวมข้อมูลจากสวนป่าไม้สักของกรมป่าไม้ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ และสวนสักของเอกชนในท้องที่ภาคเหนือ ภาคกลาง (เฉพาะจังหวัดกาญจนบุรี) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และจัดทำตารางปริมาตรไม้มาตรฐาน (standard volume table) ของสวนป่าไม้สัก แต่ไม่ได้สร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้

ในปัจจุบันนี้ ยังไม่มีสมการประมาณปริมาตรไม้รายต้นของไม้สักที่ใช้ประมาณปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าไม้ในทุกระดับของขนาดจำกัดต่ำสุด จากสวนป่าไม้สักใด ๆ ในประเทศไทย ได้

อย่างแม่นยำ ในประเทศหรือภูมิภาคอื่นๆ ที่มีรายงานว่ามีการสร้างสมการดังกล่าว คือ ในประเทศอินโดนีเซีย ที่ Karnataka, Madhya Pradesh, West Bengal และอื่นๆ อีก 9 รัฐ ในประเทศอินเดีย (Chakraborti and Gaharwar, 1995) ที่ Mata Ayer มาเลเซีย (Hamzah and Moharwar, 1994) ที่ Northern Ghana ประเทศกานา (Nunifu and Murchinson, 1999) ที่ Kerala West Bengal Madhya Pradesh และ รัฐอื่นๆ อีก 6 รัฐ ในประเทศอินเดีย (Singh, 1981)

แบบจำลอง หรือสมการที่ใช้ประมาณปริมาตรไม้ที่ทำสินค้าได้ดังกล่าว ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน เหตุผลประการหนึ่งคือ ขนาดจำกัดสูงสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (DBH) ของไม้ตัวอย่างที่นำมาสร้างสมการมีความแตกต่างกัน สมการบางสมการใช้ข้อมูลจากไม้ตัวอย่างที่มีค่า DBH > 30 เซนติเมตร (Chakraborti and Gaharwar, 1995) แต่สมการส่วนมากสร้างจากข้อมูลของไม้ตัวอย่างที่ DBH < 30 เซนติเมตร

วิธีการประมาณปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ประกอบด้วย วิธีการโดยตรง และวิธีการโดยอ้อม วิธีการโดยตรงคือการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับความยาว (ความสูง) ของลำต้นที่ระดับความสูงต่างๆ จากนั้นคำนวณปริมาตรของแต่ละส่วน (ท่อน) จนถึงขนาดความยาวหรือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่จะนำไปใช้ประโยชน์ สูตรการคำนวณปริมาตรไม้ท่อนที่นิยมใช้กันมาก คือ Smalian's formula ส่วนวิธีการโดยอ้อมที่ใช้กันมาในอดีตจนถึงปัจจุบันมีดังนี้

(1) การสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าที่ขนาดจำกัดทางด้านความยาวหรือขนาดจำกัดทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่จะนำไปใช้ประโยชน์

(2) โดยการสร้างสมการความเรียว (taper equation) ที่เหมาะสมกับชนิดพันธุ์ไม้และสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่พันธุ์ไม้ชนิดนั้นขึ้นอยู่ แล้วนำสมการไปประมาณหาปริมาตรที่เป็นสินค้าได้

(3) การสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้า เป็นสัดส่วนกับปริมาตรไม้ทั้งหมด (total volume) โดยการใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นหรือความยาวของลำต้นที่จะนำไปใช้ประโยชน์เป็นตัวแปรอิสระของสมการ เรียกสมการนี้ว่า volume-ratio equations ซึ่งการใช้สมการความเรียวและสมการสัดส่วนของปริมาตร นับว่าเป็นวิธีการที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบัน สำหรับการประมาณปริมาตรรายต้นของไม้สักในประเทศไทย โดยการพัฒนาและสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ดังกล่าวนั้น แทบไม่มีการศึกษาในประเทศไทย ยกเว้นการศึกษาการพัฒนาและสร้างสมการความเรียวเพื่อประมาณปริมาตรไม้สักในสวนป่าภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งเก็บข้อมูลจากสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ จำนวน 8 สวนป่า อายุระหว่าง 10-46 ปี (Warner et.al., 2016)

3. การตัดขยายระยะ (thinning)

การตัดขยายระยะ หมายถึง การตัดฟันไม้ที่กระทำภายในหมู่ไม้ ณ เวลาใดก็ตามที่อยู่ระหว่างการเกิดขึ้นของหมู่ไม้ กับการเริ่มต้นตัดฟันเพื่อการสืบพันธุ์ (regeneration cutting) หรือการตัดหมด (clear felling) ซึ่งต้นไม้ที่ตัดออกจากหมู่ไม้เป็นชนิดพันธุ์เดียวกันกับต้นไม้ที่ต้องการเหลือไว้ (Society of American Foresters, 1971)

วิสุทธิ (2539) ให้ความหมายและวัตถุประสงค์ของการตัดขยายระยะว่าเป็นการตัดฟันที่กระทำในหมู่ไม้ที่ยังไม่แก่เต็มที่ เพื่อเร่งการเติบโตของต้นไม้ที่เหลืออยู่และเพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตทั้งหมดของป่า ผลผลิตทั้งหมดนี้นอกจากจะได้จากไม้ที่ตัดออกจากการตัดขยายระยะ ซึ่งหากปล่อยทิ้งไว้ในหมู่ไม้ ก็จะต้องถูกไม้อื่นแก่งแย่งจนต้องตายไปแล้วยังได้จากไม้ที่เลือกให้เหลือไว้ได้เติบโตอย่างแข็งแรงเป็นไม้ใหญ่อย่างรวดเร็ว ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการตัดขยายระยะจึงทำให้การเติบโตของต้นไม้ที่เหลือได้กระจายอย่างสม่ำเสมอในอัตราสูงสุด และเป็นการใช้ประโยชน์ไม้ก่อนที่จะถึงกำหนดรอบหมุนเวียนของการตัดฟัน

การตัดขยายระยะอย่างประณีต (intensive thinning) ควรเป็นการดำเนินการเพื่อหลีกเลี่ยงการแก่งแย่งรุนแรงของหมู่ไม้สัก โดยการรักษาระดับพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ให้ต่ำกว่า 25-30 เมตร²/เฮกแตร์ ซึ่งในการตัดขยายระยะแต่ละครั้ง จะทำให้พื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ลดลง 15-20 เมตร²/เฮกแตร์ (Keogh, 1979, Lowe, 1976)

การตัดขยายระยะมีผลต่อการเติบโตของต้นไม้และผลผลิตของหมู่ไม้ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นไม้อาจมีความผันแปรได้มาก การตัดขยายระยะอย่างเบา (light intensity) อาจไม่ได้ช่วยเร่งการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเลยก็ได้ และในขณะเดียวกัน การตัดขยายระยะอย่างหนัก (heavy intensity) ก็ไม่ได้หมายความว่าทำให้ต้นไม้ที่เหลือโตขึ้นเป็นสองเท่าอย่างใดก็ตามอาจจะคาดผลของการตัดขยายระยะได้ว่าถ้าตัดขยายระยะไม้ ออกอย่างเหมาะสมจะทำให้การเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ที่เหลือเพิ่มขึ้น 20%

ทศพร (2540) ศึกษาผลของการตัดขยายระยะและการแตกหน่อของสวนป่าไม้สักอายุ 20 ปี ที่มีระยะปลูกเริ่มแรก 4 เมตร X 4 เมตร ท้องที่จังหวัดลำปาง โดยทำการตัดขยายระยะแบบตัดแถวเว้นแถว (thinning with alternate row) และตัดขยายระยะแบบตัดสองแถวเว้นสองแถว (thinning with alternate two row) เปรียบเทียบกับไม่มีการตัดขยายระยะ พบว่า ภายหลังจากการตัดขยายระยะเป็นเวลา 3 ปี ความเพิ่มพูนทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของแปลงที่ทำการตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ กล่าวคือ แปลงตัดสองแถวเว้นสองแถวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 3.5 เซนติเมตร ในขณะที่แปลงตัดแถวเว้นแถวเพิ่มขึ้น 3.1 เซนติเมตร ส่วนแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะเพิ่มขึ้นเพียง 2.6 เซนติเมตร แต่ในช่วงเวลา

ดังกล่าวความเพิ่มพูนเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของแปลงที่ตัดขยายระยะทั้งสองวิธี แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่แตกต่างจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะด้วย ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะนั้นมีหน่อเติบโตขึ้นจากตอของต้นไม้ในแถวที่ถูกตัดออกไป ทำให้เกิดการแก่งแย่งของไม้ที่เหลืออยู่ภายหลังการตัดขยายระยะกับหน่อที่เกิดขึ้นใหม่จากตอ

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของวิธีการตัดขยายระยะและความหนักเบาของวิธีการตัดขยายระยะต่อผลของการเติบโตและการแตกหน่อของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส ความลาดชัน 6 ปี ที่มีระยะปลูกเริ่มแรก 1 เมตร x 2 เมตร ทศพร และคณะ (2540) แสดงถึงความผันแปรของผลของความหนักเบาของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้จากการศึกษาดังกล่าว พบว่า ภายหลังการตัดขยายระยะเป็นเวลา 4 ปี การตัดขยายระยะด้วยวิธี low thinning ทำให้ความเพิ่มพูนเฉลี่ยของปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นในแปลงที่มีความหนักเบาหรืออัตราการตัดขยายระยะ 70% มีแนวโน้มสูงกว่าอัตราการตัดขยายระยะ 50% และ 30% และไม่ตัดขยายระยะตามลำต้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตัดขยายระยะ 30% และ 50% ปรากฏว่า มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ส่วนในการตัดขยายระยะด้วยวิธี selection thinning ผลการศึกษาปรากฏว่า ความหนักเบาหรืออัตราการตัดขยายระยะ 70% ดีกว่า 50%, 30% และไม่มีการตัดขยายระยะตามลำต้น

Kanninen *et.al.* 2004 รายงานว่า สวนป่าไม้สักในประเทศคอซตาริกา ภายหลังการตัดขยายระยะการเติบโตของต้นไม้สักในแปลงที่ตัดขยายระยะ แตกต่างจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ โดยมีขนาดของ DBH ในแปลงที่ตัดขยายระยะสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ 5 เซนติเมตร (สูงกว่า 30%) และความสูงทั้งหมดสูงกว่า 2 เมตร (สูงกว่า 12%) เมื่อสวนป่าไม้สักมีอายุ 8 ปี

Adegbeihn (1982) พบว่า ภายหลังการตัดขยายระยะสวนป่าไม้สัก ในแปลงทดสอบระยะปลูกของไม้สักในประเทศไนจีเรีย ขนาดความโต (DBH) ของแปลงที่ตัดขยายระยะแตกต่างจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสนับสนุนความเห็นที่ว่า การตอบสนองอย่างไวของต้นไม้ที่มีต่อระยะห่าง (spacing) เกิดขึ้นทางด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น

Lowe (1976) ทำการทดลองตัดขยายระยะ สวนป่าไม้สักในประเทศไนจีเรีย โดยในแปลงที่ตัดขยายระยะอย่างหนัก (heavy thinning) ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ลดลง จาก 32 เมตร²/เฮกแตร์ เหลือ 13 เมตร²/เฮกแตร์ นั้น ให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ไม่ว่าจะเป็นการเติบโตรายต้นหรือการเติบโตของหมู่ไม้ก็ตาม และได้แนะนำว่าในการตัดขยายระยะแต่ละครั้ง ควรตัดไม้ ออกให้ต่ำกว่า 20 เมตร³/เฮกแตร์

Ola – Adams (1990) ได้ประเมินผลการทดสอบระยะปลูกของสวนป่าไม้สัก เมื่ออายุ 18 ปี ที่ประเทศไนจีเรียสรุปว่า ควรปลูกสวนป่าไม้สักที่ระดับความหนาแน่นระหว่าง 1,189 และ 1,680 ต้น/เฮกแตร์ การเติบโตรายต้นจะลดลง เมื่อระดับความหนาแน่นของหมู่ไม้สูงกว่า และศักยภาพการเติบโตของหมู่ไม้ไม่ถึงระดับสูงสุดเมื่อความหนาแน่นของหมู่ไม้ต่ำกว่า

ในประเทศคอซตาริกา สวนป่าไม้สักที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีพื้นที่หน้าตัดสูงที่สุดเท่ากับ 28 เมตร²/เฮกแตร์ ดังนั้น ถ้าการจัดการสวนป่ามีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้การเติบโตของต้นไม้มีขนาด (size) สูงสุด พื้นที่หน้าตัดของสวนป่าไม้สักไม่ควรมีค่าถึง 28 เมตร²/เฮกแตร์ เนื่องจากถ้ามีพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้มากกว่า 20 เมตร³/เฮกแตร์ การแก่งแย่งภายในหมู่ไม้จะเพิ่มขึ้น และการเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (DBH) จะลดลงโดยเฉพาะเมื่อพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้มีค่ามากกว่า 25 เมตร²/เฮกแตร์ ผลการศึกษานี้ให้ข้อเสนอแนะว่าจุดวิกฤตของพื้นที่หน้าตัดของสวนป่าไม้สักผันแปรอยู่ระหว่าง 15 และ 32 เมตร²/เฮกแตร์ (Lowe, 1976; Keogh, 1979)

4. การลิดกิ่ง

การลิดกิ่งเป็นการปฏิบัติทางวนวัฒนวิทยาที่จำเป็นสำหรับการผลิตไม้ซุงที่อ่อนคุณภาพดี กล่าวคือ ไม้คุณภาพดีต้องเป็นไม้ที่มีปุ่มตาน้อยและมีขนาดเล็กและเป็นไม้ที่มีตำหนิ (อาทิเช่น โด่งงอ ไส้กลวง ความแข็งแรงต่ำ เส้นบิด ลำต้นมีความเรียวมาก) น้อยมาก หรือไม่มีเลย การพัฒนาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการลิดกิ่งจึงได้มาจากการปฏิบัติจริง อย่างไรก็ตาม การลิดกิ่งอาจมีข้อบกพร่อง อาทิ เช่น ความหนักเบาของการลิดกิ่งน้อยเกินไป และ/หรือทำการลิดกิ่งช้าเกินไปซึ่งทำให้การลิดกิ่งไม่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพไม้ หรือทำการลิดกิ่งมากเกินไปในขณะที่ต้นไม้มีอายุน้อยจนทำให้มีผลกระทบต่อการเติบโตของต้นไม้ เนื่องจากมวลชีวภาพของต้นไม้ลดลง การลิดกิ่งต้นไม้อย่างหนักมากอาจทำให้การเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางรายปี หรืออัตราการเติบโตสะสมของต้นไม้ที่สูญเสียไปหลังจากการลิดกิ่งจะไม่ได้กลับคืนมา (O' Hara, 1991)

ผลการวิจัยของ Pérez and Kanninan (2003) ชี้ให้เห็นว่า การลิดกิ่งที่ไม่เหมาะสมมีผลทำให้สูญเสียการเติบโตรายต้น และการเติบโตของหมู่ไม้ได้ ในการลิดกิ่งไม่ได้คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของใบกับการเติบโตของลำต้น การลิดกิ่งออกจากต้นไม้ในปริมาณมากเป็นสาเหตุให้ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของส่วนที่เป็นเรือนยอดของต้นไม้ลดลงทันทีทันใด ผลที่ตามมาคือทำให้พื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ภายหลังการลิดกิ่ง 3 ปี ลดลง ได้ถึง 28% ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ก่อนการลิดกิ่ง และปริมาตรของหมู่ไม้ลดลงได้ถึง 43% การวิจัยการลิดกิ่งของสวนป่ากระถินเทพาที่ประเทศมาเลเซีย (อายุ 1.5–4 ปี) ให้ผลการวิจัยที่

คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ หน่วยทดลองที่มีระดับของการลิดกิ่งที่แตกต่างกัน (ลิดกิ่งสูง 2.5 เมตร ถึง 6 เมตร จากพื้นดิน) ทำให้การเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นลดลง การลดลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากกว่า ถ้าส่วนที่เป็นเรือนยอดถูกเคลื่อนย้าย (ลิดกิ่ง) ออกไปมากกว่า 40% (Majid and Paudyal, 1992) จากการศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์ไม้ชนิดอื่น อาทิเช่น *Eucalyptus nitens* อายุ 3 ปี พบว่า ภายหลังการลิดกิ่ง 2 ปี และลิดกิ่งโดยการลิดส่วนที่เป็นเรือนยอดออกน้อยกว่า 40% ผลปรากฏว่า ไม่มีความแตกต่างด้านการเติบโตระหว่างหมู่ไม้ที่ทำการลิดกิ่งกับ ไม่มีการลิดกิ่ง (Gerrand et.al., 1997)

Zobel (1992) ได้สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับผลของการลิดกิ่งของพันธุ์ไม้ตระกูลสนในเขตอบอุ่นต่อคุณสมบัติของเนื้อไม้ ไว้ว่า การลิดกิ่งมีผลต่อคุณสมบัติของเนื้อไม้ โดยเฉพาะเมื่อทำการลิดกิ่งไม่ถูกต้องหรือลิดกิ่งมากเกินไป การลิดกิ่งด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้องในไม้ตระกูลสน จะทำให้เกิดเสี้ยนสนและเกิด resin pockets ซึ่ง resin pocket นี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ต้นไม้ที่ทำการลิดกิ่งด้วยวิธีการไม่ถูกต้องเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อไม้ โดยปกติแล้ว การลิดกิ่งจะดำเนินการกับส่วนของลำต้นที่มีค่ามากที่สุด (ท่อนแรกของลำต้น) และการลิดกิ่งสูงเกินไป (ตามความสูงของต้นไม้จากพื้นดิน) จะไม่เกิดผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ต้นไม้ควรทำการลิดกิ่งเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นมีขนาดประมาณ 12 เซนติเมตร เพื่อที่จะทำให้เนื้อไม้ ที่อยู่นอกโซนของปุ่มตาที่เป็น clean wood มีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ตามปกติแล้ว การลิดกิ่งไม่ควรลิดมากกว่า ครึ่งหนึ่งของเรือนยอด (live crown) จากผลการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า การลิดกิ่งประมาณ 40% น่าจะดีกว่า บางครั้งการลิดกิ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การสร้างเนื้อไม้ในระยะแรก (juvenile wood) เกิดการชะงักงันได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ความถ่วงจำเพาะของไม้สน *Pinus radiata* อาจเพิ่มขึ้น จาก 0.48 เป็น 0.59 โดยการลิดกิ่ง นอกจากนี้มีงานวิจัยอื่นๆ อีกที่บ่งชี้ว่า การลิดกิ่งทำให้ความหนาแน่นของเนื้อไม้เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม มีผลการวิจัยกับพันธุ์ไม้ชนิดเดียวกันที่ให้ผลตรงกันข้าม กล่าวคือ การลิดกิ่งไม่ทำให้ความหนาแน่นของเนื้อไม้เพิ่มขึ้น บ่อยครั้งที่การลิดกิ่งเป็นการกระตุ้นให้เกิด epicormic branch ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับไม้ใบกว้างเช่นเดียวกับการตัดขยายระยะ

วิธีการศึกษา

1. ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้ ผลผลิตของหมู่ไม้รูปทรงของต้นไม้และคุณภาพของเนื้อไม้

การตัดขยายระยะสวนป่า ประกอบด้วย 2 งานทดลอง ได้แก่

งานทดลองที่ 1 ทดลองการตัดขยายระยะครั้งแรกที่ดำเนินการตามกำหนดเวลา (On time –first thinning)

