ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

ปริญญา

วนผลิตภัณฑ์ วนผลิตภัณฑ์

สาขา **ภาควิชา**

เรื่อง การเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านในไม้ใบกว้างบางชนิด

Comparative Anatomy of Wood and its Charcoal in some Hardwood Species

นามผู้วิจัย นางสาวศิริลักษณ์ สุขเจริญ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ธีระ วีณิน, Dr.Agr.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์สมคิด สิริพัฒนดิลก, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชิต สมบูรณ์, D.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านในไม้ใบกว้างบางชนิด

Comparative Anatomy of Wood and its Charcoal in some Hardwood Species

โดย

นางสาวศิริลักษณ์ สุขเจริญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศิริลักษณ์ สุขเจริญ 2557: การเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านในไม้ใบกว้างบางชนิด ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธีระ วีณิน, Dr.Agr. 158 หน้า

การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านในไม้ใบกว้าง 10 ชนิด ได้แก่ กระถิน กระถินณรงค์ กระบก โกงกางใบเล็ก เต็ง มะขาม มะม่วง ยางพารา ยูคาลิปตัส และรัง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านไม้ และศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการเผาถ่านต่อลักษณะทางกายวิภาค ซึ่งเผาในเตาเฟอร์เนซที่อุณหภูมิ 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านไม้ทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านหน้าตัด ด้านสัมผัสและด้านรัศมี โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ light microscope ศึกษาส่วนของเนื้อไม้และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) ศึกษาส่วนของถ่านไม้

ผลการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านไม้ทั้ง 10 ชนิด พบว่าลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ซึ่งเซลล์ส่วนใหญ่ของถ่านไม้ยังปรากฏให้เห็นได้เช่นเดียวกับในเนื้อไม้ปกติ เช่น การเรียงตัวของพอร์ พิทบนผนังเวสเซล แผ่นเปอโพเรชั่น การเรียงตัวของพาเรนไคมา เรย์ ไฟเบอร์ ดีพอซิท ทายโลส ท่อยาง และยังคงมีผลึกภายในพาเรนไคมาและเรย์ ยกเว้นการเรียงตัวของพาเรนไคมาบางชนิดเห็นไม่ชัดเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียสขึ้นไป เช่น พาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์ แบบแถบในไม้กระบก แบบกระจายในไม้เต็ง ยูคาลิปตัสและรัง แบบกระจายเป็นกลุ่มในไม้รัง และพาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อมในไม้โกงกางใบเล็กและยูคาลิปตัส ซึ่งเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น การเผาทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ แต่อย่างไรก็ตามยังคงสามารถวินิจฉัยชนิดของถ่านไม้ได้เช่นเดียวกับไม้

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Siriluk Sukjaroen 2014: Comparative Anatomy of Wood and its Charcoal in some Hardwood Species. Master of Science (Forestry), Major Field: Forest Products, Department of Forest Products. Thesis Advisor: Associate Professor Teera Veenin, Dr.Agr. 158 pages.

Study on anatomy of woods and their charcoal in hardwoods, 10 species of wood were *Leucaena leucocephala*, *Acacia auriculaeformis* , *Irvingia malayana*, *Rhizophora apiculata* , *Shorea obtusa* , *Tamarindus indica*, *Mangifera indica*, *Hevea brasiliensis*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Shorea siamensis*. The purpose of this research was to study the comparative anatomy of woods and their charcoal and the influence of the charring temperature on anatomy. The charring temperature were 250, 400 and 600 degree Celsius in electric furnace. The anatomy of wood and charcoal were studied in the cross-section, tangential-section and radial-section by light microscope and charcoal by scanning electron microscope.

The results of the comparative anatomy of woods and charcoal in 10 species were shown that there was a little difference. Most of charcoal cells could be seen as same as normal wood, such as the arrangement of pores, intervessel pitting, perforation plates, arrangement of parenchymas, ray, fibers, deposits, tylose, gum vein and crystals in parenchymas and ray. The exception of some arrangement of parenchyma (narrow bands in *Irvingia malayana*, diffuse in *Shorea obtuse*, *Eucalyptus camaldulensis* and *Shorea siamensis*, diffuse in aggregates in *Shorea siamensis* and scanty paratracheal in *Rhizophora apiculata* and *Eucalyptus camaldulensis*) were unclear when the charring temperature were above 400 degree Celsius. Increasing charring temperature could not only lead to more shrinkage and cracks along the ray but also decrease specific gravity of charcoals. However, we can identify the type of wood from both charcoal and sound wood.

_____ _____ /___ /___ /___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ วีณิน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.สมคิด สิริพัฒนดิลก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษา การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่และพนักงาน ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ คุณกุศล ตั้งใจพิทักษ์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ และศูนย์ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจนให้คำแนะนำจนการทดลองสำเร็จไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ผู้ซึ่งให้กำลังใจและคอยสนับสนุนในการศึกษาของข้าพเจ้าโดยตลอดมา สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้คอยอบรมสั่งสอนและถ่ายทอดวิชาความรู้จนประสบความสำเร็จในการศึกษา

ศิริลักษณ์ สุขเจริญ

มิถุนายน 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(20)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	21
อุปกรณ์	21
วิธีการ	22
ผลและวิจารณ์	32
ผล	32
วิจารณ์	121
สรุปและข้อเสนอแนะ	124
สรุป	124
ข้อเสนอแนะ	125
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	126
ภาคผนวก	130
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	158

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้กระถิน ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้	39
2	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้กระถินรงค์ ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้	46
3	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้กระบก ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้	53
4	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้โกงกางใบเล็ก ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้	61

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

5 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้เต็ง ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ 68

6 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้มะขาม ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ 75

7 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้มะม่วง ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ 82

8 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้ยางพารา ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ 89

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
9	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้ยูคาลิปตัส ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้	96
10	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้รัง ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์ (Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้	103
11	เปรียบเทียบลักษณะที่สำคัญทางกายวิภาคของไม้และถ่านไม้ทั้ง 10 ชนิด	104
12	ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้และถ่านของไม้กระถิน กระถินณรงค์ กระบก โกงกางใบเล็ก เต็ง มะขาม มะม่วง ยางพารา ยูคาลิปตัส และรัง ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส คือ เนื้อไม้ ทำการศึกษาเนื้อไม้ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้ใจไม้	114

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
1	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้กระถิน	131
2	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้กระถิน	131
3	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระถิน	132
4	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระถิน	133
5	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้กระถินณรงค์	134
6	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้กระถินณรงค์	134
7	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระถินณรงค์	135
8	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้กระบก	136
9	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้กระบก	136
10	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระบก	137

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
11	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระบก	138
12	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้โกงกางใบเล็ก	139
13	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้โกงกางใบเล็ก	139
14	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้โกงกางใบเล็ก	140
15	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้โกงกางใบเล็ก	141
16	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้เต็ง	142
17	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้เต็ง	142
18	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้เต็ง	143
19	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้เต็ง	144

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
20	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้มะขาม	145
21	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้มะขาม	145
22	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้มะขาม	146
23	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้มะม่วง	147
24	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้มะม่วง	147
25	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้มะม่วง	148
26	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้ยางพารา	149
27	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้ยางพารา	149
28	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยางพารา	150
29	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยางพารา	151

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
30	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้ยูคาลิปตัส	152
31	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้ยูคาลิปตัส	152
32	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยูคาลิปตัส	153
33	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยูคาลิปตัส	154
34	วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้รัง	155
35	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้รัง	155
36	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้รัง	156
37	การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้รัง	157

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การตัดชิ้นไม้ตัวอย่างจากต้นไม้	24
2	การวัดความหนาของผนังเซลล์	29
3	ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเซลล์ไฟเบอร์มีผนังคั่น (F) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน	34
4	ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน	36
5	ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, d ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ b, c, e คือ เรย์เซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d, e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ = 100 ไมครอน	37
6	ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภายในเซลล์ไฟเบอร์มีผนังคั่น (F) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน	38

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
7	ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และ ภาพ d = 50 ไมครอน	42
8	ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน	43
9	ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, e ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ b, d, f คือ เรย์เซลล์นอนและภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e, f คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c, d, f = 100 ไมครอน และภาพ e = 500 ไมครอน	44
10	ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และดีพอซิท (D) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน	45

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

11 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน 49

12 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน 50

13 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c และ d คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ b คือ 400 องศาเซลเซียส และ ภาพ c, d คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน 51

14 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 50 ไมครอน 52

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

15 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ พาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อม (Pa) ภาพ b, c คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได (Pi) และแผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได (Pe) และภาพ d, e คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a, b, d = 200 ไมครอน ภาพ c, e = 50 ไมครอน 56

16 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ พาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อม ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน 58

17 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่า เปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, e ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได และภาพ b, d, f คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e, f คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, c, e = 50 ไมครอน และภาพ b, d, f = 100 ไมครอน 59

18 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน 60

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

19 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้าน สัมผัส ลูกศรชี้ คือ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และการเรียงตัวของพิทบน ผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a, b = 200 ไมครอน ภาพ c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน 64

20 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) และทายโลส (T) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน 65

21 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว และภาพ b, d, e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ = 100 ไมครอน 66

22 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับ (Pi) แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ ภาพ a, b = 50 ไมครอน และภาพ c = 100 ไมครอน 67

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ พอร์แบบ tangential multiple (Ta) ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน	71
24	ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน	72
25	ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, d ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว และภาพ a, c, d, e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ b, c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d, e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ = 100 ไมครอน	73
26	ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับ (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน	74

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ ภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน	78
28	ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน	
	ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้	79
29	ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a ,b และ c ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน	
	ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c	80
30	และ d ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, c, d = 200 ไมครอน และภาพ b = 100 ไมครอน	81

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ ภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน	85
32	ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน	86
33	ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภาพ b, d, e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวและภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, c = 50 ไมครอน และภาพ b, d, e = 100 ไมครอน	87
34	ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a , b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน	88

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, d = 100 ไมครอน และภาพ c = 50 ไมครอน	92
36	ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่าเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน	93
37	ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c, d และ e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d, e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c, e = 100 ไมครอน และภาพ d = 500 ไมครอน	94
38	ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 50 ไมครอน	95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
39	ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้รังที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) พาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) และท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a, b = 200 ไมครอน ภาพ c = 100 ไมครอน และ ภาพ d = 50 ไมครอน	99
40	ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้รังที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน	100
41	ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, e ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภาพ a, b, d, e, f คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e, f คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, d, e, f = 100 ไมครอน และภาพ c = 50 ไมครอน	101
42	ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้รังที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c และ d คือ ลักษณะทางด้าน สัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) ทายโลส (T) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ b คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ c, d คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c = 200 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน	102

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้กับตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ของไม้ 10 ชนิด ดังนี้ ภาพ a คือ กระถิน กระถินณรงค์ และยูคาลิปตัส ภาพ b คือ มะขาม ภาพ c คือ กระบก และมะม่วง ภาพ d คือ โกงกางใบเล็ก และภาพ e คือ เต็ง ยางพารา และรัง 117

44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้และถ่านกับอุณหภูมิในการเผาของไม้ 10 ชนิด ดังนี้ ภาพ a คือ กระถิน ภาพ b คือ กระถินณรงค์ ภาพ c คือ มะขาม ภาพ d คือ มะม่วง ภาพ e คือ ยางพารา ภาพ f คือ ยูคาลิปตัส ภาพ g คือ รัง ภาพ h คือ กระบก ภาพ i คือ โกงกางใบเล็ก และ ภาพ j คือ เต็ง ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส คือ เนื้อไม้ ทำการศึกษาตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ 118

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Nv	=	number of vessel
Dv	=	vessel diameter
Lv	=	vessel length
Nr	=	number of ray
Dr	=	ray diameter
Lr	=	ray height
Tf	=	cell wall thickness of fiber
N	=	number
μm	=	micrometer
mm	=	millimeter
cm	=	centimeter
m	=	meter
mm^2	=	square millimeter
S.D.	=	standard deviation
^oC	=	degree Celsius
SEM	=	scanning electron microscope

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านในไม้ใบกว้างบางชนิด

Comparative Anatomy of Wood and its Charcoal in some Hardwood Species

คำนำ

ไม้เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม จากอดีตได้มีการนำไม้มาเผาเป็นถ่านเพื่อใช้ประโยชน์มากมาย เพื่อใช้หุงต้มอาหาร ถลุงโลหะหรือหลอมโลหะ ฟอกสี ดูดสี ดูดกลิ่น ใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงเดินเครื่องจักร ให้ความอบอุ่น ใช้ทำดินปืน ทำพลุหรือดอกไม้ไฟ ใช้เป็นวัสดุกรองน้ำให้ใสสะอาด ใช้ผสมในดินปลูกพืชและผสมในอาหารสัตว์ เป็นต้น กรรมวิธีการผลิตถ่านในอดีตและปัจจุบันไม่แตกต่างกันมาก ยกเว้นวิธีการที่จะลดเวลาการเผาให้สั้นลง แต่ให้ได้ผลผลิตมากขึ้น เพื่อที่จะทำให้อุตสาหกรรมการผลิตถ่านคงอยู่และสามารถแข่งขันกับเชื้อเพลิงอย่างอื่นในตลาดได้ การเผาในเตาเฟอร์เนซ (furnace method) จะใช้เวลาน้อยกว่าเตาพื้นบ้านและสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในเตาได้ แต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า (วินัย, 2541)

ถ่านเกิดจากกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis) ของเนื้อไม้ ซึ่งเกิดการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมี โดยเฮมิเซลลูโลสจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 200 - 260 องศาเซลเซียส ส่วนเซลลูโลสจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 240 - 350 องศาเซลเซียส และลิกนินจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 280 - 500 องศาเซลเซียส (Sjöström, 1993) อิทธิพลที่มีต่อการเผาถ่าน คือ ลักษณะทางกายวิภาค ปริมาณความชื้น อุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้เผา (Leme *et al.*, 2010) จากการศึกษาในอดีต พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิ 300 - 1,000 องศาเซลเซียส ลักษณะทางกายวิภาคยังคงอยู่ แต่เซลล์บางเซลล์อาจเกิดการแตกและเสียรูป (McGinnes *et al.*, 1971; Blankenhorn *et al.*, 1972) ดังนั้นหากลักษณะทางกายวิภาคคงอยู่ก็น่าจะสามารถวินิจฉัยชนิดไม้จากถ่านได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปัจจุบันวัตถุดิบที่ใช้ในการเผาถ่านได้มาจากป่าชุมชน ป่าชายเลน เศษเหลือของอุตสาหกรรมไม้ ไม้จากการตัดสางขยายระยะทั้งในสวนป่าภาครัฐและสวนป่าภาคเอกชน รวมทั้งไม้ที่ได้จากการลักลอบตัดในป่าธรรมชาติ ซึ่งถ่านตามพระราชบัญญัติป่าไม้ พุทธศักราช 2484 ถือว่าถ่านที่ได้จากการลักลอบตัดไม้ในป่าธรรมชาติเป็นของป่าหวงห้ามชนิดหนึ่ง ผู้ใดลักลอบค้าหรือมีไว้ จะมีความผิดตามมาตรา 71 ทวิ (พยงค์, 2550) ซึ่งการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคอย่างหยาบและอย่างละเอียดของไม้และถ่านไม้ น่าจะช่วยทำให้สามารถวินิจฉัยชนิดไม้ที่นำมาเผาถ่านได้ โดยใช้ลักษณะทางกายวิภาคจากถ่านและไม้ ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในการดำเนินการเอาผิดทางกฎหมายกับผู้กระทำผิดได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายวิภาคอย่างหยาบและอย่างละเอียดของไม้และถ่านในไม้ใบกว้างบางชนิด

2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาถ่านต่อลักษณะทางกายวิภาคของถ่าน

3. เพื่อศึกษาวิธีการในการวินิจฉัยชนิดไม้จากถ่าน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ถ่านไม้ในประเทศไทย

ประเทศไทยมีการใช้ถ่านมาหลายร้อยปีแล้ว โดยชาวจีนเป็นผู้ริเริ่มขึ้นและยังเป็นผู้นำวิธีการใช้ถ่านหุงต้มเข้ามาใช้ในประเทศไทย สาเหตุของการใช้ถ่านเนื่องจากการใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีอุปสรรคหลายอย่าง เช่น การใช้ฟืนต้องใช้ครั้งละปริมาณมากๆ และฟืนมีน้ำหนักมากทำให้ไม่สะดวกต่อการเก็บรักษา การใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงทำให้เกิดควันและเขม่ามาก ส่งผลให้ภาชนะหุงต้มมีเขม่าจับทำให้สกปรก จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้มีการคิดแปรสภาพฟืนให้กลายเป็นถ่าน เนื่องจากถ่านมีน้ำหนักเบาและไม่มีควัน ให้ค่าความร้อนสูงกว่าฟืน เก็บรักษาง่าย แต่การใช้ถ่านมีข้อเสีย คือ ต้องใช้เวลานานในการแปรสภาพฟืนให้กลายเป็นถ่าน (ชัชวาล, 2529)

ในประเทศไทย กรมป่าไม้มีการสำรวจและเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์สำคัญที่ได้จากป่าไม้ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมันยาง เปลือกไม้ หวาย ใบลาน เป็นต้น ซึ่งจากการสำรวจในปี พ.ศ. 2533 พบว่า มีปริมาณถ่านไม้ที่ได้จากป่าไม้ประมาณ 274,500 ลูกบาศก์เมตร และมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งมีการสำรวจการนำเข้าและส่งออกถ่านไม้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2555 ซึ่งในปี พ.ศ. 2555 มีการนำเข้าถ่านไม้ประมาณ 137,252,914 กิโลกรัม และการส่งออกประมาณ 26,282,864 กิโลกรัม ซึ่งการนำเข้าและส่งออกมีปริมาณเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2554 (กรมป่าไม้, 2555)

2. ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ทางกายวิภาคและกลสมบัติของไม้

ไม้ที่มานำศึกษามี 10 ชนิด ซึ่งมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ ลักษณะทางกายวิภาคและกลสมบัติของไม้ ดังนี้

2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของไม้แต่ละชนิด มีดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.1 กระถิน (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) เป็นไม้พุ่มขนาดใหญ่ถึงไม้ต้นขนาดกลาง มีความสูงได้ถึง 10 เมตร กระถินจะไม่ค่อยแตกกิ่งก้าน ใบเป็นใบประกอบขนนกสองชั้น ดอกเป็นช่อดอกแบบกระจุกแน่น ออกดอกตามง่ามใบ ฝักมีลักษณะแบน เมื่อฝักแก่จะแตกตามยาว ในฝักแก่จะมีเมล็ดอยู่ประมาณ 15 - 30 เมล็ด เมล็ดมีลักษณะรูปร่างแบน รูปไข่และจะมีสีน้ำตาล กระถินมีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาเขตร้อนและหมู่เกาะในมหาสมุทรแปซิฟิก มีความทนทานต่อความแห้งแล้งได้ดีและเติบโตเร็ว นำเข้ามาปลูกในประเทศไทยตั้งแต่สมัยสุโขทัย ปัจจุบันมีการปรับปรุงพันธุ์ใหม่เรียกว่า กระถินยักษ์ ซึ่งมีลำต้นสูงกว่าพันธุ์เดิม (ราชบัณฑิตยสถาน, 2538)

2.1.2 กระถินณรงค์ (*Acacia auriculiformis* Benth.) เป็นไม้ที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีความสูง 8 - 20 เมตร ขึ้นอยู่กับสภาพท้องที่และสภาพภูมิอากาศ กระถินณรงค์เป็นพันธุ์ไม้ที่ไม่ ผลัดใบ ใบเขียวชอุ่มอยู่ตลอดปี มีใบเป็นพุ่มหนา เรือนยอดแผ่กว้าง แตกกิ่งก้านสาขามากและมักแตกกิ่งที่ส่วนกลางลำต้น มักมีลำต้นคดงอ เมื่ออายุน้อยจะมีเปลือกเรียบสีเทาแต่ขรุขระ และเมื่อแก่เปลือกจะแตกเป็นร่องมีสีน้ำตาลเข้ม ต้นอ่อนเมื่องอกจากเมล็ดจะแตกใบเพียง 1 - 2 คู่ เป็นใบผสม คือ จะมีใบเล็กๆ เรียงตามก้านใบเหมือนกระถินบ้าน เมื่อต้นโตขึ้นใบผสมจะค่อยๆหลุดไป ใบคู่ที่ 3 หรือคู่ที่ 4 ที่แตกใหม่จะใหญ่ขึ้นและเปลี่ยนแปลงเป็นใบเดี่ยวมีขนาดใหญ่หนา ใบสีเขียวเข้มเรียวยาวโค้งเป็นรูปเคียวขนาดกว้าง 1.2 - 2.5 เซนติเมตร ยาว 7 - 15 เซนติเมตร ดอกมีสีเหลืองกลิ่นหอม ออกดอกรวมกันเป็นช่อ คล้ายหางกระรอกตามง่ามใบ ช่อดอกยาว 7 - 10 เซนติเมตร ออกดอกเกือบตลอดทั้งปีไม่พร้อมกัน ฝักมีลักษณะม้วนขยุกขยิก ฝักอ่อนมีสีเขียวเมื่อแก่จะมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำ ส่วนเมล็ดมีลักษณะกลมแบนขนาด 2.5 - 4.4 มิลลิเมตร แต่ละฝักจะมีเมล็ดอยู่ภายใน 10 - 15 เมล็ด กระถินณรงค์มีถิ่นกำเนิดที่พบในหลายประเทศ ได้แก่ ออสเตรเลีย ปาปัวนิวกินี และอินโดนีเซีย สามารถกระจายพันธุ์ได้ในสภาพภูมิอากาศชื้น เขตร้อนชื้นและเขตกึ่งอบอุ่น (ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน กรมป่าไม้, 2553)

2.1.3 กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A.W. Benn.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูง 10 - 30 เมตร ลำต้นเปลาตรง โคนต้นมักเป็นรากพอน เปลือกนอกสีเทาอ่อนแกมน้ำตาลและค่อนข้างเรียบหรือแตกเป็นสะเก็ด ใบเป็นใบเดี่ยว ดอกออกเป็นช่อดอกออกตามง่ามใบหรือปลายกิ่ง ผลเป็นรูปกลมรีหรือค่อนข้างเป็นรูปไข่ ผลอ่อนสีเขียวและเมื่อแก่จะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง มีเมล็ดแข็ง เนื้อในเมล็ดมีสีขาวและมีน้ำมัน กระบกกระจายอยู่ทั่วประเทศขึ้นในป่าผลัดใบและป่าดิบแล้ง (ราชบัณฑิตยสถาน, 2538)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.4 โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Blume) เป็นไม้ต้นขนาดใหญ่ มีความสูง 25 - 35 เมตร มีรากเสริมออกมาเหนือโคนต้น 3 - 8 เมตร รากที่โคนต้นหรือรากค้ำยันแตกแขนงระเกะระกะ เรือนยอดรูปกรวยคว่ำแคบๆ เปลือกมีสีเทาคล้ำหรือเทาอมชมพู ใบเป็นใบเดี่ยวและเรียงตัวตรงข้ามสลับตั้งฉาก ดอกออกเป็นช่อดอกสั้นมาก ออกดอกตามง่ามใบที่ใบร่วงไปแล้ว ผลคล้ายรูปไข่กลับ มีสีน้ำตาลคล้ำ ผลมีผิวค่อนข้างขรุขระ โกงกางใบเล็กมีการกระจายพันธุ์ในประเทศไทยทางภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ ขึ้นในป่าชายเลนตามฝั่งทะเลทั่วไป (ราชบัณฑิตยสถาน, 2538)

2.1.5 เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) เป็นไม้ยืนต้นและมีความสูงถึง 20 เมตร ลำต้นมีลักษณะเปลาตรงหรือคดงอบ้าง มักแตกกิ่งก้านต่ำ มีเปลือกหนาและมีสีน้ำตาลปนเทา เปลือกจะแตกเป็นร่องและเป็นสะเก็ดตามยาว เรือนยอดเป็นพุ่มกว้าง ใบเป็นใบเดี่ยว ใบอ่อนมีขนประปรายและเมื่อแก่ใบจะมีสีเหลืองหรือสีส้มก่อนร่วงหล่น ดอกออกเป็นช่อใหญ่ตามปลายกิ่ง ง่ามใบและเหนือรอยแผลใบ ดอกมีสีขาวและมีกลิ่นหอม ผลเป็นรูปไข่และถูกหุ้มด้วยกระพุ้งโคนปีก ปีกใหญ่และยาว 3 ปีก มีเส้นปีกตามยาว 8 - 10 ปีก ส่วนปีกสั้นและเล็กมี 2 ปีก พบทั่วไปในป่าเบญจพรรณแล้งหรือป่าเต็ง รัง ยกเว้นภาคใต้ (จำลอง และ ชวลิต, 2542)

2.1.6 มะขาม (*Tamarindus indica* L.) เป็นไม้ยืนต้นและมีความสูงถึง 20 เมตร เปลือกมีสีน้ำตาลดำและแตกเป็นสะเก็ด กิ่งอ่อนมีขน แต่เมื่อกิ่งแก่จะเรียบ ใบเป็นใบประกอบแบบขนนกชั้นเดียวปลายคู่ ดอกออกเป็น ช่อกระจะและมีสีส้ม ดอกมีกลิ่นหอม ออกดอกตามปลายกิ่ง ผลเป็นฝักกลมรี ผลแห้งจะไม่แตกและมีสีเทาหรือสีน้ำตาล เมล็ดมีลักษณะแบนเป็นรูปกลมแกมไข่กลับและมีสีน้ำตาล มะขามเป็นไม้ต่างประเทศมีถิ่นกำเนิดในแอฟริกา ปลูกได้เกือบทุกพื้นที่ในประเทศไทย (สำนักงานหอพรรณไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช, 2551)

2.1.7 มะม่วง (*Mangifera indica* L.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูง 10 - 45 เมตร ลำต้นเปลาตรง มีการแตกกิ่งด้านข้าง เปลือกลำต้นสีน้ำตาลแกมเทาและมีรอยแตกตามทางยาว ใบเป็นใบเดี่ยวออกเรียงเวียนรอบกิ่ง มีการผลิใบเป็นช่วงๆ ใบอ่อนมักมีสีออกแดงและเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มเมื่อแก่ ก้านใบยาวถึง 10 เซนติเมตร โคนใบเรียว ขอบใบเป็นคลื่น ปลายใบแหลม ดอกออกเป็นช่อปลายกิ่ง มีการแตกแขนงของช่อดอกเป็นจำนวนมาก ยาวถึง 60 เซนติเมตร ดอกสีเหลืองแกมเขียว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 - 8 มิลลิเมตร ก้านดอกยาว 1 มิลลิเมตร ฐานรองดอกสั้น รูปถ้วย ผลสดแบบผลเมล็ดเดียวแข็ง มีเนื้อหนา ปกติรูปไข่แกมขอบขนานขนาด 30 x 10 เซนติเมตร ผลสีเขียวแกมเหลืองไปจนถึงสีออกแดง มะม่วงมีถิ่นกำเนิดใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประเทศอินเดียต่อเนื่องมาถึงพม่า กระจายพันธุ์ในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน สภาพอากาศหนาวเย็นในเขตกึ่งร้อนทำให้มะม่วงออกดอกมาก ในการปลูกเป็นการค้าจำเป็นต้องมีช่วงแล้งนานกว่า 3 เดือน และมะม่วงออกดอกในช่วงฤดูร้อน แต่หากปลูกในเขตร้อน มะม่วงจะออกดอกไม่สม่ำเสมอทำให้ผลผลิตที่ได้ไม่แน่นอน (พีรศักดิ์ และคณะ, 2544)

2.1.8 ยางพารา (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ลำต้นเปลาตรง เปลือกไม้มีท่อยางอยู่จำนวนมาก ใบเป็นใบประกอบ ก้านใบ 1 ก้านจะมีใบย่อย 3 ใบ ใบจะแตกออกเป็นชั้นๆ เรียกว่า “ฉัตร” ระยะเวลาเริ่มแตกฉัตรจนถึงใบแก่เต็มที่จะใช้เวลา 2 - 3 เดือน ผลัดใบในฤดูแล้งของทุกปี ดอกมีลักษณะเป็นช่อ ออกดอกตามปลายกิ่งหลังจากที่ผลัดใบ ผลมีลักษณะเป็นพู มักมี 3 พู ในแต่ละพูจะมีเมล็ดอยู่ภายใน ผลอ่อนสีเขียวผลแก่สีน้ำตาลและแข็ง เมล็ดมีสีน้ำตาลลายขาวยาว 2.0 - 2.5 เซนติเมตร กว้าง 1.5 - 2.5 เซนติเมตร ท่อน้ำยางจะเรียงตัวกันอยู่ในเปลือกไม้ น้ำยางเป็นของเหลวสีขาวถึงขาวปนเหลืองขุ่นข้น ยางพารามีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ นำเข้ามาในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2442 เริ่มแรกปลูกในพื้นที่ภาคใต้ ปัจจุบันปลูกได้ทั่วทุกภาค (องค์การสวนยาง, 2556)

2.1.9 ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) เป็นไม้ขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ มีความสูง 24 - 26 เมตร และอาจสูงถึง 50 เมตร ลำต้นเปลาตรง มีกิ่งก้านสาขาน้อย เปลือกมีลักษณะเรียบเป็นมัน มีสีเทาสลับสีขาวและน้ำตาลแดง เปลือกนอกจะแตกร่อนเป็นแผ่นหลุดออกจากผิวของลำต้น ใบเป็นคู่ตรงข้ามเรียงสลับกัน ลักษณะใบเป็นรูปหอกขนาด 2.5 - 12.0 x 0.3 - 0.8 นิ้ว ก้านใบยาว ใบสีเขียวอ่อนหรือสีเทา ช่อดอกเกิดที่ข้อต่อระหว่างกิ่งกับใบ มีก้านดอกเรียวยาวและมีก้านย่อยแยกไปอีก ออกดอกเกือบทั้งปี ออกดอกปีละ 7 - 8 เดือน ผลมีลักษณะครึ่งวงกลมหรือรูปถ้วย มีขนาด 0.2 - 0.3 x 0.2 - 0.3 นิ้ว ผิวนอกแข็ง เมื่อยังอ่อนจะสีเขียวและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเมื่อแก่ ผลแก่ปลายผลจะแยกออกทำให้เมล็ดที่อยู่ภายในร่วงหล่นออกมา เมล็ดขนาด 1 มิลลิเมตร มีสีเหลือง ยูคาลิปตัสมีถิ่นกำเนิดในทวีปออสเตรเลีย นำเข้ามาในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2493 ยูคาลิปตัสสามารถเจริญเติบโตได้ในทุกสภาพของดินแทบทุกประเภท แต่จะไม่ทนทานต่อดินที่มีหินปูนสูง (ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน กรมป่าไม้, 2553)

2.1.10 รัง (*Shorea siamensis* Miq.) เป็นไม้ยืนต้นมีความสูง 25 เมตร ลำต้นมีลักษณะเปลาตรง เปลือกหนาและมีสีเทาอมน้ำตาล เปลือกจะแตกเป็นร่องและเป็นสะเก็ดตามยาว เรือนยอดเป็นทรงกลมหรือรูปเจดีย์ จะผลิใบใหม่พร้อมช่อดอก ใบก่อนร่วงจะเปลี่ยนเป็นสีแสด ใบเป็นใบเดี่ยว ดอกออกรวมกันเป็น ช่อใหญ่ ออกดอกตามรอยแผลใบ ปลายกิ่งและง่ามใบ ดอกมีกลิ่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หอมและมีสีเหลืองอ่อน ผลเป็นรูปไข่และถูกหุ้มด้วยกระพุ้งโคนปีก ปีกใหญ่และยาว 3 ปีก มีเส้นปีกตามยาว 5 - 8 ปีก ส่วนปีกสั้นและเล็กมี 2 ปีก พบในป่าเบญจพรรณแล้งหรือป่าแดงทั่วไป (จำลอง และ ชวลิต, 2542)

2.2 ลักษณะทางกายวิภาคของไม้

ลักษณะทางกายวิภาคของไม้แต่ละชนิด มีดังนี้

2.2.1 กระถินณรงค์ เนื้อไม้ส่วนของแก่นสีน้ำตาลอมดำ เสี้ยนตรง พอร์มีทั้งพอร์เดี่ยวและพอร์แฝด การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย เส้นเรย์ขาดเป็นช่วงๆ พาเรนไคมาเป็นแบบรอบพอร์ (ส่วนพัฒนาผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, 2547)

2.2.2 กระบก เนื้อไม้สีเทาปนน้ำตาล เสี้ยนตรง วงปีเห็นไม่ชัดเจน การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย พอร์มีทั้งแบบพอร์เดี่ยวและพอร์แฝด ซึ่งพอร์แฝดมีจำนวน 2 - 4 เซลล์ พอร์มีความโตเฉลี่ยประมาณ 145 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 6 - 8 พอร์ ใน 1 ตารางมิลลิเมตร แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว เวสเซลมีขนาดความยาวเฉลี่ยประมาณ 625 ไมครอน พาเรนไคมาส่วนใหญ่เรียงตัวแยกจากพอร์เป็นแถบลูกคลื่น กว้าง 2 - 3 เซลล์ ส่วนน้อยอยู่ชิดพอร์เพียงบางส่วนแต่ไม่ล้อมรอบ ภายในเซลล์มีผลึก เรย์มีความกว้าง 30 ไมครอน ความสูง 300 – 1,360 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 13 เรย์ต่อ 1 มิลลิเมตร เรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ค่อนข้างมาทางเรย์เชิงเดี่ยว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น มีความโต 12 ไมครอน ผนังหนา 6 ไมครอน และมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1,540 ไมครอน (วิรัช และ ดำรงค์, 2516)

2.2.3 โกงกางใบเล็ก เนื้อไม้สีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลแดง วงปีเห็นไม่ชัดเจน การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย พอร์มีทั้งแบบพอร์เดี่ยว พอร์แฝด พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ซึ่งพอร์แฝดมีจำนวน 2 - 3 เซลล์ พอร์มีความโตประมาณ 127 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 10 - 12 พอร์ ใน 1 ตารางมิลลิเมตร แผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได เวสเซลมีขนาดความยาวเฉลี่ยประมาณ 805 ไมครอน พาเรนไคมามีอยู่น้อยเป็นแบบอยู่ติดพอร์เป็นหย่อมๆ เรย์มีความกว้าง 30 ไมครอน ความสูง 600 – 2,200 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 5-6 เรย์ต่อ 1 มิลลิเมตร เรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ภายในเซลล์มีผลึก ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น มีความโต 30 ไมครอน ผนังหนา 9 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1,521 ไมครอน (วิรัช และ ดำรงค์, 2517)

2.2.4 เต็ง เนื้อไม้สีน้ำตาลอ่อนเมื่อตัดใหม่ๆ ทิ้งไว้นานเป็นสีน้ำตาลแก่แกมแดง เสี้ยนสน มีวงปีแต่ไม่ชัดเจน การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย พอร์มีทั้งแบบพอร์เดี่ยวและพอร์แฝด พอร์มีความโตเฉลี่ยประมาณ 235 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 5 พอร์ ใน 1 ตารางมิลลิเมตร แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน เวสเซลมีขนาดความยาวเฉลี่ยประมาณ 370 ไมครอน ทายโลสมีเกือบทุกพอร์ พาเรนไคมาเป็นเซลล์เดี่ยวแยกจากพอร์ พวกที่อยู่ล้อมรอบพอร์แผ่ออกมาเป็นปีกและปีกต่อ เส้นเรย์เห็นชัด มีความกว้าง 10 - 180 ไมครอน ความสูง 225 - 1,380 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 5 - 7 เรย์ต่อ 1 มิลลิเมตร เรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น มีความโต 15 ไมครอน ผนังหนา 6 - 8 ไมครอน และมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1,500 ไมครอน ท่อยางมีเฉพาะท่อยางตามยาวเท่านั้น อยู่ภายในแถบพาเรนไคมา ซึ่งยาวไปตามแนวแทนเยนเชียล มีความโตแตกต่างกันตั้งแต่ 30 - 135 ไมครอน มีจำนวน 5 - 7 ท่อต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร ภายในท่อมีชันสีขาวอุดอยู่ พาเรนไคมาที่อยู่ล้อมรอบท่อยางเป็นแถบยาวมีความกว้างของแถบ 6 - 8 เซลล์ (วิรัช และ ดำรงค์, 2516)

2.2.5 มะม่วงป่า เนื้อไม้กระพี้มีสีน้ำตาลอ่อน สีของแก่นมีสีน้ำตาลไหม้เข้ม เสี้ยนตรง มีวงปีเห็นได้ชัดเจน การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย พอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบพอร์เดี่ยว พอร์แฝดมีจำนวน 2 เซลล์ พอร์มีความโตเฉลี่ยประมาณ 280 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 2 - 4 พอร์ ใน 1 ตารางมิลลิเมตร แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว เวสเซลมีขนาดความยาวเฉลี่ยประมาณ 480 ไมครอน ทายโลสมีเกือบทุกพอร์ พาเรนไคมาเป็นแบบล้อมรอบพอร์ และแผ่ออกมาเป็นปีก บางส่วนเป็นแบบปีกต่อ เส้นเรย์มีความกว้าง 40 ไมครอน ความสูง 120 - 850 ไมครอน ส่วนใหญ่เป็นเรย์แถวเดี่ยว มีจำนวนประมาณ 8 - 10 เรย์ ต่อ 1 มิลลิเมตร เรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ไฟเบอร์เป็นชนิดไฟเบอร์ทราคีด ภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น มีความโต 18 ไมครอน ผนังหนา 3 - 4 ไมครอน และมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 885 ไมครอน (วิรัช และ ดำรงค์, 2516)

2.2.6 ยางพารา เนื้อไม้สีขาวอมเหลือง เสี้ยนสน พอร์มีทั้งแบบพอร์เดี่ยวและพอร์แฝด การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย ภายในพอร์มีดีพอซิท เส้นเรย์เห็นชัด พาเรนไคมาเป็นแบบไม่ติดพอร์ (ส่วนพัฒนาผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, 2547)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.7 ยูคาลิปตัส เนื้อไม้สีน้ำตาลแดง เสี้ยนสน พอร์ส่วนใหญ่เป็นแบบพอร์เดี่ยวและพอร์แฝดมีน้อยมาก การเรียงตัวของพอร์เป็นแบบพอร์เฉียง การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย ภายในพอร์มีทายโลสเกือบทุกพอร์ เส้นเรย์เห็นชัด พาเรนไคมาเป็นแบบรอบพอร์ (ส่วนพัฒนาผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้, 2547)

