ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)

ปริญญา

พืชไร่ | พืชไร่นา

สาขา | **ภาควิชา**

เรื่อง คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์

Chemical and Mechanical Properties of Wood in Seven Para Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Clones

นามผู้วิจัย นางสาวจิรวัฒน์ ริยาพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล ภูมิไชย์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์สุธีรา วิทยากาญจน์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ฐิตาภรณ์ ภูมิไชย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์

Chemical and Mechanical Properties of Wood in Seven Para Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Clones

โดย

นางสาวจิรวัฒน์ ริยาพันธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่)
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จิรวัฒน์ ริยาพันธ์ 2556: คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พืชไร่) สาขาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่นา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์เฉลิมพล ภูมิไชย์, Ph.D. 113 หน้า

ยางพาราเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์จากผลผลิตของน้ำยางเป็นหลัก นอกจากนี้ไม้ยางพาราจากการตัดโค่นต้นยางเก่ายังเป็นผลพลอยได้ที่สำคัญในทางเศรษฐกิจ โดยทั่วไปคุณภาพของเนื้อไม้ยางพาราขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติเชิงกล และปัจจัยด้านอื่นๆ ของไม้ การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของโคลนพันธุ์ ระดับความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน (1.3 และ 6.0 ม.) และอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์กับความสูงต่อคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นดัชนีในการคัดเลือกพันธุ์สำหรับโครงการปรับปรุงพันธุ์ยางพารา ไม้ยางพาราที่ได้รับการคัดเลือกมาจากแปลงเปรียบเทียบพันธุ์ยางพาราขั้นต้นที่มีอายุ 13 ปี ของแปลงทดลองปลูกที่ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี ซึ่งประกอบด้วยพันธุ์ทางการค้า 2 พันธุ์ได้แก่ RRIT 251 และ RRIM 600 และลูกผสมอีก 5 โคลนพันธุ์ได้แก่ RRI-CH-35-59, RRI-CH-35-650, RRI-CH-35-1397, RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 การวิจัยครั้งนี้วางแผนการทดลองแบบสุ่มซ้อน (Nested design) ที่มีปัจจัยแบบสุ่ม (CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ โคลนพันธุ์และความสูง มีจำนวน 2 ซ้ำสำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี และ 8 ซ้ำสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโคลนพันธุ์ที่ต่างกันทำให้องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ สารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน ลิกนิน และการละลายในด่าง และคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ โมดูลัสการแตกหัก แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน และความแข็งแตกต่างกัน ในทำนองเดียวกัน ที่ระดับความสูงต่างกันทำให้องค์ประกอบทางเคมี (ยกเว้นสารแทรกที่ละลายในเอทานอลและลิกนิน) และคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ แรงเฉือนขนานเสี้ยน และความแข็งแตกต่างกัน สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงทำให้องค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกันยกเว้นลิกนิน แต่คุณสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังพบอีกว่าองค์ประกอบทางเคมีมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ ดังนั้นโคลนพันธุ์ที่มีคุณภาพเนื้อไม้ดีที่สุดและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมไม้ยางพาราได้แก่ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757, RRI-CH-35-2086 และพันธุ์ RRIM 600 เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีและความแข็งแรงเชิงกลสูง จึงน่าจะมีแนวโน้มในการนำไม้มาใช้เพื่อผลิตเฟอร์นิเจอร์และการปรับปรุงคุณภาพไม้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่ใช้ประโยชน์

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Jirawat Riyaphan 2013: Chemical and Mechanical Properties of Wood in Seven Para Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Clones. Master of Science (Agronomy), Major Field: Agronomy, Department of Agronomy. Thesis Advisor: Assistant Professor Chalermpol Phumichai, Ph.D. 113 pages.

Although Para rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) is mainly grown for latex, rubberwood from old rubber trees is an important economic byproduct after the trees' latex production begins to decline. In general, the quality of wood depends on multiple factor, including chemical and mechanical properties. The objectives of this study were to investigate the effect of clones, height of sampling above ground level (1.3 and 6.0 m) and the interaction between clones and height on chemical and mechanical properties of seven clones of Para rubber. These data will be used to develop a selection index for rubberwood breeding. The seven clones were selected genetic diversity in a preliminary trial of clones from a 13-year-old plantation at Surat Thani Rubber Research Center. These seven clones included two commercial clones (RRIT 251 and RRIM 600) and five of their progenies (RRI-CH-35-59, RRI-CH-35-650, RRI-CH-35-1397, RRI-CH-35-1757 and RRI-CH-35-2086). The statistical experimental design used in this study was Nested design in a completely randomized design (CRD) including two factors (clones and height) with two replicates for chemical properties and eight replicates for mechanical properties analysis. The results show that clones had an effect on chemical composition (ethanol-benzene solubility, lignin and 1% NaOH solubility) and mechanical properties (modulus of rupture, tension perpendicular to grain and hardness). Likewise, the height of sampling above ground had an effect on chemical composition (except for ethanol solubility and lignin) and mechanical properties (shearing parallel to grain and hardness). The interaction between clones and height had an effect on chemical compositions (except for lignin), but not on mechanical properties. Moreover, chemical composition values were also correlated with mechanical properties. In this study, RRI-CH-35-1757, RRI-CH-35-2086 and RRIM 600 had high values for chemical composition and mechanical strength which provided the best quality of wood. Therefore, these clones have good potential to be used in the rubberwood industry.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.เฉลิมพล ภูมิไชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ. ดร.ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อ.ดร.สุธีรา วิทยากาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และ อ.ดร.ฐิตาภรณ์ ภูมิไชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ และกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ ผู้แทนบัณฑิตวิยาลัย ที่ได้ให้ความกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ตลอดจนเป็นที่ปรึกษาทางด้านการใช้โปรแกรมสถิติอีกด้วย

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาพืชไร่นาทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณ คุณกฤษดา สังข์สิงห์ นักวิชาการเกษตรระดับชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี ที่ได้ให้วัตถุดิบไม้ยางพาราในการทดลอง สถานที่ทำการทดลอง ตลอดจนการช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ และขอขอบคุณเจ้าหน้าทุกท่านของศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ รวมทั้งการอำนวยความสะดวกในการทำงานทุกด้าน

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความรู้ทางด้านการวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีของไม้และขอขอบคุณ คุณอรุณี วงษ์แก้ว ที่ให้ความรู้ทางด้านต่างๆ ตลอดจนสอนวิธีการทดลองต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคต ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจและช่วยเหลือมาโดยตลอด

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ยาย และขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ยาย เป็นอย่างสูง ที่คอยให้ความช่วยเหลือ อบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจ และสนับสนุนทางด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

จิรวัฒน์ ริยาพันธ์

มกราคม 2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	28
อุปกรณ์	28
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	59
สรุปและข้อเสนอแนะ	101
สรุป	101
ข้อเสนอแนะ	102
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	103
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	113

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของไม้บางชนิด	10
2	สารตั้งต้นที่เป็นมาโครโมเลกุลของเนื้อไม้ภายในผนังเซลล์	12
3	แรงดึง (%) ในไม้ยางพารา 2 พันธุ์ (PB 260 และ RRIM 600) ที่มีอายุและระดับความสูงต่างกัน	21
4	คุณสมบัติเชิงกลชนิดต่างๆ ที่กำหนดให้ทดสอบในมาตรฐานสำหรับการทดสอบไม้ และการประยุกต์คุณสมบัติเชิงกลเพื่อใช้ประโยชน์	23
5	การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราในสภาพไม้สดและแห้ง	24
6	แสดงการตัดตัวอย่างชิ้นไม้ที่ต้องการทดสอบตามไดอะแกรมการตัดไม้ตามหน้าตัดของลำต้น	42
7	อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	60
8	อิทธิพลของระดับความสูงลำต้นเหนือพื้นดินที่ 1.3 และ 6.0 ม. ต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	65
9	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 1.3 ม. ต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	69
10	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 6.0 ม. ต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	77
11	อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	79
12	อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	81
13	อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อแรงอัดขนานเสี้ยนและแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	84
14	อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อแรงเฉือนขนานเสี้ยนและแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
15	อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อความแข็งและการฉีกของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	87
16	อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	90
17	อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อแรงอัดขนานเสี้ยนและแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	91
18	อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อแรงเฉือนขนานเสี้ยนและแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	92
19	อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อความแข็งและการฉีกของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	94
20	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 1.3 ม. ต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	96
21	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 6.0 ม. ต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	97
22	สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์	100

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การกระจายขององค์ประกอบทางเคมีในผนังเซลล์	12
2	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	14
3	องค์ประกอบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในเฮมิเซลลูโลสของไม้	15
4	โครงสร้างบางส่วนของลิกนินในไม้ใบกว้าง	16
5	องค์ประกอบหลักของโครงสร้างลิกนิน	17
6	การตัดต้นยางพาราที่ระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม.	33
7	การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้	34
8	แสดงการตัดไม้เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามความสูงของลำต้น	40
9	แสดงไดอะแกรมการตัดไม้เพื่อทดสอบตามหน้าตัดของลำต้น	41
10	แสดงเครื่องทดสอบสากลคุณสมบัติเชิงกลของไม้	44
11	แสดงการตัดชิ้นไม้ตามไดอะแกรมเพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกล	45
12	การทดสอบแรงดัดสถิตย์ของไม้	46
13	การทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้	48
14	การทดสอบแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้	49
15	ตัวอย่างชิ้นไม้ขนาด 2 x 2 x 7 ซม. และการบากไม้เพื่อทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน	51
16	การทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้	51
17	การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้	53
18	การทดสอบความแข็งของไม้	54
19	ตัวอย่างชิ้นไม้ขนาด 2 x 2 x 4.5 ซม. และการบากเพื่อทดสอบการฉีก	55
20	การทดสอบการฉีกของไม้	56
21	อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ต่อปริมาณลิกนินในเนื้อไม้	64
22	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณโฮโลเซลลูโลสในไม้	72
23	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณแอลฟาเซลลูโลสในไม้	74
24	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณเพนโตแซนในไม้	75
25	อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณการละลายในด่างของไม้	76
26	การทดสอบโมดูลัสการแตกหักของไม้ยางพารา	83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	การแตกหักด้วยแรงดึงขวางเสี้ยนของไม้ยางพารา	83
28	การทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (ก) เมื่อแรงตั้งฉากกับวงปีไม้จะขาดบริเวณที่เป็นไม้ต้นฤดู (ข) เมื่อแรงทำมุมกับวงปีไม้จะขาดเนื่องจากแรงเฉือนตามแนววงปี	87
29	การทดสอบความแข็งของไม้	89
30	การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ยางพารา	93

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ก.	=	กรัม
กก.	=	กิโลกรัม
ชม.	=	ชั่วโมง
°ซ.	=	องศาเซลเซียส
ซม.	=	เซนติเมตร
ซม.^{3}	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ตร.มม.	=	ตารางมิลลิเมตร
ม.	=	เมตร
ม.^{2}	=	ตารางเมตร
มก.	=	มิลลิกรัม
ไมครอน	=	ไมโครเมตร
มม.	=	มิลลิเมตร
มล.	=	มิลลิลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์

Chemical and Mechanical Properties of Wood in Seven Para Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) Clones

คำนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) เป็นพืชอุตสาหกรรมที่สำคัญยิ่งของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชีย (สถาบันวิจัยยาง, 2553) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม้ยางพารากำลังกลายเป็นที่นิยมของตลาดโลก การส่งออกไม้ยางพาราในด้านอุตสาหกรรมไม้และเฟอร์นิเจอร์ทำเงินตรากลับสู่ประเทศปีละหลายหมื่นล้านบาท (รณชัย, 2553) โดยทั่วไปยางพารามีผลผลิตน้ำยางลดลงเมื่ออายุประมาณ 25-30 ปี (Lim *et al*., 2003) ไม้ยางพาราจึงเป็นเพียงผลพลอยได้จากการตัดโค่นต้นยางเก่าที่ไม่มีผลผลิตน้ำยางหรือมีน้อยและปลูกทดแทนต้นยางใหม่ ดังนั้นหากไม้ไม่มีคุณภาพจะมีลักษณะลำต้นไม่แข็งแรง ง่ายต่อการเข้าทำลายของแมลง มอด ปลวก และเชื้อราต่างๆ ส่งผลให้การซื้อขายในตลาดไม้ยางพารามีราคาลดต่ำลง รวมทั้งการใช้ประโยชน์จากไม้ก็ลดคุณค่าลง ไม้ยางพาราสามารถนำมาพัฒนาให้เกิดมูลค่าเพิ่มและใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดได้ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เฟอร์นิเจอร์ แผ่นชิ้นไม้อัด เชื้อเพลิง และเยื่อกระดาษ เป็นต้น ในปัจจุบันความต้องการใช้ไม้ยางพาราทั้งในด้านเป็นวัตถุดิบ ในการแปรรูปหรือความต้องการใช้เนื้อไม้โดยตรงยังคงมีอยู่และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

การค้นคว้าและวิจัยหาพันธุ์ไม้ยางพาราที่มีคุณสมบัติไม้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานด้านอุตสาหกรรม มีความสำคัญเพื่อลดค่าใช้จ่ายและสารเคมีในการรักษาคุณภาพไม้ ให้สามารถใช้งานได้นานและมีความแข็งแรง ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติด้านต่างๆ ของไม้ยางพาราโดยเฉพาะคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้จึงมีความจำเป็น เนื่องจากคุณภาพของไม้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมี เชิงกล และปัจจัยอื่นๆ ของไม้ (Zobel and Van Buijtenen, 1989) ความแปรปรวนของคุณสมบัติไม้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุกรรมและสภาพแวดล้อม (Zobel and Jett, 1995) คุณสมบัติทางเคมีของไม้ขึ้นอยู่กับชนิดไม้ อายุ ระดับความสูง และสภาพแวดล้อม (Smook, 1992) องค์ประกอบหลักทางเคมีของไม้ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก โดยทั่วไปไม้ใบกว้างหรือแองจิโอสเปิร์ม ประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 38-49% ลิกนินประมาณ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

23-30% และเพนโตแซนประมาณ 19-26% สำหรับในไม้ใบแคบหรือจิมโนสเปิร์ม จะมีปริมาณเซลลูโลส (40-45%) ลิกนิน (26-34%) สูงกว่าและปริมาณเพนโตแซน (7-14%) ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไม้ใบกว้าง (Rowell, 2005) เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่ในเนื้อไม้ มีหน้าที่หลักคือสร้างความแข็งแรงให้แก่เนื้อไม้ และมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติเชิงกลของไม้ ถ้าเนื้อไม้มีเซลลูโลสสูงจะมีผลต่อแรงจากการดึงในไม้ทำให้โครงสร้างของไมโครไฟบริลและโครงสร้างของเซลลูโลสในการเสียรูปมีแรงต้านการดึงสูงสุด (Genet *et al*., 2005; Sjostrom, 1993) นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยอีกหลายงานที่มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมีดังรายงานต่อไปนี้ Hu *et al*. (1999) รายงานว่าการสะสมของปริมาณลิกนินและเซลลูโลสเป็นตัวกำหนดเมตาบอลิซึมของความยืดหยุ่นและมีส่วนช่วยต่อการสนับสนุนการเจริญเติบโตด้านโครงสร้างความยาวของลำต้นในไม้ยืนต้น และจากรายงานของ Reghu (2011) เกี่ยวกับปริมาณลิกนินในไม้ยางพาราพบว่า ไม้ยางพาราพันธุ์ป่า (wild *Hevea* germplasm) ประกอบด้วยลิกนินประมาณ 19.28-24.75% สำหรับในพันธุ์ปลูก (Wickham clones) ประกอบด้วยลิกนินประมาณ 20.84-23.36% คุณสมบัติของลิกนินเป็นสารประกอบฟีโนลิกมีส่วนช่วยในการปกป้องคุณภาพเนื้อไม้ในด้านการเจริญเติบโตของไม้ยางพาราและมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติเชิงกลของไม้อีกด้วย Zaki *et al*. (2012) ศึกษาพันธุ์ยางพาราเพื่อน้ำยางและเนื้อไม้สองพันธุ์ได้แก่ RRIM 2009 และ RRIM 2024 จากการศึกษาพบว่าความแปรปรวนของโฮโลเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสมีความแตกต่างกันระหว่างพันธุ์ทั้งสองพันธุ์ RRIM 2009 มีโฮโลเซลลูโลสเท่ากับ 58.93% และแอลฟาเซลลูโลสเท่ากับ 39.75% ในขณะที่พันธุ์ RRIM 2024 มีโฮโลเซลลูโลสเท่ากับ 60.56% และแอลฟาเซลลูโลสเท่ากับ 43.02% ในการศึกษาครั้งนี้ยังพบอีกว่า ที่ระดับความสูง 1.3 ม. หรือระดับโคนของลำต้นมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด

คุณสมบัติเชิงกลของไม้บ่งบอกถึงความแข็งแรงและลักษณะเฉพาะในการใช้ประโยชน์จากงานด้านไม้ (Kretschmann, 2010) ไม้ยางพารามีความแตกต่างกันของคุณสมบัติเชิงกลทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ ความสูง และอายุที่ต่างกัน เช่น พันธุ์ RRIM 600 มีความแข็งแรงจากการดึงในเชิงกลลดลงเมื่ออายุของไม้เพิ่มมากขึ้น และที่ระดับความสูงด้านล่างของลำต้น (1.3 ม.) จะมีแรงจากการดึงสูงกว่าระดับปลายยอดหรือด้านสูงของลำต้น (6.0 ม.) (Lim *et al*., 2003) นอกจากนี้ Naji *et al*. (2012) รายงานว่าความยาวของเส้นใยในไม้ยางพาราเป็นลักษณะที่มีความสำคัญด้านสัณฐานวิทยาและมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงเชิงกลที่แตกต่างกันของการหดตัวทางด้านความยาวของไม้ มีหลายๆ รายงานแสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีของไม้มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติเชิงกล ยกตัวอย่างเช่น เซลลูโลสมีผลตอบสนองต่อความแข็งแรงจากการดึงในไม้เนื่องจากเซลลูโลสประกอบด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงสร้างของไมโครไฟบริลจำนวนมาก โครงสร้างของเซลลูโลสมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการต้านแรงที่ทำให้ไม้เสียรูปจากแรงในการดึงของไม้ (Sjostrom, 1993; Genet *et al*., 2005) เนื่องจากเซลลูโลสประกอบด้วยพันธะโควาเลนซ์ภายในวงแหวนไพแรนโนส และระหว่างแต่ละหน่วยของเซลลูโลสอีกด้วย จึงทำให้ไม้ที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสในปริมาณที่สูง มีความแข็งแรงของลำต้นสูง (Rowell, 2005) ดังนั้นการศึกษาคุณสมบัติของไม้ทั้งทางเคมีและเชิงกล จึงมีความสำคัญต่อการคัดเลือกพันธุ์ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ยางพาราเพื่อน้ำยางและเนื้อไม้ (latex timber clone) และเพื่อเนื้อไม้ (timber clone) ให้ตรงกับความต้องการของอุตสาหกรรมเพื่อการแปรรูปต่างๆ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร

การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของโคลนพันธุ์ ระดับความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน (1.3 และ 6.0 ม.) และอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์กับความสูงต่อคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ เพื่อใช้เป็นดัชนีในการคัดเลือกพันธุ์สำหรับโครงการปรับปรุงพันธุ์ยางพารา ไม้ยางพาราที่ได้รับการคัดเลือกมาจากพันธุ์ทางการค้า 2 พันธุ์ (RRIT 251 และ RRIM 600) และลูกผสมอีก 5 โคลนพันธุ์ (RRI-CH-35-59, RRI-CH-35-650, RRI-CH-35-1397, RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086) ที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน ในแปลงเปรียบเทียบพันธุ์ยางพาราขั้นต้นที่มีอายุ 13 ปี แปลงทดลองปลูกที่ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอิทธิพลของโคลนพันธุ์ ระดับความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน (1.3 และ 6.0 ม.) และอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์กับความสูง ต่อคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพารา 7 โคลนพันธุ์

2. ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพารา 7 โคลนพันธุ์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคัดเลือกพันธุ์ยางพาราเพื่อเนื้อไม้ในโครงการปรับปรุงพันธุ์ยางพารา

3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพารา 7 โคลนพันธุ์เพื่อหาทิศทางหรือแนวโน้มในการศึกษาวิจัยต่อไป

คำศัพท์บัญญัติ

Hard wood	=	ไม้เนื้อแข็ง
Hardwood	=	ไม้ใบกว้าง
Klason lignin	=	ลิกนินที่สกัดด้วยกรดซัลฟูริคเข้มข้น 72%
Native lignin	=	ลิกนินที่สกัดมาจากเอนไซม์
Soft wood	=	ไม้เนื้ออ่อน
Softwood	=	ไม้ใบแคบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

ประวัติและความเป็นมาของยางพารา

ยางพาราเป็นไม้ยืนต้นมีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำแอมะซอนประเทศบราซิล และเปรู ทวีปอเมริกาใต้ โดยชาวพื้นเมืองเรียกว่าเกาชู (cao tchu) แปลว่าต้นไม้ร้องไห้ ศูนย์กลางของการเพาะปลูกและซื้อขายยางในอเมริกาใต้ดั้งเดิมอยู่ที่รัฐปาราประเทศบราซิล ยางชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกว่ายางพารา ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษหลายอย่างที่มีความสำคัญต่อมนุษย์คือ มีความยืดหยุ่น กันน้ำได้ เป็นฉนวนกันไฟ เก็บและพองลมได้ดี เป็นต้น ดังนั้นมนุษย์จึงยังจะต้องพึ่งพายางในการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ อีกมาก แม้ในปัจจุบันสามารถผลิตยางเทียมได้แล้วก็ตาม แต่คุณสมบัติบางอย่างของยางเทียมก็ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เท่ากับยางธรรมชาติ (Balsiger *et al*., 2000)

ต้นยางพาราถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่สมัยที่ยังใช้ชื่อว่าสยาม ประมาณหลัง พ.ศ. 2425 ได้มีการขยายเมล็ดกล้ายางพาราจำนวน 22 ต้น นำไปปลูกในประเทศต่าง ๆ ของทวีปเอเชีย และมีหลักฐานเด่นชัดว่าเมื่อปี พ.ศ. 2442 พระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี (คอซิมบี้ ณ ระนอง) เป็นผู้เหมือนหนึ่ง “บิดาแห่งยาง” เป็นผู้ที่ได้นำต้นยางพารามาปลูกที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง เป็นครั้งแรก ต่อมาราษฎรได้นำเข้ามาปลูกเป็นสวนยางมากขึ้นและได้มีการขยายพื้นที่ปลูกยางไปในจังหวัดภาคใต้รวม 14 จังหวัด ตั้งแต่ชุมพรลงไปถึงจังหวัดที่ติดชายแดนประเทศมาเลเซีย (สถาบันวิจัยยาง, 2546) จนถึงปัจจุบันประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางทั้งประเทศประมาณ 16.89 ล้านไร่ กระจายกันอยู่ในภาคใต้ ภาคตะวันออก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นแหล่งปลูกยางใหม่ การพัฒนาอุตสาหกรรมยางของประเทศได้เจริญก้าวหน้าเรื่อยมาจนทำให้ประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตและส่งออกยางได้มากที่สุดในโลก (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ทั่วไป

ยางพารามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. มีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า Para rubber อยู่ในตระกูล Euphorbiaceae เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ที่มีอายุยืนยาว (Cobley and Steele, 1976) มีระบบรากเป็นรากแก้ว เมื่อยางอายุ 3 ปี รากแก้วจะหยั่งลงดินมีความยาวประมาณ 2.5 ม. มีรากแขนงที่แผ่ไปทางด้านข้างยาวประมาณ 7-10 ม. ลักษณะลำต้นเป็นพวกไม้ยืนต้น ถ้าปลูกจากเมล็ดจะมีลักษณะเป็นรูปกรวย แต่ถ้าปลูกโดยใช้ต้นติดตาจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอก ความสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประมาณ 30-40 ม. ต้นอ่อนเจริญเร็วมากทำให้เกิดช่วงปล้องยาว เมื่ออายุน้อยเปลือกสีเขียว แต่เมื่ออายุมากขึ้นสีของเปลือกเปลี่ยนเป็นสีเทาอ่อน เทาดำ หรือน้ำตาล เปลือกของลำต้นยางพาราแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. ชั้นของคอร์ค เป็นส่วนที่เป็นเปลือกแข็งชั้นนอกสุด

2. เปลือกชั้นนอก เป็นชั้นถัดเข้ามาประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมา และการเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบของซีฟทิวบ์ มีท่อน้ำยางที่มีอายุมากกระจัดกระจายอย่างไม่ต่อเนื่อง

3. เปลือกชั้นใน เป็นส่วนในสุดของเปลือกติดกับเนื้อเยื่อแคมเบียมประกอบด้วยเซลล์พาเรงคิมาและซีฟทิวบ์ มีท่อน้ำยางซึ่งเวียนขึ้นจากซ้ายไปขวาทำมุม 30-35 องศากับแนวดิ่ง ดังนั้นในการกรีดเพื่อเอาผลผลิตของน้ำยาง จึงต้องกรีดลงจากซ้ายไปขวาเพื่อตัดท่อน้ำยางให้ได้จำนวนมากที่สุด เปลือกของลำต้นที่ให้น้ำยางคือเปลือกชั้นนอกและเปลือกชั้นใน มีความหนารวมกัน 10-11 มม. น้ำยางที่ได้เป็นไซโทพลาซึมที่อยู่ในท่อ หลังจากกรีดแล้วเปลือกจะเจริญได้เหมือนเดิมโดยใช้เวลา 7-8 ปี (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

ใบของยางพาราเกิดเวียนเป็นเกลียว เป็นกลุ่มและท่อกลุ่มเรียกว่า ฉัตรใบ (leaf storey) ใบเป็นใบประกอบ มีใบย่อย 3 ใบ มีต่อมน้ำหวานที่โคนก้านใบ แต่ละใบรูปร่างเป็นแบบรูปไข่หรือวงรี ยางพาราจะผลัดใบในช่วงต้นฤดูแล้ง ในภาคใต้จะผลัดใบในเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม ส่วนภาคตะวันออกจะผลัดใบในเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน ช่อดอกเกิดตามปลายกิ่งเป็นแบบพานิเคิล มีกิ่งแขนงมาก ช่อดอกเกิดขึ้นพร้อมกับใบใหม่ที่ผลัดหลังจากผลัดใบ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกัน แต่อยู่บนช่อดอกเดียวกัน ผลเป็นแบบแคปซูล โดยทั่วไปมี 3 เมล็ด เมื่อแก่ผลจะแตกออก เกิดเสียงดัง เปลือกหุ้มเมล็ดจะมีลาย เมล็ดมีทั้งส่วนของเอนโดสเปิร์มและใบเลี้ยง ใบเลี้ยงมีโปรตีนประมาณ 18% และมีน้ำมันสูงถึง 40% (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2547)

คุณสมบัติของไม้ยางพารา

ไม้ยางพาราเป็นไม้ที่มีลักษณะลำต้นกลมสูงปานกลางเปลือกสีเทาดำ มองทางด้านหน้าตัดจะเห็นท่อน้ำยางต่อกันเป็นวงตามแนวด้านสัมผัสเนื้อไม้มีสีขาวอมเหลืองเมื่อสดและจะมีสีขาวจางเมื่อแห้งเนื้อหยาบปานกลางเสี้ยนตรง วงรอบปีเห็นไม่ชัด แกนเรย์มีขนาดเล็กมากและมีสีอ่อนกว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื้อไม้ พอร์เป็นแบบหลายรัศมี ซึ่งการเรียงตัวจะตัดกันระหว่างเรย์กับพาเรงคิมาที่ไม่ติดพอร์ ทำให้มองดูเนื้อไม้คล้ายตาข่าย มีความหนาแน่นพื้นฐาน 0.56-0.65 ก./ซม.^{3} สำหรับที่ความชื้น 15% มีความหนาแน่นประมาณ 0.67-0.74 ก./ซม.^{3} โดยมีค่าใกล้เคียงกับไม้ซอฟต์เมเปิล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโคลนพันธุ์ของยางพารานั้นๆ สำหรับเส้นใยไม้ยางพารามีขนาดประมาณ 1.26 มม. มีความกว้างประมาณ 0.021 มม. (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

ไม้ยางพาราและการใช้ประโยชน์

ไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากการตัดโค่นต้นยางเก่าเพื่อปลูกทดแทนต้นยางใหม่ สามารถทำรายได้ให้แก่เกษตรกรจำนวนมาก ราคาซื้อขายไม้ยางจากแปลงเกษตรกรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณไม้ คุณภาพไม้ การขนส่ง และสภาพแวดล้อม เป็นต้น อุตสาหกรรมไม้ยางพารามีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ ช่วยสร้างมูลค่าการส่งออกไม้ยางและผลิตภัณฑ์ไม้ทั้งหมดจาก 156,160.64 ล้านบาท ในปี 2550 เป็น 168,002.79 ล้านบาท ในปี 2553 (สถาบันวิจัยยาง, 2553) นอกจากนี้ไม้ยางพาราสามารถนำมาพัฒนาให้เกิดมูลค่าเพิ่มและใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดได้ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ เฟอร์นิเจอร์ พลังงาน เยื่อกระดาษ ธาตุอาหารคาร์โบไฮเดรต และปุ๋ยชีวภาพ เป็นต้น (Teoh *et al*., 2011) การนำไม้ไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องเรือน ของเล่น แผ่นชิ้นไม้อัด แผ่นใยไม้อัดแข็งความหนาแน่นปานกลาง (MDF) กรอบรูป พื้นไม้ปาร์เก้ เครื่องครัว เครื่องมือใช้สอยที่ทำด้วยไม้ และยังสามารถนำไปใช้เป็นไม้เสาเข็มงานก่อสร้าง ทำเป็นเชื้อเพลิงในรูปแบบต่างๆ ทำล้อไม้สำหรับม้วนสายไฟฟ้า และทำลังใส่ปลา เป็นต้น (สถาบันวิจัยยาง, 2553)

ลักษณะโดยทั่วไปของไม้

โครงสร้างของเนื้อไม้

ในไม้ยืนต้นการเจริญเติบโตของเส้นผ่านศูนย์กลางของต้นเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตของวาสคิวลาร์แคมเบียม (Larson, 1994) ซึ่งจะพัฒนาไปเป็นเซลล์ที่มีหน้าที่ลำเลียงน้ำและให้ความแข็งแรงของต้น การพัฒนาของท่อลำเลียงน้ำและท่อลำเลียงอาหารเกี่ยวข้องกับกระบวนการพื้นฐานของการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งการแบ่งเซลล์ การขยายขนาดเซลล์ การสร้างผนังเซลล์ ซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับการสร้าง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และการตายของเซลล์ระหว่างขั้นตอนการพัฒนาจะมีผลต่อคุณสมบัติโครงสร้างของเนื้อไม้และเส้นใย นอกจากนี้ ความแปรปรวนของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงสร้างเนื้อไม้ได้แก่ โครงสร้างของลำต้น เนื้อเยื่อ เซลล์ ผนังเซลล์ และองค์ประกอบทางชีวเคมีของผนังเซลล์ เป็นต้น มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ ซึ่งมีความสำคัญมากต่อการใช้ประโยชน์ที่แตกต่างกัน (Sixta, 2006)

ทางด้านการเจริญเติบโตของไม้ จะประกอบด้วยเส้นรอบวงของต้นไม้โดยทั่วไปเป็นผลจากกิจกรรมวาสคิวลาร์แคมเบียม ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเจริญทางด้านข้าง ทำให้ไม้มีลำต้นกว้างเพิ่มขึ้น โดยจะแบ่งตัวให้โฟลเอมขั้นที่สองและไซเลมขั้นที่สอง ทำให้กลุ่มท่อลำเลียงมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีการเจริญติดต่อกันโดยตลอดเป็นวงรอบลำต้น (เทียมใจ, 2542) สำหรับโฟลเอมจะทำหน้าที่ลำเลียงอาหารจากการสังเคราะห์แสง และไซเลมทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของต้นเนื่องจากมีผนังเซลล์หนา ไซเลมมีความแข็งแรงและผนังเซลล์หนากว่าโฟลเอม การพัฒนาของโฟลเอมและไซเลมเกี่ยวข้องกับขบวนการสร้างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Stern, 1994) โดยทั่วไปไม้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ไม้ใบแคบ (softwood) หรือไม้จำพวกจิมโนสเปิร์ม เป็นพืชที่ไม่มีใบเลี้ยง เช่น ไม้ตระกูลสน ไม้ใบรูปเข็ม สนสองใบ และสนสามใบ เป็นต้น อีกประเภทหนึ่งคือ ไม้ใบกว้าง (hardwood) หรือไม้จำพวกแองจิโอสเปิร์ม เป็นพืชที่มีใบเลี้ยงและมีดอก เช่น สัก ยาง และประดู่ เป็นต้น (Fengel and Wegener, 2003) องค์ประกอบหลักทางเคมีของไม้ใบแคบประกอบด้วย เซลลูโลสประมาณ 42±2% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 27±2% ลิกนินประมาณ 28±3% และสารแทรกประมาณ 3±2% สำหรับในไม้ใบกว้างประกอบด้วย เซลลูโลสประมาณ 45±2% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 30±5% ลิกนินประมาณ 20±4% และสารแทรกประมาณ 5±3% ส่วนที่เหลือเป็นสารองค์ประกอบรอง ได้แก่ ไขมัน เรซิน น้ำมัน เกลือแร่ เพคติน และโปรตีน เป็นต้น (Smook, 1992)

