



กรมป่าไม้



ส ก ส ว
TSRI

รายงานฉบับสมบูรณ์

นวนวัตกรรม
เพื่อเพิ่มผลผลิตและ
วิธีการประเมินผลผลิต
ของสวนป่าสัก



ส่วนนวนวัตกรรมวิจัย
สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

2565

รายงานฉบับสมบูรณ์

วนวัฒนวิธีเพื่อเพิ่มผลผลิตและวิธีการประเมินผลผลิตของสวนป่าสัก
Silvicultural practices to enhance productivity and
methodology to estimate productivity of teak plantation

ภายใต้แผนงานวิจัย การจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร (ระยะที่สอง)
Sustainable management of teak plantation for farmers (Phase II)

ผู้ร่วมวิจัย

นางวรพรรณ หิมพานต์	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	หัวหน้าโครงการวิจัย
นายประพาย แก่นนาค	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายวิโรจน์ ครองกิจศิริ	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายสมชาย นองเนื่อง	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายวรพจน์ คำใบ	นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวสมพร คำชมภู	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
ว่าที่ร้อยตรีหญิงนุสบา ไหมเงิน	พนักงานราชการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายธีรยุทธ วงสอน	พนักงานราชการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวปิยนุช รับพร	พนักงานราชการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวจารุณี โนรีเวช	พนักงานราชการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวสุพัตรา กล่อมอ้อม	พนักงานราชการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นายสุรินทร์ แข่งขัน	พนักงานราชการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย
นางสาวสุจิรา เจริญกรุง	พนักงานราชการ	ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ส่วนวนวัฒนวิจัย

สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้

2565

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย วนวัฒนวิธีเพื่อเพิ่มผลผลิตและวิธีการประเมินผลผลิตของสวนปาล์กร มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวนวัฒนวิธีที่มีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มผลผลิตและมูลค่าของสวนปาล์กร และเพื่อศึกษาวิธีการประเมินผลผลิตสวนปาล์กร ได้แก่ ปริมาตรลำต้นส่วนที่เป็นสินค้าและประเมินกำลังผลิตไม้ในสวนปาล์กรโดยใช้ภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการส่งเสริมการปลูกสร้างสวนปาล์กร และตัดสินใจในการลงทุนเพื่อประกอบการปลูกสร้างสวนปาล์กรของประเทศไทย รวมทั้งเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคนิคการเพิ่มผลผลิตสำหรับการปลูกสร้างสวนปาล์กรสู่เกษตรกร ผู้เกี่ยวข้อง และผู้สนใจ

การศึกษาดำเนินการในสวนปาล์กรของเกษตรกร บริษัทเอกชน และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ในหลายพื้นที่ทั่วประเทศไทย เพื่อให้ได้ข้อมูลของสักรที่ปลูกครอบคลุมทั้งในพื้นที่ ระยะปลูก และการดูแลรักษาที่แตกต่างกัน ผลการศึกษา พบว่าการวนวัฒนวิธี ได้แก่ การตัดขยายระยะ การลิดกิ่ง และการจัดการหน่อของสักร เป็นวิธีการที่ช่วยเพิ่มผลผลิตของสักรทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ สำหรับการประเมินกำลังผลิตโดยใช้เทคนิคของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เป็นแนวทางหนึ่งที่สะดวกและเหมาะสมสำหรับการประเมินกำลังผลิตในสวนปาล์กรขนาดใหญ่ การศึกษาครั้งนี้ยังได้พัฒนาสมการความเร็ว ซึ่งนำไปใช้ประเมินปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ของต้นสักรที่ยังยืนต้นอยู่ โดยการประเมินปริมาตรของไม้แต่ละท่อน และนำไปใช้ในการประเมินมูลค่าตามราคากลางของไม้สักรท่อน นับว่าเป็นแนววิธีการหนึ่งสำหรับการประมาณผลตอบแทนของสักรก่อนการตัดฟัน

ผลจากการศึกษาครั้งนี้เป็นเพียงข้อมูลเสนอแนะเพื่อให้เจ้าของสวนปาล์กรนำไปประกอบการตัดสินใจ เนื่องจากการดำเนินการทางวนวัฒนวิธีที่กล่าวมาแล้วจะต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น หากแต่ผลตอบแทนที่ได้คือผลผลิตที่ตรงตามวัตถุประสงค์และคุ้มค่า การเลือกว่าจะใช้วนวัฒนวิธีหรือไม่ หรือเลือกใช้วิธีการใดนั้น ขึ้นกับการตัดสินใจของเจ้าของสวนปาล์กร

คำสำคัญ : วนวัฒนวิธี ตัดขยายระยะ ลิดกิ่ง แดกหน่อ ผลผลิต สวนปาล์กร

Abstract

This research project aimed to study the effects of the effective silvicultural practices to enhancing the teak plantation productivity and value including study the methodology to estimate productivity of teak plantation namely merchantable stem volume and growing stock by using the Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The results from this study will be the information for teak plantation promotion and decision making for teak plantation business investment, including transfer the knowledge and techniques of enhancing teak yield to the interested people.

The research project was conducted in teak plantations of private farmers, company and Forest Industry Organization in various area in Thailand. The data covered the various site, spacing and management. The results showed that the effective silvicultural practices such as thinning, pruning and coppiced management were the method to enhance the teak productivity both quantity and quality. Moreover, the yield estimation by using UAV is the suitable and convenient methodology for the large area. This study also developed the taper equation for teak merchantable volume of each log from the standing tree which use for further value estimation. It is the method to estimate the value before cutting.

The results are only the recommendation for the teak plantation owners to make decisions due to silvicultural practices as mentioned above. There will be additional costs involved, while the investment return in production met the purposes and has a worth value. Teak plantation owners who need to decide and select appropriate measure.

Keywords : Silvicultural practices, thinning, pruning, coppice, productivity, teak plantation

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
ABSTRACT.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญภาพ.....	ง
สารบัญภาพ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
คำนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
ตรวจเอกสาร.....	3
การทดลองตัดขยายระยะ.....	3
การลิดกิ่ง.....	6
การสืบทอดพันธุ์โดยการแตกหน่อ.....	7
สมการประมาณปริมาตรไม้เพื่อการค้า.....	9
การพัฒนาแบบการประเมินกำลังผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล.....	10
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	12
การทดลองตัดขยายระยะ.....	12
การทดลองลิดกิ่ง.....	13
การเติบโตของสักแตกหน่อ.....	15
การสร้างสมการความยาวเพื่อสร้างสมการประมาณปริมาตรที่ทำสินค้า.....	16
การพัฒนาวิธีการประเมินกำลังผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล.....	18
ผลการวิจัย.....	19
การทดลองตัดขยายระยะ.....	19
การทดลองลิดกิ่ง.....	32
การเติบโตของไม้สักแตกหน่อ.....	42
การสร้างสมการความยาวเพื่อสร้างสมการประมาณปริมาตรที่ทำสินค้า.....	49
การพัฒนาวิธีการประเมินกำลังผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล.....	56
สรุปผลการวิจัย.....	64
เอกสารอ้างอิง.....	66
ภาพการปฏิบัติงาน.....	73

สารบัญภาพ

หน้า

Figure 1 Mean basal area of Den Dan plantation before, just after, 6-year, 7-year and 9-year after thinning	22
Figure 2 Mean stem volume of Den Dan plantation before, just after and after thinning.....	23
Figure 3 Mean annual DBH increment of all trees and dominant trees of Den Dan plantation	24
Figure 4 Mean annual height increment of all trees and dominant trees of Den Dan plantation .	24
Figure 5 Mean stand volume increment of Den Dan plantation	26
Figure 6 Total stand volume production of Den Dan plantation	26
Figure 7 Live-crown ratio before and after thinning of Den Dan plantation.....	29
Figure 8 Slenderness ratio before and after thinning of Den Dan plantation	29
Figure 9 Artificial form factor before and after thinning of Den Dan plantation.....	30
Figure 10 DBH and Height of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province.....	33
Figure 11 Tree volume and stand volume of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province	35
Figure 12 Tree live crown ratio and slenderness ratio of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province...	37
Figure 13 Epicormic branches after pruning and thinning	39
Figure 14 Outer bark and inner bark volumes of teak trees in each pruning level in Teak plantation at Uttaradit Province	40
Figure 15 DBH and Height of coppiced teak in Teak plantation at Phetchaboon Province	44
Figure 16 DBH and Height of the first sprout of coppiced teak in Teak plantation at Phetchaboon Province	45
Figure 17 Shapes of 2 sprouts of coppiced teak.	46
Figure 18 Disadvantages of 2 sprouts of coppiced teak.....	47
Figure 19 Sample tree height and diameter at breast height overbark by plantation (n=450 trees)	50
Figure 20 Plot of double bark thickness versus diameter overbark.....	51
Figure 21 Residual analysis for Goodwin X3A model: (A) histogram of standard residuals, (B) standard residuals versus fitted diameter underbark (d_{ub}), and (C) d_{ub} versus fitted d_{ub}	53
Figure 22 H-DBH curves (n=450 trees)	55
Figure 23 Tree height estimation using digital surface model and terrain model.....	56

สารบัญภาพ

	หน้า
Figure 24 Result of estimation of terrain using leaf-on UAV observation.....	57
Figure 25 Result of estimation of terrain using leaf-off UAV observation	57
Figure 26 Comparison of terrain model (leaf : interpolated based on leaf-on image, right : modeled based on leaf-on image).....	58
Figure 27 Comparison of tree height measurement by UAV and field measurment	59
Figure 28 Comparison of crown diameter measurement by UAV and field measurment	60
Figure 29 Relationship between field-measured individual tree volume and drone-observed estimates	60
Figure 30 Calculation mean canopy height	61
Figure 31 Relationship between mean canopy height (MCH) and stand volume	62
Figure 32 Stand volume distribution estimated by the mean canopy height.....	62

สารบัญตาราง

	หน้า
Table 1 Taper functions used in this study	17
Table 2 Stand characteristics of Den Dan plantation before, just after, 4-year and 6-year after 1 st thinning (mean + S.D.).....	20
Table 3 Stand characteristics of Den Dan plantation before, just after, 1-year and 2-year after 2 nd thinning (mean + S.D.).....	21
Table 4 Stand volume production (m ³) in stands with different thinning intensities of Den Dan plantation.....	25
Table 5 Decrease of annual stand volume increment of Den Dan plantation.....	27
Table 6 Number of epicormic branches of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province.....	39
Table 7 Values of heartwood and sapwood of teak trees in each pruning level in Teak plantation at Uttaradit Province.....	40
Table 8 Diameter at breast height (DBH), Height and Mean Annual Increment (MAI) of coppiced teaks in Teak plantation at Phetchaboon Province.	42
Table 9 Summary for the 450 teak sample trees by province and plantation	49
Table 10 Summary of goodness-of-fit statistics for models based on overbark diameter at breast Height overbark input data	52
Table 11 Index values from scaled test statistics for three separate and for overall lack-of-fit statistics for models based on overbark diameter at breast height input data.....	52
Table 12 Percentage error and root mean square error of diameter estimated by two models	53

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเจ้าของสวนป่าสักทุกท่าน ทั้งที่เป็นเกษตรกร ซึ่งไม่สามารถนำชื่อมากล่าวไว้ ณ ที่นี้ ได้ครบทุกท่าน บริษัทเอกชน และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ผู้วิจัยได้เข้าไปวางแผน เก็บข้อมูล รวมทั้งให้การสนับสนุนเจ้าหน้าที่ บุคลากร และอุปกรณ์เครื่องมือในการเก็บข้อมูล ตลอดจนการดูแลรักษาแปลงทดลองให้สามารถดำเนินการเก็บข้อมูลได้จนสิ้นสุดโครงการ คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ นายทศพร วัชรางกูร ข้าราชการบำนาญกรมป่าไม้ ซึ่งเป็นผู้ริเริ่มโครงการและให้คำปรึกษาในการศึกษาวิจัยตลอดระยะเวลาของโครงการ

โครงการนี้อยู่ภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างกรมป่าไม้และศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์และเกษตรนานาชาติแห่งประเทศญี่ปุ่น (Japan International Research Center for Agricultural Science : JIRCAS) จึงมีนักวิจัยชาวญี่ปุ่นหลายท่านที่ร่วมทำวิจัย ได้แก่ Dr.Iwao Noda, Dr. Gaku Hitsuma, Dr. Naoyuki Furuya. ซึ่งในปัจจุบันได้ปลดเกษียณหรือย้ายกลับไปทำงานที่ Forestry and Forest Products Research Institute, Japan แล้ว

โครงการวิจัยนี้จะไม่สามารถดำเนินการได้เลย หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์งบประมาณจากกรมป่าไม้ โดยสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ และสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

คำนำ

ไม้สักเป็นไม้ที่สำคัญและมีค่าทางเศรษฐกิจตั้งแต่ในอดีต แต่ในปัจจุบันไม้สักกลับต้องนำเข้าจากประเทศเพื่อนบ้าน เนื่องจากพื้นที่ป่าไม้ลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งสวนป่าที่มีวัตถุประสงค์ทางด้านเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามในขณะที่รัฐบาลโดยกรมป่าไม้ได้ส่งเสริมให้ภาคเอกชนและเกษตรกรปลูกป่าไม้เศรษฐกิจ ไม้เศรษฐกิจส่วนใหญ่ที่เกษตรกรปลูกยังคงเป็นไม้สัก แต่ปัญหาที่เกษตรกรที่มีสวนป่าสักแล้วยังประสบคือความไม่เข้าใจและขาดความรู้เรื่องการจัดการสวนป่า แม้แต่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งสภาพดินส่วนใหญ่เป็นดินทราย และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ กรมป่าไม้ เป็นหน่วยงานหลักที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกสร้างสวนป่าสัก ดังนั้นจึงควรให้ความรู้แก่เกษตรกร รวมทั้งผู้ที่สนใจประกอบธุรกิจเกี่ยวกับสวนป่าสักในเรื่องการคัดเลือกแม่ไม้ที่เหมาะสมกับพื้นที่ การปรับปรุงวิธีการปลูก รวมทั้งการปรับปรุงดินให้ส่งเสริมการเติบโตของไม้สัก เพื่อให้การปลูกสักมีประสิทธิภาพทั้งด้านการให้ผลผลิตและมูลค่าของเนื้อไม้เพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากไม้สัก เป็นไม้ที่มีรอบตัดฟันยาว ในปัจจุบันใช้รอบตัดฟัน 20-30 ปี การจัดการและดูแลรักษาสวนป่าเป็นเรื่องที่สำคัญเพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตของสวนป่าทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากไม้สักท่อนที่มีขนาดใหญ่ เปลาตรง มีตำหนิตาน้อย และมีปริมาณแก่นมาก จะเป็นการเพิ่มมูลค่าของไม้ให้แก่ผู้ปลูก ในขณะที่ข้อมูลเพื่อส่งเสริมการปลูกสักให้มีประสิทธิภาพในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีเกษตรกรสนใจปลูกสักกันอย่างมาก แต่พื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกสักมีไม่มากนัก เช่น การคัดเลือกแม่ไม้และการปรับปรุงดิน จะช่วยให้สวนป่าสักให้ผลผลิตและคุณภาพมากยิ่งขึ้น รวมถึงวิธีการหรือรูปแบบในการประเมินผลผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคขั้นสูงจะเป็นแนวทางสำคัญสำหรับทั้งเกษตรกร บริษัทเอกชน ในการประเมินผลผลิตของสวนสักของตนเอง รวมถึงหน่วยงานรัฐและสถาบันการศึกษาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

ในระหว่างปีงบประมาณ 2555-2559 กรมป่าไม้ได้มีโครงการวิจัยร่วมระหว่างกับ Japan International Research Center for Agricultural Science (JIRCAS) แห่งประเทศญี่ปุ่น ภายใต้แผนงานการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร เพื่อหาข้อมูล แนวทาง วิธีการ และเทคนิคที่สำคัญในการจัดการสวนป่าไม้สัก ทั้งในด้านการเพิ่มผลผลิตไม้ในสวนป่า เช่น การตัดขยายระยะ การลิดกิ่ง การจัดการเพื่อสืบต่อพันธุ์ตามธรรมชาติ ตลอดจนความสัมพันธ์ของปัจจัยแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหมู่ไม้ เพื่อให้เกษตรกรได้รับผลตอบแทนสูงสุดจากการลงทุนปลูกสร้างสวนป่าสัก ซึ่งได้ผลการศึกษาเฉพาะในระยะแรก คือหลังการทดลองประมาณ 5 ปี ยังต้องการความต่อเนื่องในการจัดเก็บข้อมูล เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ครอบคลุมและชัดเจนมากยิ่งขึ้น รวมทั้งจะต้องดำเนินการตัดขยายระยะในครั้งที่สอง สำหรับในแปลงทดลองที่ทำการตัดขยายระยะที่มีความหนักเบาต่ำ โครงการวิจัยครั้งนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อดำเนินการต่อเนื่องและต่อยอดงานวิจัยเดิม รวมทั้งให้สามารถดำเนินการภายใต้งานวิจัยร่วมกันระหว่างกรมป่าไม้กับ JIRCAS ที่จะดำเนินการต่อเนื่องในระหว่างปีงบประมาณ พ.ศ. 2560-2564

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของวนวัฒนวิธีที่มีประสิทธิภาพในด้านการจัดการสวนป่าเพื่อเพิ่มผลผลิตและมูลค่าของสวนป่าสัก
- 2) เพื่อศึกษาวิธีการประเมินผลผลิตสวนป่าสัก ได้แก่ ปริมาตรลำต้นส่วนที่เป็นสินค้า (merchantable stem volume) และประเมินกำลังผลิต (growing stock) ไม้ในสวนป่าไม้สักโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคของการสำรวจระยะไกลและเทคนิคขั้นสูงอื่นๆ
- 3) เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการส่งเสริมการปลูกสร้างสวนป่าสักและตัดสินใจในการลงทุนเพื่อประกอบการปลูกสร้างสวนป่าไม้สักของประเทศไทย สำหรับเกษตรกรรายย่อยและภาคเอกชนที่ต้องการประกอบธุรกิจด้านการปลูกสร้างสวนป่าสัก
- 4) เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคนิคการเพิ่มผลผลิตสำหรับการปลูกสร้างสวนป่าไม้สักสู่เกษตรกรผู้เกี่ยวข้อง และผู้สนใจอื่นๆ

ตรวจสอบเอกสาร

ไม้สัก (*Tectona grandis* L.f.) เป็นชนิดพันธุ์ไม้เขตร้อนที่เป็นไม้ใบกว้าง ที่สำคัญที่สุดชนิดหนึ่งในตลาดการค้าไม้ซุงท่อนที่มีคุณภาพสูงระหว่างประเทศ ไม้สักมีความคงทนสูง มีความเสถียรคือ ไม้ยืดและหดตัวง่าย และเนื้อไม้มีความสวยงามทำให้เป็นชนิดพันธุ์ไม้ที่มีคุณค่าสูงสำหรับการปลูกสร้างสวนป่า การที่ไม้สักมีอัตราการเจริญเติบโตดี (เมื่อขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่เหมาะสม) และเป็นไม้ใบกว้างที่มีความต้องการใช้ประโยชน์สูงในอุตสาหกรรมต่อเรือยอร์ช ก่อสร้าง และเฟอร์นิเจอร์ ทำให้เป็นทางเลือกที่สามารถทำกำไรเชิงธุรกิจ ป่าไม้ ทั้งทางภาครัฐและเอกชน (Troup, 1921; Tewari, 1992)

ในช่วงเวลา 30 ปี ที่ผ่านมานี้ ปริมาณผลผลิตไม้สักจากป่าธรรมชาติไม่มีความต่อเนื่องและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา แต่ปริมาณความต้องการใช้ไม้สักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การปลูกสร้างสวนป่าไม้สักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของผลผลิตและการใช้ประโยชน์ไม้สักจากสวนป่าประเทศต่างๆ ให้ความสนใจในการปรับปรุงผลตอบแทนทางการเงินจากการปลูกสร้างสวนป่าไม้สัก โดยการใช้ประโยชน์ไม้ที่ได้จากการตัดขยายระยะ และไม้เสากลมขนาดเล็ก ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการศึกษาต่าง ๆ คือ การพัฒนาเทคนิคสำหรับไม้เสากลมขนาดเล็ก การนำไม้แปรรูปขนาดเล็กมาทำเป็นวัสดุขนาดใหญ่กว่า เช่น เฟอร์นิเจอร์ ฯ และการศึกษาโอกาสทางการตลาดของไม้ซุงขนาดเล็กและวัสดุต่างๆ ที่ใช้ไม้ขนาดเล็กเป็นองค์ประกอบ (Pandey and Brown, 2000)

การทดลองตัดขยายระยะ

การปลูกสร้างสวนป่าไม้สักในประเทศไทยที่เป็นโครงการใหญ่ มีการดำเนินการอย่างต่อเนื่องเริ่มในปี พ.ศ. 2485 โดยกรมป่าไม้ (อำนาจ, 2535) แต่ในช่วงระยะเวลา 60 กว่าปีที่ผ่านมา การศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของสวนป่าไม้สัก มีไม่มากนัก โดยเฉพาะการจัดสร้างตารางผลผลิต (Yield table) สมเกียรติ (2535) ได้ศึกษาผลผลิตของสวนป่าไม้สักอายุตั้งแต่ 9-63 ปี ในภาคเหนือของประเทศไทย นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับความสูงและใช้ความสูงเมื่ออายุ 30 ปี มาเป็นตัวกำหนดคุณภาพพื้นที่ (site quality) มี site index curve แบ่งออกเป็น 5 site คือ 14, 17, 20, 23 และ 26 เมตร ผลผลิตต่อไร่ของสวนป่าไม้สักในภาคเหนือของประเทศไทยที่คาดคะเนหรือประมาณได้จากตารางผลผลิต เมื่อใช้รอบหมุนเวียน (rotation) 60 ปี ของ site index 14, 17, 20, 23 และ 26 ปี มีปริมาณไม้ได้เปลือกที่ทำเป็นสินค้าได้เท่ากับ 25.85, 30.16, 33.90, 37.40 และ 41.48 ลูกบาศก์ม.ต่อไร่ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การศึกษาดังกล่าวได้ดำเนินการมาประมาณไม่ต่ำกว่า 20-25 ปี มาแล้ว และทำการศึกษาในพื้นที่สวนสักของกรมป่าไม้เท่านั้น

พงษ์ศักดิ์ และคณะ (2535) ได้ศึกษาดัชนีชั้นคุณภาพของพื้นที่ (site index) และผลผลิตของสวนป่าไม้สักที่จังหวัดลำปาง เมื่อปี พ.ศ. 2526 โดยการเก็บข้อมูลในสวนสัก 9 สวน ซึ่งเป็นสวนสักของกรมป่าไม้ และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ โดยวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างอายุกับความสูงเฉลี่ยของต้นไม้ที่มีเรือนยอดเด่นและรองเด่นและจำแนกเป็นดัชนีชั้นคุณภาพ จากการใช้ความสูงเฉลี่ยของไม้เมื่ออายุ 30 ปี เป็นดัชนีชั้นคุณภาพปานกลาง แล้วแบ่งออกเป็น 5 ชั้นคุณภาพ คือ เลวมาก เลว ปานกลาง ด และดีมาก (มี site index เป็น 10, 15, 20, 25 และ 30 ปี ตามลำดับ) และได้จัดทำตารางผลผลิตของสวนป่าไม้สักตามชั้นอายุต่าง ๆ ตั้งแต่ 10-60 ปี โดยแยกออกตามดัชนีชั้นคุณภาพของพื้นที่ของสวนป่าไม้สักโดยเฉพาะที่จังหวัดลำปางที่ประมาณการไว้ เมื่อครบรอบตัดฟัน (60 ปี) ในชั้นคุณภาพตั้งแต่เลวมากถึงชั้นคุณภาพที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่ามี

ปริมาตรลำต้น (ทั้งต้นเหนือเปลือก) เท่ากับ 51.68, 116.47, 181.24, 246.13 และ 310.91 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์ตามลำดับ

ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการสำรวจและประเมินผลผลิตของสวนป่า องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ในปี พ.ศ. 2538-พ.ศ. 2539 โดยทำการสำรวจชนิดพันธุ์ไม้ 9 ชนิด ได้แก่ สัก ยูคาลิปตัส (คามาลดูเลนซิส) ประดู่ เลี่ยน ยางพารา สะเดาเทียม ตะเคียนทอง กระถินยักษ์ และกระถินเทพา ในสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ จำนวน 58 สวน แปลงสำรวจ 933 แปลง แต่สามารถจัดสร้างตารางผลผลิตได้เพียง 3 ชนิด คือ สัก ยูคาลิปตัส และประดู่ (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2539)

การศึกษาวิจัยในต่างประเทศเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลอง การเจริญเติบโต (growth) และตารางผลผลิตของสวนป่าไม้สัก ทำการศึกษาโดย Laurie and Ram (1939), Miller (1969), Abayomi (1984), Islam (1988), Keogh (1966), Akindele (1991), Phillips (1995) and Zambrano (1995) (อ้างโดย Bermejo *et. al.*, 2004)

ปกติแล้วการตัดขยายระยะต้นไม้ในสวนป่าครั้งแรกนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการจัดการสวนป่าเพื่อให้อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่แล้วจะดำเนินการเมื่อต้นไม้มีเรือนยอดเบียดชิดกันโดยทั่วไปจะเริ่มดำเนินการครั้งแรกเมื่อต้นไม้มีอายุ 5 – 7 ปี และดำเนินการครั้งต่อไปทุก 5 ปี (เจริญ และคณะ, 2522) สำหรับวิธีการตัดขยายระยะนั้นมี 4 วิธีประกอบด้วย 1) Low thinning เป็นการตัดไม้เล็กออก 2) Crown thinning เป็นการตัดไม้เรือนยอดเด่นออกเพื่อให้ต้นไม้ที่เหลือสามารถเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต 3) Selection thinning เป็นระบบเลือกตัด 4) Mechanical thinning เป็นการตัดอย่างมีระบบ เช่น ตัดต้นเว้นต้น ตัดแถวเว้นแถว หรือตัดหนึ่งแถวเว้นสองแถว เป็นต้น อย่างไรก็ตามการจะเลือกวิธีการตัดขยายระยะแบบไหนนั้น จะต้องดูความสม่ำเสมอของต้นไม้ในแปลงปลูก ส่วนที่ปีถึงจะทำการตัดขยายระยะนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่นระยะปลูก อัตราการเจริญเติบโต เป็นต้น ซึ่งพงษ์ศักดิ์ (2529) กล่าวว่าทางเลือกชนิดไม้หรือพรรณไม้ที่จะปลูกนั้น จะต้องคำนึงถึงระยะปลูก อัตราการรอดตาย เป้าหมายของผลผลิตที่คาดหวังเมื่อครบรอบตัดฟันตลอดจนการปฏิบัติทางวนวัฒนในการจัดการสวนป่า ตลอดจนชนิดของเครื่องมือที่ทำไม้ออกเมื่อต้นไม้โตถึงระยะตัดฟัน

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

Adegbeih (1982) พบว่า ภายหลังจากตัดขยายระยะสวนป่าไม้สัก ในแปลงทดสอบระยะปลูกของไม้สักในประเทศไนจีเรีย ขนาดความโต (DBH) ของแปลงที่ตัดขยายระยะแตกต่างจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ความสูงเฉลี่ยของหมู่ไม้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสนับสนุนความเห็นที่ว่า การตอบสนองอย่างไวของต้นไม้ที่มีต่อระยะห่าง (spacing) เกิดขึ้นทางด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลำต้น

Lowe (1976) ทำการทดลองตัดขยายระยะ สวนป่าไม้สักในประเทศไนจีเรีย โดยในแปลงที่ตัดขยายระยะอย่างหนัก (heavy thinning) ซึ่งพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ลดลง จาก 32 ตารางเมตร/เฮกแตร์ เหลือ 13 ตารางเมตร/เฮกแตร์ นั้น ให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโตรายต้นหรือการเจริญเติบโต

ของหนุ่ไม้ก็ตาม และได้แนะนำว่าในการตัดขยายระยะแต่ละครั้ง ควรตัดไม้ออกให้ต่ำกว่า 20 ลูกบาศก์เมตร/เฮกแตร์

Ola – Adams (1990) ได้ประเมินผลการทดสอบระยะปลูกของสวนป่าไม้สัก เมื่ออายุ 18 ปี ที่ประเทศไนจีเรียสรุปว่า ควรปลูกสวนป่าไม้สักที่ระดับความหนาแน่นระหว่าง 1,189 และ 1,680 ต้น/เฮกแตร์ การเจริญเติบโตรายต้นจะลดลง เมื่อระดับความหนาแน่นของหนุ่ไม้สูงกว่า และศักยภาพการเจริญเติบโตของหนุ่ไม้ไม่ถึงระดับสูงสุดเมื่อความหนาแน่นของหนุ่ไม้ต่ำกว่า

ในประเทศคอสตาริกา สวนป่าไม้สักที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีพื้นที่หน้าตัดสูงที่สุดเท่ากับ 28 ตารางเมตร/เฮกแตร์ ดังนั้น ถ้าการจัดการสวนป่ามีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้การเจริญเติบโตของต้นไม้มีขนาด (size) สูงสุด พื้นที่หน้าตัดของสวนป่าไม้สักไม่ควรมีค่าถึง 28 ตารางเมตร/เฮกแตร์ เนื่องจากถ้ามีพื้นที่หน้าตัดของหนุ่ไม้มากกว่า 20 ลูกบาศก์เมตร/เฮกแตร์ การแก่งแย่งภายในหนุ่ไม้จะไม่เพิ่มขึ้น และการเจริญเติบโตทางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (DBH) จะลดลงโดยเฉพาะเมื่อพื้นที่หน้าตัดของหนุ่ไม้มีค่ามากกว่า 25 ตารางเมตร/เฮกแตร์ ผลการศึกษาอื่นๆ ให้ข้อเสนอแนะว่าจุดวิกฤตของพื้นที่หน้าตัดของสวนป่าไม้สักผันแปรอยู่ระหว่าง 15 และ 32 ตารางเมตร/เฮกแตร์ (Lowe, 1976; Keogh, 1979)

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 ความเพิ่มพูนทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นของแปลงที่ทำการตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ กล่าวคือ แปลงตัดสองแถวเว้นสองแถวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเพิ่มขึ้น 3.5 เซนติเมตร ในขณะที่แปลงตัดแถวเว้นแถวเพิ่มขึ้น 3.1 เซนติเมตร ส่วนแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะเพิ่มขึ้นเพียง 2.6 เซนติเมตร แต่ในช่วงเวลาดังกล่าวความเพิ่มพูนเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นของแปลงที่ตัดขยายระยะทั้งสองวิธีแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และไม่แตกต่างจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะด้วย ซึ่งอาจเป็นเพราะว่าในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะนั้นมีหน่อเจริญเติบโตขึ้นจากตอของต้นไม้ในแถวที่ถูกตัดออกไป ทำให้เกิดการแก่งแย่งของไม้ที่เหลืออยู่ภายหลังการตัดขยายระยะกับหน่อที่เกิดขึ้นมาใหม่จากตอ

จากการศึกษาเปรียบเทียบผลของวิธีการตัดขยายระยะและความหนักเบาของวิธีการตัดขยายระยะต่อผลของการเจริญเติบโตและการแตกหน่อของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส อายุ 6 ปี ที่มีระยะปลูกเริ่มแรก 1 เมตร x 2 เมตร ทศพร และคณะ (2540) แสดงถึงความผันแปรของผลของความหนักเบาของการตัดขยายระยะต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ จากการศึกษาดังกล่าว พบว่า ภายหลังจากการตัดขยายระยะเป็นเวลา 4 ปี การตัดขยายระยะด้วยวิธี low thinning ทำให้ความเพิ่มพูนเฉลี่ยของปริมาตรส่วนที่เป็นลำต้นในแปลงที่มีความหนักเบาหรืออัตราการตัดขยายระยะร้อยละ 70 มีแนวโน้มสูงกว่าอัตราการตัดขยายระยะร้อยละ 50 และร้อยละ 30 และไม่ตัดขยายระยะตามลำต้น แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัตราการตัดขยายระยะร้อยละ 30 และร้อยละ 50 ปรากฏว่า มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ส่วนในการตัดขยายระยะด้วยวิธี selection thinning ผลการศึกษาปรากฏว่า ความหนักเบาหรืออัตราการตัดขยายระยะร้อยละ 70 ดีกว่าร้อยละ 50, 30 และไม่มีการตัดขยายระยะตามลำต้น

