คุณสมบัติและลักษณะโครงสร้างไม้ไผ่บางชนิด

The Properties and Anatomy of Some Bamboo Species

บุญส่ง สมเพาะ (BOUNGSONG SOMPOH)[1]

อนงคณี เรือนทิพย์ (ANONGKHANEE RUANTIP)[2]

บางรักษ์ เชษฐสิงห์ (BANGRAK CHADTHASING)[1]

เชาวลิตร วงศ์ศรีแก้ว (CHAOWALIT WONGSRIKAEW)[3]

ภัทร์สินี วงศ์ศรีแก้ว (PHUTSINEE WONGSRIKAEW)[3]

เทพประสิทธิ์ เทียวประสงค์ (THEPPRASIT THEOPRASONG)[3]

วรศิลป์ แอ๊วสกุลทอง (WORASIN AEWSAKULTHONG)[3]

บทคัดย่อ

การศึกษากลสมบัติ สกายสมบัติ และลักษณะทางโครงสร้างของไม้ไผ่ 4 ชนิด คือ ไผ่ซางหม่น ไผ่เลี้ยงหวาน ไผ่บงใหญ่ และไผ่หม่าจู๋ ผลการศึกษาพบว่า ไผ่ซางหม่น และไผ่บงใหญ่ มีค่าทางกลสมบัติสูงกว่าไผ่เลี้ยงหวาน และไผ่หม่าจู๋ ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของไผ่ทั้ง 4 ชนิด มีค่าที่สูงเมื่อเทียบกับไม้ทั่วไป ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะและความแน่นของไผ่ซางหม่นและไผ่บงใหญ่ มีค่าสูงกว่าไผ่เลี้ยงหวานและไผ่หม่าจู๋อย่างเห็นได้ชัด นอกจากนี้ได้ศึกษาลักษณะโครงสร้างของไผ่ทั้ง 4 ชนิด เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการตรวจพิสูจน์ชนิดไผ่ และสรุปได้ว่าไผ่ทั้ง 4 ชนิด มีคุณสมบัติและมีศักยภาพที่จะนำไปใช้ประโยชน์เช่นเดียวกับไม้ทั่วไป

คำหลัก : คุณสมบัติ, กลสมบัติ, สกายสมบัติ, ลักษณะโครงสร้าง, ไม้ไผ่, ไผ่ซางหม่น, ไผ่เลี้ยงหวาน, ไผ่บงใหญ่, ไผ่หม่าจู๋

[1] นักวิชาการป่าไม้ชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้

[2] นักวิชาการป่าไม้ปฏิบัติการ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้

[3] พนักงานราชการ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้

ABSTRACT

The mechanical properties, physical properties and wood anatomy of four bamboo species, *Dendrocalamus sericeus* Munro, *Bambusa* sp., *Dendrocalamus brandisii* Kurz and *Dendrocalamus latiflorus* Munro were studied. The result showed that mechanical properties of *D. sericeus* and *D. brandisii*' are higher than those of *Bambusa sp.* and *D. latiflorus*'s. Modulus of elasticity of four bamboo species higher than that of woods. However, The specific gravity and density of *D. sericeus* and *D. brandisii* are higher than those of *Bambusa* sp. and *D. latiflorus*. It can be conducted that those four bamboo species efficient potential to be utilized in the same as timber wood. Moreover, anatomical characteristics of those four bamboo species were studied can will be uses as data base for wood identification.

Keywords : properties, mechanical properties, physical properties, anatomy, bamboo, *Dendrocalamus sericeus* Munro, *Bambusa* sp., *Dendrocalamus brandisii* Kurz, *Dendrocalamus latiflorus* Munro

คำนำ

ไผ่จัดอยู่ในวงศ์หญ้า (Graminae) ไผ่ทั่วโลกมีอยู่ 77 สกุล 1,030 ชนิด สำหรับในประเทศไทย มีไผ่ขึ้นอยู่ 15 สกุล 82ชนิด (รุ่งนภาและคณะ, 2545) ไม้ไผ่เป็นไม้ที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์เป็นอย่างมาก ทั้งในรูปของอาหาร ผลิตภัณฑ์ เครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ตลอดจนสิ่งก่อสร้างต่างๆ ในส่วนของการใช้ประโยชน์เป็นสิ่งก่อสร้างนั้น ไม้ไผ่เป็นที่นิยมมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีลวดลายสวยงาม เนื้อแน่น ทนน้ำ ทนแดด มีความแข็งแรง ความเหนียวและยืดหยุ่นที่เหมาะกับทุกสภาพอากาศ จึงเป็นไม้ที่มีศักยภาพในการก่อสร้างเทียบเท่ากับไม้ทั่วไป สามารถนำไปทดแทนไม้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น ศาลากลางน้ำ กระท่อม บ้านพักอาศัย ตลอดจนโรงเรือนขนาดใหญ่ นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่เป็นเครื่องดนตรีชนิดต่างๆ เช่น ซอ ระนาด ขลุ่ย โหวด อังกะลุง แคน เป็นอาวุธสมัยโบราณ เช่น คันธนู ลูกธนู ลูกดอก กระบอง ตะพด เป็นสมุนไพรรักษาโรคต่างๆได้หลายโรค ส่วนประโยชน์ทางอ้อมนั้น ในบริเวณป่าไผ่หรือสวนป่าไผ่ ช่วยในการป้องกันความรุนแรงของลมพายุ ป้องกันการชะล้างดิน ทำให้อากาศไม่เย็นหรือร้อนเกินไป และยังเป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ต่างๆ จำพวกแมลงและนก

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษากลสมบัติ (mechanical properties) สกายสมบัติ (physical properties) ลักษณะโครงสร้าง (anatomy) ของไผ่ที่มีค่าทางเศรษฐกิจ เพื่อเป็นข้อมูลในการพิจารณาการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่ในรูปแบบต่างๆ ต่อไป โดยได้ทำการศึกษาในไผ่ 4 ชนิด คือ ไผ่ซางหม่น (*Dendrocalamus*

sericeus Munro) ไผ่เลี้ยงหวาน (*Bambusa* sp.) ไผ่บงใหญ่ (*Dendrocalamus brandisii* Kurz) และไผ่หม่าจู๋ (*Dendrocalamus latiflorus* Munro)

ไผ่ซางหม่น มักพบในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลที่มีอากาศเย็นและชื้นพอควร มีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติในอินเดีย พม่า บังคลาเทศ และไทย ในประเทศไทยพบทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันตกตามเทือกเขาต่างๆ ไผ่ซางหม่นมีลักษณะคล้ายไผ่ซาง (*D. strictus*) มาก (สะอาด, 2528) ไผ่ซางหม่นอาจจะมีความสูงถึง 18 เมตร และมีลำหนา กาบหุ้มลำเป็นร่องๆ ตามยาว ตามขอบมีขนหนา ยาว ผิวกาบมีขนแข็งขึ้นที่โคน ใบยอดกาบสั้น รูปสามเหลี่ยมมุมแหลม ใบเป็นรูปหอก (lanceolate) ขนาดยาว 1.8–2.5 ซม. โคนใบมักจะมัน เรียวทางก้านใบ ด้านบนใบจะสาก มีขนข้างหลังใบ ขอบใบคาย สาก เส้นกลางใบนูน ท้องใบเป็นมัน เส้นลายใบมักมี 6–7 คู่ กาบโคนใบมักเป็นร่อง ส่วนมากห่อ มีขนยาวตามก้านใบไปตลอดกาบ โคนก้านป้านพองและมีขน กระจังของขอบโคนใบแคบ มีขนยาวขอบหยัก ไผ่ซางหม่นสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้เช่นเดียวกับไผ่ซางทั่วไป เป็นไผ่ขนาดกลางๆ ผ่าง่าย ไม่มีหนาม ทน จึงใช้ประโยชน์ได้กว้างขวาง โดยใช้ทำเครื่องเรือนเครื่องใช้ต่างๆ ทำบวบล่องแพ หน่อใช้เป็นอาหารได้

ไผ่เลี้ยงหวาน เข้าใจว่าไผ่เลี้ยงมีถิ่นกำเนิดในจีนและญี่ปุ่น แต่เนื่องจากสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพอากาศได้ดี จึงมีการปลูกไผ่เลี้ยงอย่างแพร่หลายในเอเชียเขตร้อน เช่น อินเดีย พม่า ไทย มาเลเซีย สิงคโปร์ อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ (สะอาด, 2528) ในไทยนั้นมีไผ่เลี้ยงที่แตกต่างหลากหลาย คือไผ่เลี้ยงหวาน ไผ่เลี้ยงเล็ก และไผ่เลี้ยงใหญ่ ในส่วนของไผ่เลี้ยงหวานนั้น มีลักษณะพิเศษคือ หน่อเล็ก เนื้อละเอียด เนื้อในตัน (ประเชิญ, 2548) ไผ่เลี้ยงหวานมักขึ้นเป็นกอแน่น ใบเขียวตลอดปี มีความสูง 2–5 เมตร ลำมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1–3 ซม. ปล้องยาว 12–30 ซม. ข้อเห็นชัด กาบหุ้มลำเมื่ออ่อนสีเขียว เมื่อแก่ขึ้นสีออกเหลือง แข็งเหมือนหนัง ด้านนอกไม่มีขน ผิวกาบเป็นร่องเล็กๆ ขอบเรียว กาบยาว 10–15 ซม. กว้าง 5–8 ซม. ใบแยกเป็น 2 ชั้น (distichous) ใบยาว 6–20 ซม. กว้าง 1.0–1.2 ซม. ใบเป็นรูป linear–lanceolate โคนใบแคบเกือบกลม ปลายใบเรียวแหลม ใบด้านบนสีขาวไม่มีขน ด้านล่างมีขนอ่อน เส้นกลางใบด้านบนเป็นร่อง ด้านล่างนูนเป็นสัน ขอบใบสากคายและคม ใบเรียงสลับ ไผ่เลี้ยงใช้ประโยชน์ในการเป็นไม้ประดับ ปลูกเป็นรั้ว เครื่องจักสาน ส่วนหน่อรับประทานได้

ไผ่บงใหญ่ มีชื่อพื้นเมืองคือไผ่ซางเย็น (เชียงใหม่) ไผ่เปาะ มีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติใน พม่า ลาว เวียดนาม และไทย ในประเทศไทยมักพบทางภาคเหนือ ในป่าที่มีความชื้น ไผ่บงใหญ่มักขึ้นเป็นกอ สูงประมาณ 20–30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 12–20 ซม. ความยาวปล้อง 30–45 ซม. ลำมีสีเทาหรือสีเขียวอมเทา ข้อเห็นชัด กาบหุ้มลำคล้ายหนัง ด้านนอกมีขนสีน้ำตาลคลุมบางๆ กาบยาวถึง 60 ซม. กว้าง 30–40 ซม. สันกาบหุ้มลำเล็ก กระจังกาบแคบ ใบยอดกาบรูปหอกกว้างๆ โคนแคบ แผ่ตรงหรืองอพับ ด้านในไม่มีขน ใบเป็นรูป oblong–lanceolate ปลายใบเรียวแหลม โคนใบเกือบกลม ขนาดใบยาว 2.5–5.0 ซม. ด้านบนหรือหลังใบสีเขียวเข้ม ด้านท้องใบมีขนอ่อน เส้นกลางใบหนาใส เส้นแขนงใบมี 10–12 เส้น ปลาย vein เป็นเส้นฝอย ขอบใบสากและคม ก้านใบสั้น ไม่มีครีบใบ กระจังใบเห็นชัดในกิ่งอ่อน ปลายแหลมขนสั้น กาบหุ้มใบเมื่ออ่อนมีขนอ่อน