ในส่วนของโครงสร้างทางด้านกายวิภาค มีผนังเซลล์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นสารประกอบพวกคาร์โบไฮเดรตจึงทำให้เซลล์มีความแข็งแรง นอกจากนี้ยังมีสารพวกเฮมิเซลลูโลส เพคติน และลิกนินช่วยประสานการทำงานของเซลล์ สร้างความยืดหยุ่นและทำให้ไม้ไม่หักง่าย เป็นต้น ในเซลล์บางชนิดที่ต้องการความแข็งแรงมากขึ้น เช่น ในเซลล์พาเรงคิมาของท่อลำเลียงน้ำขั้นที่สอง จะมีผนังเซลล์ชั้นที่สองเกิดขึ้นที่ด้านในของผนังเซลล์ชั้นแรกทั้งสองข้าง และประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสอาจจะเกิดขึ้นซ้อนกันหลายๆ ชั้น บางเซลล์จะมีสารพวกลิกนินมาสะสม ทำให้ผนังเซลล์แข็งแรงมากขึ้นอีกเรียกว่า lignified wall ลิกนินนี้มิใช่จะสะสมแต่บนผนังเซลล์ชั้นที่สองเท่านั้น หากแต่ยังสะสมอยู่บนผนังเซลล์ชั้นแรกและมิดเดิลลาเมลลาด้วย (Rowell, 2005) ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ พืชสร้างขึ้นในระยะที่เซลล์กำลังเจริญเติบโต มีลักษณะบาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยืดหยุ่น และโอนอ่อนได้ดี ประกอบด้วยสารพวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน สำหรับผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ พืชสร้างขึ้นมาภายหลังจากที่เซลล์เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ประกอบด้วยเซลลูโลส และลิกนิน ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เซลล์ มีความยืดหยุ่นได้น้อยหรือไม่ยืดหยุ่นเลย (สมบุญ, 2544)

ลักษณะเนื้อไม้

โดยทั่วไปมักจะแบ่งเนื้อไม้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (hard wood) โดยที่ไม้เนื้ออ่อน หมายถึง เนื้อไม้ของพวกจิมโนสเปิร์ม ได้แก่ พวกไม้สนเขา ส่วนไม้เนื้อแข็ง หมายถึง เนื้อไม้ของพืชใบเลี้ยงคู่ เช่น สัก ยาง เต็ง รัง ซึ่งส่วนมากจะแข็ง ทนทาน แต่ไม้เนื้อแข็งบางชนิด เช่น ไม้สมพง และไม้บัลซา จะเบาและอ่อนกว่าไม้เนื้ออ่อนแทบทุกชนิด ในส่วนของน้ำหนักไม้จะประกอบด้วยความถ่วงจำเพาะของสารในผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อลำเลียงน้ำ และแร่ธาตุชั้นที่สองของพืชทุกชนิดเกือบเท่าๆ กัน คือ ประมาณ 1.53 น้ำหนักของไม้เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์อย่างมาก ไม้ที่มีน้ำหนักมากย่อมหมายถึงไม้นั้นมีโครงสร้างและสารแทรกในเนื้อไม้มาก จนทำให้มีน้ำหนักและความแข็งแรงมาก เหมาะที่จะนำไปใช้ในส่วนที่ต้องการความทนทานและแข็งแรงมาก (เทียมใจ, 2542)

จากรายงานของ Irving and Menachem (1991) พบว่าเนื้อไม้ใบกว้างประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 43-47% เฮมิเซลลูโลสประมาณ 25-35% และลิกนินประมาณ 16-24% นอกจากนี้รายงานของ Norman and Jenkins (1933) พบว่า เนื้อไม้ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเซลลูโลส พบในผนังเซลล์ของพืช ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เนื้อไม้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลส Stern (1994) รายงานว่า ในส่วนของเนื้อไม้ที่แห้งในธรรมชาติประกอบด้วยน้ำประมาณ 50% ของน้ำหนัก ก่อนที่ไม้จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ต้องปรับปริมาณความชื้นในไม้ให้ลดลงถึง 12% หรือน้อยกว่านั้นขึ้นอยู่กับฤดูกาล ชนิดของไม้ และยังพบอีกว่า ไม้ที่แห้งแล้วประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 45-47% และลิกนินประมาณ 15-25% สารดังกล่าวเป็นสารตั้งต้นที่อาศัยอยู่ในผนังเซลล์ของท่อลำเลียงน้ำ ช่วยสร้างผนังเซลล์ให้มีความแข็งแรงทนทาน การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของไม้ยางพาราพบว่ายังมีการรายงานน้อย ดังนั้นจึงต้องเปรียบเทียบไม้ยางพารากับไม้ชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นไม้ใบกว้างเช่นเดียวกัน จากรายงานของ Mohammed Raphy *et al*. (2011) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไม้กระถินสองชนิด คือ *Acacia mangium* และ *Acacia auriculiformis* Cunn. ซึ่งมีอายุ 13 ปีเทียบเท่ากับไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และจัดเป็นไม้ใบกว้างเช่นเดียวกันพบว่า ไม่มีความแปรปรวนระหว่างไม้ทั้งสองชนิดของ องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณลิกนินและเซลลูโลส และพบว่า *A. auriculiformis* Cunn. เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำกระดาษเนื่องจากปริมาณแอลฟาเซลลูโลสและลิกนินสูงกว่า *A. mangium* สำหรับไม้ประเภทเดียวกันแต่ต่างโคลนพันธุ์ ได้แก่ ไม้ยางพาราพันธุ์ RRIM 2009 และ RRIM 2024 ซึ่งเป็นพันธุ์เพื่อน้ำยางและเนื้อไม้พบว่า มีความแตกต่างกันของโฮโลเซลลูโลสและ แอลฟาเซลลูโลสระหว่างพันธุ์ พันธุ์ RRIM 2009 ประกอบด้วยโฮโลเซลลูโลสและแอลฟา เซลลูโลสเท่ากับ 58.93% และ 39.75% ตามลำดับ สำหรับพันธุ์ RRIM 2024 ประกอบด้วยโฮโล เซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสเท่ากับ 60.56% และ 43.02 % ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าโฮโล เซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสมีปริมาณมากที่สุดในระดับความสูงด้านล่างหรือ 1.3 ม. ของลำต้น เหนือพื้นดิน และให้ค่าต่ำสุดที่ระดับความสูงส่วนยอดของลำต้น (Zaki *et al*., 2012)

ไม้มีองค์ประกอบหลักได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารแทรก ในตารางที่ 1 แสดงถึงองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของไม้บางชนิด ซึ่งแต่ละองค์ประกอบช่วยสนับสนุน คุณสมบัติของเส้นใยที่มีผลต่อการผลิตเนื้อไม้ (Sjostrom, 1993)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของไม้บางชนิด

เปอร์เซ็นต์ (%)	สน (*Pinus sylvestris*)	สปรูซ (*Picea glauca*)	ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis*)	เบิร์ค (*Betula verrucosa*)
เซลลูโลส	40.0	39.5	45.0	41.0
เฮมิเซลลูโลส				
- กลูโคแมนแนน	16.0	17.2	3.1	2.3
- กลูคูโรโนไซแลน	8.9	10.4	14.1	27.5
- คาร์โบไฮเดรตอื่นๆ	3.6	3.0	2.0	2.6
ลิกนิน	27.7	27.5	31.3	22.0
สารแทรกทั้งหมด	3.5	2.1	2.8	3.0

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sjostrom (1993)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะและคุณสมบัติที่เหมือนกันในเนื้อไม้ทุกชนิด คือ ประกอบด้วยเซลล์เล็กๆ รูปร่างเหมือนเข็มยาวไปในทางเดียวกันกับความยาวของลำต้น เซลล์เหล่านี้มีรูเปิดให้อากาศและน้ำเดินผ่านได้ถึงกันหมด เนื้อไม้ประกอบด้วยสารเคมีอย่างเดียวกัน ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณมากน้อยต่างกันตามชนิดของไม้ สารเหล่านี้ได้แก่ เซลลูโลส คาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ที่คล้ายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน คุณสมบัติของเนื้อไม้ดังกล่าวนี้ ทำให้ไม้เป็นวัสดุที่มีประโยชน์ทางเศรษฐกิจมีที่ใช้กว้างขวางทั้งทางตรง เช่น ใช้เนื้อไม้เป็นเฟอร์นิเจอร์ วัสดุก่อสร้าง และทางอ้อม เช่น อุตสาหกรรมทำกระดาษ เป็นต้น (เฉลิม, 2511)

องค์ประกอบทางเคมีของไม้

ไม้เป็นอินทรียวัตถุที่มีองค์ประกอบหลักได้แก่ คาร์บอนประมาณ 49%, ออกซิเจนประมาณ 44% และไฮโดรเจนประมาณ 6% เป็นต้น องค์ประกอบเหล่านี้มีความแปรปรวนน้อยมากระหว่างไม้ชนิดอื่นๆ และจะมีค่าสูงในพอลิเมอร์หรือมาโครโมเลกุล ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์ (Sixta, 2006) มีพอลิเมอร์ของไม้สามารถจัดกลุ่มได้เป็น 3 ชนิดคือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 40-45% ลิกนินประมาณ 18-35% และเฮมิเซลลูโลสประมาณ 15-25% ส่วนที่เหลือจะประกอบด้วยน้ำตาลอื่นๆ เช่น แป้งและเพคติน เป็นต้น (Rowell, 2005) หลักเกณฑ์ทั่วไปของคาร์โบไฮเดรต เป็นโมเลกุลของน้ำตาลที่พบในพืชและเป็นผลิตผลที่ได้จากปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ หน้าที่ของน้ำตาลในพืชจะมีหน้าที่หลักสามหน้าที่คือ เป็นแหล่งพลังงาน แหล่งสะสมอาหาร และให้ความแข็งแรงแก่ผนังเซลล์ของพืช (ปรีชา, 2528) สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของลิกนิน และเฮมิเซลลูโลสมีความแตกต่างกันในไม้ใบกว้างและไม้ใบแคบ ในขณะที่เซลลูโลสมีความสัมพันธ์เหมือนกันในไม้ทั้งหมด (ตารางที่ 2)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 สารตั้งต้นที่เป็นมาโครโมเลกุลของเนื้อไม้ภายในผนังเซลล์

องค์ประกอบทางเคมีของไม้	เปอร์เซ็นต์ (%)	
	ไม้ใบแคบ	ไม้ใบกว้าง
เซลลูโลส	40-44	40-44
เฮมิเซลลูโลส	30-32	15-35
ลิกนิน	25-32	18-25

ที่มา: ดัดแปลงจาก Sixta (2006)

การกระจายขององค์ประกอบทางเคมีในผนังเซลล์

ผนังเซลล์ในไม้เป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญ ผนังเซลล์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ มิดเดิลลาเมลลา ผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ และผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (ภาพที่ 1) ในแต่ละส่วนจะมีองค์ประกอบหลักของไม้ 3 องค์ประกอบได้แก่ เซลลูโลสไมโครไฟบริล (มีการกระจายตัวส่วนใหญ่ทั่วทั้งเซลล์) เฮมิเซลลูโลส (ส่วนที่ห่อหุ้มเพคตินในผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ) และลิกนิน (ส่วนใหญ่อยู่ในผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ) ปริมาณองค์ประกอบเคมีในผนังเซลล์ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ และสภาพแวดล้อมของตัวอย่างไม้ ซึ่งในไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างมีความแตกต่างกัน (Fengel and Wegener, 1984)

cell wall layer	Compound		
	cellulose	hemicellulose and pectin	lignin
	%		
compound middle lamella (P+ML)	14	27	59
secondary wall 1 (S1)	35	35	30
secondary wall 2 (S2) incl. tertiary wall (T)	60	14	26

ภาพที่ 1 การกระจายขององค์ประกอบทางเคมีในผนังเซลล์

ที่มา: Fengel and Wegener (1984)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เซลลูโลส

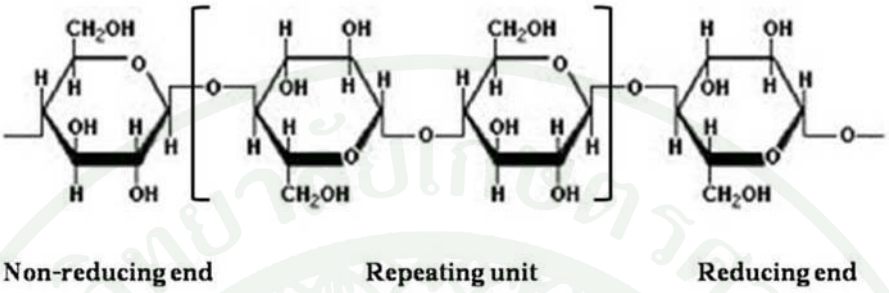
เซลลูโลสมีสูตรโครงสร้างทางเคมีคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากกลูโคสโมเลกุลมาเชื่อมต่อกัน มีลักษณะเป็นเส้นด้ายยาวเรียกว่า ไมโครไฟบริล มาจากไฟบริลที่มีโครงสร้างเป็นด้ายยาวรวมตัวกันมากมาย มีคุณสมบัติที่เหมือนกันทั้งในไม้ใบแคบ และในไม้ใบกว้าง เซลลูโลสมีลักษณะสีขาวคล้ายสำลี ทนต่อกรดและด่าง เซลลูโลสเป็นสารอินทรีย์ที่มีมากที่สุดในผนังเซลล์ จำนวนหน่วยซ้ำของกลูโคสคือ ระดับการเกิดพอลิเมอร์ (DP) เซลลูโลสในไม้มีค่าเฉลี่ย DP ของไม้อย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 9,000-10,000 และอาจจะมีค่าสูงถึง 15,000 ค่าเฉลี่ย DP ประมาณ 10,000 จะตอบสนองต่อความยาวของโซ่ตรงในเซลลูโลสทำให้มีค่าใกล้เคียง 5 ไมครอนในไม้ซึ่งหมายความว่า เซลลูโลสมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10,000 ถึง 150,000 (Rowell, 2005)

โครงสร้างและคุณสมบัติ

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักที่ประกอบอยู่ในพืชจะมีประมาณ 40-50% เซลลูโลสเป็นโฮโมพอลิเมอร์ของกลูโคสที่จับกันด้วยพันธะ β-1, 4-glycosidic เชื่อมกับน้ำตาลดีกลูโคไพแรนโนส (หน่วยเป็นแอนไฮโดรกลูโคส, AGU) (ภาพที่ 2) ไม่มีกิ่งแขนง จึงไม่ละลายน้ำ หน่วยพื้นฐานที่ซ้ำกันของเซลลูโลสคือ เซลโลไบโอส ซึ่งประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุลที่เชื่อมกันด้วยพันธะ β-1, 4-glycosidic เซลลูโลสถือได้ว่าเป็นไอโซแทคติกพอลิเมอร์ของเซลโลไบโอส ทุกๆ หน่วยของแอนไฮโดรกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C2, C3 และ C6 ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาทุกชนิดของแอลกอฮอล์ปฐมภูมิ และแอลกอฮอล์ทุติยภูมิ (Sixta, 2006) ไมโครไฟบริลของเซลลูโลสประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นผลึกน้อยซึ่งเรียกว่า บริเวณอสัณฐาน (amorphous region) เซลลูโลสมีมวลโมเลกุลสูงและมีค่า DP สูง (ปรีชา, 2528) เซลลูโลสมีผลตอบสนองต่อความแข็งแรงของไม้มากที่สุด เนื่องจากบริเวณโซ่ตรงของเซลลูโลสประกอบด้วยผลึกเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นทำให้เซลล์มีความแข็งแรง (Sixta, 2006) นอกจากนี้ การแยกเซลลูโลสยังแบ่งตามการใช้ประโยชน์ในการฟอกเยื่อและกระดาษได้เป็น 3 ชนิดคือ แอลฟาเซลลูโลส เบตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลสตามวิธีดั้งเดิมของ Cross and Bevan (1900) ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางเพื่อเป้าหมายในงานทดลองต่างๆ เช่น ลักษณะอายุของต้นไม้ การตอบสนองต่อการฟอกเยื่อและกระดาษ เป็นต้น แอลฟาเซลลูโลสบ่งบอกถึงโครงสร้างในส่วนของผลึกในปริมาณที่สูง และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าเบตาเซลลูโลสกับแกมมาเซลลูโลสในเยื่อ จึงส่งผลให้ไม้มีความแข็งแรงสูง ถ้ามีปริมาณของแอลฟาเซลลูโลสที่สูง สำหรับเบตาเซลลูโลสคือมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่วนของผลึกต่ำกว่า และแกมมาเซลลูโลสมีเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ (Sixta, 2006; TAPPI T429 cm-10, 2010)



ภาพที่ 2 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส

ที่มา: Sixta (2006)

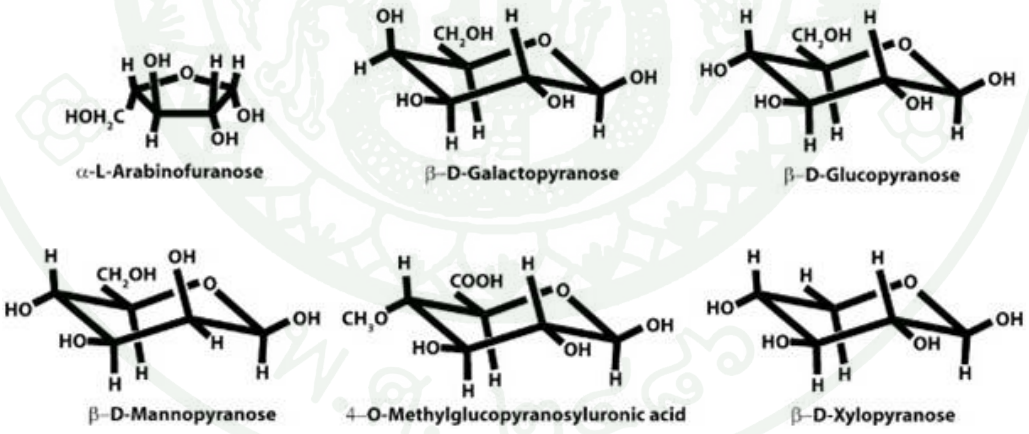
เฮมิเซลลูโลส

โดยทั่วไปส่วนของเฮมิเซลลูโลสในไม้ประกอบด้วยพอลิเมอร์ที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่มีค่า DP ต่ำกว่าเซลลูโลส (DP เฉลี่ยประมาณ 100-200) และประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์หลายๆ ชนิด โครงสร้างส่วนใหญ่คือ น้ำตาลดีไซโลไพแรนโนส (D-xylopyranose) น้ำตาลดีกลูโคไพแรนโนส (D-glucopyranose) น้ำตาลดีกาแลคโตไพแรนโนส (D-galactopyranose) น้ำตาลแอลอะราบิโนฟูแรนโนส (L-arabinofuranose) น้ำตาลดีแมนโนไพแรนโนส (D-mannopyranose) กรดดีกลูโคไพแรนโนไซลูโรนิก (D-glucopyranosyluronic acid) และกรดดีกาแลคโตไพแรนโนไซลูโรนิก (D-galactopyranosyluronic acid) ส่วนที่เหลือประกอบด้วยน้ำตาลชนิดอื่นๆ ปริมาณเล็กน้อย เฮมิเซลลูโลสถูกกำหนดให้มีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 (C-4) ของเพนโทส (ไซโลส และ อะราบิโนส) และคาร์บอนตำแหน่งที่ 5 (C-5) ของเฮกโซส (กลูโคส กาแลคโตส และแมนโนส) ชื่อของเฮมิเซลลูโลสที่เรียกตามโครงสร้างของวงแหวนได้แก่ ฟูแรนโนส หมายถึง วงแหวน 5 ชนิด สำหรับไพแรนโนส หมายถึง โครงสร้างของวงแหวน 6 ชนิด เฮมิเซลลูโลสมีความสัมพันธ์อย่างมากกับเซลลูโลสและช่วยประสานองค์ประกอบของโครงสร้างต่างๆ ในไม้ควบคู่กับปริมาณลิกนิน (Rowell, 2005)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงสร้างและคุณสมบัติ

เฮมิเซลลูโลสเป็นเฮเทอโรจีนัสพอลิเมอร์ ซึ่งเกิดจากวิธีการสังเคราะห์ทางชีวเคมีที่แตกต่างกันกับการเกิดของเซลลูโลส ทั้งนี้มีมวลโมเลกุลต่ำกว่าเซลลูโลส และโครงสร้างภายในไม่เป็นผลึก หรือที่เรียกว่า ส่วนอสัณฐาน จะมีการเรียงตัวกันแบบหลวมๆ ไม่ได้ทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงแก่เซลล์ แต่ช่วยในการประสานองค์ประกอบต่างๆ ให้เชื่อมติดกันเช่นเดียวกับลิกนิน โดยทั่วไปเฮมิเซลลูโลสประกอบด้วย น้ำตาลมากกว่าหนึ่งชนิดและน้ำตาลมีโครงสร้างเป็นกิ่งแขนง แสดงในภาพที่ 3 ยกตัวอย่าง เช่น กาแลคโตกลูโคแมนแนน (galactoglucomanan) อะราบิโนกลูคูโรโนไซแลน (arabinoglucuronoxylan) อะราบิโนกาแลคแทน (arabinogalactan) กลูคูโรโนไซแลน (glucuronoxylan) และกลูโคแมนแนน (glucomannan) เป็นต้น สามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ง่ายด้วยกรด เฮมิเซลลูโลสในไม้ใบแคบและไม้ใบกว้างมีความแตกต่างกัน (Rowell, 2005) ในไม้ใบแคบหรือไม้ตระกูลสน มีเฮมิเซลลูโลสประมาณ 25-30% ส่วนไม้ใบกว้างมีเฮมิเซลลูโลสประมาณ 30-35% โดยไม้ใบกว้างจะมีเฮมิเซลลูโลสสูงกว่าไม้ใบแคบ นอกจากนี้ ยังมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาได้มากกว่าเซลลูโลส เนื่องจากมีผลึกเรียงตัวกันอย่างหลวมๆ (ปรีชา, 2528)



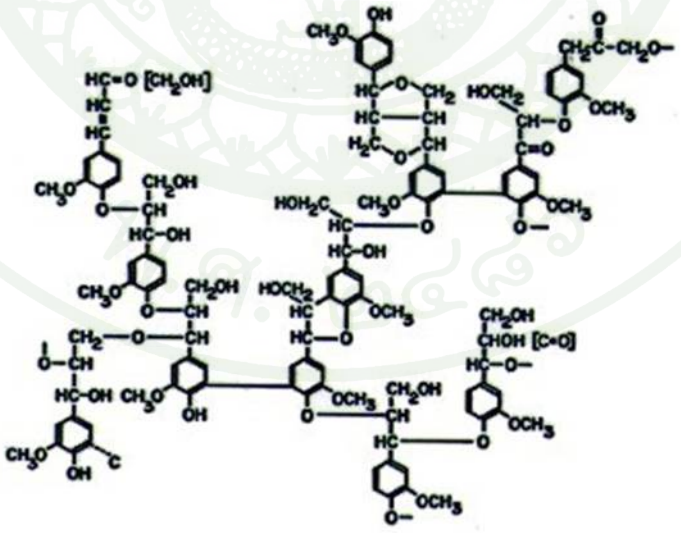
ภาพที่ 3 องค์ประกอบน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในเฮมิเซลลูโลสของไม้

ที่มา: Wright (2008)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลิกนิน

ลิกนินมีอยู่ในพืชที่ให้เนื้อไม้ทั้งหมด เป็นสารที่แคมเบียมผลิตขึ้นในขณะที่เซลล์กำลังขยายตัวหุ้มผนังเซลล์ให้มีความแข็งแรงหรือเหนียวมากขึ้น สามารถใช้ประโยชน์เป็นสารประกอบเทอร์โมพลาสติก เนื่องจากมีความเหนียวใช้เป็นสารยึดเหนี่ยวในแผ่นใยไม้อัด (fiberboard) (Fengel and Wegener, 2003) ลิกนินมีมากรองลงมาจากเซลลูโลส การกระจายตัวของลิกนินพบในผนังเซลล์ชั้นที่สอง และมีปริมาณสูงสุดในมิดเดิลลาเมลลา ซึ่งอยู่ติดกับผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิ เนื่องจากความแตกต่างในปริมาณของมิดเดิลลาเมลลาต่อผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ โดย 70% ของลิกนินอยู่ภายในผนังเซลล์ ลิกนินสามารถแยกออกมาจากไม้ได้หลายวิธี ซึ่งจะมีชื่อเรียกลิกนินตามวิธีที่สกัด ยกตัวอย่าง เช่น คลาสันลิกนิน (Klason lignin) ได้มาจากการไฮโดรไลซ์คาร์โบไฮเดรตในเนื้อไม้ ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72% เพื่อให้เหลือแต่ลิกนินออกมา หรือนาทีฟลิกนิน (native lignin) ที่ได้จากการสกัดลิกนินออกจากไม้ด้วยเอนไซม์ เป็นต้น น้ำหนักโมเลกุลของลิกนินนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการสกัด เช่น คลาสันลิกนิน ถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะมีค่าประมาณ 260 และถ้ามีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีค่าประมาณ 50 ล้าน ความแปรปรวนของโครงสร้างภายในลิกนินมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ ในไม้ใบกว้าง มีลิกนินประมาณ 18-25% โครงสร้างของลิกนินในไม้ใบกว้าง แสดงในภาพที่ 4 สำหรับในไม้ใบแคบประกอบด้วย ลิกนินประมาณ 25-35% (Rowell, 2005)



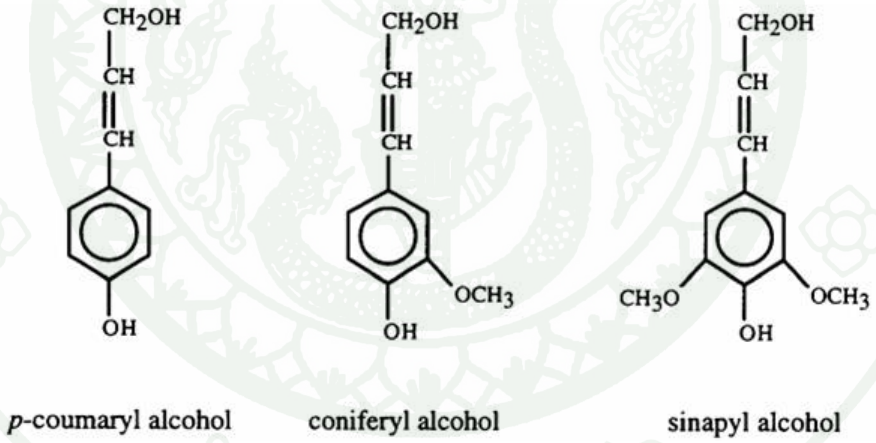
ภาพที่ 4 โครงสร้างบางส่วนของลิกนินในไม้ใบกว้าง

ที่มา: Alder (1997)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โครงสร้างและคุณสมบัติ

ลิกนินมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน มีองค์ประกอบที่ซับซ้อน เป็นสารประกอบอะโรมาติกพอลิเมอร์ ลิกนินเป็นพอลิเมอร์แบบสามมิติ เชื่อมกับพันธะ C-O-C และพันธะ C-C โครงสร้างทางเคมีของลิกนินมีฟีนิลโพรเพน เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของลิกนิน ประกอบด้วย 3 หน่วยหลักได้แก่ พีโคมาริลแอลกอฮอล์ (p-coumaryl alcohol) โคนิเฟริลแอลกอฮอล์ (coniferyl alcohol) และไซนาปิลแอลกอฮอล์ (sinapyl alcohol) แสดงในภาพที่ 5 หน้าที่หลักของลิกนินคือ เป็นเหมือนกาวยึดติดกับเส้นใยที่อยู่รวมกันในผนังเซลล์ให้รวมกันเป็นโครงสร้างของเนื้อไม้ นอกจากนี้ ลิกนินยังมีคุณสมบัติทำให้ไม้มีความยืดหยุ่น และช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับเนื้อไม้ ลิกนินมีความสัมพันธ์กับเฮมิเซลลูโลส ในทางตรงกันข้าม ลิกนินมีความต้านทานต่อการไฮโดรไลซีสต่ำ (Obst, 1982) ดังนั้นจึงยังไม่พบหลักฐานว่า ลิกนินมีความสัมพันธ์กับเซลลูโลสภายใต้สภาพการผลิตเยื่อและกระดาษ (Rowell, 2005)



ภาพที่ 5 องค์ประกอบหลักของโครงสร้างลิกนิน

ที่มา: Evans (1991)

โฮโลเซลลูโลส

โฮโลเซลลูโลสคือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของไฟเบอร์ โฮโลเซลลูโลสประกอบด้วยส่วนของอสัณฐานเกาะกันอย่างหลวมๆ และเป็นสารตั้งต้นในการเกิดปฏิกิริยาพอลิ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมอไรเซชันของเซลลูโลส โฮโลเซลลูโลสมาจากการรวมกันของแอลฟาเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลส (Ververis *et al*., 2007) ทั้งแอลฟาเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส มีส่วนสำคัญทำให้ไม้มีความแข็งแรง เนื่องจากเส้นเซลลูโลสแต่ละเส้น ต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก และในการเรียงตัวของมัดเซลลูโลสหรือไมโครไฟบริล มีการเรียงตัวของโครงสร้าง 2 แบบคือ แบบอสัณฐาน เรียงตัวแบบหลวมๆ และการเรียงโครงสร้างแบบผลึกเรียงตัวกันแบบหนาแน่นทำให้เนื้อไม้มีความแข็งแรง ถ้ามีปริมาณเซลลูโลสสูงแสดงถึงไม้นั้นมีความแข็งแรงมาก (Irving and Menachem, 1991)

เพนโตแซน

ไม้ประกอบด้วย ปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เซลลูโลสเรียกว่า เฮมิเซลลูโลส ซึ่งเฮมิเซลลูโลสของไม้ใบแคบประกอบด้วยเพนโตแซน และเฮกโซแซน ในขณะที่ในไม้ใบกว้างมีเฉพาะเพนโตแซนเป็นองค์ประกอบหลัก เพนโตแซนยังประกอบด้วยน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอมได้แก่ ไซโลสและอะราบิโนส การกระจายตัวของเพนโตแซนจะแตกต่างกันไปตามชนิดและส่วนต่างๆ ของต้นไม้ (Irving and Menachem, 1991) ปริมาณเพนโตแซนบ่งบอกถึงการสูญเสียเฮมิเซลลูโลสในกระบวนการฟอกเยื่อและกระดาษ เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสมีส่วนช่วยสนับสนุนต่อความแข็งแรงของเยื่อและกระดาษ ปริมาณเพนโตแซนที่สูงเป็นที่ต้องการในการผลิตเยื่อและกระดาษ (TAPPI T223 cm-10, 2010)

สารแทรก

สารแทรกคือ สารที่ไม่ใช่องค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์ อาจเป็นกรดหรือกลางก็ได้ เช่น ขี้ผึ้ง ไขมัน ชัน เป็นต้น ปริมาณสารแทรกในไม้บ่งบอกถึงความคงทนและสีเฉพาะตัวของไม้ ซึ่งสารแทรกจะมีสารที่ทำลายแบคทรีเรีย เห็ด และราต่างๆ ถ้ามีปริมาณสารแทรกสูงจะทำให้ไม้มีความคงทนสูง สารแทรกแม้เป็นองค์ประกอบเพียงส่วนน้อย แต่ก็มีบทบาทสำคัญคือ การมีปริมาณสารแทรกมากหรือน้อยไม่เท่ากันจะทำให้ไม้นั้นมีสีคล้ำหรือมีสีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ไม้แต่ละชนิด การมีปริมาณสารแทรกอยู่มากนั้นมีส่วนสำคัญที่ทำให้ไม้มีการคงรูปดีขึ้น การหดตัวเมื่อแห้งจะน้อยกว่าปกติและหลังจากแห้งแล้วจะเปลี่ยนแปลงขนาดหรือรูปร่างน้อย แม้ว่าจะถูกใช้งานในสภาวะอากาศที่รุนแรง (Rowell, 2005) นอกจากนี้ สารแทรกยังทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งที่แตกต่างกันออกไป (Irving and Menachem, 1991)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คุณสมบัติเชิงกลของไม้

คุณสมบัติของไม้ที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงเรียกว่า “คุณสมบัติเชิงกล” เป็นสมบัติที่แสดงถึงพฤติกรรมของไม้ต่อแรงที่กระทำ และการทดสอบเชิงกลคือ การทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติเชิงกล จะทำการวัดน้ำหนัก และการเสียรูปของไม้ โดยแสดงค่าในรูปของความเค้นและความเครียด ซึ่งเป็นดัชนีบอกความแข็งแรง ความแข็งตึง ความยืดหยุ่น และการดูดซับพลังงานของไม้ การทดสอบสมบัติเชิงกลของไม้ในประเทศไทยใช้มาตรฐานจากต่างประเทศ เช่น American Society for Testing and Materials (ASTM), British Standards (BS), Australian Standards (AS), German Standards (DIN) และ International Standards (ISO) เป็นต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

แรงอัดขนานเสี้ยน (Compressive Stress Parallel to Grain)

