



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)

ปริญญา

การจัดการทรัพยากรป่าไม้

การจัดการป่าไม้

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของไม้สัก โดยใช้เทคนิคทางรุกขกาลวิทยา  
ในสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

A Study of the Growth and Yield of Teak Using Dendrochronological Techniques  
in Huai Thak Plantation, Ngao District, Lampang Province

นามผู้วิจัย นายอาทิตย์ ชาวไร่อ้อย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัณชัย ดวงสถาพร, วท.ค. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( รองศาสตราจารย์ปัสลี ประสมสินธุ์, Dr.rer.nat. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิชาญ เอียดทอง, Dr.Agr. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์วิพัทธ์ จินตนา, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของไม้สักโดยใช้เทคนิคทางรุกขกาลวิทยา  
ในสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

A Study of the Growth and Yield of Teak Using Dendrochronological  
Techniques in Huai Thak Plantation, Ngao District, Lampang Province

โดย

นายอาทิตย์ ชาวไร่อ้อย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อาทิตย์ ชาวไร่อ้อย 2557: การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของไม้สักโดยใช้เทคนิคทาง  
รูกษกาลวิทยาในสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง ปริญญาวิทยาศาสตร  
มหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้) สาขาการจัดการทรัพยากรป่าไม้ ภาควิชาการ  
จัดการป่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญชัย ดวงสถาพร,  
วท.ค. 77 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเติบโตและสร้างตารางผลผลิตของไม้สักในสวนป่า  
ห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง จากแปลงปลูกไม้สักจำนวน 3 ชั้นอายุ ซึ่งอยู่ในสภาพพื้นที่  
แตกต่างกัน โดยไม้สักที่ศึกษามีอายุระหว่าง 57-67 ปี ทำการสุ่มตัวอย่างไม้สักแล้วเก็บตัวอย่างไม้  
ด้วยสว่านเจาะวัดความเพิ่มพูน การวิเคราะห์การเติบโตของไม้สักทำโดยใช้เทคนิคทางรูกษกาล  
วิทยาร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์เพื่อนำมาสร้างตัวแบบ สำหรับการพยากรณ์การ  
เติบโตและผลผลิตโดยการวิเคราะห์การถดถอย ตัวแบบที่ได้สามารถนำไปพยากรณ์การเติบโต  
และผลผลิตในรูปปริมาตรไม้ที่เป็นสินค้าได้ ในรูปแบบตารางผลผลิตไม้สัก

ผลการศึกษาพบว่า การเติบโตของไม้สักในแปลงปีปลูก พ.ศ.2487, 2495 และ 2497 มี  
ความเพิ่มพูนรายปี (current annual increment : CAI) อยู่ระหว่าง 0.604-10.197 มิลลิเมตร ความ  
เพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment : MAI) อยู่ระหว่าง 2.390-5.337 มิลลิเมตร ตัวแบบ  
สำหรับพยากรณ์การเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางของไม้สักรายต้นคือรูปแบบสมการยกกำลัง  
(Power equation) โดยกำหนดให้อายุของไม้สักเป็นตัวแปรอิสระ และตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับ  
การพยากรณ์ปริมาตรไม้สักรายต้นที่ทำเป็นสินค้าได้อยู่ในรูปแบบสมการยกกำลังเช่นเดียวกัน โดย  
กำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออกเป็นตัวแปรอิสระ ผลผลิตไม้สักที่ได้ในปัจจุบัน (พ.ศ.2554)  
แปลงปลูกปี 2487, 2495 และ 2497 มีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 23.39, 17.87 และ  
18.35 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และจากการพยากรณ์ผลผลิตรายปีของหมู่ไปอีก 30 ปี (พ.ศ. 2584)  
ผลผลิตไม้สักแปลงปลูกปี 2487, 2495 และ 2497 จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 49.84,  
34.80 และ 50.22 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ตามลำดับ จากผลการศึกษาดังกล่าวจึงทำให้ทราบถึงการ  
เติบโตของไม้สัก และผลผลิตของไม้สักและสามารถนำมาจัดทำเป็นตารางผลผลิตในรูปปริมาตร  
ไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ต่อหน่วยเนื้อที่ต่อไร่ ของหมู่ไม้ในช่วงเวลาต่างๆ และได้คาดคะเนการเติบโต  
และผลผลิตของไม้สักไปอนาคตด้วย

Artit Choirai 2014: A Study of the Growth and Yield of Teak Using Dendrochronological Techniques in Huai Thak Plantation, Ngao District, Lampang Province. Master of Science (Forest Resource Management), Major Field: Forest Resource Management, Department of Forest Management. Thesis Advisor: Assistant Professor Khwanchai Duangsathaporn, Ph.D. 77 pages.

The objective of this study focused on growth and yield of teak in Huai Thak Plantation, Ngao District Lampang Province. The timber core samples were collected in different three age-classes and site conditions having age between 57 and 67 years by using the increment borer. The Dendrochronological technique and prediction technique were applied coherently to investigate growth and yield models. The regression analysis has been applied for forecasting the growth and yield as a merchantable volume table.

The results indicated that diameter increments of teak in three planted year; 1944, 1952 and 1954 had current annual increment (CAI) between 0.604 to 10.197 millimeters. and had mean annual increment (MAI) between 2.390 to 5.337 millimeters. The best regression equation for forecasting diameter growth, diameter at breast height (dbh), of teak was expressed. As a power equation, where as the equation for estimating merchantable volume per tree of teak same was a power equation using data on dbh. In 2011, the merchantable volume of planted year 1944, 1952 and 1954 were 23.39, 17.87 and 18.35 m.<sup>2</sup>/rai respectively. In 2041, the merchantable volume is expected to be 49.84, 34.80 and 50.22 m.<sup>2</sup>/rai respectively. This study shows growth and yield of teak in individual plots. Therefore, the result can be used to make the merchantable volume table per area of forest stand in periods and prediction for growth and yield of teak plantation.

\_\_\_\_\_  
Student's signature

\_\_\_\_\_  
Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ขวัญชัย ดวงสถาพร ประธานกรรมการที่ปรึกษา รศ.ดร.ปัสสิ ประสมสินธุ์ ผศ.ดร.วิชาญ เอียดทอง กรรมการที่ปรึกษา และ รศ.ประสงค์ สงวนธรรม ประธานการสอบ รศ.ประคอง อินทรจันทร์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาการจัดการป่าไม้ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบ ความรู้ด้านป่าไม้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตต่อไป ขอขอบคุณ ดร.กฤษฎาพันธ์ ผลากิจ อ.พิชิต ลำไย เพื่อนวนศาสตร์รุ่นที่ 70 ตลอดจนสมาชิกของห้องปฏิบัติการ รุกขวิทยาเขตร้อน (The Laboratory of Tropical Dendrochronology) ที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยใน ด้านเทคนิคต่างๆในห้องปฏิบัติการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

อาทิตย์ ชาวไร่อ้อย  
พฤศจิกายน 2557

## สารบัญ

หน้า

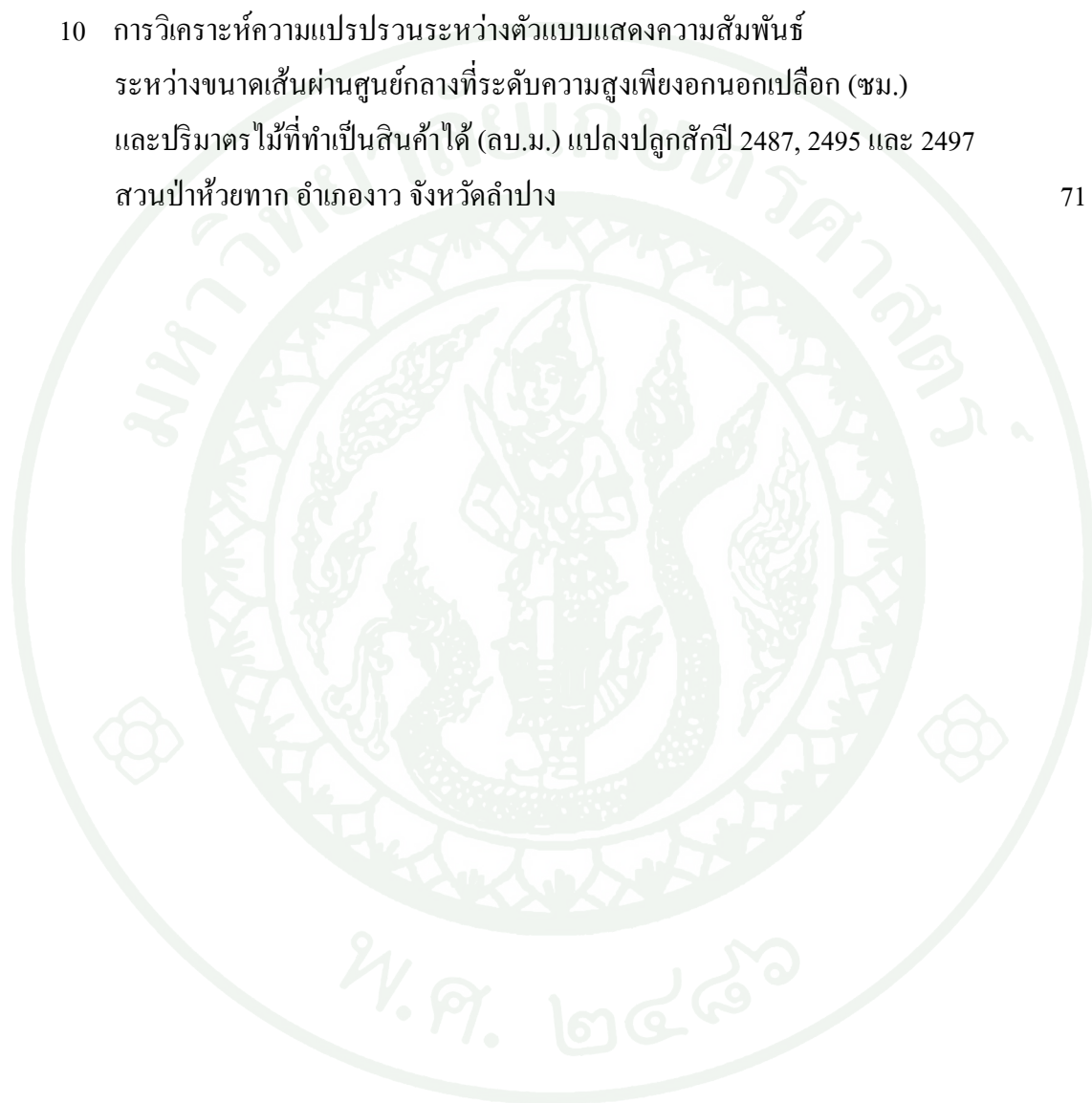
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	24
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	50
สรุป	50
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	53
ภาคผนวก	56
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	77

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ช่วงชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับสูงเพียงออก	26
2 จำนวนตัวอย่างไส้ไม้ของสวนป่าสักห้วยทาก	28
3 ค่าทางสถิติของชุดข้อมูลความกว้างวงปีต้นไม้ในแต่ละแปลงปลูก	29
4 ค่า EPS ของค่าความกว้างวงปีไม้สัก แปลง 2487, 2495 และ 2497	30
5 ข้อมูลสถานภาพของสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง	39
6 ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออกของสักรายต้น	43
7 ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออกกับปริมาตรสักรายต้น	44
8 ตารางผลผลิตไม้สักที่ทำเป็นสินค้าได้ สวนป่าห้วยทาก จังหวัดลำปาง ตามแปลงปีที่ปลูก	47
<b>ตารางผนวกที่</b>	
1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 6 ชั้นความโต	57
2 ค่าทางสถิติที่สำคัญของไส้ไม้ตัวอย่าง สวนป่าห้วยทาก แปลงปลูกปี 2487	58
3 ค่าทางสถิติที่สำคัญของไส้ไม้ตัวอย่าง สวนป่าห้วยทาก แปลงปลูกปี 2495	60
4 ค่าทางสถิติที่สำคัญของไส้ไม้ตัวอย่าง สวนป่าห้วยทาก แปลงปลูกปี 2497	62
5 ชุดข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออกที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงปีไม้	64
6 ผลการวิเคราะห์ตัวแบบสำหรับพยากรณ์การเติบโตของสักรายต้น	67
7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออก จากสมการที่เหมาะสมของแปลงปลูกปี 2487, 2495 และ 2497 ของสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง	67
8 ปริมาตรไม้สักรายต้นในสวนป่าห้วยทากจำแนกตามรายแปลงปลูก	68
9 ผลการวิเคราะห์ตัวแบบสำหรับพยากรณ์ปริมาตรไม้สักที่ทำเป็นสินค้าได้	71

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงนอกเปลือก (ซม.) และปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ (ลบ.ม.) แปลงปลูกสักปี 2487, 2495 และ 2497 สวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง	71



## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่ส่วนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง	38
2	เส้นแนวโน้มการเติบโตความเพิ่มพูนรายปีและความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีตามแปลงปลูก	41
<b>ภาพผนวกที่</b>		
1	กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (dbh) และอายุของต้นไม้ (y) ในรูปแบบสมการต่างๆ	72
2	กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (dbh) ในรูปแบบสมการต่างๆ	74
3	ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในแต่ละแปลงปี พ.ศ. ที่ปลูก	75

## การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของไม้สักโดยใช้เทคนิคทางรุกชกาลวิทยา ในสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

### A Study of the Growth and Yield of Teak Using Dendrochronological Techniques in Huai Thak Plantation, Ngao District, Lampang Province

#### คำนำ

สวนป่าห้วยทากจัดเป็นสวนป่าที่มีความเก่าแก่แห่งหนึ่งของประเทศไทย มีวัตถุประสงค์การจัดตั้งสวนป่าเพื่อผลิตไม้สักและกระดาษเยื่อ ทั้งเป็นต้นแบบป่าสาธิต เพื่อการศึกษาวิจัยการทดลองด้านการจัดการป่าไม้ และเป็นสถานีวิจัยนิสิตคณะวนศาสตร์ ปัจจุบันการลักลอบตัดไม้สักในสวนป่าห้วยทาก กำลังอยู่ในภาวะขั้นวิกฤตส่งผลกระทบต่อไม้สักในสวนป่าห้วยทากด้านผลผลิตและการอนุรักษ์ การดำเนินการศึกษาการเติบโต และผลผลิตภายในสวนป่าห้วยทาก จึงอาจเป็นช่องทางหนึ่ง ที่ช่วยให้ทราบถึงสถานภาพของไม้สักในสวนป่าเชิงปริมาณและ ตลอดจนการคงอยู่ของไม้สักในสวนป่าในปัจจุบันที่เป็นอยู่ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการวางแผนจัดการสวนป่า ที่มีสภาพ แวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละแปลงปลูก การเติบโตของต้นไม้จึงเป็นตัวชี้วัดถึงศักยภาพของป่าไม้ในเรื่องของปริมาณ ขนาด และคุณภาพของผลผลิต รวมทั้งความเหมาะสมของพื้นที่

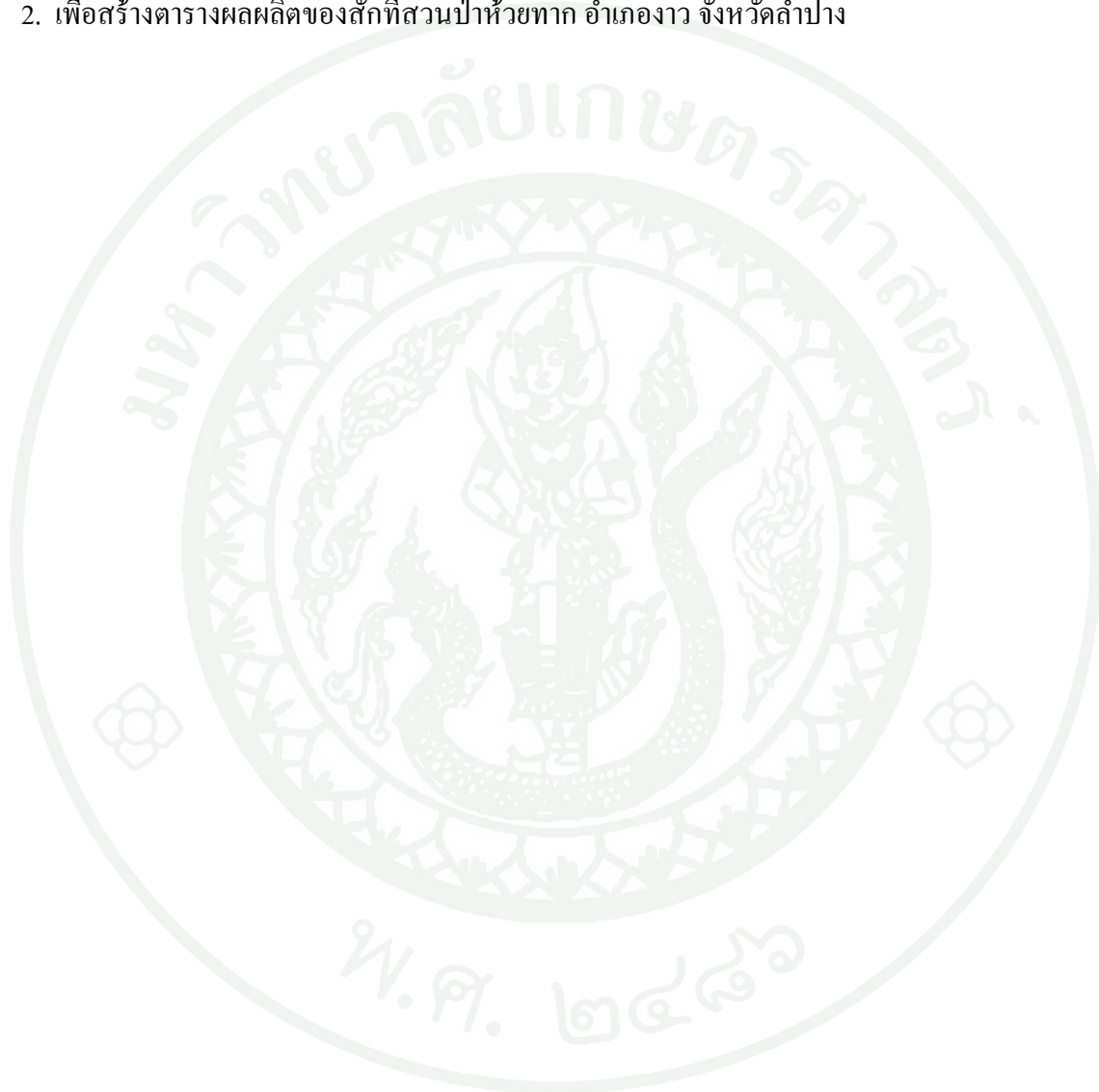
เทคนิครุกชกาลวิทยา (Dendrochronology) จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจนำมาใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเติบโตของต้นไม้ ทำให้ทราบว่าต้นไม้มีการเติบโตอย่างไรจากการวิเคราะห์วงปีต้นไม้ โดยมีกระบวนการสำคัญ คือ Crossdating ที่เป็นเทคนิคสำคัญที่จะช่วยยืนยันปี(พ.ศ.) ของวงปีแต่ละวง ซึ่งการศึกษาการเติบโตที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาจากการวัดซ้ำในแปลงตัวอย่างถาวร หรือจากการสุ่มวัดต้นไม้ในหมู่ไม้ที่อายุต่างกัน วิธีการดังกล่าวอาจได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนและไม่เพียงพอสำหรับการจัดการป่าไม้อย่างประณีต และต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนาน อีกทั้งข้อมูลการเติบโตที่ได้จากวิธีดังกล่าว เป็นข้อมูลที่มีความละเอียดน้อยเนื่องจากการวัดการเติบโตโดยรวมหรือค่าความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment: MAI) ขณะที่เทคนิครุกชกาลวิทยา สามารถทำให้ทราบรูปแบบการเติบโตของหมู่ไม้อย่างละเอียด คือ ค่าความเพิ่มพูนรายปี (current annual increment: CAI)

การนำข้อมูลความกว้างวงปีต้นไม้ที่ได้จากการวัดวงปี สามารถนำมาวิเคราะห์การเติบโตของไม้สักในสวนป่า อีกทั้งนำมาสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์การเติบโตและผลผลิตร่วมกับการวิเคราะห์การถดถอย โดยตัวแบบที่ได้สามารถนำไปพยากรณ์การเติบโตและผลผลิตในรูปปริมาณไม้ที่เป็นสินค้าได้ผลผลิต (Yield) ที่ได้จากการศึกษาทำให้ทราบถึงปริมาณไม้สักที่มีอยู่ในสวนป่าห้วยทากตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และสามารถนำไปพยากรณ์ปริมาณไม้สักในอนาคต

ผลผลิต ไม้สักที่ได้จากการวิเคราะห์วงปีไม้ร่วมกับการวิเคราะห์การถดถอย สามารถนำไปจัดทำเป็นตารางผลผลิต (Yield Table) ในแต่ละแปลงปลูกโดยจะแสดงปริมาณไม้สักในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อไร่ต่อปี ซึ่งทำให้ทราบถึงผลผลิตไม้สักรายปี ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำข้อมูลการเติบโตและผลผลิตที่ได้ นำไปใช้วางแผนการจัดการสวนป่าให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลาง ตลอดจนศึกษาการเติบโต และผลผลิตของสวนป่าไม้สักห้วยทาก จังหวัดลำปาง โดยใช้เทคนิครุกขกาลวิทยา เพื่อทราบถึงการเติบโตและผลผลิตไม้สักได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวางแผนการจัดการผลผลิตของสวนป่าไม้สัก และการอนุรักษ์ไม้สักในสวนป่าห้วยทากให้คงอยู่สืบไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการเติบโตและผลผลิตของไม้สักที่สวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง
2. เพื่อสร้างตารางผลผลิตของสักที่สวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง



## การตรวจเอกสาร

### 1. ไม้สัก

#### 1.1 ลักษณะพื้นฐาน

สัก (*Tectona grandis* L.f.) อยู่ในวงศ์ Lamiaceae อันดับ Lamiales มีชื่อพื้นเมืองว่า ปายี้ เบบายี้ เป้ออี้ ปี่ฮือ เป็นไม้ผลัดใบขนาดใหญ่ มีลำต้นเปลาตรง เมื่อโตเต็มที่สูงเกินกว่า 20 เมตร มักมีพูพอนโคนต้น เรือนยอดกลม เปลือกลำต้นชั้นนอกสีน้ำตาลปนเทาแตกเป็นร่องตื้นๆ ตามความยาวของลำต้นและหลุดออกเป็นแผ่นบางๆ เปลือกนอกหนา 0.30-1.70 เซนติเมตร เปลือกลำต้นชั้นในมีสีน้ำตาลและเขียวอ่อน กระพี้ขาวและหนา เนื้อไม้สีน้ำตาลทองหรือเหลืองทองถึงน้ำตาลแก่ มีลายเป็นสีน้ำตาลแทรก เห็นเส้นวงปีเด่นชัดและลายเส้นวงปีนี้บ่งบอกถึงอายุของต้น โดยความโต 1 วง จะใช้เวลา 1 ปี เนื้อไม้แข็งตรง เนื้อหยาบแข็งปานกลางเลื่อยไสตบแต่งง่าย ใบสักจะแตกออกตามกิ่งก้านหรือตามลำต้นเล็กๆ ของกล้าไม้จะออกเป็นคู่ๆ ตรงกันข้ามเมื่อต้นสักยังเล็กจะมีใบขนาดใหญ่มาก อาจมีความกว้างถึง 40 เซนติเมตรและยาวถึง 80 เซนติเมตร เมื่อต้นสักอายุมากขึ้น ขนาดใบจะลดลง รูปของใบรีมนคล้ายรูปไข่ ท้องใบสากหลังใบเขียวแกมเทาเป็นขน ใบอ่อนที่เพิ่งแตกมีสีน้ำตาลแดง และมีขนอ่อนนุ่ม สักเป็นไม้ผลัดใบ ใบเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลือง น้ำตาลและแดงในช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม และในช่วงเดือนพฤษภาคมก็แตกใบใหม่ ใบอ่อนที่แตกจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและโตเต็มที่ในราวๆ ประมาณเดือนกรกฎาคมช่อดอกจะเริ่มแทงออกมา เป็นช่อซ้อนประกอบไปเรื่อยๆ ใช้เวลาประมาณ 20-30 วันช่วงเวลาที่ดอกบานคือ เดือนกันยายน ดอกสัก ช่อหนึ่งๆ ยาวประมาณ 40-60 เซนติเมตร แต่ละช่อดอกประกอบ ด้วยดอกเล็กๆ สีขาวหรือขาวเต็มม่วง ออกตามปลายกิ่งและมีจำนวนมาก 750-3,000 ดอก ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของช่อดอกและลำต้น หลังจากการผสมเกสรดอกสักก็จะเจริญเติบโตเป็นผลเล็กๆ ประมาณ 50 วันผลจึงเจริญเต็มที่ในเดือนมกราคม ลักษณะผลค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1-2 เซนติเมตร ผลหนึ่งๆมี 4 เมล็ด เปลือกผลแข็งมีขนสั้นๆ สีน้ำตาลหุ้มอยู่ ผลจะแก่ในเดือนพฤศจิกายน-มกราคม ผลที่แก่จัดหรือแห้งจะมีสีน้ำตาลและร่วงหล่นลงตามธรรมชาติ เมื่อถึงฤดูฝนผลหรือเมล็ดสักเหล่านี้ก็จะแตกออกและเจริญเติบโตเป็นกล้าต่อไป (โชคชัย, 2536)

## 1.2 ถิ่นกำเนิด

สัก เป็นไม้ที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบประเทศอินเดีย พม่า ไทย และ ตอนเหนือของลาว สัก ที่พบในประเทศไทยที่อยู่ในธรรมชาติพบทั่วไปทางภาคเหนือของประเทศไทย โดยจะตั้งอยู่ระหว่าง เส้นแวงที่ 90 องศา 30 ลิปดาถึง 101 องศา 20 ลิปดาตะวันออกและเส้นรุ้งที่ 14 ถึง 20 องศาเหนือ ซึ่ง ประกอบด้วยจังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน แม่ฮ่องสอน ลำปาง เชียงราย แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ พิษณุโลก พิจิตร เพชรบูรณ์ ตาก สุโขทัย และกำแพงเพชร สัก พบในป่าเบญจพรรณขึ้นเป็นหมู่ ระดับความสูงของพื้นที่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ โดยอยู่ระหว่าง 200–1,200 เมตรเหนือจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (โชคชัย, 2536)

## 2. การเติบโตของต้นไม้

### 2.1 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการเติบโตของต้นไม้

การเติบโตของต้นไม้ คือ การเพิ่มขนาดของรากหรือลำต้นและกิ่งก้านของต้นไม้มตามกาลเวลาที่เพิ่มขึ้น การเติบโตของต้นไม้มทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในส่วนของน้ำหนัก ปริมาตร หรือขนาดรูปร่างของต้นไม้ม (Husch *et al.*, 1982) ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ ลดาวัลย์ (2550) ที่กล่าวว่า การเติบโตของต้นไม้มคือขบวนการสะสมและเพิ่มพูนเซลล์ใหม่ ๆ ขึ้นมาแบบเดียวกับสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ทั้งหลาย ทรานไคที่เซลล์ของพืชยังเป็นเซลล์ที่มีอายุน้อยและเป็นเซลล์ที่กำลังเติบโตของต้นไม้ม

การเติบโตจะมีความหมายอยู่ 2 ประการ คือ การเติบโต ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของขนาด ปริมาตรหรือมวลของต้นไม้ม ซึ่งเป็นผลมาจากการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์อันเป็นผลมาจากกระบวนการทางสรีรวิทยาทุกกระบวนการในพืช เป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาณที่ไม้คืนกลับ ส่วนความหมายของการพัฒนาเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทั้งลักษณะภายนอกและภายใน ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์เพื่อทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน การพัฒนาเป็นผลร่วมของการเติบโตและการเปลี่ยนแปลงสภาพกำหนดด้วยลักษณะทางพันธุกรรม กันตินันท์ (2548) กล่าวว่า การเติบโตของต้นไม้มนั้นสามารถเกิดขึ้นได้พร้อมกันในทุกๆ ส่วนของต้นไม้มอย่างเป็นอิสระต่อกันซึ่งตัวแปรที่สามารถวัดเพื่อศึกษาการเติบโตนั้นมีหลายตัวอย่าง เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง ขนาดเรือนยอด ปริมาตรพื้นที่หน้าตัด และน้ำหนัก

การเติบโตของต้นไม้โดยทั่วไปจะกล่าวกันในรูปของส่วนที่เพิ่มขึ้น (Increment) ซึ่งส่วนที่เพิ่มขึ้นของต้นไม้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ (ปัสลี, 2534)

1) ความเพิ่มพูนรายปี (current Annual Increment: CAI) เป็นการเติบโตหรือความเพิ่มพูนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี

2) ความเพิ่มพูนระยะคาบ (periodic Increment: PI) เป็นความเพิ่มพูนที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งมากกว่าหนึ่งปี อาจจะเป็นช่วงละ 5 หรือ 10 ปีก็ได้

3) ความเพิ่มพูนเฉลี่ยในระยะคาบ (periodic Annual Increment : PAI) เป็นความเพิ่มพูนเฉลี่ยในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หาได้โดยเอาความเพิ่มพูนระยะคาบหารด้วยจำนวนปีในระยะคาบนั้น

4) ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (mean annual increment: MAI) เป็นความเพิ่มพูนเฉลี่ยที่หาได้จากความเพิ่มพูนสะสมทั้งหมดหารด้วยอายุทั้งหมด

## 2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของต้นไม้

การเติบโตของต้นไม้แต่ละต้นจะมีลักษณะการเติบโตที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากปัจจัยหลัก 2 ประการคือ (Kramer and Kozlowski, 1960)

2.2.1. ศักยภาพในการเติบโตตามลักษณะทางพันธุกรรมของต้นไม้ (hereditary potentialities of tree) เป็นความสามารถทางพันธุกรรมในการเติบโตของต้นไม้ชนิดใดชนิดหนึ่งซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยด้านชีวภาพ

2.2.2. ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม (environmental factors) โดยสภาวะแวดล้อมที่ต้นไม้ขึ้นอยู่กับนั้นจะส่งผลกระทบต่อการเติบโต

Whitmore (1975) กล่าวว่าลักษณะทางพันธุกรรมเป็นปัจจัยหลัก ที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นไม้ในเขตร้อนชื้น อย่างไรก็ตามอายุและปัจจัยทางภูมิอากาศมีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ สอดคล้องกับ Husch *et al.* (1982) กล่าวว่า การเติบโตของต้นไม้เป็นผลเนื่องมาจากการกระทำร่วมกันของสิ่งแวดล้อมกับลักษณะทางพันธุกรรมของไม้แต่ละชนิด ซึ่งปัจจัยแวดล้อมต่างกัน ได้แก่

สภาพภูมิอากาศ ลักษณะดิน ลักษณะภูมิประเทศ การแข่งขันเพื่อให้ได้รับปัจจัยต่างๆเหล่านี้แสดงถึงคุณภาพแหล่งไม้ (site quality)

### 2.3 การเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของต้นไม้

การเติบโตของต้นไม้จะเป็นการเติบโตที่เป็นระยะๆ ในการเปลี่ยนรูปทรงของลำต้นและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงเวลาหนึ่งในป่าเขตอบอุ่นการเติบโตของต้นไม้ในแต่ละปีจะเป็นขั้นรอบๆ ลำต้นจนเห็นได้ชัดเมื่อตัดหน้าตัดจะเห็นวงปีนั้น ดังนั้นอายุของต้นไม้อาจทราบได้จากการนับจำนวนวงปี และปริมาตรของแต่ละวงปีเป็นปริมาตรที่เพิ่มขึ้นในปีนั้นๆวงปีมักจะมีความกว้างในเมื่อต้นไม้ยังมีอายุน้อย เมื่ออายุของต้นไม้เพิ่มขึ้นขนาดของวงปีจะค่อยๆมีขนาดเล็กลงอันเป็นผลให้ความเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ในแต่ละปีลดลง ถึงแม้ขนาดของวงปีจะมีขนาดเล็กลงๆ เมื่อต้นไม้มีอายุมากขึ้นก็ตามแต่การเพิ่มขึ้นนี้ก็มีส่วนทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้เพิ่มขึ้น ปริมาตรของต้นไม้อย่างน้อย ย่อมจะเท่ากันหรือมากกว่าในปีก่อนๆ จากอายุที่เพิ่มขึ้นอัตราการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้จะขึ้นอยู่กับความชื้นที่ใช้ประโยชน์ได้ของดิน และปริมาณของใบ สำหรับขบวนการสังเคราะห์แสง ต้นไม้ที่ปลูกห่างกันจะมีผลทำให้เรือนรากแผ่กระจายได้มากและมีเรือนยอดใหญ่อันเป็นผลให้การเจริญเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นไปอย่างรวดเร็ว

ความเพิ่มพูนความสูงต้องพิจารณาถึงเรื่องแรกเกี่ยวกับส่วนผสมของกลุ่มไม้ในอนาคตลักษณะการเติบโตทางความสูงมีลักษณะแสดงเป็น sigmoid -growth curve การเจริญเติบโตทางความสูงตอนแรกเริ่มจะเป็นไปอย่างช้าๆ จนกระทั่งต้นไม้ตั้งตัวแล้ว หลังจากนั้นไปจนถึงอายุ 20-30 ปีจะเป็นระยะที่ต้นไม้เจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ละชนิด และแหล่งปลูกเมื่อต้นไม้ที่มีอายุในวัยไม้แก่ การเติบโตทางความสูงลดลงและมีความเร็ว แต่ความสูงจะไม่หยุดตราบใดที่ต้นไม้ยังมีชีวิตและแข็งแรง ซึ่งกราฟแสดงการเติบโตต่อเนื่องกัน เป็นลักษณะการเติบโตต่างๆไปของต้นไม้ไม่ว่าจะเป็น ความสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง พื้นที่หน้าตัด หรือปริมาตรของต้นไม้ ถึงแม้รูปร่างของกราฟแสดงการเติบโตต่อเนื่องกันของต้นไม้จะแตกต่างกันออกไปบ้าง เนื่องจากตัวแปรค่าที่ใช้และผลอันเกิดจาก ลม ฟ้า อากาศ แต่กราฟนั้นก็คงอยู่ในลักษณะไม่ต่างไปจากอักษร S ที่ยึดออกไป ดังนั้นผลผลิตของลำต้น เราสามารถพยากรณ์ได้โดยการวัดอัตราการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางและทางความสูงในอดีต (ชาญ, 2525)

## 2.4 ช่วงการเติบโตของต้นไม้

การศึกษาการเติบโตของต้นไม้ส่วนใหญ่จะแสดงผลในรูปของกราฟการเติบโต เป็นการแสดงให้เห็นถึงการเติบโตอย่างต่อเนื่องของต้นไม้แต่ละชนิด หากนำการเติบโตของต้นไม้ เช่น การเพิ่มขึ้นของขนาด ปริมาตร หรือน้ำหนัก มาสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของเวลา พบว่าการเติบโตมีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน คือมีลักษณะเป็นรูปตัว S เรียกว่า sigmoid growth curve ทั้งนี้เนื่องจากต้นไม้จะมีอัตราการเติบโตในระยะต่างๆ ตลอดวงจรชีวิตที่ไม่เท่ากันรูปแบบของการเจริญเติบโตของพืชหรือสิ่งมีชีวิตมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันคือ เป็นแบบ sigmoid growth curve จะมีความแตกต่างกันก็ช่วงการมีอายุของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ สามารถแบ่งการเจริญเติบโตของพืชได้ 4 ระยะ (ลดาวัลย์, 2550) คือ

ระยะที่ 1 Exponential phase เป็นระยะที่มีการเจริญเติบโตเข้ามา

ระยะที่ 2 Linear phase เป็นระยะที่พืชมีอัตราการเจริญสูงค่อนข้างคงที่ และใช้เวลานานในช่วงระยะนี้เป็นตัวชี้ถึงอัตราการเจริญของพืชอย่างแท้จริง

ระยะที่ 3 Declining phase เป็นระยะที่พืชมีอัตราการเจริญลดลง

ระยะที่ 4 Steady state เป็นระยะที่พืชมีอัตราการเจริญคงที่ ถือว่าเป็นพืชที่มีความแก่ในทางสรีรวิทยา และเป็นระยะที่พืชมีการสร้างหรือสะสมน้ำหนักรวมได้สมดุลกับที่สูญเสียไป

## 2.5 การวัดการเติบโตของต้นไม้

การเติบโตของต้นไม้สามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งของต้นไม้ อาจจะเป็นรายต้นหรือหมู่ไม้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หรือปัจจัยอื่นๆ เช่น ระยะเวลางบประมาณที่มี เป็นต้น การวัดการเติบโต หรือ ความเพิ่มพูนสามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ปัสลี, 2534)

1) การวัดจากแปลงตัวอย่าง (sample plot) แปลงตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือแปลงตัวอย่างชั่วคราว และแปลงตัวอย่างถาวร แปลงตัวอย่างชั่วคราวนั้นเลือกทำในที่ที่มีต้นไม้ อายุต่างกัน

สำหรับไม้อายุชั้นหนึ่งๆแล้ววัดไม้ในแปลง ส่วนแปลงตัวอย่างถาวรเป็นการเลือกทำในที่ที่ต้นไม้ยังเยาว์อยู่แล้วทำการวัดไม้เป็นระยะๆ ตามอายุของไม้

2) การวิเคราะห์ตอ (stump analysis) เป็นการศึกษาวงปีจากตอไม้ที่โค่นลงแล้วใช้เพื่อหาความเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างเดียว

3) การวิเคราะห์ลำต้น (stem analysis) การเติบโตในอดีตของต้นไม้ เราจะทราบได้จากการวิเคราะห์ลำต้น ซึ่งการศึกษากการวิเคราะห์ลำต้นจะทำให้เราทราบว่าต้นไม้มีการเติบโตอย่างไรในทางความโตและความสูง นอกจากนี้ยังทำให้เราทราบถึงการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของต้นไม้ด้วย ทั้งนี้เพราะว่าหน้าตัดของลำต้นที่ระดับความสูงต่างๆการวัดดังกล่าวเราอาจจะวัดจากไม้ต้นก็ได้โดยใช้ส่วสำหรับเจาะใส่ไม้ (increment borer) เจาะที่ระดับความสูงต่างๆ ของลำต้นแล้วนับและวัดวงปี ถ้าต้นไม้ไม่นั้นไม่ใหญ่จนเกินไปหรือเนื้อไม้ไม่แข็งจนเกินไป

4) การเจาะวัดหาความเพิ่มพูน (increment boring) การเจาะวัดหาความเพิ่มพูน เป็นวิธีวัดการเติบโตของต้นไม้โดยใช้เครื่องเจาะใส่ไม้เจาะเอา (pith) ของไม้ (แกน) ที่ระดับความสูงเพียงออก ซึ่งจะทำให้การเจาะในแนวตั้งฉากกับลำต้นแล้วนำมาคำนวณหาความเพิ่มพูน

ส่วน Thammincha (1981) ได้แบ่งวิธีการคาดคะเนการเติบโตของต้นไม้มี 2 วิธี คือวิธีทางตรง เป็นการศึกษาการเติบโตของต้นไม้โดยวัดขนาดต่างๆของต้นไม้ในพื้นที่ เช่น วัดขนาดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น ความสูงและรูปทรงของต้นไม้โดยทั่วไปการวัดความโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และนับว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญในการเติบโตของต้นไม้และหมู่ไม้ โดยอาศัยการวิเคราะห์จากการวัดขนาดต่างๆ ของต้นไม้ ส่วนอีกวิธีหนึ่ง คือ วิธีทางอ้อมเป็นการศึกษาการเติบโตของต้นไม้โดยใช้ตารางการเติบโตและผลผลิต หรือตารางปริมาตรไม้ที่มีการทำไว้แล้ว ในส่วนของการวัดหาความเพิ่มพูน Troup (1911) ระบุว่าการศึกษาวิเคราะห์ลำต้นจากหน้าตัดของต้นไม้ที่ระดับชิดพื้นดินแล้วนับวงปีก็จะเท่ากับอายุของต้นไม้ นั้น ขณะที่ผลการศึกษาของ Simmos (1962) พบว่าการตัดตามขวางของต้นไม้ส่วนไหนก็ตามจำนวนวงปีที่นับได้เหนือแวนนั้นๆ จะเท่ากับอายุที่แท้จริงของต้นไม้ที่เหนือการตัดตามขวาง บัวตัน (2509) ได้ทำการศึกษาวเคราะห์ลำต้นของไม้สักที่สูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร ปรากฏว่าวงปีไม้ขาดหายไป 2 วงของทุกๆต้น แสดงว่าไม้สักกว่าจะเติบโตถึง 1.30 เมตรต้องใช้เวลา 2 ปี

ชาญ (2525) กล่าวว่าวิธีที่ดีที่สุดของการวัดหาการเติบโตทางปริมาตรสะสมของต้นไม้ก็คือวิธีวิเคราะห์ลำต้น ถึงแม้ว่าการนับและวัดจำนวนวงปีโดยการป็นขึ้นไปและเจาะไม้ยืนต้นจะทำให้ได้ตาม แต่ปกติแล้วนิยมนำไม้ลงมาและตัดเป็นท่อนๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้เปลือกของช่วงเวลาเติบโตหาได้โดยการนับวงปีถอยหลังจนถึงปีที่ต้องการปริมาตรที่เริ่มต้นทั้งหมดของไม้ทุกๆ ท่อนลบออกจากปริมาตรแต่ละปีจะได้การเติบโตเป็นหน่วยปริมาตร หากต้องการหาอัตราการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเปลือกวิธีที่ดีที่สุดคือ การวัดซ้ำจากแปลงตัวอย่างถาวร การสำรวจแก่นไม้ที่ติดต่อกันของไม้ชนิดเดียวกันสามารถจะทราบความเพิ่มพูนของไม้รวมทั้งเปลือกในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ และจากผลนี้จะทำให้จัดปัญหาต่างๆที่จะเกิดขึ้นในการวัดหาการเติบโตของลำต้นจากวิธีการเจาะวัดหาความเพิ่มพูน แต่ในเมื่อการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางไม้ได้มีการวัดมาก่อนมักจะใช้วิธีการเจาะวัดหาความเพิ่มพูนที่เส้นผ่านศูนย์กลางระดับความสูงเพียงออกแทน

### 3. รุกขกาลวิทยา (Dendrochronology)

#### 3.1 ความหมายและขอบเขตการศึกษา

วงปีเกิดจากการเจริญและแบ่งเซลล์ของแคมเปียมในฤดูการเติบโต โดยทั่วไปเริ่มขึ้นระหว่างปลายฤดูร้อนกับต้นฤดูฝน อัตราการเติบโตจะเร็วในตอนต้นฤดูการเติบโตและค่อยๆช้าลงเมื่อจวนหมดฤดูการเติบโตคือปลายฤดูฝนสู่ฤดูหนาว อัตราการเติบโตที่ต่างกันนี้ทำให้ขนาดของเซลล์และความหนาของผนังเซลล์ไซเลมไม่เหมือนกัน จากด้านตัดขวางของเนื้อไม้และรากจะเห็นชั้นของการเติบโตนี้ได้เป็นชั้นๆเรียกว่าวงเติบโต ถ้าการเจริญนี้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอในช่วงปีหนึ่งๆมักจะเรียกกันว่าวงปีต้นไม้ ในฤดูฝนน้ำในดินมีมากแคมเปียมมีการแบ่งตัวและเปลี่ยนรูปไปเป็นไซเลม เซลล์ของไซเลมจึงมีขนาดใหญ่ผนังเซลล์บางไม่เรียงตัวอัดกันแน่นเรียกว่าไม้ต้นฤดู (earlywood) ส่วนเซลล์ที่เกิดในฤดูที่มีน้ำน้อย เซลล์มีขนาดเล็กและแคบกว่าผนังเซลล์หนากว่าเรียกว่าไม้ปลายฤดู (latewood) ในบางครั้งการเจริญนี้ต้องหยุดชะงักเพราะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสภาพดินฟ้าอากาศมีโรคเกิดขึ้นหรือเกิดจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆเมื่อสภาพต่างๆเข้าสู่สภาวะปกติแล้วจะมีวงเติบโตอันที่สองเกิดขึ้นได้ ชั้นที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าวงปีปลอม (เทียมใจ, 2546)

นาฏสุดา (2556) กล่าวว่า ศาสตร์วงปีต้นไม้เป็นหนึ่งในศาสตร์อื่นๆที่มีความสำคัญมากนับว่าเป็นวิธีการบันทึกเหตุการณ์ด้านสิ่งแวดล้อมในกระบวนการด้านสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติและติดตามการเปลี่ยนแปลงที่เป็นสาเหตุจากมนุษย์ เช่น การปนเปื้อนด้านมลภาวะ การวินิจฉัยเหตุการณ์ต่างๆ ตลอดเวลาที่เปลี่ยนแปลงที่บันทึกในรูปแบบการเจริญเติบโตของวงปีต้นไม้สามารถใช้ในการ

กำหนดอายุที่เป็นปีปฏิทินเพราะว่าวงปีต้นไม้เปรียบเสมือนเครื่องมือติดตามด้านสิ่งแวดล้อม (environment monitoring) และเป็นดัชนีสิ่งมีชีวิตที่ยาวนานตลอดช่วงชีวิตของต้นไม้ ศาสตร์วงปีต้นไม้สามารถประยุกต์กับไม้ที่มีอายุมากที่บันทึกสภาพภูมิอากาศทั้งปริมาณน้ำฝนและอุณหภูมิ ไฟป่า การระบาดของแมลง เหล่านี้เป็นเพียงบางตัวอย่างที่กล่าวถึง ต้นไม้ที่ตายแล้วสามารถที่จะนำมาขยายเส้นดัชนีต่อหรือเชื่อมโยงจากไม้ที่มีชีวิตได้ จึงทำให้ได้เส้นดัชนีไม้ยาวขึ้นและย้อนกลับไปในอดีตเท่ากับความยาวของดัชนีไม้เหล่านั้น

ปัจจุบันนี้การนำศาสตร์วงปีต้นไม้ไปประยุกต์ร่วมกับศาสตร์ด้านต่างๆกว้างขวาง จึงเกิดความหมายที่แตกต่างกัน คำว่า Dendrochronology (dendron=ต้นไม้ chronos=เวลา logos=ศาสตร์) หมายถึง ศาสตร์ที่วิเคราะห์ลักษณะของวงปีต้นไม้และนำเวลาที่วงปีต้นไม้เกิดขึ้น มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของโลกในศาสตร์ทางกายภาพ และวัฒนธรรม ปัจจุบันวิชาการด้านนี้ได้แตกแขนงออกไปหลายสาขาตามความประสงค์และความถนัดขององค์กรและบุคคลดังต่อไปนี้ (ปีสตี และ ขวัญชัย, 2548)

- 1) Dendroarchaeology หมายถึง ศาสตร์ที่ใช้วงปีของต้นไม้หาเวลาที่ต้นไม้ถูกโค่นขนส่ง ใช้ประโยชน์ หรือสร้างสิ่งก่อสร้าง ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์ห้วงปีของขี้เถ้าในบ้านเก่าแห่งหนึ่งเพื่อตรวจสอบว่าบ้านหลังนี้สร้างเมื่อใด
- 2) Dendroclimatology หมายถึง ศาสตร์ที่ใช้วงปีของต้นไม้ศึกษาลักษณะภูมิอากาศในปัจจุบัน และสร้างข้อมูลลักษณะภูมิอากาศในอดีต รวมถึงการคาดคะเนในอนาคต ตัวอย่างเช่น การหาปริมาณน้ำฝนรายปีในอดีตช่วงก่อนที่จะมีการเก็บข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศโดยการวิเคราะห์ความกว้างของวงปีต้นไม้
- 3) Dendroecology หมายถึง ศาสตร์ที่ใช้วงปีของต้นไม้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระบบนิเวศของโลก ตัวอย่างเช่น การศึกษาอิทธิพลของมลพิษทางอากาศต่อการเติบโตของต้นไม้โดยการวิเคราะห์ความกว้างของวงปีต้นไม้ในช่วงเวลาหนึ่ง
- 4) Dendrogeomorphology หมายถึง ศาสตร์ที่ใช้วงปีของต้นไม้หาเวลาที่พื้นผิวโลกมีกระบวนการสร้าง, เปลี่ยนแปลง, หรือมีสัญญาณทางภูมิประเทศแบบต่างๆ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์หาลำดับเวลาที่เกิดเหตุการณ์แผ่นดินถล่ม โดยวิเคราะห์รูปแบบการเติบโตของต้นไม้จากการวิเคราะห์ลักษณะของวงปีต้นไม้

5) Dendrohydrology หมายถึง ศาสตร์ที่ใช้วงปีของต้นไม้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการไหลของแม่น้ำ, น้ำไหลบ่าหน้าดิน และระดับความสูงของน้ำในแม่น้ำหรือทะเลสาบ ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในทะเลสาบตามลำดับเวลาในช่วงเวลาหนึ่ง โดยวิเคราะห์จากวงปีของต้นไม้ที่ถูกน้ำท่วม

6) Dendropyrochronology หมายถึง ศาสตร์ที่ใช้วงปีของต้นไม้หาเวลาและศึกษาการเปลี่ยนแปลงของการเกิดอัคคีภัยหรือไฟป่า ในอดีต และปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์หาความถี่ของการเกิดไฟป่าในอดีตโดยการวิเคราะห์ตำแหน่งของวงปีไม้ที่เกิดจากไฟป่าว่าเกิดขึ้นเมื่อใด

7) Dendroentochronology หมายถึง ศาสตร์ที่ใช้วงปีของต้นไม้หาเวลาและศึกษาพลวัตในอดีตของประชากรแมลง ตัวอย่างเช่น การศึกษาการระบาดของมอดเจาะลำต้นสักในอดีตโดยวิเคราะห์การเจริญเติบโตที่ผิดปกติด้วยการวิเคราะห์วงปี

3.2 หลักการศึกษาด้านรุกขกาลวิทยา (Principle of Dendrochronology) มีหลักการที่สำคัญในการศึกษาดังนี้ (นาฏสุดา, 2556)

### 3.2.1 ความเหมือนกัน (Uniformitarian Principle)

กระบวนการทางด้านกายภาพและชีวภาพที่เชื่อมโยงเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในปัจจุบันซึ่งส่งผลให้ต้นไม้เติบโต ต้องเคยเกิดขึ้นก่อนในอดีต (Fritts, 1976) หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ “ปัจจุบันคือกุญแจไปสู่อดีต: The present is the key to the past” อย่างไรก็ตามรุกขกาลวิทยาได้เพิ่มความหมายในทางตรงกันข้ามคือ “อดีตคือกุญแจไปสู่อนาคต: The past is the key to the future” หรือในอีกความหมายหนึ่งเมื่อทราบถึงเงื่อนไขของสภาพแวดล้อมซึ่งเกิดขึ้นในอดีต (โดยการวิเคราะห์จากวงปี) สามารถที่จะทำนายและ/หรือจัดการ สภาพแวดล้อมในอนาคตได้

### 3.2.2 ปัจจัยจำกัด (Limiting Factors)

หลักการของปัจจัยจำกัดกล่าวว่าปัจจัยจำกัดที่น้อยที่สุดทางสิ่งแวดล้อมควบคุมการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต หลักการนี้อยู่บนพื้นฐานของ Liebig's law of the minimum ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาของต้นไม้ต่อสิ่งแวดล้อมที่ควบคุมสามารถที่จะใช้ในการประเมินเบื้องต้นว่าจะอะไรคือปัจจัยจำกัดด้านสิ่งแวดล้อมและบันทึกในวงปีต้นไม้กล่าวคืออัตราที่

จะเกิดขึ้นได้จากกระบวนการต่างๆของพืชสามารถจะเกิดได้เร็วเท่ากับปัจจัยที่จำกัดมากที่สุด เช่น หากปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยจำกัดของพืชดังนั้นปริมาณเนื้อไม้ที่จะผลิตโดยต้นไม้ใน 1 ปี จะสะท้อนถึงปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่ตกในพื้นที่นั้นในปีนั้น

ปัจจัยจำกัดควบคุมการเติบโตของต้นไม้แต่ละปีและเป็นตัวแปรหลักที่บันทึกลงในความกว้างวงปีทำให้เกิดชุดข้อมูลวงปี ต้นไม้ที่มีความกว้างวงปีที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละปีมีความเป็นไปได้ว่าปัจจัยจำกัดนี้อาจเปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงชีวิตของต้นไม้ ดังนั้นการสร้างปัจจัยแวดล้อมในอดีตอาจไม่มีความหมาย (เนื่องจากปัจจัยจำกัดอาจมีหลายปัจจัยดังนั้นหากสร้างเส้นดัชนีย้อนกลับไปในอดีตอาจอธิบายอะไรไม่ได้ชัดเจน) ดังนั้นนักวิเคราะห์หวังปีต้นไม้มักจะสนใจปัจจัยจำกัดที่เป็นปัจจัยตัวเดิมที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงชีวิตของต้นไม้ จะทำให้การสร้างเส้นดัชนีย้อนกลับสามารถอธิบายเหตุการณ์ในอดีตได้ชัดเจนขึ้น (นาฏสุดา, 2556)

### 3.2.3 ผลรวมของการเติบโตของต้นไม้ (Aggregate Tree Growth)

หลักเกณฑ์ของผลรวมแบบจำลองการเจริญเติบโตกล่าวว่าต้นไม้บันทึกทุกสิ่งที่กระทบต่อการเจริญเติบโตและก่อให้เกิดแบบจำลองเกี่ยวกับกรอบแนวความคิด หลักเกณฑ์นี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานเงื่อนไขในการแยกแยะผลกระทบของสิ่งแวดล้อมต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ ถึงแม้ว่าต้นไม้อาจจะได้รับความรุนแรงจากปัจจัยจำกัดหนึ่งปัจจัยหรือมากกว่า ดังนั้นผลรวมของแบบจำลองการเจริญเติบโตของ (Cook, 1985) จึงเป็นกรอบแนวความคิด การตอบสนองของต้นไม้ต่อสภาพแวดล้อมและพยายามที่จะเข้าใจความแตกต่างของตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การเติบโตของต้นไม้ กล่าวคือลำดับการเจริญเติบโตของต้นไม้แต่ละต้นสามารถที่จะแยกส่วน และนำไปสู่ผลรวมทั้งหมดของปัจจัยสิ่งแวดล้อมทั้งมนุษย์และธรรมชาติ มีผลกระทบต่อ การเจริญเติบโตของต้นไม้ตลอดเวลา ตัวอย่างวงปีของต้นไม้ที่เติบโตขึ้นในเวลา 1 ปี มีผลมาจากปัจจัยรวมต่างๆ คือ อายุของต้นไม้เป็นเรื่องสรีรวิทยา, สภาพภูมิอากาศของปีนั้นที่เกิดในพื้นที่ปีนั้น, ปัจจัยภายนอก เช่น การระบาดของแมลงทำให้เกิดใบร่วง และทำให้การเติบโตลดลง

ดังนั้นหากต้องการศึกษาผลจากปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมใดมากที่สุดควรพยายามลดปัจจัยทางด้านอื่นให้เหลือน้อยที่สุด เช่น หากต้องการศึกษาสภาพภูมิอากาศ ปัจจัยเรื่องอายุก็ต้องพยายามที่จะกำจัดออกไป (นาฏสุดา, 2556)

### 3.2.4 พิสัยของระบบนิเวศ (Ecological Amplitude)

พิสัยของระบบนิเวศเป็นปัจจัยทางนิเวศอย่างหนึ่งที่พืชแต่ละชนิดสามารถเติบโตได้ในช่วงพิสัยที่แตกต่างกัน สภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามสภาพภูมิประเทศ ความลาดเอียงของพื้นที่ ด้านหน้ารับแสง สิ่งเหล่านี้มีผลต่อการกระจายตัวของพืชแต่ละชนิด บนพื้นฐานความคิดนี้ชนิดของต้นไม้จะมีความกดดันน้อยในบริเวณช่วงกลางของพิสัย ต้นไม้ไม่มีความกดดันมากขึ้นในบริเวณที่ใกล้กับขอบเขตสิ้นสุดของรอยเชื่อมต่อแต่ละสังคมพืช (ecotone) พื้นที่ดังกล่าวเสมือนว่าสภาพอากาศจะมีความรุนแรงต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้มาก ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวงปีไม้กับสภาพอากาศ ต้นไม้ที่น่าจะบันทึกข้อมูลสภาพอากาศได้ดีควรเป็นต้นไม้ที่ขึ้นบริเวณเขตบนสุดของค่าพิสัย แนวเชื่อมต่อหรือเขตสิ้นสุดของแต่ละพิสัยมีความเป็นไปได้ว่าชนิดพืชจะเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง ดังนั้นแนวเชื่อมต่อระหว่างสังคมพืชจึงมีความสำคัญในการเลือกตัวอย่างไม้หรือเป็นพื้นที่ศึกษา กล่าวคือต้นไม้สามารถที่จะเจริญเติบโตขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนไปยังพื้นที่ ที่กว้าง หรือในพื้นที่ที่แคบ หรืออาจจะจำกัดอยู่ในบางพื้นที่ (นาฏสุดา, 2556)

### 3.2.5 การเลือกพื้นที่ (Site Selection)

การเลือกพื้นที่ที่จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาวงปีต้นไม้ ต้องสามารถบอก และเลือกให้เข้ากับวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา ซึ่งจะทำให้เส้นดัชนีที่ต้องการ มีความอ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมนั้น ตัวอย่างเช่น ต้นไม้ที่ตอบสนองต่อความแห้งแล้งสามารถที่จะพบได้ในพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยจำกัด เช่นบริเวณที่เป็นหิน โคล หรือบริเวณหน้าผาของพื้นที่ภูเขา ดังนั้นนักวงปีต้นไม้ที่สนใจเกี่ยวกับเรื่องเงื่อนไขความแห้งแล้งในอดีต ควรที่จะมีเป้าหมายในการเลือกเก็บตัวอย่าง ในพื้นที่ที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด การเลือกต้นไม้ในบริเวณพื้นที่ที่ต่ำหรือพื้นที่ที่มีความชื้นหรือมีน้ำขัง จะไม่มีการสร้างวงปีที่มีความอ่อนไหวเป็นพิเศษกับปริมาณน้ำฝน นักวงปีต้นไม้ต้องทำการเลือกพื้นที่ศึกษาที่สะท้อนผลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่ตนสนใจมากที่สุด (นาฏสุดา, 2556)

### 3.2.6 การเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบความกว้างวงปี (Crossdating)

เป็นหลักการในการเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบวงปีต้นไม้ในช่วงเวลาเดียวกันเป็นพื้นฐานของการศึกษาด้านวงปีต้นไม้ เป็นเครื่องมือหลักโดยที่การเจริญเติบโตแต่ละปีของทุกๆ วงปีต้องถูกต้องแน่นอน หากปราศจากการเปรียบเทียบรูปแบบวงปีในแต่ละช่วงเวลา

การวัดความกว้างวงปีอย่างง่าย ๆ อาจมีความผิดพลาดเนื่องจากการหายไปหรือการปรากฏวงปีปลอมในระดับพื้นที่ ดังนั้นการเปรียบเทียบรูปแบบความเหมือนของวงปีในช่วงเวลาหนึ่งๆ มีความจำเป็นที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อวงปีที่ทำการวัดต้องนำมาเปรียบเทียบกับข้อเท็จจริงในแต่ละปี เช่น ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยา หรือรายงานที่กล่าวถึงเหตุการณ์ในอดีตที่เป็นเหตุการณ์ประจำปีที่น่าเชื่อถือหากปราศจากการเปรียบเทียบในรอบปีของวงปีต้นไม้ ความถูกต้องในการเทียบมาตรฐานจะเป็นไปไม่ได้เพราะเส้นดัชนีมีการกำหนดอายุ (ช่วงปี) ผิดไป 1 หรือ 2 ปี ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิในปี ค.ศ.1973 อาจมีความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับความกว้างวงปีในปี ค.ศ.1971 และ ค.ศ.1974 และผลที่ได้ทำให้คุณภาพเส้นดัชนีลดลงหรือไม่พบสัญญาณใดๆ ในวงปี เนื่องจากความสำคัญของการเปรียบเทียบความเหมือนของรูปแบบความกว้างวงปีตัวอย่างทั้งหมดควรที่จะทำการตรวจสอบรูปแบบความกว้างวงปีต้นไม้ในแต่ละรอบปีเป็นการยืนยันที่สำคัญของการศึกษาวงปีต้นไม้ ดังนั้นความพยายามแต่ละครั้งต้องมีความมั่นใจว่าถูกต้องและมีการตรวจสอบคุณภาพของการกำหนดอายุของตัวอย่างไม้

การเปรียบเทียบรูปแบบของวงปีต้นไม้ คู่ที่เหมือนกันของขนาดความกว้างความแคบของวงปีในแต่ละต้นถูกกำหนดขึ้นบนขอบเขตของวงปีจริงบนพื้นฐานของโครงสร้างทางกายวิภาคของไม้ ทำการตรวจสอบกับอายุจริง (ปีปฏิทิน) ของตัวอย่างในกรณีนี้ตัวอย่างไม้คล้ายกับเป็นแถบ (barcode) ของแต่ละความกว้างวงปีของเส้นที่เป็นตัวแทนในแต่ละปี รูปแบบของความกว้างวงปีของแต่ละตัวอย่างสามารถเปรียบเทียบหรือจับคู่กับตัวอย่างอื่นๆ หากวงปีเป็นตัวแทนที่แท้จริง เทคนิคนี้จะแสดงวงปีที่หายไปจากตัวอย่างหรือตำแหน่งที่ต้นไม้มีการสร้างวงปีมากกว่า 1 วง ผลของการเปรียบเทียบความเหมือนของความกว้างวงปีของปีที่น่าเชื่อถือของทุกๆ วงปีจะถูกบันทึก (นาฏสุดา, 2556)

### 3.2.7 การทำสำเนาใหม่ (Replication)

เป็นการศึกษาสัญญาณจากสภาพแวดล้อมที่ต้องการศึกษาต้องเป็นปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดและการรบกวนส่วนอื่นๆ (noise) ต้องน้อยที่สุด โดยการเลือกเก็บตัวอย่างจากต้นไม้ 1 ต้นมากกว่า 1 ด้านรัศมีและเลือกเก็บต้นไม้มากกว่า 1 ต้นในพื้นที่ศึกษา การที่เก็บตัวอย่างมากกว่า 1 ตัวอย่างจากต้นไม้ 1 ต้น เพื่อที่จะลดความคลาดเคลื่อนของความแตกต่างของขนาดความกว้างวงปีในต้นไม้เดียวกัน การที่ต้องเก็บตัวอย่างมากกว่า 1 ต้นในพื้นที่ศึกษา และอาจจะต้องเลือกพื้นที่ศึกษาหลายๆ พื้นที่ศึกษา เป็นการทำให้แน่ใจว่า การรบกวน มีน้อยมาก (นาฏสุดา, 2556)

### 3.2.8 แนวความคิดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ในตัวเอง (autoregression)

ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีภายในตัวเองตามเวลาที่ต่อเนื่อง อินทรียสารทั้งหมด ถูกจัดว่าเป็นตัวแปรที่ต่อเนื่อง เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและส่งผลกระทบต่อทิศทางการพัฒนาของการเติบโต ใบเขียวของไม้สนสร้างขึ้นมาในแต่ละปีที่สภาพอากาศเหมาะสมและอยู่กับต้นสนไปอีกหลายปี จึงเพิ่มศักยภาพในการสังเคราะห์แสงให้กับต้นสน ดังนั้นสภาพอากาศของปีที่ผ่านมาส่งผลกระทบต่อ การเติบโตของปีปัจจุบัน ลักษณะนี้เป็นตัวอย่างที่เห็นชัดเจนสำหรับความสัมพันธ์ในตัวเอง เมื่ออินทรียสารสร้างโปรตีนและน้ำตาล สามารถที่จะนำไปใช้ในปีถัดไปก่อให้เกิดความสัมพันธ์ในตัวเอง การวิเคราะห์ทางสถิติ (เช่น การวิเคราะห์สมการถดถอยพหุคูณ) อยู่บนสมมติฐานว่าข้อมูลไม่ได้มีความสัมพันธ์ในตัวเองเพราะการวิเคราะห์ทางสถิติอาจเพิ่มความสัมพันธ์โดยการประดิษฐ์ขึ้น อย่างไรก็ตามค่าความสัมพันธ์ในตัวเองนี้สามารถอธิบายโดยการกำหนดค่าการผันแปร (variance) ของการเจริญเติบโตในปีปัจจุบันซึ่งอธิบายจากการเติบโตของปีที่ผ่านมาหนึ่งปีที่ผ่านมา (one year lag) อธิบายโมเดล a first-order autoregressive หรือความสัมพันธ์ก่อนหน้าหนึ่งปี อธิบายโดย a second-order autoregressive model และมีความต่อเนื่องกลับไปในช่วงเวลาจนกระทั่ง ไม่มีสัญญาณความสำคัญของความสัมพันธ์ในตัวเองเหลืออยู่ (นาฏสุดา, 2556)

## 4. การพยากรณ์เชิงปริมาณ

### 4.1 ความหมายและความสำคัญ

การพยากรณ์เป็นการคาดคะเน หรือทำนายการเกิดของเหตุการณ์ หรือสภาพต่างๆ ในอนาคต โดยจะทำการศึกษาแนวโน้มและรูปแบบการเกิดของเหตุการณ์ หรือจากสภาพการณ์จากข้อมูลในอดีต การพยากรณ์เชิงปริมาณนี้จะเป็นการใช้รายละเอียดของข้อมูลในอดีตมาเป็นแนวทาง โดยใช้เทคนิคและวิธีการพยากรณ์ต่างๆ การพยากรณ์เชิงปริมาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย และการตรวจสอบการดำเนินงานของระบบ (ทรงศิริ, 2539)

### 4.2 อนุกรมเวลา

อนุกรมเวลา (time series) หมายถึงค่าข้อมูลหรือค่าสังเกตที่เก็บรวบรวมตามลำดับเวลาที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาที่เก็บรวบรวมข้อมูลอาจห่างเท่ากันหรือไม่ก็ได้ โดยส่วนใหญ่จะห่าง

เท่ากัน แต่ถ้าหากช่วงระยะเวลาห่างไม่เท่ากันอาจเกิดปัญหาในการวิเคราะห์อนุกรมเวลาได้ อนุกรมเวลาจะมีลักษณะเด่นที่แตกต่างจากข้อมูลอื่นๆ คือข้อมูลอนุกรมเวลาเป็นข้อมูลที่ไม่อิสระกัน การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งส่วนประกอบหลักของอนุกรมเวลา ได้แก่ แนวโน้ม (trend) อิทธิพลของฤดูกาล (seasonal effect) อิทธิพลของวัฏจักร (cyclical effect) และเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (irregular effect) (ทรงศิริ, 2539)

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (time series analysis) กัลยา (2546) กล่าวว่า การวิเคราะห์อนุกรมเวลาเป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรในอนาคต โดยศึกษาจากรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรนั้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาในอดีต โดยไม่ได้พิจารณาค่าของตัวแปรอื่นๆ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์เลย ซึ่งเทคนิคการวิเคราะห์การอนุกรมเวลามีหลายเทคนิค การวิเคราะห์จำเป็นต้องเลือกเทคนิคที่ใช้ให้เหมาะสม ส่วน ทรงศิริ (2539) กล่าวว่า การวิเคราะห์อนุกรม เป็นการศึกษารูปแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่กำหนดด้วยรูปแบบอนุกรมเวลา (time series model) จากรูปแบบที่ได้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์ โดยมีข้อสมมุติในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ได้แก่ แผนแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในอนาคต ไม่ต่างจากแผนแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในอดีต โดยระดับความถูกต้องของการพยากรณ์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของรูปแบบอนุกรมเวลาที่กำหนด การวิเคราะห์อนุกรมเวลาเป็นการวิเคราะห์จากหนึ่งปัจจัยหรือหนึ่งอนุกรมเวลา จึงเหมาะกับสภาพของการพยากรณ์ที่ไม่มีปัจจัยอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลามีดังนี้

- 1) วิธีง่าย (naive method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตมีค่าเป็นส่วนสุดท้ายของค่าสังเกตล่าสุด
- 2) วิธีแยกส่วนประกอบ (decomposition method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตได้จากการรวมค่าวัดส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ได้แก่ ค่าแนวโน้ม ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล ค่าวัดวัฏจักรและค่าวัดเหตุการณ์ที่ผิดปกติค่าวัดจะหาได้จากวิธีการเฉลี่ยแบบธรรมดา (simple average) แบบเคลื่อนที่ (moving average) และการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least squares method)
- 3) วิธีปรับให้เรียบ (smoothing method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นค่าที่ได้จากค่าสังเกตในอดีต โดยให้น้ำหนัก (weight) กับค่าสังเกตแบบต่างๆ กรณีให้น้ำหนักกับค่าสังเกตเท่ากันจะเรียกว่าวิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่ กรณีที่ให้น้ำหนักกับค่าสังเกตไม่เท่ากันเรียกว่าวิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (weighted moving average method) และกรณีให้ค่าน้ำหนักกับค่าสังเกตลดหลั่นกันแบบเอกโปเนนเชียล (exponential) จะเรียกวินวิธีปรับให้เรียบเอกโปเนนเชียล (exponential smoothing method)

4) วิธีของ Box และ Jenkins (box-jenkins method) เป็นการวิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยการหารูปแบบที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลาโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบอัตโนมัติ (autocorrelation function) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางส่วนแบบอัตโนมัติ (partial autocorrelation function) เป็นหลักในการพิจารณา และรูปแบบที่เลือกไว้จะอยู่ในกลุ่มของรูปแบบ ARIMA (autoregressive integrated moving average) ซึ่งเป็นรูปแบบที่กำหนดค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นค่าที่ได้จากค่าสังเกตหรือค่าพยากรณ์ก่อนหน้า และค่าความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ก่อนหน้า

5) การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เป็นการศึกษาว่าตัวแปรอิสระมีอิทธิพลอย่างไรต่อตัวแปรตาม การอธิบายลักษณะความสัมพันธ์จะอธิบายด้วยรูปแบบการถดถอย (regression model) เช่น รูปแบบการถดถอยแบบเชิงเส้น (linear) แบบไม่เชิงเส้น (nonlinear) การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการถดถอยพิจารณาโดยการทดสอบสมมติฐาน และพิจารณาจากค่าทางสถิติบางค่าที่อธิบายประสิทธิภาพของรูปแบบ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (coefficient of determination :  $r^2$ ) นอกจากนี้ยังควรพิจารณาช่วงความเชื่อมั่นของค่าคาดหวังของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ (ทรงศิริ, 2539)

## 5. ตารางปริมาตรไม้

### 5.1 ความหมายและประเภทของตารางปริมาตรไม้

ชาญ (2513) ได้ให้ความหมายของตารางปริมาตรไม้ (volume table) ว่าเป็นตารางซึ่งแสดงปริมาตรเฉลี่ยของต้นไม้ในแต่ละขนาดชั้นความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง และชั้นลักษณะของต้นไม้ ทั้งไม้ยืนต้นและไม้ที่โค่นแล้ว

โดยทั่วไปการสร้างตารางปริมาตรไม้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นตารางสำหรับประเมินปริมาตรไม้รายต้นในท้องที่ป่า นั้น เพียงแต่วัดขนาดของส่วนต่างๆของไม้ เช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง ก็จะทราบได้ทันทีโดยการอ่านจากตารางปริมาตรไม้ที่ทำขึ้น และวัตถุประสงค์อีกประการหนึ่งก็เพื่อที่จะใช้เป็นตารางสำหรับประเมินปริมาตรของหมู่ไม้ ซึ่งจะประโยชน์อย่างมากในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ การวางแผนโครงการป่าไม้ การกำหนด และควบคุมกำลังผลิตของไม้ชนิดนั้นๆ ในทางการจัดการป่าไม้ ซึ่งเกี่ยวข้องไปถึงด้านวนวัฒนวิทยา และชีววิทยาป่าไม้ด้วย ทั้งนี้ตารางปริมาตรไม้ ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการนำไปใช้คือ

1) ตารางปริมาตรไม้ท้องถิ่น (local or regional volume table) เป็นตารางปริมาตรที่นำไปใช้ในท้องที่ใดท้องที่หนึ่งหรือเขตใดเขตหนึ่งโดยเฉพาะ ข้อมูลที่นำมาสร้างตารางปริมาตรได้มาจากท้องที่ใดท้องที่หนึ่งหรือเขตใดเขตหนึ่งโดยเฉพาะ

2) ตารางปริมาตรทั่วไป (general volume table) เป็นตารางปริมาตรที่สามารถนำไปใช้ได้โดยทั่วไป การสร้างตารางปริมาตรชนิดนี้ อาศัยเก็บรวบรวมจากหลายๆท้องที่ และการสร้างตารางปริมาตรประเภทนี้อาศัยตัวแปรผันหลายตัวแปร นอกจากนี้ ปัสลี (2534) ได้แบ่งตารางปริมาตรไม้ออกเป็น 3 ประเภท ตามวิธีการสร้าง คือ

1 local volume table เป็นตารางปริมาตรที่สร้างขึ้นใช้เฉพาะท้องที่ข้อมูลต่างๆ ที่นำมาสร้างตารางปริมาตรไม้จะต้องรวบรวมมาจากท้องที่นั้นๆ ปกติแล้วจะสร้างโดยอาศัยตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

2 standard volume table เป็นตารางปริมาตรไม้ที่สร้างขึ้นโดยอาศัยตัวแปรอิสระสองตัว คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูง โดยยอมรับว่าตัวแปรอื่นๆ มีลักษณะเหมือนกัน

3 form class volume table เป็นตารางปริมาตรที่สร้างขึ้นโดยคำนึงถึงค่าความเรียวเฉลี่ย (average taper) ของไม้ชนิดต่างๆเป็นหลัก ตารางปริมาตรที่ได้สร้างขึ้นจาก diameter height และ average taper ดังนั้นจึงใช้ได้กับไม้ทุกชนิดทุกท้องที่

ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปริมาตรของต้นไม้ประกอบด้วย ความโต ความสูง รูปทรงของต้นไม้ อายุต้นไม้ ชั้นคุณภาพ และสภาพสิ่งแวดล้อมซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะมีอิทธิพลต่อปริมาตรไม้ของต้นไม้มากขึ้นน้อยแตกต่างกันออกไป การสร้างตารางปริมาตรไม้อาจจะนำปัจจัยต่างๆ มาใช้เป็นตัวแปรผันเกี่ยวข้องมากขึ้นน้อยต่างกัน ทั้งนี้ย่อมแล้วแต่ลักษณะตามธรรมชาติของต้นไม้และระดับความถูกต้องที่ต้องการ ซึ่งอาจจะสร้างตารางปริมาตรไม้โดยอาศัยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับอกเป็นตัวแปรผันเดียวก็ได้ แต่การสร้างตารางปริมาตรวิธีนี้ให้ความถูกต้องน้อยที่สุด เพราะถือเอาว่าไม้ทั้งหมดมีความสูงเท่าๆกันและมีรูปทรงที่เหมือนกัน แต่ถ้าหากตัวแปรผันต่างๆ สามารถจะวัดได้โดยง่าย การสร้างตารางโดยอาศัยตัวแปรผัน 3 ตัว คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และรูปทรง จะให้ความแน่นอนถูกต้องและนิยมใช้มากกว่าตารางปริมาตรที่สร้างโดยอาศัยตัวแปรผันเพียงตัวเดียว (ชาญ, 2513)

## 5.2 การสร้างตารางปริมาตรไม้

การสร้างตารางปริมาตรไม้ประเภทใดก็ตามควรจะได้รวบรวมรายละเอียดต่างๆไว้ตามสมควร เพื่อความสะดวกในการใช้ตารางปริมาตรไม้นี้ เช่น ท้องที่ เขต จังหวัด คุณภาพของแหล่งไม้ ชนิดไม้จำนวนต้นไม้ เส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูง และชั้นความสูงทั้งหมดหรือความสูงที่เป็นสินค้าได้เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งแบบฟอร์มรวบรวมข้อมูลต่างๆอาจจัดทำขึ้นเองได้ เมื่อได้ข้อมูลต่างๆแล้วนำไปสร้างตารางปริมาตรไม้ อาจจะสร้างโดยวิธีกราฟหรือใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาสมการที่เหมาะสมซึ่งวิธีแรกต้องอาศัยความชำนาญและการตัดสินใจว่าเส้นกราฟควรจะไปไหนแนวใด ผลที่ได้ย่อมขึ้นอยู่กับพิจารณาของแต่ละบุคคล ส่วนวิธีหลังนั้นสามารถหลีกเลี่ยงความลำเอียงส่วนบุคคลได้ สมการต่างๆ จะนำมาคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ ทำให้ผลที่ได้ถูกต้องแม่นยำและนำมาใช้ได้ทันเหตุการณ์ สมการที่เหมาะสมหรือดีที่สุดก็จะถูกนำไปจัดทำเป็นตารางปริมาตรไม้ นอกจากนี้แล้วเรายังสามารถสร้างตารางปริมาตรไม้โดยอาศัย alinement chart ใช้อีกวิธีหนึ่งด้วย (ปีสตี, 2534)

## 5.3 ผลผลิตและตารางผลผลิต

### 5.3.1 ความหมายและประเภท

ผลผลิต หมายถึง จำนวนหรือปริมาณทั้งหมดที่สามารถตัดฟันได้จริงๆในเวลาที่กำหนด ซึ่งปริมาณทั้งหมดของหมู่ไม้ในเวลาที่กำหนดใดๆก็คือผลผลิตของหมู่ไม้นั้นๆ ตั้งแต่เริ่มต้นการเติบโตจนถึงอายุที่กำหนดให้ โดยไม่ได้มีการตัดสางขยายระยะไม้ออกไป อย่างไรก็ตามผลผลิตของหมู่ไม้จะผันแปรไปตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ชนิดไม้ องค์ประกอบของหมู่ไม้ คุณภาพของแหล่งไม้ (site quality) ชั้นอายุ ความหนาแน่น การรบกวนจากภายนอกตลอดจนการปฏิบัติทางวนวัฒนวิทยา

ตารางผลผลิต (yield table) หมายถึง ตารางที่แสดงปริมาตรต่อหน่วยเนื้อที่และลักษณะอื่นๆของหมู่ไม้ที่มีอายุสม่ำเสมอ (even-aged stand) ตามชั้นอายุ แหล่งไม้ ชนิดไม้ และความหนาแน่นต่างๆ ตารางผลผลิตของหมู่ไม้ที่มีอายุสม่ำเสมอสามารถเตรียมได้จากการศึกษาผลผลิตซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม เช่น ปริมาตร พื้นที่หน้าตัด และตัวแปรอิสระที่อธิบายสภาพของหมู่ไม้ เช่น อายุ คุณภาพแหล่งไม้ และความหนาแน่นของหมู่ไม้

ตารางผลผลิตสร้างได้จากสมการการวิเคราะห์การถดถอย โดยคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดต่อไร่ ธรรมชาติแหล่งไม้ หรืออายุของไม้แต่ละชนิด ในตารางผลผลิตจะประกอบด้วย

ขนาดและความเพิ่มพูนของปริมาตรไม้เมื่อมีอายุเพิ่มขึ้นได้แก่ ความแตกต่างของแหล่งไม้ อายุ ค่าเฉลี่ยของพื้นที่หน้าตัด จำนวนต้นไม้ ความสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง และอาจมีค่าการเจริญเติบโตเฉลี่ยรายปีหรือการเจริญเติบโตรายปีรวมอยู่ด้วย ประเภทของตารางผลผลิต สามารถจำแนกเป็น 3 ประเภทตามตัวแปรอิสระที่ใช้คือ

- 1). Normal yield table เป็นตารางผลผลิตที่ใช้ค่าตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ อายุและคุณภาพชั้นแหล่งไม้ ส่วนตัวแปรตามอาจมีตัวแปรเดียวหรือมากกว่าก็ได้ และสร้างมาจากข้อมูลที่เก็บจากหมู่ไม้ที่มีไม้เต็มพื้นที่ (fully stocked stand)
- 2). Empirical yield table คล้ายกับตารางผลผลิตแรก แต่สร้างจากข้อมูลที่เก็บมาจากหมู่ไม้ที่มีสภาพความหนาแน่นในระดับเฉลี่ย ไม่ใช่เก็บจากหมู่ไม้ที่มีอยู่เต็มพื้นที่
- 3). Variable density yield table เป็นตารางผลผลิตที่เพิ่มตัวแปรอิสระเข้ามาอีกตัวหนึ่ง คือ ความหนาแน่นของหมู่ไม้ ดังนั้น ตารางผลผลิตประเภทนี้จะแสดงผลผลิตในแต่ละระดับของจำนวนต้นไม้ หรือความหนาแน่น

ในการศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตนั้นรวบรวมข้อมูลจากแปลงตัวอย่างที่ครอบคลุมช่วงอายุต่างๆ และสภาพพื้นที่ต่างๆ ซึ่งตารางผลผลิตอาจสร้างได้จาก Multiple regression analysis โดยคำนวณจากข้อมูลตัวแปรอิสระ คือ อายุ แหล่งไม้ ความเบียดเสียด (อาจจะกำหนดเป็นเชิงปริมาณ เช่น จำนวนต้นต่อหน่วยเนื้อที่) และผลผลิตอาจแสดงในรูปปริมาตรไม้ พื้นที่หน้าตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูงก็ได้ (ปีสตี, 2534)

### 5.3.2 การสร้างตารางผลผลิต

การสร้างตารางผลผลิตต้องรวบรวมข้อมูลจากแปลงตัวอย่างที่ครอบคลุมช่วงอายุและสภาพพื้นที่ต่างๆ ทั้งหมดของหมู่ไม้ที่มีอายุสม่ำเสมอ และสร้างขึ้นโดยแบ่งตามชั้นความสูงของต้นไม้ หรือ site index กล่าวคือเก็บข้อมูลชั้นเรือนยอดเด่นและไม้ชั้นเรือนยอดรองมาสร้าง site index curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความสูงเฉลี่ยของไม้ดังกล่าว เมื่อได้ site index curve แล้วอันดับต่อไปก็จัด ทำ yield curves โดยทำการหาผลผลิตต่อหน่วยเนื้อที่ของแปลงตัวอย่างทุกแปลง แล้วนำค่าเหล่านั้นไปจัดตามชั้นอายุ และนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์กับอายุ ปรับเส้นกราฟด้วยวิธี free hand curve method

อย่างไรก็ตามในการศึกษาการสร้างตารางผลผลิต ได้มีการนำเอาเทคนิคทางสถิติ และคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ โดยทำการสร้างตารางผลผลิตจากสมการ multiple regression analysis ที่ใช้ชั้นอายุ ชั้นคุณภาพแหล่งไม้ ความหนาแน่น และองค์ประกอบอื่นๆ ของหมู่ไม้เป็นตัวแปรอิสระ เมื่อได้สมการที่เหมาะสมสำหรับใช้ประมาณผลผลิตของหมู่ไม้แล้วนำไปจัดทำเป็นตารางผลผลิตต่อไป (ปัสดี, 2534)

## 6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างตารางผลผลิตจะต้องรวบรวมข้อมูลจากแปลงตัวอย่างที่ครอบคลุมช่วงอายุ และสภาพพื้นที่ต่างๆทั้งหมู่ไม้ที่มีอายุสม่ำเสมอและมีไม้สม่ำเสมอทั่วพื้นที่ ตารางผลผลิตส่วนมากจะสร้างขึ้นโดยแบ่งตามชั้นความสูงของต้นไม้หรือ site index คือเก็บข้อมูลความสูงของไม้เรือนยอดเด่นและไม้เรือนยอดรองมาสร้าง site index curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอายุและความสูงเฉลี่ยของไม้ แล้วจัดทำตารางผลผลิต (ชาญ, 2525)

สวนป่าสักในประเทศไทย สมเกียรติ (2520) ได้จัดทำตารางในสวนป่าสักของกรมป่าไม้ โดยแบ่งเป็น 5 ชั้นคุณภาพ ปริมาตรไม้ (ไม้เปลือก) ของ site 14, 17, 20, 23 และ 26 เมื่อครบรอบหมุนเวียน 60 ปี เท่ากับ 25.85, 30.16, 33.90, 37.40, และ 41.48 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ และ จุริพร (2550) ได้ศึกษาการเติบโตของสักในสวนป่าแม่เมาะ อำเภอมะเขาะ จังหวัดลำปาง โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ห่วงปีไม้และเทคนิคการพยากรณ์ เพื่อนำมาสร้างตัวแบบสำหรับการพยากรณ์การเติบโตและผลผลิตในรูปปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ของสักในสวนป่าโดยการวิเคราะห์การถดถอย พบว่าการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางของสักในสวนป่าแม่เมาะมีอัตราการเติบโตรายปีระหว่าง 0.547-9.650 มิลลิเมตร มีอัตราการเติบโตเฉลี่ยรายปีระหว่าง 1.163-7.487 มิลลิเมตร นอกจากนี้ ผกามาศ (2553) ได้ศึกษาผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของสักในสวนป่าขององค์การอุตสาหกรรม ป่าไม้ในสวนป่าแม่เมาะ อำเภอมะเขาะ จังหวัดลำปาง โดยอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ห่วงปีไม้และเทคนิคการพยากรณ์พบว่าสวนป่าสักที่มีอายุ 23-24 ปีที่ไม่ผ่านการตัดขยายระยะ และที่ผ่านการตัดขยายระยะ 2 ครั้งเมื่ออายุ 16 ปีและ 20 ปี พบว่าอัตราการเติบโตรายปีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และทำให้ทราบว่าช่วงเวลาที่เหมาะสมในการตัดขยายระยะครั้งแรกควรเป็นช่วงเวลาที่อัตราการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของต้นไม้ลดลง นั่นคือช่วงอายุ 10-12 ปีและที่อายุ 5-9 ปี ที่ระยะปลูก 2x4 เมตรและ 4x4 เมตร ตามลำดับ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. แผนที่
2. เครื่องมือกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (global positioning system: GPS)
3. Increment borer
4. เครื่องมือวัดความสูง
5. เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. หลอดเก็บใส่ไม้ตัวอย่าง
7. แบบบันทึกข้อมูล
8. ไม้สำหรับยึดใส่ไม้ตัวอย่าง
9. เครื่องขัดกระดาษทรายแบบ belt sander และแบบ rotary sander.
10. เครื่องมือวัดความกว้างวงปีชนิด velmex measuring system ที่มีความละเอียดในการ วัดเท่ากับ 0.0001 มิลลิเมตร
11. กล้องจุลทรรศน์แบบกำลังขยาย 4X – 40X
12. คอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูป
13. เครื่องเขียนและอุปกรณ์สำนักงานต่างๆ

## วิธีการ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาการเติบโตและผลผลิตของสวนป่าห้วยทาก จังหวัดลำปาง โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

### 1. การรวบรวมข้อมูลสภาพสวนป่าสัก

#### 1.1 ลักษณะของประชากร

จากการสำรวจเก็บข้อมูลสักภายในสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง พบว่าสภาพพื้นที่แปลงปลูกป่าในแต่ละแปลงมีสภาพพื้นที่แตกต่างกัน จึงอาจส่งผลต่อการเติบโตของสักให้มีสภาพการเติบโตที่แตกต่างกันซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ความแตกต่างของแหล่งไม้ ลักษณะประชากรในสวนป่าห้วยทากที่ได้ทำการสำรวจในแต่ละชั้นอายุ จะปลูกในช่วงระยะเวลาเดียวกัน มีการเจริญเติบโตของสักในแปลงสม่ำเสมอ ในบางแปลงอาจมีการปลูกซ่อมแซมภายหลังแต่ก็อยู่ในช่วงที่ไม้สักสามารถเติบโตทันกันได้ จากลักษณะดังกล่าวจะเห็นว่าลักษณะประชากรของสวนป่ามีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน

#### 1.2 การวางแผนการสำรวจ

จากสภาพลักษณะสวนป่าดังกล่าวข้างต้นสวนป่าดังกล่าวอยู่ในสภาพที่คล้ายคลึงกัน การสุ่มตัวอย่างข้อมูลในสวนป่าควรจะใช้วิธีการเก็บข้อมูลที่เป็นระเบียบและได้ข้อมูลกระจายทั่วทั้งพื้นที่ วิธีการสำรวจทรัพยากรป่าไม้แบบแปลงบนแนว (line plot survey) จึงเป็นวิธีการสำรวจที่เหมาะสมกับข้อมูล ซึ่งประชากรอยู่ในลักษณะคล้ายคลึงกันและทุกตัวอย่างของประชากรมีโอกาสได้รับเลือกเท่าเทียมกัน การคำนวณค่าต่างๆสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว ดังนั้นการสำรวจครั้งนี้จึงใช้วิธีการสำรวจทรัพยากรป่าไม้แบบแปลงบนแนว เป็นวิธีการสุ่มประชากรในสวนป่าห้วยทาก

#### 1.3 ขนาดแปลงตัวอย่าง

การพิจารณาตัวอย่างในที่นี้จะใช้หน่วยตัวอย่าง คือ ต้นไม้แต่ละต้นที่สำรวจและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการนำมาคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมคือค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงออก จากนั้นคำนวณหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม โดยการสำรวจด้วยตัวอย่างจำเป็นต้องเลือกหน่วย

ตัวอย่างที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลในประชากรเป้าหมายเพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดหรืออย่างน้อยก็มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่เรายอมรับได้ โดยทั่วไปจะตรวจสอบจากจำนวนหน่วยตัวอย่างที่ถูกเลือกให้เป็นตัวแทนของประชากรซึ่งเรียกว่าขนาดตัวอย่าง (sample size) ดังนั้นในการสำรวจด้วยตัวอย่างเราสามารถตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจากขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมซึ่งเป็นจำนวนตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่จะต้องเลือกให้เป็นตัวแทนประชากรจึงจะได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่เรากำหนดหรือยอมรับได้ สามารถคำนวณตัวอย่างที่เหมาะสมได้จากสูตรของ (Shiver and Borders, 1996)

$$n = \frac{t^2 (CV)^2}{(AE)^2} \quad (1)$$

- เมื่อ n คือ ขนาดตัวอย่างหรือจำนวนหน่วยตัวอย่างที่เหมาะสม
- t คือ ค่าคะแนนมาตรฐาน t ที่ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนด ที่ระดับความเชื่อมั่น 100 (1- $\alpha$ ) เป็น % และค่า (degree of freedom) เท่ากับ n-1
- CV คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความผันแปรของหน่วยตัวอย่าง (%)
- AE คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ในการประมาณค่าประชากร (%) ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์
- SD คือ ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
- $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ย

#### 1.4 การวัดไม้ตัวอย่าง

เมื่อคำนวณได้จำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมแล้วนำข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละแปลงปลูกแบ่งออกเป็น 6 ส่วน จะได้ชั้นความโตของเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 6 ชั้นความโต และทำการสุ่มตัวอย่างต้นสักชั้นความโตละ 3 ต้นรวมต้นสักตัวอย่างจำนวนแปลงละ 18 ต้นต่อแปลงปีปลูก

เพื่อเป็นตัวแทนและเก็บรวบรวมข้อมูล ดังตารางที่ 1 และดำเนินการเก็บข้อมูลในแต่ละช่วงชั้นของแปลงปลูก 2487, 2495 และ 2497 ดังนี้

- 1) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 1.30 เมตร
- 2) วัดขนาดความสูงทั้งหมด (Total height) โดยใช้เครื่องมือ Haga altimeter
- 3) ทำการหาปริมาตรไม้รายต้น โดยแบ่งไม้ออกเป็นท่อนและบันทึกเส้นผ่านศูนย์กลางที่โคนท่อน กลาง และปลายท่อน โดยใช้เครื่องมือ Wheeler pentaprism caliper

ตารางที่ 1 ช่วงชั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก

ลำดับช่วงชั้นเส้นผ่าน ศูนย์กลางที่ระดับความ สูงเพียงอก (ซม.)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (เซนติเมตร)		
	แปลงปลูกปี พ.ศ. 2487	แปลงปลูกปี พ.ศ. 2495	แปลงปลูกปี พ.ศ. 2497
	1	29 – 34	31 – 35
2	35 – 40	36 – 40	30 – 33
3	41 – 46	41 – 45	34 – 37
4	47 – 52	46 – 50	38 – 41
5	53 – 58	51 – 55	42 – 45
6	≥ 55	≥ 56	≥ 46

## 2. การเก็บใส่ไม้ตัวอย่าง (sample core) และการเตรียมใส่ไม้ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

### 2.1 การเก็บใส่ไม้ตัวอย่าง (Sample core)

2.1.1 ใช้เครื่องมือ increment borer เจาะลำต้นของไม้สักที่ความสูงเพียงอก (1.30 เมตร จากพื้นดิน) เจาะจากเปลือกถึงใจไม้ (pith) โดยในแต่ละต้นดำเนินการเจาะในทิศที่ตั้งฉากกัน พยายามเจาะใกล้โคนต้นมากที่สุดแต่ให้อยู่เหนือตำหนิและพูปอน

2.1.2 นำไม้ที่ได้เก็บไว้ในหลอดพลาสติกและเขียนรหัสกำกับไว้โดยกำหนดให้ตัวอักษรสองตำแหน่งแรก (HT) แทนสวนป่าห้วยทาก ตัวอักษรถัดไป (T) แทนไม้สัก และตัวเลขแทนลำดับจำนวนต้นสักที่ทำการเจาะวัดความเพิ่มพูน ตัวอักษรสุดท้ายแทนทิศที่ทำการเจาะ โดยตัวอักษร E, W, N และ S แทนทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือ และทิศใต้ตามลำดับและระบุวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง

## 2.2 การเตรียมไม้ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

2.2.1 เตรียมไม้ตัวอย่างที่ได้มาทำการเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการรุกขวิทยาเขตร้อน (Laboratory of Tropical Dendrochronology) คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยนำไม้ตัวอย่างที่บรรจุในหลอดพลาสติกออกมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และตัดไม้ตัวอย่างด้วยกาวชนิดละลายน้ำได้ไว้บนร่องของแท่นรองรับไม้ที่จัดเตรียมไว้สำหรับยึดไม้ตัวอย่างให้แน่น โดยให้ด้านตัดขวาง (Transverse-section) ขึ้นด้านบนและให้ไม้ตัวอย่างอยู่เหนือแท่นรองรับไม้มาประมาณ 1 ใน 2 ส่วนทำการเขียนรหัสกำกับและยึดแท่งไม้ตัวอย่างกับแท่นรองรับไม้อีกครั้งด้วยการนำกระดาษกาวพันรอบตัวอย่างเพื่อยึดให้แน่น ปลดปล่อยไม้ให้กาวแห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 วัน

2.2.2 นำไม้ตัวอย่างไปขัดด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย โดยดำเนินการเปลี่ยนจากกระดาษทรายหยาบไปละเอียดจนเห็นลักษณะวงปีชัด โดยขัดเปิดหน้าด้วยเครื่องขัดแบบ belt sander จากนั้นจึงขัดเพื่อเพิ่มความชัดเจนของวงปีด้วยเครื่องขัดแบบ rotary sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 220 ถึงกระดาษทรายเบอร์ 800 จนเห็นเส้นการเติบโตวงปีชัดเจนมากที่สุด (พิชิต, 2552)

จากการเก็บตัวอย่างไม้ในแปลง 2487, 2495 และ 2497 .แต่ละชั้นความโตของเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 ชั้นความโต ทำการสุ่มตัวอย่างสักชั้นความโตละ 3 ต้นและใช้เครื่องมือ increment borer เจาะลำต้นของไม้สักที่ระดับความสูงเพียงอก (1.30 เมตรจากพื้นดิน) เจาะจากเปลือกถึงใจไม้ (pith) โดยในแต่ละต้นดำเนินการเจาะในทิศที่ตั้งฉากกันต้นละ 2 ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างไส้ไม้ของสวนป่าสักห้วยทาก

แปลงปลูกปี (พ.ศ.)	อายุ (ปี)	จำนวนต้นสัก (ต้น)	จำนวนไส้ไม้ (ตัวอย่าง)
แปลง 2487	67	18	35
แปลง 2495	59	19	39
แปลง 2497	57	20	38
รวม		57	112

### 3. การวัดการเติบโตของวงปีต้นไม้จากไส้ไม้ตัวอย่าง

3.1 นำไส้ไม้ที่เตรียมไว้มา Crossdating ด้วยการวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์และทำเครื่องหมายด้วยการจุด 1, 2 และ 3 จุดเมื่อจำนวนปีที่นับครบ 10, 50 และ 100 ปีตามลำดับ รวมทั้งปี พ.ศ. ไว้บนไม้ยึดตัวอย่างเพื่อ่ายในการตรวจสอบจำนวนและความกว้างของวงปีซ้ำภายหลัง

3.2 วัดความกว้างวงปีต้นไม้ โดยใช้เครื่องมือวัดความกว้างวงปีต้นไม้ชนิด velmex - measuring system ที่มีความละเอียดในการวัดถึง 0.001 มิลลิเมตร และกล้องจุลทรรศน์แบบกำลังขยาย 4X-40X และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป KUTRA 1.0 ในการวัดความกว้างวงปีต้นไม้

3.3 นำข้อมูลความกว้างวงปีต้นไม้ที่ได้มาวิเคราะห์ Crossdating และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA แล้วนำค่าทางสถิติที่ได้มาตีความเพื่อยืนยันเวลา (พ.ศ.) ที่เกิดวงปี

จากการวัดความกว้างวงปีต้นไม้ที่ได้ผ่านการทดสอบด้วยโปรแกรม COFECHA เพื่อยืนยันปี พ.ศ. ที่วงปีเกิดขึ้น โปรแกรมจะตรวจสอบความถูกต้องของการกำหนดอายุและตรวจสอบความเหมือนของรูปแบบวงปีของแต่ละตัวอย่างกับมาตรฐานโคโค โนโลจีหรือเส้นดัชนี โปรแกรมจะทำการคำนวณเส้นดัชนีขึ้นมาโดยอัตโนมัติ โดยใช้ข้อมูลจากจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ปรากฏอยู่ในไฟล์ที่ส่งไปให้โปรแกรมคำนวณ ดังตารางภาคผนวกที่ 2 และมีค่าทางสถิติที่สำคัญดังตารางที่ 3 ได้แก่

ตารางที่ 3 ค่าทางสถิติของชุดข้อมูลความกว้างวงปีต้นไม้ในแต่ละแปลงปลูก

แปลงปลูกปี (พ.ศ.)	อายุ (ปี)	Corralation with Master	Standard Deviation	Auto correlation	Mean Sensitivity
แปลง 2487	67	0.463	2.025	0.589	0.467
แปลง 2495	59	0.545	1.696	0.538	0.499
แปลง 2497	57	0.463	2.025	0.589	0.467

จากค่าทางสถิติของชุดข้อมูลความกว้างวงปีต้นไม้ในแต่ละแปลงปลูกจากตารางที่ 3 ค่าทางสถิติที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงปีไม้สามารถอธิบายผลลัพธ์ทางสถิติได้ดังนี้ (นาฏสุตา, 2556)

1. ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก (Corralation with Master) คือ ชุดข้อมูลวงปีไม้จากหนึ่งตัวอย่างอาจต้องการความสัมพันธ์กับ master chronology หรือสองตัวอย่างนำมาเปรียบ เทียบกับความสัมพันธ์ภายในชุดข้อมูล สามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยของทุกๆชุดข้อมูลกับ master chronology ดังนั้นความสัมพันธ์ภายในชุดข้อมูลจึงเป็นตัวแทนของระดับสัญญาณ (signal) ของพื้นที่ศึกษานั้นที่สะสมอยู่ในวงปี
2. ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) คือ ค่าความกว้างปีหากมีการกระจายตัวที่ออกห่างจากค่าเฉลี่ยกลางของข้อมูลความกว้างวงปี ถ้าค่าดังกล่าวยิ่งมากแสดงว่ามีความแปรปรวนหรือมีการกระจายของข้อมูลสูงจนอาจทำให้ข้อมูลดังกล่าวขาดความน่าเชื่อถือ
3. ค่าอัตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) คือ เป็นค่าความสัมพันธ์ภายในตัวเองของช่วงเวลา ที่ต่อเนื่อง ชีวภาพของสิ่งมีชีวิตอาจมีความสัมพันธ์ภายในตัวเอง เพราะมีความต่อเนื่องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันของเวลาที่ผ่านไปและพัฒนาการเจริญเติบโต
4. ค่าความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์ของข้อมูลวงปีไม้จากปีหนึ่งไปสู่อีกปีต่อไป มีความผันแปรไปตามชนิดและพื้นที่ ค่าเฉลี่ยความอ่อนไหวมีความสัมพันธ์เชิงบวกภายในชุดข้อมูล โดยพื้นที่ที่มีความเครียดต่อการเติบโตของต้นไม้ มีแนวโน้มที่ค่าเฉลี่ยความอ่อนไหวจะสูง

เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าความกว้างวงปีไม้ที่ได้จากการวิเคราะห์มีความถูกต้องหรือมีความน่าเชื่อถือ ได้มีการตรวจสอบด้วยค่า EPS (Expressed Population Signal) ซึ่งเป็นค่าแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูลอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่างและค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่าง โดยระดับของค่า EPS ที่ยอมรับกัน โดยทั่วไปในด้านการศึกษารุกขกาลวิทยาคือมากกว่า 0.85 (Wigley *et al.*, 1984) ดังแสดงในตารางที่ 4 โดยพบว่าค่า EPS ในทุกช่วงอายุมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่าง

ตารางที่ 4 ค่า EPS ของค่าความกว้างวงปีไม้สัก แปลง 2487, 2495 และ 2497

จำนวนปี (พ.ศ.)	แปลง 2487			แปลง 2495			แปลง 2497		
	T	R	EPS	T	R	EPS	T	R	EPS
2478	20	0.40	0.930				2	0.54	0.701
2493	33	0.46	0.965	29	0.59	0.976	35	0.53	0.975
2508	35	0.54	0.976	38	0.55	0.978	39	0.58	0.981
2523	34	0.50	0.971	38	0.49	0.973	39	0.64	0.985
2538	32	0.48	0.967	36	0.48	0.970	39	0.60	0.983

หมายเหตุ (ค่า T คือ จำนวนต้นไม้ในช่วงปีที่ทดสอบ ค่า R คือ ค่าสหสัมพันธ์ของต้นไม้ในช่วงปีที่ทดสอบ และค่า EPS คือ ค่าแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูลอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่างและค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่าง)

#### 4. การวิเคราะห์ข้อมูล

##### 4.1 การศึกษาสภาพของสวนป่าและการเติบโตของสักในสวนป่า

###### 4.1.1 การศึกษาสภาพของสวนป่า

1) จากข้อมูลการสำรวจสวนป่าในข้อ 1.4 คำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงเพียงอกเฉลี่ยของแต่ละแปลงที่ปลูก

2) หาความหนาแน่นของสักในสวนป่า โดยใช้จำนวนต้นต่อไร่

#### 4.1.2 การศึกษาการเติบโตของไม้สักในสวนป่า

จากข้อมูลความกว้างวงปีในข้อ 3.3 นำมาคำนวณหาค่า CAI และ MAI ของสักในแต่ละแปลง พร้อมทั้งแสดงกราฟการเติบโตพร้อมอธิบายการเติบโตจากกราฟ

4.2 การแปลงชุดข้อมูลความกว้างวงปีต้น ไม้เป็นชุดข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของไม้สักรายต้น จากข้อมูลความกว้างวงปีที่ได้ในข้อ 3.3 ทำการคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (ซม.) ของไม้ตัวอย่างแต่ละต้นจะได้ชุดข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกรายปีของไม้สักตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันในแต่ละแปลงปีปลูก

4.3 การสร้างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกจากข้อมูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกรายปีจากข้อ 4.1 นำมาหาความสัมพันธ์กับลำดับวงปีตามปี พ.ศ. โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) ดังนี้

$$dbh = f(y) \quad (2)$$

กำหนดให้  $dbh$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (ซม.)

$y$  = ลำดับวงปีตามปี พ.ศ. ตั้งแต่ปีที่ต้นไม้เกิดถึงขนาดตัดฟัน

คัดเลือกตัวแบบที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากสมการถดถอยที่ดีที่สุดจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination :  $R^2$ ) ค่าการคลาดเคลื่อนของการประมาณ (Standard error of estimate:SE) ค่า F และค่า P-value โดยพิจารณาค่าทางสถิติที่ได้ ซึ่งค่า P-value ที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ คือ 0.01 และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการประมาณ (SE) ที่มีค่าน้อยที่สุด (มีค่าเข้าใกล้ 0) เพราะค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณนี้จะแสดงความคลาดเคลื่อนจากการประมาณนี้จะแสดงความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ค่าความกว้างวงปีต้น ไม้ และเลือกสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่สูงที่สุดโดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดเนื่องจากค่านี้จะเป็นอิทธิพลของปี พ.ศ. ที่มีค่าต่อความกว้างวงปี สุดท้ายพิจารณาค่า F ที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งแสดงอิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตาม โดยจะได้ตัวแบบการเติบโตที่มีความเหมาะสมในแต่ละไม้ตัวอย่าง (พิชิต, 2552)

#### 4.4 การสร้างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกกับ ปริมาตรไม้สักรายต้น

##### 4.4.1 การหาปริมาตรไม้รายต้น

เมื่อคัดเลือกไม้ตัวอย่างที่เหมาะสมในข้อ 1.4 ซึ่งเป็นตัวแทนในแต่ละแปลงปลูก ได้แล้วจึงทำการวัดปริมาตรสักที่เป็นตัวแทนนั้นเพื่อนำข้อมูลไม้ตัวอย่างมาคำนวณด้วยวิธี Smalian's Formula โดยวัดค่าต่างๆ ของไม้แต่ละต้น คือค่าความสูงทั้งหมด (เมตร) ขนาดวัดรอบที่ความสูงเพียงอก (เซนติเมตร) และขนาดวัดรอบที่ระดับความสูงทุกๆ 2 เมตร จนถึงระดับความสูงที่เป็นสินค้าได้ แล้วนำมาหาปริมาตรไม้ในแต่ละท่อนโดยถือว่าแต่ละท่อนมีรูปทรงกระบอกโดยที่

$$\text{ปริมาตรทรงกระบอก (V)} = B \times L \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้ B คือพื้นที่หน้าตัดวงกลม L คือความยาวท่อน คือทุก 2 เมตร และสมการหาปริมาตรของ Smalian's Formula คือ

$$V_s = \frac{(B + b)^2}{2} \times L \quad (4)$$

เมื่อ B คือพื้นที่หน้าตัดที่โคนท่อน b คือพื้นที่หน้าตัดปลายท่อน ดังนั้นเมื่อ L สั้นลง b จะเพิ่มขึ้นจนเกือบเท่ากับ B จึงอาจกล่าวได้ว่าไม้ท่อนยาวเมื่อถูกแบ่งให้สั้น ปริมาตรที่คำนวณได้จะใกล้เคียงกับรูปทรงกระบอก ด้วยเหตุนี้ในการศึกษาจึงประยุกต์ Smalian's Formula นำมาคำนวณโดยกำหนด L ให้สั้นจนถึง 2 เมตรและกำหนดให้ผลการคำนวณนี้เป็นปริมาตรที่ใกล้เคียงกับปริมาตรเนื้อไม้มากที่สุดและนำข้อมูลที่ได้จากข้อ 1.4 มาคำนวณหาปริมาตรไม้รายต้น ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 5

4.4.2 สร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์ผลผลิตในรูปปริมาตรที่ทำเป็นสินค้าได้โดยการวิเคราะห์การถดถอย โดยกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นตัวแปรอิสระ ส่วนปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้เป็นตัวแปรตาม ดังนี้

$$V = f(dbh) \quad (5)$$

กำหนดให้  $V =$  ปริมาตรไม้ (ลูกบาศก์เมตร)  
 $dbh =$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (ซม.)

4.4.3 ตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination :  $R^2$ ) ค่าการคลาดเคลื่อนของการประมาณ (Standard error of estimate:SE) ค่า F และค่า P-value โดยพิจารณาค่าทางสถิติที่ได้ ซึ่งค่า P-value ที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ คือ 0.01 รวมถึงแนวโน้มของข้อมูล

#### 4.5 การประเมินผลผลิตของหมู่ไม้รายปี

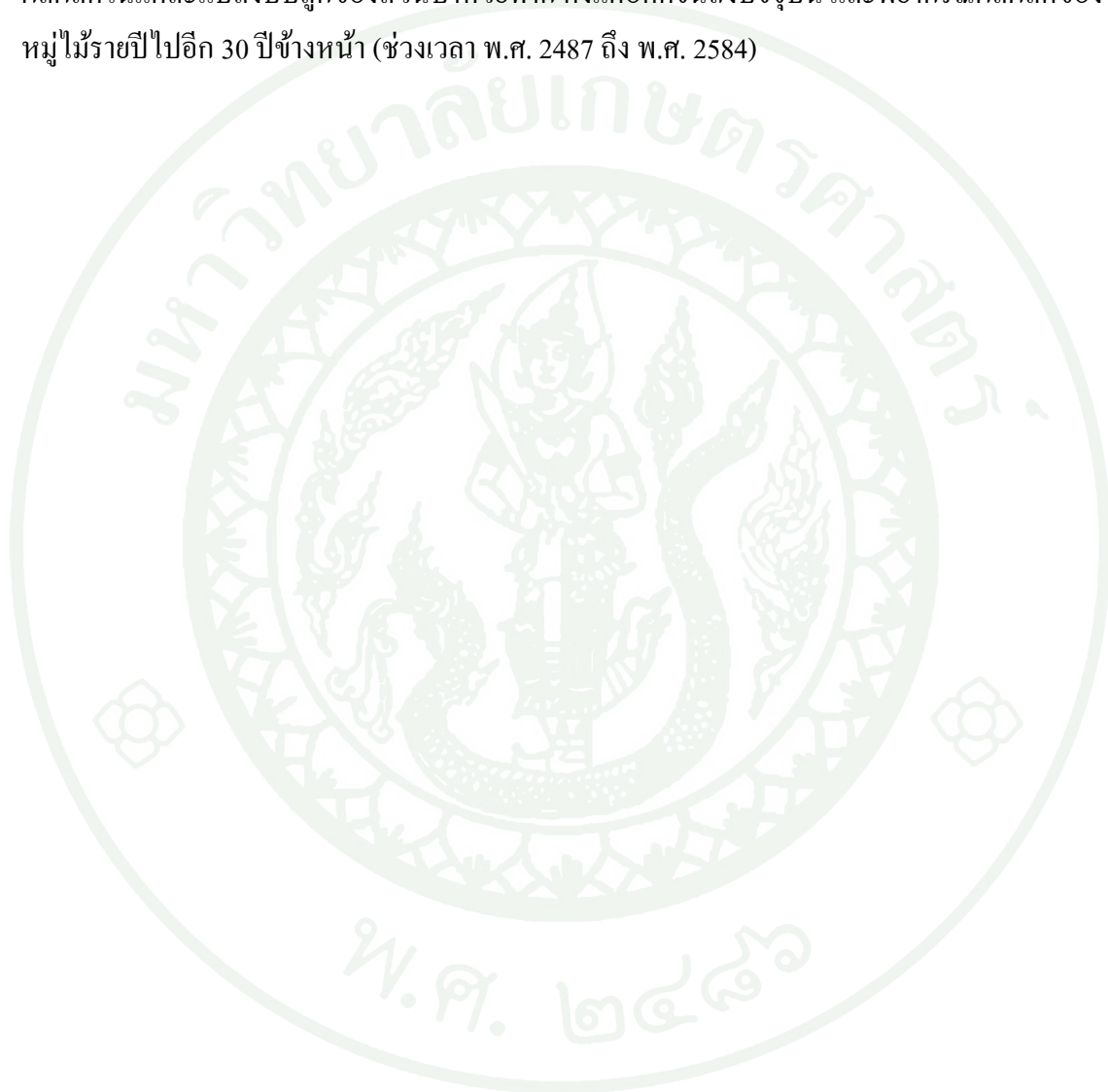
นำข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลภาคสนามในข้อ 1.2 และขนาดความกว้างวงปีไม้สักที่วัดได้มาหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในอดีตและนำมาประเมินผลผลิตในรูปปริมาตรไม้รายปีต่อหน่วยเนื้อที่ (ลบ.ม.ต่อไร่ต่อปี) โดยคำนวณปริมาตรไม้จากตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกกับปริมาตรไม้สักรายต้น โดยคำนวณย้อนกลับจากปีปัจจุบันย้อนกลับไปจนถึงปีที่ต้นไม้มิขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยต่ำสุดที่เป็นสินค้าได้ (10 เซนติเมตร)

#### 4.6 การพยากรณ์ผลผลิตของหมู่ไม้รายปี

นำข้อมูลความกว้างวงปีต้นไม้ที่ได้ในข้อ 3 มาเป็นชุดข้อมูลเพื่อคาดคะเนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก โดยคำนวณปริมาตรไม้จากตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกและตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกกับปริมาตรไม้สักรายต้น โดยคำนวณเป็นปริมาตรของผลผลิตต่อหน่วยเนื้อที่ (ลบ.ม.ต่อไร่ต่อปี) จากปัจจุบันไปอีก 30 ปี โดยมีสมมติฐานตามแผนการทำไม้ขององค์การอุตสาหกรรมป่าไม้ อ.อ.ป. (2548ข) ที่ได้จัดทำโครงการปลูกและใช้ประโยชน์สวนป่าไม้สักของ อ.อ.ป. ขึ้นมาพิจารณาปรับปรุงแผนการทำไม้สักสวนป่าให้สอดคล้องกับมาตรฐานการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืนของ อ.อ.ป. โดยจัดทำเป็นแผนการทำไม้ 30 ปี

## 5. การสร้างตารางผลผลิตไม้สัก

นำข้อมูลผลผลิตของหมู่ไม้รายปีที่ได้จากข้อ 4.4 และการพยากรณ์ผลผลิตของหมู่ไม้รายปีจากข้อ 4.5 นำไปแสดงเป็นรูปแบบของตารางโดยจำแนกตามอายุ (ปี) ต่างๆ จะทำให้ได้ตารางผลผลิตในแต่ละแปลงปีปลูกของสวนป่าห้วยทาก ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน และพยากรณ์ผลผลิตของหมู่ไม้รายปีไปอีก 30 ปีข้างหน้า (ช่วงเวลา พ.ศ. 2487 ถึง พ.ศ. 2584)



## สถานที่ทำการวิจัย

จากข้อมูลการรายงานของ สำนักงานป่าไม้เขตลำปาง (2541) ที่ได้รวบรวมข้อมูลพื้นฐานของสวนป่าห้วยทาก อ.งาว จ.ลำปาง ทั้งด้านกายภาพ และชีวภาพได้ดังนี้

### 1. ประวัติ ที่ตั้ง และอาณาเขต

สวนป่าห้วยทาก ตั้งอยู่บริเวณบ้านสวนสัก ต.บ้านหวด อ.งาว จ.ลำปาง บนถนนพหลโยธิน (ทางหลวงหมายเลข 1) เชื่อมต่อระหว่าง จ.ลำปาง และ จ.พะเยา บนหลักกิโลเมตรที่ 667 ห่างจาก จ.ลำปาง ประมาณ 80 กิโลเมตร ห่างจาก อ.งาว 17 กิโลเมตร และห่างจาก จ.พะเยา ประมาณ 90 กิโลเมตร เป็นถนน 4 เลนมีถนนลูกรังแยกซ้ายจากบ้านสวนสักเข้าไปอีก 3 กิโลเมตร มีป่าธรรมชาติ และสวนสัก 2 ฟังถนนสวนป่าห้วยทาก เป็นพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติตั้งอยู่ในเขตสวนสักรัฐบาล

### 2. ลักษณะทางกายภาพและชีวภาพ

สภาพภูมิประเทศสวนป่าห้วยทากอยู่ระหว่างสันเขาแนวแบ่งเขต อ.ห้างฉัตร จ.ลำปาง กับ บ้านแม่ตึบ จ.ลำปาง สภาพภูมิประเทศเป็นภูเขาหินสลับซับซ้อนซึ่งมีประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็นเนินลูกคลื่น 30 เปอร์เซ็นต์ และเป็นที่ราบเพียง 20 เปอร์เซ็นต์ บางแห่งเป็นสวนสักของรัฐบาลซึ่งกรมป่าไม้ได้ทำการปลูกเอาไว้ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2485 ป่านี้มีประชาชนเข้าอยู่อาศัยอยู่ก่อนการประกาศเป็นป่าโครงการสาธิต สวนป่าห้วยทากประกอบด้วยลำธารหลายสายด้วยกัน มีน้ำหลากเฉพาะฤดูฝน และขาดน้ำในฤดูแล้ง

สภาพภูมิอากาศฤดูกาลบริเวณสวนป่าห้วยทากในแบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน อยู่ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-พฤษภาคม (อุณหภูมิเฉลี่ย 30-38 องศาเซลเซียส) ฤดูฝน อยู่ในช่วงเดือน มิถุนายน-ตุลาคม (อุณหภูมิเฉลี่ย 31-33 องศาเซลเซียส) ฤดูหนาวอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายน-มกราคม (อุณหภูมิเฉลี่ย 8-10 องศาเซลเซียส) ฤดูกาลทั้ง 3 นี้ อาจจะเริ่มและสิ้นสุดลงคลาดเคลื่อนได้บ้างในบางปี ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว มีฝนตกชุกในเดือนสิงหาคมและร้อนจัดในเดือนเมษายน ของทุกปี

อุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 25.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุด 3.9 องศาเซลเซียส และต่ำสุด 43.5 องศาเซลเซียสมีความชื้นโดยเฉลี่ยตลอดทั้งปีประมาณ 74% ในฤดูร้อน ลมจะพัดจาก

ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและในฤดูหนาวลมจะพัดจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,082 มิลลิเมตร

### 3. ลักษณะทางธรณี

ธรณีสัณฐานและวัตถุต้นกำเนิดดินของบริเวณป่าสาธิตเซกเตอร์แม่หวดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1) สภาพธรณีสัณฐานที่เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำเก่า ซึ่งมีลักษณะของพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดถึงคลื่นลาดชัน เกิดจากการทับถมของตะกอนลำน้ำที่มีอายุเก่ากว่าตะกอนลำน้ำปัจจุบัน วัตถุที่ถูกพัดพาทับถมไว้ในยุคนี้ประกอบด้วยก้อนกรวดหินมนใหญ่ปะปนภายในชั้นดิน

2) สภาพธรณีสัณฐานที่เกิดจากพื้นที่ผิวที่เหลื่อมตัก้างจากการกัดกร่อนบนหินดินดานหินทรายแป้ง หินทราย หินกรวดมน และหินปูน ซึ่งมีลักษณะพื้นที่เป็นแบบลูกคลื่นลอนลาดจนถึงสภาพภูมิประเทศที่เป็นเทือกเขา ลักษณะของธรณีสัณฐานนี้พบมากที่สุดในจังหวัดลำปาง ดินที่เกิดอยู่บนสภาพภูมิประเทศที่เหลื่อมตัก้างจากการกัดกร่อนของหินดินดาน หินทราย แป้ง และหินปูน จะมีเนื้อดินเป็นดินเหนียว ส่วนดินที่เกิดจากหินทรายส่วนใหญ่จะมีเนื้อดินเป็นดินทราย ความลึกของดินเหล่านี้มักสัมพันธ์กับสภาพพื้นที่ที่ดินเกิดอยู่ บริเวณที่มีความลาดชันสูง ดินส่วนใหญ่เป็นดินตื้นเขิน และบริเวณที่มีความลาดชันต่ำ ดินที่พบส่วนใหญ่จะเป็นดินลึก

### 4. ลักษณะพืชพรรณ

ลักษณะพืชพรรณในพื้นที่สวนสักห้วยทาก แบ่งออกได้ดังนี้ คือ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าดิบแล้ง

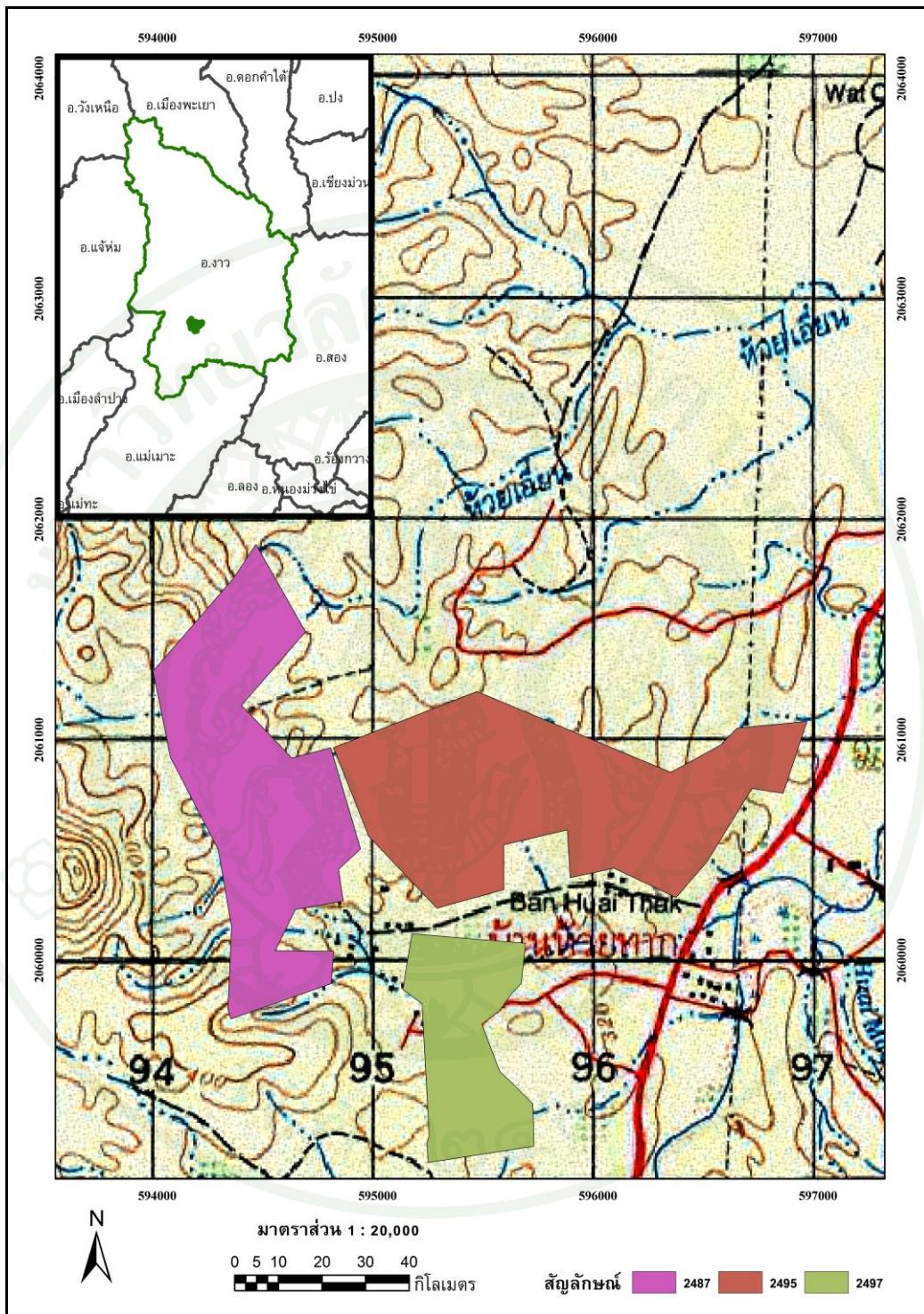
1) ป่าเบญจพรรณ (mixed deciduous forest) เป็นป่าเบญจพรรณที่มีไม้สัก และ ไม้มีไม้สักพบโดยรอบตามแนวสันเขาตอนกลางของพื้นที่ พรรณไม้ต้นที่สำคัญ ได้แก่ สัก (*Tectona grandis* L.f.) แดง (*Xylocarpus xylocarpa* (Roxb.) Jaub. var. *kerrii* (Craib & Hutch.) Nielsen ประจักษ์ (*Pterocarpus macrocarpus* kurz) รกฟ้า (*Terminalia alata* Heyne ex. Roth) มะค่าโมง (*Azelia xylocarpa* Roxb.) ชิงชัน (*Dalbergia oliveri* Gamble) เป็นต้น

2) ป่าเต็งรัง (dry deciduous dipterocarp forest) กระจายครอบคลุมทางตอนใต้และทางตอนกลางของพื้นที่ พรรณไม้ต้นที่สำคัญ ได้แก่ เต็ง (*Shorea obtusa* Wall.) รัง (*Shorea siamensis* Miq.) พลวง (*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb.) พะยอม (*Shorea roxburghii* G. Don) เป็นต้น

3) ป่าดิบแล้ง (dry evergreen forest) กระจายครอบคลุมตามหุบห้วยบริเวณความสูงเหนือระดับน้ำทะเลประมาณ 500 เมตร พรรณไม้สำคัญที่พบได้แก่ ตะเคียนหิน (*Hopea ferrea* Pierre.) กระบาก (*Anisoptera costata* Korth.) หมี่เหม็น (*Litsea glutinosa* Juss) กะเบาเกล็ด (*Hydnocarpus ilicifolia* King.) เป็นต้น

## 5 สัตว์ป่า

สวนสัตว์ห้วยทากมีลักษณะเป็นภูเขาสูงมีพื้นที่ป่าไม้ปกคลุมทั่วไปเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าหลายชนิด แต่ในปัจจุบันป่าในพื้นที่นี้ถูกรายล้อมที่องค์ได้ล่าจนลดจำนวนลงอย่างมาก สัตว์ป่าขนาดใหญ่ไม่พบเห็นอีกเลย เท่าที่มีรายงานการพบในปัจจุบันพบสัตว์กลุ่ม กระรอก บ่าง กระแต หนู กระต่าย ตุ่น ค้างคาว หมูป่า กิ้งก่า ไก่ป่า งู นกอีกหลายชนิด โดยเฉพาะนกหัวขวาน นกแซงแซว ที่พบได้ง่าย เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าปัจจุบันสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมขนาดใหญ่ของป่าแห่งนี้ได้หมดสิ้นแล้ว



ภาพที่ 2 แผนที่สวนป่าห้วยตาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

## ผลและวิจารณ์

การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของสักโดยใช้เทคนิคการปลูกในสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง ได้ทำการศึกษาในพื้นที่แปลงปลูกสักปี 2487, 2495 และ 2497 โดยการใช้ ส่วนเจาะวัดความเพิ่มพูนเจาะเอาไส้ไม้ตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการปลูกในสวนป่า ผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. สถานภาพของสวนป่าและการเติบโตของสักในสวนป่า

#### 1.1 สถานภาพของสวนป่า

จากการสำรวจพื้นที่ในแต่ละแปลงโดยใช้ระบบสำรวจทรัพยากรป่าไม้แบบแปลงเป็น แนว กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการประมาณ ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนการสำรวจอยู่ระหว่าง 0.30-1.00 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของสวนป่าในขณะทำการสำรวจ จากนั้นนำค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นไม้ของไม้ตัวอย่างทุกแปลงมาคำนวณหาค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลสถานภาพของสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

แปลง ปลูก (พ.ศ.)	อายุ เฉลี่ย (ปี)	พื้นที่ สำรวจ (ไร่)	เปอร์ เซ็นต์ ที่ สำรวจ	ช่วง เส้นผ่าน ศูนย์กลาง เพียงอก (ซม.)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง เพียงอก เฉลี่ย (ซม.)	ช่วง ความสูง (เมตร)	ความสูง ที่เป็น สินค้าได้ เฉลี่ย (เมตร)	ความ หนา แน่น (ต้น/ไร่)
2487	67	2.81	1.00	29.20-55.90	40.11	20.50-33.50	26.94	39.47
2495	59	1.88	0.77	31.00-59.30	40.20	21.00-33.00	23.08	35.73
2497	57	2.19	0.30	25.70-47.70	35.42	20.00-31.50	22.72	38.86

หมายเหตุ (การคาดคะเนอายุเฉลี่ยของไม้สักเริ่มนับอายุตั้งแต่ปี พ.ศ. ที่เริ่มปลูก)

ต้นสักมีอายุเฉลี่ยระหว่าง 57-67 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25.70 -59.30 เซนติเมตร ความสูงทั้งหมดของสักเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 29.91 – 32.50 เมตร และความสูงที่เป็นสินค้าได้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 22.72 – 26.94 เมตร ความหนาแน่นของต้นสักในสวนป่าอยู่ในช่วง 35.73-39.47 ต้นต่อไร่ ความหนาแน่นในแปลงปลูกสักของสวนป่าห้วยทากพบว่าไม้สักที่มีชันอายุน้อยกว่า จะมีจำนวนความหนาแน่นของสักที่น้อยกว่าไปในทิศทางเดียวกัน จากการศึกษาของ อนิวรรณ (2535) พบว่าปัญหาความหนาแน่นของไม้สักในสวนป่าดังกล่าวในอดีตสวนป่าห้วยทากได้ทำการตัดสางขยายระยะที่ไม่ถูกต้องและไม่เป็นไปตามขั้นตอน จึงส่งผลต่อความหนาแน่นของสักในแต่ละแปลงปลูกและทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของสัก เพราะสักเป็นไม้ที่ต้องการแสงมาก ถ้าการตัดสางขยายระยะไม่ถูกต้องแล้วจะมีผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของสักในสวนป่าได้

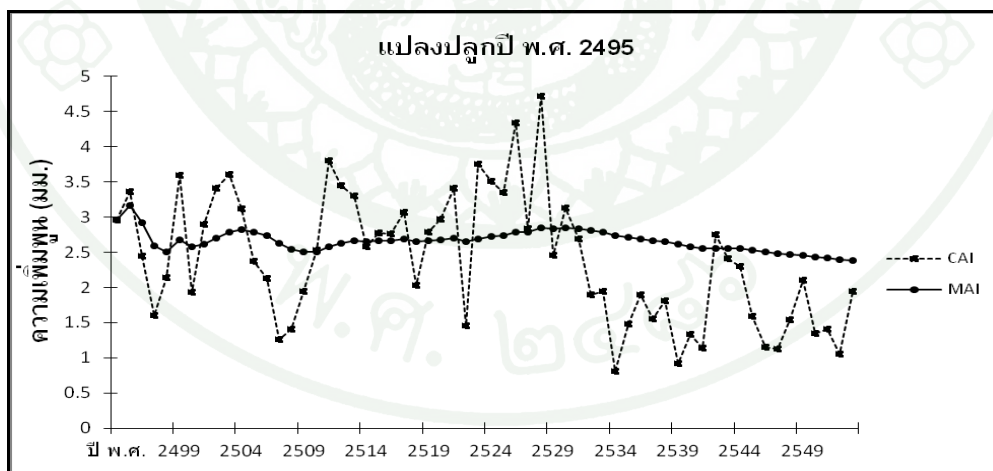
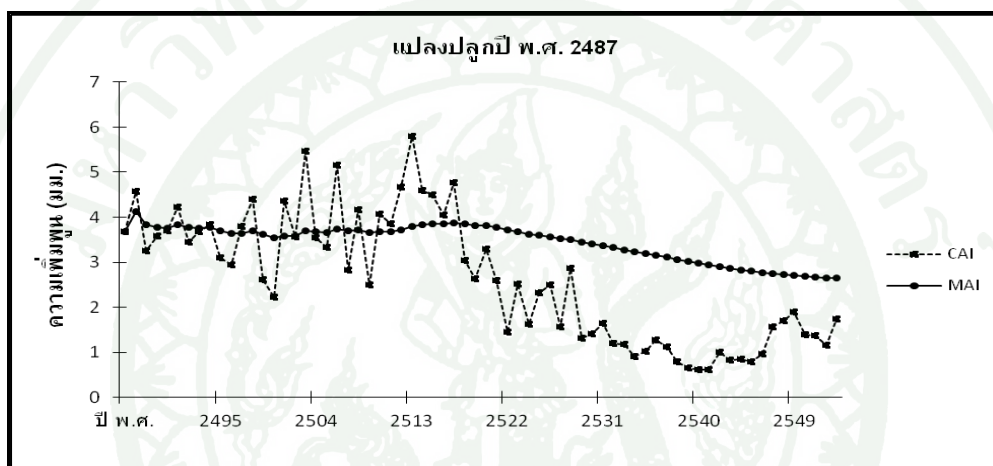
## 1.2 การเติบโตของสักในสวนป่า

สักในสวนป่าห้วยทากมีความเพิ่มพูนรายปีอยู่ระหว่าง 0.604-10.197 มิลลิเมตร และมีความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีอยู่ระหว่าง 2.390-5.337 มิลลิเมตร เมื่อนำค่าความเพิ่มพูนรายปีและความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีของต้นไม้ในแต่ละแปลงปลูกนำค่าดังกล่าวมาสร้างกราฟ สามารถเห็นลักษณะเส้นโค้งการเติบโตของสักได้ชัดเจนขึ้น ดังภาพที่ 3

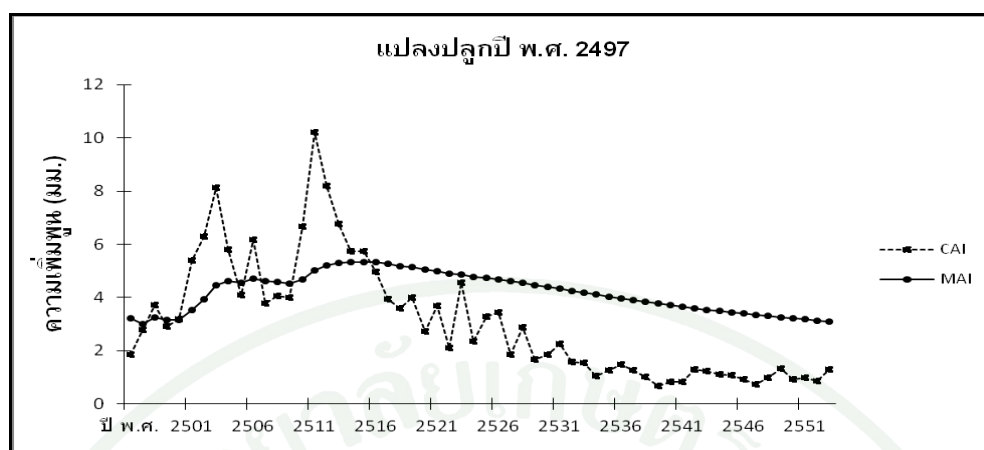
แปลงปลูกปี พ.ศ. 2487 ในช่วงแรก (พ.ศ.2489–2492) ค่า CAI และ MAI มีแนวโน้มการเติบโตเพิ่มขึ้นในรูปแบบทวิคูณ ซึ่งเป็นระยะที่สักมีการเติบโตอย่างรวดเร็วและเป็นช่วงการเติบโตของสักในระยะเวลาสั้นๆ ช่วงที่ 2 (พ.ศ.2494–2518) ช่วงการเติบโตนี้ใช้เวลานานและพบว่าอัตราการเติบโตสูงสุดของสักในแปลงนี้คือ 11.575 มิลลิเมตร (พ.ศ.2514) และการเติบโตเฉลี่ยรายปีสูงสุดคือ 7.769 มิลลิเมตร (พ.ศ.2518) ช่วงที่ 3 (พ.ศ. 2519-2554) เป็นช่วงที่สักมีการเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงภายหลังจากที่มีการเติบโตเต็มที่ ซึ่งสังเกตได้จากค่า CAI และ MAI ที่มีแนวโน้มลดลงจากเส้นโค้งการเติบโตของสักแปลงนี้

แปลงปลูกปี พ.ศ.2495 ในช่วงแรก (ปี พ.ศ.2498–2500) ถือเป็นช่วงที่สักอยู่ในช่วงปรับตัวเพื่อให้พ้นจากการแก่งแย่งของไม้ชนิดอื่นหรือวัชพืชในพื้นที่เดียวกัน ช่วงที่ 2 (ปี พ.ศ.2501-2532) เป็นช่วงที่สักใช้เวลาการเติบโตนานและมีการเติบโตอย่างเต็มที่จากปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และระบบวนวัฒนต่างๆ และพบว่าอัตราการเติบโตในช่วงนี้ ค่า CAI และ MAI มีมากที่สุดในปี พ.ศ. 2529 คือ 9.292 มิลลิเมตรและ 5.774 มิลลิเมตรตามลำดับ ช่วงที่ 3 (ปี พ.ศ.2530-2554) เป็นช่วงที่สักมีการเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงภายหลังจากที่มีการเติบโตเต็มที่

แปลงปลูกปี พ.ศ.2497 ในช่วงแรก (ปี พ.ศ.2498–2500) เป็นช่วงที่มีการเติบโตอย่างรวดเร็วช่วงที่ 2 (ปี พ.ศ.2501-2516) เป็นช่วงที่สักมีการเติบโตอย่างเต็มที่ พบว่าการเติบโตรายปีสูงสุดของไม้สักในแปลงนี้ คือ 20.432 มิลลิเมตร (ปี พ.ศ.2512) และการเติบโตเฉลี่ยรายปีสูงสุดคือ 10.998 มิลลิเมตร (ปี พ.ศ.2516) จากการวิเคราะห์กราฟเบื้องต้นพบว่าการเติบโตของสักในแปลงนี้ มีช่วงการเติบโตในระยะดังกล่าวที่สั้นเกินไปเมื่อเทียบกับแปลงปลูกปีอื่นๆ และค่า CAI และ MAI ในช่วงนี้มีความแตกต่างกันสูงมาก ซึ่งทำให้การเติบโตในแต่ละปีแตกต่างกันมาก ช่วงที่ 3 (ปี พ.ศ.2517-2554) เป็นช่วงที่สักมีการเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงภายหลังจากที่มีการเติบโตเต็มที่



ภาพที่ 3 เส้นแนวโน้มการเติบโตความเพิ่มพูนรายปีและความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีตามแปลงปลูก



ภาพที่ 3 (ต่อ)

## 2. ข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก

จากข้อมูลความเพิ่มพูนรายปีที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงปีทำให้สามารถคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (ชม.) ของไม้ตัวอย่างแต่ละต้นของไม้สักในแต่ละแปลงตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน (ภาคผนวกที่ 3) โดยเมื่อครบรอบอายุตัดพื้นที่ 30 ปี ไม้สักในแปลง 2487, 2495 และ 2497 จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเท่ากับ 31.475, 23.833 และ 36.323 เซนติเมตร และเมื่อครบรอบตัดพื้นที่ 60 ปี ไม้สักในแปลง 2487 และ 2495 จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเท่ากับ 42.501 และ 36.311 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อภิชาติ (2534) ที่ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสวนป่าไม้สักในท้องที่ต่างๆ ทางภาคเหนือของประเทศไทยในแต่ละช่วงอายุ และสภาพพื้นที่ปลูกต่างๆกัน 3 ลักษณะ พบว่าเมื่อสักอายุ 30 และ 60 ปี ในพื้นที่ดีมาก จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเท่ากับ 30.59 และ 41.38 เซนติเมตรตามลำดับ

การเพิ่มขึ้นทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกในแต่ละแปลงปลูกของสวนป่าห้วยทาก แสดงให้เห็นว่าอายุของต้นไม้มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของทุกแปลง เมื่อไม่มีอายุมากขึ้นจะทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกมากขึ้นตามไปด้วย การเติบโตทางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่สำคัญ คือ สภาพพื้นที่ปลูก รวมถึงการเตรียมพื้นที่ปลูก การจัดการสวนป่ารวมถึงวิธีการดูแลรักษาและคุณภาพของเมล็ดหรือกล้าพันธุ์ที่ใช้ปลูก

### 3. ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของสักรายต้น

การสร้างตัวแบบสำหรับพยากรณ์การเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย โดยกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเป็นตัวแปรตาม และลำดับปีเป็นตัวแปรอิสระ โดยให้  $y=1$  สำหรับปีเริ่มต้นของการวัดความกว้างวงปีในแต่ละแปลงเท่ากับ 2, 3, 4, ... ในปีถัดไป ซึ่งขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของไม้และขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม โดยวิเคราะห์แนวโน้มในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ สมการเชิงเส้น (linear equation) สมการโค้งรูปตัว S (S-curve equation) สมการลอการิทึม (logarithm equation) สมการยกกำลัง (power equation) และสมการเอกโปเนนเชียล (exponential equation)

ผลการวิเคราะห์แนวโน้มข้อมูลได้ผลดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 4 และภาพผนวกที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $r^2$ ) ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณ (SE) ของตัวแบบสำหรับพยากรณ์การเติบโตไม้สักรายต้น ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของสักรายต้น

แปลงปลูกปี พ.ศ.	ตัวแบบ	$r^2$	SE	ปีที่เริ่มต้นวัดความกว้างวงปี
2487	$dbh = 1.977y^{0.751}$	0.974	0.116	2487
2495	$dbh = 1.225y^{0.848}$	0.955	0.060	2495
2497	$dbh = 3.753y^{0.552}$	0.984	0.143	2497

กำหนดให้  $dbh$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกภายนอกเปลือก (ซม.)  
 $y$  = ลำดับวงปีตามปี (1, 2, 3,...)

จากการสร้างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของสักรายต้นทั้ง 3 แปลง พบว่ามีรูปแบบเป็นสมการยกกำลัง โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกภายนอกเปลือกที่ได้จากการคำนวณ เมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของทุกแปลงพบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางภาคผนวกที่ 5

#### 4. ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกกับปริมาตรสักรายต้น

จากการสร้างตัวแบบสำหรับประเมินผลผลิตของไม้รายต้นในรูปแบบปริมาตรที่ทำเป็นสินค้าได้ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยและกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกนอกเปลือก (ซม.) เป็นตัวแปรอิสระ ส่วนปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ (ลบ.ม.) เป็นตัวแปรตาม วิเคราะห์ตัวแบบสำหรับพยากรณ์ปริมาตรไม้รายต้นที่ทำเป็นสินค้าได้ในรูปแบบต่างๆ (ตารางผนวกที่ 6) แล้วเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณ และการวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูล (ภาพผนวกที่ 2) ได้ตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับพยากรณ์ปริมาตรไม้รายต้น ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกกับปริมาตรสักรายต้น

แปลงปลูก ปี พ.ศ.	ตัวแบบ	$r^2$	SE	ช่วงขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเพียงอก (ซม.)
2487	$V = 0.00016 \text{ dbh}^{2.40196}$	0.984	0.087	29.0 – 55.0
2495	$V = 0.00028 \text{ dbh}^{2.21113}$	0.983	0.056	31.0 – 56.0
2497	$V = 0.00018 \text{ dbh}^{2.40738}$	0.971	0.079	26.0 – 44.0

กำหนดให้  $V$  = ปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ (ลบ.ม.)

dbh = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกนอกเปลือก (ซม.)

ตัวแบบที่เหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาตรไม้รายต้นในแต่ละแปลงเป็นสมการยกกำลัง เมื่อนำค่าที่พยากรณ์ปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ ทั้ง 3 แปลงนำไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนนั้น พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางผนวกที่ 7) ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดในแปลงปลูกดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วง 97.1-98.4 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกมีอิทธิพลต่อปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้

## 5. ผลผลิตรายปีของสักจากอดีตสู่ปัจจุบัน

จากตารางที่ 8 ผลผลิตไม้สักที่ได้ในปัจจุบัน (พ.ศ.2554) แปลงปลูกปี 2487, 2495 และ 2497 มีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 23.39, 17.87 และ 18.35 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่และเมื่อไม้สักมีอายุ 60 ปี ในปี 2547, 2555 และ 2557 จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 20.806, 18.330 และ 20.720 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ สมเกียรติ (2520) พบว่า ปริมาตรไม้สักที่ได้จากสวนป่าเมื่อครบรอบหมุนเวียน 60 ปี (สวนป่าไม้สักอายุตั้งแต่ 9–63 ปี ในภาคเหนือของประเทศไทย) ของแต่ละชั้นคุณภาพหรือ site index ซึ่งกำหนด โดยค่าเฉลี่ยความสูงทั้งหมดของไม้ชั้นเด่นและไม้ชั้นรอง แบ่งเป็น 5 ชั้นคุณภาพซึ่งมีปริมาตรไม้ได้เปลือกส่วนที่ทำเป็นสินค้าได้ของชั้นคุณภาพ 14, 17, 20, 23 และ 26 เท่ากับ 25.85, 30.16, 33.90, 37.40 และ 41.48 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบพบว่าแปลง 2487, 2495 และ 2497 ในสวนป่าห้วยทากมีปริมาตร ไม้สักน้อยมากเมื่อเทียบกับงานวิจัยดังกล่าว จากการตรวจเอกสารเพิ่มเติมพบว่าความหนาแน่นอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเติบโต และปริมาณปริมาตรไม้ เนื่องจากความหนาแน่นของต้นไม้ในแปลงปัจจุบันพบว่ามีจำนวนต้นต่อไร่้น้อยมาก ซึ่ง อนิวรรณ (2535) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่าสวนป่าห้วยทากได้มีการทำการตัดสายขยายระยะที่ไม่ถูกต้องและไม่เป็นไปตามขั้นตอน เพราะจะสังเกตเห็นว่าในบางชั้นอายุสวนป่าที่มีชั้นอายุน้อยกว่ากลับมีจำนวนต้นต่อไร่้น้อยกว่าแปลงที่มีอายุมากกว่า ทำให้มีผลกระทบต่ออัตราการเติบโตของไม้สัก เพราะไม้สักเป็นไม้ที่ต้องการแสงมาก ถ้าตัดสายขยายระยะไม่ถูกต้องแล้วจะมีผลต่อการเติบโตของสวนป่า

## 6. การพยากรณ์ผลผลิตของหมู่ไม้รายปี

พยากรณ์ผลผลิตรายปีของหมู่ไม้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 ไปอีก 30 ปี (พ.ศ. 2584) จากข้อมูลความกว้างวงปีที่ได้โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ดังกล่าวภาพผนวกที่ 3 ซึ่งในแต่ละแปลงปลูกกำหนดจำนวนค่าสังเกต (k) แตกต่างกันตามลักษณะการเติบโตของต้นไม้ในแปลง จากนั้นอาศัยสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกในตารางที่ 7 คำนวณผลผลิตในรูปปริมาตรต่อหน่วยเนื้อที่ (ลบ.ม./ไร่/ปี) ตามแปลงปี พ.ศ. ที่ปลูก

จากการพยากรณ์ผลผลิตของหมู่ไม้รายปีพบว่าผลผลิตไม้สักในแปลงปี 2487 สักจะมีอายุเฉลี่ย 99 ปี (ปี พ.ศ.2584) จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 49.840 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ แปลงปี 2495 สักจะมีอายุเฉลี่ย 91 ปี จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 34.805 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่

และแปลงปี 2497 สักจะมีอายุเฉลี่ย 89 ปี จะมีปริมาณไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 50.222 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่

## 7. ตารางผลผลิตไม้สัก (Yield Table)

นำข้อมูลผลผลิตของหมู่ไม้รายปีและข้อมูลการประเมินผลผลิตของหมู่ไม้รายปีจากปัจจุบันไปอีก 30 ปี (พ.ศ.2554 ถึง พ.ศ.2584) สร้างเป็นตารางผลผลิตของสักตามแปลงปีที่ปลูก (ตารางที่ 8) ตารางผลผลิตดังกล่าวจัดแบ่งตามแปลงปีที่ปลูก (พ.ศ) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการกำหนดปริมาณไม้สักในสวนป่าห้วยทาก

ผลผลิตต่อหน่วยเนื้อที่ของสวนป่าห้วยทากในการศึกษาครั้งนี้ปริมาณไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้เมื่อครบรอบหมุนเวียน 60 ปี แปลงปลูกสัก 2487 และ 2497 มีค่าไม่แตกต่างกัน ขณะที่แปลง 2495 มีปริมาณไม้สักที่น้อยกว่าสองแปลงแรก ความแตกต่างของผลผลิตไม้สักดังกล่าว ควรมีแนวทางการวางแผนคัดเลือกแปลงปลูกที่เหมาะสมต่อการปลูกสัก หรือมีพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับสภาพพื้นที่ตามธรรมชาติของสัก ซึ่งจะมีส่วนช่วยให้ได้รับผลผลิตสูงขึ้น อีกประการหนึ่งการจัดการดูแลบำรุงรักษาสวนป่า โดยเฉพาะการตัดสางขยายระยะเวลาที่ถูกวิธีจะมีผลต่อการเติบโตและผลผลิตของสักมากขึ้นด้วย

ตารางที่ 8 ตารางผลผลิตไม้สักที่ทำเป็นสินค้าได้ สวนป่าห้วยทาก จังหวัดลำปาง ตามแปลงปีที่ปลูก

ปีที่ปลูก (พ.ศ.)	ปริมาณไม้สักที่ทำเป็นสินค้าได้ในปีต่างๆ (พ.ศ.)												(ลบ.ม./ไร่)
	พ.ศ.2487	พ.ศ.2488	พ.ศ.2489	พ.ศ.2490	พ.ศ.2491	พ.ศ.2492	พ.ศ.2493	พ.ศ.2494	พ.ศ.2495	พ.ศ.2496	พ.ศ.2497	พ.ศ.2498	พ.ศ.2499
2487	0.522	0.606	0.715	0.809	0.927	1.057	1.214	1.356	1.523	1.711	1.874	2.042	2.274
2495	-	-	-	-	-	-	-	-	1.494	1.623	1.775	1.906	1.993
2497	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.079	0.090	0.108
	พ.ศ.2500	พ.ศ.2501	พ.ศ.2502	พ.ศ.2503	พ.ศ.2504	พ.ศ.2505	พ.ศ.2506	พ.ศ.2507	พ.ศ.2508	พ.ศ.2509	พ.ศ.2510	พ.ศ.2511	พ.ศ.2512
2487	2.557	2.737	2.898	3.228	3.527	3.996	4.334	4.654	5.176	5.479	5.947	6.238	6.727
2495	2.109	2.306	2.422	2.598	2.809	3.057	3.275	3.450	3.621	3.710	3.817	3.979	4.202
2497	0.140	0.169	0.206	0.277	0.381	0.559	0.721	0.855	1.095	1.267	1.465	1.670	2.064
	พ.ศ.2513	พ.ศ.2514	พ.ศ.2515	พ.ศ.2516	พ.ศ.2517	พ.ศ.2518	พ.ศ.2519	พ.ศ.2520	พ.ศ.2521	พ.ศ.2522	พ.ศ.2523	พ.ศ.2524	พ.ศ.2525
2487	7.222	7.856	8.670	9.359	10.061	10.729	11.556	12.102	12.587	13.214	13.718	14.005	14.503
2495	4.548	4.850	5.164	5.422	5.710	5.999	6.322	6.548	6.872	7.222	7.637	7.823	8.283
2497	2.796	3.497	4.157	4.764	5.406	6.019	6.528	7.002	7.571	7.975	8.548	8.877	9.612

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ปีที่ปลูก (พ.ศ.)	ปริมาณไม้สักที่ทำเป็นสินค้าได้ในปีต่างๆ (พ.ศ.)													(ลบ.ม./ไร่)
	พ.ศ.2526	พ.ศ.2527	พ.ศ.2528	พ.ศ.2529	พ.ศ.2530	พ.ศ.2531	พ.ศ.2532	พ.ศ.2533	พ.ศ.2534	พ.ศ.2535	พ.ศ.2536	พ.ศ.2537	พ.ศ.2538	
2487	14.841	15.325	15.855	16.189	16.814	17.108	17.430	17.810	18.088	18.361	18.575	18.814	19.108	
2495	8.720	9.142	9.716	10.109	10.768	11.135	11.614	12.018	12.324	12.642	12.781	13.023	13.328	
2497	10.008	10.584	11.211	11.555	12.109	12.435	12.799	13.250	13.574	13.894	14.114	14.377	14.692	
	พ.ศ.2539	พ.ศ.2540	พ.ศ.2541	พ.ศ.2542	พ.ศ.2543	พ.ศ.2544	พ.ศ.2545	พ.ศ.2546	พ.ศ.2547	พ.ศ.2548	พ.ศ.2549	พ.ศ.2550	พ.ศ.2551	
2487	19.366	19.550	19.703	19.854	20.003	20.233	20.424	20.622	20.806	21.047	21.453	21.890	22.374	
2495	13.579	13.872	14.026	14.248	14.443	14.918	15.350	15.763	16.060	16.274	16.483	16.767	17.159	
2497	14.972	15.199	15.346	15.530	15.712	16.001	16.279	16.531	16.772	16.982	17.155	17.383	17.694	
	พ.ศ.2552	พ.ศ.2553	พ.ศ.2554	พ.ศ.2555	พ.ศ.2556	พ.ศ.2557	พ.ศ.2558	พ.ศ.2559	พ.ศ.2560	พ.ศ.2561	พ.ศ.2562	พ.ศ.2563	พ.ศ.2564	
2487	22.726	23.082	23.391	24.087	24.796	25.517	26.250	26.995	27.753	28.524	29.307	30.103	30.911	
2495	17.408	17.670	17.865	18.330	18.802	19.280	19.765	20.257	20.756	21.262	21.774	22.293	22.820	
2497	17.908	18.141	18.351	19.121	19.911	20.720	21.548	22.395	23.262	24.148	25.054	25.980	26.926	

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ปีที่ปลูก (พ.ศ.)	ปริมาณไม้สักที่ทำเป็นสินค้าได้ในปีต่างๆ (พ.ศ.)												(ลบ.ม./ไร่)
	พ.ศ.2565	พ.ศ.2566	พ.ศ.2567	พ.ศ.2568	พ.ศ.2569	พ.ศ.2570	พ.ศ.2571	พ.ศ.2572	พ.ศ.2573	พ.ศ.2574	พ.ศ.2575	พ.ศ.2576	พ.ศ.2577
2487	31.732	32.567	33.414	34.274	35.146	36.033	36.932	37.844	38.770	39.708	40.661	41.626	42.605
2495	23.353	23.892	24.439	24.993	25.554	26.121	26.696	27.277	27.866	28.461	29.064	29.673	30.290
2497	27.892	28.878	29.884	30.911	31.959	33.027	34.116	35.226	36.357	37.510	38.683	39.878	41.095
	พ.ศ.2578	พ.ศ.2579	พ.ศ.2580	พ.ศ.2581	พ.ศ.2582	พ.ศ.2583	พ.ศ.2584						
2487	43.598	44.604	45.624	46.657	47.704	48.765	49.840						
2495	30.914	31.545	32.183	32.828	33.480	34.139	34.805						
2497	42.333	43.593	44.874	46.178	47.504	48.852	50.222						

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการศึกษาการเติบโตและผลผลิตของไม้สักโดยใช้เทคนิครุกขกาลวิทยา ในสวนป่าห้วยทาก อำเภอวัง จังหวัดลำปาง จำนวนทั้งสิ้น 3 แปลง ในแปลงปลูกปี 2487, 2495 และ 2497 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

1. สัก แปลงปลูกปี 2487, 2495 และ 2497 มีอายุเฉลี่ย 67, 59 และ 57 ปี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25.70 -59.30 เซนติเมตร ปริมาณความสูงทั้งหมดของสักเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 29.91 – 32.50 เมตร และความสูงที่เป็นสินค้าได้เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 22.72 – 26.94 เมตร มีความหนาแน่นของต้นสัก ประมาณ 35.73-39.47 ต้นต่อไร่

2. ความเพิ่มพูนรายปีที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงปีทำให้สามารถคำนวณขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (ซม.) โดยเมื่อครบรอบอายุตัดพื้นที่ 30 ปี ไม้สักในแปลง 2487, 2495 และ 2497 จะมีความหนาแน่นเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเท่ากับ 31.475, 23.833 และ 36.323 เซนติเมตร และเมื่อครบรอบตัดพื้นที่ 60 ปี ไม้สักในแปลง 2487 และ 2495 จะมีความหนาแน่นเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเท่ากับ 42.501 และ 36.311 เซนติเมตร

3. ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของสักรายต้น ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยในการสร้างตัวแบบ ได้สมการที่เหมาะสมอยู่ในรูปสมการยกกำลัง โดยกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกเป็นตัวแปรตามและลำดับปีเป็นตัวแปรอิสระ

4. ตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกกับปริมาตรสักรายต้น ได้สมการที่เหมาะสมอยู่ในรูปสมการยกกำลัง โดยกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอกนอกเปลือก (ซม.) เป็นตัวแปรอิสระ ส่วนปริมาตร ไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ (ลบ.ม.) เป็นตัวแปรตาม

5. ผลผลิตไม้สักในแปลงปี 2487, 2495 และ 2497 มีอายุ 60 ปี จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 20.806, 18.330 และ 20.720 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ ตามลำดับ

6. ผลผลิตไม้สักในแปลงปี 2487 สักมีอายุเฉลี่ย 99 ปี (ปี พ.ศ.2584) จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 49.840 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ แปลงปี 2495 สักมีอายุเฉลี่ย 91 ปี จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 34.805 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ และแปลงปี 2497 สักมีอายุเฉลี่ย 89 ปี จะมีปริมาตรไม้สักที่เป็นสินค้าได้เท่ากับ 50.222 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่

7. ตารางผลผลิตที่ได้จากการศึกษาทำให้ทราบผลผลิตของหมู่ไม้ในรูปปริมาตรไม้ต่อหน่วยเนื้อที่ (ลบ.ม.ต่อไร่) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและพยากรณ์ไปในอนาคตอีก 30 ปี ตามแปลงปีที่ปลูก ตารางผลผลิตนี้อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกของสักรายต้น และตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกกับปริมาตรสักรายต้น

### ข้อเสนอแนะ

1. การนำตัวแบบการเติบโตและผลผลิตไม้สักในสวนป่าห้วยทากไปใช้จะต้องคำนึงถึงข้อจำกัด คือ ขนาดต่ำสุดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก เมื่อทำการประเมินปริมาตรไม้รายต้น และระดับความหนาแน่นของต้นไม้ในสวนป่า จะต้องไม่แตกต่างไปจากระดับที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เพราะอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ และการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาในสวนป่าห้วยทาก จังหวัดลำปาง ตัวแบบและตารางผลผลิตที่ได้ สามารถนำไปใช้เฉพาะในพื้นที่ดังกล่าวเท่านั้น แต่สามารถนำแนวทางการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่นๆ ได้

2. การศึกษาการเติบโตและผลผลิตของไม้สัก ควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องในอนาคต เนื่องด้วยสักที่ทำการศึกษามีอายุมาก การศึกษาการเติบโตและผลผลิตดังกล่าวจึงมีค่ายิ่งต่อการจัดการสักที่มีอายุมากกว่า 60 ปี ในด้านเศรษฐกิจ หรือการอนุรักษ์ในอนาคต

3. การอนุรักษ์แปลงปลูกสักที่มีอายุมาก เพื่อใช้เป็นแหล่งศึกษาเรียนรู้วิชาการด้านป่าไม้ล้วนมีความสำคัญในอนาคต เนื่องจากปัจจุบันพื้นที่สวนป่าห้วยทากมีการลักลอบตัดไม้ ไม้สักที่มีลำต้นขนาดใหญ่หรือไม้สักที่มีอายุมากล้วนเป็นที่ต้องการของตลาด จึงทำให้เกิดการลักลอบตัดไม้ขึ้นเป็นประจำ จึงอาจส่งผลกระทบต่อคงอยู่ของไม้สักดังกล่าวในอนาคตได้

4. ควรมีการศึกษาร่องรอยบาดแผลที่เกิดขึ้นกับสักจากการใช้สว่านเจาะไม้ (increment borrer) ในการเก็บตัวอย่างว่าส่งผลต่อสุขภาพและการเติบโตของต้นไม้อย่างไรตลอดจนเสนอแนะวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวที่ถูกต้อง



## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2546. การวิเคราะห์สถิติ สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย. ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- จूरिพร ลิธิชัยชยเศศ. 2550. ตัวแบบการเติบโตและผลผลิตของไม้สักในสวนป่าแม่เกาะ จังหวัดลำปาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชาญ บุญญศิริกุล. 2513. การผลิตป่าไม้เบื้องต้น. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- \_\_\_\_\_. 2525. การผลิตป่าไม้. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- โชคชัย พรหมแพทย์. 2536. สักทองเพื่อการค้า. บริษัททอโทร คอมมิวนิแก, กรุงเทพฯ.
- ทรงศิริ แต่สมบัติ. 2539. เทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณ. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- เทียมใจ คมกฤต. 2546. กายวิภาคของพฤษภ. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พิชิต ลำไย. 2552. ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นาฏสุตา ภูมิจำนง. 2556. วงปีไม้และการประยุกต์ในไทย. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, นครปฐม.
- บัวตัน หวังธรา. 2509. การตรวจสอบการใช้ Increment borer เพื่อหาความเจริญเพิ่มพูนของไม้สัก ทางเส้นผ่านศูนย์กลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

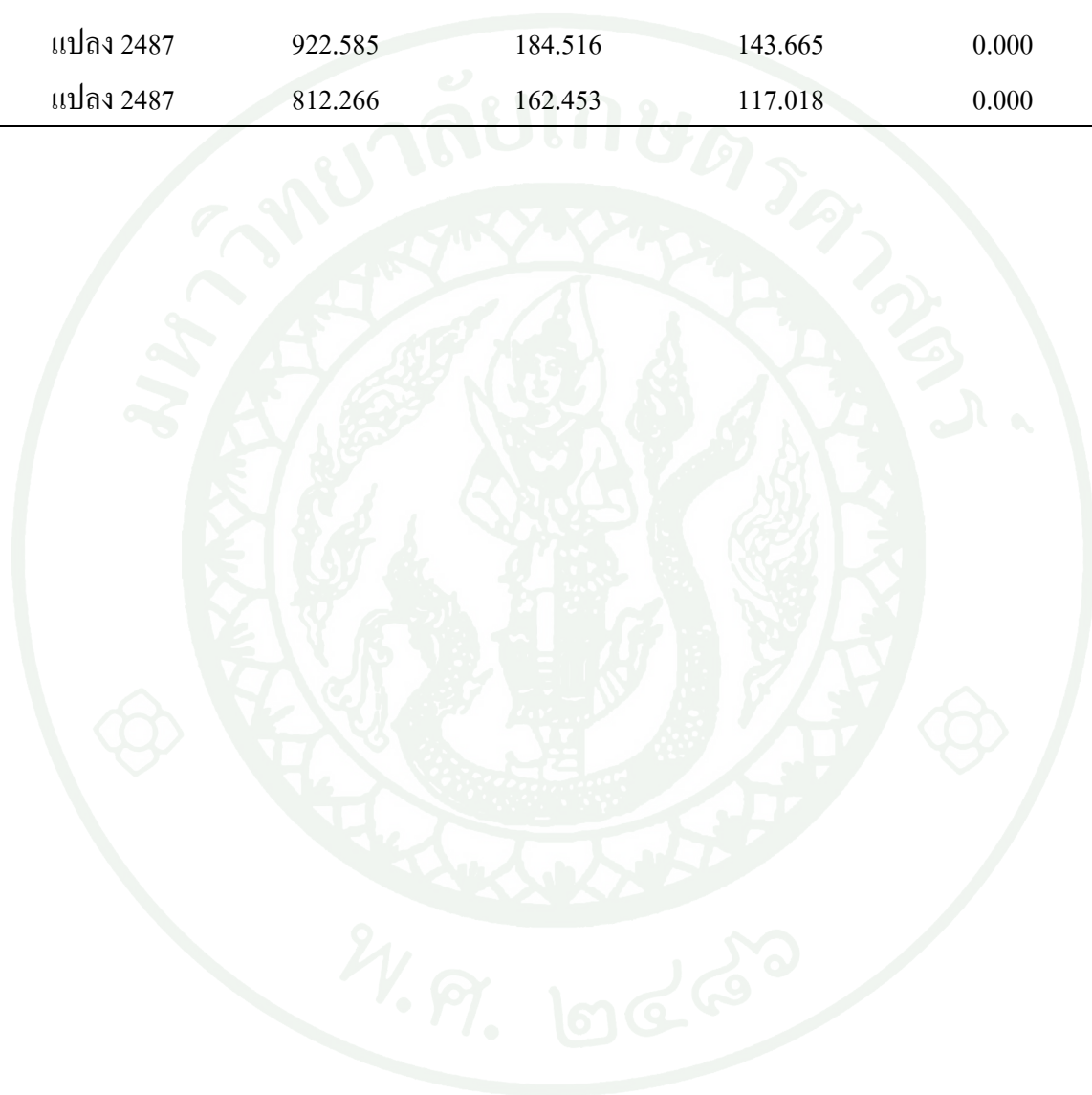
- ปัสสี ประสมสินธุ์. 2534. **คู่มือปฏิบัติการการคณิตป่าไม้**. ภาควิชาการจัดการป่าไม้  
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- \_\_\_\_\_ และขวัญชัย ดวงสถาพร. 2548. **คู่มือการศึกษาและฝึกปฏิบัติงานภาคสนามการคณิตป่าไม้ I**.  
ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- พกา มาศ ก้นทะสอน. 2553. **ผลของการตัดขยายระยะต่อการเติบโตของไม้สักในสวนป่าขององค์การ  
อุตสาหกรรมกรรมป่าไม้ในจังหวัดลำปาง: กรณีศึกษาการวิเคราะห์ห่วงโซ่ไม้**.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ลดาวลัย พวงจิตร. 2550. **วนวัฒนวิทยา: พื้นฐานการปลูกป่า**. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- วิสุทธิ์ สุวรรณภินันท์. 2539. **ระบบวนวัฒน**. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สมเกียรติ. 2520. **ผลผลิตของสวนป่าไม้สัก**. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานป่าไม้เขตลำปาง. 2541. **สวนสักห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง**.
- องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. 2548ข. **รายงานผลการปลูกสร้างสวนป่า ประจำปี 2548**.  
แหล่งที่มา: [www.fio.co.th/s\\_par.html](http://www.fio.co.th/s_par.html), 25 ธันวาคม. 2549.
- อนิวรรณ เกลิมพงษ์. 2535. **การเจริญเติบโตของสวนป่าสักในสวนป่าห้วยทากอายุต่างๆกัน**, น. 180-  
208. ใน รายงานการสัมมนา 50 ปี สวนสักห้วยทาก เกลิมพระเกียรติ 60 พรรษา มหาราชินี.  
5-8 สิงหาคม 2535 กรมป่าไม้, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- อภิชาติ ขาวสอาด, 2534. **ไม้สัก สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน เล่ม 15**.  
บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์จำกัด กรุงเทพฯ.
- Avery. 1994. **Forest Measurements**. McGraw Hill Book Company, New York.

- Cook, E.R. 1985. **A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization.**  
Dissertation, University of Arizona, Tucson. 171 pp
- Fritts , H.C. 1976. **Tree Ring and Climate** . Academic Press , San Francisco.
- Holmes, R.L. 1983. Computer assisted Quality Control in Tree Ring Dating and Measurement.  
**Tree Ring Bull.** 43, 69-78.
- Husch Bertram, Charles I. Miller and Thomas W. Beer. 1982. **Forest mensuration.**  
New York, Wiley
- Simmos, C.E. 1962. **A Manual of Forest Mensuration.** Culcutta, Government of India, India.
- Shiver, B.D. and Borders, B.E. 1996. **Sampling Techniques for Forest Resource Inventory,**  
Wiley, New York.
- Thammincha. 1981. **Climatic variation in radial growth of Scots pine and Norway spruce  
and its importance in growth estimation.** Acta For. Fenn.
- Troup, R.S. 1911. **A manual of Forest Mensuration.** Culcutta, India Superintendent  
Government, India.
- Whitmore, T.C. 1975. **Tropical Rain Forest of the Far East.** Clarendon, Oxford.



ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้ง 6 ชั้นความโต

แปลงปลูกปี ( พ.ศ.)	ค่าทางสถิติ			
	Sum of Squares	Mean Square	F	P-value
แปลง 2487	859.115	171.823	82.644	0.000
แปลง 2487	922.585	184.516	143.665	0.000
แปลง 2487	812.266	162.453	117.018	0.000



ตารางผนวกที่ 2 ค่าทางสถิติที่สำคัญของไส้ไม้ตัวอย่าง สวนป่าห้วยทาก แปลงปลูกปี 2487

แปลง 2487 ลำดับที่	รหัส ตัวอย่าง	ปีเริ่มต้น (พ.ศ.)	จำนวน ปี	Correlation with Master	Standard Deviation	Auto correlation	Mean Sensitivity
1	HTT101E	2508	46	0.429	1.902	0.612	0.421
2	HTT101W	2499	55	0.360	2.207	0.814	0.461
3	HTT102N	2487	67	0.567	1.172	0.326	0.476
4	HTT102S	2487	67	0.526	1.286	0.416	0.579
5	HTT103N	2495	59	0.415	1.277	0.346	0.559
6	HTT103S	2490	64	0.433	1.664	0.525	0.481
7	HTT104E	2486	68	0.447	1.191	0.461	0.521
8	HTT104W	2486	68	0.342	1.424	0.482	0.479
9	HTT105N	2492	62	0.339	1.115	0.587	0.459
10	HTT105S	2489	65	0.444	2.010	0.495	0.521
11	HTT106E	2478	76	0.676	1.623	0.203	0.684
12	HTT106W	2490	64	0.574	1.420	0.436	0.533
13	HTT107E	2498	56	0.661	2.825	0.856	0.351
14	HTT107N	2513	41	0.596	2.106	0.860	0.336
15	HTT108N	2496	58	0.474	2.512	0.669	0.420
16	HTT108S	2499	55	0.456	2.781	0.703	0.544
17	HTT109E	2499	55	0.530	2.380	0.640	0.489
18	HTT109W	2485	69	0.435	1.390	0.379	0.478
19	HTT1010E	2493	61	0.278	1.412	0.682	0.446
20	HTT1010S	2493	61	0.492	2.467	0.624	0.437
21	HTT1011E	2488	66	0.313	2.211	0.723	0.378
22	HTT1011S	2500	54	0.504	2.126	0.582	0.466
23	HTT1012E	2489	65	0.455	1.227	0.390	0.387
24	HTT1012S	2490	64	0.605	1.783	0.720	0.411
25	HTT1013E	2508	46	0.356	1.865	0.587	0.338

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

แปลง 2487 ลำดับที่	รหัส ตัวอย่าง	ปีเริ่มต้น (พ.ศ.)	จำนวน ปี	Correlation with Master	Standard Deviation	Auto correlation	Mean Sensitivity
26	HTT1013S	2490	64	0.594	1.959	0.690	0.403
27	HTT1014E	2486	68	0.381	1.989	0.624	0.486
28	HTT1014W	2495	59	0.425	2.452	0.616	0.512
29	HTT1015E	2502	52	0.363	3.064	0.748	0.455
30	HTT1015W	2496	58	0.565	2.874	0.778	0.391
31	HTT1016E	2488	66	0.517	2.134	0.789	0.402
32	HTT1016W	2491	63	0.286	2.554	0.537	0.529
33	HTT1017E	2488	66	0.511	2.385	0.557	0.471
34	HTT1017S	2503	51	0.472	4.026	0.784	0.463
35	HTT1018E	2497	57	0.461	3.420	0.786	0.409
	ค่าเฉลี่ย			0.463	2.025	0.589	0.467

ตารางผนวกที่ 3 ค่าทางสถิติที่สำคัญของไส้ไม้ตัวอย่าง สวนป่าห้วยทาก แปลงปลูกปี 2495

แปลง 2495 ลำดับที่	รหัส ตัวอย่าง	ปีเริ่มต้น (พ.ศ.)	จำนวน ปี	Correlation with Master	Standard Deviation	Auto correlation	Mean Sensitivity
1	HTT201E	2502	52	0.737	1.562	0.515	0.513
2	HTT201S	2495	59	0.351	0.988	0.322	0.527
3	HTT202S	2502	52	0.386	1.943	0.655	0.541
4	HTT202E	2502	52	0.315	1.786	0.716	0.431
5	HTT202W	2499	55	0.534	1.611	0.694	0.428
6	HTT203S	2499	55	0.567	1.721	0.623	0.527
7	HTT203E	2507	47	0.597	1.891	0.654	0.513
8	HTT204W	2493	61	0.390	1.529	0.519	0.497
9	HTT204W	2505	49	0.249	1.154	0.649	0.387
10	HTT205E	2495	59	0.439	1.408	0.657	0.437
11	HTT206S	2499	55	0.601	1.180	0.364	0.566
12	HTT206E	2499	55	0.654	1.125	0.310	0.540
13	HTT207S	2514	40	0.660	1.946	0.708	0.400
14	HTT207W	2500	54	0.573	1.524	0.491	0.503
15	HTT207E	2506	48	0.547	1.974	0.661	0.490
16	HTT208W	2501	53	0.506	2.275	0.314	0.616
17	HTT208E	2500	54	0.635	1.995	0.590	0.4581
18	HTT209W	2494	60	0.649	1.373	0.457	0.488
19	HTT209S	2500	54	0.711	1.488	0.613	0.500
20	HTT209E	2500	54	0.652	1.651	0.404	0.484
21	HTT2010E	2513	41	0.357	2.564	0.825	0.381
22	HTT2011S	2493	61	0.521	1.899	0.480	0.519
23	HTT2011E	2494	60	0.640	1.517	0.470	0.571
24	HTT2012E	2491	63	0.700	1.677	0.667	0.379
25	HTT2012W	2492	62	0.603	1.673	0.647	0.471
26	HTT2013E	2493	61	0.488	1.693	0.650	0.522

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

แปลง 2495 ลำดับที่	รหัส ตัวอย่าง	ปีเริ่มต้น (พ.ศ.)	จำนวน ปี	Correlation with Master	Standard Deviation	Auto correlation	Mean Sensitivity
27	HTT2013w	2497	57	0.477	2.024	0.527	0.479
28	HTT2014E	2494	60	0.671	1.420	0.514	0.487
29	HTT2014W	2493	61	0.633	1.504	0.432	0.539
30	HTT2015E	2498	56	0.411	1.222	0.652	0.478
31	HTT2015W	2491	63	0.402	1.640	0.705	0.400
32	HTT2016E	2494	60	0.627	1.491	0.593	0.494
33	HTT2016W	2503	51	0.429	2.354	0.789	0.467
34	HTT2017E	2492	62	0.470	1.734	0.496	0.466
35	HTT2017S	2498	56	0.690	1.842	0.395	0.609
36	HTT2018E	2502	52	0.631	2.778	0.524	0.598
37	HTT2018E	2512	42	0.670	1.771	0.439	0.506
38	HTT2019E	2497	57	0.418	2.045	0.221	0.561
39	HTT2019E	2492	62	0.630	1.764	0.230	0.578
	ค่าเฉลี่ย			0.545	1.696	0.538	0.499

ตารางผนวกที่ 4 ค่าทางสถิติที่สำคัญของไส้ไม้ตัวอย่าง สวนป่าห้วยทาก แปลงปลูกปี 2497

แปลง 2497 ลำดับที่	รหัส ตัวอย่าง	ปีเริ่มต้น (พ.ศ.)	จำนวน ปี	Correlation with Master	Standard Deviation	Auto correlation	Mean Sensitivity
1	HTT301W	2509	45	0.481	3.357	0.815	0.407
2	HTT302E	2505	49	0.415	2.209	0.594	0.523
3	HTT302W	2504	50	0.282	3.095	0.655	0.499
4	HTT303E	2511	43	0.386	1.867	0.664	0.504
5	HTT303S	2504	50	0.139	3.131	0.795	0.390
6	HTT304N	2504	50	0.392	3.224	0.806	0.415
7	HTT304N	2499	55	0.647	2.565	0.811	0.369
8	HTT305S	2503	51	0.556	3.137	0.760	0.446
9	HTT305N	2502	52	0.385	3.077	0.787	0.495
10	HTT306S	2500	54	0.650	2.283	0.788	0.478
11	HTT306N	2505	49	0.508	2.318	0.805	0.440
12	HTT307S	2507	47	0.601	2.634	0.867	0.391
13	HTT308N	2504	50	0.669	3.099	0.747	0.382
14	HTT308S	2503	51	0.505	2.224	0.837	0.405
15	HTT309E	2500	54	0.556	3.204	0.871	0.416
16	HTT309W	2497	57	0.539	2.849	0.800	0.389
17	HTT3010N	2501	53	0.563	2.481	0.720	0.453
18	HTT3010S	2505	49	0.670	2.554	0.711	0.455
19	HTT3011E	2502	52	0.479	2.393	0.692	0.484
20	HTT3011W	2497	57	0.529	1.915	0.754	0.399
21	HTT3012E	2501	53	0.543	3.024	0.871	0.416
22	HTT3012W	2498	56	0.640	3.282	0.752	0.605
23	HTT3013N	2502	52	0.635	2.061	0.623	0.362
24	HTT3013S	2499	55	0.564	2.024	0.722	0.328
25	HTT3014N	2503	51	0.663	3.459	0.717	0.445
26	HTT3014S	2502	52	0.519	3.788	0.843	0.414

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

แปลง	รหัส	ปีเริ่มต้น	จำนวน	Correlation	Standard	Auto	Mean
2497	ตัวอย่าง	(พ.ศ.)	ปี	with Master	Deviation	correlation	Sensitivity
ลำดับที่							
27	HTT3015W	2504	50	0.587	2.842	0.738	0.487
28	HTT3015E	2503	51	0.689	4.160	0.764	0.512
29	HTT3016S	2515	39	0.508	1.840	0.559	0.502
30	HTT3016W	2507	47	0.324	2.165	0.768	0.553
31	HTT3017E	2502	52	0.585	2.460	0.736	0.382
32	HTT3017S	2509	45	0.544	3.295	0.798	0.380
33	HTT3018W	2514	40	0.492	1.829	0.835	0.369
34	HTT3018E	2499	55	0.524	2.208	0.653	0.413
35	HTT3019W	2512	42	0.420	1.553	0.661	0.451
36	HTT3019E	2505	49	0.425	2.222	0.567	0.480
37	HTT3020S	2499	55	0.620	3.122	0.782	0.455
38	HTT3020W	2512	42	0.504	2.319	0.609	0.431
	ค่าเฉลี่ย			0.463	2.025	0.589	0.467

ตารางผนวกที่ 5 ชุดข้อมูลเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอกที่ได้จากการวิเคราะห์ห้วงปีไม้

อายุเฉลี่ย (ปี)	แปลง 2487	แปลง 2495	แปลง 2497
1	11.264	11.004	10.187
2	11.652	10.938	10.975
3	12.816	11.470	11.146
4	12.906	11.809	11.784
5	13.256	12.248	13.137
6	14.085	11.704	13.114
7	14.769	11.683	14.453
8	15.618	12.263	15.366
9	16.382	12.636	16.880
10	17.201	13.380	18.119
11	17.188	14.002	18.934
12	17.830	14.481	19.739
13	18.014	14.940	19.998
14	18.536	15.170	21.302
15	18.979	15.446	23.345
16	19.850	15.853	25.001
17	20.595	16.397	26.378
18	21.693	17.207	27.528
19	22.417	17.886	28.651
20	23.069	18.120	29.648
21	24.077	18.659	30.429
22	24.633	19.244	31.125
23	25.470	19.815	31.922
24	25.969	20.430	32.466
25	26.774	20.850	33.211
26	27.552	21.440	33.625
27	28.499	22.055	34.517

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

อายุเฉลี่ย (ปี)	แปลง 2487	แปลง 2495	แปลง 2497
28	29.656	22.762	34.980
29	30.576	23.078	35.634
30	31.475	23.833	36.323
31	32.285	24.524	36.692
32	33.239	25.182	37.271
33	33.845	26.041	37.605
34	34.372	26.608	37.971
35	35.031	27.537	38.416
36	35.548	28.038	38.730
37	35.839	28.678	39.037
38	36.344	29.212	39.245
39	36.668	29.604	39.491
40	37.131	30.006	39.782
41	37.631	30.179	40.037
42	37.945	30.480	40.243
43	38.520	30.852	40.375
44	38.780	31.154	40.539
45	39.063	31.505	40.701
46	39.393	31.688	40.954
47	39.632	31.951	41.196
48	39.863	32.178	41.412
49	40.040	32.727	41.618
50	40.241	33.216	41.795
51	40.492	33.679	41.940
52	40.709	34.004	42.131
53	40.863	34.239	42.388
54	40.991	34.466	42.571

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

อายุเฉลี่ย (ปี)	แปลง 2487	แปลง 2495	แปลง 2497
55	41.116	34.772	42.765
56	41.240	35.191	42.934
57	42.007	35.452	43.190
58	42.173	35.725	
59	42.343	35.928	
60	42.501	36.311	
61	42.695		
62	43.009		
63	43.350		
64	43.727		
65	44.002		
66	44.273		
67	44.506		

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ตัวแบบสำหรับพยากรณ์การเติบโตของสักรายต้น

แปลงปลูกปี พ.ศ.	รูปแบบ	r <sup>2</sup>	SE	F	Sig.
2487	Linear	0.940	2.961	1031.563	0.000
	Logarithmic	0.876	4.246	467.649	0.000
	Power	0.974	0.116	2517.008	0.000
	S-curve	0.590	0.504	94.846	0.000
	Exponential	0.789	0.362	246.060	0.000
2495	Linear	0.980	1.281	2881.666	0.000
	Logarithmic	0.890	3.019	471.231	0.000
	Power	0.955	0.060	4054.109	0.000
	S-curve	0.680	0.286	123.462	0.000
	Exponential	0.835	0.205	293.127	0.000
2497	Linear	0.911	3.259	571.744	0.000
	Logarithmic	0.906	3.349	538.567	0.000
	Power	0.984	0.143	1191.124	0.000
	S-curve	0.584	0.449	78.561	0.000
	Exponential	0.760	0.342	176.975	0.000

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ปี) กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก จากสมการที่เหมาะสมของแปลงปลูกปี 2487, 2495 และ 2497 ของสวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

Model_DBH	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10773.326	67	160.796	3.655	.000
Within Groups	5190.634	118	43.988		
Total	15963.960	185			

ตารางผนวกที่ 8 ปริมาตรไม้สักรายต้นในสวนป่าห้วยทากจำแนกตามรายแปลงปีปลูก

แปลง 2487 ต้นที่	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)	ความสูงทั้งหมด (เมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
1	32.40	24.00	1.062795
2	33.40	24.00	1.118667
3	34.00	24.00	1.2475
4	35.50	25.00	1.332389
5	37.40	25.00	1.450409
6	38.40	25.50	1.574382
7	40.40	25.50	1.876768
8	42.40	26.00	1.991465
9	42.70	26.00	2.432042
10	45.40	26.50	2.557452
11	46.30	27.00	2.664127
12	46.50	28.00	2.780678
13	47.30	28.00	2.832704
14	48.30	29.00	3.118795
15	50.32	29.50	3.344292
16	51.23	30.00	3.447886
17	54.20	31.00	3.779775
18	55.80	31.00	3.991534

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

แปลง 2495 ต้นที่	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)	ความสูงทั้งหมด (เมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
1	33.22	19.50	0.971213
2	33.40	20.00	1.015304
3	33.84	20.00	1.074313
4	37.21	20.00	1.173705
5	37.50	20.00	1.377467
6	38.24	20.00	1.419581
7	40.20	20.00	1.542556
8	40.40	20.00	1.644929
9	43.44	21.00	1.815503
10	45.74	21.00	1.932247
11	47.23	26.00	2.110669
12	47.32	26.50	2.16852
13	49.22	26.50	2.382726
14	50.35	27.00	2.477617
15	52.74	27.00	2.538943
16	53.70	27.00	2.598944
17	53.84	27.00	2.676114
18	53.88	27.00	2.75335

ตารางผนวกที่ 8 (ต่อ)

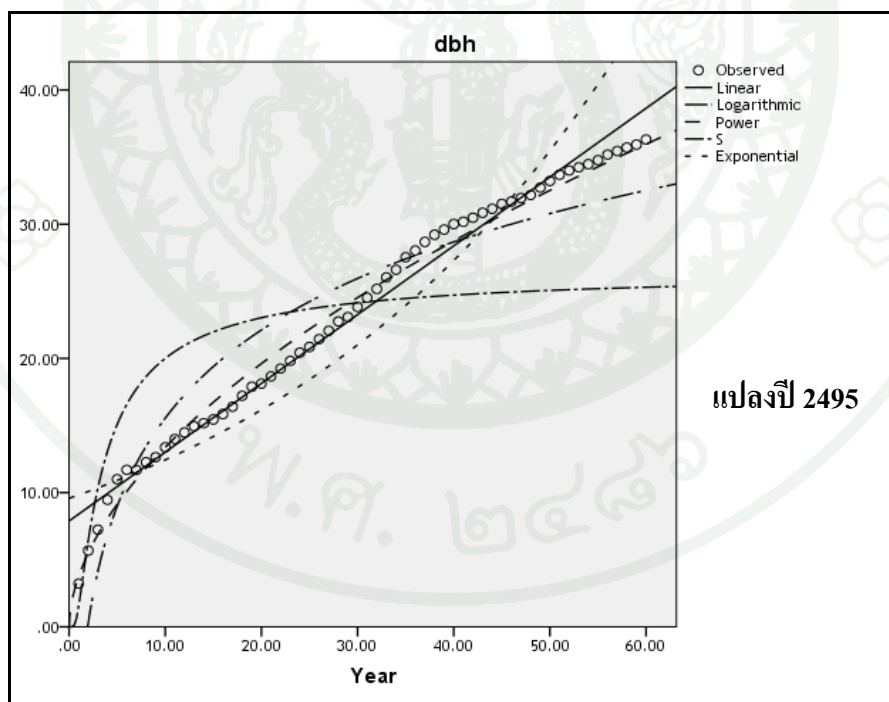
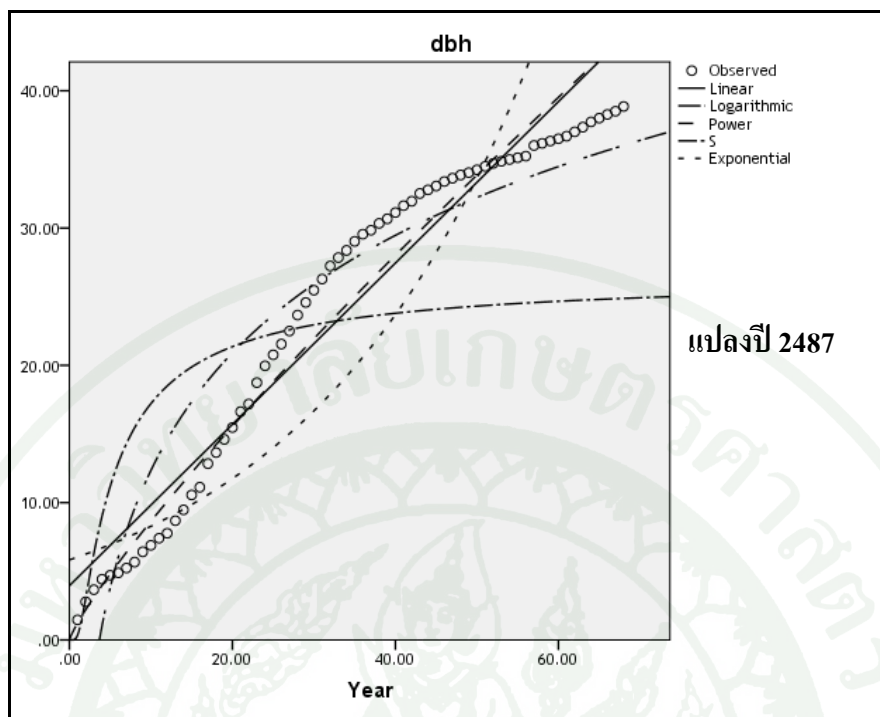
แปลง 2497 ต้นที่	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร)	ความสูงทั้งหมด (เมตร)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
1	23.70	15.00	0.513096
2	25.80	15.00	0.562506
3	26.20	15.00	0.576709
4	29.43	15.00	0.689865
5	31.23	20.00	0.792103
6	32.56	20.50	0.86475
7	33.11	20.50	0.89496
8	33.85	21.00	0.985499
9	35.40	21.00	1.07596
10	36.21	21.00	1.135184
11	37.50	28.00	1.420113
12	38.70	28.00	1.523102
13	40.45	27.00	1.697994
14	40.57	28.00	1.774538
15	44.23	28.00	1.944317
16	45.34	28.00	2.084405
17	46.17	29.00	2.155664
18	46.89	29.00	2.21647

**ตารางผนวกที่ 9** ผลการวิเคราะห์ตัวแบบสำหรับพยากรณ์ปริมาณไม้สักที่ทำเป็นสินค้าได้

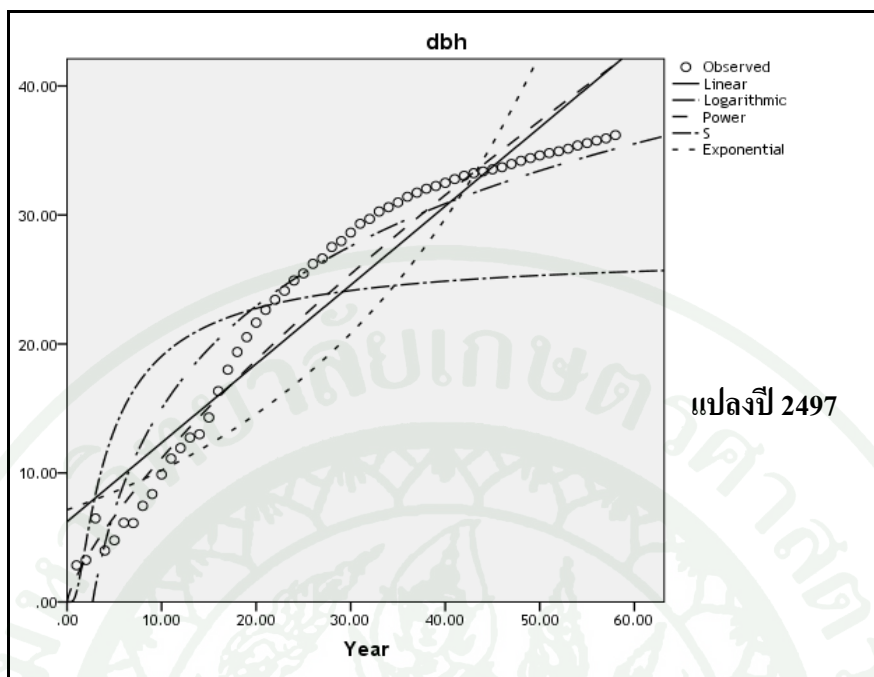
แปลงปลูกปี พ.ศ.	รูปแบบ	r <sup>2</sup>	SE	F	Sig.
2487	Linear	0.967	0.141	472.845	0.000
	Logarithmic	0.936	0.197	233.801	0.000
	Power	0.984	0.087	571.972	0.000
	S-curve	0.967	0.099	472.174	0.000
	Exponential	0.958	0.112	364.464	0.000
2495	Linear	0.974	0.097	609.783	0.000
	Logarithmic	0.950	0.136	304.317	0.000
	Power	0.983	0.056	803.163	0.000
	S-curve	0.966	0.074	452.968	0.000
	Exponential	0.980	0.057	765.343	0.000
2497	Linear	0.975	0.073	621.111	0.000
	Logarithmic	0.959	0.093	373.669	0.000
	Power	0.971	0.079	644.731	0.000
	S-curve	0.979	0.075	730.254	0.000
	Exponential	0.959	0.103	376.312	0.000

**ตารางผนวกที่ 10** การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างตัวแบบแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงนอกเปลือก (ซม.) และปริมาณไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ (ลบ.ม.) แปลงปลูกสักปี 2487, 2495 และ 2497 สวนป่าห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง

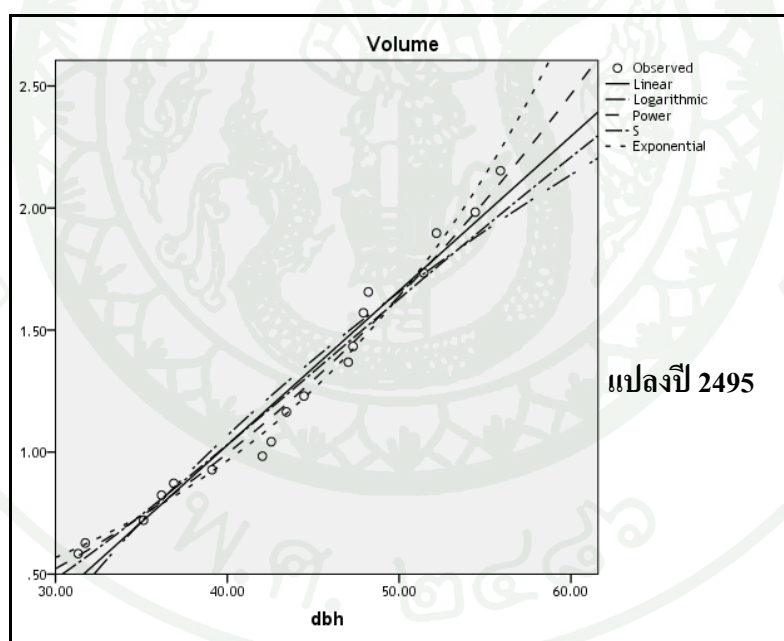
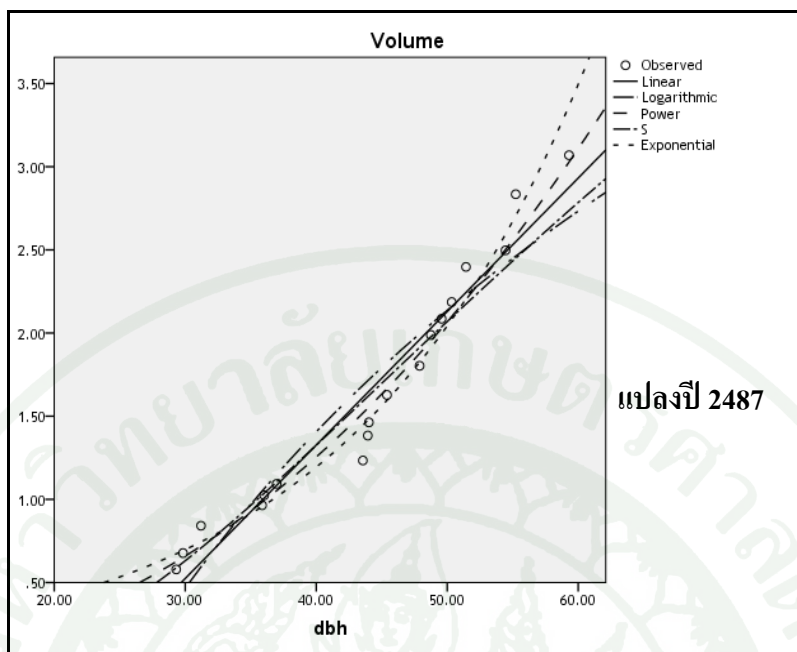
Model_Volume	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7572.729	67	113.026	16.217	.000
Within Groups	822.398	118	6.969		
Total	8395.127	185			



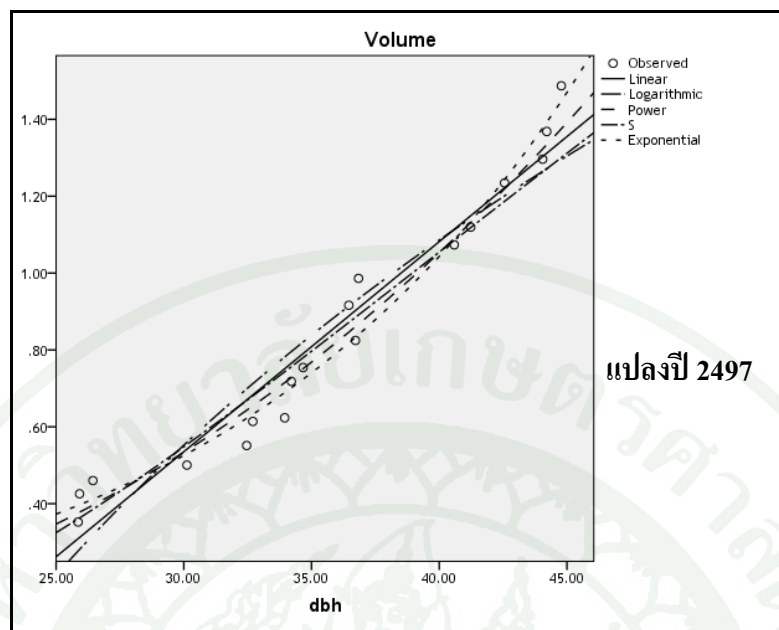
ภาพผนวกที่ 1 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (dbh) และอายุของต้นไม้ (y) ในรูปแบบสมการต่างๆ



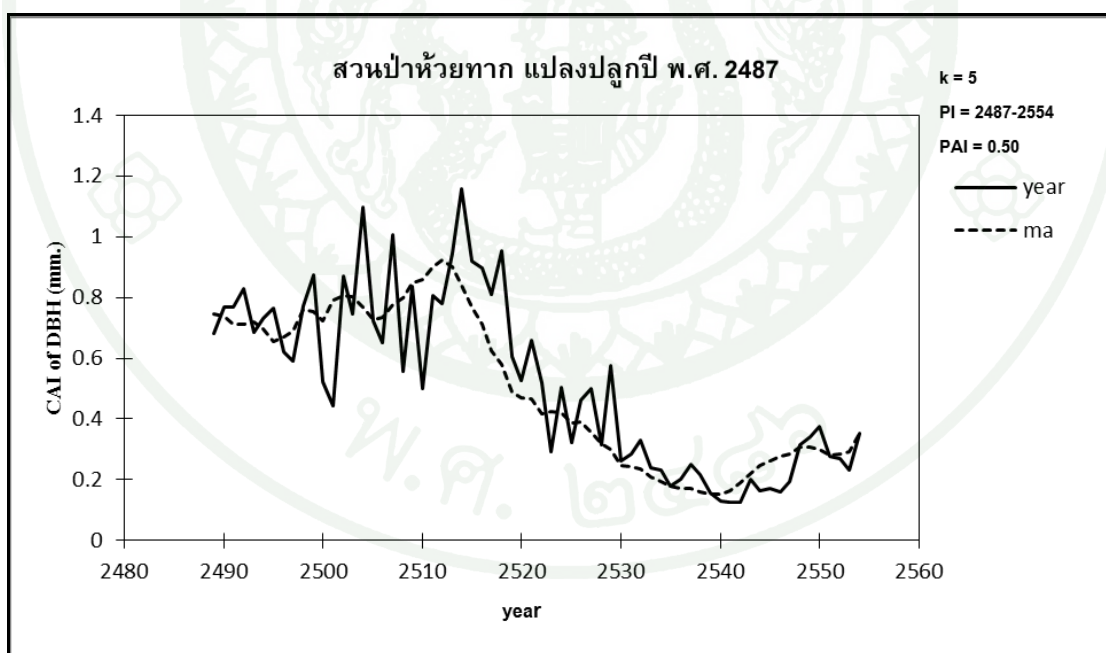
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



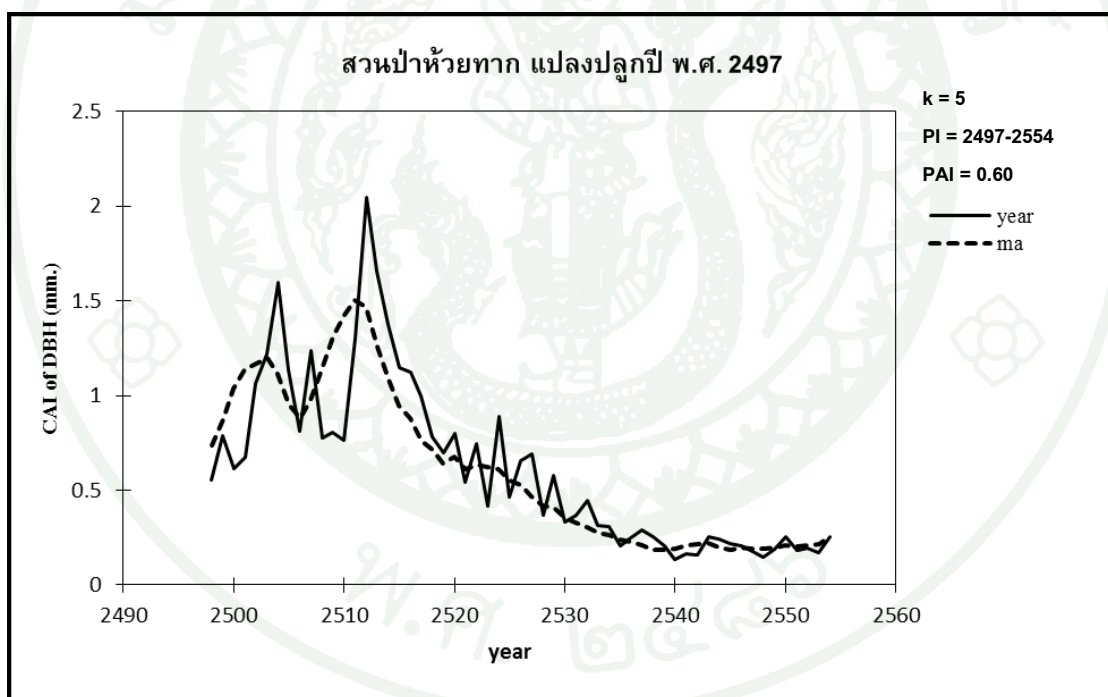
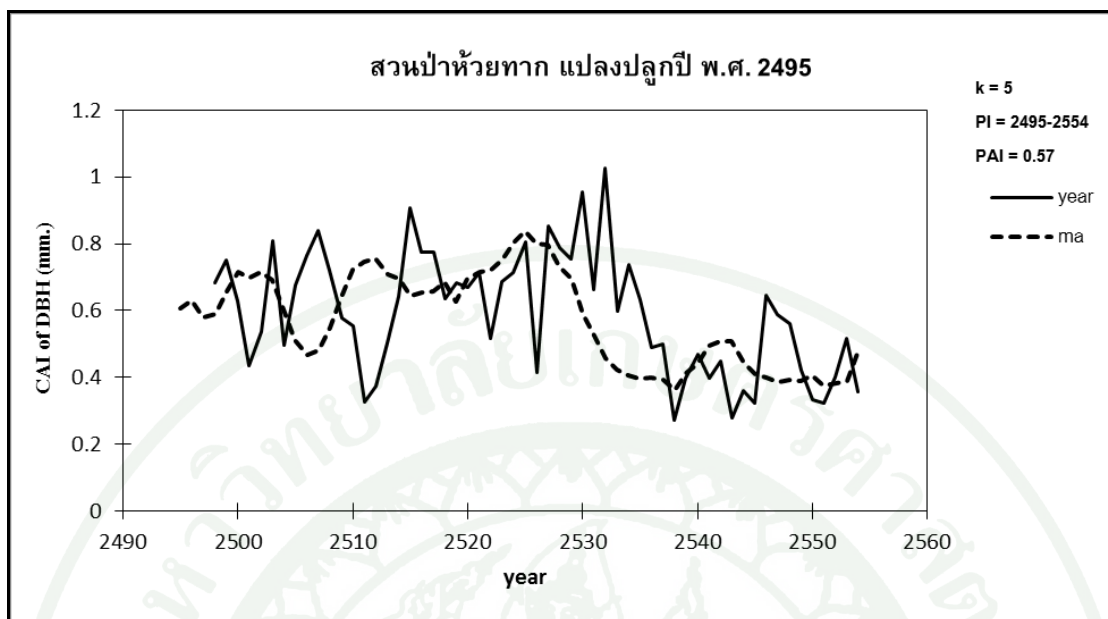
ภาพผนวกที่ 2 กราฟแสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรไม้ที่ทำเป็นสินค้าได้ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (dbh) ในรูปแบบสมการต่างๆ



ภาพผนวกที่ 2 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์อนุกรมเวลาแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในแต่ละแปลงปี พ.ศ. ที่ปลูก



ภาพผนวกที่ 3 (ต่อ)

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	อาทิตย์  ชาวไร่อ้อย
เกิดวันที่	20 ตุลาคม 2528
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่วิชาการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-