2.2.8 รัง เนื้อไม้สีน้ำตาล เสี้ยนสน มีวงปีแต่ไม่ชัดเจน การกระจายของพอร์เป็นแบบกระจัดกระจาย ส่วนใหญ่เป็นพอร์เดี่ยวมากกว่าพอร์แฝด พอร์มีความโตเฉลี่ยประมาณ 200 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 5 พอร์ ใน 1 ตารางมิลลิเมตร แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน เวสเซลมีขนาดความยาวเฉลี่ยประมาณ 444 ไมครอน ทายโลสมีเกือบทุกพอร์ ส่วนมากเป็นพาเรนไคมาที่แยกออกจากพอร์เป็นแบบเซลล์เดี่ยวๆ หรือเป็นกลุ่มกระจัดกระจาย พาเรนไคมาที่อยู่ติดกับพอร์เป็นแบบปีก ภายในเซลล์มีผลึก เรย์มีความกว้าง 30 - 150 ไมครอน ความสูง 315 - 1,485 ไมครอน และมีจำนวนประมาณ 9 เรย์ต่อ 1 มิลลิเมตร เรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 2 และ 3 ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น มีความโต 13 - 20 ไมครอน ผนังหนา 8 - 9 ไมครอน และมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1,658 ไมครอน ท่อยางมีเฉพาะท่อยางตามยาวเท่านั้น อยู่ภายในแถบพาเรนไคมา ซึ่งยาวติดต่อตามแนวแทนเยนเชียล มีความโตแตกต่างกันตั้งแต่ 75 - 100 ไมครอน มีจำนวน 3 - 8 เซลล์ ต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร ภายในท่อมีชันสีขาวอุดอยู่ พาเรนไคมาที่อยู่ล้อมรอบท่อยางเป็นแถบสั้นๆ (วิรัช และดำรงค์, 2516)

2.3 กลสมบัติของไม้ กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ (2548) ได้ศึกษากลสมบัติของไม้ชนิดต่างๆ ในประเทศไทย ดังนี้

2.3.1 กลสมบัติของกระถิน มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) 0.61 ความหนาแน่น (density) 670 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) 1,258 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) 114,900 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน (compression parallel to grain) 662 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน (shear) 237 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง (hardness) 463 กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.2 กลสมบัติของกระถินณรงค์ มีกลสมบัติ ดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.71 ความหนาแน่น 790 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 1,119 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 97,900 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 687 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 149 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 637 กิโลกรัม

2.3.3 กลสมบัติของกระบก มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.93 ความหนาแน่น 1,040 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 1,503 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 114,300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 592 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 247 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 1,360 กิโลกรัม

2.3.4 กลสมบัติของโกงกางใบเล็ก มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.97 ความหนาแน่น 1,090 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 1,931 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 219,600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 826 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 203 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 1,060 กิโลกรัม

2.3.5 กลสมบัติของไม้เต็ง มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.87 ความหนาแน่น 973 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 1,799 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 178,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 799 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 253 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 1,133 กิโลกรัม

2.3.6 กลสมบัติของไม้มะขาม มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.65 ความหนาแน่น 781 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 775 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 63,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 407 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 180 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 809 กิโลกรัม

2.3.7 กลสมบัติของไม้มะม่วง มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.65 ความหนาแน่น 727 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 575 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 49,200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 275 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 148 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 404 กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.8 กลสมบัติของไม้ยางพารา มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.62 ความหนาแน่น 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 973 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 96,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 478 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 162 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 538 กิโลกรัม

2.3.9 กลสมบัติของไม้ยูคาลิปตัส มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.89 ความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 1,344 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 150,900 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 713 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 199 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 868 กิโลกรัม

2.3.10 กลสมบัติของไม้รัง มีดังนี้ เนื้อไม้มีความถ่วงจำเพาะ 0.89 ความหนาแน่น 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่ามอดุลัสแตกร้าว 1,352 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น 143,100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงอัดขนานเสี้ยน 621 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แรงเฉือน 126 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความแข็ง 755 กิโลกรัม

3. ลักษณะทางกายวิภาคของไม้ที่สามารถนำมาวินิจฉัยชนิดไม้

ธีระ และ ทรงกลด (2548) ได้อธิบายลักษณะทางกายวิภาคของไม้ ดังนี้

3.1 เวสเซลหรือพอร์ (vessels or pores) มีการกระจายและการเรียงตัวของพอร์ ดังนี้

3.1.1 การกระจายของพอร์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบวง (ring porous wood) แบบกระจาย (diffuse porous wood) และแบบกึ่งวง (semi-ring porous wood)

3.1.2 การเรียงตัวของพอร์ แบ่งออกเป็น 6 แบบ ได้แก่ พอร์เดี่ยว (solitary pore) พอร์แฝด (multiple pore) ซึ่งถ้าเส้นแบ่งของผนังพอร์ที่อยู่ติดกันขนานหรือเกือบขนานกับเรย์ เรียกว่า tangential multiple แต่ถ้าเส้นแบ่งของผนังพอร์ที่อยู่ติดกันตั้งฉากกับเรย์ เรียกว่า radial multiple พอร์โซ่ (pore chain) พอร์เฉียง (pore oblique) พอร์กลุ่ม (pore cluster) และพอร์แทนเยนเชียล (tangential pore)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.3 การเรียงตัวของพิท(pits) บนผนังเวสเซล แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบขั้นบันได(scalariform pitting) แบบตรงกัน(opposite pitting) และแบบสลับกัน(alternate pitting)

3.2 สิ่งที่อยู่ในพอร์ (inclusion in pores) ได้แก่ ดีพอซิท (deposit) และทายโลส (tylose)

3.3 พาเรนไคมาตามยาว (the longitudinal parenchymatous elements) การเรียงตัวของพาเรนไคมาตามยาวแบ่งออกเป็น 3 พวก ดังนี้

3.3.1 พาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์ (apotracheal parenchyma) แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบกระจาย (diffuse) แบบกระจายเป็นกลุ่ม (diffuse in aggregate) และแบบแถบ (metatracheal parenchyma) มี 4 แบบ คือ แบบเส้นเล็กๆ (fine line) แบบบอร์ดแบนด์ (broad band) แบบแถบขนาดใหญ่ (broad conspicuous band) และแบบตาข่าย (reticulate)

3.3.2 พาเรนไคมาแบบติดพอร์ (paratracheal parenchyma) แบ่งออกเป็น 5 แบบ ได้แก่ แบบติดพอร์เป็นหย่อม (scanty paratracheal) แบบติดพอร์ด้านเดียว (unilaterally paratracheal) แบบติดพอร์โดยรอบ (vasicentric) แบบปีก (aliform) และแบบปีกต่อ (confluent)

3.3.3 พาเรนไคมาแบบรอบวงปี (boundary parenchyma) แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ พาเรนไคมาแบบต้นฤดู (initial parenchyma) และพาเรนไคมาแบบปลายฤดู (terminal parenchyma)

3.4 เรย์ เซลล์ที่เรียงตัวเป็นเรย์มีลักษณะ ได้แก่ เซลล์นอน (procumbent cells) และเซลล์ตั้ง (upright cells) ซึ่งการเรียงตัวของเซลล์ทั้ง 2 ลักษณะได้แบ่งเรย์ออกเป็น 2 ชนิดย่อยๆ คือ เรย์เชิงเดี่ยว (homogeneous rays) และเรย์เชิงผสม (heterogeneous rays) ในสองชนิดนี้ยังแบ่งออกเป็นแบบต่างๆ ดังนี้ เรย์เชิงเดี่ยว (homogeneous rays) แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ เรย์เชิงเดี่ยวแบบที่ 1 และเรย์เชิงเดี่ยวแบบที่ 2 และเรย์เชิงผสม (heterogeneous rays) แบ่งออกเป็น 4 แบบ ได้แก่ เรย์เชิงผสมแบบที่ 1 เรย์เชิงผสมแบบที่ 2 เรย์เชิงผสมแบบที่ 3 และเรย์เชิงผสมแบบที่ 4

วิรัช และ ดำรงค์, 2516 ได้อธิบายลักษณะทางกายวิภาคของไม้ ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แผ่นเปอโฟเรชั่น (perforation plates) แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่ แบบรูเดี่ยว(simple perforation) แบบขั้นบันได(scalariform perforation) และแบบหลายรู(foraminate perforation)

ไฟเบอร์ มีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ไฟเบอร์ทราคีด (fiber tracheids) และลิบริฟอร์มไฟเบอร์ (libriform fibers) นอกจากนี้ยังมีไฟเบอร์ที่มีผนังคั่นภายใน(septate fibers) และไฟเบอร์ที่ไม่มีผนังคั่นภายใน(non-septate fibers)

4. การผลิตถ่าน

วินัย (2541) ได้อธิบายถึงเทคนิคการทำถ่านและขั้นตอนการทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน ดังนี้

4.1 เทคนิคการทำถ่าน

ถ่านไม้สามารถผลิตได้ โดยการให้ความร้อนแก่ไม้ทางอ้อมหรืออาจให้ความร้อนทางตรงและใช้การเผาในสภาวะที่มีอากาศจำกัด ในทางปฏิบัติเทคนิคการทำถ่านมีมากมายหลายวิธีและมีความแตกต่างกัน แต่ในหลักการใหญ่ๆ แล้วสรุปได้ 3 วิธี คือ

4.1.1 วิธีใช้เตาเผา (kiln method) โดยการเผาไม้ที่จะทำถ่านภายในเตาให้ติดไฟบางส่วน เพื่อนำความร้อนนี้ไปเปลี่ยนไม้ให้เป็นถ่าน

4.1.2 วิธีใช้เตากลั่นหรืออบ (retort or oven method) โดยนำไม้ไปบรรจุไว้ในท่อเหล็กหรือเตาอบที่มิดชิด แล้วให้ความร้อนจากภายนอกเพื่ออบไม้ให้เป็นถ่าน โดยไม่มีอากาศในเตา

4.1.3 วิธีใช้เตาเฟอร์เนซ (furnace method) โดยการเคลื่อนไม้ผ่านช่องว่างภายในเตาซึ่งได้รับความร้อนภายใต้สภาวะที่ควบคุม

การเผาถ่านด้วยวิธีใช้เตาเผาจะลงทุนต่ำ ซึ่งเหมาะสมสำหรับผลิตถ่านเป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อยและขนาดกลาง หรือครอบครัว แต่จะไม่สามารถควบคุมคุณภาพถ่านได้ ส่วนวิธีเตากลั่นและเตาเฟอร์เนซ จะต้องลงทุนมากเพราะต้องใช้พลังงานความร้อนจากภายนอกหรือเครื่องมือที่มีความซับซ้อนและราคาแพง แต่จะสามารถควบคุมผลผลิตและคุณภาพของถ่านได้ตามที่ต้องการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2 ขั้นตอนการทำให้ไม้กลายเป็นถ่าน

การทำให้ไม้กลายเป็นถ่านด้วยความร้อนมีขั้นตอนดังนี้

4.2.1 การคายความชื้น (dehydration) การคายความชื้นของไม้ต้องการพลังงานความร้อนจากภายนอก ฉะนั้นการทำถ่านไม้แบบใช้เตาเผาจึงจำเป็นต้องให้ความร้อนโดยการจุดไฟโดยใช้เศษไม้แห้งหรือน้ำมันเบนซินที่หน้าเตาหรือช่องใส่ไฟ เพื่อที่จะทำให้บางส่วนของไม้ที่จะทำถ่านเกิดการสันดาปอย่างสมบรูณ์และเกิดความร้อนเพียงพอที่จะไล่ความร้อนออกจากไม้ในส่วนที่ยังไม่ไหม้ การให้ความร้อนในระยะแรกนี้ในเวลานานเพียงสังเกตได้จากอุณหภูมิหรือควัน ซึ่งเกิดจากเผาไหม้หรือสันดาปในสภาวะที่อากาศเกินพอ จนอุณหภูมิของไม้ในบริเวณที่ติดไฟเพิ่มขึ้นประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส หรือเมื่อเกิดควันสีน้ำเงินปนขาว เมื่อเห็นว่าความร้อนเพียงพอก็เริ่มจำกัดอากาศ เพื่อไม่ให้เกิดการสันดาปอีกต่อไป โดยการลดช่องอากาศเข้าให้น้อยลง จะทำให้อุณหภูมิตกลงมาอย่างรวดเร็วประมาณ 100-120 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่เพียงพอเพื่อให้ความชื้นระเหยไปจากไม้ ความร้อนในระยะแรกนี้ทำให้ความชื้นค่อยๆ ระเหยออกไปจากไม้ เช่นเดียวกับการไหม้และทำให้สารที่ระเหยได้เร็วในไม้บางชนิดระเหยออกไปได้บ้าง อย่างไรก็ตามระยะนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการคายน้ำซับอยู่ในช่องว่างของเซลล์และที่อยู่ในผนังเซลล์เท่านั้น จะไม่มีน้ำที่เกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างไม้เจือปนออกมา เวลาที่ใช้ในการคายความชื้นในระยะนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในไม้เริ่มต้น ขนาดของไม้ฟืนและคุณสมบัติเฉพาะในการแห้งของไม้ชนิดนั้น จะเห็นได้ว่าการผึ่งไม้ให้มีความชื้นน้อยลงก่อนเผา จะช่วยลดระยะเวลาในการเผาถ่านลงและช่วยประหยัดไม้ฟืนหน้าเตาด้วย หากไม้ถูกเผาเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ขี้เถ้ามากขึ้นเป็นเหตุให้ผลผลิตของถ่านต่ำลง

4.2.2 การเกิดเป็นถ่าน (carbonization)

หลังจากความชื้นออกไปจากไม้หมดแล้ว อุณหภูมิจะเริ่มสูงอย่างรวดเร็ว โดยแบ่งระยะออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

4.2.2.1 อุณหภูมิไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิใกล้ 200 องศาเซลเซียส พวกสารที่ระเหยได้บางชนิดจะถูกไล่ออกไปพร้อมทั้งเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ กรดฟอร์มิคและกรดอะซิติกบ้างเล็กน้อย เนื่องจากลิกนินและเฮมิเซลลูโลสเริ่มแตกตัวแต่มีปริมาณน้อยไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.2.2.2 อุณหภูมิ 200 - 280 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาช่วงนี้ลิกนินและเฮมิเซลลูโลส จะแตกตัวมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิใกล้ 280 องศาเซลเซียส เซลลูโลสเริ่มแตกตัว ทำให้เกิดแก๊สต่างๆ ไม้เริ่มจะกลายเป็นถ่านอย่างช้าๆ โดยเป็นปฏิกิริยาที่ดูดความร้อน (endothermic reaction) จึงต้องการความร้อนจากภายนอกเข้ามาช่วย

4.2.2.3 อุณหภมิ 280 - 500 องศาเซลเซียส องค์ประกอบของไม้เกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว เรียกว่า ปฏิกิริยาการคายความร้อนออก (exothermic reaction) เกิดแก๊สต่างๆ หลายชนิด สามารถกลั่นและเก็บไว้ใช้ประโยชน์เป็นผลพลอยได้ เช่น น้ำมันดิน กรดไพโรลิกเนียส และสารละลายน้ำได้อื่นๆ ส่วนของแข็งที่เหลือจะเปลี่ยนสภาพโดยการจับตัวใหม่ของคาร์บอนกลายเป็นโครงสร้างใหม่คล้ายแกรไฟต์ ซึ่งเรียกว่า ถ่าน

4.2.2.4 อุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ก่อนที่ไม้จะกลายเป็นถ่านหมดไม้ส่วนนอกหรือผิวนอกซึ่งกลายเป็นถ่านแล้ว จะทำปฏิกิริยากับแก๊สที่ซึมออกมาจากภายในเกิดปฏิกิริยารวมตัวของแก๊สกับคาร์บอน และเกิดแก๊สต่างๆ เพิ่มขึ้นอีก โดยส่วนที่กลายเป็นถ่านแล้วก็จะเกิดการสลายตัวไปอีกบางส่วน จึงทำให้ผลผลิตของถ่านต่ำลง ซึ่งปฏิกิริยาช่วงนี้สำคัญมาก ถ้าควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่า 500 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตและคุณภาพของถ่านสูง เนื่องจากเป็นการควบคุมไม่ให้เกิดปฏิกิริยาซ้ำของถ่านในส่วนที่กลายเป็นถ่านไปแล้ว การที่จะทราบว่าการเผาถ่านจะเกิดปฏิกิริยาซ้ำหรือไม่ ให้สังเกตจากควัน ถ้าควันขาวหนาพุ่งออกจากปล่องเป็นจำนวนมากแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการกลั่นทำลายที่สมบรูณ์ โดยควันขาวดังกล่าวจะประกอบด้วยแก๊สต่างๆ รวมทั้งไอน้ำมันดินมากมาย แต่ถ้าเกิดปฏิกิริยาซ้ำจะเห็นควันเป็นสีฟ้าอ่อนจางๆ สมควรจะต้องรีบปิดเตาโดยเร็ว

4.2.3 การปล่อยให้เย็น (cooling) เมื่อไม้เกิดปฏิกิริยาการกลั่นทำลายอย่างสมบรูณ์ และกลายเป็นถ่านอย่างทั่วถึง อุณหภูมิในเตาเริ่มสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส อย่างรวดเร็ว เพราะเกิดปฏิกิริยาซ้ำ โดยสังเกตได้จากควันจางๆ คล้ายควันบุหรี่ เป็นควันสีฟ้าอ่อนและเบาบางมาก ควันเบาบางแสดงว่ามีแก๊สสลายตัวออกมาจากไม้มาก เนื่องจากปฏิกิริยาการสลายตัวใกล้สิ้นสุดลงแล้ว ถ้าปล่อยให้อากาศเข้าไปอีกเรื่อยๆ ถ่านก็จะเริ่มกลายเป็นขี้เถ้ามากขึ้น จึงต้องปิดเตา เพื่อให้ปฏิกิริยาต่างๆ หยุด อุณหภูมิก็จะลดลง ระยะเวลาที่ถ่านจะเย็นลงขึ้นอยู่กับอัตราการพาความร้อนผ่านผนังเตาออกมาข้างนอก และควรปล่อยให้อุณหภูมิภายในเตาประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส จึงทำการเปิดเตา ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ถ่านอาจจะลุกเป็นไฟขึ้นเองได้อีก (spontaneous combustion) เพราะถ่านที่ร้อนอยู่สัมผัสกับออกซิเจนที่อยู่ในบรรยากาศ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การศึกษาทางด้านไมโครเทคนิค (microtechnique) ของถ่านไม้

สมคิด (2526) ได้ศึกษาเทคนิคการเตรียมตัวอย่างไม้เพื่อศึกษาในกล้องจุลทรรศน์ พบว่าในการเตรียมตัวอย่างของไม้เพื่อให้สามารถศึกษาได้ในกล้องจุลทรรศน์นั้น ตัวอย่างจะต้องบางมากๆ ในการที่จะตัดชิ้นส่วนไม้ให้ได้ชิ้นส่วนที่บางมากๆ และไม่ให้ชิ้นส่วนนั้นเสียรูปร่าง จึงจำเป็นต้องผ่านขั้นตอนและกระบวนการต่างๆ มากมาย เช่น การทำให้ตัวอย่างอ่อนตัว การตัดเพื่อให้ได้ชิ้นบางโดยใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ การหลอมยึดตัวอย่างเมื่อตัวอย่างมีความเปราะและแตกหักง่าย นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องมีกระบวนการเตรียมสไลด์ของชิ้นบางเพื่อให้สามารถนำไปศึกษาในกล้องจุลทรรศน์ได้ เช่น การย้อมสี การเอาน้ำและการเอาแอลกอฮอล์ออกจากตัวอย่าง เป็นต้น

การเตรียมตัวอย่างถ่านก็เช่นเดียวกัน เนื่องจากถ่านมีความเปราะแตกหักง่าย การหลอมยึดตัวอย่างหรือการหาวิธีต่างๆ เพื่อนำมาช่วยในการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคก็มีความสำคัญ เพราะลักษณะทางกายวิภาคสามารถบอกถึงชนิดไม้ได้ เริ่มจาก McGinnes *et al.* (1971) ได้ศึกษาการลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ white oak โดยการนำไปหลอมยึดด้วย polyethylene glycol ก่อน หลังจากนั้นนำไปตัดด้วยเครื่อง sliding microtome แล้วศึกษาลักษณะโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope) Blankenhorn *et al.* (1972) ได้ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope (SEM)) Angeles (2001) ได้ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ด้วยกล้องผ่าตัด (dissecting microscope) โดยการเคลือบผิวหน้า 2 วิธี คือ ใช้น้ำยาลบคำผิด (correction fluid) และน้ำยาทาเล็บ (nail polish) จากอดีตจนถึงปัจจุบันส่วนใหญ่การศึกษาลักษณะทางกายของถ่านจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แต่การใช้วิธีนี้ทำให้ใช้ค่าใช้จ่ายในการศึกษาตัวอย่างสูง

6. การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้

จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านอย่างต่อเนื่อง ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.1 McGinnes *et al.* (1971) ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ white oak พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 530-750 องศาฟาเรนไฮต์ (276.7-398.9 องศาเซลเซียส) พบว่า ลักษณะทางกายวิภาคอย่างหยาบไม่มีเปลี่ยนแปลง เซลล์บางเซลล์เกิดการเสียรูปและถูกทำลาย หากใช้อุณหภูมิสูงขึ้น จะเกิดการเสียรูปและการแตกเพิ่มขึ้น การหดตัวทางปริมาตรมีค่า 44.6 เปอร์เซ็นต์ แต่สามารถจำแนกชนิดถ่านจากไม้ได้

6.2 Blankenhorn *et al.* (1972) ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ใบกว้างบางชนิดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้แก่ black cherry, birch, white ash และ white oak เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 873-1273 องศาเคลวิน (600-1000 องศาเซลเซียส) พบว่า ลักษณะทางกายวิภาคไม่มีเปลี่ยนแปลง ยังปรากฏให้เห็นพอร์ เรย์ พาเรนไคมาตามยาว ไฟเบอร์ หลุมผนังเซลล์ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว แผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได และทายโลสได้

6.3 Zicherman and Williamson (1981) ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ Douglar-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Frabco) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ลักษณะภายนอกของถ่านจะมีการเสียรูป แต่ลักษณะทางกายวิภาคไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น บอร์เดอร์พิท (bordered pits) ซึ่งเนื้อไม้ต้นฤดู (earlywood) และช่วงรอยต่อระหว่างเนื้อไม้ต้นฤดูกับเนื้อไม้ปลายฤดู (latewood) จะพบรอยปริแตก แต่ในเนื้อไม้ปลายฤดูไม่พบรอยปริแตก

6.4 Prior and Gasson (1993) ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านไม้ใบกว้าง (hardwoods) 6 ชนิด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 700 องศาเซลเซียส พบว่า ลักษณะทางกายวิภาคยังคงอยู่ เช่น เวสเซล เรย์ พาเรนไคมา และไฟเบอร์ เป็นต้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น แต่สามารถจำแนกชนิดถ่านจากไม้ได้

6.5 วิชนี และคณะ (2545) ศึกษาลักษณะโครงสร้างด้านหน้าตัดของไม้ใบกว้างบางชนิดในประเทศไทย 14 ชนิด ได้แก่ กระถินณรงค์ กระถินเทพา กระถินยักษ์ โกงกางใบเล็ก กระบก ฝาด ตะบูนขาว ยางพารา ยูคาลิปตัส ลำไย สนประดิพัทธ์ สะแก สะเดาและเสม็ดขาว ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 500 องศาเซลเซียส ยังปรากฏให้เห็นพอร์ เรย์ พาเรนไคมาตามยาวได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.6 Kim and Hana (2006) ศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ *Quercus variabilis* Blume ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400, 600, 800 และ 1,000 องศาเซลเซียส พบว่า ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ลักษณะทางกายภาพไม่มีเปลี่ยนแปลง ยังปรากฏให้เห็น พอร์ เรย์ พาเรนไคมาตามยาว ทายโลสและผลึก (crystal)ได้ยกเว้นชั้นของผนังเซลล์จะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (homogenous) แต่เมื่อใช้อุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส การหดตัวทางปริมาตรและเซลล์เกิดการแตกเพิ่มมากขึ้น

6.7 Leme *et al.* (2010) ศึกษาทางกายวิภาคของไม้สกุล *Mimosa* 2 ชนิด ได้แก่ *Mimosa ophthalmocentra* Benth. และ *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 300, 400, 600 และ800 องศาเซลเซียส ในแต่ละอุณหภูมิจะใช้เวลาในการเผา 1 และ 2 ชั่วโมง ยกเว้นอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2 ชั่วโมง พบว่า ณ อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ไม้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้ลักษณะทางกายวิภาคไม่มีเปลี่ยนแปลง เมื่อใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เซลล์เกิดการแตกเล็ก และเมื่อใช้อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เรย์เซลล์เกิดการแตกเพิ่มมากขึ้น gummy ในเวสเซลสลายตัว แต่ยังปรากฏเห็นผลึกในพาเรนไคมาตามยาว

7. คุณสมบัติของถ่าน

ปรีชา (2529) ได้อธิบายคุณสมบัติของถ่าน โดยถ่านที่ผลิตขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ถ่านสำหรับหุงต้มและถ่านสำหรับอุตสาหกรรม ซึ่งถ่านทั้ง 2 ประเภทนี้มีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์แตกต่างกัน ดังนี้

7.1 ถ่านสำหรับหุงต้ม มีคุณสมบัติ ดังนี้

7.1.1 ความหนาแน่นของถ่านก้อน ถ่านที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงควรมีความหนาแน่นปานกลาง (0.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ขึ้นไป ถ่านที่เบาเกินไปควรนำไปอัดแท่งเสียก่อนจึงจะเหมาะสมที่จะนำมาหุงต้ม ตัวอย่างถ่านที่มีความหนาแน่นเหมาะสมใช้สำหรับหุงต้ม เช่น ถ่านจากไม้โกงกาง ตะคร้อ มะค่าแต้ กระบก มะขามเทศ สะแกนา เป็นต้น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.1.2 การแตกระเบิดเมื่อติดไฟ เกิดจากสารอนินทรีย์บางตัวที่มีมากเกินไป เช่น แมกนีเซียม โซเดียมและฟอสฟอรัส เป็นต้น ถ่านที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มไม่ควรมีการแตกระเบิดเมื่อติดไฟ

7.1.3 ควัน ถ่านไม้ที่มีควันมากไม่เหมาะสมที่จะเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้ม ควันของถ่านจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารระเหย ดังนั้นถ่านที่มีปริมาณสารระเหยต่ำกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นถ่านที่ปราศจากควัน

7.1.4 ค่าความร้อน จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลาในการผลิตถ่าน ค่าความร้อนเฉลี่ย 7,000 – 7,600 แคลอรี่ต่อกรัม และในไม้บางชนิดอาจมีค่าความร้อนต่ำกว่า 6,500 แคลอรี่ต่อกรัม

7.2 ถ่านสำหรับอุตสาหกรรม คุณสมบัติของถ่านที่เหมาะสมในการถลุงเหล็ก ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนเสถียร 70 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณสารระเหย 25 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณขี้เถ้า 5 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นของถ่าน 0.24 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความชื้นของถ่าน 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าความร้อน 6,800 - 7,000 แคลอรี่ต่อกรัม

พุฒินันท์ (2546) ได้อธิบาย ถ่านไม้ที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้

คาร์บอนเสถียร (fixed carbon)	ไม่น้อยกว่า	75 เปอร์เซ็นต์
สารระเหย (volatile)	ไม่เกิน	25 เปอร์เซ็นต์
ขี้เถ้า (ash)	ไม่เกิน	4 เปอร์เซ็นต์
ถ่านป่น (fine)	ไม่เกิน	10 เปอร์เซ็นต์
ความชื้น (moisture)	ไม่เกิน	10 เปอร์เซ็นต์
ค่าความร้อน (heating value)	ไม่น้อยกว่า	7,000 กิโลแคลอรี่ต่อกิโลกรัม
ค่าความแข็ง (hardness)	ไม่น้อยกว่าระดับ 5	
ความพรุน (porosity)	มีพื้นที่ผิวไม่น้อยกว่า 200 ตารางเมตรต่อกรัม	
ความต้านทานไฟฟ้า	ต่ำ	
ความเป็นด่างสูง	ค่า pH ประมาณ 8 - 9	

คุณสมบัติของถ่านจะแปรผันตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิต การเก็บรักษาและการขนส่งถ่านไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. การเตรียมไม้ ดังนี้

1.1 ชนิดไม้ที่นำมาศึกษามี 10 ชนิด ได้แก่ กระถิน กระถินณรงค์ กระบก โกงกางใบเล็ก เต็ง มะขาม มะม่วง ยางพารา ยูคาลิปตัส และ รัง

1.2 เลื่อยตัดไม้

2. การหาความถ่วงจำเพาะ

2.1 เตาอบ (oven)

2.2 เดซิกเคเตอร์ (desiccator)

2.3 เครื่องชั่ง

3. การเผาถ่าน ดังนี้

3.1 แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil)

3.2 เตาเผาเฟอร์เนซ (furnace)

4. การเตรียมชิ้นไม้บาง ดังนี้

4.1 เครื่อง sliding microtome

4.2 มีดไมโครโตม

4.3 mordant

4.4 hematoxylin

4.5 safranin

4.6 ethyl alcohol

4.7 xylene

4.8 permount

4.9 แผ่นสไลด์และกระจกปิดสไลด์ (cover glass)

4.10 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (light microscope)

4.11 กล้องถ่ายภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การเตรียมถ่านไม้เพื่อใช้ศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน ดังนี้
   5.1 stub
   5.2 เทปคาร์บอน (carbon tape)
   5.3 ทองคำ
   5.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)
   5.5 กล้องถ่ายภาพ

6. การหลอมยึดตัวอย่างถ่านไม้
   6.1 การหลอมยึดด้วยพาราฟฟิน (paraffin)
      6.1.1 พาราฟฟิน
      6.1.2 xylene
      6.1.3 ethyl alcohol
   6.2 การหลอมยึดด้วยพลาสติก
      6.2.1 epon 812
      6.2.2 DDSA (dodecenyl succinic anhydride)
      6.2.3 propylene oxide
      6.2.4 accelerator DMP 30 (tri(dimethyl amino methyl)phenol)

วิธีการ

1. การเตรียมชิ้นไม้ตัวอย่าง

ตัดต้นไม้ที่ระดับชิดดิน แล้ววัดความยาวจากรอยตัดขึ้นมา 1.3 เมตร และตัด หลังจากนั้นวัดจากด้านปลายท่อนไม้ลงมา 60 เซนติเมตร และตัด นำท่อนไม้ยาว 60 เซนติเมตร ที่ได้จากการตัดไปตัดแบ่งออกเป็น 3 ชิ้น ขนาดเท่าๆ กัน ยาวชิ้นละ 20 เซนติเมตร แล้วนำชิ้นไม้ขนาด 20 เซนติเมตร ไปตัดแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ จะได้ชิ้นไม้เล็กๆ เป็นลูกบาศก์ขนาด 2.5 x 2.5 x 2.5 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1

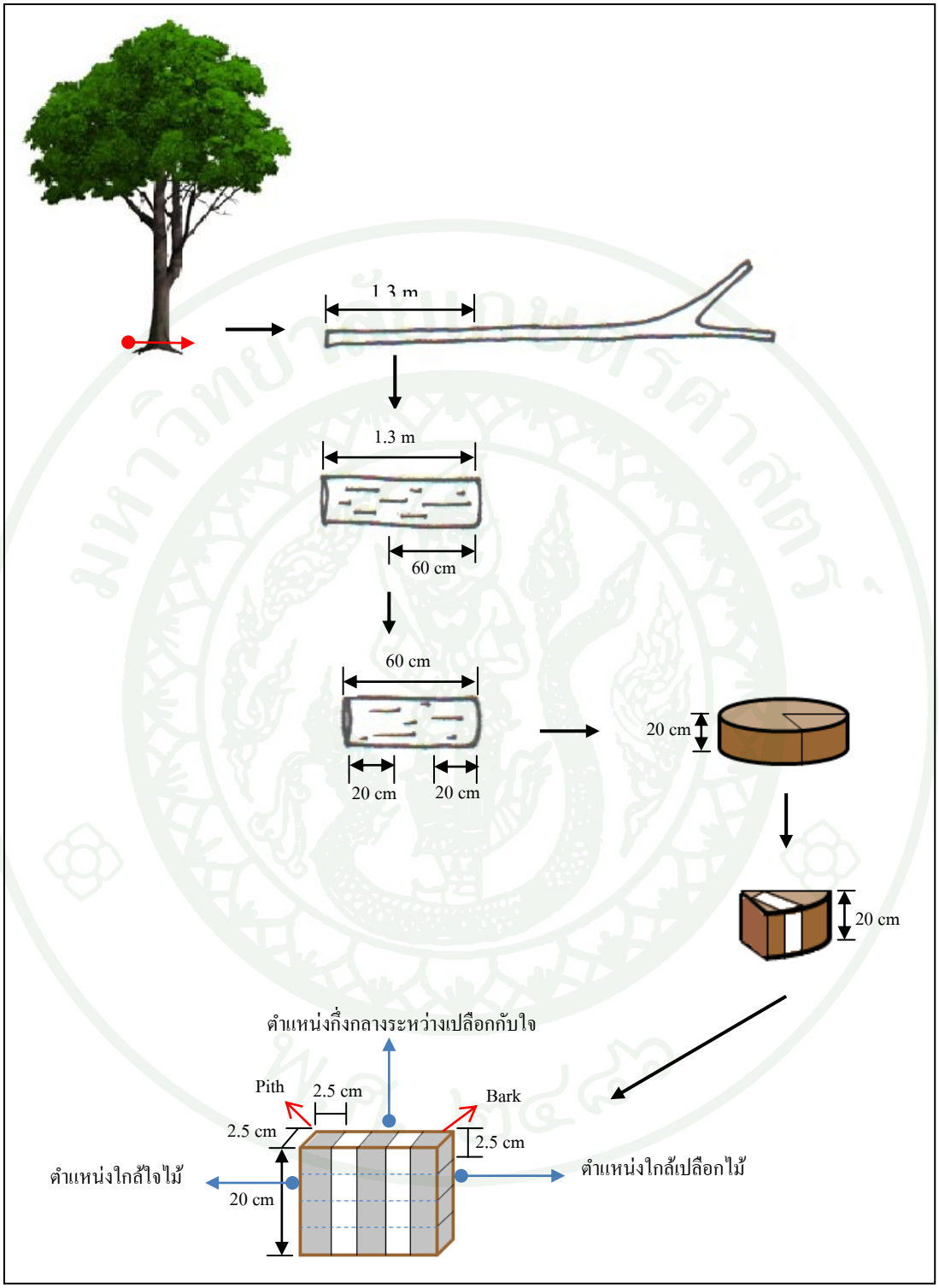
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมชิ้นไม้เพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้จะศึกษาทั้ง 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตัดตัวอย่างไม้ชนิดละ 3 ชุด แบ่งออกเป็นชุดละ 3 ซ้ำ ได้จำนวนทั้งหมด 9 ตัวอย่างต่อชนิด ไม้ที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 10 ชนิด จึงใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นไม้เพื่อศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ ทำการศึกษาตำแหน่งตามแนวรัศมีจากตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใกล้ใจไม้ การเตรียมตัวอย่างชิ้นไม้ได้ดำเนินการเช่นเดียวกับการเตรียมชิ้นไม้เพื่อศึกษาทางกายวิภาค นำชิ้นไม้ไปเผาในเตาเฟอร์เนซใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ดังนั้นใช้ตัวอย่างถ่านไม้ชนิดละ 3 ชุด แบ่งออกเป็นชุดละ 3 ซ้ำ ได้จำนวนทั้งหมด 9 ตัวอย่างต่อชนิด ไม้ที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 10 ชนิด จึงใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 90 ตัวอย่าง

การเตรียมชิ้นไม้เพื่อวิเคราะห์ความถ่วงจำเพาะของเนื้อไม้และถ่านไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ทำการศึกษาทั้ง 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนั้นต้องใช้ตัวอย่างไม้ชนิดละ 18 ชุด แบ่งออกเป็นชุดละ 3 ซ้ำ ได้จำนวนทั้งหมด 54 ตัวอย่างต่อชนิด ไม้ที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 10 ชนิด จึงใช้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 540 ตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 การตัดชิ้นไม้ตัวอย่างจากต้นไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การเตรียมตัวอย่างชิ้นไม้บาง

ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างไม้ มีดังนี้

2.1 นำชิ้นไม้ที่ตัดได้ขนาด 2.5 x 2.5 x 2.5 เซนติเมตรแล้ว ในแต่ละตำแหน่งมาตัดแบ่งเป็น 3 ชิ้น เพื่อตัดให้ได้ชิ้นของด้านต่างๆ คือ ชิ้นที่ 1 เป็นด้านหน้าตัด (cross section) ชิ้นที่ 2 เป็นด้านสัมผัส (tangential section) และชิ้นที่ 3 เป็นด้านรัศมี (radial section) ขนาดของชิ้นตัวอย่าง 1.0 x 1.0 x 1.0 เซนติเมตร

2.2 นำตัวอย่างชิ้นไม้ที่ได้มาต้ม เพื่อให้เนื้อไม้อ่อนตัว

2.3 นำตัวอย่างชิ้นไม้มาตัดด้วยเครื่อง sliding microtome โดยตัดเป็นชิ้นไม้บาง ขนาด 12.0 – 18.0 ไมครอน

2.4 นำชิ้นไม้บางมาแช่ด้วย mordant และย้อมสีตัวอย่างด้วย hematoxylin และ safranin

2.5 นำชิ้นไม้บางมาเอาน้ำออกจากตัวอย่าง (dehydration) ด้วย ethyl alcohol ที่ความเข้มข้น ดังนี้ 10, 30, 50, 70, 95 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ (absolute alcohol) ตามลำดับ

2.6 นำชิ้นไม้บางมาเอาแอลกอฮอล์ออกจากตัวอย่างหรือทำให้ตัวอย่างใส (clearing) ด้วยการแช่ใน xylene เริ่มแรกแช่นาน 1 นาที และเปลี่ยน xylene 3 ครั้ง จากนั้นแช่ใน xylene นาน 24 ชั่วโมง เพื่อปรับสภาพ

2.7 ทำสไลด์ถาวร โดยใช้ permount เพื่อให้ชิ้นไม้บางติดกับแผ่นสไลด์และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

2.8 นำแผ่นสไลด์พร้อมชิ้นไม้บางไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จน permount แห้ง แล้วนำมาขูดเศษ permount ออก และทำความสะอาดสไลด์ด้วย xylene

2.9 นำสไลด์ถาวรไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope และบันทึกภาพ

3. การเตรียมตัวอย่างถ่านไม้

ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างถ่านไม้ มีดังนี้

3.1 นำชิ้นไม้ที่ตัดได้ขนาด 2.5 x 2.5 x 2.5 เซนติเมตรแล้ว ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบมาใส่ใน desiccator นาน 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก จนกระทั่งน้ำหนักคงที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2 นำชิ้นไม้มาห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์