การทดสอบการอัด สำหรับไม้ทำได้ 2 แบบคือ การอัดขนานเสี้ยน และการอัดตั้งฉากเสี้ยน ผลการทดสอบแบบแรกมีประโยชน์มากกว่า เพราะอาคารไม้แทบทุกชนิดจะต้องมีบางส่วนของโครงสร้างที่รับแรงอัดชนิดนี้ เช่น เสา คร่าวฝา โครงถัก เสาเข็ม เป็นต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (Compressive Stress Perpendicular to Grain)

การทดสอบการอัดตั้งฉากเสี้ยนมี 2 วิธีคือ วิธีของยุโรป และวิธีของอเมริกาเหนือ วิธีของยุโรปใช้มาตรฐานที่กำหนดให้ทดสอบโดยใช้แรงอัดเต็มพื้นที่รับแรงของตัวอย่างไม้ เช่นเดียวกับการทดสอบการอัดขนานเสี้ยน ส่วนวิธีของอเมริกาเหนือ (ASTM Standard) ทดสอบโดยใช้แรงอัดบนตัวอย่างไม้เพียงบางส่วนของพื้นที่ที่รับแรงซึ่งไม่เต็มพื้นที่ เมื่อเปรียบเทียบ 2 วิธีนี้ วิธีของอเมริกาเหนือน่าจะถูกต้องมากกว่าในแง่ของการนำตัวเลขไปใช้งาน เพราะองค์อาคารที่รับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนจะรับแรงอัดเพียงบางส่วนของผิวหน้าเท่านั้น เช่น คาน รับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนตรงที่รองรับที่ปลายทั้งสองข้าง หรือไม้หมอนรถไฟ รับแรงอัดจากรางรถไฟ และพื้นดิน เป็นต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แรงดึงขนานเสี้ยน (Tensile Stress Parallel to Grain)

การรับแรงดึงขนานเสี้ยนเป็นค่าเชิงกลที่สูงที่สุดของไม้ การดึงไม้ที่เสี้ยนตรงและปลอดตำหนิในทิศทางที่ขนานกับเสี้ยน เพื่อให้ขาดออกเป็นสองส่วนจึงทำได้ยาก เพราะไม้จะเกิดฉีกขาดหรือรูดหลุดตรงบริเวณที่จับเสียก่อน ถ้าจะดึงให้ขาดจำเป็นต้องดัดแปลงตัวอย่างไม้ให้คอดตรงกลาง ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมตัวอย่างทดสอบ ข้อมูลนี้ของไม้ชนิดต่างๆ ในโลกจึงมีน้อยมาก เนื้อไม้จะรับแรงดึงขนานเสี้ยนได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเซลล์เส้นใย เซลล์ที่มีผนังหนามีโครงสร้างของผนังเซลล์ที่เหมาะสมจะรับแรงดึงได้สูงมาก เช่น ไม้ไผ่สามารถรับแรงดึงขนานเสี้ยนได้สูงเกือบเท่าเหล็ก เพราะมีเซลล์เส้นใยที่มีผนังหนามากและผนังเซลล์ประกอบด้วยโครงสร้างถึง 10 ชั้น ในทางตรงข้าม เมื่อดึงไม้ตั้งฉากกับเสี้ยนไม้จะรับแรงได้น้อยมาก เพราะในกรณีนี้เซลล์เส้นใยไม่ได้ช่วยรับน้ำหนัก อัตราส่วนของความแข็งแรงของไม้ทั่วๆ ไปในการรับแรงดึงขนานเสี้ยนเปรียบเทียบกับการรับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนประมาณ 40 ต่อ 1 (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (Tensile Stress Perpendicular to Grain)

การทดสอบการดึง สำหรับไม้มี 2 ชนิดคือ การดึงขนานเสี้ยน และการดึงตั้งฉากเสี้ยน ผลจากการทดสอบการดึงทั้งขนาน และตั้งฉากเสี้ยนมีประโยชน์ต่อการออกแบบโครงสร้างไม้มาก ตัวเลขแรงดึงขนานเสี้ยนนำไปใช้ออกแบบโครงถัก คานไม้ประกับ แผ่นผิวบางรับความเค้น เป็นต้น ส่วนแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนมีความสำคัญในการออกแบบไม้ประกับโค้ง และข้อต่อไม้ที่ยึดด้วยอุปกรณ์ยึดทางกล รวมทั้งการออกแบบตารางอบไม้ด้วยเตาอบไฟฟ้า จากรายงานของ Lim *et al*. (2003) แสดงผลของการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยการดึงในไม้ยางพารา 2 พันธุ์คือ PB 260 และ RRIM 600 ซึ่งสามารถนำไม้ยางพาราพันธุ์อื่นๆ ไปใช้ประโยชน์ในงานดังกล่าวได้ ถ้ามีการดึงใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 3) การดึงในไม้ยางพาราขึ้นอยู่กับอายุและระดับความสูง อย่างไรก็ตาม การตัดตัวอย่างไม้สำหรับทดสอบแรงดึงค่อนข้างยาก ซึ่งเป็นเหตุให้การวิจัยทางด้านนี้มีน้อย โดยเฉพาะการดึงขนานเสี้ยนจำเป็นต้องตัดตัวอย่างไม้ ให้คอดตรงกลางและต้องออกแบบอุปกรณ์จับยึดดีๆ สำหรับการดึงตั้งฉากเสี้ยนถึงแม้จะตัดตัวอย่างไม้ได้ง่ายกว่า แต่ต้องบากไม้เช่นกันและค่าที่ได้จากการทดสอบก็ผิดพลาดจากความเป็นจริง เพราะเกิดความเค้นเข้มข้นขึ้นในตัวอย่างไม้ขณะทดสอบ ในทางปฏิบัติ เมื่อหาตัวเลขทั้งสองชนิดนี้ไม่ได้จริงๆ ก็อนุโลมให้ใช้ค่าแรงดึงขนานเสี้ยนเท่ากับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแข็งแรงดัดของไม้ และใช้ค่าแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนเท่ากับหนึ่งในสามของความแข็งแรงเฉือนขนานเสี้ยน (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ตารางที่ 3 แรงดึง (%) ในไม้ยางพารา 2 พันธุ์ (PB 260 และ RRIM 600) ที่มีอายุและระดับความสูงต่างกัน

	พันธุ์							
	PB 260				RRIM 600			
อายุ	โคนลำต้น	กลางลำต้น	ยอดลำต้น	ค่าเฉลี่ย	โคนลำต้น	กลางลำต้น	ปลายลำต้น	ค่าเฉลี่ย
3	35	40	57	44	-	-	-	-
8	27	29	37	30	42	33	25	33
14	49	36	52	45	-	-	-	-
24	-	-	-	-	39	29	25	30

ที่มา: Lim *et al*. (2003)

แรงเฉือนขนานเสี้ยน (Shearing Stress Parallel to Grain)

การทดสอบความเค้นเฉือน สำหรับไม้ทำได้ 2 ลักษณะ คือ ความเค้นเฉือนตั้งฉากเสี้ยนและความเค้นเฉือนขนานเสี้ยน แต่ความเค้นเฉือนตั้งฉากเสี้ยนของไม้มีค่าสูงมาก และไม่เคยปรากฏว่าโครงสร้างไม้เกิดพังทลายเพราะแรงชนิดนี้ เพราะว่ากว่าจะถึงแรงนี้ไม้จะแตกหักเพราะแรงชนิดอื่นเสียก่อน ในทางปฏิบัติจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความเค้นชนิดนี้ ทั้งนี้ ความเค้นเฉือนขนานเสี้ยนของไม้มีค่าต่ำและเป็นจุดอ่อนของไม้ การออกแบบโครงสร้างไม้จึงต้องตรวจสอบความเค้นชนิดนี้ในการออกแบบบางส่วนของโครงสร้างไม้ เช่น ข้อต่อไม้ที่ยึดด้วยอุปกรณ์ยึดทางกล คาน โดยเฉพาะคานไม้ประกับที่มีความลึกมากๆ เป็นต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นในการดัดสถิตย์ (Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity in Static Bending)

การทดสอบการดัดสถิตย์สำหรับไม้มีประโยชน์มาก ค่าที่ได้นำไปคำนวณออกแบบความแข็งแรงและการโก่งขององค์อาคารที่รับน้ำหนักตั้งฉากกับแกน เช่น คาน ตง จันทัน แป เป็นต้น และโครงสร้างไม้เกือบทุกชนิดจะต้องมีองค์อาคารเหล่านี้อยู่ โดยเฉพาะคานจะเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างและรับน้ำหนักมาก จึงต้องคำนวณออกแบบอย่างรอบคอบ และใช้ข้อมูลเกี่ยวกับความแข็งแรงและความแข็งตึงของไม้ที่ถูกต้อง (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ความแข็ง (Hardness)

ความแข็งหมายถึง ความต้านทานของวัสดุชนิดหนึ่ง (ไม้) ต่อการสอดแทรกโดยใช้แรงของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง (เหล็ก) การทดสอบความแข็งสำหรับไม้ มีประโยชน์ในการเลือกไม้ไปใช้งานที่ต้องทนต่อการขีดข่วนเสียดสีเป็นประจำ เช่น พื้น ไม้ปาร์เก้ อุปกรณ์กีฬา เครื่องเรือน เป็นต้น ความแข็งของไม้ทางด้านรัศมี และด้านสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด ส่วนความแข็งทางด้านหน้าตัดมีค่าสูงกว่าทางด้านรัศมีและด้านสัมผัส (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

การฉีก (Cleavage)

การฉีกคือ การที่แรงดึงกระทำต่อส่วนหนึ่งของวัสดุเพื่อดึงให้แยกออกจากกัน และรอยแตกจะขยายไปเรื่อยจนวัสดุแยกออกจากกันเป็นสองส่วน การวัดความต้านทานต่อการฉีกของไม้ใช้เครื่องมือและตัวอย่างไม้คล้ายคลึงกับการทดสอบการดึงตั้งฉากเสี้ยน ต่างกันที่การฉีกดึงเพียงข้างเดียว ค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ไม้ฉีกออกจากกันแสดงในหน่วยแรงต่อหน่วยความกว้างของผิวหน้าที่แตกคือ ความต้านทานต่อการฉีกของไม้ ด้านขนานเสี้ยนของไม้ มีค่าความต้านทานต่อการฉีกต่ำที่สุด และด้านรัศมีจะต่ำกว่าด้านสัมผัส เพราะด้านรัศมีขนานกับเรย์ซึ่งฉีกได้ง่าย ไม้เสี้ยนสนต้านทานแรงฉีกได้สูงกว่าไม้เสี้ยนตรง ไม้ที่ต้านทานแรงฉีกได้สูงจะทำให้ความแข็งแรงของข้อต่อไม้ที่ยึดด้วยตะปู หรือสลักเกลียวมีความแข็งแรงสูงขึ้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การใช้ประโยชน์กับคุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติเชิงกลชนิดต่างๆ ที่กำหนดให้ทดสอบในมาตรฐานสำหรับการทดสอบไม้ และการประยุกต์คุณสมบัติเชิงกลในการทำประโยชน์เพื่อการก่อสร้าง และการเลือกชนิดไม้สำหรับผลิตอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 คุณสมบัติเชิงกลชนิดต่างๆ ที่กำหนดให้ทดสอบในมาตรฐานสำหรับการทดสอบไม้ และการประยุกต์คุณสมบัติเชิงกลเพื่อใช้ประโยชน์

การทดสอบ	การใช้ประโยชน์
สมบัติเชิงกลหลัก	
1. การดัดสถิตย์	คาน ตง ส่วนของโครงถักที่รับแรงดัด
2. การดึงขนานเสี้ยน	ส่วนประกอบของโครงถักที่รับแรงดึง
3. การดึงตั้งฉากเสี้ยน	ความเค้นดึงตามรัศมีในไม้ประกับโค้ง
4. การอัดขนานเสี้ยน	เสา อาคาร เสาเข็ม สำหรับฐานรากคร่าวฝา
5. การอัดตั้งฉากเสี้ยน	ไม้หมอนรองรางรถไฟ ส่วนของคานที่สัมผัสกับที่รองรับ
6. การเฉือนขนานเสี้ยน	ข้อต่อไม้ ความเค้นเฉือนตามแนวนอนที่เกิดขึ้นในคานไม้ โดยเฉพาะในคานไม้ประกับ
7. การฉีก	ข้อต่อไม้ที่ยึดด้วยอุปกรณ์เชิงกล พินโบลิ่ง ด้ามเครื่องมือ ไม้เบสบอลล์ และไม้ฮอกกี้
สมบัติเชิงกลรอง	
1. การดัดกระแทกและความเหนียว	ท่าเทียบเรือ สะพานไม้ โครงสร้างไม้ในทะเล ไม้เทนนิส และไม้แบดมินตัน
2. ความแข็ง	ไม้ที่รับการขีดข่วนเสียดสีเป็นประจำ เช่น พื้น เครื่องเรือน ไม้กระบะรถบรรทุก
3. การบิด	คานที่เกิดการโก่งออกทางด้านข้าง อุปกรณ์ที่ใช้ไม้รับแรงบิด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 (ต่อ)

การทดสอบ	การใช้ประโยชน์
4. การเฉือนกลิ้ง	ชั้นของไม้อัดที่เสี้ยนขวางกับทิศทางของแรง
5. การรับแรงซ้ำซาก	ชิ้นส่วนของเครื่องเรือนที่รับแรงซ้ำซาก
6. การเสื่อมความแข็งแรงตามเวลา	องค์อาคารที่รับน้ำหนักคงที่หนักๆ และเป็นเวลานาน

ที่มา: บุญนำ และ มยุรี (2542)

นอกจากนี้ Lim *et al*. (2003) รายงานเกี่ยวกับคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพารา (ตารางที่ 5) ในสภาพที่สดและแห้งเพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงในไม้ยางพาราที่มีสภาพต่างกัน จะเห็นได้ว่าความแข็งแรงเชิงกลต่างกัน ดังนั้นความแปรปรวนของความแข็งแรง ขึ้นอยู่กับชนิดไม้ อายุ ระดับความสูง สภาพแวดล้อม และรวมทั้งสภาพของตัวอย่างในการทดสอบอีกด้วย

ตารางที่ 5 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราในสภาพไม้สดและแห้ง

คุณสมบัติ	สภาพสด (ความชื้น 52.0%)	สภาพแห้ง (ความชื้น 17.2%)
โมดูลัสการแตกหัก (เมกะปาสคาล)	58	66
โมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)	8800	9240
แรงอัดขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	41.7	25.9
ความแข็งผิว (เมกะปาสคาล)	3030	4320
แรงเฉือนขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	9	11
การฉีก (นิวตัน/ม.^{2})	60	59

ที่มา: ดัดแปลงจาก Lim *et al*. (2003)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของไม้

ความถ่วงจำเพาะ

ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของไม้ต่อความหนาแน่นของน้ำ เมื่อความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นคุณสมบัติความแข็งแรงก็เพิ่มขึ้นด้วย (USDA, 1999) เนื่องจากความเค้นภายในมีการกระจายตัวระหว่างโมเลกุลของวัตถุดิบมากกว่า (Rowell, 2005)

ลักษณะการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของไม้ขึ้นอยู่กับชนิดไม้ สภาพแวดล้อม ซึ่งอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความแปรปรวนของวัตถุดิบในไม้ ดังนั้นคุณสมบัติเชิงกลจึงมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้นทำให้ความแข็งแรงในไม้แตกต่างกันเนื่องมาจากปัจจัยของวัตถุดิบ ความสหสัมพันธ์ของความแปรปรวนเป็นค่าพารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้เป็นประโยชน์ต่อค่าประมาณความผันแปรซึ่งสัมพันธ์กับแต่ละคุณสมบัติของความแข็งแรง (Rowell, 2005) นอกจากนี้ ความแข็งแรงของไม้ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในเส้นใยของผนังเซลล์ (USDA, 1999)

อุณหภูมิ

ความแข็งแรงมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ที่ปริมาณความชื้นคงที่จะเกิดอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความแข็งแรงเป็นเส้นตรงทันที อุณหภูมิสูงส่งผลให้ปริมาณความชื้นสูงขึ้นด้วย และทำให้มีการเพิ่มในสภาพพลาสติกของปริมาณลิกนิน นอกจากนี้ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เพิ่มขนาดของช่องว่างซึ่งจะลดการสัมผัสกันระหว่างโมเลกุลของเซลล์ ปริมาณความชื้นมีผลกระทบต่อองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลของไม้อย่างมาก เนื่องจากเป็นตัวกำหนดที่สำคัญสำหรับการหด การพองตัว และการผุพังของไม้ เมื่อเซลล์เส้นใยของไม้ดูดเอาน้ำเข้าไป จะเข้าไปฝังตัวอยู่ที่ผนังเซลล์ก่อน เมื่อผนังเซลล์ซึมซับน้ำไว้เต็มที่แล้ว ความชื้นก็จะเพิ่มขึ้นอีกและจะถูกส่งต่อไปยังภายนอกของผนังเซลล์ จุดอิ่มตัวของผนังเซลล์ (fiber saturation point) หรือจุดหมาดคือ ระดับค่าความชื้นสูงสุดที่ผนังเซลล์จะรับน้ำไว้ได้ มีความสัมพันธ์กับการที่จะเข้าไปของความชื้นและเชื้อรา ซึ่งมีผลต่อการผุกร่อนของไม้ ดังนั้นการหด การพองตัว และการผุพังของไม้เริ่มต้นที่ระดับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในไม้เกินกว่าค่าจุดอิ่มตัวของผนังเซลล์หรือจุดหมาด ไม้จะมีการหด การพองตัว เมื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค่าความชื้นที่ผนังเซลล์เปลี่ยนแปลงทำให้ส่งผลต่อความแข็งแรงของไม้ นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายนอกผนังเซลล์จะไม่มีผลต่อการหด และการพองตัวของไม้ (Rowell, 2005)

ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติเชิงกลต่อความแข็งแรง

ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีต่อความแข็งแรง เพื่อบ่งบอกถึงแรงและคุณสมบัติของความเหนียวหรือทนทานในไม้ และสุดท้ายก็เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของความยืดหยุ่นซึ่งเป็นโมเดลพื้นฐานหรือการตั้งสมมติฐานที่ต้องพัฒนาเพื่อเป้าหมายในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและองค์ประกอบของไม้ ในที่นี้ความเค้นมีความสัมพันธ์กับระดับต่างๆ ของโครงสร้างไม้ได้แก่ ระดับโมเลกุล ไมโครโมเลกุล และระดับมาโครโมเลกุล เป็นต้น ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ตามสมมติฐาน นอกจากนี้ แรงในการโหลดของไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อโครงสร้างของระบบไม้ สำหรับความเค้นของไม้จะมีการกระจายทั่วทั้งวัตถุดิบ ซึ่งสาเหตุของความเค้นมาจากการบิดเบือนรูปของไม้และเวลาที่ใช้ (Rowell, 2005)

ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกล

คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวบ่งบอกถึงความแข็งแรงของไม้ โดยที่คุณสมบัติทางเคมีจะบ่งบอกถึงองค์ประกอบที่สำคัญๆ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งมีหน้าที่สร้างความแข็งแรงและเป็นเสมือนกาวในธรรมชาติเชื่อมเซลล์ให้ติดกันกลายเป็นองค์ประกอบของเนื้อไม้ สำหรับคุณสมบัติเชิงกลจะบ่งบอกถึงความแข็งแรงที่ไม้ถูกกระทำจากแรงภายนอกซึ่งหมายถึง ความแข็งแรงที่ทำให้ไม้เสียรูปหรือมีลักษณะไม่เหมือนเดิม จะทำให้ทราบความแข็งแรงของไม้เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ที่ถูกต้อง และเหมาะสมกับงาน (Wise and Jahn, 1952) การหาความสัมพันธ์ของทั้งสองคุณสมบัติ มีความจำเป็นในการหาทิศทางและแนวโน้มสำหรับการวิจัย ยกตัวอย่างเช่น เซลลูโลสมีผลตอบสนองต่อความแข็งแรงจากการดึงในไม้เนื่องมากจากโครงสร้างของไมโครไฟบริลที่มีอยู่มากมาย เซลลูโลสจะต้านทานต่อแรงดึงเชิงกลในไม้ นอกจากนี้ ยังพบว่าเซลลูโลสต้านทานแรงดึงสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบแรงอื่นๆ เช่น ความแข็ง การฉีก เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณลิกนินและเฮมิเซลลูโลส พบว่า เซลลูโลสต้านทานแรงเชิงกลมากที่สุด รองลงมาคือ ลิกนิน (Genet *et al*., 2005; Sjostrom, 1993) จากรายงานของ Sweet and Winandy (1999) พบว่า เฮมิเซลลูโลสมีความสัมพันธ์กับแรงใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การฉีกของคุณสมบัติเชิงกล และแสดงบทบาทที่สำคัญในการกำหนดความแข็งแรงของไม้ เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสเป็นตัวประสานองค์ประกอบต่างๆ ของไม้ จึงมีผลต่อการฉีกของเนื้อไม้ ถ้าเฮมิเซลลูโลสสูงแสดงถึงไม้นั้นมีการต้านทานต่อแรงฉีกสูงด้วย สำหรับปริมาณลิกนินมีความสัมพันธ์หลักกับคุณสมบัติเชิงกล เนื่องจากเป็นตัวประสานและปรับปรุงการทำงานของยางในไม้ รวมทั้งกลไกที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของเนื้อเยื่อพืช (Reghu, 2011) ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลจึงมีความสัมพันธ์กัน และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเนื้อไม้ต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1. อุปกรณ์การเตรียมตัวอย่างไม้ก่อนวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

1.1 ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน มีอายุประมาณ 13 ปี แปลงทดลองตั้งอยู่ที่ศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นพันธุ์ที่อยู่ในแปลงทดสอบพันธุ์ขั้นต้นในการเปรียบเทียบพันธุ์ยางเพื่อการคัดเลือกพันธุ์ ยางพารา 2 พันธุ์ได้แก่ RRIT 251 และ RRIM 600 เป็นพันธุ์ทางการค้าที่นิยมปลูกในปัจจุบันและจัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์ยางผลผลิตน้ำยางสูง (องค์การสวนยาง, 2552) สำหรับอีก 5 โคลนพันธุ์ เป็นยางพาราลูกผสม ได้แก่ RRI-CH-35-59, RRI-CH-35-650, RRI-CH-35-1397, RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 เป็นต้น

1.2 เครื่องบด (wiley mill)

1.3 เครื่องร่อน (sifter pot mill) ความละเอียดตะแกรง 40 และ 60 เมช

1.4 ขวาน

1.5 มีดสับ

1.6 เลื่อยสายพาน (band saw)

2. อุปกรณ์การหาปริมาณความชื้น (moisture content) ของไม้

2.1 ผงไม้ที่ร่อนผ่านตะแกรง 40 เมช และตกค้างบนตะแกรง 60 เมช

2.2 บีกเกอร์

2.3 ตู้อบ

2.4 โถดูดความชื้น

3. อุปกรณ์การหาปริมาณสารแทรก (extractives content) ในเนื้อไม้

3.1 เครื่องมือสกัดสารแทรก (soxhlet extraction apparatus)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 ถ้วยสกัดสารแทรก

3.3 ถ้วยกรอง

3.4 สารผสมเอทานอล-เบนซีนโดยใช้อัตราส่วนระหว่างเอทานอล 95% กับเบนซีน เท่ากับ 1:2 โดยปริมาตร

3.5 บีกเกอร์ขนาด 1000 มล.

3.6 ฮอทเพลท

3.7 กระดาษกรอง

3.8 เครื่องทำสูญญากาศ

3.9 ตู้อบ

3.10 โถดูดความชื้น

3.11 ผงตัวอย่างไม้ที่ร่อนผ่านตะแกรง 40 เมช และตกค้างบนตะแกรง 60 เมช จำนวน 10 ก. โดยน้ำหนักอบแห้ง

4. อุปกรณ์การหาปริมาณลิกนิน (lignin content) ในเนื้อไม้

4.1 ผงตัวอย่างไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 1 ก.

4.2 บีกเกอร์ขนาด 15 มล.

4.3 แท่งแก้วคน

4.4 สารเคมีได้แก่ กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 72% และน้ำกลั่น

4.5 ถ้วยกรองลิกนินเบอร์ 4

4.6 เครื่องทำสูญญากาศ

4.7 โถดูดความชื้น

4.8 ตู้อบ

4.9 ขวดปริมาตรทรงกรวย ขนาด 1,000 มล.

5. อุปกรณ์การหาปริมาณโฮโลเซลลูโลส (holocellulose content) ในเนื้อไม้

5.1 ผงตัวอย่างไม้ที่ปราศจากสารแทรกจำนวน 3 ก.

5.2 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 มล.

5.3 อ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 80 °ซ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.4 สารเคมีได้แก่ โซเดียมคลอไรต์ ($NaClO_2$), กรดอะซิติกเข้มข้น, อะซิโตน และน้ำกลั่น

5.5 ถ้วยกรองโฮโลเซลลูโลสเบอร์ 1

5.6 เครื่องทำสูญญากาศ

5.7 โถดูดความชื้น

5.8 ตู้อบ

6. อุปกรณ์การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (alpha-cellulose content) ในเนื้อไม้

6.1 ผงโฮโลเซลลูโลสที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแน่นอนแล้วจำนวน 0.5 ก.

6.2 บีกเกอร์ขนาด 300 มล.

6.3 สารเคมี ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 17.5%, น้ำกลั่น และกรดอะซิติกเข้มข้น 10%

6.4 เครื่องกวนสาร

6.5 ถ้วยกรองแอลฟาเซลลูโลสเบอร์ 2

6.6 เครื่องทำสูญญากาศ

6.7 โถดูดความชื้น

6.8 ตู้อบ

7. อุปกรณ์การหาปริมาณเพนโตแซน (pentosan content) ในเนื้อไม้

7.1 ผงตัวอย่างไม้ปราศสารแทรกจำนวน 0.5 ก.

7.2 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

7.3 ขวดวัดปริมาตร ขนาด 250 มล.

7.4 ขวดคณโฑแบบก้นกลม

7.5 เครื่องมือการกลั่นต่างๆ

7.6 ตะเกียงบุนเซน

7.7 ปิเปต ขนาด 5 มล.

7.8 สารเคมีได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl), กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 3.85 นอร์มอล และสารละลายออร์ซินอล (orcinol reagent)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. อุปกรณ์การหาปริมาณการละลายของวัตถุในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide solubility content) ความเข้มข้น 1% ในเนื้อไม้

8.1 ผงตัวอย่างไม้ที่เป็นวัตถุดิบจำนวน 2 ก.

8.2 บีกเกอร์ขนาด 250 มล.

8.3 สารเคมีได้แก่ กรดอะซิติกเข้มข้น 1%, น้ำกลั่น, โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดอะซิติกเข้มข้น 10%

8.4 ถ้วยกรองเบอร์ 3

8.5 เครื่องทำสูญญากาศ

8.6 ตู้อบ

8.7 โถดูดความชื้น

9. อุปกรณ์การหาปริมาณเถ้า (ash content) ในเนื้อไม้

9.1 ผงไม้จำนวน 1 ก.โดยน้ำหนักอบแห้ง

9.2 ถ้วยกระเบื้องซิลิกาพร้อมฝาปิด ขนาด 50-100 มล.

9.3 เตาแก๊ส

9.4 เตาเผาไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิที่ 625±25 °ซ.

9.5 โถดูดความชื้น

อุปกรณ์การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้

1. เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine)
2. เครื่องแสดงกราฟ
3. อุปกรณ์จับไม้สำหรับทดสอบ
4. เครื่องมือวัดขนาดอย่างละเอียด (vernier caliper)
5. เครื่องเลื่อยวงเดือน (circular saws)
6. เครื่องเลื่อยสายพาน (band saw)
7. เครื่องเจาะ (drilling machine)
8. เครื่องชั่งน้ำหนัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9. ตู้อบ
10. ตู้ควบคุมสภาวะของบรรยากาศ (climate conditioning chamber)
11. โถดูดความชื้น

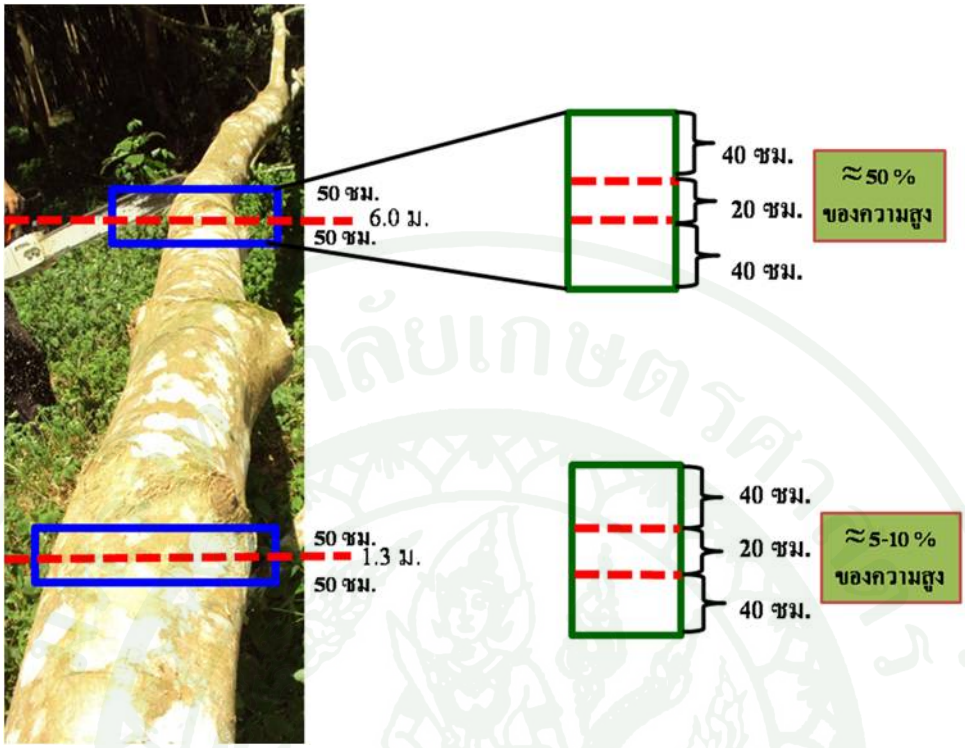
วิธีการ

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้

1. การตัดต้นยางพาราเพื่อเตรียมตัวอย่างการวิเคราะห์ทางเคมีและเชิงกลของไม้

การตัดต้นยางพาราแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ที่ระดับความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ความสูงที่เริ่มตัดลำต้นยางพาราคือ ที่ระดับ 1.3 ม. ซึ่งเป็นมาตรฐานการวัดความสูงเทียมอก (diameter breast height หรือ DBH) ของกรมป่าไม้ เมื่อวัดระดับความสูงทั้ง 2 ระดับแล้ว ตัดต้นยางพาราความยาวท่อนละ 100 ซม. ที่ระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. จะได้ท่อนซุง 2 ท่อนจากทั้งสองระดับความสูง จากนั้นในท่อนซุงที่มีความยาว 100 ซม. ตัดแบ่งไม้ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ตัดท่อนซุงที่ความยาวท่อนละ 40 ซม. ด้านบนและด้านล่างของลำต้น จากจุดศูนย์กลางความสูงดังกล่าว จำนวน 2 ท่อนซุงที่ประกอบด้วยชิ้นไม้จำนวน 8 ซ้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของไม้ และตัดท่อนซุงที่ความยาวท่อนละ 20 ซม. จำนวน 1 ท่อนซุงที่ประกอบด้วยชิ้นไม้จำนวน 2 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของเนื้อไม้ แสดงในภาพที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 การตัดต้นยางพาราที่ระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม.