งานทดลองที่ 2 ทดลองการตัดขยายระยะครั้งแรกที่ดำเนินการช้ากว่ากำหนด (Late–First thinning)

แต่ละงานทดลองวางแผนการทดลองแบบ completely randomized block design ประกอบด้วย 3 หน่วยทดลอง (treatment) มี 3 ซ้ำ (replication) คือ หน่วยทดลอง คือ ความแตกต่างของความหนักเบาในการตัดขยายระยะ (thinning intensity) ดังนี้

หน่วยทดลองที่ 1 ตัดขยายระยะอย่างปานกลาง (Moderate thinning)

หน่วยทดลองที่ 2 ตัดขยายระยะอย่างหนัก (Heavy thinning)

หน่วยทดลองที่ 3 ไม่มีการตัดขยายระยะ (No thinning) หรือ แปลงควบคุม

กำหนดให้แต่ละหน่วยทดลองมีเนื้อที่ 1,600 เมตร²

พื้นที่ศึกษา ในพื้นที่สวนหลักของบริษัทเอกชน ได้แก่

1) สวนหลักทองแสนขันสวนป่ามีความหนาแน่นเมื่อเริ่มปลูก 200 ต้น/ไร่ ระยะปลูก 2 เมตร X 4 เมตร วางแปลงขนาด 1 ไร่ (40 เมตร X 40 เมตร) เป็นตัวแทนของการตัดขยายระยะเมื่อสวนป่ามีอายุมากขึ้นไป หรือ ทำการตัดขยายระยะล่าช้า โดยอายุของต้นไม้ในสวนป่าขณะดำเนินการทดลองตัดขยายระยะมีอายุ 18 ปี แผนการทดลองประกอบด้วย 3 treatment ตามความหนักเบาของการตัดขยายระยะ โดยคิดเป็นร้อยละของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ก่อนการทดลอง ได้แก่

- ตัดขยายระยะแบบปานกลาง หรือตัดออก ร้อยละ 35
- ตัดขยายระยะแบบหนัก หรือตัดออก ร้อยละ 55
- ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ หรือ แปลงควบคุม

2) สวนหลักเด่นด่าน มีความหนาแน่นเมื่อเริ่มปลูก 100 ต้น/ไร่ระยะปลูก 4 เมตร x 4 เมตร วางแปลงขนาด 1 ไร่ (40 เมตร X 40 เมตร) เป็นตัวแทนของสวนป่าที่ทำการตัดขยายระยะตามกำหนด คือทำการทดลองตัดขยายระยะเมื่ออายุ 10 ปี แผนการทดลองประกอบด้วย 3 treatment ตามความหนักเบาของการตัดขยายระยะ โดยคิดเป็นร้อยละของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ ได้แก่

- ตัดขยายระยะแบบปานกลาง หรือตัดออก ร้อยละ 40
- ตัดขยายระยะแบบหนัก หรือตัดออก ร้อยละ 60
- ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ หรือ แปลงควบคุม

การเก็บข้อมูล

1) วัดขนาดต้นไม้ในแปลงทุกต้น บันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูงทั้งหมด ความสูงถึงฐานเรือนยอด และให้คะแนนคุณภาพของเรือนยอดของต้นไม้ในแปลงตัวอย่าง นำมาคำนวณหาปริมาตรและพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้เพื่อคัดเลือกต้นไม้ที่จะดำเนินการตัดขยายระยะ

2) ดำเนินการตัดขยายระยะแบบ low thinning ใช้ความหนักเบาของการตัดขยายระยะตามแผนการทดลอง โดยเลือกตัดต้นที่มีขนาดเล็ก รวมทั้งต้นมีเรือนยอดไม่สมบูรณ์ ไม่สมดุล หรือมีการถูกทำลายหรือมีสภาพอ่อนแอออกก่อน

3) วัดขนาดต้นไม้โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ความสูงทั้งหมด (H) และความสูงถึงฐานเรือนยอด (Hb) โดยวัดหลังการตัดขยายระยะทันที และหลังการตัดทุกปีเป็นเวลา 3 ปี

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) คำนวณค่าพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรทั้งรายต้นและทั้งหมู่ไม้ การประมาณปริมาตรรายต้น (tree volume estimation) ใช้สมการรีเกรสชันที่มีอยู่แล้วและที่สร้างขึ้นใหม่ประมาณปริมาตรรายต้นของไม้สักในแปลงตัวอย่าง สำหรับการหาปริมาตรรายต้นก่อนตัด หลังตัดทันที และหลังตัด 1 ปี (รวมเปลือก) ใช้สมการของ Vacharangkula (2010)

$$V = 0.00009734 \text{ DBH}^{1.99583} \text{ H}^{0.64695}$$

เมื่อ V = ปริมาตรไม้ (m^3)

DBH = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (cm)

H = ความสูงทั้งหมด (m)

2) เนื่องจากการตัดขยายระยะจะมีผลต่อรูปทรงของต้นไม้ จึงต้องมีการหาสมการสำหรับประมาณปริมาตร โดยการตัดตัวอย่างต้นไม้ในแต่ละ treatment โดยใช้สมการ nonlinear model ได้แก่

$$V = a (\text{DBH}^2 \cdot \text{H})^b$$

เมื่อ a และ b คือค่าคงที่

3) คำนวณหาความเพิ่มพูนรายปีของทั้งภาพรวมของหมู่ไม้ (Total volume production) และรายต้น (Stand volume) คำนวณต้นไม้ที่มีเรือนยอดเด่น (Dominant tree height : DTH) โดยใช้ต้นไม้ที่มีความโตสูงสุด จำนวน 16 ต้นต่อไร่ (100 ต้นต่อเฮกแตร์)

4) เพื่อศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อรูปทรงของต้นไม้ ทำการคำนวณค่า 3 ค่า ได้แก่

4.1) Live-crown ratio (อัตราส่วนของความสูงของเรือนยอดและความสูงทั้งหมด)

4.2) Slenderness ratio (อัตราส่วนของความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก)

4.3) Breast height form factor (อัตราส่วนของปริมาตรต้นไม้ต่อปริมาตรรูปทรงกระบอกที่คำนวณพื้นที่หน้าตัดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก)

5) วิเคราะห์สถิติเพื่อเปรียบเทียบผลของความหนักเบาของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตและรูปทรงของต้นไม้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

2. ผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของต้นไม้ และคุณภาพของเนื้อไม้

ทำการศึกษาที่สวนสักหนองคำฮ้อย จังหวัดอุดรธานี ระยะปลูก 2 เมตร x 4 เมตร อายุเมื่อทำการทดลองลิดกิ่งคือ 7 ปี วางแผนการทดลองแบบ completely randomized block design วางแปลงขนาด 16 เมตร x 32 เมตร ประกอบด้วย 4 หน่วยทดลอง (treatment) มี 3 ซ้ำ (replication) หน่วยทดลอง คือ วิธีการลิดกิ่งที่ระดับความสูงของการลิดกิ่งจากพื้นดินระดับต่างๆ กัน แบ่งเป็น

หน่วยทดลองที่ 1 ไม่มีการลิดกิ่ง (แปลงควบคุม)

หน่วยทดลองที่ 2 ลิดกิ่งจนถึงระดับความสูง 5 เมตร จากพื้นดิน

หน่วยทดลองที่ 3 ลิดกิ่งจนถึงระดับความสูง 6 เมตร จากพื้นดิน

หน่วยทดลองที่ 4 ลิดกิ่งจนถึงระดับความสูง 7 เมตร จากพื้นดิน

กำหนดให้แต่ละหน่วยทดลองมีเนื้อที่ 800 เมตร² มีระยะห่างของแนวกันชน (buffer) รอบแปลงทดลองเท่ากับ 8 เมตร

การเก็บข้อมูลโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.30 เมตร (DBH) และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ทุกต้นในแปลงทดลอง (หน่วยทดลอง) ก่อนดำเนินการลิดกิ่งและหลังจากลิดกิ่ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

1) คำนวณค่าพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรทั้งรายต้นและทั้งหมดไม้ การประมาณปริมาตรรายต้น (tree volume estimation) ใช้สมการรีเกรสชันที่สร้างขึ้นใหม่ประมาณปริมาตรรายต้นของไม้สักในแปลงตัวอย่างโดยการตัดตัวอย่างต้นไม้ในแต่ละ treatment โดยใช้สมการ nonlinear model ได้แก่

$$V = a (DBH^2 \cdot H)^b$$

เมื่อ a และ b คือค่าคงที่

2) เพื่อศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อรูปทรงของต้นไม้ ทำการคำนวณค่า 3 ค่า ได้แก่

2.1) Live-crown ratio (อัตราส่วนของความสูงของเรือนยอดและความสูงทั้งหมด)

2.2) Slenderness ratio (อัตราส่วนของความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก)

2.3) Breast height form factor (อัตราส่วนของปริมาตรต้นไม้ต่อปริมาตรรูปทรงกระบอกที่คำนวณพื้นที่หน้าตัดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก)

3) ตรวจสอบรอยแผลหลังการลิดกิ่ง และสำรวจจำนวนกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่จากตาที่งันอยู่ โดยแบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกิ่งออกเป็น 2 ขนาด คือ น้อยกว่า 2 เซนติเมตร และ มากกว่าหรือเท่ากับ 2 เซนติเมตร

4) ศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อคุณภาพของเนื้อไม้ โดยคัดเลือกไม้ตัวอย่างขนาดต่างๆ จากหน่วยทดลอง หน่วยทดลองละ 4 ต้น และต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเป็นตัวแทนของสวนป่าทั้งหมด 5 ต้น รวมทั้งหมด 21 ต้น เพื่อวัดหาปริมาตรลำต้นด้วยวิธี Smalian formula และเพื่อนำไม้ตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์หัตถ (stem analysis) ประเมินหาปริมาตรของส่วนที่เป็นแก่นไม้ (heartwood content) นำค่าต่างๆ ที่คำนวณได้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละหน่วยทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3. สมการประมาณปริมาตรทั้งหมดของส่วนที่เป็นลำต้นและปริมาตรที่ทำสินค้า (Total stem volume and merchantable stem volume equation)

การเก็บข้อมูล

ข้อมูลไม้สักที่ใช้ในการสร้างและทดสอบแบบจำลองได้จากสวนป่าไม้สักขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้และสวนป่าเอกชน ซึ่งตั้งอยู่ในท้องที่จังหวัดต่างๆ ของประเทศไทย ครอบคลุมสภาพพื้นที่และสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน สักตัวอย่างที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณปริมาตรของส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดมาจากสวนป่าจำนวน 15 สวน จำนวนไม้ตัวอย่าง 196 ต้น (Table 1) ในแต่ละสวนป่าเมื่อทำการคัดเลือกไม้ตัวอย่างให้กระจายตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (DBH) ของไม้ในสวนแล้ว ทำการตัดโค่นไม้ตัวอย่างให้ใกล้ระดับขีดดินมากที่สุด วัดความยาวลำต้นของต้นไม้ทั้งหมด โดยวัดรวมความสูงของตอด้วย

จากนั้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับขีดดิน 30 เซนติเมตรเหนือพื้นดิน 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน จากระดับ 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทุกๆ ความยาว 1 เมตร ถัดไป จนถึงจุดที่ความยาวของส่วนปลายลำต้นเหลือน้อยกว่า 1 เมตร

Table 1 Description of *T. grandis* plantations and theirs sample trees used to develop model.

ลำดับ ที่	ชื่อสวนป่า	เจ้าของ สวนป่า	ที่ตั้งสวนป่า	อายุ (ปี)	ระยะปลูก (เมตรxเมตร)	จำนวนไม้ ตัวอย่าง (ต้น)
				30–		
1	แม่มาย	ออป.	อ.เมือง จ.ลำปาง	39	4x4, 2x4	40
2	แม่คำมี	ออป.	อ.ร้องกวาง จ.แพร่	33	4x4	15
3	วังชิ้น	ออป.	อ.วังชิ้น จ.แพร่	38	4x4	20
4	สุวรรณคูหา	เกษตรกร	อ.สุวรรณคูหา จ.หนองบัวลำภู	15	2x3	8
5	เด่นดำน	เอกชน	อ.เมือง จ.อุดรดิตถ์	10	2x4	5
6	นาด้วง	ออป.	อ.นาด้วง จ.เลย	33	2x8	13
7	ดงลาน	เกษตรกร	อ.สีชมพู จ.ขอนแก่น	9	4x4	7
8	เชียงทอง	ออป.	อ.เชียงทอง จ.ตาก	33	2x4	7
9	คุณรัมย์ภา	เกษตรกร	อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	22	2x4	9
10	แม่เมาะ	ออป.	อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง	34	4x4	11
11	หัวระบ่า	ออป.	อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี	38	4x4	6
12	ลาดยาว	ออป.	อ.ลาดยาว จ.นครสวรรค์	34	4x4	12
13	แม่มาย	ออป.	อ.เมือง จ.ลำปาง	44	4x4	11
14	เกษตรกร	เกษตรกร	อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	24	2x3	15
15	แม่หวด-แม่ก่อ	ออป.	อ.ลี้ จ.ลำพูน	35	2x4	17

การวิเคราะห์ข้อมูล

คำนวณปริมาตรไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดโดยใช้ Smalian's formula ปริมาตรท่อนเป็นปริมาตรเหนือเปลือก (รวมเปลือก) โดยท่อนโคนถึงท่อนรองสุดท้ายคำนวณเป็นรูปทรงกระบอก ส่วนท่อนปลายคำนวณเป็นรูปกรวย จากนั้นคำนวณปริมาตรของลำต้นทั้งหมด (total stem volume) โดยการรวมปริมาตรของท่อนจากโคนถึงปลายท่อน ในขณะที่ปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ (merchantable volume) คำนวณปริมาตรจากโคนถึงระดับ 0.30 เมตร 1.30 เมตร และจากระดับ 1.30 เมตร คำนวณปริมาตรทุกๆ ความยาว 2 เมตร จนถึงปลายท่อนที่มีความยาวเท่ากับหรือน้อยกว่า 2 เมตร จะถูกตัดทิ้งไป ดังนั้นชุดข้อมูลของปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าสะสมของไม้ตัวอย่างแต่ละต้นจะประกอบด้วยปริมาตรจากโคนต้นถึงระดับ 1.30 เมตร 3.30 เมตร 6.30 เมตรจนถึงท่อนสุดท้าย (ตัดท่อนปลายที่มีความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 เมตร ออก)

การพัฒนาแบบจำลอง

1. สมการประมาณปริมาตรของลำต้นทั้งหมด (total volume equation)

แบบจำลองที่นำมาใช้สร้างสมการประมาณปริมาตรของลำต้นทั้งหมด คัดเลือกมาจากการตรวจสอบเอกสารที่มีผู้นิยมใช้ประมาณปริมาตรลำต้นไม้อย่างแพร่หลาย และเห็นว่ามีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับการศึกษาครั้งนี้ ประกอบด้วย 4 แบบจำลอง ดังนี้

$$Vt = \beta_{11}(DBH^2 H)^{\beta_{12}} + e_i \quad (1)$$

$$Vt = \beta_{12}DBH^{\beta_{22}} H^{\beta_{32}} + e_i \quad (2)$$

$$Vt = \beta_{13} + \beta_{23}(DBH^2 H) + e_i \quad (3)$$

$$Vt = \beta_{14} + \beta_{24} + (DBH)^2 + e_i \quad (4)$$

โดย Vt = ปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด (ลูกบาศก์เมตร)

DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่ระดับ 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน

H = ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (เมตร)

$\beta_{11} \dots \beta_{24}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของการประมาณ

e_i = ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณ

แบบจำลอง (1) คือ allometric relation ซึ่งนิยมใช้กันมากในวงการป่าไม้ อยู่ในรูปของ Power model หรือเรียกอีกอย่างว่า allometric relation (Gould, 1979) แบบจำลอง (2) คือ Schumacher and Hall volume equation (Schumacher and Hall, 1993) แบบจำลอง (3) คือ combined variable volume equation (Spurr, 1952) และแบบจำลอง (4) คือ local volume equation

2. สมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ (Merchantable volume equations)

แบบจำลองที่ใช้ในการสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ เป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยวิธีอัตราส่วนของปริมาตร (volume ratio) และเนื่องจากขนาดจำกัดของลำต้นของไม้ที่นำไปใช้ประโยชน์ สามารถรวมเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นหรือความยาว (ความสูง) ของลำต้นก็ได้เช่นกัน ดังนั้นแบบจำลองที่จะนำมาใช้สร้างสมการจึงเป็นแบบจำลองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น หรือความยาวของลำต้น เป็นตัวแปรอิสระ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลองที่นำไปใช้สร้าง volume ratio equations 4 แบบจำลอง ดังนี้

$$Rd = 1 + \beta_{15} \left(\frac{d^{\beta_{25}}}{DBH^{\beta_{35}}} \right) + e_i \quad (5)$$

$$Rd = \exp[-\beta_{16} \left(\frac{d^{\beta_{26}}}{DBH^{\beta_{36}}} \right)] + e_i \quad (6)$$

$$Rh = 1 + \beta_{17} \left[\frac{(H-h)^{\beta_{27}}}{H^{\beta_{37}}} \right] + e_i \quad (7)$$

$$Rh = \exp\{-\beta_{18} \left[\frac{(H-h)^{\beta_{28}}}{H^{\beta_{38}}} \right]\} + e_i \quad (8)$$

โดย Rd = อัตราส่วนของปริมาตรที่เป็นสินค้าได้ (to top diameter limit, d)
กับปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด (Vd/Vt)

Rh = อัตราส่วนของปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ (to tree top height limit,
h) กับปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด (Vh/Vt)

d = ขนาดจำกัดของเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นที่จะนำไปใช้ประโยชน์
(top diameter limit, cm)

h = ความยาว (ความสูง) ของลำต้นที่จะนำไปใช้ประโยชน์ (top height
limit, h)

DBH = เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.30 เมตรเหนือพื้นดิน

H = ความยาวของลำต้น

$\beta_{15} \dots \beta_{38}$ = สัมประสิทธิ์ของการประมาณ

e_i = ค่าความคลาดเคลื่อนของการประมาณ

แบบจำลอง (5) คือแบบจำลองที่นำเสนอโดย Burkhardt (1977) แบบจำลอง (7)
นำเสนอโดย Cao and Burkhardt (1980) และแบบจำลอง (6) และ (8) เป็นแบบจำลองที่นำเสนอ
โดย Van Deusen และคณะ (Van Deusen *et.al.*, 1981)

3. การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาสมการประมาณปริมาตรไม้

สมการประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด (total volume equations) ที่สร้าง
โดยแบบจำลอง (1) วิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี non-linear regression แบบจำลอง (2) โดยวิธี
multiple linear regression แบบจำลอง (3) และ (4) โดยวิธี Simple linear regression

สมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ที่ขนาดจำกัดใดๆ (variable-top
merchantable volume equations) ที่สร้างโดยแบบจำลอง (5)–(7) วิเคราะห์ทางสถิติโดยวิธี
non-linear regression การคัดเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดในการสร้างสมการประมาณปริมาตร
ไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด ใช้วิธีพิจารณาค่า RMSE (root mean square error) และค่า
สัมประสิทธิ์ของตัวกำหนดที่ปรับแก้แล้ว (adjusted coefficient of determination, R_a^2)

4. การทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลอง (Model validation)