คลุม พอแก่ไม่มีขน ไผ่บงใหญ่เป็นไผ่ขนาดใหญ่ จึงใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างบ้านเรือนชั่วคราวได้ดี และยังใช้ประโยชน์เป็นเครื่องจักสาน เครื่องมือกสิกรรม หรืออุตสาหกรรมได้ หน่อใช้เป็นอาหารได้เช่นกัน

ไผ่หม่าจู๋ มีชื่ออื่นๆ ที่เรียกกันคือ ไผ่หวานอ่างขาง ไผ่ซางดำ ไผ่เขาควาย มีการกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติทางตอนใต้ของจีนและตอนเหนือของพม่า เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของไต้หวัน นำมาปลูกในประเทศไทยครั้งแรกในปี พ.ศ. 2529 ที่โครงการหลวงดอยอ่างขาง จังหวัดเชียงใหม่ ต่อมามีการนำไปปลูกได้ผลดีทั่วประเทศ (ประเชิญ, 2548) ไผ่หม่าจู๋มีลักษณะเหง้าเป็นกอ สูง 15–25 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8–12 ซม. ลำสีเขียวสด ไม่มีขน กาบขนาดกว้างยาว 25–30 ซม. สีน้ำตาลเข้มเมื่อแก่ มีขนแข็งสีดำปกคลุมบางๆ กระจังสูง 5 มม. หยักเป็นฟันเลื่อย ใบรูป oblong–lanceolate กว้าง โคนใบรูปกลม ก้านใบสั้น ส่วนบนไม่มีขนแต่ขรุขระ ขอบใบขรุขระ ใบยาว 15–25 ซม. กว้าง 3–8 ซม. เส้นกลางใบเป็นสันเด่น เส้นลายใบ 6–9 คู่ กาบใบเป็นร่องหรือแนวยาวๆ มีขนระหว่างแนวยาว ไผ่หม่าจู๋สามารถนำมาใช้ประโยชน์เกือบทุกส่วน หน่อสามารถนำมารับประทานได้ ทำเป็นส่วนผสมของกระเพาะปลา ทำหน่อไม้กระป๋อง ลำใช้ในงานก่อสร้างชั่วคราว เครื่องมือกสิกรรม ทำกระถาง ใบนำไปใช้ทำไวน์ได้ กาบมีขนาดใหญ่ส่งออกไปญี่ปุ่นผลิตเป็นกล่องโฟม (ประเชิญ, 2548)

คุณสมบัติไม้ แบ่งได้เป็นกลสมบัติ และสกายสมบัติ

กลสมบัติไม้ หมายถึง คุณสมบัติของไม้หรือวัตถุใดๆ ที่มีต่อน้ำหนักหรือแรงภายนอก (external force) ที่มากระทำ ความสามารถในการต่อต้านหรือรับรองแรงหรือน้ำหนักมากน้อยต่างกัน เรียกว่า ความแข็งแรง (strength) ความยากง่ายในการเสียรูป เรียกว่าความดื้อ (stiffness) ความสามารถรับพลังงานที่ทำให้ไม้เสียกำลังโดยสิ้นเชิงหรือที่ระดับใดๆ เรียกว่าความเหนียว (toughness) และความต่อต้านต่อการขีดข่วนเจาะไช เรียกว่าความแข็ง (hardness)

ในการทดสอบกลสมบัติของไม้ไผ่ จะมีการทดสอบแรงดัดสถิต (static bending) แรงอัด (compression) แรงเฉือน (shearing) และแรงดึง (tension)

การทดสอบแรงดัดสถิต ค่าต่างๆ ที่ได้จากการดัดคือ มอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture : MOR) เป็นค่าสัมประสิทธิ์ในการหัก หรือแรงประลัยในการดัด ซึ่งเป็นความเค้นที่รับน้ำหนักสูงสุดในการทดสอบแรงดัด ค่านี้ใช้ในการเปรียบเทียบความแข็งแรงของไม้ชนิดต่างๆ ความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูป (stress at proportional limit : r) เป็นค่าความเค้นที่เขตการได้สัดส่วน คือ เป็นความแข็งแรงของวัตถุที่สามารถรับน้ำหนักในระดับนี้ตลอดไป มอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity : MOE) หรือความแข็งตึง เป็นค่าที่บอกความสามารถของไม้ในการต้านทานการเสียรูป (การโก่ง, การแอ่นตัว) ต่อแรงที่กระทำ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการยืดหยุ่น และชี้ความดื้อ หรือความแข็งตึงของไม้

แรงอัด ในกรณีการทดสอบไม้ไผ่ เป็นการทดสอบแรงอัดขนานเสี้ยน หรือค่าความเค้นที่เกิดจากการอัดทางปลายไม้

แรงเฉือน เป็นค่าความต้านทานของไม้ ในการทำไม้ชิ้นไม้ส่วนหนึ่ง เคลื่อนออกจากส่วนที่อยู่ติดกัน

แรงดึง เป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดในการดึงชิ้นไม้ให้ขาดออกจากกัน ในกรณีของการทดสอบไม้ไผ่เป็นการทดสอบแรงดึงขนานเสี้ยน

Thaipetch and Sompoh (2004) รายงานว่าไม้ไผ่ 5 ชนิดในประเทศไทย คือ ไผ่ตง (*Dendrocalamus asper* Backer) ไผ่สีสุก (*Bambusa blumeana* Scultes) ไผ่ซาง (*Dendrocalamus stirictus* Nees.) ไผ่ไร่ (*Gigantochloa albeciliata* Munro.) และไผ่เลี้ยง (*Bambusa sp.*) มีค่าความแข็งแรงดัดเท่ากับ 84, 92, 83, 117 และ 81 เมกะปาสคาล ตามลำดับ

สกายสมบัติของไม้ หมายถึง คุณลักษณะ (characteristic) และพฤติกรรมของไม้ต่ออิทธิพลภายนอก นอกเหนือจากแรงต่างๆ (Winandy, 1994) เช่นการยืดหดตัว ปริมาณความชื้น ความแน่น ความถ่วงจำเพาะ คุณสมบัติที่มีต่อความร้อน ไฟ การนำไฟฟ้า ความทนทาน เป็นต้น

ลักษณะโครงสร้างภายในเนื้อไม้ แบ่งได้เป็นลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้อย่างหยาบ เป็นลักษณะโครงสร้างของเนื้อที่เห็นได้ด้วยเลนส์ขยาย (hand lens) ได้แก่ ด้านหน้าตัด ด้านรัศมี ด้านสัมผัส วงปี แก่นกระพี้ ความละเอียดของเนื้อไม้ และเสี้ยนไม้ เป็นต้น และการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพอย่างหยาบ ส่วนลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้อย่างละเอียด คือลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคของเนื้อไม้ (wood anatomy) เป็นลักษณะโครงสร้างของเนื้อไม้ที่เห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (microscope) ได้แก่ ชนิด ขนาด จำนวนของเซลล์ การเรียงตัว การกระจาย การทำหน้าที่ต่างๆของเซลล์ ตลอดจนการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ ความแข็งแรงของโมเลกุลเซลลูโลส และการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพอย่างละเอียด

วิรัช (2528) สรุปว่าลักษณะโครงสร้างของไม้ไผ่ แตกต่างจากลักษณะโครงสร้างของไม้ใบกว้างและไม้ในตระกูลสน เนื่องจากไม้ไผ่ประกอบด้วยมัดท่อน้ำ ท่ออาหาร กระจายอยู่ในพาเรงคิมาเป็นเนื้อเยื่อพื้น และประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงตัวตามยาวล้วนๆ ไม่มีเซลล์ที่เรียงตัวตามขวางหรือเซลล์รัศมีเลย มัดท่ออาหารซึ่งประกอบด้วยกลุ่มไฟเบอร์เป็นส่วนใหญ่ มีขนาดและจำนวนแปรผันไปตามความหนาของผนังปล้อง กล่าวคือจะมีขนาดเล็กและจำนวนมากในส่วนนอกของผนังปล้อง และค่อยๆเปลี่ยนไปในส่วนกลางและส่วนในผนังปล้อง ผนังของไฟเบอร์มีลักษณะเป็นชั้น โดยที่จำนวนชั้นและความหนาของชั้นจะแตกต่างกันออกไปโดยไม่มีรูปแบบที่แน่นอน มุมของไฟบริคที่เรียงตัวในชั้นต่างๆ จะแตกต่างกันไปโดยชั้น บางทีจะเรียงตัวเกือบตั้งฉากกับแกนของเซลล์ แต่ชั้นหนาเรียงเกือบขนานกับแกนของเซลล์ สำหรับเซลล์ชนิดอื่น ส่วนใหญ่ก็มีผนังเป็นชั้นเช่นเดียวกัน แต่จำนวนชั้นและความหนาของชั้นแตกต่างกับของไฟเบอร์

วิธีการศึกษา

อุปกรณ์การศึกษาครั้งนี้คือ เครื่องทดสอบกำลังไม้ Testometric รุ่น MICO 500 ขนาด 30 ตัน ของงานคุณสมบัติและวิศวกรรมโครงสร้างไม้ กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ และเครื่องทดสอบ GENIUS OLSEN model AD RECORDER ขนาด 200 ตัน ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตู้อบไม้ เครื่องชั่งดิจิตอล ขนาด 240 กรัม, เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ กล้องจุลทรรศน์ รุ่น DX51 .เครื่องตัดชิ้นไม้บาง (sliding microtome) พร้อมมีดสำหรับใช้กับเครื่องตัดชิ้นไม้บาง แผ่นสไลด์ cover glasses พร้อมอุปกรณ์ในการจัดทำสไลด์ เลื่อยมือ สำหรับเตรียมชิ้นตัวอย่างไม้ให้ได้ขนาดตามความต้องการ. สีย้อม Safanin-o

การเก็บตัวอย่าง

1. ไผ่ซางหม่น อายุ 3 ปีขึ้นไป จากสวนป่าเอกชน ตำบลช่อแล อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ พิกัดเส้นรุ้ง 19° 09′ เหนือ เส้นแวง 99° 01′ ตะวันออก ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 350 เมตร