3.3 เผาในเตาเฟอร์เนซด้วยอุณหภูมิ 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วปิดสวิทซ์เตา หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างออกมาทำให้เย็น โดยการแช่น้ำเพื่อหยุดปฏิกิริยาการเผาไหม้ นาน 1 ชั่วโมง

3.4 นำตัวอย่างถ่านไม้ออกจากน้ำและทิ้งไว้ให้ปรับสภาพที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง

4. การเตรียมตัวอย่างถ่านไม้เพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างถ่านไม้ มีดังนี้

4.1 นำตัวอย่างถ่านไม้ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มาตัดแบ่งเป็น 3 ชิ้น เพื่อตัดให้ได้ชิ้นของด้านต่างๆ คือ ชิ้นที่ 1 เป็นด้านหน้าตัด ชิ้นที่ 2 เป็นด้านสัมผัส และชิ้นที่ 3 เป็นด้านรัศมี ขนาดของชิ้นตัวอย่าง 0.5 x 0.5 x 0.3 เซนติเมตร โดยการตัดชิ้นตัวอย่างถ่านไม้จะใช้วิธีการหักตัวอย่างเพื่อให้ลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างมีความคมชัด

4.2 นำตัวอย่างถ่านไม้ไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่งโมง หลังจากนั้นเอาออกจากเตาอบมาใส่ในเดซิกเคเตอร์

4.3 นำตัวอย่างถ่านไม้ไปติดบน stub ด้วยเทปคาร์บอน แล้วนำไปเคลือบด้วยทองคำ

4.4 นำตัวอย่างถ่านไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และบันทึกภาพ

5. การหลอมยึดตัวอย่างถ่านไม้

5.1 การหลอมยึดด้วยพาราฟฟิน ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างชิ้นบางของถ่านไม้ มีดังนี้

5.1.1 นำตัวอย่างถ่านไม้ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มาตัดแบ่งเป็น 3 ชิ้น เพื่อตัดให้ได้ชิ้นของด้านต่างๆ คือ ชิ้นที่ 1 เป็นด้านหน้าตัด ชิ้นที่ 2 เป็นด้านสัมผัส และชิ้นที่ 3 เป็นด้านรัศมี ขนาดของชิ้นตัวอย่าง 1.0 x 1.0 x 1.0 เซนติเมตร

5.1.2 นำตัวอย่างถ่านไม้ไปต้มเพื่อไล่อากาศออก โดยใช้ตะแกรงกดทับไว้เพื่อไม่ให้ถ่านไม้ลอยขึ้นมา

5.1.3 นำชิ้นตัวอย่างถ่านไม้มาเอาน้ำออกจากตัวอย่างด้วย ethyl alcohol ที่ความเข้มข้นดังนี้ 10, 30, 50, 70, 95 เปอร์เซ็นต์ และ 100 เปอร์เซ็นต์ (absolute alcohol) ตามลำดับ

5.1.4 นำชิ้นตัวอย่างถ่านไม้มาเอาแอลกอฮอล์ออกจากตัวอย่าง ด้วยการแช่ใน pure xylene โดยเปลี่ยน pure xylene 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.1.5 นำขวดแก้วมาใส่ชิ้นตัวอย่างถ่านไม้ แล้วเติม xylene ผสมกับ paraffin ในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 เข้าไปแทนที่ pure xylene โดยเปลี่ยนสาร 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร

5.1.6 เติม xylene ผสมกับ paraffin ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เข้าไปแทนที่ โดยเปลี่ยนสาร 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร

5.1.7 เติม xylene ผสมกับ paraffin ในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เข้าไปแทนที่ โดยเปลี่ยนสาร 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร

5.1.8 เติม used pure paraffin เข้าไปแทนที่ โดยเปลี่ยนสาร 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร

5.1.9 เติม pure paraffin เข้าไปแทนที่ โดยเปลี่ยนสาร 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 1 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร

5.1.10 นำชิ้นตัวอย่างถ่านไม้ที่ผ่านการหลอมยึดแล้ว มาติดกับแท่งไม้ เพื่อช่วยในการยึดจับตัวอย่างและสะดวกในการตัด

5.1.11 นำชิ้นถ่านที่หลอมยึดแล้วไปตัดด้วยเครื่อง sliding microtome โดยตัดเป็นชิ้นบางขนาด 12.0 - 18.0 ไมครอน

5.1.12 นำชิ้นบางของถ่านไม้มาติดกับแผ่นสไลด์ด้วยกาว

5.1.13 นำชิ้นบางของถ่านไม้พร้อมแผ่นสไลด์มาเอา paraffin ออกด้วย xylene

5.1.14 ทำสไลด์ถาวร โดยใช้ permount เพื่อให้ชิ้นบางติดกับแผ่นสไลด์และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

5.1.15 นำแผ่นสไลด์พร้อมชิ้นบางของถ่านไม้ไปอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จน permount แห้ง แล้วนำมาขูดเศษ permount ออก และทำความสะอาดด้วย xylene

5.1.16 นำสไลด์ถาวรไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope และบันทึกภาพ

5.2 การหลอมยึดด้วยพลาสติก ขั้นตอนในการเตรียมตัวอย่างชิ้นบางของถ่านไม้ มีดังนี้

5.2.1 นำตัวอย่างถ่านไม้ในตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มาตัดแบ่งเป็น 3 ชิ้น เพื่อตัดให้ได้ชิ้นของด้านต่างๆ คือ ชิ้นที่ 1 เป็นด้านหน้าตัด ชิ้นที่ 2 เป็นด้านสัมผัส และชิ้นที่ 3 เป็นด้านรัศมี ขนาดของชิ้นตัวอย่าง 0.5 x 0.5 x 0.3 เซนติเมตร แล้วนำไปหลอมยึด

5.2.2 นำตัวอย่างถ่านไม้ไปต้มเพื่อไล่อากาศออก โดยใช้ตะแกรงกดทับไว้เพื่อไม่ให้ถ่านไม้ลอยขึ้นมา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5.2.3 นำขวดแก้วมาใส่ชิ้นตัวอย่างถ่านไม้ แล้วเติม pure propylene oxide เข้าไป โดยเปลี่ยน pure propylene oxide 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 30 นาที

5.2.4 เติม epoxy mix A ผสมกับ propylene oxide ในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 เข้าไปแทนที่ pure propylene oxide โดยเปลี่ยนสาร 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 3 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร ซึ่งการเตรียม epoxy mix A มีส่วนผสมของ epon 812 62 มิลลิลิตร กับ DDSA 100 มิลลิลิตร

5.2.5 เติม epoxy mix A ผสมกับ propyleneoxide ในอัตราส่วน 2 ต่อ 1 เข้าไปแทนที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยเปลี่ยนสาร 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 3 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร

5.2.6 เติม pure epoxy mix A เข้าไปแทนที่ โดยเปลี่ยน pure epoxy mix A 3 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 3 ชั่วโมง และดูดอากาศทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนสาร

5.2.7 ผสม accelerator DMP 30 จำนวน 8 - 10 หยด กับ epoxy mix A คนให้เข้ากันนาน 1 ชั่วโมง และดูดอากาศ

5.2.8 เทสารที่ได้จากข้อ 5.2.7 ลงในหลอดที่มีชิ้นตัวอย่างถ่าน และดูดอากาศ

5.2.9 นำหลอดที่มีชิ้นถ่านและสารอยู่ภายในไปเข้าเตาอบ อบด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง สารจะแข็งตัว

5.2.10 นำชิ้นถ่านที่หลอมยึดแล้วไปตัดด้วยเครื่อง sliding microtome โดยตัดเป็นชิ้นบางขนาด 12.0 - 18.0 ไมครอน

5.2.11 ทำสไลด์ถาวร โดยใช้ permount เพื่อให้ชิ้นบางติดกับแผ่นสไลด์และปิดด้วยกระจกปิดสไลด์

5.2.12 นำแผ่นสไลด์พร้อมชิ้นไม้บางไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง จน permount แห้ง แล้วนำมาขูดเศษ permount ออก และทำความสะอาดด้วย xylene

5.2.13 นำสไลด์ถาวรไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope และบันทึกภาพ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. การศึกษา

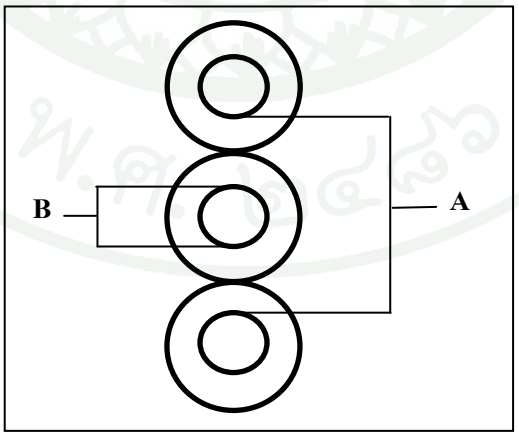
6.1 ตัวอย่างไม้ มีดังนี้

6.1.1 ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของไม้ทั้ง 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยทำการศึกษาทางด้านหน้าตัด ได้แก่ การกระจายของพอร์ การเรียงตัวของพอร์ ทายโลส ดีพอซิท การเรียงตัวของพาเรนไคมา จำนวนพอร์ต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร ความโตของพอร์ และความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2 และใช้สูตร (1) ในการหาความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์ (Veenin, 2006) การศึกษาทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวของพอร์ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซล strand parenchyma ผลึกภายในพาเรนไคมา ความกว้างและความสูงของเรย์ และจำนวนเรย์ต่อ 5 มิลลิเมตร การศึกษาทางด้านรัศมี ได้แก่ แผ่นเปอโพเรชั่น ผลึกภายในเรย์ เรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน เรย์เชิงเดี่ยวและเรย์เชิงผสม

$$\text{สูตร} \quad \text{ความหนาของผนังเซลล์} = \frac{A - B}{4} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ A คือ ความกว้างทั้งหมดของ 2 ผนังเซลล์ที่มีไฟเบอร์ 3 เซลล์ ติดกันและมีเซลล์ลูเมน (lumen) แทรกอยู่

B คือ ความกว้างของเซลล์ลูเมน (cell lumen)



ภาพที่ 2 การวัดความหนาของผนังเซลล์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.1.2 การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของไม้ทั้ง 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ทำการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) โดยเอาชิ้นไม้ที่ตัดได้ขนาด 2.5 x 2.5 x 2.5 เซนติเมตรแล้ว มาอบในเตาอบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นเอาออกจากเตาอบมาใส่ใน desiccator นาน 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ และหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ โดยใช้สูตร (2) ในการหาความถ่วงจำเพาะ (วิรัช, 2533) ดังนี้

$$\text{สูตร} \quad S = \frac{Wo}{V} \qquad (2)$$

เมื่อ S คือ ความถ่วงจำเพาะ (ถ.พ.)
Wo คือ น้ำหนักอบแห้งของไม้ (หน่วยเป็นกรัม)
V คือ น้ำหนักของน้ำที่ปริมาตรเท่าไม้ (หน่วยเป็นกรัม)

6.2 ตัวอย่างถ่านไม้ มีดังนี้

6.2.1 การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ เนื่องจากตัวอย่างถ่านไม้มีความเปราะและแตกหักง่าย การใช้เทคนิคการหลอมยึดตัวอย่างไม่สามารถทำได้ ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เทคนิคการตัดด้วยเครื่อง sliding microtome จึงศึกษาโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อให้สามารถเห็นลักษณะทางกายวิภาคที่ดีและชัดเจนได้ ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคตำแหน่งตามแนวรัศมีจากตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใกล้ใจไม้ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ การกระจายของพอร์ การเรียงตัวของพอร์ ทายโลส ดีพอซิท การเรียงตัวของพาเรนไคมา และผนังเซลล์ไฟเบอร์ การศึกษาทางด้านสัมผัส ได้แก่ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซล ผลึกภายในพาเรนไคมา และไฟเบอร์ การศึกษาทางด้านรัศมี ได้แก่ แผ่นเปอโพเรชั่น ผลึกภายในเรย์เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ว่าเปลี่ยนแปลงไปจากเนื้อไม้ก่อนแปรสภาพกลายเป็นถ่านหรือไม่ และยังคงสามารถวินิจฉัยชนิดของถ่านจากไม้ได้หรือไม่

6.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์ของถ่านไม้ทั้ง 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ทำการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะโดยเอาถ่านไม้จากเตาเผามาต้มเพื่อไล่อากาศออกโดยใช้ตะแกรงกดชิ้นตัวอย่างถ่านไว้เพื่อไม่ให้ลอยขึ้นมา เมื่อถ่านจมน้ำแล้วให้นำไปหาปริมาตรโดยการแทนที่น้ำ หลังจากนั้นทิ้งไว้ให้ปรับสภาพที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาอบใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เตาอบด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกจากเตาอบมาใส่ใน desiccator นาน 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ ซึ่งจะใช้สูตร (2) ในการหาความถ่วงจำเพาะ

6.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความถ่วงจำเพาะ

6.3.1 การนับจำนวนเซลล์และการวัดขนาด

ทำการทดลองตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design) เพื่อศึกษาการนับจำนวนเซลล์และการวัดขนาดของเซลล์ต่างๆ ภายในเนื้อไม้ของไม้ทั้ง 10 ชนิด โดยการทดลองครั้งนี้มีตำแหน่งภายในเนื้อไม้เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งตำแหน่งตามแนวรัศมีแบ่งเป็น 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้ใจไม้ ทั้งหมด 3 ทรีทเมนต์ โดยแต่ละทรีทเมนต์มีจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีการ Duncan's new multiple rang test (อนันต์ชัย, 2549)

6.3.2 ความถ่วงจำเพาะ

ทำการทดลองตามแผนการทดลองแบบ 3 x 6 แฟคตอเรียลที่ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (3 x 6 factorial experiment in completely randomized design) เพื่อศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านไม้ทั้ง 10 ชนิด โดยการทดลองครั้งนี้มี 2 ปัจจัย คือ ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผา โดยตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้แบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้ใจไม้ใจไม้ และอุณหภูมิที่ทำการเผาไม้แบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 0 (เนื้อไม้) มีการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จำนวนทั้งหมด 18 ทรีทเมนต์ โดยแต่ละทรีทเมนต์มีจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance) และทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามวิธีการ Duncan's new multiple rang test (อนันต์ชัย, 2549)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

1. การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่าน

ชนิดไม้ที่นำมาวิเคราะห์มี 10 ชนิด ได้แก่ กระถิน กระถินณรงค์ กระบก โกงกางใบเล็ก เต็ง มะขาม มะม่วง ยางพารา ยูคาลิปตัส และรัง โดยได้ทำการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคอย่างหยาบและอย่างละเอียดของเนื้อไม้ โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ พบว่าไม้ทั้ง10 ชนิด มีลักษณะทางกายวิภาคที่แตกต่างกันทั้งในด้านหน้าตัด ด้านสัมผัส และด้านรัศมี ซึ่งสามารถนำมาวินิจฉัยชนิดไม้ได้ ส่วนการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคอย่างหยาบและอย่างละเอียดของถ่านไม้ ทั้งในด้านหน้าตัด ด้านสัมผัส และด้านรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า ลักษณะทางกายวิภาคส่วนใหญ่ยังคงอยู่ เช่น การเรียงตัวของพอร์ การเรียงตัวของพาเรนไคมา เรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ไฟเบอร์ เป็นต้น แม้ว่าผนังของเซลล์ ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีรอยแตกตามแนวเรย์ ซึ่งเมื่อใช้อุณหภูมิสูงขึ้นผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวมากขึ้นและรอยแตกตามแนวเรย์จะมากขึ้นด้วย แต่ยังสามารถวินิจฉัยชนิดถ่านไม้ได้ โดยการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านไม้ในไม้แต่ละชนิดมีดังต่อไปนี้

1.1 กระถิน (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) วงศ์ Leguminosae - Mimosoideae

1.1.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนตรง ลักษณะทางด้านหน้าตัด วงปีเห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple ซึ่งเส้นแบ่งของผนังพอร์ที่อยู่ติดกันหนากว่าปกติ มีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 8 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีดีพอซิทอุดอยู่บางพอร์ พาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์ โดยมีทั้งแบบติดพอร์โดยรอบ แบบปีกและแบบปีกต่อ ลักษณะทางด้านรัศมี มีเรย์เซลล์นอนล้วนและชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงเดี่ยวแบบที่ 1 ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 2 - 9 เซลล์ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (prismatic crytal) เป็นพวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แคลเซียมออกซาเลต (calcium oxalate) ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์มีผนัง ดังแสดงในภาพที่ 3 และตารางที่ 11

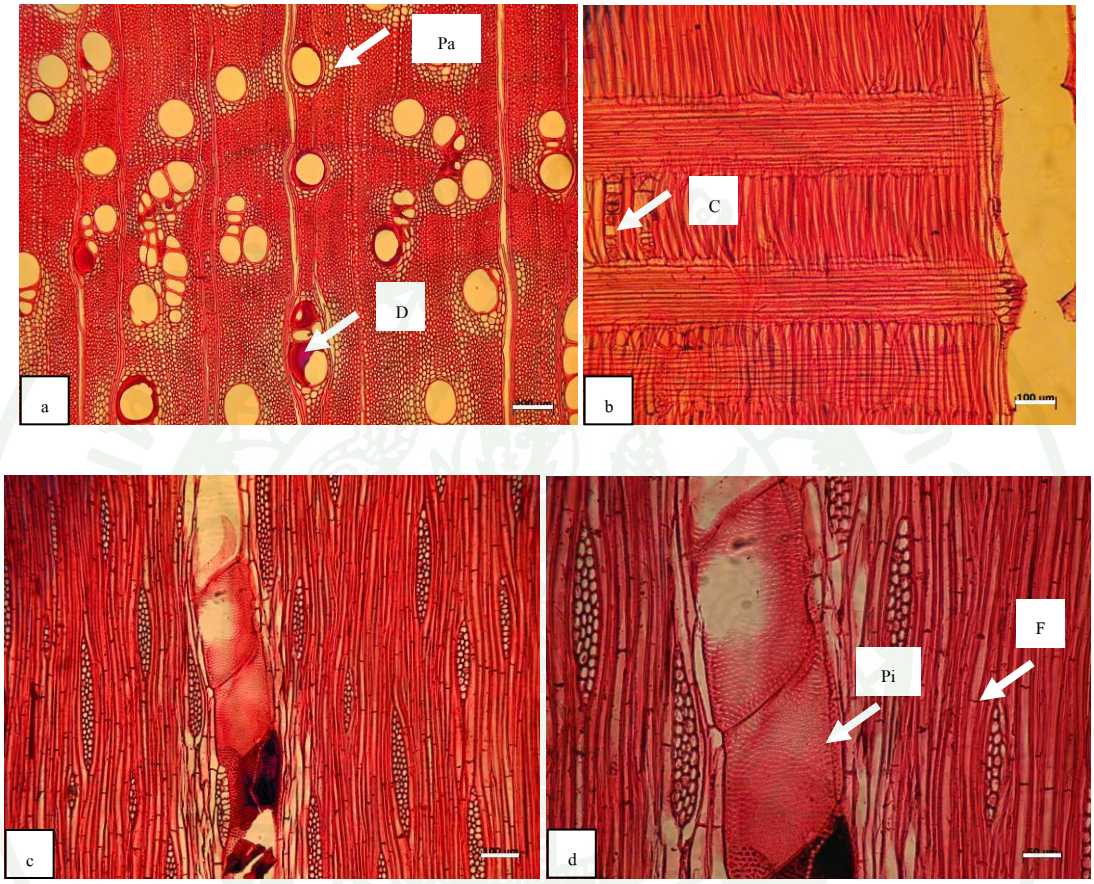
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร ความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุดและมีค่าเท่ากัน คือ 6 พอร์ รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 5 พอร์ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 124.69 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 113.53 และ 111.54 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 4.32 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 4.17 และ 3.68 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 273.33 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 242.94 และ 241.82 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 21 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 20 และ 18 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 33.68 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 31.74 และ 29.58 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มีค่ามากที่สุด คือ 262.31 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 255.79 และ 254.44 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 1

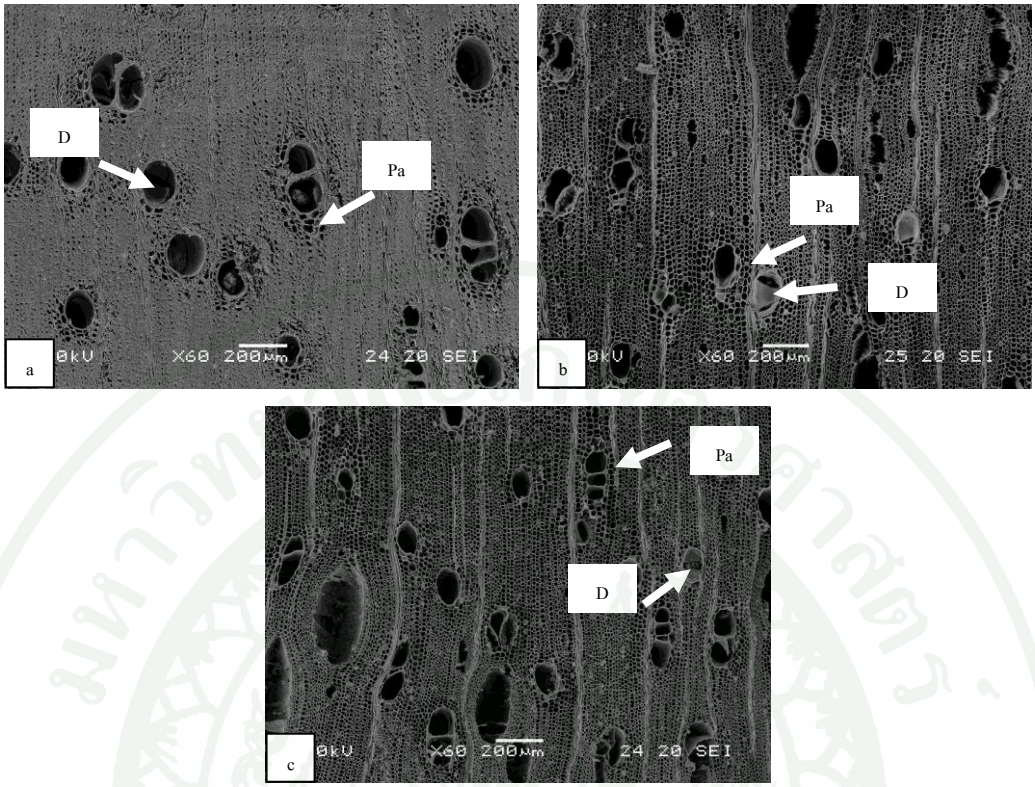


ภาพที่ 3 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเซลล์ไฟเบอร์มีผนังคั่น (F) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

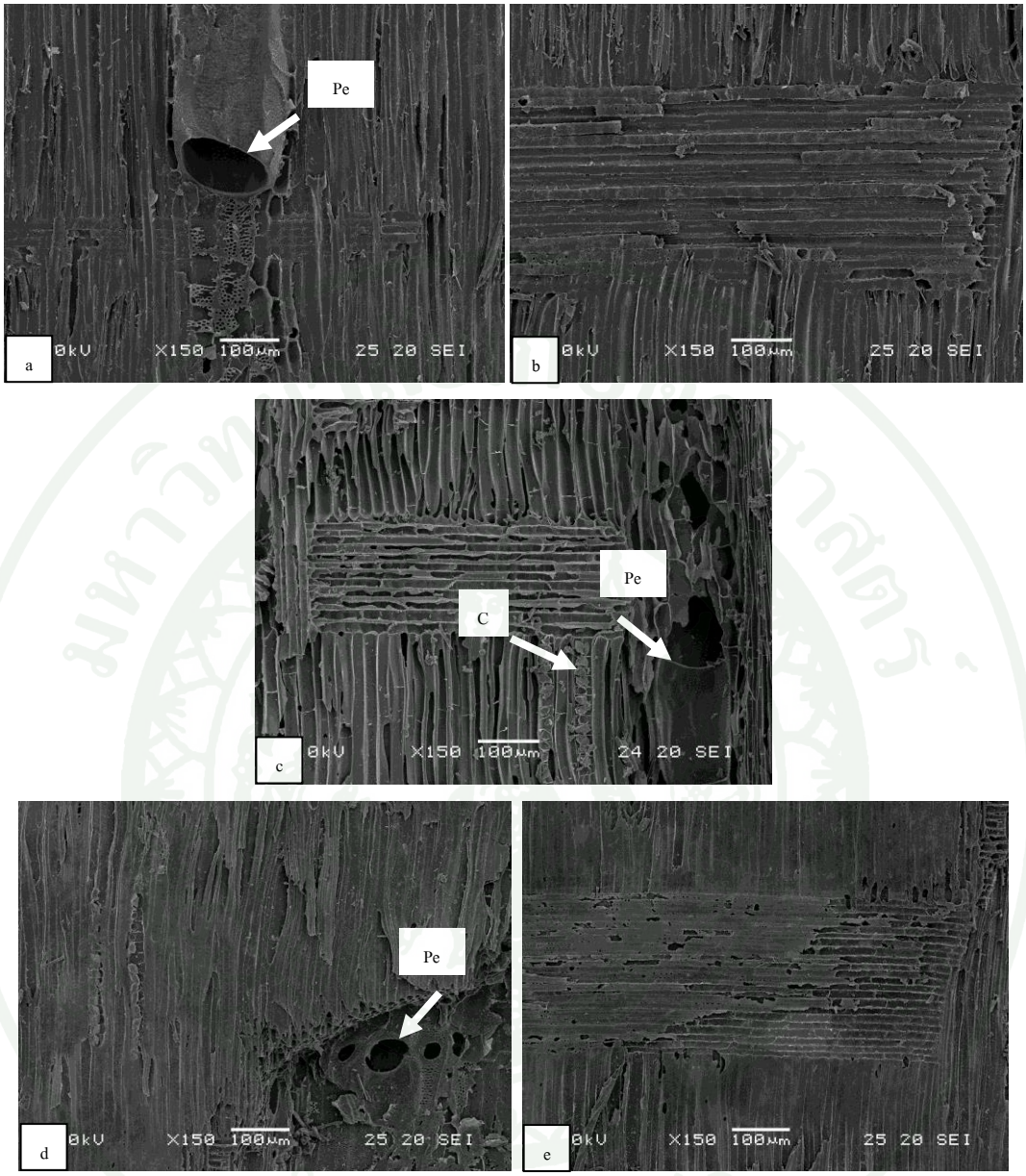
1.1.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4a, 5a, 5b และ 6a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ผนังของพอร์แฝดยังคงอยู่ไม่สลายไปทำให้สามารถเห็นเป็นพอร์แฝดชัดเจน ภายในพอร์มีดีพอซิทและสามารถเห็นพาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์โดยรอบพอร์ แบบปีกและแบบปีกต่อได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 4b และ 4c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน และสามารถเห็นเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 5c, 5d และ 5e ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน ภายในพาเรนไคมามีผลึก และมีผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ แสดงในภาพที่ 6b และ 6c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์มีขนาดใหญ่แต่จำนวนน้อย ดังแสดงในตารางที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



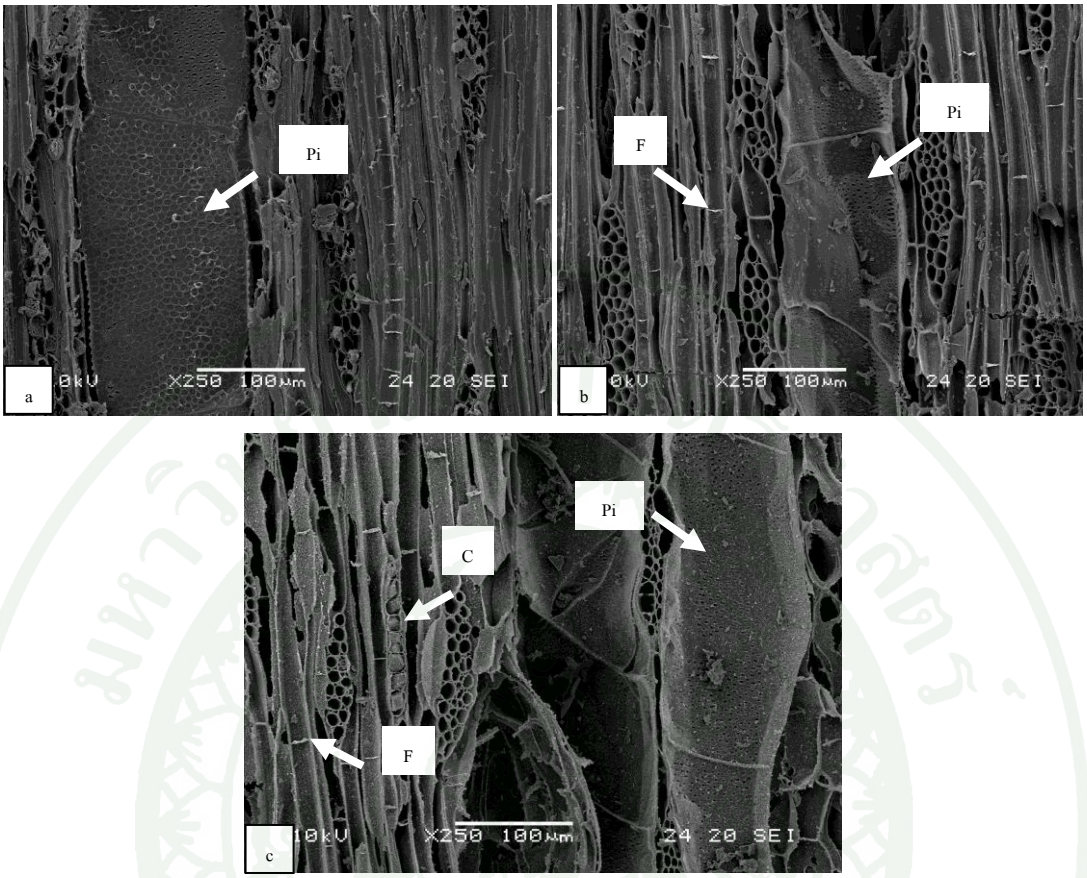
ภาพที่ 4 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 5 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, d ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ b, c, e คือ เรย์เซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d, e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้กระถินที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภายในเซลล์ไฟเบอร์มีผนังคั่น (F) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้กระถิน ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	6^{ns} (1-14)	1.00	124.69^{ns} (20-220)	6.19	4.32^{a} (3.00-6.25)	0.13	273.33^{a} (100-510)	8.23	20^{ns} (14-22)	2.67	33.68^{ns} (10-70)	2.38	254.44^{b} (90-460)	2.72
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	5^{ns} (1-13)	0.62	113.53^{ns} (40-170)	7.60	4.17^{a} (3.25-5.00)	0.04	242.94^{b} (100-360)	10.45	18^{ns} (17-23)	2.04	31.74^{ns} (10-50)	2.82	255.79^{b} (100-440)	2.84
ใกล้ใจไม้	6^{ns} (2-14)	1.55	111.54^{ns} (20-170)	6.19	3.68^{b} (2.75-4.75)	0.07	241.82^{b} (130-420)	9.16	21^{ns} (17-25)	2.13	29.58^{ns} (10-50)	3.32	262.31^{a} (100-460)	1.83

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 กระถินณรงค์ (*Acacia auriculiformis* Benth.) วงศ์ Leguminosae – Mimosoideae

1.2.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนตรง ลักษณะทางด้านหน้าตัด วงปีเห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple ซึ่งเส้นแบ่งของผนังพอร์ที่อยู่ติดกันหนากว่าปกติ มีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 8 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีดีพอซิทอุดอยู่บางพอร์ พาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์ โดยมีทั้งแบบติดพอร์โดยรอบ แบบปีกและแบบปีกต่อ ลักษณะทางด้านรัศมี มีเรย์เซลล์นอนล้วนและชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงเดี่ยวแบบที่ 1 ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 2 - 4 เซลล์ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 7 และตารางที่ 11

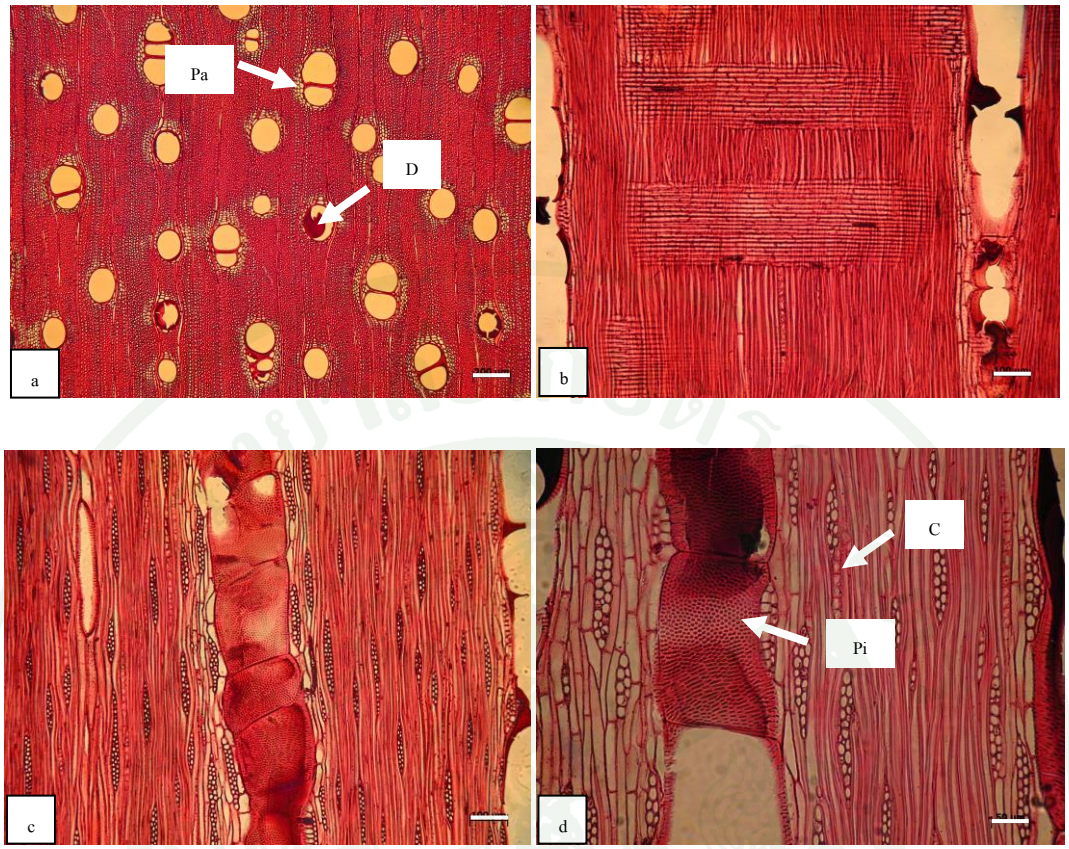
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 9 พอร์/รองลงมา คือตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่าเท่ากัน คือ 7 พอร์/ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 132.31 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 111.56 และ 110.88 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 3.92 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 3.44 และ 3.04 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 189.29 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 180.91 และ 171.54 ไมครอน ตามลำดับซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 46 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 45 และ 40 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 17.69 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 17.37 และ 15.35 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 142.50 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 138.39 และ 136.96 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

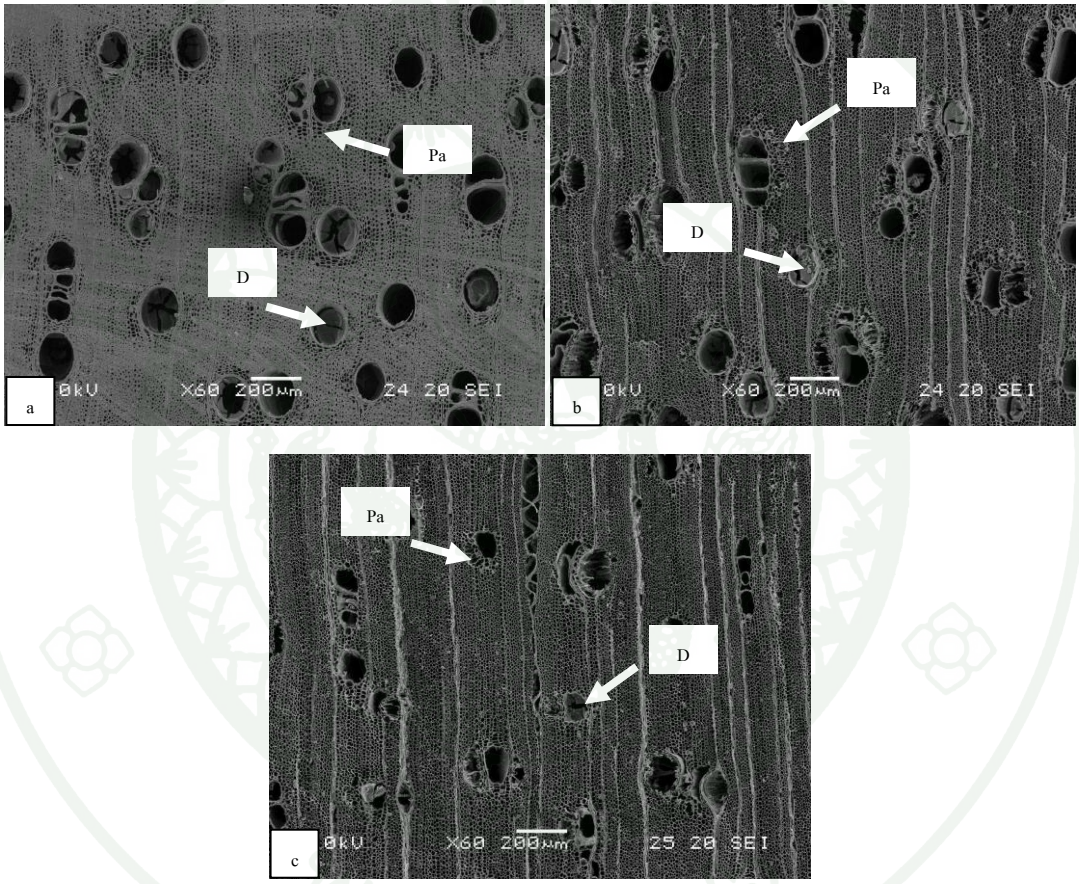


ภาพที่ 7 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และ ภาพ d = 50 ไมครอน

1.2.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 8a, 9a, 9b และ 10a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ผนังของพอร์แฝดยังคงอยู่ไม่สลายไป ภายในพอร์มีดีพอซิท และสามารถเห็นพาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์โดยรอบพอร์ แบบปีกและแบบปีกต่อได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 8b และ 8c ตามลำดับ