การทดสอบแบบจำลอง (สมการ) ที่ใช้ประมาณหาปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด
และสมการประมาณหาปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ โดยการใช้ชุดข้อมูลที่เป็นอิสระจากชุด
ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (ไม่เป็นข้อมูลชุดเดียวกัน และเก็บตัวอย่างจากแปลงสวนป่า
ที่ไม่ใช่แปลงที่เก็บข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง) ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบรวบรวมจากสวนป่า
14 สวน จำนวนไม้ตัวอย่าง 82 ต้น (Table 2)

Table 2 Description of *T. grandis* plantations and theirs sample trees used for model validation

ลำดับ ที่	ชื่อสวนป่า	เจ้าของ สวนป่า	ที่ตั้งสวนป่า	อายุ (ปี)	ระยะปลูก (เมตรxเมตร)	จำนวนไม้ ตัวอย่าง (ต้น)
1	ทองแสนขัน	เอกชน	อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์	23	2x4	10
2	ทองแสนขัน	เอกชน	อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์	23	2x4	9
(แปลงตัดขยายระยะ)						
3	เทิดดำริ	เกษตรกร	อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี	18	2.5x2.5	8
4	คุณประชา	เกษตรกร	อ.เมือง จ.กาญจนบุรี	20	2x4	5
5	นาด้วง	ออป.	อ.นาด้วง จ.เลย	31	2x8	3
6	ทองพางภูมิ	ออป.	อ.ทองพางภูมิ จ.กาญจนบุรี	33	4x4	4
7	เกริงกระเวีย	ออป.	อ.ทองพางภูมิ จ.กาญจนบุรี	26	4x4	6
8	คุณวรรณภา	เกษตรกร	อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี	19	3x3	4
9	เทิดดำริ	เกษตรกร	อ.ชัยบาดาล จ.ลพบุรี	11	3x3	5
10	น้ำหมี่	เอกชน	อ.ทองแสนขัน จ.อุตรดิตถ์	33	2x3	4
11	เกริงกระเวีย	ออป.	อ.ทองพางภูมิ จ.กาญจนบุรี	27	4x4	3
12	เกษตรกร	เกษตรกร	อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	24	2x3	15
13	วัดปากอ่าง	วัดปากอ่าง	อ.เมือง จ.กำแพงเพชร	23	3x3	3
14	ไทรโยค	ออป.	อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี	35	4x4	3

ทำการทดสอบค่าความแม่นยำ (accuracy) และความเที่ยงตรง (precision) ของการคาดคะเน โดยใช้ค่าทดสอบทางสถิติเพื่อประเมินความแม่นยำและความเที่ยงตรงเชิงปริมาณของแบบจำลอง ดังนี้

$$MRES = \sum \frac{(y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (9)$$

$$MRES\% = 100 \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)/n}{\sum \hat{y}_i/n} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / n} \quad (11)$$

$$RMSE\% = 100 \sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2 / n}{\sum \hat{y}_i/n}} \quad (12)$$

$$AMRES = \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (13)$$

$$AMRES\% = 100 \frac{\sum |y_i - \hat{y}_i|/n}{\sum \hat{y}_i/n} \quad (14)$$

โดย $MRES$ = mean residuals
 $AMRES$ = absolute mean residuals
 $RMSE$ = root mean square error
 $MRES\%, RMSE\%$ และ $AMRES\%$ = ค่าสัมพัทธ์ที่คำนวณเป็นร้อยละ (เปอร์เซ็นต์) ของค่าเฉลี่ยของค่าคะแนนดังกล่าว
 n = จำนวนค่าสังเกต
 y_i และ $\hat{y}_i$ = ค่าสังเกต (ค่าที่วัดได้จริงจากการเก็บข้อมูล) และค่าจากการคาดคะเน ตามลำดับ

ในการทดสอบแบบจำลองที่มีจำนวนพารามิเตอร์ (ตัวแปรอิสระ) ของแบบจำลองไม่เท่ากัน จะใช้ค่า AIC (Akaike Information Criterion) เป็นค่าสถิติที่ใช้เป็นบรรทัดฐานในการเปรียบเทียบ (Burnham *et. al.*, 2002; Sharma, 2009)

$$AIC = n \cdot \ln(RMSE) + 2p \quad (15)$$

$\ln$ = natural logarithm

p = no. of parameter

แบบจำลองที่ให้ค่า AIC น้อยที่สุด คือ แบบจำลองที่เหมาะสม

ในการทดสอบความเที่ยงตรงของแบบจำลอง จะพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการคาดคะเน (mean square error, MS) ซึ่งเป็นตัววัดความเที่ยงตรงของแบบจำลองด้วย (Zharg, 1977)

$$MS = (MRES)^2 + v \quad (16)$$

v = ความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเน
 variance of the prediction errors)

สำหรับการประเมินเชิงคุณภาพของแบบจำลองใช้วิธี graphical method โดยการแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการคาดคะเน (predicted values) กับค่าความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเน (residuals) และกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าจากการคาดคะเนกับค่าที่วัดได้จริง (measured values)

ผลการศึกษา

1. การศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้ (tree growth) ผลผลิตของหมู่ไม้ (stand yield) รูปทรงของลำต้น (stem form) และคุณภาพของเนื้อไม้ (wood quality)

วัดการเติบโตของต้นไม้ในแปลงทดลองที่กำหนดการตัดขยายระยะด้วยความหนักเบาในการตัดขยายระยะ (thinning intensity) ต่างๆ กันจำนวน 2 แปลงทดลอง ในพื้นที่สวนสักของบริษัทเอกชน ได้แก่

1) สวนสักทองแสนชั้น

ผลการศึกษาพบว่าหลังทำการตัดขยายระยะทันที แปลงที่ตัดขยายระยะมีจำนวนต้นไม้ลดลงทำให้ค่าความหนาแน่นของหมู่ไม้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ ในขณะที่ค่าการเติบโต ได้แก่ DBH และความสูงของแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะจะมีค่าต่ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่ทำการตัดขยายระยะ ส่วนค่าปริมาตรของหมู่ไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าแปลงที่ทำการตัดขยายระยะทั้งสองระดับ เนื่องจากจำนวนต้นไม้ในแปลงที่ตัดขยายระยะมีลดลงอย่างมาก

หลังการตัดขยายระยะ 3 ปี พบว่าค่าการเติบโตทางด้านความสูงในแปลงตัดขยายระยะแบบหนัก มีค่าสูงกว่าในแปลงอื่นๆ และแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ DBH แสดงค่าสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ ส่วนแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลาง มีค่าสูงกว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะเช่นกันแต่ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้และปริมาตรของหมู่ไม้พบว่าในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักจะมีค่าต่ำกว่าในแปลงอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนต้นไม้ในแปลงมีน้อยกว่า แต่ในแปลงตัดขยายระยะปานกลางแม้ว่าจะมีจำนวนต้นไม้มากกว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ แต่ปริมาตรของหมู่ไม้มีค่าสูงที่สุด (Vacharangkuraet *et al.*, 2017) (Table 3)

จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดรายต้นพบว่าสักในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบหนักมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แปลงตัดขยายระยะปานกลางและแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะกับแปลงที่ตัดขยายระยะที่มีความหนักเบาทั้งสองแบบเริ่มมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังตัดขยายระยะทันทีจนถึงหลังการตัดขยายระยะ 3 ปี แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแปลงตัดขยายระยะแบบหนักและแบบปานกลาง ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาตรรายต้นระหว่างแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะและแปลงที่ตัดขยายระยะแบบหนักพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังตัดขยายระยะ 3 ปี (Figure 1)

Table 3 Stand characteristics of Thong San Khan plantation at the time before, just after and 3-year after thinning

	Treatment											
	Unthinned				Moderate				Heavy			
Before thinning												
Stand density (tree rai ⁻¹)	153	±	9.29	a	155	±	11.02	a	153	±	13.05	a
Mean DBH (cm)	13.70	±	1.29	a	14.26	±	0.41	a	14.62	±	0.46	a
Mean Height (m)	12.71	±	1.39	a	14.28	±	0.24	a	14.84	±	0.52	a
Stand BA (m ² rai ⁻¹)	2.38	±	0.35	a	2.56	±	0.10	a	2.66	±	0.11	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	15.96	±	4.12	a	17.01	±	0.79	a	18.13	±	0.94	a
Just after thinning												
Stand density (tree rai ⁻¹)	153	±	9.29	c	82	±	3.61	b	52	±	4.58	a
Mean DBH (cm)	13.70	±	1.29	a	15.47	±	1.08	ab	17.07	±	0.72	b
Mean Height (m)	12.71	±	1.39	a	14.72	±	0.51	b	15.69	±	0.56	b
Stand BA (m ² rai ⁻¹)	2.38	±	0.35	b	1.68	±	0.08	a	1.20	±	0.04	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	15.96	±	4.12	b	11.23	±	0.57	ab	8.21	±	0.32	a
3-year after thinning												
Stand density (tree ha ⁻¹)	142	±	11.59	c	81	±	3.00	b	52	±	4.73	a
Mean DBH (cm)	14.76	±	1.49	a	16.13	±	2.18	ab	18.80	±	0.59	b
Mean Height (m)	13.68	±	1.77	a	14.70	±	2.33	a	16.64	±	0.32	b
Stand BA ² (m rai ⁻¹)	2.54	±	0.34	c	1.95	±	0.05	b	1.46	±	0.05	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	10.01	±	2.00	a	16.37	±	0.26	c	12.39	±	0.36	b
Thinning ratio												
No. of tree (%)			0.00				47.1				65.9	
Basal area (%)			0.00				34.4				54.8	

Remarks: BA = Basal area

In all case $p < 0.05$



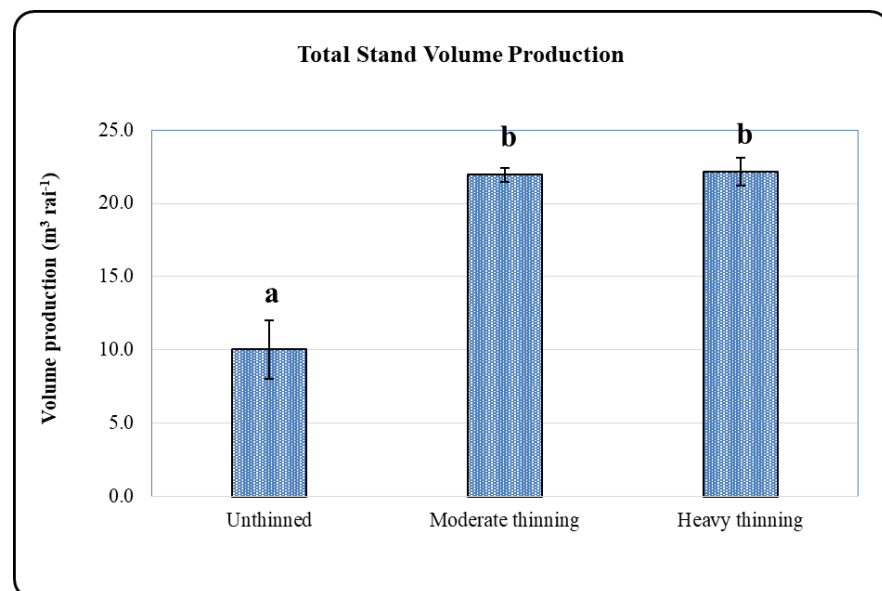
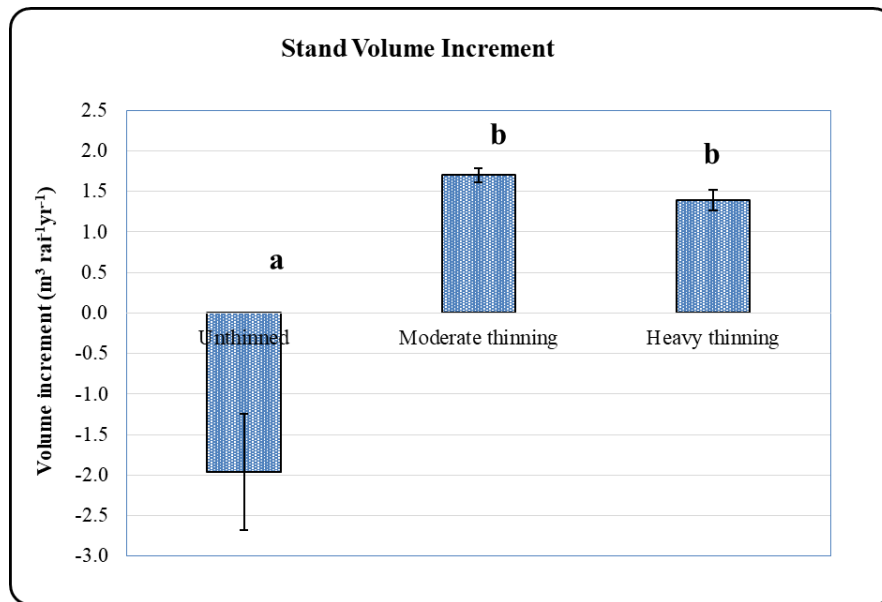
Remark: Letters signify individual statistical differences among treatments in each measurement time, based on the ANOVA test. The treatments marked with the different letters are significantly different.

Figure 1 Mean basal area and mean stem volume of Thong San Khan plantation before, just after and since 3-year after thinning.

การเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้พบมากที่สุดในแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลาง รองลงมาคือ แปลงตัดขยายระยะแบบหนัก และแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะตามลำดับ โดยในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะทั้งสองระดับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความเพิ่มพูนของปริมาตรรวมของหมู่ไม้พบสูงที่สุดในแปลงตัดขยายระยะแบบหนัก รองลงมาได้แก่ แปลงที่ทำการตัดขยายระยะแบบปานกลาง และแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ ตามลำดับ แต่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแปลงตัดขยายระยะกับแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะเท่านั้น เนื่องมาจากต้นไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีการตายมาก ทำให้ค่ารวมของปริมาตรลดลง (Figure 2)

รูปทรงของลำต้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่า Live crown ratio และค่า Slenderness ratio ซึ่งแสดงถึงเสถียรภาพ (stability) ของต้นไม้ ค่า Slenderness สูง หมายความว่าต้นไม้มีความโตน้อยแต่มีความสูงมาก ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการโค่นล้มหรือถูกทำลายได้ง่าย โดยเฉพาะในบริเวณที่มีพายุโดยทั่วไปในไม้ใบแคบ พวกสน มีการศึกษาพบว่าหากค่า Slenderness สูงเกินกว่า ร้อยละ 100 ต้นไม้จะมีอัตราความเสี่ยงสูง ในลักษณะนี้ไม่มีการศึกษาค่า Slenderness ที่เหมาะสม แต่กรณีที่มีค่า Slenderness ร้อยละ 100 หรือมากกว่าจะมีความเสี่ยงสูงในการโค่นล้มเช่นกันค่า Live crown ratio เป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะของต้นไม้ โดยทั่วไปเรือนยอดของต้นไม้ใบแคบจะมีค่าไม่ต่ำกว่า ร้อยละ 40 เพื่อให้ต้นไม้มีเรือนยอดที่แข็งแรงและสามารถผลิตอาหารและเติบโตได้เต็มที่

ผลการศึกษาพบว่า หลังการตัดขยายระยะ ค่า Live crown ratio ในแปลงตัดขยายระยะทั้งสองแบบมีค่าไม่แตกต่างจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ และพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดในปีที่ 3 หลังการตัดขยายระยะ ในขณะที่เดียวกันพบว่าค่า Slenderness ในแปลงตัดขยายระยะและในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะจะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงในปีที่ 3 หลังการตัดขยายระยะ จากการลดลงหลังการตัดขยายระยะทันทีในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะอาจกล่าวได้ว่าการตัดขยายระยะทำให้ค่า Slenderness ลดลง อย่างไรก็ตามการตัดขยายระยะที่ทำเมื่อต้นไม้มีอายุมากอาจส่งผลจากการตัดขยายระยะที่ไม่ชัดเจนมากนัก (Figure 3)



Remark: Letters signify individual statistical differences among treatments in each measurement time, based on the ANOVA test. The treatments marked with the different letters are significantly different.

Figure 2 Mean stand volume increment and total stand volume production of Thong San Khan plantation

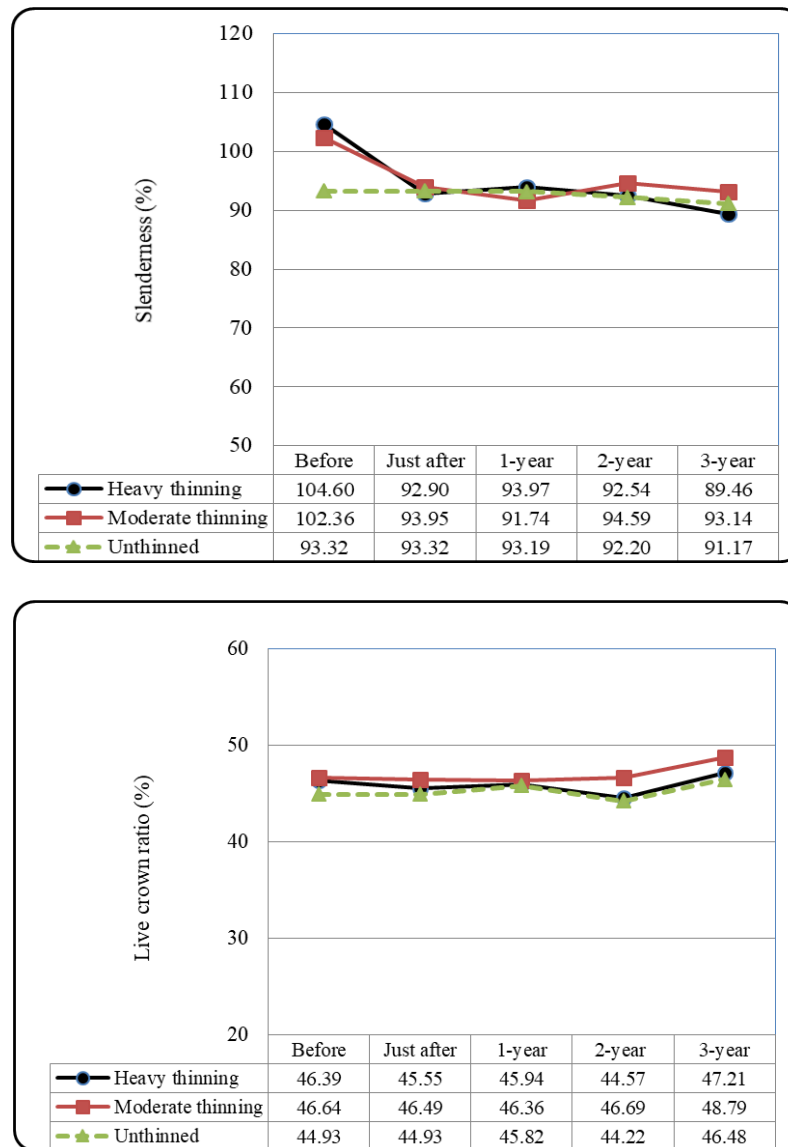


Figure 3 Live crown ratio and Slenderness ratio of Thong San Khan plantation

2) สวนลักเด่นด้าน

ผลการศึกษาพบว่าหลังทำการตัดขยายระยะทันที แปลงที่ตัดขยายระยะมีจำนวนต้นไม้อลดลงทำให้ค่าความหนาแน่นของหมู่ไม้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ ในขณะที่ค่าการเติบโต ได้แก่ DBH และความสูงของแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะจะมีค่าต่ำกว่าแปลงที่ทำการตัดขยายระยะแต่ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของหมู่ไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าแปลงที่ทำการตัดขยายระยะทั้งสองระดับ เนื่องจากจำนวนต้นไม้ในแปลงที่ตัดขยายระยะมีลดลงอย่างมาก