2. ไผ่เลี้ยงหวาน อายุ 3 ปีขึ้นไป จากสวนป่าเอกชน แขวงบางบอน เขตบางบอน กรุงเทพมหานคร พิกัดเส้นรุ้ง 13° 40′ เหนือ เส้นแวง 100° 23′ ตะวันออก ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1 เมตร

3. ไผ่บงใหญ่ และไผ่หม่าจู๋ อายุ 3 ปีขึ้นไป จากสวนป่าเอกชน ตำบลหนองลู อำเภอสังขละบุรี จังหวัดกาญจนบุรี พิกัดเส้นรุ้ง 15° 09′ เหนือ เส้นแวง 98° 21′ ตะวันออก ความสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 200 เมตร

โดยตัวอย่างไผ่ซางหม่นและไผ่เลี้ยงหวาน นำมาเก็บและแปรรูปตัวอย่างไม้ที่สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้ ส่วนตัวอย่างไผ่บงใหญ่และไผ่หม่าจู๋ นำมาเก็บและแปรรูปตัวอย่างไม้ที่ศูนย์ส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์ไม้ขนาดเล็กและของป่าจังหวัดราชบุรี ทั้งในสภาพสดหรือเปียก และสภาพแห้ง โดยแปรรูปตัวอย่างให้ได้จำนวนและขนาด เพื่อทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน ISO 22157-2 : 2004

การเตรียมตัวอย่างไม้ไผ่

ทำการเตรียมตัวอย่างทั้งในสภาพสดและสภาพแห้ง สำหรับไผ่ซางหม่นแบ่งการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนโคน (bottom part : B) ส่วนกลาง (middle part : M) และส่วนปลาย (top part : T) ไผ่บงใหญ่แบ่งตัวอย่างเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโคนกับส่วนปลาย ส่วนไผ่เลี้ยงหวานและไผ่หม่าจู๋ทำการทดสอบเพียงส่วนเดียว เนื่องจากไผ่ทั้ง 2 ชนิดดังกล่าว มีจำนวนปล้องในแต่ละลำน้อยเกินไปสำหรับการแบ่งตัวอย่างการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนได้

การทดสอบกลสมบัติไม้

1. การทดสอบแรงดัดสถิต (static bending strength) ตามมาตรฐาน ISO 22157–2 : 2004 (Bamboo–Determination of Physical and Mechanical Properties) โดยใช้เครื่องทดสอบ GENIUS OLSEN model AD RECORDER ขนาด 200 ตัน สำหรับตัวอย่างไผ่ซางหม่น ไผ่บงใหญ่ และไผ่หม่าจู๋ ซึ่งเป็นไผ่ที่มีขนาดใหญ่ และเครื่องทดสอบกำลังไม้ Testometric รุ่น MICO 500 ขนาด 30 ตัน สำหรับตัวอย่างไผ่เลี้ยงหวาน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า โดยเตรียมตัวอย่างให้มีขนาดความยาวไม่น้อยกว่า 30 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง โดยวิธีการทดสอบแบบให้น้ำหนัก 4 จุด (four point loading) โดยใช้ความเร็วน้ำหนักกดเฉลี่ย 0.254 ซม./นาที บันทึกการเสียรูปโดยการอ่าน dial gauge จะได้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกับการเสียรูป นำไปหาค่าความแข็งแรง ความเค้นที่จำกัดคืนรูป และมอดุลัสยืดหยุ่น

2. การทดสอบแรงเฉือน (shearing) โดยการเตรียมตัวอย่างทั้งแบบข้อและแบบปล้อง ทำการเตรียมตัวอย่างให้มีขนาดความยาวของตัวอย่างเท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง แต่ถ้าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ≤ 20 มม. ให้มีขนาดตัวอย่างยาวเป็น 2 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (l = 2D) วัดขนาดตัวอย่างแล้วนำมาทดสอบกำลังไม้ Testometric รุ่น MICO 500 ขนาด 30 ตัน จนได้ค่าแรงสูงสุด นำมาหาค่าแรงเฉือน

3. การทดสอบแรงอัด (compression) เตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดสอบแรงเฉือน แต่ทดสอบเฉพาะส่วนที่เป็นปล้องเท่านั้น ทดสอบกับเครื่อง Testometric รุ่น MICO 500 ขนาด 30 ตัน จนได้ค่าแรงสูงสุด

4. การทดสอบแรงดึง (tension) เตรียมตัวอย่างโดยใช้ด้านที่รับแรงดึงติดกับข้อ ขนาดกว่า 10–20 มม. ยาว 50–100 มม. นำมาทดสอบกับเครื่องทดสอบ GENIUS OLSEN model AB RECORDER ขนาด 200 ตัน จับปลายทั้งสองด้านขอตัวอย่าง อ่านค่าแรงสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างขาดจากกัน นำมาหาค่าแรงดึง

การทดสอบสกายสมบัติของไผ่

1. การหดตัว (shrinkage) และปริมาณความชื้น (moisture content) โดยการเตรียมตัวอย่างในส่วนของปล้องที่สมบูรณ์ปราศจากตำหนิ ทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (outer diameter) 4 จุด ความหนา (wall thickness) 4 จุด ความยาว (length) 2 จุด และทำการคำนวนหาปริมาตรในแต่ละชิ้น โดยทำการชั่งและวัดในสถานที่และเวลาเดียวกันเรื่อยๆ จนกว่าตัวอย่างจะแห้งลงตามสภาพอากาศภายนอก หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปอบในตู้อบไม้ที่อุณหภูมิ 103±2°ซ จนอยู่ในสภาพแห้ง ทำการชั่งน้ำหนัก วัดขนาดต่างๆ อีกครั้ง นำไปทำการหาค่าการหดตัวและปริมาณความชื้น

2. ค่าความชื้นที่จุดหมาด (fiber saturation point) หาได้จากการพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น กับการหดตัวด้านความหนา (ดัดแปลงจาก พงศ์และคณะ, 2517)

3. ความแน่น (density) หรือ มวลต่อปริมาตร (mass by volume) หาได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลกับปริมาตร

4. ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) หาได้จากอัตราส่วนระหว่างความแน่นของชิ้นตัวอย่างต่อความแน่นของน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 4°ซ

การศึกษาลักษณะโครงสร้างไม้ไผ่

เตรียมตัวอย่างไม้ไผ่ทั้ง 4 ชนิด (ไผ่ซางหม่น ไผ่เลี้ยงหวาน ไผ่บงใหญ่ และไผ่หม่าจู๋) ขนาดประมาณ 2x2 ซม.x ความหนาของตัวอย่างไม้ ชนิดละ 2 ชิ้น แช่ด้วยน้ำเปล่า จนเนื้อไม้อ่อนตัว ตัดเนื้อเยื่อด้านตัดขวาง (cross-section) โดยใช้เครื่องตัดชิ้นไม้บาง ที่ความหนาประมาณ 20-30 ไมครอน ย้อมสีแดงด้วย Safanin-o จัดทำสไลด์ชั่วคราว ชนิดละ 3 สไลด์ เพื่อศึกษาลักษณะมัดท่อลำเลียง (vascular bundle) ของไม้ไผ่ นอกจากนี้ทำการถ่ายภาพหน้าตัด ของตัวอย่างไม้ไผ่ทั้ง 4 ชนิด เพื่อศึกษาการกระจายตัวของมัดท่อลำเลียงต่อไป

ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะโครงสร้างไม้ไผ่จำนวน 4 ชนิด คือ ไผ่ซางหม่น ไผ่เลี้ยงหวาน ไผ่บงใหญ่ และไผ่หม่าจู๋ ได้ผลการศึกษาดังนี้ (Table 1-3) และ Figure 1-8)

ไผ่ซางหม่น

ผลการศึกษากลสมบัติ (Table 1-2)

1. มอดุลัสแตกร้าว ตัวอย่างไผ่จากส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีค่ามอดุลัสแตกร้าวในสภาวะแห้งเท่ากับ 96.2, 85.7 และ 84.2 เมกะปาสคาล หรือ 981, 874 และ 858 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนค่ามอดุลัสแตกร้าวในสภาวะเปียกในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย เท่ากับ 85.9, 82.4 และ 71.0 เมกะปาสคาล หรือ 876, 874 และ 724 กก/ซม^2 ตามลำดับ ซึ่งถ้าเทียบกับการแบ่งประเภทไม้เนื้อแข็งของกรมป่าไม้ (ณรงค์ และคณะ, 2528) แล้ว ไผ่ซางหม่นจัดอยู่ในกลุ่มไม้เนื้อแข็งปานกลางคือ มีค่าความแข็งแรงระหว่าง 60-100 เมกะปาสคาล หรือ 600-1,000 กก/ซม^2

2. ความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูป ในสภาวะแห้งของไผ่ซางหม่นส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีค่าเท่ากับ 52.0, 47.0 และ 58.1 เมกะปาสคาล หรือ 530, 479 และ 593 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนในสภาวะเปียกส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีค่าเท่ากับ 60.8, 47.4 และ 47.4 เมกะปาสคาล หรือ 620, 483 และ 483 กก/ซม^2 ตามลำดับ อัตราส่วนของความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูปกับค่ามอดุลัสแตกร้าว (r/MOR) ประมาณ 55-70 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นว่าไผ่ซางหม่นมีช่วงการยืดหยุ่น (elastic range) ปานกลางถึงค่อนข้างสูง

3. มอดุลัสยืดหยุ่น ในสภาวะแห้งของไผ่ซางหม่น ที่ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีค่าเท่ากับ 9,720, 10,900 และ 12,400 เมกะปาสคาล หรือ 99,200, 110,900 และ 126,200 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนค่าดังกล่าวของไผ่ซางหม่นส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายในสภาวะเปียกเท่ากับ 6,540, 15,600 และ 18,400

เมกะปาสคาล หรือ 66,900, 159,600 และ 187,300 กก/ซม^2 ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างค่ามอดุลัสยืดหยุ่นกับค่ามอดุลัสแตกร้าว (MOE/MOR) ของไม้ทั่วไปจะมีค่าประมาณ 100 ซึ่งค่าดังกล่าวของไผ่ซางหม่นส่วนล่างมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่า 100 ส่วนไผ่ซางหม่นส่วนกลางและส่วนปลาย มีค่าดังกล่าวประมาณ 250 ซึ่งถือว่ามีค่าสูงมากๆ แสดงให้เห็นว่าไผ่ซางหม่นมีความแข็งตึง หรือความต้านทานในการเสียรูปที่สูง

4. แรงเฉือน ในส่วนที่ติดข้อ (node) นั้น ไผ่ซางหม่นส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายในสภาวะแห้งมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 7.70, 9.18 และ 9.69 เมกะปาสคาล หรือ 78.5, 93.6 และ 98.8 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนในสภาวะเปียกมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 7.78, 8.99 และ 9.56 เมกะปาสคาล หรือ 79.3, 91.7 และ 97.5 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนไผ่ซางหม่นในส่วนที่เป็นปล้อง (internode) มีค่าแรงเฉือนในสภาวะแห้งส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายเท่ากับ 8.37, 8.27 และ 8.89 เมกะปาสคาล หรือ 85.3, 84.3 และ 90.6 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนในสภาวะเปียกมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 7.98, 9.28 และ 9.41 เมกะปาสคาล หรือ 81.4, 94.6 และ 96.0 กก/ซม^2 ตามลำดับ