2. การเตรียมตัวอย่างไม้ยางพาราเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี

นำยางพารา 7 โคลนพันธุ์ที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน โดยการตัดต้นยางพาราตามวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี จากนั้นนำชิ้นไม้ที่มีความยาว 20 ซม. หั่นเป็นแว่นๆ และสับเป็นชิ้นเล็กๆ ให้มีขนาดเท่ากับไม้จิ้มฟัน แล้วทำให้ไม้อยู่ในสภาพที่แห้งโดยการผึ่งแดดไว้ประมาณ 2-3 วัน จากนั้นนำตัวอย่างไม้ที่แห้งไปบดและร่อนผ่านตะแกรงที่มีความละเอียด 40 เมช และตกค้างบนตะแกรงที่มีความละเอียด 60 เมช ซึ่งจะนำผงไม้ดังกล่าว เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้ ดังแสดงในภาพที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 7 การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อไม้

3. การหาปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ตามมาตรฐาน TAPPI T264 om-88 (1988)

ทำความสะอาดบีกเกอร์ แล้วอบแห้งชั่งน้ำหนักให้ทราบแน่นอน ชั่งผงตัวอย่างไม้ทั้ง 7 โคลนพันธุ์ ใส่บีกเกอร์ตัวอย่างละ 1±0.1 ก. แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105±3 °ซ. ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำออกจากตู้อบใส่ในโถดูดความชื้นเปิดจุกโถดูดความชื้นชั่วขณะหนึ่ง เพื่อให้อากาศอุ่นระบายออกแล้วปิดไว้เหมือนเดิม ทิ้งไว้ให้บีกเกอร์เย็นลงเป็นเวลา 30 นาที และชั่งน้ำหนักอบแห้ง แล้วคำนวณปริมาณความชื้นจาก

$$\% \text{ ปริมาณความชื้น} = 100\% \times \frac{(\text{น้ำหนักสด} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{\text{น้ำหนักแห้ง}}$$

4. การหาปริมาณสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เอทานอล-เบนซีน, เอทานอล และน้ำร้อน ตามมาตรฐาน TAPPI T204 om-88 (1988)

ทำความสะอาดถ้วยแก้วสกัดสารแทรก และอบแห้งชั่งน้ำหนักให้แน่นอน ชั่งผงตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักอบแห้งของเยื่อ 10 ก. บรรจุใส่ในเครื่องมือสกัดสารแทรก ติดตั้งเครื่องสกัดสารแทรก สกัดด้วยสารผสมเอทานอล-เบนซีน จำนวน 150 มล. โดยการควบคุมอุณหภูมิและจุดเดือดของตัวทำละลาย ซึ่งใช้เวลาในการสกัดสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายเอทานอล-เบนซีน เป็นเวลา 4-5 ชม. กรองผงตัวอย่างเทลงในกรวยบุชเนอร์ เพื่อดูดตัวทำละลายออก ล้างถ้วยกรองและ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผงตัวอย่างด้วยเอทานอลเพื่อไล่เบนซีนออก ใส่ผงตัวอย่างดังกล่าวลงในถ้วยกรองอีกครั้ง บรรจุใส่ในเครื่องมือสกัดสารแทรกติดตั้งเครื่องสกัดสารแทรกที่สกัดด้วยเอทานอล จำนวน 150 มล. เป็นเวลา 4 ชม. จนกระทั่งเอทานอลไม่มีสี ถ่ายตัวอย่างลงในกรวยบุชเนอร์ เพื่อดูดตัวทำละลายเอทานอล ล้างถ้วยกรอง และตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น เพื่อไล่เอทานอลออก จากนั้นระเหยไล่ตัวทำละลายออกจากถ้วยแก้วสกัดสารแทรก นำถ้วยแก้วสกัดสารแทรก ไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °ซ. เป็นเวลาข้ามคืน แล้วทำให้เย็นลงในโถดูดความชื้น และนำมาชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณปริมาณน้ำหนักสารแทรกที่สกัดได้จาก

$$\%\ \text{ปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน} = 100\% \times \frac{(\text{น้ำหนักปริมาณสารที่สกัดได้อบแห้ง} - \text{น้ำหนักถ้วยสกัดอบแห้})}{\text{น้ำหนักผงตัวอย่างอบแห้ง}}$$

$$\%\ \text{ปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล} = 100\% \times \frac{(\text{น้ำหนักปริมาณสารที่สกัดได้อบแห้ง} - \text{น้ำหนักถ้วยสกัดอบแห้})}{\text{น้ำหนักผงตัวอย่างอบแห้ง}}$$

จากนั้นถ่ายตัวอย่างที่สกัดสารแทรกแล้วลงในบีกเกอร์ ขนาด 1,000 มล. เติมน้ำกลั่นที่กำลังเดือด 500 มล. ให้ความร้อนแก่บีกเกอร์ เป็นเวลา 1 ชม. กรองตัวอย่างด้วยกรวยบุชเนอร์ และล้างด้วยน้ำกลั่นที่เดือด จำนวน 500 มล. ผึ่งตัวอย่างทิ้งไว้ในอากาศให้แห้ง เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดมิดชิด เพื่อหาปริมาณความชื้นของวัตถุดิบที่ปราศจากสารแทรก และนำตัวอย่างที่เตรียมได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี การคำนวณหาปริมาณสารแทรกในเนื้อไม้ จะต้องทราบน้ำหนักแห้งที่แท้จริงของตัวอย่างไม้ ซึ่งเป็นผงไม้ก่อนสกัดสารแทรก และสามารถคำนวณน้ำหนักแห้งที่แท้จริงของเยื่อก่อนสกัดสารแทรกจาก

$$\text{น้ำหนักแห้งที่แท้จริง} = \frac{(\text{ตัวอย่างผงไม้แห้ง} \times 100)}{(100 + \%\ \text{ความชื้น})}$$

เมื่อทราบน้ำหนักแห้งที่แท้จริง จึงสามารถคำนวณหาปริมาณสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เอทานอล-เบนซีน เอทานอล และน้ำร้อน การสกัดน้ำร้อนคำนวณการละลายในน้ำร้อนได้จาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\% \text{ ปริมาณสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน} = 100\% \times \frac{(\text{น้ำหนักปริมาณสารที่สกัดได้อบแห้ง})}{\text{ตัวอย่างผงไม้แห้งที่แท้จริง}}$$

5. การหาปริมาณลิกนินในเนื้อไม้ตามมาตรฐาน TAPPI T222 om-98 (1998)

ชั่งน้ำหนักแห้งที่ปราศจากสารแทรกของไม้หนัก 1±0.1 ก. ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. และวางบีกเกอร์ลงในอ่างน้ำแข็ง แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72% จำนวน 15 มล. พร้อมคนอย่างสม่ำเสมอ ปิดบีกเกอร์ด้วยกระจกนาฬิกาแล้วนำออกจากอ่างน้ำแข็งมาตั้งทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20±1 ºซ เป็นเวลานาน 2 ชม. เติมน้ำกลั่นจำนวน 400 มล. ลงในขวดก้นกลมขนาด 1,000 มล. แล้วเทสารละลายในบีกเกอร์ลงไปในขวดก้นกลม พร้อมทั้งเติมน้ำกลั่นลงไปอีกจนถึงระดับ 575 มล. จากนั้นต้มสารละลายนาน 4 ชม. เมื่อเสร็จเทสารละลายทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มล. แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน กรองผ่านถ้วยกรองเบอร์ 4 ล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนแล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105±3 ºซ เป็นเวลาข้ามคืน หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักรวมของถ้วยกรองและลิกนิน แล้วคำนวณปริมาณลิกนินจาก

$$\% \text{ ปริมาณลิกนิน} = \frac{100\% \times \text{น้ำหนักของลิกนินอบแห้ง (ก.)}}{\text{น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่างไม้ (ก.)}}$$

6. การหาปริมาณโฮโลเซลลูโลสในเนื้อไม้โดยวิธี Acid chlorite ของ Browing (1967)

ชั่งผงตัวอย่างลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มล. จำนวน 3 ก. เติมน้ำกลั่นลงในขวดรูปกรวย จำนวน 160 มล. และกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 0.5 มล. กับโซเดียมคลอไรต์ 1.5 ก. ลงไปด้วยตามลำดับ แล้วใช้ขวดรูปกรวยขนาดเล็กคว่ำเอาทางหัวลงปิดปากขวดรูปกรวยที่ใส่ผงตัวอย่างนั้น นำไปตั้งในอ่างที่ควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 70-80 °ซ. เป็นเวลา 1 ชม. โดยทดลองในตู้ดูดควันพิษ มีการเขย่าเป็นระยะจะได้ ก๊าซคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) เกิดขึ้น เมื่อครบ 1 ชม. จะต้องเติมกรดอะซิติกเข้มข้นจำนวน 0.5 มล. กับโซเดียมคลอไรต์ 1.5 ก. ตามลำดับ ลงในขวดรูปกรวยยังคงเขย่าขวดเป็นระยะ ทำเช่นนี้ ทุกๆ 1 ชม. จนครบกำหนด 4 ชม. หรือจนกว่าผงตัวอย่างจะมีสีขาว เมื่อครบกำหนดเวลา นำขวดรูปกรวยไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเพื่อให้ก๊าซพิษลดการฟุ้งกระจายลงเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นกรองผงเยื่อด้วยถ้วยกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแล้ว ใช้เครื่องกรองที่มีแรงดูดจากการไหลผ่านของน้ำที่ปั๊มมาจากเครื่องปั๊มลมครบชุด ทำให้ก๊าซพิษที่ฟุ้งกระจายออกจากสารละลาย จะได้ถูกดูดและละลายไปกับน้ำ ล้างผงโฮโลเซลลูโลสด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สีขาว จึงล้างด้วยอะซิโตน และดูดออกให้มากที่สุด นำโฮโลเซลลูโลสใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °ซ. เป็นเวลาข้ามคืน จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักอบแห้ง จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณปริมาณโฮโลเซลลูโลส

$$\% \text{ ปริมาณโฮโลเซลลูโลส} = \frac{100\% \times \text{น้ำหนักอบแห้งของโฮโลเซลลูโลส (ก.)}}{\text{น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (ก.)}}$$

7. การหาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสในเนื้อไม้ตามมาตรฐาน TAPPI T203 om-88 (1988)

ชั่งโฮโลเซลลูโลสที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแน่นอนแล้วจำนวน 0.5 ก. โดยน้ำหนักอบแห้ง ใส่ในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 300 มล. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 17.5% จำนวน 100 มล. ลงไป และปรับอุณหภูมิของสารละลายในบีกเกอร์ โดยนำไปใส่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 0.2 °ซ. คนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารจนเกิดการกระจายอย่างสมบูรณ์เป็นเวลา 30 นาที เติมน้ำกลั่นลงในสารละลายจำนวน 100 มล. แล้วคนด้วยเครื่องกวนสาร ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีก 30 นาที จากนั้นกรองสารละลายด้วยถ้วยกรองเบอร์ 2 ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่มีความเย็น 20 °ซ. จนกระทั่งเป็นกลาง ล้างตะกอนอีกครั้งด้วยกรดอะซิติกความเข้มข้น 10% ให้ท่วมผงเยื่อในถ้วยกรอง แล้วล้างตะกอนครั้งสุดท้ายด้วยน้ำกลั่นที่มีความเย็น 20 °ซ. จนน้ำที่ล้างนั้นไม่มีสภาพเป็นกรด นำแอลฟาเซลลูโลสเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 ± 3 °ซ. เป็นเวลาข้ามคืน แล้วจึงนำมาใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น และชั่งจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำผลมาคำนวณปริมาณแอลฟาเซลลูโลส

$$\% \text{ ปริมาณแอลฟาเซลลูโลส} = \frac{100\% \times \text{น้ำหนักแอลฟาเซลลูโลสอบแห้ง (ก.)}}{\text{น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (ก.)}}$$

8. การหาปริมาณเพนโตแซนซึ่งเป็นองค์ประกอบของเฮมิเซลลูโลสในเนื้อไม้ตามมาตรฐาน TAPPI T223 cm-84 (1984)

ชั่งผงตัวอย่าง 0.5 ก. ลงในขวดวัดปริมาตรพร้อมทั้งใส่ผลึกโซเดียมคลอไรด์จำนวน 20 ก. กับสารละลายโฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3.85 นอร์มอล จำนวน 100 มล. พร้อมด้วยลูกแก้วขนาดเล็กประมาณ 2-3 เม็ด ติดตั้งขวดคณโทก้นกลมเข้ากับเครื่องกลั่นและทำเครื่องหมายระดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของสารละลายกรดไว้ เติมสารละลายไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3.85 นอร์มอล จำนวน 250 มล. ลงในกรวยแยกให้ความร้อนด้วยตะเกียงบุนเซน ที่ทำให้กรดกลั่นตัวในอัตราเร็วสม่ำเสมอนาทีละ 2.5 มล. เก็บสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีเฟอร์ฟิวรัลในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มล. ที่วางอยู่ในอ่างน้ำแข็งในระหว่างการกลั่น จะต้องรักษาระดับของสารละลายกรดในขวดคณโทก้นกลมให้คงที่ โดยหมั่นเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกจากกรวยแยก จากนั้นกลั่นต่อไปจนได้ปริมาณของสารละลายจำนวน 225±10 มล. ปรับระดับอุณหภูมิของสารละลายที่กลั่นได้เป็น 20 °ซ. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 3.85 นอร์มอลให้ครบปริมาตร 250 มล. ของขวดวัดปริมาตรที่หมายระดับไว้ก่อน และผสมให้เข้ากันโดยตลอด จากนั้นดูดสารละลายที่กลั่นได้ด้วยปิเปตจำนวน 5 มล. ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มล. เติมออร์ซินอล จำนวน 25 มล. และเติมเอทานอลให้ครบระดับที่มีปริมาตร 50 มล. แล้วเขย่าและนำไปไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25±1 °ซ. เป็นเวลา 1 ชม. จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้ใส่ในคิวเวทท์ที่มีฝาปิดป้องกันการระเหยของกรดที่จะกัดกร่อนเครื่องมือ และไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 630 นาโนเมตร จากนั้นอ่านค่าไซแลนในตัวอย่างจากกราฟมาตรฐานที่เตรียมไว้เป็น มก. แล้วนำมาคำนวณปริมาณเพนโตแซน

$$\%\ \text{ปริมาณเพนโตแซน} = \frac{100\ \text{x น้ำหนักเพนโตแซนในผงตัวอย่าง (มก.)}}{10\ \text{x น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่าง (ก.)}}$$

9. การหาปริมาณการละลายของวัตถุในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% ในเนื้อไม้ตามมาตรฐาน TAPPI T212 om-98 (1998)

ชั่งผงตัวอย่างที่ทราบปริมาณความชื้นแน่นอนแล้วจำนวน 2 ก. ลงในบีกเกอร์ทรงสูงขนาด 200 มล. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1% จำนวน 100 มล. และคนให้ทั่วด้วยแท่งแก้ว แล้วนำไปใส่อ่างควบคุมอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 97-100 °ซ. โดยให้น้ำในอ่างมีระดับความสูงกว่าสารละลายในบีกเกอร์ และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชม. จากนั้นคนด้วยแท่งแก้วครั้งละ 5 วินาที เมื่อเวลาผ่านไปถึง 10, 15 และ 25 นาที หลังจากวางบีกเกอร์อยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ เมื่อครบเวลา 1 ชม. นำไปกรองด้วยถ้วยกรองเบอร์ 3 ที่ทราบน้ำหนักอบแห้งแล้ว และล้างด้วยน้ำร้อนจำนวน 100 มล. และเติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 10% จำนวน 25 มล. แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 นาที จึงดูดกรด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อะซิติกออกแล้วล้างผงเยื่อด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งปราศจากกรดอะซิติก จากนั้นนำถ้วยกรองเบอร์ 3 ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105±3 °ซ. เป็นเวลาข้ามคืนจนได้น้ำหนักคงที่ โดยการทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก และนำมาคำนวณหาปริมาณการละลายของวัตถุในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1%

$$\% \text{ ปริมาณการละลายของวัตถุในเบส} = \frac{100\% \times \text{น้ำหนักผงไม้อบแห้งก่อนสกัด-หลังสกัด (ก.)}}{\text{น้ำหนักผงไม้อบแห้งก่อนสกัด (ก.)}}$$

10. การหาปริมาณเถ้าในเนื้อไม้โดยการเผาที่อุณหภูมิ 625 °ซ. ตามมาตรฐาน TAPPI T211 om-93 (1993)

ล้างถ้วยกระเบื้องให้สะอาดแล้วนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105±3 °ซ. ทิ้งไว้ข้ามคืน จากนั้นนำถ้วยกระเบื้องใส่ผงตัวอย่าง 1 ก. แล้วเผาโดยตรงด้วยเปลวไฟอ่อนจากตะเกียงบุนเซนหรือเตาแก๊ส จนกระทั่งผงตัวอย่างกลายเป็นถ่านปราศจากเปลวไฟ จึงนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 625±25 °ซ. เป็นเวลา 6 ชม. แล้วนำมาใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็นเป็นเวลา 30 นาที และนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณปริมาณเถ้า

$$\% \text{ ปริมาณเถ้า} = \frac{100\% \times \text{น้ำหนักของเถ้าหลังเผา}}{\text{น้ำหนักอบแห้งของผงตัวอย่างก่อนเผา}}$$

วิธีการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพารา แบ่งออกเป็น 7 ประเภท ได้แก่

1. แรงดัดสถิตย์
2. แรงอัดขนานเสี้ยน
3. แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน
4. แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน
5. แรงเฉือนขนานเสี้ยน
6. ความแข็ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การฉีก

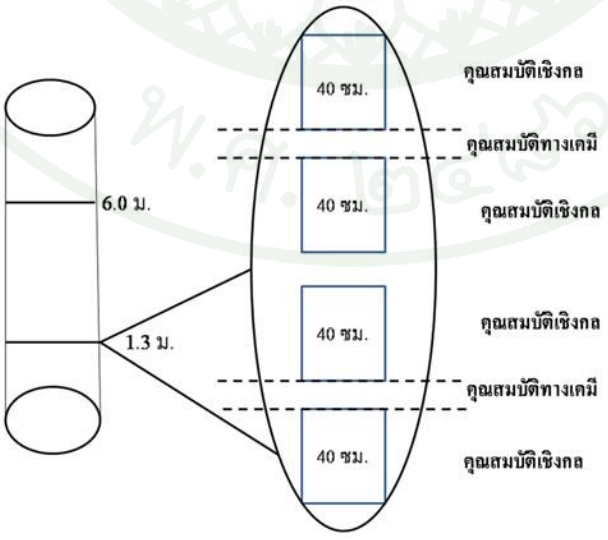
แต่ละคุณสมบัติจะมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไปตามประเภทของการทดสอบดังนี้

1. การเตรียมชิ้นไม้ทดสอบ

นำยางพารา 7 โคลนพันธุ์ ที่มีพันธุกรรมแตกต่างกัน โดยตัดต้นยางพาราทั้ง 7 ต้นตามวิธีการเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกล แล้วนำมาแปรรูปและตัดเป็นชิ้นไม้ทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบไม้ของ ASTM (1980) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1.1 การตัดต้นยางพาราตามความสูงของลำต้น

ตัดไม้ตามความสูงของลำต้นตามวิธีการเตรียมตัวอย่างเชิงกล ที่มีความยาวท่อนละ 40 ซม. โดยตัดที่ 2 ระดับความสูงคือ 1.3 และ 6.0 ม. เหนือพื้นดิน ซึ่งยางพารา 1 ต้นจะได้ท่อนซุงจำนวน 4 ท่อนคือ ที่ระดับความสูง 1.3 ม. จำนวน 2 ท่อนได้แก่ ท่อนบนและท่อนล่าง ส่วนตรงกลางของท่อนที่ยาว 20 ซม. นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังแสดงในภาพที่ 7 และที่ระดับความสูง 6.0 ม. ก็ใช้วิธีการเดียวกัน ดังนั้นไม้ยางพาราจำนวน 7 ต้น จึงมีไม้สำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกลจำนวน 28 ท่อน ดังแสดงในภาพที่ 8

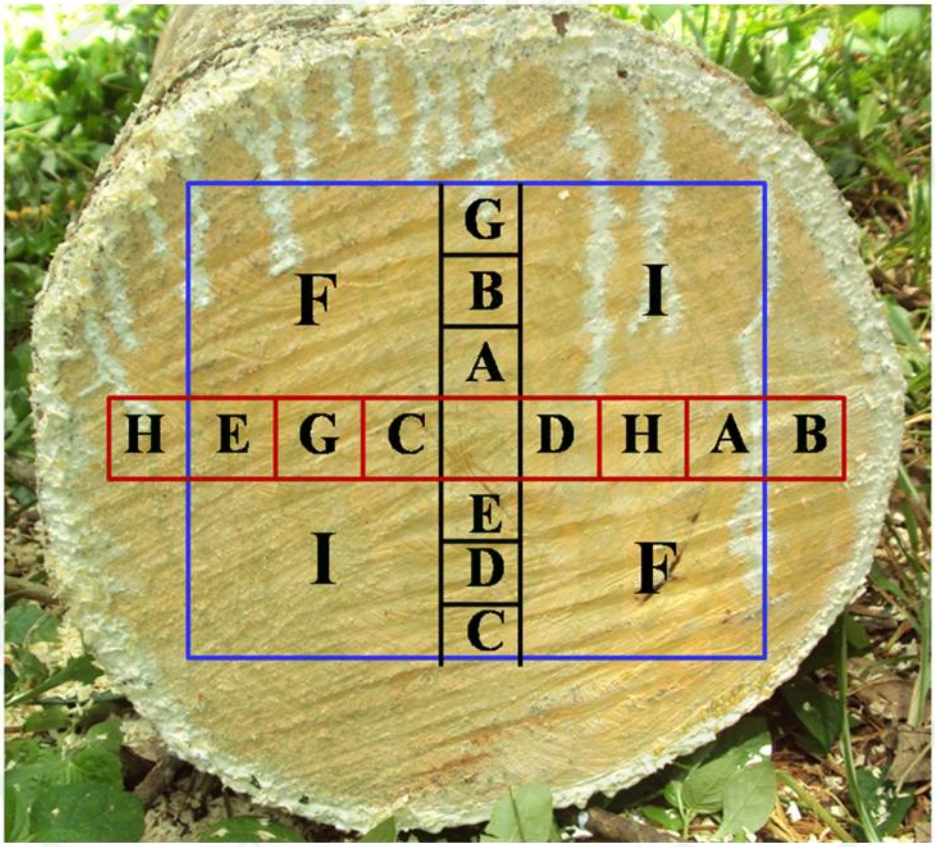


ภาพที่ 8 แสดงการตัดไม้เพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกลตามความสูงของลำต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 การตัดไม้ตามหน้าตัดของลำต้นแบบสุ่มให้มีการกระจายทั่วลำต้น

นำท่อนไม้แต่ละท่อนมาตัดชิ้นไม้ทดสอบเฉพาะส่วนที่ใกล้เปลือกออกเพื่อเปิดหน้าไม้ยางพาราทั้ง 4 ด้านให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม จากนั้นสุ่มการตัดตามอักษรภาษาอังกฤษ A-I จำนวน 9 ประเภทการทดสอบดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงไดอะแกรมการตัดไม้เพื่อทดสอบตามหน้าตัดของลำต้น

ซึ่งในแต่ละท่อนจะมีชิ้นไม้ที่ตัดออกมาตามหน้าตัดของลำต้นจำนวน 14 ชิ้น แต่ละชิ้นมีขนาดแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 แสดงการตัดตัวอย่างชิ้นไม้ที่ต้องการทดสอบตามไดอะแกรมการตัดไม้ตามหน้าตัดของลำต้น

รหัสของตัวอย่างไม้	คุณสมบัติของไม้ที่ต้องการทดสอบ	จำนวนซ้ำ	ขนาดของไม้ที่ตัด (ซม.)	หมายเหตุ
A	แรงดัดสถิตย์ (โมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่น)	8	2 x 2 x 30	-
B	แรงอัดขนานเสี้ยน	8	2 x 2 x 6	-
C	แรงเฉือนขนานเสี้ยน	8	2 x 2 x 2	-
D	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน	8	2 x 2 x 6	-
E	แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน	8	2 x 2 x 7	-
F	ความแข็ง	8	5 x 5 x 5	-
G	การฉีก	8	2 x 2 x 4.5	-
H	ความเหนียว	8	2 x 2 x 30	ไม่ได้ทดสอบ
I	ทดสอบขูดกับตะปู	8	5 x 5 x 15	ไม่ได้ทดสอบ

หมายเหตุ ตัดตัวอย่างไม้แต่ละชิ้นของท่อนซุงที่ความยาว 40 ซม. ตามขนาดที่กำหนดให้ตั้งแต่ตัวอย่างที่ A-I จากแผนภาพไดอะแกรมที่ 9

ที่มา: ดัดแปลงจาก ASTM (1980)

ดังนั้นในแต่ละการทดสอบจะมีจำนวนชิ้นไม้ทดสอบในสภาพไม้แห้งจำนวน 56 ชิ้น และต้นยางพาราทั้ง 7 ต้นจะมีจำนวนชิ้นไม้ทดสอบทั้งหมด 392 ชิ้น

2. การปรับสภาพชิ้นไม้ทดสอบ

ไม้ที่นำมาทดสอบมาปรับสภาพให้กลายเป็นไม้ในสภาพที่แห้ง โดยนำชิ้นไม้ทดสอบที่แปรรูปแล้วซึ่งมีความชื้นในสภาพไม้สดไปวางผึ่งไว้ในอากาศเพื่อให้ไม้แห้งลง และมีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นสมดุลของไม้ในบรรยากาศ หลังจากนั้นนำชิ้นไม้ทดสอบไปเข้าตู้ควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สภาวะของบรรยากาศเครื่องนี้ใช้สำหรับปรับปริมาณความชื้นภายในชิ้นไม้ทดสอบให้มีความชื้นเท่ากับที่กำหนดในมาตรฐานสากลคือ 12% เพื่อให้ข้อมูลคุณสมบัติเชิงกลของไม้ขนาดต่างๆ ที่ดำเนินการทดสอบสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้โดยไม่ถูกกระทบด้วยความชื้น โดยปรับสภาพชิ้นไม้ที่อุณหภูมิ 20±2 °ซ. และใช้ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 65±3% จนชิ้นไม้มีความชื้นสมดุลกับบรรยากาศภายในตู้ สามารถตรวจสอบได้โดยการชั่งน้ำหนักของชิ้นไม้ เมื่อน้ำหนักของชิ้นไม้คงที่แสดงว่าความชื้นในไม้ถึงสภาวะสมดุลแล้ว (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

3. การหาปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะ

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของไม้จำเป็นต้องหาความชื้นและความถ่วงจำเพาะของชิ้นไม้ขณะทดสอบด้วย ถ้าปราศจากสองค่านี้ ข้อมูลเชิงกลจะหมดความหมาย เนื่องจากความชื้นและความถ่วงจำเพาะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลมาก โดยเฉพาะเมื่อไม้มีความชื้นต่ำกว่าจุดหมาดซึ่งไม้ทั่วๆ ไปมีค่านี้ประมาณ 30% ของความชื้น ถ้าปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยมีผลให้คุณสมบัติเชิงกลของไม้เปลี่ยนแปลง

3.1 ปริมาณความชื้น

ชิ้นไม้สำหรับหาความชื้นควรมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาดหน้าตัด 2 x 2 x 2 ซม. นำชิ้นไม้ไปชั่งให้มีความละเอียดถึงทศนิยมสองตำแหน่งโดยชั่งอย่างรวดเร็ว เพื่อไม่ให้ความชื้นในไม้เปลี่ยนแปลง น้ำหนักนี้เรียกว่าน้ำหนักขณะทดสอบ ต่อไปนำชิ้นไม้ทั้งหมดไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 103±2 °ซ. จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำชิ้นไม้ทั้งหมดออกจากตู้อบไปใส่ในโถดูดความชื้นแล้วนำชิ้นไม้ไปชั่งน้ำหนักทศนิยมสองตำแหน่ง และชั่งโดยเร็วจะได้น้ำหนักอบแห้งเพื่อคำนวณปริมาณความชื้นของชิ้นไม้จาก

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{100\% \times (\text{น้ำหนักขณะทดสอบ} - \text{น้ำหนักอบแห้ง})}{\text{น้ำหนักอบแห้ง}}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 ความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะของวัสดุเป็นค่าแสดงถึงปริมาณมวลสารในหนึ่งหน่วยปริมาตร ความถ่วงจำเพาะคือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัสดุต่อความหนาแน่นของน้ำ (ไม่มีหน่วย) ทั้งสองค่านี้ใช้กับวัสดุทุกชนิดและคำนวณน้ำหนักและปริมาตรที่สภาวะเดียวกัน การคำนวณเกี่ยวกับไม้นิยมใช้ความถ่วงจำเพาะมากกว่าความหนาแน่น เพราะใช้น้ำหนักอบแห้งเท่านั้นและไม่มีหน่วย การคำนวณปริมาณความถ่วงจำเพาะของไม้จาก

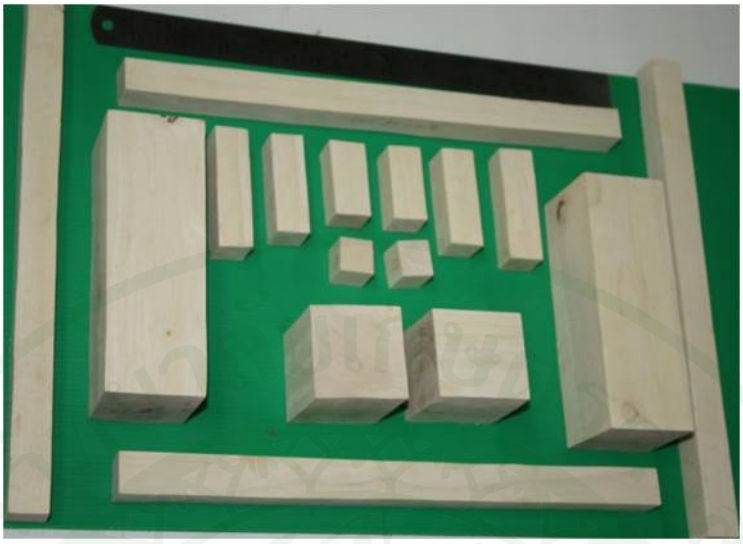
$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{มวลอบแห้ง}}{\text{ปริมาตรขณะทดสอบ}}$$

4. การเตรียมการทดสอบ

ติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดสอบไม้เชิงกลเข้ากับเครื่องทดสอบสากล ดังภาพที่ 10 และจัดเตรียมอุปกรณ์ชิ้นไม้ทดสอบแต่ละตัวอย่างดังภาพที่ 11 การทดสอบสมบัติเชิงกลของไม้ตามวิธีมาตรฐาน ASTM (1980) ได้แก่ ความชื้น ความถ่วงจำเพาะ แรงดัดสถิตย์ แรงอัดขนานเสี้ยน แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน แรงเฉือนขนานเสี้ยน แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน ความแข็ง และการฉีก การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลค่าต่างๆ ทดสอบที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์วัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

ภาพที่ 10 แสดงเครื่องทดสอบสากลคุณสมบัติเชิงกลของไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 แสดงการตัดชิ้นไม้ตามไดอะแกรมเพื่อทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

5. มาตรฐานการทดสอบสำหรับไม้

การทดสอบสมบัติเชิงกลของไม้ในประเทศไทยใช้มาตรฐานจากต่างประเทศ เช่น American Society for Testing and Materials (ASTM), British Standards (BS) และ International Standard (ISO) เป็นต้น การทดสอบค่าเชิงกลของไม้ตามวิธีการมาตรฐาน ข้อมูลการทดสอบไม้จะถูกบันทึกเข้าไปในชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลโดยอัตโนมัติ เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และระยะการเสียรูป โดยผู้วิจัยอ่านค่าความแข็งจากกราฟซึ่งมีหน่วยแรงเป็นเมกะปาสคาล (MPa) และอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดของไม้แต่ละชิ้นทดสอบ มีหน่วยเป็นนิวตัน

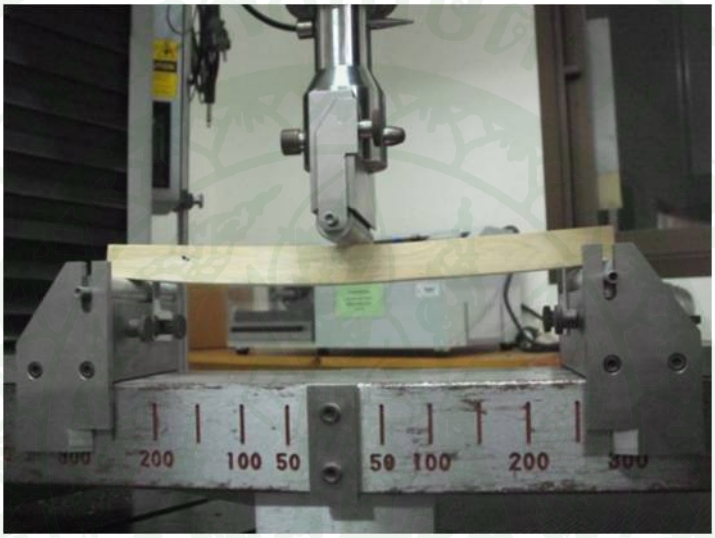
6. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

6.1 การทดสอบแรงดัดสถิตย์

ตัดตัวอย่างไม้ขนาด 2 x 2 x 30 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM 1037 วัดขนาดหน้าตัดตรงกึ่งกลางความยาวที่แท้จริงของตัวอย่างไม้ด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์อ่านทศนิยมสองตำแหน่ง นำตัวอย่างไม้ไปวางบนแท่นรองซึ่งวางห่างกัน 2.8 ซม. ส่วนของแท่นรองที่สัมผัสกับตัวอย่างไม้ต้องเป็นลูกกลิ้งกลมเพื่อขจัดแรงเสียดทานตามแนวนอน ถ้าลูกกลิ้งวางอยู่บนระบบลูกปืนที่ปรับตัวได้ตามแนวตั้งฉากกับความยาวของตัวอย่างไม้จะถูกต้องยิ่งขึ้น กดน้ำหนักลงบนกึ่งกลางของ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตัวอย่างไม้ด้วยหัวกดที่มีรัศมีของความโค้ง 2.5 ซม. และหัวกดจะต้องยึดอยู่กับระบบลูกปืน ซึ่งหมุนได้รอบตัวเพื่อขจัดแรงหมุนที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากตัดตัวอย่างไม้ไม่ได้ฉากเดินเครื่องให้หัวกดสัมผัสกับตัวอย่างไม้ ดังภาพที่ 12 แล้วทดสอบใช้ความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของหัวกด ที่ทำให้ไม้หักภายในเวลา 1.5 ± 0.5 นาที กดน้ำหนักจนตัวอย่างไม้แตกหัก จดค่าแรงและปริมาณการโก่งเนื่องจากแรงไว้เพื่อพล็อตกราฟ



ภาพที่ 12 การทดสอบแรงดัดสถิตย์ของไม้

การคำนวณผล

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่กระทำ (p) และการโก่งที่เกิดขึ้น (δ) โดยให้ P อยู่แกนตั้ง (y) และδ อยู่แกน (x) ซึ่งเรียกว่า กราฟของการโหลด หาจุดพิกัดอัตราส่วนโดยตรง (P.L.) และคำนวณหาค่าต่างๆ ต่อไปนี้

โมดูลัสการแตกหัก (Modulus of rupture หรือ MOR) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการแตกหักหรือความแข็งแรงของไม้

$$MOR = \frac{3P_{max} L}{2 bd^2}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity หรือ MOE) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการต้านการโก่งหรือความแข็งตึงของไม้

$$MOE = \frac{P_{pl} L^3}{4\delta_{pl} bd^3}$$

งานถึงจุดแตกหัก (W) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานหรือความเหนียวของไม้

$$W = \frac{\text{พื้นที่ใต้กราฟจนถึงจุดแตกหัก x P } \delta \text{ ของหนึ่งหน่วยพื้นที่}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างไม้ระหว่างแท่นรอง (bdL)}}$$

เมื่อ P = น้ำหนัก (แรง) ที่กระทำ (นิวตันหรือ กก.)