หลังการตัดขยายระยะ 3 ปี พบว่าค่าการเติบโตทางด้าน DBH และ ความสูงในแปลงตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ แต่ไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้และปริมาตรของหมู่ไม้พบว่ามีค่าต่ำกว่าในแปลงอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนต้นไม้ในแปลงมีน้อยกว่าแต่ในแปลงตัดขยายระยะปานกลางแม้ว่าจะมีจำนวนต้นไม้น้อยกว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะแต่ค่าพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้และปริมาตรของหมู่ไม้ไม่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ (Table 4)

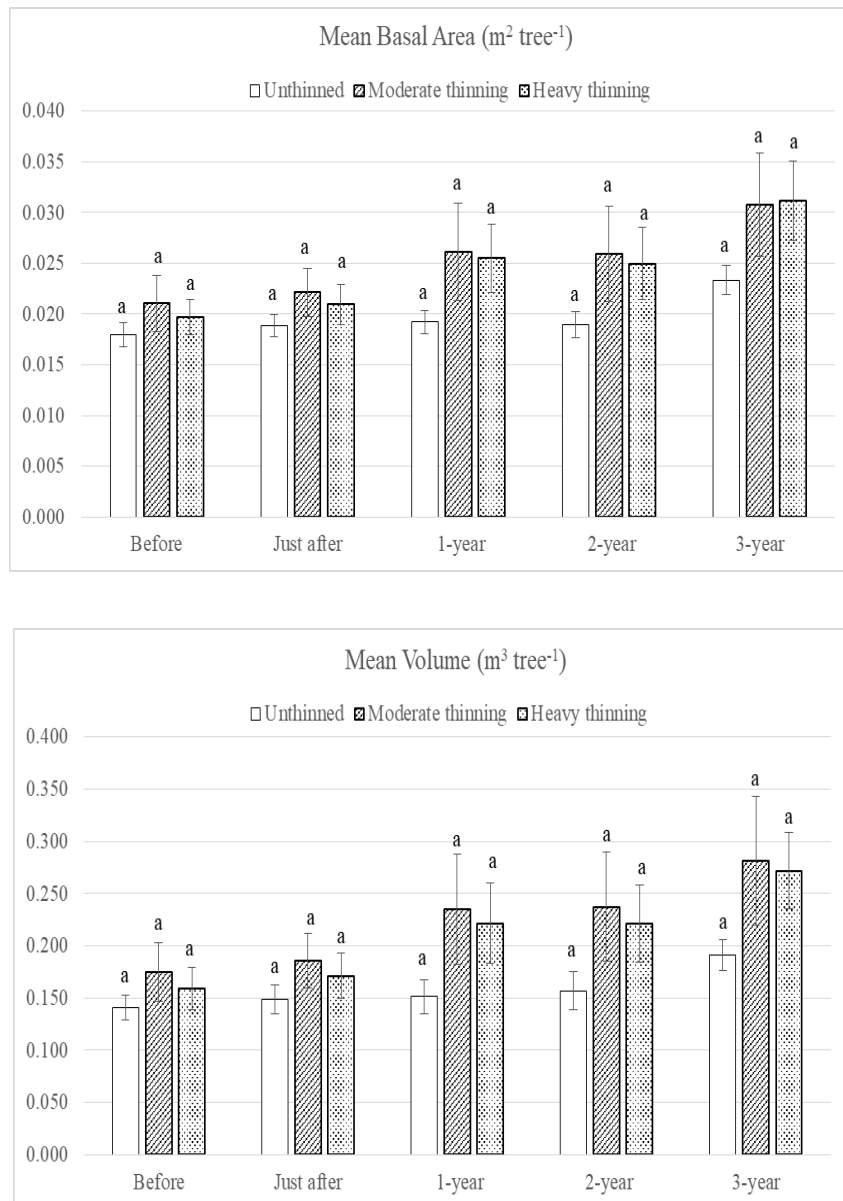
จากการคำนวณค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดรายต้นและปริมาตรรายต้นพบว่าลักในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลางมีค่าสูงกว่าแปลงตัดขยายระยะหนักและแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจนถึงหลังตัดขยายระยะ 3 ปี เนื่องจากเวลาเพียง 3 ปี ซึ่งต้นไม้ในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะยังไม่มี การแก่งแย่งมากนัก รวมทั้งมีต้นไม้ที่ตายมากกว่าในแปลงที่ตัดขยายระยะ ทำให้ยังไม่แสดงผลของการตัดขยายระยะ (Figure 4)

การเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้พบมากที่สุดในการแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลาง รองลงมาคือ แปลงตัดขยายระยะแบบหนัก และแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนความเพิ่มพูนของปริมาตรรวมของหมู่ไม้พบสูงที่สุดในแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลาง รองลงมาได้แก่ แปลงที่ทำการตัดขยายระยะแบบหนัก และแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ ตามลำดับ แต่ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติด้วยเช่นเดียวกัน เนื่องมาจากต้นไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีการตายมาก ทำให้ค่ารวมของปริมาตรลดลง (Figure 5)

Table 4 Stand characteristics of Den Dan plantation at the time before, just after and 3-year after thinning

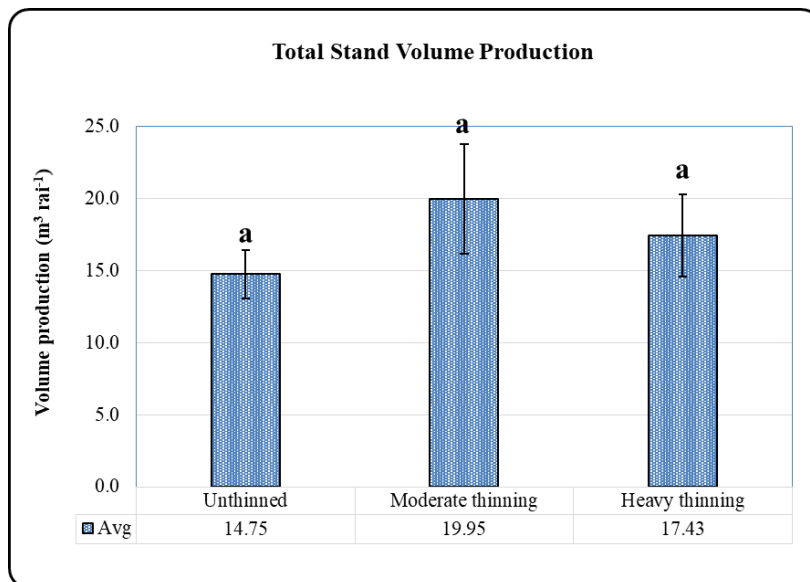
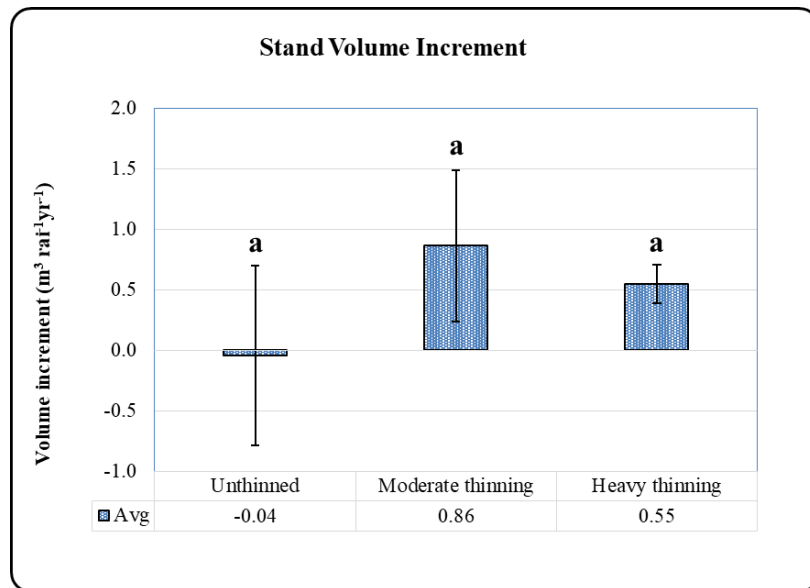
Before thinning	Treatment											
	Unthinned				Moderate				Heavy			
Stand density (tree rai ⁻¹)	98	±	1.53	a	94	±	3.21	a	93	±	5.51	a
Mean DBH (cm)	14.94	±	0.54	a	16.14	±	1.01	a	15.63	±	0.70	a
Mean Height (m)	14.78	±	0.66	a	15.85	±	0.59	a	15.32	±	0.73	a
Stand BA (m ² rai ⁻¹)	1.77	±	0.09	a	1.97	±	0.20	a	1.83	±	0.27	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	13.81	±	0.97	a	16.33	±	2.18	a	14.78	±	2.78	a
Just after thinning												
Stand density (tree rai ⁻¹)	98	±	1.53	c	50	±	4.04	b	32	±	4.16	a
Mean DBH (cm)	15.45	±	0.48	a	17.77	±	1.19	a	17.50	±	1.21	a
Mean Height (m)	15.04	±	0.83	a	16.58	±	0.75	a	16.19	±	0.59	a
Stand BA (m ² rai ⁻¹)	1.89	±	0.08	c	1.25	±	0.12	b	0.77	±	0.14	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	14.87	±	0.98	c	10.61	±	1.30	b	6.43	±	1.34	a
3-year after thinning												
Stand density (tree ha ⁻¹)	70	±	11.93	c	45	±	4.58	b	28	±	5.51	a
Mean DBH (cm)	17.08	±	0.59	a	19.61	±	1.58	a	19.75	±	1.17	a
Mean Height (m)	16.31	±	0.54	a	17.90	±	1.21	a	17.14	±	0.27	a
Stand BA ² (m rai ⁻¹)	1.65	±	0.32	b	1.39	±	0.28	ab	0.87	±	0.21	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	13.44	±	2.19	b	12.69	±	3.17	b	7.56	±	1.96	a
Thinning ratio												
No.of tree (%)	0.00				47.0				65.8			
Basal area (%)	0.00				36.6				57.9			

Remarks: BA = Basal area
In all case $p < 0.05$



Remark: Letters signify individual statistical differences among treatments in each measurement time, based on the ANOVA test. The treatments marked with the different letters are significantly different.

Figure 4 Mean basal area and mean stem volume of Den Dan plantation before, just after and since 3-year after thinning.



Remark:Letters signify individual statistical differences among treatments in each measurement time, based on the ANOVA test. The treatments marked with the different letters are significantly different.

Figure 5 Mean stand volume increment and total stand volume production of Den Dan plantation

ผลการศึกษาพบว่า หลังการตัดขยายระยะ ค่า Live crown ratio ในแปลงตัดขยายระยะทั้งสองแบบมีค่าไม่แตกต่างจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ และพบว่าในแปลงไม่ได้ตัดขยายระยะมีค่าลดลงตั้งแต่ปีที่ 1 อย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งการลดลงส่งผลต่อความแข็งแรงและการผลิตอาหารของต้นไม้ แต่อย่างไรก็ตามค่ายังไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 ในขณะเดียวกันพบว่าค่า Slenderness ในแปลงตัดขยายระยะและในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะจะมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าลดลงในปีที่ 3 หลังการตัดขยายระยะ จากการลดลงหลังการตัดขยายระยะทันทีในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะอาจกล่าวได้ว่าการตัดขยายระยะทำให้ค่า Slenderness ลดลงอย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้ที่อายุหลังการตัดขยายระยะยังไม่นานมากนักทำให้ส่งผลจากการตัดขยายระยะที่ไม่ชัดเจนมากนัก (Figure 6)



Figure 6 Live crown ratio and Slenderness ratio of Den Dan plantation

2. การศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของต้นไม้ (tree growth) คุณภาพของเนื้อไม้ (wood quality) และผลผลิตของหมู่ไม้ (stand yield)

ผลการศึกษาพบว่า หลังจากการทดลองลิดกิ่งแล้ว ต้นไม้มีการเติบโตขึ้นตามอายุที่มากขึ้น โดยเฉพาะในปีที่สองหลังการตัดขยายระยะมีการเติบโตเพิ่มมากขึ้นทั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง แต่ไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างการลิดกิ่งที่ระดับต่างๆ กัน ค่าการเติบโตในแปลงทดลองที่ทำการลิดกิ่งสูง 7 เมตร มีค่าการเติบโตแนวโน้มต่ำกว่าแปลงทดลองที่ทำการที่ระดับ 6 เมตร ทั้งนี้อาจมีผลมาจากการที่ลิดกิ่งสูงมากเกินไปทำให้ขนาดของเรือนยอดซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์แสงมีขนาดลดลงส่งผลในทางลบต่อการเติบโต อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาหลังการศึกษา 3 ปี พบว่าการลิดกิ่งที่ระดับต่างๆ ไม่ส่งผลกระทบต่อการเติบโตของต้นสักทั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง (Figure 7)

เมื่อพิจารณาปริมาตรของต้นไม้และปริมาตรของหมู่ไม้หลังการทดลองลิดกิ่ง ไม่พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างการลิดกิ่งที่ระดับต่างๆ กันสูงโดย ปริมาตรรายต้นจะมีการเพิ่มมากขึ้นในปีที่ 2 หลังการตัดขยายระยะ แต่ปริมาตรของหมู่ไม้จะมี ค่าลดลง เนื่องจากมีต้นไม้ที่ถูกตัดออกไปทำให้มีจำนวนลดลงกว่าก่อนทำการตัดขยายระยะ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาหลังการศึกษา 3 ปี พบว่าการลิดกิ่งที่ระดับต่างๆ ไม่ส่งผล กระทบต่อการเติบโตของต้นสักในด้านปริมาตรรายต้นและปริมาตรของหมู่ไม้ (Figure 8)

ในส่วนลักษณะรูปร่างทรงของต้นไม้ โดยแสดงในค่า Live crown ratio และ Slenderness ratio พบว่า แม้การลิดกิ่งทำให้ค่า Live crown ratio ลดลง หมายถึงพื้นที่เรือนยอดมีลดลงเมื่อ เปรียบเทียบกับแปลงควบคุมที่ไม่ได้ทำการลิดกิ่งเลย แต่หน่วยทดลองยังมีค่าสูงกว่า ร้อยละ 40 ซึ่งในไม้สนค่าที่มากกว่าร้อยละ 40 แสดงว่าต้นสนมีเรือนยอดที่แข็งแรงและส่งผลต่อการ เติบโตของต้นไม้ต่อไปด้วย อย่างไรก็ตามหลังการทดลอง 3 ปี ค่า Live crown ratio ยังไม่พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่า Slenderness ratio พบว่าหลังการตัด ขยายระยะทำให้ค่า Slenderness ratio ลดลงหรือมีความหมายว่าต้นไม้มีความเสี่ยงต่อการโค่น ล้มลดลง แต่การลิดกิ่งไม่ได้ส่งผลต่อค่าดังกล่าวแต่อย่างใด ทำให้ค่า Slenderness ratio หลัง การทดลองลิดกิ่ง 3 ปี ไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 9)

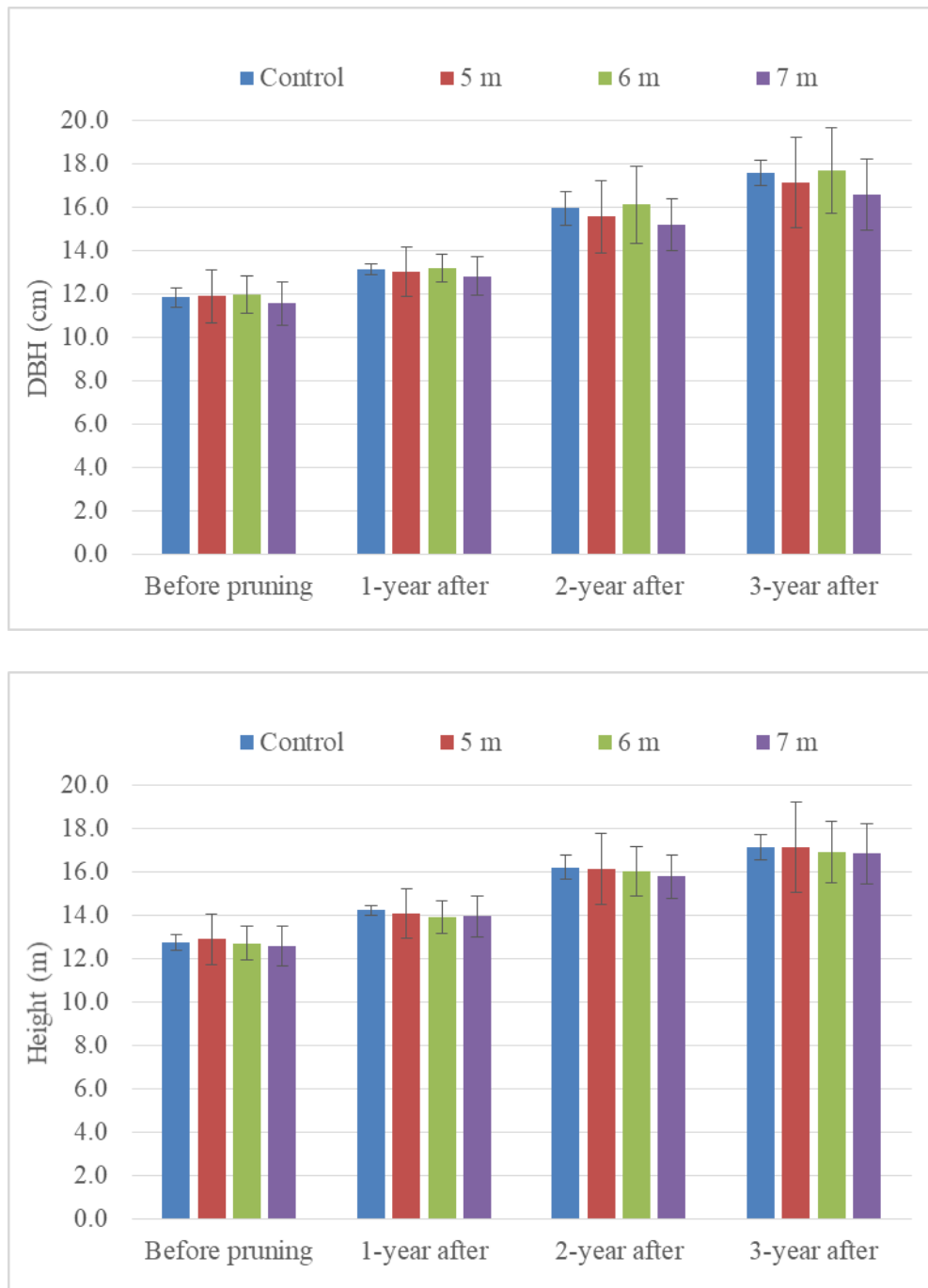


Figure 7 Growth (DBH and Height) of teak before and after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province (thinning was conducted in 1-year after pruning)