5. แรงอัด โดยในส่วนของปล้องในสภาวะแห้ง ไผ่ซางหม่นมีค่าแรงอัดที่ส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายเท่ากับ 52.6, 54.0 และ 54.1 เมกะปาสคาล หรือ 537, 550 และ 551 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนในสภาวะเปียก มีค่าแรงอัดในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายเท่ากับ 44.9, 51.0 และ 51.5 เมกะปาสคาล หรือ 458, 521 และ 526 กก/ซม^2 ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่า ในส่วนต่างๆ ค่าแรงอัดจะไม่แตกต่างกันมาก แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากส่วนโคนขึ้นมาส่วนปลาย

6. แรงดึง โดยทำการศึกษาในส่วนของข้อ (node) ค่าแรงดึงในสภาวะแห้งของไผ่ซางหม่นในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลายเท่ากับ 172, 130 และ 125 เมกะปาสคาล หรือ 1,758, 1,325 และ 1,271 กก/ซม^2 ตามลำดับ ในสภาวะเปียกมีค่าแรงดึงเท่ากับ 88.0, 104 และ 125 เมกะปาสคาล หรือ 897, 1,064 และ 1,275 กก/ซม^2 ตามลำดับ ค่าแรงดึงจะมีค่าใกล้เคียงหรือสูงกว่าค่าแรงดัด (มอดุลัสแตกร้าว) การทดสอบแรงดึงในไผ่จะทดสอบในส่วนของข้อเท่านั้น เนื่องจากในส่วนปล้องจะมีค่าแรงดึงที่สูงมาก และการทดสอบอาจล้มเหลวได้

ผลการศึกษาค่าสกายสมบัติ (Table 3)

1. การหดตัว ไผ่ซางหม่นส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีการหดตัวจากสภาวะสดจนถึงสภาวะอบแห้งในด้านต่างๆ ตามลำดับ ดังนี้ การหดตัวด้านความหนาเท่ากับ 4.36, 2.01 และ 3.18 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวด้านความยาวเท่ากับ 0.08, 0.02 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวด้านเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 2.75, 1.72 และ 1.55 เปอร์เซ็นต์ และการหดตัวด้านปริมาตรเท่ากับ 6.67, 2.35 และ 4.59 เปอร์เซ็นต์ เป็นที่น่าสังเกตว่า ส่วนกลางของลำไผ่มีการหดตัวด้านต่างๆ น้อยกว่าส่วนอื่นๆ

2. ความถ่วงจำเพาะ ไผ่ซางหม่นส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.803, 0.830 และ 0.839 ตามลำดับ ไผ่ซางหม่นมีค่าความถ่วงจำเพาะปานกลาง และค่าดังกล่าวมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อยจากส่วนโคนสู่ส่วนปลาย

3. ความแน่นในสภาวะแห้ง ของไผ่ซางหม่นส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย เท่ากับ 940, 935 และ 919 กก/ม^3 ตามลำดับ

4. ความชื้นที่จุดหมาด ในไผ่ซางหม่นมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 21, 18 และ 23 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย ตามลำดับ

5. ขนาดต่างๆของลำไผ่ ไผ่ซางหม่นมีขนาดต่างๆของลำในส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย ตามลำดับดังนี้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำภายนอกเท่ากับ 94.7, 88.5 และ 72.2 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางลำภายในเท่ากับ 65.8, 72.2 และ 59.9 มม. และความหนาของลำเท่ากับ 14.5, 8.16 และ 6.16 มม. ไผ่ซางหม่นนับเป็นไผ่ที่มีขนาดกลางถึงค่อนข้างใหญ่

ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง

ไผ่ซางหม่นมีมัดท่อลำเลียง (vascular bundle) มีลักษณะแบ่งเป็นสองส่วน คือ มัดท่อลำเลียงกลาง (central vascular bundle) และมีเนื้อเยื่อที่แยกจากมัดท่อลำเลียงกลาง (Figure 1–2)

ไผ่เลี้ยงหวาน

ผลการศึกษากลสมบัติ

1. มอดุลัสแตกร้าว ไผ่เลี้ยงหวานมีค่ามอดุลัสแตกร้าวในสภาวะแห้งและเปียกเท่ากับ 56.3 และ 50.1 เมกะปาสคาล หรือ 574 และ 512 กก/ซม^2 ตามลำดับ จะเห็นว่าไผ่เลี้ยงหวานมีค่ามอดุลัสแตกร้าวซึ่งเป็นค่าความแข็งแรงต่ำกว่า 60 เมกะปาสคาล หรือประมาณ 600 กก/ซม^2 ซึ่งอยู่ในกลุ่มไม้ที่มีความแข็งแรงต่ำกว่ามาตรฐานกรมป่าไม้ (สุชาติ และคณะ. 2547)

2. ความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูป ในสภาวะแห้งและเปียก มีค่าดังกล่าวเท่ากับ 42.4 และ 39.4 เมกะปาสคาล หรือ 433 และ 401 กก/ซม^2 ตามลำดับ ถึงแม้จะมีค่าค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อเทียบกับค่ามอดุลัสแตกร้าวแล้ว มีค่าประมาณ 70–80 เปอร์เซ็นต์ จึงถือว่ามีช่วงการยืดหยุ่นสูง

3. มอดุลัสยืดหยุ่น ในสภาวะแห้งและเปียก ไผ่เลี้ยงหวานมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 13,000 และ 14,300 เมกะปาสคาล หรือ 132,200 และ 145,700 กก/ซม^2 ตามลำดับ ค่า MOE/MOR ประมาณ 250–300 จึงถือว่าไผ่เลี้ยงหวานมีค่าความดื้อหรือความแข็งตึงที่สูงมาก

4. แรงเฉือน ไผ่เลี้ยงหวานในส่วนที่ติดข้อ มีค่าแรงเฉือนในสภาวะแห้งและเปียกเท่ากับ 5.54 และ 5.49 เมกะปาสคาล หรือ 56.5 และ 56.0 กก/ซม^2 และส่วนที่เป็นปล้อง มีค่าแรงเฉือนในสภาวะดังกล่าวเท่ากับ 5.94 และ 5.53 เมกะปาสคาล หรือ 60.6 และ 56.4 กก/ซม^2 ตามลำดับ ค่าแรงเฉือนของไผ่เลี้ยงหวานส่วนติดข้อและส่วนที่เป็นปล้องมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องมาจากการที่ไผ่เลี้ยงหวานมีความหนาของเนื้อไม้มาก ข้อจึงไม่มีผลต่อค่าแรงเฉือนมากนัก

5. แรงอัด ในสภาวะแห้งและเปียก ไผ่เลี้ยงหวานมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 40.1 และ 33.1 เมกะปาสคาล หรือ 409 และ 338 กก/ซม^2 ตามลำดับ

สำหรับการทดสอบแรงดึงนั้น ไม่ได้ทำการทดสอบ เนื่องจากไผ่เลี้ยงหวานมีขนาดลำเล็ก และมีปล้องหนา ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานในการเตรียมตัวอย่าง

ผลการศึกษาสกายสมบัติ

1. การหดตัว ไผ่เลี้ยงหวานมีการหดตัวในสภาวะสดจนถึงสภาวะอบแห้ง ในด้านความหนา ความยาว เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก และด้านปริมาตรเท่ากับ 4.92, 0.25, 2.37 และ 5.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นว่ามีการหดตัวด้านความหนาสูง เนื่องจากไผ่เลี้ยงหวานมีความหนาของลำมาก

2. ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.529 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ

3. ความแน่น ในสภาวะแห้งเท่ากับ 586 กก/ม^3 จะเห็นว่าไผ่เลี้ยงหวานมีน้ำหนักค่อนข้างเบา

4. ความชื้นที่จุดหมาด มีค่าประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์

5. ขนาดต่างๆของลำไผ่ ไผ่เลี้ยงหวานมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายในลำ และความหนาของลำเฉลี่ยเท่ากับ 27.8, 5.31 และ 11.2 มม. ตามลำดับ ไผ่เลี้ยงหวานมีขนาดความหนาของเนื้อไม้มาก ทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในต่ำ นั่นคือเป็นไผ่ที่มีเนื้อหนา และช่องว่างภายในลำน้อย คือเกือบจะเป็นไผ่ลำตันนั่นเอง

ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง

ไผ่เลี้ยงหวานมีมัดท่อลำเลียง แบ่งเป็นสามส่วน คือ มัดท่อลำเลียงกลาง และมีเนื้อเยื่อที่แยกจากมัดท่อลำเลียงกลาง อีก2 กลุ่ม (Figure 3–4)

ไผ่บงใหญ่

ผลการศึกษาค่ากลสมบัติ

1. มอดุลัสแตกร้าว ในส่วนโคน และส่วนปลายของลำไผ่บงใหญ่ มีค่ามอดุลัสแตกร้าวในสภาวะแห้งเท่ากับ 102 และ 108 เมกะปาสคาล หรือ 1,038 และ 1,097 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนในสภาวะเปียก ไผ่บงใหญ่ส่วนโคน และส่วนปลายมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 87.4 และ 71.5 เมกะปาสคาล หรือ 892 และ 729 กก/ซม^2 ตามลำดับ ไผ่บงใหญ่มีค่าความแข็งแรงเทียบเท่าไม้เนื้อแข็งตามมาตรฐานกรมป่าไม้ นั่นคือมีค่าความแข็งแรงตั้งแต่ 100 เมกะปาสคาล หรือ 1,000 กก/ซม^2 ขึ้นไป (สุชาติ และคณะ, 2547)

2. ความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูป ไผ่บงใหญ่ส่วนโคน และส่วนปลายมีค่าความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูปในสภาวะแห้งเท่ากับ 27.5 และ 54.5 เมกะปาสคาล หรือ 280 และ 556 กก/ซม^2 ตามลำดับ ขณะที่ค่าดังกล่าวที่

ส่วนโคน และส่วนปลายในสภาวะเปียกเท่ากับ 34.5 และ 25.3 เมกะปาสคาล หรือ 352 และ 258 กก/ซม^2 ตามลำดับ ค่านี้เมื่อเทียบกับค่ามอดุลัสแตกร้าวแล้ว พบว่าต่ำมากประมาณ 25–50 เปอร์เซ็นต์ ไผ่บงใหญ่จึงมีช่วงการยืดหยุ่นที่ต่ำ และช่วงการอ่อนตัว (plastic range) ที่ยาว

