ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)

ปริญญา

การจัดการทรัพยากรป่าไม้	การจัดการป่าไม้
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี

Climatic Effects on Growth of *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese in Phutoei National Park, Suphan Buri Province

นามผู้วิจัย นายพิชิต ลำใย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญชัย ดวงสถาพร, วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(อาจารย์สาพิศ ดิลกสัมพันธ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(รองศาสตราจารย์สันติ สุขสอาด, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี

Climatic Effects on Growth of *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese in Phutoei National Park, Suphan Buri Province

โดย

นายพิชิต ลำใย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)
พ.ศ. 2552

พิชิต ลำใย 2552: ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้) สาขาการจัดการทรัพยากรป่าไม้ ภาควิชาการจัดการป่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ขวัญชัย ดวงสถาพร, วท.ด. 95 หน้า

การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี โดยปัจจัยภูมิอากาศได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและรายปี ปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนและรายปี และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนและรายปี ดำเนินการศึกษาโดยสุ่มเก็บตัวอย่างโดยการใช้สว่าน-เจาะวัดความเพิ่มพูน (Increment Borrer) เจาะเอาไส้ไม้ตัวอย่าง (Sample Core) จำนวน 48 ไส้ไม้ จากไม้สนสองใบจำนวน 24 ต้น แล้วดำเนินการศึกษาโดยใช้เทคนิคทางรุกขกาลวิทยา (Dendrochronology)

ผลการศึกษาพบว่าตัวแบบที่เหมาะสมในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างวงปีไม้และปี พ.ศ. ที่ได้จากไส้ไม้ตัวอย่างมีรูปแบบสมการโค้งรูปตัว S (S-Curve Equation) ร้อยละ 78 , สมการเอ็กซ์โปเนเชียล (Exponential Equation) ร้อยละ 20 และรูปแบบสมการเส้นตรง (Linear Equation) ร้อยละ 2 และดัชนีวงปีไม้สนสองใบที่สร้างขึ้นครอบคลุมช่วงเวลา 230 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2322 ถึงปี พ.ศ. 2551 เมื่อนำเส้นดัชนีวงปีไม้มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลภูมิอากาศในท้องที่ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2496 ถึงปี พ.ศ. 2550 พบว่า เส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี และอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี และอุณหภูมิเดือนตุลาคมในแต่ละปี ส่วนปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนและรายปี และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนและรายปี ไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติกับการเติบโตของไม้สนสองใบ

จากผลการศึกษาดังกล่าว ทำให้สามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอดีต โดยพิจารณาจากเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ พบว่า ปี พ.ศ. 2322 จนถึงปี พ.ศ. 2400 มีแนวโน้มสูงขึ้นจากค่าเฉลี่ย โดยดัชนีวงปีไม้มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 ส่วนปี พ.ศ. 2401 จนถึงปี พ.ศ. 2535 มีแนวโน้มเริ่มคงที่ โดยมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 จนถึงปีปัจจุบัน ดัชนีวงปีไม้สนสองใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยในช่วงนี้มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ถึง 0.625 ซึ่งจากผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีความผันแปรและมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์โลกร้อนในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังพบเหตุการณ์ผิดปกติในบางปี โดยดัชนีวงปีไม้เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคล้ายเป็นอิทธิพลของวัฏจักรในทุกๆ 44 ถึง 52 ปี

________________ ________________ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Pichit Lumyai 2009: Climatic Effects on Growth of *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese in Phutoei National Park, Suphan Buri Province. Master of Science (Forest Resource Management), Major Field: Forest Resource Management, Department of Forest Management. Thesis Advisor: Assistant Professor Khwanchai Duangsathaporn, Ph.D. 95 pages.

The study was designed to investigate the relationship between tree-growth and climatic data in *Pinus merkusii* by using dendrochronological techniques. Furthermore, this study also examined the challenges for climatic reconstruction. The climatic factors included average monthly and yearly temperature, total monthly and yearly rainfall and average monthly and yearly relative humidity data.A samples of 48 cores from 24 trees were collected from Phutoei National Park in Suphan Buri Province.

The growth models of each sample cores indicating the relationship between tree ring width and years included S-Curve equation 78% , Exponential equation 20% and Linear equation 2% .The 230 years tree-ring chronology was built from 1779-2008 ,was correlated with 55 years climatic data that collected in the Suphan Buri Meteorological Station in 1953-2007. The chronology indicated a high correlation ($P<0.01$) with the present and previous year average temperature and correlation with the current year temperature in October.

In addition, based on the correlation with the temperature, the steady chronology throughout the period of 1858-1992 could be referred to the stable temperature, while the above average growth index for 0.14 and 0.625 in the prior period (1779-1826) and the later period (1993 to present time) were explained to the higher temperature than the average growth index. Finally Tree-ring Index reveal power from increasing temperature at the multi-decadal scale at 44-52 years.

____________________ ____________________ ____ / ____ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

กราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ขวัญชัย ดวงสถาพร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร.สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ กรรมการร่วม ที่ให้คำปรึกษาเสนอแนะ ทั้งด้านการเรียน การค้นคว้าวิจัยเป็นอย่างดี รวมทั้งให้คำปรึกษาในทุกๆด้าน และกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปัสสี ประสมสินธ์ ประธานการสอบ รศ.ดร.สุระ พัฒนเกียรติ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก อาจารย์ภาควิชาการจัดการป่าไม้ทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณครรชิต ศรีนพวรรณ หัวหน้าอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี และเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่คอยอำนวยความสะดวกต่างๆในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอขอบคุณ คุณกฤษฎาพันธ์ ผลากิจ นักวิจัยห้องปฏิบัติการรุกขกาลวิทยาเขตร้อน (The Laboratory of Tropical Dendrochronology) ที่ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยในด้านเทคนิคต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ ตลอดจนให้คำแนะนำในงานภาคสนาม ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ อุ่นบ้าน ชุมนุมเชียร์และแปรอักษร เพื่อนๆ โรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย รุ่น 121 วนศาสตร์รุ่นที่ 69 และ 72 และนิสิตปริญญาโทสาขาการจัดการทรัพยากรป่าไม้ทุกท่าน ที่ได้ช่วยเก็บข้อมูลภาคสนาม ช่วยเหลือ อีกทั้งยังเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าเสมอมา

ขอขอบพระคุณผู้ที่สนับสนุนการศึกษาตลอดระดับปริญญาโทนี้ได้แก่ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และห้องปฏิบัติการรุกขกาลวิทยาเขตร้อน (The Laboratory of Tropical Dendrochronology) ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุดท้ายกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย ครอบครัวลำใย ครอบครัวสำราญทรัพย์ ผู้เป็นความรักและกำลังใจที่ยิ่งใหญ่แก่ข้าพเจ้าและให้การสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมา

พิชิต ลำใย

มีนาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	26
สรุปและข้อเสนอแนะ	46
สรุป	46
ข้อเสนอแนะ	48
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	50
ภาคผนวก	54
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่		หน้า
1	ค่าทางสถิติที่สำคัญของแต่ละไส้ไม้ตัวอย่างสนสองใบ	29
2	ตัวแบบที่เหมาะสมในแต่ละไส้ไม้ตัวอย่างสนสองใบ	33
3	ค่าทางสถิติของเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ	35
4	ความสัมพันธ์ของเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นกับเส้นดัชนีวงปีไม้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN	39
5	ค่าสถิติของเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นและค่าสถิติของเส้นดัชนีวงปีไม้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN	40

ตารางผนวกที่

ตารางผนวกที่		หน้า
1	ผลการวิเคราะห์ความกว้างวงปีไม้ด้วยโปรแกรม COFECHA	55
2	ผลการวิเคราะห์ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์การเติบโตไม้สนสองใบรายต้น	59
3	ดัชนีวงปีไม้สนสองใบ (Index) อุทยานแห่งชาติพุเตย อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี	64
4	ค่า EPS ของดัชนีวงปีไม้สนสองใบ	66
5	ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) รวบรวมจากสถานีตรวจวัดอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี	67
6	ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซนต์) รวบรวมจากสถานีตรวจวัดอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี	71
7	ข้อมูลอุณหภูมิ (เซลเซียส) รวบรวมจากสถานีตรวจวัดอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี	75

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่อุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี (ขอบเขตพื้นที่สีเขียว)	25
2	ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีไม้สนสองใบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2322 ถึงปี พ.ศ. 2551	31
3	ค่าดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เท่ากับ 15 ปี	37
4	ค่า EPS ของดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับค่า EPS มาตรฐาน	38
5	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับอุณหภูมิในเดือนตุลาคมและอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในปีปัจจุบัน	41
6	ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี	42
7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน	44

ภาพผนวกที่		
1	ความสัมพันธ์ระหว่าความกว้างวงปีและปี (พ.ศ.) ในรูปแบบต่างๆ	79

ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี

Climatic Effects on Growth of *Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese in Phutoei National Park, Suphan Buri Province

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) ยังคงเป็นปัญหาที่น่าวิตกอย่างมาก มีผลจากการประกอบกิจกรรมในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ทำให้ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้นรุนแรงกว่าที่ควรจะเป็น ทำให้เกิดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศของโลก และเกิดภัยธรรมชาติที่มีความรุนแรงมากขึ้น เช่น การเกิดพายุ น้ำท่วม ความแห้งแล้ง เป็นต้น ดังนั้นสภาพภูมิอากาศจึงมีความสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ที่จะ ต้องปรับตัวให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้น ซึ่งลักษณะภูมิอากาศของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมถึงประเทศไทยกำลังได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากเป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากลมมรสุม และในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามักได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง

ผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดผลกระทบหลายประการต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์และทรัพยากรธรรมชาติอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทรัพยากรป่าไม้ ซึ่งเป็นทรัพยากรสำคัญที่อำนวยประโยชน์ต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม อีกทั้งยังเป็นแหล่งกักเก็บก๊าซคาร์บอนที่เป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดภาวะโลกร้อนอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาถึงผลของภูมิอากาศต่อทรัพยากรป่าไม้จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยในเบื้องต้นควรศึกษาผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของต้นไม้ ซึ่งการเติบโตเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพป่าไม้ และเนื่องจากการเติบโตรายปีของต้นไม้ในป่าธรรมชาติขึ้นกับปัจจัยทางพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญคือดินและภูมิอากาศ นอกจากนี้การเลือกชนิดไม้ที่เหมาะสมในการศึกษานับว่าสำคัญเช่นกัน โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาไม้สนสองใบ เนื่องจากไม้สนสองใบในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการเติบโตที่ตอบสนองต่อปัจจัยภูมิอากาศอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งมีวงปีที่ชัดเจนและส่วนใหญ่มีอายุมาก จึงมีความเหมาะสมในการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตและยังทำให้ทราบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่ย้อนอดีตได้อย่างยาวนาน

การศึกษาผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ สามารถดำเนินการได้โดยใช้วิชาการทางด้านรุกขกาลวิทยา (Dendrochronology) ซึ่งเป็นวิชาการที่วิเคราะห์ลักษณะของวงปีไม้เพื่อศึกษาผลกระทบและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสภาพสิ่งแวดล้อมในอดีตและรุกขกาลวิทยายังเป็นวิชาการที่สามารถยืนยันปีที่วงปีแต่ละวงเกิดขึ้น ซึ่งเมื่อนำข้อมูลภูมิอากาศทั้งรายปีและรายเดือนมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับความกว้างของวงปีหรือการเติบโตจึงทำให้ทราบผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบได้เป็นอย่างดี

การศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในเขตภาคกลางซึ่งเป็นบริเวณที่มีประชากรอาศัยอยู่จำนวนมาก และเป็นแหล่งอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมที่นับว่าเป็นเขตเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ซึ่งมักได้รับผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอย่างมาก ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจากรายงานการวิจัยพบว่าแหล่งไม้สนสองใบที่สำคัญในภาคกลางของประเทศไทยคือ บริเวณอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเติบโตและศึกษาผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์รูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี

2. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในพื้นที่อุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี

การตรวจเอกสาร

1. ลักษณะทั่วไปและการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติของไม้สนสองใบ

1.1 การกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ

ไม้จำพวกสน (Conifer) แยกได้เป็น 8 วงศ์ วงศ์ที่สำคัญที่สุดคือ Pinaceae แบ่งย่อยเป็น 9 สกุล โดยสกุลไม้สนเขา (Pinus) มี 105 ชนิดกระจายตั้งแต่เขตหนาวลงมาจนถึงเขตร้อนชื้น สำหรับในภูมิภาคเอเชียตะวันออกพบการกระจายอยู่เป็นบริเวณกว้างระหว่างเส้นรุ้ง 12° N-30° N พบขึ้นในประเทศไทย พม่า อินเดีย ธิเบต จีน ลาว เวียดนาม อินโดนีเซียและฟิลิปปินส์ (คณิต, 2542)

สำหรับในประเทศไทย ซึ่งมีไม้สนเขาพันธุ์พื้นเมืองหรือมีถิ่นกำเนิดตามธรรมชาติในประเทศไทยมีไม้จำพวกสนเพียง 2 ชนิด คือ ไม้สนสองใบ (*Pinus merkusii* Jungh. & de Vriese) และสนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) ซึ่งเป็นไม้ท้องถิ่น (เทียม, 2508) สามารถขึ้นได้ในที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 70 - 1400 เมตร พบในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางจังหวัดในภาคกลาง ไม้สนเขาที่พบส่วนใหญ่เป็นไม้สนสองใบ โดยเฉพาะที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 700 – 1,000 เมตร พบในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ นอกจากนี้ยังพบปรากฏตามป่าธรรมชาติดอยขุนตาล จังหวัดลำปาง และพบประปรายในท้องที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดแพร่ น่าน ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบไม้สนเขาปรากฏบนภูกระดึง ภูหลวง จังหวัดเลย อุทยาน-แห่งชาติทุ่งแสลงหลวง จังหวัดพิษณุโลก อำเภอหล่มเก่าและอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 750 – 1,400 เมตร และปรากฏไม้สนสองใบบนที่ราบที่ความสูงจากระดับทะเล 120 – 150 เมตร ในจังหวัดอุดรธานี สุรินทร์ ศรีสะเกษ และจังหวัดอุบลราชธานี นอกจากนี้ ไม้สนสองใบในภาคกลางพบเพียงเล็กน้อยในจังหวัดกาญจนบุรี เพชรบุรี สุพรรณบุรี ที่ความสูงจากระดับน้ำทะเลระหว่าง 70 – 1,000 เมตร (Thawatchai, 1997) รวมเนื้อที่ป่าสนประมาณ 2,162 ตารางกิโลเมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 2.30 ของพื้นที่ป่าทั้งหมด (กรมป่าไม้, 2529)

ไม้สนสองใบขึ้นอยู่ในระดับความสูง (Altitude) ที่ต่ำกว่าไม้สนสามใบ ไม้สนทั้งสองชนิดนี้มักขึ้นคละปะปนกันไป ปกติแล้วในที่สุดไม้สนจะขึ้นอยู่เป็นกลุ่ม อาจมีไม้จำพวกก่อ (*Quercus* spp., *Castanopsis* spp.) ขึ้นปะปนอยู่บ้าง แต่ในที่ระดับต่ำ ไม้สนมักขึ้นปนกับพรรณไม้ในป่าเต็งรัง เช่น ไม้เหียง ไม้พลวง เป็นต้น (เทียม, 2514) ซึ่งพบตามสันเขาหรือบริเวณที่เป็นภูเขา

โดยทั่วไปแล้วไม้สนสองใบขึ้นปะปนอยู่ในป่าเต็งรังมากกว่าสนสามใบ ในที่ค่อนข้างชุ่มชื้น (Mesic Form) ไม้สนจะมีขนาดสูงใหญ่ มีเรือนยอดโผล่พ้นระดับเรือนยอดทั่วไปของป่าอย่างเห็นได้ชัด แต่ในที่แห้งแล้ง เช่น ที่เกิดบนที่ราบแบบขั้นบันไดเก่า (Old River Terrace) เช่น แถวจังหวัดตากและเพชรบุรีหรือบนลาดเขาที่แห้งแล้งทางภาคเหนือ ไม้สนและไม้ชนิดอื่นของป่าเต็งรัง จะมีขนาดเล็กและมีระดับเรือนยอดใกล้เคียงกัน ซึ่งจัดเป็นฟอร์มแห้งแล้ง (Xeric Form) ของป่าประเภทนี้ (สมศักดิ์, 2525) สำหรับป่าสนในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนใหญ่จะขึ้นรวมอยู่ตามลำพังหรือขึ้นกระจายอยู่บริเวณยอดเขาหรือเนินเขาสูง ลักษณะโครงสร้างของป่าซับซ้อน และมักขึ้นกระจายปะปนกับพรรณไม้ในป่าดิบเขาหรือป่าเต็งรัง ซึ่งมีลักษณะของกลุ่มสังคมพืชป่าสนในจังหวัดเชียงใหม่ที่ปรากฏในภาพถ่ายทางอากาศ คือ มีพรรณไม้ขึ้นกระจายห่างกัน ทำให้เรือนยอดไม่แน่นชิดติดกัน มีช่องว่างระหว่างเรือนยอด ลักษณะไม้พื้นล่างโปร่งจนสามารถเห็นพื้นดิน ลักษณะจึงคล้ายกับป่าเต็งรัง แต่ไม้สนมีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากพรรณไม้ชนิดอื่นๆ คือ ลักษณะเรือนยอดแตกเป็นแฉกไม่เป็นระเบียบ (มนัสนันท์, 2527)

1.2 ลักษณะทั่วไปของไม้สนสองใบ

สนสองใบ เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ สูงประมาณ 10-30 เมตร ความโตวัดรอบลำต้นที่ระดับ 1.30 เมตร ประมาณ 80-200 เซนติเมตร ไม่ผลัดใบ ลำต้นเปลาตรง เรือนยอดที่สมบูรณ์จะเป็นพุ่มกลมหรือโปร่งแผ่แบนกว้างๆ มีขนาดค่อนข้างใหญ่ หนา บางทีเห็นเรือนยอดแผ่เรียงเป็นชั้นๆ เปลือกสีค่อนข้างดำ หรือน้ำตาลปนดำ หนามากอาจมีความหนาถึง 6-8 เซนติเมตร แตกออกเป็นร่องลึกและเป็นสะเก็ดหนาๆ ตามความยาวของลำต้น แข็งมากมักมียางสีเหลืองอ่อนใสๆ ซึมออกตามรอยแยก กระพี้สีเหลืองอ่อนหรือเหลืองแกมขาว มียางซึมทั่วไปแยกจากแก่นเห็นได้ชัดเจน

ใบ แข็ง ยาวเรียวเป็นรูปเข็ม ออกเป็นกระจุกๆ ละ 2 ใบ ยาว 15-25 เซนติเมตร สีเขียวเข้ม ใบแตกกระจุกอยู่รวมชิดติดกันตามปลายกิ่ง ทำให้ดูเป็นช่อแน่นคล้ายหางม้า รูปทรงด้านขวางของใบเป็นแบบ Sector มีรูปลักษณะคล้ายครึ่งวงกลม หลังใบเป็นร่องแบบรางน้ำ ท้องใบโค้งมนเป็นรูปเกือกม้า ขอบหยักละเอียด ปลายแหลม โคนอัดแน่นอยู่ในกระเปาะ

ดอก ส่วนใหญ่จะออกตามปลายกิ่ง ตอนบนของลำต้น ดอกตัวผู้จะออกเป็นช่อสีเหลือง แบบหางกระรอกติดกันเป็นกลุ่มบริเวณปลายกิ่ง ช่อยาว 2-4 เซนติเมตร ดอกเพศเมียออกชิดติดกิ่งถัดเข้ามา มักออกเป็นดอกเดี่ยวๆ หรือเป็นคู่ มีลักษณะคล้ายรูปหลอดไฟหรือคล้ายรูปไมโครโฟนแท่งยาวติดอยู่ปลายกิ่ง ส่วนที่เป็นตัวดอกมีรูปร่างโค้งนูนและมีเกล็ดโดยรอบ มีสีเหลือง

อมเขียว เมื่อถึงระยะที่จะรับละอองเกสรตัวผู้ เกล็ดจะเปิดออก และมีน้ำเลี้ยงซึมอยู่รอบๆ ดอกตัวเมียจะเติบโตต่อไปเป็นผลขนาดเล็กสีเขียว จนแก่จัดเต็มที่สีจะค่อยเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเขียวปนน้ำตาลจนถึงสีน้ำตาล ซึ่งจะใช้เวลาตั้งแต่เริ่มผสมพันธุ์จนผลแก่ประมาณ 12.5-13 เดือน

ผล ลักษณะคล้ายรูปกรวยยาวมีเกล็ด (Scale) หุ้มอยู่โดยรอบ ผลอ่อนลักษณะกลม หรือรูปไข่ ยาว 5-8 เซนติเมตร เมื่อแก่จัดมีสีเขียวปนน้ำตาล และเมื่อสภาวะภูมิอากาศพอเหมาะ จะแตกออกเป็นเกล็ดๆ หรือเป็นกลีบรูปช้อนแข็งๆ ติดอยู่กับแกนกลางของผล เมล็ดซึ่งมีปีกติดอยู่หลุดปลิวออกมา เกล็ดของผลเมื่อแก่จัดจะแข็งมาก ผลของสนสองใบผลหนึ่งจะมีจำนวนเกล็ด 120-130 เกล็ด ผลของสนสองใบจะแก่ไม่พร้อมกันแม้ในช่อเดียวกัน การติดผลให้เมล็ดมักจะสลับปีเว้นปีและหลังจากเมล็ดหลุดร่วงไปแล้ว ส่วนใหญ่ผลจะหลุดร่วงลงมาจากลำต้นไม่ติดอยู่กับกิ่งบนต้นเหมือนไม้สนบางชนิด

เมล็ด มีลักษณะเป็นรูปกลมรี มีครีบบางๆ สีขาวยาวประมาณ 7.5 มิลลิเมตร ถ้าผ่าครึ่งมีขนาดกว้างประมาณ 4 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร เมล็ดเมื่อหลุดออกจากผลแล้วจะมีปีก 2 ปีกเป็นแผ่นบางมีความยาวไม่เท่ากันคือประมาณ 2-3 มิลลิเมตร กว้าง 8 มิลลิเมตร ติดอยู่ด้วยจึงสามารถปลิวไปตามลมได้เป็นระยะไกลๆ ในการเก็บรักษาเมล็ดสนสองใบก่อนอื่นจะต้องทำความสะอาดเมล็ด โดยแยกปีกออกให้หมดก่อนแล้วจึงนำไปตากหรืออบเมล็ดให้มีความชื้นของเมล็ดไม่เกิน 8 เปอร์เซนต์ แล้วจึงนำไปเก็บรักษาในห้องเย็นอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับขยายพันธุ์ต่อไป (อภิชาติ, 2546)

2. การเติบโตของต้นไม้และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเติบโตของต้นไม้

การเติบโตของต้นไม้ คือ ขบวนการสะสมและเพิ่มพูนเซลล์ใหม่ๆ ขึ้นมาแบบเดียวกับสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ทั้งหลายตราบใดที่เซลล์ของพืชยังเป็นเซลล์ที่มีอายุน้อยและเป็นเซลล์ที่กำลังเติบโต ซึ่งการเติบโตจะมีความหมายอยู่ 2 ประการ คือ การเติบโต (Growth) หมายถึง การเพิ่มขึ้นของขนาด ปริมาตรหรือมวลของต้นไม้ ซึ่งเป็นผลมาจากการแบ่งเซลล์และขยายขนาดของเซลล์ อันเป็นผลมาจากกระบวนการทางสรีรวิทยาทุกกระบวนการในพืช ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาณที่ไม่คืนกลับ (Irreversible) (ลดาวัลย์, 2550) และ การพัฒนา (Development) เป็นการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ หมายถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ทั้งลักษณะภายนอกและกายวิภาคภายใน ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์ (Cell Differentiation)

(สมบุญ, 2538) เพื่อไปทำหน้าที่ที่แตกต่างกัน การพัฒนาจึงเป็นผลร่วมของการเติบโตและการเปลี่ยนสภาพ กำหนดด้วยลักษณะทางพันธุกรรม

การเติบโตและพัฒนาของลำต้นเกิดขึ้นทั้ง 2 บริเวณ คือ บริเวณเนื้อเยื่อเจริญส่วนปลาย และเนื้อเยื่อเจริญด้านข้าง การเติบโตของลำต้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ การเติบโตจากเนื้อเยื่อเจริญปฐมภูมิ (Primary Meristem) ซึ่ง มีผลทำให้ลำต้นและกิ่งยืดยาวขึ้น และการเติบโตจากเนื้อเยื่อเจริญทุติยภูมิ (Secondary Meristem) ซึ่งมีผลทำให้ลำต้นขยายขนาดความโต โดยมีเนื้อเยื่อเจริญที่สำคัญคือ แคมเบียม (Cambium) เมื่อแคมเบียมแบ่งเซลล์เข้าด้านในจะเกิดเป็นไซเล็มทุติยภูมิ (Secondary Xylem) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการทำให้ต้นไม้ขยายขนาดขึ้น สำหรับเซลล์ที่เกิดจากการแบ่งของแคมเบียมออกมาทางด้านนอกจะเปลี่ยนสภาพเป็นโฟลเอ็มทุติยภูมิ (Secondary Phloem) ซึ่งจะถูกผลักดันออกมาเรื่อยๆ และหลุดออกไปในที่สุด โดยปกติกิจกรรมการแบ่งเซลล์และการเติบโตของแคมเบียมจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงฤดูเติบโต (Growing Season) ซึ่งมักจะอยู่ในช่วงฤดูฝน และมีอัตราการเติบโตที่ช้าลงในช่วงปลายฤดูฝนย่างเข้าสู่ฤดูหนาว อัตราการเติบโตที่ต่างกันนี้ ทำให้เมื่อตัดลำต้นด้านตัดขวางจะเห็นส่วนของไซเล็มทุติยภูมิมีลักษณะเป็นชั้นๆ ตามจำนวนปีที่เติบโต เรียกว่า วงเติบโต (Growth Ring) ถ้าการเติบโตนี้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอปีละ 1 วง เรียกว่า วงปี (Annual Ring) แต่ในบางครั้งการเติบโตต้องหยุดชะงัก ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โรคระบาด ไฟป่า หรือสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่ไม่เหมาะสม เมื่อสภาพต่างๆ เข้าสู่ปกติจะมีวงเติบโตวงที่สองเกิดขึ้นระหว่างวงปีได้ ชั้นที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า วงปีปลอม (False Annual Ring) ชั้นของการเติบโตที่ประกอบด้วยสองวง หรือมากกว่าเรียกว่า วงปีซ้อน (Multiple Ring) ในบางครั้งพบว่าแคมเบียมบางส่วนไม่แบ่งตัวทำให้วงปีที่เกิดขึ้นไม่ครบวง ส่วนที่ไม่ครบวงไปซ้อนอยู่กับวงเก่า เรียกวงเติบโตชนิดนี้ว่า วงชะงัก (Discontinuous Ring) (ลดาวัลย์, 2550) หรือวงปีขาดหาย (Missing Ring) (Fritt, 1976)

การเติบโตนั้นสามารถเกิดขึ้นพร้อมกันในทุกๆ ส่วนของต้นไม้อย่างเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งตัวแปรที่สามารถวัดเพื่อศึกษาการเติบโตนั้นมีหลายตัว เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter) ความสูง (Height) ขนาดเรือนยอด (Crown Size) พื้นที่หน้าตัด (Basal Area) ปริมาตร (Volume) และน้ำหนัก (Weight) (กันตินันท์, 2548)

การเติบโตของต้นไม้ โดยทั่วไปจะกล่าวกันในรูปของส่วนที่เพิ่มขึ้น (Increment) ซึ่งส่วนที่เพิ่มขึ้นของต้นไม้สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท (ปัสสี, 2534) คือ

2.1.1 ความเพิ่มพูนรายปี (Current Annual Increment : CAI) เป็นการเติบโตหรือความเพิ่มพูนที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี

2.1.2 ความเพิ่มพูนระยะคาบ (Periodic Increment : PI) เป็นความเพิ่มพูนที่เพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาหนึ่งซึ่งมากกว่าหนึ่งปี

2.1.3 ความเพิ่มพูนเฉลี่ยในระยะคาบ (Periodic Annual Increment : PAI) เป็นความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปีในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หาได้โดยเอาความเพิ่มพูนระยะคาบหารด้วยจำนวนปีในระยะคาบนั้น

2.1.4 ความเพิ่มพูนเฉลี่ยรายปี (Mean Annual Increment : MAI) เป็นความเพิ่มพูนเฉลี่ยที่หาได้จากความเพิ่มพูนสะสมทั้งหมดหารด้วยอายุทั้งหมด

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของต้นไม้

ปัจจัยที่มีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ สามารถแบ่งออกเป็น

ปัจจัยภายใน หมายถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับต้นไม้ อันได้แก่ ลักษณะทางสัณฐานวิทยา ปริมาณสารควบคุมการเติบโต และกระบวนการทางสรีระวิทยา ปัจจัยภายในจะเป็นตัวกำหนดระดับการเติบโตและพัฒนาของต้นไม้ ลักษณะทางพันธุกรรมก็ถือเป็นปัจจัยภายในของต้นไม้ได้เช่นกัน โดยเป็นตัวกำหนดขอบเขตของการเติบโต เนื่องจากการเติบโตและพัฒนาของต้นไม้จะถูกควบคุมโดยหน่วยพันธุกรรมเบื้องต้น ที่เรียกว่า ยีน (Gene) ซึ่งจะทำหน้าที่กำหนดชนิด จำนวน ขนาด รูปร่าง และควบคุมการทำงานในระดับเซลล์ให้เป็นไปตามแบบแผน และสามารถถ่ายทอดลักษณะดังกล่าวไปยังลูกหลานได้ ดังนั้นพันธุ์ไม้ต่างชนิดกัน จึงมีลักษณะการเติบโตที่แตกต่างกัน