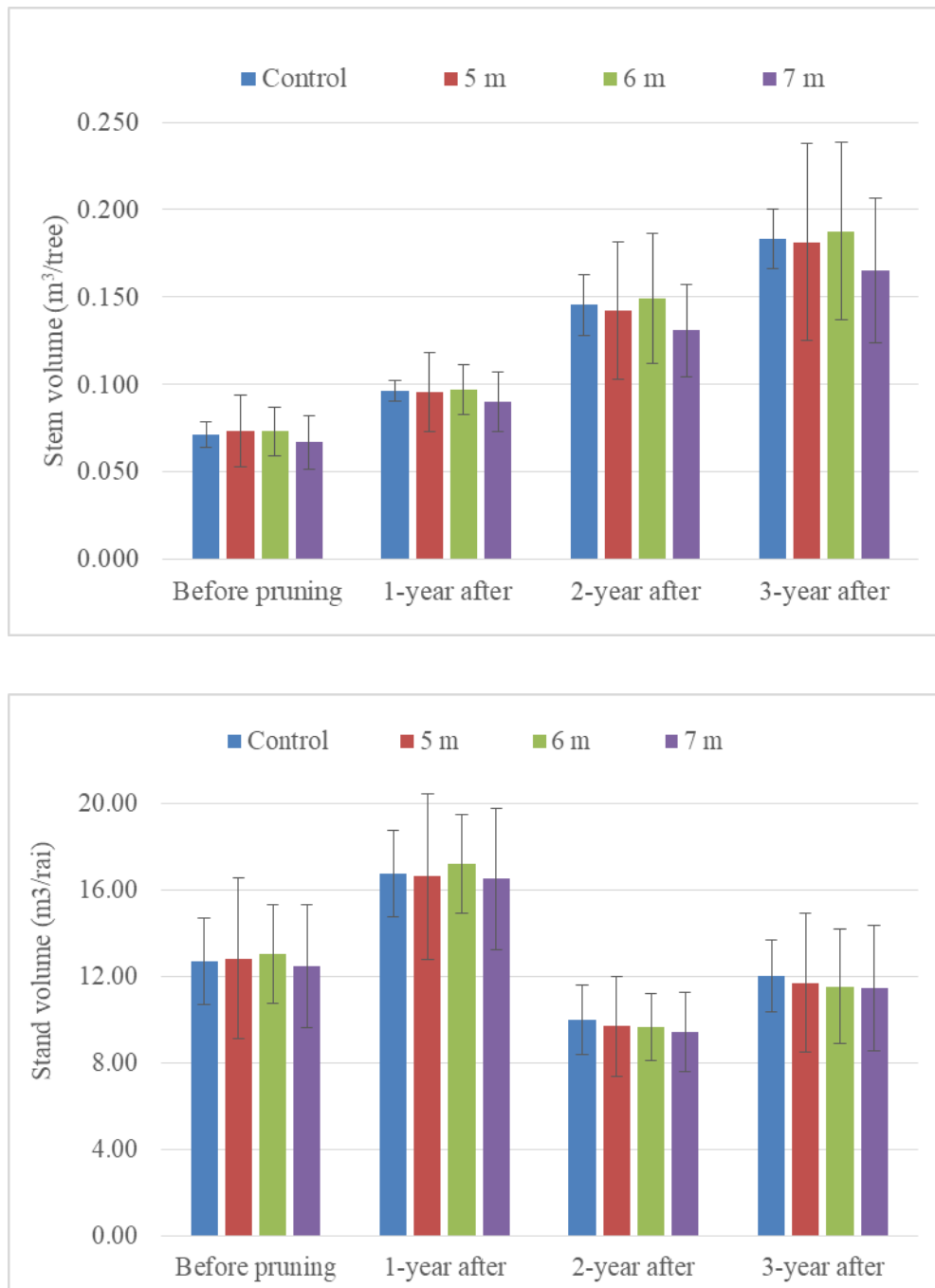


Figure 8 Stem volume and stand volume of teak before and after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province (thinning was conducted in 1-year after pruning)

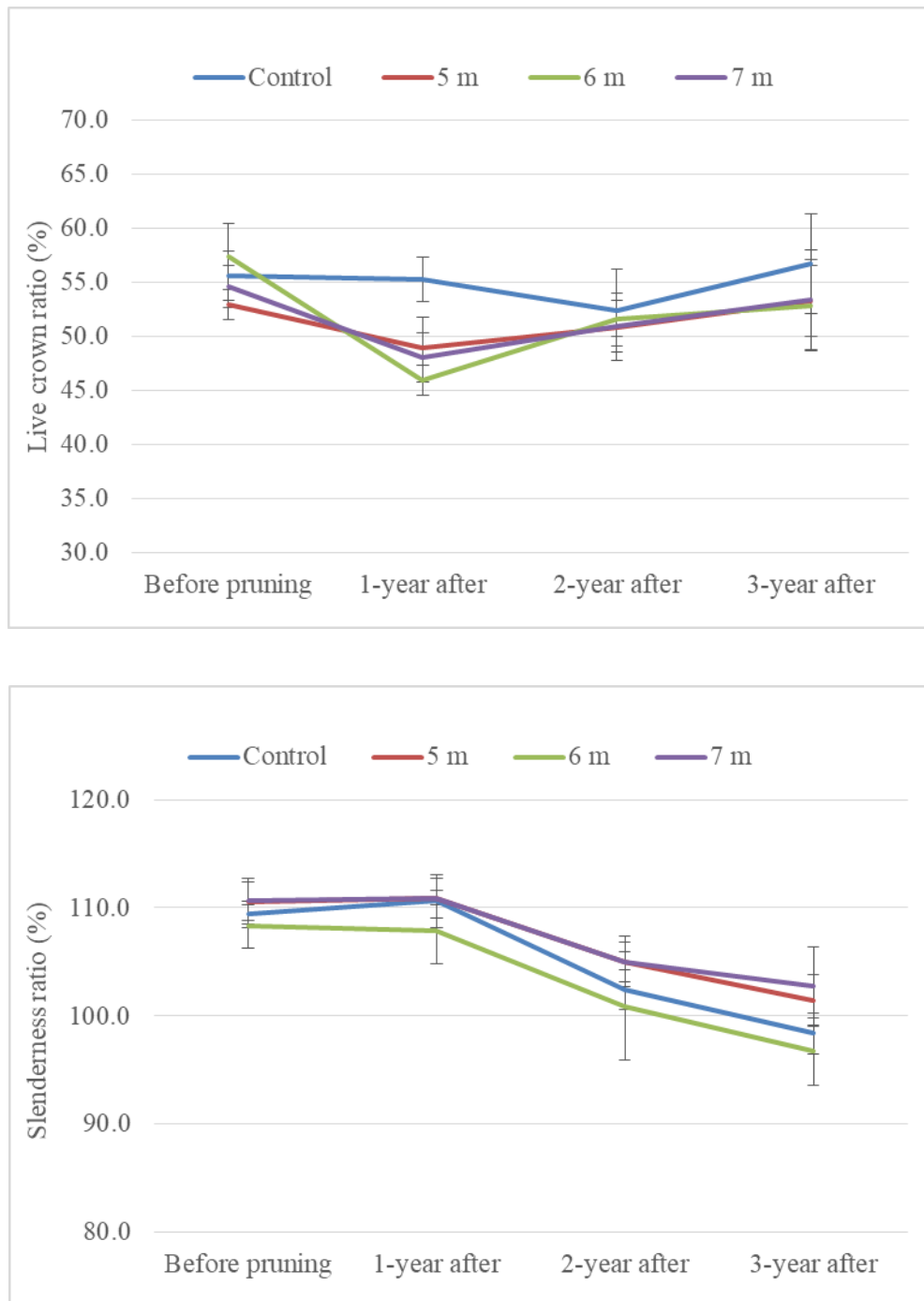


Figure 9 Shapes of teak before and after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province (thinning was conducted in 1-year after pruning)

จากการตรวจสอบจำนวนกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่จากตาที่งันอยู่ และเติบโตขึ้นเมื่อได้รับแสงสว่างเพิ่มมากขึ้น (Epicormic branch) หลังจากการลิดกิ่งในปีที่ 2 และปีที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนกิ่งทั้งขนาดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 2 เซนติเมตรและมากกว่า 2 เซนติเมตรที่เกิดขึ้นในต้นสักในแปลงทดลองลิดกิ่งที่ระดับสูง 7 เมตร มีแนวโน้มสูงกว่าแปลงทดลองที่ลิดกิ่งสูง 6 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ (Table 5) แสดงว่าความหนาของกิ่งของการลิดกิ่งส่งผลทำให้เกิด Epicormic branch มากขึ้น ซึ่งกิ่งที่เติบโตขึ้นมาใหม่นี้ เป็นกิ่งที่ไม่พึงประสงค์ จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากหากกละเลยทำให้กิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้คุณภาพของเนื้อไม้ลดลง ดังนั้นจึงควรมีการลิดกิ่งอยู่อย่างสม่ำเสมอ

Table 5 Numbers of epicormic branches of teak after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province

Treatment (m)	Average number of Epicormic Branches			
	2-year after pruning		3-year after pruning	
	<2 cm	>2 cm	<2 cm	>2 cm
5 m	4.21	1.31	4.07	2.21
6 m	6.81	1.28	5.31	3.13
7 m	7.71	1.84	5.14	3.54

จากการคัดเลือกต้นสักตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนจากแต่ละหน่วยทดลอง หน่วยทดลองละ 4 ต้น และต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเป็นตัวแทนของสวนป่าทั้งหมด 5 ต้น รวมทั้งหมด 21 ต้น เพื่อศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อคุณภาพของเนื้อไม้พบว่าหลังการทดลองลิดกิ่ง 3 ปี ในด้านปริมาตรของต้นไม้มทั้งรวมเปลือกและไม่รวมเปลือก ปริมาตรของกระพี้และแก่น และความหนาเปลือก ในค่าเฉลี่ยของต้นสักตัวอย่างที่ทำการลิดกิ่งที่ระดับความสูง 6 เมตร จะให้ค่าต่างๆ ค่อนข้างสูงกว่าการลิดกิ่งที่ระดับอื่น รวมถึงที่ไม่ได้ทำการลิดกิ่ง ในขณะเดียวกันค่าเฉลี่ยในต้นสักที่ทำการลิดกิ่งที่ระดับ 7 เมตร จะให้ค่าต่างๆ ค่อนข้างต่ำกว่าที่ระดับอื่น (Table 6) เมื่อพิจารณาถึงส่วนที่เป็นแก่น (Heartwood) หรือส่วนที่สำคัญที่สุดของเนื้อไม้สัก โดยนำมาหาค่าอัตราส่วนระหว่างแก่นกับกระพี้ และแก่นกับปริมาตรทั้งหมด พบว่า ค่าเฉลี่ยในต้นสักที่ทำการลิดกิ่งที่ระดับ 6 เมตร ให้ค่าอัตราส่วนต่างๆ สูงที่สุด เช่นเดียวกัน (Table 7) แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการลิดกิ่งในระดับต่างๆ หรือกล่าวได้ว่าการลิดกิ่งไม่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อไม้ในช่วงหลังการลิดกิ่ง 3 ปี แต่มีแนวโน้มว่าการลิดกิ่งที่ระดับ 6 เมตร จะเป็นระดับที่เหมาะสมต่อคุณภาพเนื้อไม้

Table 6 Total volume Heartwood and Sapwood volume and bark thickness of 3-year sample teak trees after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province

		Treatment			
		Control	5 m	6 m	7 m
Total volume (m ³ tree ⁻¹)	Over bark	0.237	0.240	0.263	0.201
	Inner bark	0.173	0.172	0.183	0.137
Volume (m ³ tree ⁻¹)	Heartwood	0.040	0.039	0.055	0.039
	Sapwood	0.133	0.134	0.129	0.098
Volume at 6 m log (m ³ tree ⁻¹)	Inner bark	0.100	0.100	0.105	0.086
	Heartwood	0.030	0.028	0.042	0.024
	Sapwood	0.069	0.072	0.063	0.062
Bark thickness (cm)		0.790	0.868	0.866	0.873

Table 7 The ratio of heartwood (H), sapwood (S) and Volume of inner bark (Vib) of 3-year sample teak trees after pruning at Nong Kham Hoi Plantation, Uttaradit Province

		Treatment			
		Control	5 m	6 m	7 m
H/S ratio by area	at 1.3 m	0.593	0.398	0.549	0.745
H/S ratio by Volume	Total	0.314	0.276	0.422	0.409
	at 6 m	0.472	0.382	0.651	0.644
	at 7 m	0.436	0.366	0.630	0.601
H/Vib ratio	Total	0.228	0.214	0.297	0.207
	at 6 m	0.301	0.273	0.394	0.380
	at 7 m	0.285	0.263	0.383	0.363

3. การศึกษาเพื่อหาสมการประมาณปริมาตรทั้งหมดของส่วนที่เป็นลำต้นและปริมาตรที่ทำสินค้า

สมการประมาณปริมาตรไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด (total volume equations)

Table 8 แสดงค่าพารามิเตอร์ (สัมประสิทธิ์) ของตัวคาดคะเน และการเข้ากันได้ระหว่างชุดข้อมูลกับเส้นรีเกรสชัน (fit statistic) ของสมการประมาณปริมาตรไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดที่สร้างจากแบบจำลอง (1)–(4)

Table 8 Parameter estimates and fit statistics for total volume equations

Model	Parameter	Estimate	SE	RMSE	R_a^2	p Value
1	β_{11}	0.000063	0.022437	0.032711	0.992898	<0.001
	β_{21}	0.940060	0.005693			
2	β_{12}	0.00006248	0.031069	0.032863	0.992863	<0.001
	β_{22}	1.874410	0.027270			
	β_{32}	0.949990	0.043534			
3	β_{13}	0.027732	0.004627	0.039497	0.983300	<0.001
	β_{23}	0.000033	0.000001			
4	β_{14}	-0.051971	0.011393	0.084155	0.924500	<0.001
	β_{24}	0.000823	0.000017			

Remark SE = standard error of estimate

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าสมการที่สร้างจากแบบจำลอง (1)–(4) ($n=196$) มีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p<0.001$) และมีคุณลักษณะที่ดีสำหรับนำไปใช้ในการประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด ค่า RMSE และ R_a^2 ของแบบจำลองทุกแบบมีค่าสูงแบบจำลอง (1) (Figure 10) ให้ค่าทางสถิติดีที่สุดที่สุด (RMSE น้อยที่สุด, R_a^2 มากที่สุด) รองลงมาคือแบบจำลอง (2), (3), และ (4) ตามลำดับแบบจำลอง (1) และ (2) ให้ค่า RMSE และ R_a^2 ใกล้เคียงกันมาก (ต่างกันที่ทศนิยมตำแหน่งที่ 4 และ 5 ตามลำดับ) แบบจำลอง (1) ถูกเลือกเป็นอันดับแรก เนื่องจากเหตุผลความเป็นจริงทางชีววิทยา (biological realism) ด้วย ($V_t = 0$ เมื่อ $DBH^2H = 0$) แบบจำลอง (4) มี DBH เท่านั้นที่เป็นองค์ประกอบของตัวแปรอิสระ ในขณะที่แบบจำลอง (1) (2) และ (3) มี DBH และ H เป็นองค์ประกอบของตัวแปรอิสระ แสดงให้เห็นว่าความสูงของต้นไม้ (H) มีผลทำให้ความคลาดเคลื่อนของการคาดคะเน (ค่า RMSE) ลดน้อยลงและค่า R_a^2 ของแบบจำลองเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

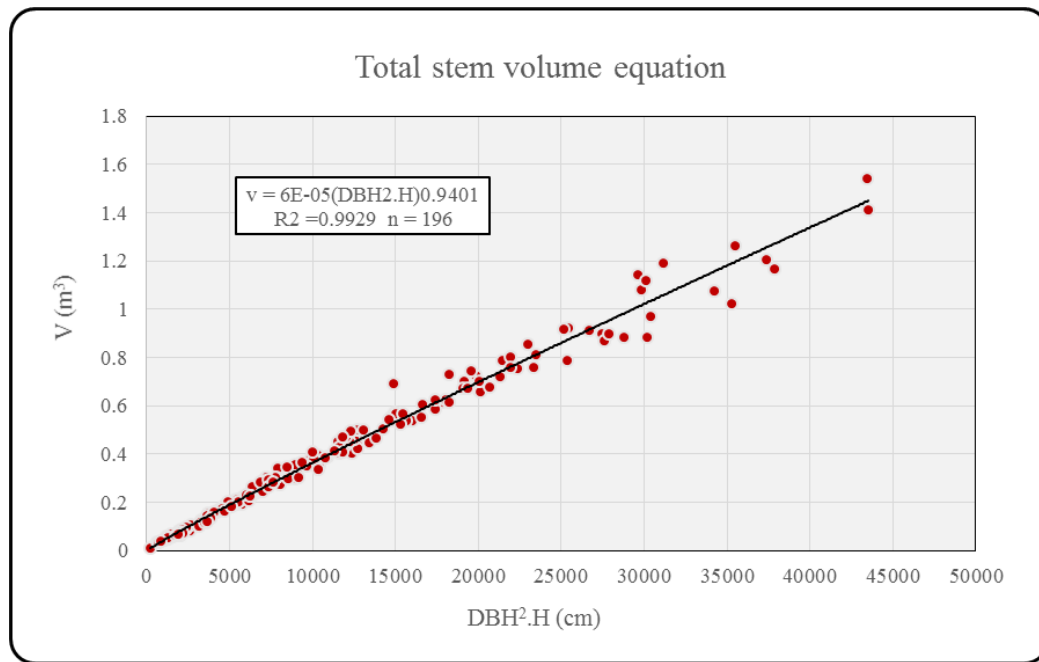


Figure 10 The best regression model for estimating total stem volume

สมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้า (Volume ratio equations)

สมการอัตราส่วนของปริมาตร (Rd และ Rh) สร้างจากแบบจำลอง (5)–(8) Table 9 แสดงค่าพารามิเตอร์ (สัมประสิทธิ์) ของตัวคาดคะเน และการเข้ากันได้ระหว่างชุดข้อมูลกับเส้นรีเกรสชัน (fit statistic) ของสมการที่สร้างจากแบบจำลอง (5)–(8) แสดงใน Figures 11–14 จำนวน n ของชุดข้อมูล 1,092 ชุดข้อมูลจากไม้ตัวอย่าง 196 ต้น

Table 9 Parameter estimates and fit statistics for volume ratio equations

Model	Parameter	Estimate	SE	RMSE	R_a^2	p Value
5	β_{15}	-0.5571	0.0164	0.051937	0.9627	<0.001
	β_{25}	3.1976	0.0224			
	β_{35}	3.0745	0.0238			
6	β_{16}	0.8322	0.3849	0.048018	0.9681	<0.001
	β_{26}	4.6870	0.0362			
	β_{36}	4.4833	0.0375			
7	β_{17}	-1.0024	0.0253	0.029697	0.9878	<0.001
	β_{27}	2.3645	0.0102			
	β_{37}	2.3813	0.0135			
8	β_{18}	1.9143	0.09484	0.034565	0.9838	<0.001
	β_{28}	3.2880	0.0190			
	β_{38}	3.3003	0.0255			