ผลการศึกษาเบื้องต้นของการศึกษาการทดลองตัดขยายระยะในสวนป่าสักภายใต้แผนงานวิจัยการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร พบว่าการทดลองตัดขยายระยะทำให้สักในสวนป่ามีขนาดต้นปริมาตรรายต้น อัตราการเพิ่มขึ้นของพื้นที่หน้าตัดของสวนป่าสูงกว่าในแปลงควบคุมที่ไม่ได้ดำเนินการตัดขยายระยะ ในขณะที่การตัดขยายระยะที่มีความหนักรากสูงกว่า (ร้อยละของพื้นที่หน้าตัดต้นไม้ทั้งสวนป่าที่ถูกตัดออกมากกว่า) จะมีแนวโน้มค่าต่างๆ สูงกว่าในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะที่มีความหนักรากต่ำกว่า

สวนป่าสักในประเทศไทยมีเฉพาะสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ที่ดำเนินการตัดขยายระยะ ในขณะที่สวนป่าของเกษตรกรยังไม่มีควาณนิยม สาเหตุหนึ่งคือความไม่เข้าใจถึงผลดีที่เกิดจากการตัดขยายระยะ เนื่องจากการปลูกในรูปแบบของเกษตรกรนั้นยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจน ครอบคลุม รวมทั้งยังไม่มีแปลงตัวอย่างให้แก่เกษตรกรได้ศึกษาเรียนรู้ ในขณะที่การศึกษาในประเทศไทยที่มีอยู่อย่างจำกัดและมีผลการศึกษาเพียงในระยะสั้น รวมทั้งการศึกษากายใต้ภายใต้แผนงานวิจัยการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกรนั้น มีระยะเวลาการศึกษาเพียง 5 ปี ค่าที่ได้มายังไม่ชัดเจน และสวนป่าจำเป็นต้องมีการตัดขยายระยะครั้งที่สอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะที่มีความหนักรากต่ำกว่า จึงควรมีการศึกษาต่อเนื่องเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนทั้งขนาดความหนักรากที่ควรดำเนินการและช่วงเวลาในการดำเนินการ และสามารถนำไปเป็นข้อมูลที่ได้ไปใช้สำหรับการส่งเสริมการจัดการสวนป่าสักให้ได้ผลผลิตของไม้สักคุ้มค่าต่อการลงทุน

การลิดกิ่ง

การลิดกิ่งเป็นการปฏิบัติทางวนวัฒนวิทยาที่จำเป็นสำหรับการผลิตไม้ซุงท่อนคุณภาพดี กล่าวคือ ไม้คุณภาพดีต้องเป็นไม้ที่มีปมตาน้อยและมีขนาดเล็กและเป็นไม้ที่มีตำหนิ (อาทิเช่น ไค้งอ ไส้กลวง ความแข็งแรงต่ำ เส้นบิด ลำต้นมีความเรียวมาก) น้อยมาก หรือไม่มีเลย อย่างไรก็ตามเนื่องจากการพัฒนาความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการลิดกิ่งได้จากการปฏิบัติจริง ดังนั้น การลิดกิ่งอาจมีข้อบกพร่อง อาทิ เช่น ความหนักรากของการลิดกิ่งน้อยเกินไป และ/หรือทำการลิดกิ่งช้าเกินไปซึ่งทำให้การลิดกิ่งไม่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพไม้ หรือทำการลิดกิ่งมากเกินไปในขณะที่ต้นไม้มีอายุน้อยจนทำให้มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้เนื่องจากมวลชีวภาพของต้นไม้อลดลง การลิดกิ่งต้นไม้อย่างหนักรากมากอาจทำให้การเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางรายปี หรืออัตราการเจริญเติบโตสะสมของต้นไม้ที่สูญเสียไปหลังจากการลิดกิ่งจะไม่ได้กลับคืนมา (O' Hara, 1991)

ผลการวิจัยของ Pérez and Kanninan (2003) ชี้ให้เห็นว่า การลิดกิ่งที่ไม่เหมาะสมมีผลทำให้สูญเสียการเจริญเติบโตรายต้น และการเจริญเติบโตของหมู่ไม้ได้ ในการลิดกิ่งไม่ได้คำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพของใบกับการเจริญเติบโตของลำต้น การลิดกิ่งออกจากต้นไม้ในปริมาณมากเป็นสาเหตุให้ศักยภาพการสังเคราะห์แสงของส่วนที่เป็นเรือนยอดของต้นไม้อลดลงทันทีทันใด ผลที่ตามมาคือทำให้พื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ภายหลังการลิดกิ่ง 3 ปี ลดลง ได้ถึงร้อยละ 28 ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ก่อนการลิดกิ่ง และปริมาตรของหมู่ไม้ลดลงได้ถึงร้อยละ 43 การวิจัยการลิดกิ่งของสวนป่ากระถินเทพาที่ประเทศมาเลเซีย (อายุ 1.5-4 ปี) ให้ผลการวิจัยที่คล้ายคลึงกัน กล่าวคือหน่วยทดลองที่มีระดับของการลิดกิ่งที่แตกต่างกัน (ลิดกิ่งสูง 2.5 เมตร ถึง 6 เมตร จากพื้นดิน) ทำให้การเจริญเติบโตทางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นลดลง การลดลงดังกล่าวจะเกิดขึ้นมากกว่า ถ้าส่วนที่เป็นเรือนยอดถูกเคลื่อนย้าย (ลิดกิ่ง) ออกไปมากกว่าร้อยละ 40 (Majid and Paudyal, 1992) จากการศึกษาเกี่ยวกับพันธุ์ไม้ชนิดอื่น อาทิเช่น *Eucalyptus nitens* อายุ 3 ปี พบว่า ภายหลังการลิดกิ่ง

2 ปี และลิดกิ่งโดยการลิดส่วนที่เป็นเรือนยอดออกน้อยกว่าร้อยละ 40 ผลปรากฏว่า ไม่มีความแตกต่างด้านการเจริญเติบโตระหว่างหมู่ไม้ที่ทำการลิดกิ่งกับไม่มีการลิดกิ่ง (Gerrand *et.al.*, 1997)

Zobel (1992) ได้สรุปผลการวิจัยเกี่ยวกับผลของการลิดกิ่งของพันธุ์ไม้ตระกูลสนในเขตอบอุ่นต่อคุณสมบัติของเนื้อไม้ ไว้ว่า การลิดกิ่งมีผลต่อคุณสมบัติของเนื้อไม้ โดยเฉพาะเมื่อทำการลิดกิ่งไม่ถูกต้องหรือลิดกิ่งมากเกินไป การลิดกิ่งด้วยวิธีการที่ไม่ถูกต้องในไม้ตระกูลสน จะทำให้เกิดเสี้ยนสนและเกิด resin pockets ซึ่ง resin pocket นี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ต้นไม้ที่ทำการลิดกิ่งด้วยวิธีการไม่ถูกต้องเกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อไม้ โดยปกติแล้ว การลิดกิ่งจะดำเนินการกับส่วนของลำต้นที่มีค่ามากที่สุด (ท่อนแรกของลำต้น) และการลิดกิ่งสูงเกินไป (ตามความสูงของต้นไม้จากพื้นดิน) จะไม่เกิดผลตอบแทนทางเศรษฐกิจ ต้นไม้ควรทำการลิดกิ่งเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมีขนาดประมาณ 12 เซนติเมตร เพื่อที่จะทำให้นเนื้อไม้ ที่อยู่นอกโซนของปุ่มตาที่เป็น clean wood มีปริมาณมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ตามปกติแล้ว การลิดกิ่งไม่ควรลิดมากกว่า ครึ่งหนึ่งของเรือนยอด (live crown) จากผลการศึกษาที่ผ่านมาชี้ให้เห็นว่า การลิดกิ่งประมาณร้อยละ 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

กรมป่าไม้ โดยสำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ ได้มีโครงการวิจัยเกี่ยวกับการลิดกิ่งในสวนป่าสัก ภายใต้โครงการวิจัยเทคนิคการบำรุงรักษาสวนป่าอย่างประณีต เพื่อเพิ่มผลผลิตและคุณภาพเนื้อไม้ของสวนป่าไม้สัก ซึ่งดำเนินการระหว่างปีงบประมาณ พ.ศ. 2556-2560 ซึ่งในพื้นที่ดังกล่าวควรมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องรวมทั้งทำการตัดต้นไมตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติของเนื้อไม้ โดยเฉพาะการเกิดตำหนิจากตา และอัตราส่วนของแก่นและกระพี้ ซึ่งผลการศึกษาดังกล่าวจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการเพิ่มมูลค่าของไม้ท่อนสัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ท่อนแรก ซึ่งราคาจะเพิ่มมากขึ้นตามขนาดความโตและขนาดความยาวของท่อน รวมถึงคุณภาพเนื้อไม้และปริมาณของแก่นไม้สักจะเป็นปัจจัยที่นำมาใช้พิจารณาเรื่องราคาต่อไป

การสืบทอดพันธุ์โดยการแตกหน่อ

ต้นสักเป็นต้นไม้ที่มีลักษณะพิเศษที่สามารถสะสมอาหารไว้ในรากแก้วจนโตเป็นเหง้าเหมือนหัวมัน และมีพลังในการส่งลำต้นสักขึ้นได้อย่างมาก การที่จะส่งลำต้นได้สูงเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารในเหง้าที่สะสมไว้ จึงได้มีการใช้ประโยชน์จากลักษณะนี้ในการตัดชิดต่อมาเป็นวิธีการปรับปรุงสวนสัก เหตุผลที่ตัดชิดต่อมากมาจากการที่สวนสักถูกไฟไหม้บางส่วน การเติบโตไม่สม่ำเสมอ การที่ลำต้นคดงอกิ่งก้านมากไม่สวยงาม ดังนั้นในการปรับปรุงสวนสักด้วยวิธีนี้จึงต้องตัดชิดต่อ (สูงจากดินประมาณไม่เกินหนึ่งคืบ) เป็นรูปปลีมน ฤดูกาลที่ควรตัดคือฤดูแล้งก่อนฝนตก เพื่อให้ต้นสักเตรียมตัวส่งลำต้นทันทีที่ได้รับฝนแรก ซึ่งในทางวิชาการป่าไม้ยอมรับทั่วไปว่า ต้นสักที่แตกขึ้นจากวิธีการนี้ได้ลำต้นที่เปลาตรงและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (ธงชัย, 2535)

การแตกหน่อของไม้สักจะดีมาหลังการตัดฟันแบบวิธีการตัดหมด อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการแตกหน่อหลังจากตัดขยายระยะก็ควรมีการศึกษาทดลองด้วยเช่นกันเพื่อให้เกิดระบบการจัดการไม้เรือนยอด 2

ชั้นในสวนป่าไม้สักในอนาคต เนื่องจากไม้สักเป็นไม้ที่แตกหน่อ (Coppice) ได้ดีมากหลังการตัดฟัน คือ สามารถแตกหน่อใหม่ได้ ร้อยละ 100 (บุญวงศ์ และคณะ, 2535) และหน่อส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้เร็วมาก หน่อไม้สักอายุ 10 ปี ที่โตเร็วที่สุด จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 6.8 เซนติเมตร และสูงที่สุดถึง 6.5 เมตร โดยเกิดจากตอที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก 27.5 เซนติเมตร (สมศักดิ์ และคณะ, 2518) ทั้งนี้การตัดไม้สักให้แตกหน่อใหม่ ต้องเป็นการตัดหมดให้ตอสูงจากพื้นดินไม่เกิน 60 เซนติเมตร และต้นสักที่ใช้ระบบตัดฟันแบบนี้ ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอกประมาณ 30 เซนติเมตร (หรือประมาณ 20 ปี) รวมทั้งตัดฟันให้เสร็จเรียบร้อยก่อนเริ่มฤดูฝน และภายหลังการตัดฟันจะต้องป้องกันไฟป่าให้ได้ผลอย่างจริงจังด้วย

การศึกษาการแตกหน่อของไม้สักในสวนรวมโคลน (Clone bank) ไม้สักที่จังหวัดอุทัยธานี ของ Thueksathit (2006) พบว่าจาก 71 โคลนไม้สัก 5 อันดับแรกที่มีศักยภาพในการแตกหน่อดีที่สุดได้แก่ โคลนที่มาจากแม่ใบ จังหวัดแพร่ (V100) งาว และแม่หวด จังหวัดลำปาง (V34) ลอง จังหวัดแพร่ (V126) บ้านวัง จังหวัดยะลา (V49) และลอง จังหวัดแพร่ (V118) โดยขนาดของตอไม่มีความสัมพันธ์กับศักยภาพของการแตกหน่อของแต่ละโคลน ส่วนในเรื่องการเจริญเติบโตของหน่อไม้สักพบว่า ความโตที่ระดับโคนต้น (D_0) ความโตที่ระดับความสูงเพียงอก (DBH) และความสูง (H) เฉลี่ย เมื่ออายุ 1 ปี เท่ากับ 6.40 เซนติเมตร 4.60 เซนติเมตร และ 5.33 เมตร ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างต้นที่เกิดจากการแตกหน่อและกล้าที่เกิดจากการปักชำ (ramet) ในโคลนเดียวกันพบว่า มีค่าความสูงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) แม้ว่าในพืชหลายชนิดการจัดการแบบให้แตกหน่อจะมีผลดีในเรื่องการทำให้รอบตัดฟันสั้นขึ้นหรือได้ผลผลิตเร็วมากขึ้นก็ตาม แต่จากการศึกษาในไม้สักพบว่าเมื่อมีอายุมากขึ้นค่าความแตกต่างในการเจริญเติบโตระหว่างต้นที่เกิดจากการแตกหน่อและจากกล้าที่ได้จากการปักชำมีค่าลดลง

ในการศึกษาของ Thaiutsa *et.al.* (2001) เรื่องความสามารถในการแตกหน่อของไม้สักอายุ 17 ปี หลังการตัดขยายระยะในสวนป่าทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ พบว่าวิธีการตัดขยายระยะไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของไม้สักแต่ส่งผลต่อค่าความโตและความสูงของหน่อ เมื่อหน่อไม้สักมีอายุ 1 ปี ในแปลงทดลองที่มีการตัดหมดความโตและความสูงของหน่อไม้สักจะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่วิธีการตัดขยายระยะแบบ 2:2 mechanical thinning 1:1 mechanical thinning และ low thinning ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการตัดขยายระยะแบบ 2:2 mechanical thinning เป็นวิธีการที่ควรนำมาใช้หากในพื้นที่ดังกล่าวไม่สามารถใช้วิธีการตัดหมดได้

ในประเทศไนจีเรีย โดย Verinumbe and Okali (1985) มีความพยายามที่จะทำการปลูกพืชเกษตรแทรกในสวนป่าไม้สัก โดยการทดลองปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ภายใต้เรือนยอดของไม้สักที่เกิดจากการแตกหน่อ แต่เนื่องจากการศึกษาทำการปลูกไม้สักในระยะปลูกที่แคบเกินไป (1.8 เมตร X 1.8 เมตร) ทำให้เกิดการแอ่งแอ้งแสงสว่างทำให้ผลผลิตของข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีปริมาณลดลง ส่วนการแข่งขันในส่วนราก ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามยังต้องทำการศึกษาระยะปลูกที่เหมาะสมต่อไป เพื่อให้ได้ผลผลิตทั้งเนื้อไม้สักและผลผลิตพืชเกษตร

วรพรรณ และคณะ (2555) พบว่า การเติบโตของไม้สักที่แตกหน่อมีค่าการเติบโตมากกว่าไม้สักที่ปลูกใหม่ในพื้นที่เดียวกันตั้งแต่ไม้สักมีอายุ 9 เดือน จนกระทั่งถึง 5 ปี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขณะที่ไม้สักมีอายุ 9 เดือน หรือช่วงที่ไม้สักเริ่มมีการตั้งตัวได้นั้น เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างแล้วไม้สักที่แตกหน่อมีค่าเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับคอราก (D_0) มากกว่าไม้สักที่ปลูกใหม่ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่

ความสูงมีค่ามากกว่าร้อยละ 58 และปริมาตรไม้สีกที่แตก 2 หน่อจะมีค่ามากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกว่าไม้สีกที่แตกหน่อเพียงหน่อเดียว การจัดการไม้สีกโดยให้มีการแตกหน่อหลังการตัดฟันครั้งสุดท้ายนั้น เป็นวิธีการเจริญทดแทนที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในช่วงแรก เมื่อนำค่ามาตรฐานค่าใช้จ่ายในการปลูกสร้างสวนป่าไม้สีกขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ต่อไร่ มาวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่ลดลงเนื่องจากการแตกหน่อแทนการปลูกด้วยกล้าไม้ใหม่ พบว่าค่าใช้จ่ายต่อไร่ในปีที่ 1 ตามปกติเท่ากับ 3,960 บาท/ไร่ เมื่อมีการจัดการแบบให้แตกหน่อค่าใช้จ่ายในกรณีที่ไม้สีกสามารถแตกหน่อได้ร้อยละ 50 จะสามารถลดลงได้ 2,028 บาท (51.20 เปอร์เซ็นต์) หากไม้สีกสามารถแตกหน่อได้มากถึงร้อยละ 70 จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากถึง 2,203 บาท (ร้อยละ 55.62) จากค่าใช้จ่ายในส่วนที่เกี่ยวกับการเตรียมพื้นที่ การปลูก การกำจัดวัชพืช การใส่ปุ๋ย และค่ากล้าไม้ ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามค่าใช้จ่ายในการจัดการสวนป่าไม้สีกแบบตัดให้แตกหน่อ ณ สวนป่าแม่ทรายคำ จังหวัดลำปาง ซึ่งไม้สีกมีความสามารถในการแตกหน่อหลังการตัดหมดประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ พบว่าค่าใช้จ่ายในปีแรกลดลงจาก 2,500 บาท เหลือเพียง 1,600 บาท หรือค่าใช้จ่ายที่ลดลงประมาณร้อยละ 36 ในการศึกษาของ Noda and Himmapan (2012) พบว่าหากจัดการแบบให้ไม้สีกแตกหน่อในรอบที่ 2 หลังจากการตัดหมดเมื่อสวนป่าไม้สีกอายุ 15 ปี จะสามารถลดค่าใช้จ่ายในระยะเริ่มต้นลงได้น้อยกว่าร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับปลูกใหม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ใช้ข้อมูลการเจริญเติบโตของไม้สีกจากกล้าไม้ทั่วไปที่ยังไม่ได้มีการปรับปรุงพันธุ์

ผลการศึกษาเบื้องต้นภายใต้แผนงานวิจัยการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกรพบว่าไม้สีกที่สืบต่อพันธุ์โดยวิธีการแตกหน่อมีการเติบโตสูงกว่าไม้สีกที่ปลูกใหม่จากกล้าไม้ โดยสวนสักที่จัดการให้มีการสืบพันธุ์แบบแตกหน่อทั้งหมดจะมีการเติบโตสูงกว่าในสวนสักที่ผสมระหว่างการปลูกและแตกหน่อ และเหลือ 1 หน่อจะเติบโตดีกว่า 2 หน่อ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการจัดการ เช่น การตัดขยายระยะ และการทดสอบคุณภาพเนื้อไม้

สมการประมาณปริมาตรไม้เพื่อการค้า

ในกรณีของผลผลิตไม้ซุง (timber production) การประมาณปริมาตรไม้ มักทำในรูปปริมาตรไม้ท่อนซุง ซึ่งสามารถประมาณได้จากการวัดมิติต่างๆ ของต้นไม้ วิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการประมาณโดยใช้สมการประมาณปริมาตรไม้ (volume equations) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและตัวแปรต่างๆ เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น และความสูง

Avery and Burkhart (1994) กล่าวว่า สมการประมาณปริมาตรไม้ใช้ในการประมาณ ปริมาตรเฉลี่ยรายต้นของต้นไม้ที่มีขนาดและชนิดพันธุ์ต่างๆ ความน่าเชื่อถือของการประมาณปริมาตรไม้ ขึ้นอยู่กับค่าพิสัยและการกระจายของข้อมูลของไม้ตัวอย่างที่มีอยู่และสมการนั้น มีความเหมาะสมเข้ากับได้พอดีกับข้อมูลของไม้ตัวอย่างหรือไม่ ความแม่นยำในการคาดคะเนปริมาตรของหมู่ไม้ขึ้นอยู่กับความถูกต้องแม่นยำของสมการที่ใช้ประมาณปริมาตรไม้รายต้น (individual-tree volume equations) สำหรับสมการประมาณปริมาตรไม้สักรายต้นที่ได้มีการศึกษาในประเทศไทยเมื่อประมาณ 16 ปีที่ผ่านมา โดยศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นสมการที่ใช้ในการประเมินผลผลิตของสวนป่าไม้สีกขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ในท้องที่ภาคเหนือ และท้องที่จังหวัดกาญจนบุรี เท่านั้น ไม่ได้รวมสวนป่าไม้สีกที่ปลูกโดยเอกชนและ

หน่วยงานของรัฐอื่นๆ และเป็นสมการที่ประมาณปริมาตรไม้สักรายต้น ที่กำหนดขนาดจำกัดต่ำที่สุดของเส้นรอบวงของลำต้นที่เป็นสินค้าไม้ 30 เซนติเมตร เท่านั้น (ศูนย์วิจัยป่าไม้, 2539)

ในปัจจุบันนี้ ยังไม่มีสมการประมาณปริมาตรไม้รายต้นของไม้สักที่ใช้ประมาณปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าไม้ในทุกระดับของขนาดจำกัดต่ำสุด จากสวนป่าไม้สักใด ๆ ในประเทศไทย ได้อย่างแม่นยำ ในประเทศหรือภูมิภาคอื่นๆ ที่มีรายงานว่ามี การสร้างสมการดังกล่าว 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 Ghaha ประเทศกานา (Nunifu and Murchinson, 1999) ที่ Kerala West Bengal Madhya Pradesh และ รัฐอื่นๆ อีก 6 รัฐ ในประเทศอินเดีย (Singh, 1981)

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

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

การพัฒนารูปแบบการประเมินกำลังผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล

การประมาณปริมาตรไม้ (growing stock) เป็นสิ่งจำเป็นในการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวเป็นเครื่องมือที่จะช่วยในการประเมินมูลค่าของหมู่ไม้ เช่นเดียวกับช่วยในการวางแผนการจัดแบ่งพื้นที่ในการเก็บเกี่ยวผลผลิต (การทำไม้) ออกจากพื้นที่ป่า

การประมาณปริมาตรหมู่ไม้ มีการประยุกต์ใช้วิธีการใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลเพื่อประเมินค่าปริมาตรหมู่ไม้ โดยการประเมินค่าพัฒนาจากความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยโครงสร้างหมู่ไม้กับดัชนีจากการสำรวจระยะไกล เพื่อสร้างแบบจำลองต้องมีการเก็บข้อมูลในพื้นที่ป่าที่หลากหลาย ซึ่งทำได้จากหลายวิธี คือ

1) การประมาณโดยใช้อายุหมู่ไม้

เนื่องจากปริมาตรหมู่ไม้ขึ้นกับปัจจัยด้านอายุของต้นไม้ ซึ่งอายุต้นไม้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สะดวกที่สุด ในการลดความผิดพลาดต้องเสริมข้อมูลอื่น ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ เช่น ความเหมาะสมของพื้นที่ และตารางผลผลิตท้องถิ่น ได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผสมผสานอายุของหมู่ไม้กับดัชนีจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อจัดทำแผนที่มวลชีวภาพ (Zheng *et al.*, 2007)

2) การประมาณโดยใช้ข้อมูลขนาดของเรือนยอด

โดยทั่วไปขนาดของเรือนยอดต้นไม้จะมีความสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับอกของต้นไม้ รวมถึงปริมาตรของต้นไม้ด้วย ขนาดของเรือนยอดสามารถตรวจวัดได้ด้วยการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มี

ความละเอียดของภาพสูงมาก ในการอนุมานข้อมูลเรือนยอดของต้นไม้โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงมากนั้นจะใช้ในป่าไม้สนซึ่งลักษณะเรือนยอดเป็นรูปทรงคล้ายข้าวโพด (Culvenor, 2003; Gougeon, 1995)

3) การประมาณโดยใช้ข้อมูลความสูง

เนื่องจากความสูงของต้นไม้แต่ละต้นหรือหมู่ไม้มีความสัมพันธ์สูงมากกับปริมาตรของต้นไม้ ข้อมูลด้าน vertical ได้จากการใช้ 1. airborne LIDAR and 2. DSM (Digital Surface Model) ซึ่งสร้างได้จาก stereo paired images เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดของภาพสูงมาก (Hirata, *et al.*, 2008; Hyypa, *et al.*, 2008)

ความก้าวหน้าของเครื่องส่งสัญญาณและเทคนิคการประมวลผลภาพถ่าย หรือการสำรวจระยะไกลนั้นไม่เพียงแต่ถูกนำมาใช้ในการประเมินการกระจายของพื้นที่หรือขนาดพื้นที่ เช่น บริเวณใดเป็นพื้นที่ป่าไม้ รวมทั้งขนาดพื้นที่ หรือไม่ได้เป็นพื้นที่ป่าไม้เท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้มีการใช้การสำรวจระยะไกลเพื่อประเมินข้อมูลเกี่ยวกับปริมาตรของหมู่ไม้เพิ่มมากขึ้น เคยมีงานวิจัยเกี่ยวกับการติดตามประเมินผลทรัพยากรป่าไม้โดยใช้การสำรวจระยะไกลมาแล้วในหลายพื้นที่ ในประเทศไทยมีความพยายามที่ศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาหรือประยุกต์วิธีการดังกล่าวเพื่อใช้ในการประเมินพื้นที่ป่าของไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสวนป่าไม้สัก เช่น การศึกษาที่ใช้การสำรวจระยะไกลเพื่อประเมินพื้นที่สวนป่าไม้สักในลุ่มน้ำป่าสัก (Prasong and Siripun, 2004)

งานวิจัยภายใต้แผนงานวิจัยการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร พบว่าขนาดเรือนยอดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.30 เมตร มีความสัมพันธ์กันอย่างมากจึงสามารถนำขนาดเรือนยอดที่ได้จากการวิเคราะห์โดยเทคนิคการสำรวจระยะไกลมาใช้ในประเมินปริมาตรไม้ (Furuya, 2015) แต่เนื่องจากไม่สามารถหาค่าความสูงได้ทำให้ผลการประมาณปริมาตรไม้ยังมีความถูกต้องไม่มากนัก ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Drone) มาให้กันอย่างมาก โดยเทคโนโลยีนี้สามารถมาใช้ในการประเมินความสูงโดยใช้ภาพระหว่างต้นไม้มีใบ และไม่มีใบมาประเมินแบบจำลองพื้นที่ผิวเรือนยอดและสภาพภูมิประเทศ (Zarco-Tejada, *et al.*, 2014) นอกจากนี้ภาพถ่ายขณะที่ต้นไม้ผลัดใบ (ไม่มีใบ) ยังสามารถใช้ประเมินคุณภาพต้นไม้ รวมทั้งวิธีการนี้ยังสามารถประเมินต้นไม้ที่ถูกบดบัง (suppressed trees) ได้ทำให้การประเมินปริมาตรไม้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองตัดขยายระยะ

เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากแปลงทดลองที่ได้ดำเนินการทดลองมาแล้วในโครงการวิจัยภายใต้แผนงานการจัดการสวนป่าสักร้อยปีที่ยั่งยืนเพื่อเกษตรกร (ปี พ.ศ. 2555-2559) โดยดำเนินการตัดขยายระยะแบบ low thinning คือการเลือกตัดต้นไม้ที่มีเรือนยอดระดับล่างออกจากแปลง โดยกำหนดความเข้มหรือใช้ความหนักเบาของการตัดขยายระยะตามแผนการทดลอง การคัดเลือกต้นไม้ได้พิจารณาถึงลักษณะรูปทรงและคุณภาพของต้นไม้ โดยมีหลักเกณฑ์ดังนี้

ชั้นคุณภาพที่ 1 ต้นไม้ที่ไม่มีลักษณะไม่ดี หรือข้อตำหนิต่ออย่างใด

ชั้นคุณภาพที่ 2 ต้นไม้มีข้อตำหนิบางประการ ได้แก่

ชั้นคุณภาพที่ 2a มีเรือนยอดขนาดใหญ่ 2 เรือนยอดขึ้นไป

ชั้นคุณภาพที่ 2b มีขนาดความโตของลำต้นเล็กมาก

ชั้นคุณภาพที่ 2c มีเรือนยอดไม่สมบูรณ์หรือมีลักษณะไม่สมดุล

ชั้นคุณภาพที่ 2d มีลำต้นแตกเป็น 2 นาง หรือมีลักษณะโค้งเอียง

ชั้นคุณภาพที่ 2e มีลักษณะการถูกทำลายหรือมีโรคแมลง

ชั้นคุณภาพที่ 3 ต้นไม้ที่มีการเติบโตช้า แตกต่างจากภาพรวมของต้นไม้ในพื้นที่ โดยที่ไม่ได้อยู่ใต้หรือถูกบดบังโดยต้นไม้อื่นอย่างชัดเจน

ชั้นคุณภาพที่ 4 ต้นไม้ที่อยู่ภายใต้เรือนยอดต้นอื่น หรือถูกบดบังโดยต้นไม้อื่นอย่างชัดเจน

ชั้นคุณภาพที่ 5 ต้นไม้ที่มีลักษณะอ่อนแอ

การพิจารณาคัดเลือกต้นไม้วัดจะพิจารณาความสูงของชั้นเรือนยอดควบคู่ไปกับลักษณะรูปทรงและคุณภาพของต้นไม้ โดยชั้นคุณภาพที่ 5 จะถูกเลือกออกก่อนเป็นลำดับแรก จนได้ปริมาณต้นไม้วัดจะตัดขยายระยะออกตามเป้าหมาย

1) แปลงทดลอง

เป็นการดำเนินการทดลอง ในพื้นที่ของสวนป่าของบริษัทเอกชน จังหวัดอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี แปลงปลูกปี พ.ศ. 2547 ระยะปลูกเมื่อเริ่มต้นคือ 2 เมตร X 4 เมตร ทำการทดลองตัดขยายระยะ เมื่อสักมีอายุ 7 ปี แผนการทดลองประกอบด้วย 3 หน่วยทดลอง ตามความเข้มข้นของการตัดขยายระยะ ได้แก่

- ตัดขยายระยะแบบปานกลาง (Moderate thinning, ร้อยละ 30 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้)
- ตัดขยายระยะแบบหนัก (Heavy thinning, ร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้)
- ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ (ควบคุม)

วางแผนเก็บข้อมูลขนาด 40 เมตร x 40 เมตร หน่วยทดลองละ 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 9 แปลง

หลังการทดลองตัดขยายระยะครั้งแรก เป็นเวลา 8 ปี เมื่อสักมีอายุ 15 ปี ทำการตัดขยายระยะครั้งที่สอง ร้อยละ 20 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้ในปีที่ทำการตัดขยายระยะ เฉพาะในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะแบบปานกลาง (ร้อยละ 30 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้) ในครั้งแรก

2) การเก็บข้อมูล

วัดต้นไม้ทุกต้น บันทึกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก ความสูงทั้งหมดของต้นไม้ และความสูงถึงระดับฐานเรือนยอดในแปลงตัวอย่าง ก่อนและหลังการตัดขยายระยะ ทำการวัดซ้ำทุกปี จนถึงสิ้นสุดอายุระยะเวลาวิจัย การวัดค่าความสูงของต้นไม้ใช้ Vertex IV ultrasound distance measurer (Haglöf Inc.) ส่วนความสูงถึงระดับฐานเรือนยอดใช้ไม้วัดความสูงต้นไม้ SK (SENSHIN) รุ่น AT Type 15 m

3) การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1) เพื่อศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้ ใช้ค่าที่วัดคำนวณหาค่าเฉลี่ยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูง คำนวณผลผลิตในรูปของปริมาตร ได้แก่ พื้นที่หน้าตัดรายต้นเฉลี่ย (ตารางเมตร/ต้น) พื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ (ตารางเมตร/ไร่) ปริมาตรรายต้นเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตร/ต้น) ปริมาตรรวมของหมู่ไม้ (ลูกบาศก์เมตร/ไร่) ก่อนและหลังการตัดขยายระยะ ประมาณค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment, MAI) และความเพิ่มพูนรายปี (current annual increment, CAI) ของสวนป่าแต่ละระดับการตัดขยายระยะการประมาณปริมาตรรายต้น (tree volume estimation) ใช้สมการรีเกรสชันที่สร้างขึ้นใหม่ประมาณปริมาตรรายต้นของไม้สักในแปลงตัวอย่างแต่ละ treatment โดยใช้สมการ nonlinear model ได้แก่