3. มอดุลัสยืดหยุ่น ในสภาวะแห้งไผ่บงใหญ่ส่วนโคนและส่วนปลายมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 27,800 และ 27.900 เมกะปาสคาล หรือ 283,400 และ 284,600 กก/ซม^2 ตามลำดับ และในสภาพเปียกมีค่ามอดุลัสยืดหยุ่นที่ส่วนโคน และส่วนปลายเท่ากับ 26,400 และ 15,200 เมกะปาสคาล หรือ 268,700 และ 154,400 กก/ซม^2 ตามลำดับ ไผ่บงใหญ่มีค่าความแข็งตึงหรือความดื้อที่สูง

4. แรงเฉือน ไผ่บงใหญ่บริเวณข้อในสภาพแห้ง มีค่าแรงเฉือนของลำเฉลี่ย 8.07 และ 8,42 เมกะปาสคาล หรือ 82.3 และ 85.9 กก/ซม^2 ในส่วนโคน และส่วนปลาย ตามลำดับ ส่วนในสภาวะเปียก มีค่าแรงเฉือนเฉลี่ย 6.60 และ 6.07 เมกะปาสคาล หรือ 67.3 และ 61.9 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนในบริเวณปล้อง ไผ่บงใหญ่มีค่าแรงเฉือนในส่วนโคน และส่วนปลายที่สภาวะแห้งแล้วเฉลี่ย 6.92 และ 6.98 เมกะปาสคาล หรือ 70.5 และ 71.1 กก/ซม^2 ตามลำดับ และในสภาวะเปียกมีค่าแรงเฉือนเท่ากับ 5.99 และ 5.64 เมกะปาสคาล หรือ 61.1 และ 57.5 กก/ซม^2 ตามลำดับ ค่าแรงเฉือนของไผ่บงใหญ่ในส่วนของข้อ มีค่าที่สูงกว่าส่วนของปล้องเล็กน้อย

5. แรงอัด ไผ่บงใหญ่ในสภาวะแห้งมีค่าแรงอัดส่วนโคน และส่วนปลายของลำเฉลี่ย 56.8 และ 62.1 เมกะปาสคาล หรือ 580 และ 633 กก/ซม^2 ตามลำดับ ในสภาวะเปียกมีค่าดังกล่าวเท่ากับ 46.2 และ 54.7 เมกะปาสคาล หรือ 471 และ 558 กก/ซม^2 ตามลำดับ ค่าแรงอัดของไผ่บงใหญ่ส่วนโคนจะมี่ค่าสูงกว่าส่วนปลาย และมีค่าใกล้เคียงกับไผ่ซางหม่น

6. แรงดึง ในส่วนโคน และส่วนปลายในสภาวะแห้ง ไผ่บงใหญ่มีค่าแรงดึงเฉลี่ย 132 และ 159 เมกะปาสคาล หรือ 1,343 และ 1,619 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนในสภาวะเปียก ไผ่บงใหญ่มีค่าแรงดึงดังกล่าวเฉลี่ย 86.3 และ 112 เมกะปาสคาล หรือ 882 และ 1,144 กก/ซม^2 ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าสกายสมบัติ

1. การหดตัว ไผ่บงใหญ่ที่ส่วนโคน และส่วนปลายของลำ มีค่าการหดตัวในด้านต่างๆจากสภาวะสดจนถึงสภาวะอบแห้งตามลำดับคือ การหดตัวด้านความหนาของลำเฉลี่ย 4.40 และ 1.64 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวด้านความยาวเฉลี่ย 0.09 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ การหดตัวด้านเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 2.99 และ 0.63 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการหดตัวด้านปริมาตรเท่ากับ 7.08 และ 2.29 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การหดตัวด้านต่างๆของไผ่ส่วนล่างจะสูงกว่าไผ่ส่วนบนมากอย่างเห็นได้ชัด

2. ความถ่วงจำเพาะ ไผ่บงใหญ่ที่ส่วนโคน และส่วนปลาย มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 0.830 และ 0.887 ตามลำดับ

3. ความแน่น ในสภาวะแห้ง ไผ่บงใหญ่ส่วนโคน และส่วนปลาย มีค่าความแน่นเท่ากับ 950 และ 1,002 กก/ม^3 ตามลำดับ ไผ่บงใหญ่เป็นไผ่ที่มีน้ำหนักค่อนข้างมาก

4. ความชื้นที่จุดหมาด ของไผ่บงใหญ่เฉลี่ย 19 และ 21 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนโคน และส่วนปลาย ตามลำดับ

5. ขนาดต่างๆของลำไผ่ ไผ่บงใหญ่มีขนาดต่างๆ ในส่วนโคน และส่วนปลายเรียงตามลำดับคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ย 84.0 และ 64.6 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในลำเฉลี่ย 53.3 และ 51.3 มม. ส่วนขนาดความหนาของลำไผ่เฉลี่ยเท่ากับ 15.7 และ 6.67 มม. ไผ่บงใหญ่เป็นไผ่ที่มีขนาดของลำขนาดใหญ่เช่นเดียวกับไผ่ซางหม่น

ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง

ไผ่บงใหญ่มีมัดท่อลำเลียง มีลักษณะแบ่งเป็นสองส่วน คือ มัดท่อลำเลียงกลาง และมีเนื้อเยื่อที่แยกจากมัดท่อลำเลียงกลาง (Figure 5-6)

ไผ่หม่าจู๋

ผลการศึกษาค่ากลสมบัติ

1. มอดุลัสแตกร้าว ไผ่หม่าจู๋มีค่ามอดุลัสแตกร้าวในสภาวะแห้งและเปียกเฉลี่ยเท่ากับ 52.2 และ 51.5 เมกะปาสคาล หรือ 532 และ 525 กก/ซม^2 ตามลำดับ ไผ่หม่าจู๋มีค่าความแข็งแรงใกล้เคียงกับไผ่เลี้ยงหวาน จากตัวเลขดังกล่าว กล่าวได้ว่าไผ่หม่าจู๋เป็นไผ่ที่มีความแข็งแรงในเกณฑ์ต่ำ

2. ความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูป ไผ่หม่าจู๋มีค่าความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูปในสภาวะแห้งและสภาวะเปียกเฉลี่ยเท่ากับ 27.9 และ 40.9 เมกะปาสคาล หรือ 284 และ 419 กก/ซม^2 ตามลำดับ แนวโน้มของค่าความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูปของไผ่หม่าจู๋อยู่ในทิศทางเดียวกับไผ่เลี้ยงหวาน

3. มอดุลัสยืดหยุ่น ไผ่หม่าจู๋มีค่ามอดุลัสยืดหยุ่น ในสภาวะแห้งและเปียกเท่ากับ 19,700 และ 12,200 เมกะปาสคาล หรือ 201,200 และ 124,200 กก/ซม^2 ตามลำดับ ไผ่หม่าจู๋มีค่าความแข็งแรง (มอดุลัสแตกร้าว) ค่อนข้างต่ำ แต่มีค่าความแข็งตึงหรือความดื้อ (มอดุลัสยืดหยุ่น) ที่สูงมาก นั่นคือเป็นไผ่ที่มีแนวโน้มเปราะ

4. แรงเฉือน ไผ่หม่าจู๋มีค่าแรงเฉือนบริเวณข้อในสภาวะแห้งและเปียกเท่ากับ 11.23 และ 7.61 เมกะปาสคาล หรือ 115 และ 77.6 กก/ซม^2 ตามลำดับ ส่วนบริเวณปล้องมีค่าดังกล่าวตามลำดับ คือ 7.39 และ 4.84 เมกะปาสคาล หรือ 75.4 และ 45.3 กก/ซม^2 จากตัวเลขดังกล่าวจะเห็นว่าบริเวณข้อมีอิทธิพลต่อแรงเฉือนอย่างมาก เป็นที่สังเกตเห็นได้ชัดเจน

5. แรงอัด ไผ่หม่าจู๋ในสภาวะแห้งและเปียกมีค่าแรงอัดเฉลี่ย 47.4 และ 30.8 เมกะปาสคาล หรือ 483 และ 314 กก/ซม^2 ตามลำดับ ค่าแรงอัดของไผ่หม่าจู๋มีค่าใกล้เคียงกับไผ่เลี้ยงหวาน แต่ต่ำกว่าไผ่ซางหม่นและไผ่บงใหญ่อย่างเห็นได้ชัด

6. แรงดึง ค่าแรงดึงของไผ่หม่าจู๋ในสภาวะแห้งและเปียก มีค่าเฉลี่ย 89.9 และ 60.6 เมกะปาสคาล หรือ 917 และ 618 กก/ซม^2 ตามลำดับ

ผลการศึกษาค่าสกายสมบัติ

1. การหดตัว ไผ่หม่าจู๋มีอัตราการหดตัวด้านต่างๆจากสภาวะสดสู่สภาวะอบแห้งคือ ด้านความหนา ความยาว เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก และด้านปริมาตร เท่ากับ 6.06, 0.15, 2.72 และ 9.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เป็นที่น่าสังเกตว่า อัตราการหดตัวของไผ่หม่าจู๋อยู่ในเกณฑ์สูงกว่าไผ่อีก 3 ชนิดที่ทำการทดสอบ อาจเนื่องมาจากการที่เกษตรกรผู้ปลูกไผ่หม่าจู๋ มีวัตถุประสงค์เพื่อการบริโภคหน่อไม้ จึงทำการบำรุงรักษาไผ่ที่ปลูกไว้อย่างดี ลำไผ่จึงมีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ความแน่นจึงต่ำ และมีความชื้นในเนื้อไม้ไผ่สูง เมื่อสูญเสียน้ำจากการแห้งตัว จึงมีการหดตัวสูงตามไปด้วย

2. ความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 0.543

3. ความแน่นในสภาวะแห้งเท่ากับ 625 กก/ม^3 จัดเป็นไผ่ที่มีน้ำหนักค่อนข้างเบา

4. ความชื้นที่จุดหมาด มีค่าประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์

5. ขนาดต่างๆของลำไผ่ ไผ่หม่าจู๋มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน และความหนาเฉลี่ยเท่ากับ 60.2, 43.6 และ 8.27 มม. ตามลำดับ ไผ่หม่าจู๋เป็นไผ่ที่มีขนาดโตปานกลาง

ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้าง

ไผ่หม่าจู๋มีมัดท่อลำเลียง มีลักษณะแบ่งเป็นสองส่วน คือ มัดท่อลำเลียงกลาง และมีเนื้อเยื่อที่แยกจากมัดท่อลำเลียงกลาง (Figure 7–8)

วิจารณ์ผล

จากค่าความแข็งแรง ซึ่งในที่นี้หมายถึงค่ามอดุลัสแตกร้าวของไผ่ที่ทำการศึกษา ทั้ง 4 ชนิด เมื่อดูจากความแข็งแรงในสภาวะแห้ง แล้วเทียบกับมาตรฐานไม้เนื้อแข็งของกรมป่าไม้พบว่า ไผ่บงใหญ่เทียบเท่ากลุ่มไม้เนื้อแข็ง ไผ่ซางหม่นเทียบเท่ากลุ่มไม้เนื้อแข็งปานกลาง ส่วนไผ่เลี้ยงหวานและไผ่หม่าจู๋ มีค่าความแข็งแรงเทียบเท่ากับไม้ที่มีความแข็งแรงต่ำ