ปัจจัยภายนอก หมายถึง ปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ในบริเวณที่ต้นไม้ขึ้นอยู่ ปัจจัยภายนอกนั้นไม่ได้เปลี่ยนแปลงการเติบโตของต้นไม้โดยตรง แต่จะส่งผลทางอ้อมต่ออัตราการเติบโตและกระบวนการทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการเติบโต อันได้แก่ กระบวนการสังเคราะห์แสง การหายใจ การสร้างอาหาร การสังเคราะห์ฮอร์โมน การดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร และการขนย้ายสารอาหาร เป็นต้น ปัจจัยภายนอกอาจแบ่งได้เป็น ปัจจัยที่ไม่มีชีวิต (Biotic Factors) ได้แก่ แสง น้ำ

อุณหภูมิ ลม ธาตุอาหาร และมลพิษทางอากาศ เป็นต้น และ ปัจจัยที่มีชีวิต (Abiotic Factors) ได้แก่ โรค แมลง การแทะเล็มของสัตว์ และกิจกรรมของมนุษย์ เป็นต้น (ลดาวัลย์, 2550)

ส่วน Whitmore (1975) กล่าวว่าลักษณะทางพันธุกรรมเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นไม้ในเขตร้อนชื้นเท่าๆ กับถิ่นที่ตั้ง และลักษณะของเรือนยอด อย่างไรก็ตามอายุและปัจจัยทางภูมิอากาศก็มีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ด้วยเช่นกัน

3. การวัดการเติบโตของต้นไม้

การเติบโตของหมู่ไม้สามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอย่างใดอย่างหนึ่งของหมู่ไม้ ซึ่งอาจจะศึกษาเป็นรายต้นหรือเป็นหมู่ไม้ตามแต่วัตถุประสงค์หรือปัจจัยอื่นๆ เช่น ระยะเวลา งบประมาณ เป็นต้นในการวัดการเติบโตหรือความเพิ่มพูนสามารถทำได้โดยวิธีต่างๆ ดังต่อไปนี้ (ปัสสี, 2534)

3.1 การวัดจากแปลงตัวอย่าง (Sample Plots) แปลงตัวอย่าง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือแปลงตัวอย่างชั่วคราว และแปลงตัวอย่างถาวร โดยแปลงตัวอย่างชั่วคราวนั้นเลือกทำในที่ที่ต้นไม้มีอายุต่างกัน แปลงหนึ่งๆ แล้ววัดไม้ในแปลงนั้นๆ (เทอด, 2525) ส่วนแปลงตัวอย่างถาวรเป็นการวัดการเติบโต แล้วทำการวัดซ้ำในช่วงเวลาที่ต่างกัน ความแตกต่างของค่าที่วัดได้ในครั้งแรกกับครั้งหลังก็คือการเติบโตของต้นไม้

3.2 การวิเคราะห์ตอไม้ (Stump Analysis) เป็นการหาความเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างเดียวโดยศึกษาวงปีจากตอไม้ที่โค่นลง (ชาญ, 2513)

3.3 การวิเคราะห์ลำต้น (Stem Analysis) การเติบโตในอดีตของต้นไม้ จะทราบได้จากการวิเคราะห์ลำต้น ซึ่งการศึกษาการวิเคราะห์ลำต้นทำให้ทราบว่าต้นไม้มีการเติบโตอย่างไรในทางความโตและความสูง นอกจากนี้ยังทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของต้นไม้นั้นด้วย ทั้งนี้ก็เพราะว่าการวิเคราะห์ลำต้นจะทำการนับและวัดวงปีหรือวงเติบโต (Growth Rings) บนหน้าตัดของลำต้นที่ระดับความสูงต่างๆ การวัดดังกล่าวอาจวัดจากต้นไม้ที่ยืนต้นก็ได้โดยการใช้สว่านเจาะวัดความเพิ่มพูน (Increment Borer) เจาะที่ระดับความสูงต่างๆ ของลำต้นแล้วนับและวัดความกว้างวงปี ถ้าต้นไม้นั้นไม่ใหญ่จนเกินไป หรือเนื้อไม้ไม่แข็งจนเกินไป อย่างไรก็ตามการวัดจากหน้าไม้ของต้นไม้ที่โค่นลงมาแล้วตัดเป็นท่อนๆ จะสะดวกและถูกต้องมากกว่า

3.4 การเจาะวัดหาความเพิ่มพูน (Increment Boring) เป็นวิธีวัดการเติบโตของต้นไม้โดยใช้ Increment Borer เจาะเอาไส้ของไม้ (Core) ที่ระดับความสูงเพียงอก ซึ่งจะทำการเจาะในแนวตั้งฉากกับแนวลำต้น แล้วนำมาวัดความกว้างของวงปี และคำนวณหาตัวแบบที่เหมาะสมต่อไป

ส่วน Thammincha (1981) ได้แบ่งวิธีการคาดคะเนการเติบโตออกเป็น 2 กลุ่มคือ วิธีทางตรง (Direct Method) เป็นการศึกษาโดยอาศัยการวิเคราะห์จากการวัดขนาดต่างๆ ของต้นไม้ ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ วิธีทางอ้อม (Indirect Method) เป็นการศึกษาโดยใช้ตารางการเติบโตและผลผลิต

นอกจากนี้ ชาญ (2525) ยังกล่าวว่า วิธีที่ดีที่สุดของการวัดหาการเติบโตทางปริมาตรสะสมของต้นไม้ก็คือโดยวิธีวิเคราะห์ลำต้น ถึงแม้ว่าการนับและวัดจำนวนวงปี โดยการปีนขึ้นไปและเจาะไม้ยืนต้นจะทำได้ก็ตาม แต่ปกติแล้วนิยมโค่นไม้ลงมาและตัดเป็นท่อนๆ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใต้เปลือกของช่วงเวลาเติบโตหาได้โดยการนับวงปีถอยหลังจนถึงปีที่ต้องการซึ่งปริมาตรที่เริ่มต้นทั้งหมดของไม้ทุกๆ ท่อน ลบออกจากปริมาตรแต่ละปีจะได้การเติบโตเป็นหน่วยปริมาตร หากต้องการหาอัตราการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางนอกเปลือกวิธีที่ดีที่สุดคือ การวัดซ้ำจากแปลงตัวอย่างถาวร การสำรวจแจงนับไม้ที่ติดต่อกันของไม้ชนิดเดียวกันสามารถจะทราบความเพิ่มพูนของไม้รวมทั้งเปลือกในแต่ละขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้ และจากผลนี้จะทำให้ขจัดปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในการวัดหาการเติบโตของลำต้นจากวิธีการเจาะวัดหาความเพิ่มพูน แต่ในเมื่อการเติบโตทางเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้มีการวัดมาก่อนก็มักจะใช้วิธีการเจาะวัดหาความเพิ่มพูนที่เส้นผ่านศูนย์กลางระดับความสูงเพียงอกแทน

4. เทคนิคการศึกษาผลของสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

ในการศึกษาผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ โดยใช้เทคนิคทางรุกขกาลวิทยา มีหลักการดังนี้

4.1 ความหมายและขอบเขตของ Dendrochronology

Dendrochronology หรือ รุกขกาลวิทยา มาจากคำว่า Dendro แปลว่าต้นไม้ รวมกับคำว่า Chronos แปลว่าเวลา และ logos แปลว่าศาสตร์ กล่าวคือ Dendrochronology หมายถึง ศาสตร์ที่วิเคราะห์ลักษณะของวงปีต้นไม้ และนำเวลาที่วงปีต้นไม้เกิดขึ้นมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะของโลกและอวกาศในศาสตร์ทางกายภาพ และวัฒนธรรม (ปัสสีและขวัญชัย, 2548) ซึ่ง

การศึกษารุกขกาลวิทยา ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ เช่น Dendroclimatology เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของลักษณะวงปีไม้กับสภาพภูมิอากาศ เรียกว่า รุกขภูมิอากาศวิทยา นอกจากนี้ยังมีวิทยาศาสตร์สาขาอื่น เช่น Dendroecology, Dendrohydrology, Dendrogeomorphology ซึ่งหมายถึงศาสตร์ที่ว่าด้วยการนำลักษณะวงปีของไม้ มาศึกษาลักษณะทางนิเวศวิทยาของหมู่ไม้ ลักษณะทางอุทกวิทยา และลักษณะทางธรณีวิทยาตามลำดับ (Fritt, 1976)

4.2 แนวคิดและหลักการของ Dendroclimatology

Dendroclimatology คือศาสตร์ที่ว่าด้วย การศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะวงปีไม้กับภูมิอากาศ ซึ่งเป็นวิชาการที่มีการพัฒนามาอย่างยาวนาน และมุ่งวิเคราะห์ลักษณะอากาศที่มีช่วงเวลายาวนานเป็นปี ทศวรรษ ศตวรรษหรือมากกว่า การวิเคราะห์วงปีต้นไม้โดยพิจารณาโครงสร้างหรือลักษณะวงปีของต้นไม้มีประโยชน์ต่อการศึกษาข้อมูลลักษณะภูมิอากาศในอดีต เนื่องจากความกว้างของวงปีง่ายต่อการวัดขนาดจำนวนวงปีได้หลายๆ วง และขนาดวงปีนี้ จะถูกกำหนดโดยข้อมูลด้านภูมิอากาศและปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง และวงปีแต่ละวงสามารถที่จะทราบ ปีที่ถูกสร้างขึ้นมา เพราะฉะนั้นข้อมูลทางด้านภูมิอากาศ สามารถนำมาสัมพันธ์ด้วยเวลาที่ตรงกันกับวงปีวงหนึ่งๆ ซึ่งมีทรัพยากรไม่มากนัก ที่จะให้ข้อมูลทางลักษณะภูมิอากาศในอดีตที่มีความแน่นอน และต่อเนื่องอย่างนี้ (Cook *et al.*, 1990)

การวิจัยเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตโดยการวิเคราะห์วงปีไม้ จำเป็นต้องวิเคราะห์ปีที่แต่ละวงเกิดขึ้นอย่างถูกต้อง โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Crossdating ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญของการศึกษาที่จะช่วยเพิ่มความมั่นใจและเกิดความถูกต้อง ในการกำหนดปีของแต่ละวงปีมากขึ้น ซึ่งวงปีของต้นไม้จะต้อง Crossdating โดยการนำชุดข้อมูลวงปีต้นไม้ที่ได้จากแต่ละไส้ไม้มาเทียบกัน (Match) ทั้งภายในต้น ระหว่างต้น หรือในหมู่ไม้ใกล้เคียง ซึ่งวงปีจะถูกเทียบกับวงปีที่มีลักษณะคล้ายกันหรือที่เกิดเวลาเดียวกัน ถ้ามีความผันแปรระหว่างปีเพียงพอ และจำนวนตัวอย่างมากพอ ก็สามารถยืนยันความถูกต้องของปีของวงปีแต่ละวงได้ ซึ่งเทคนิค Crossdating จะได้ผลดีก็ต่อเมื่อ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมมีผลต่อความกว้างของวงปีในหมู่ไม้นั้น (Fritts, 1976) นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบความถูกต้องของปีของวงปีแต่ละวงได้ โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) ของความกว้างวงปีชุดหนึ่งๆ กับค่าความกว้างวงปีของตัวอย่างชุดอื่นๆ ตามช่วงเวลาที่ระบุไว้ และหาค่าระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ (Critical level of Correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 โดยหากช่วงเวลาครอบคลุมระยะเวลา 50 ปี ค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ คือ 0.3281 เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อมูลวงปีไม้ เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาที่ยาว

ดังนั้นเพื่อเป็นการประหยัดเวลา ในงานวิจัยด้านรุกขกาลวิทยาจึงนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูป คือ โปรแกรม COFECHA ในการวิเคราะห์ค่าสถิติต่างๆ ในเทคนิค Crossdating (Holmes,1983) โดยโปรแกรมนี้นิยมใช้ช่วงเวลาเทียบเคียงในแต่ละช่วงจำนวน 50 ปี ซึ่งมีค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ที่ยอมรับได้ คือ 0.3281 หากค่าสถิติในช่วงใดมีค่าน้อยกว่าค่าดังกล่าวแสดงว่าข้อมูลช่วงนั้นมีค่าความผันแปรสูงหรือมีความคลาดเคลื่อนในการกำหนดปีของวงปี โดยโปรแกรมจะจำลองค่าความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงไปให้เห็นเป็นตัวอย่าง ในกรณีที่มีความผิดพลาดในการนับจำนวนวงปีขาดหรือเกินในช่วง 10 วง ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจในการกลับไปตรวจสอบเพื่อหาข้อผิดพลาดและทำการแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้อง แล้วนำค่าทางสถิติที่ได้มาตีความเพื่อยืนยันปีที่วงปีแต่ละวงเกิดขึ้น

นอกจากนี้ เทคนิคที่สำคัญในการศึกษา Dendroclimatology คือ เทคนิคการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้เพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลความกว้างวงปีทั้งหมด ซึ่งทำให้ค่าความกว้างวงปีที่มีลักษณะแบบ Non-stationary ถูกปรับค่าเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของเส้นดัชนีวงปีไม้ (Tree-Ring Index, TRI) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 (Stationary) เพื่อเป็นการลดอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ใช่ด้านภูมิอากาศ เช่น อายุ หรือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่ไม่สนใจ (Fritts, 1991) ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN (Cook and Peters, 1981) โดยโปรแกรมประกอบด้วยการวิเคราะห์ตัวแบบการเติบโตของต้นไม้ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนเชียลทางลบ (Negative Exponential) หรือรูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรง (Linear Regression) โดยขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูล และส่วนใหญ่ค่าเริ่มต้นของโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN จะใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนเชียลทางลบ ในการวิเคราะห์ตัวแบบการเติบโต ซึ่งหากตัวแบบการเติบโตมีค่าทางสถิติที่น้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ก็จะใช้ รูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ในลำดับต่อมา จากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้จำนวน 3 เส้น ได้แก่ Standard Chronology (STD), Arstan Chronology (ARS) และ Residual Chronology (RES) ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการวิเคราะห์ค่าอัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) และการทำให้ปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ใช่ทางด้านปัจจัยภูมิอากาศจะถูกปรับให้น้อยลง

4.3 การศึกษาความสัมพันธ์ของสภาพภูมิอากาศกับการเติบโตของต้นไม้โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์วงปีต้นไม้ในประเทศไทย

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศกำลังได้รับความสนใจอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตมรสุมของทวีปเอเชีย ซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของประชากรมากกว่าครึ่งโลก อีกทั้งความรุนแรงของภัย

ธรรมชาติที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงพยายามศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตโซนร้อนของโลก ซึ่งการศึกษาดังกล่าวเป็นฐานข้อมูลที่สำคัญในการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในบริเวณนั้น โดยการหาข้อมูลภูมิอากาศในอดีตที่มีระยะเวลาย้อนอดีตมากๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการคาดคะเนสภาพภูมิอากาศในอนาคต ที่ผ่านมามีการเก็บรวบรวมโดยกรมอุตุนิยมวิทยาเพียงมีการบันทึกเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ไม่ถึง 50 ปี ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงใช้ข้อมูลตัวแทน (Proxy Data) เช่น วงปีไม้ แท่งน้ำแข็งในเขตขั้วโลกและการศึกษาการสะสมของละอองเรณูของต้นไม้ในตะกอนดิน (IPCC, 2001) ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์วงปีไม้เพื่อศึกษาลักษณะภูมิอากาศในเขตโซนร้อนของโลกยังมีไม่มากนัก และยังไม่ค่อยมีการพัฒนาข้อมูลให้ทันต่อเหตุการณ์ในปัจจุบัน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตโดยการวิเคราะห์วงปีไม้ในประเทศไทยยังมีน้อยและประเทศไทยมีจำนวนชนิดไม้ที่มีวงปีชัดเจนและสามารถวัดการตอบสนองต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศได้ คือไม้สัก (*Tectona grandis*) (Palakit, 2004; Buckley *et al*., 2007) และไม้สนสองใบ (*Pinus merkusii*) ไม้สนสามใบ (*Pinus kesiya*) (ขวัญชัย, 2542; Buckley *et al*., 1995; Boonchirdchoo, 1996;Pumijumnong and Wanyaphet, 2000)โดยส่วนมากพืช 3 ชนิดนี้อยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย (Thammincha *et al*., 1988) ส่งผลให้งานวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในเขตภาคเหนือของประเทศไทยและเป็นเฉพาะท้องที่

5. การพยากรณ์เชิงปริมาณ

การเติบโตของต้นไม้สามารถศึกษาได้โดยใช้การวิเคราะห์วงปีไม้ ซึ่งความกว้างของวงปีไม้จะถูกกำหนดโดยความผันแปรของสิ่งแวดล้อมจาก 1 ปีไปจนถึงหลายๆ ปีซึ่งความผันแปรจะมีลักษณะเป็นอนุกรมเวลา (ขวัญชัย, 2542) ดังนั้นเทคนิคการพยากรณ์เชิงปริมาณจึงมีความเหมาะสมในการศึกษาข้อมูลของวงปีไม้

5.1 ความหมายและความสำคัญของการพยากรณ์เชิงปริมาณ

การพยากรณ์ หมายถึงการคาดคะเนหรือการทำนายลักษณะการเกิดของเหตุการณ์ในอนาคต โดยศึกษารูปแบบการเกิดของเหตุการณ์จากข้อมูลในอดีต ที่เก็บรวบรวมอย่างมีระบบ โดยมีเทคนิคและวิธีการพยากรณ์ต่างๆ การพยากรณ์เชิงปริมาณเป็นการพยากรณ์ที่ใช้รายละเอียดของข้อมูลในอดีตที่มีการเก็บรวบรวมอย่างต่อเนื่องเป็นหลักในการพยากรณ์ การพยากรณ์เชิงปริมาณ

แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ การวิเคราะห์อนุกรมเวลา การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือตัวแปร และการตรวจสอบการดำเนินงานของระบบ (ทรงศิริ, 2549)

5.2 อนุกรมเวลา

อนุกรมเวลา (Time Series) หมายถึงกลุ่มของค่าสังเกตที่เก็บรวบรวมตามเวลาอย่างต่อเนื่อง ค่าสังเกตแต่ละค่ามักจะเก็บรวบรวมในช่วงเวลาที่เท่ากัน ค่าสังเกตในอนุกรมเวลามีลักษณะแตกต่างจากค่าสังเกตจากการสำรวจ โดยค่าสังเกตในอนุกรมเวลาไม่มีความเป็นอิสระกันหรือมีความสัมพันธ์กัน การเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาขึ้นกับส่วนประกอบหลัก 4 ส่วนประกอบได้แก่ แนวโน้ม (Trend) อิทธิพลของฤดูกาล (Seasonal Effect) อิทธิพลของวัฏจักร (Cyclical Effect) และเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular Effect)

การวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Univariate Time Series Analysis) เป็นการศึกษาหารูปแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาที่กำหนดด้วยรูปแบบอนุกรมเวลาจากรูปแบบที่ได้จะนำไปใช้ประโยชน์ในการพยากรณ์ โดยมีข้อสมมุติในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ได้แก่ แผนแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในอนาคตไม่ต่างจากแผนแบบการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาในอดีต โดยระดับความถูกต้องของการพยากรณ์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของรูปแบบอนุกรมเวลาที่กำหนด การวิเคราะห์อนุกรมเวลาเป็นการวิเคราะห์จากหนึ่งปัจจัยหรือหนึ่งอนุกรมเวลา จึงเหมาะกับสภาพของการพยากรณ์ที่ไม่มีปัจจัยอื่นๆเข้ามาเกี่ยวข้อง (ทรงศิริ, 2549)

วิธีการพยากรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์อนุกรมเวลามีดังนี้ (ทรงศิริ, 2549)

5.2.1 วิธีนีฟ (Naive Method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นค่าที่ปรับจากค่าสังเกตล่าสุดโดยกำหนดจากการคาดการณ์ด้วยประสบการณ์จากข้อมูลที่มี

5.2.2 วิธีแยกส่วนประกอบ (Decomposition Method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตได้จากการรวมค่าวัดส่วนประกอบของอนุกรมเวลา ได้แก่ ค่าแนวโน้ม ค่าวัดอิทธิพลของฤดูกาล ค่าวัฏจักรและค่าวัดเหตุการณ์ที่ผิดปกติ การรวมอาจเป็นแบบบวกหรือแบบคูณ เช่นวิธีเฉลี่ยอย่างง่าย (Simple Average) วิธีสัดส่วนกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Ratio To Moving Average Method) วิธีสัดส่วนกับแนวโน้ม (Ratio To Trend Method)

5.2.3 วิธีปรับให้เรียบ (Smoothing Method) ค่าพยากรณ์ในอนาคตเป็นค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของค่าสังเกตในอดีตส่วนหนึ่งหรือทั้งหมด โดยจะมีชื่อเรียกที่ต่างกันเมื่อน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตมีแบบที่ต่างกันและจำนวนค่าสังเกตที่นำมาเฉลี่ยต่างกัน โดยถ้าจำนวนค่าสังเกตเป็นจำนวนคี่และน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตเท่ากันจะเรียกว่าวิธีเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย (Simple Moving Average Method หรือวิธี SMA) ถ้าจำนวนค่าสังเกตเป็นจำนวนคู่และน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตไม่เท่ากันจะเรียกว่าวิธีเคลื่อนที่กลาง (Centered Moving Average Method หรือวิธี CMA) ส่วนจำนวนค่าสังเกตเป็นจำนวนคู่หรือคี่และน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตไม่เท่ากันจะเรียกว่าวิธีเคลื่อนที่แบบถ่วงน้ำหนัก (Weight Moving Average Method หรือวิธี WMA) กรณีนำค่าสังเกตทั้งหมดมาเฉลี่ย เมื่อน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกตแต่ละค่าลดหลั่นกันแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลจะเรียกว่าวิธีปรับให้เรียบเอ็กซ์โปเนน-เชียล (Exponential Smoothing Method)

5.2.4 วิธีของ Box และ Jenkins เป็นการวิเคราะห์เพื่อหารูปแบบ ARIMA ที่เหมาะสมให้กับอนุกรมเวลา โดยใช้ค่าอัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation Function) และค่าสัมประสิทธิ์อัตต-สหสัมพันธ์บางส่วน (Patial Autocorrelation Function) ที่ช่วงเวลาห่าง k เป็นแนวทางการกำหนดรูปแบบ ซึ่ง ARIMA จะอยู่ในกลุ่มของรูปแบบ ARMA (p,q) และ SARMA (P,Q) ซึ่งเป็นรูปแบบที่ระบุว่าค่าพยากรณ์ในอนาคตขึ้นกับค่าสังเกตและค่าพยากรณ์หรือค่าความคาดเคลื่อนของการพยากรณ์ในช่วงเวลาก่อนหน้าที่เวลาใดบ้าง

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยอื่นๆ เกี่ยวกับการศึกษาวงปีต้นไม้กับสภาพภูมิอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย มีดังนี้

Palakit (2004) ได้นำเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างจากตัวอย่างไม้ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตในช่วงเวลาตั้งแต่ พ.ศ.2034-2547 ทำให้ได้เส้นดัชนีครอบคลุมช่วงเวลา 413 ปีมาศึกษาความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ ผลการวิจัยพบว่า การเติบโตของไม้สักมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณน้ำฝนในเดือนกรกฎาคมและมีความสัมพันธ์ทางลบกับอุณหภูมิในเดือนตุลาคม และผลการศึกษาแสดงให้เห็นอีกว่าในระยะ เวลา 200 ปีแรก สภาพภูมิอากาศมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างรุนแรง และคงที่ในช่วงระยะเวลา 150 ปีหลังจากนั้น และสภาพภูมิอากาศกลับมามีความผันแปรอย่างรุนแรงอีกครั้งตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 จนถึงปัจจุบัน

Buckley *et al.* (2007) ได้นำเส้นดัชนีวงปีไม้สักในช่วงระยะเวลา 448 ปี บริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประเมินการเปลี่ยนแปลงและความรุนแรงในอดีตของมรสุมฤดูร้อน ผลการวิจัยพบว่าเส้นดัชนีวงปีไม้สักแสดงการตอบสนองที่ชัดเจนย้อนไปถึง ค.ศ. 1600 ผลการศึกษาพบว่า ความผันแปรของการเติบโตรายปีของไม้สักขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่มีอยู่ทั้งในช่วงต้นและปลายฤดูมรสุม จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ยืนยันได้ว่าข้อมูลจากวงปีนี้เป็นข้อมูลที่เหมาะสมในการชี้ความรุนแรงและช่วงเวลาของมรสุมในเขตร้อน เส้นดัชนีวงปีดังกล่าวชี้ว่า มีช่วงความแห้งแล้งที่เด่นชัดของท้องที่ดังกล่าวอยู่สองช่วง คือในช่วงตอนต้นและตอนกลางศตวรรษที่ 18 โดยผลที่ได้มีความสอดคล้องกับบันทึกข้อมูลปะการังจากเกาะกาลาปากอสที่พบว่าอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลสูงผิดปกติในเขตแปซิฟิก และบันทึกข้อมูลจากหินงอกที่ตอนกลางของประเทศอินเดียแสดงช่วงความแห้งแล้งที่ยาวนานของศตวรรษที่ 18 ด้วย

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆเกี่ยวกับการวิเคราะห์วงปีไม้สนเขากับสภาพภูมิอากาศ เช่น ขวัญชัย (2542) ได้ศึกษาพบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสามใบในป่าธรรมชาติ อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ ส่วนอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด และอุณหภูมิเฉลี่ยไม่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติ และจากการวิเคราะห์ดัชนีวงปีพบว่า ช่วงเวลาที่ฝนตกหรือแห้งแล้งในแต่ละปีมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสามใบด้วย

Buckley *et al.* (1995) ได้วิเคราะห์ความกว้างของวงปีไม้สนสามใบที่อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าปริมาณน้ำฝนในช่วงการเปลี่ยนฤดูกาลและอุณหภูมิเดือนพฤศจิกายนมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการเติบโตของไม้สนสามใบ ส่วนความกว้างของวงปีไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง จังหวัดพิษณุโลก พบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกกับอุณหภูมิช่วงก่อนเดือนกันยายนและมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณน้ำฝน

Boonchirdchoo (1996) ได้วิเคราะห์วงปีไม้สน ในป่าของอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง จังหวัดพิษณุโลก และ อุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีมีความสัมพันธ์กับการเติบโตของไม้สนสองใบมากกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี และยังพบว่าปริมาณน้ำฝนช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคมมีความสัมพันธ์กับความกว้างวงปีด้วย

Hutameta and Pumijumnong (2003) พบว่าปริมาณน้ำฝนในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายนมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับความกว้างวงปีไม้สนที่ป่าบ้านวัดจันทร์ จังหวัดเชียงใหม่

Pumijumnong and Wanyaphet (2006) ได้ศึกษาการเติบโตของไม้สนสองใบในภาคเหนือของไทยโดยศึกษาการพัฒนาการของแคมเบียม (Cambium Activity) พบว่าการพัฒนาการของแคมเบียมมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนในเดือนเมษายนและพฤษภาคม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Buckley *et al*., 1995 นอกจากนี้ Pumijumnong and Wanyaphet (2006) ยังรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์วงปีไม้สนเขาในประเทศไทย และสรุปว่าไม้สนสองใบส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนในช่วงการเปลี่ยนฤดู ในทางกลับกันจะมีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิกระจายไปแต่ละเดือนต่างๆไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับท้องที่ที่ศึกษา ส่วนไม้สนสามใบจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิ โดยมีความไม่แน่นอนหรือไม่สามารถกำหนดช่วงเวลาในแต่ละปีที่มีอิทธิพลสูงสุดได้ เนื่องจากมีความผันแปรตามสภาพพื้นที่ ดังนั้นไม้สนเขาในประเทศไทยมีการเติบโตที่ตอบสนองต่อปัจจัยด้านภูมิอากาศอย่างมีนัยสำคัญซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้เกิดประโยชน์ในการศึกษาสภาพภูมิอากาศในอดีตหรือบรรพภูมิอากาศ (Paleoclimate) (Buckley *et al*., 1995)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. สว่านเจาะวัดความเพิ่มพูน (Increment Borer)
2. เทปวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
3. เครื่องมือวัดความสูง
4. ไม้สำหรับยึดไส้ไม้ตัวอย่าง
5. หลอดพลาสติกสำหรับเก็บไส้ไม้ตัวอย่าง
6. เครื่องขัดกระดาษทรายแบบ Belt Sander, แบบ Rotary Sander และกระดาษทราย
7. เครื่องมือวัดความกว้างวงปีต้นไม้ชนิด Velmex Measuring System
8. กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 4-40 เท่า
9. แบบบันทึกข้อมูล
10. แผนที่
11. เครื่องมือกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Global Positioning System: GPS)
12. โปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA
13. โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN

วิธีการ

1. การเลือกพื้นที่และหน่วยตัวอย่าง

ในการวิจัยนี้ได้เลือกพื้นที่ป่าสนสองใบธรรมชาติ ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี โดยมีหลักการสุ่มเลือกต้นสนสองใบ จำนวน 24 ต้น ดังนี้

1.1 ดำเนินการคัดเลือกไม้สนสองใบที่เป็นต้นไม้เด่น (Dominant Tree) มีการแก่งแย่งหรืออิทธิพลจากต้นไม้รอบข้างน้อย มีลักษณะลำต้น เปลาตรง ไม่มีพูพอนหรือความผิดปกติ เพื่อลดผลกระทบจากการแก่งแย่งปัจจัยที่จำเป็นในการดำรงชีวิต

1.2 ไม้สนสองใบที่คัดเลือกต้องขึ้นอยู่ในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำดี ไม่มีน้ำขัง และอยู่ห่างจากแหล่งน้ำ เนื่องจากการอยู่ใกล้แหล่งน้ำ หรือมีปริมาณน้ำที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากเกิน

พอ ลักษณะของวงปีที่เกิดจะมีความกว้างวงปีที่สม่ำเสมอหรือไม่ตอบสนองต่อปัจจัยสิ่งแวดล้อม (Complacency) ซึ่งทำให้ไม่สามารถศึกษาปัจจัยด้านภูมิอากาศได้

1.3 ไม้สนสองใบมีเรือนยอดที่สมบูรณ์ ลำต้นมีบาดแผลหรือร่องรอยของโรคต่างๆ น้อย

1.4 ไม้สนสองใบถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกน้อย เช่น แมลงหรือปัจจัยอื่น

2. การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลจากพื้นที่ศึกษา โดยเก็บตัวอย่างไส้ไม้และรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ มีขั้นตอนและวิธีการ ดังนี้

2.1 ใช้สว่านเจาะวัดความเพิ่มพูน เจาะจากเปลือกไม้จนถึงแก่นไม้ (Pith) โดยในแต่ละต้น เก็บตัวอย่างอย่างน้อย 2 ครั้งในทิศตรงข้ามกัน พยายามเจาะใกล้โคนต้นมากที่สุดแต่ให้อยู่เหนือตำหนิและพูพอน โดยจำเป็นต้องเก็บในทิศตั้งฉากกับทิศด้านลาดเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากไม้ปฏิกิริยา (Reaction Wood)

2.2 นำไส้ไม้ที่ได้เก็บไว้ในหลอดพลาสติกและเขียนรหัสกำกับไว้ โดยกำหนดให้ตัวอักษรสองตำแหน่งแรก (PT) แทน อุทยานแห่งชาติพุเตย ตัวอักษรสองตำแหน่งถัดไป (PM) แทน ไม้สนสองใบ และตัวเลขแทนลำดับต้นสนสองใบที่ทำการเจาะวัดความเพิ่มพูน ตัวอักษรสุดท้ายแทนทิศที่ทำการเจาะ โดยตัวอักษร E,W,N,S แทน ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก ทิศเหนือและทิศใต้ ตามลำดับ และระบุวันที่ทำการเก็บตัวอย่าง เช่น รหัส PTPM01E 10/10/2551 คือ ไส้ไม้ตัวอย่างของไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติพุเตย ต้นที่ 1 ทิศที่เจาะคือทิศตะวันออก โดยเก็บตัวอย่างในวันที่ 10 เดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2551 เป็นต้น

2.3 บันทึกข้อมูลพื้นฐานของหน่วยตัวอย่าง ได้แก่ บันทึกเส้นรอบวงที่ระดับความสูง 1.30 เมตรจากพื้นดินและความสูงทั้งหมดของต้นไม้ ลักษณะภูมิประเทศและทิศด้านลาดที่เจาะตัวอย่าง

2.4 รวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ ในอดีตจนถึงปัจจุบันของสถานีตรวจวัดอากาศที่ใกล้ที่สุด สถานีตรวจวัดอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งมีระยะทางห่างจากสถานที่ศึกษาประมาณ

70 กิโลเมตร โดยรวบรวมข้อมูลภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนและรายปี ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนและรายปี และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและรายปี

3. การเตรียมตัวอย่างและการวัดความกว้างของวงปีต้นไม้

3.1 เตรียมไส้ไม้ตัวอย่าง (Sample Core) ที่บรรจุในหลอดพลาสติกออกมาผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและติดไส้ไม้ตัวอย่างด้วยกาวไว้บนร่องของแท่นรองรับไม้ที่จัดเตรียมไว้สำหรับยึดไส้ไม้ตัวอย่างให้แน่น โดยให้ด้านตัดขวาง (Transverse Section) ขึ้นด้านบนและให้ไส้ไม้ตัวอย่างอยู่เหนือแท่นรองรับไม้ประมาณ 1 ใน 2 ส่วน ทำการเขียนรหัสกำกับและยึดแท่งไม้ตัวอย่างกับแท่นรองรับไม้อีกครั้งด้วยการนำกระดาษกาวพันรอบตัวอย่างเพื่อยึดให้แน่น ปล่อยทิ้งไว้ให้กาวแห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2-3 วัน

3.2 นำไส้ไม้ตัวอย่างไปขัดด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย โดยดำเนินการเปลี่ยนจากกระดาษทรายหยาบไปละเอียดจนเห็นลักษณะวงปีชัด โดยขั้นตอนการใช้ประเภทของเครื่องขัดกระดาษทราย และเบอร์ของกระดาษทรายมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ขัดเปิดหน้าไม้ ด้วยเครื่องขัดแบบ Belt Sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 120

3.2.2 ขัดเพื่อเพิ่มความชัดเจนของวงปี ด้วยเครื่องขัดแบบ Rotary Sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 220

3.2.3 ขัดเพื่อเพิ่มความชัดเจนของวงปี ด้วยเครื่องขัดแบบ Rotary Sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 320

3.2.4 ขัดเพื่อเพิ่มความชัดเจนของวงปี ด้วยเครื่องขัดแบบ Rotary Sander โดยใช้กระดาษทรายเบอร์ 400

3.3 นำไส้ไม้ที่เตรียมไว้มาใช้เทคนิค Cross Matching และ Crossdating ด้วยตาและทำเครื่องหมายด้วยการทำจุดจำนวน 1, 2 และ 3 จุดเมื่อจำนวนที่ที่นับครบ 10, 50 และ 100 ปีตามลำดับ รวมทั้งเขียนปี พ.ศ. ไว้บนไม้ยึดตัวอย่างเพื่อง่ายในการตรวจสอบจำนวนและความกว้างของวงปีซ้ำภายหลัง

3.4 วัดความกว้างวงปีไม้ โดยใช้เครื่องมือวัดความกว้างวงปีไม้ชนิด Velmex Measuring System ที่มีความละเอียดในการวัดถึง 0.001 มิลลิเมตร และกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 4-40 เท่า โดยแสดงผลการวัดที่คอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม J2X

3.5 นำข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบที่ได้มาตรวจสอบความถูกต้องของปี พ.ศ. แต่ละวงปี โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

นำชุดข้อมูลวงปีไม้สนสองใบที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเชิงปริมาณต่างๆ ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลความกว้างวงปีของไม้สนสองใบ

4.1.1 การวิเคราะห์ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร (Fritts, 1976)

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{t=1}^{t=n}\left(x_t - m_x\right)^2 \qquad (1)$$

โดย S_x คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x_t คือ ค่าความกว้างวงปีไม้ ปีที่ t

m_x คือ ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีไม้

4.1.2 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) ของชุดข้อมูลความกว้างวงปีไม้สามารถคำนวณได้จากสูตร (Fritts, 1976)

$$ms_x = \frac{1}{n-1}\sum_{t=1}^{t=n-1}\left|\frac{2\left(x_{t+1} - x_t\right)}{x_{t+1} + x_t}\right| \qquad (2)$$

โดย ms_x คือ ค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว (Mean Sensitivity)

x_t คือ ค่าความกว้างวงปีไม้ ปีที่ t

4.1.3 การหาค่าอัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) โดยการทดสอบด้วยวิธี Dubin Watson Test

4.2 การวิเคราะห์รูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบ

4.2.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบกับปี พ.ศ.โดยกำหนดให้ปี พ.ศ. เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) และข้อมูลความกว้างวงปีเป็นตัวแปรตาม (Dependent Variable)

4.2.2 การวิเคราะห์เพื่อจำแนกตัวแบบการเติบโตโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และหาตัวแบบที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยพิจารณาจากค่าสถิติต่างๆ เช่น ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) ค่านัยสำคัญทางสถิติ (Significance) เป็นต้น

4.3 การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ

การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้เพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลความกว้างวงปีทั้งหมดเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากสามารถลดอิทธิพลของ ปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ใช่ด้านภูมิอากาศ เช่น อายุ หรือ ปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่ไม่สนใจออก โดยทำให้ค่าความกว้างวงปีไม้จากเดิมที่มีลักษณะเป็นแบบ Non-stationary ถูกปรับเปลี่ยนมาอยู่ในรูปของเส้นดัชนีวงปีไม้ (Tree-Ring Index, TRI) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1 ซึ่งมีความเหมาะสมในการศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อไป ดังสมการ (Fritts, 1976)

$$It = Rt/Gt \tag{3}$$

โดย It คือ เส้นดัชนีวงปีไม้ ณ ปีที่ t

Rt คือ ความกว้างวงปีไม้ ณ ปีที่ t

Gt คือ ความกว้างวงปีไม้ ณ ปีที่ t ที่ได้จากตัวแบบการเติบโต

4.4 การทดสอบความน่าเชื่อถือของเส้นดัชนีวงปีไม้

4.4.1 การตรวจสอบค่า EPS

การยืนยันว่าเส้นดัชนีวงปีไม้ที่ถูกสร้างขึ้นมามีความน่าเชื่อถือหรือมีความถูกต้อง ได้มีการตรวจสอบด้วยค่า EPS (Expressed Population Signal) ซึ่งเป็นค่าแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูลอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่างและค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่าง โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร (Wigley *et al.*, 1984)

$$\text{EPS} = \frac{t \times \bar{r}}{\left(t \times \bar{r}\right) + \left(1 - \bar{r}\right)} \qquad (4)$$

โดย EPS คือ Expressed Population Signal

t คือ จำนวนต้นไม้ในช่วงปีที่ทดสอบ

$\bar{r}$ คือ ค่าสหสัมพันธ์ของต้นไม้ในช่วงปีที่ทดสอบ

4.4.2 การเปรียบเทียบเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นกับเส้นดัชนีวงปีไม้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์

4.5 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

ในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ว่าปัจจัยด้านภูมิอากาศใดที่ส่งผลต่อการเติบโตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อไม้สนสองใบ

4.5.1 ข้อมูลลักษณะภูมิอากาศ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนและรายปี ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนและรายปี และอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและรายปี ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ และข้อมูลจากเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรตาม

4.5.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลปัจจัยด้านภูมิอากาศต่างๆ กับเส้นดัชนีวงปีไม้ โดยค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ค่าสหสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlation) ค่าการถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression) และการคัดเลือกตัวแปรแบบเสต็บไวส์ (Stepwise Regression)

สถานที่ทำการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินงานที่อุทยานแห่งชาติพุเตย ซึ่งเป็นอุทยานแห่งชาติแห่งเดียวในจังหวัดสุพรรณบุรี ครอบคลุมพื้นที่ในอำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี (ภาพที่ 1) ประกอบด้วยป่าที่สมบูรณ์ เทือกเขาสลับซับซ้อนมีความลาดชันมาก ส่วนที่สูงที่สุดเรียกว่า “ยอดเขาเทวดา” มีระดับความสูง 1,123 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง เป็นแหล่งต้นน้ำลำธารหลายสาย มีป่าสนสองใบธรรมชาติที่สวยงาม มีเนื้อที่ประมาณ 198,422 ไร่ หรือ 317.48 ตารางกิโลเมตร

1. ลักษณะภูมิประเทศ

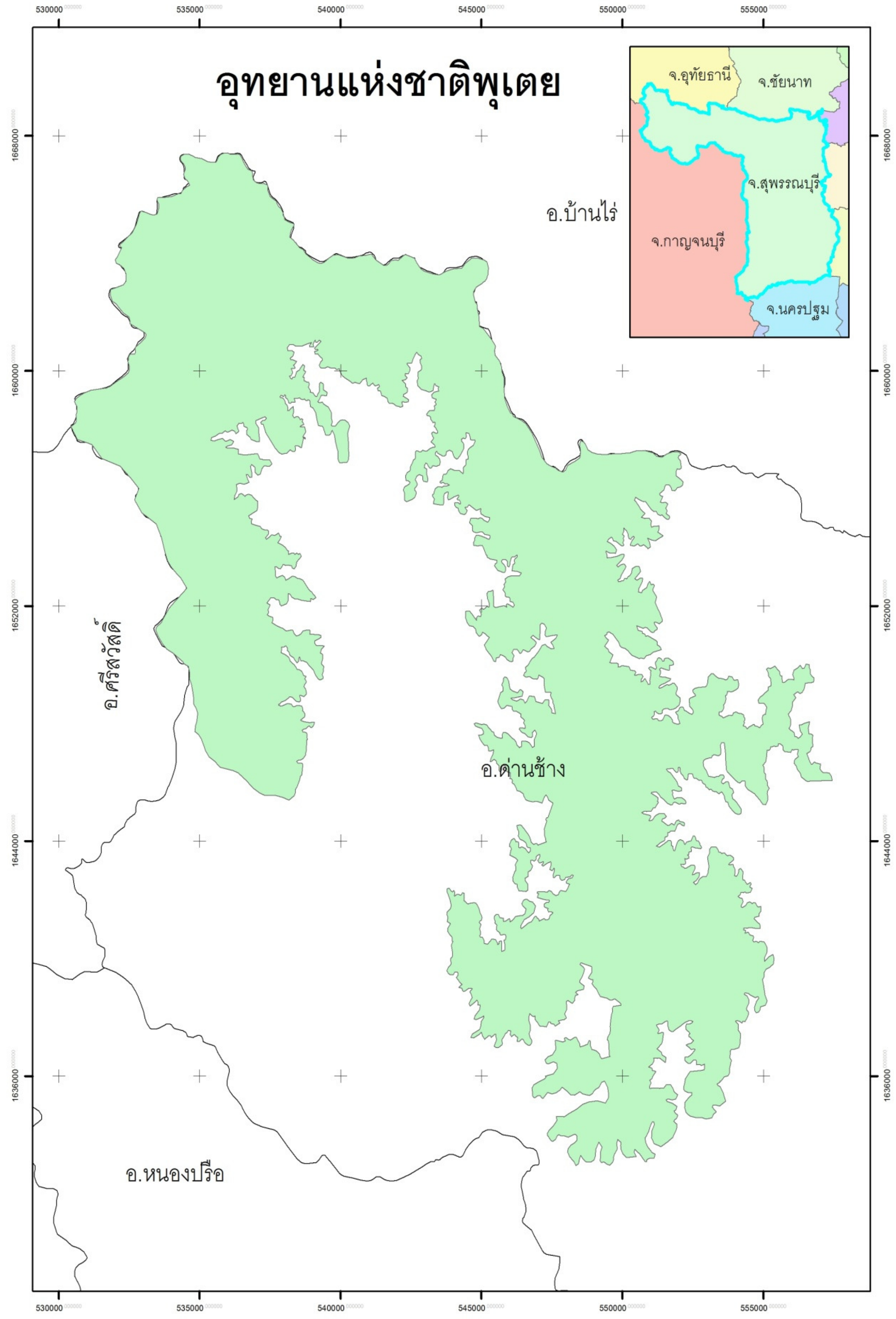
สภาพทั่วไปเป็นเทือกเขาสลับซับซ้อนมีความลาดชันมาก ประกอบด้วยเขาผาแดง เขาพุเตย เขาพุระกำ เขาปลักหมู เขาขโมย เขาม่วงเฒ่า เขาปะโลง และเขาห้วยพลู โดยมียอดเขาเทวดา สูงสุดมีระดับความสูง 1,123 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ซึ่งเทือกเขาเหล่านี้เป็นต้นกำเนิดของลำน้ำหรือห้วยน้ำที่สำคัญหลายสาย ได้แก่ ลำตะเพิน ห้วยเหล็กไหล ห้วยองคต ห้วยองค์พระ ห้วยท่าเดื่อ ห้วยขมิ้น ซึ่งไหลลงเขื่อนกระเสียว อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

2. ลักษณะภูมิอากาศ

สภาพอากาศโดยทั่วไปของอุทยานแห่งชาติพุเตย อากาศค่อนข้างร้อนในช่วงต้นปี และมีฝนตกชุกตลอดปี โดยเฉพาะช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม จะมีปริมาณน้ำบริเวณน้ำตกไหลมากกว่าปกติ

3. พรรณไม้และสัตว์ป่า

สภาพป่าโดยทั่วไปยังมีความอุดมสมบูรณ์อยู่มาก ประกอบด้วย ป่าสนสองใบธรรมชาติ ป่าดิบชื้น ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรังผสมป่าดิบแล้ง พรรณไม้ที่สำคัญได้แก่ เหียง พลวง แดง ชิงชัน ประดู่ มะค่าโมง ไผ่ป่าต่าง ๆ สนสองใบ ส่วนสัตว์ป่ามีอยู่ชุกชุมมาก เนื่องจากมีแหล่งน้ำและแหล่งอาหารสมบูรณ์ สัตว์ป่าทั่วไปได้แก่ เสือ เก้ง ชะนี หมี นางอาย เม่น งูจงอาง งูเห่า หมูป่า ฯลฯ



ภาพที่ 1 แผนที่อุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี (ขอบเขตพื้นที่สีเขียว)

ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาการเติบโตของไม้สนสองใบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยภูมิอากาศที่มีผลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ในพื้นที่ที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 800 เมตร อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี 28.4 องศา ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 1,107 มิลลิเมตร โดยการใช้สว่านเจาะวัดความเพิ่มพูน (Increment Borer) เจาะเอาไส้ไม้ตัวอย่าง จำนวนทั้งหมด 24 ต้น รวม 48 ตัวอย่างแล้วนำมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางรุกขกาลวิทยา ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. การเติบโตของไม้สนสองใบ

1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของปี (พ.ศ.) ของวงปีไม้สนสองใบ

ไม้สนสองใบที่ใช้ในการศึกษา มีลักษณะความกว้างวงปีที่ค่อนข้างแคบ นอกจากนี้ยังพบลักษณะของวงปีปลอม (False Ring) ค่อนข้างมาก ซึ่งการเก็บข้อมูลดำเนินการในเดือนตุลาคม ดังนั้นลักษณะของวงปีวงสุดท้ายที่อยู่ในตำแหน่งติดกับเปลือก ยังมีความกว้างวงปีไม่ครบปี แต่ในการวิเคราะห์ก็ได้ดำเนินการวัดความกว้างของวงปีนั้นด้วย เมื่อตัวอย่างไม้สนสองใบ ผ่านเทคนิค Crossdating ซึ่งเป็นเทคนิคสำหรับกำหนดปี (พ.ศ.) ของวงปีไม้แต่ละวงปีให้ถูกต้อง หลังผ่านขั้น-ตอนการวัดความกว้างวงปีไม้ ข้อมูลความกว้างวงปีไม้จะถูกนำมาทดสอบความถูกต้องของปี (พ.ศ.) ของวงปีไม้โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA ซึ่งกำหนดช่วงเวลาทุก 50 ปี เช่นช่วงเวลาแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2318 ถึง พ.ศ. 2367 และในการคำนวณช่วงเวลาต่อมาจะนำข้อมูลเดิม 25 ปี มาเทียบด้วยโดยช่วงเวลาต่อมาจะครอบคลุม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2343 ถึง พ.ศ. 2392 โดยข้อมูลความกว้างวงปีไม้ทั้งหมดจะนำมาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient) และค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ (Critical Level of Correlation) ที่ยอมรับได้ ในทุกช่วงเวลาจนถึงช่วงเวลาปีปัจจุบัน คือ พ.ศ. 2518 ถึง พ.ศ. 2567

ค่าความสัมพันธ์ของความกว้างวงปีไม้ในกรณีกำหนดช่วงเวลาทุก 50 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ได้กำหนดค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์คือ 0.3281 (Holmes,1983) หากความกว้างวงปีไม้ในช่วงปีใดมีค่าน้อยกว่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์แสดงว่า ความกว้างวงปีไม้ในช่วงเวลาดังกล่าวอาจมีค่าความผันแปรสูงหรือมีความคลาดเคลื่อนของการกำหนดปีในการวัดความกว้างวงปีไม้ ในการวิจัยนี้พบว่าชุดความกว้างวงปีไม้ จาก 48 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่มี

ความสัมพันธ์กับค่าความกว้างวงปีไม้สูงกว่าระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 โดยมีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้น ที่มีบางช่วงเวลาที่ค่าความสัมพันธ์มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ได้แก่

- ตัวอย่างไม้ PTPM 07N พบว่าในช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 ถึง พ.ศ. 2442 มีค่าความสัมพันธ์น้อยกว่าค่าของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ โดยมีค่าเท่ากับ 0.290 แต่เนื่องจากโปรแกรม COFECHA ได้ทำการจำลองค่าความสัมพันธ์ในกรณีมีความผิดพลาดในการนับวงปีขาดหรือเกินในช่วง 10 ปี ซึ่งพบว่า ค่าความสัมพันธ์ 0.290 เป็นค่าความสัมพันธ์ที่มากที่สุด ในช่วงนั้นแล้ว เมื่อพิจารณาจากไส้ไม้ตัวอย่างและค่าความกว้างวงปีในช่วงดังกล่าวพบว่า ค่าความกว้างวงปีช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2393 ถึง พ.ศ. 2442 มีความผันแปรสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

- ตัวอย่างไม้ PTPM 14W พบว่าในช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2418 ถึง พ.ศ. 2467 และ ช่วงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2493 ถึง พ.ศ. 2542 มีค่าความสัมพันธ์น้อยกว่าค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์ โดยมีค่าเท่ากับ 0.280 และ 0.260 ตามลำดับ แต่เนื่องจากโปรแกรม COFECHA ได้ทำการจำลองค่าความสัมพันธ์ในกรณีมีความผิดพลาดในการนับวงปีขาดหรือเกินในช่วง 10 ปี ซึ่งพบว่า ค่าความสัมพันธ์ดังกล่าว เป็นค่าความสัมพันธ์ที่มากที่สุดในช่วงเวลานั้นแล้ว เมื่อพิจารณาไส้ไม้ตัวอย่างและค่าความกว้างวงปีในช่วงดังกล่าว พบว่า ค่าความกว้างวงปีมีความผันแปรสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ

1.2 ชุดข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบ

จากการวัดความกว้างวงปีไม้ที่ได้ผ่านการทดสอบด้วยโปรแกรม COFECHA เพื่อยืนยันปี พ.ศ. ที่วงปีเกิดขึ้น พบว่าลักษณะความกว้างและแคบของวงปีไม้ทั้งหมดที่ศึกษามีรูปแบบคล้ายคลึงกันในปีเดียวกัน จากการศึกษา จำนวนวงปีของตัวอย่างทั้งหมดพบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 8,496 วง ตัวอย่างไส้ไม้ที่มีอายุมากที่สุด มีความกว้างของวงปีวงสุดท้ายในปี พ.ศ. 2322 ดังนั้นจึงสามารถกำหนดช่วงของความกว้างวงปีได้ถึง 230 ปีย้อนหลัง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2322 ถึงปี พ.ศ. 2551 (ภาพที่ 2) โดยพบว่า ปีที่มีลักษณะความกว้างของวงปีกว้างมาก ได้แก่ ปี 2546, 2518, 2497, 2466, 2420, 2376, 2356, 2323 เป็นต้น โดยค่าทางสถิติที่มีความสำคัญในการวัดความกว้างวงปีไม้แต่ละตัวอย่าง ได้แก่ ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก (Correlation with Master) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation), ค่าอัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) และค่าของความอ่อนไหว (Mean Sensitivity) โดยพบว่า ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.95 ค่าสหสัมพันธ์กับอนุกรมหลัก เท่ากับ 0.537 ค่าเฉลี่ยความสัมพันธ์ของค่าอัตตสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.682 และค่าเฉลี่ยของความอ่อนไหว เท่ากับ 0.359 (ตารางที่1) ซึ่งชุดความกว้างวงปีไม้ที่ได้ ยังไม่มีความเหมาะสมในการศึกษา

งานทางด้าน รุกขภูมิอากาศวิทยา (Dendroclimatology) มากนัก เนื่องจากยังเป็นอนุกรมเวลาที่ไม่มีการเคลื่อนไหวรอบๆ ค่าเฉลี่ย (Non-Stationary) หรือยังไม่ได้ลดปัจจัยด้านอายุและปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเติบโตของต้นไม้ดังนั้นค่าความกว้างวงปีไม้จะถูกนำไปสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการศึกษางานทางด้านรุกขภูมิอากาศวิทยา (Dendroclimatology) ต่อไป

1.3 ลักษณะการเติบโตของไม้สนสองใบ

จากการวัดความกว้างวงปีไม้สนสองใบ ทำให้ได้แนวโน้มการเติบโตทางด้านความเพิ่มพูนรายปีทางด้านรัศมีของไม้สนสองใบดังแสดงในภาพที่ 2 โดยการเติบโตของไม้สนสองใบเมื่อพิจารณาจากค่าความกว้างวงปีไม้ พบว่า แนวโน้มความกว้างวงปีไม้มีความผันแปรค่อนข้างสูงตลอดทั้งช่วงอายุ เช่น ในปี พ.ศ. 2322 ถึง พ.ศ. 2332 ความกว้างของวงปีไม้มีลักษณะแคบในปี พ.ศ. 2322 แล้วเพิ่มสูงขึ้นสูงสุดในปี พ.ศ. 2323 และค่อยๆ ลดลงแล้วเพิ่มสูงขึ้นในปี พ.ศ. 2327 ถึง พ.ศ. 2330 และมีค่าลดลงจนถึงปี พ.ศ. 2332 เป็นต้น โดยช่วงปี พ.ศ. 2322 ถึง พ.ศ. 2382 เป็นช่วงที่ความกว้างวงปีมีแนวโน้มโดยเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีเท่ากับ 2.558 มิลลิเมตร ความกว้างวงปีไม้สนสองใบเริ่มลดลงอย่างชัดเจน ในช่วงปี พ.ศ. 2383 ถึง พ.ศ. 2442 โดยมีค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีเท่ากับ 1.658 มิลลิเมตร หลังจากนั้นค่าความกว้างของวงปีไม้สนสองใบมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักโดยค่าความกว้างวงปีมีแนวโน้มค่อยๆ ลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีเท่ากับ 1.063 มิลลิเมตร ในช่วงปี พ.ศ. 2443 ถึง พ.ศ. 2502 และพบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2502 ถึง พ.ศ. 2536 มีค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีน้อยที่สุด คือ 0.689 มิลลิเมตร แต่ภายหลังจากปี 2536 จนถึงปีปัจจุบันพบว่า ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีไม้มีค่าที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีเท่ากับ 1.072 มิลลิเมตร

ค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยของไม้สนสองใบตลอดทั้ง 230 ปี มีค่าเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 1.56 มิลลิ-เมตร โดยเฉลี่ยความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละประมาณ 0.3 เซนติเมตร ซึ่งเป็นอัตราการเติบโตที่ค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการเติบโตของไม้สนสองใบในจังหวัดสุรินทร์และศรีสะเกษ ที่มีอัตราการเพิ่มพูนทางเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.8-1.0 เซนติเมตรต่อปี (ประสิทธิ์และอำไพ, ไม่ระบุปี) จากการศึกษาดังกล่าวนับเป็นการยากในการเปรียบเทียบการเติบโตของไม้สนสองใบในไม้ที่อายุไม่เท่ากัน สาเหตุเนื่องจากในการศึกษานี้เป็นการศึกษาการเติบโตของไม้สนสองใบตลอดทั้งอายุ ซึ่งรวมช่วงที่ต้นไม้มีอัตราการเติบโตที่ลดลงด้วย ส่วนการศึกษาของประสิทธิ์และอำไพ ได้ทำการศึกษาไม้สนสองใบในสถานีทดลองปลูก ทำให้การเติบโตของไม้สนสองใบได้รับการปฏิบัติอย่างดีและเป็นช่วงที่ไม้อายุน้อยซึ่งจะมีการเติบโตที่ค่อนข้างดี ซึ่งต่างจากไม้สนสองใบ

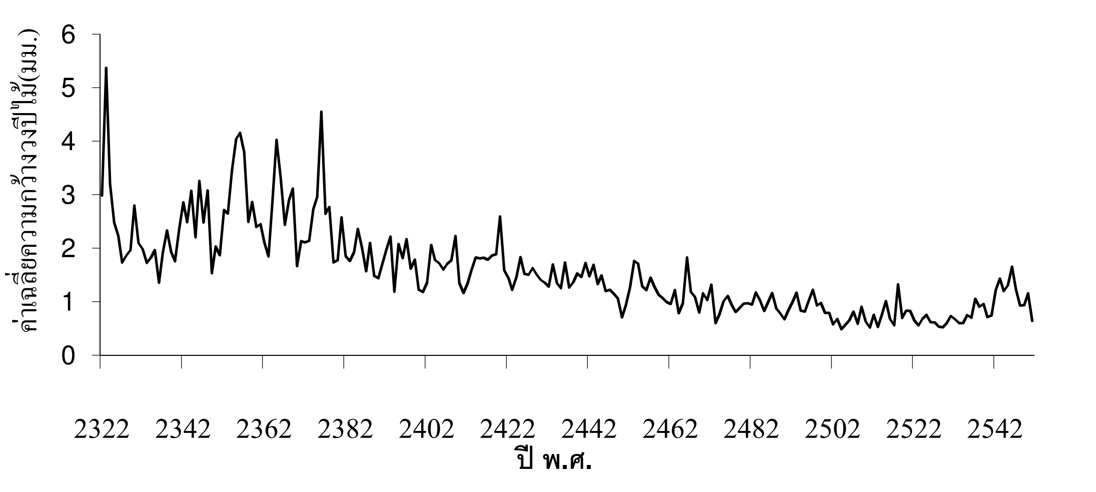
ในธรรมชาติที่จะต้องผ่านระยะสภาพหญ้า (Grass Stage) หลังจากนั้นการเติบโตจะช้าอีกระยะหนึ่ง เมื่อตั้งตัวดีแล้วจึงมีการเติบโตที่รวดเร็ว (Cooling, 1968)

ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติที่สำคัญของแต่ละไส้ไม้ตัวอย่างสนสองใบ