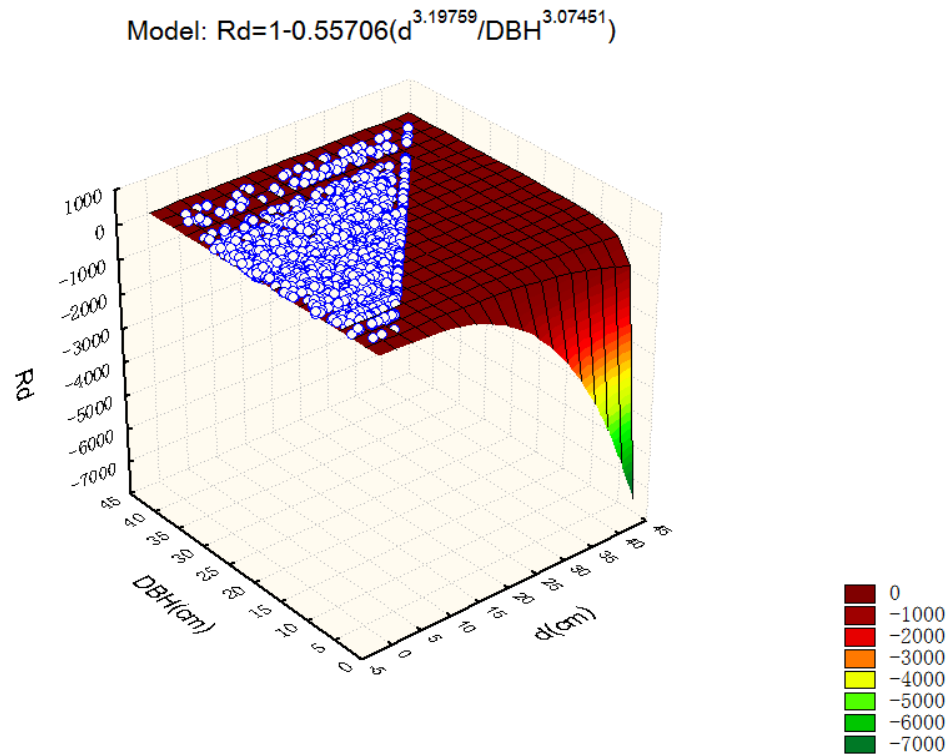


Figure 11 Volume-ratio model(R_d) for *T. grandis* in Thailand developed from Burkhardt (1977) (model 5)

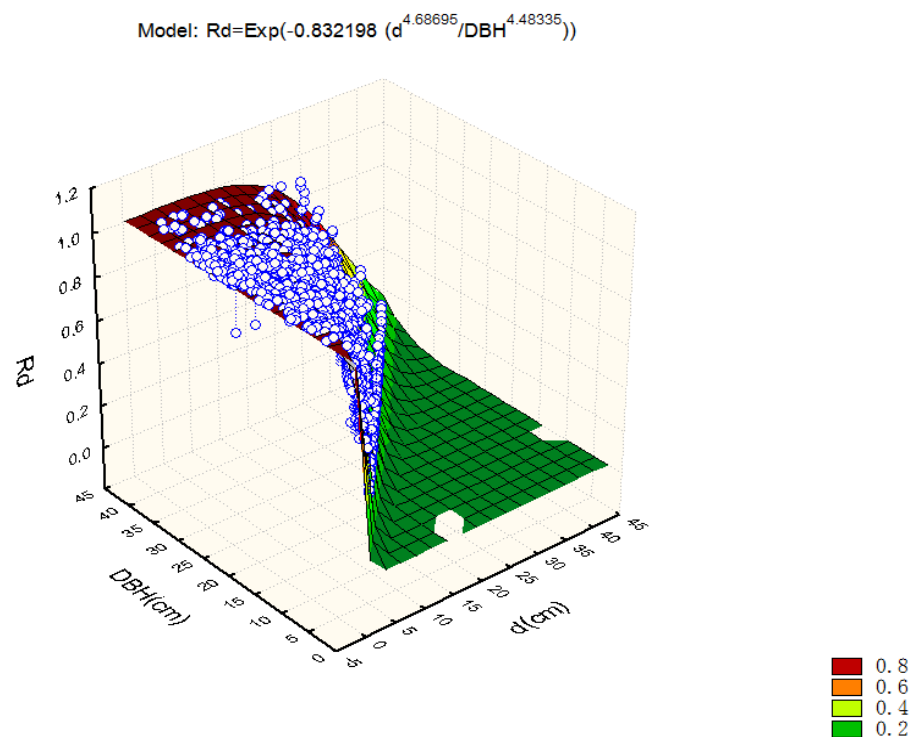


Figure 12 Volume-ratio model(R_d) for *T. grandis* in Thailand developed from Van Deusen *et.al.*(1981) (model 6)

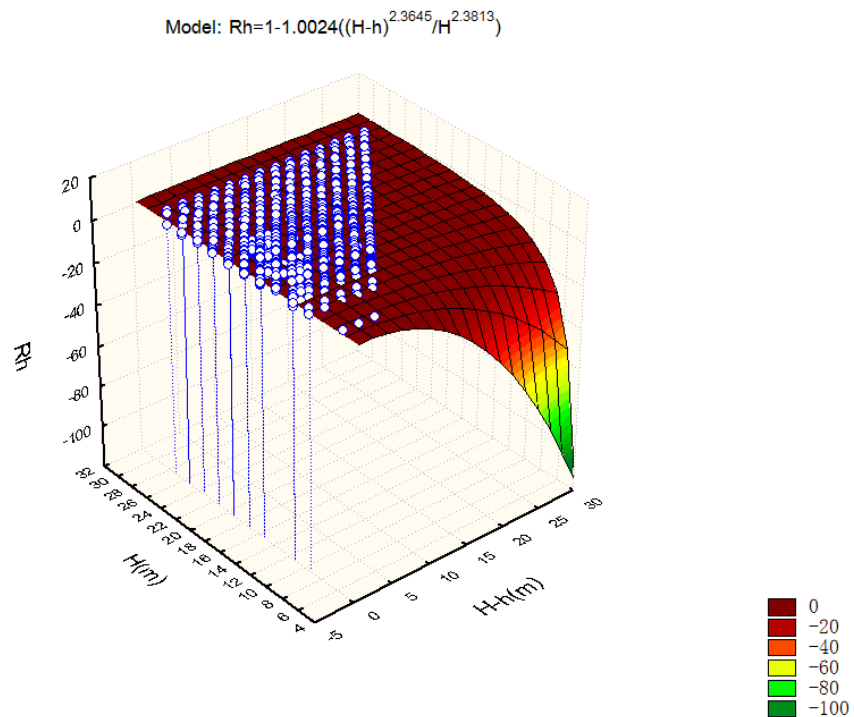


Figure 13 Volume-ratio model(Rh) for *T. grandis* in Thailand developed from Cao and Burkhart (1980) (model 7)

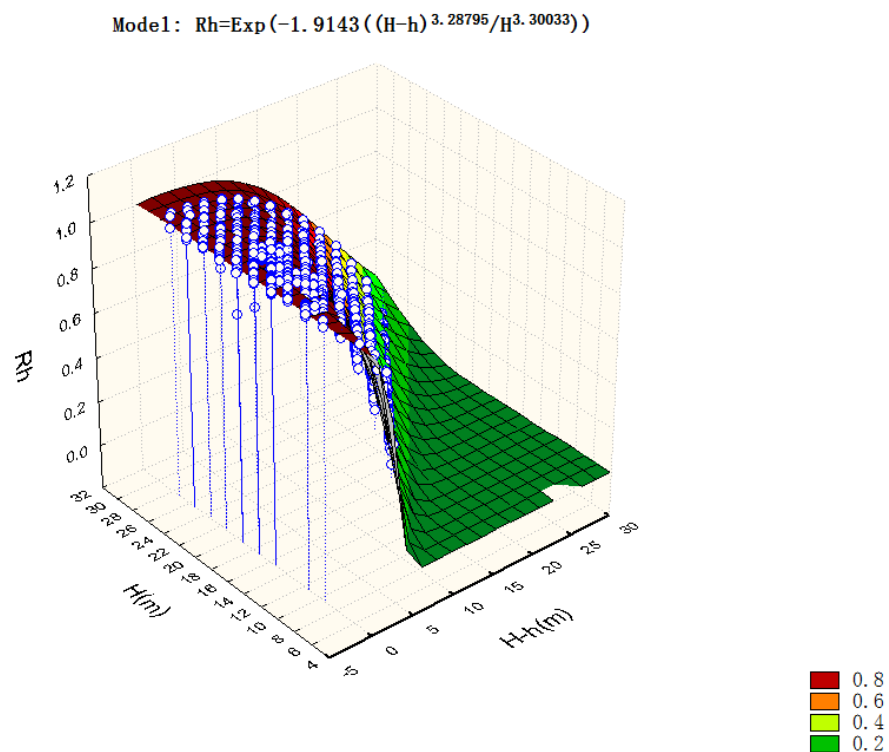


Figure 14 Volume-ratio model(Rh) for *T. grandis* in Thailand developed from Van Deusen *et al.*(1981) (model 8)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง (5) และ (6) มีคุณลักษณะที่ดีสำหรับนำไปประมาณค่า Rd (Volume ratio equations to top diameter limits) ส่วนแบบจำลอง (7) และ (8) มีคุณลักษณะที่ดีสำหรับนำไปประมาณค่า Rh (Volume ratio equations to top height limits) เช่นเดียวกัน แบบจำลอง (สมการ volume ratio) ทั้งหมดมีนัยสำคัญอย่างยิ่ง ($p < 0.001$) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง (5) และ (6) ซึ่งเป็นแบบจำลองในการสร้างสมการ volume ratio to top diameter limits พบว่าค่า RMSE ของแบบจำลอง (6) น้อยกว่าแบบจำลอง (5) แต่ค่า R_a^2 ของแบบจำลอง (6) มากกว่าแบบจำลอง (5) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง (6) ดีกว่า แบบจำลอง (5) สำหรับการสร้างสมการ volume ratio to top diameter limits ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง (7) และ (8) ซึ่งเป็นแบบจำลองในการสร้างสมการ volume ratio to top height limits ผลปรากฏว่าค่า RMSE ของแบบจำลอง (7) น้อยกว่าแบบจำลอง (8) และค่า R_a^2 ของแบบจำลอง (7) มากกว่าแบบจำลอง (8) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง (7) ดีกว่า แบบจำลอง (8) ในการนำไปสร้างสมการ volume ratio to top height limits อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่า RMSE และค่า R_a^2 ระหว่างแบบจำลอง (5) กับ (6) และระหว่าง (7) กับ (8) ปรากฏว่าแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้นแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง (5) (6) (7) และ (8) สามารถนำไปพัฒนาสร้างสมการ volume ratio (Rd และ Rh) ได้เป็นอย่างดี

การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด

ผลการเก็บตัวอย่างจากสวนป่า 14 สวน (15 แปลงปลูก) จำนวนไม้ตัวอย่าง 82 ต้น คิดเป็น ร้อยละ 41.8 ของจำนวนไม้ตัวอย่างที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง จำนวนชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 752 ชุดข้อมูล ผลการทดสอบประสิทธิภาพเชิงปริมาณของแบบจำลอง (1) (2) (3) และ (4) ที่จะนำไปใช้ในการสร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด แสดงใน Table 10

Table 10 Statistical values of the model validation in this in this study to estimate total stem volume for *T. grandis* in Thailand

Model	MRES	MRES%	RMSE	RMSE%	AMRES	AMRES%	AIC	MS
(1)	0.003853	1.143608	0.026330	4.536162	0.017676	5.246703	-246.96	0.026344
(2)	0.002808	0.830818	0.026467	4.552797	0.017533	5.188073	-244.60	0.026475
(3)	0.002262	0.668239	0.027120	4.661264	0.019526	5.768411	-244.92	0.027125
(4)	0.001465	0.431756	0.038767	6.655461	0.027601	8.134829	-220.26	0.038770

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง (1) มีค่า RMSE และค่า RMSE% น้อยที่สุด รองลงมาคือ แบบจำลอง (2) (3) และ (4) ตามลำดับ นั่นคือแบบจำลอง (1) มีความแม่นยำของการคาดคะเนดีที่สุด เมื่อพิจารณาถึงค่า MS ซึ่งแสดงถึงความเที่ยงตรงของการคาดคะเน แบบจำลอง (1) มีค่าน้อยที่สุด รองลงมาคือแบบจำลอง (2) (3) และ (4) ตามลำดับ แม้ว่าค่า AMRES และ AMRES% ของแบบจำลอง (2) จะน้อยกว่าแบบจำลอง (1) แต่ก็มีค่าต่างกันน้อยมาก ค่า AIC ซึ่งเป็นบรรทัดฐานสำคัญในการคัดเลือกสมการที่เหมาะสม ปรากฏว่าแบบจำลอง (1) มีค่า AIC น้อยกว่าแบบจำลอง (2) (3) และ (4) ตามลำดับ ซึ่งพอสรุปได้ว่าแบบจำลอง (1) ความแม่นยำและเที่ยงตรงของการคาดคะเนดีที่สุด จึงเป็นแบบจำลองที่นำไปใช้สร้างสมการประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตาม ค่าวิเคราะห์ทางสถิติในการทดสอบแบบจำลอง (1) และ (2) แตกต่างกันเล็กน้อยมาก ดังนั้นแบบจำลอง (2) ก็สามารถนำไปใช้สร้างสมการประมาณปริมาตรไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดได้ดีเช่นกัน ในการศึกษาได้ทำการทดสอบแบบจำลองเชิงคุณภาพของแบบจำลอง (1) ด้วย ซึ่งจะนำไปใช้ในการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ โดยแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัด (ค่าจริง) กับค่าคาดคะเนและความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดกับค่าความคลาดเคลื่อนของการคาดคะเน (Figure 15)

แบบจำลองประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้

แบบจำลอง (5)–(8) ได้นำมาใช้ในการสร้างสมการ volume–ratio equations to top diameter (or height) limits ดังกล่าวมาแล้ว ในการศึกษาได้ใช้สมการ volume–ratio (Rd และ Rh) ที่สร้างจากแบบจำลองทั้ง 4 แบบ เพื่อเปรียบเทียบกัน ปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ (Vd หรือ Vh) คือ ผลคูณของฟังก์ชันของสมการ (Rd หรือ Rh) กับสมการประมาณปริมาตรไม้ส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมดที่สร้างจากแบบจำลอง (1) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในการทดสอบสมการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้า (Variable–top merchantable volume equations) แสดงใน Table 11

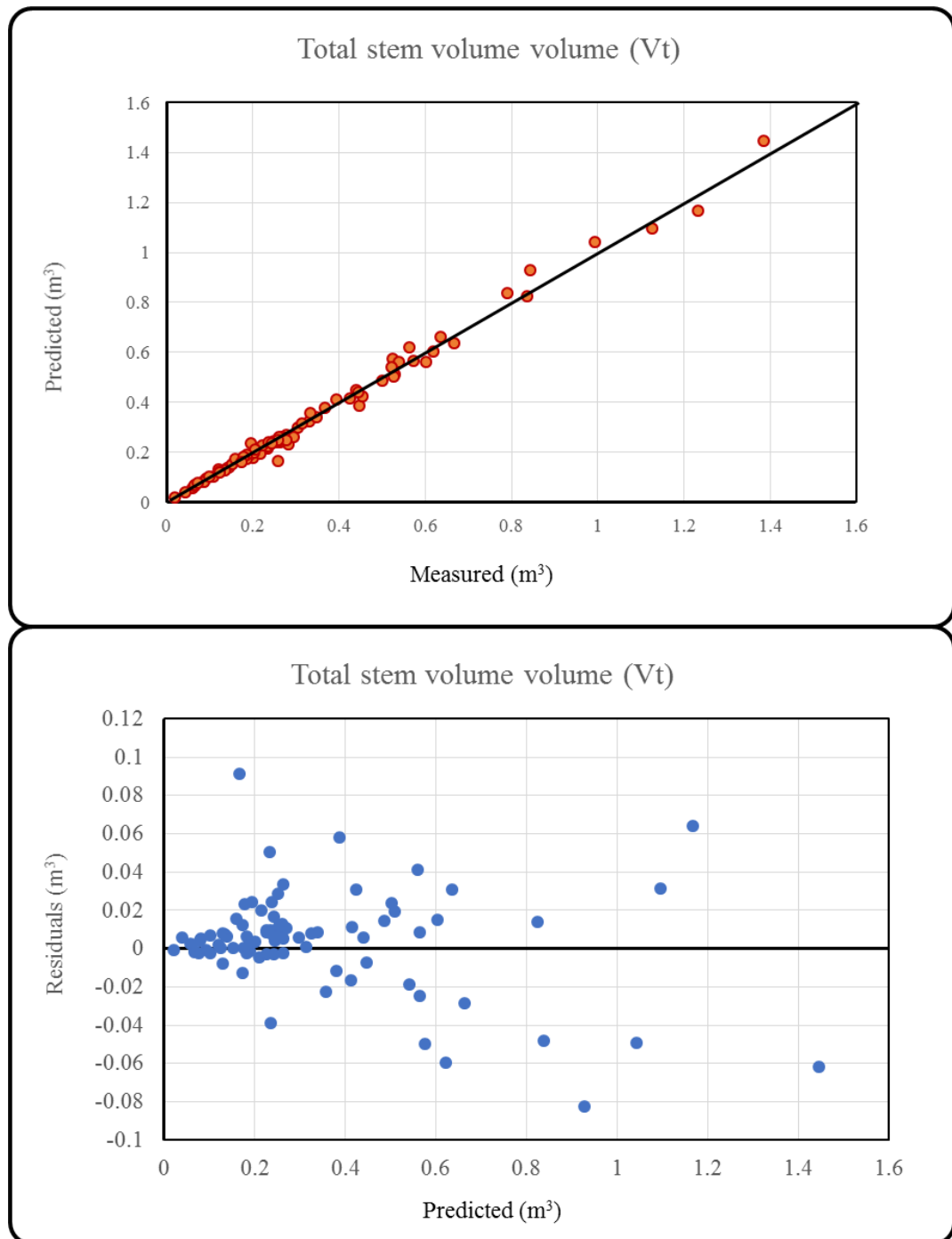


Figure 15 Predicted vs. measured total stem volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted total stem volume outside bark from DBH and total height(EQ.1) for *Tectona grandis*

Table 11 Statistical Values of the model validation in this in this study to estimate total stem volume for *T. grandis*

Model	MRES	MRES%	RMSE	RMSE%	AMRES	AMRES%	AIC	MS
(5)	0.001903	0.673400	0.034478	6.485001	0.022491	7.956798	- 2,721.62	0.034482
(6)	-0.000150	-0.052768	0.032819	6.150589	0.021009	7.379101	- 2,761.57	0.032819
(7)	0.039410	1.404381	0.021016	3.967328	0.013897	4.952341	- 3,122.58	0.021032
(8)	0.001764	0.623608	0.022809	4.289092	0.015343	5.425494	- 3,056.29	0.022812

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง (5) และ (6) ซึ่งใช้ในการสร้างสมการ volume-ratio to top diameter limits ค่าวิเคราะห์ทางสถิติทุกค่าของแบบจำลอง (6) ให้ผลลัพธ์น้อยกว่าแบบจำลอง (5) ทุกค่าที่วิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าสมการ variable-top merchantable volume Vd ที่สร้างจากแบบจำลอง (6) ให้ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของการคาดคะเนปริมาตรมากกว่าสมการที่มาจากแบบจำลอง (5) ในขณะที่แบบจำลอง (7) ให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ทางสถิติทุกค่าน้อยกว่าแบบจำลอง (8) แต่อย่างไรก็ตามค่าทางสถิติที่เปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง (5) และ (6) และค่าเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง (7) และ (8) แตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าสามารถนำแบบจำลองทั้ง 4 แบบมาใช้สร้างสมการ variable-top merchantable volume ได้ดีทุกแบบจำลอง เมื่อพิจารณาในภาพรวมของแบบจำลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง (7) และ (8) ที่มีความสูง (variable-top height limits) เป็นตัวแปรอิสระ ให้ค่าความแม่นยำและความเที่ยงตรงของการคาดคะเนมากกว่าแบบจำลอง (5) และ (6) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น (variable-top diameter limits) เป็นตัวแปรอิสระ