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

เมื่อ a และ b คือค่าคงที่

3.2) เพื่อศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อรูปทรงของต้นไม้ ทำการคำนวณหารูปทรงของต้นไม้ ได้แก่

- Live-crown ratio (อัตราส่วนของความสูงของเรือนยอดและความสูงทั้งหมด)
- Slenderness ratio (อัตราส่วนของความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก)
- Artificial form factor (อัตราส่วนของปริมาตรต้นไม้ต่อปริมาตรรูปทรงกระบอกที่

คำนวณพื้นที่หน้าตัดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก)

นำค่าต่างๆ ที่คำนวณได้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละหน่วยทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

การทดลองลิดกิ่ง

เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากแปลงทดลองที่ได้ดำเนินการทดลองมาแล้วในโครงการวิจัยภายใต้แผนงานการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร (ปี พ.ศ. 2555-2559)

1) แปลงทดลอง

ดำเนินการในพื้นที่สวนป่าสักของบริษัทเอกชนในท้องที่จังหวัดอุดรดิตถ์ ปลูกเมื่อปี พ.ศ. 2550 ระยะปลูก 2 เมตร x 4 เมตร วางแปลงทดลองขนาด 32 เมตร x 48 เมตร ดำเนินการลิดกิ่งเมื่อไม้สักมีอายุ 7 ปี ที่ระดับความสูงจากระดับพื้นดิน 5 เมตร 6 เมตร 7 เมตร และไม้ลิดกิ่ง จำนวนอย่างละ 4 แปลง รวมทั้งสิ้น 16 แปลง เมื่อสักอายุ 9 ปี ได้ทำการตัดขยายระยะออกร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้

2) การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

2.1) ทำการลิดกิ่งตามแผนการทดลอง ประกอบด้วย 4 หน่วยทดลอง (treatment) มี 3 ซ้ำ (replication) หน่วยทดลอง คือ วิธีการลิดกิ่งที่ระดับความสูงของการลิดกิ่งจากพื้นดินระดับต่างๆ กัน ได้แก่

- ไม่มีการลิดกิ่ง (แปลงควบคุม)
- ลิดกิ่งจนถึงระดับความสูง 5 เมตร จากพื้นดิน
- ลิดกิ่งจนถึงระดับความสูง 6 เมตร จากพื้นดิน
- ลิดกิ่งจนถึงระดับความสูง 7 เมตร จากพื้นดิน

กำหนดให้แต่ละหน่วยทดลองมีเนื้อที่ 800 เมตร (32 เมตร x 48 เมตร) มีระยะห่างของแนวกันชน (buffer) รอบแปลงทดลองเท่ากับ 8 เมตร

2.2) การเก็บข้อมูลโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) ความสูงทั้งหมดของต้นไม้และความสูงถึงระดับฐานเรือนยอดของทุกต้นในแปลงทดลอง (หน่วยทดลอง) ก่อนดำเนินการลิดกิ่งและหลังจากลิดกิ่ง ทำการวัดข้อมูลซ้ำทุกปี จนถึงสิ้นสุดอายุระยะเวลาวิจัย การวัดค่าความสูงของต้นไม้ใช้ Vertex IV ultrasound distance measurer (Haglöf Inc.) ส่วนความสูงถึงระดับฐานเรือนยอดใช้ไม้วัดความสูงต้นไม้ SK (SENSHIN) รุ่น AT Type 15 m

2.3) คำนวณค่าพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรทั้งรายต้นและทั้งหมู่ไม้ การประมาณปริมาตรรายต้น (tree volume estimation) ใช้สมการรีเกรสชันที่สร้างขึ้นใหม่ประมาณปริมาตรรายต้นของไม้สักในแปลงตัวอย่างแต่ละ treatment โดยใช้สมการ nonlinear model ได้แก่

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

เมื่อ a และ b คือค่าคงที่

2.4) เพื่อศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อรูปทรงของต้นไม้ ทำการคำนวณค่า 2 ค่า ได้แก่

- Live-crown ratio (อัตราส่วนของความสูงของเรือนยอดและความสูงทั้งหมด)
- Slenderness ratio (อัตราส่วนของความสูงต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก)

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

2.6) ศึกษาผลของการลิดกิ่งต่อคุณภาพของเนื้อไม้ โดยคัดเลือกไม้ตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนจากแต่ละหน่วยทดลอง หน่วยทดลองละ 4 ต้น และต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเป็นตัวแทนของสวนป่าทั้งหมด 4 ต้น รวมทั้งหมด 20 ต้น เพื่อวัดหาปริมาตรลำต้นด้วยวิธี Smalian formula และประเมินหาสัดส่วนของส่วนที่เป็นแก่นไม้และกระพี้ไม้ (heartwood/softwood ratio) นำค่าต่างๆ ที่คำนวณได้มาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละหน่วยทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

การเติบโตของสักแตงหน่อ

เป็นการดำเนินการต่อเนื่องจากแปลงทดลองที่ได้ดำเนินการทดลองมาแล้วในโครงการวิจัยภายใต้แผนงานการจัดการสวนป่าสักอย่างยั่งยืนเพื่อเกษตรกร (ปี พ.ศ. 2555-2559)

1) แปลงทดลอง

สวนป่าสักของเกษตรกร ตั้งอยู่ที่อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ ปลุกเมื่อปี พ.ศ. 2538 ระยะปลูก 2 เมตร X 3 เมตร เจ้าของสวนป่าได้ทำการตัดหมดในปี พ.ศ. 2556 และปล่อยให้สืบทอดพันธุ์โดยการแตกหน่อในปีเดียวกัน วางแปลงทดลองในปี พ.ศ. 2557 โดยแบ่งหน่วยทดลองออกเป็น 3 หน่วยทดลอง จากการจัดการหน่อให้คงเหลือต่อต้น ประกอบด้วย

(1) 1 หน่อ

(2) 2 หน่อ

(3) 2 หน่อ และเมื่อมีอายุ 2 ปี ทำการตัดให้เหลือ 1 หน่อ

โดยเลือกหน่อที่แข็งแรงและสมบูรณ์มากที่สุด รวมทั้งเป็นหน่อที่เกิดจากบริเวณโคนต้น (หน่อที่เกิดบริเวณขอบของตอมีความเสี่ยงต่อการโค่นล้มได้ง่าย) วางแปลงทดลองขนาด 40 เมตร x 40 เมตร หน่วยทดลองละ 3 ซ้ำ รวมทั้งสิ้น 9 แปลง ทำการตัดหน่อที่เกิดขึ้นใหม่ออกทุกปี เพื่อให้ต้นสักคงมีจำนวนหน่อตามหน่วยทดลองที่ตั้งไว้

2) การเก็บข้อมูล

2.1) การเก็บข้อมูลโดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (DBH) และความสูงทั้งหมดของต้นไม้ทุกต้นในแปลงทดลอง การวัดค่าความสูงของต้นไม้เมื่อต้นยังมีขนาดเล็ก ใช้ไม้วัดความสูงต้นไม้ SK (SENSHIN) รุ่น AT Type 15 m และเมื่อต้นไม้มีความสูงเพิ่มมากขึ้นใช้ Vertex IV ultrasound distance measurer (Haglöf Inc.)

2.2) ต้นที่มี 2 หน่อ ให้ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงทั้ง 2 หน่อ โดยในปีแรกให้หน่อที่มีขนาดความโตมากกว่าเป็นหน่อที่ 1 และต้นที่เล็กกว่าเป็นหน่อที่ 2

2.3) ในหน่วยทดลองที่เหลือ 2 หน่อและตัดให้เหลือเพียง 1 หน่อ เลือกตัดหน่อที่มีขนาดเล็กกว่าออกและเหลือหน่อที่มีความโต แข็งแรง และสมบูรณ์มากกว่าเอาไว้ เมื่อต้นมีอายุ 2 ปี

2.4) ทำการวัดซ้ำทุกปีจนสิ้นสุดอายุระยะเวลาวิจัย

3) การวิเคราะห์ข้อมูล

ทำการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของต้นสักในแต่ละหน่วยทดลอง รวมทั้งสังเกตลักษณะและรูปทรงของต้นไม้ในแต่ละหน่วยทดลอง คำนวณความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละหน่วยทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการจัดการหน่อสักที่ทำให้ค่าการเติบโตและรูปทรงที่ดีที่สุด เพื่อใช้ประกอบการส่งเสริมการจัดการสวนป่าสักหลังการตัดฟันครั้งสุดท้ายโดยให้มีการสืบทอดพันธุ์โดยการแตกหน่อ

การสร้างสมการความยาวเพื่อสร้างสมการประมาณปริมาตรที่ทำสินค้า

การสร้างสมการประมาณปริมาตรส่วนที่ทำเป็นสินค้าได้ เริ่มจากการสร้างสมการความยาว (taper equations) ก่อน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1) การเก็บข้อมูล

1.1) คัดเลือกต้นไม้สักจากสวนป่าต่าง ๆ ทั้งของเกษตรกร ภาคเอกชน และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ที่มีปัจจัยแตกต่างกัน ในเรื่องคุณภาพของพื้นที่ (site index) อายุ ความหนาแน่นหรือระยะปลูก ในการศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างสักจากสวนป่าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันตก จากสวนป่าที่มีระยะปลูกต่าง ๆ กัน ได้แก่ 4 เมตร x 4 เมตร, 2 เมตร x 4 เมตร, 2 เมตร x 3 เมตร, 3 เมตร x 3 เมตร, 2 เมตร x 2 เมตร

1.2) ต้นสักที่ทำการศึกษามีจำนวนทั้งสิ้น 450 ต้น ต้นที่ทำการตัดจำนวน 118 ต้น ทำการเก็บข้อมูลความสูงทั้งหมด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรวมเปลือกที่ระดับ 0.3 เมตร 1.3 เมตร และ ที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1 เมตรจนถึงยอด และความหนาของเปลือกทั้ง 4 ด้านของลำต้นตรงตำแหน่งเดียวกับที่วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยใช้ bark gauge (Haglöf Inc., Långsele, Sweden) ในขณะที่ต้นสักจำนวน 332 ต้น ทำการวัดแบบไม่ต้องตัดต้นไม้ โดยใช้ Vertex IV ultrasound distance measurer (Haglöf Inc.) and Criterion RD1000 electronic dendrometer (Laser Technology Inc., Colorado, USA) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงต่าง ๆ ทำการวัด 2 ทิศทางวัดที่ระดับเดียวกันกับการวัดแบบตัดต้นไม้ลงมา ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจำนวน 5,710 ค่าจากต้นสักจำนวน 450 ต้นนำมาใช้สำหรับการสร้างสมการความยาว

2) การพัฒนาแบบจำลองความยาว

ใช้แบบจำลองที่จากการตรวจสอบเอกสารพบว่าสามารถนำมาใช้กับสักได้ จำนวน 8 แบบจำลอง ได้แก่

แบบจำลองที่ 1 Goodwin's cubic polynomial (Goodwin, 2009) และ 2 variable-exponent taper model (Kozak, 2004) ได้นำไปใช้ในการศึกษาของ Warner *et al.* (2016) โดยผลการศึกษารูปร่างแบบจำลองที่ 1 เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับสวนป่าสักในภาคเหนือของประเทศไทย แบบจำลองที่ 2 ดีที่สุดสำหรับ Kozak's taper functions.

แบบจำลองที่ 3 variable-form taper function (Perez *et al.*, 1990) ได้รับการประเมินว่าดีที่สุดในส่วนป่าสักใน Tanzania (Van Zyl, 2005)

แบบจำลองที่ 4 (4a และ 4b) และ 5 (5a 5b และ 5c) ใช้ค่าตัวแปรตามของเส้นผ่านศูนย์กลางสัมพันธ์กับเส้นผ่านศูนย์กลางพื้นฐาน เส้นผ่านศูนย์กลางพื้นฐานอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุดของลำต้นโดยไม่รวมส่วนที่เป็นพุ่ม และอยู่ที่ระดับความสูงที่นำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อหา stem form (Osumi, 1959) เช่น ที่ระดับ 0.9 เมตร หรือที่ระดับความสูงระดับอก แบบจำลอง 4a และ 4b อยู่ในรูปของ polynomial ส่วนแบบจำลอง 5a 5b และ 5c อยู่ในรูปของ cubic polynomial

แบบจำลองทั้ง 8 แสดงใน Table 1

Table 1 Taper functions used in this study

Model form	Model number
$d_{ub} = (H - h)[S + \beta_3(h - h_1) + D_{ub}/(H - h_1)]$ where $S = \beta_1\beta_2^2(h_1 - h)/[(1 + \beta_2h)(1 + \beta_2h_1)(1 + \beta_2H)]$ $\beta_1 = a_1H, \beta_2 = a_2$, and $\beta_3 = a_3/H + a_4(D_{ub}/10) + a_5(D_{ub}/10)^2$	1
$d_{ub} = a_0D_{ob}^{a_1}H^{a_2}X^{[b_1(h/H)^4 + b_2(1/e^{(D_{ob}/H)}) + b_3X^{0.1} + b_4(1/D_{ob}) + b_5H^Q + b_6X]}$ where $X = [1 - (h/H)^{1/3}]/[1 - (1.3/H)^{1/3}]$, and $Q = 1 - (h/H)^{1/3}$	2
$d_{ub} = b_0D_{ob}^{b_1}M^{[b_2(h/H)^2 + b_3\ln(0.001 + (h/H)) + b_4(D_{ob}/H)]}$ where $M = [1 - (h/H)^{1/2}]/[1 - I^{1/2}]$, and I = location of the inflection point	3
$d_{ub}/d_{ub0.8} = b_1L + b_2L^2 + b_3L^3 + b_4L^5 + b_5L^8 + b_6L^{13} + b_7L^{21} + b_8L^{34}$ where $L = 1 - (h/H)$	4a
$d_{ub}/d_{ub0.9} = b_1L + b_2L^2 + b_3L^3 + b_4L^5 + b_5L^8 + b_6L^{13} + b_7L^{21} + b_8L^{34}$	4b
$d_{ub}/d_{ub0.9} = (a_1 + a_2H + a_3D_{ub})L^3 + (b_1 + b_2H + b_3D_{ub})L^2 + (c_1 + c_2H + c_3D_{ub})L$	5a
$d_{ub}/d_{ub0.8} = (a_1 + a_2H + a_3D_{ub})L^3 + (b_1 + b_2H + b_3D_{ub})L^2 + (c_1 + c_2H + c_3D_{ub})L$	5b
$d_{ub}/D_{ub} = (a_1 + a_2H + a_3D_{ub})L^3 + (b_1 + b_2H + b_3D_{ub})L^2 + (c_1 + c_2H + c_3D_{ub})L$	5c

where d_{ub} is the diameter underbark (cm) measured at height h (m) above ground;

H is the total tree height (m);

D_{ub} and D_{ob} is the diameter underbark (cm) and overbark (cm) at breast height (h_1 , 1.3 m), respectively;

$d_{ub0.9}$ and $d_{ub0.8}$ are diameters underbark at 90% and 80% relative stem length from tree top to ground (L), respectively.

Coefficients are a_1, a_2, a_3, a_4 , and a_5 in Model 1;

$a_0, a_1, a_2, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$, and b_6 in Model 2;

b_0, b_1, b_2, b_3 , and b_4 in Model 3;

$b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$, and b_8 in Model 4;

$a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2$, and c_3 in Model 5.

3) แบบจำลองความหนาเปลือก ใช้แบบจำลองยกกำลังตามที่ Warner et.al. (2016) เลือกใช้

4) การวิเคราะห์ทางสถิติ แบบจำลองทั้ง 7 ใช้ Goodness-of-fit (GOF) ประกอบด้วย adjusted coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and BIC และ lack-of-fit (LOF) ได้แก่ percentage error (PE, %) and relative root mean square error (RRMSE, %) การวิเคราะห์ตรวจสอบลักษณะของแบบจำลองใช้การตรวจสอบความถูกต้องครั้งเดียว (Maindonald and Braun, 2003) ในการทำนายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้เปลือกจากความสูง ทำนายความสูง โดยใช้ค่าขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางใต้เปลือก และทำนายปริมาตรใต้เปลือกของต้นไม้ตัวอย่างด้วยความสูงด้านล่างและด้านบนของไม้ท่อนโดยสุ่ม ปริมาตรไม้ท่อนคำนวณโดยใช้ Smalian's formula (Avery and Burkhart 2002). ค่าดัชนีที่ได้จากสถิติ LOF ที่ปรับขนาดเพื่อความถูกต้องของการทำนายแบบจำลอง มาตราส่วนหารด้วยค่าเฉลี่ยคงที่ (Goodwin, 2009)

5) การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม R (Version 4.0.0) ในการวิเคราะห์โดยใช้ตัวอย่าง R script บางส่วนของ Warner (2016)

การพัฒนาวิธีการประเมินกำลังผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคการใช้อากาศยานไร้คนขับ

1) การเก็บข้อมูล

1.1) คัดเลือกสวนป่าสักทั้งของเกษตรกร ภาคเอกชน และองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ที่มีปัจจัยแตกต่างกัน ในเรื่อง คุณภาพของพื้นที่ (site index) อายุ ความหนาแน่นหรือระยะปลูก เพื่อวางแผนทดลอง

1.2) เก็บข้อมูลในภาคสนาม ต้องทำการวางแผนอย่างน้อยขนาด 0.25 ไร่ (0.04 เฮกตาร์) เก็บข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับ 1.30 เมตร (DBH) ความสูงทั้งหมด และความกว้างของเรือนยอดของต้นไม้ในแปลงทดลอง เพื่อนำข้อมูลมาประมาณปริมาตรของหมู่ไม้ต่อหน่วยพื้นที่

1.3) ใช้อากาศยานไร้คนขับ (Drone: DJI Inspire pro with X5 RGB camera (12-mega pixel)) ทำการบินและถ่ายภาพแปลงทดลองทางอากาศโดยใช้ autopilot mode ให้ได้ภาพที่มีการซ้อนทับเพียงพอสำหรับการนำมาทำ 3-d model โดยใช้ Litchi app. โดยแบ่งถ่ายภาพช่วงที่มีต้นสักมีใบในเดือนพฤศจิกายน 2560 และช่วงที่สักทิ้งใบในเดือนกุมภาพันธ์ 2561 ใช้ Agisoft Metashape นำภาพถ่ายมาสร้าง ortho-photograph 1-2 cm resolution และ Digital surface model (DSM) 2-4 cm resolution ทำการบินที่ระดับความสูง 30 เมตร และ 60 เมตร จากระดับของเรือนยอดต้นสัก

2) การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1) ในขั้นตอนแรกทำการวิเคราะห์หาปริมาตรหมู่ไม้โดยใช้ปริมาตรต้นไม้รายต้นที่ได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับขนาดเรือนยอด

2.2) และนำค่าความสูงของต้นไม้ที่ได้จากการใช้ Drone มาใช้ในการประมาณปริมาตรของต้นไม้รายต้นเพื่อให้เกิดความละเอียดเพิ่มมากขึ้น

2.3) ปรับแก้แบบจำลองเดิมที่ได้จากการศึกษาในแผนงานวิจัยระยะที่ 1 ที่ใช้ภาพถ่ายทางอากาศแบบต่างๆ เช่น Landsat โดยการนำข้อมูลความสูงเพิ่มเติมไปด้วย

ผลการวิจัย

การทดลองตัดขยายระยะ

1. ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของต้นไม้

ความหนาแน่นของต้นสักในแปลงและการเติบโตก่อนและหลังการทดลองตัดขยายระยะ ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางที่เพียกอก (DBH) ความสูงทั้งหมด (H) พื้นที่หน้าตัด (BA) และ ปริมาตร (Vol) ของหมู่ไม้ปรากฏดังนี้

จากการตัดขยายระยะในแปลงสัก ครั้งที่ 1 เมื่อสักมีอายุ 7 ปี โดยตัดขยายระยะแบบปานกลาง (ร้อยละ 30 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้) ตัดขยายระยะแบบหนัก (ร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้) และไม่ตัดขยายระยะ (control) ผลการศึกษาพบว่า หลังทำการตัดขยายระยะทันที แปลงที่ตัดขยายระยะจะมีจำนวนต้นไม้อลดลงทำให้ค่าความหนาแน่นของหมู่ไม้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ ในขณะที่ค่าการเติบโต ได้แก่ DBH และความสูงยังไม่แสดงค่าความแตกต่างกันระหว่าง 3 แผนการทดลอง ส่วนค่าปริมาตรของหมู่ไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าแปลงที่ทำการตัดขยายระยะทั้งสองระดับ

หลังการตัดขยายระยะ 2 ปี และ 4 ปี พบว่าค่าการเติบโตทางด้านความสูงในแปลงตัดขยายระยะแบบหนัก มีค่าสูงกว่าในแปลงอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะไม่แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ DBH แสดงค่าสูงกว่าแปลงอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลาง มีค่าสูงกว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะเช่นกัน เนื่องจากจำนวนต้นไม้ในแปลงตัดขยายระยะมีน้อยกว่า ทำให้พื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ในแปลงที่ตัดขยายระยะมีค่าต่ำกว่าในแปลงไม่ได้ตัดขยายระยะ และแปลงที่ตัดขยายระยะแบบหนักจะมีค่าต่ำกว่าในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลางด้วย ส่วนปริมาตรของหมู่ไม้พบว่าในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักแม้ว่าจะมีการเติบโตที่สูงกว่าในแปลงอื่น แต่จำนวนต้นที่เหลือน้อยกว่าทำให้มีค่าต่ำกว่าในแปลงอื่นๆ ในขณะที่แปลงตัดขยายระยะปานกลางแม้ว่าจะมีจำนวนต้นไม้น้อยกว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะแต่ปริมาตรของหมู่ไม้มีค่าสูงที่สุดและแสดงค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบหนัก

ในปี พ.ศ.2558-2559 มีสภาพอากาศที่แห้งแล้งยาวนาน ทำให้ต้นไม้ในแปลงทดลองตายลงจำนวนมาก เมื่อทำการตรวจวัดข้อมูลในปีที่ 6 หลังการตัดขยายระยะพบว่า ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีจำนวนต้นไม้มากที่สุดคือ 57 ต้นต่อไร่ ในขณะที่แปลงตัดขยายระยะแบบปานกลางและแบบหนักมีจำนวนต้นไม้มากที่สุดในพื้นที่ 1 ไร่ เท่ากับ 33 และ 10 ต้น ตามลำดับ จากการตายของต้นไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นต้นที่มีขนาดเล็กและอ่อนแอ ทำให้ค่าการเติบโตของต้นสักในแปลงทดลองทั้ง 3 แผนการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นค่า DBH ที่พบว่าในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักยังคงมีค่า DBH สูงกว่าในแปลงทดลองอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่า ปริมาตรของหมู่ไม้ในแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลางยังให้ค่าที่สูงที่สุดอยู่ แม้ว่าจะไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม (Table 2)

Table 2 Stand characteristics of Den Dan plantation before, just after, 4-year and 6-year after 1st thinning (mean $\pm$ S.D.)

Before 1 st thinning	Treatment											
	Unthinned				Moderate				Heavy			
Stand density (tree rai ⁻¹)	196	$\pm$	0.58	b	195	$\pm$	1.00	ab	193	$\pm$	1.00	a
Mean DBH (cm)	9.99	$\pm$	1.00	a	10.15	$\pm$	1.06	a	10.33	$\pm$	0.81	a
Mean Height (m)	10.44	$\pm$	1.44	a	10.94	$\pm$	1.31	a	11.01	$\pm$	1.00	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	1.60	$\pm$	0.30	a	1.63	$\pm$	0.30	a	1.68	$\pm$	0.23	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	9.25	$\pm$	2.35	a	9.64	$\pm$	2.38	a	9.94	$\pm$	1.79	a
Just after 1 st thinning												
Stand density (tree rai ⁻¹)	196	$\pm$	0.58	c	123	$\pm$	8.98	b	81	$\pm$	4.04	a
Mean DBH (cm)	10.82	$\pm$	0.87	a	11.58	$\pm$	0.58	a	12.17	$\pm$	0.34	a
Mean Height (m)	11.17	$\pm$	1.32	a	12.45	$\pm$	0.48	a	12.54	$\pm$	0.24	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	1.88	$\pm$	0.28	b	1.33	$\pm$	0.21	a	0.93	$\pm$	0.12	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	11.30	$\pm$	2.40	b	8.40	$\pm$	1.49	ab	5.95	$\pm$	0.78	a
2-year after 1 st thinning												
Stand density (tree ha ⁻¹)	181	$\pm$	2.89	c	121	$\pm$	9.87	b	79	$\pm$	6.11	a
Mean DBH (cm)	11.83	$\pm$	0.44	a	12.80	$\pm$	0.62	ab	13.91	$\pm$	0.20	b
Mean Height (m)	12.46	$\pm$	0.94	a	13.22	$\pm$	0.81	a	13.57	$\pm$	0.23	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	2.06	$\pm$	0.11	b	1.59	$\pm$	0.28	ab	1.22	$\pm$	0.12	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	10.48	$\pm$	3.43	ab	13.53	$\pm$	3.26	b	10.60	$\pm$	1.19	a
4-year after 1 st thinning												
Stand density (tree ha ⁻¹)	160	$\pm$	13.00	c	115	$\pm$	7.37	b	78	$\pm$	5.13	a
Mean DBH (cm)	12.49	$\pm$	0.45	a	13.17	$\pm$	0.70	a	14.50	$\pm$	0.18	b
Mean Height (m)	12.83	$\pm$	0.37	a	13.45	$\pm$	0.93	a	13.95	$\pm$	0.11	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	2.02	$\pm$	0.18	b	1.61	$\pm$	0.26	ab	1.31	$\pm$	0.11	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	10.15	$\pm$	1.01	ab	14.11	$\pm$	3.31	b	8.91	$\pm$	0.72	a
6-year after 1 st thinning												
Stand density (tree ha ⁻¹)	103	$\pm$	22.05	a	82	$\pm$	21.00	a	68	$\pm$	4.58	a
Mean DBH (cm)	14.34	$\pm$	0.22	a	15.01	$\pm$	0.29	b	16.11	$\pm$	0.13	c
Mean Height (m)	14.27	$\pm$	0.32	a	14.68	$\pm$	0.91	a	15.18	$\pm$	0.22	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	1.72	$\pm$	0.42	a	1.49	$\pm$	0.40	a	1.42	$\pm$	0.11	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	9.12	$\pm$	1.97	a	11.99	$\pm$	3.72	a	9.79	$\pm$	0.70	a
Thinning ratio (1 st thinning)												
No. of tree (%)			0.00				36.91				58.20	
Basal area (%)			0.00				30.32				51.73	

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 ($p < 0.05$).

เมื่อทำการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 ในปีที่ 6 หลังการตัดขยายระยะครั้งแรก หรือเมื่อต้นไม้มีอายุ 14 ปี ทำการตัดขยายระยะร้อยละ 20 ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ เฉพาะในแปลงที่ได้ทำการตัดขยายระยะครั้งที่ 1 ร้อยละ 30 ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ ผลการศึกษาพบว่าหลังการตัดขยายระยะทันที ทำให้ค่าความหนาแน่นของหมู่ไม้ของแปลงที่ทำการตัดขยายระยะมีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ ในขณะที่ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบหนักยังมีค่าสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลาง 2 ครั้ง ส่วนค่าอื่น ๆ แม้ว่าแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะจะมีค่าน้อยที่สุด แต่ไม่ได้แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงที่ตัดขยายระยะทั้งสองแปลง โดยหลังการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 ไปแล้ว 2 ปี ค่าต่าง ๆ ยังคงปรากฏเช่นเดียวกับหลังตัดขยายระยะครั้งที่ 2 ทันที (Table 3)

Table 3 Stand characteristics of Den Dan plantation before, just after, 1-year and 2-year after 2nd thinning (mean $\pm$ S.D.)

Before 2 nd thinning	Treatment											
	Unthinned				Moderate				Heavy			
Stand density (tree rai ⁻¹)	103	$\pm$	22.05	a	82	$\pm$	21.00	a	68	$\pm$	4.58	a
Mean DBH (cm)	14.34	$\pm$	0.22	a	15.01	$\pm$	0.29	b	16.11	$\pm$	0.13	c
Mean Height (m)	14.27	$\pm$	0.32	a	14.68	$\pm$	0.91	a	15.18	$\pm$	0.22	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	1.72	$\pm$	0.42	a	1.49	$\pm$	0.40	a	1.42	$\pm$	0.11	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	9.12	$\pm$	1.97	a	11.99	$\pm$	3.72	a	9.79	$\pm$	0.70	a
Just after 2 nd thinning												
Stand density (tree rai ⁻¹)	99	$\pm$	20.21	b	59	$\pm$	15.62	a	68	$\pm$	5.13	ab
Mean DBH (cm)	15.12	$\pm$	0.32	a	16.99	$\pm$	0.27	b	17.06	$\pm$	0.05	b
Mean Height (m)	14.81	$\pm$	0.49	a	15.45	$\pm$	1.05	a	15.39	$\pm$	0.04	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	1.85	$\pm$	0.45	a	1.34	$\pm$	0.33	a	1.59	$\pm$	0.12	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	9.96	$\pm$	1.92	a	11.01	$\pm$	3.33	a	11.05	$\pm$	0.78	a
2-year after 2 nd thinning												
Stand density (tree ha ⁻¹)	97	$\pm$	18.33	b	58	$\pm$	16.29	a	68	$\pm$	5.03	ab
Mean DBH (cm)	15.97	$\pm$	0.28	a	18.24	$\pm$	0.52	b	18.07	$\pm$	0.07	b
Mean Height (m)	15.80	$\pm$	0.37	a	16.47	$\pm$	0.99	a	16.76	$\pm$	0.34	a
Stand Basal Area (m ² rai ⁻¹)	2.02	$\pm$	0.45	b	1.53	$\pm$	0.33	a	1.78	$\pm$	0.12	a
Stand Volume (m ³ rai ⁻¹)	11.40	$\pm$	2.32	a	13.09	$\pm$	3.43	a	12.20	$\pm$	2.71	a
Thinning ratio (2 nd thinning)												
No. of tree (%)	0.00				30.00				0.00			
Basal area (%)	0.00				20.00				0.00			

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 ($p < 0.05$).

ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดรายต้น พบว่าในแปลงตัดขยายระยะหนักรจะมีค่าสูงที่สุดตั้งแต่ 1 ปี หลังการตัดขยายระยะ และแสดงค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากแปลงที่ทำการตัดขยายระยะแบบปานกลางและไม่ตัดขยายระยะในปีที่ 6 หลังการตัดขยายระยะ และเมื่อหลังทำการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 ในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลาง (ปีที่ 7) พบว่าแปลงที่ตัดขยายระยะทั้ง 2 แบบ มีค่าใกล้เคียงและไม่แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และปรากฏได้ชัดเจนว่าแปลงที่ไม่ทำการตัดขยายระยะจะมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัดรายต้นต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 1)

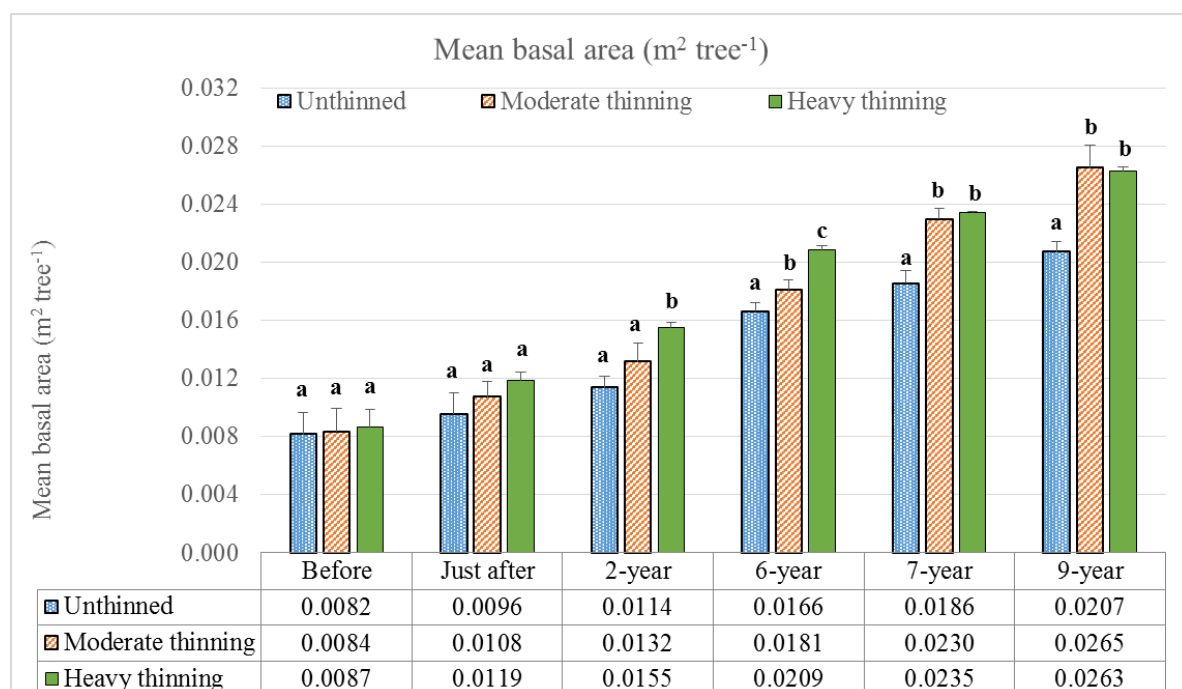


Figure 1 Mean basal area of Den Dan plantation before, just after, 6-year, 7-year and 9-year after thinning

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.

ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาตรรายต้น พบว่าหลังตัดขยายระยะ 2 ปี ในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะจะมีค่าต่ำที่สุด ส่วนในแปลงทดลองตัดขยายระยะปานกลางและแบบหนักมีค่าใกล้เคียงกันและไม่แสดงค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะถึงปีที่ 6 แต่เมื่อทำการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 ในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลาง พบว่าในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะแบบปานกลางให้ค่าปริมาตรเฉลี่ยรายต้นสูงกว่าในแปลงตัดขยายระยะแบบหนัก (Figure 2) แม้ว่าในปีที่ 9 ค่าจะไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติก็ตาม จากผลการศึกษาทำให้สรุปได้ว่าการตัดขยายระยะทำให้ต้นไม้มีขนาดความโตเพิ่มมากขึ้น การตัดขยายระยะด้วยความหนักปานกลาง และทำการตัดขยายระยะ 2 ครั้ง จะส่งเสริมให้ต้นไม้มีขนาดความโตและปริมาตรรายต้นเพิ่มมากขึ้นด้วย

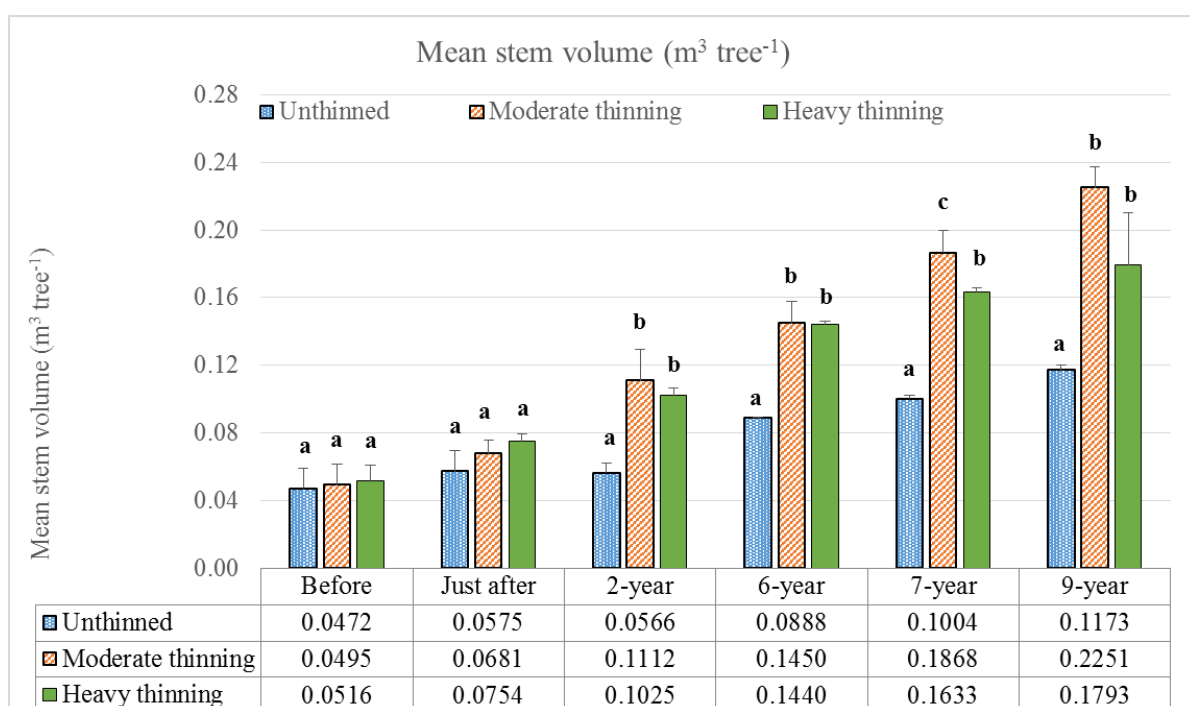
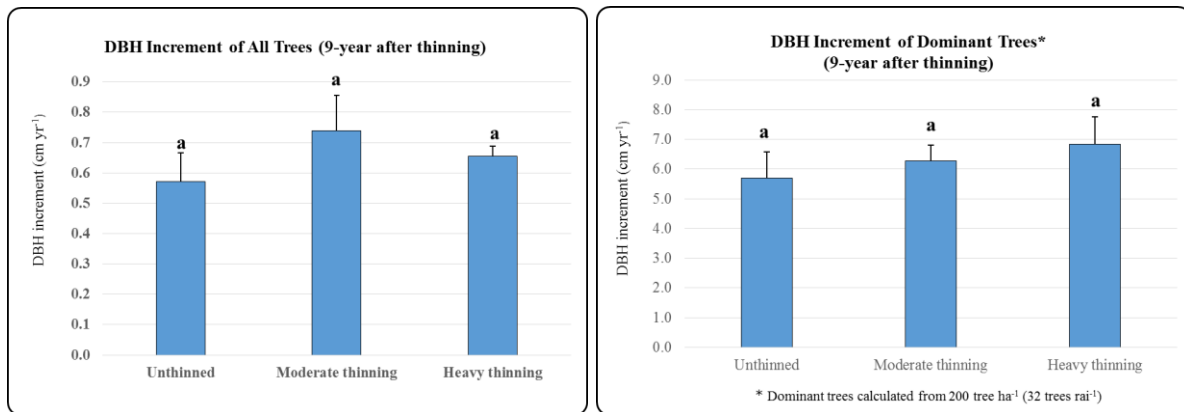


Figure 2 Mean stem volume of Den Dan plantation before, just after and after thinning

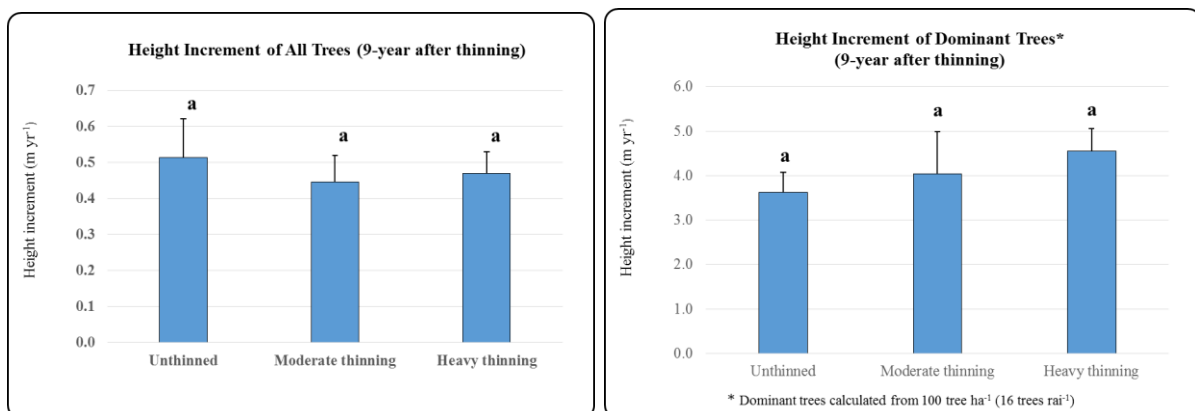
จากการคำนวณความเพิ่มพูนรายปีด้าน DBH เฉลี่ยต่อต้นของต้นสักทั้งหมดในพื้นที่หลังตัดขยายระยะ 9 ปี พบว่าสักในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลางมีความเพิ่มพูนสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แปลงตัดขยายระยะปานกลาง และแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อพิจารณาความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ยของ DBH เฉพาะในต้นที่มีชั้นเรือนยอดเด่นในพื้นที่ พบว่าในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักยังมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แปลงตัดขยายระยะแบบปานกลาง และแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ ตามลำดับ และไม่พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับความเพิ่มพูนรายปีในต้นไม้ทั้งหมด ผลการศึกษานี้แสดงว่าการตัดขยายระยะและความหนักเบาของการตัดขยายระยะยังไม่ได้มีผลต่อความเพิ่มพูนรายปีในด้าน DBH อย่างชัดเจน (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 3 Mean annual DBH increment of all trees and dominant trees of Den Dan plantation

เมื่อพิจารณาความเพิ่มพูนรายปีด้านความสูงเฉลี่ยต่อต้นในต้นสักทั้งหมดในพื้นที่พบว่าในแปลงไม่ตัดขยายระยะมีค่าสูงที่สุด รองลงมาได้แก่ แปลงตัดขยายระยะแบบหนัก และแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลางตามลำดับ ในขณะที่เมื่อพิจารณาเฉพาะต้นที่มีชั้นเรือนยอดเด่นพบว่าความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ยด้านความสูงมีค่ามากกว่าในแปลงตัดขยายระยะแบบหนัก แปลงไม่ตัดขยายระยะ และแปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลางตามลำดับ อย่างไรก็ตามความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ยของสักทั้งหมดและเฉพาะในต้นที่มีชั้นเรือนยอดเด่นในแปลงทดลองทั้งสาม ไม่พบค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แม้ว่าความเพิ่มพูนรายปีทั้งด้าน DBH และความสูงในต้นที่มีชั้นเรือนยอดเด่นในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มสูงกว่าในแปลงอื่นก็ตาม (Figure 4) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการตัดขยายระยะและระดับความหนักเบาของการตัดขยายระยะยังไม่มีผลกระทบที่ชัดเจนต่อความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ยทางด้าน DBH และความสูงของหมู่ไม้



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 annual height increment of all trees and dominant trees of Den Dan plantation

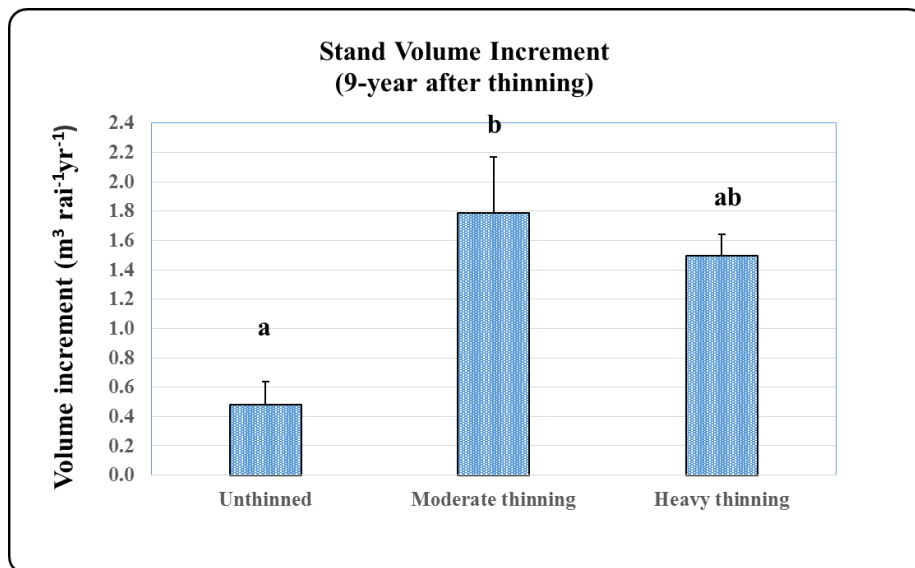
2. ผลของการตัดขยายระยะต่อผลผลิตของหมู่ไม้

ผลผลิตด้านปริมาตรของสักรั้วทั้งหมดในแปลง ประกอบด้วย ปริมาตรของสักรั้วที่ถูกตัดขยายระยะออกจากพื้นที่ ปริมาตรของต้นสักรั้วที่ตาย และปริมาตรที่มีอยู่ในปัจจุบัน ใน Table 4 แสดงผลผลิตด้านปริมาตรของสักรั้วหลังการตัดขยายระยะ 9 ปี พบว่าปริมาตรทั้งหมดมีค่าสูงที่สุดในแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลาง รองลงมาได้แก่ แปลงตัดขยายระยะแบบหนักและแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะ ตามลำดับ ในช่วงระยะเวลาระหว่างปีที่ 4-5 มีสภาพอากาศที่แห้งแล้งรุนแรงและมีระยะเวลายาวนาน ทำให้มีต้นไม้ในแปลงทดลองตายจำนวนมาก โดยจำนวนต้นไม้ที่ตายมากที่สุดพบในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ คือ 97 ต้น เนื่องมาจากการแก่งแย่งอย่างรุนแรงซึ่งตรงกันข้ามกับในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักซึ่งมีจำนวนต้นไม้ที่ตายน้อยที่สุด คือ 12 ต้น จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ปริมาตรรวมในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักมีค่าแตกต่างจากแปลงตัดขยายระยะปานกลางเล็กน้อย และแปลงตัดขยายระยะทั้งสองแบบมีปริมาตรรวมมากกว่าแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะ สรุปได้ว่าการตัดขยายระยะเป็นการป้องกันการตายของต้นไม้จากการแก่งแย่งเมื่อหมู่ไม้มีอายุมากขึ้น แม้ว่าจำนวนต้นไม้จะมีจำนวนน้อยกว่าจากการที่ถูกตัดออกไป แต่ปริมาตรรวมยังมีค่าสูงกว่ามาก

Table 4 Stand volume production (m^3) in stands with different thinning intensities of Den Dan plantation

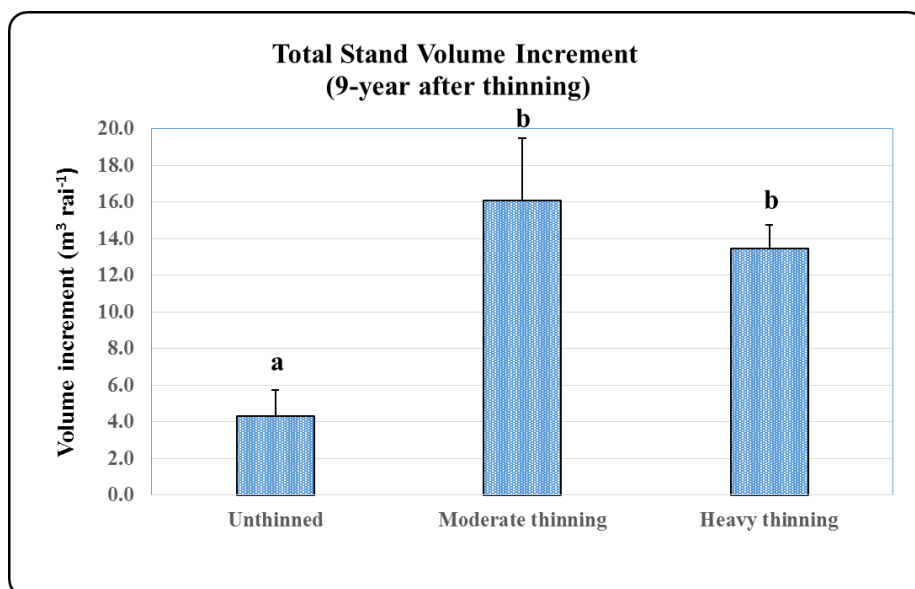
Treatment	Volume of thinned trees			Volume of dead trees	Current volume production	Total volume production	No. of dead trees (tree)
	1st	2nd	Total				
Unthinned	0.00	0.00	0.00	4.20	11.40	15.60	97
Moderate thinning	3.41	2.50	5.91	3.00	13.09	27.91	40
Heavy thinning	6.43	0.00	6.43	0.79	12.20	25.85	12

การเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้พบมากที่สุดในการตัดขยายระยะแบบปานกลาง รองลงมาคือแปลงตัดขยายระยะแบบหนัก และแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ ตามลำดับ โดยในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะทั้งสองระดับมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลางกับแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะเท่านั้น (Figure 5) ส่วนความเพิ่มพูนของปริมาตรรวมของหมู่ไม้พบสูงที่สุดในแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลาง รองลงมาได้แก่ แปลงที่ทำการตัดขยายระยะแบบหนัก และแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ ตามลำดับ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างแปลงตัดขยายระยะแบบปานกลางกับแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะเท่านั้น (Figure 6) จากผลการศึกษาในครั้งนี้ การตัดขยายระยะแบบปานกลางน่าจะได้ผลดีกว่าการตัดขยายระยะแบบหนัก แต่ควรทำการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 เพื่อลดการแก่งแย่งของต้นไม้ในแปลง จะเห็นได้ว่าหลังการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 แปลงตัดขยายระยะแบบปานกลางมีค่าผลผลิตสูงมากกว่าในแปลงตัดขยายระยะแบบหนัก



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 of Den Dan plantation



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 6 Total stand volume production of Den Dan plantation

ความเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้ในแปลงตัดขยายระยะและแปลงไม่ตัดขยายระยะในเวลา 9 ปี หลังการตัดขยายระยะได้ถูกคำนวณโดยใช้ฐานของความเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรของหมู่ไม้ในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ โดยคาดว่าความเพิ่มพูนรายปีจะมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นของการตัดขยายระยะเพิ่มขึ้น ซึ่งผลปรากฏว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้ในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะแล้ว การตัดขยายระยะแบบหนัก การตัดขยายระยะแบบปานกลางจะทำให้ความเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้ลดลงร้อยละ 9.04 และร้อยละ 27.43 ตามลำดับ และการไม่ตัดขยายระยะเลยจะทำให้ความเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรหมู่ไม้ลดลงร้อยละ 74.63 การตัดขยายระยะแบบปานกลาง และทำ 2 ครั้ง ให้ค่าความเพิ่มพูนรายปีของปริมาตรของหมู่ไม้ลดลงน้อยที่สุด (Table 5)

Table 5 Decrease of annual stand volume increment of Den Dan plantation

Treatment	Annual stand volume increment (m ³ rai ⁻¹ year ⁻¹)		
	Just after thinning	9-year after thinning	Volume of increment (%)
Unthinned	1.88	0.48	-74.63
Moderate thinning	1.97	1.79	-9.04
Heavy thinning	2.06	1.50	-27.43

เป็นที่ยอมรับกันในการป่าไม่ว่าการตัดขยายระยะจะเป็นการเพิ่มขนาดความโตของต้นไม้และลดการตายหมู่ไม้ที่เหลือ จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการตัดขยายระยะแบบเลือกตัดต้นเล็กหรืออ่อนแอออกก่อน (Low thinning) ผลจากการแสดงให้เห็นว่า การตัดขยายระยะมีผลต่อการเติบโตและผลผลิตของสวนป่าสัก เช่นเดียวกับการศึกษาเรื่องการตัดขยายระยะในประเทศอื่น โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นสักมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะห่างที่เพิ่มมากขึ้นของหมู่ไม้หลังจากการตัดขยายระยะ (Ola-Adams, 1990, Kanninen *et.al.*, 2004) เช่นเดียวกับการศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อดินและการเติบโตของสักในสวนป่าของ Zhang *et.al.* (2021) พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและปริมาตรรายต้นเพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของการตัดขยายระยะ พื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของหมู่ไม้ในแปลงตัดขยายระยะมีค่าสูงกว่าในแปลงควบคุม การตัดขยายระยะแบบหนักความเพิ่มพูนรายปีจะมากที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับแปลงควบคุม และได้เสนอแนะว่าการตัดขยายระยะในสวนสักอายุ 15 ปี ความหนาแน่นที่เหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 40-45 ในขณะที่ Zuhaidi *et.al.* (2011) พบว่าผลในระยะแรกของการตัดขยายระยะให้เหลือ 200 ต้นต่อเฮกแตร์ จะทำให้เกิดปริมาตรสุดท้ายที่เหมาะสมที่สุด

จากผลการศึกษาอาจไม่ได้แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในบางค่า ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นในการตัดขยายระยะอาจน้อยเกินไป รวมทั้งการตายของต้นไม้ในช่วงที่มีฤดูแล้งยาวนาน ทำให้ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตและผลผลิตยังไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามการตายของต้นไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีจำนวนมากอย่างเห็นได้ชัดเกินกว่าแปลงที่ทำการตัดขยายระยะ

2. ผลของการตัดขยายระยะต่อรูปทรงของต้นไม้

รูปทรงของลำต้นที่ทำการศึกษา ได้แก่ ค่า Live crown ratio และ ค่า Slenderness ratio ซึ่งแสดงถึงเสถียรภาพ (stability) ของต้นไม้ ค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงของเรือนยอดกับความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (Live crown ratio) เป็นค่าที่แสดงถึงลักษณะของต้นไม้ โดยทั่วไปเรือนยอดของต้นไม้ใบแคบจะมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 เพื่อให้ต้นไม้มีเรือนยอดที่แข็งแรงและสามารถผลิตอาหารและเติบโตได้เต็มที่ ค่า Slenderness สูงหมายความว่าต้นไม้มีความไถ่น้อยแต่มีความสูงมาก ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการโค่นล้มหรือถูกทำลายได้ง่าย โดยเฉพาะในบริเวณที่มีพายุโดยทั่วไปในไม้ใบแคบ พวกสน มีการศึกษาพบว่าหากค่า Slenderness สูงเกินกว่า ร้อยละ 100 ต้นไม้จะมีอัตราความเสี่ยงสูง ในสัณฐานยังไม่มีการศึกษาค่า Slenderness ที่เหมาะสม แต่กรณีที่มีค่า Slenderness ร้อยละ 100 หรือมากกว่าจะมีความเสี่ยงสูงในการโค่นล้มเช่นกัน และค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรที่แท้จริงของต้นไม้กับปริมาตรของรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูงเพียงอก หรือที่ระดับความสูง 1.30 เมตรของต้นไม้ (Artificial form factor)

การศึกษาพบว่าหลังการตัดขยายระยะ ค่า Live crown ratio ในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักมีค่าสูงกว่าในแปลงตัดขยายระยะปานกลางและแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะ และพบว่ามีค่าสูงกว่าอย่างเด่นชัดในปีที่ 2 หลังการตัดขยายระยะ แปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะแสดงค่าต่ำสุด ซึ่งจะมีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ ในปีที่ 3 และ ปีที่ 5 หลังการตัดขยายระยะพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะระหว่างแปลงตัดขยายระยะแบบหนักกับแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะ ในปีที่ 7 หลังการตัดขยายระยะครั้งที่ 1 และ 1 ปี หลังจากการตัดขยายระยะครั้งที่ 2 พบว่า ค่า Live crown ratio ในแปลงที่ตัดขยายระยะครั้งที่ 2 มีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการทำการตัดต้นที่มีขนาดเล็กออก ในขณะที่แปลงควบคุมมีต้นไม้ตาย และมีค่าลดลงในปีที่ 9 ซึ่งในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักกลับมามีค่าสูงที่สุดเช่นเดิม แต่ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 7)

ในทางกลับกันจะพบว่าค่า Slenderness ในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักจะมีค่าต่ำกว่าในแปลงอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่หลังจากการตัดขยายระยะ และในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะจะมีค่าสูงกว่าในแปลงอื่นๆ เนื่องจากในแปลงที่ไม่มีการจัดการต้นไม้ที่ขึ้นกันอย่างหนาแน่นจะมีความสามารถในการเติบโตทางด้านความโตได้น้อยลง ในปีที่ 2 หลังการตัดขยายระยะ ในแปลงที่ตัดขยายระยะแบบหนักทำให้ค่า Slenderness มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 100 ในขณะที่แปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลางและไม่ตัดขยายระยะเลย มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 100 ในปีที่ 6 หลังการตัดขยายระยะ เนื่องจากมีต้นไม้ขนาดเล็กตายไปด้วยภาวะการแห้งแล้งอย่างยาวนาน การตัดขยายระยะครั้งที่ 2 ทำให้แปลงที่ตัดขยายระยะแบบปานกลางมีค่า Slenderness ต่ำกว่าร้อยละ 100 ในที่สุดท้ายของการศึกษาพบว่าทุกแปลงทดลองมีค่า Slenderness ต่ำกว่า ร้อยละ 100 โดยในแปลงควบคุมยังคงมีค่าสูงที่สุด แต่ไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกแผนการทดลอง (Figure 8)

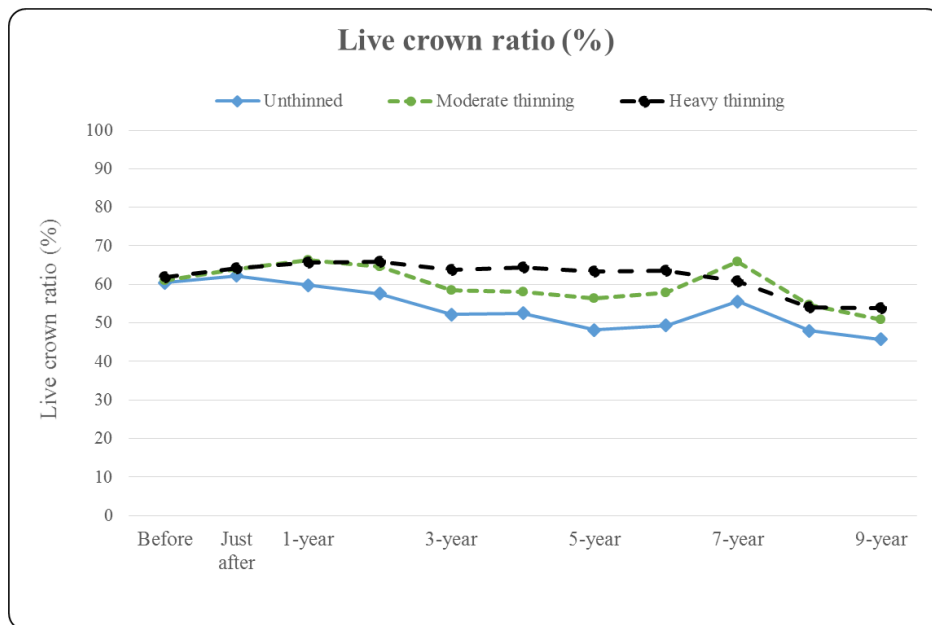


Figure 7 Live-crown ratio before and after thinning of Den Dan plantation

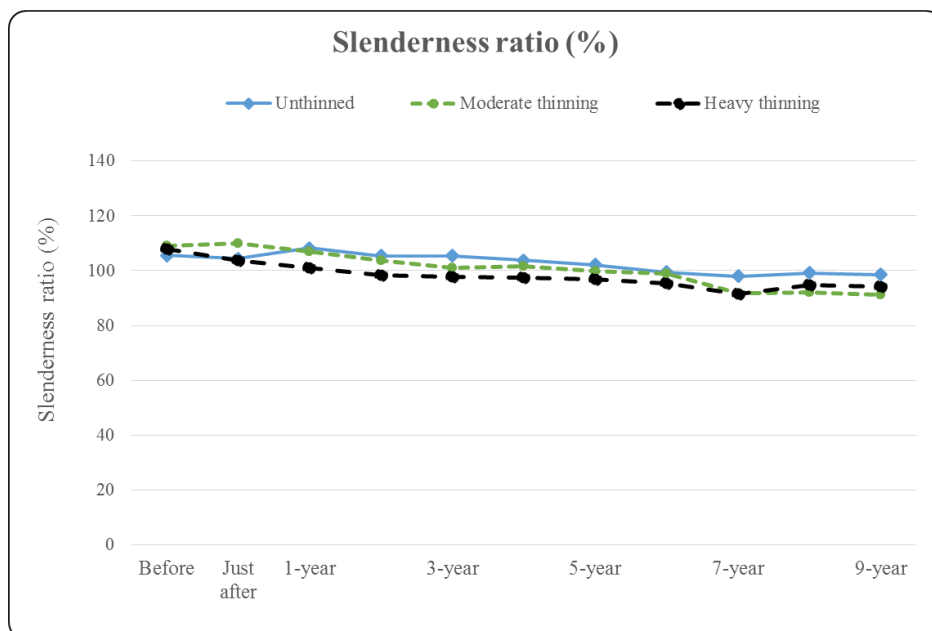
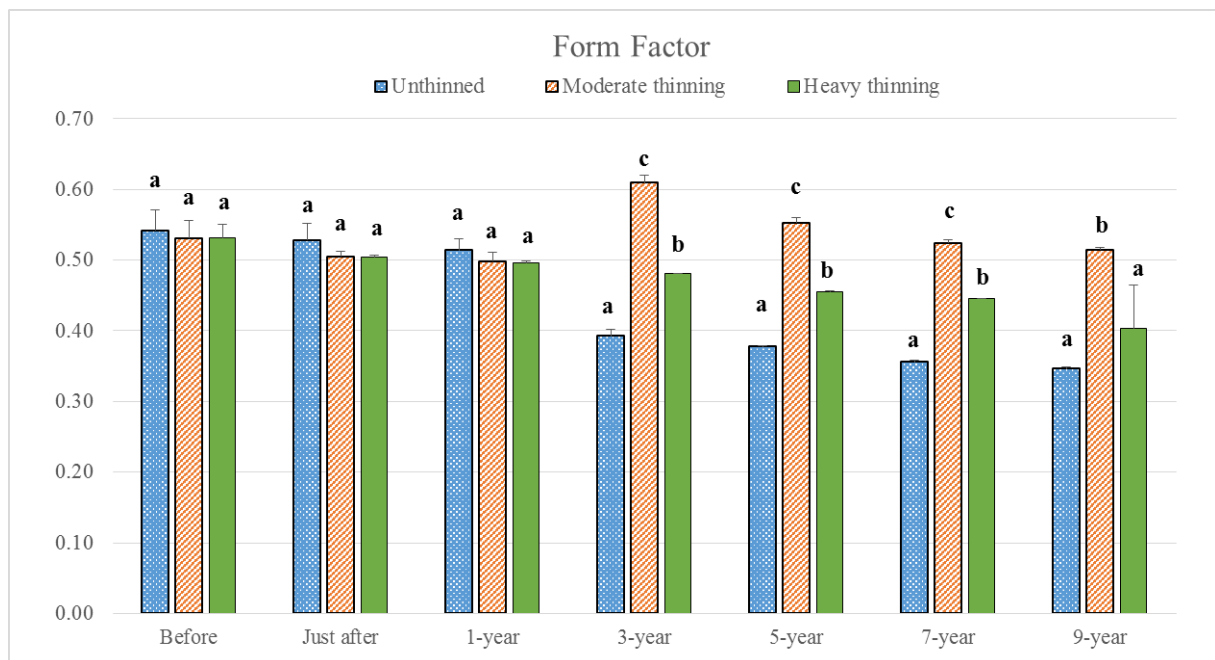


Figure 8 Slenderness ratio before and after thinning of Den Dan plantation

ผลของการตัดขยายระยะต่อค่า Artificial form factor พบว่าในแปลงที่ไม่ได้ตัดขยายระยะจะมีค่าลดลง และมีค่าต่ำกว่าแปลงที่ตัดขยายระยะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และในแปลงที่ตัดขยายระยะปานกลางมีค่าสูงสุด และสูงกว่าแปลงที่ตัดขยายระยะแบบหนักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในปีสุดท้ายของการศึกษาพบว่าค่า Artificial form factor ในแปลงตัดขยายระยะแบบหนักมีค่าลดลงมาใกล้เคียงกับแปลงที่ไม่ตัดขยายระยะ เนื่องจากต้นไม้มีความสูงค่อนข้างแตกต่างกันจากการที่เกิดยอดแห้งทำให้ความสูงของบางต้นมีค่าลดลง จากข้อมูลแสดงได้ว่าการตัดขยายระยะและความหนักเบาของการตัดขยายระยะมีผลต่อค่า Artificial form factor (Figure 9)