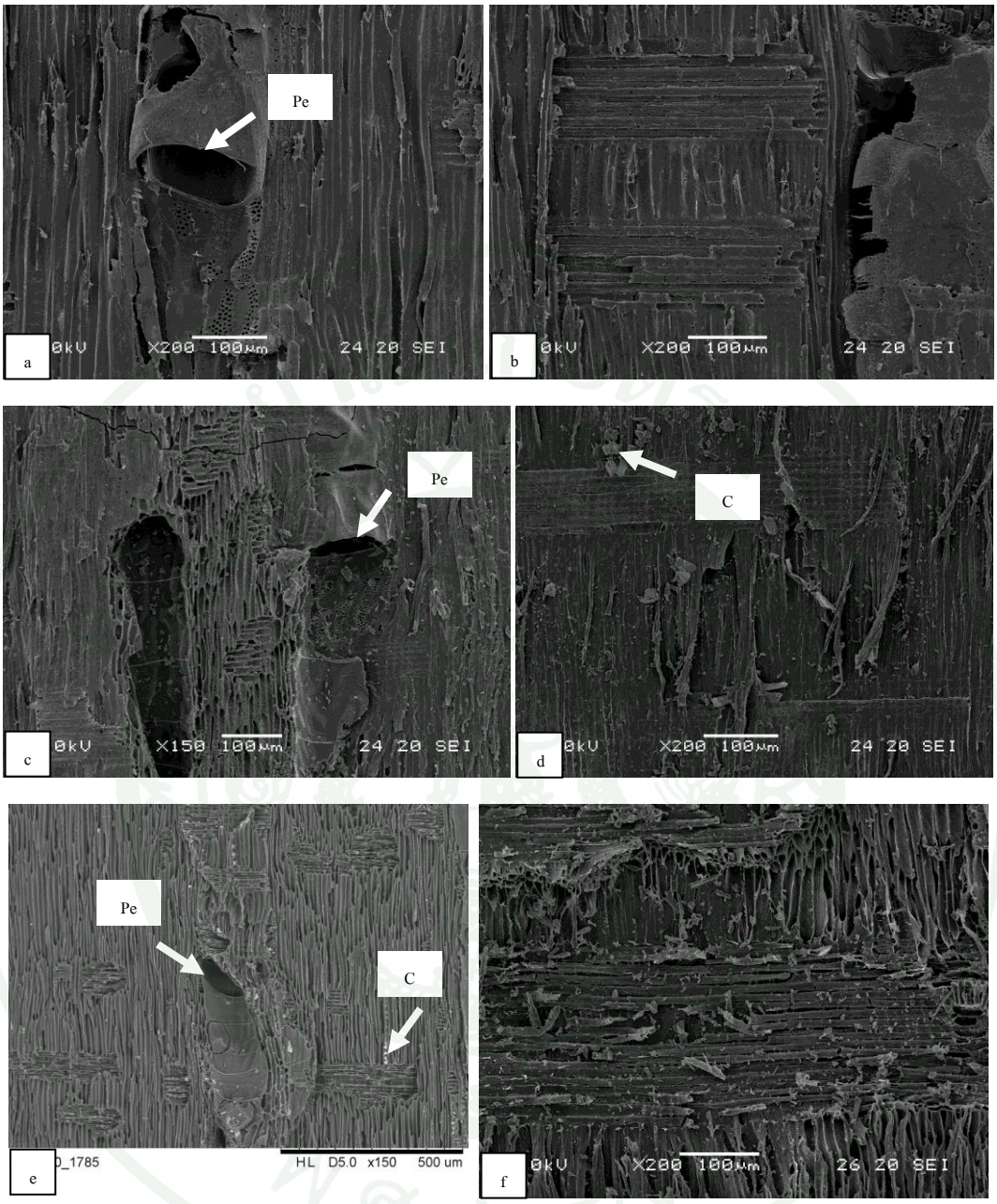
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน ภายในพาเรนไคมามีผลึกและสามารถเห็นเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 9c, 9d, 9e และ 9f ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน และภายในเวสเซลมีดีพอซิท ดังแสดงในภาพที่ 10b และ 10c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้ผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์มีขนาดใหญ่แต่จำนวนน้อย ดังแสดงในตารางที่ 11



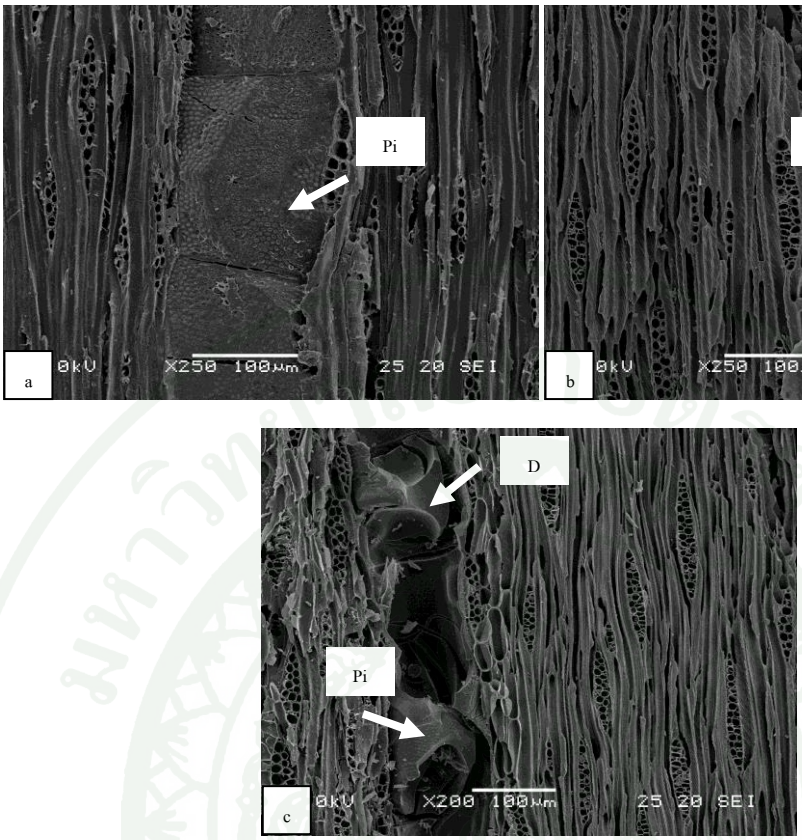
ภาพที่ 8 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, e ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ b, d, f คือ เรย์เซลล์นอนและภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e, f คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c, d, f = 100 ไมครอน และภาพ e = 500 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 10 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้กระถินณรงค์ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และดีพอซิท (D) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้กระถินณรงค์ ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	9^{ns} (4-14)	1.50	132.31^{ns} (40-240)	6.33	3.92^{a} (3.00-5.50)	0.07	189.29^{ns} (60-340)	4.65	40^{b} (34-45)	2.18	17.69^{ns} (10-30)	0.69	138.39^{ns} (50-320)	2.36
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	7^{ns} (3-14)	1.00	111.56^{ns} (40-190)	16.54	3.44^{b} (2.50-5.50)	1.10	171.54^{ns} (50-300)	10.82	46^{a} (39-51)	2.19	17.37^{ns} (10-30)	1.64	142.50^{ns} (50-280)	4.57
ใกล้ใจไม้	7^{ns} (2-11)	1.13	110.88^{ns} (40-160)	17.19	3.04^{c} (2.50-4.00)	0.27	180.91^{ns} (70-320)	12.64	45^{a} (42-48)	2.65	15.35^{ns} (10-30)	1.73	136.96^{ns} (50-300)	1.34

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.3. กระบก (*Irvingia malayana* Oliv. ex A.W.Benn.) วงศ์ Irvingiaceae

1.3.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีเหลืองอมเทา เสี้ยนตรง ลักษณะทางด้านหน้าตัด วงปีเห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple มีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 6 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีดีพอซิทอุดอยู่บางพอร์ พาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแถบเส้นเล็กๆ ซึ่งแถบของพาเรนไคมากว้าง 1 - 5 เซลล์ โดยส่วนใหญ่จะเป็น 2 - 3 เซลล์ ลักษณะทางด้านรัศมี มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 8 - 12 เซลล์ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 11 และตารางที่ 11

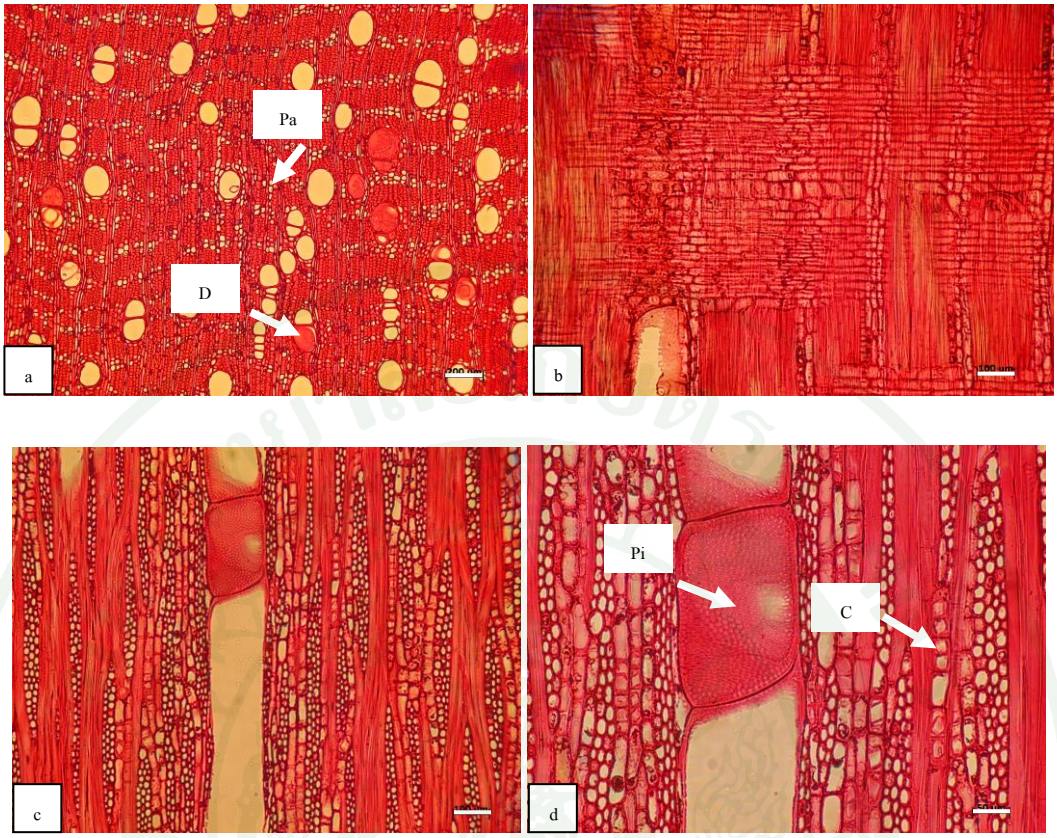
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 9 พอร์ รองลงมา คือตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 7 และ 5 พอร์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 124.29 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 105.26 และ 103.48 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีความ ผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 7.92 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 7.72 และ 7.59 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 542.94 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 529.41 และ 515.88 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 51 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 50 และ 47 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 31.43 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 30.83 และ 30.71 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 736.29 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 558.85 และ 544.78 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

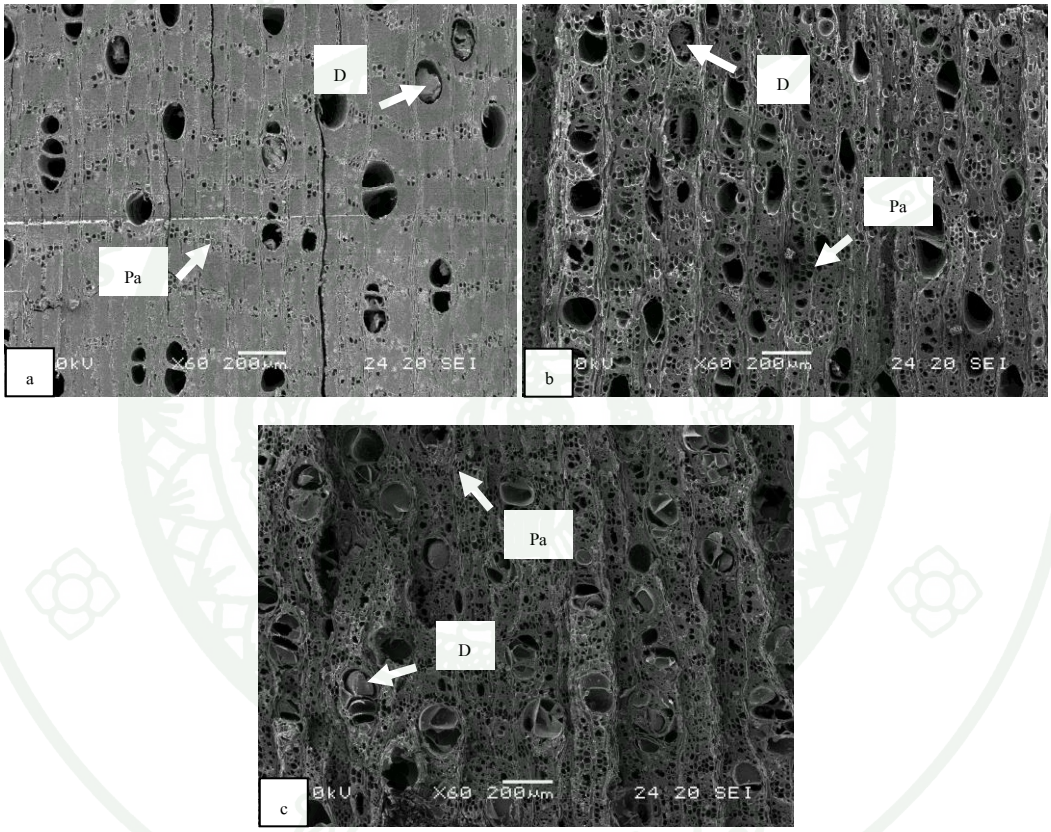


ภาพที่ 11 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซล เป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน

1.3.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 12a, 13a และ 14a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ผนังของพอร์แฝดยังคงอยู่ไม่สลายไป ภายในพอร์มีดีพอซิท และสามารถเห็นพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแถบเส้นเล็กๆ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 600 องศาเซลเซียส พาเรนไคมาแบบแถบเห็น

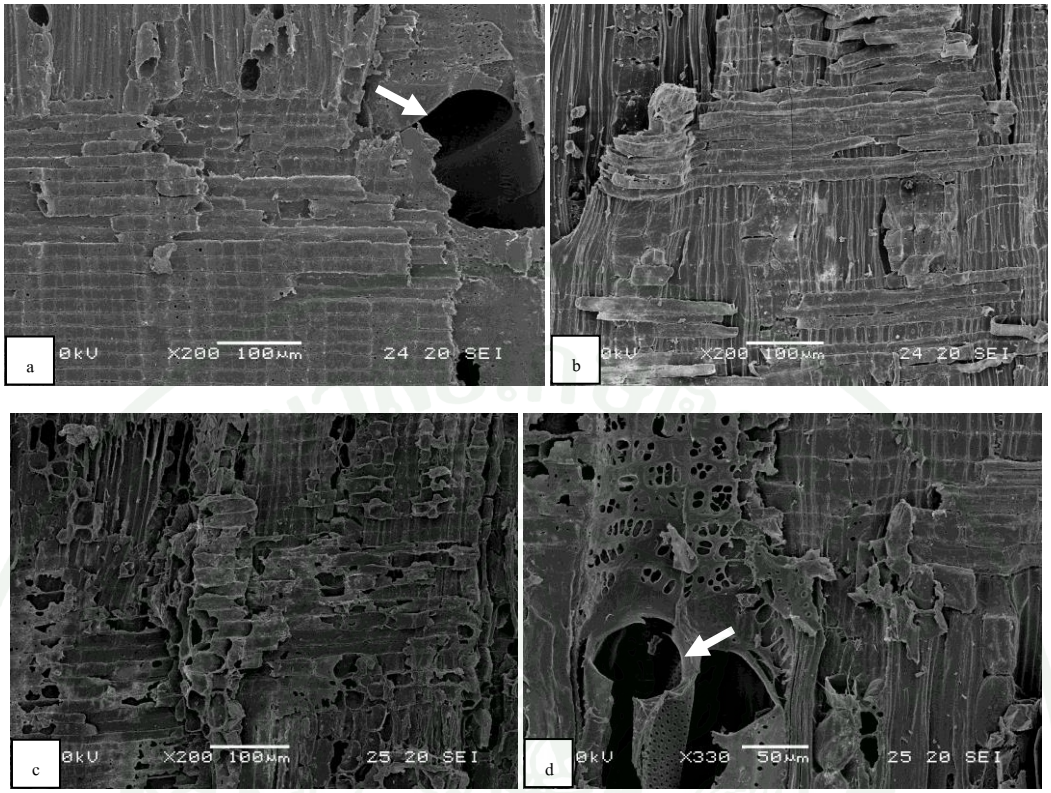
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไม่ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 12b และ 12c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน และสามารถเห็นเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 13b, 13c และ 13d ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว และภายในพาเรนไคมามีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 14b และ 14c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์มีขนาดใหญ่และจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 11



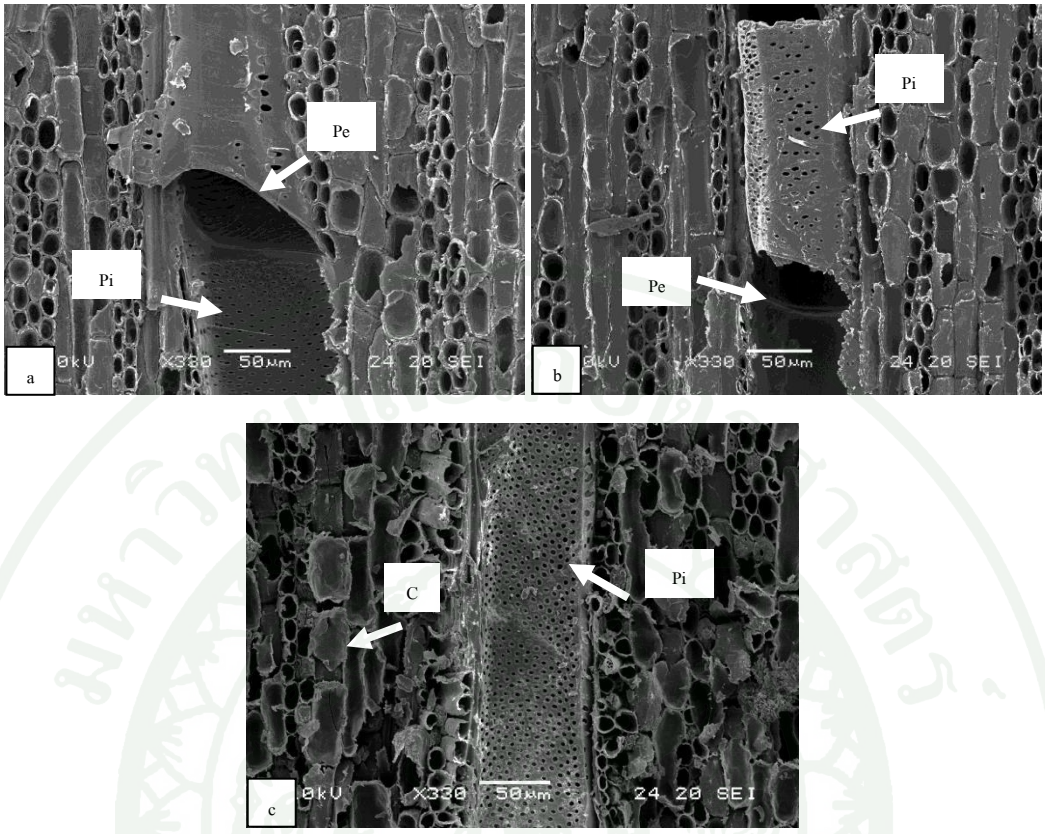
ภาพที่ 12 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 13 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c และ d คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ b คือ 400 องศาเซลเซียส และ ภาพ c, d คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 14 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้กระบกที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 50 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 3 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้กระบก ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	5^{ns} (3-9)	1.55	124.29^{a} (40-190)	1.92	7.59^{a} (6.50-9.00)	0.09	515.88^{ns} (250-810)	10.63	47^{b} (45-51)	1.68	31.43^{ns} (10-60)	2.28	736.29^{a} (110-1,670)	6.15
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	7^{ns} (3-12)	1.55	105.26^{b} (40-180)	6.43	7.92^{a} (6.25-9.50)	0.08	542.94^{ns} (280-800)	6.55	51^{a} (46-52)	0.91	30.83^{ns} (10-50)	1.86	544.78^{b} (120-1,440)	17.60
ใกล้ใจไม้	9^{ns} (4-16)	2.33	103.48^{b} (40-160)	5.22	7.72^{ab} (6.50-9.00)	0.13	529.41^{ns} (240-850)	14.52	50^{a} (46-51)	1.00	30.71^{ns} (10-50)	1.85	558.85^{b} (120-1,310)	14.32

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata* Blume) วงศ์ Rhizophoraceae

1.4.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีเหลืองอมขาว เสี้ยนตรง ลักษณะทางด้านหน้าตัด วงปีเห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดมีทั้งแบบ tangential multiple และ radial multiple ซึ่งมีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 7 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง พาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อม ลักษณะทางด้านรัศมี แผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 2 - 9 เซลล์ ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 15 และตารางที่ 11

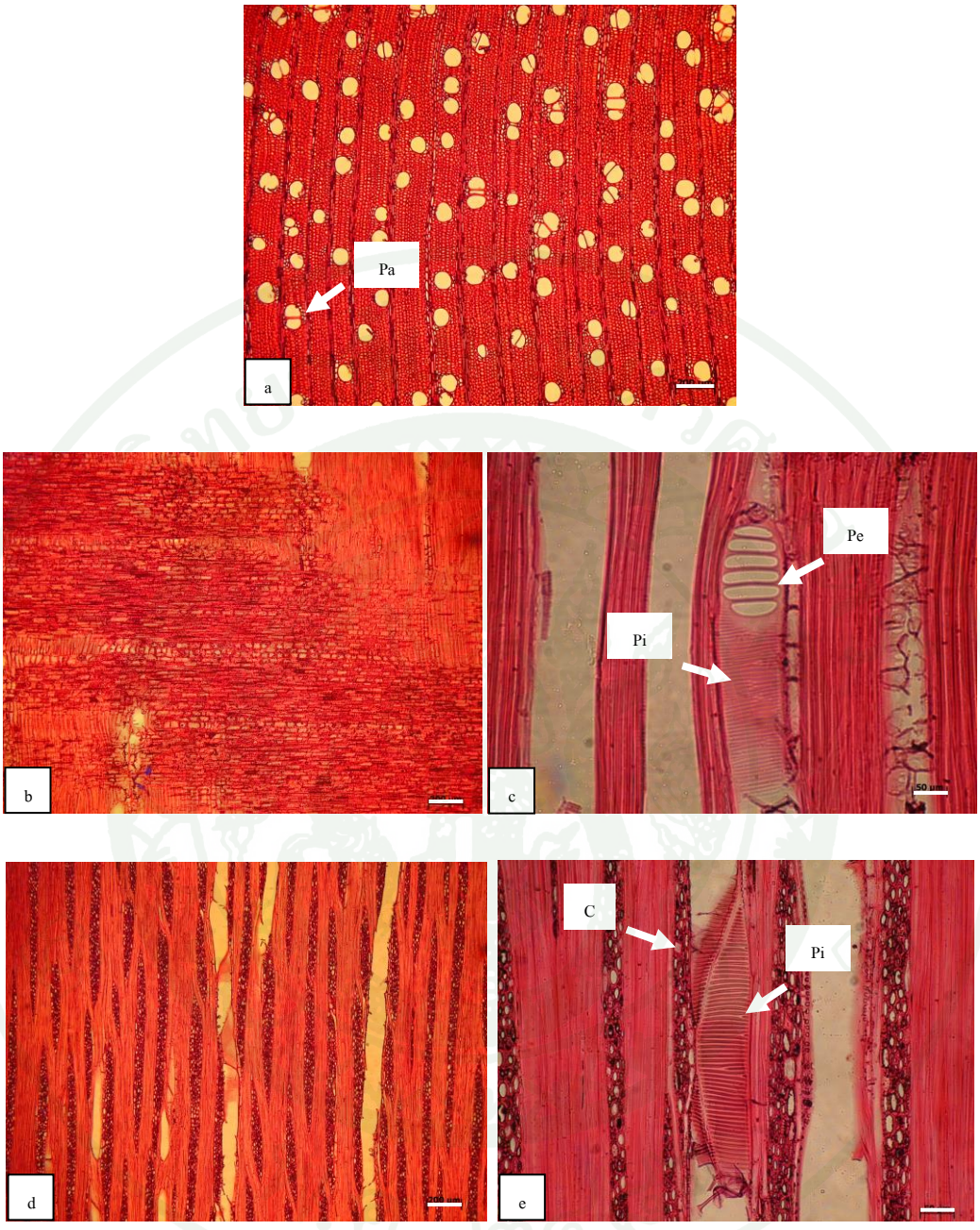
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 21 พอร์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 18 และ 17 พอร์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 64.71 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 62.73 และ 62.27 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 6.83 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 6.56 และ 6.15 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 480.71 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 384.38 และ 324.29 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 40 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 37 และ 36 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 43.79 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 36.09 และ 31.25 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 1,012.38 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 986.67 และ 861.88ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

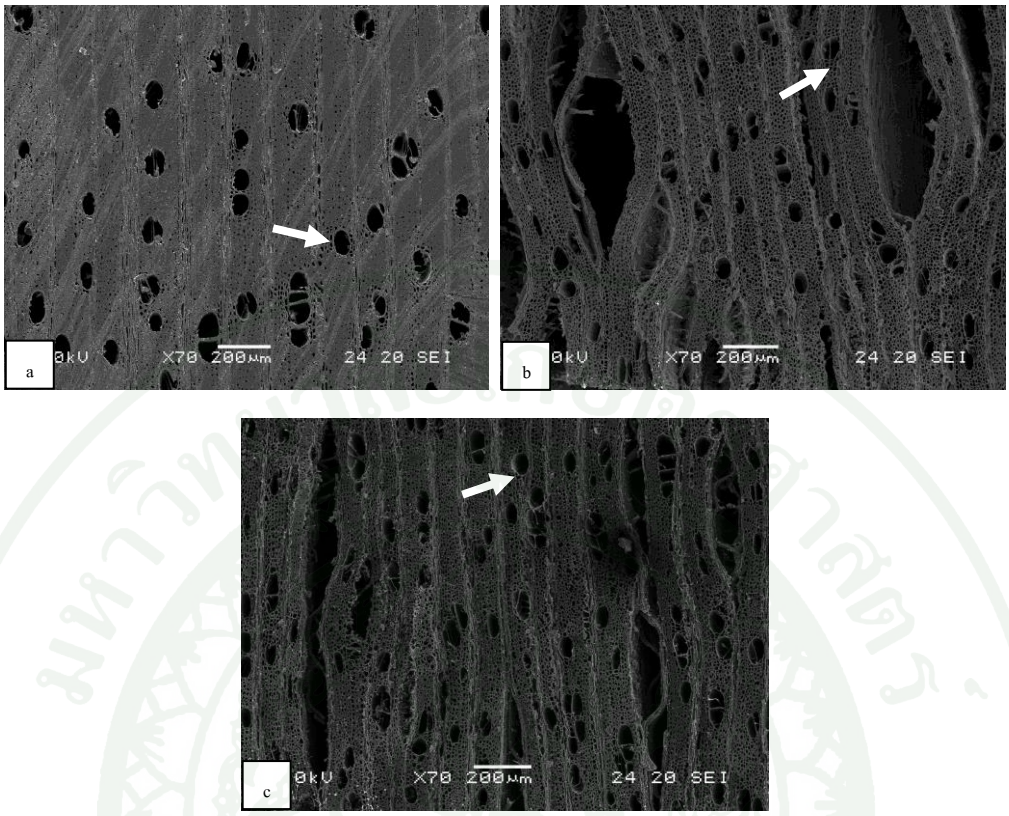


ภาพที่ 15 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ พาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อม (Pa) ภาพ b, c คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได (Pi) และแผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได (Pe) และภาพ d, e คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a, b, d = 200 ไมครอน ภาพ c, e = 50 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

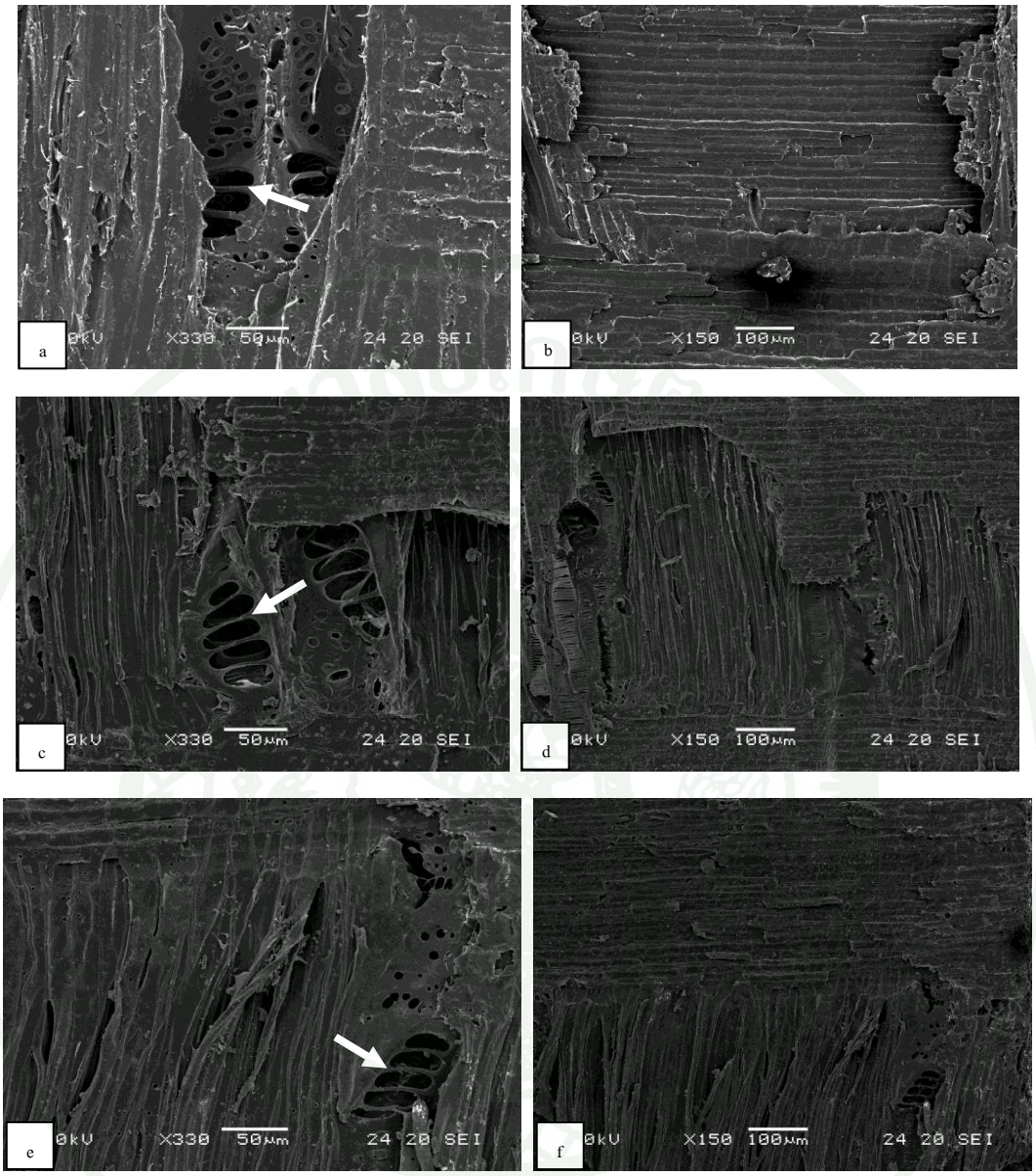
1.4.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 16a, 17a, 17b และ 18a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัดผนังของพอร์แฝดยังคงอยู่ไม่สลายไป และสามารถเห็นพาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อม แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 600 องศาเซลเซียส พาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อมเห็นไม่ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 16b และ 16c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันไดได้ชัดเจน และสามารถเห็นเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 17c, 17d, 17e และ 17f ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได และภายในเรย์มีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 18b และ 18c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์มีขนาดใหญ่และจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 11

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



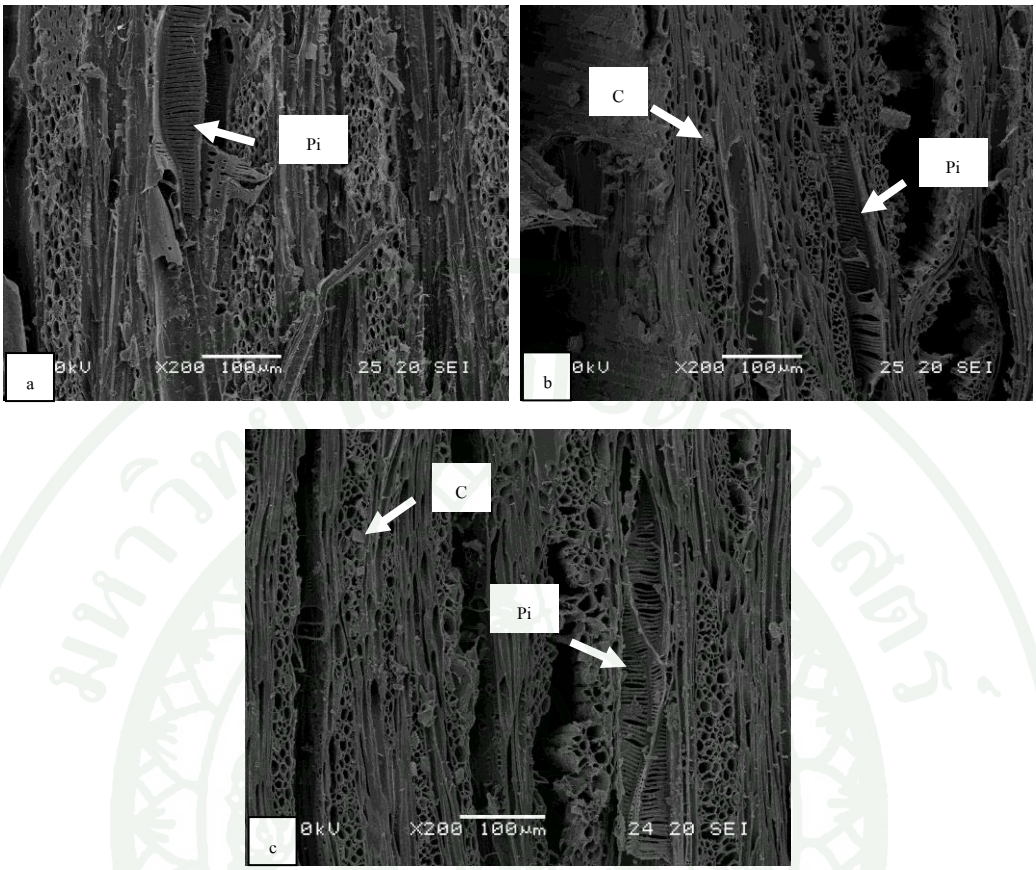
ภาพที่ 16 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ พาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อม ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, e ลูกศรชี้คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได และภาพ b, d, f คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e, f คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, c, e = 50 ไมครอน และภาพ b, d, f = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 18 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้โกงกางใบเล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบขั้นบันได (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้โกงกางใบเล็ก ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (µm)		Tf (µm)		Lv (µm)		Nr (N/5mm)		Dr (µm)		Hr (µm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	21^{ns} (15-29)	1.73	62.73^{ns} (30-90)	2.12	6.83^{a} (5.75-7.50)	0.08	324.29^{c} (90-600)	7.21	40^{a} (38-43)	2.60	36.09^{b} (10-70)	1.90	986.67^{a} (140-2,730)	10.31
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	17^{ns} (9-25)	1.58	62.27^{ns} (30.80)	1.33	6.15^{b} (5.00-8.00)	0.13	384.38^{b} (180-630)	10.57	37^{ab} (34-42)	1.00	43.79^{a} (10-70)	2.19	861.88^{b} (160-2,690)	19.75
ใกล้ใจไม้	18^{ns} (15.23)	1.57	64.71^{ns} (20-90)	2.23	6.56^{a} (4.50-8.25)	0.13	480.71^{a} (130-780)	5.97	36^{b} (34-38)	1.41	31.25^{b} (10-60)	2.21	1,012.38^{a} (170-2,640)	14.29

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.5 เต็ง (*Shorea obtusa* Wall. ex Blume) วงศ์ Dipterocarpaceae

1.5.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนสน ลักษณะทางด้านหน้าตัด มีวงปีแต่เห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจายพอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple ซึ่งมีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 4 เซลล์ พอร์โซ่และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีทายโลสอุดอยู่จำนวนมาก พาเรนไคมาแบบติดพอร์มีทั้งแบบปีกและแบบปีกต่อ ส่วนพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแบบกระจาย ท่อยางเป็นท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมีมีความโตเฉลี่ย 58.17 (20 - 140) ไมครอน และมีจำนวนท่อยางเฉลี่ย 6 (3 - 8) เซลล์ต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร พาเรนไคมาที่อยู่ล้อมรอบท่อยางเป็นแถบยาวมีความกว้างของแถบ 5 - 13 เซลล์ ลักษณะทางด้านรัศมี มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 2 - 5 เซลล์ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึมเป็นพวก แคลเซียมออกซาเลต ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 19 และตารางที่ 11