Pmax = น้ำหนักสูงสุด (นิวตันหรือ กก.)

P_{pl} =น้ำหนักที่จุด P.L. (นิวตันหรือ กก.)

δ= การโก่งของตัวอย่างไม้ (มม. หรือ ซม.)

δ_{pl} = การโก่งที่จุด P.L. (นิวตันหรือ กก.)

b = ความกว้างของตัวอย่างไม้ (มม. หรือ ซม.)

d = ความลึกของตัวอย่างไม้ (มม. หรือ ซม.)

L = ความยาวของตัวอย่างไม้ระหว่างแท่นรอง (มม. หรือ ซม.)

6.2 การทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยน

ตัดตัวอย่างไม้ในลักษณะลูกบาศก์ขนาด 2 x 2 x 6 ซม. โดยพยายามตัดให้ด้านหน้าตัดเท่ากับ 2 x 2 ซม. ทั้งสองข้างตั้งฉากกับเสี้ยนไม้อย่างแท้จริง และให้ด้านยาวขนานกับเสี้ยน 6 ซม. วัดขนาดหน้าตัดของตัวอย่างไม้ด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ โดยวัดตรงกึ่งกลางความยาวของตัวอย่างไม้ตามมาตรฐาน ISO 3787 นำตัวอย่างไม้ไปวางในช่องสำหรับทดสอบแรงอัดของเครื่องทดสอบสากล จัดเลือกอุปกรณ์ทดสอบให้ถูกต้องและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้หัวกดอย่างน้อยหนึ่งด้านหมุนได้รอบตัวโดยใช้ระบบลูกปืน เพื่อให้หัวกดปรับตัวเองให้แนบสนิทกับหน้าตัดของตัวอย่างไม้ และกระจายน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอลงบนหน้าตัด ดังภาพที่ 13 การทดสอบตั้งความเร็ว

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คงที่ในการเคลื่อนที่ของหัวกดเพื่อให้ตัวอย่างไม้แตกหักภายในเวลา 1.5 ถึง 2 นาที และกดน้ำหนักจนตัวอย่างไม้แตกหัก จดค่าแรงสูงสุด (Pmax) ไว้เพื่อใช้ในการคำนวณ

ภาพที่ 13 การทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยนของไม้

การคำนวณผล

นำผลการทดลองมาคำนวณหาความเค้นสูงสุดในการรับแรงอัดขนานเสี้ยน (σc) ด้วยสูตรต่อไปนี้

$$\sigma c = \frac{Pmax}{a \times b}$$

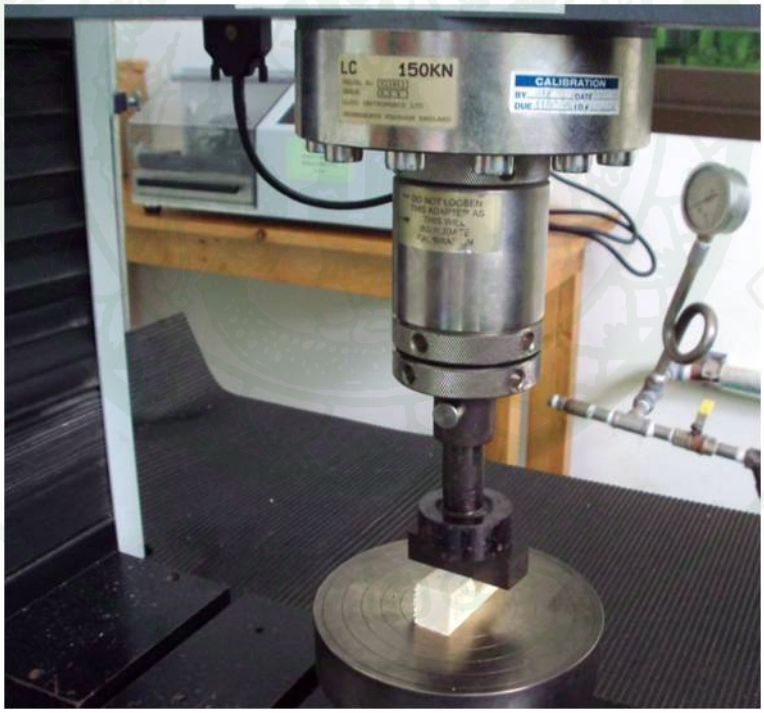
เมื่อ Pmax = น้ำหนักหรือแรงสูงสุดที่ทำให้ไม้หัก (นิวตันหรือ กก.)

a และ b = ขนาดหน้าตัดของตัวอย่างไม้ (มม. หรือ ซม.) แสดงค่าที่คำนวณได้เป็นเมกะปาสคาล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.3 การทดสอบแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน

ตัดตัวอย่างไม้ในลักษณะลูกบาศก์ขนาด 2 x 2 x 6 ซม. และวัดขนาดหน้าตัดของตัวอย่างไม้ด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ โดยวัดตรงกึ่งกลางความยาวของตัวอย่างไม้ ตามมาตรฐาน ISO 3787 นำตัวอย่างไม้ไปวางบนแท่นสำหรับทดสอบแรงอัด โดยวางนอนนำแผ่นเหล็กกว้าง 2 ซม. วางทับผิวหน้าด้านบนของตัวอย่างไม้จัดวางให้แผ่นเหล็กอยู่ตรงกึ่งกลางและตั้งฉากกับความยาวของตัวอย่างไม้ เลื่อนหัวกดให้แตะแผ่นเหล็กพร้อมกับติดตั้งเครื่องมือวัดการเสียรูป ดังภาพที่ 14 และทดสอบอัดหัวกดลงบนแผ่นเหล็กด้วยอัตราความเร็วคงที่โดยเลือกอัตราความเร็วที่ทำให้ได้จุดพิกัดอัตราส่วนโดยตรง (proportional limit) ภายในเวลา 1.5 ± 0.5 นาที ทดสอบจนผิวหน้าของตัวอย่างไม้ถูกแผ่นเหล็กกดยุบลงไป 0.25 ซม. แล้วหยุดเครื่อง การทดสอบให้อ่านค่าการยุบตัวตามน้ำหนักกดเพื่อใช้ในการพล็อตกราฟ



ภาพที่ 14 การทดสอบแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การคำนวณผล

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปพล็อตกราฟโดยให้น้ำหนักอยู่แกนตั้ง (y) และให้การเสียรูปอยู่แกนนอน (x) แล้วลากเส้นกราฟที่ได้ นำไม้บรรทัดมาทาบเส้นกราฟให้ผ่านจุด 0 และทำเครื่องหมายจุดที่เส้นกราฟเริ่มโค้งและเขียนจุดพิกัดอัตราส่วนโดยตรงหรือ P.L. กำกับไว้ นำค่านี้ไปแทนในสูตรคำนวณค่า $\sigma_{P.L.}$

$$\sigma_{P.L.} = \frac{\sigma_{P.L.}}{A}$$

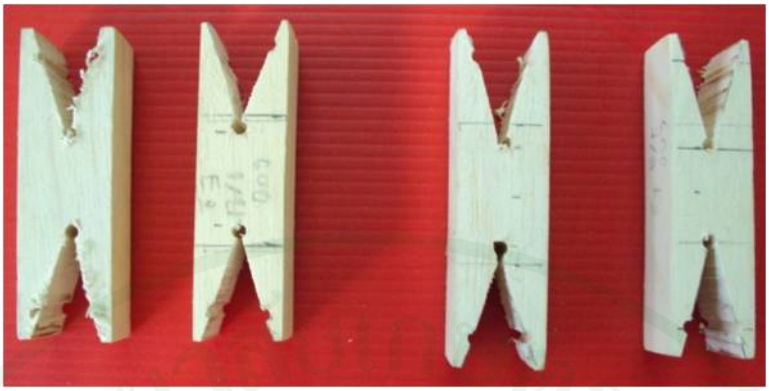
เมื่อ $\sigma_{P.L.}$ = ค่าแรงผิวด้านนอกของไม้ที่จุดพิกัดอัตราส่วนโดยตรง (เมกะปาสคาล), $\sigma_{P.L.}$ = แรงโหลดที่จุดพิกัดอัตราส่วนโดยตรง(นิวตันหรือ กก.)

A = พื้นที่ของตัวอย่างไม้ที่รับแรงกดจากแผ่นเหล็ก (ซม.^{2}) ความกว้างของตัวอย่างไม้ (a) คูณกับความกว้างของแผ่นเหล็ก (l)

6.4 การทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน

ตัดตัวอย่างไม้ขนาด 2 x 2 x 7 ซม. และบากไม้ให้มีลักษณะดังภาพที่ 15 โดยใช้สว่านและเลื่อยสายพาน การตัดจะง่ายขึ้นเมื่อใช้แผ่นเหล็กเป็นต้นแบบและตัดทุกๆ ตัวอย่างไม้ตามต้นแบบ จะได้ตัวอย่างไม้ทุกๆ ชิ้นมีขนาดใกล้เคียงกันด้วย วัดขนาดจริงของพื้นที่ของตัวอย่างไม้ที่รับแรงดึงตรงส่วนคอดด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ ใช้มาตรฐาน ISO 3346 กำหนดขนาดตัวอย่างโดยให้บริเวณหน้าตัดที่ถูกดึงของตัวอย่างไม้ มีลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดด้านหนึ่งจาก 1 ถึง 2.5 ซม. และอีกด้านหนึ่งจาก 2 ถึง 5 ซม. หรือตัดตัวอย่างไม้โดยบากให้คอดตรงกลาง แต่รัศมีความโค้งของรอยคอดต้องไม่น้อยกว่า 1.2 ซม. นำตัวอย่างไม้ไปใส่ไว้ในอุปกรณ์สำหรับทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน ดังภาพที่ 16 ปรับเครื่องให้เริ่มต้นที่ศูนย์ ทดสอบโดยใช้ความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ทำให้ตัวอย่างไม้ขาดในเวลา 1.5 ถึง 2 นาที ดึงตัวอย่างไม้จนขาดออกจากกัน จดค่าแรงสูงสุดไว้เพื่อใช้คำนวณค่าแรงสูงสุด ถ้าตัวอย่างไม้ขาดนอกบริเวณที่คอดที่สุดตัวเลขใช้ไม่ได้ต้องทดสอบใหม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 15 ตัวอย่างชิ้นไม้ขนาด 2 x 2 x 7 ซม. และการบากไม้เพื่อทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน

ภาพที่ 16 การทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้

การคำนวณผล

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาความเค้นสูงสุดในการรับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ซึ่งแทนด้วยตัวย่อ $\sigma_{t\perp}$ โดยแทนค่าลงในสูตรต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\sigma_{t\perp} = \frac{Pmax}{A_t}$$

เมื่อ Pmax = น้ำหนักหรือแรงสูงสุดที่ทำให้ไม้ขาด (กก.)

A_t = พื้นที่ของตัวอย่างไม้ที่รับแรงดึง (ซม.^{2})

6.5 การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้

ตัดตัวอย่างไม้ขนาด 2 x 2 x 2 ซม. ซึ่งเป็นไม้ปลอดตำหนิ และตัดให้ตรงกับด้านรัศมีและด้านสัมผัสที่แท้จริงวัดขนาดจริงด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ ขนาดตัวอย่างทดสอบนี้ตรงตามมาตรฐาน BS 373 และ ISO 3346 นำตัวอย่างไม้ไปวางไว้ในอุปกรณ์สำหรับทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยน ดังภาพที่ 17 ปรับเครื่องให้เริ่มต้นจากศูนย์ และทดสอบโดยใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวกดที่ทำให้ตัวอย่างไม้แตกหักภายในเวลา 1.5 ถึง 2 นาที กดจนตัวอย่างไม้เลื่อนไถลออกจากกัน จดค่าแรงสูงสุดไว้เพื่อใช้คำนวณหาค่าความแข็งแรง การวางตัวอย่างไม้ในอุปกรณ์ทดสอบต้องพยายามวางให้ตัวอย่างไม้ตั้งตรง โดยให้หน้าตัดแนบสนิทกับฐานรอง และจัดให้เกิดการเฉือนประมาณตรงกึ่งกลางของตัวอย่างไม้ อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบแรงเฉือนที่ถูกต้องจะจัดให้แผ่นกดเหลื่อมกับฐานรองเท่ากับ 0.32 ซม. เพื่อให้ตัวอย่างไม้มีอิสระในการเลือกแนวการเลื่อนไถลไปตามระนาบที่มีความต้านทานน้อยที่สุด ถ้าไม่มีส่วนเหลื่อมนี้ตัวอย่างไม้จะถูกบังคับให้เลื่อนไถลตามแนวแผ่นเหล็ก ซึ่งอาจจะไม่ใช่ส่วนที่อ่อนที่สุดของตัวอย่างไม้ และเป็นเหตุให้ค่าความแข็งแรงที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 17 การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้

การคำนวณผล

นำผลที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณ หาความเค้นสูงสุดในการรับแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ซึ่งแทนด้วย τ ซึ่งค่าแรงสูงสุดคือ ความแข็งแรง โดยแทนค่าในสูตรดังนี้

$$\tau = \frac{Pmax}{A_s}$$

เมื่อ Pmax = น้ำหนักหรือแรงสูงสุดที่ทำให้ไม้เลื่อนไถลออกจากกัน (นิวตันหรือ กก.)

A_s = พื้นที่ระนาบของตัวอย่างไม้ที่รับแรงเฉือน (ซม.^{2}) หรือเท่ากับความกว้างของตัวอย่างไม้ (b) คูณด้วยความยาวของระนาบที่ถูกเฉือน (l)

6.6 การทดสอบความแข็งของไม้

ตัดตัวอย่างไม้ขนาดหน้าตัด 5 x 5 x 5 ซม. ตามมาตรฐาน ASTM D 143 และ BS-373 วัดขนาดหน้าตัดที่แท้จริงของตัวอย่างไม้ด้วยเวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ การใช้ตัวอย่างไม้ที่มีขนาดโตจะช่วยป้องกันการแตกของไม้ในขณะทดสอบโดยเฉพาะไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง เช่น ไม้ใบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กว้างในเขตร้อน เป็นต้น นำตัวอย่างไม้ไปวางบนแท่นรองสำหรับทดสอบแรงอัด และใช้หัวกดสำหรับทดสอบความแข็งกดลงบนตัวอย่างไม้ ดังภาพที่ 18 โดยใช้ความเร็วคงที่ในการเคลื่อนที่ของเครื่องระหว่าง 3 ถึง 6 มม. /นาที ในขณะเครื่องเดินคอยขยับวงแหวนเหล็กอยู่ตลอดเวลา เมื่อวงแหวนเหล็กเริ่มขยับไม่ได้ให้หยุดเครื่องทันที ขณะนี้ปลายของหัวกดจมลงในเนื้อไม้ลึก 5.6 มม. และจดค่าแรงสูงสุดไว้คำนวณหาค่าความแข็ง อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบความแข็งนี้เรียกว่า เครื่องมือความแข็งของจันกา (Janka) คิดขึ้นโดย Janka (1915) ซึ่งเป็นเหล็กชนิดแข็งพิเศษ มีลักษณะครึ่งลูกกลม เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 11.3 มม. (0.444 นิ้ว) มีพื้นที่ผิวโค้งของครึ่งวงกลมเท่ากับ 100 มม.^{2} หรือ 1 ซม.^{2} และ Janka (1915)ให้คำจำกัดความไว้ว่า ความแข็งของไม้มีค่าเท่ากับแรงที่ใช้กดแบบสถิตย์ ให้เหล็กครึ่งลูกกลมดังกล่าวจมลงไปในเนื้อไม้อย่างสมบูรณ์แบบคือ จมลงไปครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลาง หรืออีกนัยหนึ่ง ความแข็งของไม้คือ ความสามารถของเนื้อไม้ในการต้านทานการสอดแทรกของลูกเหล็กให้จมลงไปครึ่งลูก (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ภาพที่ 18 การทดสอบความแข็งของไม้

การคำนวณผล

นำผลที่ได้ไปคำนวณค่าความแข็งของตัวอย่างไม้ที่มีความชื้นในขณะทดสอบเท่ากับ m ซึ่งแทนด้วย Hmโดยแทนค่าลงในสูตรดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Hm = KP$$

เมื่อ P = ค่าแรงสูงสุดที่อ่านจากเครื่องทดสอบในหน่วยของนิวตัน

K = ค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 1 สำหรับกรณีที่หัวกดจมลงในเนื้อไม้ลึก 5.64 มม. หรือเท่ากับ 4/3 นิ้ว สำหรับกรณีที่หัวกดจมลงในเนื้อไม้ลึก 2.3 มม. ในกรณีที่ตัวอย่างไม้แตกขณะทดสอบ อนุโลมให้ทดสอบใหม่ และกดหัวกดให้ลึกลงในเนื้อไม้เพียงครึ่งหนึ่งของข้างต้นคือลึก 2.3 มม. ได้ แต่ต้องแทนค่า K ด้วย 4/3 นิ้ว

6.7 การทดสอบการฉีกของไม้

ตัดตัวอย่างไม้ขนาด 2 x 2 x 4.5 ซม. ตามมาตรฐาน BS 373 และบากให้มีลักษณะดังภาพที่ 19 ใช้สว่านและเลื่อยสายพานตัดตามเหล็กต้นแบบเช่นเดียวกับการตัดตัวอย่างไม้สำหรับทดสอบความเค้นดึงตั้งฉากเสี้ยน วัดขนาดจริงของพื้นที่ที่จะรับแรงฉีกซึ่งเท่ากับความกว้าง (b) คูณกับ ความยาวจากปลายของรอยบาก (l_c) โดยใช้เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์ นำตัวอย่างไม้ไปใส่ในอุปกรณ์สำหรับทดสอบการฉีก ดังภาพที่ 20 จากนั้นเดินเครื่องโดยตั้งความเร็วคงที่ในการทดสอบเพื่อให้ตัวอย่างไม้ขาดภายในเวลา 1.5 ± 0.5 นาที จดค่าน้ำหนักสูงสุดไว้เพื่อคำนวณหาความต้านทานของไม้ต่อการฉีก

ภาพที่ 19 ตัวอย่างชิ้นไม้ขนาด 2 x 2 x 4.5 ซม. และการบากเพื่อทดสอบการฉีก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 20 การทดสอบการฉีกของไม้

การคำนวณผล

นำค่าแรงสูงสุดที่ได้จากการทดสอบไปคำนวณหาความต้านทานของไม้ต่อการฉีก ซึ่งแทนด้วย R_c โดยแทนค่าลงในสูตรดังนี้

$$R_c = P/b$$

เมื่อ P = แรงสูงสุดที่ทำให้ไม้ฉีก (นิวตัน)

b = ความกว้างของตัวอย่างไม้ มีหน่วยเป็น มม. หรือ ซม.

7. การวิเคราะห์ผลคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพารา 7 โคลนพันธุ์

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพาราใช้แผนการทดลองประยุกต์ คือ การทดลองแบบสุ่มซ้อน (Nested design) เป็นการทดลองที่มี 2 ปัจจัย โดยปัจจัย A คือ ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ และปัจจัย B คือ ความสูง 2 ระดับ (1.3 และ 6.0 ม.) ทุกระดับของปัจจัย B จะพบในทุกระดับของปัจจัย A กล่าวคือ ความสูงของลำต้นเหนือพื้นดินที่ระดับ 1.3 และ 6.0 ม. จะปรากฏใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทุกๆ โคลนพันธุ์ และปัจจัย B ข้ามไปในทุกระดับของปัจจัย A จึงเรียกปัจจัย B ว่าเป็น cross effect เมื่อทั้งปัจจัย A และ B เป็น cross effect จึงสามารถทดสอบได้ทั้งอิทธิพลหลัก คือ A และ B และอิทธิพลร่วมระหว่าง A*B (มนต์ชัย, 2544)

การวิเคราะห์ผลในทางสถิติ กล่าวคือ วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance หรือ ANOVA) ของอิทธิพลจากโคลนพันธุ์ ระดับความสูง และอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์กับความสูง สำหรับคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ โดยอาศัยโปรแกรม CropStat software version 7.2.3 (archive.irri.org/science/software/cropstat.asp) (IRRI, 2007) ช่วยในการวิเคราะห์ตามวิธีทางสถิติ (F-test) ทั้งนี้ถ้าผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพารามีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าอิทธิพลของโคลนพันธุ์ ความสูง และอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์กับความสูงมีความแตกต่างกันอย่างน้อยหนึ่งคู่ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ต้องการหาโคลนพันธุ์และระดับความสูงที่ให้ผลดีที่สุด ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยแต่ละคู่โดยใช้การเปรียบเทียบพหุคูณด้วยวิธีของ Duncan's multiple range test

8. การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้

การหาความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของไม้ยางพาราสามารถใช้เครื่องมือทางสถิติในการหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีกับคุณสมบัติความแข็งแรงเชิงกล เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแอลฟาเซลลูโลสกับโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นหรือแรงดัดสถิตย์ของไม้ ปริมาณลิกนินกับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน และปริมาณเพนโตแซนกับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน เป็นต้น โดยใช้โปรแกรมการคำนวณจาก Past PAlaeontological Statistics program, versions 2.17 ของ Hammer *et al*. (2001) หรือคำนวณจากเวบไซต์ http://www.folk.uio.no/ohammer/past/

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สถานที่และระยะเวลาการทดลอง

1. แปลงทดลองการปลูกยางพาราของศูนย์วิจัยยางสุราษฎร์ธานี จังหวัดสุราษฎร์ธานี

2. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ

3. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์วัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จังหวัดนครศรีธรรมราช

โดยเริ่มการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม 2553 และสิ้นสุดการทดลองเดือนธันวาคม 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

คุณสมบัติทางเคมีของไม้

องค์ประกอบทางเคมีของไม้มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงในเนื้อไม้ เนื่องจากการพิจารณาอิทธิพลความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีต่อความแข็งแรงของเนื้อไม้อยู่ภายใต้ส่วนของผนังเซลล์ (Wise and Jahn, 1952) คุณสมบัติทางเคมีของไม้เป็นคุณสมบัติหนึ่งที่มีประโยชน์ในการออกแบบการใช้ประโยชน์ของไม้แต่ละชนิด ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีชนิดต่างๆ ในเนื้อไม้ (ไตรรัตน์ และ นิคม, 2553) จากการทดลองสามารถสรุปผลการหาองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ ได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	องค์ประกอบทางเคมี (%)									
	เถ้า	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล - เบนซีน	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล	สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน	สารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้	ลิกนิน	โฮโลเซลลูโลส	แอลฟาเซลลูโลส	เพนโตแซน	การละลายในด่าง (1% NaOH)
RRIT 251	0.77	2.70 ab[1]	0.60	5.55	9.08	21.21 a[1]	71.71	39.80	11.12	21.94 ab[1]
RRIM 600	0.83	2.93 a	0.50	6.16	9.36	20.26 ab	71.49	39.57	12.44	21.72 ab
RRI-CH-35-59	0.65	2.31 b	0.68	6.09	9.09	19.53 b	71.45	40.55	10.51	26.30 a
RRI-CH-35-650	1.00	3.18 a	0.68	6.69	10.52	20.53 a	68.94	38.91	11.60	22.43 ab
RRI-CH-35-1397	0.88	2.65 ab	0.47	6.21	9.87	19.07 bc	71.67	40.09	12.38	21.47 ab
RRI-CH-35-1757	0.76	3.16 a	0.39	6.58	9.28	19.59 b	71.52	41.47	10.64	19.97 b
RRI-CH-35-2086	0.83	2.83 a	0.52	7.22	10.39	18.36 c	71.13	40.73	10.77	24.35 a
ค่าเฉลี่ย	0.82	2.82	0.55	6.35	9.66	19.79	71.13	40.16	11.35	22.60
5% LSD	0.32	0.44	0.29	2.01	1.79	0.91	1.65	1.59	1.62	3.11
F-test	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	*
CV (%)	4.3	2.7	12.0	6.5	4.0	1.8	0.5	0.6	4.2	0.9

ตารางที่ 7 (ต่อ)

หมายเหตุ % องค์ประกอบทางเคมีเทียบจากวัตถุดิบไม้เริ่มต้น

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$ โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test

จากตารางที่ 7 พบว่าอิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณเถ้าของไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในทางตรงข้าม อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์เอทานอล-เบนซีนของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ปริมาณสารแทรกในไม้บ่งบอกถึงความคงทนและสีเฉพาะตัวของไม้ ซึ่งสารแทรกจะมีสารที่ทำลายแบคทีเรีย เห็ด และราต่างๆ ถ้าปริมาณสารแทรกสูงทำให้ไม้มีความคงทนสูง สารประกอบเหล่านี้จะทำให้พืชแต่ละชนิดมีสี กลิ่น รส และความแข็งที่แตกต่างกันออกไป (Irving and Menachem, 1991) ดังนั้นโคลนพันธุ์ที่ต่างกันสามารถแบ่งยางพาราออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรก มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีนสูงคือ โคลนพันธุ์ RRIM 600, RRI-CH-35-650, RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 กลุ่มที่สอง มีความแตกต่างกับกลุ่มแรกโดยมีสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีนในปริมาณที่ต่ำกว่าคือ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 และกลุ่มที่สาม เป็นโคลนพันธุ์ที่มีความคล้ายคลึงกับทั้งกลุ่มแรกและกลุ่มสองคือ พันธุ์ RRIT 251 และโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 ทั้งนี้โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีนสูงกว่าโคลนพันธุ์อื่นๆ ถ้าปริมาณสารแทรกสูง จะมีความคงทนสูง ดังนั้นโคลนพันธุ์ดังกล่าวน่าจะป้องกันการผุกร่อนของไม้ได้ เนื่องจากสารแทรกจะมีสารที่มีหน้าที่ทำลายแบคทีเรีย เห็ด และราต่างๆ ช่วยทำให้เกิดความคงทนมากขึ้น (Feng *et al*., 2003)

นอกจากนี้ โคลนพันธุ์ยางพาราที่มีปริมาณสารแทรกสูงยังก่อให้เกิดการรวมตัวกันของกลิ่นและรสชาติในเนื้อไม้ อย่างไรก็ตาม ปริมาณสารแทรกในเนื้อไม้มีปัจจัยหลักขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของพันธุ์ ถ้าพันธุ์มีพื้นฐานทางพันธุกรรมแตกต่างกัน ปริมาณสารแทรกย่อมแตกต่างกันด้วย (Zobel and Van Buijtenen, 1989) การหาปริมาณสารแทรกวิธีนี้เหมาะสำหรับสารแทรกที่ไม่ระเหยในไม้ เยื่อ และเป็นสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ใช้เพื่อสกัดสารแทรกจำพวกขี้ผึ้ง ไขมัน ชัน เป็นต้น (TAPPI T204 cm-97, 1997; Gutierrez *et al*., 2001) สำหรับอิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณสารแทรกที่ละลายในตัวทำละลายเอทานอล น้ำร้อน และปริมาณสารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 7)

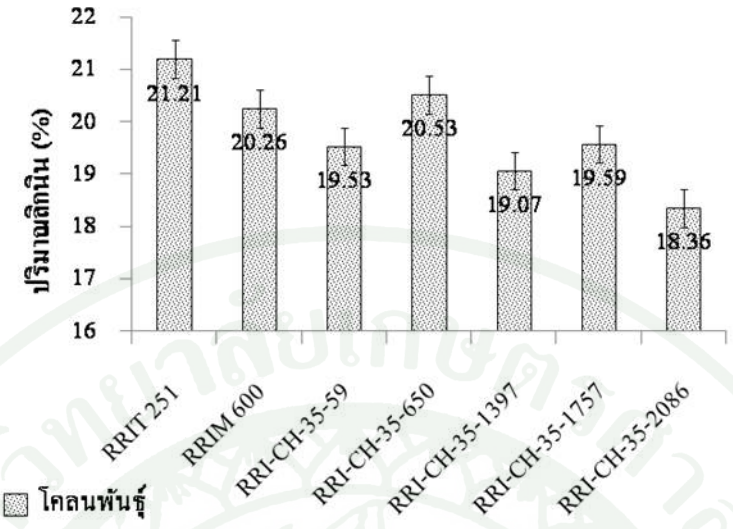
การวิเคราะห์ลิกนินจะเรียกชื่อตามวิธีการสกัด ในที่นี้เรียกว่า คลาสันลิกนิน เนื่องจากถูกสกัดด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น 72% (Wise and Jahn, 1952; Sjostrom, 1981) ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีมากรองลงมาจากเซลลูโลส ในไม้ใบกว้างมีลิกนินประมาณ 16-24% ในไม้ใบแคบมีลิกนินประมาณ 25-31% (Smook, 1992) จะเห็นได้ว่าในไม้ใบแคบจะมีปริมาณลิกนินสูงกว่าในไม้ใบกว้าง ไม้ยางพาราก็ถูกจัดอยู่ในไม้ใบกว้างเช่นกัน นอกจากนี้ ลิกนินยังทำหน้าที่เป็นกาวในเนื้อไม้ยึดเส้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ใยที่อยู่รวมกันให้เป็นโครงสร้างของเนื้อไม้ ทำให้ไม้มีความยืดหยุ่นและสร้างความแข็งแรงให้กับผนังเซลล์ (Rowell, 2005) ความสำคัญอีกประการหนึ่งของลิกนิน คือ มีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติเชิงกล ในการช่วยซ่อมแซมและพัฒนาให้เกิดกระพี้ในไม้ (Piquemal *et al*., 1998; Gierlinger *et al*., 2004) ผลการทดลองในตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณลิกนินในไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) และสามารถจัดกลุ่มออกเป็น 5 กลุ่มที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับพันธุกรรมของพันธุ์นั้นๆ กลุ่มแรกคือ กลุ่มที่มีปริมาณลิกนินสูงได้แก่ พันธุ์ RRIT 251 และโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 กลุ่มสองได้แก่ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 และ RRI-CH-35-1757 จะแตกต่างกับกลุ่มแรก กลุ่มสามได้แก่ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-2086 จะแตกต่างกับทั้งกลุ่มหนึ่งและสอง กลุ่มสี่ได้แก่ พันธุ์ RRIM 600 มีปริมาณลิกนินใกล้เคียงกับกลุ่มหนึ่งและสอง สำหรับกลุ่มสุดท้ายได้แก่ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 มีปริมาณลิกนินใกล้เคียงกับกลุ่มสองและสาม ทั้งนี้พันธุ์ RRIT 251 มีค่าลิกนินสูงกว่าพันธุ์อื่นๆ (ภาพที่ 21) และเป็นพันธุ์ทางการค้าที่จัดอยู่ในกลุ่มพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยาง ขณะนี้กำลังเป็นที่นิยมปลูกอย่างแพร่หลาย ดังนั้นพันธุ์นี้ น่าจะนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเฟอร์นิเจอร์หรืออุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ยางพารา แต่ต้องศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ด้วยเพื่อใช้เปรียบเทียบกับลูกผสมโคลนพันธุ์ต่างๆ ในโครงการปรับปรุงพันธุ์เพื่อเนื้อไม้ จากรายงานของ Reghu (2011) ศึกษาลิกนินภายในผนังเซลล์ของยางพาราพันธุ์ป่าและพันธุ์ปลูกพบว่า ค่าเฉลี่ยยางพาราพันธุ์ปลูกมีลิกนินประมาณ 20.84-23.34% มีค่าใกล้เคียงกับยางพาราพันธุ์ป่าซึ่งประกอบด้วย ลิกนินประมาณ 19.28-24.75% และยางพารา 7 โคลนพันธุ์ที่ศึกษาก็มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้พบว่าปริมาณการผลิตลิกนินมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (S_2) และมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากลิกนินกระจายอยู่ในผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (S_2) มากที่สุดในสามชั้นของผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ และเป็นไบโอพอลิเมอร์ของผนังเซลล์สามารถใช้เป็นเครื่องมือเริ่มต้นในการตรวจสอบคุณภาพเนื้อไม้ยางพาราทางด้านการเจริญเติบโตของไม้ นอกจากนี้ กลุ่มไม้ยางพาราที่มีปริมาณลิกนินสูง เมื่อเปรียบเทียบกับพันธุ์ป่าและพันธุ์ปลูกพบว่า มีปริมาณลิกนินต่ำกว่าที่ Reghu (2011) เคยรายงานไว้ ทั้งนี้สาเหตุอาจเนื่องมาจากความแตกต่างกันทางพันธุกรรมของพันธุ์ ปริมาณลิกนินของไม้ชนิดอื่นๆ ซึ่งเป็นไม้ใบกว้างเช่นเดียวกันกับไม้ยางพารา เช่น ไม้ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus nitens*) ฝ้าย กระถิน และไม้สน (ไม้ใบแคบ) มีปริมาณลิกนินเท่ากับ 22.3%, 19.6%, 25.1% และ 27% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ต้นสนซึ่งเป็นไม้ใบแคบจะมีปริมาณลิกนินสูงกว่าในไม้ใบกว้าง (Santos *et al*., 2011)

สำหรับอิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณโฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส และเพนโตแซนของไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 7)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 21 อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ต่อปริมาณลิกนินในเนื้อไม้

ปริมาณการละลายในด่างของยางพารา เป็นวิธีตรวจสอบการผุเปื่อยของไม้ต่อเชื้อเห็ด รา และแบคทีเรีย ดังนั้นทำให้ทราบว่าไม้มีความคงทนต่อเชื้อเห็ด รา มากน้อยเพียงใด ถ้าการละลายในด่างมีปริมาณสูง แสดงว่าไม้มีความคงทนต่อเชื้อเห็ด ราต่ำ (TAPPI T212 om-98, 1998) จากตารางที่ 7 พบว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณการละลายในด่าง (1% NaOH) มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 มีความแตกต่างกับ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 และมีค่าใกล้เคียงกับโคลนพันธุ์อื่นๆ นอกจากนี้ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 มีปริมาณการละลายในด่างต่ำกว่าโคลนพันธุ์อื่นๆ แสดงให้เห็นว่า โคลนพันธุ์นี้มีความทนทานต่อเชื้อ เห็ด รา และแบคทีเรียสูงเหมาะสำหรับการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ในการแปรรูปต่างๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากสามารถเก็บรักษาไม้ไว้ได้นาน และสิ้นเปลืองสารเคมีในการเก็บรักษาไม้น้อยลง อย่างไรก็ตาม ต้องมีองค์ประกอบหลักทางเคมีสูงด้วยเช่นกัน ถ้าองค์ประกอบดังกล่าวมีค่าสูงอาจจะแนะนำโคลนพันธุ์นี้เป็นพันธุ์ยางเพื่อเนื้อไม้ในอนาคตเพื่อการใช้ประโยชน์ทางด้านเนื้อไม้ต่อไป

องค์ประกอบของเถ้าในไม้บ่งบอกถึงปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในเนื้อไม้ โดยปกติในไม้จะประกอบด้วยเถ้าไม่เกิน 1% เนื่องจากถ้าปริมาณเถ้าสูงจะทำให้การใช้ประโยชน์จากไม้ถูกจำกัดลงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการนำไม้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อและกระดาษ ถ้าปริมาณเถ้าสูงแสดงว่ามีแร่ธาตุในไม้สูง (TAPPI T211 om-93, 1993) อาจจะเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 อิทธิพลของระดับความสูงลำต้นเหนือพื้นดินที่ 1.3 และ 6.0 ม. ต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ระดับความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 ม.	ระดับความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 6.0 ม.	F-test	CV (%)
เถ้า	0.87 a	0.76 b	**	4.3
สารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน	2.78 b	2.87 a	**	2.7
สารแทรกที่ละลายในเอทานอล	0.54	0.56	ns	12.0
สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน	6.61 a	6.10 b	**	6.5
สารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้	9.92 a	9.53 b	**	4.0
ลิกนิน	19.91	19.67	ns	1.8
โฮโลเซลลูโลส	70.14 b	72.12 a	**	0.5
แอลฟาเซลลูโลส	39.72 b	40.60 a	**	0.6
เพนโตแซน	11.04 b	11.67 a	**	4.2
การละลายในด่าง (1% NaOH)	23.31 a	21.89 b	**	0.9

หมายเหตุ % องค์ประกอบทางเคมีเทียบจากวัตถุดิบไม้เริ่มต้น

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.01$

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$ โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test

จากตารางที่ 8 พบว่า อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม.ต่อปริมาณเถ้าของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ที่ระดับความสูง 1.3 ม. มีปริมาณเถ้าสูงกว่าที่ระดับความสูง 6.0 ม. เนื่องจากไม้บริเวณท่อนโคนเป็นเซลล์ที่แก่กว่าและมีปริมาตรไม้มากกว่า จึงมีการสะสมของแร่ธาตุสูง (Zaki *et al*., 2012) ดังนั้นที่ระดับความสูง 1.3 ม. น่าจะมีแนวโน้มในการนำไม้มาใช้ประโยชน์มากที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 8 พบว่า อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีนของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่ระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ที่ระดับความสูง 6.0 ม. มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีนสูงกว่าที่ระดับความสูง 1.3 ม. ในทางตรงกันข้าม อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอลของไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนอิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อปริมาณสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อนของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่ระดับความสูง 1.3 ม. มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อนสูงกว่าที่ระดับความสูง 6.0 ม. นอกจากนี้ อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อปริมาณสารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ที่ระดับความสูง 1.3 ม. มีปริมาณสารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้สูงกว่าที่ระดับความสูง 6.0 ม. ทั้งนี้ปริมาณสารแทรกสูงจะส่งผลในเชิงลบเมื่อนำไม้มาใช้ประโยชน์ด้านไฟเบอร์เพราะสารแทรกเพิ่มขึ้นการใช้สารเคมีในระหว่างการผลิตเยื่อและกระดาษเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสูงขึ้นและคุณภาพของผลผลิตสุดท้ายลดลง (Pinto *et al*., 2005) ในทางกลับกันสารแทรกสูงมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมการผลิตไม้เพื่อทำเฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากสารแทรกช่วยทำลายแบคทีเรียในไม้ได้

โฮโลเซลลูโลสคือ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดของไฟเบอร์ และมาจากการรวมกันของแอลฟาเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลส (Ververis *et al*., 2007) โฮโลเซลลูโลสมีส่วนสำคัญทำให้ไม้มีความแข็งแรง เนื่องจากเส้นเซลลูโลสแต่ละเส้นต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก (Irving and Menachem, 1991) จากตารางที่ 8 พบว่า อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ที่ระดับความสูง 6.0 ม. มีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูงกว่าที่ระดับ 1.3 ม. เนื่องจากบริเวณท่อนปลายของไม้อาจจะมีการกระจายตัวของเซลลูโลสสูงกว่า และขึ้นอยู่กับโคลนพันธุ์นั้นๆ ดังนั้นที่ระดับความสูง 6.0 ม. อาจมีแนวโน้มในการใช้ประโยชน์จากไม้ด้านความแข็งแรง แต่ต้องศึกษาองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย เนื่องจากปริมาณโฮโลเซลลูโลสขึ้นอยู่กับลักษณะการเจริญเติบโตของไม้ด้วย (Zaki *et al*., 2012)

การแยกองค์ประกอบทางเคมีของเซลลูโลสแบ่งตามการใช้ประโยชน์ในกระบวนการฟอกเยื่อและกระดาษได้เป็น 3 ชนิดคือ แอลฟาเซลลูโลส เบตาเซลลูโลส และแกมมาเซลลูโลส ตามวิธีดั้งเดิมของ Cross and Bevan (1900) ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์อย่างมากมายจากแอลฟาเซลลูโลส เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตกระดาษและมีคุณสมบัติหลักในการสร้างความแข็งแรงแก่เนื้อไม้ (Sixta, 2006; TAPPI T429 cm-10, 2010) อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.0 ม. ต่อปริมาณแอลฟาเซลลูโลสของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ที่ระดับความสูง 6.0 ม. มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงกว่าระดับความสูง 1.3 ม. (ตารางที่ 8) แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความสูง 6.0 ม. มีความแข็งแรงของเนื้อไม้เช่นเดียวกัน และน่าจะมีแนวโน้มนำไม้มาใช้ประโยชน์ในกระบวนการฟอกเยื่อและกระดาษ รวมทั้งนำไม้ไปสร้างเป็นเฟอร์นิเจอร์ ไม้ปาร์ติเกิล และไม้อัด เป็นต้น เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง แต่มีความขัดแย้งกับงานวิจัยของ Zaki *et al*. (2012) ที่แสดงให้เห็นว่า ที่ระดับความสูง 1.3 ม. มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด ทั้งนี้อาจมีผลมาจากโคลนพันธุ์ที่แตกต่างกัน เนื่องจากงานวิจัยของ Zaki *et al*. (2012) ใช้พันธุ์ยางพาราเพื่อน้ำยางและเนื้อไม้ในการทดลอง ในทางตรงกันข้าม โคลนพันธุ์ที่ทดสอบนั้นประกอบด้วยยางพาราลูกผสม 5 โคลนพันธุ์ และพันธุ์ยางพาราเพื่อน้ำยางอีก 2 พันธุ์ นอกจากนี้ พบว่าปริมาณลิกนินไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ทั้งระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม.

เพนโตแซนเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของเฮมิเซลลูโลส ที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอม 5 อะตอม (C5) หรือที่เรียกว่าน้ำตาลเพนโทส เฮมิเซลลูโลสมีความสัมพันธ์อย่างมากกับเซลลูโลส ช่วยในการประสานองค์ประกอบต่างๆ ในเนื้อไม้ให้เชื่อมติดกันควบคู่กับลิกนิน (Rowell, 2005) ผลการทดลองพบว่า อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อปริมาณเพนโตแซนของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่ระดับความสูง 6.0 ม. มีปริมาณเพนโตแซนสูงกว่าที่ระดับ 1.3 ม. (ตารางที่ 8) เนื่องจากเพนโตแซนเป็นส่วนหนึ่งของเฮมิเซลลูโลส ถ้าปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูงก็จะส่งผลให้แอลฟาเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสูงเช่นกัน ทั้งนี้เพนโตแซนก็มีส่วนช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับเนื้อไม้เช่นเดียวกับลิกนิน อย่างไรก็ตาม ปริมาณลิกนินไม่มีอิทธิพลต่อความสูง ดังนั้นต้องศึกษาองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ร่วมด้วย

การทดสอบความทนทานต่อการละลายในด่างความเข้มข้น 1% ของวัตถุดิบสำหรับเยื่อที่ฟอกและไม่ฟอก ส่วนใหญ่ปริมาณเฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสจะถูกทำลายโดยการไฮโดรไลซ์ การละลายของไม้จะบ่งบอกปริมาณการผุกร่อน อันเนื่องมาจากการทำลายของเห็ด รา ซึ่งถ้ามีปริมาณสูงแสดงให้เห็นว่า ไม้มีความต้านทานต่อเห็ด ราต่ำ (TAPPI T212 om-98, 1998) จากตารางที่ 8 พบว่า อิทธิพลของระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อปริมาณการละลายในด่างของไม้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) กล่าวคือ ที่ระดับความสูง 1.3 ม. มีปริมาณการละลายในด่างสูงกว่าที่ระดับความสูง 6.0 ม. เนื่องจากความแตกต่างกันของโคลนพันธุ์มีปัจจัยขึ้นอยู่กับความสูง จึงส่งผลให้ความสูงทั้ง 2 ระดับมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ โพลีฟีนอล และแทนนิน แตกต่างกัน (Balaban and dan Ucar, 2001)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ระดับความสูงต่างกันองค์ประกอบทางเคมี มีความแตกต่างกันยกเว้นปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอลและลิกนิน ดังนั้นองค์ประกอบเคมีอื่นๆ มีอิทธิพลขึ้นอยู่กับความสูง ในตารางที่ 8 สามารถสรุปได้ว่าที่ระดับความสูง 1.3 ม. มีปริมาณเถ้า สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน สารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้ และการละลายในด่างสูงกว่าที่ระดับความสูง 6.0 ม. ในทำนองเดียวกัน ที่ระดับความสูง 6.0 ม. มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน โฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส และเพนโตแซนสูงกว่าที่ระดับความสูง 1.3 ม. ดังนั้นในการผลิตเฟอร์นิเจอร์จากไม้ยางพารา จึงสามารถนำข้อมูลทางเคมีในไม้เพื่อเลือกระดับความสูงในการใช้ประโยชน์ ทั้งนี้ระดับความสูงทั้งสอง ก็มีแนวโน้มที่จะนำไม้มาใช้ผลิตเฟอร์นิเจอร์หรืองานอุตสาหกรรมด้านไม้ยางพารา เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงทั้งสองระดับความสูง นอกจากนี้ ผลการทดลองนี้น่าจะใช้เป็นข้อมูลในการวิจัยคุณภาพไม้ยางพาราต่อไป เพราะโคลนพันธุ์ที่ต่างกันทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างกัน

จากตารางที่ 9 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณเถ้าของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยแสดงให้เห็นว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ขึ้นอยู่กับความสูง ที่ระดับความสูง 1.3 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 มีปริมาณเถ้าสูง และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 (ตารางที่ 9) และที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 มีปริมาณเถ้าสูงสุด และต่ำในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 (ตารางที่ 10) ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ มีโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 และ RRI-CH-35-650 ที่ปริมาณเถ้าเกิน 1% ซึ่งโดยปกติถ้ามีปริมาณเถ้าเกิน 1% จะไปจำกัดการใช้ประโยชน์ของไม้ที่เกี่ยวข้องกับการนำไม้มาเป็นวัตถุดิบผลิตกระดาษ นอกจากนี้ ไม้จำพวกยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส และไม้กระถินเทพา มีปริมาณเถ้าเท่ากับ 0.6% และ 0.22% ตามลำดับ จึงมีความเหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบผลิตกระดาษ เนื่องจากปริมาณเถ้าต่ำ (ไตรรัตน์ และ นิคม, 2553; Pinto *et al*., 2005) ดังนั้นไม้ยางพาราที่มีปริมาณเถ้าต่ำเช่น โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 ก็น่าจะใช้ในการผลิตกระดาษได้เช่นกัน แต่ต้องศึกษาองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย เนื่องจากวัตถุดิบในการผลิตกระดาษต้องมีองค์ประกอบของโฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส และเพนโตแซนสูงเช่นกัน

ปริมาณสารแทรกทั้งหมดในไม้ บ่งบอกถึงความคงทนและแข็งแรงของเนื้อไม้ ซึ่งสารแทรกจะเป็นตัวทำลายแบคทีเรีย เห็ด และราต่างๆ ถ้ามีปริมาณสารแทรกสูงทำให้เนื้อไม้มีความคงทน แข็งแรงสูง (Hilden and Persson, 2007) จากผลการทดลองในตารางที่ 9 และ 10 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน สารแทรกที่ละลายในเอทานอล สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน และสารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 1.3 ม. ต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	องค์ประกอบทางเคมี (%)									
	เถ้า	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล	สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน	สารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้	ลิกนิน	โฮโลเซลลูโลส	แอลฟาเซลลูโลส	เพนโตแซน	การละลายในด่าง (1% NaOH)
RRIT 251	0.83	2.81	0.50	5.60	8.92	21.12	70.58	39.42	10.52	22.68
	(0.02)[1]	(0.06)	(0.01)	(0.10)	(0.08)	(0.47)	(0.10)	(0.04)	(0.31)	(0.00)
RRIM 600	0.98	2.58	0.42	5.97	8.98	20.69	70.49	39.43	12.12	22.28
	(0.01)	(0.06)	(0.02)	(0.13)	(0.04)	(0.00)	(0.19)	(0.12)	(0.70)	(0.15)
RRI-CH-35-59	0.66	2.89	0.81	6.15	9.86	19.99	70.70	39.75	10.56	25.71
	(0.01)	(0.09)	(0.14)	(0.27)	(0.03)	(0.09)	(0.25)	(0.19)	(0.10)	(0.30)
RRI-CH-35-650	1.03	3.22	0.70	6.87	10.80	20.45	68.01	38.28	10.74	24.77
	(0.03)	(0.04)	(0.02)	(0.21)	(0.14)	(0.06)	(0.06)	(0.05)	(0.38)	(0.23)
RRI-CH-35-1397	1.06	2.91	0.43	7.42	10.77	19.00	70.70)	40.13	11.94	21.62
	(0.02)	(0.08)	(0.03)	(0.14)	(0.00)	(0.55)	(0.11	(0.24)	(0.69)	(0.08)
RRI-CH-35-1757	0.71	2.36	0.41	6.17	8.95	19.48	71.24	41.46	10.06	20.59
	(0.05)	(0.08)	(0.03)	(0.57)	(0.75)	(0.56)	(0.68)	(0.42)	(0.60)	(0.45)

ตารางที่ 9 (ต่อ)

โคลนพันธุ์ยางพารา	องค์ประกอบทางเคมี (%)									
	เถ้า	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล	สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน	สารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้	ลิกนิน	โฮโลเซลลูโลส	แอลฟาเซลลูโลส	เพนโตแซน	การละลายในด่าง (1% NaOH)
RRI-CH-35-2086	0.78 (0.00)[1]	2.65 (0.18)	0.44 (0.02)	8.08 (0.29)	11.19 (0.23)	18.66 (0.07)	69.26 (0.20)	39.52 (0.13)	11.31 (0.06)	25.47 (0.04)
ค่าเฉลี่ย	0.86	2.77	0.54	6.61	9.92	19.91	70.14	39.71	11.04	23.31
5% LSD	0.07	0.16	0.14	0.87	0.83	0.77	0.80	0.49	1.01	0.46
F-test	**	**	**	**	**	ns	**	**	*	**
CV (%)	4.3	2.7	12.0	6.5	4.0	1.8	0.5	0.6	4.2	0.9

หมายเหตุ % องค์ประกอบทางเคมีเทียบจากวัตถุดิบไม้เริ่มต้น

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

* และ ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$ และ $P<0.01$ ตามลำดับ

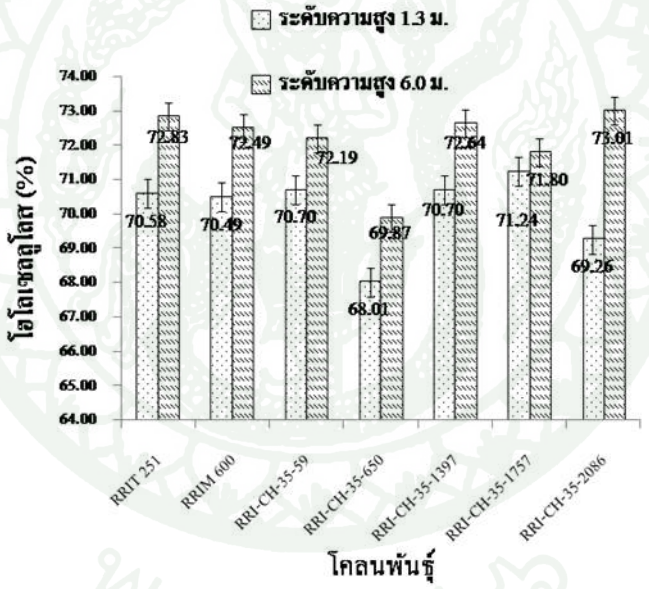
[1] = ตัวเลขในวงเล็บคือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

กล่าวคือ ที่ระดับความสูง 1.3 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน สูงสุด และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 (ตารางที่ 9) ที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 มีปริมาณสารแทรกที่ละลายเอทานอล-เบนซีนสูงสุด และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 (ตารางที่ 10) ปริมาณสารแทรกที่ละลายเอทานอลมีค่าสูงในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 และต่ำในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 ที่ระดับความสูง 1.3 ม. (ตารางที่ 9) และที่ระดับความสูง 6.0 ม. พันธุ์ RRIT 251 มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอลสูง และต่ำในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 (ตารางที่ 10) ปริมาณสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อนมีค่าสูงใน RRI-CH-35-2086 และต่ำใน RRIT 251 ที่ระดับความสูง 1.3 ม. (ตารางที่ 9) ที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 มีปริมาณสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อนสูง และต่ำในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 (ตารางที่ 10) และโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-2086 มีปริมาณสารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้สูงและต่ำในพันธุ์ RRIT 251 ที่ระดับความสูง 1.3 ม. (ตารางที่ 9) ที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 มีปริมาณสารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้สูง และต่ำในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 (ตารางที่ 10) จากผลการทดลองของสารแทรกสามารถสรุปได้ว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์มีความแปรปรวนสูงซึ่งมีสาเหตุมาจากความแตกต่างกันของระดับความสูง บริเวณท่อนปลายลำต้นจะมีสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีนและเอทานอลสูงกว่าท่อนโคน ในทางตรงกันข้าม บริเวณท่อนโคนมีสารแทรกที่ละลายในน้ำร้อนและสารแทรกในเนื้อไม้ทั้งหมดสูงกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยของโคลนพันธุ์ภายใต้ระดับความสูงที่ต่างกัน (Zobel and Van Buijtenen, 1989; Shukla *et al*., 2011) นอกจากนี้ ยังพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณลิกนินในไม้ไม่มีนัยสำคัญกัน

ปริมาณโฮโลเซลลูโลสและแอลฟาเซลลูโลสมีส่วนสำคัญทำให้ไม้มีความแข็งแรง เนื่องจากเส้นเซลลูโลสแต่ละเส้นต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก นอกจากนี้ ภายในมัดเซลลูโลสหรือไมโครไฟบริล จะเกิดผลึกเรียงตัวกันแบบหนาแน่นประมาณ 70% ของไมโครไฟบริล จะส่งผลให้เนื้อไม้มีความแข็งแรง และมีผลึกแบบอสัณฐานในปริมาณน้อยเรียงตัวกันแบบหลวมๆ นอกจากนี้ ถ้ามีปริมาณเซลลูโลสสูงแสดงถึงไม้นั้นมีความแข็งแรงมาก (Fengel and Wegener, 2003) แต่สำหรับโฮโลเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบทั้งหมดคาร์โบไฮเดรต (แอลฟาเซลลูโลส + เฮมิเซลลูโลส) ในวัตถุดิบ วิธีการกำหนดโฮโลเซลลูโลสคือ ย้ายปริมาณลิกนินทั้งหมดออกจากวัตถุดิบโดยไม่ให้มีการแตกตัวของคาร์โบไฮเดรต (Wang *et al*., 2010) จากผลการทดลองในตารางที่ 9 และ 10 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณโฮโลเซลลูโลสของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่ระดับความสูง 1.3 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

35-1757 มีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูง และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 และที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-2086 มีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูง และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 (ตารางที่ 10) ระดับความสูงที่ต่างกันทำให้ปริมาณโฮโลเซลลูโลสต่างกัน (ภาพที่ 22) ทั้งนี้เป็นอิทธิพลมาจากความสูงเป็นส่วนใหญ่ และมีความแปรปรวนของโคลนพันธุ์ที่ต่างกัน ดังนั้นผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 น่าจะมีแนวโน้มแข็งแรงสุด เนื่องจากมีปริมาณโฮโลเซลลูโลสสูงสุด อย่างไรก็ตาม ปริมาณโฮโลเซลลูโลสเป็นเพียงผลรวมของแอลฟาเซลลูโลสกับเฮมิเซลลูโลส เพราะฉะนั้นต้องเปรียบเทียบกับปริมาณแอลฟาเซลลูโลสที่แท้จริงด้วย จึงจะสามารถยืนยันได้ว่าทั้ง 2 โคลนพันธุ์ดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากที่สุดด้านความแข็งแรง และสามารถนำไม้ไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์กีฬา สินค้าอุปโภค เป็นต้น



ภาพที่ 22 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณโฮโลเซลลูโลสในไม้

แอลฟาเซลลูโลสเป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 17.5% ภายใต้สภาวะทดสอบตามมาตรฐาน โดยทั่วไปแอลฟาเซลลูโลสมีมวลโมเลกุลสูงสุดในเยื่อ เนื่องจากเส้นใยของไมโครไฟบริลประกอบด้วยส่วนของผลึกจำนวนมาก และเรียงตัวกันแน่นทำให้แอลฟาเซลลูโลสมีคุณสมบัติของความแข็งแรง (TAPPI T429 cm-10, 2010) ถ้าเนื้อไม้มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูง จะมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งทำให้ยากต่อการเข้าทำลายของเชื้อแบคทีเรีย เห็ด รา เป็นต้น องค์ประกอบนี้เป็นสิ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของไม้ด้านความ

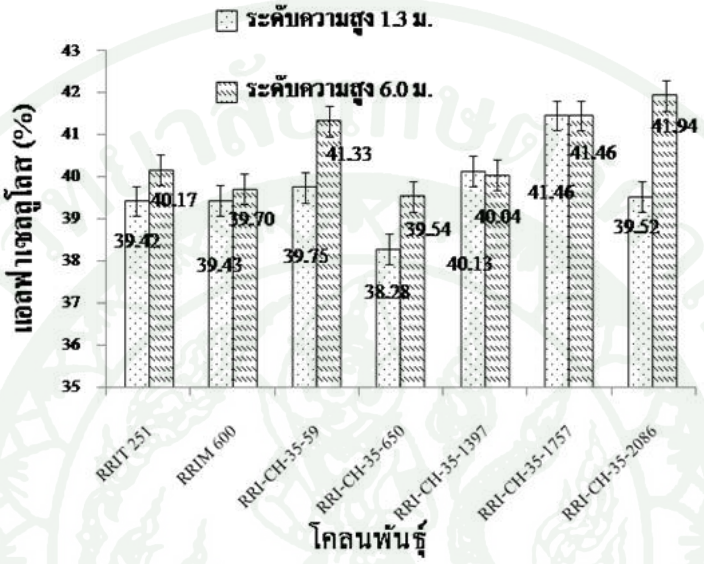
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แข็งแรง สำหรับการผลิตเยื่อและกระดาษถ้ามีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงจะเพิ่มคุณภาพในการผลิตเยื่อและกระดาษให้มีคุณภาพสูง (เพ็ญศรี และคณะ, 2551) ในขณะเดียวกัน แอลฟาเซลลูโลสก็มีประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมไม้ยางพารา เช่น เฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำด้วยไม้ เป็นต้น ทำให้เพิ่มคุณภาพของเนื้อไม้ทั้งด้านความแข็งแรงและทนทาน นอกจากนี้ แอลฟาเซลลูโลสยังทำหน้าที่หลักในการรับแรงเชิงกลในไม้ (Fengel and Wegener, 2003) อีกด้วย โดยที่เซลลูโลสมีผลตอบสนองต่อความต้านทานแรงดึงในไม้ เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นเส้นใยไมโครไฟบริลลา และมีเนื้อเยื่อที่แก่ทำให้เนื้อไม้แข็งแรงมากขึ้น (Genet *et al*., 2005; Ververis *et al*., 2004) ในการศึกษาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณแอลฟาเซลลูโลสของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดยที่ระดับความสูง 1.3 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 (ตารางที่ 9) และที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-2086 มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูงสุด และต่ำสุดใน RRI-CH-35-650 (ตารางที่ 10) ระดับความสูงต่างกันจะมีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสต่างกัน แสดงในภาพที่ 23 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแปรปรวนของโคลนพันธุ์และอิทธิพลของความสูงที่มีปฏิสัมพันธ์ร่วมกัน

จากรายงานของ Kocaefe *et al*. (2008) ศึกษาปริมาณแอลฟาเซลลูโลสในไม้เบิร์คและไม้แอสเพนซึ่งเป็นไม้ใบกว้างพบว่า ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสมีความแตกต่างกันในไม้ 2 ชนิด เท่ากับ 45% และ 49% ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณแอลฟาเซลลูโลสขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ ความแปรปรวนของพันธุ์ ระดับความสูง และสภาพแวดล้อม เป็นต้น ในขณะเดียวกัน Meyers *et al*. (2008) พบว่าโครงสร้างของเซลลูโลสที่ต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีหน้าที่ ผลิตไฟเบอร์ที่มายึดเกาะกันเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ที่แข็งแรงให้กับคุณสมบัติเชิงกลของไม้ และองค์ประกอบของผนังเซลล์ (เซลลูโลส ลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส) ช่วยสร้างความแข็งแรง และป้องกันการพองตัวของเซลล์ในเนื้อไม้ นอกจากนี้ Zaki *et al*. (2012) รายงานว่าพันธุ์และระดับความสูงของไม้ทำให้มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลสแตกต่างกัน โดยปริมาณแอลฟาเซลลูโลสจะลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในขณะที่พืชมีการพัฒนาความหนาของผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิบริเวณส่วนปลายของลำต้นน้อยลง และเนื่องจากบริเวณโคนของลำต้นมีเนื้อเยื่อที่พัฒนาแล้วประกอบด้วยเซลล์ที่แก่จึงมีความแข็งแรงสูง ทำให้ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูง ทั้งนี้ผลการทดลองของ Zaki *et al*. (2012) ซึ่งเป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพารา 2 พันธุ์เพื่อน้ำยางและเนื้อไม้ แสดงผลสนับสนุนกัน ดังนั้นผลการทดสองแสดงให้เห็นว่าโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 น่าจะมีประสิทธิภาพเนื้อไม้สูงสุดในการใช้ประโยชน์ของไม้ เนื่องจากมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความแข็งแรงสูงสุด สามารถต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย เห็ด รา ได้ดี และเหมาะแก่การแปรรูปเพื่อทำเฟอร์นิเจอร์เนื่องจากสามารถเก็บรักษาไม้ไว้ได้นานและมีความทนทานในการใช้งานอย่างดี นอกจากนี้ อาจจะพัฒนาเป็นโคลนพันธุ์ใหม่เพื่อน้ำยางและเนื้อไม้หรือเพื่อเนื้อไม้

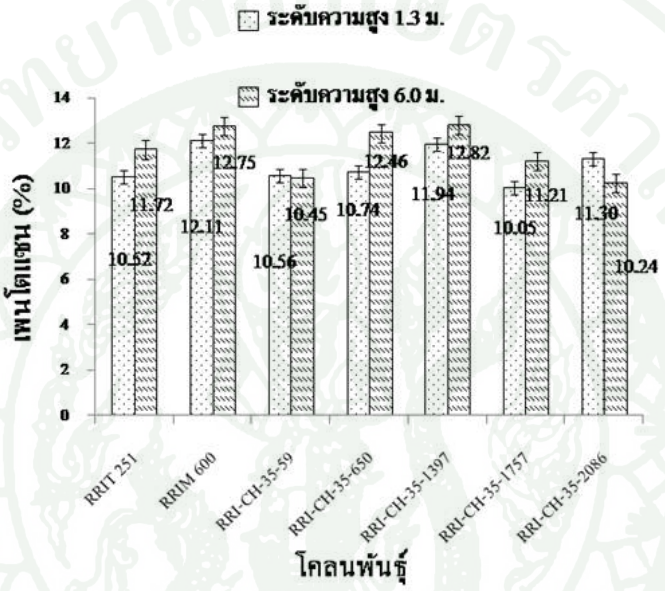


ภาพที่ 23 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณแอลฟาเซลลูโลสในไม้

เพนโตแซน คือคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งในเฮมิเซลลูโลสของวัตถุดิบ ซึ่งเฮมิเซลลูโลสในไม้ใบแคบจะประกอบด้วยเพนโตแซนและเฮกโตแซน สำหรับในไม้ใบกว้างมีเฉพาะเพนโตแซน ไม้ใบแคบมีเพนโตแซนประมาณ 7-10% และไม้ใบกว้างมีเพนโตแซนประมาณ 19-25% ประโยชน์ของเพนโตแซนหรือเฮมิเซลลูโลสจะทำหน้าที่เหมือนกาวในเนื้อไม้เช่นเดียวกับลิกนินเพื่อประสานองค์ประกอบต่างๆ ของเซลล์ให้เชื่อมติดกัน (Fengel and Wegener, 2003) นอกจากนี้ ปริมาณของเพนโตแซนในวัตถุดิบเป็นปัจจัยหนึ่งที่กำหนดคุณภาพเยื่อที่ผลิตจากวัตถุดิบนั้น และเป็นตัวกำหนดเวลาตีเยื่อในการทำเยื่อนั้นเป็นกระดาษ (TAPPI T223 cm-84, 1984) เพนโตแซนมีผลต่อการต้านทานแรงดันทะลุขาดและการต้านทานแรงดึงขาด ถ้ามีเพนโตแซนสูงการต้านทานแรงดันทะลุขาดและการต้านทานแรงดึงขาดจะสูง (เพ็ญศรี และคณะ, 2551) การศึกษาปริมาณเพนโตแซนพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณเพนโตแซนในไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยที่ระดับความสูง 1.3 ม. พันธุ์ RRIM 600 มีปริมาณเพนโตแซนสูง และต่ำในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 (ตารางที่ 9) และที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 มีปริมาณเพนโตแซนสูง และต่ำในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-2086 (ตารางที่ 10) ระดับความสูงต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริมาณเพนโตแซนต่างกัน แสดงในภาพที่ 24 ดังนั้นพันธุ์ RRIM 600 และโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 จะต้องศึกษาองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย เนื่องจากเพนโตแซนเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของเฮมิเซลลูโลสทั้งหมดเท่านั้น ข้อมูลนี้จึงอาจไม่เพียงพอในการสนับสนุนสองโคลนพันธุ์นี้เพื่อนำไม้มาใช้ประโยชน์ด้านความแข็งแรง แต่สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบเพื่อการปรับปรุงพันธุ์และพัฒนาคุณภาพเนื้อไม้ได้