รหัส ตัวอย่าง	ปีเริ่มต้น (พ.ศ.)	จำนวนปี	Correlation with Master	Standard Deviation	Auto-correlation	Mean Sensitivity
PTPM01E	2388	164	0.495	0.644	0.598	0.337
PTPM01W	2378	174	0.465	0.608	0.501	0.337
PTPM02S	2352	200	0.468	1.155	0.821	0.351
PTPM03N	2394	158	0.593	0.859	0.776	0.319
PTPM03S	2404	148	0.578	0.851	0.806	0.311
PTPM04N	2383	169	0.379	0.613	0.443	0.367
PTPM04S	2385	167	0.550	0.637	0.54	0.338
PTPM05N	2364	188	0.580	0.824	0.422	0.368
PTPM05S	2376	176	0.514	1.004	0.687	0.353
PTPM06N	2393	159	0.625	0.405	0.381	0.284
PTPM06S	2382	170	0.633	0.445	0.383	0.321
PTPM07N	2340	212	0.550	1.075	0.807	0.352
PTPM07S	2378	174	0.448	1.035	0.700	0.415
PTPM08N	2344	208	0.541	0.517	0.602	0.351
PTPM08S	2373	179	0.536	0.696	0.448	0.403
PTPM09N	2357	195	0.546	1.484	0.741	0.375
PTPM09S	2332	220	0.493	1.367	0.851	0.311
PTPM10N	2322	230	0.533	0.997	0.757	0.378
PTPM10S	2329	223	0.586	0.830	0.705	0.383
PTPM11E	2395	157	0.479	1.489	0.753	0.355
PTPM11W	2400	152	0.489	1.422	0.705	0.375
PTPM12E	2333	219	0.508	0.943	0.866	0.339
PTPM12W	2364	188	0.518	0.997	0.571	0.447

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รหัสตัวอย่าง	ปีเริ่มต้น (พ.ศ.)	จำนวนปี	Correlation with Master	Standard Deviation	Autocorrelation	Mean Sensitivity
PTPM13E	2334	218	0.520	0.900	0.813	0.371
PTPM13W	2347	205	0.552	0.719	0.715	0.378
PTPM14E	2369	183	0.494	0.830	0.651	0.388
PTPM14W	2372	180	0.374	0.987	0.626	0.446
PTPM15E	2372	180	0.598	0.914	0.703	0.399
PTPM15W	2395	157	0.632	0.873	0.670	0.416
PTPM16E	2367	185	0.566	1.087	0.860	0.257
PTPM16W	2353	199	0.564	1.166	0.903	0.25
PTPM17E	2404	148	0.484	1.459	0.679	0.357
PTPM17W	2406	146	0.538	1.172	0.778	0.280
PTPM18N	2373	179	0.610	0.817	0.626	0.390
PTPM18S	2396	156	0.459	1.381	0.772	0.357
PTPM19E	2376	176	0.648	1.000	0.52	0.364
PTPM19W	2374	178	0.648	0.815	0.589	0.294
PTPM20E	2357	195	0.536	0.805	0.66	0.405
PTPM20W	2330	222	0.616	0.881	0.857	0.335
PTPM21E	2363	189	0.553	1.091	0.824	0.325
PTPM21N	2360	192	0.484	1.166	0.917	0.266
PTPM22N	2356	196	0.545	1.097	0.353	0.534
PTPM22S	2345	207	0.502	1.020	0.775	0.403
PTPM23N	2358	194	0.589	0.929	0.749	0.300
PTPM23S	2353	199	0.539	0.836	0.780	0.310
PTPM24S	2370	182	0.529	0.890	0.406	0.490
ค่าเฉลี่ย		184.69	0.537	0.950	0.682	0.359



ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยความกว้างวงปีไม้สนสองใบตั้งแต่ปี พ.ศ. 2322 ถึงปี พ.ศ. 2551

2. การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้

การศึกษาทางด้านรุกขกาลวิทยา เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศ ไม่สามารถนำข้อมูลความกว้างวงปีไม้มาหาความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านภูมิอากาศได้โดยตรง เนื่องจากค่าความกว้างวงปีไม้เป็นการเติบโตของไม้สนสองใบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตทั้งหมด เช่น ปัจจัยด้านพันธุกรรม ดิน อายุ การได้รับแสง รวมถึงปัจจัยด้านภูมิอากาศต่างๆ ด้วย ดังนั้นจึงควรปรับลดปัจจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นไม้ออก ยกเว้นปัจจัยที่สนใจ คือ ปัจจัยด้านภูมิอากาศ ในขั้นตอนนี้สามารถทำได้โดยการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ ซึ่งเส้นดัชนีวงปีไม้สามารถปรับลดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านภูมิอากาศ เช่น ปัจจัยทางด้านอายุของต้นไม้ และค่าอัตตสหสัมพันธ์ออกไป (Autocorrelation) โดยจำเป็นต้องสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์ตัวแบบการเติบโต (Growth Model)

ข้อมูลความกว้างวงปีที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ตัวแบบการเติบโต โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของวงปีไม้กับเวลา (ปี พ.ศ.) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ในการสร้างตัวแบบการเติบโตนั้นได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) โดยใช้รูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์การเติบโตในรูปแบบต่าง ได้แก่ สมการเชิงเส้น (Linear

Equation) สมการเอ็กซ์โปเนเชียล (Exponential Equation) และสมการโค้งรูปตัว S (S-Curve Equation) โดยมีตัวแบบการถดถอยตามลำดับ ดังนี้

สมการเชิงเส้น : Ring width $= b_o + b_1(x)$ (5)

สมการเอ็กซ์โปเนเชียล : Ring width $= b_o + e^{b\,1(x)}$ (6)

สมการโค้งรูปตัว S : Ring width $= e^{(bo + b1/(x)}$ (7)

โดย b_o = ค่าคงที่

b_1 = ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

x = ปี (พ.ศ.)

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการสร้างตัวแบบการเติบโตได้ผลดังแสดงใน ตารางผนวกที่ 2 และภาพผนวกที่ 1 โดยการเลือกสมการการถดถอยที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (r^2) ค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณ (SE) ค่า F และค่า P-value ดังตารางผนวกที่ 2 โดยพิจารณาค่าทางสถิติที่ได้ ซึ่งค่า P-value ที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ คือ 0.01 แสดงว่าสมการดังกล่าวอยู่ในค่าที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณ (SE) ที่มีค่าน้อยที่สุด (มีค่าเข้าใกล้ค่า 0) เพราะค่าความคลาดเคลื่อนจากการประมาณนี้จะแสดงความคลาดเคลื่อนของการการพยากรณ์ค่าความกว้างวงปีไม้ด้วยปี พ.ศ. และเลือกสมการที่มีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่สุดสูงโดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เนื่องจากค่านี้จะเป็นอิทธิพลของ ปี พ.ศ. ทีมีต่อค่าความกว้างวงปีไม้ สุดท้ายพิจารณาค่า F ที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งแสดงถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระที่มีต่อตัวแปรตาม โดยจะได้ตัวแบบการเติบโตที่มีความเหมาะสมในแต่ละตัวอย่างไส้ไม้ ได้ผลดังตารางที่ 2 ซึ่งไส้ไม้ตัวอย่าง 36 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อย-ละ 78 มีตัวแบบการเติบโตแบบสมการโค้งรูปตัว S และไส้ไม้ตัวอย่าง 9 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 20 มีตัวแบบการเติบโตแบบสมการเอ็กซ์โปเนเชียล และมีเพียงไส้ไม้ตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 2 มีตัวแบบการเติบโตแสดงให้เห็นว่าการเติบโตในรูปแบบเส้นตรง ซึ่งจากตัวแบบที่เหมาะสมแสดงให้เห็นว่าต้นสนสองใบ มีการเติบโตส่วนใหญ่สัมพันธ์ในรูปแบบสมการโค้งรูปตัว S ซึ่งเป็นสมการที่ใช้แสดงการเติบโตของสิ่งมีชีวิต โดยการเติบโตของต้นไม้ เรียกว่า Sigmoid Growth-Curve ทั้งนี้เนื่องจากต้นไม้จะมีอัตราการเติบโตในระยะต่างๆ ตลอดวงจรชีวิตที่ไม่เท่ากัน คือในช่วงลูกไม้เป็นระยะที่การเติบโตเป็นไปอย่างช้าๆ และจะมีการเติบโตที่จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่

ค่อนข้างคงที่ ภายหลังจากโตเต็มที่แล้วเป็นระยะที่ต้นไม้มีการเติบโตเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง (ลดาวัลย์, 2550)

ตารางที่ 2 ตัวแบบที่เหมาะสมในแต่ละไส้ไม้ตัวอย่างสนสองใบ

รหัสตัวอย่าง	ตัวแบบ	R^2	SE	F	P-value
PTPM01E	$1166048.7684 + e^{(-0.0056)(y)}$	0.329	0.404	84.386	0.00
PTPM01W	$e^{((-15.7571) + (39193.3825/y))}$	0.390	0.383	103.694	0.00
PTPM02S	$e^{((-19.2745) + (47155.4216/y))}$	0.422	0.534	144.243	0.00
PTPM03N	$e^{((-25.3162) + (63182.6297/y))}$	0.555	0.397	182.302	0.00
PTPM03S	$e^{((-24.8473) + (61658.0095/y))}$	0.558	0.413	196.570	0.00
PTPM04N	$55796.7911 + e^{(-0.0043)(y)}$	0.203	0.417	42.016	0.00
PTPM04S	$128493.8588 + e^{(-0.0047)(y)}$	0.206	0.456	43.206	0.00
PTPM05N	$1358.2130 + e^{(-0.0027)(y)}$	0.087	0.483	17.813	0.00
PTPM05S	$18.6310 + e^{(-0.0010)(y)}$	0.008	0.578	1.472	0.227
PTPM06N	$e^{((-3.9252) + (9976.3285/y))}$	0.047	0.342	7.652	0.006
PTPM06S	$e^{((-3.2386) + (8255.6700/y))}$	0.032	0.368	5.575	0.019
PTPM07N	$e^{((-19.8511) + (48847.3785/y))}$	0.335	0.573	86.598	0.00
PTPM07S	$e^{((-24.6567) + (59772.0577/y))}$	0.614	0.488	334.349	0.00
PTPM08N	$e^{((-8.6649) + (21833.4683/y))}$	0.131	0.484	26.581	0.00
PTPM08S	$e^{((-14.2374) + (34045.8299/y))}$	0.340	0.479	105.864	0.00
PTPM09N	$e^{((-16.8980) + (41323.3101/y))}$	0.223	0.725	55.523	0.00
PTPM09S	$e^{((-26.2826) + (64011.1548/y))}$	0.641	0.514	388.720	0.00
PTPM10N	$e^{((-16.7568) + (41005.1918/y))}$	0.422	0.540	166.217	0.00
PTPM10S	$e^{((-17.2473) + (41960.2564/y))}$	0.470	0.485	195.986	0.00
PTPM11E	$e^{((-36.6036) + (90909.5076/y))}$	0.649	0.483	276.687	0.00
PTPM11W	$e^{((-40.6527) + (100505.5714/y))}$	0.717	0.471	392.840	0.00
PTPM12E	$e^{((-21.6005) + (52214.9016/y))}$	0.534	0.520	248.696	0.00
PTPM12W	$e^{((-18.0424) + (44224.6507/y))}$	0.329	0.572	90.975	0.00
PTPM13E	$e^{((-20.7680) + (50169.5078/y))}$	0.529	0.470	228.074	0.00
PTPM13W	$e^{((-18.1956) + (43765.1435/y))}$	0.427	0.539	160.617	0.00

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รหัสตัวอย่าง	ตัวแบบ	R^2	SE	F	P-value
PTPM14E	$e^{((-17.2816) + (42489.5860/y))}$	0.373	0.485	107.443	0.00
PTPM14W	$e^{((-14.0262) + (34720.9937/y))}$	0.160	0.688	33.827	0.00
PTPM15E	$e^{((-23.1123) + (57663.6715/y))}$	0.366	0.567	89.340	0.00
PTPM15W	$e^{((-26.9917) + (66148.4434/y))}$	0.492	0.580	172.469	0.00
PTPM16E	$e^{((-29.8591) + (73487.6760/y))}$	0.796	0.358	767.379	0.00
PTPM16W	$e^{((-30.2968) + (74259.8927/y))}$	0.715	0.416	459.997	0.00
PTPM17E	$17218588472.0541 + e^{(-0.0093)(y)}$	0.365	0.525	83.904	0.00
PTPM17W	$1120812088103.9790 + e^{(-0.0110)(y)}$	0.543	0.429	171.006	0.00
PTPM18N	$671645.7418 + e^{(-0.0054)(y)}$	0.203	0.559	45.013	0.00
PTPM18S	$e^{((-22.0353) + (54964.1025/y))}$	0.341	0.567	79.553	0.00
PTPM19E	$e^{((-10.6990) + (26929.8432/y))}$	0.270	0.378	65.002	0.00
PTPM19W	$429838.1726 + e^{(-0.0051)(y)}$	0.250	0.450	58.075	0.00
PTPM20E	$e^{((-19.3982) + (46472.7278/y))}$	0.402	0.614	147.853	0.00
PTPM20W	$e^{((-13.0768) + (31907.0259/y))}$	0.207	0.588	50.310	0.00
PTPM21E	$e^{((-23.4864) + (57844.8536/y))}$	0.668	0.378	381.406	0.00
PTPM21N	$e^{((-33.8588) + (82700.9529/y))}$	0.777	0.403	650.837	0.00
PTPM22N	$6.9209 +(-0.0022)(y)$	0.013	1.093	2.577	0.11
PTPM22S	$e^{((-28.8887) + (69547.9858/y))}$	0.614	0.553	325.998	0.00
PTPM23N	$e^{((-17.5490) + (43501.7253/y))}$	0.519	0.392	206.977	0.00
PTPM23S	$e^{((-17.4137) + (42542.3054/y))}$	0.446	0.456	158.433	0.00
PTPM24S	$e^{((-10.8438) + (26632.4951/y))}$	0.112	0.657	22.578	0.00

2.2 การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ

การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาทั้งหมดได้ผลดังภาพที่ 4 ซึ่งได้ขจัดปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ใช่ด้านภูมิอากาศให้น้อยลงและกำจัดค่าอัตตสหสัมพันธ์ (Autocorrelation) ออกไป ทั้งนี้มีตัวอย่างที่มีความเหมาะสมทางสถิติ จำนวนทั้งหมด 24 ต้นรวม 43 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่ไม่มีตัวแบบที่เหมาะสม ซึ่งมีค่า P-value ที่มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ คือ

0.01 คือตัวอย่างรหัส PTPM05S, PTPM06S, PTPM22N โดยมีค่า P-value ของตัวแบบเท่ากับ 0.227, 0.019, 0.110 ตามลำดับ

จากตารางที่ 3 แสดงค่าทางสถิติต่างๆของเส้นดัชนีวงปีไม้ที่ได้ลดปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ใช่ปัจจัยด้านภูมิอากาศออก ทำให้ค่าดัชนีวงปีไม้มีลักษณะเป็นอนุกรมเวลาที่มีการเคลื่อนไหวรอบๆ ค่าเฉลี่ย (Stationary) โดยค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1 และนอกจากนี้ค่าอัตตสหสัมพันธ์ได้ถูกกำจัดออกไป ดังนั้นดัชนีวงปีไม้ดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมในการศึกษางานทางด้านรุกขภูมิอากาศวิทยาต่อไป

ตารางที่ 3 ค่าทางสถิติของเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ

รายการ	ค่าสถิติ
ค่าเฉลี่ย (Mean)	1.000
ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Std. Error of Mean)	0.022
ค่ามัธยฐาน (Median)	0.914
ฐานนิยม (Mode)	0.820
ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Std. Deviation)	0.332
ค่าความแปรปรวน(Variance)	0.110
ค่าความเบ้ (Skewness)	1.697
ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าความเบ้ (Std. Error of Skewness)	0.160
ค่าความโด่ง (Kurtosis)	3.644
ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าความโด่ง (Std. Error of Kurtosis)	0.320
ค่าพิสัย (Range)	2.080
ค่าต่ำสุด (Minimum)	0.500
ค่าสูงสุด (Maximum)	2.580

จากผลการศึกษา เมื่อพิจารณาเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบที่เฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) เท่ากับ 15 ปี ดังภาพที่ 4 พบว่าเส้นดัชนีนี้มีการแบ่งออกเป็น 4 ช่วงเวลา ดังนี้

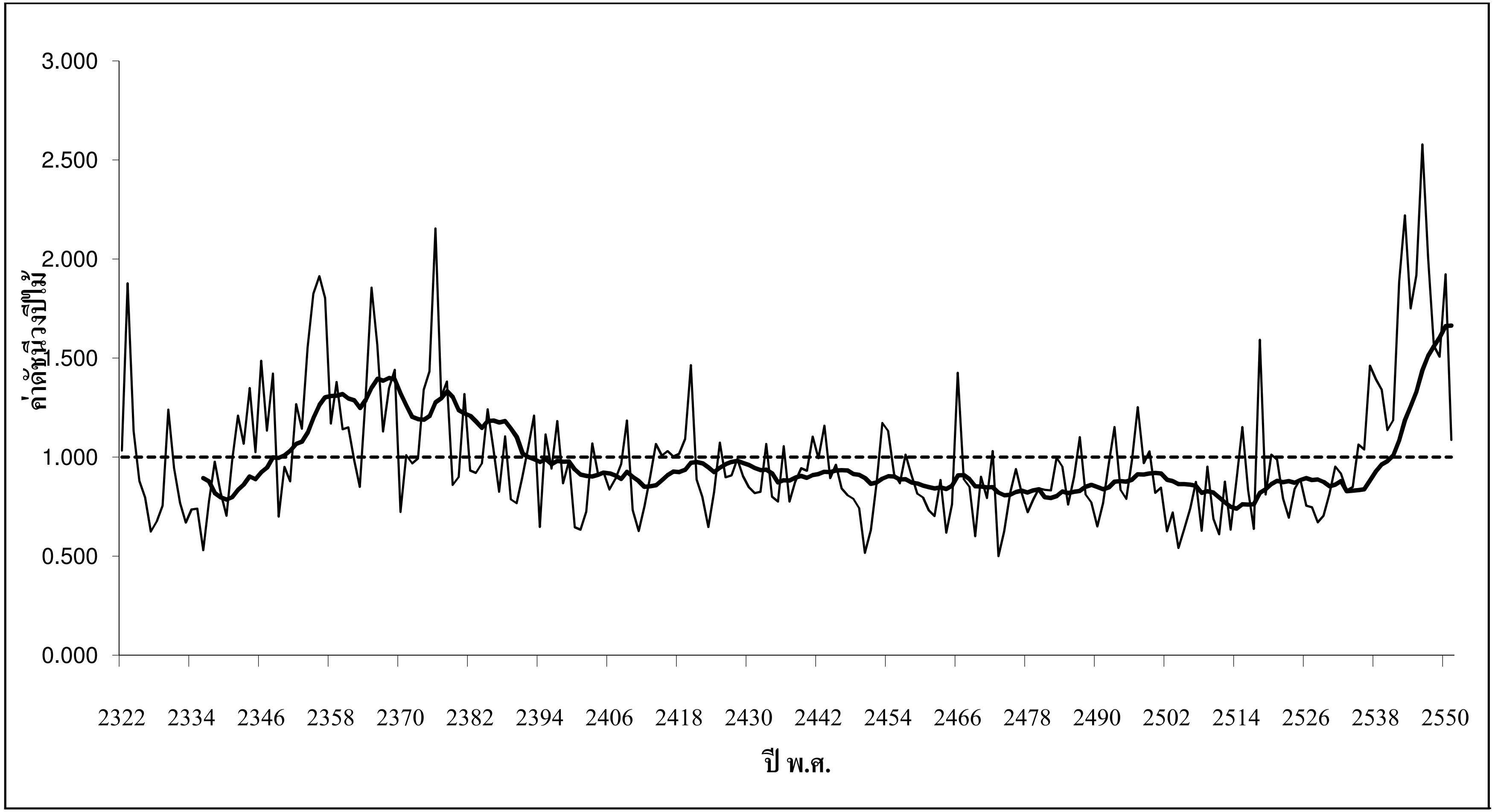
-ช่วงเวลาแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2322 – 2369 การเติบโตของต้นสนสองใบมีลักษณะเพิ่มสูงขึ้นจากค่าเฉลี่ยเส้นดัชนีวงปีไม้ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1) จนถึงปี พ.ศ. 2369 และค่อยๆ ลดลง โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.250

-ช่วงเวลาที่สองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2370 – 2400 การเติบโตของต้นสนสองใบมีลักษณะค่อยๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด จากที่เคยเพิ่มขึ้นมาโดยตลอดโดยลดลงมาอยู่ที่ระดับใกล้ค่าเฉลี่ย ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.049

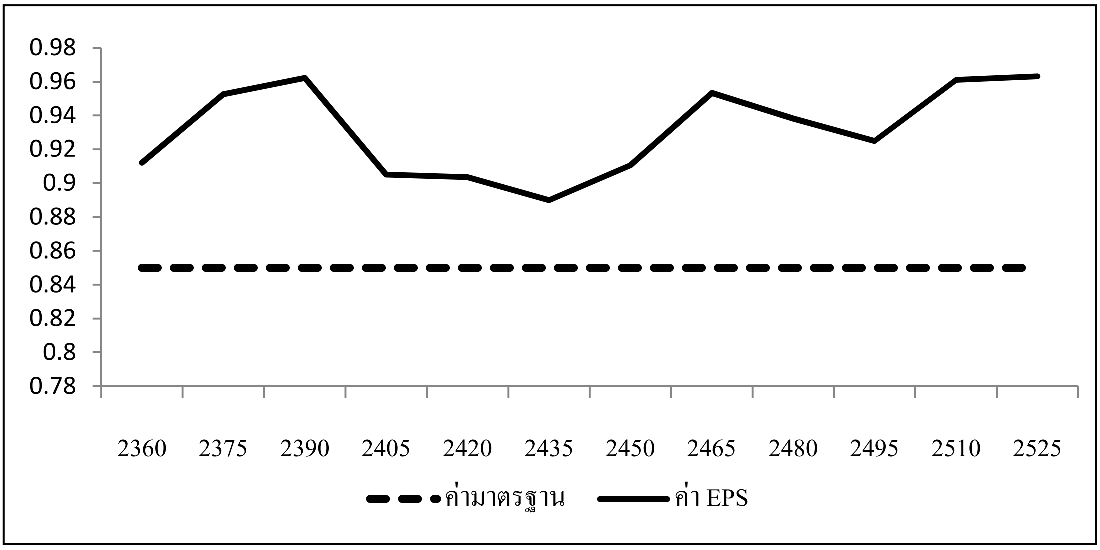
-ช่วงเวลาที่สามตั้งแต่ปี พ.ศ. 2401 – 2535 เป็นช่วงที่การเติบโตค่อนข้างที่จะคงที่โดยการเติบโตจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.870

-ช่วงเวลาที่สี่ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 จนถึงปีปัจจุบัน การเติบโตของต้นสนสองใบมีลักษณะคล้ายการเติบโตในช่วงแรก ที่มีแนวโน้มการเติบโตที่มากขึ้น โดยในช่วงนี้มีการเติบโตของไม้สนสองใบสูงกว่าในช่วงแรก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.625

นอกจากนี้เพื่อเป็นการยืนยันว่าเส้นดัชนีวงปีไม้ที่ถูกสร้างขึ้นมามีความถูกต้องหรือน่าเชื่อถือ ได้มีการตรวจสอบด้วย ค่า EPS (Expressed Population Signal) ดังตารางผนวกที่ 4 ซึ่งเป็นค่าแสดงความน่าเชื่อถือของข้อมูลอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่างและค่าความสัมพันธ์ของทุกตัวอย่าง โดยระดับของค่า EPS ที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในการศึกษาในด้านรุกขกาลวิทยา คือ มากกว่า 0.85 (Wigley *et al.*, 1984) ดังแสดงใน ภาพที่ 4 โดยพบว่าเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบในทุกช่วงอายุมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยอ้างอิงกับจำนวนตัวอย่าง



ภาพที่ 3 ค่าดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เท่ากับ 15 ปี



ภาพที่ 4 ค่า EPS ของดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับค่า EPS มาตรฐาน

2.3 การเปรียบเทียบเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นกับเส้นดัชนีวงปีไม้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN

การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ เพื่อปรับลดปัจจัยต่างๆที่ไม่ใช่ ปัจจัยด้านภูมิอากาศออกไป สามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN (Cook and Peters, 1981) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับในวิชาการด้านรุกขกาลวิทยา โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN จะใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนเชียลทางลบ ในการวิเคราะห์ตัวแบบการเติบโต ซึ่งหากมีค่าทางสถิติที่น้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ก็จะใช้รูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ในลำดับต่อมา ซึ่งในขั้นตอนนี้ค่าอัตตสหสัมพันธ์ และปัจจัยต่างๆ ที่ไม่ใช่ปัจจัยภูมิอากาศจะถูกปรับให้น้อยลง จากนั้นโปรแกรมจะทำการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ จำนวน 3 เส้น แบ่งออกเป็น Standard Chronology (STD), Arstan Chronology (ARS) และ Residual Chronology (RES) ตามลำดับ

จากผลการศึกษา รูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ส่วนใหญ่เป็นรูปแบบการเติบโตแบบสมการโค้งรูปตัว S (S-Curve Equation) ที่มีค่าทางสถิติที่เหมาะสมที่สุด (ร้อยละ 78) ดังนั้นการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้จึงไม่ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN ในการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ เนื่องจากรูปแบบสมการโค้งรูปตัว S มีค่าทางสถิติที่เหมาะสมมากกว่าค่าความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนเชียลทางลบที่โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN กำหนด เมื่อทำการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้เสร็จแล้ว ได้ทำการเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ของเส้น

ดัชนีทั้ง 3 เส้นที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า เส้นดัชนีวงปีไม้ทั้งสี่มีความสัมพันธ์กันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แสดงว่าเส้นดัชนีวงปีไม้ทั้งสี่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจึงนับได้ว่าเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือในการนำไปศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยภูมิอากาศต่อไป

จากตารางที่ 5 แสดงค่าสถิติที่สำคัญในการพิจารณาความเหมาะสมของเส้นดัชนีวงปีไม้ที่เหมาะสมมากที่สุด โดยพิจารณาค่าเฉลี่ยที่มีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุดและค่าส่วนเบี่ยงเบน-มาตรฐาน โดยเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นเองมีค่าทางสถิติที่เหมาะสมที่สุด คือ ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 1 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่มีค่าสูงสุด เนื่องจากในการศึกษาทางด้านรุกขภูมิอากาศวิทยานั้นต้องการดูถึงค่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นในปีที่ผ่านมา ซึ่งบ่งชี้สภาพการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นในการศึกษาด้านรุกขภูมิอากาศวิทยาในประเทศไทย การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ควรใช้วิธีการคำนวณเองมากกว่าใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN เนื่องจากไม้ส่วนใหญ่มีการเติบโตในรูปแบบความสัมพันธ์แบบสมการโค้งรูปตัว S ซึ่งต่างจากที่โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN กำหนด

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ของเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นกับเส้นดัชนีวงปีไม้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN

ดัชนีวงปีไม้	ค่าทางสถิติ	STD	ARS	RES	INDEX
STD	Pearson Correlation	1	0.808	0.984	0.950
	P-value	-	0.000	0.000	0.000
ARS	Pearson Correlation	0.808	1	0.779	0.746
	P-value	0.000	-	0.000	0.000
RES	Pearson Correlation	0.984	0.779	1	0.946
	P-value	0.000	0.000	-	0.000
INDEX	Pearson Correlation	0.950	0.746	0.946	1
	P-value	0.000	0.000	0.000	-

กำหนดให้
STD = Standard Chronology
ARS = Arstan Chronology
RES = Residual Chronology
INDEX = เส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นเอง

ตารางที่ 5 ค่าสถิติของเส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นและค่าสถิติของเส้นดัชนีวงปีไม้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN

เส้นดัชนีวงปีไม้	ค่าเฉลี่ย	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
STD	0.969	0.287
ARS	0.971	0.225
RES	0.964	0.280
INDEX	1.000	0.332

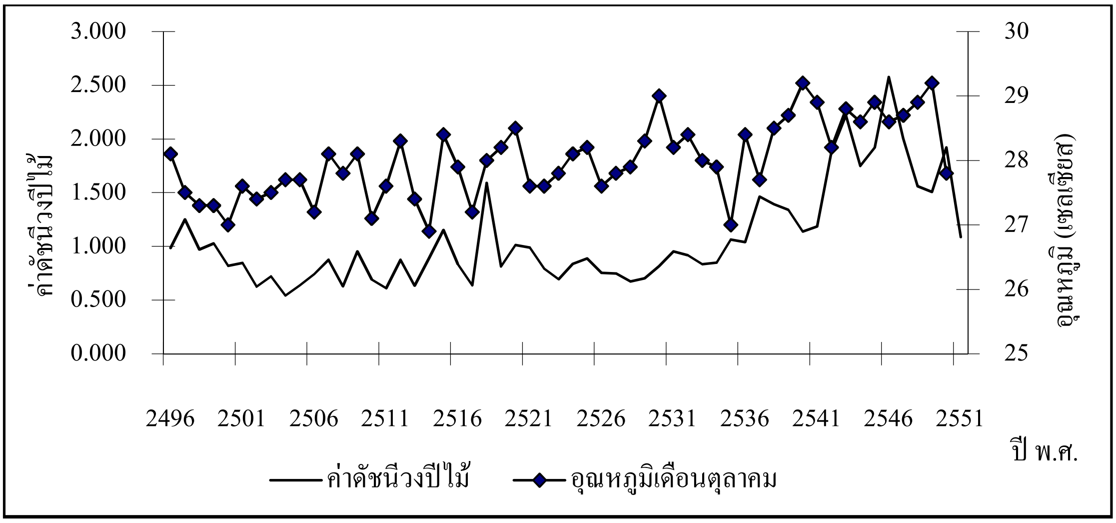
กำหนดให้ STD = Standard Chronology
ARS = Arstan Chronology
RES = Residual Chronology
INDEX = เส้นดัชนีวงปีไม้ที่สร้างขึ้นเอง