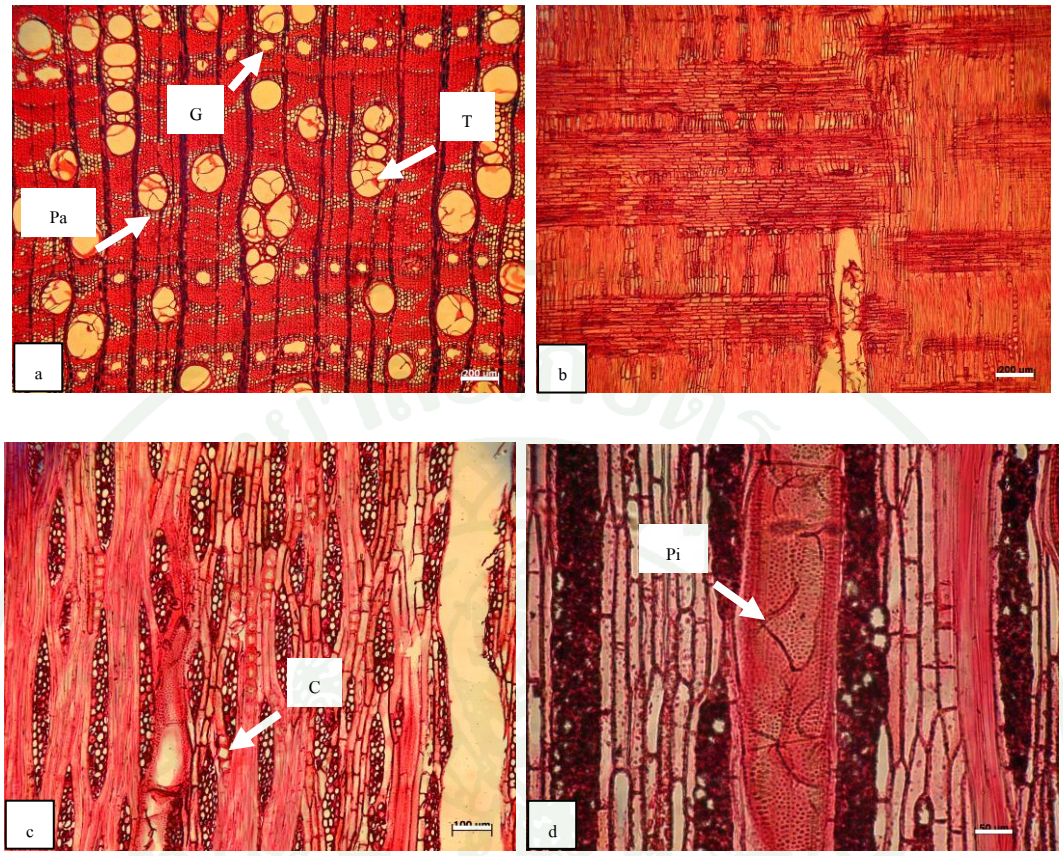
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุดและมีค่าเท่ากัน คือ 6 พอร์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 5 พอร์ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีความ ผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 178.89 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 130.53 และ 122.50 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 7.92 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 7.38 และ 6.94 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 328.42 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 262.86 และ 257.78 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 43 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 40 และ 35 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 36.29 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 35.83 และ 33.85 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 434.84 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 357.69 และ 339.12 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

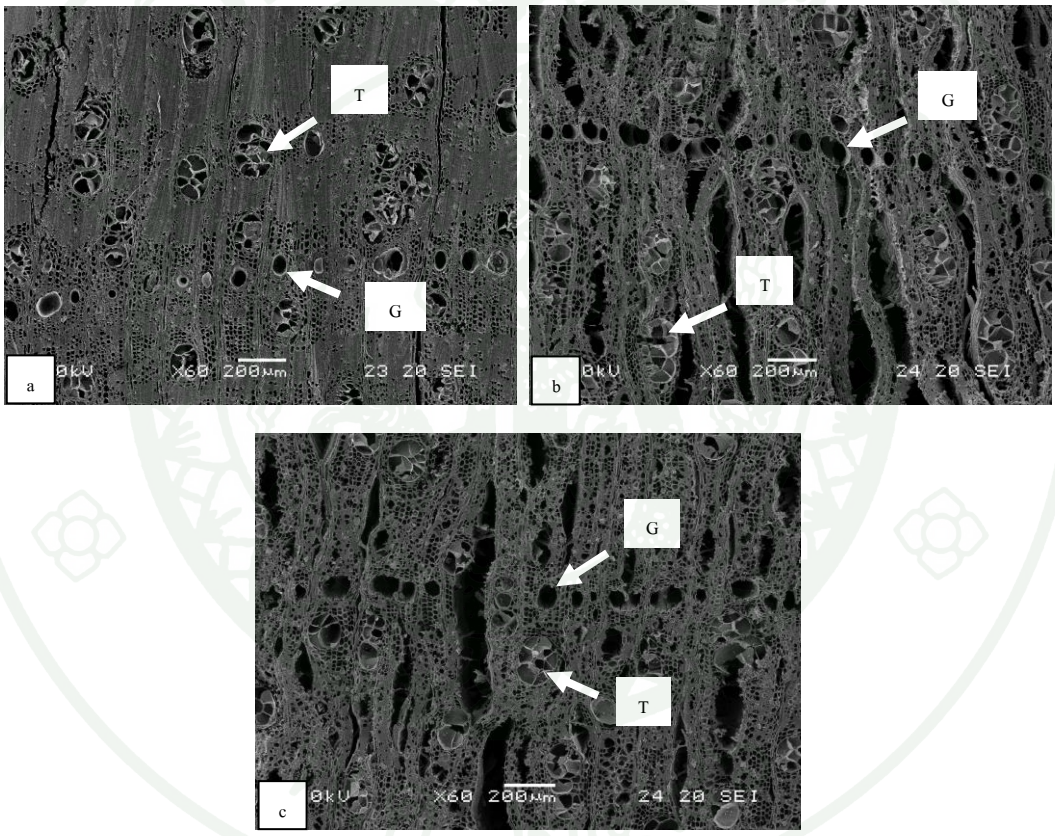


ภาพที่ 19 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a, b = 200 ไมครอน ภาพ c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน

1.5.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 20a, 21a, 21b และ 22a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ผนังของพอร์แผดยังคงอยู่ไม่สลายไป ภายในพอร์มีทายโลส สามารถเห็นพาเรนไคมาแบบ

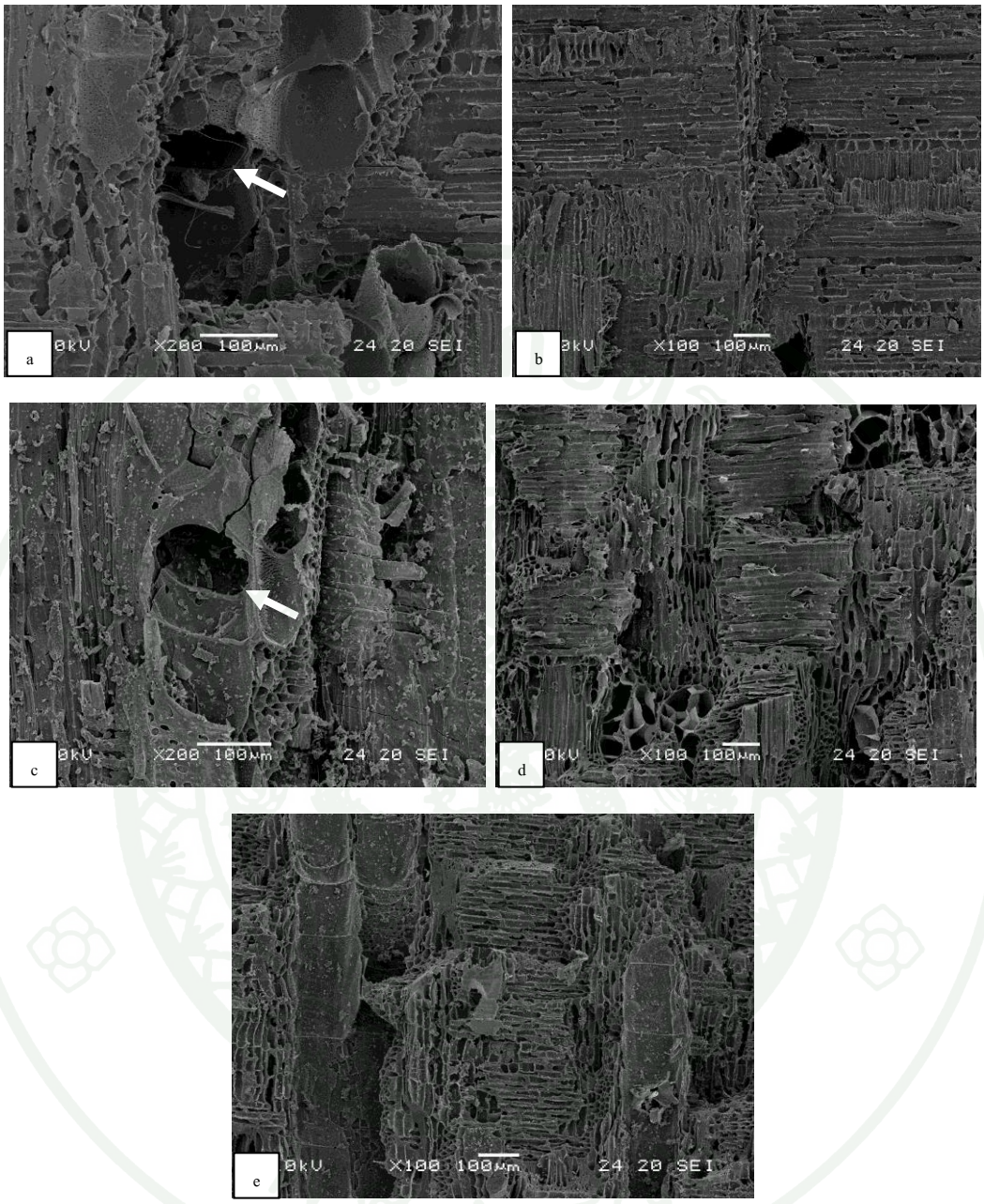
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ติดพอร์เป็นแบบปีกและแบบปีกต่อ แต่พาเรนไคมาแบบกระจายเห็นไม่ชัดเจน และท่อยางตามยาวเห็นได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 20b และ 20c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน และสามารถเห็นเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 21c, 21d และ 21e ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว และภายในพาเรนไคมามีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 22b และ 22c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์จำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 11



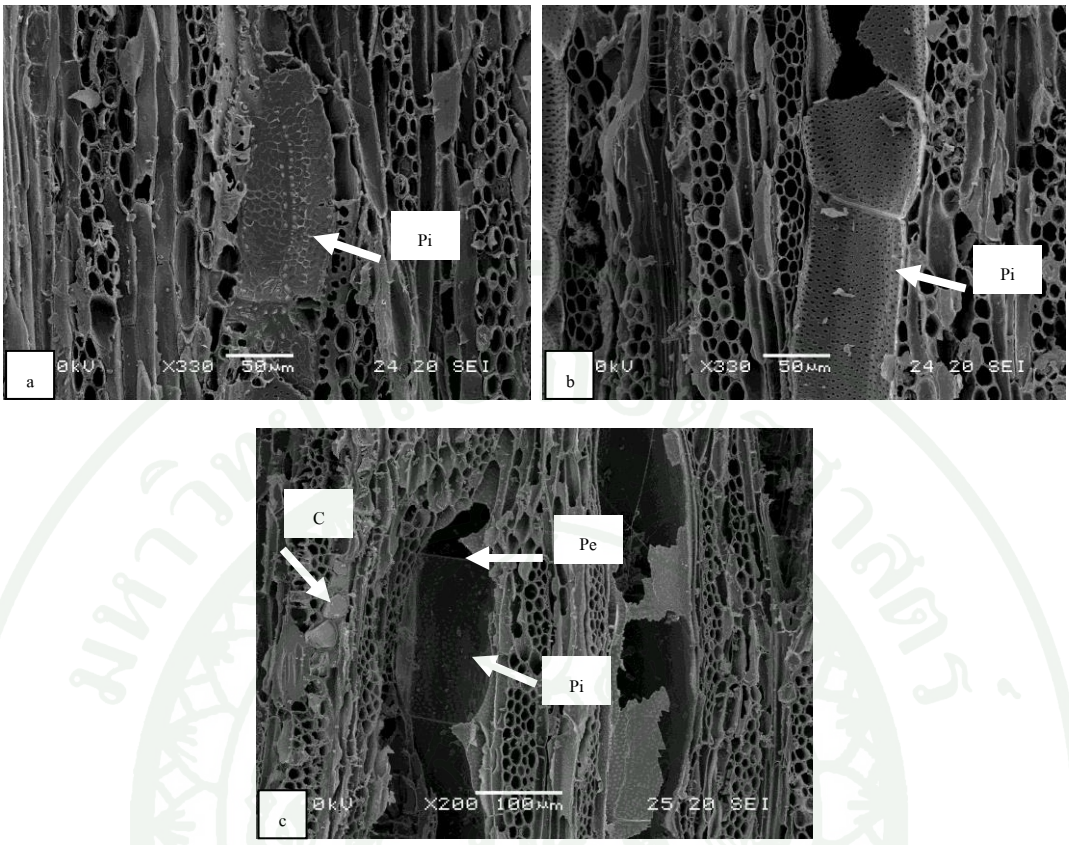
ภาพที่ 20 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) และทายโลส (T) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 21 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว และภาพ b, d, e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 22 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับ (Pi) แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ ภาพ a, b = 50 ไมครอน และภาพ c = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 5 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้เต็ง ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	6^{ns} (4-7)	0.63	130.53^{b} (40-200)	1.65	6.94^{c} (6.25-7.75)	0.10	257.78^{b} (80-410)	4.33	40^{a} (37-45)	1.98	35.83^{ns} (10-50)	1.30	339.12^{c} (100-810)	3.23
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	5^{ns} (2-10)	1.00	122.50^{c} (30-200)	1.81	7.38^{b} (6.00-9.00)	0.03	262.86^{b} (120-410)	2.06	43^{a} (38-48)	1.66	33.85^{ns} (10-60)	3.65	357.69^{b} (100-860)	2.50
ใกล้ใจไม้	6^{ns} (3-9)	1.00	178.89^{a} (40-240)	3.39	7.92^{a} (6.75-9.50)	0.09	328.42^{a} (110-400)	7.99	35^{b} (30-39)	1.00	36.29^{ns} (10-60)	1.86	434.84^{a} (100-1,070)	3.45

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.6 มะขาม (*Tamarindus indica* L.) วงศ์ Leguminosae - Caesalpinioideae

1.6.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีเหลืองอมขาว เสี้ยนตรง ลักษณะทางด้านหน้าตัด มีวงปีเห็นชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดมีทั้งแบบ tangential multiple และ radial multiple ซึ่งเส้นแบ่งของผนังพอร์ที่อยู่ติดกันหนากว่าปกติ มีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 6 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีดีพอซิทอุดอยู่บางพอร์ พาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์ โดยมีทั้งแบบปีกและแบบปีกต่อ พาเรนไคมาแบบรอบวงปีเป็นแบบปลายฤดู ลักษณะทางด้านรัศมี มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 2 - 9 เซลล์ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 23 และตารางที่ 11

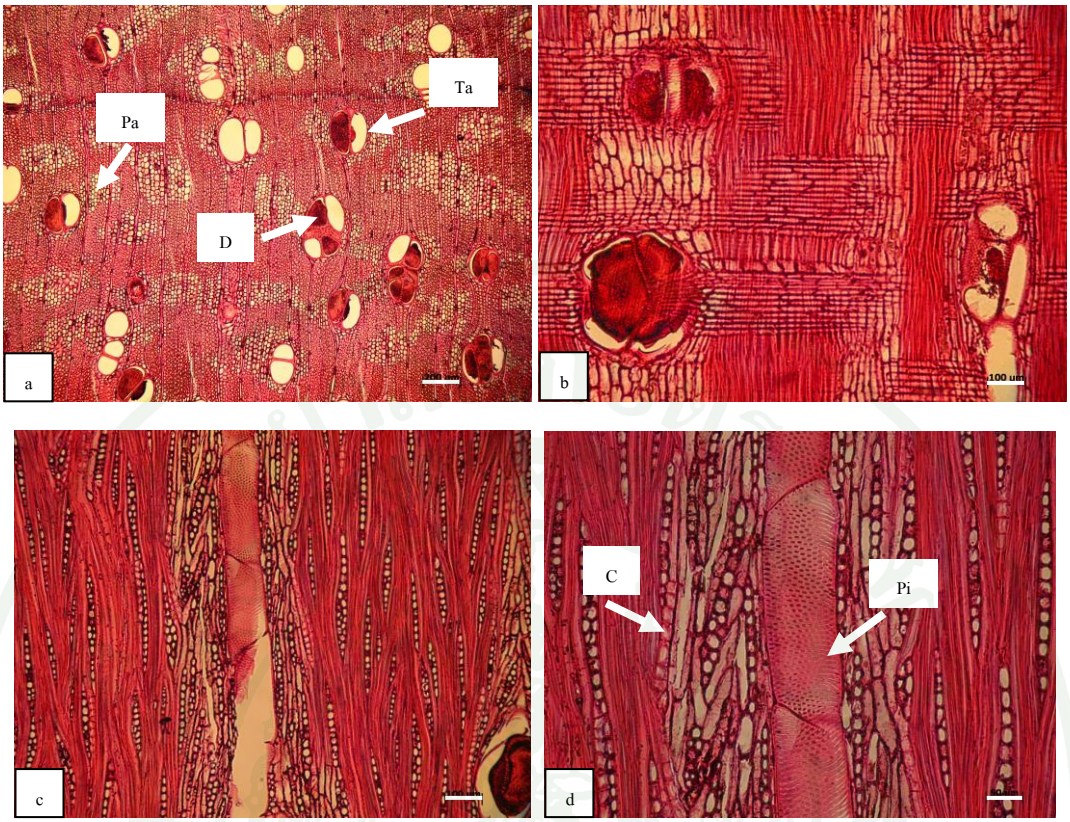
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 10 พอร์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 8 และ 7 พอร์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 96.47 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 86.47 และ 80.59 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 3.90 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 3.71 และ 3.37 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 244.29 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 241.11 และ 232.50 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 65 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 64 และ 60 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 14.81 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 14.70 และ 14.47 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 220.71 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 219.13 และ 178.09 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

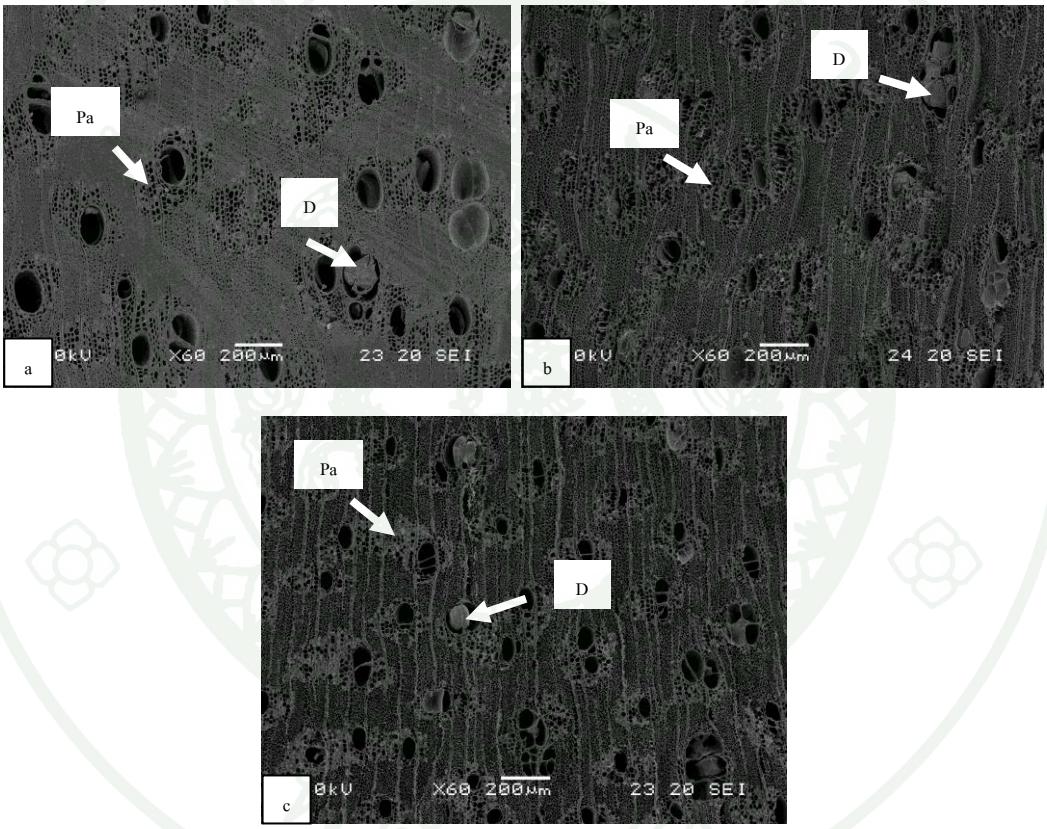


ภาพที่ 23 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ พอร์แบบ tangential multiple (Ta) ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และ ภาพ d = 50 ไมครอน

1.6.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 24a, 25a และ 26a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัดผนังของพอร์แฝดยังคงอยู่ไม่สลายไปทำให้เห็นพอร์แฝดชัดเจน ภายในพอร์มีดีพอซิท และสามารถ

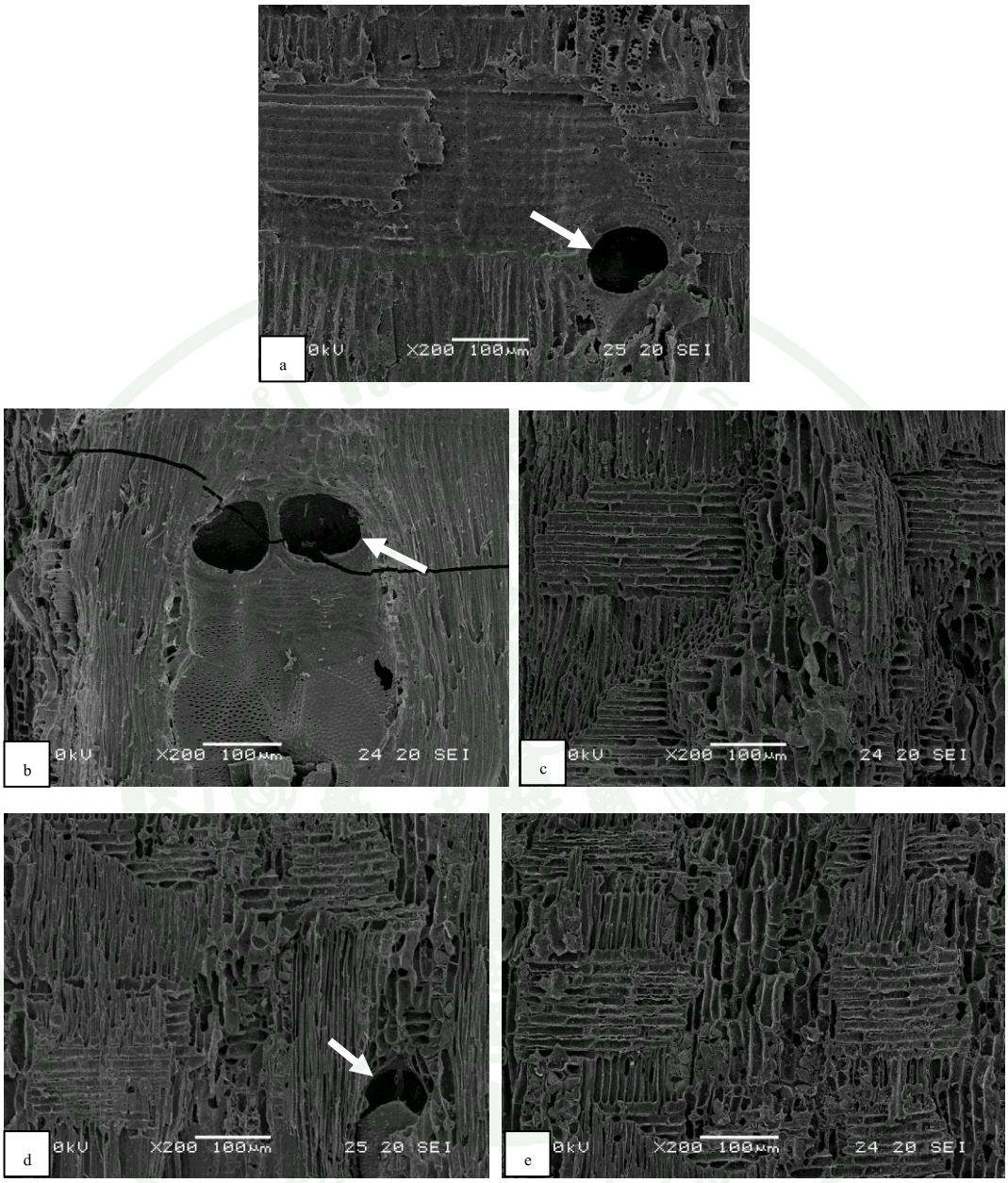
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เห็นพาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์แบบปีกและแบบปีกต่อได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 24b และ 24c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน และสามารถเห็นเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 25b, 25c, 25d และ 25e ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน และภายในพาเรนไคมามีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 26b และ 26c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์ จำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 11



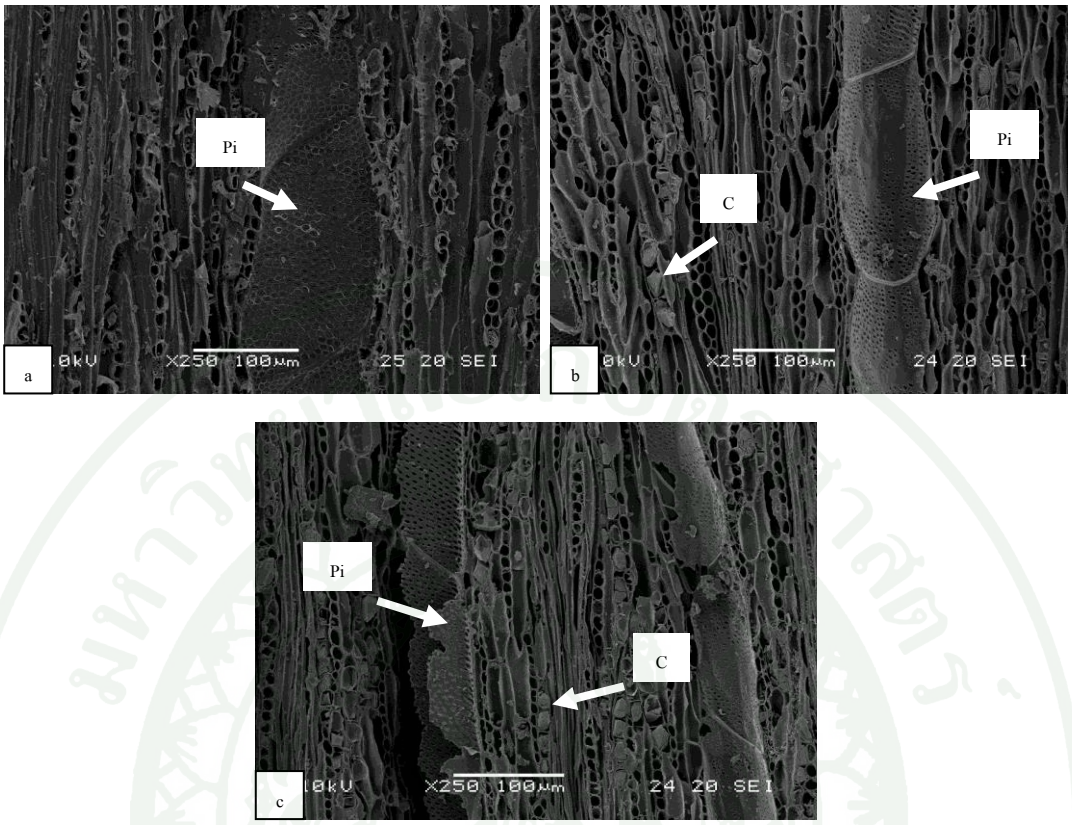
ภาพที่ 24 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ดีพอซิท (D) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 25 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, d ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว และภาพ a, c, d, e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ b, c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d, e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 26 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้มะขามที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับ (Pi) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 6 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้มะขาม ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	10^{ns} (5-16)	2.06	96.47^{a} (60-120)	2.36	3.37^{b} (2.50-3.75)	0.09	244.29^{a} (150-352)	4.09	60^{b} (57-65)	2.22	14.47^{ns} (10-30)	1.67	178.09^{b} (60-340)	3.53
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	7^{ns} (2-11)	1.55	86.47^{b} (50-140)	1.83	3.90^{a} (2.50-5.75)	0.10	241.11^{ab} (140-320)	2.67	64^{a} (61-65)	1.00	14.81^{ns} (10-30)	2.15	220.71^{a} (60-440)	9.98
ใกล้ใจไม้	8^{ns} (4-10)	1.19	80.59^{c} (50-120)	2.14	3.71^{a} (2.50-5.50)	0.07	232.50^{b} (120-310)	1.88	65^{a} (62-67)	1.00	14.70^{ns} (10-30)	2.19	219.13^{a} (60-410)	4.38

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.7 มะม่วง (*Mangifera indica* L.) วงศ์ Anacardiaceae

1.7.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีน้ำตาล เสี้ยนตรง ลักษณะทางด้านหน้าตัด มีวงปีเห็นชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple ซึ่งมีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 4 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีทายโลสอุดอยู่บางพอร์ พาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์ โดยมีทั้งแบบปีกและแบบปีกต่อ พาเรนไคมาแบบรอบวงปีเป็นแบบปลายฤดู ลักษณะทางด้านรัศมี มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 2 - 9 เซลล์ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดไฟเบอร์ทราคีด ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 27 และตารางที่ 11

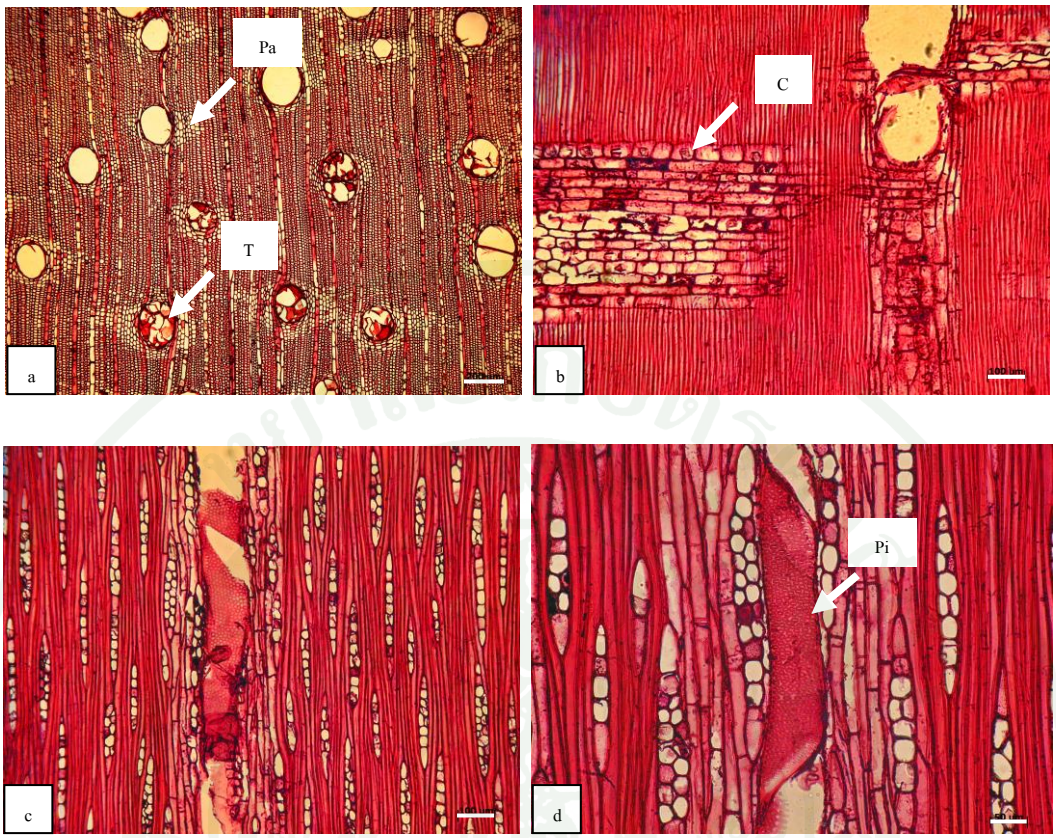
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 4 พอร์รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่าเท่ากัน คือ 3 พอร์ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 147.89 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 139.38 และ 101.43 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 2.13 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 1.88 และ 1.81 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 247.14 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 238.46 และ 208.57 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 48 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 47 และ 46 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 31.18 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 27.31 และ 26.25 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 300.71 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 292.78 และ 276.67 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

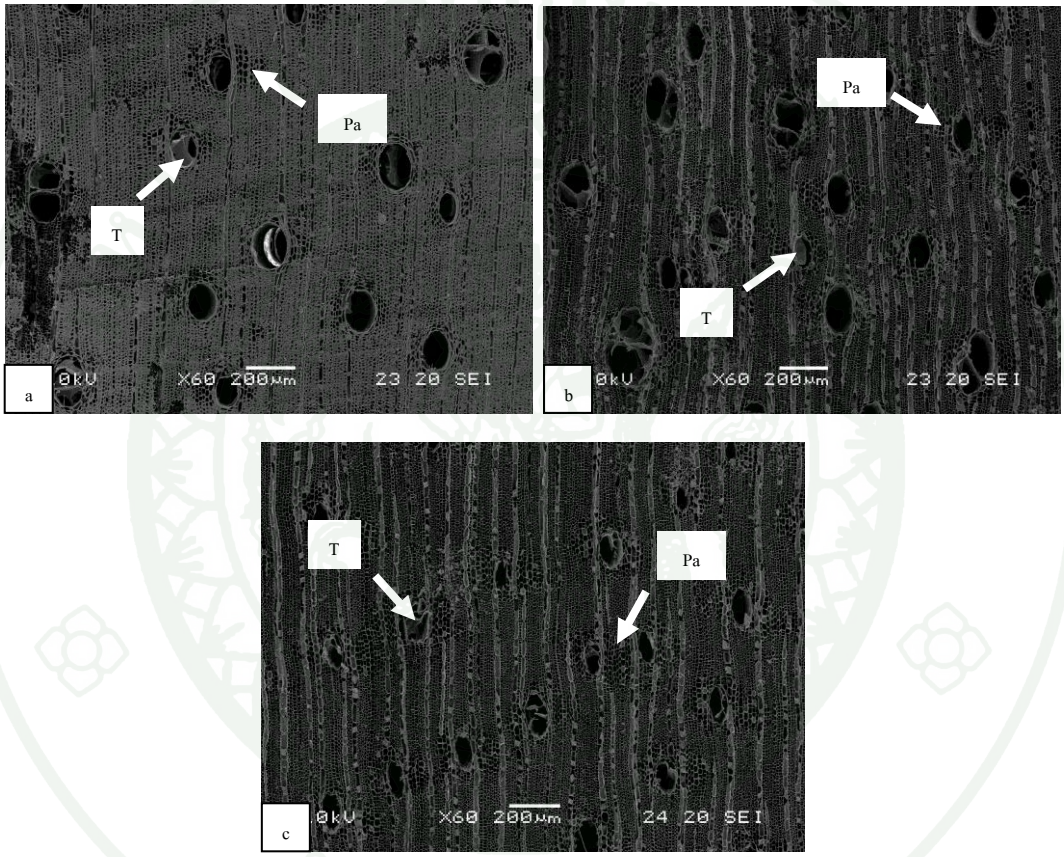


ภาพที่ 27 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ ภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน

1.7.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 28a, 29a, 30a และ 30b เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ผนังของพอร์แฝดยังคงอยู่ไม่สลายไป ภายในพอร์มีทายโลส และสามารถเห็นพาเรนไคมาเป็นแบบติดพอร์แบบปีกและแบบปีกต่อได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 28b และ 28c

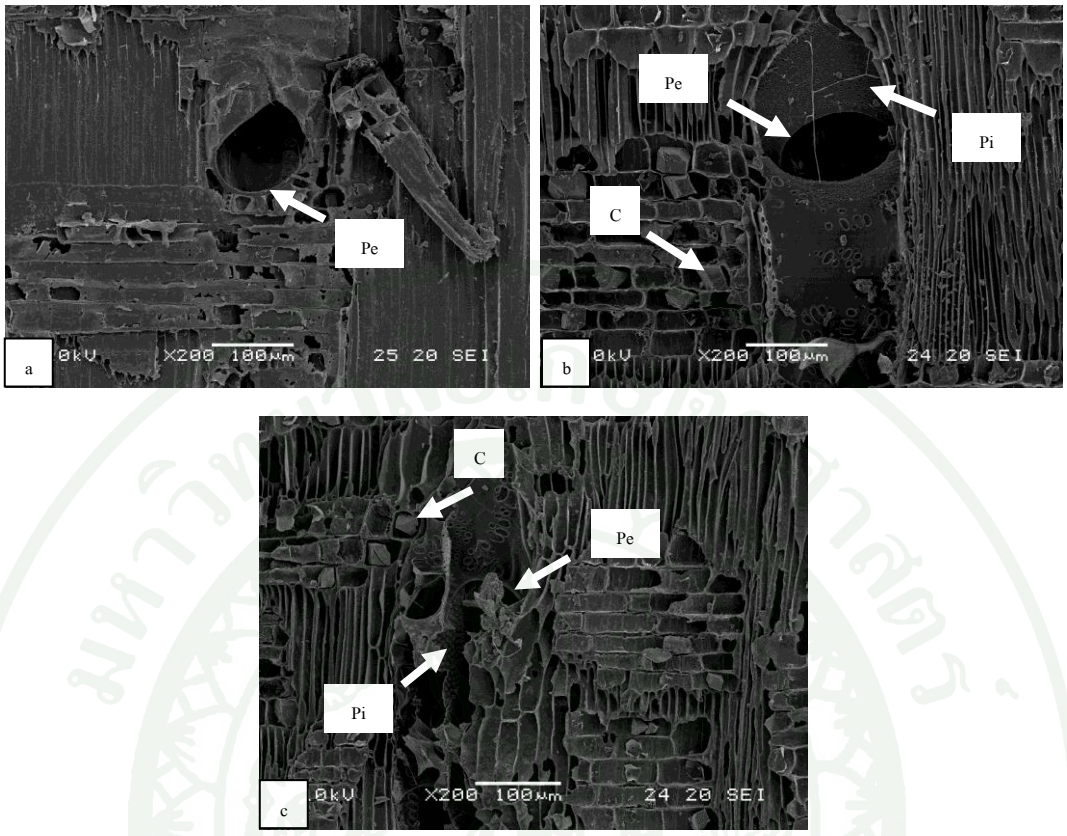
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน แผ่นเปอโพเรชั่นแบบ รูเดี่ยว เรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน และภายในเรย์มีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 29b และ 29c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน และภายในเรย์มีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 30c และ 30d ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์จำนวนน้อย ดังแสดงในตารางที่ 11