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 9 Artificial form factor before and after thinning of Den Dan plantation

ค่า Live Crown Ratio : LCR คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของเรือนยอดกับความสูงของต้นไม้ ถึงค่านี้แสดงถึงความแข็งแรงของต้นไม้ ในสัปดาห์มีการศึกษาในเรื่องนี้ แต่ในไม้ Douglas-fir ถ้ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 แสดงว่าต้นไม้มีความแข็งแรงน้อย ส่วนไม้สน (Southern pines) พบว่า LCR มีค่ามากกว่าร้อยละ 33 จะเหมาะต่อการเติบโต (Zhao *et.al.*, 2012) Harrington (2000) และ Smith (1988) พบว่าความแข็งแรงของต้นไม้และการเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะรักษาไว้ได้เมื่อค่า LCR เท่ากับร้อยละ 40 หรือมากกว่า ค่า LCR ยังเป็นค่าที่ใช้กำหนดการสำหรับการตัดขยายระยะ โดยการตัดขยายระยะควรดำเนินการก่อนที่เรือนยอดจะมีขนาดเล็กเกินไป ในไม้ใบกว้างหลายชนิดคือก่อนค่า LCR จะลดลงไปถึงร้อยละ 30-40 และสำหรับไม้สนควรทำการตัดขยายระยะก่อนที่ LCR จะมีค่าร้อยละ 40-50 (Evan, 1992) ซึ่งจากผลการศึกษาหากอ้างอิงจากผลงานวิจัยของไม้ใบกว้างที่ผ่านมา พบว่าทุกหน่วยทดลองยังมีค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30-40 หรือยังไม่ถึงกำหนดระยะเวลาของการตัดขยายระยะ อย่างไรก็ตามจะแสดงแนวโน้มของการลดลงอย่างต่อเนื่อง (หากไม่มีต้นไม้ตายไปตามธรรมชาติ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงควบคุมและแปลงที่ทำการตัดขยายระยะแบบปานกลาง ดังนั้นในการจัดการสวนป่าสักแห่งนี้ควรมีการวางแผนสำหรับระยะเวลาที่จะต้องทำการตัดขยายระยะอีกครั้ง

Penner *et.al.* (2001) และ Harja *et.al.* (2012) รายงานว่าต้นไม้ในหมู่ไม้ที่มีความหนาแน่นมีแนวโน้มที่จะมีค่า Slenderness สูงกว่าในหมู่ไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่า เนื่องจากการแก่งแย่งแสงระหว่างต้นไม้มีมากกว่าในหมู่ไม้ที่หนาแน่นมาก Maguruder *et.al.* (2012) ตั้งข้อสังเกตว่าในหมู่ไม้ที่มีความหนาแน่นสูงการเติบโตทางด้านความสูงจะเพิ่มมากขึ้นกว่าความโต ซึ่งเป็นผลมาจากข้อจำกัดของช่องว่างสำหรับการเติบโต พื้นที่หน้าตัดของต้นไม้จะมีความสัมพันธ์ในทางลบกับค่า Slenderness ดังนั้นหากพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้มีค่ามากขึ้น สัดส่วนของต้นไม้ที่เสี่ยงต่อการโค่นล้มจากพายุจะลดลง Rudnicki *et al.*, (2004) กล่าวว่าในสวนป่าหากมีค่า Slenderness สูงเกินกว่า 80 จะมีแนวโน้มที่จะได้รับความเสี่ยงจากการถูกลมพัดและต้นไม้หักโค่น ในขณะที่ James (2010) และ Šebeň *et al.* (2013) กล่าวว่าถ้าค่าเกินกว่า 100 โดยทั่วไปต้นไม้จะมีความมั่นคงต่ำและมีโอกาสหักด้วยน้ำหนักของต้นไม้ตัวเอง ต้นไม้ในป่าที่มีค่าต่ำกว่า 80 นับว่ามีเสถียรภาพที่ดีเยี่ยม (Smudla, 2004; Slodicak and Novak, 2006; Kontogianni *et al.*, 2011) สำหรับต้นไม้ในเมืองควรมีค่าอยู่ที่ 50 (Mattheck *et.al.*, 2003) ในประเทศไทยมีการศึกษาในเรื่อง Slenderness กันน้อยมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในไม้สัก จึงไม่สามารถกำหนดค่าที่ควรระวังการโค่นล้มของต้นไม้ได้ แต่ในภาพรวมของการศึกษาจะเห็นได้ว่าทุกหน่วยทดลองยังมีค่า Slenderness ต่ำกว่า 100 การตัดขยายระยะรวมทั้งการตายจากสาเหตุธรรมชาติในแปลงควบคุมทำให้ค่า Slenderness ลดลง แต่อย่างน้อยก็ยังไม่มีเสถียรภาพที่ดีเยี่ยม จึงอาจมีความเสี่ยงต่อการโค่นล้มอยู่เช่นกัน

เนื่องจาก Artificial form factor เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรที่แท้จริงของต้นไม้กับปริมาตรของรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับความสูงเพียงอก หากมีค่าสูงแสดงว่าปริมาตรของต้นไม้ไม่แตกต่างจากปริมาตรของรูปทรงกระบอก ไม่พบการศึกษา Artificial form factor ในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในไม้สัก การศึกษาในต่างประเทศจะพบรายงานแต่ความสำคัญของค่า form factor แต่พบน้อยมากที่จะแสดงผลที่ระบุว่าค่าที่เหมาะสมมีค่าเป็นเท่าไร แต่ค่า form factor ที่สูงกว่าในแปลงที่ทำการตัดขยายระยะ เป็นการบ่งชี้ว่าต้นสักมีความโตมากกว่าในแปลงควบคุม และการตัดขยายระยะแบบปานกลาง แต่ทำการตัดขยายระยะ 2 ครั้ง จะให้ค่าความโตของต้นสักสูงกว่าการตัดขยายระยะแบบหนักครั้งเดียว

การทดลองลิดกิ่ง

1. ผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของต้นสัก

การลิดกิ่งและการตัดขยายระยะทำให้ต้นไม้มีการเติบโตเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปีที่สองหลังการตัดขยายระยะร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้ พบว่ามีการเติบโตเพิ่มมากขึ้นทั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง จากผลการศึกษาพบว่า การลิดกิ่งไม่ได้ส่งผลต่อการเติบโตของต้นสักทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง จึงไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่างการลิดกิ่งที่ระดับต่างๆ กัน แต่มีแนวโน้มว่าการลิดกิ่งที่ระดับ 6 เมตร จากพื้นดินจะให้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกสูงที่สุด รองลงมาเป็นการที่ไม่ได้ทำการลิดกิ่ง โดยที่การลิดกิ่งที่ระดับ 7 เมตร จากพื้นดิน จะให้ค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกต่ำที่สุด เช่นเดียวกับค่าความสูงของต้นไม้ การลิดกิ่งที่ระดับ 7 เมตร จากพื้นดินให้ค่าความสูงต่ำกว่าการลิดกิ่งที่ระดับอื่น (Figure 10) ทั้งนี้เนื่องมาจากมาจากการลิดกิ่งเป็นการลดพื้นที่การสังเคราะห์แสงของต้นไม้ อาจส่งผลต่อการเติบโตของต้นไม้ ในการศึกษาการลิดกิ่งของ *Pinus elliottii* ในประเทศบราซิลแนะนำว่าการลิดกิ่งควรไม่เกินร้อยละ 40 ของความสูงของต้นไม้ (Schneider *et.al.*, 1999) งานวิจัยใน Europe และ North America กล่าวว่า การลิดกิ่งเกินกว่า 1 ใน 3 ของเรือนยอดจะลดการเติบโตทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง ในขณะที่การศึกษาของ Uotila and Mustonen (1994) ใน Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) พบว่าการเติบโตของต้นไม้อาจลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (เส้นผ่านศูนย์กลางจะลดลง ร้อยละ 33 เมื่อเปรียบเทียบกับ control) เมื่อทำการลิดกิ่งร้อยละ 40 หรือมากกว่าของเรือนยอด ดังนั้นโดยทั่วไปการลิดกิ่งในสวนป่าจะแนะนำให้ทำในระดับถึงร้อยละ 50 ของความสูงของต้นไม้หลังจากการตัดขยายระยะครั้งแรก (Keogh, 1987; Chaves and Fonseca, 1991)

จากการศึกษาครั้งนี้ความสูงเฉลี่ยของต้นสักในแปลงทดลองก่อนการทดลองมีความสูง 12.72 เมตร การลิดกิ่ง 7 เมตร หรือเท่ากับ ร้อยละ 55.03 ของความสูงทั้งหมดของต้นไม้ ซึ่งเกินกว่าร้อยละ 50 ดังในคำแนะนำของการศึกษาอื่น ๆ อาจกล่าวได้ว่าการลิดกิ่งที่ระดับความสูง 7 เมตร อาจไม่มีความจำเป็นเนื่องจากไม่ได้ทำให้ค่าการเติบโตของสักแตกต่างจากระดับความสูงอื่น ๆ และมีแนวโน้มทำให้ค่าการเติบโตต่ำกว่าด้วย และผลของการลิดกิ่งต่อการเติบโตของสักอาจกล่าวได้ว่า การลิดกิ่งไม่ได้ส่งผลต่อการเติบโตของสักเจ้าของสวนป่าอาจต้องทำการพิจารณาเนื่องจากการลิดกิ่งเป็นการดูแลที่ต้องมีค่าใช้จ่าย และต้องใช้แรงงานที่มีความชำนาญสูง รวมทั้งต้องการเครื่องมืออุปกรณ์พิเศษ หากเลือกสักพันธุ์ที่มีกิ่งก้านน้อย หรือมีกิ่งขนาดเล็ก ก็ไม่จำเป็นต้องทำการลิดกิ่ง

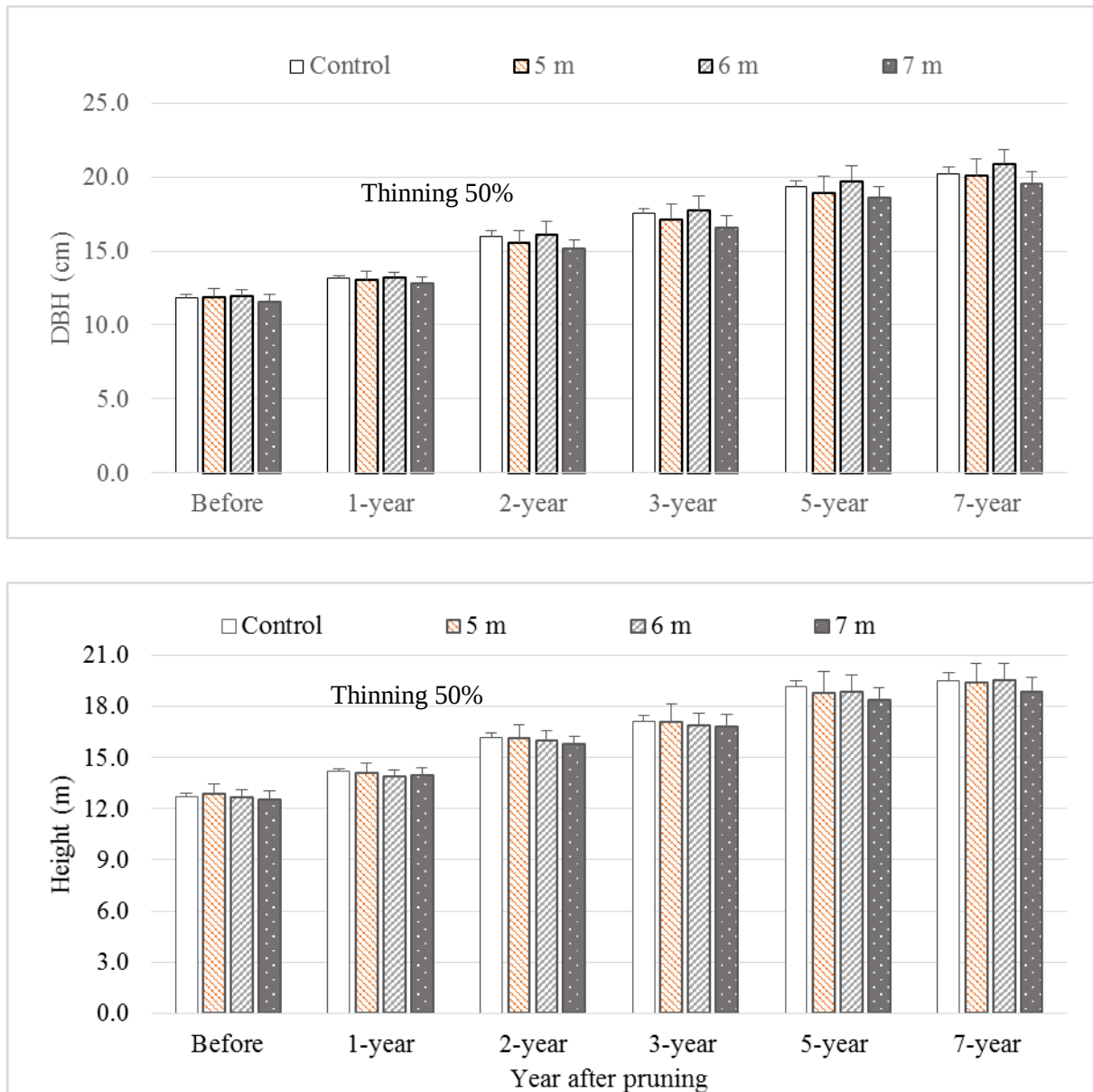


Figure 10 DBH and Height of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province

2. ผลของการลิดกิ่งต่อผลผลิตของต้นไม้และหนุ่ไม้สัก

เมื่อพิจารณาปริมาตรรายต้นก่อนและหลังการทดลองลิดกิ่ง ไม่พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในระหว่าง การลิดกิ่งที่ระดับความสูงต่าง ๆ กัน โดยปริมาตรรายต้นจะมีการเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยจะเพิ่มมากหลังการตัดขยายระยะ (ร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดของหนุ่ไม้) อย่างไรก็ตามจากหลัง การศึกษา 7 ปี พบว่าปริมาตรรายต้นของสักในแปลงทดลองลิดกิ่งที่ระดับ 6 เมตร จากพื้นดิน มีแนวโน้มค่าจะ สูงที่สุด ในขณะที่การลิดกิ่งที่ระดับ 7 เมตร จากพื้นดินมีค่าต่ำสุด ส่วนปริมาตรของหนุ่ไม้จะมีค่าลดลงหลังการ ตัดขยายระยะ เนื่องจากมีต้นไม้ที่ถูกตัดออกไป ทำให้มีจำนวนลดลงกว่าก่อนทำการตัดขยายระยะ และจากผล การศึกษาพบว่า เมื่อทำการตัดขยายระยะไปแล้ว 5 ปี ปริมาตรของหนุ่ไม้มีค่ากลับมาเท่ากับปริมาตรของหนุ่ไม้ ก่อนการตัดขยายระยะ (Figure 11) จากผลดังกล่าวอาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า การลิดกิ่งที่ระดับต่าง ๆ ไม่ส่งผล กระทบต่อผลผลิตทั้งในด้านปริมาตรรายต้นและปริมาตรของหนุ่ไม้

การศึกษาลำยคลึงกับผลของการลิดกิ่งต่อผลผลิตของสักในสวนป่าที่ Costa Rica (Viquez and Pérez, 2005) ที่พบว่าปริมาตรของหนุ่ไม้ในปีที่ 3.2 หลังการทดลองลิดกิ่งจะแสดงความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติระหว่าง control กับ ลิดกิ่งที่ 4 เมตรและ 5 เมตร แต่เมื่อทำการตัดขยายระยะไปแล้วข้อมูล ในปีที่ 7.3 ปี ไม่พบค่าความแตกต่างของปริมาตรของหนุ่ไม้ในทุกการทดลอง แต่ยังเห็นความแตกต่างอยู่ใน ระหว่าง 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Control กับ ลิดกิ่ง 3 เมตร และกลุ่มลิดกิ่ง 4 เมตร และ 5 เมตร โดยในกลุ่มหลังจะ มีค่าต่ำกว่าในกลุ่มแรก แสดงว่าการลิดกิ่งที่ระดับสูงจะส่งผลต่อการเติบโตและผลผลิตของสักเช่นกัน

3. ผลของการลิดกิ่งต่อรูปทรงของต้นไม้

ในส่วนลักษณะรูปทรงของต้นไม้ โดยแสดงในค่า Live crown ratio (LCR) และ Slenderness ratio โดย LCR คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของเรือนยอดกับความสูงของต้นไม้ ถึงค่านี้แสดงถึงความแข็งแรง ของต้นไม้ ในสักไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้ แต่ในไม้ Douglas-fir ถ้ามีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 แสดงว่าต้นไม้มี ความแข็งแรงน้อย เป็นต้นไม้ที่จัดอยู่ในชั้นเรือนยอด intermediate หรือ suppress หรือเติบโตในหนุ่ไม้ที่ แน่น ซึ่งการพัฒนาของระบบรากจะไม่ดีนักและต้นไม้อาจโค่นล้มจากพายุได้ (Joan, 2021) นอกจากนี้ยังมี บทบาทสำคัญในการพิจารณาถึงการตัดขยายระยะและการดำเนินการอื่น ๆ ในสวนป่า เช่น การใส่ปุ๋ย ส่วนค่า Slenderness ratio คืออัตราส่วนระหว่างความสูงทั้งหมดกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเป็นค่าที่ใช้เป็น ตัวชี้วัดความมั่นคงหรือการต้านทานต่อแรงลม Rudnicki *et.al.* (2004) กล่าวว่าค่าที่สูงกว่าจะแสดงว่าต้นไม้ สูงกว่าและผอมกว่า Navratil (1996) กล่าวว่าค่าที่ต่ำปกติจะแสดงว่าเรือนยอดมีความสูงมาก จุดศูนย์กลางต่อ แรงโน้มถ่วงของโลกต่ำ และระบบรากจะพัฒนาได้ดีกว่าค่าที่สูง Omo Forest Reserve ใน Nigeria มี การศึกษาเกี่ยวกับ slenderness ของสักไว้น้อยมาก จึงได้ทำการศึกษาใช้ค่า slenderness ร่วมกับขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางเพียงอกเพื่อการทำนายขนาดพื้นที่ของเรือนยอด (Ezenwenyi and Chukwu, 2017)

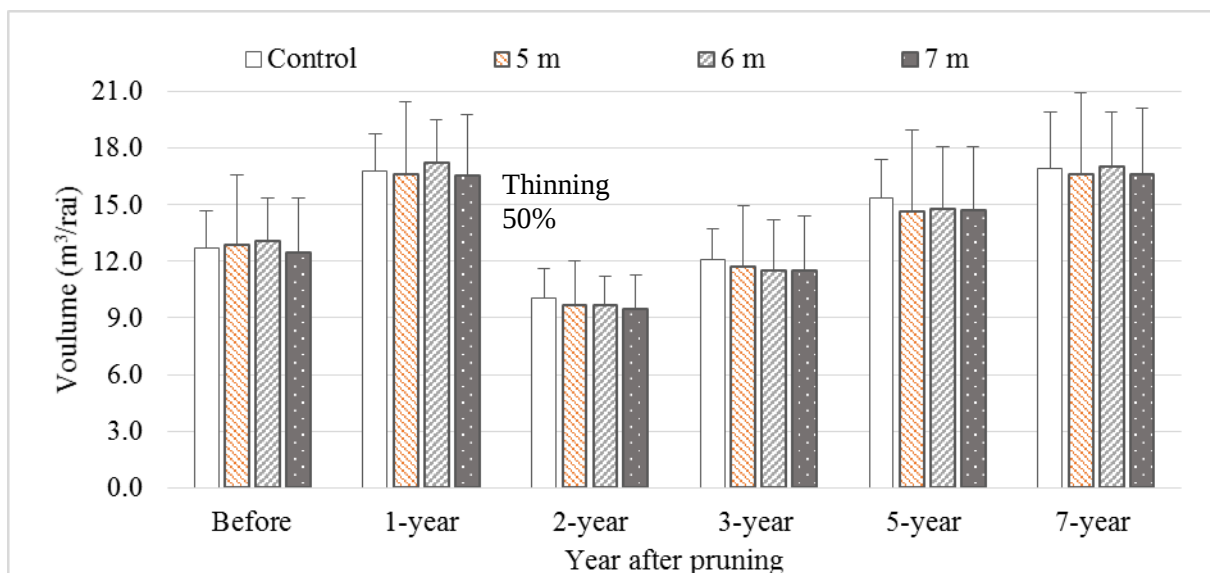
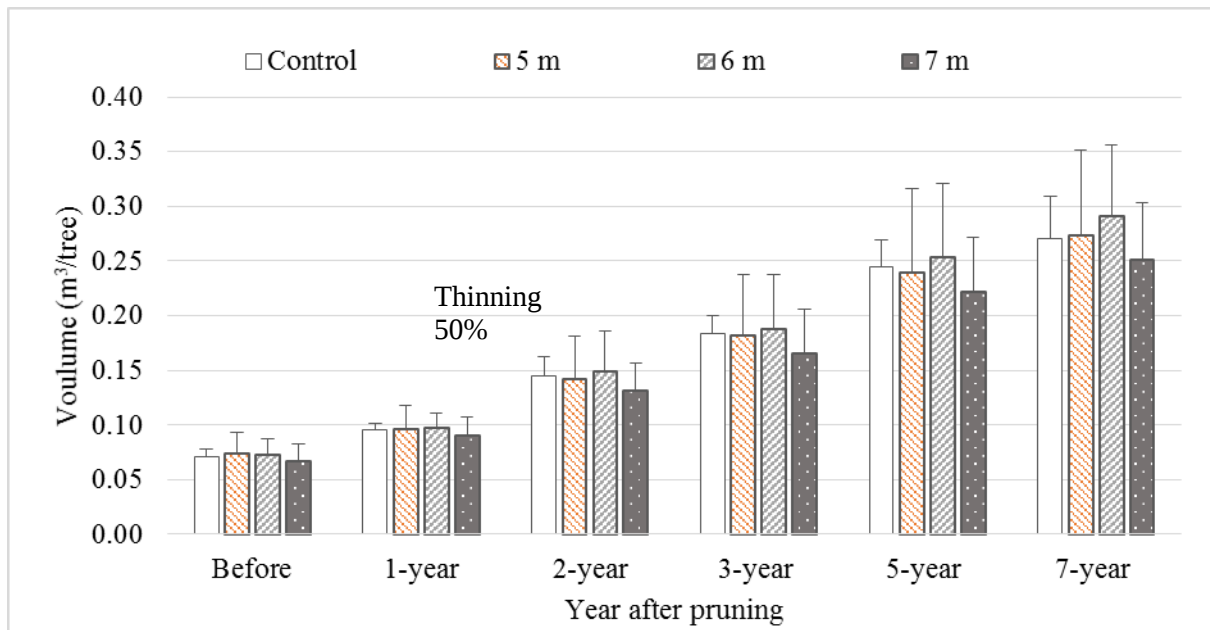


Figure 11 Tree volume and stand volume of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province

จากการศึกษา พบว่า ในปีที่ 1 หลังการลิดกิ่งแสดงให้เห็นว่าค่า LCR ในแปลงที่ทำการทดลองมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงควบคุมที่ไม่ได้ทำการลิดกิ่งเลย แต่การลิดกิ่งทุกระดับความสูงจากพื้นดินยังให้ค่า LCR ค่าสูงกว่า ร้อยละ 45 และหลังจากการตัดขยายระยะ (ร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้) หรือที่ 2 ปี หลังการทดลองลิดกิ่งนั้นทำให้ค่า LCR ของทุกแผนการทดลองไม่แตกต่างกันอีกครั้ง ในการศึกษาที่ผ่านมากล่าวว่าต้นไม้ที่มีค่า LCR สูงกว่าจะได้รับแสงสว่างอย่างเพียงพอมากกว่าต้นไม้ที่มี LCR ต่ำ (Oliver and Larson, 1996) โดยที่ต้นไม้ที่มีค่า LCR ร้อยละ 100 จะมีพื้นที่ผิวใบ (สำหรับการสังเคราะห์แสง) และมวลชีวภาพมากที่สุดในขณะที่ LCR เข้าใกล้ 0 จะบ่งชี้ว่ามีการยับยั้งการเติบโตของต้นไม้เนื่องจากมีพื้นที่ผิวใบจำกัด ในไม้สักไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้ ส่วนในไม้สน (Southern pines) พบว่า LCR มีค่ามากกว่าร้อยละ 33 จะเหมาะต่อการเติบโต (Zhao *et.al.*, 2012) Harrington (2000) และ Smith (1988) พบว่าความแข็งแรงของต้นไม้และการเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะรักษาไว้ได้เมื่อค่า LCR เท่ากับร้อยละ 40 หรือมากกว่า และต้องทำการตัดขยายระยะเมื่อค่าเฉลี่ยของ LCR ลดลงต่ำกว่าร้อยละ 50 ในการศึกษาครั้งนี้หลังการทดลองลิดกิ่ง 7 ปี ค่า LCR ของทุกการทดลองมีค่าระหว่าง ร้อยละ 49.07-23.52 โดยในแปลงที่ทดลองลิดกิ่งที่ระดับ 7 เมตรจากพื้นดินให้ค่าต่ำสุด และ control มีค่าสูงสุด อย่างไรก็ตามทุกระดับการลิดกิ่งและ control ไม่ได้แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Figure 12)

ส่วนค่า Slenderness ratio พบว่าหลังการทดลองลิดกิ่งไปแล้ว 1 ปี ค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ยกเว้นลิดกิ่งที่ความสูง 6 เมตร แต่หลังการตัดขยายระยะ (ร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดของหมู่ไม้) ทำให้ค่า Slenderness ratio ในปีที่ 2 ลดลงทุกการทดลอง รวมทั้ง control ด้วย หรือมีความหมายว่าต้นไม้มีความเสี่ยงต่อการโค่นล้มลดลง แต่การลิดกิ่งในระดับความสูงจากพื้นดินต่างกัน ไม่ได้ส่งผลต่อค่า Slenderness ratio แต่อย่างใด หลังการทดลองลิดกิ่ง 7 ปี ค่า Slenderness ratio มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 100 และไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการลิดกิ่งที่ระดับความสูงต่างกันและการไม่ได้ลิดกิ่ง (Figure 12)

ในประเทศไทยมีการศึกษาในเรื่อง Slenderness กันน้อยมาก จึงไม่สามารถกำหนดค่าที่ควรระวังการโค่นล้มของต้นไม้ได้ โดยเฉพาะในไม้สัก Rudnicki *et al.*, (2004) กล่าวว่าหากมีค่าสูงเกินกว่า 80 จะมีแนวโน้มที่จะได้รับความเสี่ยงจากการถูกลมพัดและต้นไม้หักโค่น ในขณะที่ James (2010) และ Šebeň *et al.* (2013) กล่าวว่าถ้าค่าเกินกว่า 100 โดยทั่วไปต้นไม้จะมีความมั่นคงต่ำและมีโอกาสหักด้วยน้ำหนักของต้นไม้ตัวเอง ต้นไม้ในป่าที่มีค่าต่ำกว่า 80 นับว่ามีเสถียรภาพที่ดีเยี่ยม (Smudla, 2004; Slodicak and Novak, 2006; Kontogianni *et al.*, 2011) สำหรับต้นไม้ในเมืองควรมีค่าอยู่ที่ 50 (Mattheck *et al.*, 2003) ดังนั้นการตัดขยายระยะทำให้ค่า Slenderness ratio ลดลงแต่หากเปรียบเทียบกับค่าที่มีการศึกษากันในต่างประเทศ ต้นสักในสวนสักแห่งนี้ยังมีค่าความเสี่ยงต่อการโค่นล้มอยู่ ต้องพิจารณาวางแผนการตัดขยายระยะเพื่อลดความหนาแน่นของต้นไม้ซึ่งจะส่งผลให้ความสูงของต้นไม้เพิ่มน้อยกว่าความโต

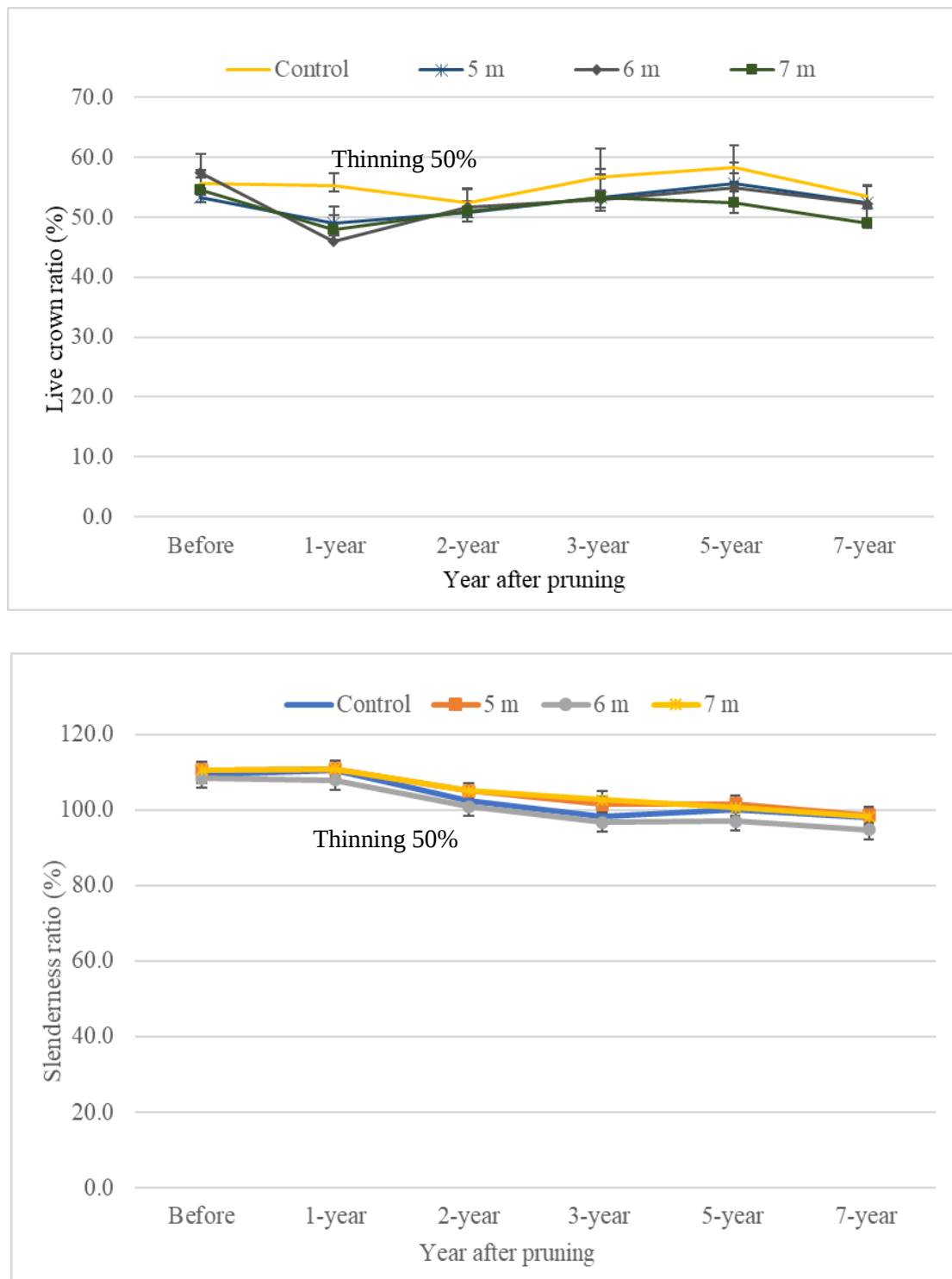


Figure 12 Tree live crown ratio and slenderness ratio of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province

Epicormic branch (ในบางเอกสารใช้ Epicormic sprout) คือกิ่งที่แตกออกจากตาที่งันอยู่ และเติบโตขึ้นเมื่อได้รับแสงสว่างเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการลิดกิ่งและทำการตัดขยายระยะซึ่งทำให้ต้นไม้ได้รับแสงสว่างเพิ่มมากขึ้น จึงเกิดมีกิ่งที่แตกขึ้นมาใหม่ Epicormic branch เป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษเนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงกับคุณภาพของเนื้อไม้ (Harmer, 1991) หากกิ่งที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งนอกจากกิ่งนี้จะตอบสนองโดยตรงกับแสงสว่างแล้ว ยังเป็นผลของความหลากหลายของสายพันธุ์ทั้งในต้นไม้ชนิดเดียวกันและต่างชนิดอีกด้วย

จากการตรวจสอบจำนวนกิ่งที่เกิดขึ้นมาใหม่ พบว่าหลังการลิดกิ่งในปีที่ 1 กิ่งใหม่ที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนกิ่งไม่เกิน 2 เซนติเมตร) (Figure 13) โดยในการลิดกิ่งที่ระดับความสูง 7 เมตร มีกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่มากที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการลิดกิ่งที่ระดับความสูง 5 เมตร โดยในแต่ละปีหลังจากการเก็บข้อมูลจำนวนกิ่งแล้วจะทำการลิดกิ่งทั้งหมดออกทุกกิ่ง หลังจากการตัดขยายระยะในพื้นที่ร้อยละ 50 ของพื้นที่หน้าตัดรวมของหมู่ไม้ หรือหลังจากการลิดกิ่งปีที่ 2 ไปจนถึงหลังจากการลิดกิ่งปีที่ 7 จำนวนของกิ่งขนาดเล็กที่เกิดขึ้นใหม่พบในแปลงที่ลิดกิ่งที่ระดับความสูง 5 เมตร น้อยที่สุด ส่วนการลิดกิ่งที่ระดับความสูง 6 เมตร และ 7 เมตร มีแนวโน้มใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการลิดกิ่งทุกระดับความสูง ในขณะที่จำนวนกิ่งขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนกิ่งมากกว่า 2 เซนติเมตร) พบว่ามีจำนวนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกิ่งขนาดเล็ก และจากการสังเกตพบว่ากิ่งขนาดใหญ่จะมีจำนวนมากที่สุดขึ้นหลังการตัดขยายระยะ 2 ปี (หรือปีที่ 3 ของการทดลอง) และพบในแปลงที่ลิดกิ่งที่ระดับความสูง 7 เมตรสูงกว่าในการลิดกิ่งที่ระดับความสูง 6 เมตร และ 5 เมตร ตามลำดับ ในปีที่ 5 ของการทดลองพบว่าจำนวนกิ่งขนาดใหญ่เริ่มมีจำนวนลดลง และลดลงมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแปลงที่ลิดกิ่งที่ระดับความสูง 7 เมตร อย่างไรก็ตามไม่ได้แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของทุกระดับการลิดกิ่ง (Table 6) ผลการศึกษามีแนวโน้มเช่นเดียวกับการศึกษาของ Kerr and Harmer (2001) ที่พบว่าไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะแสดงว่าการลิดกิ่งเป็นการจัดการที่ช่วยควบคุมการเกิดกิ่งใหม่ รวมทั้งความถี่ของการลิดกิ่งไม่ได้ส่งผลต่อการเกิดกิ่งใหม่เช่นกัน ส่วนที่กล่าวว่าการลิดกิ่งของ oak มีผลเพียงระยะสั้นต่อจำนวนของกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่และจะไม่ปรากฏกิ่งที่เกิดขึ้นใหม่ภายในระยะเวลา 7 ปี นั้น ในการทดลองครั้งนี้ในปีที่ 7 ยังพบจำนวนกิ่งขนาดเล็กอยู่เป็นจำนวนมาก

จากการศึกษาครั้งนี้แสดงว่าการตัดขยายระยะส่งผลทำให้เกิด Epicormic branch ขึ้น แต่การลิดกิ่งที่ระดับความสูงจากพื้นดินมากจะส่งผลให้เกิด Epicormic branch มากด้วยเช่นกัน แม้ว่าจะไม่ได้แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามกิ่งที่เกิดขึ้นและเติบโตขึ้นมาใหม่นี้ เป็นกิ่งที่ไม่พึงประสงค์จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากหากปล่อยให้กิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้คุณภาพของเนื้อไม้ลดลง ดังนั้นจึงควรมีการลิดกิ่งอยู่อย่างสม่ำเสมอ



Figure 13 Epicormic branches after pruning and thinning

Table 6 Number of epicormic branches of teak before and after pruning (thinning was conducted before 2-year) in Teak plantation at Uttaradit Province.