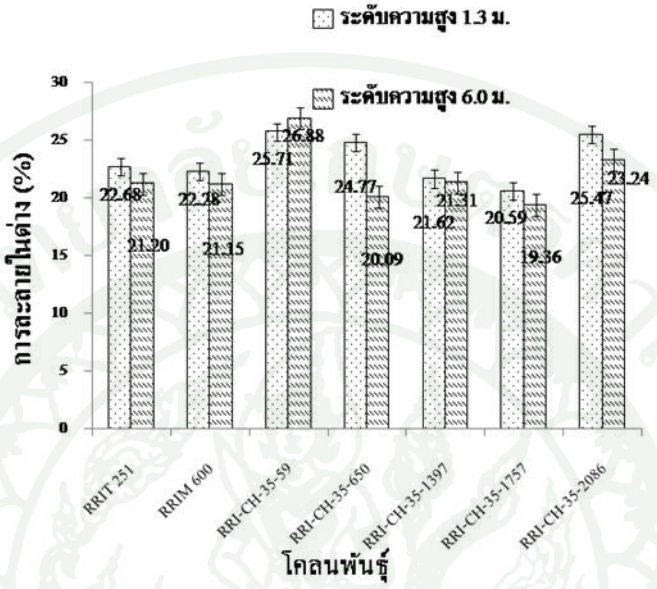


ภาพที่ 24 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณเพนโตแซนในไม้

ปริมาณการละลายในด่างเป็นการตรวจสอบความผุเปื่อยของไม้ต่อเชื้อเห็ด รา ดังนั้นการละลายในด่างของไม้ยางพารา ทำให้ทราบว่าไม้มีความคงทนต่อเชื้อเห็ด รา มากน้อยเพียงใด ถ้าการละลายในด่างมีปริมาณสูง แสดงว่าไม้มีความคงทนต่อเชื้อเห็ด ราต่ำ (TAPPI T212 om-98, 1998) การศึกษาปริมาณการละลายในด่างพบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณการละลายในด่างของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) ที่ระดับความสูง 1.3 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 มีปริมาณการละลายในด่างสูง และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 (ตารางที่ 9) และที่ระดับความสูง 6.0 ม. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 มีปริมาณการละลายในด่างสูงสุด และต่ำสุดในโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 (ตารางที่ 10) ระดับความสูงต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณการละลายในด่างต่างกัน แสดงในภาพที่ 25 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแปรปรวนทางพันธุกรรมของแต่ละโคลนพันธุ์ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 จึงมีแนวโน้มที่มีความคงทนต่อเชื้อเห็ด รา สูงสุด เนื่องจากมีการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ละลายในด่างต่ำสุดจึงน่าจะเหมาะสำหรับการนำไม้มาแปรรูปต่างๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องเรือน อุปกรณ์ใช้สอยในครัวเรือน เพื่อลดค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีในการเก็บรักษาไม้



ภาพที่ 25 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงต่อปริมาณการละลายในด่างของไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 6.0 ม. ต่อองค์ประกอบทางเคมีของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	องค์ประกอบทางเคมี (%)									
	เถ้า	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล	สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน	สารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้	ลิกนิน	โฮโลเซลลูโลส	แอลฟาเซลลูโลส	เพนโตแซน	การละลายในด่าง (1% NaOH)
RRIT 251	0.70	3.05	0.70	5.48	9.24	21.29	72.83	40.17	11.72	21.20
	(0.04)[1]	(0.12)	(0.09)	(0.23)	(0.19)	(0.28)	(0.24)	(0.07)	(0.06)	(0.17)
RRIM 600	0.67	2.82	0.57	6.35	9.75	19.83	72.49	39.70	12.75	21.15
	(0.07)	(0.02)	(0.07)	(0.84)	(0.82)	(0.30)	(0.52)	(0.31)	(0.61)	(0.14)
RRI-CH-35-59	0.63	2.76	0.53	6.02	9.33	19.07	72.19	41.33	10.45	26.88
	(0.00)	(0.01)	(0.16)	(0.13)	(0.05)	(0.21)	(0.03)	(0.01)	(0.43)	(0.13)
RRI-CH-35-650	0.96	3.10	0.65	6.50	10.25	20.60	69.87	39.54	12.46	20.09
	(0.05)	(0.05)	(0.03)	(0.12)	(0.01)	(0.07)	(0.00)	(0.03)	(0.48)	(0.31)
RRI-CH-35-1397	0.68	3.46	0.51	4.99	8.96	19.14	72.64	40.04	12.82	21.31
	(0.02)	(0.00)	(0.00)	(0.37)	(0.44)	(0.57)	(0.42)	(0.25)	(0.51)	(0.19)
RRI-CH-35-1757	0.81	2.26	0.36	6.98	9.60	19.69	71.80	41.46	11.21	19.36
	(0.00)	(0.01)	(0.01)	(0.87)	(0.68)	(0.35)	(0.70)	(0.40)	(0.46)	(0.04)

ตารางที่ 10 (ต่อ)

โคลนพันธุ์ยางพารา	องค์ประกอบทางเคมี (%)									
	เถ้า	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน	สารแทรกที่ละลายในเอทานอล	สารแทรกที่ละลายในน้ำร้อน	สารแทรกทั้งหมดในเนื้อไม้	ลิกนิน	โฮโลเซลลูโลส	แอลฟาเซลลูโลส	เพนโตแซน	การละลายในด่าง (1% NaOH)
RRI-CH-35-2086	0.87 (0.01)[1]	2.65 (0.03)	0.59 (0.02)	6.35 (0.32)	9.60 (0.35)	18.05 (0.52)	73.01 (0.54)	41.94 (0.29)	10.24 (0.47)	23.24 (0.03)
ค่าเฉลี่ย	0.76	2.87	0.56	6.10	9.53	19.67	72.12	40.60	11.66	21.89
5% LSD	0.07	0.16	0.14	0.88	0.83	0.77	0.79	0.48	1.01	0.46
F-test	**	**	**	**	**	ns	**	**	*	**
CV (%)	4.3	2.7	12.0	6.5	4.0	1.8	0.5	0.6	4.2	0.9

หมายเหตุ % องค์ประกอบทางเคมีเทียบจากวัตถุดิบไม้เริ่มต้น

ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

* และ ** = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$ และ $P<0.01$ ตามลำดับ

[1] = ตัวเลขในวงเล็บคือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

คุณสมบัติเชิงกลของไม้

คุณสมบัติเชิงกลของไม้เป็นการวัดความสามารถในการต้านทานแรงจากภายนอก การใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติเชิงกลส่วนใหญ่ได้แก่ ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ โครงสร้างอาคารบ้านเรือน และอุปกรณ์เครื่องใช้สอยต่างๆ (Wangaard, 1950) จากการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ แบ่งผลการตามการทดสอบต่างๆ สำหรับคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราแบ่งออกเป็นแต่ละโคลนพันธุ์ดังนี้ โคลนพันธุ์ละ 8 ตัวอย่างต่อวิธีการทดสอบ ได้แก่ ท่อน A, B, C และ D จำนวน 2 ซ้ำ มีทั้งหมด 7 โคลนพันธุ์ คือ RRIT 251, RRIM 600, RRI-CH-35-59, RRI-CH-35-650, RRI-CH-35-1397, RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 และอีกค่าหนึ่งคือ ช่วงความสูงของตำแหน่งลำต้นเหนือพื้นดิน แบ่งไม้ออกเป็นท่อนต่างๆ ตามลำดับความสูง (1.3 และ 6.0 ม.) โดยแบ่งออกเป็น 4 ท่อน คือ ท่อนที่ 1 ที่ระดับความสูง 1.3 ม. ท่อนด้านล่าง (A), ท่อนที่ 2 ที่ระดับความสูง 1.3 ม. ท่อนด้านบน (B), ท่อนที่ 3 ที่ระดับความสูง 6.0 ม. ท่อนด้านล่าง (C) และท่อนที่ 4 ที่ระดับความสูง 6.0 ม. ท่อนด้านบน (D) ตามลำดับ นอกจากนี้ ยังมีผลการทดลองอิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์กับความสูง ซึ่งการทดลองได้ผลดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	ความชื้น (%)	ความถ่วงจำเพาะ
RRIT 251	8.87	0.58
RRIM 600	8.67	0.59
RRI-CH-35-59	9.53	0.56
RRI-CH-35-650	8.95	0.54
RRI-CH-35-1397	8.90	0.54
RRI-CH-35-1757	8.75	0.53
RRI-CH-35-2086	8.97	0.57
ค่าเฉลี่ย	8.95	0.56
F-test	ns	ns
CV (%)	2.30	12.10

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

จากรายงานของ Matan and Kyokong (2003) พบว่า ปริมาณความชื้นมีผลต่อการพองตัวและหดตัวของไม้ โดยขนาด กว้าง x ยาว x สูง ของชิ้นไม้จะเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในขณะนั้น ไม้จะพองตัว หดตัว เมื่อเนื้อไม้สูญเสียความชื้นในผนังเซลล์ ทำให้เกิดการหดตัวเนื่องจากเซลล์ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ และในทางตรงกันข้าม เมื่อเนื้อไม้มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นในระดับที่ต่ำกว่าจุดหมาด ไม้จะพองตัวทำให้ความแข็งแรงลดลง และความแข็งแรง ทนทานต่อแมลง เห็ด ราจะมากขึ้นเมื่อปริมาณความชื้นลดลง ดังนั้นปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเช่นเดียวกัน เนื่องจากช่วยในการกำหนดคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพารา ทั้งนี้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ มีปริมาณความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดคือ 12% เนื่องจากมีการระเหยของน้ำภายในเซลล์สูง ไม้ที่มีความชื้นต่ำเหมาะสำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตเฟอร์นิเจอร์ หรือใช้งานทางด้านอุตสาหกรรมไม้ ในขณะเดียวกัน ความถ่วงจำเพาะมีค่าใกล้เคียงกับไม้ยางพาราทั่วไป คือ ประมาณ 0.5-0.6 ที่ปริมาณความชื้น 12% ตามที่มาตรฐานกำหนด นอกจากนี้ ความชื้นยังมีความสัมพันธ์กับแรงอัดขนานเสี้ยนและความถ่วงจำเพาะ ถ้าความถ่วงจำเพาะสูงจะทำให้แรงอัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขนานเสี้ยนและปริมาณความชื้นสูงขึ้น (สถาบันวิจัยยาง, 2553) จากตารางที่ 11 พบว่า ปริมาณความชื้นและความถ่วงจำเพาะไม่มีอิทธิพลต่อโคลนพันธุ์

ตารางที่ 12 อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	การดัดสถิตย์	
	โมดูลัสการแตกหัก (เมกะปาสคาล)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)
RRIT 251	100.20 a[1]	9403.07
RRIM 600	107.87 a	10368.47
RRI-CH-35-59	103.43 a	10536.23
RRI-CH-35-650	91.19 ab	8797.17
RRI-CH-35-1397	101.26 a	9733.86
RRI-CH-35-1757	111.19 a	10429.83
RRI-CH-35-2086	108.45 a	10312.79
ค่าเฉลี่ย	103.37	9940.20
5%LSD	11.97	-
F-test	*	ns
CV (%)	10.5	10.7

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test

จากตารางที่ 12 พบว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ต่อโมดูลัสการแตกหักของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) กล่าวคือ โมดูลัสการแตกหักของโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 มีค่าสูงเท่ากับ 111.19 เมกะปาสคาล และโคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 มีค่าความแข็งแรงต่ำ ทั้งนี้สามารถแบ่งไม้ยางพารา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

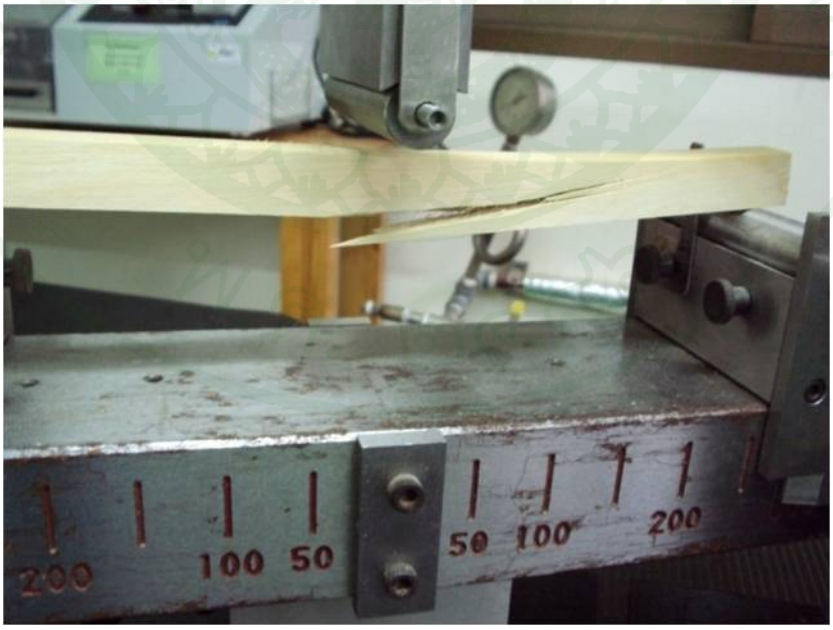
ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกคือ มีค่าโมดูลัสการแตกหักสูงเช่น โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-2086, RRIT 251 และ RRIM 600 เป็นต้น อีกกลุ่มหนึ่งคือ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-650 ไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์มีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกันดังรายละเอียดในตารางที่ 12 จะเห็นได้ว่า ความแปรปรวนของโคลนพันธุ์มีอิทธิพลต่อต่อโมดูลัสการแตกหัก คือ ถ้าโคลนพันธุ์มีความแปรปรวนมากจะส่งผลให้โมดูลัสการแตกหักของโคลนพันธุ์นั้นๆ แตกต่างกัน (Das *et al*., 2012) รายงานของ Neimsuwan and Laemsak (2010) ศึกษาความแข็งแรงของไม้ตะกู (*Anthocephalus chinensis*) พบว่า ไม้ตะกูมีค่าเฉลี่ยโมดูลัสการแตกหัก และโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 58.23 และ 5518.43 เมกะปาสคาล ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ ไม้ตะกูเป็นไม้เนื้ออ่อนที่มีความทนทานตามธรรมชาติต่ำจึงมีค่าความแข็งแรงต่ำ ในขณะที่ไม้ยางพาราจัดเป็นไม้เนื้อแข็งปานกลางตามมาตรฐานกรมป่าไม้ คือ เป็นไม้ที่มีโมดูลัสการแตกหักของไม้แห้งประมาณ 600-1000 กก./ซม.^{2} และความทนทานตามธรรมชาติ 2-6 ปี (กรมป่าไม้, 2548) ในไม้ชนิดอื่นๆ เช่น ยูคาลิปตัสที่ถูกอาบน้ำยาเคมี มีความแข็งแรงของโมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 78.50 เมกะปาสคาล และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นเท่ากับ 13064 เมกะปาสคาล (Wu *et al*., 2012) จะเห็นได้ว่า ไม้ยูคาลิปตัสมีค่าโมดูลัสการแตกหักต่ำแต่ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นสูง ซึ่งอาจมาจากการอาบน้ำยาเคมี จึงไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับไม้ยางพาราได้ เนื่องจากวิธีการทดลองต่างกันทำให้ไม้มีค่าความแข็งแรงต่างกัน อย่างไรก็ตาม วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบจึงมีความสำคัญต่อการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของไม้มาก เพราะการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ มีความจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพไม้ให้มีความแข็งแรงหรือมีความเหมาะสมกับลักษณะงานที่ใช้เช่น การใช้เรซิ่น แทรกในเนื้อไม้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นไม้อัด เป็นต้น (วรธรรม และคณะ, 2546) ดังนั้นกลุ่มไม้ยางพาราที่มีค่าโมดูลัสการแตกหักสูง เช่น โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 เป็นต้น จึงมีแนวโน้มในการนำไม้ไปใช้งานด้านความแข็งแรงและการโก่งขององค์อาคารที่รับน้ำหนักตั้งฉากกับแกน เช่น คาน ตง จันทัน แป เป็นต้น และโครงสร้างไม้เกือบทุกชนิด นอกจากนี้ พบว่าอิทธิพลของโคลนพันธุ์ต่อโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 12)

การแตกหักของตัวอย่างไม้ที่รับแรงดัด จะเกิดแรงดึงทางส่วนบน แรงดึงทางส่วนล่าง และแรงเฉือน ขึ้นตรงแนวแกนกลางเป็นแรงขนานเสี้ยนทั้งหมด เมื่อตัวอย่างไม้ได้รับน้ำหนักจนเกิดการแตกหัก ดังแสดงในภาพที่ 26 แสดงถึงการแตกหักด้วยแรงดึงโดยตรง คานไม้ขาดทางส่วนล่าง แสดงให้เห็นว่าไม้ขาด เนื่องจากแรงดึงขนานเสี้ยนล้วนๆ ไม่มีแรงอื่นปน และจะเกิดกับตัวอย่างไม้ที่มีเสี้ยนตรง ซึ่งผึ่งหรืออบแห้งแล้ว (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 26 การทดสอบโมดูลัสการแตกหักของไม้ยางพารา

นอกจากนี้ มีการแตกหักของไม้ยางพาราแบบการแตกหักด้วยแรงดึงขวางเสี้ยน ดังแสดงในภาพที่ 27 เกิดขึ้นในตัวอย่างไม้ที่มีเสี้ยนขวาง ไม้จะแตกตามแนวเสี้ยนเนื่องจากแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนผสมกับแรงเฉือนขนานเสี้ยน



ภาพที่ 27 การแตกหักด้วยแรงดึงขวางเสี้ยนของไม้ยางพารา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 13 อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อแรงอัดขนานเสี้ยนและแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	แรงอัดขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)
RRIT 251	47.01	14.35
RRIM 600	52.02	15.40
RRI-CH-35-59	48.95	15.79
RRI-CH-35-650	37.84	12.55
RRI-CH-35-1397	47.50	14.09
RRI-CH-35-1757	42.62	11.90
RRI-CH-35-2086	47.92	12.71
ค่าเฉลี่ย	46.27	13.83
F-test	ns	ns
CV (%)	20.8	26.6

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

การทดสอบการอัดทำได้ 2 แบบ คือ แรงอัดขนานเสี้ยนและแรงอัดตั้งฉากเสี้ยน ผลการทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยนมีประโยชน์มากกว่า เพราะอาคารไม้แทบทุกชนิดจะต้องมีบางส่วนของโครงสร้างที่รับแรงอัดชนิดนี้ เช่น เสา คร่าวฝา โครงถัก เสาเข็ม เป็นต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542) จากตารางที่ 13 พบว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อแรงอัดขนานเสี้ยนและแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) การทดสอบแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนมี 2 วิธีคือ วิธีของยุโรป และวิธีของอเมริกาเหนือ วิธีของยุโรปใช้มาตรฐานที่กำหนดให้ทดสอบโดยใช้แรงอัดเต็มพื้นที่รับแรงของตัวอย่างไม้เช่นเดียวกับการทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยน เมื่อเปรียบเทียบ 2 วิธีนี้ วิธีของอเมริกาเหนือน่าจะถูกต้องมากกว่าในแง่ของการนำตัวเลขไปใช้งาน เพราะองค์อาคารที่รับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนจะรับแรงอัดเพียงบางส่วนของผิวหน้าเท่านั้น เช่น คาน รับแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนตรง ที่รองรับบริเวณปลายทั้งสองข้าง หรือไม้หมอนรถไฟ รับแรงอัดจากรางรถไฟและพื้นดิน เป็นต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 14 อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อแรงเฉือนขนานเสี้ยนและแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	แรงเฉือนขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)
RRIT 251	17.45	1.57 a[1]
RRIM 600	20.30	0.42 b
RRI-CH-35-59	17.71	1.36 b
RRI-CH-35-650	18.15	1.45 a
RRI-CH-35-1397	17.44	1.86 a
RRI-CH-35-1757	18.47	1.62 a
RRI-CH-35-2086	19.04	1.80 a
ค่าเฉลี่ย	18.37	1.44
5%LSD	-	0.39
F-test	ns	*
CV (%)	7.4	38.1

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test

การทดสอบแรงเฉือนทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ แรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนและแรงเฉือนขนานเสี้ยน แต่แรงเฉือนตั้งฉากเสี้ยนของไม้มีค่าสูงมาก และไม่เคยปรากฏว่าโครงสร้างไม้เกิดพังทลายเพราะแรงชนิดนี้ เพราะกว่าจะถึงแรงนี้ไม้จะแตกหักเพราะแรงชนิดอื่นก่อน ในทางปฏิบัติจึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงแรงชนิดนี้ ทั้งนี้แรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้มีค่าต่ำและเป็นจุดอ่อนของไม้ การออกแบบโครงสร้างไม้ จึงต้องตรวจสอบแรงชนิดนี้ในการออกแบบบางส่วนของโครงสร้างไม้ เช่น ข้อต่อไม้ที่ยึดด้วยอุปกรณ์ยึดทางกล คาน โดยเฉพาะคานไม้ประกับที่มีความลึกมากๆ เป็นต้น

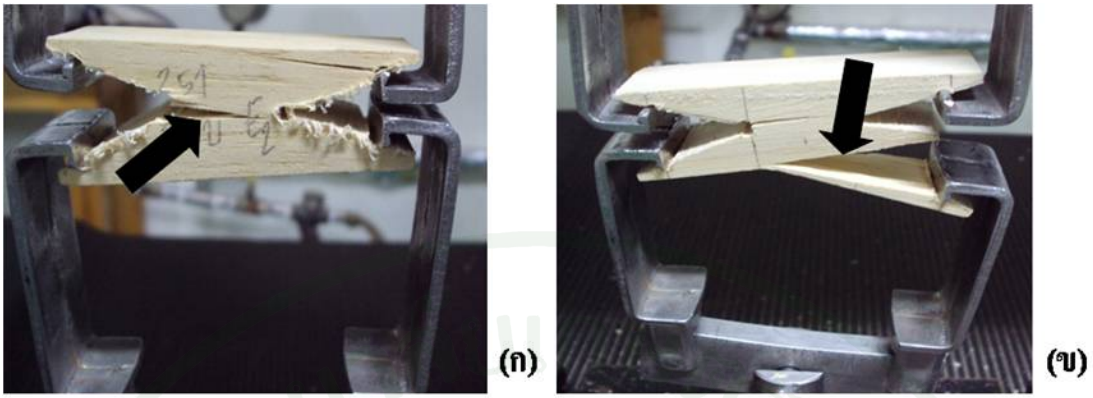
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(บุญนำ และ มยุรี, 2542) จากตารางที่ 14 พบว่าอิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

การทดสอบแรงดึงสำหรับไม้มี 2 ชนิดคือ แรงดึงขนานเสี้ยน และแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน ผลจากการทดสอบแรงดึงทั้งขนานและแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน มีประโยชน์ต่อการออกแบบโครงสร้างไม้มาก แรงดึงตั้งฉากเสี้ยนมีความสำคัญในการออกแบบโครงสร้างไม้ประกับโค้ง ข้อต่อไม้ที่ยึดด้วยอุปกรณ์ยึดทางกล และการออกแบบตารางอบไม้ด้วยเตาอบไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม การตัดตัวอย่างไม้สำหรับทดสอบแรงดึงค่อนข้างยาก ซึ่งเป็นเหตุให้การวิจัยทางด้านนี้มีน้อย แรงดึงตั้งฉากเสี้ยนจะตัดต้องบากไม้และค่าที่ได้จากการทดสอบก็ผิดพลาดจากความเป็นจริงเพราะเกิดความเค้นเข้มข้นขึ้นในตัวอย่างไม้ขณะทดสอบในทางปฏิบัติ (บุญนำ และ มยุรี, 2542) จากผลการทดลองในตารางที่ 14 พบว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ต่อแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนสามารถแบ่งไม้ยางพาราออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีค่าแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนสูง ได้แก่ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397, RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 เป็นต้น อีกกลุ่มหนึ่ง มีค่าแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนต่ำ ได้แก่ โคลนพันธุ์ RRIM 600 และ RRI-CH-35-59 ทั้ง 2 กลุ่มนี้มีความแตกต่างกัน ดังนั้นโคลนพันธุ์ของยางพาราจึงมีอิทธิพลต่อแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1397 มีค่าแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนสูงกว่าโคลนพันธุ์อื่นๆ จึงมีแนวโน้มสำหรับการใช้ประโยชน์จากไม้ เช่น การผลิตข้อต่อไม้ที่ยึดอุปกรณ์ในเชิงกลให้เชื่อมติดกัน การทำเฟอร์นิเจอร์ หรืออุปกรณ์เครื่องใช้สอยในครัวเรือน นอกจากนี้ แรงดึงยังส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีอีกด้วย เช่น รายงานของ Hildebrandt (1960) พบว่าปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น จะส่งผลทำให้ความแข็งแรงจากการกระแทกหรือขยี้ของไม้เพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้าม แรงจากการดึงและโมดูลัสการแตกหักในไม้มีค่าลดลง เนื่องจากแรงดึงและโมดูลัสการแตกหัก ขึ้นอยู่กับปริมาณแอลฟาเซลลูโลส รวมทั้งมีปัจจัยมาจากพันธุกรรมของโคลนพันธุ์นั้นๆ การเจริญเติบโตตามธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมมาเกี่ยวข้องด้วย และเป็นสาเหตุของความแตกต่างกันในแรงดึงของไม้ทำให้ส่งผลต่อคุณภาพ ลักษณะ และการนำไปใช้ประโยชน์ของไม้ (Lim *et al*., 2003)

การแตกหักของไม้ยางพาราโดยวิธีการทดสอบการดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ จะมีการแตกหักของตัวอย่างไม้ที่รับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน ขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงที่กระทำต่อวงปี เมื่อแรงตั้งฉากกับวงปีไม้จะขาดบริเวณที่เป็นไม้ต้นฤดู (ภาพที่ 28 ก) ในกรณีของแรงทำมุมกับวงปี ไม้จะขาดเนื่องจากแรงเฉือนตามแนววงปี (ภาพที่ 28 ข) การแตกหักของไม้จะเกิดขึ้นในบริเวณที่พอร์มีขนาดโตที่สุด ซึ่งมักจะอยู่ใกล้กับวงปี (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 28 การทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (ก) เมื่อแรงตั้งฉากกับวงปีไม้จะขาดบริเวณที่เป็นไม้ต้น ฤดู (ข) เมื่อแรงทำมุมกับวงปีไม้จะขาดเนื่องจากแรงเฉือนตามแนววงปี

ความแข็งหมายถึง ความต้านทานของวัสดุชนิดหนึ่ง (ไม้) ต่อการสอดแทรกโดยใช้แรงของวัสดุอีกชนิดหนึ่ง (เหล็ก) การทดสอบความแข็งสำหรับไม้มีประโยชน์ในการเลือกไม้ไปใช้งานที่ต้องทนต่อการขีดข่วนเสียดสีเป็นประจำ เช่น พื้นไม้ปาร์เก้ อุปกรณ์กีฬา เครื่องเรือน เป็นต้น

ตารางที่ 15 อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อความแข็งและการฉีกของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	ความแข็ง (นิวตัน)	การฉีก (นิวตัน)
RRIT 251	6497.50 a[1]	0.62
RRIM 600	6820.75 a	0.78
RRI-CH-35-59	5507.88 b	0.64
RRI-CH-35-650	5600.75 b	0.76
RRI-CH-35-1397	5591.25 b	0.76
RRI-CH-35-1757	5815.81 ab	0.58

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 15 (ต่อ)

โคลนพันธุ์ยางพารา	ความแข็ง (นิวตัน)	การฉีก (นิวตัน)
RRI-CH-35-2086	6243.75 ab	0.70
ค่าเฉลี่ย	6011.10	0.69
5% LSD	706.79	-
F-test	*	ns
CV (%)	8.1	26.2

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test

ความแข็งของไม้ทางด้านรัศมีและด้านสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด สำหรับความแข็งทางด้านหน้าตัดมีค่าสูงกว่าทางด้านรัศมีและด้านสัมผัส (บุญนำ และ มยุรี, 2542) จากผลการทดลองในตารางที่ 15 พบว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อความแข็งของไม้ มีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ความแข็งสามารถแบ่งไม้ยางพาราออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มแรก มีค่าความแข็งแรงสูงเช่น พันธุ์ RRIT 251 และ RRIM 600 กลุ่มที่สอง มีค่าความแข็งแรงต่ำเช่น โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-59 และ RRI-CH-35-650 เป็นต้น ซึ่งมีความแตกต่างกับกลุ่มแรก และกลุ่มสุดท้าย มีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกับทั้งกลุ่มหนึ่งและสองเช่น โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 และ RRI-CH-35-2086 นอกจากนี้ พันธุ์ RRIM 600 มีค่าความแข็งสูงกว่าโคลนพันธุ์อื่นๆ ดังนั้นมีแนวโน้มที่จะส่งเสริมให้ปลูกต่อไป เนื่องจากเป็นพันธุ์ทางการค้าที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูง จึงควรนำไม้ยางพาราของพันธุ์นี้ไปใช้ประโยชน์ในด้านความทนต่อการขีดข่วน เสียดสีเป็นประจำ เช่น พื้นไม้ปาร์เก้ อุปกรณ์กีฬา เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

สำหรับการแตกหักของไม้ยางพารา การทดสอบนี้ไม่มีการแตกหักเกิดขึ้น เพียงแต่ตัวอย่างไม้ถูกลูกเหล็กอัดจมลงไปในเนื้อไม้ ดังแสดงในภาพที่ 29

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 29 การทดสอบความแข็งของไม้

ดังนั้นความแข็งของไม้คือ ความสามารถของเนื้อไม้ในการต้านทานการสอดแทรกของลูกเหล็กให้จมลงไปครึ่งลูก เมื่อลูกเหล็กอัดจมลงไปในเนื้อไม้จะเกิดหลุมโค้งที่มีผิวหน้าเท่ากับ 100 ตร.มม. ข้อควรระวังคือ อย่ากดใกล้ปลายหรือขอบของตัวอย่างเกินไป เพราะอาจทำให้ไม้แตกและค่าแรงที่ได้ผิดพลาด (Helin'ska-Raczkowska and Molin'ski, 2003)

การฉีกคือ การที่แรงดึงกระทำต่อส่วนหนึ่งของวัสดุเพื่อดึงให้ไม้แยกออกจากกัน และรอยแตกจะขยายไปเรื่อยจนวัสดุแยกออกจากกันเป็นสองส่วน การวัดความต้านทานต่อการฉีกของไม้ใช้เครื่องมือและตัวอย่างไม้คล้ายคลึงกับการทดสอบแรงดึงตั้งฉากเสี้ยน แต่ต่างกันที่การฉีกดึงเพียงข้างเดียว ค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ไม้ฉีกออกจากกันแสดงในหน่วยแรงต่อหน่วยความกว้างของผิวหน้าที่แตก ซึ่งหมายถึง ความต้านทานต่อการฉีกของไม้ (บุญนำ และ มยุรี, 2542) จากผลการทดลองในตารางที่ 15 พบว่า อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราต่อการฉีกของไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 16 อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูงลำต้น	การดัดสถิตย์	
	โมดูลัสการแตกหัก (เมกะปาสคาล)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)
ท่อนที่ 1 (A)	100.32	9646.58
ท่อนที่ 2 (B)	102.93	9781.05
ท่อนที่ 3 (C)	105.06	10132.51
ท่อนที่ 4 (D)	105.18	10200.66
ค่าเฉลี่ย	103.37	9940.20
F-test	ns	ns
CV (%)	10.5	10.7

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

อิทธิพลของตำแหน่งความสูงเหนือพื้นดินที่ระดับ 1.3 และ 6.0 ม. ต่อโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 16)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 17 อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อแรงอัดขนานเสี้ยนและแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูง	แรงอัดขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)
ท่อนที่ 1 (A)	43.90	14.79
ท่อนที่ 2 (B)	47.49	13.01
ท่อนที่ 3 (C)	47.05	13.62
ท่อนที่ 4 (D)	46.62	13.89
ค่าเฉลี่ย	46.27	13.83
F-test	ns	ns
CV (%)	20.8	26.6

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

อิทธิพลของตำแหน่งความสูงเหนือพื้นดินที่ระดับ 1.3 และ 6.0 ม. ต่อแรงอัดขนานเสี้ยนและแรงอัดตั้งฉากเสี้ยนของไม้ พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) (ตารางที่ 17)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 18 อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อแรงเฉือนขนานเสี้ยน และแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูง	แรงเฉือนขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)
ท่อนที่ 1 (A)	18.47 a[1]	1.47
ท่อนที่ 2 (B)	19.34 a	1.46
ท่อนที่ 3 (C)	17.92 ab	1.36
ท่อนที่ 4 (D)	17.73 ab	1.46
ค่าเฉลี่ย	18.37	1.44
5% LSD	1.05	-
F-test	*	ns
CV (%)	7.4	38.1

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05 โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test