ค่าความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูปของไม้ไผ่ที่ทำการศึกษา เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามอดุลัสแตกร้าว สำหรับไผ่บงใหญ่เฉลี่ยประมาณ 25–40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำ แสดงว่าไผ่บงใหญ่มีช่วงการยืดหยุ่นที่สั้น ทำให้ช่วงการอ่อนตัวที่ยาว อันเป็นลักษณะของไม้ที่มีความเหนียว ส่วนไผ่เลี้ยงหวานมีค่าดังกล่าวสูงมาก คือ

ประมาณ 75–80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าความเค้นที่ขีดจำกัดคืนรูปใกล้เคียงกับค่ามอดุลัสแตกร้าว อันเป็นลักษณะของไม้ที่เปราะ คล้ายกับไม้ประกับโครงสร้าง ตลอดจนวัสดุทางวิศวกรรมต่างๆ (บุญส่ง และคณะ, 2551) ส่วนไผ่ซางหม่นและไผ่หม่าจู๋ มีค่าดังกล่าวเฉลี่ยประมาณ 55–70 เปอร์เซ็นต์

Table 1. The mechanical properties of some bamboo species (SI unit)

species	part	modulus of rupture (MOR) (Mpa)		stress at proportional limit (Mpa)		modulus of elasticity (MOE) (x100 Mpa)		shearing (Mpa)				compression(Mpa)		Tension (Mpa)	
								node		internode		internode		node	
		green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry
Dendrocalamus sericeus Munro	bottom	85.9	96.2	60.8	52.0	65.4	97.2	7.78	7.70	7.98	8.37	44.9	52.6	88.0	172
	middle	82.4	85.7	47.4	47.0	156	109	8.99	9.18	9.28	8.27	51.0	54.0	104	130
	top	71.0	84.2	47.4	58.1	184	124	9.56	9.69	9.41	8.89	51.5	54.1	125	125
Bambusa sp	all	50.1	56.3	39.4	42.4	143	130	5.49	5.54	5.53	5.94	33.1	40.1	*	*
Dendrocalamus brandisii Kurz	bottom	87.4	102	34.5	27.5	264	278	6.6	8.07	5.99	6.92	46.2	56.8	86.3	132
	top	71.5	108	25.3	54.5	152	279	6.07	8.42	5.64	6.98	54.7	62.1	112	159
Dendrocalamus latiflorus Munro	all	51.5	52.2	40.9	27.9	122	197	7.61	11.23	4.44	7.39	30.8	47.4	60.6	89.9

Table 2. The mechanical properties of some bamboo species (Metric units)

species	part	modulus of rupture (MOR) (kg/cm^2)		stress at proportional limit (kg/cm^2)		modulus of elasticity (MOE) ($x100kg/cm^2$)		shearing (kg/cm^2)				compression (kg/cm^2)		tension (kg/cm^2)	
								node		internode		internode		node	
		green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry	green	air dry
Dendrocalamus sericeus Munro	bottom	876	981	620	530	669	992	79.3	78.5	81.4	85.3	458	537	897	1758
	middle	840	874	483	479	1596	1109	91.7	93.6	94.6	84.3	521	550	1064	1325
	top	724	858	483	593	1873	1262	97.5	98.8	96.0	90.6	526	551	1275	1271
Bambusa sp	all	512	574	401	433	1457	1322	56.0	56.5	56.4	60.6	328	409	*	*
Dendrocalamus brandisii Kurz	bottom	892	1038	352	280	2687	2834	67.3	82.3	61.1	70.5	471	580	880	1343
	top	729	1097	258	556	1554	2846	61.9	85.9	57.5	71.1	558	633	1144	1619
Dendrocalamus latiflorus Munro	all	525	532	417	284	1242	2012	77.6	115	45.3	75.4	314	483	618	917

Table 3. The physical properties of some bamboo species

species	part	shrinkage (%)				specific gravity	density (kg/m^3)	FSP (%)	outer diameter (mm.)	inner diameter (mm.)	thickness (mm.)
		thickness	length	diameter	volume						
Dendrocalamus sericeus Munro	bottom	4.36	0.08	2.75	6.67	0.803	940	21	94.7	65.8	14.5
	middle	2.01	0.02	1.72	2.35	0.830	935	18	88.5	72.2	8.16
	top	3.18	0.03	1.55	4.59	0.839	919	23	72.2	59.9	6.16
Bambusa sp	all	4.92	0.25	2.37	5.57	0.529	586	22	27.8	5.31	11.2
Dendrocalamus brandisii Kurz	bottom	4.40	0.09	2.99	7.08	0.830	950	19	84.0	53.3	15.7
	top	1.64	0.15	0.63	2.29	0.887	1002	21	64.6	51.3	6.67
Dendrocalamus latiflorus Munro	all	6.06	0.15	2.72	9.61	0.543	625	22	60.2	43.6	8.27

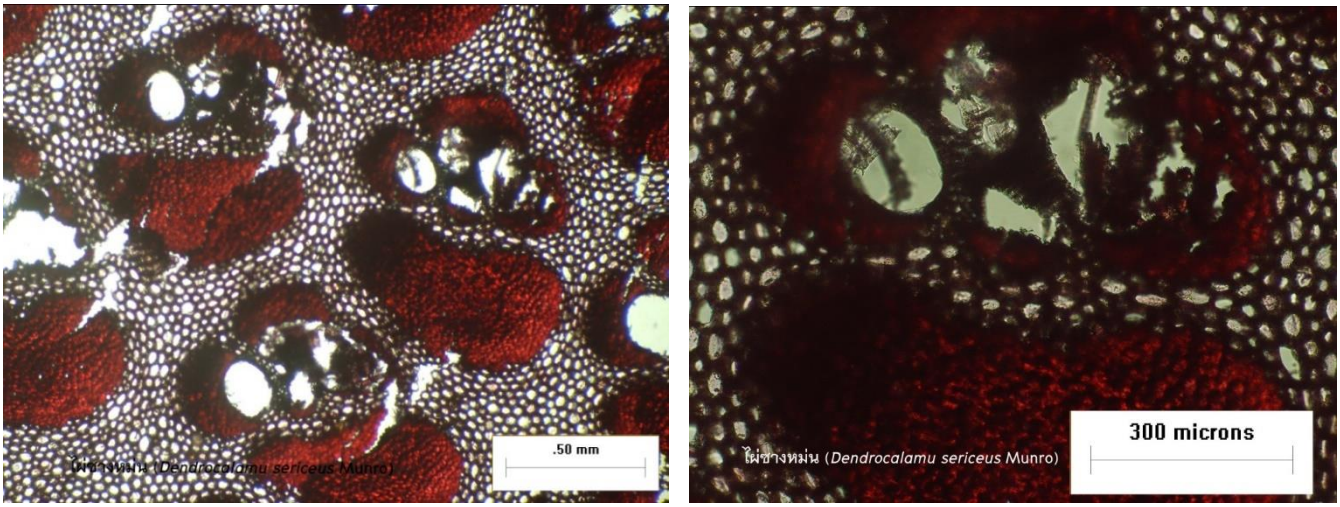

Figure 1 Vascular bundles with one isolate fibre bundle in *Dendrocalamus sericeus* Munro

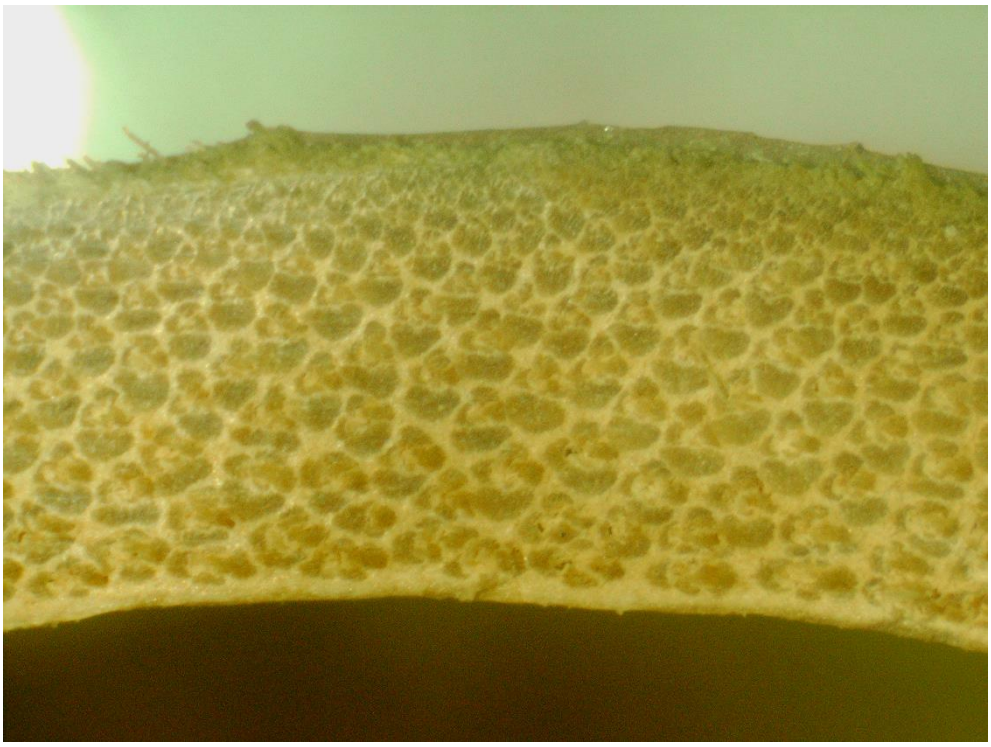

Figure 2 Vascular bundles distribution in *Dendrocalamus sericeus* Munro (12 x)

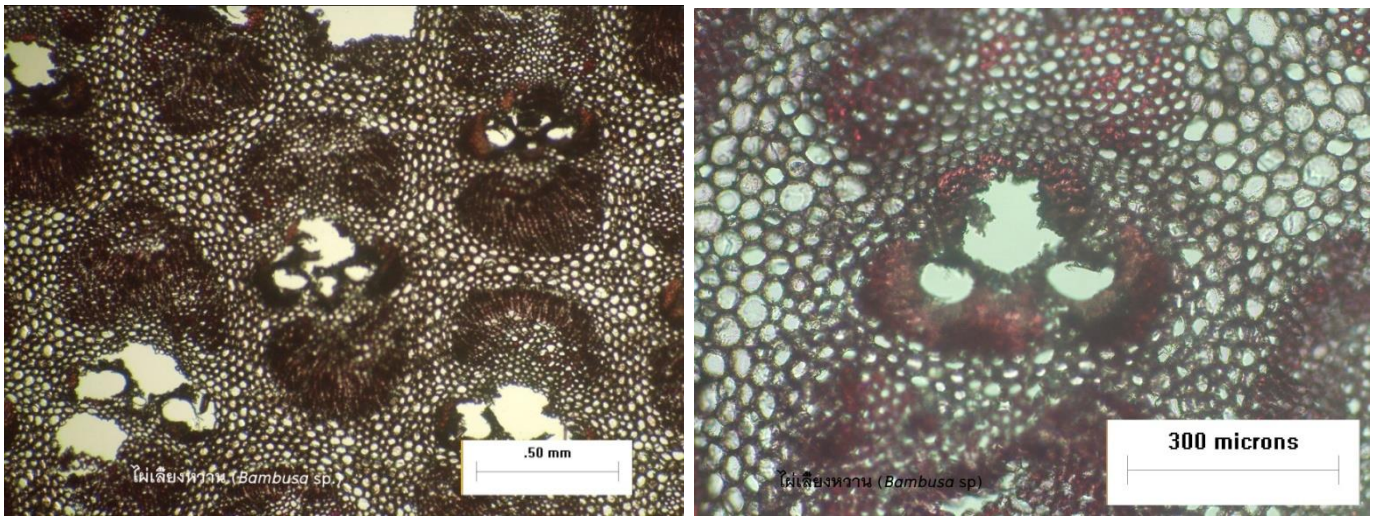

Figure 3 Vascular bundles with two isolate fibre bundles in *Bambusa* sp.