การทดสอบแบบจำลองเชิงคุณภาพของแบบจำลอง (5)–(8) แสดงใน Figures 16–18 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในทุกแบบจำลองที่ทำการศึกษา ค่าคาดคะเนมีแนวโน้มที่จะมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ (ค่าจริง) เมื่อต้นไม้มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง เมื่อต้นไม้มีขนาดใหญ่ ความแตกต่างระหว่างค่าคาดคะเนกับค่าที่วัดจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนของการคาดคะเนจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่อต้นไม้มีขนาดใหญ่ขึ้น

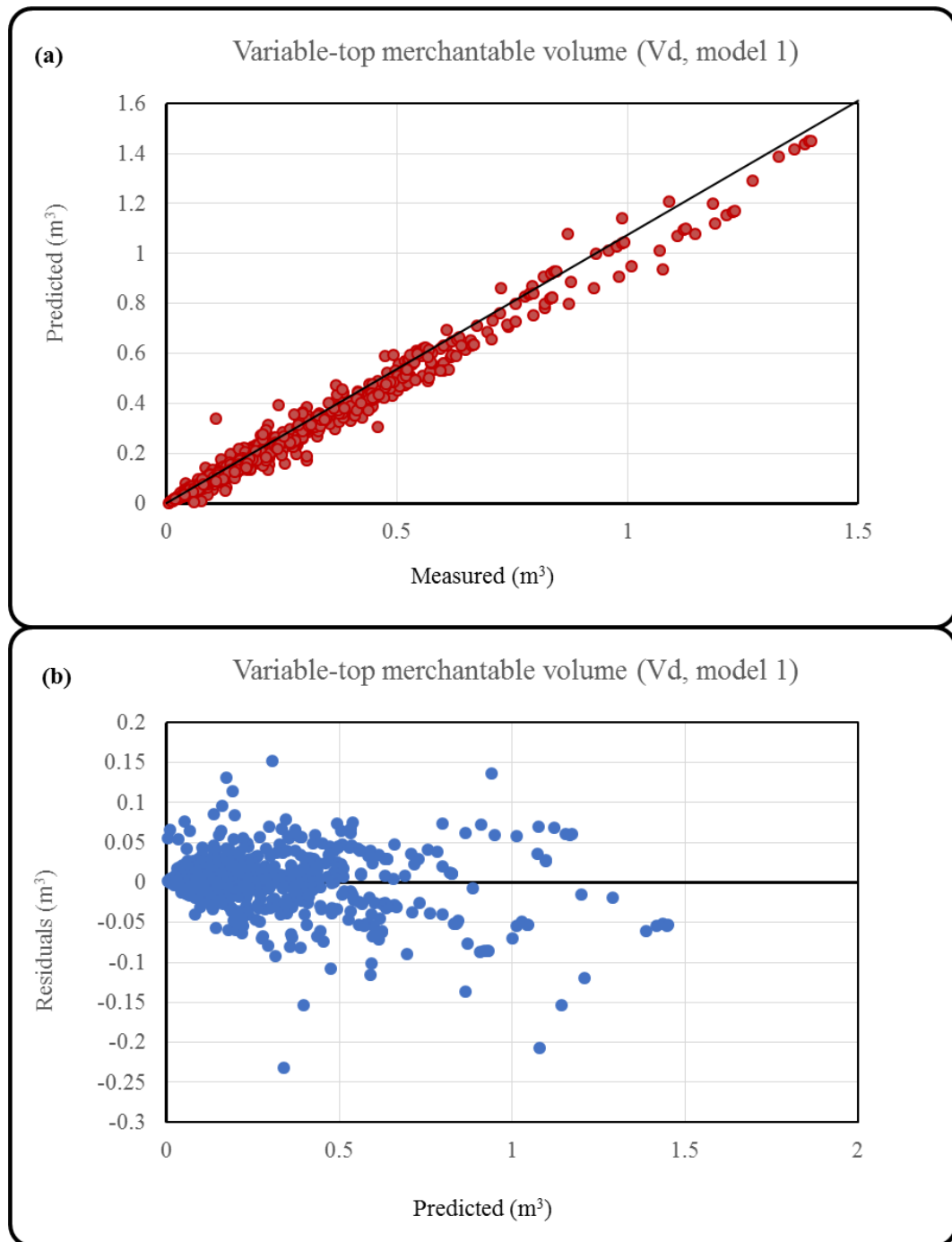


Figure 16 Predicted vs. measured variable-top merchantable volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted variable-top merchantable volume outside bark (EQ.1) for *Tectona grandis*

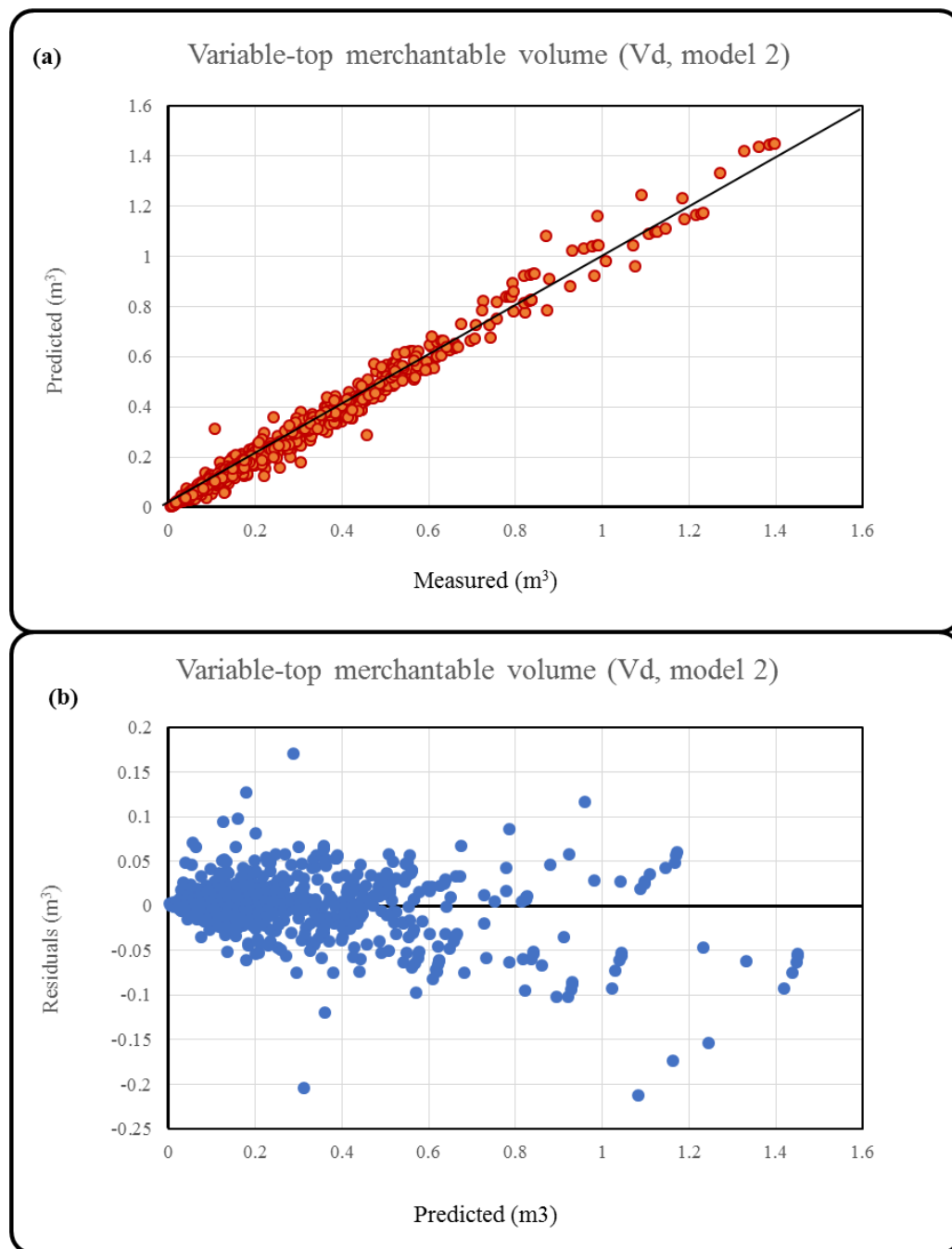


Figure 17 Predicted vs. measured variable-top merchantable volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted variable-top merchantable volume outside bark (EQ.2) for *Tectona grandis*

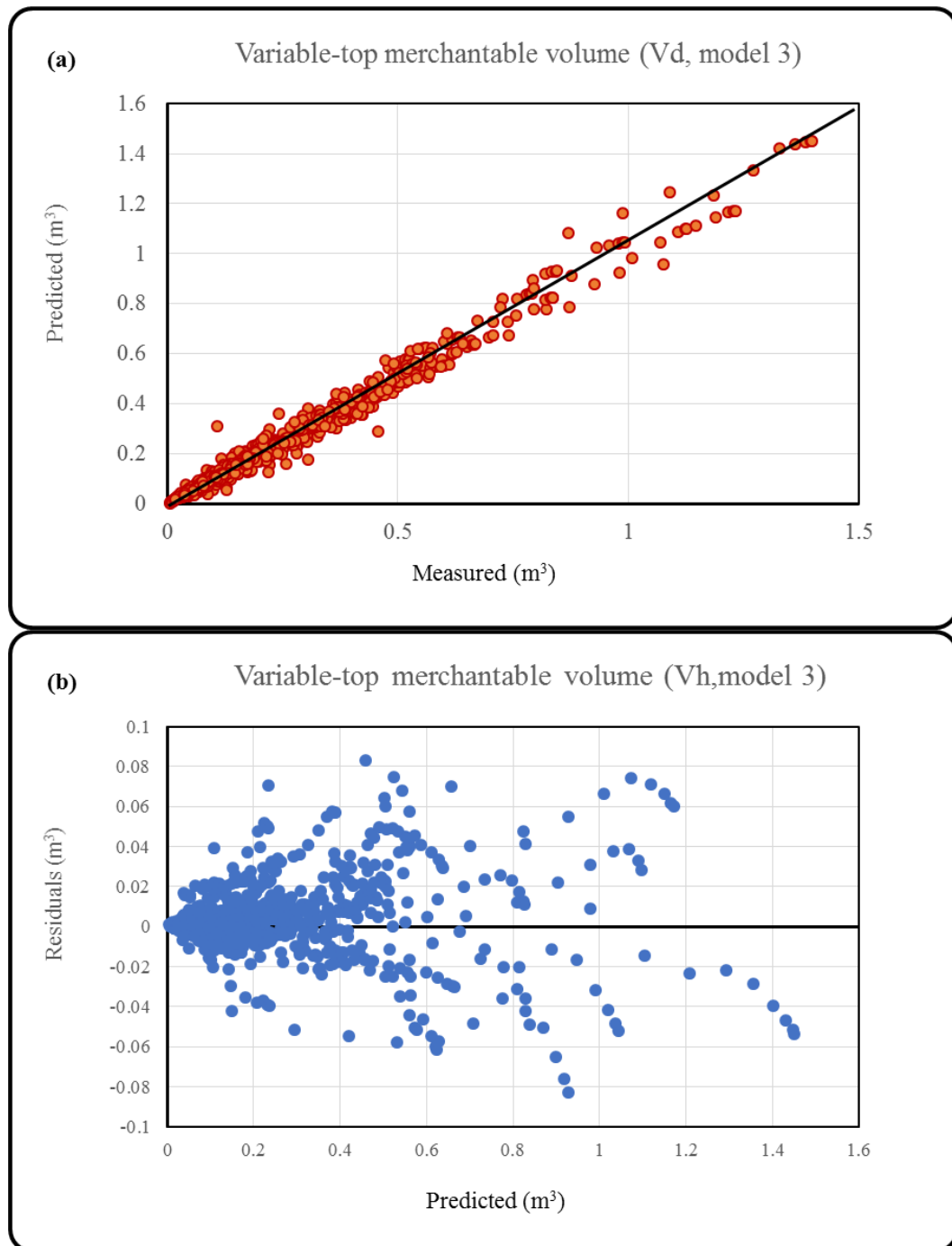


Figure 18 Predicted vs. measured variable-top merchantable volume (a) and predicted vs. residuals (b) for the model tested to predicted variable-top merchantable volume outside bark (EQ.3) for *Tectona grandis*

การนำสมการไปใช้ประโยชน์

ในทางปฏิบัติสมการ variable-top merchantable volume สามารถนำไปใช้ประมาณหา ปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ที่ขนาดจำกัด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, ความยาว (ความสูง) ของลำ ต้น) ใดๆ โดยสามารถใช้กับไม้ที่โค่นล้มลงแล้วหรือไม้ยืนต้น (standing tree) ก็ได้ ดังตัวอย่าง ต่อไปนี้

ถ้าต้นสักอายุ 33 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.30 เมตร (DBH) เท่ากับ 38.1 เซนติเมตร ความสูง (H) เท่ากับ 23.9 เมตร

กรณีที่ 1 ต้องการประมาณหาปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าถึงขนาดจำกัดของเส้นผ่านศูนย์กลางลำ ต้น (d) ที่ 10 เซนติเมตร

กรณีที่ 2 ต้องการประมาณปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าถึงขนาดจำกัดของความยาวลำต้นจากโคน ต้นถึงขนาดจำกัดความยาว 12 เมตร

วิธีคำนวณ

1. คำนวณปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นทั้งหมด โดยใช้สมการที่สร้างจากแบบจำลอง (1)

$$Vt = 0.000632(DBH^2 H)^{0.94006}$$

$$Vt = 0.000632 \times (38.1^2 \times 23.9)^{0.94006}$$

$$Vt = 1.171716 m^3$$

2. คำนวณหาปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้

กรณีที่ 1 ใช้แบบจำลอง (5)

$$Vd = \left[1 - 0.55706 \left(\frac{d^{3.19759}}{DBH^{3.07451}}\right)\right] \times Vt$$

$$Vd = \left[1 - 0.55706 \left(\frac{10^{3.19759}}{38.1^{3.07451}}\right)\right] \times 1.171716$$

$$Vd = 1.157534 m^3$$

ใช้แบบจำลอง (6)

$$Vd = \exp \left[-0.832198 \left(\frac{d^{4.68695}}{DBH^{4.48335}}\right) \right] \times Vt$$

$$Vd = \exp \left[-0.832198 \left(\frac{10^{4.68695}}{38.1^{4.48335}}\right) \right] \times 1.171716$$

$$Vd = 1.1678487 m^3$$

กรณีที่ 2 ใช้แบบจำลอง (7)

$$Vh = [1 - 1.0024 \left[\frac{(H-h)^{2.3645}}{H^{2.3823}} \right]] x Vt$$

$$Vh = [1 - 1.0024 \left[\frac{(23.9-12)^{2.3645}}{23.9^{2.3823}} \right]] x 1.171716$$

$$Vh = 0.957590m^3$$

ใช้แบบจำลอง (8)

$$Vh = \exp\{-1.9143 \left[\frac{(H-h)^{3.28795}}{H^{3.3033}} \right]\} x Vt$$

$$Vh = \exp\{-1.9143 \left[\frac{(23.9-12)^{3.28795}}{23.9^{3.3033}} \right]\} x 1.171716$$

$$Vh = 0.957590m^3$$

สรุปผลการศึกษา

โครงการเทคนิคการบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีตเพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพเนื้อไม้ของสวนป่าไม้สัก สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโต ผลผลิต และรูปทรงของลำต้น พบว่า

1.1 ในแปลงทดลองสวนสักที่ทำการตัดขยายระยะล่าช้าหรือทำเมื่อสวนป่ามีอายุมาก พบว่าการตัดขยายระยะทำให้ค่าการเติบโตและผลผลิตมีค่าสูงขึ้น การตัดขยายระยะแบบหนักมีแนวโน้มว่าค่าต่างๆ ดีกว่าการตัดขยายระยะปานกลาง แม้ว่าบางค่าจะไม่ได้แสดงความแตกต่างทางสถิติ การตัดขยายระยะทำให้ค่า Slenderness ลดลง หลังการตัดขยายระยะ ส่วนค่า Live crown ratio ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติในแปลงตัดขยายระยะทั้งสองแบบและแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ อาจกล่าวได้ว่าการตัดขยายระยะที่ทำเมื่อต้นไม้มีอายุมากส่งผลของการเติบโต ผลผลิต และรูปทรงของต้นไม้ไม่ชัดเจนมากนัก

1.2 ในแปลงทดลองสวนสักที่ทำการตัดขยายระยะตามกำหนด พบว่าค่าการเติบโต ผลผลิต ในแปลงตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ แต่ไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านรูปทรงของสัก แปลงที่ไม่ทำการตัดขยายระยะมีค่า Live crown ratio ต่ำกว่า ในขณะที่การตัดขยายระยะทำให้ค่า Slenderness ลดลง แต่ไม่แสดงความแตกต่างทางสถิติ เนื่องจากเวลาเพียง 3 ปี ซึ่งต้นไม้ในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะยังไม่มีกิ่งก้านมากนัก รวมทั้งมีต้นไม้ที่ตายมากกว่าในแปลงที่ตัดขยายระยะ ทำให้ยังไม่แสดงผลของการตัดขยายระยะ

2. ผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของต้นไม้ คุณภาพของเนื้อไม้ และผลผลิตของหมู่ไม้ พบว่า

2.1 การลิดกิ่งและระดับความสูงของการลิดกิ่งที่ต่างกันไม่ส่งผลต่อการเติบโตของต้นสัก ปริมาตรของหมู่ไม้ รูปทรงของต้นสัก และคุณภาพของเนื้อไม้

2.2 การลิดกิ่งที่ระดับความสูง 7 เมตร มีแนวโน้มให้ค่าต่างๆ ต่ำกว่าการลิดกิ่งที่ระดับ 5 เมตร และ 6 เมตร เนื่องจากการทำให้ขนาดของเรือนยอดซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการสังเคราะห์แสงมีขนาดลดลงส่งผลในทางลบต่อการเติบโต ในขณะที่การลิดกิ่งที่ระดับ 6 เมตร ซึ่งเป็นระดับความยาวที่โรงงานส่วนใหญ่ใช้ น่าจะเป็นระดับที่ให้ผลดีต่อการเติบโตและคุณภาพของเนื้อไม้

2.3 การลิดกิ่งเป็นการดูแลรักษาเชิงประณีต เนื่องจากการเกิดกิ่งใหม่อยู่เสมอ หากปล่อยให้กิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลต่อรูปทรงและคุณภาพของเนื้อไม้

3. การประมาณปริมาตรไม้รายต้นที่ทำเป็นสินค้าได้ของไม้สัก (variable-top merchantable volume) สามารถใช้แบบจำลองทั้ง 4 แบบ (แบบจำลอง (5) – (8)) คือ

$$Rd = 1 + \beta_{15} \left(\frac{d^{\beta_{25}}}{DBH^{\beta_{35}}} \right) + e_i \quad (5)$$

$$Rd = \exp[-\beta_{16} \left(\frac{d^{\beta_{26}}}{DBH^{\beta_{36}}} \right)] + e_i \quad (6)$$

$$Rh = 1 + \beta_{17} \left[\frac{(H-h)^{\beta_{27}}}{H^{\beta_{37}}} \right] + e_i \quad (7)$$

$$Rh = \exp\{-\beta_{18} \left[\frac{(H-h)^{\beta_{28}}}{H^{\beta_{38}}} \right]\} + e_i \quad (8)$$