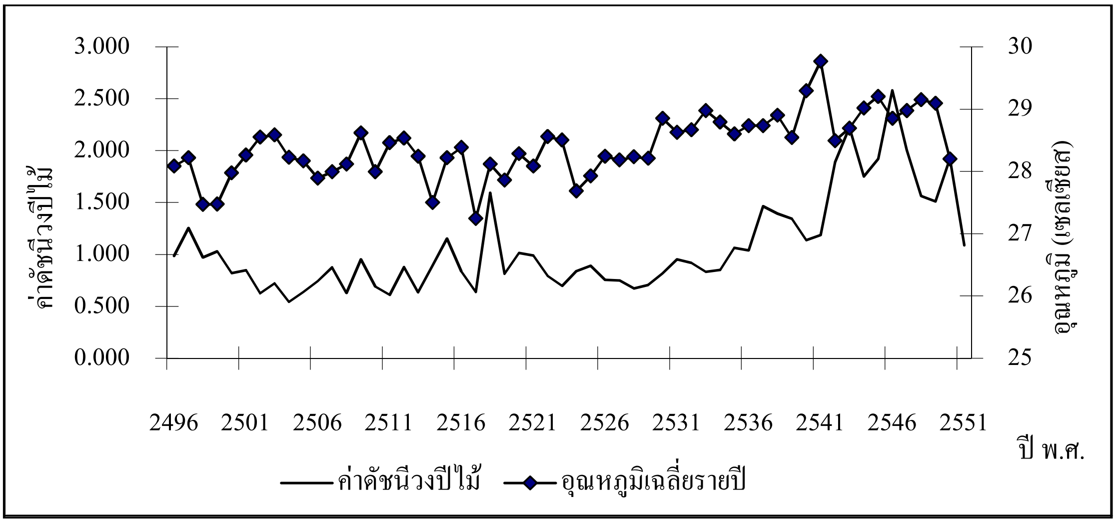
4. การวิเคราะห์ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

ในการวิเคราะห์ผลของปัจจัยภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบโดยใช้ชุดข้อมูลดัชนีวงปีไม้สนสองใบ และปัจจัยทางด้านภูมิอากาศได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและรายปี ปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือนและรายปี และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนและรายปี โดยรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี จากดัชนีวงปีไม้แสดงในตารางผนวกที่ 3 สามารถอธิบายอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศต่อการเติบโตไม้สนสองใบ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลปัจจัยด้านภูมิอากาศต่างๆ ในตารางผนวกที่ 5 ตารางผนวกที่ 6 ตารางผนวกที่ 7 ได้ผลการศึกษาดังนี้

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือน และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของเดือนตุลาคมในแต่ละปี มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($P<0.01$) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยเดือนตุลาคมของแต่ละปี มีค่าเท่ากับ 0.27 ส่วนปริมาณน้ำฝนรวมรายเดือน และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับปริมาณน้ำฝนรวมรายปี อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี ดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีมีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี มีค่าเท่ากับ 0.19 ส่วนปริมาณน้ำฝนรวมรายปี และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ

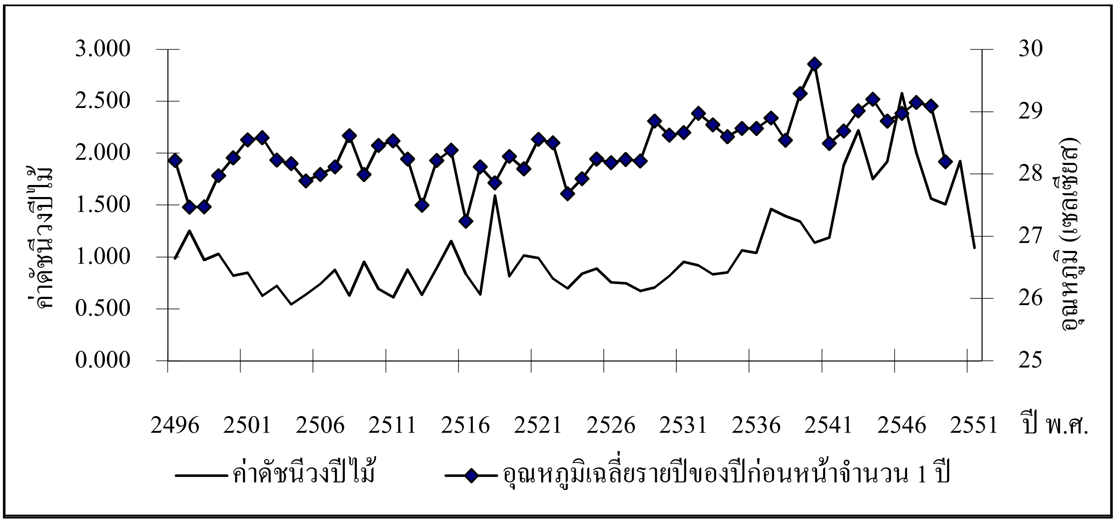




ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับอุณหภูมิในเดือนตุลาคมและอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีในปีปัจจุบัน

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้กับปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปี

ของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี ดังแสดงในภาพที่ 6 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี มีความสัมพันธ์ทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (P<0.01) กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้า จำนวน 1 ปี มีค่าเท่ากับ 0.22 โดยปริมาณน้ำฝนรวมรายปีของปีก่อนหน้า 1 ปี และความชื้น-สัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้า 1 ปี ไม่มีความสัมพันธ์ทางสถิติกับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวงปีไม้สนสองใบกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี

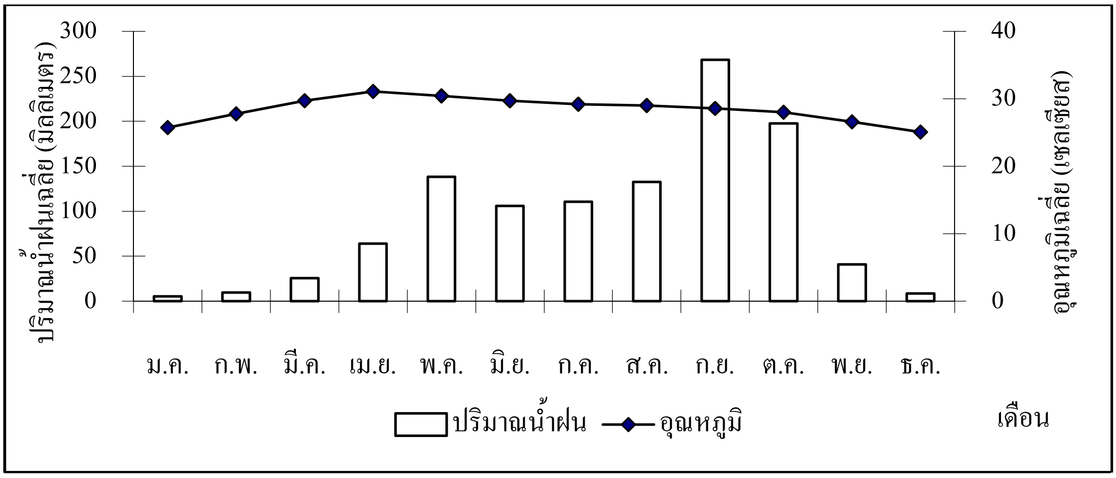
จากผลการศึกษาที่ได้สามารถสรุปได้ว่า การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ โดยลดอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องกับภูมิอากาศ โดยการสร้างข้อมูลดัชนีวงปีไม้สนสองใบแล้วทำการศึกษาความสัมพันธ์กับข้อมูลด้านภูมิอากาศ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ โดยอุณหภูมิรายปีของปีก่อนหน้า 1 ปี มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบมากที่สุด โดยเมื่อวิเคราะห์อุณหภูมิรายเดือน อุณหภูมิของเดือนตุลาคมของในแต่ละปี พบว่ามีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Buckley *et al*., (1995) ที่ได้วิเคราะห์ความกว้างของวงปีไม้สนสองใบในอุทยานแห่งชาติทุ่งแสลงหลวง จังหวัดพิษณุโลก พบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกกับอุณหภูมิช่วงก่อนเดือนกันยายนและมีความสัมพันธ์ทางลบกับปริมาณน้ำฝน และนอกจากนี้ Boonchirdchoo (1996) ยังได้วิเคราะห์วงปีไม้สนสองใบและสนสามใบ บริเวณอุทยาน-แห่งชาติทุ่งแสลงหลวง จังหวัดพิษณุโลก และอุทยานแห่งชาติน้ำหนาว จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยรายปีมีความสัมพันธ์กับการเติบโตของไม้สนมากกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี

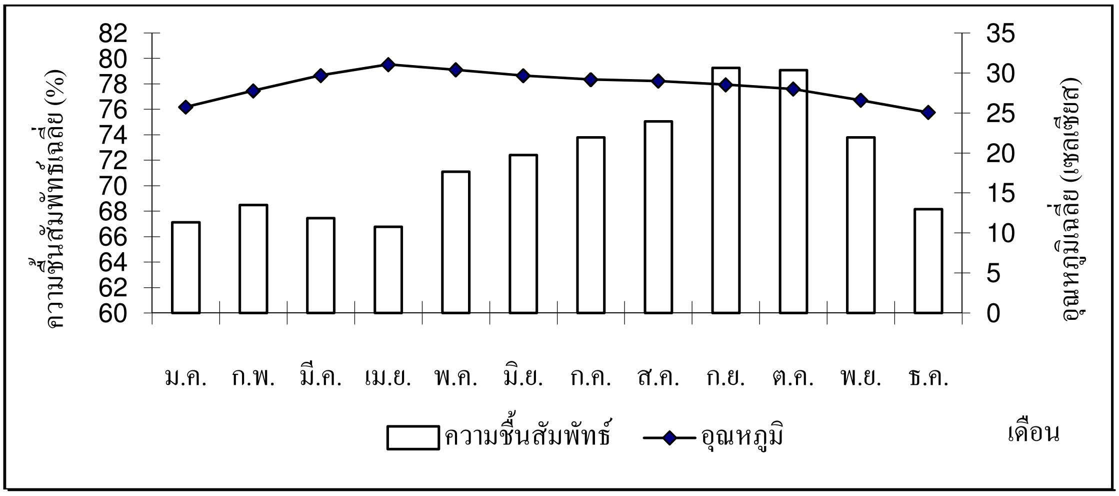
และยังพบว่าปริมาณน้ำฝนช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคมมีความสัมพันธ์กับความกว้างวงปีด้วย ส่วน Pumijumnong and Wanyaphet (2006) ได้ศึกษากิจกรรมของแคมเบียมในไม้สนสองใบ ในเขตภาคเหนือ พบว่า พบว่าการพัฒนาการของแคมเบียม มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับปริมาณน้ำฝนในเดือนเมษายนและพฤษภาคม และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยด้านภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สัก โดย Palakit (2004) และ พบว่าการเติบโตของไม้สักมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณน้ำฝนในเดือนกรกฎาคมและมีความสัมพันธ์ทางลบกับอุณหภูมิในเดือนตุลาคม และ Buckley *et al.* (2007) พบว่าความผันแปรของการเติบโตรายปีของไม้สักขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินที่มีอยู่ทั้งในช่วงต้นและปลายฤดูมรสุม

จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าการเติบโตไม้สักมีความสัมพันธ์ทางบวกกับปริมาณน้ำฝน ส่วนไม้สนสองใบในเขตภาคเหนือจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน ส่วนไม้สนสองใบในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอุณหภูมิเฉลี่ยรายปี และอุณหภูมิรายเดือนของเดือนต่างๆ ไม่แน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่ศึกษา ดังนั้นไม้สนสองใบในประเทศไทย จึงมีการเติบโตที่ตอบสนองต่อปัจจัยภูมิอากาศโดยเฉพาะอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเหมาะสมในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพอุณหภูมิ

จากการศึกษาพบว่านอกจากอุณหภูมิในเดือนตุลาคม ที่เป็นสัญญาณชี้ถึงการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี เพื่อให้การวิเคราะห์มีความชัดเจนขึ้นจึงได้วิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยภูมิอากาศต่างๆ กับอุณหภูมิ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน (ตารางผนวกที่ 6 และ 7) พบว่า ในช่วงเดือนกันยายนมีปริมาณปริมาณน้ำฝนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ เดือนตุลาคม โดยเมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นไม้ พบว่า ปริมาณน้ำฝนนับว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ แต่เนื่องจากต้นสนสองใบจะมีช่วงที่ผ่านความแห้งแล้งเป็นช่วงเวลานานหลายเดือน (ภาพที่ 7) ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายนมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร หลังจากนั้นปริมาณน้ำฝนเริ่มมีมากขึ้น โดยในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนระหว่าง 100 - 150 มิลลิเมตร และปริมาณน้ำฝนมากที่สุดในเดือนกันยายนและลดลงเล็กน้อยในเดือนตุลาคม โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนมากกว่า 200 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนที่ค่อนข้างสูงตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายน จากข้อมูลดังกล่าว เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนแล้วพบว่าในขณะที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนมีแนวโน้มมากขึ้น ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนนั้น อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนมีแนวโน้มลดลงตั้งแต่เดือนธันวาคม

โดยตั้งแต่เดือนกันยายนอุณหภูมิเริ่มลดลงน้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นว่า ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนมีอย่างเพียงพอต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในช่วงเดือนตุลาคม แต่อุณหภูมิมีการลดลงจนถึงระดับจำกัดที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีความสัม-พันธ์ทางบวก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในระดับที่เหมาะสมจะทำให้ไม้สนสองใบมีการเติบโตที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่งอาจมีผลกระทบต่อการเติบโตของไม้สนสองใบได้ ซึ่งในบริเวณอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละเดือนน้อยกว่า 35 องศาเซลเซียส ทำให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจึงมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงจนถึงระดับหนึ่งอาจมีผลกระทบต่อการเติบโตของไม้สนสองใบได้ ซึ่งจะต้องทำการศึกษาในพื้นที่แห่งอื่นๆ ต่อไป





ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนกับปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน

นอกจากนี้ พบว่าความสัมพันธ์ของเส้นดัชนีวงปีไม้กับอุณหภูมิเฉลี่ย สามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอดีต โดยพิจารณาเส้นดัชนีไม้สนสองใบ (ภาพที่ 4) พบว่า ปี พ.ศ. 2322 จนถึงปี พ.ศ. 2369 อุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยมีค่ามากว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.12 และค่อย ๆ ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนจนถึงปี พ.ศ. 2400 โดยจากเส้นดัชนีวงปีไม้พบว่าช่วงเวลาสองช่วงเวลานี้ มีลักษณะอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างชัดเจนจากค่าเฉลี่ย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Buckley *et al*., (2007) ที่ศึกษาดัชนีวงปีไม้สัก ในจังหวัดแม่ฮ่องสอน เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงและความรุนแรงในอดีตของมรสุมฤดูร้อนซึ่งดัชนีวงปีไม้ชี้ว่ามีช่วงความแห้งแล้งอยู่สองช่วงคือตอนต้นของศตวรรษที่ 18 และตอนกลางของศตวรรษที่ 18 (พ.ศ. 2393) โดยผลที่ได้มีความสอดคล้องกับบันทึกข้อมูลปะการังจากเกาะกาลาปากอสที่พบอุณหภูมิพื้นผิวน้ำทะเลสูงผิดปกติในเขตแปซิฟิก และข้อมูลจากหินงอกในประเทศอินเดียที่พบช่วงความแห้งแล้งที่ยาวนานของศตวรรษที่ 18 (พ.ศ. 2343-2443) ด้วย ส่วนช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2401 จนถึงปี พ.ศ. 2535 เส้นดัชนีวงปีไม้มีแนวโน้มเริ่มคงที่ โดยมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 จนถึงปีปัจจุบัน ดัชนีวงปีไม้สนสองใบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงนี้มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ย ถึง 0.625 ซึ่งจากผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและยังมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์โลก-ร้อน (Global Warming) ในปัจจุบัน เส้นดัชนีวงปีไม้มีข้อสังเกตุคือ ในช่วงเวลานี้จะพบเหตุการณ์ที่ผิดปกติ (Irregular Effect) คือพบปีที่มีค่าเส้นดัชนีวงปีไม้สูงกว่าค่าเฉลี่ยอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ ปี พ.ศ. 2375, พ.ศ. 2419, พ.ศ. 2465, พ.ศ. 2517 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีระยะเวลาประมาณ 44 ถึง 52 ปี คล้ายเป็น อิทธิพลของวัฏจักร (Cyclical Effect) โดยพิจารณาเส้นดัชนีวงปีไม้พบว่า อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาเป็นวัฏจักรประมาณ 44 ถึง 52 ปี อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาย้อนอดีตให้ยาวขึ้น เพื่อให้การศึกษาแนวโน้มมีความชัดเจนและถูกต้องมากขึ้น

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการเติบโตของไม้สนสองใบเพื่อศึกษาผลของปัจจัยภูมิอากาศที่มีผลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ได้ผลการศึกษาดังนี้

1. การเติบโตของไม้สนสองใบ

การศึกษาทางด้านรุกขกาลวิทยา (Dendrochronology) ขั้นตอนที่สำคัญก่อนการนำข้อมูลความกว้างวงปีที่ได้ไปประยุกต์ใช้ คือ การนำข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบ มาทดสอบความถูกต้องของปี (พ.ศ.) ของวงปีไม้หลังผ่านขั้นตอนการวัดความกว้างวงปีไม้ โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป COFECHA โดยกำหนดช่วงเวลาทุก 50 ปี ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ซึ่งกำหนดค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์คือ 0.3281 พบว่าชุดความกว้างวงปีไม้จาก 48 ตัวอย่าง มีเพียง 2 ตัวอย่างเท่านั้น ที่มีบางช่วงเวลาที่ค่าความสัมพันธ์มีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดของระดับวิกฤตของสหสัมพันธ์

จากการพิจารณาชุดข้อมูลความกว้างวงปีไม้สนสองใบ ที่มีจำนวนวงปีทั้งสิ้น 8,496 วง ตัวอย่างไส้ไม้ที่มีอายุมากที่สุด มีความกว้างของวงปีวงสุดท้ายในปี พ.ศ. 2322 ดังนั้นจึงสามารถกำหนดช่วงของความกว้างวงปีได้ถึง 230 ปีย้อนหลัง ในช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2322 ถึงปี พ.ศ. 2551 เมื่อพิจารณาการเติบโตรายปีของไม้สนสองใบพบว่าการเติบโตของไม้สนสองใบมีความผันแปรค่อนข้างสูงตลอดทั้งช่วงอายุ โดยค่าความกว้างวงปีเฉลี่ยของไม้สนสองใบมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1.56 มิลลิเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นเฉลี่ยปีละ 0.3 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์ตัวแบบการเติบโตของไม้สนสองใบที่เหมาะสมในแต่ละไส้ไม้ตัวอย่าง พบว่าไม้สนสองใบมีตัวแบบการเติบโตแบบสมการโค้งรูปตัว S (S-Curve Equation) จำนวน 36 ไส้ไม้ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 78 และไส้ไม้ตัวอย่างมีตัวแบบการเติบโตแบบสมการเอ็กซ์โปเนเชียล (Exponential Equation) จำนวน 9 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 20 โดยมีเพียงไส้ไม้ตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 2 เท่านั้นมีตัวแบบการเติบโตในรูปแบบเส้นตรง (Linear Equation) แสดงให้เห็นว่าต้นสนสองใบ ส่วนใหญ่มีการเติบโตสัมพันธ์ในรูปแบบสมการโค้งรูปตัว S ซึ่งเป็นสมการที่ใช้แสดงการเติบโตของสิ่งมีชีวิตที่เรียกว่า Sigmoid Growth Curve

2. การสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้

การศึกษาทางด้านรุกขกาลวิทยา เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะภูมิอากาศ ไม่สามารถนำข้อมูลความกว้างวงปีไม้มาหาความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านภูมิอากาศได้โดยตรง เนื่องจากค่าความกว้างวงปีไม้เป็นการเติบโตของไม้สนสองใบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเติบโตทั้งหมด ดังนั้นจึงได้ปรับลดปัจจัยบางประการที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของต้นไม้ออก ยกเว้นปัจจัยที่สนใจ คือ ปัจจัยด้านภูมิอากาศ ซึ่งสามารถทำได้โดยการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ จากการศึกษาพบรูปแบบการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ส่วนใหญ่เป็นรูปแบบการเติบโตแบบสมการโค้งรูปตัว S ที่มีค่าทางสถิติที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้จึงไม่ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN ในการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้ เนื่องจากรูปแบบสมการโค้งรูปตัว S มีค่าทางสถิติที่เหมาะสมมากกว่าค่าความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนเชียลทางลบที่โปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN กำหนด โดยเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบที่ได้ ครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2322-2551 ซึ่งเป็นเส้นดัชนีจากต้นไม้ที่มีชีวิตที่มีความยาวมากในพื้นที่เขตภาคกลาง ซึ่งนับเป็นข้อมูลตัวแทนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอดีตของพื้นที่ภาคกลาง ซึ่งมีความยาวถึง 230 ปีย้อนหลัง

เมื่อทำการสร้างเส้นดัชนีวงปีไม้เสร็จแล้ว ได้นำเส้นดัชนีดังกล่าวเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์กับเส้นดัชนีทั้ง 3 เส้นที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป ARSTAN เส้นดัชนีวงปีไม้ทั้งสี่ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติจึงนับได้ว่าเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบที่สร้างขึ้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือในการนำไปศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยภูมิอากาศ

3. การวิเคราะห์ผลของภูมิอากาศต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ

ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นดัชนีวงปีไม้ (Tree-ring Index) และปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีและรายเดือน ปริมาณน้ำฝนรายปีและรายเดือน และความชื้น-สัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีและรายเดือน ซึ่งรวบรวมจากสถานีอุตุนิยมวิทยา อ.เมือง จ.สุพรรณบุรี เมื่อนำปัจจัยด้านภูมิอากาศต่างๆ มาหาความสัมพันธ์กับเส้นดัชนีวงปีไม้สนสองใบ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของแต่ละปีและอุณหภูมิเฉลี่ยรายปีของปีก่อนหน้าจำนวน 1 ปี และอุณหภูมิเดือนตุลาคมมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

นอกจากอุณหภูมิที่เป็นสัญญาณบ่งชี้ถึงการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี เพื่อให้การวิเคราะห์มีความชัดเจนขึ้นจึงได้วิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยภูมิอากาศต่างๆ กับอุณหภูมิ ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนรายเดือนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ เนื่องจากเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนพบว่า ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือนมีแนวโน้มมากขึ้น ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนพฤศจิกายนนั้น อุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนมีแนวโน้มลดลงโดยตั้งแต่เดือนกันยายนอุณหภูมิเริ่มลดลงน้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเห็นว่า ในขณะที่ปริมาณน้ำฝนมีอย่างเพียงพอต่อการเติบโตของไม้สนสองใบในช่วงเดือนตุลาคม แต่อุณหภูมิมีการลดลงจนถึงระดับจำกัดที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยมีความสัมพันธ์ทางบวก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นในระดับที่เหมาะสมจะทำให้ไม้สนสองใบมีการเติบโตที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตามบริเวณอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี มีอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละเดือนน้อยกว่า 35 องศาเซลเซียส ทำให้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจึงมีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงจนถึงระดับหนึ่งอาจมีผลกระทบต่อการเติบโตของไม้สนสองใบได้

นอกจากนี้พบว่าความสัมพันธ์ของเส้นดัชนีวงปีไม้กับอุณหภูมิเฉลี่ย สามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในอดีต โดยเมื่อปี พ.ศ. 2322 ถึงปี พ.ศ. 2400 ช่วงเวลานี้ มีลักษณะอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างชัดเจนจากค่าเฉลี่ย โดยค่าดัชนีวงปีไม้มีค่ามากว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 และหลังจากนั้นมีแนวโน้มอยู่ใกล้ค่าเฉลี่ยจนถึงปี 2535 และตั้งแต่ปี พ.ศ. 2536 จนถึงปัจจุบันอุณหภูมิยังมีแนวโน้มสูงมากขึ้นสังเกตจากค่าดัชนีวงปีไม้มีค่าสูงมากกว่าค่าเฉลี่ย ถึง 0.625 ซึ่งจากผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและยังมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับปรากฏการณ์โลกร้อนในปัจจุบัน และพบปีที่พบเหตุการณ์ผิดปกติโดยอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคล้ายเป็นอิทธิพลของวัฏจักรในทุกๆ 44 -52 ปี

ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาเรื่องการเติบโตของไม้สนสองใบ ควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องในอนาคต เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาในอดีต การเติบโตของไม้สนสองใบ อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต ซึ่งนับว่าไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี มีความสำคัญมากต่อการตอบปัญหาภาวะโลกร้อนที่กำลังเกิดขึ้นในปัจจุบัน

2. ในการศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยภูมิอากาศต่อการเติบโตของต้นไม้ควรทำควบคู่กับการศึกษาพัฒนาการของแคมเบียม (Cambium Activity) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงการเติบโตรายเดือนของต้นไม้ได้อย่างละเอียดมากขึ้น

3. ควรมีการตรวจสอบระยะทางที่เหมาะสมในการเลือกใช้สถานีตรวจวัดอากาศกับพื้นที่ศึกษา เนื่องจากการศึกษานี้สถานีตรวจวัดอากาศมีระยะทางที่ค่อนข้างห่างจากสถานที่เก็บตัวอย่าง

4. การเติบโตของต้นไม้ทุกชนิดจะมีระดับจำกัดที่มีอิทธิพลต่อการเติบโต เช่นอุณหภูมิสูงสุดที่สามารถเติบโตได้ จากการศึกษาการเติบโตของไม้สนสองใบ ในอุทยานแห่งชาติพุเตย จังหวัดสุพรรณบุรี ยังไม่สามารถหาระดับจำกัดของอุณหภูมิที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตเนื่องจากไม่มีอุณหภูมิในเดือนใด มากกว่า 35 องศาเซลเซียส ดังนั้นการหาระดับจำกัดที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของไม้สนสองใบจึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่อื่นที่มีอุณหภูมิสูง เช่น จังหวัดเพชรบุรี เป็นต้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2529. **รายงานประจำปี 2529**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

กันตินันท์ ผิวสอาด. 2548. **คู่มือการวัดการเจริญเติบโตของไม้ในสวนป่า**. สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้พันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า พันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ขวัญชัย ดวงสถาพร. 2542. **ผลของปัจจัยภูมิอากาศและการตัดสางขยายระยะต่อการเจริญเติบโตของไม้สนสามใบสวนป่าดอยบ่อหลวง อำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

คณิต รัตนวัฒน์กุล. 2542. **การปรับปรุงพันธุ์ไม้สนในประเทศไทย**. ส่วนวนวัฒนวิจัย สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ชาญ บุญญสิริกูล. 2513. **การคณิตป่าไม้เบื้องต้น**. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ชาญ บุญญสิริกูล. 2525. **การคณิตป่าไม้**. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

ทรงศิริ แต้สมบัติ. 2549. **การพยากรณ์เชิงปริมาณ**. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เทอด สุปรีชากร. 2525. **วนศาสตร์เบื้องต้น**. อมรินทร์การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เทียม คมกฤส. 2508. **การป่าไม้ในประเทศไทย**. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เทียม คมกฤส. 2514. **บันทึกแนวทางการบำรุง และจัดทำป่าสน**. กองบำรุง, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ประสิทธิ์ สอาดอาวุธ และ อำไพ พรลีแสงสุวรรณ. ไม่ระบุปี. **สนสองใบ.** กรมป่าไม้. แหล่งที่มา: www.forest.go.th/silvic/WP_News/Information/Details/พันธุ์ไม้ป่า/สนสองใบ2.pdf, 21 มกราคม 2552.

ปัสสี ประสมสินธ์. 2534. **คู่มือปฏิบัติการการคณิตป่าไม้**. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_______ และ ขวัญชัย ดวงสถาพร. 2548. **คู่มือการศึกษาและฝึกปฏิบัติงานภาคสนาม การคณิตป่าไม้I**. ภาควิชาการจัดการป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

มนัสนันท์ ขันธ์ตันธง. 2527. **ชนิดป่าและสภาพการกระจายของพืชพรรณธรรมชาติในจังหวัดเชียงใหม่**. กองจัดการป่าไม้, กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ลดาวัลย์ พวงจิตร. 2550. **วนวัฒน์วิทยา: พื้นฐานการปลูกป่า**. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2538. **สรีรวิทยาของพืช**. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. สำนักพิมพ์รั้วเขียว, กรุงเทพฯ.

สมศักดิ์ สุขวงศ์. 2525. การวิเคราะห์สังคมพืชป่าเต็งรังในประเทศไทย. **วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 14 (1)**: 55-77.

อภิชาติ รัตนวิระกุล. 2546. **สนสองใบ.** พันธุ์ไม้. แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/Pattani_botany/พันธุ์ไม้/ไม้เอนกประสงค์/สนสองใบ/สนสองใบ.htm, 12 ธันวาคม 2551.

Boonchirdchoo, S. 1996. **Correlation Study of Pinus Tree-Ring Width and Climatic Variables. Case study: Nam Nao and Phu Kradung National Parks, Thailand.** M.Sc. Thesis, Mahidol University.

Buckley, B.M., M. Barbetti, M. Wattanasak, R. D'Arrigo, S. Boonchirdchoo and S.Sarutanon. 1995. Dendrochronological investigations in Thailand. **IAWAJournal** 16(4): 393-409.

Buckley, K. Duangsathaporn, K. Palakit, S. Butler, V. Syhapanya and N. Xaybouangeun. 2007. Analyses of growth rings of *Pinus merkusii* from Lao P.D.R. **Forest Ecology and Management** 253: 120-127.