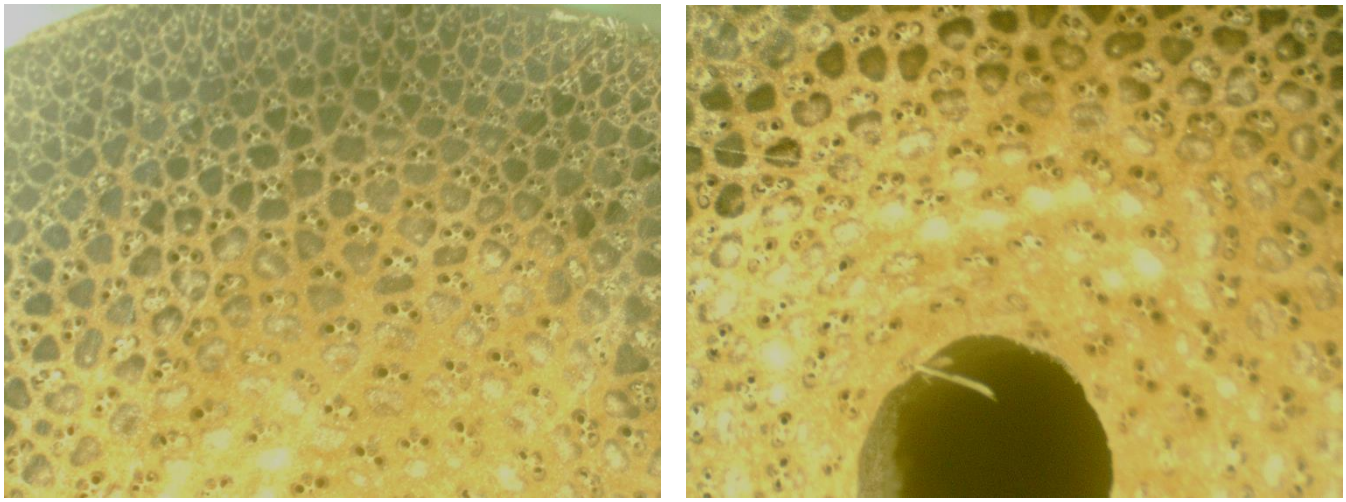

Figure 4 Vascular bundles distribution in *Bambusa* sp. (8 x)

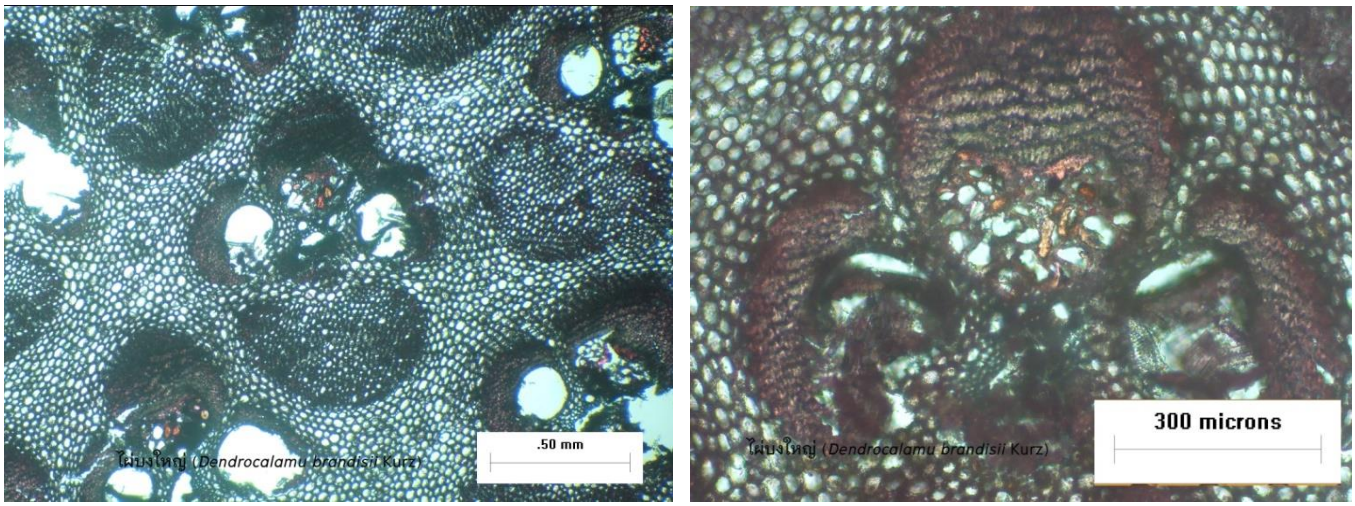

Figure 5 Vascular bundles with one isolate fibre bundle in *Dendrocalamus brandisii* Kurz

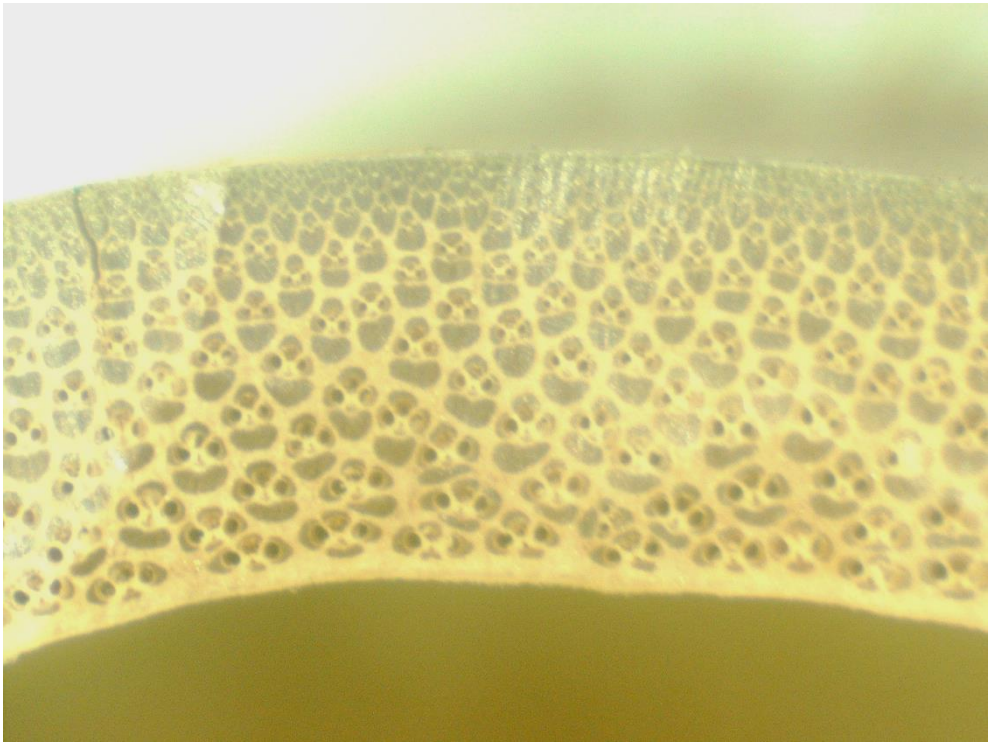

Figure 6 Vascular bundles distribution in *Dendrocalamus brandisii* Kurz (12 x)

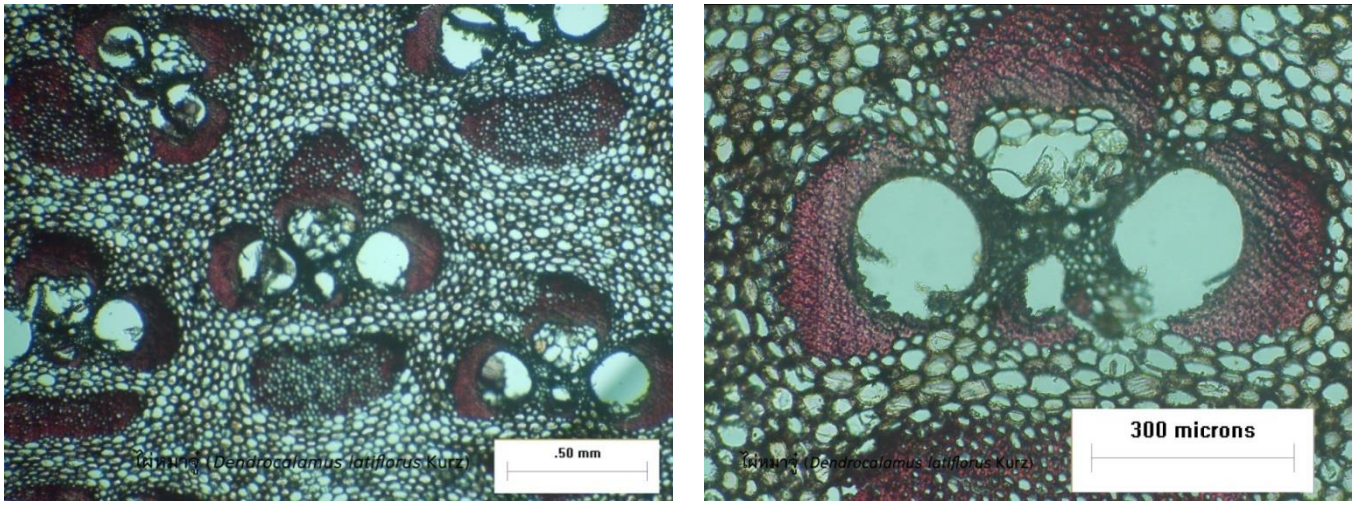

Figure 7 Vascular bundles with one isolate fibre bundle in *Dendrocalamus latiflorus* Munro