โดยทำให้ค่าคาดคะเนมีแนวโน้มที่จะมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ (ค่าจริง) เมื่อต้นไม้มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง เมื่อต้นไม้มีขนาดใหญ่ ความแตกต่างระหว่างค่าคาดคะเนกับค่าที่วัดจะเพิ่มมากขึ้น สมการที่ได้นี้เจ้าของสวนป่าสามารถนำไปประมาณปริมาตรไม้รายต้นที่ทำเป็นสินค้าได้ของไม้สัก ทั้งที่เป็นไม้ยืนต้น (standing tree) หรือไม้ที่โค่นล้มแล้วจากสวนป่าของตัวเองสำหรับการประมาณราคาจำหน่ายได้ต่อไป

4. การจัดการสวนป่าเชิงประณีต เช่น การตัดขยายระยะ การลิดกิ่ง เป็นการดำเนินการที่ต้องใช้เวลา แรงงาน และค่าใช้จ่าย เจ้าของสวนป่าจะต้องใช้เทคนิคที่เหมาะสมกับสภาพของสวนป่าและวัตถุประสงค์ของการใช้ไม้ รวมทั้งต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในการจัดการด้วย

5. การศึกษานี้เป็นการศึกษาในระยะเวลานั้น ผลของการจัดการยังไม่แสดงผลที่ชัดเจนมากนัก ต้องมีการเก็บข้อมูลต่อไปเพื่อให้ทราบถึงผลของการจัดการในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

- กรมป่าไม้. 2548. **ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย**. กลุ่มงานพัฒนาผลผลิตป่าไม้ สำนักวิจัยการ
จัดการป่าไม้และผลผลิตป่าไม้ กรมป่าไม้ เลขที่ 5.188 พิมพ์ครั้งที่ 3 สิงหาคม 2548.
111 น.
- กรมป่าไม้, 2559. **สถิติกรมป่าไม้ ปี 2559** (ข้อมูลปริมาณไม้ที่ผลิตได้ ปี พ.ศ. 2559),
กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- กรมป่าไม้, 2561. **ข้อมูลการขึ้นทะเบียนที่ดินเป็นสวนป่าตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พ.ศ. 2535**.
แหล่งที่มา: <https://www.forest.go.th/forestinfo.forest.go.th/55/Content.aspx?id=10332>,
27 เมษายน 2561
- ทศพร วัชรางกูร. 2540. การตัดสางขยายระยะและการแตกหน่อของสวนป่าไม้สัก I. การ
เติบโตของสวนป่าไม้สักในช่วงระยะเวลา 3 ปี ภายหลังการตัดสางขยายระยะ น. 83–
102. ใน **รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2545 “ศักยภาพของป่า
ไม้ต่อการฟื้นฟูเศรษฐกิจไทย”** กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- ทศพร วัชรางกูร จตุพร มังคลารัตน์ ประพาย แก่นนาค สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล สมชาย นองเนื่อง
และวิโรจน์ ครองกิจศิริ 2553. **รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการคาดคะเน
การเติบโตและผลผลิตของสวนป่าเศรษฐกิจ**.กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและ
พัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 61 หน้า
- ทศพร วัชรางกูร บพิตร เกียรติภูมินนท์ และ Koichi Kamo. 2540. การตัดสางขยายระยะและการ
แตกหน่อของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส. **เอกสารงานวิจัย เลขที่
400020** ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 451 น.
- วิสุทธิ สุวรรณภินันท์. 2539. **ระบบวนวัฒน**. พิมพ์ครั้งที่ 2 (ฉบับแก้ไขปรับปรุง) กองทุน
จัดพิมพ์ตำราป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2539. **การสำรวจและประเมินผลผลิตของสวนป่า**. องค์การอุตสาหกรรมป่า
ไม้.รายงานวิจัยแบบสมบูรณ์เสนอต่อองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้กระทรวงเกษตรและ
สหกรณ์ ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 174 น.
- Adegbeihn, J.O. 1982. Preliminary results of the effects of spacing on the growth and yield
of *tectona grandis* LINN F. **Indian Forester** 108: 423–430.
- Avery, Thomas Eugene and Harold E. Bunkhart. 1994. **Forest Measurements**. 4 ed. Mc
Graw–Hill Inc. Printed in Singapore. 408 p. ISBN 0–07–002556–8

- Baillères, H and P. Deurand. 2000. Non-destructive techniques for wood quality assessments of plantation-growth teak. **Bois et Forêts des Tropiques**. 263 (1):17-27
- Bamber, R.K. 1976. Heartwood, its function and formation. **Wood Science and Technology** 10 : 1-8
- Betancur, C.A., Herrera, J.F., Mejia, and L.C. 2000. Study on the physical and mechanical properties, workability and seasoning of teak in Puerto Libertador. (Estudio de las propiedades físicas y mecánicas, trabajabilidad y secado de la teca (*Tectona grandis*) de Puerto Libertador (Córdoba). **Revista de Agronomía de Medellín** 56 (1) : 913-939.
- Bhat, K.M. 1995. A note on heartwood proportion and wood density of 8-year-old teak. **Indian Forester** 121(6): 514-516.
- Bhat, K.M. 2000. Timber quality of teak from managed tropical plantations with special reference to Indian plantations. **Bois et Forêts des Tropiques** 263(1) : 6-15
- Bhat, K.M., Priya, P.B., and Rugmini, P. 2001 Characterization of juvenile wood in teak. **Wood Science and Technology** 34 : 517-572.
- Brennan, G.K. and Radomiljac, A.M. 1998. Preliminary observations on the utilization and wood properties of plantation teak (*Tectona grandis*) and African mahogany (*Khaya senegalensis*) grown near Kununurra, **Western Australia**. **Australian Forestry** 61 (2): 120-126.
- Burkhart, H.E. 1977. Cubic foot volume of loblolly pine to any merchantable top limit. **Southern Journal of Applied Forestry** 1(2): 7-9
- Burnham K.P. and D.R. Anderson. 2002. Model selection and inference. **A practical information-theoretic approach**. New YORK, USA: Springer-Verlag.
- Cao Q.V. and H.E. Burkhart. 1980. Cubic-foot volume of loblolly pine to any height limit. **South J Appl For** 4:166-168.
- Chakraborti, S.K., and K.S. Gaharwar. 1995. A study on volume estimation for Indian teak. **Indian Forester** 121 (6) : 503-509
- Clutter, J.L. 1980. Development of taper functions from variable-top merchantable volume equations. **Forest Science** 26(1): 117-120
- Clutter, J., Forston J., Pieraar L., Brister H. and Bayley R. 1983. **Timber Management : a quantitative approach**. John Wiley and Sons. 333 p.

- Curtin, R.A. 1970 Dynamics of tree and crown structure in *Eucalyptus oblicua*. **Forest Science** 16(3): 321–328.
- Ericson, B. 1966. Effect of thinning on the basis density and content of latewood and heartwood in Scots pine and Norway spruce. Department of Forest Yield Research, Royal College of Forestry, Stockholm. **Research Notes No 10**. 110 p.
- Furnival, G. M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume table. **Forest science** 7 (4) : 337 –341
- Gerrand A.M., W.A. Neilsen and J.L. Medhurst. 1997 Thinning and Pruning eucalypt plantations for sawlog production in Tasmania. **Tasforests** 9 : 15–34.
- González, G., Bonilla, L. and Rivera, D. 1979. Properties and uses for teakwood growing in Quepos, Costa Rica. (Propiedades y usos de la Madera de tecacreciendo en Quepos, Costa Rica). **Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica**. 16 p.
- Hamzah, K.A. and A.H. Mohamed. 1994. Volume equations and Tables for teak (*Tectona grandis* Linn) in Mata Ayer, Perlis, Malaysia. **FRIM Reports** 65 : 18–33.
- Honer, T.G. 1964. The use of height and squared diameter ratios for the estimation of cubic foot volume. **Forest Chronicle** 40:324–331.
- Hillis, W.E. 1987. **Heartwood and tree exudates**, Springer Verlag, Berlin.
- Kandya, A.K. 1974. Weight dynamics in immature Anogeissus, Tectona and Terminalia. **Indian Forester** 100 (2): 93–100.
- Kanninen, M., D. Pérez, M. Marcelino and V. Edgar. 2004. Intensity and timing of the first thinning of Tectona grandis plantations in Costa Rica: results of a thinning trial. **Forest Ecology and Management**. 259(3):89–99.
- Kendall, J.A. and Brow, J.K. 1978. Comparison of tree biomass estimations–DBH and sapwood area. **Forest Science** 24(4) : 455–457.
- Keogh, R.M. 1979. Does teak have a future in tropical America **Unasylva**, 31(126): 13–19.
- Kokutze, A.D., Baillères, H., Stokes, A. and Kokou, K. 2004. Proportion and quality of heartwood in Tongolese teak. **Forest Ecology and Management** 189:37–48.
- Kozak, A., D.D. Munro and J.H.G. Smith. 1969. Taper functions and their application in forest inventory. **Forestry Chronicle** 45: 1–6.

- Krajicek, J.E., K.A. Brinkman and S.F. Gingrich. 1961. Crown competition—a measure of density. **Forest Science** 7(1): 35–42.
- Långström, B. and Helqvist, C. 1991. Effects of different pruning regimes on growth and sapwood area of Scots pine. **Forest Ecology and Management** 44 : 239–254
- Lowe, R.G. 1976. *Tectonagrandis* Linn. f. thinning experiment in Nigeria. Commonw. **Forest Review** 55(3) : 189–202.
- Majid, N.M. and B.K. Paudyal. 1992. Pruning trial for *Acacia mangium* plantation in Peninsular Malaysia. **Forest Ecology and Management** 47 : 285–593.
- Mäkelä A. 1997. A carbon balance model of growth and self–pruning in trees based on structural relationships. **Forest Science** 43(1): 7–24
- Margolis, H.A., R.P. Gagnon, D.Pothier and M.Pineau. 1988. The adjustment of growth, sapwood area, heartwood area and sapwood saturated permeability of balsam fir after different intensities of pruning. **Canadian Journal of Forest Research** 18: 723–727.
- Morataya, R., Galloway, G., Berninger, F. and Kanninen, M. 1999. Foliage biomass–sapwood (area and volume) relationships of *Tectona grandis* L.F. and *Gmelin arborea* Roxb.: silvicultural implications. **Forest Ecology and Management**: 113(2–3): 231–239.
- Mörling, T., Valinger, E. 1999. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area and growth in Scots Pine. **Scandinavian Journal of Forest Research** 14: 462–469.
- Nunifu, T.K. and H.G. Murchinson. 1999. Provisional yield models of teak (*Tectonagrandis* Linn F.) plantations in northern Ghana. **Forest Ecology and Management** 120: 171–178.
- O’Hara, K.L. 1991. Abiological justification for pruning in Coastal Douglas–Fir Stands. **Western Journal of Applied Forestry** 6(3) : 59–63.
- Ojansuu, R. and Maltamo, M. 1995. Sapwood and heartwood taper in Scots pine stems. **Canadian Journal of Forest Research** 25: 1928–1943.
- Ola –Adams, B.A. 1990. Influence of spacing on growth and yield of *Tectonagrandis* Linn. F.(Teak) and *Terminalia superba* Engl. & Diels (AFRA). **Journal of tropical Forest Science** 2 (3): 180–186.

- Pérez, Cordero L.D. 1998 **Development of stand growth scenarios based on the relationship among the crown composition, the crown structure and the productivity of *Tectona grandis* and *Bombacopsis quinata* plantations in Costa Rica**. M.Sc thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica. P. 185.
- Pérez Cordero, L.D. and M. Kanninen. 2003. Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. **Journal of Tropical Forest Science** 15(1) : 199–213
- Priya, P.B. and Bhat, K.M. 1999. Influence of rainfall, irrigation and age on the growth periodicity and wood structure in teak (*Tectona grandis*). **IAWA Journal** 20(2): 181–192.
- Ramnarine, S. 1994. **Growth and yield of teak plantations in Trinidad and Tobago**. University of New Brunswick, M.Sc. Thesis. 165 p.
- Royal Forest Department, 2009. **Forestry in Thailand**. Royal Forest Department. Bangkok.
- Sanwo, S.K. 1987. The characteristics of the crown–formed and stem–formed wood in plantation grown teak in Nigeria. **Journal of the Institute of Wood Science** 11(2): 85–88
- Schumacher F.X. and F.S. Hall. 1993. Logarithmic expression of timber tree volume. **J. Agric Res.** 1933 vol.47: 719–734.
- Sharma R.P. 2009. Modelling height–diameter relationship for Chir pine tree. **Banko Janakari**, 19:3–9.
- Singh, S.P. 1981. Total tree volume table for *Tectonagrandis* (teak). **Indian Forester** 107(10) : 621–623.
- Society of American Foresters, 1971. Terminology of Forest Science, Technology Practice and Products. English–Language Version edited by F.C. Ford–Robertson. **The Multilingual Forestry Terminology Series No. 1**. Society of American Foresters, Washington D.C.
- Spurr, S.H. 1952. **Forest inventory**. Illus, New York, Ronald Press Co. 476 pp.
- Tewari, D.N. 1999. **A monograph on teak (*Tectona grandis*)**. International Book distributors. Dehra Dun–248006 India. 235 p.

- Trockenbrodt, M. and Josue, J. 1998. Wood properties and utilization potential of plantation teak (*Tectona grandis*) in Malaysia–A critical review. **Journal of Tropical Forest Products** 5(1): 58–70
- Vallil, O. 1997. Utilization of teak. **Proceedings International Teak Symposium** 175–178
- Van Deusen, P.C., A.D. Sullivan and T.G. Matney. 1981. A prediction system for cubic foot volume of loblolly pine applicable through much of its range. **J. Appl. For.** 5(4):186–189
- Vincent, A.J. 1964. Plantation teak (*Tectonagrandis* L.) sample plot perlis No. 1 Mata Ayer Forest Reserve. **Malayan Forester** 27: 148–173.
- Warner, A.J., M. Jamroenprucksas and L.Puangchit. 2016. Development and evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) taper equations in northern Thailand. **Agri. Nat. Resour.** 50(2016): 362–367
- Wiemann, M.C. and Williamson, G.B. 1989. Wood specific gravity gradients in tropical dry and montane rain forest trees. **American Journal of Botany** 76(6): 924–928.
- Zobel, Bruce. 1992. Silvicultural effects on wood properties. IPEF INTERNATIONAL, **Piracicaba** (2): 31–38, 1992.

ภาพประกอบ

การศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้ ผลผลิตของหน่อไม้
รูปทรงของลำต้นและคุณภาพของเนื้อไม้



วัดการเติบโตของต้นสักหลังการตัดขยายระยะ 3 ปี
ที่สวนป่าเด่นด่าน อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี



แปลงตัดขยายระยะ 30%

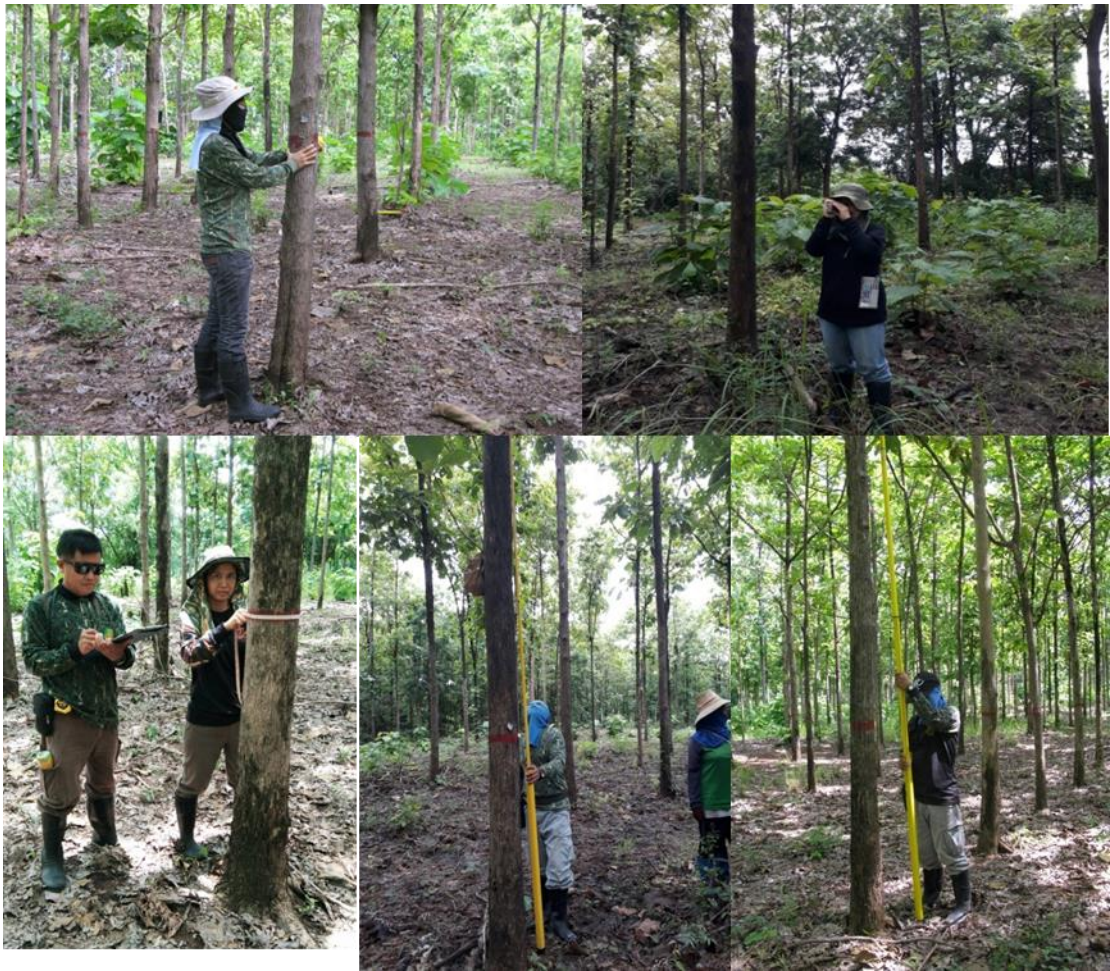


แปลงตัดขยายระยะ 50%



แปลง Control

แปลงทดลองตัดขยายระยะที่สวนป่าหลังโรงเรียนจักรท่าเสาอำเภอมือง จังหวัดอุดรดิตถ์



แปลงทดลองตัดขยายระยะ สวนป่าทองแสนขันอำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์

การศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของต้นไม้และผลผลิตของหนุไม้



การเติบโตของต้นไม้ ลิดกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่ ตรวจสอบและนับจำนวนepicormic branch
ในแปลงทดลองการลิดกิ่ง ที่สวนป่าหนองคำฮ้อย จังหวัดอุดรธานี

การศึกษาเพื่อหาสมการประมาณปริมาตรทั้งหมดของส่วนที่เป็นลำต้น
และปริมาตรที่ทำสินค้า



การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของไม้สักอายุ 34 ปี
สวนป่าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง



การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของไม้สักอายุ 44 ปี
สวนป่าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง



การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของไม้สักอายุ 33 ปี
สวนป่าเชียงทอง จังหวัดตาก



การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของไม้สัก อายุ 34 ปี
สวนป่าลาดยาว จังหวัดนครสวรรค์



การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของไม้สัก อายุ 38 ปี สวนป่าวังชัน จังหวัดแพร่



การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของไม้สัก อายุ 33 ปี
สวนป่าขุนแม่คำมี จังหวัดแพร่



การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของไม้สัก อายุ 38 ปี
สวนป่าห้วยระบำ จังหวัดอุทัยธานี