Buckley, K. Palakit, K. Duangsathaporn, P. Sanguantham and P. Prasomsin. 2007. Decadal scale droughts over northwestern Thailand over the past 448 years: links to the tropical Pacific and Indian Ocean sectors. **Climate Dynamics** 29(9): 63-71.

Cook, E.R.,Peters, K., 1981. The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. **Tree-Ring Bulletin 41**, 45-53

Cook, E.R., K. Briffa, S. Shiyatov, V. Mazepa and P.D. Jones. 1990. Data analysis, pp. 97-162. *In* E.R. Cook and L.A. Kairiukstis, eds. **Methods of Dendrochronology Applications in the Environmental Science.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Cooling, E.N.G. 1968. **Fast Growth Timber Tree of the Lowland Tropics**. No.4.*Pinus merkusii*. Common Forestry Inst., Oxford.

Fritts, H.C. 1976. **Tree Ring and Climate.** Academic Press, San Francisco.

Fritts, H.C. 1991. **Reconstructing Large-Scale Climate Patterns from Tree-Ring Data**. University of Arizona Press, Tucson.

Holmes, R.L., 1983. Computer-assisted Quality Control in Tree-ring Dating and Measurement. **Tree-Ring Bull**. 43, 69-78.

Holmes, R.L., 1994. **Dendrochronology Program Library-User Manual**. Laboratory of Tree-ring Research (Update). The University of Arizona. Tucson, Arizona. U.S.A.

Hutameta, A., Pumijumnong, N., 2003. Pine tree-ring response to climate and ENSO at Ban Wat Chan, Chiang Mai. **Environ. Nat. Resour**. J. 1 (2), 69-76.

Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. 2001. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Cambridge University Press,Cambridge.

Palakit, K. 2004. **Dendroclimatological Studies of Teak (*Tectona grandis* L.): a Case Study in Mae Hong Son Province, Thailand.** M.Sc. Thesis, Mahidol University.

Pumijumnong, N., Wanyaphet, T. 2006. Seasonal cambium activity and tree-ring formation of *Pinus merkusii* and pinus kesiya in Northern Thailand in dependence on climate. **Forest Ecol.Manage.226 (2006)**, 279-289

Thamminchas, S. 1981. Climatic variation in radial growth of Scots pine and Norway spruce and its importance in growth estimation. **Acta For. Fenn.** 171: 57

Thawatchai, S. 1997. Geographical And Ecological Distributions of The Two Tropical Pines, Pinus kesiya and Pinus merkusii, In Southeast Asia. **Thai For Bull. (BOT.) 25**: 102-123

Whitmore, T.C. 1975. **Tropical Rain Forest of the Far East**. Clarendon, Oxford.

Wigley, T.M.L., Briffa, K.R., & Jones, P.D. 1984. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. **Journal of Climate and Applied Meteorology 23**: 201-213.

ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความกว้างวงปีไม้ด้วยโปรแกรม COFECHA

ต้น/ช่วงปี	2318-2367	2343-2392	2368-2417	2393-2442	2418-2467	2443-2492	2468-2517	2493-2542	2518-2567
PTPM01W			0.470	0.420	0.370	0.370	0.450	0.600	0.680
PTPM01E			0.350	0.470	0.360	0.410	0.690	0.650	0.670
PTPM02S		0.430	0.430	0.350	0.330	0.570	0.570	0.530	0.560
PTPM03S				0.420	0.500	0.680	0.710	0.670	0.610
PTPM03N				0.400	0.470	0.630	0.690	0.680	0.710
PTPM04S			0.340	0.490	0.440	0.350	0.330	0.400	0.400
PTPM04N			0.460	0.470	0.490	0.570	0.590	0.650	0.680
PTPM05N		0.440	0.440	0.440	0.650	0.750	0.720	0.680	0.650
PTPM05S			0.370	0.330	0.590	0.600	0.650	0.590	0.630
PTPM06N				0.610	0.670	0.610	0.600	0.630	0.650
PTPM06S			0.710	0.690	0.640	0.590	0.590	0.590	0.630
PTPM07S	0.740	0.760	0.620	0.440	0.460	0.410	0.470	0.580	0.590
PTPM07N			0.370	0.290	0.470	0.400	0.390	0.610	0.650
PTPM08S		0.440	0.610	0.430	0.470	0.580	0.650	0.690	0.730
PTPM08N			0.390	0.490	0.470	0.420	0.710	0.750	0.750

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ต้น/ช่วงปี	2318-2367	2343-2392	2368-2417	2393-2442	2418-2467	2443-2492	2468-2517	2493-2542	2518-2567
PTPM09N		0.740	0.750	0.590	0.440	0.370	0.370	0.630	0.530
PTPM09S	0.550	0.620	0.460	0.380	0.440	0.410	0.390	0.570	0.660
PTPM10N	0.530	0.550	0.390	0.490	0.690	0.630	0.430	0.550	0.560
PTPM10S	0.700	0.720	0.710	0.620	0.580	0.620	0.470	0.410	0.450
PTPM11W				0.430	0.450	0.470	0.460	0.530	0.530
PTPM11E				0.380	0.490	0.580	0.360	0.420	0.550
PTPM12E	0.570	0.690	0.460	0.440	0.600	0.530	0.340	0.460	0.550
PTPM12W		0.810	0.750	0.450	0.400	0.460	0.500	0.480	0.400
PTPM13W	0.760	0.800	0.740	0.440	0.390	0.370	0.380	0.490	0.420
PTPM13E		0.780	0.650	0.450	0.420	0.470	0.580	0.560	0.460
PTPM14E			0.530	0.390	0.560	0.650	0.350	0.410	0.380
PTPM14W			0.450	0.600	0.280	0.360	0.380	0.260	0.400
PTPM15W			0.570	0.340	0.420	0.580	0.760	0.760	0.760
PTPM15E				0.440	0.710	0.760	0.670	0.670	0.690
PTPM16W		0.760	0.750	0.500	0.510	0.540	0.340	0.510	0.540

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ต้น/ช่วงปี	2318-2367	2343-2392	2368-2417	2393-2442	2418-2467	2443-2492	2468-2517	2493-2542	2518-2567
PTPM16E		0.430	0.560	0.450	0.670	0.580	0.540	0.650	0.660
PTPM17E				0.340	0.370	0.540	0.530	0.520	0.530
PTPM17W				0.420	0.580	0.570	0.540	0.660	0.620
PTPM18N			0.590	0.500	0.620	0.700	0.690	0.620	0.590
PTPM18S				0.420	0.460	0.450	0.420	0.390	0.490
PTPM19W			0.760	0.690	0.690	0.630	0.550	0.620	0.720
PTPM19E			0.720	0.560	0.510	0.590	0.630	0.680	0.730
PTPM20W		0.430	0.360	0.400	0.580	0.540	0.530	0.680	0.670
PTPM20E	0.720	0.810	0.630	0.600	0.600	0.530	0.550	0.600	0.610
PTPM21N		0.700	0.630	0.530	0.490	0.430	0.550	0.520	0.550
PTPM21E		0.690	0.600	0.360	0.350	0.490	0.690	0.540	0.430
PTPM22N		0.640	0.520	0.470	0.490	0.550	0.600	0.630	0.570
PTPM22S		0.380	0.430	0.410	0.470	0.630	0.620	0.630	0.560
PTPM23N		0.720	0.680	0.440	0.530	0.600	0.540	0.590	0.660
PTPM23S		0.640	0.540	0.460	0.670	0.660	0.470	0.380	0.390

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ต้น/ช่วงปี	2318-2367	2343-2392	2368-2417	2393-2442	2418-2467	2443-2492	2468-2517	2493-2542	2518-2567
PTPM24S			0.720	0.530	0.570	0.490	0.330	0.480	0.460

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตัวแบบสำหรับการพยากรณ์การเติบโตไม้สนสองใบรายต้น

ต้น	รูปแบบ	R^2	SE	F	P-value
PTPM01E	Linear	0.31485	0.50491	79.04118	0.00
	Exponential	0.32914	0.40403	84.38628	0.00
	S-Curve	0.32877	0.40414	84.24604	0.00
PTPM01W	Linear	0.39484	0.50285	105.6999	0.00
	Exponential	0.38601	0.38428	101.8464	0.00
	S-Curve	0.39028	0.38294	103.6944	0.00
PTPM02S	Linear	0.37821	0.91309	120.437	0.00
	Exponential	0.40938	0.53962	137.2399	0.00
	S-Curve	0.42146	0.53407	144.2431	0.00
PTPM03N	Linear	0.54834	0.57415	177.2505	0.00
	Exponential	0.55088	0.39847	179.0798	0.00
	S-Curve	0.55529	0.39651	182.3016	0.00
PTPM03S	Linear	0.53936	0.58454	182.6596	0.00
	Exponential	0.55112	0.41571	191.5343	0.00
	S-Curve	0.55753	0.41273	196.5699	0.00
PTPM04N	Linear	0.19853	0.57242	40.87247	0.00
	Exponential	0.20296	0.41706	42.01613	0.00
	S-Curve	0.20213	0.41728	41.79942	0.00
PTPM04S	Linear	0.18964	0.55374	39.08241	0.00
	Exponential	0.20554	0.45598	43.2055	0.00
	S-Curve	0.20478	0.45619	43.00377	0.00
PTPM05N	Linear	0.10083	0.78377	20.85798	0.00
	Exponential	0.0874	0.48297	17.81266	0.00
	S-Curve	0.08467	0.48369	17.20643	0.00
PTPM05S	Linear	0.00587	1.00413	1.02785	0.31
	Exponential	0.00839	0.57791	1.4724	0.23
	S-Curve	0.00691	0.57835	1.21103	0.27

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้น	รูปแบบ	R^2	SE	F	P-value
PTPM06N	Linear	0.04346	0.39731	7.13338	0.01
	Exponential	0.04463	0.34215	7.33489	0.01
	S-Curve	0.04648	0.34182	7.65246	0.01
PTPM06S	Linear	0.03781	0.43735	6.60149	0.01
	Exponential	0.02975	0.36851	5.15181	0.02
	S-Curve	0.03212	0.36806	5.5751	0.02
PTPM07N	Linear	0.32861	0.85038	84.18678	0.00
	Exponential	0.32789	0.57613	83.91089	0.00
	S-Curve	0.33487	0.57313	86.59766	0.00
PTPM07S	Linear	0.52064	0.74576	228.0879	0.00
	Exponential	0.60346	0.49447	319.581	0.00
	S-Curve	0.61422	0.48772	334.3494	0.00
PTPM08N	Linear	0.13719	0.6481	28.14308	0.00
	Exponential	0.12937	0.4838	26.30034	0.00
	S-Curve	0.13057	0.48346	26.58119	0.00
PTPM08S	Linear	0.32288	0.42641	98.22782	0.00
	Exponential	0.33672	0.47997	104.5764	0.00
	S-Curve	0.33946	0.47898	105.8638	0.00
PTPM09N	Linear	0.20318	1.3279	49.21383	0.00
	Exponential	0.21223	0.72992	51.99397	0.00
	S-Curve	0.22341	0.72472	55.52252	0.00
PTPM09S	Linear	0.48652	0.9817	206.5532	0.00
	Exponential	0.62904	0.52208	369.6631	0.00
	S-Curve	0.64069	0.51382	388.7197	0.00
PTPM10N	Linear	0.3556	0.80209	125.8201	0.00
	Exponential	0.41557	0.54318	162.1248	0.00
	S-Curve	0.42164	0.54035	166.2165	0.00

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้น	รูปแบบ	R^2	SE	F	P-value
PTPM10S	Linear	0.40989	0.63897	153.5088	0.00
	Exponential	0.46721	0.48598	193.7971	0.00
	S-Curve	0.47001	0.4847	195.9864	0.00
PTPM11E	Linear	0.53567	0.9724	173.0428	0.00
	Exponential	0.64325	0.48634	270.4662	0.00
	S-Curve	0.64845	0.48279	276.6871	0.00
PTPM11W	Linear	0.57347	0.97542	208.3952	0.00
	Exponential	0.71029	0.47681	380.0166	0.00
	S-Curve	0.71707	0.4712	392.8403	0.00
PTPM12E	Linear	0.46841	0.68913	191.2063	0.00
	Exponential	0.52488	0.52529	239.7309	0.00
	S-Curve	0.53403	0.52021	248.6958	0.00
PTPM12W	Linear	0.26754	0.85535	67.93804	0.00
	Exponential	0.32071	0.57519	87.81528	0.00
	S-Curve	0.32846	0.5719	90.97465	0.00
PTPM13E	Linear	0.47801	0.52089	185.8941	0.00
	Exponential	0.52192	0.47347	221.6172	0.00
	S-Curve	0.52908	0.46991	228.0743	0.00
PTPM13W	Linear	0.38224	0.70914	133.6522	0.00
	Exponential	0.41366	0.54461	152.3878	0.00
	S-Curve	0.42647	0.53863	160.617	0.00
PTPM14E	Linear	0.3741	0.65865	108.1842	0.00
	Exponential	0.36674	0.48677	104.8228	0.00
	S-Curve	0.37249	0.48456	107.4427	0.00
PTPM15E	Linear	0.39603	0.68067	101.6335	0.00
	Exponential	0.36459	0.56736	88.93569	0.00
	S-Curve	0.36564	0.5669	89.33957	0.00

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้น	รูปแบบ	R^2	SE	F	P-value
PTPM15W	Linear	0.48462	0.65804	167.3765	0.00
	Exponential	0.4878	0.58256	169.5201	0.00
	S-Curve	0.49211	0.5801	172.4686	0.00
PTPM16E	Linear	0.71817	0.62059	502.0045	0.00
	Exponential	0.79215	0.36111	750.8068	0.00
	S-Curve	0.79572	0.358	767.3787	0.00
PTPM16W	Linear	0.61674	0.67463	294.4815	0.00
	Exponential	0.7054	0.42361	438.1719	0.00
	S-Curve	0.7154	0.41636	459.9974	0.00
PTPM17E	Linear	0.32189	1.2056	69.30483	0.00
	Exponential	0.36495	0.52492	83.90398	0.00
	S-Curve	0.36225	0.52604	82.9312	0.00
PTPM17W	Linear	0.50394	0.82809	146.2846	0.00
	Exponential	0.54287	0.4286	171.0058	0.00
	S-Curve	0.54268	0.42869	170.8782	0.00
PTPM18N	Linear	0.23593	0.71632	54.65299	0.00
	Exponential	0.20275	0.55846	45.01336	0.00
	S-Curve	0.20264	0.5585	44.98162	0.00
PTPM18S	Linear	0.34285	1.12318	80.34653	0.00
	Exponential	0.33364	0.56992	77.10625	0.00
	S-Curve	0.34062	0.56693	79.55328	0.00
PTPM19E	Linear	0.1988	0.73114	43.67143	0.00
	Exponential	0.2671	0.37866	64.14202	0.00
	S-Curve	0.26971	0.37798	65.00163	0.00
PTPM19W	Linear	0.18181	0.90669	38.6657	0.00
	Exponential	0.25024	0.44946	58.07525	0.00
	S-Curve	0.24973	0.44961	57.91789	0.00

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ต้น	รูปแบบ	R^2	SE	F	P-value
PTPM20E	Linear	0.42161	0.67152	160.3677	0.00
	Exponential	0.38911	0.62019	140.1322	0.00
	S-Curve	0.40193	0.61365	147.8528	0.00
PTPM20W	Linear	0.20643	0.71887	50.20601	0.00
	Exponential	0.19853	0.5909	47.8082	0.00
	S-Curve	0.20677	0.58785	50.30995	0.00
PTPM21E	Linear	0.52467	0.80581	209.7209	0.00
	Exponential	0.65793	0.38308	365.445	0.00
	S-Curve	0.66749	0.37769	381.4063	0.00
PTPM21N	Linear	0.61011	0.68322	292.6193	0.00
	Exponential	0.77261	0.40698	635.3934	0.00
	S-Curve	0.77681	0.40321	650.8373	0.00
PTPM22N	Linear	0.01311	1.09284	2.57691	0.11
	Exponential	0.00929	0.73355	1.81982	0.18
	S-Curve	0.00938	0.73352	1.83676	0.18
PTPM22S	Linear	0.45877	0.752	173.7649	0.00
	Exponential	0.60657	0.55858	316.0566	0.00
	S-Curve	0.61393	0.55333	325.9979	0.00
PTPM23N	Linear	0.49168	0.66387	185.7128	0.00
	Exponential	0.50865	0.39604	198.7567	0.00
	S-Curve	0.51877	0.39194	206.9769	0.00
PTPM23S	Linear	0.41488	0.64148	139.6833	0.00
	Exponential	0.43555	0.46028	152.0127	0.00
	S-Curve	0.44575	0.45611	158.433	0.00
PTPM24S	Linear	0.0981	0.84771	19.57775	0.00
	Exponential	0.10742	0.65834	21.66293	0.00
	S-Curve	0.11145	0.65685	22.57796	0.00

ตารางผนวกที่ 3 ดัชนีวงปีไม้สนสองใบ (Index) อุทยานแห่งชาติพุเตย อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี

ปี	Index	ปี	Index	ปี	Index	ปี	Index	ปี	Index
2322	1.034	2349	0.700	2376	2.154	2403	1.070	2430	0.849
2323	1.877	2350	0.951	2377	1.305	2404	0.916	2431	0.818
2324	1.131	2351	0.878	2378	1.382	2405	0.922	2432	0.826
2325	0.881	2352	1.268	2379	0.860	2406	0.837	2433	1.067
2326	0.797	2353	1.144	2380	0.900	2407	0.890	2434	0.801
2327	0.624	2354	1.555	2381	1.318	2408	0.966	2435	0.776
2328	0.677	2355	1.826	2382	0.933	2409	1.185	2436	1.055
2329	0.755	2356	1.914	2383	0.920	2410	0.734	2437	0.776
2330	1.240	2357	1.804	2384	0.969	2411	0.628	2438	0.877
2331	0.945	2358	1.170	2385	1.241	2412	0.751	2439	0.944
2332	0.770	2359	1.380	2386	1.043	2413	0.902	2440	0.932
2333	0.669	2360	1.141	2387	0.826	2414	1.067	2441	1.103
2334	0.736	2361	1.150	2388	1.105	2415	1.007	2442	0.995
2335	0.741	2362	0.989	2389	0.788	2416	1.031	2443	1.159
2336	0.530	2363	0.851	2390	0.768	2417	1.004	2444	0.895
2337	0.778	2364	1.318	2391	0.901	2418	1.017	2445	0.962
2338	0.977	2365	1.856	2392	1.053	2419	1.091	2446	0.842
2339	0.825	2366	1.569	2393	1.210	2420	1.465	2447	0.808
2340	0.704	2367	1.131	2394	0.647	2421	0.888	2448	0.790
2341	0.987	2368	1.348	2395	1.115	2422	0.799	2449	0.743
2342	1.210	2369	1.441	2396	0.942	2423	0.648	2450	0.517
2343	1.069	2370	0.724	2397	1.182	2424	0.825	2451	0.633
2344	1.349	2371	1.010	2398	0.869	2425	1.074	2452	0.869
2345	1.025	2372	0.969	2399	0.981	2426	0.898	2453	1.172
2346	1.486	2373	0.993	2400	0.646	2427	0.909	2454	1.133
2347	1.134	2374	1.340	2401	0.635	2428	0.991	2455	0.915
2348	1.422	2375	1.434	2402	0.725	2429	0.904	2456	0.869

ตารางผนวกที่ 3 (ต่อ)

ปี	Index	ปี	Index	ปี	Index	ปี	Index
2457	1.013	2484	0.953	2511	0.611	2538	1.393
2458	0.912	2485	0.762	2512	0.877	2539	1.342
2459	0.816	2486	0.901	2513	0.635	2540	1.137
2460	0.796	2487	1.102	2514	0.891	2541	1.186
2461	0.732	2488	0.812	2515	1.153	2542	1.885
2462	0.703	2489	0.772	2516	0.834	2543	2.221
2463	0.884	2490	0.650	2517	0.638	2544	1.751
2464	0.619	2491	0.768	2518	1.592	2545	1.920
2465	0.763	2492	0.968	2519	0.813	2546	2.579
2466	1.426	2493	1.152	2520	1.013	2547	2.005
2467	0.889	2494	0.835	2521	0.988	2548	1.563
2468	0.851	2495	0.790	2522	0.791	2549	1.508
2469	0.601	2496	0.986	2523	0.695	2550	1.923
2470	0.902	2497	1.252	2524	0.838	2551	1.087
2471	0.794	2498	0.971	2525	0.889		
2472	1.031	2499	1.029	2526	0.755		
2473	0.501	2500	0.820	2527	0.747		
2474	0.626	2501	0.847	2528	0.672		
2475	0.820	2502	0.626	2529	0.704		
2476	0.940	2503	0.721	2530	0.816		
2477	0.820	2504	0.542	2531	0.952		
2478	0.723	2505	0.637	2532	0.917		
2479	0.789	2506	0.741	2533	0.833		
2480	0.842	2507	0.875	2534	0.849		
2481	0.835	2508	0.629	2535	1.064		
2482	0.832	2509	0.953	2536	1.039		
2483	0.998	2510	0.690	2537	1.462		

ตารางผนวกที่ 4 ค่า EPS ของดัชนีวงปีไม้สนสองใบ

ปี (พ.ศ.)	T	$\overline{R}$	ค่าEPS
2360	16.57	0.385	0.912
2375	26.37	0.432	0.953
2390	34.73	0.422	0.962
2405	40.47	0.191	0.905
2420	42.97	0.179	0.904
2435	43	0.158	0.890
2450	43	0.191	0.910
2465	43	0.321	0.953
2480	43	0.260	0.938
2495	43	0.222	0.925
2510	43	0.364	0.961
2525	43	0.377	0.963

ตารางผนวกที่ 5 ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) รวบรวมจากสถานีตรวจวัดอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2496	14.4	75.0	29.9	15.3	169.6	109.8	157.3	148.1	194.3	437.4	151.3	0.0
2497	0.0	0.0	77.0	107.0	219.5	93.4	97.2	272.9	188.5	28.1	0.0	0.7
2498	0.0	6.1	75.9	68.3	120.9	84.7	200.2	195.6	273.9	156.3	57.6	0.0
2499	0.0	0.6	21.8	62.9	150.9	287.6	144.4	154.5	187.3	349.4	25.9	0.0
2500	0.0	6.0	56.6	89.7	66.0	159.7	102.5	282.8	474.6	287.0	65.2	0.0
2501	0.0	11.8	9.0	92.8	42.8	206.0	93.2	76.2	395.2	309.6	0.0	0.0
2502	0.0	10.1	63.2	50.4	231.3	81.3	134.6	105.5	446.5	161.8	52.8	1.9
2503	0.0	0.0	40.5	24.4	185.7	120.7	135.8	52.3	356.8	235.0	85.6	0.0
2504	33.0	0.5	24.9	171.0	323.8	92.0	195.0	201.4	151.4	238.7	5.4	3.0
2505	0.0	2.5	66.1	22.8	62.5	39.8	94.3	154.3	390.1	234.7	0.3	0.0
2506	0.0	39.9	1.0	24.4	85.4	138.0	55.5	96.1	283.2	241.8	16.6	2.5
2507	5.8	4.5	73.6	75.3	335.0	56.4	176.1	85.5	266.6	136.7	20.2	3.2
2508	0.0	42.9	4.5	122.7	260.7	81.7	60.8	142.2	442.3	103.1	82.8	30.0
2509	0.0	2.8	3.1	93.2	265.4	130.8	120.2	233.4	223.1	207.7	9.0	7.6
2510	0.9	0.0	4.8	135.0	180.8	65.0	134.9	37.1	227.1	109.7	6.4	0.0
2511	0.4	29.0	9.6	62.9	117.6	139.3	75.6	128.6	173.0	51.6	26.4	0.0

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2512	0.0	39.4	37.8	126.2	74.2	100.6	197.8	186.5	478.7	98.1	63.9	0.0
2513	0.4	2.0	7.6	38.8	239.9	199.0	123.5	220.3	240.4	189.0	14.8	60.4
2514	3.0	1.4	10.4	138.9	93.8	91.8	54.4	185.4	259.2	222.2	0.6	10.0
2515	0.0	0.2	16.1	109.6	78.8	111.6	71.0	96.8	488.4	235.4	68.9	71.9
2516	0.0	0.0	55.2	5.8	196.3	180.6	127.8	160.2	409.8	154.7	8.4	1.4
2517	0.2	0.0	141.1	227.2	80.9	196.9	102.7	175.4	228.0	380.9	43.3	0.0
2518	86.1	0.0	9.1	10.6	258.3	123.4	80.7	237.4	198.3	193.1	62.4	76.2
2519	0.0	37.8	1.3	14.1	306.6	44.5	57.4	110.6	431.8	245.5	47.1	7.1
2520	0.0	0.0	5.6	32.7	41.4	29.1	110.7	87.0	180.6	187.4	28.8	14.4
2521	31.9	14.7	0.1	230.7	187.4	72.6	212.3	67.6	459.4	146.5	4.8	0.0
2522	0.0	0.0	0.0	10.7	89.3	87.9	106.2	81.4	320.6	9.8	0.0	0.0
2523	0.0	0.0	0.9	7.4	36.6	132.5	141.0	93.1	216.1	249.6	52.4	0.0
2524	0.0	6.3	25.6	6.1	91.3	63.9	145.9	117.3	188.2	80.4	82.3	0.0
2525	0.0	0.0	11.2	82.8	74.6	125.5	116.9	69.7	187.0	86.3	19.3	6.6
2526	0.3	0.0	0.1	0.0	92.6	143.2	136.4	220.1	295.4	384.2	209.4	34.7
2527	0.0	42.9	7.1	4.9	76.4	30.6	177.3	35.5	271.8	132.9	0.1	0.1

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2528	0.0	0.0	0.2	25.0	125.8	75.5	121.4	87.4	288.4	188.6	65.6	0.0
2529	0.0	0.0	0.0	44.7	129.0	76.2	163.8	183.1	189.6	335.5	7.3	6.2
2530	0.8	0.3	5.7	40.5	60.4	101.7	36.4	143.6	86.2	82.8	195.4	0.0
2531	0.0	0.9	6.2	78.6	121.0	112.6	117.1	156.3	344.2	255.7	0.0	0.0
2532	28.9	0.0	0.0	2.1	80.8	173.7	66.1	162.1	237.5	147.4	8.7	0.0
2533	10.2	0.0	10.1	7.3	135.7	26.0	37.2	128.0	110.0	453.1	42.9	0.0
2534	0.0	6.0	40.9	11.2	108.5	21.9	52.0	176.1	146.2	215.4	0.0	41.7
2535	1.6	3.6	0.0	0.9	30.6	131.5	133.1	168.9	117.9	445.9	0.0	0.3
2536	3.3	0.0	12.4	95.6	194.4	114.8	13.5	69.1	136.7	88.9	0.4	5.1
2537	14.7	0.0	75.2	23.3	167.2	192.7	65.0	46.3	252.6	108.4	0.0	0.0
2538	0.0	0.0	0.7	14.3	94.9	79.4	100.6	156.0	424.0	86.5	11.9	0.0
2539	0.0	1.5	0.5	87.4	110.4	107.8	132.7	128.6	331.0	176.8	124.0	0.6
2540	0.0	1.0	0.0	55.9	135.7	25.0	40.9	81.2	292.1	151.3	18.4	0.0
2541	0.0	31.9	0.2	69.6	89.8	116.1	229.5	147.6	254.9	277.3	87.9	0.6
2542	14.9	64.1	112.6	144.4	220.9	120.1	171.8	64.3	146.7	209.3	72.9	0.8
2543	0.0	7.5	0.3	189.2	107.5	96.1	59.0	178.5	124.7	346.2	3.1	0.0

ตารางผนวกที่ 5 (ต่อ)

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2544	17.8	0.0	103.1	0.0	168.5	80.1	84.0	101.5	163.7	212.7	39.9	16.3
2545	0.0	0.0	73.7	126.8	82.5	58.5	54.5	99.0	160.5	109.3	77.3	38.6
2546	0.0	0.0	37.7	52.1	142.7	160.4	129.8	64.7	299.1	198.0	0.0	0.0
2547	8.9	5.9	0.0	30.6	43.9	72.9	131.4	105.5	207.3	18.9	21.6	0.0
2548	8.5	0.0	18.5	41.7	63.3	79.4	95.0	194.5	502.2	138.6	148.2	13.7
2549	0.0	31.7	17.8	78.5	122.5	78.1	42.2	78.1	335.5	151.9	2.5	1.5
2550	0.0	0.0	0.0	41.7	232.6	101.6	57.8	58.1	77.1	192.6	6.0	14.5
ค่าเฉลี่ย	5.2	9.7	25.6	64.1	138.3	105.9	110.4	132.5	268.3	197.7	40.8	8.6

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (เปอร์เซนต์) รวบรวมจากสถานีตรวจวัดอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2496	68.0	72.0	66.0	62.0	72.0	74.0	74.0	78.0	80.0	81.0	79.0	69.0
2497	68.0	64.0	60.0	60.0	73.0	70.0	71.0	77.0	80.0	76.0	69.0	63.0
2498	57.0	64.0	62.0	62.0	70.0	73.0	74.0	77.0	80.0	78.0	74.0	67.0
2499	62.0	64.0	59.0	69.0	72.0	73.0	75.0	77.0	79.0	81.0	75.0	66.0
2500	65.0	63.0	64.0	64.0	57.0	69.0	73.0	77.0	83.0	83.0	78.0	69.0
2501	63.0	63.0	58.0	57.0	62.0	69.0	74.0	77.0	79.0	80.0	70.0	65.0
2502	64.0	62.0	61.0	60.0	70.0	66.0	74.0	72.0	80.0	79.0	75.0	70.0
2503	62.0	57.0	57.0	55.0	65.0	69.0	73.0	71.0	79.0	82.0	78.0	69.0
2504	63.0	67.0	61.0	63.0	75.0	73.0	74.0	76.0	75.0	79.0	73.0	67.0
2505	61.0	57.0	61.0	62.0	67.0	63.0	70.0	73.0	80.0	75.0	71.0	62.0
2506	55.0	65.0	64.0	54.0	54.0	68.0	71.0	74.0	79.0	80.0	77.0	66.0
2507	61.0	60.0	59.0	61.0	76.0	67.0	73.0	72.0	79.0	80.0	72.0	66.0
2508	59.0	67.0	60.0	60.0	70.0	71.0	65.0	74.0	79.0	78.0	73.0	69.0
2509	65.0	66.0	52.0	58.0	71.0	69.0	72.0	76.0	77.0	78.0	72.0	70.0
2510	59.0	60.0	54.0	60.0	69.0	64.0	68.0	67.0	75.0	75.0	71.0	63.0
2511	61.0	63.0	60.0	62.0	66.0	68.0	67.0	68.0	77.0	76.0	67.0	62.0