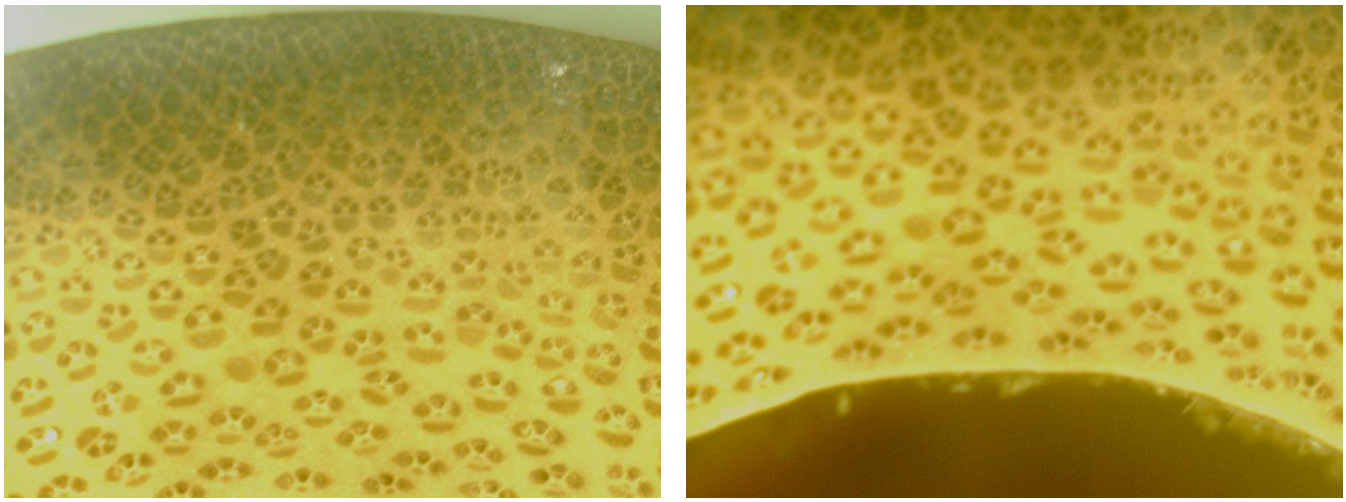

Figure 8 Vascular bundles distribution in *Dendrocalamus latiflorus* Munro (8 x)

Figure 9 The conductions under the project.

อัตราส่วนระหว่างค่ามอดุลัสยืดหยุ่นต่อค่ามอดุลัสแตกร้าวของไม้โดยทั่วไป จะมีค่าประมาณ 100 แต่จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า มีเพียงไผ่ซางหม่นส่วนโคนเท่านั้น ที่มีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับ 100 ส่วนไผ่ชนิดอื่นๆ รวมถึงไผ่ซางหม่นส่วนกลางและส่วนปลาย จะมีค่าดังกล่าวประมาณ 125–300 โดยเฉพาะในไผ่บงใหญ่และไผ่หม่าจู๋นั้น มีค่าดังกล่าวสูงมาก อาจเนื่องมาจากการที่ไผ่มีลักษณะโครงสร้างเป็นไฟเบอร์ยาวมากๆ และในการทดสอบความแข็งแรงของไม้ไผ่ จะทำการทดสอบลงบนส่วนของข้อ จึงทำให้ค่าความดื้อ หรือมอดุลัสยืดหยุ่นสูงตามไปด้วย

ค่าแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบครั้งนี้พบว่า ไผ่ซางหม่น ไผ่บงใหญ่ และไผ่หม่าจู๋ จะมีค่าแรงเฉือนตรงข้อมักจะมีแนวโน้มสูงกว่าแรงเฉือนตรงปล้อง ทั้งนี้เนื่องมาจากบริเวณข้อจะสามารถรับแรงเฉือนได้ดี ส่วนไผ่เลี้ยงหวานค่าแรงเฉือนจากทั้งสองบริเวณมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นเพราะว่าไผ่เลี้ยงหวานมีเนื้อไม้หนา ช่องว่างภายในลำน้อย ซึ่งสามารถรับแรงเฉือนได้ดีอยู่แล้ว ข้อจึงไม่มีผลต่อการรับแรงเฉือนเท่าใดนัก

ส่วนค่าแรงอัดและแรงดึงนั้น จากตัวเลขที่ได้จะเห็นว่า ไผ่ซางหม่นและไผ่บงใหญ่ สามารถรับแรงอัดและแรงดึงไม้ได้สูงกว่าไผ่เลี้ยงหวานและไผ่หม่าจู๋อย่างเห็นได้ชัด

การหดตัวด้านต่างๆ ของไผ่นั้นพบว่า ด้านความหนามีการหดตัวสูงกว่าด้านเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก ส่วนการหดตัวด้านความยาวของไผ่แต่ละชนิดจะมีค่าต่ำมาก การหดตัวด้านต่างๆ นั้นจะมีผลต่อการหดตัวด้านปริมาตรด้วย สำหรับไผ่หม่าจู๋ จะมีค่าการหดตัวก็มีแนวโน้มสูงกว่าไผ่ชนิดอื่น เนื่องจากไผ่หม่าจู๋มักจะได้รับการเอาใจใส่จากเกษตรกรผู้ปลูกมาก จึงมีการเจริญเติบโตเร็วกว่าไผ่ชนิดอื่นๆ

ค่าความถ่วงจำเพาะและความแน่นของไผ่ที่ทำการทดสอบนั้น จะเห็นว่าไผ่ซางหม่นและไผ่บงใหญ่ จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงกว่าไผ่เลี้ยงหวานและไผ่หม่าจู๋ และทำให้มีความแน่นสูงกว่าด้วย ในขณะเดียวกันค่าความความชื้นที่จุดหมาด ของไผ่ทั้ง 4 ชนิด มีค่าระหว่าง 14–23 เปอร์เซ็นต์ ใกล้เคียงกับไม้ทั่วไป

สรุปผล

จากผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของไผ่ทั้ง 4 ชนิด พบว่า ไผ่มีค่าความแข็งแรง (มอดุลัสแตกร้าว) อยู่ในระดับเดียวกันกับไม้ทั่วไป แต่มีค่าความแข็งตึง (มอดุลัสยืดหยุ่น) ที่สูงกว่า ไผ่จึงเป็นไม้ที่มีความดื้อ ทำให้ต้านทานการเสียรูปสูง ส่วนการรับแรงเฉือนตรงข้อของไผ่หม่าจู๋ มีค่าสูงกว่าไผ่ชนิดอื่นๆ ไผ่ชนิดนี้จึงน่านำมาจะใช้งานรับแรงเฉือนได้ดี ส่วนการรับแรงอัดนั้น ไผ่มีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับไม้เนื้อแข็งทั่วไป ส่วนการรับแรงดึง ไผ่มีการรับแรงดึงที่สูง ส่วนการหดตัวของไผ่นับว่ายังมีค่าไม่สูงนักเมื่อเทียบกับไม้ทั่วไป และไผ่มักมีน้ำหนักเบา สรุปแล้วสามารถนำไผ่ไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างชั่วคราวได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงใกล้เคียงไม้ทั่วไป เมื่อนำไปอาบน้ำยาก็สามารถยืดอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้น ไผ่มีข้อได้เปรียบคือหาได้ง่าย ราคาถูก ประหยัด แปรรูปง่าย แต่มีข้อเสียเปรียบคือ ไผ่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เท่ากันตลอดทั่วลำ ทำให้การใช้งานไผ่ทั้งลำนั้น

ไม่สามารถกำหนดขนาดไม้ให้ได้ตามความต้องการได้ ส่วนด้านลักษณะโครงสร้างนั้น พบว่าไผ่ซางหม่น ไผ่บงใหญ่ และไผ่หม่าจู๋ ซึ่งอยู่ในสกุล Dendrocalamus มีลักษณะของมัดท่อลำเลียงที่เหมือนกัน คือ มัดท่อลำเลียงแบ่งเป็นสองส่วน ต่างจากไผ่เลี้ยงหวาน (สกุล Bambusa) ที่มีลักษณะของมัดท่อลำเลียงแบ่งเป็นสามส่วน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำการวิจัย ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการสำหรับการทดสอบไม้ไผ่ขนาดใหญ่ ศูนย์ส่งเสริมพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้ประโยชน์ไม้ขนาดเล็กและของป่าจังหวัดราชบุรี ที่ช่วยในการแปรรูปตัวอย่างไม้ เกษตรกรผู้ปลูกในท้องที่ที่เก็บตัวอย่างไม้ และขอขอบคุณกรมป่าไม้ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงานวิจัยดังนี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

ณรงค์ โทณานนท์, ศิริ เจือวิจิตรจันทร์, สุชาติ ไทยเพ็ชร์ และศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์. 2528. ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 176 หน้า.

บุญส่ง สมเพาะ, สุชาติ ไทยเพ็ชร์, ศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์, วรัญญู ราษฎร์เจริญ, ทินกร พิริยโยธา, เทียนชัย ศรีจรูญ และบางรักษ์ เชษฐสิงห์. 2551. การเพิ่มมูลค่าไม้สวนป่าเป็นไม้ประสานอาบน้ำยา. สำนักวิจัยและพัฒนาป่าไม้ กรมป่าไม้. 32 หน้า.

ประเชิญ สร้อยทองคำ. 2548. แนวทางการจัดการและการใช้ประโยชน์ไม้ไผ่. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 121 หน้า.

รุ่งนภา พัฒนวิบูลย์, ประเสริฐ สอนสถาพรกุล, ภูสิน เกตานนท์ และสุทัศน์ เล้าสกุล. 2545. การปลูกสร้างและบำรุงรักษาสวนป่า. อักษรสยามการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

พงศ์ โสโน, สงคราม ตรังรัฏฐพิทย์ และ ศิริ เจือวิจิตรจันทร์. 2517. ปริมาณความชื้น การหดตัว ความถ่วงจำเพาะ และช่องว่างในไม้ไทย. กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

วิรัช ชื่นวาริน. 2528. ลักษณะโครงสร้าง องค์ประกอบ และสมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ไผ่. น. 157–198. *ใน* การสัมมนาเรื่องไม้ไผ่ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สะอาด บุญเกิด. 2528. ไม้ไผ่บางชนิดในประเทศไทย. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์., กรุงเทพฯ. 197 หน้า.

สุชาติ ไทยเพ็ชร์, เกรียงศักดิ์ เสพย์ธรรม, ศักดิ์พิชิต จุลฤกษ์, อุทารัตน์ ภู่ไพบูลย์, วัลยุทธ เฟื่องวิวัฒน์, บุญส่ง สมเพาะ, วิเชียร ปิยาจารประเสริฐ และบางรักษ์ เชษฐสิงห์. 2547. คุณลักษณะของไม้ไทย. สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพญ. 306 หน้า.

Thaipetch, S. and B. Sompoh. 2004. Physical and Mechanical Properties of Five Bamboo Species in Thailand. Royal Forest Department, Bangkok.

Winandy, J. 1994. Wood Properties. *In* Arntzen, Charles J., ed. Encyclopedia of Agriculture Science. Orlando, FL. Academic Press: 549–561 pp. Vol. 4.