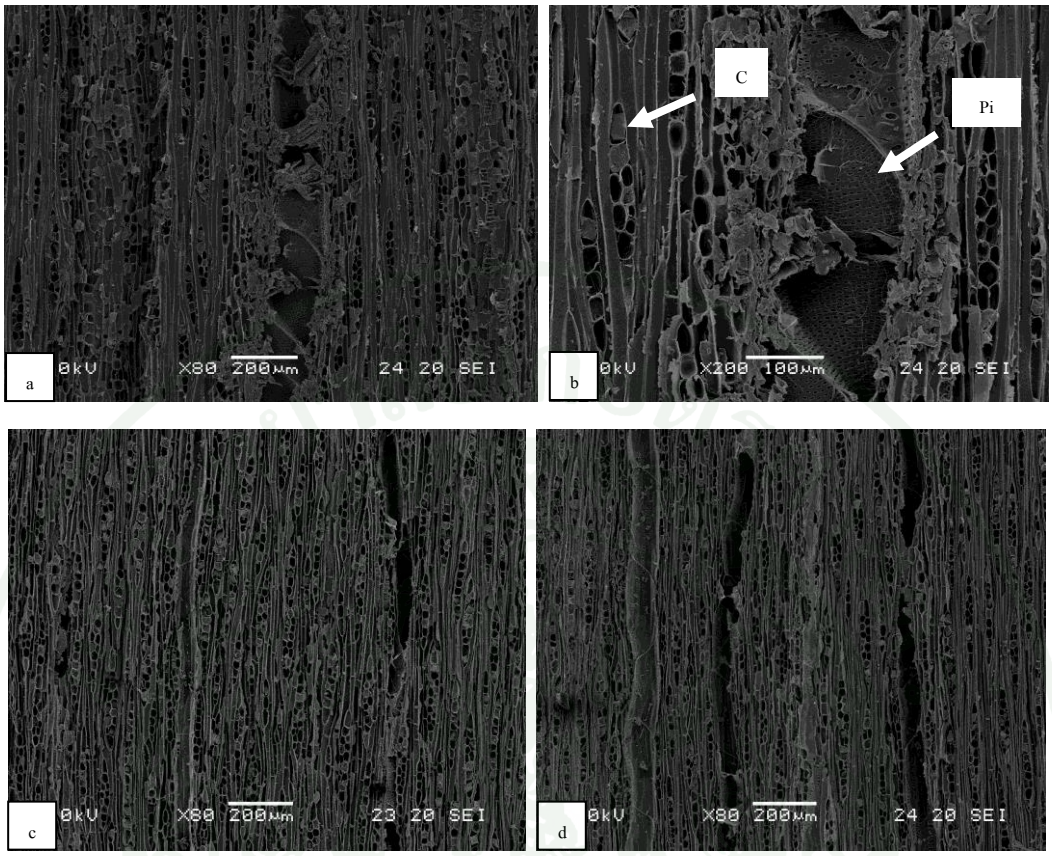
ภาพที่ 28 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 29 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a ,b และ c ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้มะม่วงที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c และ d ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, c, d = 200 ไมครอน และภาพ b = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้มะม่วง ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	3^{ns} (2-5)	1.00	139.38^{a} (20-230)	4.18	1.81^{b} (1.25-2.25)	0.06	238.46^{a} (160-320)	4.29	46^{ns} (40-51)	2.65	31.18^{ns} (20-50)	2.27	292.78^{ns} (100-500)	9.36
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	4^{ns} (2-6)	0.55	147.89^{a} (50-310)	2.78	2.13^{a} (1.50-2.50)	0.11	247.14^{a} (150-360)	4.75	48^{ns} (40-52)	2.20	27.31^{ns} (20-60)	2.62	276.67^{ns} (110-560)	12.10
ใกล้ใจไม้	3^{ns} (2-5)	0.55	101.43^{b} (40-210)	6.45	1.88^{ab} (1.25-2.25)	0.07	208.57^{b} (160-310)	13.23	47^{ns} (40-52)	2.00	26.25^{ns} (20-50)	2.94	300.71^{ns} (140-550)	9.46

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.8 ยางพารา (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.) วงศ์ Euphorbiaceae

1.8.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีเหลืองอมขาว เสี้ยนสน ลักษณะทางด้านหน้าตัด วงปีเห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple ซึ่งมีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 10 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีดีพอซิทและทายไลสอุดอยู่บางพอร์ พาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแถบเส้นเล็กๆ ซึ่งแถบของพาเรนไคมากว้าง 1 - 2 เซลล์ โดยส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์เดียว ลักษณะทางด้านรัศมี มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 2 ภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 3 - 8 เซลล์ ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 31 และตารางที่ 11

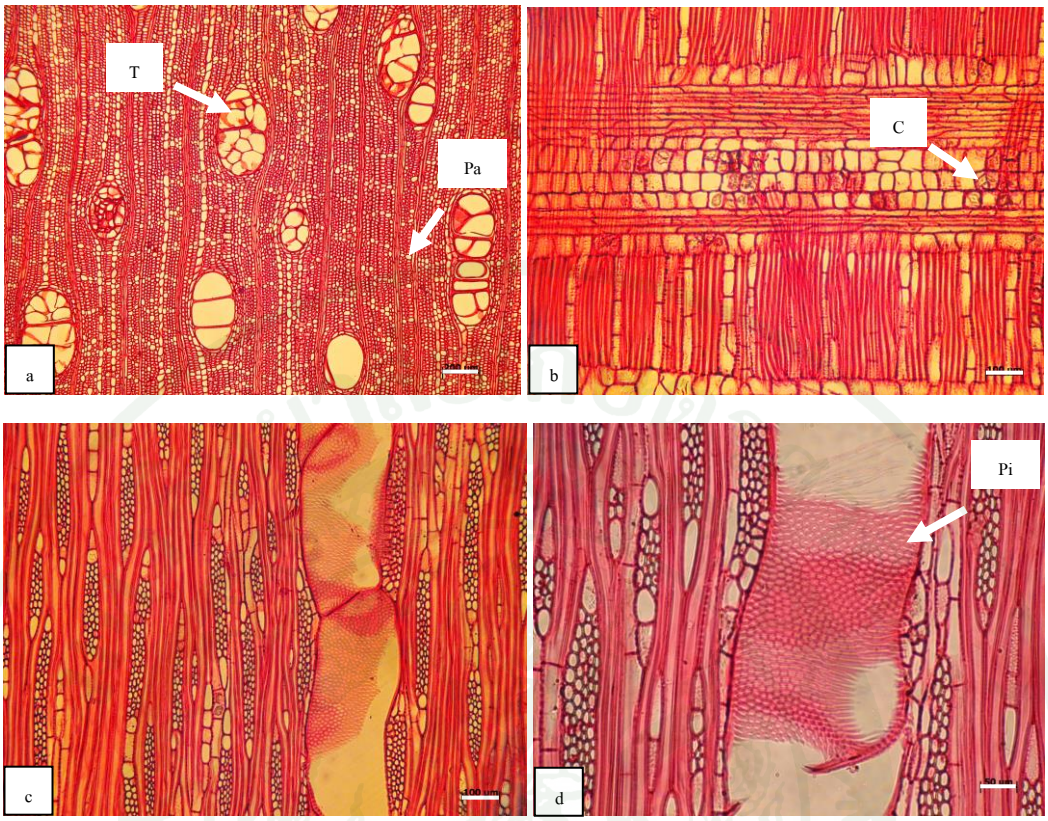
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 7 พอร์รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 5 และ 4 พอร์ตามลำดับ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 175.45 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 172.86 และ 162.76 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 3.83 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 3.52 และ 2.69 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 423.85 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 406.67 และ 320.83 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 47 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 45 และ 43 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 34.64 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 34.44 และ 31.74 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่า มากที่สุด คือ 438.18 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 319.09 และ 296.36 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

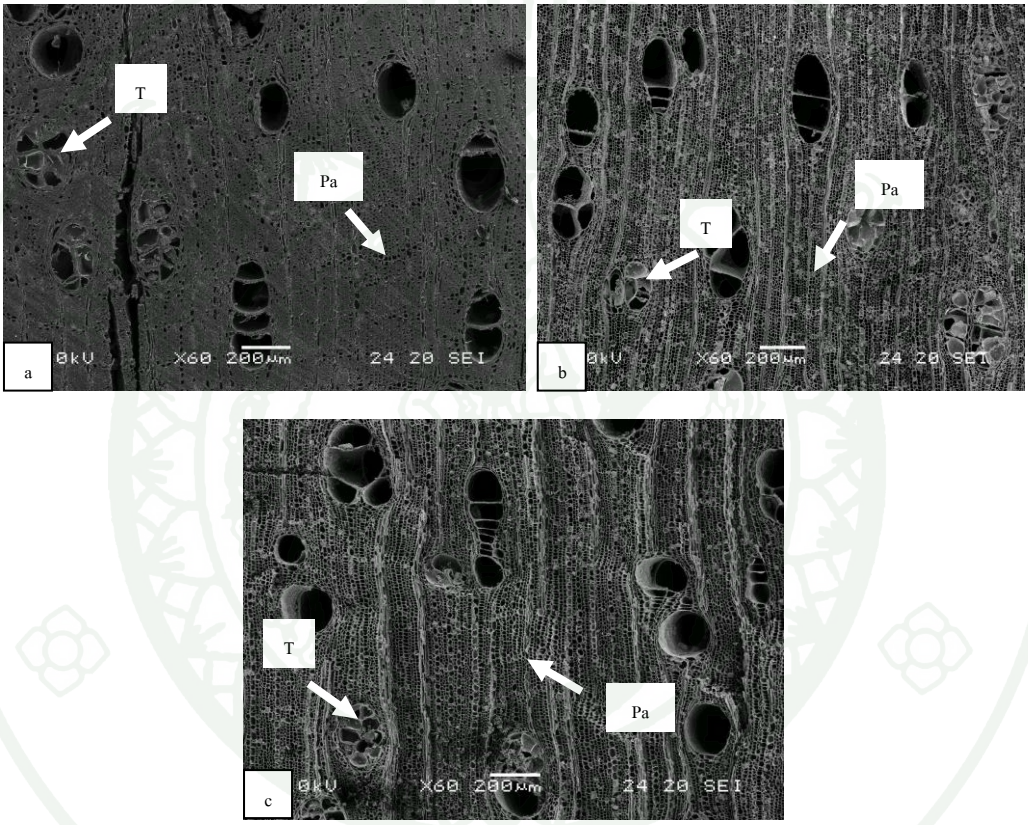


ภาพที่ 31 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี ลูกศรชี้ คือ ภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, c = 100 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน

1.8.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 32a, 33a, 33b และ 34a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ผนังของพอร์แผดยังคงอยู่ไม่สลายไปทำให้เห็นพอร์แผดได้ชัดเจน ภายในพอร์มีดีพอซิท ทายโลส และสามารถเห็นพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแถบเส้นเล็กๆ ดังแสดงในภาพที่ 32b

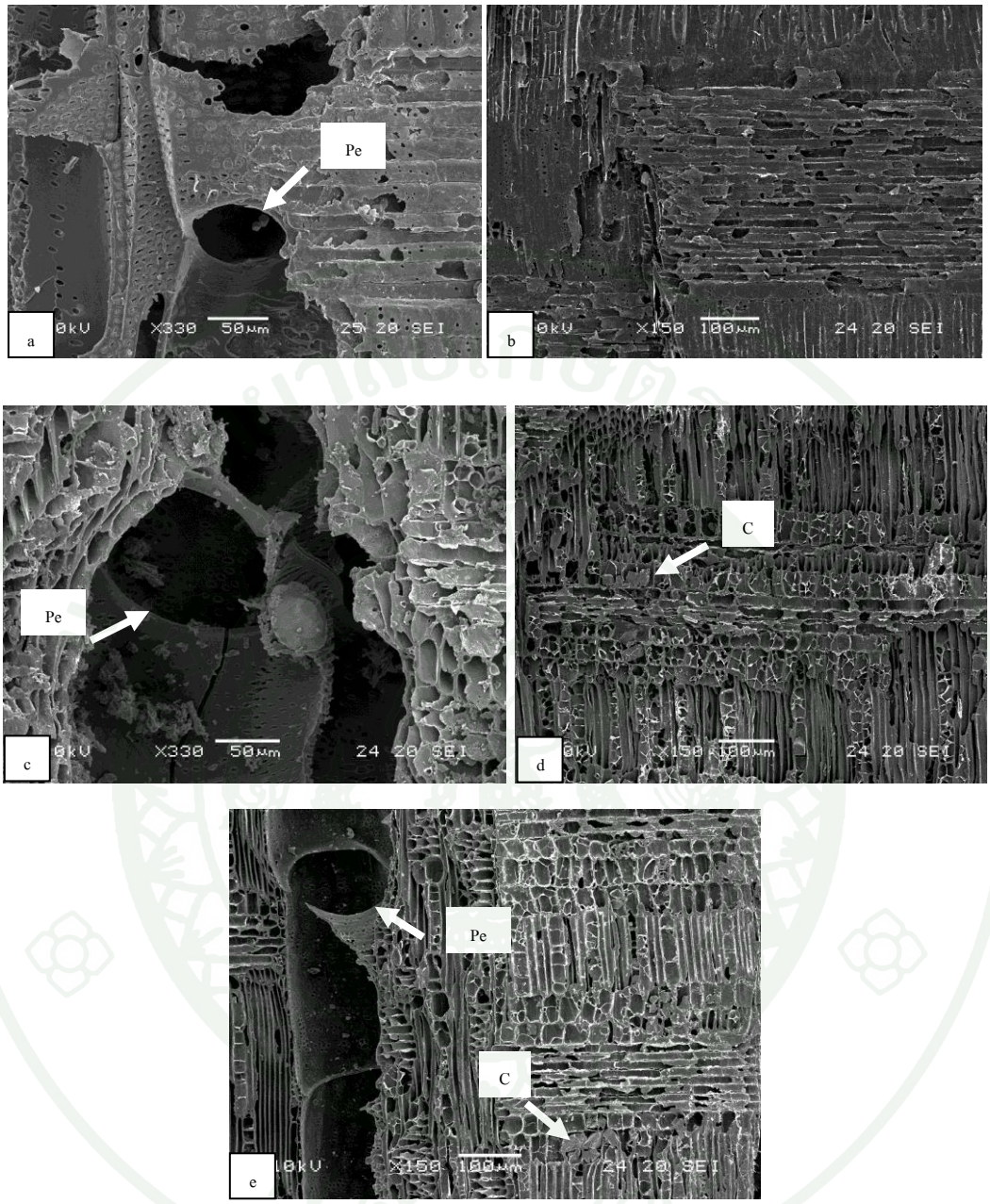
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

และ 32c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน ภายในเรย์มีผลึก และสามารถเห็นเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 33c, 33d และ 33e ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน และภายในเรย์มีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 34b และ 34c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์จำนวนน้อย ดังแสดงในตารางที่ 11



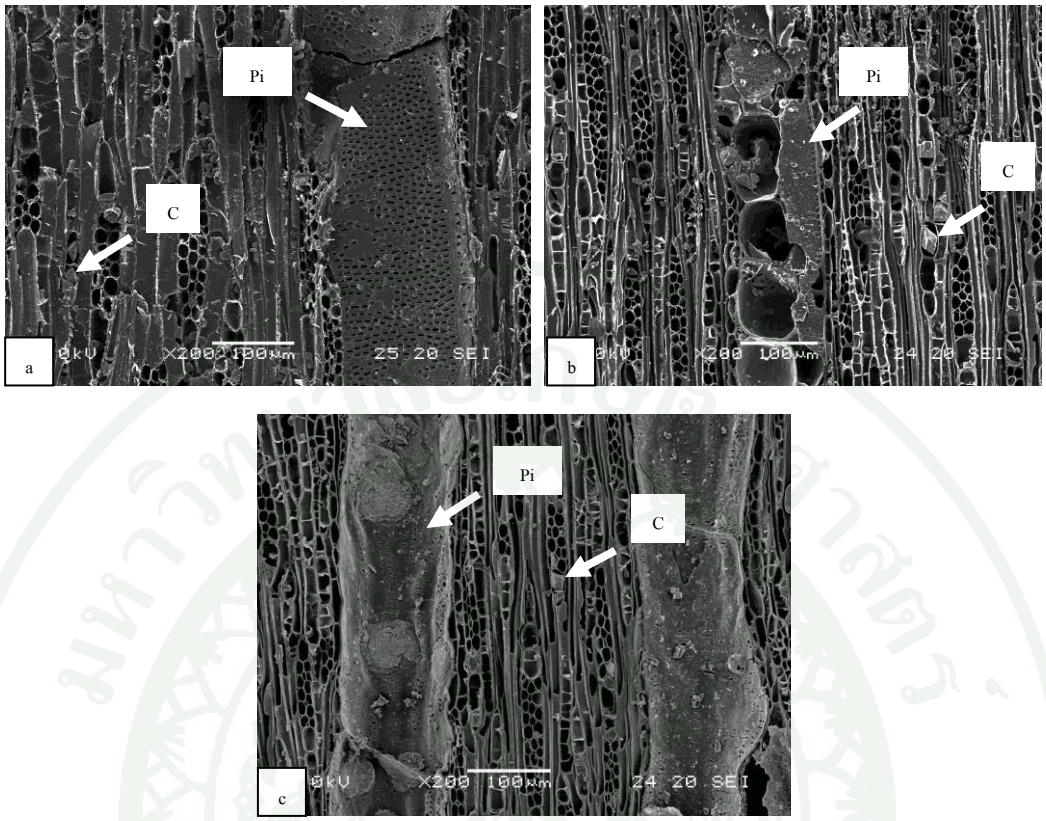
ภาพที่ 32 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 33 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภาพ b, d, e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวและภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, c = 50 ไมครอน และภาพ b, d, e = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 34 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้ยางพาราที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a , b และ c ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และภายในเรย์มีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 100 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้ยางพารา ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	7[a] (1-11)	0.64	162.76[b] (20-270)	4.60	3.83[a] (3.00-4.50)	0.06	406.67[a] (100-700)	4.84	43[ns] (37-47)	2.43	34.44[ns] (20-50)	1.15	438.18[a] (190-700)	6.22
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	5[ab] (1-10)	1.00	175.45[a] (20-310)	5.37	3.52[b] (3.25-3.75)	0.03	423.85[a] (90-830)	7.12	45[ns] (39-52)	1.67	34.64[ns] (20-50)	2.62	319.09[b] (110-630)	10.84
ใกล้ใจไม้	4[b] (1-10)	0.55	172.86[a] (20-250)	4.22	2.69[c] (2.50-3.00)	0.05	320.83[b] (80-580)	9.90	47[ns] (38-53)	1.37	31.74[ns] (20-50)	3.78	296.36[b] (150-510)	8.25

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.9 ยูคาลิปตัส (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) วงศ์ Myrtaceae

1.9.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีเหลืองอมแดง เสี้ยนสน ลักษณะทางด้านหน้าตัด วงปีเห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple ซึ่งมีเป็นพอร์แฝด 2 เซลล์ แต่มีจำนวนพอร์แฝดน้อยกว่าร้อยละ 2 พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีทายไลสอุดอยู่จำนวนมาก พาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแบบกระจาย พาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นแบบหย่อมและแบบติดพอร์โดยรอบ ลักษณะทางด้านรัศมี มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 3 ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 3 - 9 เซลล์ ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดไฟเบอร์ทราคีด ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 35 และตารางที่ 11

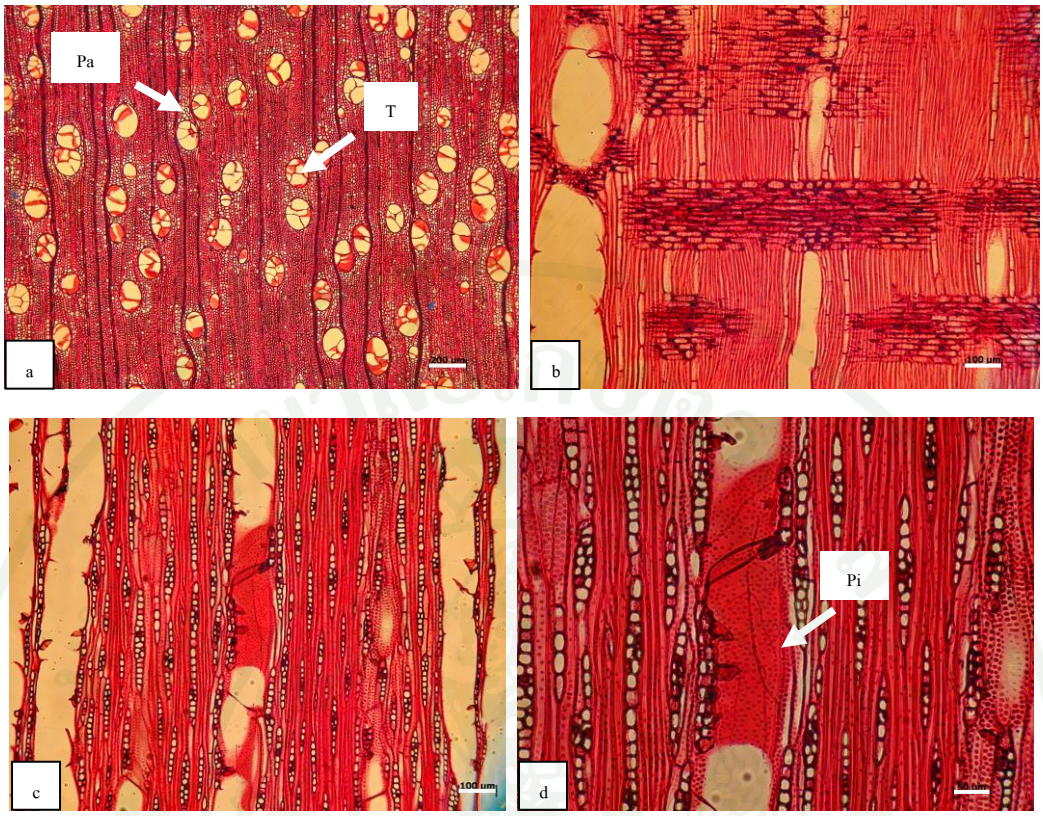
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 16 พอร์ รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 12 และ 11 พอร์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 102.22 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 97.40 และ 72.08 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 3.13 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 2.59 และ 2.32 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 244.08 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 187.89 และ 186.25 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 81 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 78 และ 75 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตรมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 17.92 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 15.71 และ 14.17 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่ามากที่สุด คือ 167.50 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 162.70 และ 155.86 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 9

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

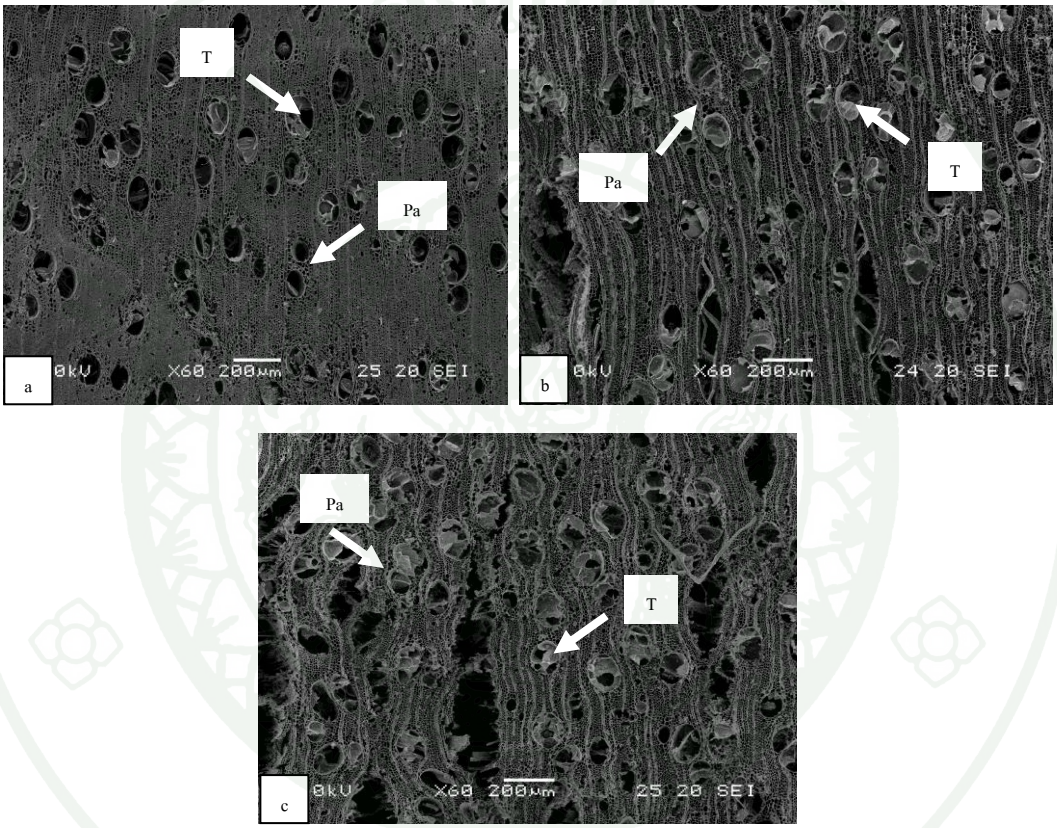


ภาพที่ 35 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซล เป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a = 200 ไมครอน ภาพ b, d = 100 ไมครอน และ ภาพ c = 50 ไมครอน

1.9.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 36a, 37a, 37b และ 38a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ภายในพอร์มีทายโลส และสามารถเห็นพาเรนไคมาแบบติดพอร์โดยรอบ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 600 องศาเซลเซียส พาเรนไคมาแบบกระจายและแบบติดพอร์เป็นหย่อมเห็นไม่ชัดเจน

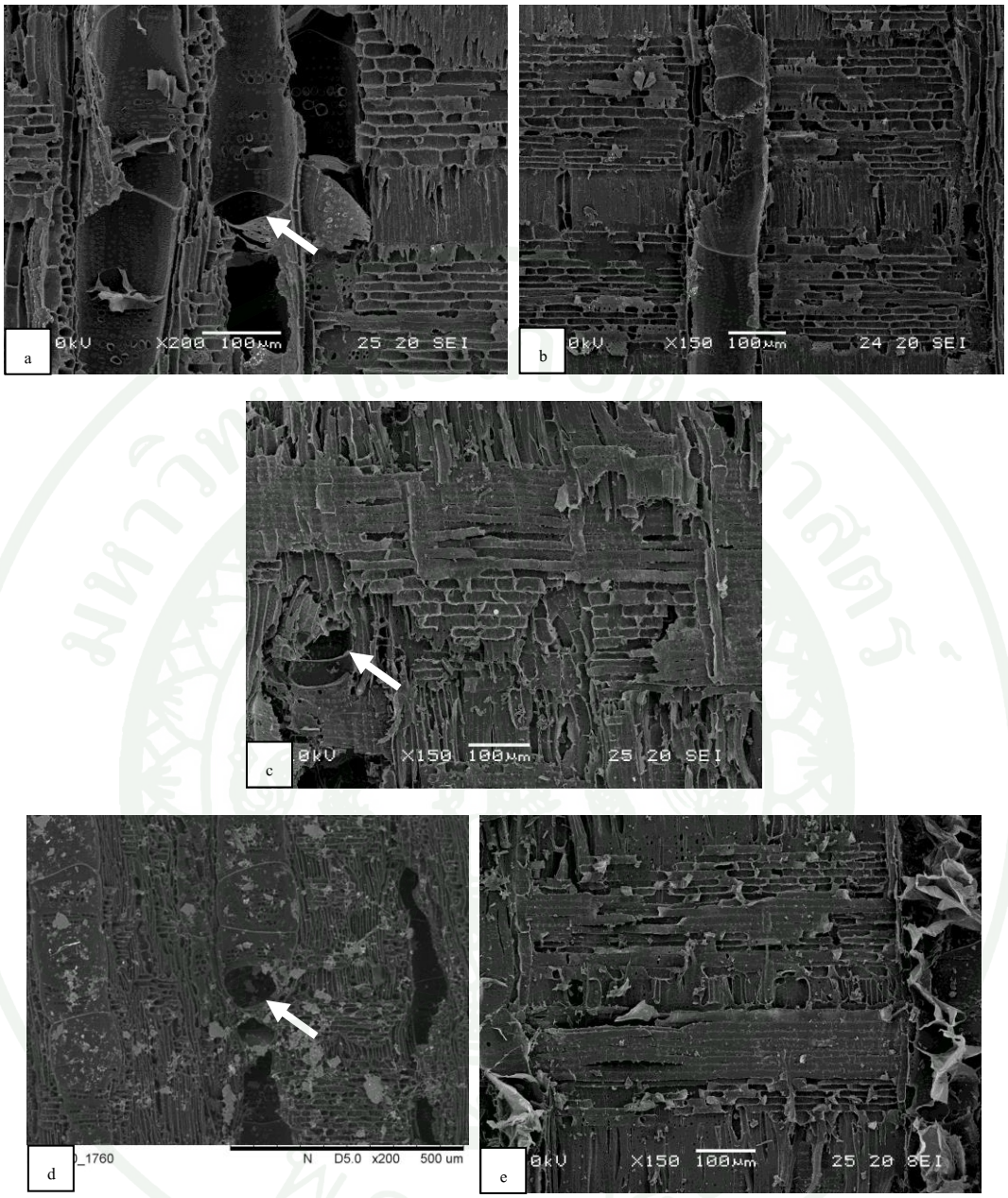
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังแสดงใน ภาพที่ 36b และ 36c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน และเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 37c, 37d และ 37e ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับ และภายในเวสเซลมีทายโลส ดังแสดงในภาพที่ 38b และ 38c ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 11



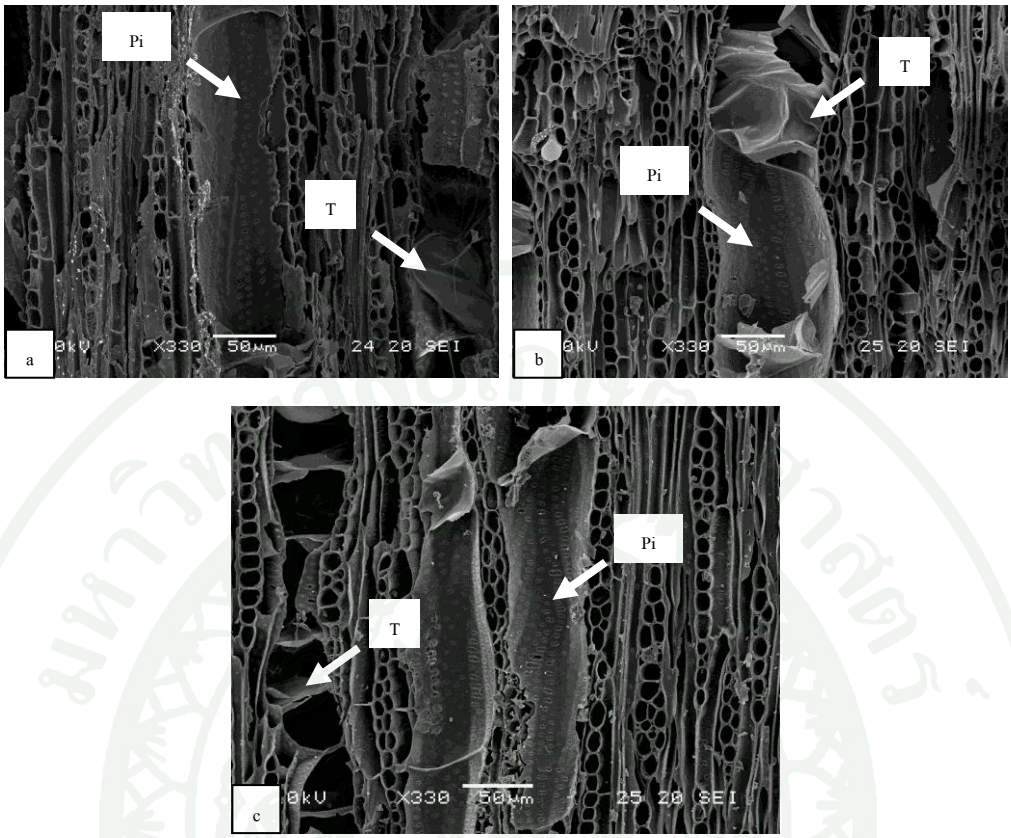
ภาพที่ 36 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของก้านไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และพาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 37 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c, d และ e คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ลูกศรชี้ คือ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว ใช้อุณหภูมิในการเผา ภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ d, e คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c, e = 100 ไมครอน และภาพ d = 500 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 38 ลักษณะทางด้านสัมผัสของถ่านไม้ยูคาลิปตัสที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 50 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้ยูคาลิปตัส ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	11[b] (9-14)	1.00	102.22[a] (50-150)	6.45	3.13[a] (2.50-3.75)	0.13	244.08[a] (100-350)	5.81	75[b] (72-79)	1.00	14.17[ns] (10-30)	1.59	167.50[a] (60-430)	5.01
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	12[ab] (8-16)	1.57	97.40[a] (40-150)	8.26	2.59[b] (2.50-3.25)	0.04	186.25[b] (70-310)	5.13	78[ab] (72-81)	1.00	17.92[ns] (10-30)	1.34	155.86[b] (50-460)	4.10
ใกล้ใจไม้	16[a] (11-21)	1.58	72.08[b] (30-120)	5.79	2.32[c] (2.00-2.50)	0.07	187.89[b] (90-270)	7.30	81[a] (76-84)	0.73	15.71[ns] (10-30)	2.83	162.70[ab] (60-490)	1.97

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

[ns] ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.10 รัง (*Shorea siamensis* Miq.) วงศ์ Dipterocarpaceae

1.10.1 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ พบว่า เนื้อไม้สีน้ำตาลอมแดง เสี้ยนสน ลักษณะทางด้านหน้าตัด มีวงปีแต่เห็นไม่ชัดเจน เวสเซลหรือพอร์มีการกระจายของพอร์เป็นแบบกระจาย พอร์มีทั้งแบบ พอร์เดี่ยว พอร์แฝดเป็นแบบ radial multiple ซึ่งมีพอร์แฝดตั้งแต่ 2 - 3 เซลล์ พอร์โซ่ และพอร์เฉียง ภายในพอร์มีทายโลสอุดอยู่จำนวนมาก ส่วนพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นทั้งแบบกระจายและแบบกระจายเป็นกลุ่ม พาเรนไคมาแบบติดพอร์มีทั้งแบบปีกและแบบปีกต่อ ท่อยางเป็นท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมีมีความโตเฉลี่ย 86.04 (30 - 180) ไมครอน และมีจำนวนท่อยางเฉลี่ย 6 (4 - 10) เซลล์ต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร พาเรนไคมาที่อยู่ล้อมรอบท่อยางเป็นแถบยาวมีความกว้างของแถบ 4 – 10 เซลล์ ลักษณะทางด้านรัศมี ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึมเป็นพวกแคลเซียมออกซาเลต มีทั้งเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ชนิดของเรย์เป็นเรย์เชิงผสมแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ลักษณะทางด้านสัมผัส การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน จำนวนของเซลล์ใน strand parenchyma มีจำนวน 2 - 4 เซลล์ ส่วนเรย์มีทั้งแบบเรย์แถวเดี่ยวและเรย์หลายแถว ไฟเบอร์เป็นชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ซึ่งภายในเซลล์ไม่มีผนังคั่น ดังแสดงในภาพที่ 39 และตารางที่ 11

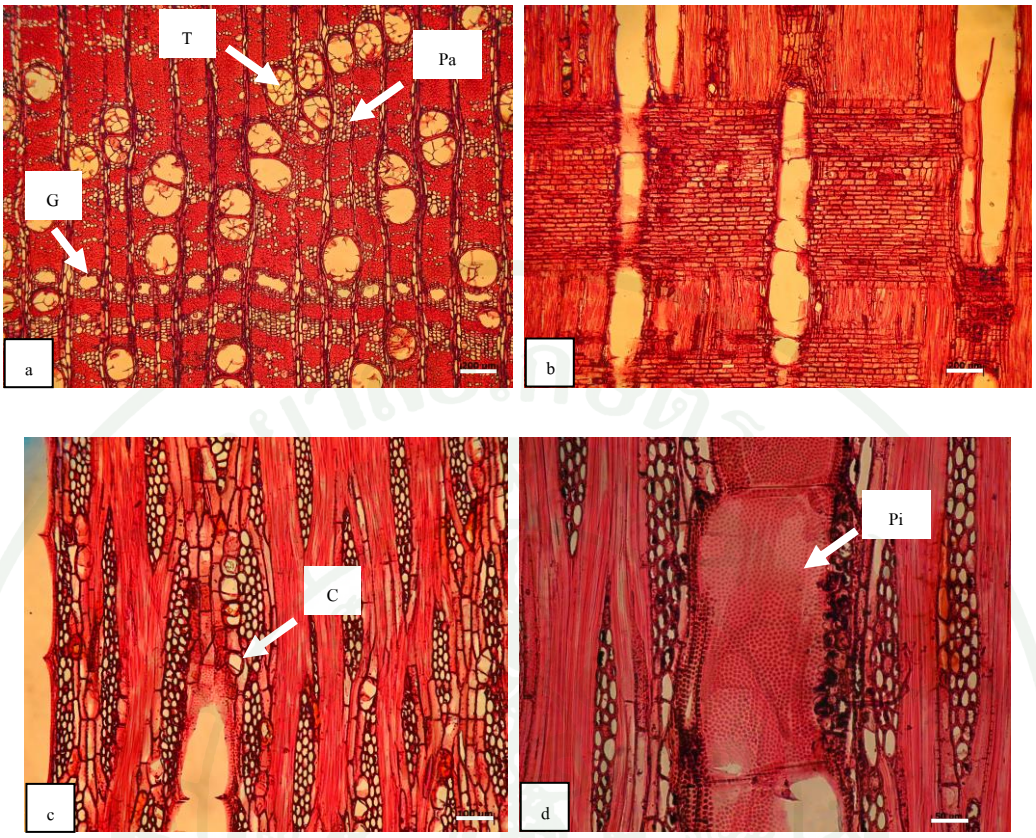
ทำการศึกษาเนื้อไม้โดยเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า

ทางด้านหน้าตัด จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร ตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ มีค่าคงที่ คือ 5 พอร์ ความโตเฉลี่ยของพอร์มีแนวโน้มลดลงตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 167.73 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 157.21 และ 146.52 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความโตเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาเฉลี่ยของผนังเซลล์ไฟเบอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 8.26 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 7.95 และ 7.89 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความหนาของผนังเซลล์ ไฟเบอร์เฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ทางด้านสัมผัส ความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 315.14 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ มีค่า 303.91 และ 256.04 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเฉลี่ยของพอร์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้ใจไม้มีค่ามากที่สุด คือ 31 เรย์ รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 30 และ 28 เรย์ ตามลำดับ ซึ่งจำนวนเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตรไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความกว้างเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 45.12 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่า 44.08 และ 40.62 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความกว้างเฉลี่ยของเรย์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมี โดยตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่ามากที่สุด คือ 540.51 ไมครอน รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ มีค่า 471.82 และ 423.57 ไมครอน ตามลำดับ ซึ่งความสูงเฉลี่ยของเรย์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

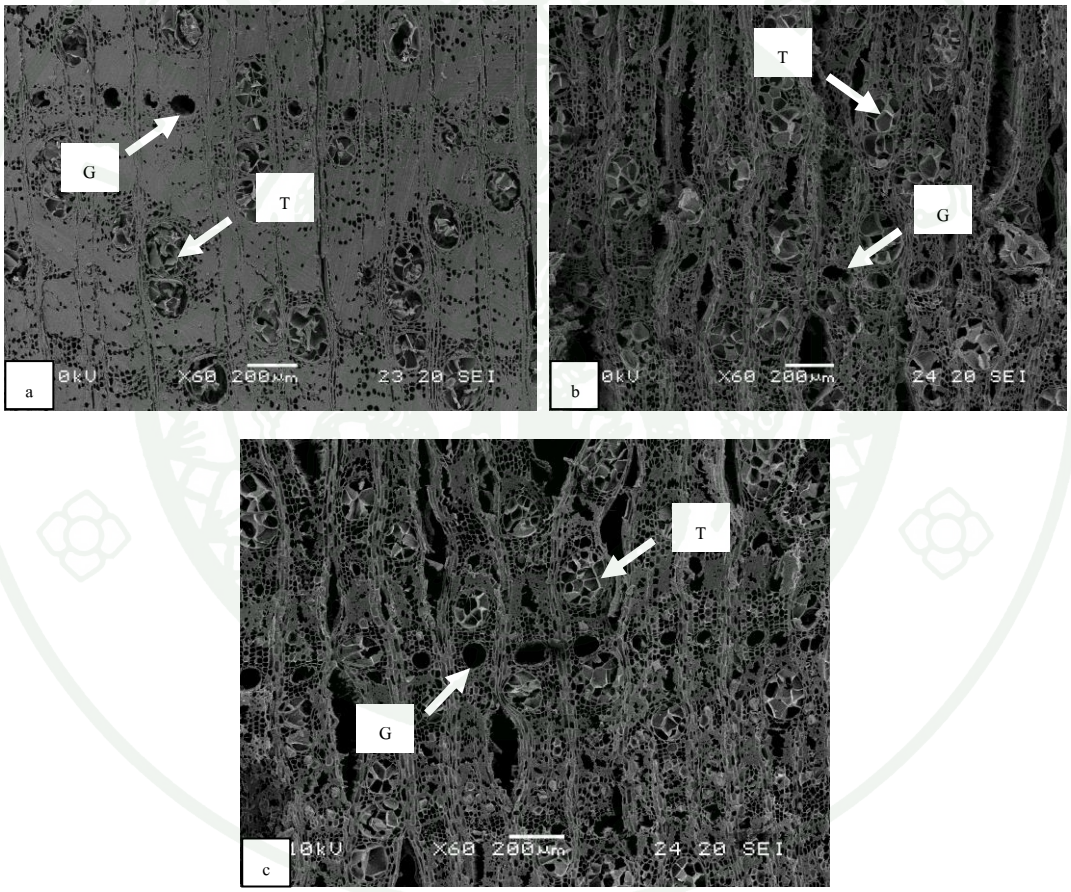


ภาพที่ 39 ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้รังที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ light microscope โดยภาพ a คือ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) พาเรนไคมาแบบติดพอร์ (Pa) และท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) ภาพ b คือ ลักษณะทางด้านรัศมี และภาพ c, d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ ภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) และการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) สเกลบาร์ ภาพ a, b = 200 ไมครอน ภาพ c = 100 ไมครอน และ ภาพ d = 50 ไมครอน

1.10.2 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ตามแนวรัศมี เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและสีดำเพียงบางส่วน เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้ยังไม่สมบูรณ์ทำให้เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 40a, 41a, 41b และ 42a เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของเนื้อไม้กลายเป็นสีดำทั้งหมด เนื่องจากไม้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ลักษณะทางด้านหน้าตัด ผนังของพอร์แฝดยังคงอยู่ไม่สลายไป ภายในพอร์มีทายโลส สามารถเห็นพาเรนไคมา

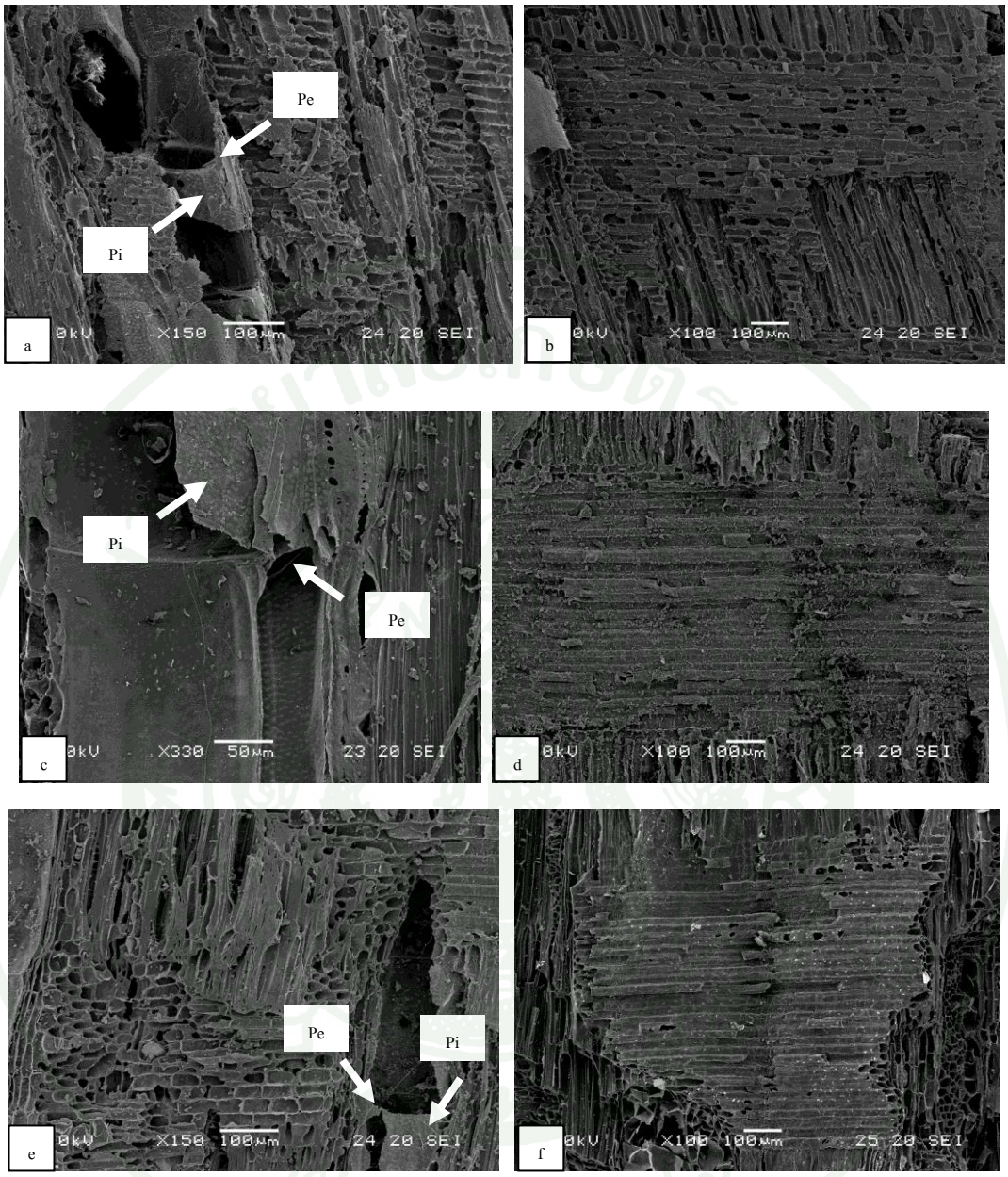
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบติดพอร์เป็นแบบปีกและแบบปีกต่อ แต่พาเรนไคมาแบบกระจายและแบบกระจายเป็นกลุ่ม เห็นไม่ชัดเจน และท่อยางตามยาวเห็นได้ชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 40b และ 40c ตามลำดับ ลักษณะทางด้านรัศมี สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว และเรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ดังแสดงในภาพที่ 41c, 41d, 41e และ 41f ตามลำดับ ลักษณะทางด้านสัมผัส สามารถเห็นการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน และภายในพาเรนไคมามีผลึก ดังแสดงในภาพที่ 42b, 42c และ 42d ตามลำดับ เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และการเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการปริแตกตามแนวเรย์จำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 11



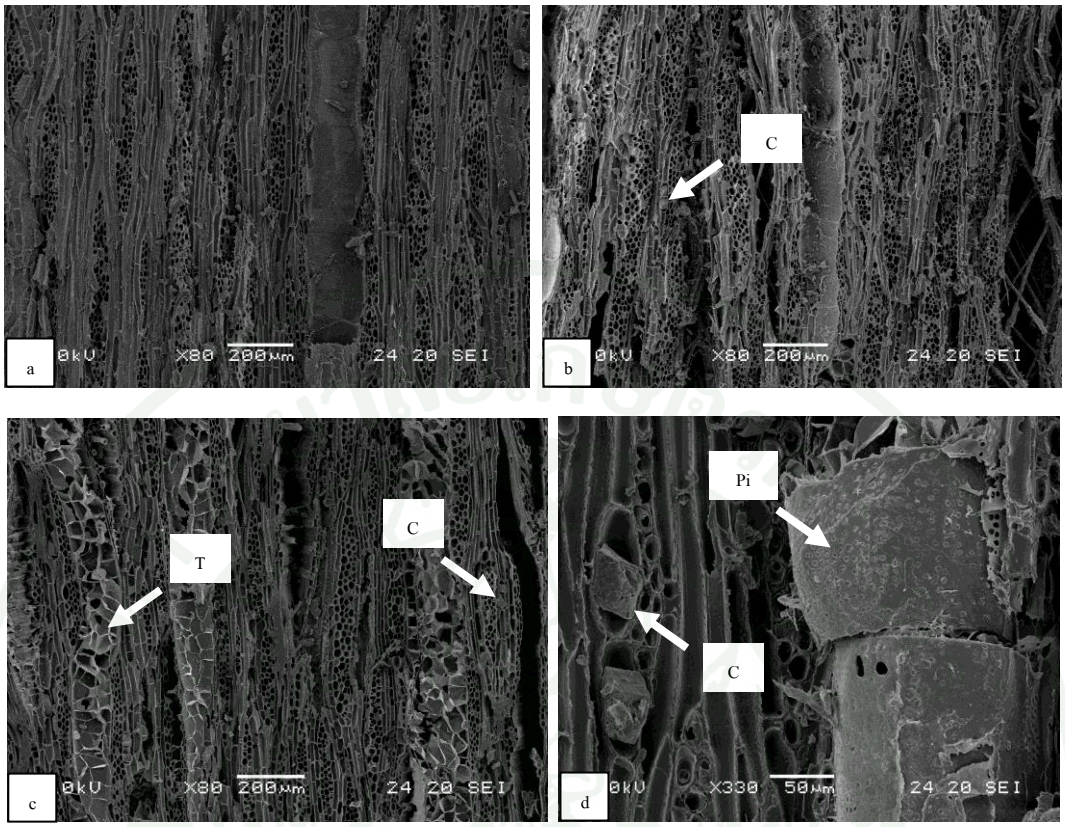
ภาพที่ 40 ลักษณะทางด้านหน้าตัดของถ่านไม้รังที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b และ c ลูกศรชี้ คือ ทายโลส (T) และท่อยางตามยาวเรียงตัวเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นรัศมี (G) ใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สเกลบาร์ = 200 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 41 ลักษณะทางด้านรัศมีของถ่านไม้เต็งที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, c, e ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) และแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว (Pe) และภาพ a, b, d, e, f คือ เรย์เซลล์ตั้งและเซลล์นอน ใช้อุณหภูมิในการเผาภาพ a, b คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ c, d คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ e, f คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, d, e, f = 100 ไมครอน และภาพ c = 50 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 42 ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้รังที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยภาพ a, b, c และ d คือ ลักษณะทางด้านสัมผัส ลูกศรชี้ คือ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลเป็นแบบสลับกัน (Pi) ทายโลส (T) และภายในพาเรนไคมามีผลึกแบบปริซึม (C) ใช้อุณหภูมิ ในการเผา ภาพ a คือ 250 องศาเซลเซียส ภาพ b คือ 400 องศาเซลเซียส และภาพ c, d คือ 600 องศาเซลเซียส สเกลบาร์ ภาพ a, b, c = 200 ไมครอน และภาพ d = 50 ไมครอน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลของไม้รัง ทางด้านหน้าตัด ได้แก่ จำนวนพอร์เฉลี่ยต่อ 1 ตารางมิลลิเมตร (Nv) ความโต (Dv) ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์(Tf) เฉลี่ย ทางด้านสัมผัส ได้แก่ ความยาวเฉลี่ยของพอร์ (Lv) จำนวนของเรย์เฉลี่ยต่อ 5 มิลลิเมตร(Nr) ความกว้าง(Dr) และความสูง(Hr) เฉลี่ยของเรย์ จากเนื้อไม้ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือก ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ทางด้านหน้าตัด						ทางด้านสัมผัส							
	Nv (N/mm²)		Dv (μm)		Tf (μm)		Lv (μm)		Nr (N/5mm)		Dr (μm)		Hr (μm)	
	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.	ค่าเฉลี่ย (ต่ำสุด–สูงสุด)	S.D.
ใกล้เปลือกไม้	5^{ns} (2-7)	0.54	167.73^{a} (80-240)	3.82	7.89^{b} (6.45-9.20)	0.03	303.91^{a} (110-410)	5.98	30^{ns} (25-33)	2.00	45.12^{ns} (10-90)	2.72	423.57^{c} (170-810)	4.37
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	5^{ns} (2-9)	0.62	157.21^{b} (80-220)	3.99	8.26^{a} (4.00-11.50)	0.08	315.14^{a} (140-400)	10.38	28^{ns} (21-32)	2.15	40.62^{ns} (10-70)	2.79	540.51^{a} (190-1,050)	3.96
ใกล้ใจไม้	5^{ns} (3-8)	1.00	146.52^{c} (60-210)	1.83	7.95^{b} (5.00-10.00)	0.07	256.04^{b} (130-350)	3.89	31^{ns} (28-33)	1.63	44.08^{ns} (10-80)	3.23	471.82^{b} (180-1,000)	5.94

หมายเหตุ S.D. คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน (a, b, c) หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติโดยวิธี Duncan's new multiple rang test

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบลักษณะที่สำคัญทางกายวิภาคของไม้และถ่านไม้ทั้ง 10 ชนิด

ชนิดไม้	ลักษณะทางกายวิภาคของไม้				
	พอร์หรือเวสเซล	พาเรนไคมา	เรย์	ไฟเบอร์	ลักษณะอื่น
กระถิน	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-15 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีดีพอซิท	แบบล้อมรอบพอร์ แบบปีก และแบบปีกต่อ มีผลึก	เรย์เชิงเดี่ยวแบบที่ 1	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในมีผนังคั่น	
ถ่านไม้กระถิน	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ดีพอซิท ผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ และผลึกภายในพาเรนไคมา เป็นต้น สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น				
กระถินณรงค์	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-8 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีดีพอซิท	แบบล้อมรอบพอร์ แบบปีก และแบบปีกต่อ มีผลึก	เรย์เชิงเดี่ยวแบบที่ 1	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในไม่มีผนังคั่น	
ถ่านไม้กระถินณรงค์	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส เซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพอยู่ เช่น ดีพอซิทและผลึกภายในพาเรนไคมา เป็นต้น สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น				

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ชนิดไม้	ลักษณะทางกายวิภาคของไม้				
	พอร์หรือเวสเซล	พาเรนไคมา	เรย์	ไฟเบอร์	ลักษณะอื่น
กระบก	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-6 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีดีพอซิท	แบบแถบเส้นเล็กๆ มีผลึก	เรย์เชิงผสมแบบที่ 3	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในไม่มีผนังคั่น	
ถ่านไม้กระบก	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ดีพอซิท พาเรนไคมาแบบแถบเส้นเล็กๆ และผลึกภายในพาเรนไคมา เป็นต้น แต่เมื่ออุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พาเรนไคมาแบบแถบเห็นไม่ชัดเจน สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น				
โกงกางใบเล็ก	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-7 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบขั้นบันได แผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได	แบบติดพอร์เป็นหย่อม	เรย์เชิงผสมแบบที่ 3 มีผลึก	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในไม่มีผนังคั่น	
ถ่านไม้โกงกางใบเล็ก	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ผลึกภายในเรย์ พิทบนผนังเวสเซลแบบขั้นบันได และแผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได เป็นต้น แต่เมื่ออุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พาเรนไคมาแบบเป็นหย่อมเห็นไม่ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น เกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์ขนาดใหญ่				

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ชนิดไม้	ลักษณะทางกายวิภาคของไม้				
	พอร์หรือเวสเซล	พาเรนไคมา	เรย์	ไฟเบอร์	ลักษณะอื่น
เต็ง	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-4 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีทายโลส	แบบปีก แบบปีกต่อ และแบบกระจาย มีผลึก	เรย์เชิงผสมแบบที่ 3	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในไม่มีผนังคั่น	ท่อยางตามยาว
ถ่านไม้เต็ง	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ทายโลส ผลึกภายในพาเรนไคมา และท่อยางตามยาว เป็นต้น แต่พาเรนไคมาแบบกระจายเห็นไม่ชัดเจน สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น				
มะขาม	พอร์เดียว พอร์โซ่ พอร์เฉียง และพอร์แฝด 2-6 แบบ tangential multiple และ radial multiple พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีดีพอซิท	แบบปีก แบบปีกต่อ และแบบปลายฤดู มีผลึก	เรย์เชิงผสมแบบที่ 3	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในไม่มีผนังคั่น	
ถ่านไม้มะขาม	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น พอร์แบบ tangential multiple และดีพอซิท เป็นต้น สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น				

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ชนิดไม้	ลักษณะทางกายวิภาคของไม้				
	พอร์หรือเวสเซล	พาเรนไคมา	เรย์	ไฟเบอร์	ลักษณะอื่น
มะม่วง	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-4 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีทายโลส	แบบปีก แบบปีกต่อ และแบบปลายฤดู	เรย์เชิงผสมแบบที่ 3 มีผลึก	ไฟเบอร์ทราคีด ภายในไม่มีผนังคั่น	
ถ่านไม้มะม่วง	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ทายโลส พาเรนไคมาแบบปีก และผลึกภายในเรย์ เป็นต้น สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น แต่การเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์มีน้อย				
ยางพารา	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-4 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ แผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยว มีทายโลสและดีพอซิท	แบบแถบเส้นเล็กๆ	เรย์เชิงผสมแบบที่ 2 มีผลึก	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในไม่มีผนังคั่น	
ถ่านไม้ยางพารา	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ทายโลส พาเรนไคมาแบบแถบ และผลึกภายในเรย์ เป็นต้น สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น แต่การเกิดรอยปริแตกตามแนวเรย์มีน้อย				

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ชนิดไม้	ลักษณะทางกายวิภาคของไม้				
	พอร์หรือเวสเซล	พาเรนไคมา	เรย์	ไฟเบอร์	ลักษณะอื่น
ยูคาลิปตัส	พอร์แฝด พอร์โซ่ พอร์เฉียง แต่ส่วนใหญ่เป็นพอร์เดียว พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีทายโลส	แบบกระจาย แบบติดพอร์เป็นหย่อม และ แบบล้อมรอบพอร์	เรย์เชิงผสมแบบที่ 3	ไฟเบอร์ทราคีด ภายในไม่มีผนังคั่น	
ถ่านไม้ยูคาลิปตัส	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ทายโลส และพาเรนไคมาแบบล้อมรอบพอร์ เป็นต้น แต่เมื่ออุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส พาเรนไคมาแบบเป็นหย่อมและแบบกระจายเห็นไม่ชัดเจน สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น				
รัง	พอร์เดียว พอร์แฝด 2-3 พอร์โซ่และพอร์เฉียง พิทบนผนังเวสเซลแบบสลับ มีทายโลส	แบบปีก แบบปีกต่อ และแบบกระจายและแบบ กระจายเป็นกลุ่ม มีผลึก	เรย์เชิงผสมแบบที่ 2 และ 3	ลิบริฟอร์มไฟเบอร์ ภายในไม่มีผนังคั่น	ท่อยางตามยาว
ถ่านไม้รัง	เมื่อใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เซลล์ทั้งหมดยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ เมื่อใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ส่วนเซลล์ส่วนใหญ่ยังคงสภาพ เช่น ทายโลส ผลึกภายในพาเรนไคมา และท่อยางตามยาว เป็นต้น แต่พาเรนไคมาแบบกระจายและแบบกระจายเป็นกลุ่มเห็นไม่ชัดเจน สามารถเห็นแผ่นเปอโพเรชั่นแบบรูเดี่ยวได้ชัดเจน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การหดตัวของผนังเซลล์ไฟเบอร์และเกิดการแตกตามแนวเรย์เพิ่มมากขึ้น				

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การวิเคราะห์สมบัติทางฟิสิกส์

ชนิดไม้ที่นำมาวิเคราะห์มี 10 ชนิด ได้แก่ กระถิน กระถินณรงค์ กระบก โกงกางใบเล็ก เต็ง มะขาม มะม่วง ยางพารา ยูคาลิปตัส และรัง โดยวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของไม้แต่ละชนิดเปรียบเทียบ 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใกล้ใจไม้ ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้ใจไม้ และการวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะของถ่านไม้ได้ดำเนินการเป็น 3 ตำแหน่งเช่นเดียวกัน โดยแต่ละตำแหน่งใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 12

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้ เมื่อพิจารณาตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า ในไม้กระถิน กระถินณรงค์ และยูคาลิปตัส ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังแสดงในภาพที่ 43a ในไม้มะขามค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ดังแสดงในภาพที่ 43b และ ในไม้กระบก มะม่วง โกงกางใบเล็ก เต็ง ยางพาราและรัง ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีความผันแปรตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนี้ ในไม้กระบกและมะม่วง ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้ใจไม้และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 43c ในไม้โกงกางใบเล็ก ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 43d และในไม้เต็ง ยางพารา และรัง ตำแหน่งถึงกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมา คือ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 43e

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของเนื้อไม้จากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยจากค่ามากที่สุด คือ โกงกางใบเล็กมีค่า 0.840 รองลงมาได้แก่ กระบก เต็ง รัง มะขาม กระถินณรงค์ กระถิน ยางพารา ยูคาลิปตัส และมะม่วง ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.839, 0.759, 0.736, 0.703, 0.690, 0.657, 0.636, 0.595 และ 0.488 ตามลำดับ

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้และถ่าน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า ในไม้ทุกชนิด เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้มีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในไม้กระถิน กระถินณรงค์ มะขาม มะม่วง ยางพารา ยูคาลิปตัสและรัง ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 0 (เนื้อไม้) ถึง 300 องศาเซลเซียส และลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงอุณหภูมิ 300 ถึง 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 44a, 44b, 44c, 44d, 44e, 44f และ 44g

ในไม้กระบก โกงกางใบเล็ก และเต็ง ค่าความถ่วงจำเพาะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงอุณหภูมิ 0 (เนื้อไม้) ถึง 400 องศาเซลเซียส และลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงอุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 44h, 44i และ 44g

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของถ่าน เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย ดังนี้ กระถินมีค่า 0.582, 0.324, 0.316, 0.309 และ 0.298 ตามลำดับ กระถินณรงค์มีค่า 0.598, 0.342, 0.338, 0.327 และ 0.317 ตามลำดับ กระบกมีค่า 0.797, 0.617, 0.504, 0.489 และ 0.484 ตามลำดับ โกงกางใบเล็กมีค่า 0.813, 0.652, 0.478, 0.473 และ 0.466 ตามลำดับ เต็งมีค่า 0.708, 0.615, 0.400, 0.398 และ 0.392 ตามลำดับ มะขามมีค่า 0.696, 0.424, 0.407, 0.392 และ 0.378 ตามลำดับ มะม่วงมีค่า 0.427, 0.299, 0.295, 0.286 และ 0.279 ตามลำดับ ยางพารามีค่า 0.575, 0.397, 0.386, 0.378 และ 0.373 ตามลำดับ ยูคาลิปตัสมีค่า 0.523, 0.354, 0.326, 0.318 และ 0.310 ตามลำดับ และรังมีค่า 0.676, 0.467, 0.402, 0.395 และ 0.389 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 12

2.1 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกไม้ถึงใกล้ใจไม้มีอิทธิพลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไม้และถ่าน เมื่ออุณหภูมิที่ทำการเผากับไม้แบ่งออกเป็น 6 ระดับ คือ 0 (เนื้อไม้) มีการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้และถ่านในไม้ 10 ชนิด เมื่อพิจารณาทั้ง 3 ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกไม้ถึงใกล้ใจไม้ ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1, 5, 8, 12, 16, 20, 23, 26, 30 และ 34 ตามลำดับ เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's new multiple rang test ผลปรากฏว่า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.1 ในไม้กระถินและยางพารา ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.438 และ 0.469 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้เปลือกที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.423 และ 0.461 ตามลำดับ แต่ตำแหน่งใกล้กับเปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้ใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.381 และ 0.442 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2 และ 27 ตามลำดับ

2.1.2 ในไม้กระถินณรงค์และไม้เต็ง ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.477 และ 0.578 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.451 และ 0.564 ตามลำดับ แต่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้ใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.378 และ 0.494 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 6 และ 17 ตามลำดับ

2.1.3 ในไม้กระบก และมะม่วง ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.640 และ 0.358 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.615 และ 0.347 ตามลำดับ และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้ใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.611 และ 0.332 ตามลำดับ แต่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้ใจไม้ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 9 และ 24 ตามลำดับ

2.1.4 ในไม้โกงกางใบเล็ก ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.635 ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.614 และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้ใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.611 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.1.5 ในไม้มะขาม ตำแหน่งใกล้ใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.533 ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.498 และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.470 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 21

2.1.6 ในไม้ยูคาลิปตัส ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.481 ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.391 และตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้ใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.340 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 31

2.1.7 ในไม้รัง ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมากที่สุด คือ 0.538 ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.510 และตำแหน่งใกล้เปลือกไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับตำแหน่งใกล้ ใจไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.485 ดังแสดงในตารางผนวกที่ 35

2.2 อุณหภูมิในการเผามีอิทธิพลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไม้และถ่าน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส คือ เนื้อไม้ ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1, 5, 8, 12, 16, 20, 23, 26, 30 และ 34 ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ผลปรากฏว่า

2.2.1 ในไม้กระถิน กระถินณรงค์ มะม่วง ยางพารา และยูคาลิปตัส เนื้อไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับถ่าน โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับใช้อุณหภูมิในการเผา 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิในการเผา 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3, 7, 25, 28 และ 32

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.2 ในไม้กระบก โกงกางใบเล็ก และเต็ง เนื้อไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับถ่านที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส ซึ่งถ่านที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับถ่านที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ส่วนเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 300 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับใช้อุณหภูมิในการเผา 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 10, 14 และ 18

2.2.3 ในไม้มะขาม เนื้อไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติกับถ่านที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส ซึ่งถ่านที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับถ่านที่ใช้อุณหภูมิในการเผา 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิในการเผา 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงดังตารางผนวกที่ 22

2.2.4 ในไม้รัง เนื้อไม้มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับถ่าน โดยเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับใช้อุณหภูมิในการเผา 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส ส่วนเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 300 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยแตกต่างกันทางสถิติกับใช้อุณหภูมิในการเผา 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิในการเผา 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส จะมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 36

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้และถ่านของไม้กระถิน กระถินณรงค์ กระบก โกงกางใบเล็ก เต็ง มะขาม มะม่วง ยางพารา ยูคาลิปตัส และรัง ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส คือ เนื้อไม้ ทำการศึกษาเนื้อไม้ตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ชนิดไม้	อุณหภูมิ	ความถ่วงจำเพาะที่ตำแหน่งตามแนวรัศมี			ค่าเฉลี่ย
	องศาเซลเซียส	ใกล้เปลือกไม้	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	ใกล้ใจไม้	ทั้ง 3 ตำแหน่ง
กระถิน	0	0.689	0.678	0.602	0.657
	250	0.620	0.614	0.513	0.582
	300	0.307	0.360	0.304	0.324
	400	0.310	0.334	0.302	0.316
	500	0.309	0.323	0.294	0.309
	600	0.305	0.318	0.272	0.298
กระถินณรงค์	0	0.739	0.700	0.632	0.690
	250	0.653	0.623	0.517	0.598
	300	0.378	0.354	0.294	0.342
	400	0.373	0.346	0.293	0.338
	500	0.367	0.344	0.269	0.327
	600	0.354	0.337	0.261	0.317
กระบก	0	0.823	0.867	0.827	0.839
	250	0.801	0.820	0.771	0.797
	300	0.631	0.639	0.581	0.617
	400	0.486	0.515	0.511	0.504
	500	0.476	0.502	0.491	0.489
	600	0.470	0.498	0.483	0.484

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 (ต่อ)

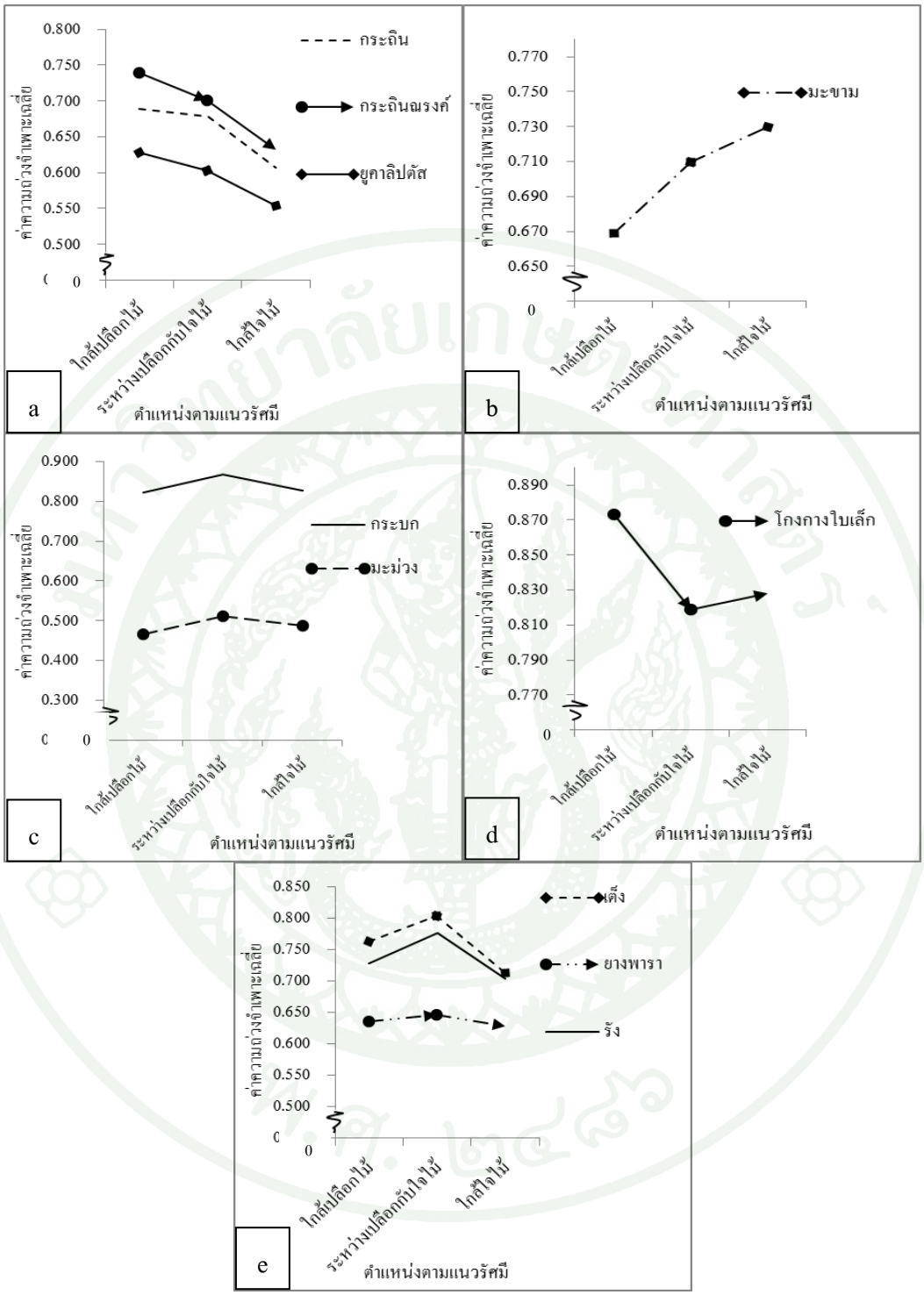
ชนิดไม้	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความถ่วงจำเพาะที่ตำแหน่งตามแนวรัศมี ใกล้เปลือกไม้	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	ใกล้ใจไม้	ค่าเฉลี่ย ทั้ง 3 ตำแหน่ง
โกงกางใบเล็ก	0	0.873	0.819	0.828	0.840
	250	0.826	0.803	0.810	0.813
	300	0.723	0.612	0.620	0.652
	400	0.468	0.492	0.474	0.478
	500	0.462	0.486	0.470	0.473
	600	0.458	0.473	0.467	0.466
เต็ง	0	0.762	0.803	0.713	0.759
	250	0.742	0.759	0.623	0.708
	300	0.615	0.671	0.560	0.615
	400	0.453	0.386	0.362	0.400
	500	0.449	0.385	0.359	0.398
	600	0.448	0.382	0.345	0.392
มะขาม	0	0.669	0.710	0.730	0.703
	250	0.657	0.707	0.725	0.696
	300	0.397	0.412	0.464	0.424
	400	0.373	0.402	0.446	0.407
	500	0.368	0.387	0.421	0.392
	600	0.355	0.368	0.412	0.378
มะม่วง	0	0.465	0.511	0.487	0.488
	250	0.416	0.442	0.424	0.427
	300	0.285	0.308	0.303	0.299
	400	0.282	0.303	0.299	0.295
	500	0.275	0.294	0.289	0.286
	600	0.269	0.288	0.280	0.279

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 12 (ต่อ)

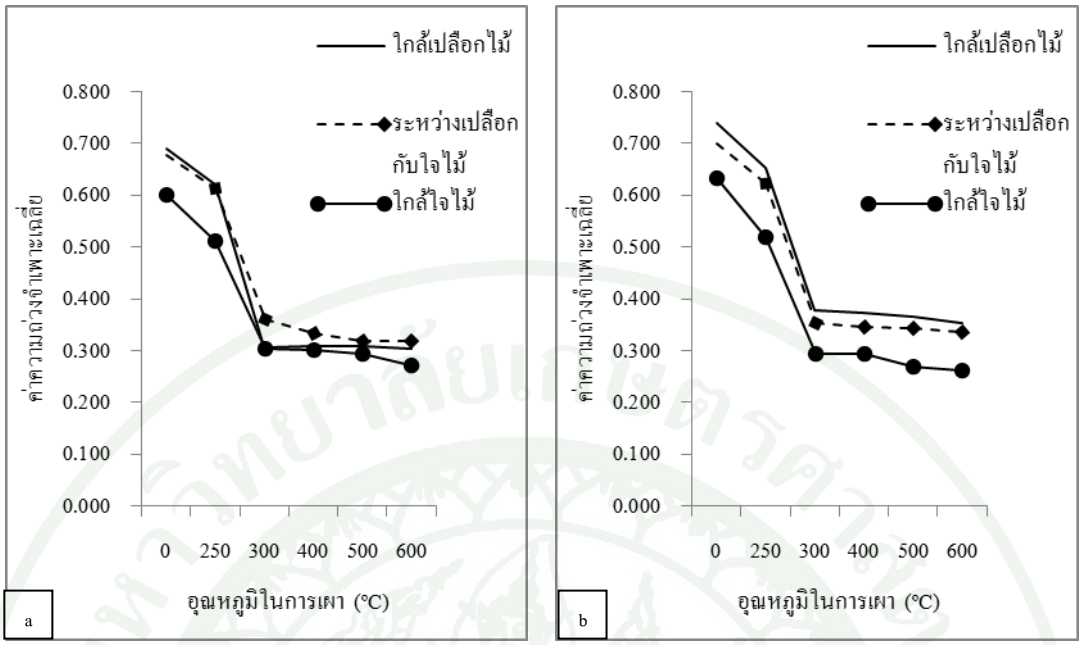
ชนิดไม้	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความถ่วงจำเพาะที่ตำแหน่งตามแนวรัศมี ใกล้เปลือกไม้	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	ใกล้ใจไม้	ค่าเฉลี่ย ทั้ง 3 ตำแหน่ง
ยางพารา	0	0.635	0.646	0.628	0.636
	250	0.585	0.597	0.543	0.575
	300	0.401	0.416	0.373	0.397
	400	0.391	0.395	0.371	0.386
	500	0.380	0.383	0.370	0.378
	600	0.372	0.379	0.368	0.373
ยูคาลิปตัส	0	0.628	0.603	0.554	0.595
	250	0.601	0.545	0.422	0.523
	300	0.447	0.342	0.275	0.354
	400	0.408	0.298	0.271	0.326
	500	0.401	0.292	0.260	0.318
	600	0.399	0.274	0.258	0.310
รัง	0	0.727	0.776	0.703	0.736
	250	0.668	0.713	0.647	0.676
	300	0.433	0.545	0.424	0.467
	400	0.417	0.404	0.386	0.402
	500	0.408	0.401	0.377	0.395
	600	0.403	0.389	0.374	0.389

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



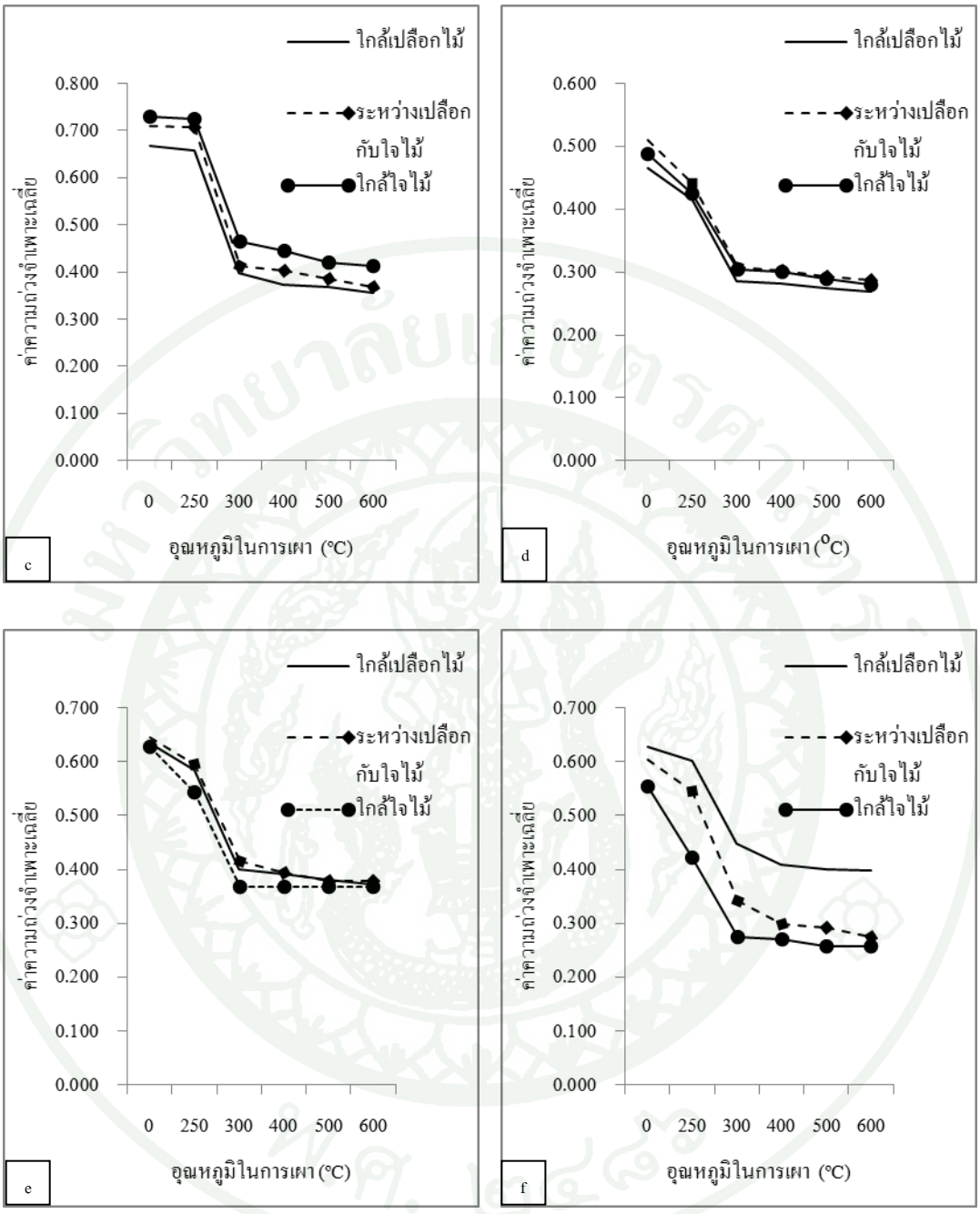
ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้กับตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ของไม้ 10 ชนิด ดังนี้ ภาพ a คือ กระถิน กระถินณรงค์ และยูคาลิปตัส ภาพ b คือ มะขาม ภาพ c คือ กระบก และมะม่วง ภาพ d คือ โกงกางใบเล็ก และภาพ e คือ เต็ง ยางพารา และรัง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



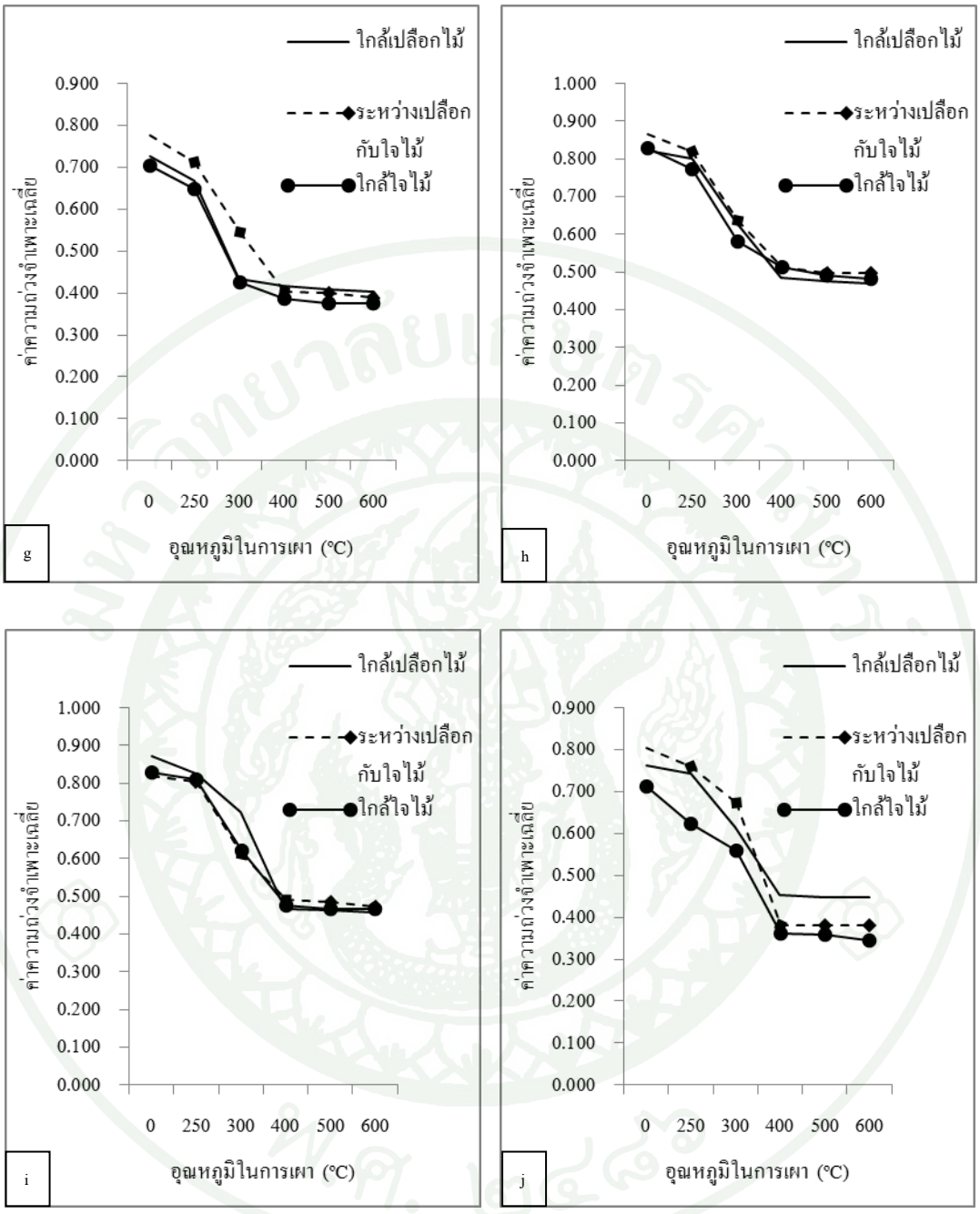
ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้และถ่านกับอุณหภูมิในการเผาของไม้ 10 ชนิด ดังนี้ ภาพ a คือ กระถิน ภาพ b คือ กระถินณรงค์ ภาพ c คือ มะขาม ภาพ d คือ มะม่วง ภาพ e คือ ยางพารา ภาพ f คือ ยูคาลิปตัส ภาพ g คือ รัง ภาพ h คือ กระบก ภาพ i คือ โกงกางใบเล็ก และ ภาพ j คือ เต็ง ซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส คือ เนื้อไม้ ทำการศึกษาตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ทั้ง 3 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งใกล้เปลือกไม้ ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างเปลือกกับใจไม้ และตำแหน่งใกล้ใจไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 44 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 44 (ต่อ)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

1. ลักษณะทางกายวิภาคของไม้ที่ศึกษาทั้ง 10 ชนิด มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ วิรัช และ ดำรงค์ (2516), ส่วนพัฒนาผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ (2547) กล่าวคือ ไม้ที่อยู่ในวงศ์เดียวกันจะมีลักษณะทางกายวิภาคคล้ายกันมาก ได้แก่ ไม้กระถินและกระถินณรงค์ ซึ่งไม้กระถินมีผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ แต่ไม้กระถินณรงค์ไม่มีผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ ไม้เต็งและรัง ซึ่งไม้รังมีพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแบบกระจายเป็นกลุ่ม แต่ไม้เต็งไม่มีพาเรนไคมาแบบกระจายเป็นกลุ่ม ไม้บางชนิดไม่ได้อยู่ในวงศ์เดียวกันแต่มีลักษณะทางกายวิภาคคล้ายกัน ได้แก่ ไม้กระบกและยางพารา ซึ่งมีการเรียงตัวของพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแถบเส้นเล็กๆ คล้ายกัน แต่ไม้ยางพารามีพอร์ขนาดใหญ่กว่าไม้กระบก ไม้มะขามและมะม่วง ซึ่งไม้มะม่วงมีไฟเบอร์ชนิดไฟเบอร์ทราคีด แต่ไม้มะขามมีไฟเบอร์ชนิดลิบริฟอร์มไฟเบอร์และมีการเรียงตัวของพอร์แฝดแบบ tangential multiple และไม้บางชนิดมีลักษณะทางกายวิภาคที่โดดเด่นไม่เหมือนไม้ชนิดอื่น ได้แก่ โกงกางใบเล็กมีการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลและแผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได และไม้ยูคาลิปตัสมีการเรียงตัวของพอร์เป็นแบบพอร์เดียวล้วน ดังนั้นความแตกต่างของลักษณะทางกายวิภาคในไม้แต่ละชนิดเกิดจากหลายปัจจัย เช่น สภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และสรีรวิทยาของต้นไม้ เป็นต้น ซึ่งทำให้สามารถวินิจฉัยชนิดของไม้ได้

2. ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ศึกษาทั้ง 10 ชนิด เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250 องศาเซลเซียส พบว่า ไม้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ลักษณะทางกายวิภาคของไม้ยังคงสภาพคล้ายกับเนื้อไม้ แต่ผนังของเซลล์ไฟเบอร์จะเกิดการหดตัวและมีการปริแตกตามแนวเพียงเล็กน้อย เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของไม้เริ่มมีการสลายตัวบางส่วน เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 400 และ 600 องศาเซลเซียส ลักษณะทางกายวิภาคของไม้ ได้แก่ การเรียงตัวขอพอร์ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซล แผ่นเปอโพเรชั่น ทายโลส ดีพอซิท การเรียงตัวของพาเรนไคมา เรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ ผลึกที่อยู่ในพาเรนไคมาหรือเรย์ยังคงอยู่ไม่ได้สลายไป ยกเว้นพาเรนไคมาบางชนิดเห็นไม่ชัดเจน เมื่อในอุณหภูมิการเผาสูงตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ได้แก่ พาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์แบบแถบเล็กๆในไม้กระบก แบบกระจายในไม้เต็ง ยูคาลิปตัสและรัง แบบกระจายเป็นกลุ่มในไม้รัง และพาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อมในไม้โกงกางใบเล็กและยูคาลิปตัส ซึ่งอาจต้องใช้กำลังขยายสูงมากๆ เพื่อให้เห็นพาเรนไคมาได้ชัดเจนขึ้น แต่ผนังเซลล์ของไฟเบอร์ในไม้ทุกชนิดมีการหดตัว รวมทั้งมีการปริแตกตามแนวเรย์ โดยการปริแตกจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น ไม้โกงกางใบเล็กมีการปริแตกตามแนวเรย์ขนาดใหญ่ เนื่องจากความกว้างของเรย์มีขนาดใหญ่และความสูงของเรย์มีขนาดสูงมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แต่ยังคงทำให้สามารถวินิจฉัยชนิดของถ่านไม้ได้เช่นเดียวกับเนื้อไม้ปกติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ วิชนี และคณะ (2545), McGinnes *et al.* (1971), Blankenhorn *et al.* (1972) , Zicherman and Williamson (1981), Prior and Gasson (1993), Kim and Hana (2006), Leme *et al.* (2010)

3. ค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ที่ศึกษาทั้ง 10 ชนิด มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของกลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ (2548) ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของเนื้อไม้จากส่วนที่ใกล้เปลือกถึงใกล้ใจไม้ ไม้ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยจากค่ามากที่สุด คือโกงกางใบเล็กมีค่า 0.840 รองลงมาได้แก่ กระบก เต็ง รัง มะขาม กระถินณรงค์ กระถิน ยางพารา ยูคาลิปตัส และมะม่วง ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย 0.839 0.759 0.736 0.703 0.690 0.657 0.636 0.595 และ 0.488 ตามลำดับ ซึ่งไม้โกงกางใบเล็กมีความถ่วงจำเพาะสูงสุด เนื่องจากพอร์มีขนาดเล็กที่สุดและผนังเซลล์ของไฟเบอร์หนา ตรงข้ามกับไม้มะม่วงที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำสุด เนื่องจากผนังเซลล์ของไฟเบอร์บางที่สุดและพอร์มีขนาดใหญ่

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้ เมื่อพิจารณาตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ พบว่า ในไม้กระถิน กระถินณรงค์ โกงกางใบเล็ก เต็ง ยางพารา ยูคาลิปตัส และรัง ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Woodcock and Shier (2002), Veenin *et al*. (2005), Kim *et al*. (2009) ในไม้กระบก มะขาม และมะม่วง ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Woodcock and Shier (2002) ค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ตามตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ที่แตกต่างกัน เนื่องจากขนาดและจำนวนของเซลล์ต่างๆ ภายในเนื้อไม้ เช่น ความหนาของผนังเซลล์ไฟเบอร์ ความยาวของไฟเบอร์ จำนวนไฟเบอร์ต่อพื้นที่ และความโตของพอร์ เป็นต้น

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของไม้และถ่าน เมื่อพิจารณาอุณหภูมิในการเผา 250, 300, 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า ในไม้ทุกชนิด เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้มีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 ตำแหน่ง เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของไม้เกิดการสลายตัว เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีอิทธิพลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไม้แต่ละชนิด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Cutter and McGinnes (1980), Fuwape (1996), Kim and Hana (2006), Villegas *et al*. (2007)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. วิธีการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ไม่สามารถใช้เทคนิคการตัดด้วยเครื่องไมโครโตมแบบเลื่อน (sliding microtome) เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างถ่านไม้ด้วยวิธีการหลอมยึดตัวอย่างด้วยสารพาราฟฟิน (paraffin) พบว่า สารสามารถเข้าไปหลอมยึดตัวอย่างได้ แต่เมื่อมีการเอาพาราฟฟินออกจากตัวอย่างด้วย xylene ตัวอย่างไม่สามารถยึดติดบนแผ่นสไลด์ได้ แม้จะมีการทากาวเพื่อยึดติด ส่วนการหลอมยึดด้วยพลาสติกไม่สามารถทำได้ เนื่องจากสารสามารถเข้าไปได้เพียงส่วนของเวสเซลเท่านั้น ทำให้ตัวอย่างที่ตัดได้แตกเป็นผง ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งทำให้สามารถเห็นลักษณะทางกายวิภาคที่ดีเด่นชัดเจน สอดคล้องกับวิธีการของ Blankenhorn *et al.* (1972) , Zicherman and Williamson (1981), Prior and Gasson (1993), Kim and Hana (2006), Leme *et al.* (2010)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ลักษณะทางกายวิภาคของไม้ที่ศึกษาทั้ง 10 ชนิด พบว่า ไม้กระถินมีผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ ซึ่งไม้กระถินณรงค์ที่มีลักษณะทางกายวิภาคคล้ายกันกับไม้กระถินแต่ไม่มีผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ ไม้กระบกมีการเรียงตัวของพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแถบเส้นเล็กๆ ซึ่งคล้ายกับไม้ยางพารา แต่ไม้ยางพารามีพอร์ขนาดใหญ่กว่าไม้กระบก ไม้เต็งและไม้รังมีลักษณะทางกายวิภาคที่คล้ายกัน ซึ่งไม้รังมีพาเรนไคมาแบบไม่ติดพอร์เป็นแบบกระจายเป็นกลุ่ม แต่ไม้เต็งไม่มี ไม้มะม่วงมีไฟเบอร์ชนิดไฟเบอร์ทราคีด ไม้มะขามมีการเรียงตัวของพอร์แฝดมีทั้งแบบ tangential multiple และ radial multiple โกงกางใบเล็กมีการเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซลและแผ่นเปอโพเรชั่นแบบขั้นบันได และไม้ยูคาลิปตัสมีการเรียงตัวของพอร์เป็นแบบพอร์เดียวล้วน ซึ่งไม้แต่ละชนิดมีลักษณะทางกายวิภาคบางอย่างที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถวินิจฉัยชนิดของไม้ทั้ง 10 ชนิดได้

2. ลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ศึกษาทั้ง 10 ชนิด เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผา 250, 400 และ 600 องศาเซลเซียส พบว่า สีของไม้จะเปลี่ยนจากสีเนื้อไม้เป็นสีดำ ลักษณะทางกายวิภาคของไม้ ได้แก่ การเรียงตัวของพอร์ การเรียงตัวของพิทบนผนังเวสเซล แผ่นเปอโพเรชั่น ทายโลสดีพอซิท การเรียงตัวของพาเรนไคมา เรย์เซลล์ตั้งและเรย์เซลล์นอน ผนังคั่นภายในเซลล์ไฟเบอร์ ผลึกที่อยู่ในเรย์หรือพาเรนไคมายังคงอยู่ไม่ได้สลายไป ยกเว้นพาเรนไคมาบางชนิดจะเห็นไม่ชัดเจนเมื่อในอุณหภูมิการเผาสูงตั้งแต่ 400 องศาเซลเซียส ได้แก่ พาเรนไคมาแบบไม่ติดเป็นแบบแถบ แบบกระจาย แบบกระจายเป็นกลุ่ม และพาเรนไคมาแบบติดพอร์เป็นหย่อม เมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้น จะทำให้ผนังเซลล์ของไฟเบอร์มีการหดตัวมากขึ้นและเกิดการปริแตกมากขึ้นด้วย แต่ยังคงทำให้สามารถวินิจฉัยชนิดของถ่านไม้ได้เช่นเดียวกับเนื้อไม้

3. ค่าความถ่วงจำเพาะของไม้ที่ศึกษาทั้ง 10 ชนิด พบว่า ในไม้กระถิน กระถินณรงค์ โกงกางใบเล็ก เต็ง ยางพารา ยูคาลิปตัส และรัง ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ ในไม้กระบก มะขาม และมะม่วง ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้ และในไม้ทุกชนิดเมื่อใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้มีแนวโน้มลดลงทั้ง 3 ตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งตามแนวรัศมีจากเปลือกถึงใจไม้และอุณหภูมิที่ใช้ใน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเผามีอิทธิพลต่อค่าความถ่วงจำเพาะของไม้แต่ละชนิด ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เมื่อไม้กลายสภาพเป็นถ่านค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลงเนื่องจากมีการสลายตัวขององค์ประกอบทางเคมีของไม้

4. วิธีการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ไม่สามารถใช้เทคนิคการตัดด้วยไมโครโตมแบบเลื่อน (sliding microtome) จำเป็นต้องใช้วิธีการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งสามารถเห็นลักษณะทางกายวิภาคที่ดีเด่นชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีค่าใช้จ่ายสูงในการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ การพัฒนาเทคนิคการหลอมยึดถ่านและตัดด้วยเครื่อง sliding microtome และการพัฒนาเทคนิคทางกล้อง microscope แบบส่องผิวให้มีกำลังสูง เช่น ใช้ epimicroscope หรือวิธีอื่นเพื่อให้สามารถช่วยในการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ได้

2. ควรมีการศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของถ่านไม้ที่ทำการเผาในอุณหภูมิที่สูงกว่า 600 องศาเซลเซียส เนื่องจากหากใช้อุณหภูมิสูงลักษณะทางกายวิภาคบางอย่างจะคงสภาพอยู่หรือไม่ เช่น ดีพอซิท ผลึก และทายโลส เป็นต้น รวมทั้งศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของไม้และถ่านที่มีลักษณะคล้ายกันมากๆ มาศึกษาเพิ่มเติม

3. ควรมีการศึกษาถ่านไม้ที่ฝังดินเป็นเวลานาน ซึ่งมีการผุสลายตามธรรมชาติ อันจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาทางโบราณคดี สามารถวินิจฉัยชนิดไม้ในอดีตที่เป็นถ่าน รวมทั้งสามารถเบ่งบอกถึงป่าไม้หรือสังคมพืชที่เกิดขึ้นในช่วงเวลานั้น

4. การวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านไม้ทำได้ยาก ดังนั้นจึงควรศึกษาหาวิธีการใหม่ๆ ที่ทำได้ง่ายขึ้น เช่น ศึกษาถึงอุณหภูมิหรือแรงดันที่เหมาะสมในการทำให้ถ่านจม เพื่อให้ช่วยลดระยะเวลาในการศึกษาหาค่าความถ่วงจำเพาะ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมป่าไม้. 2555. **ข้อมูลสารสนเทศกรมป่าไม้**. กรมป่าไม้ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. แหล่งที่มา: http://forestinfo.forest.go.th/55/Default.aspx, 16 มีนาคม 2557.

กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 2548. **ไม้เนื้อแข็งของประเทศไทย**. บริษัท สุขุมวิทมีเดีย มาร์เก็ตติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

จำลอง เพ็งคล้าย และ ชวลิต นิยมธรรม. 2542. พรรณไม้วงศ์ยางของไทย, น. 5-208. *ใน* **ไม้ยางนาและไม้ในวงศ์ไม้ยาง เล่ม 3: นานาสาระเกี่ยวกับไม้วงศ์ยาง**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ชัชวาล พรทัศน์. 2529. ถ่านไม้, น. 89-120. *ใน* **รายงานการศึกษาวิชาวนวัฒน์ 592 เรื่อง พลังงานจากไม้ 2529**. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ธีระ วีณิน และ ทรงกลด จารุสมบัติ. 2548. **ไม้ โครงสร้าง คุณสมบัติ**. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, ปทุมธานี.

ปรีชา เกียรติกระจาย. 2529. **เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานจากไม้**. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พยงค์ ฉัตรวิรุฬห์. 2550. **กฎหมายว่าด้วยการป่าไม้**. สำนักพิมพ์นิติบรรณการ, กรุงเทพ ฯ.

พุฒินันท์ พึ่งวงศ์ญาติ. 2546. **ถ่านไม้และน้ำส้มควันไม้**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

พีรศักดิ์ วรสุนทโรสก, สุนทร ดุริยะประพันธ์, ทักษิณ อาชวาคม, สายันต์ ตันพานิช, ชลธิชา นิวาสประกฤติ และ ปรียานันท์ ศรสูงเนิน. 2544. **ไม้ผลและไม้ผลเคี้ยวมัน**. ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงพิมพ์ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ.

ราชบัณฑิตยสถาน. 2538. **อนุกรมวิธานพืช อักษร ก**. บริษัท เพื่อนพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิชนี บุญญะปฏิภาคม, เกรียงศักดิ์ เสพย์ธรรม และ วิเชียร ปิยาจารประเสริฐ. 2545. ลักษณะโครงสร้างด้านหน้าตัดของไม้ใบกว้างบางชนิดเมื่อแปรสภาพเป็นถ่าน, น. 478-492. *ใน* **รายงานการประชุมวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2545**. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.

วินัย ปัญญาธัญญะ. 2541. **เทคโนโลยีการผลิตถ่านสำหรับชนบท**. กลุ่มพัฒนาพลังงานจากไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

วิรัช ชื่นวาริน. 2533. **สมบัติทางฟิสิกส์ของเนื้อไม้**. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วิรัช ชื่นวาริน และ ดำรงค์ ศรีอรัญ. 2516. **รายงานวนศาสตร์วิจัย เล่ม 25.** 254.

วิรัช ชื่นวาริน และ ดำรงค์ ศรีอรัญ. 2517. **รายงานวนศาสตร์วิจัย เล่ม 29**. 179.

สมคิด สิริพัฒนดิลก. 2526. **เทคนิคการเตรียมตัวอย่างพืชเพื่อศึกษาในกล้องจุลทรรศน์**. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้. 2553. **กระถินณรงค์**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ส่วนปลูกป่าภาคเอกชน สำนักส่งเสริมการปลูกป่า กรมป่าไม้. 2553. **ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซิส**. กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.

ส่วนพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้. 2547. **คุณลักษณะของไม้ไทย**. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

สำนักงานหอพรรณไม้ สำนักวิจัยการอนุรักษ์ป่าไม้และพันธุ์พืช กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2551. **พรรณไม้สวนรุกขชาติมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี**. โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2549. **วิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

องค์การสวนยาง. 2556. **มุมวิชาการ**. องค์การสวนยาง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. http://www.reothai.co.th/content, 12 กุมภาพันธ์ 2557.

Blankenhorn, P.R., G.M. Jenkins and D.E. Kline. 1972. Dynamic mechanical properties and microstructure of some carbonized hardwoods. **Wood and Fiber**. 4: 212-224.

Cutter, B.E. and E.A. McGinnes. 1980. A note on density change pattrens in charred wood. **Wood and Fiber**. 13: 39-44.

Fuwape, J.A. 1996. Effects of carbonization temperature on charcoal from some tropical trees. **Bioresource Technology**. 57: 91-94

Kim, N.H. and R.B. Hanna. 2006. Morphological characteristic of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. **Wood science and Technology**. 40: 392-401.

Kim, N.T., J. Matsumura, K. Oda and N.V. Cuong. 2009. Possibility of improvement in fundamental properties of wood of acacia hybrids by artificial hybridization. **Journal of Wood Science**. 55: 8-12.

Leme, C.L.D., C. Cartwright and P. Gasson. 2010. Anatomycal changes to the wood of *Mimosa ophthalmocentra* and *Mimosa tenuiflora* when charred at different temperatures. **IAWA Journal**. 31 (3): 333-351

McGinnes, E.A., S.A. Kandeel and P.S. Szopa. 1971. Some structural changes observed in the transformation of wood into charcoal. **Wood and Fiber**. 3: 77-83.

Prior, J. and P. Gasson. 1993. Anatomical charring six African hardwoos**. IAWA Juurnal**. 14 (1): 77-86.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sjöström, E. 1993. **Wood chemistry fundamentals and applications**. Academic Press, Inc., California.

Veenin, T. 2006. **Characterization of wood formation and cell wall organization in elite lines of *Eucalyptus camaldulensis***. Ph.D. Thesis, Kyoto University. *Cited* C.H. Hiller. 1964. **Correlation of fibril angle with wall thickness of tracheids in summerwood of slash and loblolly pine**. Tappi 42: 125-128.

Veenin, T., M. Fujita, T. Nobuchi and S. Siripatanadilok. 2005. Radial variations of anatomical characteristics and specific gravity in *Eucalyptus camaldulensis* clones. **IAWA Journal**. 26: 353-361.

Villegas, J.P., J.M. M.Rodríguez, J.F. P.Valle and M.G. García. 2007. Changes in commercial wood charcoals by thermal treatment. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 80: 507-514.

Woodcock, D.W. and A.D. Shier. 2002. Wood specific gravity and its radial variations the many ways to mark tree. **Trees**. 16: 437-443.

Zicherman, J.B. and R.B. Williamson. 1981. Microstructure of wood char Part 1: Whole wood. **Wood science and technology**. 15: 237-249.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 1 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้กระถิน

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	1.212		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.031	0.0155	51.667**
อุณหภูมิ (B)	5	1.164	0.2328	776.000**
AB	10	0.017	0.0017	5.667**
Error	36	0.010	0.0003	
Total	53	1.222		

หมายเหตุ ** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้กระถิน

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.438 a
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.423 a
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.381 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 3 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระถิน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.656 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.582 b
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.324 c
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.316 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.309 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.298 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 4 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระถิน

ลำดับ	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
1	ใกล้เปลือกไม้	0	0.689 a
2	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0	0.678 a
3	ใกล้เปลือกไม้	250	0.620 a
4	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	250	0.614 a
5	ใกล้ใจไม้	0	0.602 a
6	ใกล้ใจไม้	250	0.513 a b
7	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	300	0.360 b c
8	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	400	0.334 c
9	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	500	0.323 c
10	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	600	0.318 c
11	ใกล้เปลือกไม้	400	0.310 c
12	ใกล้เปลือกไม้	500	0.309 c
13	ใกล้เปลือกไม้	300	0.307 c
14	ใกล้เปลือกไม้	600	0.305 c
15	ใกล้ใจไม้	300	0.304 c
16	ใกล้ใจไม้	400	0.302 c
17	ใกล้ใจไม้	500	0.294 c
18	ใกล้ใจไม้	600	0.272 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 5 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้กระถินณรงค์

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	1.317		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.095	0.0475	95.000**
อุณหภูมิ (B)	5	1.218	0.2436	487.200**
AB	10	0.004	0.0004	0.800^{ns}
Error	36	0.017	0.0005	
Total	53	1.334		

หมายเหตุ ^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 6 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้กระถินณรงค์

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.477 a
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.451 a
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.378 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 7 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระถินณรงค์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.690 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.598 b
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.342 c
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.338 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.327 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.317 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 8 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้กระบก

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	1.173		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.009	0.0045	15.000**
อุณหภูมิ (B)	5	1.157	0.2314	771.333**
AB	10	0.007	0.0007	2.333*
Error	36	0.010	0.0003	
Total	53	1.183		

หมายเหตุ * ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)
** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 9 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้กระบก

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.640 a
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.615 a b
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.611 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 10 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระบก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.839 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.797 a
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.617 b
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.504 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.489 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.484 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 11 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้กระบก

ลำดับ	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
1	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0	0.867 a
2	ใกล้ใจไม้	0	0.827 a
3	ใกล้เปลือกไม้	0	0.823 a
4	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	250	0.820 a
5	ใกล้เปลือกไม้	250	0.801 a
6	ใกล้ใจไม้	250	0.771 a
7	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	300	0.639 b
8	ใกล้เปลือกไม้	300	0.631 b c
9	ใกล้ใจไม้	300	0.581 b c d
10	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	400	0.515 b c d
11	ใกล้ใจไม้	400	0.511 b c d
12	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	500	0.502 c
13	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	600	0.498 c d
14	ใกล้ใจไม้	500	0.491 d
15	ใกล้เปลือกไม้	400	0.486 d
16	ใกล้ใจไม้	600	0.483 d
17	ใกล้เปลือกไม้	500	0.476 d
18	ใกล้เปลือกไม้	600	0.470 d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 12 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้โกงกางใบเล็ก

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	1.401		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.006	0.0030	30.000**
อุณหภูมิ (B)	5	1.369	0.2738	2,738.000**
AB	10	0.026	0.0026	26.000**
Error	36	0.005	0.0001	
Total	53	1.406		

หมายเหตุ ** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 13 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในโกงกางใบเล็ก

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.635 a
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.614 b
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.611 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 14 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้โกงกงใบเล็ก

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.840 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.813 a
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.652 b
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.478 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.473 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.466 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 15 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้โกงกางใบเล็ก

ลำดับ	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
1	ใกล้เปลือกไม้	0	0.873 a
2	ใกล้ใจไม้	0	0.828 a b
3	ใกล้เปลือกไม้	250	0.826 a b
4	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0	0.819 a b
5	ใกล้ใจไม้	250	0.810 a b
6	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	250	0.803 a b
7	ใกล้เปลือกไม้	300	0.723 b
8	ใกล้ใจไม้	300	0.620 c
9	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	300	0.612 c
10	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	400	0.492 d
11	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	500	0.486 d
12	ใกล้ใจไม้	400	0.474 d
13	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	600	0.473 d
14	ใกล้ใจไม้	500	0.470 d
15	ใกล้เปลือกไม้	400	0.468 d
16	ใกล้ใจไม้	600	0.467 d
17	ใกล้เปลือกไม้	500	0.462 d
18	ใกล้เปลือกไม้	600	0.458 d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 16 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้เต็ง

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	1.399		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.074	0.0370	123.333**
อุณหภูมิ (B)	5	1.292	0.2584	861.333**
AB	10	0.033	0.0033	11.000**
Error	36	0.010	0.0003	
Total	53	1.409		

หมายเหตุ ** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 17 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้เต็ง

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.578 a
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.564 a
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.494 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 18 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้เต็ง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.759 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.708 a
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.615 b
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.400 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.398 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.392 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 19 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้เต็ง

ลำดับ	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
1	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0	0.803 a
2	ใกล้เปลือกไม้	0	0.762 a b
3	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	250	0.759 a b
4	ใกล้เปลือกไม้	250	0.742 a b
5	ใกล้ใจไม้	0	0.713 a b c
6	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	300	0.671 a b c
7	ใกล้ใจไม้	250	0.623 a b c d
8	ใกล้เปลือกไม้	300	0.615 b c d
9	ใกล้ใจไม้	300	0.560 c d e
10	ใกล้เปลือกไม้	400	0.453 d e f
11	ใกล้เปลือกไม้	500	0.449 d e f
12	ใกล้เปลือกไม้	600	0.448 d e f
13	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	400	0.386 e f
14	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	500	0.385 e f
15	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	600	0.382 e f
16	ใกล้ใจไม้	400	0.362 f
17	ใกล้ใจไม้	500	0.359 f
18	ใกล้ใจไม้	600	0.345 f

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 20 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้มะขาม

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	1.124		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.036	0.0180	60.000**
อุณหภูมิ (B)	5	1.086	0.2172	724.000**
AB	10	0.002	0.0002	0.667^{ns}
Error	36	0.009	0.0003	
Total	53	1.133		

หมายเหตุ ^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 21 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้มะขาม

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.533 a
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.498 b
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.470 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 22 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้มะขาม

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.703 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.696 a
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.424 b
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.407 b
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.392 b
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.378 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 23 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้มะม่วง

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	0.363		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.006	0.0030	30.000**
อุณหภูมิ (B)	5	0.356	0.0712	712.000**
AB	10	0.001	0.0001	1.000^{ns}
Error	36	0.005	0.0001	
Total	53	1.368		

หมายเหตุ ^{ns} ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 24 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้มะม่วง

ตำแหน่งในเนื้อไม้	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.358 a
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.347 a b
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.332 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 25 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้มะม่วง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.488 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.427 b
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.299 c
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.295 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.286 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.279 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 26 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้ยางพารา

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	0.623		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.007	0.0035	35.000**
อุณหภูมิ (B)	5	0.613	0.1226	1,226.000**
AB	10	0.003	0.0003	3.000**
Error	36	0.005	0.0001	
Total	53	0.628		

หมายเหตุ ** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 27 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้ยางพารา

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.469 a
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.461 a
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.442 b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 28 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยางพารา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.636 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.575 b
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.397 c
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.386 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.378 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.373 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 29 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยางพารา

ลำดับ	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
1	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0	0.646 a
2	ใกล้เปลือกไม้	0	0.635 a
3	ใกล้ใจไม้	0	0.628 a
4	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	250	0.597 a b
5	ใกล้เปลือกไม้	250	0.585 a b
6	ใกล้ใจไม้	250	0.543 b
7	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	300	0.416 c
8	ใกล้เปลือกไม้	300	0.401 c
9	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	400	0.395 c
10	ใกล้เปลือกไม้	400	0.391 c
11	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	500	0.383 c
12	ใกล้เปลือกไม้	500	0.380 c
13	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	600	0.379 c
14	ใกล้ใจไม้	300	0.373 c
15	ใกล้เปลือกไม้	600	0.372 c
16	ใกล้ใจไม้	400	0.371 c
17	ใกล้ใจไม้	500	0.370 c
18	ใกล้ใจไม้	600	0.368 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 30 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้ยูคาลิปตัส

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	0.886		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.183	0.0915	915.000**
อุณหภูมิ (B)	5	0.681	0.1362	1,362.000**
AB	10	0.022	0.0022	22.000**
Error	36	0.005	0.0001	
Total	53	0.891		

หมายเหตุ ** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 31 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้ยูคาลิปตัส

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.481 a
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.391 b
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.340 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 32 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยูคาลิปตัส

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.595 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.523 b
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.354 c
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.326 c
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.318 c
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.310 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 33 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้ยูคาลิปตัส

ลำดับ	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
1	ใกล้เปลือกไม้	0	0.628 a
2	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0	0.603 a
3	ใกล้เปลือกไม้	250	0.601 a
4	ใกล้ใจไม้	0	0.554 a
5	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	250	0.545 a
6	ใกล้เปลือกไม้	300	0.447 b
7	ใกล้ใจไม้	250	0.422 b
8	ใกล้เปลือกไม้	400	0.408 b
9	ใกล้เปลือกไม้	500	0.401 b
10	ใกล้เปลือกไม้	600	0.399 b
11	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	300	0.342 b c
12	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	400	0.298 c
13	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	500	0.292 c
14	ใกล้ใจไม้	300	0.275 c
15	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	600	0.274 c
16	ใกล้ใจไม้	400	0.271 c
17	ใกล้ใจไม้	500	0.260 c
18	ใกล้ใจไม้	600	0.258 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 34 วิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลค่าความถ่วงจำเพาะของไม้กับถ่านในไม้รัง

Source	df	SS	MS	F
Treatment	17	1.126		
ตำแหน่งตามแนวรัศมี (A)	2	0.025	0.0125	62.500**
อุณหภูมิ (B)	5	1.080	0.2160	1,080.000**
AB	10	0.021	0.0021	10.500**
Error	36	0.006	0.0002	
Total	53	1.132		

หมายเหตุ ** ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตารางผนวกที่ 35 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมีในไม้รัง

ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.538 a
ใกล้เปลือกไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.510 b
ใกล้ใจไม้	0, 250, 300, 400, 500, 600	0.485 c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ
อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 36 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้รัง

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
0	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.736 a
250	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.676 b
300	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.467 c
400	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.402 d
500	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.395 d
600	ใกล้เปลือกไม้, ระหว่างเปลือกกับใจไม้, ใกล้ใจไม้	0.389 d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ 37 การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple rang test ของค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยกับตำแหน่งตามแนวรัศมี และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาในไม้รัง

ลำดับ	ตำแหน่งตามแนวรัศมี	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย
1	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	0	0.776 a
2	ใกล้เปลือกไม้	0	0.727 a
3	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	250	0.713 a
4	ใกล้ใจไม้	0	0.703 a
5	ใกล้เปลือกไม้	250	0.668 a b
6	ใกล้ใจไม้	250	0.647 a b
7	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	300	0.545 b c
8	ใกล้เปลือกไม้	300	0.433 c d
9	ใกล้ใจไม้	300	0.424 c d
10	ใกล้เปลือกไม้	400	0.417 c d
11	ใกล้เปลือกไม้	500	0.408 c d
12	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	400	0.404 c d
13	ใกล้เปลือกไม้	600	0.403 c d
14	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	500	0.401 c d
15	ระหว่างเปลือกกับใจไม้	600	0.389 d
16	ใกล้ใจไม้	400	0.386 d
17	ใกล้ใจไม้	500	0.377 d
18	ใกล้ใจไม้	600	0.374 d

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง การเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส หมายถึง เนื้อไม้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวศิริลักษณ์ สุขเจริญ
เกิดวันที่	4 กรกฎาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอศรีธาตุ จังหวัดอุดรธานี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์