ประโยชน์ของแรงเฉือนขนานเสี้ยนได้แก่ การออกแบบโครงสร้างไม้เช่น ข้อต่อไม้ที่ยึดด้วยอุปกรณ์ยึดเชิงกล คาน โดยเฉพาะคานไม้ประกับที่มีความลึกมากๆ เป็นต้น อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ตำแหน่งของเนื้อไม้ประกอบด้วย ที่ระดับความสูง 1.3 ม. เหนือพื้นดิน ท่อนที่ 1 (A) คือ ท่อนล่าง และท่อนที่ 2 (B) คือ ท่อนบน ที่ระดับความสูง 6.0 ม. เหนือพื้นดิน ท่อนที่ 3 (C) คือ ท่อนล่าง และท่อนที่ 4 (D) คือ ท่อนบน จากตารางที่ 18 พบว่า ที่ระดับความสูง 1.3 ม. ท่อนล่างและบนให้ค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนสูงและไม่แตกต่างกัน และที่ระดับความสูง 6.0 ม. ท่อนล่างและบนให้ค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนต่ำและไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้มีค่าใกล้เคียงกับที่ระดับความสูง 1.3 ม. อีกด้วย จึงสามารถสรุประดับความสูงที่มีแนวโน้มที่จะนำไม้มาใช้ประโยชน์เชิงกลคือ ระดับความสูง 1.3 ม. เนื่องจากให้ค่าแรงเฉือนขนานเสี้ยนสูงกว่าที่ระดับความสูง 6.0 ม.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การแตกหักของตัวอย่างไม้ที่รับแรงเฉือนขนานเสี้ยนขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงที่กระทำต่อวงปี ดังแสดงในภาพที่ 30 เมื่อแรงกระทำในระนาบที่ขนานกับวงปี ไม้จะเลื่อนไถลตามแนวของเนื้อไม้ต้นฤดูหรือบริเวณที่มีพอร์โตที่สุด ในกรณีที่แรงตั้งฉากกับวงปี ไม้จะเลื่อนไถลตามระนาบที่มีทั้งเนื้อไม้ต้นฤดูและเนื้อไม้ปลายฤดู ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ผนังหนา ทนต่อแรงเฉือนได้สูง เซลล์เลื่อนไถลออกจากกันในบริเวณผนังเซลล์ชั้นปฐมภูมิและผนังเซลล์ชั้นทุติยภูมิ (S_1) และเมื่อแรงกระทำในระนาบที่ทำมุมกับวงปี ตัวอย่างไม้จะเลื่อนไถลออกจากกันโดยมีพฤติกรรมและความแข็งแรงอยู่ระหว่างทั้งสองกรณีที่กล่าวข้างต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542)

ภาพที่ 30 การทดสอบแรงเฉือนขนานเสี้ยนของไม้ยางพารา

อิทธิพลของตำแหน่งความสูงเหนือพื้นดินที่ระดับ 1.3 และ 6.0 ม. ต่อแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนของไม้ พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 18)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 19 อิทธิพลของช่วงความสูงลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 และ 6.0 ม. ต่อความแข็งและการฉีกของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

ตำแหน่งของเนื้อไม้ตามช่วงความสูง	ความแข็ง (นิวตัน)	การฉีก (นิวตัน)
ท่อนที่ 1 (A)	6574.18 a	0.76
ท่อนที่ 2 (B)	6479.07 a	0.74
ท่อนที่ 3 (C)	5564.29 b	0.61
ท่อนที่ 4 (D)	5426.86 b	0.65
ค่าเฉลี่ย	6011.1	0.69
5% LSD	374.64	-
F-test	*	ns
CV (%)	8.1	26.2

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

* = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

[1] ค่าเฉลี่ยที่ตามด้วยตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$ โดยใช้วิธีของ Duncan's new multiple range test

การทดสอบความแข็ง มีประโยชน์ในการเลือกไม้ไปใช้งานที่ต้องทนต่อการขีดข่วน เสียดสีเป็นประจำ เช่น พื้นไม้ปาร์เก้ อุปกรณ์กีฬา เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น (บุญนำ และ มยุรี, 2542) อิทธิพลของตำแหน่งความสูงเหนือพื้นดินที่ระดับ 1.3 และ 6.0 ม. ต่อความแข็งของไม้ พบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ที่ระดับความสูง 1.3 ม. ท่อนล่างและบนให้ค่าความแข็งสูงสุดและไม่แตกต่างกัน ที่ระดับความสูง 6.0 ม. ท่อนล่างและบนให้ค่าความแข็งต่ำสุดและไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้ที่ระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. มีความแตกต่างกันของค่าความแข็ง (ตารางที่ 19) จะเห็นได้ว่า ค่าความแข็งจะลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น ดังนั้นตำแหน่งความสูงเหนือพื้นดินที่มีความแข็งสูงคือ ตำแหน่งท่อนโคน ที่ระดับความสูง 1.3 ม. และลดต่ำลงตามลำดับจนถึงท่อนปลาย ที่ระดับความสูง 6.0 ม. ดังนั้นที่ระดับความสูงของไม้ 1.3 ม. จึงมีแนวโน้มเหมาะต่อการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ด้านความทนทานต่อการขีดข่วน เสียดสีเป็นประจำ เช่น พื้น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือใช้สอยในครัวเรือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์กีฬา เป็นต้น นอกจากนี้ อิทธิพลของตำแหน่งความสูงเหนือพื้นดินที่ระดับ 1.3 และ 6.0 ม. ต่อการฉีกของไม้ พบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) (ตารางที่ 19)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 20 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 1.3 ม. ต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	โมดูลัสการแตกหัก (เมกะปาสคาล)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)	แรงอัดขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงเฉือนขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	ความแข็ง (นิวตัน)	การฉีก (นิวตัน)
RRIT 251	105.40	9579.78	49.22	15.92	18.31	1.69	7062.50	0.64
RRIM 600	110.39	10458.04	51.51	18.02	20.65	0.26	7161.50	0.91
RRI-CH-35-59	99.82	9924.51	49.16	17.81	18.60	1.20	6048.25	0.65
RRI-CH-35-650	81.77	8233.47	41.36	11.18	18.30	1.64	5806.75	0.92
RRI-CH-35-1397	98.00	9675.05	45.44	14.98	18.05	2.02	6050.00	0.91
RRI-CH-35-1757	106.33	9741.61	36.37	8.52	18.97	1.66	6404.87	0.52
RRI-CH-35-2086	109.67	10384.24	46.80	10.87	19.45	1.81	7152.50	0.70
ค่าเฉลี่ย	101.63	9713.82	45.70	13.90	18.91	1.47	6526.62	0.75
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	10.5	10.7	20.8	26.6	7.4	38.1	8.1	26.2

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

ตารางที่ 21 อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพาราและระดับความสูง 6.0 ม. ต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

โคลนพันธุ์ยางพารา	โมดูลัสการแตกหัก (เมกะปาสคาล)	โมดูลัสความยืดหยุ่น (เมกะปาสคาล)	แรงอัดขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงอัดตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงเฉือนขนานเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน (เมกะปาสคาล)	ความแข็ง (นิวตัน)	การฉีก (นิวตัน)
RRIT 251	95.00	9226.36	44.80	12.78	16.60	1.45	5932.50	0.60
RRIM 600	105.35	10278.89	52.52	12.78	19.96	0.57	6480.00	0.65
RRI-CH-35-59	107.05	11147.95	48.74	13.78	16.82	1.52	4967.50	0.63
RRI-CH-35-650	100.61	9360.86	34.31	13.91	17.99	1.25	5394.75	0.59
RRI-CH-35-1397	104.53	9792.67	49.57	13.20	16.84	1.70	5132.50	0.60
RRI-CH-35-1757	116.04	11118.04	48.88	15.28	17.96	1.58	5226.75	0.65
RRI-CH-35-2086	107.23	10241.33	49.03	14.56	18.63	1.79	5335.00	0.69
ค่าเฉลี่ย	105.12	10166.58	46.84	13.76	17.83	1.41	5495.57	0.63
F-test	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CV (%)	10.5	10.7	20.8	26.6	7.4	38.1	8.1	26.2

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P<0.05$

จากผลการทดลองในตารางที่ 20 และ 21 พบว่า อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์ยางพารา และระดับความสูง 1.3 และ 6.0 ม. ต่อคุณสมบัติเชิงกลของไม้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) นอกจากนี้ ยังชี้ให้เห็นว่าคุณสมบัติเชิงกลค่าต่างๆ ของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์ (ตารางที่ 20 และ 21) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากค่าการทดสอบอยู่ในเกณฑ์การรับรองด้านคุณลักษณะที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งสามารถนำไม้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่างๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ ได้แก่ เตียง ตู้ เก้าอี้ ชั้นวางของ กรอบรูป ไม้แกะสลัก เป็นต้น เครื่องใช้ในครัวเรือน ได้แก่ เขียง จาน ชาม ถาด เป็นต้น ของเล่นต่างๆ หรือวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง ได้แก่ ไม้พื้น ประตู วงกบ เสา ลูกบันได แม่บันได เป็นต้น ทั้งนี้ยกเว้นแผ่นไม้อัด และแผ่นไม้ประกอบที่ไม่ได้ผ่านการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ (สมาคมอุตสาหกรรมเครื่องเรือนไทย, 2543)

ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางเคมีและเชิงกล

คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลมีความสัมพันธ์กันอย่างมาก เนื่องจากคุณสมบัติดังกล่าวบ่งบอกทิศทางและแนวโน้มในการศึกษาวิจัยด้านคุณภาพเนื้อไม้และการใช้ประโยชน์จากไม้ในรูปแบบต่างๆ ทั้งนี้คุณสมบัติทางเคมีจะศึกษาถึงองค์ประกอบในเนื้อไม้ที่สำคัญๆ เช่น โฮโลเซลลูโลส แอลฟาเซลลูโลส ลิกนิน และเพนโตแซน เป็นต้น โดยที่โฮโลเซลลูโลส และแอลฟาเซลลูโลส มีหน้าที่สร้างความแข็งแรง ส่วนลิกนินและเพนโตแซนเป็นเสมือนกาวในธรรมชาติเชื่อมเซลล์ให้ติดกันกลายเป็นโครงสร้างของเนื้อไม้ นอกจากนี้ คุณสมบัติเชิงกลจะบ่งบอกถึงความแข็งแรงที่ไม้ถูกกระทำจากแรงภายนอกซึ่งหมายถึง ความแข็งแรงที่ทำให้ไม้เสียรูปหรือมีลักษณะไม่เหมือนเดิม จะทำให้ทราบความแข็งแรงของไม้เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ที่ถูกต้องและเหมาะสมกับงาน (Wise and Jahn, 1952)

ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพารา 7 โคลนพันธุ์พบว่า มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ของแอลฟาเซลลูโลส โฮโลเซลลูโลส ลิกนิน เพนโตแซน แรงดัดสถิตย์ แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน และการฉีกของไม้ (ตารางที่ 22) แรงดัดสถิตย์ในไม้ประกอบด้วยค่าโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่น ซึ่งมีความสัมพันธ์กันมาก เนื่องจากเป็นค่าที่ใช้ทดสอบความแข็งแรงในเชิงกล ด้านการรับแรงดัดและโค้งของไม้ รองลงมาคือ ความสัมพันธ์ระหว่างแอลฟาเซลลูโลสและโฮโลเซลลูโลส เนื่องจากเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีคุณสมบัติสร้างความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ และองค์ประกอบดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของเซลลูโลส ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบต่างๆ ของคุณสมบัติทางเคมี และค่าแรงของคุณสมบัติเชิงกลต่างก็มีความสัมพันธ์กัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภายในคุณสมบัตินั้นๆ นอกจากนี้ ถ้าเป็นความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ แสดงในตารางที่ 22 พบว่า ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ ในระดับปานกลาง ดังนั้นถ้าปริมาณแอลฟาเซลลูโลสสูง ค่าความแข็งแรงของโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความยืดหยุ่นก็มีค่าสูงขึ้น กล่าวคือ ความแข็งแรงของไม้เพิ่มขึ้น (Windeisen *et al*., 2009)

รายงานของ Sweet and Winandy (1999) พบว่า ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดคือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมนแนนในแอลฟาเซลลูโลสและแรงดัดสถิตย์ของไม้ เนื่องจากทั้งสองลักษณะบ่งบอกถึงคุณสมบัติความแข็งแรงตามที่กำหนดในทฤษฎีของไม้ ในทางตรงกันข้าม ปริมาณแอลฟาเซลลูโลสมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับแรงในการฉีกของไม้ระดับปานกลางทั้ง 7 โคลนพันธุ์ (ตารางที่ 22) ถ้าปริมาณแอลฟาเซลลูโลสเพิ่มขึ้น แรงในการฉีกของไม้ก็จะลดลง เนื่องจากการฉีกคือ แรงดึงกระทำต่อส่วนหนึ่งของวัสดุเพื่อดึงเนื้อไม้ให้แยกออกจากกัน และรอยแตกจะขยายไปเรื่อยจนวัสดุแยกออกจากกันเป็นสองส่วน ทำให้มีผลต่อปริมาณการสร้างลิกนิน เพราะลิกนินเปรียบเสมือนกาวในธรรมชาติของไม้ช่วยในการดึงให้เนื้อไม้ติดกัน (Sixta, 2006; Kretschmann, 2010) โฮโลเซลลูโลสมาจากแอลฟาเซลลูโลสรวมกับเฮมิเซลลูโลส มีความสัมพันธ์เชิงลบกับการฉีกของไม้ในระดับปานกลางของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ ถ้าปริมาณโฮโลเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงจากการฉีกของไม้จะลดลง นอกจากนี้ ปริมาณลิกนินมีความสัมพันธ์เชิงลบกับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนในระดับปานกลาง ถ้าปริมาณลิกนินเพิ่มขึ้น แรงดึงตั้งฉากเสี้ยนจะมีค่าลดลง (ตารางที่ 22)

ปริมาณเพนโตแซนมีความสัมพันธ์ในเชิงลบกับแรงดึงตั้งฉากเสี้ยนในระดับปานกลางของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ โดยที่ปริมาณเพนโตแซนเพิ่มสูงขึ้น แรงดึงตั้งฉากเสี้ยนจะมีค่าลดลง (ตารางที่ 22) จากผลการทดลองนี้เห็นได้ว่า ขัดแย้งกับงานวิจัยของ เพ็ญศรี และคณะ (2551) เนื่องจากมีการศึกษาพบว่า ปริมาณเพนโตแซนมีผลต่อการต้านทานแรงดันทะลุขาดและการต้านทานแรงดึงขาด ถ้ามีเพนโตแซนสูง การต้านทานแรงดันทะลุขาดและการต้านทานแรงดึงทะลุขาดจะสูง นอกจากนี้ รายงานของ Niemz *et al*. (2010) ก็มีความขัดแย้งกับผลการทดลองนี้เช่นกัน คือ พบความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างแรงดัดสถิตย์และเฮมิเซลลูโลส (ส่วนหนึ่งของเพนโตแซน) ในระดับสูงของตัวอย่างไม้ใบกว้าง ในทางตรงกันข้าม งานวิจัยนี้ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทั้งสองไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ดังนั้นจากการศึกษาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราพบว่า ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุด ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างแอลฟาเซลลูโลสกับโมดูลัสการแตกหักและโมดูลัสความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ยืดหยุ่นหรือแรงดัดสถิตย์ของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์ เนื่องจากบ่งบอกถึงความแข็งแรงในทางเคมีและเชิงกลของไม้ ซึ่งข้อมูลนี้จะมีประโยชน์ในการกำหนดทิศทางหรือแนวโน้มการวิจัยปรับปรุงพันธุ์ยางพาราเพื่อคุณภาพเนื้อไม้ และเพื่อน้ำยางและคุณภาพเนื้อไม้ยางพาราให้มีคุณภาพดีทั้งคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกล เพื่อแนะนำพันธุ์ยางใหม่ๆ สำหรับเป็นทางเลือกและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรชาวสวนยาง

ตารางที่ 22 สหสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบหลักทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ยางพาราทั้ง 7 โคลนพันธุ์

	แอลฟาเซลลูโลส	โฮโลเซลลูโลส	ลิกนิน	เพนโตแซน
โมดูลัสการแตกหัก	0.47*	0.34	-0.25	0.03
โมดูลัสความยืดหยุ่น	0.47*	0.37	-0.3	-0.07
แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน	0.26	-0.05	-0.39*	-0.41*
การฉีก	-0.41*	-0.43*	0.02	0.16

หมายเหตุ * = มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ P<0.05

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพารา 7 โคลนพันธุ์

1. อิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราที่แตกต่างกันทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ได้แก่ ปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอล-เบนซีน ลิกนิน และปริมาณการละลายในด่าง เป็นต้น และอิทธิพลของโคลนพันธุ์ยางพาราที่แตกต่างกันทำให้คุณสมบัติเชิงกลต่างกัน ได้แก่ โมดูลัสการแตกหัก แรงดึงตั้งฉากเสี้ยน และความแข็ง เป็นต้น

2. อิทธิพลของความสูงที่แตกต่างกันทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ยกเว้นปริมาณสารแทรกที่ละลายในเอทานอลและลิกนิน ในทำนองเดียวกัน คุณสมบัติเชิงกลของแรงเฉือนขนานเสี้ยนและความแข็งแตกต่างกันเมื่อระดับความสูงต่างกัน

3. อิทธิพลร่วมระหว่างโคลนพันธุ์และความสูงทำให้องค์ประกอบทางเคมีต่างกัน ยกเว้นปริมาณลิกนิน แต่คุณสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน

4. ความสัมพันธ์ที่ดีที่สุดระหว่างองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติเชิงกลได้แก่ ความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่างปริมาณแอลฟาเซลลูโลสกับแรงดัดสถิตย์ของไม้ยางพารา

5. โคลนพันธุ์ที่มีแนวโน้มเพื่อการคัดเลือกเนื้อไม้ที่มีคุณภาพดีที่สุดและน่าจะใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมไม้ยางพาราได้แก่ โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757, RRI-CH-35-2086 และ RRIM 600 เนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีและความแข็งแรงเชิงกลสูง ดังนั้นจึงมีส่วนช่วยในการพัฒนาวงการอุตสาหกรรมไม้ยางพารา เช่น การผลิตเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เป็นต้น ให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในวงกว้างยิ่งขึ้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

คุณสมบัติทางเคมีและเชิงกลของยางพารา 7 โคลนพันธุ์

1. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-1757 น่าจะเหมาะสมสำหรับการนำไม้ไปผลิตเฟอร์นิเจอร์ เนื่องจากมีความทนทานต่อการผุของไม้สูง อาจจะมีส่วนช่วยในการลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีเพื่อเก็บรักษาไม้

2. ระดับความสูงของลำต้นเหนือพื้นดิน 1.3 ม. น่าจะเหมาะสำหรับการใช้ประโยชน์ของไม้เชิงกล เช่น อุปกรณ์ยึดเชิงกล และเฟอร์นิเจอร์ไม้ต่างๆ เนื่องจากมีค่าความแข็งแรงเชิงกลสูง

3. พันธุ์ RRIM 600 ซึ่งเป็นพันธุ์ทางการค้า น่าจะเหมาะสมสำหรับการนำไม้ไปใช้ประโยชน์ในงานที่ทนทานต่อการเสียดสี หรือขีดข่วนเป็นประจำ เช่น เฟอร์นิเจอร์ กล่องใส่ของ และไม้อัด เป็นต้น เนื่องจากมีค่าความแข็งของไม้ในเชิงกลสูง

4. โคลนพันธุ์ RRI-CH-35-2086 มีแนวโน้มของปริมาณสารแทรกและแอลฟาเซลลูโลสสูง จึงน่าจะนำไม้ไปใช้ประโยชน์ด้านการแปรรูปไม้ เนื่องจากเนื้อไม้มีคุณภาพและความแข็งแรงสูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2548. **ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 3 กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้, สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้, กรุงเทพฯ.

คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา. 2547. **พืชเศรษฐกิจ**. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เฉลิม มหิทธิกุล. 2511. **สมบัติของไม้**. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ และ นิคม แหลมสัก. 2553. คุณสมบัติทางเคมีของไม้ตะกู. **วารสารวนศาสตร์** 29 (2): 64-72.

เทียมใจ คมกฤส. 2542. **กายวิภาคของพฤกษ์**. พิมพ์ครั้งที่ 4 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

บุญนำ เกี่ยวข้อง และ มยุรี ดวงเพชร. 2542. **คู่มือปฏิบัติการทดสอบเชิงกลของไม้**. พิมพ์ครั้งที่ 1 โครงการเผยแพร่ความรู้ทางวนผลิตภัณฑ์ ม.ก., กรุงเทพฯ.

ปรีชา เกียรติกระจาย. 2528. **เคมีของเนื้อไม้**. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เพ็ญศรี อติวรรณาพัฒน์, วิขัณฑ์ อรรณพานุรักษ์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย และ เบญจวรรณ คฤหพัฒนา. 2551. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของไม้ *Acacia crassicarpa*, น. 125-129. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 (สาขาอุตสาหกรรมเกษตร)**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

มนต์ชัย ดวงจินดา. 2544. **การใช้โปรแกรม SAS เพื่อวิเคราะห์งานวิจัยทางสัตว์**. พิมพ์ครั้งที่ 2 หจก. โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา, ขอนแก่น.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รณชัย ดาวดวง. 2553. การเร่งผลผลิตยางก่อนโค่นขายไม้. **วารสารยางพารา** 1: 16-22.

วรธรรม อุ่นจิตติชัย, ธีระ วีณิน, วิขัณฑ์ อรรณพานุรักษ์, อรุณี วีณิน, ทรงกลด จารุสมบัติ และ สุเทพ กลั่นรักษา. 2546. **คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ไม้พญาสัตบรรณ**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2546. **ข้อมูลวิชาการยางพารา**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2553. **ข้อมูลวิชาการยางพารา**. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2544. **สรีรวิทยาของพืช**. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สมาคมอุตสาหกรรมเครื่องเรือนไทย. 2543. ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไม้ยางพารา. **วารสารเครื่องเรือนไทย** (43): 32-37.

องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2552. **การปลูกสร้างสวนยางพาราที่มีประสิทธิภาพ.** โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศษไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

Alder, E. 1997. Lignin chemistry-past, present, and future. **Wood Science and Technology** 11: 169-218.

ASTM. 1980. **Annual Book of ASTM Standards**. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Pa., U.S.A.

Balaban, M. and G. dan Ucar. 2001. Extractive and structural components in wood and bark of Endemic *Quercus* VulcanicaBoiss. **Holzforschung** 55 (5): 478-486.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Balsiger, J., J. Bahdon and A. Whiteman. 2000. **The Utilization, Processing and Demand for Rubberwood as a Source of Wood Supply**. Forestry Policy and Planning Division, Rome Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.

Browning, B.L. 1967. **Methods of Wood Chemistry**. Interscience, Publishers, Wiley, New York.

Chirasatitsin, S., S. Prasertsan, W. Wisutmethangkoon and B. Kyokong. 2005. Mechanical properties of rubberwood oriented strand lumber (OSL): the effect of strand length. **Songklanakarin J. Sci. Technol**. 27: 1047-1055.

Cobley, L.S. and W.M. Steele. 1976. **The Botany of Tropical Crops**. The English Language Book Society, Longman, London.

Cross, C.F. and E.J. Bevan. 1900. **Researches on Cellulose**. Vol. III, Longmans, Green and Co., London.

Das, A.K., m. Billha, Md.I Shams and Md.O. Hannan. 2012. Physical and mechanical properties of bamboo wastage cement bonded board. **J Indian Acad Wood Sci** 9 (2): 170-175.

Evans, C.S. 1991. Enzymes of lignin degradation. **Biodegradation** 4: 175-184.

Feng,W.Y., W. Zheng and W.J. Guo. 2003. A study on chemical composition and fiber characteristics of two sympodial bamboos, pp. 86-91. *In* **Chinese Forestry Science and Technology**, China.

Fengel, D. and G. Wegener. 1984. **Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions**. Walter de gruyter, Berlin, Germany.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Fengel, D. and G. Wegener. 2003. **Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions**. Walter de gruyter, Berlin, Germany.

Genet, M., A. Stokes, F. Salin, S.B. mickovski, T. Fourcaud, J.F. Dumail and R. Van Beek. 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. **Plant Soil** 278: 1-9.

Gierlinger, N., D. Jacques, M. Schwanninger, R. Wimmer and L.E. Paques. 2004. Heartwood extractives and lignin content of different larch species (*Larix* sp.) and relationships to brown-rot decay-resistance. **Trees** 18: 230-236.

Gutierrez, A., J. Romero and J.C. del Rio. 2001. Lipophilic extractives from *Eucalyptus globules* pulp during kraft cooking flowed by TCF and ECF bleaching. **Holzforschung** 55: 260-264.

Hammer, Ø., D.A.T. Harper, P.D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis (http://palaeo-electonica.org/2001_1/past/issue1_01.htm). **Palaeontologia Electronica** 4 (1): 1-9.

Helin'ska-Raczkowska, L. and W. Molin'ski. 2003. The effect of the Janka ball indentation depth on the hardness number determined for selected wood species. **Seria B**. **Zeszyt** 34: 27-36.

Higuchi, T. 1997. **Biochemistry and Molecular Biology of Wood**. Springger-Verlag, Berlin.

Hildebrandt, G. 1960. The effect of growth conditions on the structure and properties of wood, pp. 1348-1353. *In* **Proceedings of the 5th World Forestry Congress**. University of Washington, U.S.A.

Hilden, L. and E. Persson. 2007. Seasonal extractive variations in tree, chips and TMP. *In* **International Mechanical Pulping Conference**, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Sweden.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Hu, W-J., S.A. Harding, J. Lung, J.L. Popko, J. Ralph. D.D. Stokke, C-J. Tsai and V.L. Chiang. 1999. Repression of lignin biosynthesis promotes cellulose accumulation and growth in transgenic trees. **Nature Biotechnology** 17: 808-812.

IRRI. 2007. **Science Software CropStat version 7.2.3.** Available Source: http://www.archive.irri.org/science/software/cropstat.asp, September 8, 2012.

Irving, S.G. and L. Menachem. 1991. **Wood Structure and Composition**. Marcel Dekker, INC., New York.

Kocaefe, D., S. Poncsak and Y. Boluk. 2008. Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of Birch and Aspen. **BioResources** 3 (2): 517-537.

Kretschmann, D.E. 2010. mechanical properties of wood, pp. 5-44. *In* **Forest Product Laboratory**, United States Department of Agriculture Forest Service,eds., Madison, Wisconsin, U.S.A.

Larson, P.R. 1994. **The Vascular Cambium: Development and Structure**. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

Lim, S.C., K.S. Gan and K.T. Choo. 2003. The characteristics, properties and uses of plantation timbers-rubberwood and *Acacia mangium*. **Timber Technol. Centre** 26: 1-11.

Matan, N. and B. Kyokong. 2003. Effect of moisture content on some physical and mechanical properties of juvenile rubberwood (*Hevea brasiliensis* muell. Arg.). **Songklanakarin J. Sci. Technol**. 25: 327-340.

Meyers, M.A., P.Y. Chen, A. Yu-min Lin and Y. Seki. 2008. Biological materials: structure and mechanical properties. **Progress in Materials Science** 53: 1-206.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Mohammed Raphy, K.M., E.V. Anoop, P. Aruna, V.V. Sheena and V. Ajayghosh. 2011. Provenance variation in wood chemical properties of *Acacia mangium* willd. and *Acacia auriculiformis* Cunn., grown in a wet humid site in Thrissur district of Kerala, South India. **J Indian Acad Wood Sci** 8 (2): 120-123.

Naji, H.R., M.H. Sahri, T. Nobuchi and E.S. Bakar. 2012. Clonal and planting density effects on some properties of rubber wood (*Hevea brasiliensis* muell. Arg.). **BioResources** 7 (1): 189-202.

Neimsuwan, T. and N. Laemsak. 2010. Anatomical and mechanical properties of the Bur-flower tree (*Anthocephalus chinensis*). **Kasetsart J**. (**Nat**. **Sci**.) 44: 353-363.

Niemz, P., T. Hofmann and T. Re'tfalvi. 2010. Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood. **Maderas** 12 (2): 69-78.

Norman, A.G. and S.H. Jenkins. 1933. A new method for the determination of cellulose, based upon observation on the removal of lignin and other encrusting materials. **Biochem**. **J**. 27: 2147-2159.

Obst, J.R. 1982. Guaiacyl and syringyl lignin composition in hardwood cell components. **Holzforschung** 36 (3): 143-153.

Pinto, P.C., D.V. Evtuguin and C.P. Neto. 2005. Chemical composition and structural features of the macromolecular components of plantation *Acacia mangium* wood. **J**. **Agric**. **Food Chem**. 53: 7856-7862.

Piquemal, J., C. Lapierre, K. myton, A. O'Connel, W. Sahuch, J. Grima-Pettenati and A.M. Boudet. 1998. Down-regulation of Cinnamyl-CoA Reductase induces significant changes of lignin profiles in transgenic tobacco plants. **The Plant J**. 13 (0): 101-113.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Reghu, C.P. 2011. Analysis of wood in *Hevea brasiliensis*: estimation and quantification of lignin bio-polymer and cell wall phenolics, pp. 1-7. *In* **IRRDB, International Rubber Conference**. 15-16 December 2011, Chiang mai, Thailand.

Rowell, R.M. 2005. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Taylor and Francis, New York.

Santos, R.B., E.A. Capanema, M.Y. Balakshin, H-M. Chang and H. Jameel. 2011. Effect of hardwoods characteristics on kraft pulping process: emphasis on lignin structure. **BioResources** 6 (4): 3623-3637.

Shukla, S.R., R.V. Rao, S. Shashikala, P. Kumar and S.K. Sharma. 2011. Wood quality variation in *Tectona grandis* (teak) clones from CSO raised at Maredumilli (Rajahmundry), Andhra Pradesh. **J Indian Acad Wood Sci** 8 (2): 116-119.

Sixta, H. 2006. **Handbook of Pulp**. Wiley-VCH, Verlag GmbH & Co. KgaA, Weinheim, Germany.

Sjostrom, E. 1981. **Wood Chemistry**. Academic Press, Inc., London.

_____. 1993. **Wood Chemistry Fundamentals and Applications**. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego.

Smook, G.A. 1992. **Handbook for Pulp and Paper Technologists**. 2nd ed. Angus Wilde Publication, Inc., Canada.

Stern, K.R. 1994. **Introductory Plant Biology**. Wm. C. Brown Communications, Inc., America.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sweet, M.S. and J.E. Winandy. 1999. Influence of degree of polymerization of cellulose and hemicelluloses on strength loss in fire-retardant-treated Southern pine. **Holzforschung** 53: 311-317.

TAPPI Standard T223 cm-84. 1984. **Pentosans in Wood and Pulp**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T203 om-88. 1988. **Alpha-, Beta- and gamma-Cellulose in Pulp**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T264 om-88. 1988. **Preparation of Wood for Chemical Analysis**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T204 om-88. 1988. **Solvent Extractives of Wood and Pulp**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T203 om-93. 1993. **Alpha-, Beta- and Gamma-Cellulose in Pulp**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T211 om-93. 1993. **Ash in Wood, Pulp, Paper and Paperboard: Combustion at 525 °C.**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T204 cm-97. 1997. **Solvent Extractives of Wood and Pulp**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T222 om-98. 1998. **Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

TAPPI Standard T212 om-98. 1998. **One Percent Sodium Hydroxide Solubility of Wood and Pulp**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

TAPPI Standard T429 cm-10. 2010. **Alpha-Cellulose in Paper**. The Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI Press, Atlanta, Georgia, U.S.A.

Teoh, Y.P., m.m. Don and S. Ujang. 2011. Assessment of the properties, utilization, and preservation of rubberwood (*Hevea brasiliensis*): a case study in Malaysia. **J Wood Sci** 57: 255-266.

U.S. Department of Agriculture Forest Service. 1999. **Wood Handbook**. USDA General Technical Report GTR-113, Madison, WI.

Ververis, C., K. Georghiou, N. Christodoulakis, P. Santas and R. Santas. 2004. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production. **Industrial Crops and Products** 19 (3): 245-254.

_____., K. Georghiou, D. Danielidis, D.G. Hatzinikolaou, P. Santas, R. Santas and V. Corleti. 2007. Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. **Bioresource Technology** 98: 296-301.

Wangaard, F.F. 1950. **The Mechanical Properties of Wood**. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Wang, Q., Q. Chen, P. Apaer, N. Kashiwagi, H. Kurokawa, K. Sugiyama, X. Wang and X. Guo. 2010. Liguefaction processes and characterization of liquefied products from waste woody materials in different acidic catalysts. **WIT Trans. on Ecol. and the Env**. 142: 343-354.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Wise, L.E. and E.C. Jahn. 1952. **Wood Chemistry**. Reinhold Publishing. Crop, New York.

Wright, W.E. 2008. Statistical evidence for exchange of oxygen isotopes in holocellulose during long-term storage. **Chemical Geology** 252 (2): 102-108.

Wu, G., Q. Lang, H. Chen and J. Pu. 2012. Physical and chemical performance of eucalyptus wood with impregnated chemicals. **BioResources** 7 (1): 816-826.

Zaki, J.A., S. Muhammed, A. Shafie and W.R.W. Daud. 2012. Chemical properties of juvenile latex timber clone rubberwood trees. **The Malaysian Journal of Analytical Sciences** 16 (3): 228-234.

Zobel, B.J. and J.P. Van Buijtenen. 1989. **Wood Variation Its Causes and Control.** Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.

_____. and J.B. Jett. 1995. **Genetics of Wood Production**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวจิรวัฒน์ ริยาพันธ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	23 มกราคม พ.ศ. 2528
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
ประวัติการทำงาน	-
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	งานวิจัยเรื่องคุณสมบัติของไม้ยางพาราเพื่อการคัดเลือกพันธุ์ยาง (ปีที่พิมพ์คือ 2555) ของวารสารยางพาราปีที่ 33 ฉบับที่ 3 หน้า 38-51
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์