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2511	61.0	63.0	60.0	62.0	66.0	68.0	67.0	68.0	77.0	76.0	67.0	62.0
2512	64.0	57.0	60.0	58.0	63.0	64.0	72.0	75.0	79.0	77.0	69.0	68.0
2513	65.0	65.0	63.0	63.0	71.0	75.0	75.0	77.0	78.0	78.0	71.0	74.0
2514	65.0	65.0	63.0	66.0	72.0	68.0	72.0	74.0	78.0	79.0	71.0	71.0
2515	62.0	68.0	66.0	74.0	56.0	74.0	72.0	72.0	82.0	81.0	81.0	76.0
2516	69.0	68.0	71.0	63.0	74.0	76.0	75.0	76.0	79.0	78.0	72.0	64.0
2517	67.0	64.0	70.0	75.0	75.0	74.0	75.0	76.0	80.0	83.0	78.0	70.0
2518	75.0	68.0	71.0	66.0	75.0	75.0	75.0	74.0	81.0	80.0	74.0	63.0
2519	62.0	75.0	71.0	65.0	77.0	69.0	73.0	77.0	79.0	81.0	76.0	72.0
2520	71.0	63.0	70.0	71.0	73.0	67.0	74.0	72.0	79.0	78.0	73.0	70.0
2521	72.0	76.0	71.0	72.0	77.0	75.0	79.0	77.0	80.0	78.0	75.0	70.0
2522	73.0	71.0	68.0	69.0	68.0	77.0	72.0	74.0	80.0	73.0	69.0	63.0
2523	67.0	68.0	68.0	65.0	63.0	76.0	68.0	72.0	76.0	80.0	75.0	71.0
2524	64.0	70.0	73.0	70.0	75.0	75.0	76.0	78.0	80.0	78.0	81.0	71.0
2525	70.0	75.0	76.0	71.0	75.0	78.0	78.0	77.0	81.0	81.0	80.0	74.0

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2526	67.0	77.0	75.0	73.0	71.0	74.0	76.0	79.0	81.0	83.0	76.0	74.0
2527	73.0	72.0	72.0	72.0	72.0	75.0	77.0	72.0	78.0	78.0	74.0	73.0
2528	75.0	71.0	67.0	68.0	76.0	76.0	75.0	74.0	81.0	82.0	80.0	70.0
2529	67.0	73.0	67.0	72.0	74.0	75.0	80.0	75.0	78.0	81.0	75.0	72.0
2530	65.0	69.0	69.0	68.0	70.0	74.0	68.0	73.0	79.0	79.0	81.0	66.0
2531	67.0	74.0	70.0	71.0	76.0	74.0	78.0	80.0	81.0	79.0	68.0	65.0
2532	70.0	75.0	73.0	69.0	71.0	75.0	78.0	74.0	78.0	80.0	72.0	67.0
2533	72.0	75.0	75.0	67.0	74.0	71.0	72.0	75.0	81.0	82.0	77.0	71.0
2534	73.0	70.0	75.0	72.0	72.0	74.0	73.0	78.0	82.0	83.0	78.0	73.0
2535	76.0	77.0	74.0	67.0	67.0	75.0	77.0	81.0	79.0	83.0	72.0	69.0
2536	68.0	69.0	74.0	72.0	73.0	71.0	72.0	78.0	82.0	79.0	70.0	64.0
2537	72.0	75.0	73.0	68.0	75.0	77.0	77.0	78.0	81.0	78.0	73.0	68.0
2538	68.0	70.0	70.0	69.0	71.0	73.0	76.0	80.0	83.0	80.0	72.0	64.0
2539	70.0	66.0	73.0	71.0	76.0	77.0	78.0	77.0	83.0	77.0	75.0	66.0
2540	68.0	69.0	71.0	68.0	69.0	66.0	72.0	74.0	78.0	77.0	72.0	68.0

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2541	71.0	69.0	66.0	69.0	71.0	76.0	78.0	75.0	79.0	78.0	76.0	68.0
2542	69.0	71.0	69.0	77.0	77.0	74.0	73.0	75.0	78.0	82.0	77.0	64.0
2543	69.0	70.0	69.0	76.0	74.0	76.0	74.0	75.0	77.0	80.0	69.0	68.0
2544	70.0	69.0	75.0	68.0	74.0	73.0	75.0	73.0	76.0	82.0	71.0	71.0
2545	71.0	76.0	75.0	68.0	77.0	73.0	72.0	73.0	78.0	77.0	76.0	74.0
2546	69.0	71.0	73.0	70.0	71.0	74.0	79.0	76.0	80.0	77.0	70.0	65.0
2547	72.0	72.0	71.0	67.0	74.0	75.0	72.0	73.0	79.0	73.0	68.0	65.0
2548	73.0	75.0	71.0	71.0	71.0	75.0	73.0	74.0	79.0	78.0	77.0	68.0
2549	70.0	72.0	72.0	71.0	76.0	76.0	74.0	74.0	80.0	79.0	72.0	67.0
2550	68.0	72.0	72.0	71.0	76.0	74.0	75.0	75.0	75.0	76.0	69.0	69.0
ค่าเฉลี่ย	67.1	68.5	67.5	66.8	71.1	72.4	73.8	75.1	79.3	79.1	73.8	68.2

ตารางผนวกที่ 7 ข้อมูลอุณหภูมิ (เซลเซียส) รวบรวมจากสถานีตรวจวัดอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี

ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2496	25.6	27.3	29.4	31.2	29.9	29.0	28.8	27.9	28.4	28.1	26.4	25.0
2497	27.6	27.7	29.2	31.4	29.4	29.9	29.3	28.7	27.8	27.5	25.7	24.4
2498	23.8	27.6	29.5	30.3	29.6	28.6	28.7	28.3	27.9	27.3	24.7	23.3
2499	23.8	28.0	30.5	29.7	29.0	28.8	28.1	27.9	28.0	27.3	24.7	23.9
2500	25.1	26.6	29.2	30.5	31.6	29.4	28.6	28.1	27.5	27.0	26.5	25.6
2501	25.9	26.9	30.7	31.7	31.6	29.9	28.4	29.0	28.3	27.6	25.4	23.7
2502	25.1	29.1	29.1	31.8	30.3	30.4	28.8	28.8	28.0	27.4	27.0	26.8
2503	25.9	27.2	30.7	32.5	30.9	29.6	29.3	29.6	28.3	27.5	27.0	24.5
2504	24.9	28.3	30.0	31.4	29.6	29.0	28.4	28.3	28.1	27.7	27.2	25.8
2505	24.5	26.3	29.6	31.9	31.0	30.2	29.3	28.9	27.9	27.7	26.8	23.9
2506	22.5	26.5	29.0	31.2	32.1	29.1	28.6	28.4	28.0	27.2	27.3	24.8
2507	26.8	27.6	29.1	31.3	28.9	29.5	29.0	28.6	28.3	28.1	25.0	23.7
2508	24.0	27.9	29.3	30.9	29.6	28.8	29.2	28.8	27.9	27.8	26.9	26.3
2509	26.8	28.6	30.8	31.8	29.7	29.4	28.7	28.7	27.9	28.1	26.5	26.4
2510	24.7	26.8	29.2	30.6	29.9	30.2	29.4	29.2	28.4	27.1	26.5	23.9
2511	25.1	26.9	29.6	30.1	30.0	29.5	29.5	29.6	28.5	27.6	27.8	27.3

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

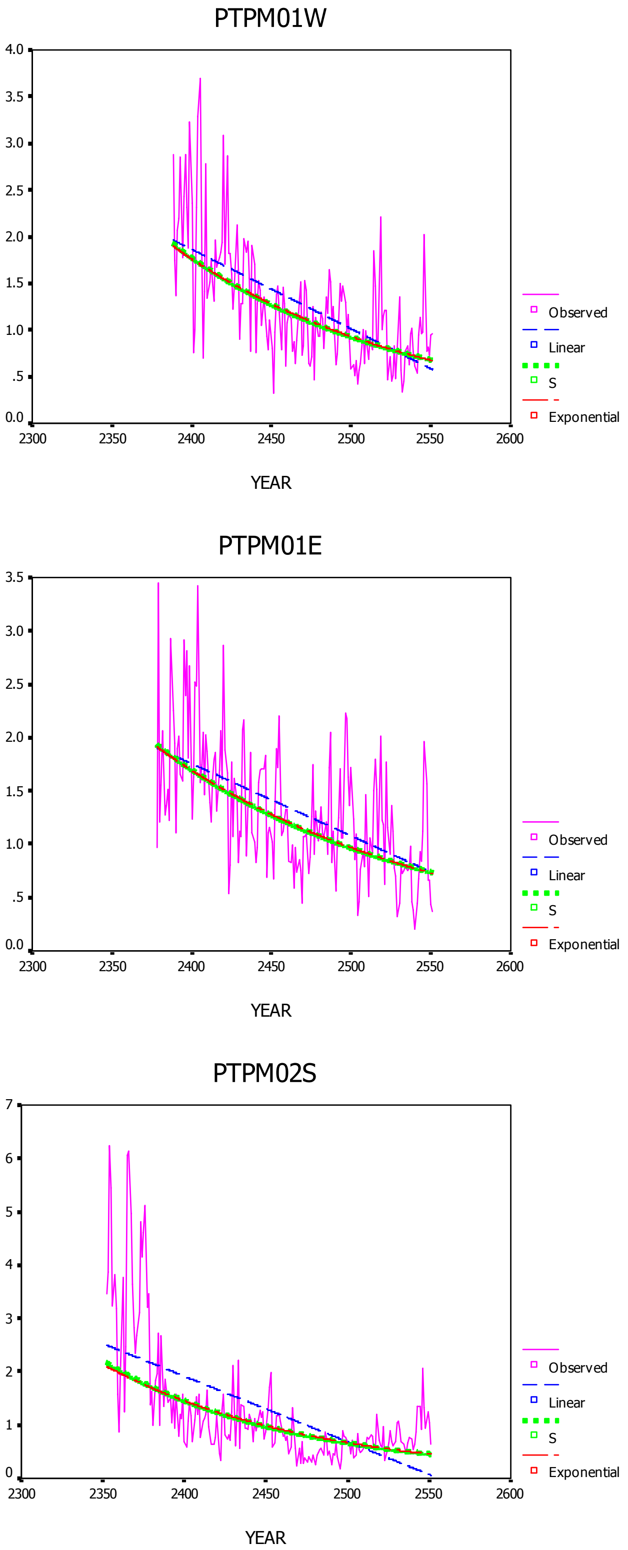
ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2512	28.0	28.5	30.8	31.4	31.0	30.4	28.5	28.2	27.9	28.3	25.6	23.8
2513	26.2	27.7	30.6	31.0	30.2	29.4	28.5	28.1	28.4	27.4	26.0	25.4
2514	24.0	26.6	28.5	30.3	29.7	29.2	28.6	28.4	28.4	26.9	24.6	24.8
2515	23.9	28.0	28.3	29.4	31.6	29.2	29.1	29.0	28.1	28.4	27.4	26.2
2516	25.8	28.9	30.1	32.3	30.2	29.6	29.3	28.9	28.3	27.9	25.8	23.5
2517	24.6	26.5	28.5	28.8	28.5	28.3	28.2	27.9	27.6	27.2	25.6	25.2
2518	25.2	28.0	30.4	31.5	29.9	29.2	28.9	29.1	28.2	28.0	26.2	22.8
2519	23.2	27.1	29.2	31.4	29.1	29.9	29.1	28.5	28.3	28.2	25.2	25.1
2520	26.2	26.1	28.3	30.6	30.3	30.9	29.4	29.5	28.5	28.5	25.8	25.3
2521	26.5	27.2	30.3	30.3	29.4	29.0	28.7	28.5	28.2	27.6	26.3	25.0
2522	27.5	28.6	30.5	30.8	31.0	29.6	29.7	28.9	28.6	27.6	25.4	24.5
2523	25.5	27.7	30.2	31.6	31.5	29.0	29.3	29.1	28.5	27.8	26.6	25.2
2524	24.0	26.8	29.6	30.5	29.7	28.6	28.5	28.1	28.6	28.1	26.5	23.2
2525	24.5	28.3	29.4	29.6	30.2	29.1	28.8	28.1	28.0	28.2	27.9	23.0
2526	24.8	28.0	29.3	31.4	31.3	29.8	29.8	29.0	28.6	27.6	25.1	24.2

ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

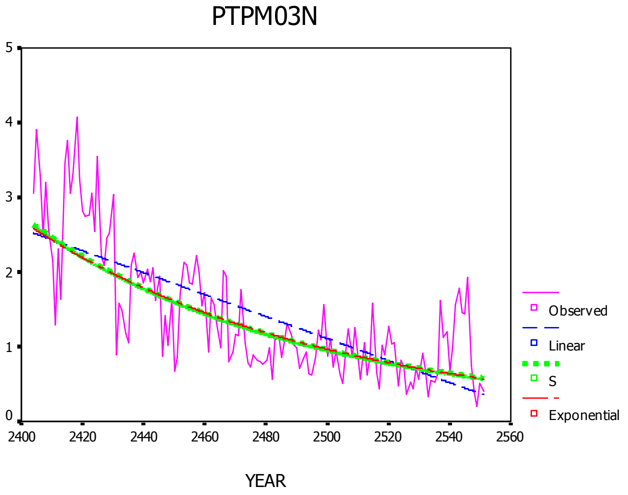
ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2527	24.7	28.0	28.6	30.5	30.2	29.3	28.9	29.4	28.5	27.8	26.8	25.5
2528	25.3	28.7	29.9	30.8	30.4	28.1	28.5	29.1	28.4	27.9	27.2	24.5
2529	24.1	27.3	28.5	30.7	29.8	30.0	29.1	29.6	29.1	28.3	26.8	25.2
2530	26.2	27.8	29.4	31.3	31.6	30.5	30.5	30.0	28.9	29.0	28.0	23.0
2531	26.6	28.9	30.4	31.3	30.2	29.7	29.5	29.3	29.1	28.2	25.6	24.7
2532	27.5	27.8	28.8	31.2	30.9	29.3	29.5	29.6	29.0	28.4	27.0	25.0
2533	27.8	28.5	29.7	31.5	30.6	30.3	29.6	29.6	29.2	28.0	27.3	25.6
2534	27.8	27.7	30.3	30.8	31.2	30.0	29.9	29.0	29.1	27.9	26.2	25.6
2535	25.3	27.4	29.4	32.3	32.2	30.3	29.3	29.0	29.2	27.0	25.9	25.9
2536	26.5	26.9	29.8	30.9	30.9	30.5	30.3	29.2	28.9	28.4	27.6	24.9
2537	27.0	29.2	29.3	31.5	30.3	29.4	28.7	28.6	29.0	27.7	27.3	26.8
2538	26.5	27.6	30.5	32.3	31.2	30.7	29.6	29.4	28.6	28.5	26.9	25.0
2539	26.4	26.6	30.2	30.8	30.2	29.9	29.2	29.3	28.6	28.7	27.6	25.0
2540	25.9	28.6	29.9	30.6	31.4	31.0	29.9	29.8	29.1	29.2	28.3	27.8
2541	28.3	30.2	31.4	32.4	32.2	30.7	30.0	30.2	29.4	28.9	27.3	26.2

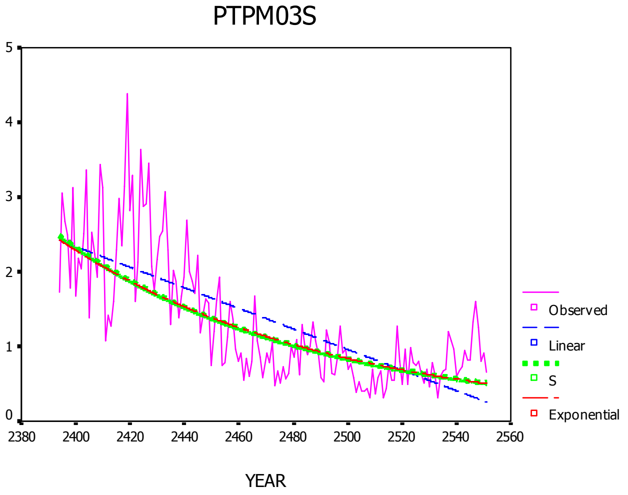
ตารางผนวกที่ 7 (ต่อ)

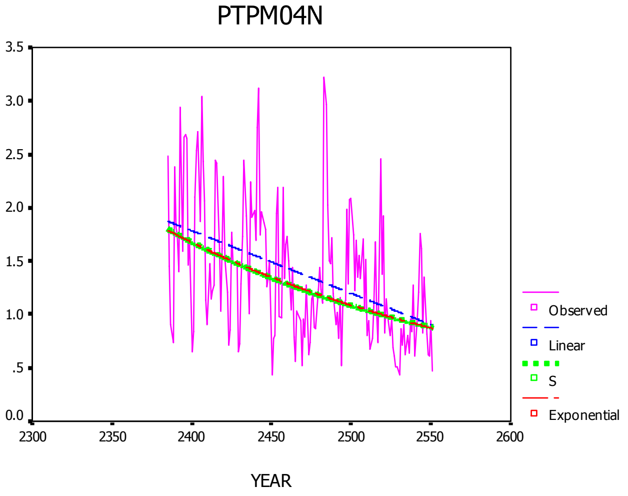
ปี	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
2542	26.7	27.8	30.3	29.9	29.7	29.9	29.8	29.7	29.5	28.2	27.2	23.2
2543	27.0	27.3	29.6	30.2	30.3	29.6	29.5	29.5	28.9	28.8	26.7	26.9
2544	28.1	28.6	28.8	32.5	30.1	30.1	29.8	29.7	30.0	28.6	25.7	26.2
2545	25.9	28.8	29.9	31.8	30.1	30.6	30.1	29.8	29.0	28.9	27.8	27.7
2546	25.8	28.7	29.7	31.5	30.8	30.0	29.2	29.7	28.9	28.6	28.3	25.0
2547	26.6	27.2	30.4	32.1	30.6	29.8	29.9	29.9	29.1	28.7	28.1	25.3
2548	26.1	29.6	29.7	31.7	31.9	30.5	29.8	29.7	29.2	28.9	27.5	25.2
2549	26.3	28.6	30.3	31.1	30.3	30.0	30.1	29.7	29.3	29.2	28.7	25.5
2550	25.7	27.1	29.8	30.4	29.0	30.0	28.6	28.6	28.9	27.8	25.6	26.9
ค่าเฉลี่ย	25.7	27.8	29.7	31.1	30.4	29.7	29.2	29.0	28.6	28.0	26.6	25.1



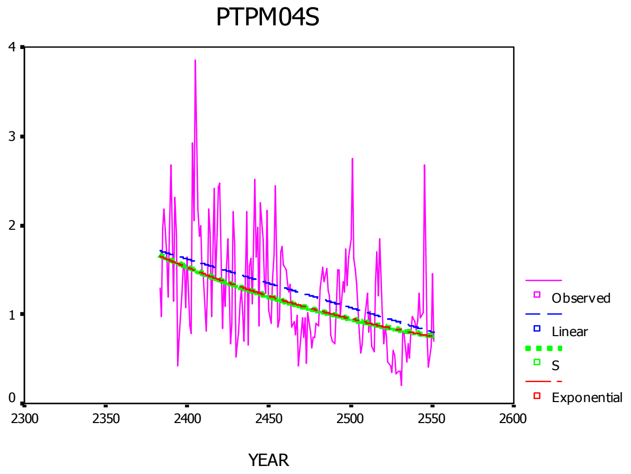
ภาพผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าความกว้างวงปีและปี (พ.ศ.) ในรูปแบบต่างๆ

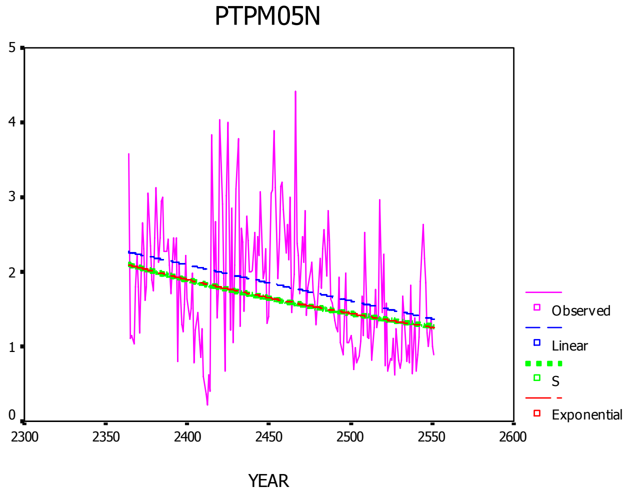


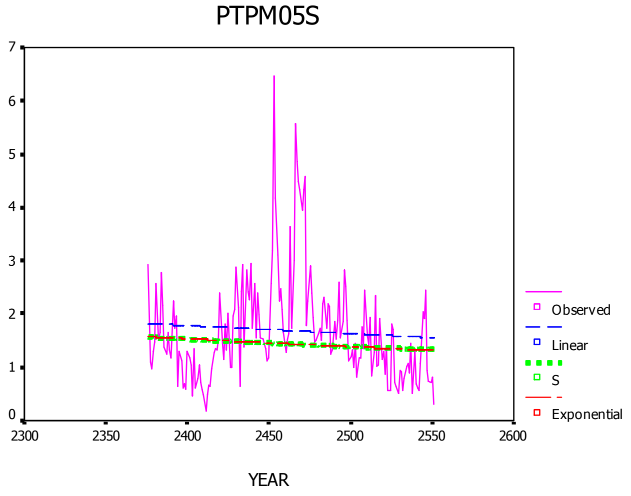




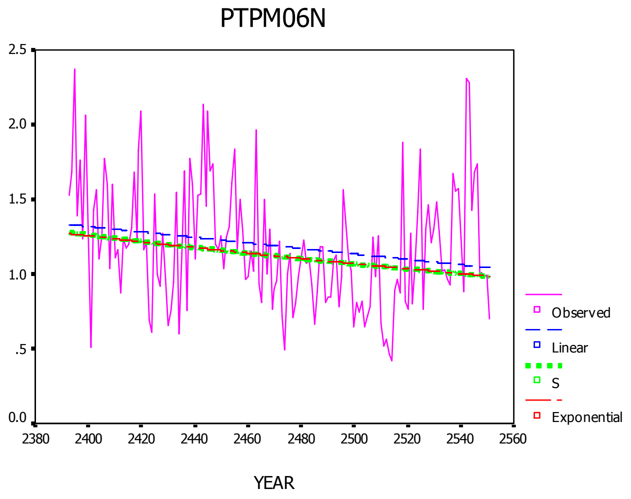
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

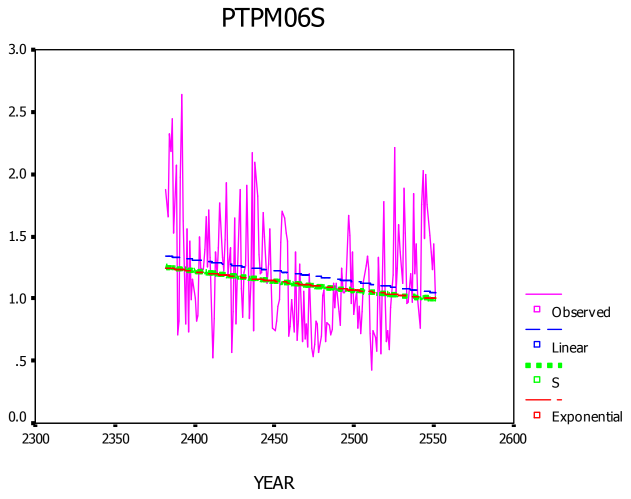


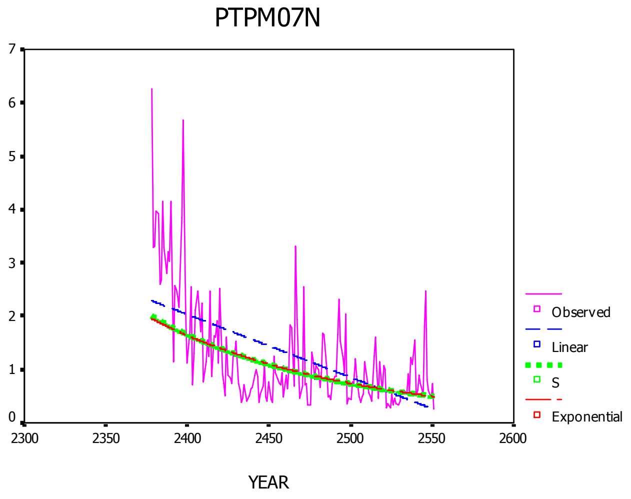




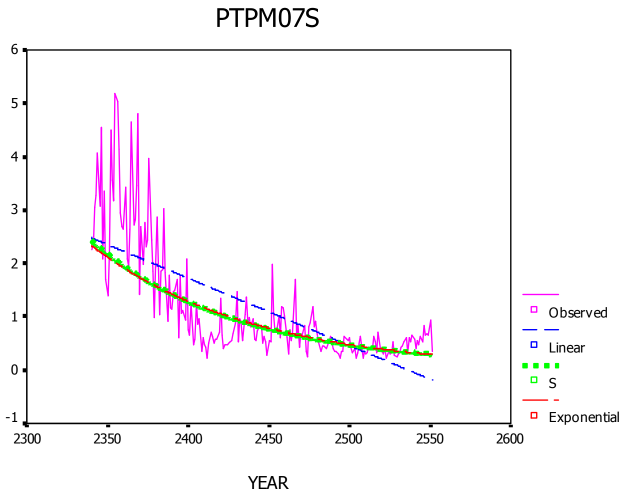
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

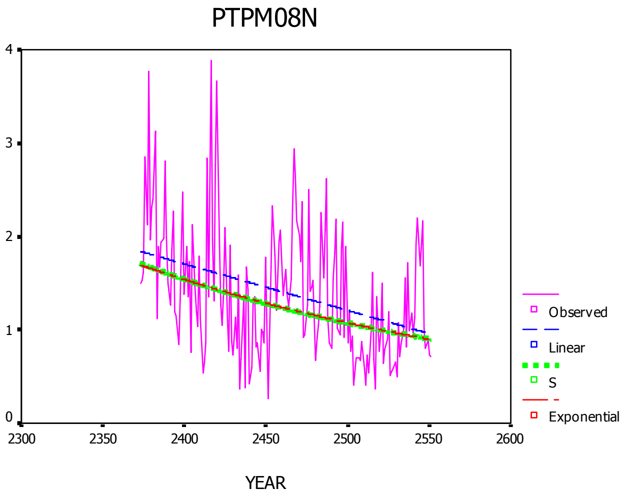


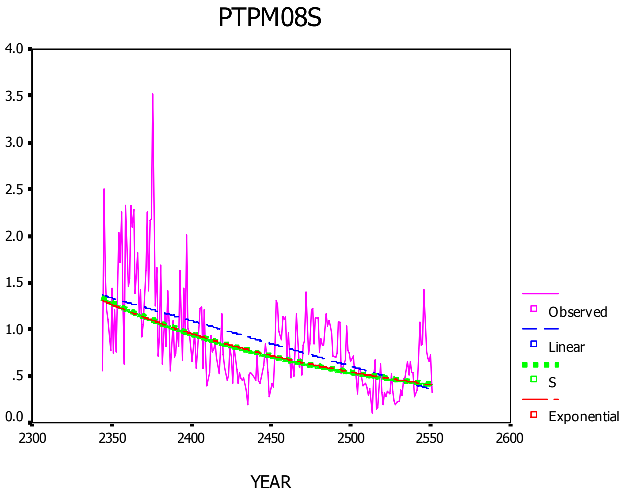




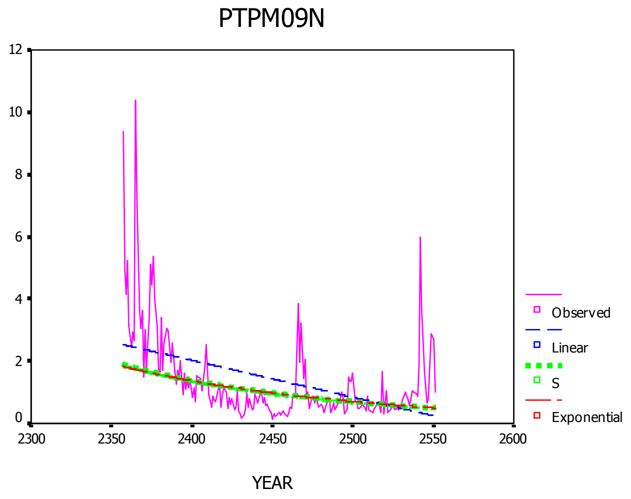
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