Treatment	EB size	1-year	2-year	3-year	5-year	7-year
Control	<2 cm					
	>2 cm					
5m	<2 cm	2.95 a	4.21	4.07	6.72	7.40
	>2 cm		1.31	2.21	1.33	1.54
6m	<2 cm	5.96 ab	6.81	5.31	8.99	10.32
	>2 cm		1.28	3.13	1.47	1.79
7m	<2 cm	6.90 b	7.71	5.14	8.59	11.01
	>2 cm		1.84	3.54	1.94	1.00

จากการคัดเลือกต้นสักตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทนจากแต่ละหน่วยทดลอง หน่วยทดลองละ 4 ต้น และ ต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยของแต่ละหน่วยทดลองรวม 4 ต้น รวมทั้งหมด 20 ต้น เพื่อศึกษา ผลของการลิดกิ่งต่อคุณภาพของเนื้อไม้พบว่าหลังการทดลองลิดกิ่ง 7 ปี พบว่าปริมาตรของต้นไม้ทั้งหมดเปลือก และไม้รวมเปลือกของสักลิดกิ่งที่ระดับความสูง 5 เมตร มีค่าสูงที่สุด และแปลงที่ไม่ได้ทำการลิดกิ่งมีค่าต่ำสุด เนื่องจากต้นที่มีกิ่งก้านมาก ต้องใช้อาหารไปหล่อเลี้ยงกิ่งเหล่านั้น ในขณะที่การลิดกิ่งที่ระดับสูงมากขึ้น (6 เมตร และ 7 เมตร) มีแนวโน้มที่จะมีปริมาตรต่ำลง ทั้งนี้เนื่องจากการลิดกิ่งมากเป็นการลดพื้นที่การสังเคราะห์ แสงลดลง อย่างไรก็ตามไม่แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างในหน่วยทดลอง (Figure 14)

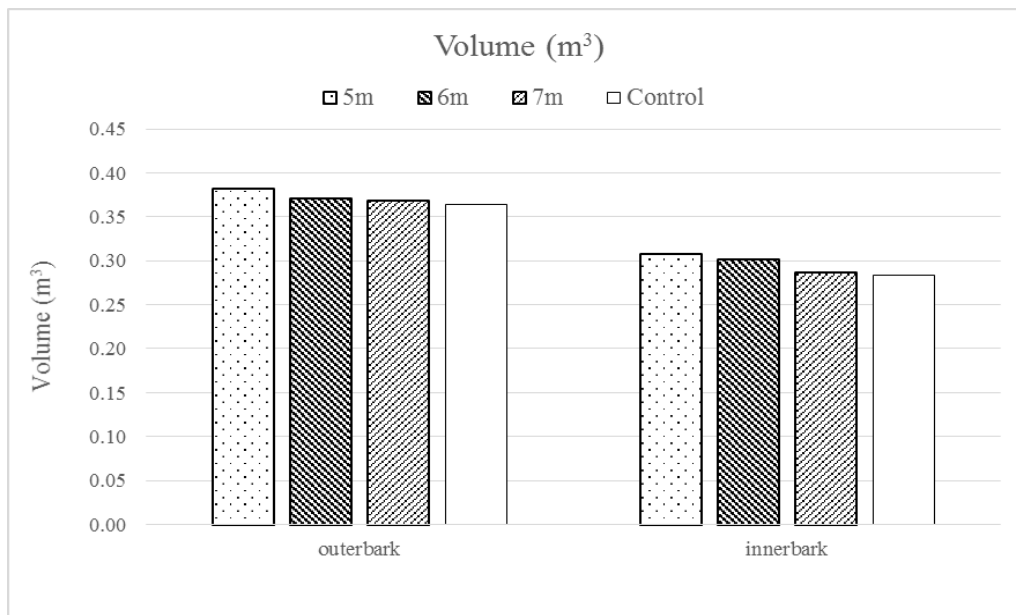


Figure 14 Outer bark and inner bark volumes of teak trees in each pruning level in Teak plantation at Uttaradit Province

เมื่อพิจารณาถึงส่วนที่เป็นแก่น (Heartwood) หรือส่วนที่สำคัญที่สุดของเนื้อไม้สัก โดยนำมาหาค่าอัตราส่วนระหว่างแก่นกับกระพี้ (Heartwood/Sapwood ratio: H/S) และแก่นกับปริมาตรทั้งหมด (ไม่รวมเปลือก) (Heartwood/total ratio: H/Total พบว่าค่าเฉลี่ยในต้นสักที่ทำการลิดกิ่งที่ระดับ 6 เมตร ให้ค่าอัตราส่วนต่างๆ สูงที่สุด ในขณะที่เดียวกันลิดกิ่งที่ระดับความสูง 7 เมตร จะมีค่าใกล้เคียงกับต้นที่ไม่ได้ทำการลิดกิ่ง แต่อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการลิดกิ่งในระดับต่างๆ (Table 7) จึงอาจกล่าวได้ว่าการลิดกิ่งไม่มีผลต่อคุณภาพของเนื้อไม้ในช่วงหลังการลิดกิ่ง 7 ปี แต่มีแนวโน้มว่าการลิดกิ่งที่ระดับ 6 เมตร จะเป็นระดับที่เหมาะสมต่อคุณภาพเนื้อไม้

Table 7 Values of heartwood and sapwood of teak trees in each pruning level in Teak plantation at Uttaradit Province

Values	Pruning level			
	5 m	6 m	7 m	Control
Volume of heartwood (m ³)	0.126	0.129	0.117	0.117
Volume of sapwood (m ³)	0.175	0.171	0.170	0.174
Heartwood vol./Sapwood vol. ratio	73.279	74.731	68.350	66.557
Heartwood vol./Total vol. ratio	42.166	42.326	39.044	39.479
Height of heartwood (m)	15.32	12.51	12.10	12.10

เนื่องจากการศึกษาเรื่องการลิดกิ่งในสวนปาล์มในประเทศไทยมีจำกัด จึงไม่มีแนวทางปฏิบัติที่แน่นอน ข้อเสนอแนะของการลิดกิ่งในปาล์มได้แก่

1. การลิดกิ่งโดยทั่วไปจะดำเนินการหลายครั้ง ตามอายุของต้นปาล์ม วิธีการลิดกิ่งใน Costa Rica มีคำแนะนำว่าให้ทำการลิดกิ่ง 3 ครั้ง ทั้งนี้ขึ้นกับคุณภาพพื้นที่ โดยในพื้นที่คุณภาพดี แนะนำให้ทำการลิดกิ่งครั้งแรก สูงถึง 2-3 เมตร เมื่อสักรมีความสูงระหว่าง 4-5 เมตร (หรืออายุประมาณ 2 ปี) ลิดกิ่งครั้งที่สอง ลิดกิ่งสูง 4-5 เมตร ดำเนินการเมื่อสักรมีความสูง 9-10 เมตร (หรืออายุประมาณ 3 ปี) และลิดกิ่งครั้งที่สาม ลิดกิ่งสูงได้ถึง 7 เมตร ดำเนินการเมื่อสักรมีความสูง 12 เมตร (หรืออายุประมาณ 4 ปี) (Pérez *et.al.*, 2003)

2. โดยธรรมชาติ สักเป็นไม้ที่มีการลิดกิ่งเองตามธรรมชาติ การดำเนินการลิดกิ่งจึงควรทำในกรณีที่ต้น สักนั้นมีกิ่งจำนวนมาก และมีขนาดใหญ่ ซึ่งหากปล่อยให้กิ่งใหญ่เหล่านี้ไม่ลิดคุณภาพผลจากการเกิดตาขนาดใหญ่ จำนวนมาก หากเป็นสักรสายพันธุ์ดีที่มีลักษณะเปลาตรง กิ่งขนาดเล็ก กิ่งส่วนใหญ่ตั้งฉากกับลำต้น อาจไม่ต้อง ดำเนินการลิดกิ่งและปล่อยให้กิ่งหลุดเองตามธรรมชาติ

3. การลิดกิ่งเป็นการดำเนินการที่มีค่าใช้จ่าย และต้องการแรงงานที่มีความรู้ ความชำนาญในการลิดกิ่ง อย่างถูกต้องเหมาะสม การลิดกิ่งจึงควรคำนึงถึงผลตอบแทนที่จะได้รับ หากมีตลาดไม่รองรับ หรือตลาดที่ให้ ราคาไม้สักคุณภาพดี (ไม่มีตา) และมีขนาดความยาวท่อนตรงสูง คำนึงค่ากับการดำเนินการจึงสมควรทำการลิดกิ่ง

การเติบโตของไม้สักแตกหน่อ

สักมีความสามารถในการแตกหน่อ การแตกหน่อจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในเรื่องกล้าไม้ และการเตรียมพื้นที่ การศึกษาการเติบโตของสักแตกหน่อที่อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งมีสภาพพื้นที่ค่อนข้างราบลุ่ม อากาศโดยทั่วไปของจังหวัดเพชรบูรณ์คือมีอากาศร้อนอบอ้าวในฤดูร้อน อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ 33.5 องศาเซลเซียสและ 22.3 องศาเซลเซียส ตามลำดับ มีฝนตกอยู่ในเกณฑ์น้อย อำเภอชนแดน เป็นพื้นที่ตอนกลางของจังหวัด มีปริมาณฝนสูงเฉลี่ย 1,200-1,300 มิลลิเมตร

การเติบโตของสักในแปลงทดลองที่มีการจัดการให้เหลือ 1 น่อ และจัดการให้เหลือ 2 น่อ โดยทำการเก็บข้อมูลการเติบโตตั้งแต่อายุ 1 ปี จนถึงอายุ 8 ปี พบว่า สักที่มีการจัดการให้เหลือ 1 น่อ จะมีค่าการเติบโตทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงที่สูงกว่าสักที่มีการจัดการให้เหลือ 2 น่อ ทั้งหน่อที่ 1 (หน่อที่เติบโตดีกว่า) และหน่อที่ 2 (หน่อที่เติบโตต่ำกว่า) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก ความสูง และค่าความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ย (Mean Annual Increment, MAI) ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงเมื่ออายุ 8 ปี แสดงใน Table 8

Table 8 Diameter at breast height (DBH), Height and Mean Annual Increment (MAI) of coppiced teaks in Teak plantation at Phetchaboon Province.

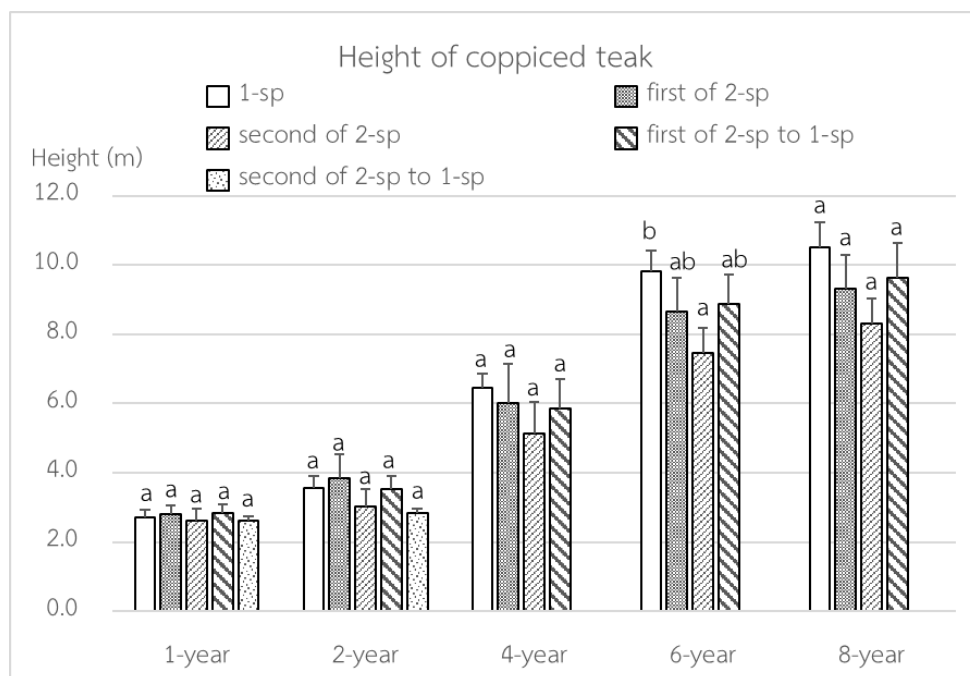
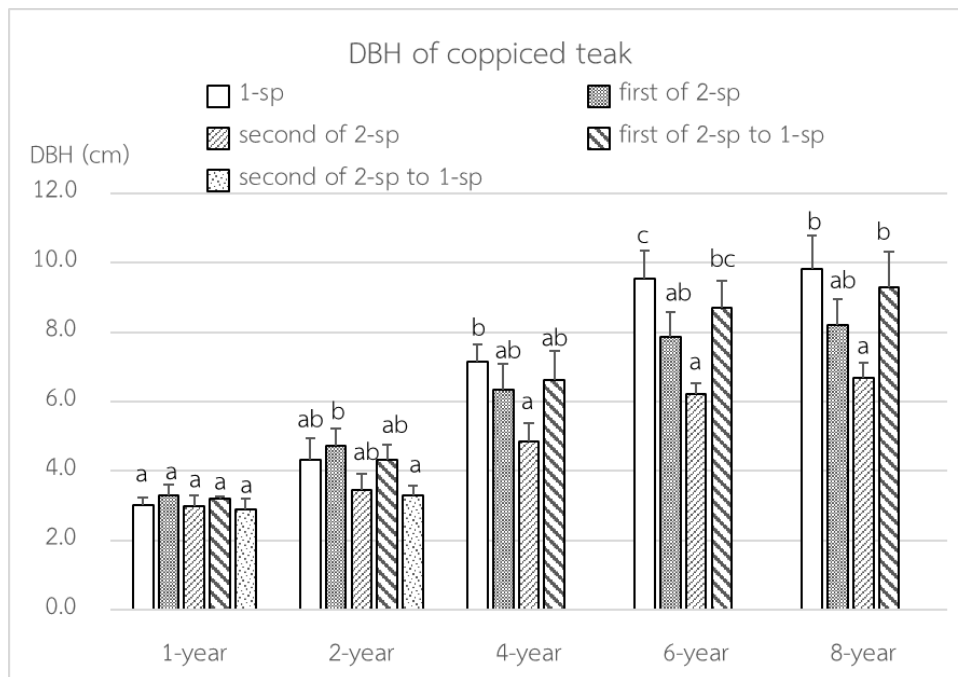
Treatment	Age of coppiced teak								MAI at
	1-year	2-year	3-year	4-year	5-year	6-year	7-year	8-year	8-year
DBH (cm)									
1 sprout	3.027	4.330	5.140	7.137	9.195	9.526	9.590	9.82	1.23
1 st sprout of 2 sprouts	3.259	4.520	4.906	6.469	8.299	8.280	8.286	8.29	1.04
2 nd sprout of 2 sprouts	2.948	3.384	3.790	4.844	6.327	6.212	6.141	6.69	0.84
Height (m)									
1 sprout	2.696	3.548	4.849	6.454	8.337	9.825	9.847	10.51	1.31
1 st sprout of 2 sprouts	2.822	3.688	4.793	5.946	7.665	8.764	8.831	8.83	1.10
2 nd sprout of 2 sprouts	2.623	2.926	4.076	5.120	6.611	7.449	8.126	8.31	1.04

แปลงทดลองอยู่ติดกับชุมชน และมีพื้นที่เกษตร (มันสำปะหลัง) อยู่ด้านหลัง ซึ่งเมื่อมีการจัดการพื้นที่ก่อนปลูกพืชเกษตรโดยใช้ไฟ หลายครั้งไฟจะลามเข้ามาในพื้นที่แปลงทดลองโดยเฉพาะเมื่อต้นไม้มีอายุ 1-2 ปี ส่งผลต่อการเติบโตและรูปทรงของสัก ค่า MAI ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงของสักที่จัดการให้เหลือเพียง 1 น่อ เมื่ออายุ 8 ปี ซึ่งเท่ากับ 1.23 เซนติเมตร/ปี และ 1.31 เมตร/ปี ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับ ค่า MAI ของสักแตกหน่อที่จังหวัดหนองบัวลำภู ที่อายุ 8 ปี เท่ากัน ซึ่งมีค่า MAI ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูง เท่ากับ 1.38 เซนติเมตร/ปี และ 1.60 เมตร/ปี ตามลำดับ แม้ว่าสภาพพื้นที่และสภาพอากาศใกล้เคียงกัน อาจกล่าวได้ว่าการเกิดไฟไหม้ที่ลามมาจากพื้นที่เกษตรส่งผลต่อการเติบโตของสักที่แตกหน่อด้วยเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงของสักรัดก้นแต่ละแผนการทดลอง ได้แก่ การจัดการให้เหลือ 1 น่อ การจัดการให้เหลือ 2 น่อ (น่อที่ 1 มีการเติบโตและแข็งแรงมากกว่าน่อที่ 2) และการตัดน่อที่ 2 ออก เพื่อให้เหลือเพียง 1 น่อ เมื่ออายุ 2 ปี ผลการศึกษาพบว่า ในปีที่ 2 หลังการจัดการน่อสักรัดก้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกพบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ น่อที่ 2 ของต้นที่มีการจัดการให้เหลือ 2 น่อ มีการเติบโตต่ำกว่าน่อที่ 1 และที่จัดการให้เหลือเพียงน่อเดียว หลังจากปีที่ 2 เมื่อทำการตัดน่อที่ 2 ออก ให้เหลือเพียงน่อเดียว แม้ว่าค่าทางสถิติจะไม่ปรากฏว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นที่จัดการให้มีน่อเดียวแต่แรกจะแสดงค่าสูงที่สุด และน่อที่ 1 ที่ถูกเลือกไว้จากเดิมที่เป็น 2 น่อ จะมีความโตรงลงมา และน่อที่ 2 ของต้นที่จัดการให้เหลือ 2 น่อ ยังคงมีค่าต่ำสุดจนถึงปีที่ 8 ในส่วนของความสูงจะแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หลังจากปีที่ 4 ของการจัดการ โดยในปีที่ 6 น่อที่ 2 มีค่าต่ำสุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และน่อที่ได้รับการจัดการให้เหลือ 1 น่อมาตั้งแต่เริ่มต้นมีค่าสูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน แต่เมื่อถึงปีที่ 8 พบว่าค่าความสูงของแต่ละหน่วยทดลองแสดงค่าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามน่อที่ 2 ของน่อที่จัดการให้เหลือ 2 น่อจะมีค่าต่ำสุด (Figure 15)

การจัดการเหลือ 2 น่อ และเมื่อน่อสักรัดก้นอายุ 2 ปี แล้วทำการตัดให้เหลือ 1 น่อ พบว่า น่อที่ 1 ที่เหลือไว้เมื่อเปรียบเทียบกับน่อที่ 1 ของต้นที่เหลือไว้ 2 น่อ แม้ว่าจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่การตัดให้เหลือ 1 น่อ จะมีการเติบโตทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงมากกว่า (Figure 16)

การจัดการให้เหลือ 2 น่อ เป็นที่นิยมของเกษตรกร เนื่องจากเพื่อลดความเสี่ยงหากมีการโคนล้ม ซึ่งการจัดการให้เหลือ 2 น่อ ลักษณะของไม้สักรัดก้นที่จัดการให้เหลือ 1 น่อ และ 2 น่อ โดยทั่วไปแสดงดัง Figure 17 หากน่อสักรัดก้นเกิดในด้านตรงกันข้ามกันของตอ ลำต้นอาจจะมีรูปทรงที่ดีทั้งสองน่อ แต่ในหลายกรณีจะพบว่าการเหลือ 2 น่อ จะมีข้อเสียเปรียบ เช่น มีหนึ่งน่อที่มีขนาดเล็กกว่าอีกน่อ การแก่งแย่งแสงกันของเรือนยอดทำให้ลำต้นต้องเอนออกจากกัน หรือเรือนยอดมาชิดกันมากจนทำให้ลำต้นเสียรูปทรง ซึ่งอาจส่งผลให้มีการโคนล้มในอนาคต หรือการเติบโตที่ลดลงทั้งสองน่อ (Figure 18) จากการสังเกตและเก็บข้อมูลทำให้ทราบว่า หากเกษตรกรต้องการลดความเสี่ยงในการโคนล้มของน่อ อาจเก็บน่อที่แข็งแรงไว้ 2 น่อ และทำการตัดน่อที่เหลือออกในปีที่ 2 เพื่อให้น่อที่เหลือสามารถเติบโตได้และมีรูปทรงที่ดี



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 15 DBH and Height of coppiced teak in Teak plantation at Phetchaboon Province

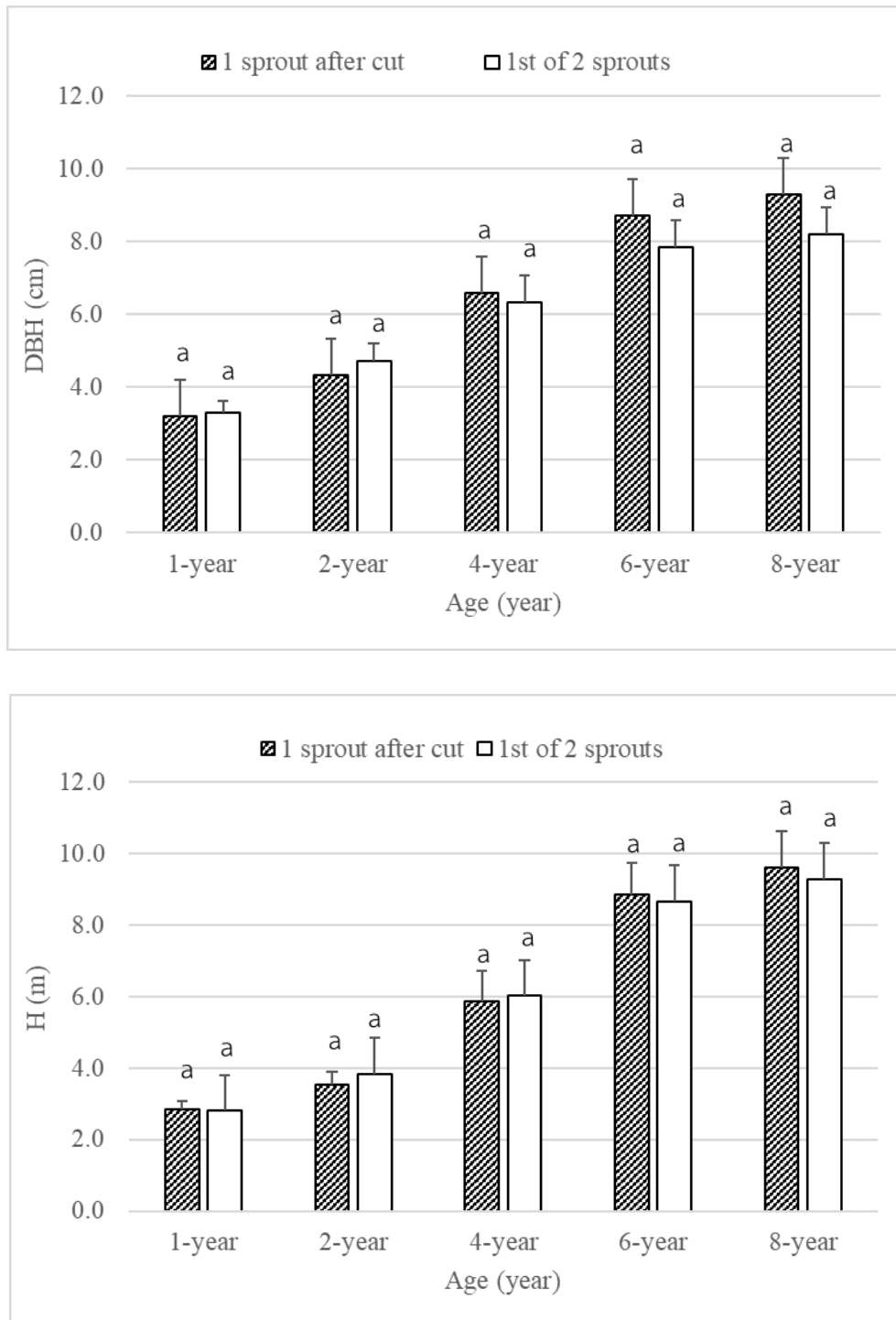


Figure 16 DBH and Height of the first sprout of coppiced teak in Teak plantation at Phetchaboon Province



Figure 17 Shapes of 2 sprouts of coppiced teak.



Figure 18 Disadvantages of 2 sprouts of coppiced teak

จากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการเติบโตของสั้กแตกหน่อมีค่าการเติบโตทั้งด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและความสูงมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติการปลูกใหม่ในพื้นที่เดียวกัน เนื่องจากการเติบโตของสั้กแตกหน่อจะไปส่งผลต่อการเติบโตของกล้าไม้ที่ปลูกใหม่ในช่วงแรก ในขณะที่หากมีการแตกหน่อในพื้นที่ที่ทำการตัดต้นไม้เดิมออกทั้งหมดจะมีค่าไม้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบว่าการแตกหน่อจากตอที่ทำการตัดหมดหรือตัดครั้งสุดท้ายจะมีการเติบโตที่สูงกว่าตอของการตัดขยายระยะ (Woraphun *et.al.* 2017)

ในเรื่องค่าใช้จ่าย การแตกหน่อจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นที่ การปลูก ค่ากล้าไม้และค่าปุ๋ย โดยเฉพาะในปีแรก และการเติบโตที่เร็วกว่าทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดวัชพืชด้วย การแตกหน่อสามารถลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโดยบริษัทเอกชนลงได้ถึงร้อยละ 87 จึงเป็นแนวทางเลือกหนึ่งสำหรับเกษตรกรในการลดค่าใช้จ่ายในการปลูก (วรพรรณ และคณะ, 2560)

การสร้างสมการความยาวเพื่อสร้างสมการประมาณปริมาตรที่ทำสินค้า

ข้อมูลจากต้นสักตัวอย่างทั้งสิ้น 450 ต้น ในสวนป่าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันตกของประเทศไทย (Table 9 และ Figure 19)

Table 9 Summary for the 450 teak sample trees by province and plantation

Province	Plantation	Number (tree)	Age (year)	DBH (cm)	Total Height (m)
Chiang Mai	SRS, RFD	11	11	15.35	14.15
Kanchanaburi	Private	5	20	15.00	13.40
Kham Phang Phet	Private	10	22	16.25	16.10
Khon Kaen	NESC, RFD	2	6	16.25	16.10
Loei	Na Duang, FIO	38	12-31	27.10	19.60
Loei	Private	89	15-23	25.10	20.10
Lopburi	Private	16	9-11	19.50	16.25
Nong Bua Lam Phu	Private	10	15-21	15.05	13.20
Uttaradit	Private	182	6-13	22.40	17.45
Uttaradit	Private	29	13	23.50	19.75
Uttaradit	Private	20	23	18.95	16.05
Uttaradit	Private	10	10-12	12.50	12.35
Uttaradit	Private	10	33	16.15	12.05
Uttaradit	Private	18	5-10	13.70	14.00
Total		450	5-33	18.34	15.75

Remark : SRS : Silvicultural Research Station, NESC : Northeast Tree Seed Center,
RFD : The Royal Forest Department, FIO : Forest Industry Organization

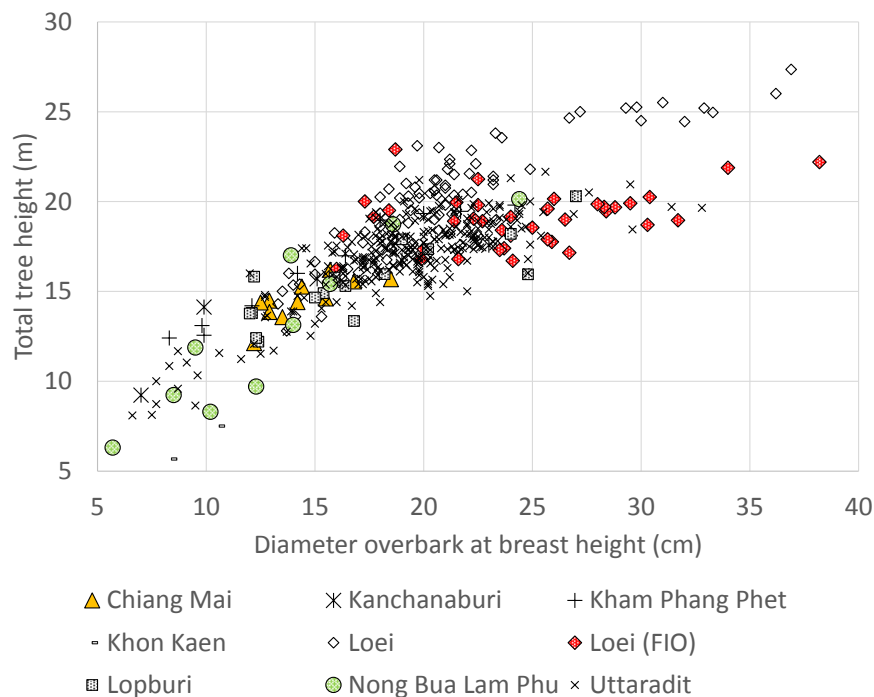


Figure 19 Sample tree height and diameter at breast height overbark by plantation (n=450 trees)

1. แบบจำลองความหนาเปลือก

การศึกษครั้งนี้ใช้ข้อมูลที่เก็บจากภาคสนามและนำมาแบบจำลองความหนาเปลือกในรูปของสมการยกกำลัง ตามที่ Warner *et al.* (2016) and Choochuen *et al.* (2021) ได้ทำการศึกษสำหรับสักในประเทศไทยไว้ ได้แก่

$$BT2 = a \cdot (d_{ob})^b$$

โดย BT2 คือสองเท่าของความหนาเปลือกของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเปลือก (d_{ob}).

การวิเคราะห์แบบจำลองทำนายความหนาเปลือก มีจำนวนทั้งสิ้น 1,059 ตัวอย่าง จาก 99 ต้น จะได้ค่าคงที่ ดังนี้

$$a = 0.328697309040 \ (p < 0.001),$$

$$b = 0.328697309040 \ (p < 0.001)$$

$$(R^2 = 0.789, RMSE=0.347 \text{ cm})$$

จากการคำนวณค่า BT2 ซึ่งได้จากการสมการที่ได้จากการศึกษครั้งนี้ และสมการจากการศึกษาค่าความเร็วของสักในภาคตะวันตกโดย และสักในภาคเหนือโดย พบว่า ค่าที่ได้จากการศึกษครั้งนี้มีค่าสูงกว่า

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัปดาห์ที่มีขนาดเล็ก หรือที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเปลือกประมาณ 10 เซนติเมตร (Figure 20)

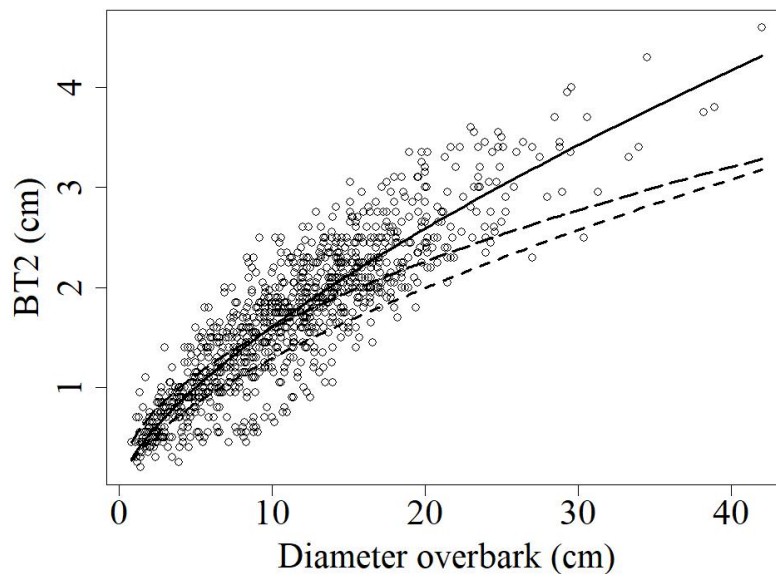


Figure 20 Plot of double bark thickness versus diameter overbark

BT2 is double bark thickness. A solid curve shows the fitted power model of double bark thickness, based on 1059 bark thickness sample data. A dashed and a long dashed curves show the predicted BT2 values by different BT2 models for FIO-teak1 (Warner *et al.*, 2016) and TPP2 (Choochuen *et al.*, 2021), respectively.

2. แบบจำลองความเร็ว

จากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ ด้วยค่า GOF และ LOF ตามที่แสดงใน Tables 10-12 และ Figure 21 พบว่า แบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความเร็วของสัปดาห์ในสวนป่าคือ แบบจำลองที่ 1 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ ได้แก่ $a_1 = 0.9138$, $a_2 = 0.5244$, $a_3 = 1.3162$, $a_4 = -0.0091$, $a_5 = 0.0018$

Table 10 Summary of goodness-of-fit statistics for models based on overbark diameter at breast Height overbark input data

Model	Coeffs.	R ²	RMSE	BIC	Δ BIC
Goodwin X3A	5	0.978	0.752	12997	386
Kozak02	9	0.979	0.744	12910	299
CPM1	9	0.959	1.033	14952	2340
CPM2	9	0.959	1.03	15680	3068
CPM3	9	0.967	0.923	15381	2769
PMF1	8	0.977	0.766	13207	595
PMF2	8	0.978	0.762	12612	0

Remark : number of coefficient, R² : adjusted coefficient of determination

Table 11 Index values from scaled test statistics for three separate and for overall lack-of-fit statistics for models based on overbark diameter at breast height input data

Model	d _{ub} given h	h given d _{ub}	V given d _{ub}	Overall
Goodwin X3A	0.499	0.545	0.442	0.495
Kozak02	0.586	0.920	0.439	0.648
CPM1	1.504	1.712	2.018	1.754
CPM2	1.533	1.724	2.012	1.756
CPM3	1.637	1.007	0.737	1.127
PMF1	0.650	0.566	0.700	0.638
PMF2	0.591	0.526	0.653	0.590

Table 12 Percentage error and root mean square error of diameter estimated by two models

R1	n	Goodwin X3A in this study		FIO-teak 1	
		PE (%)	RMSE	PE (%)	RMSE
≤ 0.4	1114	2.04	0.796	-2.81	0.904
≤ 0.5	739	-0.65	0.712	-7.34	1.124
≤ 0.6	752	-1.04	0.74	-8.54	1.325
≤ 0.7	739	-0.12	0.708	-7.67	1.286
≤ 0.8	737	0.49	0.767	-6.50	1.259
≤ 0.9	746	-0.28	0.732	-4.80	1.067
> 0.9	883	0.02	0.776	2.43	1.051
all	5710	0.040	0.752	-4.190	1.137

Remark : relative length from tree top to ground

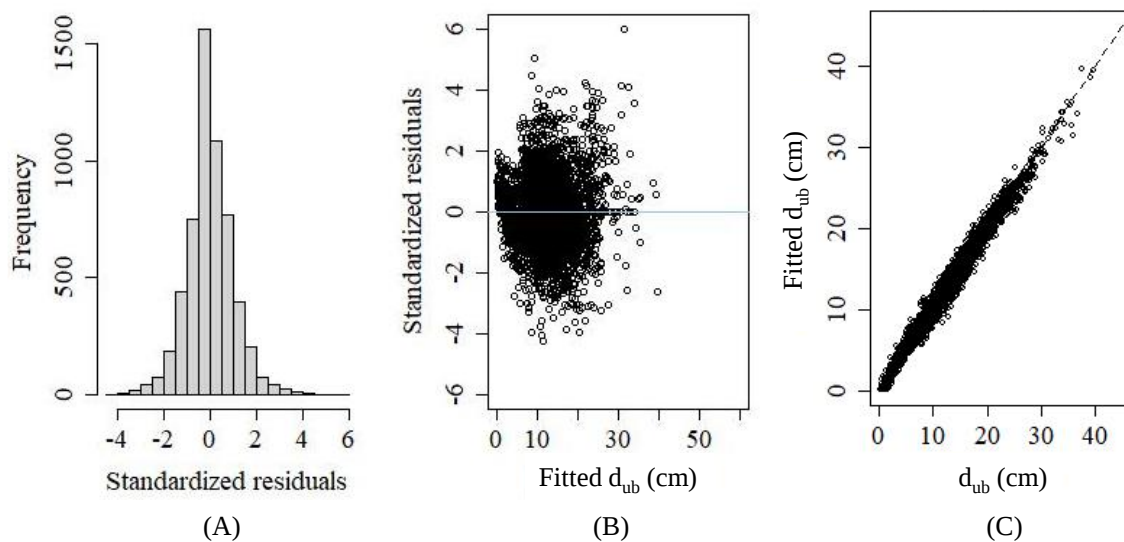


Figure 21 Residual analysis for Goodwin X3A model: (A) histogram of standard residuals, (B) standard residuals versus fitted diameter underbark (d_{ub}), and (C) d_{ub} versus fitted d_{ub}

จากการศึกษาที่ผ่านมา Warner *et al.* (2016) เลือกสมการแบบ Goodwin X3A ซึ่งเป็นแบบจำลองเดียวกับแบบจำลองที่ 1 เป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับการประเมินความเร็วของสักรในสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ในภาคเหนือ โดยให้ชื่อว่า “FIO-teak1” ในขณะที่ Choochuen *et al.* (2021) ได้พัฒนาสมการความเร็วของสักรในสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ภาคตะวันตก ซึ่งใช้แบบจำลอง Goodwin X3A เช่นเดียวกัน และให้ชื่อว่า TPP2

จากการศึกษาครั้งนี้แม้ว่าผลปรากฏว่าแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดคือแบบจำลองที่ 1 หรือ Goodwin X3A แต่ค่าสัมประสิทธิ์จะแตกต่างกัน ได้ทำการทดสอบโดยนำข้อมูลจากการศึกษาครั้งนี้มาใช้ในแบบจำลอง “FIO-teak1” สำหรับทำนายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงต่าง ๆ พบว่าการประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าสูงเกิน (overestimated) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองที่ 1 และค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการศึกษา และได้ค่าความถูกต้องน้อยกว่าในแบบจำลองอื่น ๆ ($R^2 = 0.950$, RMSE = 1.137 cm) เนื่องจากตัวอย่างของการศึกษาครั้งนี้มีสักรในสวนป่าที่มีการปลูกในระยะแคบกว่าระยะปลูกในสวนป่าสักรขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ดังนั้นแบบจำลองและค่าสัมประสิทธิ์ของการศึกษาครั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าสามารถใช้ในการประเมินปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ของสักรในสวนป่าของเกษตรกรและภาคเอกชนอื่น ๆ ที่ไม่ได้ใช้ระยะปลูกเท่ากับขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ได้ด้วย อย่างไรก็ตาม จึงจำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาสมการเร็วที่เหมาะสมสำหรับไม้สักรสวนต่างๆ ในสภาพท้องที่หรือสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับความหนาเปลือก ซึ่งการศึกษาของ Choochuen *et al.* (2021) กล่าวว่า ต้นสักรในภาคตะวันตกมีแนวโน้มจะมีเปลือกหนากว่าในภาคเหนือ เนื่องจากสักรในภาคตะวันตกได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นกระตุ้นให้เกิดการคายน้ำและการสังเคราะห์แสงทำให้เปลือกมีความหนามากกว่า อย่างไรก็ตามในการศึกษาครั้งนี้เปลือกของสักรมีแนวโน้มจะมีความหนามากกว่าการศึกษาทั้งสองแห่งของสักรในสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ ทั้งที่สภาพอากาศโดยทั่วไปจะไม่แตกต่างจากสภาพอากาศในการศึกษาของ Warner *et al.* (2016) คือ dry tropical savanna (Aw) โดยมีปริมาณน้ำฝนรายปีอยู่ระหว่าง 1,000 – 1,500 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นความหนาเปลือกนอกจากจะแตกต่างกันเนื่องจากสภาพอากาศแล้ว ยังอาจเป็นผลของพันธุกรรมหรือปัจจัยอื่น ๆ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

3. การนำไปใช้ประโยชน์

แบบจำลองหรือสมการความเร็วจะนำไปใช้ในการประมาณปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ ด้วยการคำนวณปริมาตรของแต่ละท่อน และนำราคาของไม้ท่อน (เช่น ราคาขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้) มาใช้คำนวณหามูลค่าหรือราคาของไม้ท่อนต่อไป

เนื่องจากสมการความเร็วต้องการข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงกรวมเปลือกและความสูงทั้งหมด แต่โดยทั่วไปเกษตรกรหรือประชาชนทั่วไปจะวัดความสูงได้ยาก การศึกษาครั้งนี้ได้พัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (H-DBH curve) และได้สมการประเมินความสูงจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (Figure 22)

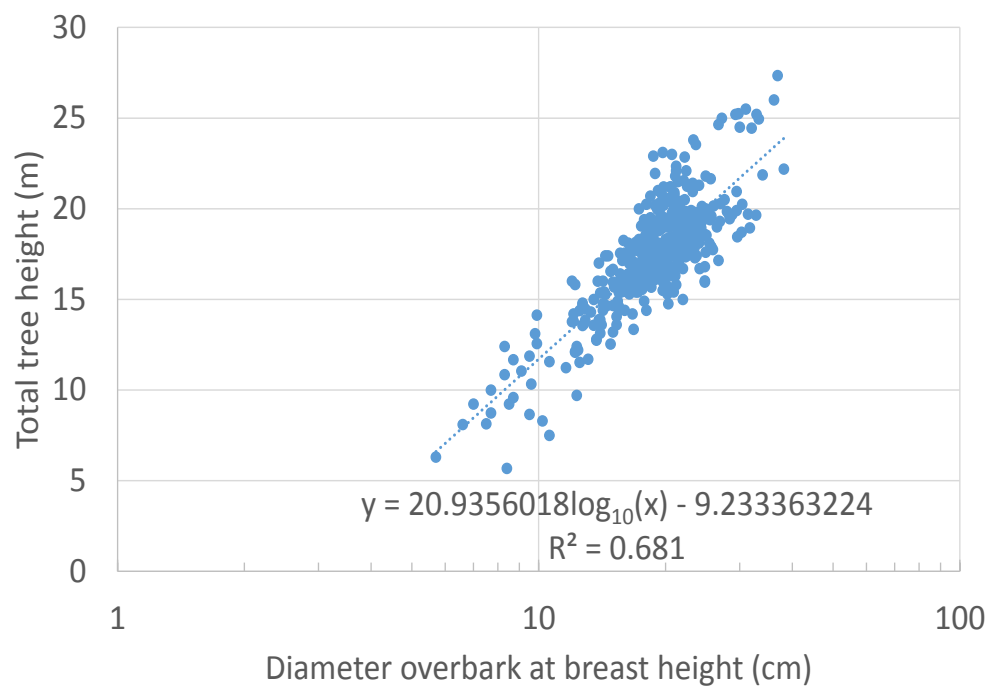


Figure 22 H-DBH curves (n=450 trees)

การพัฒนาวิธีการประเมินกำลังผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคการใช้อากาศยานไร้คนขับ

1. โมเดลของภูมิประเทศจากภาพถ่ายตอนที่มีสั๊กมีใบ (leaf-on) กับสั๊กทิ้งใบ (leaf-off)

การวัดความสูงของต้นไม้จะใช้ค่าความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่สูงสุดของเรือนยอดและตำแหน่งของพื้นดิน (Figure 23) การวัดความสูงของเรือนยอดจะวัดได้โดยตรงจาก 3-d model จากภาพที่ถ่ายจาก Drone แต่ในขณะที่ตำแหน่งของพื้นดินไม่สามารถตรวจวัดจากภาพที่ถ่ายในขณะที่สั๊กมีใบจำนวนมาก แม้ว่าอาจประมาณระดับพื้นดินได้จากช่วงที่เป็นช่องว่างหรือพื้นที่รอบข้างที่ไม่มีต้นไม้ ซึ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยในด้านความหนาแน่นของต้นไม้ ความถี่ของช่องว่างระหว่างเรือนยอด ลักษณะของพื้นดิน (ที่ราบหรือที่ลาด) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องทำการถ่ายภาพในขณะที่สั๊กทิ้งใบ โดยการประมาณระดับพื้นดินจากภาพที่ถ่ายด้วย UAV (Drone) ในช่วงที่สั๊กมีใบและสั๊กทิ้งใบแสดงได้ใน Figures 24-26

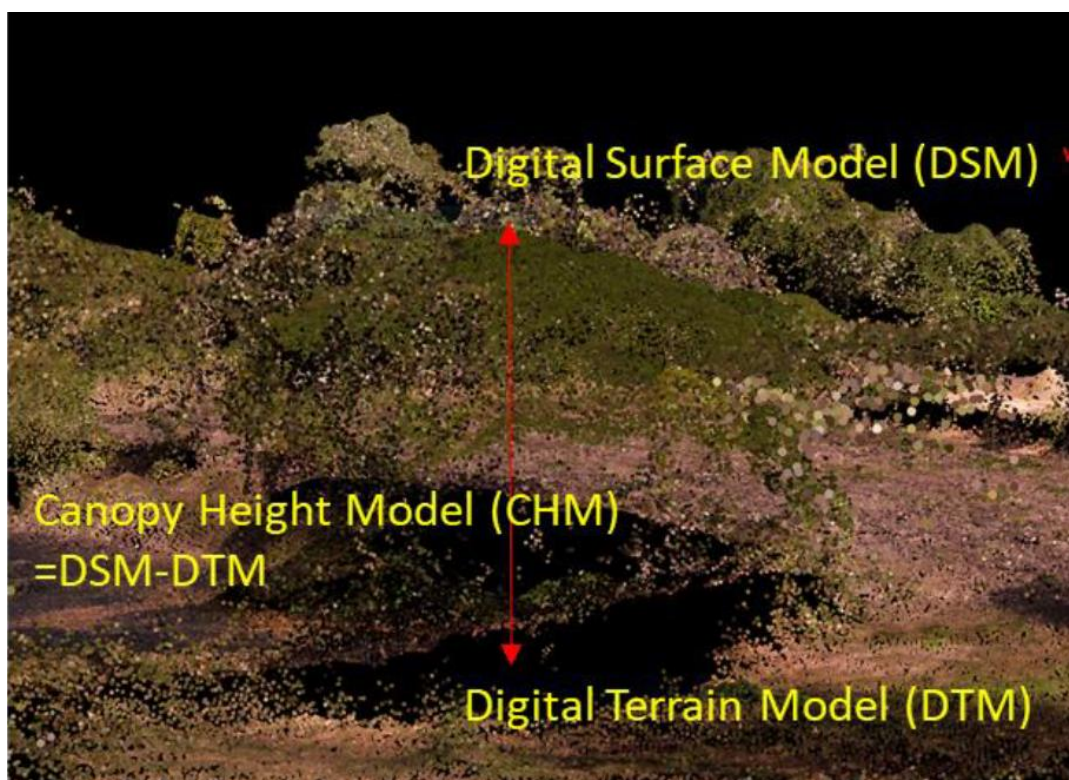


Figure 23 Tree height estimation using digital surface model and terrain model

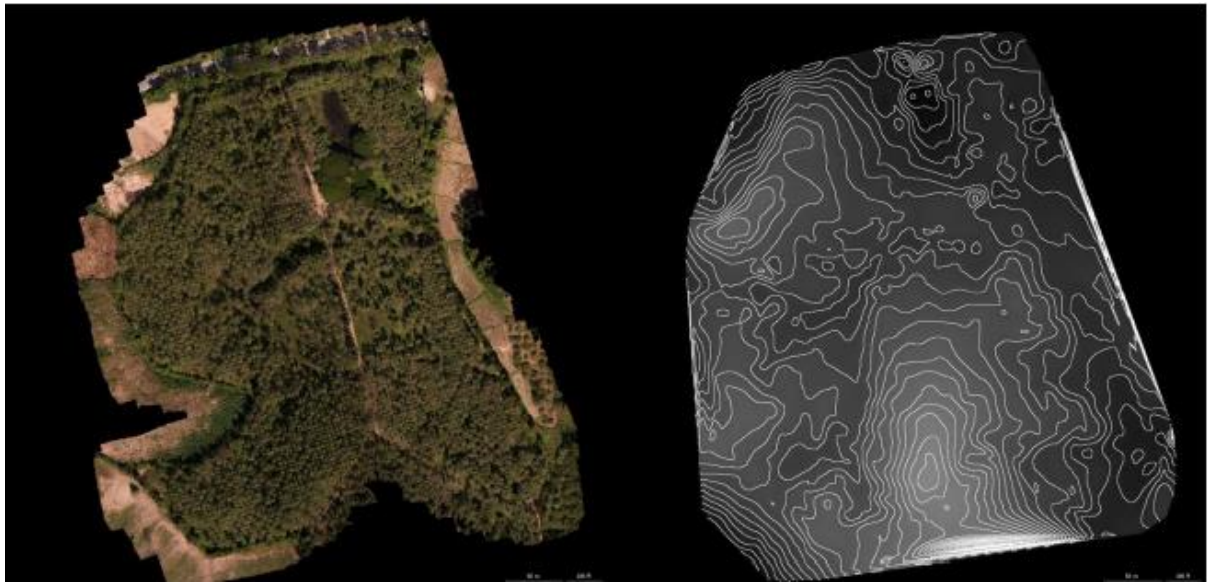


Figure 24 Result of estimation of terrain using leaf-on UAV observation

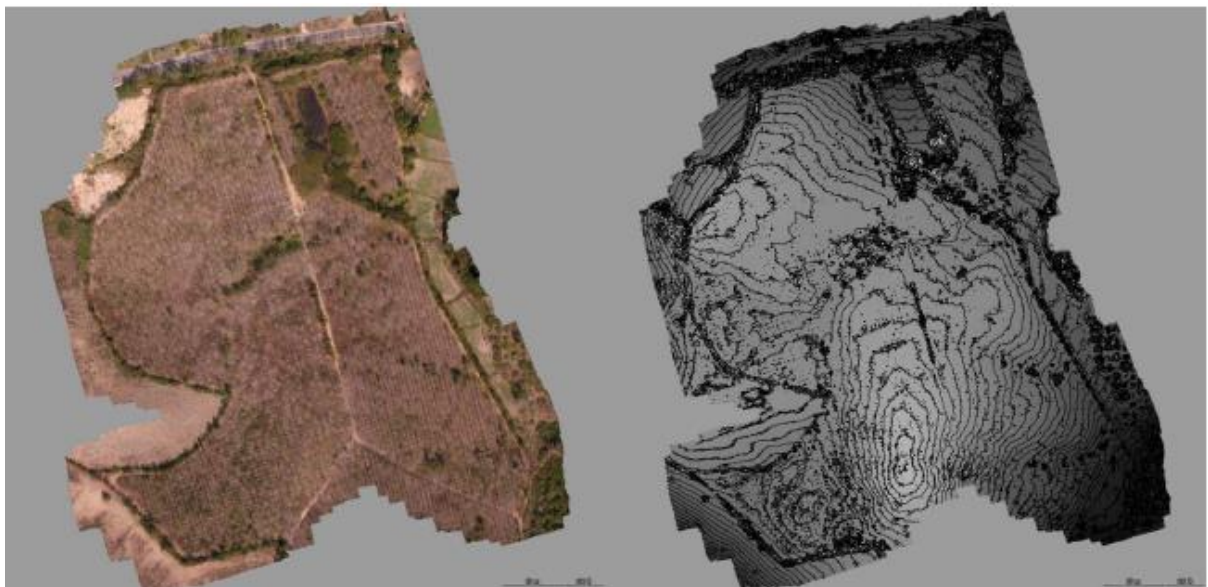


Figure 25 Result of estimation of terrain using leaf-off UAV observation

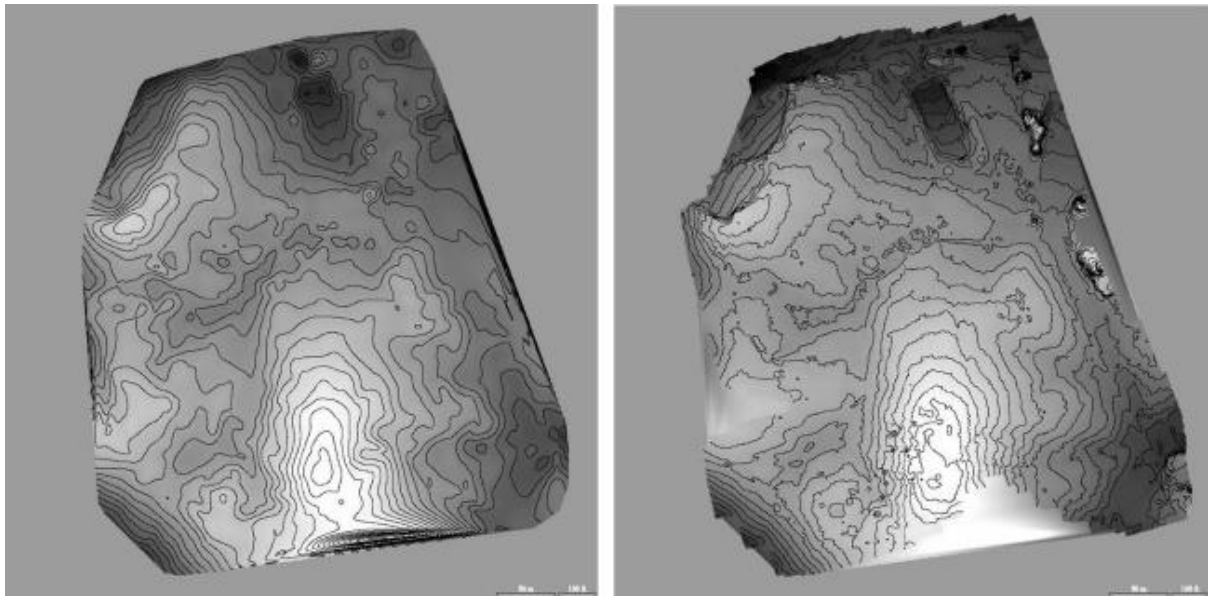


Figure 26 Comparison of terrain model (left : interpolated based on leaf-on image, right : modeled based on leaf-on image)

1) ความแม่นยำในการวัดความสูงของต้นไม้รายต้น

การวัดความสูงของต้นไม้แบบ Stereo-scopic เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความสูงที่ได้จากการวัดความสูงของต้นไม้ในภาคสนาม ผลปรากฏดังแสดงใน Figure 27 ซึ่งสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ที่มีความสัมพันธ์สูง ($R^2 = 0.91$) การวัดค่าความสูงของต้นไม้โดยใช้ Drone จึงสามารถนำไปประมาณค่าความสูงของต้นไม้ที่ถูกต้องได้ เป็นผลให้การนำค่าความสูงของต้นไม้ที่วัดโดยใช้ Drone สามารถนำไปเป็นตัวแทนสำหรับการประมาณปริมาตรของต้นไม้รายต้นได้

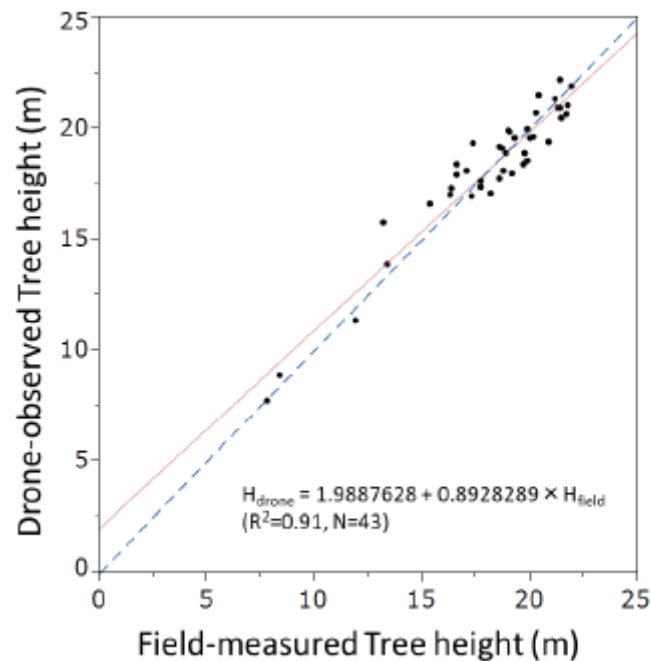


Figure 27 Comparison of tree height measurement by UAV and field measurment

2) ความแม่นยำในการจำแนกเรือนยอดรายต้น การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเรือนยอด และการประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก

ผลของการเปรียบเทียบขนาดเรือนยอด (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเรือนยอด) ของต้นสักที่ได้จากการวัดในภาคสนามและการวัดจากภาพถ่ายที่ได้จาก Drone สามารถนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังแสดงใน Figure 28 ซึ่งพบว่ามีความคลาดเคลื่อนไปต่ำกว่าการวัดภาคสนาม 0.58 เมตร อันเนื่องมาจากการถ่ายภาพจาก Drone ไม่สามารถเห็นเรือนยอดที่ขึ้นจากกิ่งขนาดเล็กได้หรือไม่สามารถจำแนกได้ ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะทำให้การประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของต้นไม้ผิดไปและนำไปสู่ค่าปริมาตรผิดตามไปด้วย ดังนั้นหากต้องการประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกจากขนาดเรือนยอดที่ได้จากการถ่ายภาพจาก Drone จะต้องทำการปรับค่าให้ตรงกับขนาดเรือนยอดที่ได้จากการวัดภาคสนามก่อนที่จะนำไปเข้าสมการ ซึ่งสมการความสัมพันธ์ที่จะใช้ในการปรับค่าจะแตกต่างกันไปตามชนิดของภาพถ่าย แล้วจึงนำค่าขนาดเรือนยอด (ที่ปรับให้ถูกต้องแล้ว) มาประมาณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก และนำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและค่าความสูงมาประมาณค่าปริมาตรรายต้น ซึ่งจากการเปรียบเทียบปริมาตรรายต้นที่ได้จากการประเมินจากภาพถ่ายโดย Drone (ประกอบด้วย 2 ตัวแปร คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเรือนยอดกับความสูง) และปริมาตรรายต้นที่ได้จากการคำนวณจากข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม พบว่าได้สมการที่มีความสัมพันธ์กันดี ($R^2 = 0.8$) ดังแสดงใน Figure 29

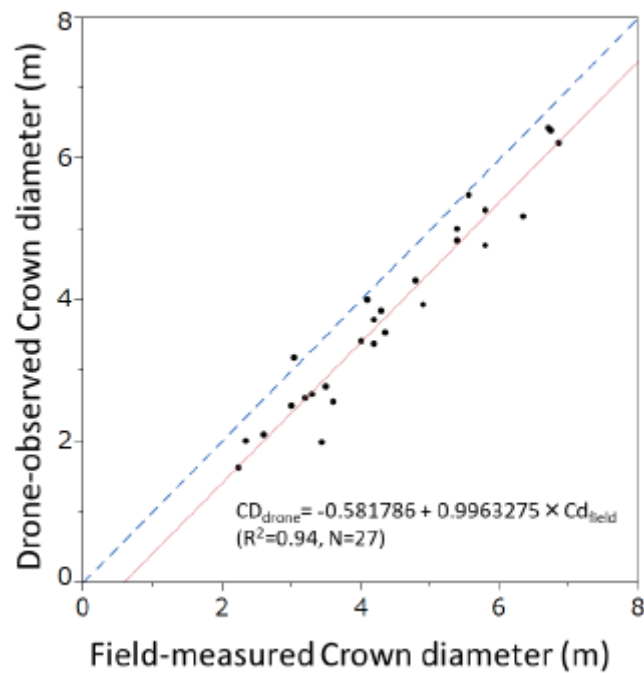


Figure 28 Comparison of crown diameter measurement by UAV and field measurement

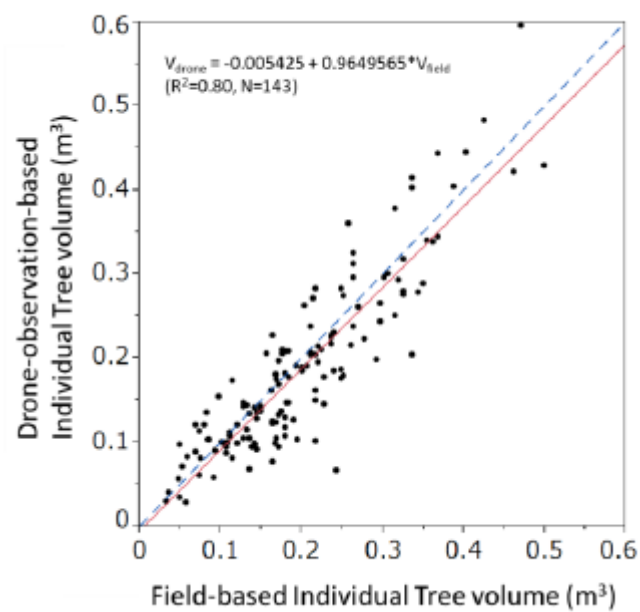


Figure 29 Relationship between field-measured individual tree volume and drone-observed estimates

3) วิธีการประมาณปริมาตรของหมู่ไม้

สามารถทำได้โดยประมาณจากค่าเฉลี่ยความสูงของเรือนยอด (mean canopy height) มีงานวิจัยหลายงานที่เสนอว่ามวลชีวภาพสามารถประมาณได้จากความสัมพันธ์ของมวลชีวภาพของต้นไม้/ปริมาตร กับความสูงของเรือนยอดหรือลักษณะของโครงสร้างของป่าที่ได้จาก airborne lidar ซึ่งผลการศึกษานี้เหล่านั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการใช้ UAV และศึกษาในสวนป่าได้ด้วย

Figure 30 แสดงความสูงเฉลี่ยของเรือนยอด โดยภาพด้านหลังคือโมเดลความสูงของเรือนยอดซึ่งคำนวณจากผลต่างของ digital surface model กับ estimated terrain model โดยสีขาวแสดงถึงเรือนยอดที่มีค่าความสูงมากและสีที่เข้มมากขึ้นแสดงถึงพืชพรรณด้านล่างหรือบริเวณที่เป็นช่องว่าง ค่าเฉลี่ยความสูงของเรือนยอดสามารถคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของความสูงของเรือนยอดในแต่ละช่อง ในที่นี้ขนาดช่องคือ 20 เมตร x 20 เมตร (เส้นสีแดง)

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยความสูงของเรือนยอดที่ประมาณจากการใช้ Drone กับปริมาตรหมู่ไม้สักในพื้นที่แปลง ขนาด 20 เมตร x 20 เมตร ซึ่งเป็นขนาดแปลงที่สามารถสำรวจได้โดยทั่วไปในสวนป่าสักของประเทศไทยในปัจจุบัน และทำการศึกษาทั้งในสวนป่าสักที่มีการตัดขยายระยะและไม่ได้ทำการตัดขยายระยะ พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (Figure 31) ตัวอย่างการแสดงผลการกระจายของปริมาตรหมู่ไม้สักที่ประมาณจากค่าเฉลี่ยความสูงของเรือนยอด โดยตัวเลขสีเหลืองแสดงถึงค่าประมาณของปริมาตรของหมู่ไม้ในแต่ละกริดขนาด 20 เมตร x 20 เมตร (Figure 32) อย่างไรก็ตามการศึกษารังนี้ยังมีข้อมูลปริมาตรของหมู่ไม้ในช่วง 120-230 ลูกบาศก์เมตรต่อเฮกแตร์น้อยอยู่ ซึ่งหากมีข้อมูลในช่วงดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นจะเป็นการช่วยปรับปรุงสมการให้มีความถูกต้องมากขึ้น

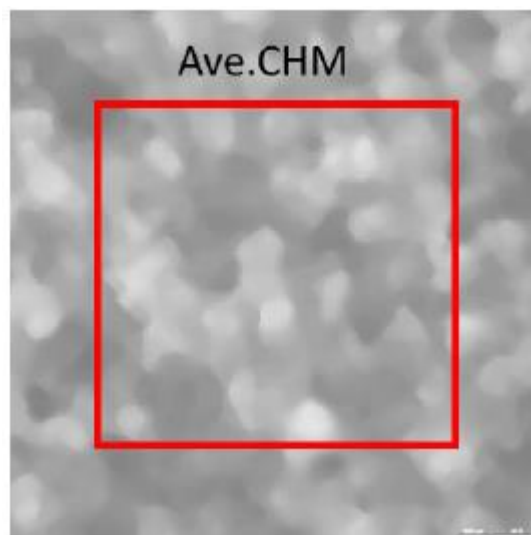


Figure 30 Calculation mean canopy height

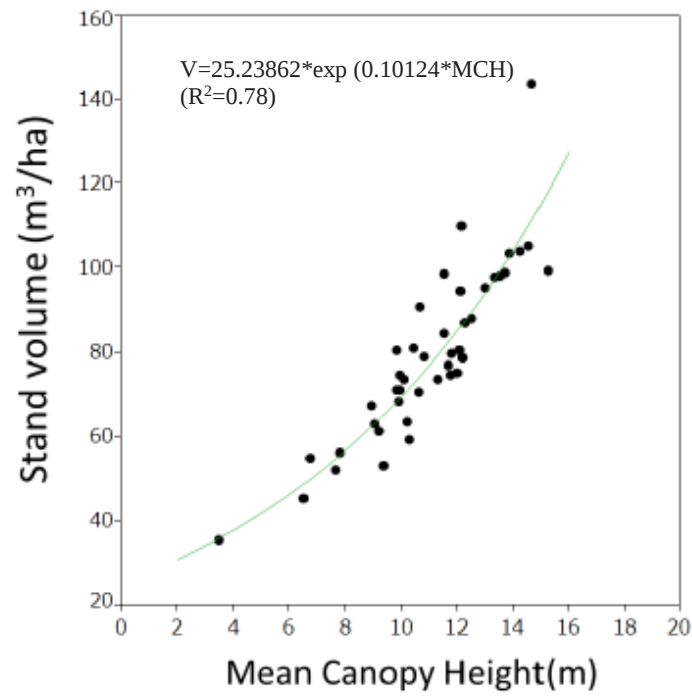


Figure 31 Relationship between mean canopy height (MCH) and stand volume

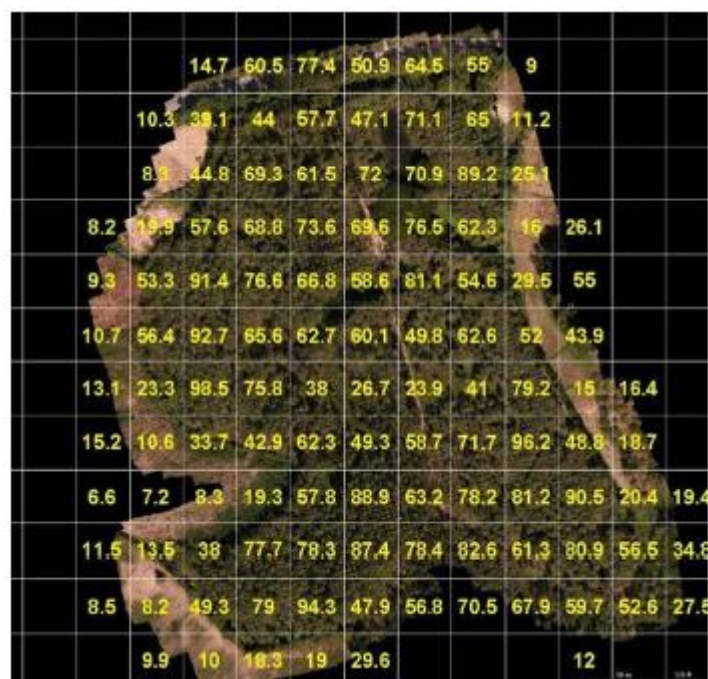


Figure 32 Stand volume distribution estimated by the mean canopy height

จากการศึกษาครั้งนี้สรุปได้ว่าการประมาณปริมาตรของหญ้าในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ สามารถประเมินได้โดยใช้เทคนิคการสำรวจระยะไกล ซึ่งในปัจจุบันเครื่องมือที่เป็นที่นิยมและสะดวกมากขึ้นคือการใช้อากาศยานไร้คนขับหรือ Drone เพื่อทำการถ่ายภาพและนำมาประเมินปริมาตร โดยอาศัยการวัดความสูงของต้นไม้และ/หรือการวัดขนาดของเรือนยอดของต้นไม้และนำมาคำนวณปริมาตรต่อไป

อย่างไรก็ตามข้อเสนอแนะสำหรับการประมาณปริมาตรโดยใช้ Drone นั้น มีดังนี้

1. หากเกษตรกรหรือเจ้าของสวนสักที่มีขนาดพื้นที่ขนาดใหญ่ ควรใช้ fixed wing type UAV ซึ่งสามารถบินถ่ายภาพได้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นและสามารถบินได้ระยะเวลานาน และหากสามารถทำการบินได้ในระยะที่สูงมากขึ้น จะทำให้ได้ข้อมูลที่ต้องการมากยิ่งขึ้น
2. เรือนยอดของไม้สัก (หรือไม้ใบกว้างอื่น ๆ) อาจมีหลายเรือนยอด รวมทั้งยอดของส่วนกิ่ง จึงจะสังเกตได้ยากกว่าเรือนยอดของไม้สน การใช้ภาพถ่ายประกอบกันระหว่างช่วงที่มีใบกับช่วงที่ทิ้งใบ (ไม่มีใบ) และการตรวจจับอัตโนมัติจากภาพถ่ายโดย Drone ร่วมกับการปรับค่าโดยมือ รวมทั้งการวัดด้วย stereoscopic ร่วมกับ orthophotograph จะทำให้ค่ามีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น แต่ก็จะเป็นการเสียค่าใช้จ่ายและเวลาเพิ่มมากขึ้น
3. Software สำหรับการประมวลผลในการศึกษาครั้งนี้คือ Agisoft Metashape ซึ่งเป็น commercial software ยังมี software อีกหลายชนิดที่เป็นที่นิยมที่มีทั้งเป็นแบบไม่มีค่าใช้จ่ายแต่จะใช้อยากกว่าการใช้แบบมีค่าใช้จ่ายหรือมีลิขสิทธิ์ นอกจากนี้การประมวลผลยังต้องการเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีคุณภาพสูงอีกด้วย ทำให้การประมาณปริมาตรโดยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง โดยค่าใช้จ่ายโดยประมาณ 5,000-10,000 ดอลลาร์ ประกอบด้วย UAV ราคา 1,000-2,000 ดอลลาร์ software สำหรับประมวลผล 2,000-4,000 ดอลลาร์ และเครื่องคอมพิวเตอร์คุณภาพสูง ราคา 2,000-4,000 ดอลลาร์

สรุปผลการวิจัย

1. จากผลการศึกษาอาจไม่ได้แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในบางค่า ทั้งนี้อาจเนื่องจากความหนักเบาในการตัดขยายระยะอาจน้อยเกินไป รวมทั้งการตายของต้นไม้ในช่วงที่มีฤดูแล้งยาวนาน ทำให้ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตและผลผลิตยังไม่แสดงความแตกต่างกันอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามการตายของต้นไม้ในแปลงที่ไม่ได้ทำการตัดขยายระยะมีจำนวนมากอย่างเห็นได้ชัดเจนกว่าแปลงที่ทำการตัดขยายระยะ โดยการตัดขยายระยะทำให้ต้นไม้มีขนาดความโตเพิ่มมากขึ้น การตัดขยายระยะด้วยความหนักปานกลาง และทำการตัดขยายระยะ 2 ครั้ง จะส่งเสริมให้ต้นไม้มีขนาดความโตและปริมาตรรายต้นเพิ่มมากขึ้นด้วย

2. การตัดขยายระยะและระดับความหนักเบาของการตัดขยายระยะยังไม่มีผลกระทบที่ชัดเจนต่อความเพิ่มพูนรายปีเฉลี่ยทางด้าน DBH และความสูงของหมู่ไม้

3. การลิดกิ่งไม่ได้ส่งผลต่อการเติบโตของสัก รวมทั้งผลผลิตทั้งในด้านปริมาตรรายต้นและปริมาตรของหมู่ไม้ เจ้าของสวนป่าอาจต้องทำการพิจารณาเนื่องจากการลิดกิ่งเป็นการดูแลที่ต้องมีค่าใช้จ่าย และต้องใช้แรงงานที่มีความชำนาญสูง รวมทั้งต้องการเครื่องมืออุปกรณ์พิเศษ หากเลือกสักพันธุ์ที่มีกิ่งก้านน้อย หรือมีกิ่งขนาดเล็ก ก็ไม่จำเป็นต้องทำการลิดกิ่ง

4. การตัดขยายระยะส่งผลทำให้เกิด Epicormic branch ขึ้น แต่การลิดกิ่งที่ระดับความสูงจากพื้นดินมากจะส่งผลให้เกิด Epicormic branch มากด้วยเช่นกัน โดยกิ่งที่เกิดและเติบโตขึ้นมาใหม่นี้ เป็นกิ่งที่ไม่พึงประสงค์ จะต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากหากปล่อยให้กิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้คุณภาพของเนื้อไม้ลดลง ดังนั้นจึงควรมีการลิดกิ่งอยู่อย่างสม่ำเสมอ

5. สักที่ไม่ได้ทำการลิดกิ่ง ทำให้มีกิ่งก้านมาก ต้องใช้อาหารไปหล่อเลี้ยงกิ่งเหล่านั้น ในขณะที่การลิดกิ่งที่ระดับสูงมากขึ้น (6 เมตร และ 7 เมตร) เป็นการลดพื้นที่การสังเคราะห์แสงลดลง ทำให้ปริมาตรของต้นไม้ทั้งรวมเปลือกและไม่รวมเปลือกมีแนวโน้มต่ำกว่าสักที่ทำการลิดกิ่งที่ระดับความสูง 5 เมตร

6. สมการความยาวของสักที่เหมาะสมคือสมการในรูปแบบของ Goodwin X3A โดยรูปแบบและค่าคงที่ที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้ในการประเมินปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้ของสักในสวนป่าของเกษตรกรและภาคเอกชนรวมทั้งสวนป่าองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ได้ด้วย

7. การประมาณปริมาตรของหมู่ไม้สักในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ในปัจจุบันเครื่องมือที่เป็นที่นิยมและสะดวกมากขึ้นคือการใช้อากาศยานไร้คนขับหรือ Drone เพื่อทำการถ่ายภาพและนำมาประเมินปริมาตร โดยอาศัยการวัดความสูงของต้นไม้และ/หรือการวัดขนาดของเรือนยอดของต้นไม้และนำมาคำนวณปริมาตรต่อไป โดยมีข้อแนะนำว่า

7.1 เกษตรกรหรือเจ้าของสวนสักที่มีขนาดพื้นที่ขนาดใหญ่ ควรใช้ fixed wing type UAV ซึ่งสามารถบินถ่ายภาพได้ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้นและสามารถบินได้ระยะเวลานาน และหากสามารถทำการบินได้ในระยะที่สูงมากขึ้น จะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

7.2 เรือนยอดของไม้สัก (หรือไม้ใบกว้างอื่น ๆ) อาจมีหลายเรือนยอด รวมทั้งยอดของส่วนกิ่ง จึงจะสังเกตได้ยากกว่าเรือนยอดของไม้สน การใช้ภาพถ่ายประกอบกันระหว่างช่วงที่มีใบกับช่วงที่ทิ้งใบ (ไม่มีใบ) และการตรวจจับอัตโนมัติจากภาพถ่ายโดย Drone ร่วมกับการปรับค่าโดยมือ รวมทั้งการวัดด้วย stereo

scopic ร่วมกับ orthophotograph จะทำให้ค่ามีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น แต่ก็จะเป็นการเสียค่าใช้จ่ายและเวลาเพิ่มมากขึ้น

8. วนวัฒนวิธีในการศึกษาครั้งนี้ เป็นข้อเสนอแนะเพื่อการเพิ่มผลผลิตในสวนปาล์ม ซึ่งจะทำให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มมากขึ้นกว่าปกติ แต่ได้ผลตอบแทนของสักรทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพ จึงเป็นข้อมูลประกอบให้แก่เจ้าของสวนปาล์มในการตัดสินใจใช้วนวัฒนวิธีแบบใดจึงจะให้ผลคุ้มค่าต่อการลงทุน

9. เนื่องจากสักรเป็นชนิดไม้ที่ขึ้นกับปัจจัยทั้งด้านพันธุกรรมและสภาพพื้นที่ ดังนั้นควรมีการศึกษาหรือเก็บข้อมูลในพื้นที่ต่าง ๆ กัน เพื่อเพิ่มข้อมูลสำหรับประกอบการตัดสินใจของเจ้าของสวนปาล์ม

เอกสารอ้างอิง

- เจริญ การกลีขวิธี, ชูบ เข้มนาถ, สนิท อักษรแก้ว, ปรีชา ธรรมานนท์, พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ, สุรีย์ ภูมิภมร และ วิสุทธิ สุวรรณภินันท์. 2522. การปลูกสวนพีชป่า ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กทม.
- ทศพร วัชรานุกร จตุพร มังคลารัตน์ ประพาย แก่นนาถ สาโรจน์ วัฒนสุขสกุล สมชาย นองเนื่อง และวิโรจน์ ครองกิจศิริ 2553. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการคาดคะเนการเจริญเติบโต และผลผลิตของ สวนป่าเศรษฐกิจ. กลุ่มงานวนวัฒนวิจัย สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ 61 หน้า
- ทศพร วัชรานุกร บพิตร เกียรติคุณนันทน์ และ Koichi Kamo. 2540. การตัดสางขยายระยะและการแตกหน่อ ของสวนป่าไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูลเลนซิส. เอกสารงานวิจัย เลขที่ 400020 ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 451 น.
- ธงชัย เปาอินทร์. 2535. การลงทุนปลูกไม้สักเพื่อการค้า. บริษัทบพิตรการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.
- บุญวงศ์ ไทยอุตสาห, สุนันทา ขจรศรีชล และสิรินทร์ ตียนานท์. 2535. งานวิจัยด้านการปลูกสร้างสวนสัก. ใน สัมมนา 50 ปี สวนสักห้วยตาก เฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษามหาราชาฯ ระหว่างวันที่ 5-8 สิงหาคม 2535 ณ โรงแรมเวียงทอง จังหวัดลำปาง. กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ. 2529. นิเวศวิทยาป่าไม้กับการปลูกป่า เอกสารประกอบการอบรม หลักสูตรการปลูกสร้าง สวนป่า กองการเจ้าหน้าที่ กรมป่าไม้ น. 116 -120
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ วิชัย พรหมศิลป์ และสายัญห์ สุรภาพไมตรี. 2535. ดัชนีชี้คุณภาพของพื้นที่และผลผลิต ของสวนป่าไม้สัก ในจังหวัดลำปาง. น.209-227. ใน รายงานการสัมมนา 50 ปี สวนสักห้วยตาก เฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา มหาราชาฯ กรมป่าไม้ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ บริษัทไม้อัดไทย กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรพรรณ หิมพานต์ ทศพร วัชรานุกร และ อิวาโอะ โนะตะ. 2555. ความสามารถในการเจริญเติบโตของไม้ สักแตกหน่อ. น. 180-190. ใน สัมมนาวนวัฒนวิทยา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วรพรรณ หิมพานต์ นรินทร์ เทศสร อริยฤทธิ์ วงสอน ภรณ์นภัส ภัคคกาญจน์พัฒน์ ปิยนุช รับพร จารุณี โนรีเวช และสุพัตรา กล่อมอิม. 2560. การศึกษาการเติบโตของสักแตกหน่อ. น. 74-101. ใน รายงานฉบับ สมบูรณ์ โครงการวิจัย เทคนิคการเพิ่มผลผลิตสำหรับการปลูกสร้างสวนป่าไม้สัก. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยป่าไม้. 2539. การสำรวจและประเมินผลผลิตของสวนป่า องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. รายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์เสนอต่อองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะ วนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 174 น.
- สมเกียรติ จันทน์ไพแสง. 2535. ผลผลิตของสวนป่าไม้สัก. 375-403 ใน รายงานการสัมมนา 50 ปี สวนสัก ห้วยตาก เฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา มหาราชาฯ กรมป่าไม้ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ บริษัทไม้อัด ไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อำนวย คอวนิช, 2535. อดีต ปัจจุบัน และอนาคตของไม้สักในประเทศไทย. น. 1-14 ใน รายงานการสัมมนา 50 ปี สวนสักห้วยตาก เฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา มหาราชาฯ กรมป่าไม้ องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ บริษัทไม้อัดไทย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- 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.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. Journal of Natural Sciences Research Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Harja, D., G. Vincent, R. Mulia and M. van Noordwijk. 2012. Tree shape plasticity in relation to crown exposure. Trees 26, 1275-1285.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. Journal of Natural Sciences Research Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* James, K.R. 2010. A dynamic structural analysis of trees subject to wind loading. Ph.D. Thesis, Melbourne School of Land and Environments, The University of Melbourne. 278pp.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. Journal of Natural Sciences Research Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Kontogianni A., T. Tsitsonia, and G. Goudelis. 2011. An index based on silvicultural knowledge for tree stability assessment and improved ecological function in urban ecosystems. Ecological Engineering 37, 914-919.2011
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. Journal of Natural Sciences Research Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Magruder, M., S. Chhin, A. Monks and J. O' Brien. 2012. Effects of Initial Stand Density and Climate on Red Pine Productivity within Huron National Forest, Michigan, USA. Forests 3, 1086-1103.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. Journal of Natural Sciences Research Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Mattheck, C., K. Bethge, R. Kappel, P. Mueller, and I. Tesari. 2003. Failure modes for trees and related criteria. International Conference "Wind Effects on Trees". 16-18th September 2003. University of Karlsruhe: Germany. 1-12.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. Journal of Natural Sciences Research Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Penner, M., C. Robinson and D. Burgess. 2001. *Pinus resinosa* product potential following initial spacing and subsequent thinning. Forest Chronicle 77, 129-139.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. Journal of Natural Sciences Research. Vol.6, No.4, 2016: 9-17. *Cited* Rudnicki, M.R., S.J. Mitchell and M.D. Novak. 2004. Wind tunnel measurements of crown streamlining and drag relationships for three conifer species. Canadian Journal of Forest Research 34: 666-676.

- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research* Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Šebeň V., M. Bošera, B. Konopka and J. Pajtik. 2013. Indices of tree competition in dense spruces stand originated from natural regeneration. *Lesnícky časopis - Forestry Journal* 59(3) 172-179.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research* Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Slodicak, M. and J. Novak. 2006. Silvicultural measures to increase the mechanical stability of pure secondary Norway spruce stands before conversion. *Forest Ecology and Management* 224, 252-257.
- Adeyemi, A.A. and P.O. Adesoye. 2016. Tree Slenderness Coefficient and Percent Canopy Cover in Oban Group Forest, Nigeria. *Journal of Natural Sciences Research* Vol.6, No. 4: 9-17. *Cited* Smudla, R. 2004. Utilisation of mathematical models and growth simulators for creating forest management plans and a planning the tending felling. *Journal of Forest Science* 50(8),374-381.
- Avery, T.E. and H.E. Bunkhart. 1994. *Forest Measurements*. 4 ed. Mc Graw-Hill Inc. Printed in Singapore. 408 p. ISBN 0-07-002556-8
- Bermejo, I. I.C and A.S.A.S. Miguel. 2004 Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. 189, 97-110.
- Chakraborti, S.K., and K.S. Gaharwar. 1995. A study on volume estimation for Indian teak. *Indian Forester* 121 (6) : 503-509
- Choochuen, T., W. Suksavate and P. Meunpong. 2021. Development of a taper equation for teak (*Tectona grandis* L.f.) growing in Western Thailand. *Environ. Nat. Resour. J.*, 19, 176-185.
- Culvenor, D.S. 2003. Extracting individual tree information: A survey of techniques for high spatial resolution imagery. In: *Remote Sensing of Forest Environments: Concepts and Case Studies*, edited by Wulder, M.A., Franklin, S.E., the Kluwer Academic Publishers, pp.255-277.
- Erkan, N., E. Uzun, A.C. Aydin and M.N. Bas. 2016. Effect of Pruning on Diameter Growth in *Pinus brutia* Ten. Plantations in Turkey. *Croat. j. for. eng.* 37(2016)2 : 365-373. *Cited* Savill, P., J. Evan, D. Auclair, J. Falck. 1997. *Plantation Silviculture in Europe*. Oxford University Press, 297 p.
- Erkan, N., E. Uzun, A.C. Aydin and M.N. Bas. 2016. Effect of Pruning on Diameter Growth in *Pinus brutia* Ten. Plantations in Turkey. *Croat. j. for. eng.* 37(2016)2 : 365-373. *Cited* Uotila, A., S. Mustonen. 1994. The effect of different levels of green pruning on the

- diameter growth of *Pinus sylvestris* L. Scandinavian Journal of Forest Research 9(3): 226-232.
- Evans, J. 1992. Plantation Forestry in the Tropics: Tree Planting for Industrial, Social, Environmental, and Agroforestry Purpose. Oxford University Press Inc., New York.
- Ezenwenyi, J.U. and O. Chukwu. 2017. Effects of slenderness coefficient in crown area prediction for *Tectona grandis* Linn. f. in Omo Forest Reserve, Nigeria. Current Life Sciences 3(4) : 65-71.
- Furuya, N. (2015) Study on methodologies of forest monitoring using remote sensing in the middle to lower Mekong river basin, PhD thesis (in Japanese). 148pp.
- 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.
- Goodwin, A.N. 2009. A cubic tree taper model. Australian Forestry, **72**, 87–98.
- Gougeon, F.A. 1995. A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images. Canadian Journal of Remote Sensing, 21(3): 274-284.
- 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.
- Himmapan, W. I. Noda R. Yoneda and N. Tedsorn. 2017. The Growth of Coppiced Teak in Northern Thailand. .pp. 31-37. In JIRCAS Working Report No. 85, JIRCAS, Tsukuba, Japan.
- Hirata, Y., Furuya, N., Suzuki, M., and Yamamoto, H. 2008. Estimation of stand attributes in *Cryptomeria japonica* and *Chamaecyparis obtusa* stands from single tree detection using small-footprint airborne LiDAR data. Journal of Forest Planning 13:303-309.
- Hyypä, J., Hyypä, H., Leckie, D., Gougeon, F., Yu, X., and Maltamo, M. 2008. Review of methods of small-footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests. International Journal of Remote Sensing 29:1339-1366.
- Joan D.Y. 2021. Forest Measurements. Available Sources : [https:// openregon.pressbooks. pub/forestmeasurements/chapter/5-4-live-crown-ratio](https://openregon.pressbooks.pub/forestmeasurements/chapter/5-4-live-crown-ratio), November, 2021.
- 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.
- Keogh, R.M. 1979. Does teak have a future in tropical America ? Unasylva, 31(126) : 13-19.
- Kerr, G. and R. Harmer. 2001. Production of epicormic shoots on oak (*Quercus robur*) : effects of frequency and time of pruning. Forestry, Vol. 74, No. 5: 467-477
- Lowe, R.G. 1976. *Tectona grandis* Linn. f. thinning experiment in Nigeria. Commonwealth 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.
- Meier, A.R., R.S. Michael and C. H. Michler. 2012. Epicormic buds in trees: a review of bud establishment, development and dormancy release. *Tree Physiology* 32: 565-584. *Cited*
- Harmer, R. 1991. The effect of bud position on branch growth and bud abscission in *Quercus petraea* (Matt.) Liebl. *Ann. Bot.* 67:463-468.
- Navratil, S. 1996. Silvicultural systems for managing deciduous and mixed wood stands with white spruce understory. *In: Silvicultural of temperate and boreal broadleaf-conifer mixture*. Comeau PG, Thomas KD, eds. B.C. Ministry of Forests, Victoria. 1996: 35-46.
- Noda I. and W. Himmapan. 2012. A cash flow model of coppicing for short rotation plantation management of teak (*Tectona grandis*) in Thailand (in Japanese with English summary). *Kanto Journal of Forest Research* 63. Japan.
- Nunifu, T.K. and H.G. Murchinson. 1999. Provisional yield models of teak (*Tectona grandis* 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.
- Ola -Adams, B.A. 1990. Influence of spacing on growth and yield of *Tectona grandis* Linn. F. (Teak) and *Terminalia superba* Engl. & Diels (AFRA). *Journal of tropical Forest Science* 2 (3): 180-186.
- Oliver, C.D. and B.C. Larson. *Forest Stand Dynamics: Update Edition*, John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 1996; p. 520.
- Pandey and Brown, 2000. Teak: a global overview *in Unasylva* 201(51), 5-17.
- 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
- Pérez Cordero, L.D. and M. Kanninen. 2005. Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica* 39: 217-225.
- Prasong Thammapala. Siripun Taweessuk. 2004. Identification of Teak Plantation Area Using Remote Sensing Technique in Pasak Watershed. *Journal of Remote Sensing and GIS Association of Thailand (RESGAT) 2004 Vol. 5 No. 3.*
- Schneider. P.R., C. A. G. Finger and J.M. Hoppe. 1999. The effect of pruning intensity on the production of *Pinus elliottii* Engelm. planted in a poor soil in the state of Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal* 9(1): 35-46

- Singh, S.P. 1981. Total tree volume table for *Tectona grandis* (teak). Indian Forester 107(10) : 621-623.
- Tewari, D.N., 1992. Amonograph on Teak (*Tectona grandis* L.f.). International Book Distributors, Dehra Dun, India.
- Thaiutsa, B., L. Puangchit, C. Yarwudhi, C. Wacharinrat and S. Kobayashi. 2001. Coppicing ability of teak (*Tectona grandis*) after thinning p. 151-156 /n S. Kobayashi, J.W. Turnbull, T. Toma, T. Mori, N.M.N.A. Majid (eds.). Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems: workshop proceedings, 2-4 November 1999, Bogor, Indonesia.
- Thueksathit, S. 2006. Variation in Growth and Development of Teak Growing Outside the Natural Rangers in Thailand. Thesis, Kasetsart University, Bangkok.
- Troup, R.S., 1921. The Silviculture of Indian Trees, vol. II Oxford University Press.
- Verinumbe, I and D.U.U. Okali. 1985. The influence of coppiced teak (*Tectona grandis* L.F.) regrowth and roots on intercropped maize (*Zea mays* L.). Agroforestry System 3: 381-386.
- Viquez, E. and D. Pérez. 2005. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. Silva Fennica 39(3): 381-390.
- Viquez, E. and D. Pérez. 2005. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. Silva Fennica 39(3): 381-390. Cited Chaves. E. and W. Fonseca. 1991. Teca (*Tectona grandis*): especie de árbol de uso múltiple en América Central. Proyecto MADELEÑA (Cultivo de Árboles de Uso Múltiple en América Latina), colección Guías Silviculturales (serie técnica). Informe técnico 179. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba. Costa Rica. 44 p.
- Viquez, E. and D. Pérez. 2005. Effect of pruning on tree growth, yield, and wood properties of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. Silva Fennica 39(3): 381-390. Cited Keogh, R. 1987. The care and management of teak (*Tectona grandis*) plantations. A practical field guide for foresters in The Caribbean, Central America, Venezuela and Colombia. Universidad Nacional, Costa Rica. 46 p.
- Warner, A.J, M. Jamroenprucksa and L. Puangchit. 2016. Development and evaluation of teak (*Tectona grandis* L.f.) taper equations in northern Thailand. *Agriculture and Natural Resources*, 50, 362–367.
- Zarco-Tejada, P. J., R. Diaz-Varela, V. Angileri, and P. Loudjani. 2014. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. *European Journal of Agronomy* 55: 89-99.

- Zhang Q.Q, Z.Z. Zhou, G.H. HUANG, G. YANG, G.F. LIU, and K.N. LIANG. Effects of Thinning Intensity on Soil Quality and Growth of Teak Plantation. *Forest Research Journal*, 2021, 34(3): 127-134. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.03.014
- Zhao, D., M. Kane and B. Borders. Crown ratio and relative spacing relationships for loblolly pine plantations. *Open J. For.* 2012, 2, 110–115.
- Zheng, G., J.M. Chen, Q.J. Tian, W.M. Ju, and X.Q. Xia. 2007. Combining remote sensing imagery and forest age inventory for biomass mapping, *Journal of Environmental Management* 85:616-623.
- Zobel, Bruce. 1992. Silvicultural effects on wood properties. *IPEF INTERNATIONAL*, Piracicaba (2): 31-38, 1992.

ภาพการปฏิบัติงาน

แปลงทดลองตัดขยายระยะ



วัดการเติบโตของต้นสักในแปลงทดลองตัดขยายระยะ ที่สวนป่าของบริษัทเอกชน จังหวัดอุดรธานี

แปลงศึกษาการเติบโตของสักแตกหน่อ



วัดการเติบโตของต้นสักในแปลงทดลองการแตกหน่อ ที่สวนป่าของเกษตรกร จังหวัดเพชรบูรณ์

การทดลองลิดกิ่ง



วัดการเติบโตของต้นสักในแปลงทดลองการลิดกิ่ง ที่สวนป่าของบริษัทเอกชน จังหวัดอุดรธานี

การสร้างสมการความยาวเพื่อหาปริมาตรส่วนที่เป็นสินค้าได้



วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับต่างๆ ของสัก ที่สวนป่าสักในจังหวัดต่าง ๆ

การพัฒนาวิธีการประเมินกำลังผลิตของสวนป่าสักโดยใช้เทคนิคการใช้อากาศยานไร้คนขับ