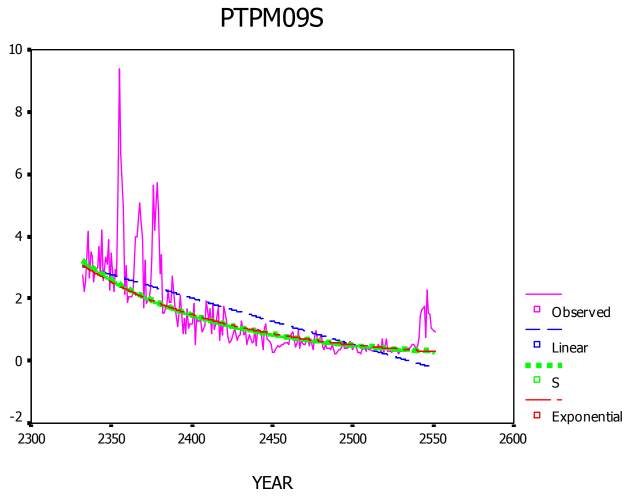


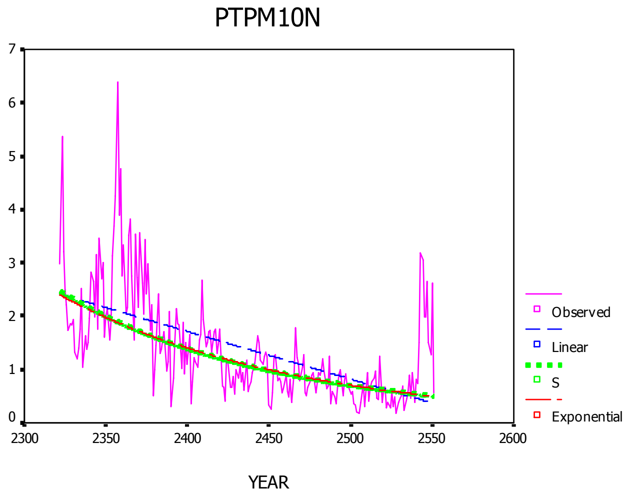




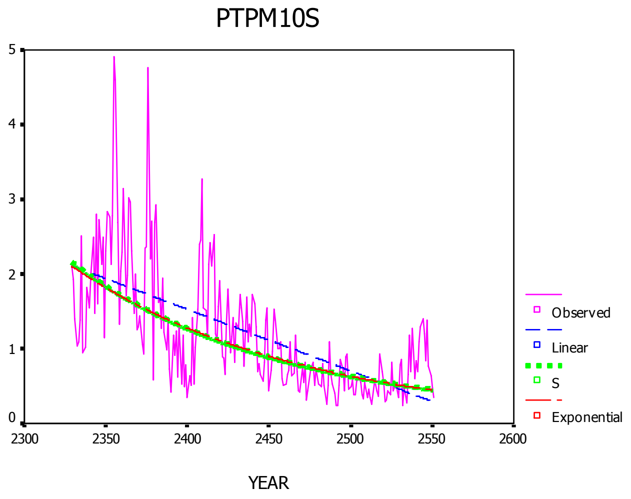
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

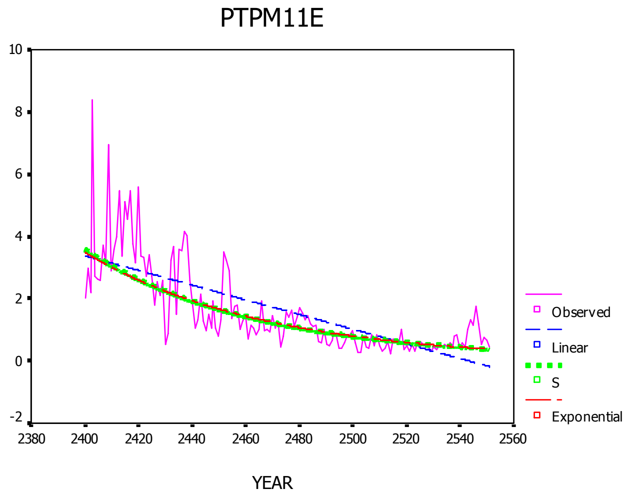


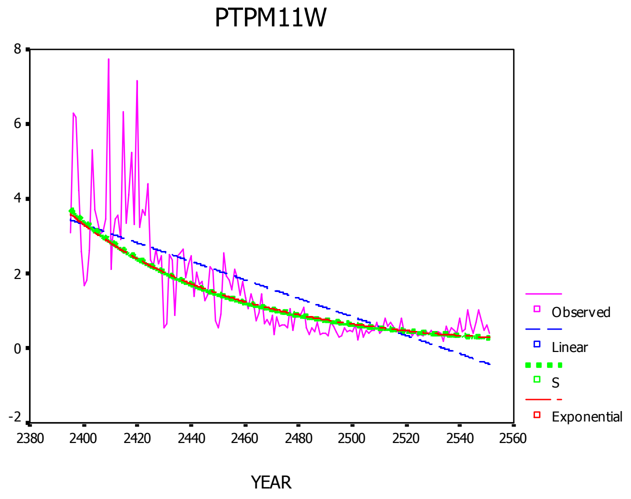




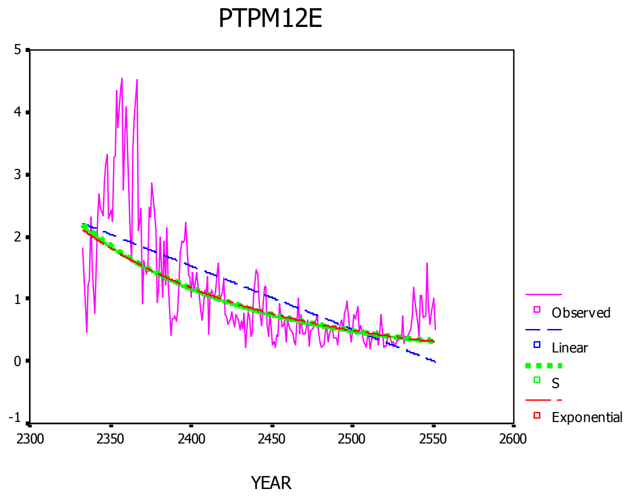
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

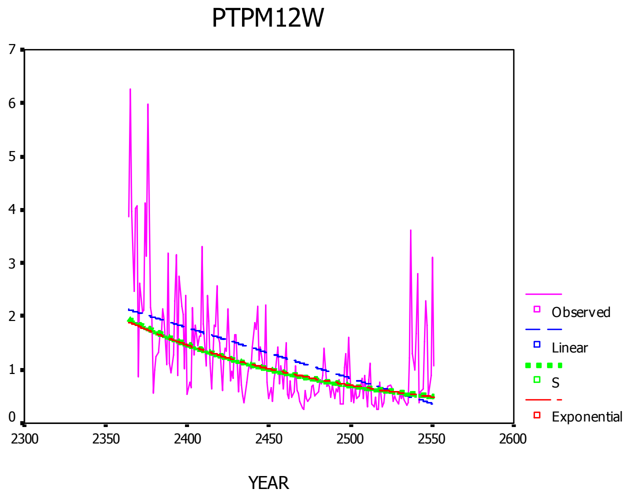


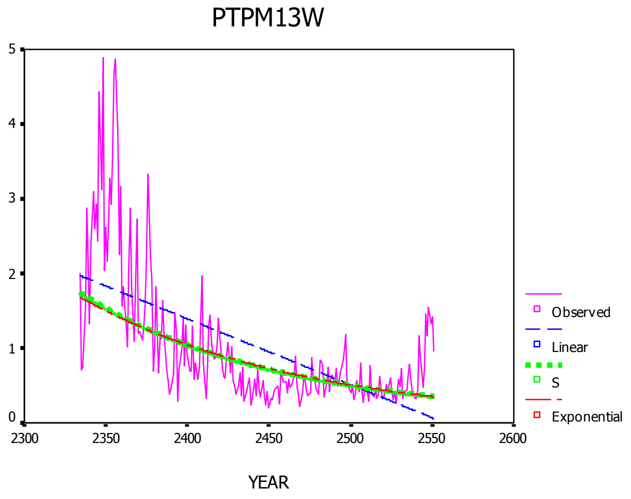




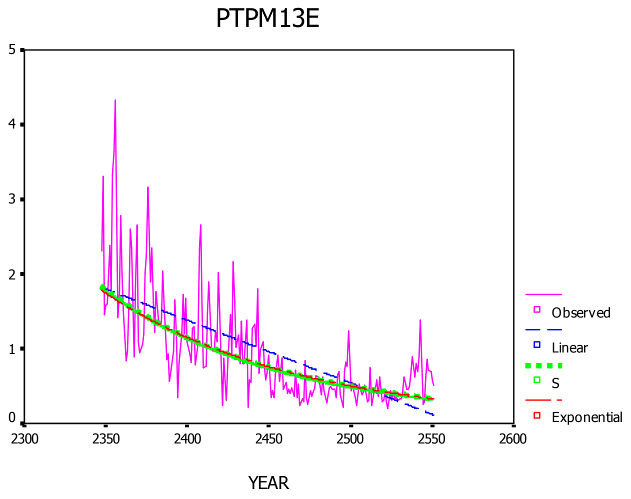
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

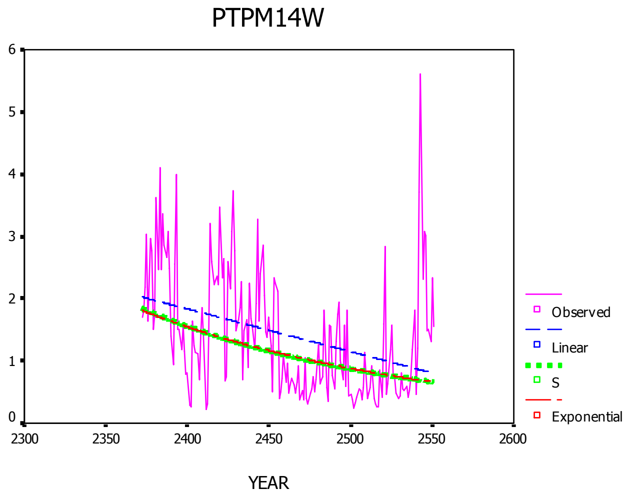


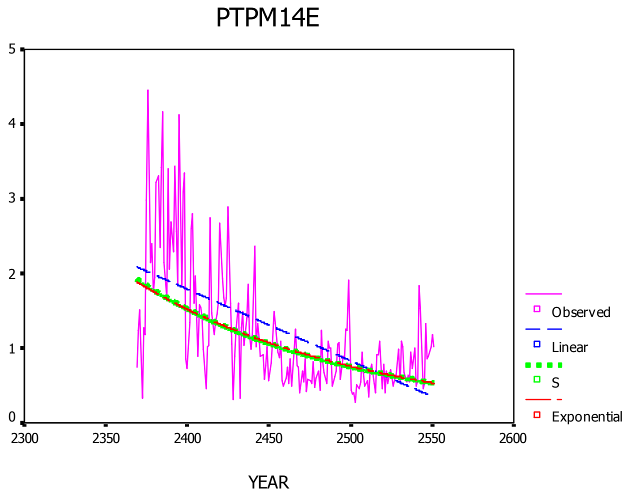




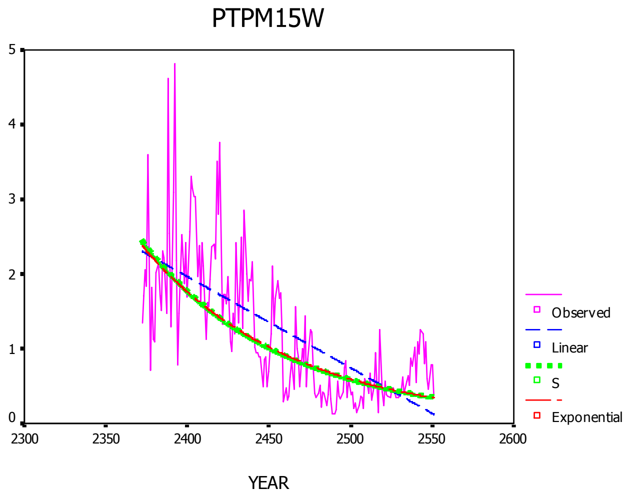
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

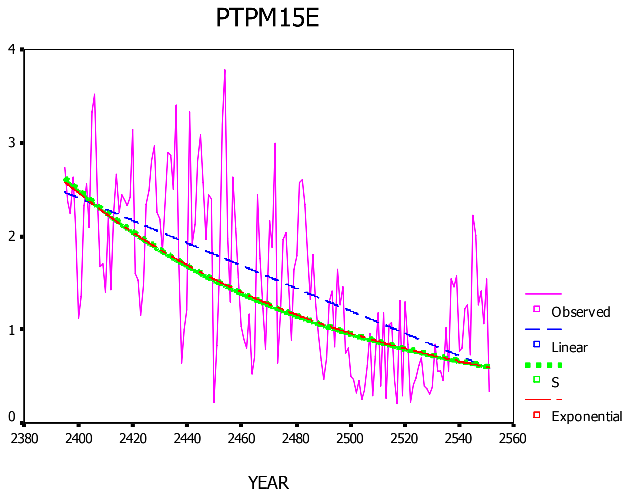


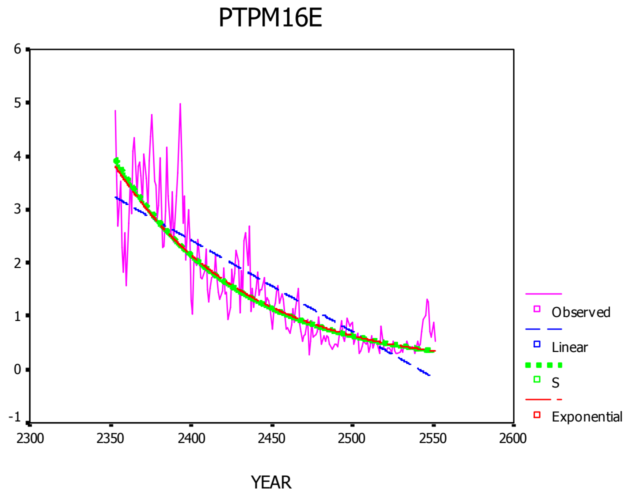




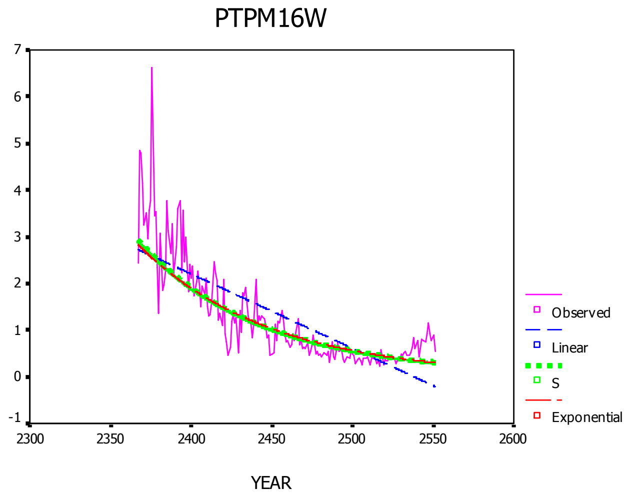
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

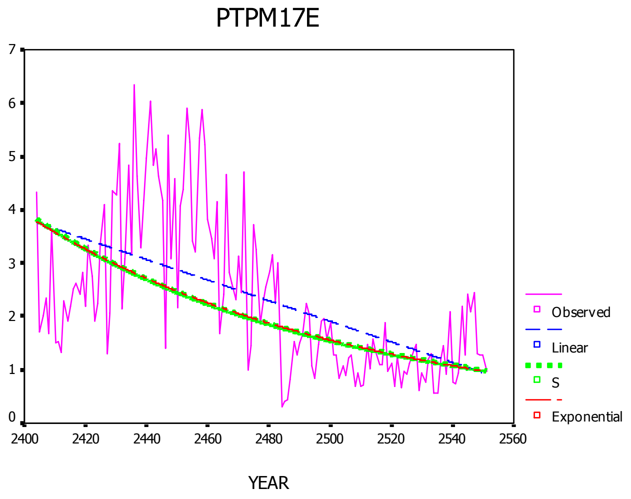


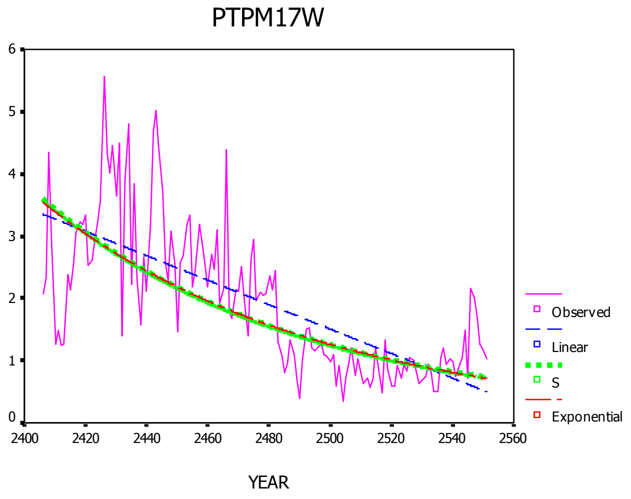




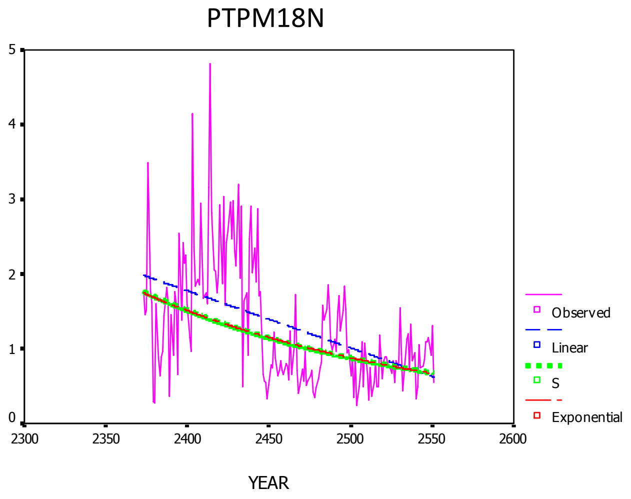
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

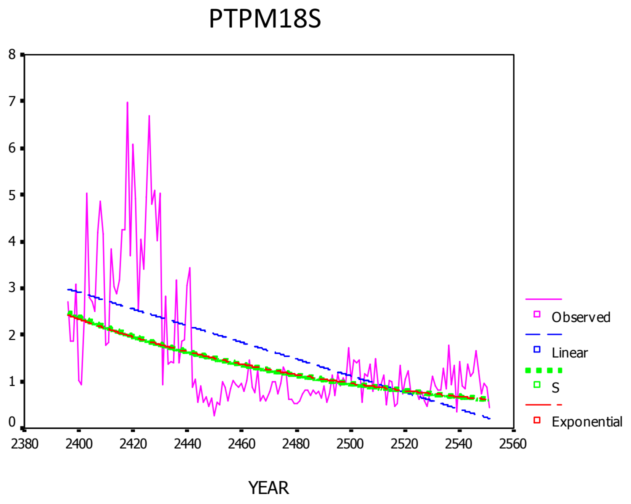


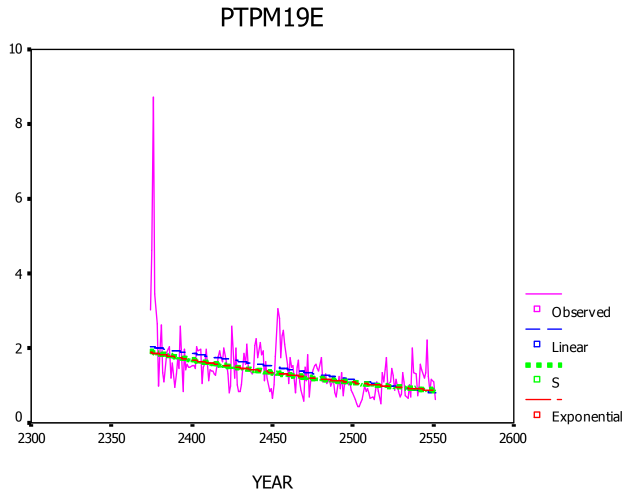




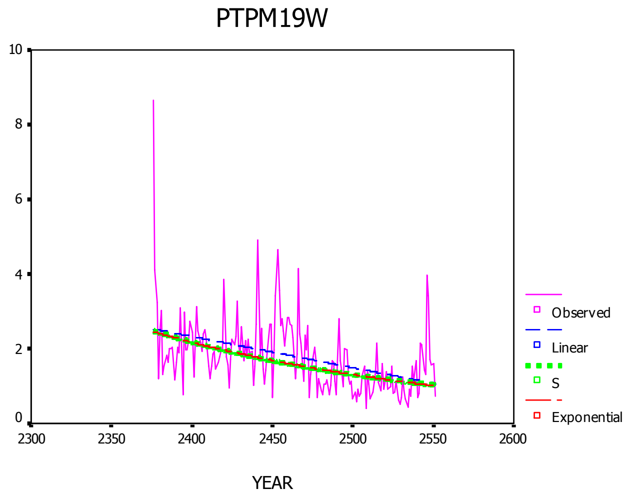
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

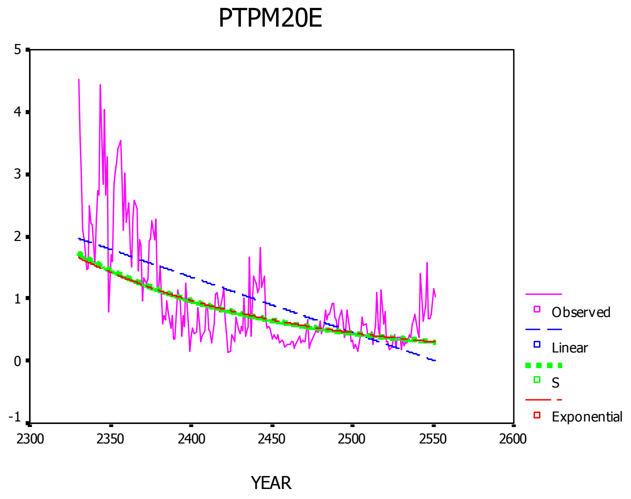


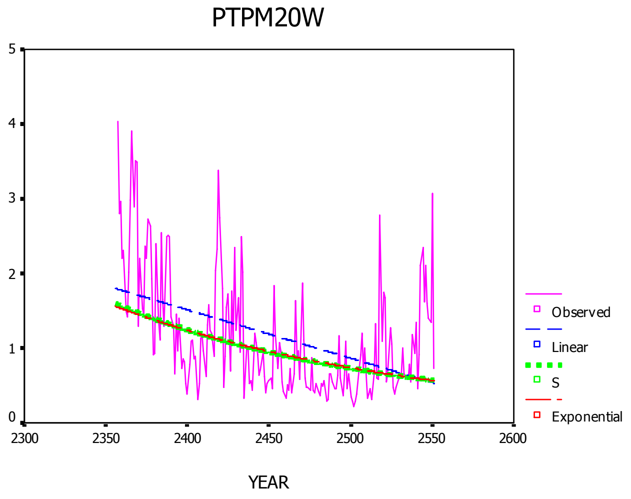




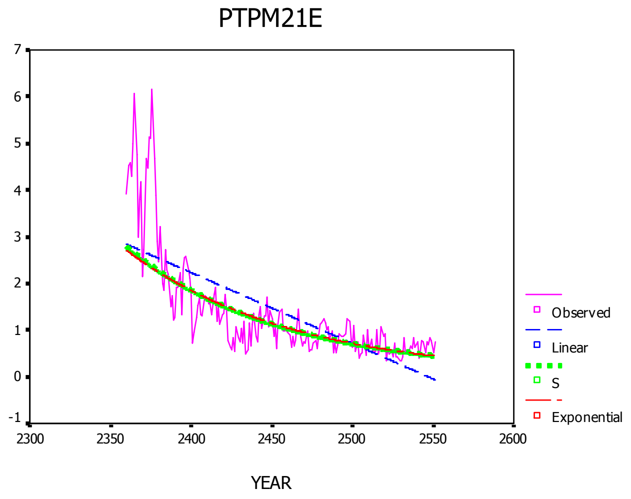
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

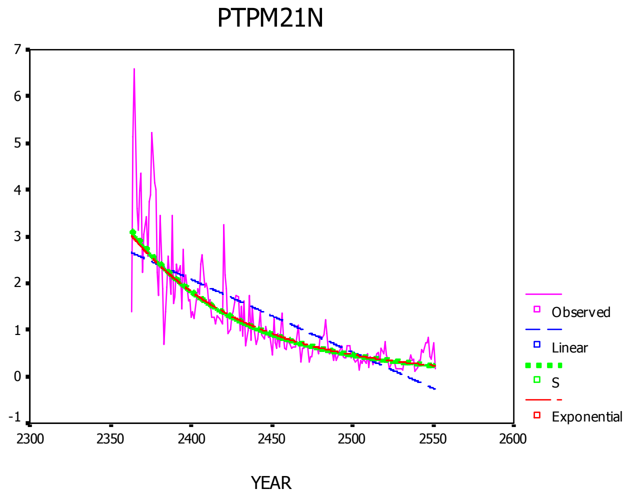


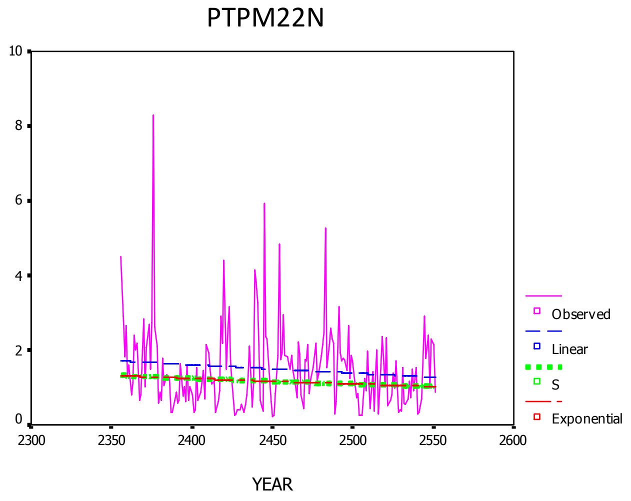




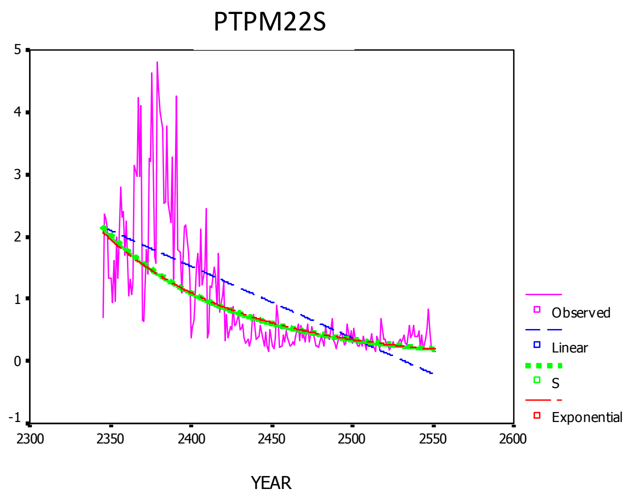
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

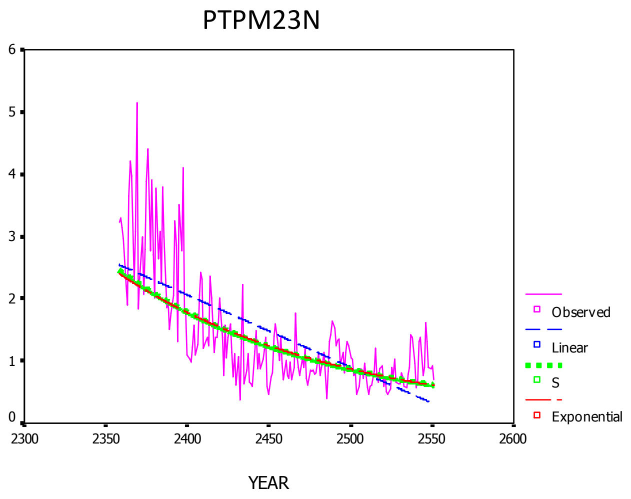


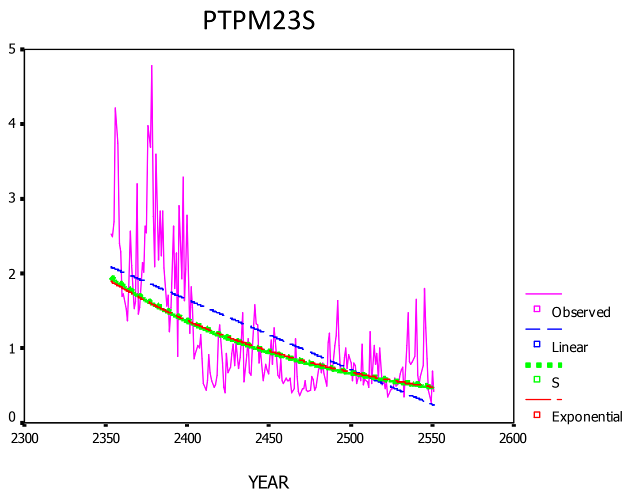




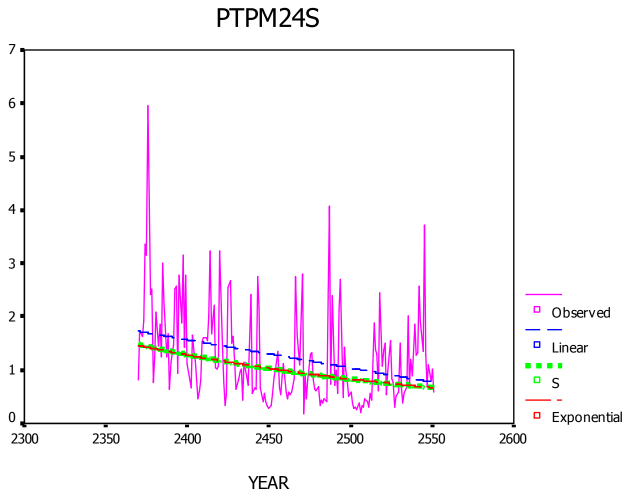
ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)







ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)



ภาพผนวกที่ 1 (ต่อ)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายพิชิต ลำใย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 18 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด	นครปฐม
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาประจำปี งบประมาณ 2551 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุนสนับสนุนการเสนอผลงานวิจัยแบบปากเปล่า ในการประชุมวิชาการของนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา