



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

ปริญญา

วนผลิตภัณฑ์

วนผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง แผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา

Particleboard from Agarwood (*Aquilaria* spp.) Residual

นามผู้วิจัย นางสาวอิสริย์ ฮาปินใจ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัดน์, Dr.rer.nat.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิคม แผลมศักดิ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ทรงกลด จารุสมบัติ, M.S.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

แผ่นจีนไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา

Particleboard from Agarwood (*Aquilaria* spp.) Residual

โดย

นางสาวอิสริย์ ฮาวป็นใจ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วนศาสตร์)

พ.ศ. 2552

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อิสริย์ ฮาวปิงใจ 2552: แผ่นจีนไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
(วนศาสตร์) สาขาวนผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรวัดน์, Dr.rer.nat. 68 หน้า

จากการศึกษาการผลิตแผ่นจีนไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาทั้งจากไม้ที่ไม่เกิดสารกฤษณาและเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย โดยผลิตแผ่นจีนไม้อัดที่ความหนาแน่น 0.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และใช้ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนักอบแห้งของจีนไม้ ปริมาณกาวในชั้นไม้ ร้อยละ 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักอบแห้งของจีนไม้ ที่อุณหภูมิ 140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ด้วยความดันจำเพาะ 41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ทำการทดสอบค่าคุณสมบัติทางกายภาพและกลสมบัติตามมาตรฐาน EN (European Standard)

จากการทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกร้าว พบว่า แผ่นจีนไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา ค่ามอดูลัสแตกร้าวไม่ผ่านมาตรฐาน EN ส่วนแผ่นจีนไม้อัดที่ได้จากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิว ร้อยละ 12 ชั้นไม้ ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ให้ค่ามอดูลัสแตกร้าวผ่านมาตรฐาน EN

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นพบว่า แผ่นจีนไม้อัดที่ได้จากการอัดเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา ที่ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 10 ชั้นไม้ ร้อยละ 8 ที่อุณหภูมิ 140 150 และ 180 องศาเซลเซียส และแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 12 ชั้นไม้ ร้อยละ 10 อัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่ผ่านมาตรฐาน ส่วนในแผ่นจีนไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ปริมาณกาว ชั้นผิว ร้อยละ 12 ชั้นไม้ ร้อยละ 10 อัดที่อุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่ผ่านมาตรฐาน EN

สำหรับแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า ในแผ่นจีนไม้อัดทั้งที่ผลิตจากเศษเหลือที่ไม่เกิดสารกฤษณาและผลิตจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ผ่านค่ามาตรฐาน EN ในทุกสภาวะ

การหาค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นจีนไม้อัด ส่วนใหญ่มีค่าผ่านมาตรฐาน

การทดสอบปริมาณฟอร์มัลดีไฮด์ พบว่า แผ่นจีนไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาที่ผลิตจากเศษเหลือส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา มีค่าอยู่ในชั้นคุณภาพ E1

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Itsaree Howpinjai 2009: Particleboard from Agarwood (*Aquilaria* spp.) Residual. Master of Science (Forestry), Major Field: Forest Products, Department of Forest Product. Thesis Advisor: Assistant Professor Wiwat Hanvongjirawat, Dr.rer.nat. 68 pages.

Particleboard productions from non-induced and distilled agarwood residual were studied. Particleboard were produced at density 0.65 g/cm^3 , used resin in surface layer 8, 10 and 12% and core layer 6, 8 and 10% by oven dry weight. Particleboard were pressed at temperature 140, 150, 160 and 180°C with specific pressure 41 kg/cm^2 . Finished particleboard were tested physical and mechanical properties according to EN (European Standard)

Modulus of rupture value of non- induced agarwood residual particleboard did not passed EN standard. Modulus of rupture value of distilled agarwood residual particleboard at condition 12% of resin on surface and 10% of resin in core layer at temperature 140°C passed the EN standard.

The modulus of elasticity value of non-induced agarwood residual particleboard at condition 10% resin in surface layer and 8% resin in core layer were pressed at temperature 140, 150 and 180°C and condition 12% resin in surface layer and 10% resin in core layer were pressed at temperature 150°C , that passed the EN standard. Distilled agarwood residual particleboard that used resin 12% in surface layer and 10% in core layer at temperature 140 and 150°C shown that the values of modulus of elasticity passed the EN standard.

Internal bonding values of both non-induced and distilled agarwood residual particleboard of all conditions passed the standard from EN.

Thickness swelling value of particleboards almost passed standard.

Formaldehyde content of non-induced and distilled agarwood particleboard were in the class E1 of standard.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ หาญวงศ์จิรววัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิคม แหลมศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้คำปรึกษาในเรื่องการเรียน การค้นคว้าวิจัย และการทำวิทยานิพนธ์

พร้อมกันนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สถานีวิทยุวนเกษตรตราด บริษัทไทยเคมีภัณฑ์ จำกัด และ P.S.WAX TECH COMPANY LIMITED ที่เอื้อเฟื้อวัสดุอุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ พ่อ แม่ เพื่อนๆ รวมทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้องทุกท่าน ที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาตลอดการทำงานวิจัยในครั้งนี้

อิสริย์ ฮาวปิ่นใจ

27 ตุลาคม 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	13
อุปกรณ์	13
วิธีการ	14
ผลและวิจารณ์	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	37
สรุป	37
ข้อเสนอแนะ	42
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	44
ภาคผนวก	49
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบทางเคมี (chemical characteristics) ของไม้กฤษณา	6
2 สารแทรก (extractives) ในเนื้อไม้กฤษณา	7
3 คุณสมบัติของแผ่นใยไม้อัด (fiberboard) จากไม้กฤษณา	7
4 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (shrinkage) ของไม้กฤษณา	8
5 ความคงทนต่อการเข้าทำลายเนื้อไม้กฤษณาจากเชื้อราผู้สีน้ำตาลและราผู้สีขาวของส่วนที่เกิดสารกฤษณา (heart wood) และกระพี้ (sap wood)	8
6 ความแข็งแรงในการยึดติดกาว	9
7 คุณสมบัติของไม้บาง (veneer) และความแข็งแรงของแผ่นไม้อัด (plywood) ในการยึดติดกาวชนิดต่างๆ ของไม้กฤษณา	9
8 ค่ามอดุลัสแตกร้าว	29
9 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น	30
10 ค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า	32
11 การพองตัวตามความหนา	33
12 การดูดซึมน้ำ	35
ตารางผนวกที่	
1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิจากเศษเหลือจากไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา	50
2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	50
3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา	51

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา	51
5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	52
6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	52
7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา	53
8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	53
9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	54
10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา	54
11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	55
12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย	56
14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย จากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	56
15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย	57
16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย จากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	57
17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย จากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	58
18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย	58
19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย จากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	59
20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	60
22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย	60
23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	61
24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10	61
25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10	62
26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	62
27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าแรงดึงตึงฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	64
29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 12	64
30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	65
31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	65
32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 12	66
33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นซีเมนต์อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01	67
35 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแผ่นซีเมนต์อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในชั้นผิวร้อยละ 10 และร้อยละ 12 ของน้ำหนักอบแห้ง ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ร้อยละ 2 และ 5 ของน้ำหนักอบแห้งของกาว อุณหภูมิ 140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส	67

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 เครื่องผสมกาวมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที	16
2 ขั้นตอนการผลิตแผ่นซีเมนต์ไม้อัด	17
3 การตัดชิ้นทดสอบเพื่อทำการทดสอบค่าต่างๆ (หน่วย: เซนติเมตร)	18
4 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ	19
5 ชิ้นทดสอบการดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนา	22
6 การทดสอบแรงต้านแรงคัด และมอดุลัสยืดหยุ่น (หน่วย: มิลลิเมตร)	23
7 เครื่องทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว และมอดุลัสยืดหยุ่น	24
8 การทดสอบหาค่าแรงค้ำตั้งฉาก	25
9 ชุดทดสอบฟอร์มัลดีไฮด์	27
10 การเปรียบเทียบค่ามอดุลัสแตกร้าวของแผ่นซีเมนต์ไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา ส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN	37
11 การเปรียบเทียบค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นซีเมนต์ไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา ส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN	38
12 การเปรียบเทียบค่าแรงค้ำตั้งฉากผิวหน้าของแผ่นซีเมนต์ไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา ส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN	39
13 การเปรียบเทียบค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นซีเมนต์ไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา ส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN	40
14 การเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นซีเมนต์ไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา ส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN	41

แผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา

Particleboard from Agarwood (*Aquilaria* spp.) Residual

คำนำ

สืบเนื่องจากการขยายตัวของประชากรโลก ทำให้ความต้องการการใช้ไม้เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่อย่างจำกัดลดปริมาณลงอย่างมาก เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรป่าไม้ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงได้มีการคิดค้นแผ่นไม้ประกอบขึ้น เช่น การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด (particleboard) แผ่นชิ้นไม้อัดหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ทำจากชิ้นไม้ หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (lignocellulosic material) อัดด้วยเครื่องอัดร้อนในทิศทางตั้งฉากกับระนาบของแผ่น (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ 876, 2547) สามารถทำให้มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบชั้นเดียว หลายชั้น หรือเป็นโครงสร้างแบบลดหลั่น ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถึง 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร กาวที่นิยมใช้คือกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (urea formaldehyde) เนื่องจากเมื่อแห้งแล้วจะใส ไม่มีสี แข็งตัวได้เร็ว และราคาถูก (วรธรรม, 2541) นอกจากนี้ยังมีการใส่สารปรับปรุงคุณภาพอื่น เช่น พาราฟินแวกซ์ (paraffin-wax) สารเร่งแข็ง (hardeners) เป็นต้น ปัจจุบันมีการใช้แผ่นชิ้นไม้อัดอย่างแพร่หลายเพื่อทดแทนไม้แปรรูป เพื่อมาผลิตเครื่องเรือนที่ใช้กันโดยทั่วไป ไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบจะเป็นไม้ขนาดเล็กหรือเศษเหลือจากการแปรรูปไม้ จำพวกไม้อย่างพาราและไม้อยูคาลิปตัส นอกจากนี้ยังมีการคิดค้นและพัฒนาเพื่อหาไม้ชนิดอื่นที่สามารถนำมาทำเป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด

ปัจจุบันเกษตรกรได้หันมาสนใจการปลูกกฤษณากันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเกษตรกรมุ่งหวังในการขายชิ้นไม้กฤษณาหรือน้ำมันหอมระเหยของไม้กฤษณา แต่อย่างไรก็ตามชิ้นไม้กฤษณาที่ขายได้ราคาแพงหรือสามารถนำไปกลั่นเอาน้ำมันหอมระเหยได้นั้น จะต้องเป็นไม้กฤษณาที่ผ่านกระบวนการในการทำให้เกิดสารกฤษณาเสียก่อน โดยกรรมวิธีต่างๆ เช่น การตากลำต้นให้เกิดบาดแผล การเจาะลำต้น เพื่อให้เชื้อราเข้าทำลายเนื้อไม้ในส่วนที่เกิดบาดแผลนั้น ซึ่งจะทำให้เกิดสารพวก Sesquiterpene alcohol มีหลายชนิด คือ Dihydroagarofuran, β Agarofuran, \square -Agarofuran, Agarospirol และ Agarol (มีชัย, 2532) โดยเนื้อไม้ที่มีสารกฤษณานั้นจะเป็นแถบหรือจุดสีน้ำตาล และถ้าหากมีสารกฤษณาสะสมอยู่มากจะมีสีดำ หนักและจมน้ำ ส่วนเนื้อไม้ที่ไม่เกิดสารกฤษณานั้นจะมีสีขาวนวล เลียนตรง น้ำหนักเบา เนื้อหยาบปานกลาง เลื่อยผ่าได้ง่าย ชัดซึกเงาไม่ดี จึงไม่นิยมนำมาใช้ประโยชน์ อีกทั้งยังมีกากเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยอีกเป็นจำนวนมาก จึงต้องควรมีการนำเศษเหลือที่เกิดขึ้นนี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด (particleboard) จากเศษเหลือไม้กฤษณา ทั้งจากเศษไม้ที่ไม่เกิดสารกฤษณาและเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย
2. เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิ และปริมาณกาวที่มีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของแผ่นขึ้นไม้อัด
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณา ทั้งจากเศษไม้ที่ไม่เกิดสารกฤษณาและเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

การตรวจเอกสาร

ลักษณะทั่วไปของไม้กฤษณา

กฤษณามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Aquilaria crassna* Pierre L. Lec. วงศ์ Thymelaeaceae ในประเทศไทย มี 5 ชนิด คือ *Aquilaria crassna*, *Aquilaria malaccensis*, *Aquilaria hirta*, *Aquilaria subintegra* และ *Aquilaria rugosa* (ณัฐวัฒน์ และ จงรัก, 2551)

การกระจายพันธุ์ตามธรรมชาติ

ไม้สกุล *Aquilaria* มีอยู่ประมาณ 15 ชนิด กระจายอยู่แถบเอเชียเขตร้อน ในประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ถึงฟิลิปปินส์ และเอเชียใต้แถบประเทศอินเดีย ปากีสถาน ศรีลังกา ภูฏาน เบนกอล รัฐอัสสัม รวมทั้งกระจายไปทางเอเชียเหนือจนถึงประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (มีชัย, 2532) ส่วนการกระจายพันธุ์ของไม้กฤษณาในประเทศไทย มีรายละเอียดดังนี้

1. *Aquilaria crassna* หรือชื่อพื้นเมือง กฤษณาเป็นไม้ต้นสูงประมาณ 25-30 เมตร พบกระจายตามป่าดิบทางภาคตะวันออก และภาคกลางบริเวณเขาหินแกรนิต พบในจังหวัดจันทบุรี ตราด นครราชสีมา ปราจีนบุรี (เขาใหญ่) นครนายก เป็นต้น
2. *Aquilaria malaccensis* ชื่อพื้นเมือง ไม้หอมพบเฉพาะภาคใต้ที่มีความชุ่มชื้น (เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ระนอง กระบี่ ตรัง พัทลุง ยะลา โดยเฉพาะที่เขาช่อง จังหวัดตรัง) มีความสูงประมาณ 30-40 เมตร
3. *Aquilaria hirta* หรือชื่อพื้นเมือง จะแนจัดเป็นไม้ยืนต้น สูงประมาณ 14 เมตร พบขึ้นกระจายตามป่าพรุทางภาคใต้ ตามพื้นที่จังหวัดนราธิวาส
4. *Aquilaria subintegra* หรือชื่อพื้นเมือง กาสารูจัดเป็นไม้พุ่มหรือไม้ขนาดเล็ก สูงประมาณ 2-3 เมตร พบขึ้นกระจายตามป่าดิบ ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 300-550 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ได้แก่ ปัตตานี (เขาลิเขา) และนราธิวาส (เวียงและสุโหลงโกลก) มีลักษณะเด่น คือ ใบที่มีขนาดใหญ่

กว่า 3 ชนิดข้างต้น และมีลักษณะเป็นไม้พุ่มหรือไม้ขนาดเล็ก ซึ่งในปัจจุบันพบเห็นได้ยากตามป่าธรรมชาติ

5. *Aquilaria rugosa* มีการค้นพบเมื่อปี 2548 ในประเทศเวียดนาม ส่วนในประเทศไทยได้มีการสำรวจพบทางภาคเหนือเมื่อกลางปี 2549 ที่ผ่านมา จัดเป็นไม้ป่าที่หายาก พบอยู่ตามภูเขาสูงในภาคเหนือที่มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่ 1,000 เมตรขึ้นไป จัดเป็นไม้ต้นขนาดกลางสูงประมาณ 10-25 เมตร (จงรัก และ บุญธิดา, 2550); (ณัฐวัฒน์ และ จงรัก, 2551)

กฤษณาเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางถึงใหญ่ ไม้ผลัดใบ มีความสูงตั้งแต่ 18-21 เมตร เส้นรอบวงยาวประมาณ 1.5-1.8 เมตร เรือนยอดเป็นพุ่มทรงเจดีย์ต่ำ หรือรูปกรวย ลำต้นเปลาตรง เปลือกนอกเรียบสีเทาอมขาว เปลือกหนาประมาณ 5-10 มิลลิเมตร เปลือกชั้นในสีขาวอมเหลือง (อภิชาติ, 2546) ชอบขึ้นในที่ชุ่มชื้น จึงมักพบตามป่าดงดิบทั้งชื้นและแล้ง หรือที่ราบใกล้แม่น้ำ ลำธาร สามารถขึ้นได้ในพื้นที่ที่มีระดับความสูง 1,100 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง เช่น ที่ยอดเขาเขียวบริเวณอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ โดยทั่วไปมักพบกฤษณาปนกับพรรณไม้อื่น เช่น ยาง ยมหอม ยมหิน หว่า ก่อเดือย และก่อชนิดอื่น ๆ สีเสียดเทศ กระโถงแดง และอื่นๆ ที่บริเวณป่าเขาช่อง จังหวัดตรัง น่าจะเป็นถิ่นที่โตของกฤษณา พบกฤษณาที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 100 เซนติเมตร ซึ่งต่างกับที่พบบนอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะเล็กกว่า 50 เซนติเมตร (สมคิด, 2525)

ใบ เป็นใบแบบใบเดี่ยว เรียงตัวแบบสลับ (alternate) ใบรูปร่างยาวขอบขนาน (oblong) ปลายใบเรียวแหลม (acuminate) ฐานใบแหลม (acute) ใบกว้าง 2.5-3.5 เซนติเมตร ยาว 7-9 เซนติเมตร ใบแก่เกลี้ยงเป็นมัน ใบอ่อนมีขนสั้นแฉกคล้ายไหม ตามขอบใบ เส้นขอบใบ เส้นก้านใบ ตาอ่อน และกิ่งอ่อนปกคลุมไปด้วยขนลักษณะเดียวกัน ก้านใบยาว 3-5 มิลลิเมตร เส้นใบที่ออกมาจากเส้นกลางใบมี 2 ขนาด ขนาดใหญ่ทำมุม 45-60 องศากับเส้นใบ เส้นใบมีขนาดเล็กฝอยเกิดขนานและเกือบตั้งฉากกับเส้นกลางใบ และทำมุมกับเส้นใบขนาดใหญ่

ดอก เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (bisexual) เกิดตามง่ามใบหรือปลายยอด แบบ axillary หรือ terminal umbels ก้านดอกสั้น ดอกสีขาว ไม่มีกลีบดอก (petals) กลีบเลี้ยง (sepals) มี 5 กลีบ เชื่อมติดกันที่โคน (adnate) ที่ปลายแยกออกเป็น 5 แฉก แบบรูประฆัง (campanulate) ปกคลุมด้วยขนสั้นแบบ silky หรือ pubescent ที่โคนแฉกของกลีบเลี้ยงมีเกล็ด (scale) 10 เกล็ด (ประกอบด้วย 2 เกล็ดบนกลีบเลี้ยงแต่ละอัน) แต่ละเกล็ดปกคลุมด้วยขนยาว ระหว่างเกล็ดหรือกลีบดอกยังมีเกล็ดอีกชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเกลี้ยงปลายแหลมสีดำ เกิดระหว่างกลีบดอก เกสรตัวผู้ (stamens) 10 อัน ก้านเกสร

ตัวผู้ (filament) สั้น ฝังอยู่ในเนื้อส่วนอื่นๆ ของดอก (superior) ไม่มีก้าน (sessile) และปกคลุมด้วยขนคล้ายไหม รังไข่ (locule) มี 2 ช่อง ก้านเกสรตัวเมีย (style) สั้น ยอดเกสรตัวเมีย (stigma) ใหญ่

ผล เป็นแบบแห้งแตก (capsule) รูปร่างคล้ายไข่กลับ (obovate) หรือหอกกลับ (oblanceolate) ตั้งอยู่บนฐานของกลีบรองกลีบดอกที่ไม่หลุดร่วง ผลยาวประมาณ 2.5 เซนติเมตร กว้างประมาณ 1.5-2 เซนติเมตร เมล็ดมี 1 หรือ 2 เมล็ด รูปไข่ (ovoid) ขนาดของเมล็ดยาว 5-6 มิลลิเมตร มีส่วนฐานที่สดและนุ่ม บางครั้งขยายออกไปเป็นส่วนหาง เมล็ดมีส่วนของก้านออวูล (funiculus) ที่เป็นเส้นขนาดเล็กและยาวเชื่อมติดกับผล เมล็ดสีแดงส้มหรือดำ ปกคลุมไปด้วยขนสั้นและนุ่ม (pubescent) สีแดง หรือน้ำตาลแดง embryo แบบ inverse ไม่มี perisperm ผลแก่แตกออกเป็น 2 ซีก (พิมล, 2538)

การใช้ประโยชน์ไม้กฤษณา

มีปรากฏหลักฐานการใช้ประโยชน์จากไม้กฤษณามาเป็นเวลานานเพราะนอกจากจะสามารถใช้ประโยชน์ในด้านการผลิตน้ำหอมและเครื่องประทีนผิวต่างๆ แล้ว กฤษณายังมีคุณสมบัติเป็นยาอีกด้วย ซึ่งประเทศไทยก็มีการใช้ไม้กฤษณาเป็นส่วนผสมทางยา เนื่องจากมีสรรพคุณในการบำรุงโลหิต บำรุงหัวใจ แม้ในปัจจุบันก็ยังมีการใช้กฤษณาเป็นส่วนผสมในยาที่ใช้รักษาอาการปวดท้อง จุกเสียด แน่นท้อง ขับลมในกระเพาะลำไส้ หรือแม้แต่ในตำรายาจีนกฤษณาก็จัดเป็นยาชั้นดี ใช้เป็นยาบำรุงหัวใจ แก้ลมวิงเวียน คลื่นไส้อาเจียน แก้หอบหืดเป็นต้น (ภาณุเมศวร์, 2549; องอาจ, 2545) สามารถแยกประเภทของการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ของกฤษณาได้ดังนี้ (Phillips, 2003 อ้างใน จงรัก และ บุญธิดา, 2550)

1. ท่อนไม้กฤษณา ขนาดใหญ่ที่เกิดสารสะสมของสารกฤษณาเป็นจำนวนมาก มีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีราคาสูงมากเนื่องจากเกิดได้ยากและใช้เวลาหลายปี มักพบตามศาสนสถาน หรือตามบ้านของเศรษฐีเพื่อใช้เป็นสิ่งแสดงถึงความร่ำรวยของตน
2. ชี้นไม้กฤษณา เป็นชี้นไม้ขนาดเล็กจึงมีราคาต่ำกว่าไม้ท่อนขนาดใหญ่ ชาวอาหรับนิยมใช้จุดเพื่อต้อนรับแขก ทั้งยังความเชื่อที่ว่าควันจากการเผาชี้นไม้สามารถรักษาโรคบางอย่างได้

3. น้ำมันกฤษณา ได้จากการสกัดชิ้นไม้กฤษณาที่มีการสะสมของสารกฤษณาในปริมาณที่น้อยไม่สามารถนำไปขายเป็นชิ้นได้ น้ำมันกฤษณาที่ได้จะมีราคาประมาณ 2,400-4,800 บาทต่อโตร่า (ประมาณ 12 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันกฤษณาที่ได้ ชาวอาหรับนิยมเพื่อให้มีกลิ่นหอม เป็นส่วนผสมของน้ำหอม เครื่องสำอางและส่วนผสมของเครื่องยา

4. ผลิตภัณฑ์อื่นๆ ฝงไม้ที่เหลือจากการกลั่นนำไปทำรูปหอม เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สบู่ เทียนหอม น้ำหอม เป็นต้น หญิงชาวอาหรับนิยมใช้จุดเพื่อให้กลิ่นหอม ส่วนเนื้อไม้ที่ไม่เกิดสารกฤษณานั้นนิยมนำมาทำกล่องเครื่องประดับ แกะสลัก เครื่องกลึง หรือ หน้าไม้ (อรไท, 2537)

องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของไม้กฤษณา

ไม้กฤษณา (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) มีความหนาแน่น 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความชื้น 15% (Anonymous, 2007a) เปรียบเทียบกับไม้ยางพารา ซึ่งมีความหนาแน่น 435-626 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความชื้นร้อยละ 12 พบว่าไม้ยางพารามีความหนาแน่นสูงกว่าไม้กฤษณา องค์ประกอบเคมีของไม้กฤษณา แสดงในตารางที่ 1 และมีสารแทรกต่างๆ อยู่ประมาณร้อยละ 3.31 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมี (chemical characteristics) ของไม้กฤษณา

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)
Ash	1.50
Holocellulose	74.30
Alfa cellulose	50.30
Lignin	26.30

ที่มา: Forestry and Forest Products Research Institute (1998)

ตารางที่ 2 สารแทรก (extractives) ในเนื้อไม้กฤษณา

ชนิดของสารแทรก	ปริมาณ (%)
n-Hexane	0.15
Ether	0.20
Acetone	0.56
Methanol	2.40
Total	3.31

ที่มา: Forestry and Forest Products Research Institute (1998)

Forestry and Forest Products Research Institute, 1998 พบว่าจากการนำไม้กฤษณาไปผ่านกระบวนการต้มเชื้อแบบกราฟท์ จะได้ปริมาณเยื่อ (pulp yield) ร้อยละ 48.6 มีความยาวของไฟเบอร์ (fiber length) 1.08 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง (fiber diameter) 35 ไมโครเมตร วัดความหนาของผนังเซลล์ได้ (cell wall thickness) 5.4 ไมโครเมตร

คุณสมบัติของแผ่นใยไม้อัดของไม้กฤษณา มีค่าความแข็งแรงจำเพาะ (specific strength) 36.8 เมกะพาสกาล ความแข็งแรงที่ต้านการดัดการกระแทก (impact bending strength) 1.19 จูลต่อตารางเซนติเมตร มีค่าแรงต้านการดึง (tensile strength) 21.8 เมกะพาสกาล การดูดซึมน้ำ (water absorption) 75% และค่าความแข็ง (hardness) 166.7 กิโลพาสกาล ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของแผ่นใยไม้อัด (fiberboard) จากไม้กฤษณา

ค่าคุณสมบัติ	ปริมาณ (%)
ความแข็งแรงจำเพาะ (specific strength), (MPa)	36.8
ความแข็งแรงที่ต้านการดัดการกระแทก (impact bending strength), (J/cm ²)	1.19
ความต้านทานการดึง (tensile strength), (MPa)	21.8
การดูดซึมน้ำ (Water absorption), (%)	75
ค่าความแข็ง (Hardness), (KPa)	166.7

ที่มา: Forestry and Forest Products Research Institute (1998)

ร้อยละของการหดตัวทั้งในด้านสัมผัส (a_t) ด้านรัศมี (a_r) ด้านตามยาว (a_l) และปริมาตรการหดตัว (a_v) จากทั้งการผึ่งในกระแสดอากาศ (airdry) และการอบแห้ง (overdry) ของไม้กฤษณา (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์การหดตัว (shrinkage) ของไม้กฤษณา

สถานะที่ให้การทดสอบ	การหดตัวของไม้ (%)
Airdry a_t	4.13
Airdry a_r	1.82
Airdry a_l	0.01
Ovendry a_v	11.70
Ovendry a_t	8.09
Ovendry a_r	3.80
Ovendry a_l	0.32

ที่มา: Forestry and Forest Products Research Institute (1998)

ความคงทนของเนื้อไม้กฤษณา หลังจากการเข้าทำลายของเชื้อราฟลูสสีน้ำตาล *Tyromyces palustris* และเชื้อราฟลูสีขาว *Coriolus versicolor*, *Pycnoporus coccineus* เป็นเวลา 2 เดือนของเนื้อไม้ส่วนแก่นและส่วนกระพี้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ความคงทนต่อการเข้าทำลายเนื้อไม้กฤษณาจากเชื้อราฟลูสสีน้ำตาลและราฟลูสีขาวของส่วนที่เกิดสารกฤษณา (heart wood) และกระพี้ (sap wood)

เชื้อราที่เข้าทำลายเนื้อไม้	ร้อยละของเนื้อไม้ที่ถูกทำลาย
<i>Tyromyces palustris</i> (sap wood)	19.4
<i>Tyromyces palustris</i> (heart wood)	25.0
<i>Coriolus versicolor</i> (sap wood)	14.9
<i>Coriolus versicolor</i> (heart wood)	18.1
<i>Pycnoporus coccineus</i> (sap wood)	31.0

ที่มา: Forestry and Forest Products Research Institute (1998)

ความสามารถในการยึดติดของไม้บางจากไม้กฤษณาที่ความชื้น 15% กับกาวยูเรีย (urea resin) ปริมาณกาวเฉลี่ย 400 กรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้ค่าแรงเฉือน (shear strength) 7.65 เมกะพาสคัล การแตกที่ไม้ (wood failure) ร้อยละ 99 และกับกาวเรซอร์ซินอล (resorcinol resin) ให้ค่าแรงเฉือน (shear strength) 7.85 เมกะพาสคัล การแตกที่ไม้ (wood failure) ร้อยละ 98 ดังแสดงในตารางที่ 6 และในตารางที่ 7 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยึดติดของไม้บางจากไม้กฤษณา โดยการทดสอบการยึดติดกับกาวฟีนอลิก (phenolic resin) กาวยูเรีย (urea resin) และกาวเมลามีนยูเรีย (melamin urea resin) ตั้งเกตได้ว่าค่าแรงเฉือน (shear strength) ของไม้อัดจากไม้กฤษณาต่อกาวยูเรียมีค่าสูงสุด

ตารางที่ 6 ความแข็งแรงในการยึดติดกาว

Urea resin	Shear strength, (MPa)	7.65
	Wood failure, (%)	99
Resorcinol resin	Shear strength, (MPa)	7.85
	Wood failure, (%)	98

ที่มา: Forestry and Forest Products Research Institute (1998)

ตารางที่ 7 คุณสมบัติของไม้บาง (veneer) และความแข็งแรงของแผ่นไม้อัด (plywood) ในการยึดติดกาวชนิดต่างๆ ของไม้กฤษณา

Veneer	Peeling Lathe check (%)	26.3
	Drying time (min.)	5.61
	Drying Shrinkage (%)	7.5
Gluing	Phenolic resin: adhesive shear strength (MPa)	1.02
	Phenolic resin: wood failure (%)	100
	Urea resin: adhesive shear strength (MPa)	1.13
	Urea resin: wood failure (%)	94
	Melamin urea resin: adhesive shear strength (MPa)	0.76
	Melamin urea resin: wood failure (%)	54

ที่มา: Forestry and Forest Products Research Institute (1998)

กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์

กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (urea formaldehyde) เป็นกาวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดประเภทที่ใช้งานภายใน เนื่องจากเมื่อแห้งแล้วจะใส ไม่มีสี แข็งตัวได้เร็ว ราคาถูก กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์มีการจำหน่ายกันทั้งในสภาพของเหลว และทั้งแบบผง แบบผงก็จะแยกเป็นแบบถุงเดี่ยวและชนิด 2 ถุง โดยถุงเดี่ยวก็จะมีการผสมสารเร่งแข็งด้วย หากเป็นชนิด 2 ถุง ก็จะแยกเป็นถุงผงกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ 1 ถุง และอีก 1 ถุงจะเป็นสารเร่งแข็งที่อาจจะผสมสารอื่นไปด้วย เช่น แป้งสาลี แป้งอื่นๆ หรือผงดินขาว (kaolin) หรือแคลเซียมซัลเฟต การเตรียมกาวโดยนำผงกาวหลักหรือกาวน้ำ มาผสมกับน้ำและสารช่วยในการแข็งตัว (hardener) สารช่วยให้กาวแข็งตัวจะมีสภาพเป็นกรด ซึ่งจะเริ่มให้ปฏิกิริยาทางเคมีเชื่อมตัวขวาง ที่หยุดปฏิกิริยาไว้ขณะทำการสังเคราะห์กาวเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยมีการให้ความร้อนกับแนวกาวเป็นตัวเร่งให้แข็งตัวยิ่งขึ้น สารช่วยเร่งในการแข็งตัวที่ใช้ควรเป็นชนิดที่เป็นกรดอ่อนมากๆ เนื่องจากหากใช้กรดแก่จะทำให้ผิวไม้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเป็นผลให้แนวกาวเสียหาย (วรรณม, 2549)

ได้มีการศึกษาผลกระทบของปริมาณของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ต่อคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัด โดยใช้ไม้ birch (*Betula platyphylla*), pine (*Pinus sylvestris* var. *Mongolica*) และ spruce (*Picea crassifolia*) ซึ่งเป็นไม้ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ที่อัตราส่วนโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย ในช่วง 0.97-1.27 กาวที่ใช้มีทั้งกาวชนิด E1 และ E2 พบว่าอัตราส่วนโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียที่ต่ำ ไม่เพียงแต่ลดการเกิดปฏิกิริยาของกาว แต่ยังลดคุณสมบัติทางฟิสิกส์และค่าคุณสมบัติของแผ่นขึ้นไม้อัดอีกด้วย ผลกระทบของอัตราส่วนกรัม โมเลกุลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย ของกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ช่วงของอัตราส่วนระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรีย ที่เลือกใช้ขึ้นอยู่กับค่าคุณสมบัติที่ให้นั้นอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ พบว่าถ้าใช้กาวสำหรับภายนอก เช่น MUPF (melamine urea phenol formaldehyde) ที่ระดับ E1 จะได้ค่าคุณสมบัติและค่าคุณสมบัติทางฟิสิกส์ตามมาตรฐานรวมถึงการทดสอบ boiling test แต่เมื่อใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ค่าคุณสมบัติของแผ่นไม้ที่ใช้กาวในอัตราส่วนโมลของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อยูเรียเป็น 1.27-1.01 ปริมาณกาวที่ผิวหน้าต่อชั้นไม้ เป็นร้อยละ 11 ต่อ 8 ค่ามอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) และการยึดติดภายใน (internal bonding) ลดลงประมาณร้อยละ 10 และร้อยละ 30 ตามลำดับ ค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) และการดูดซึมน้ำ (water absorption) เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 19 และร้อยละ 30 ตามลำดับ การเพิ่มปริมาณกาวในชั้นไม้ จากร้อยละ 7 เป็นร้อยละ 9 จะทำให้ค่าการยึดติดภายในเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.5 โดยเฉลี่ย (Que et al., 2007)

กรรมวิธีการอัดร้อน อุนหนุมิ และความชื้น ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์และ ทางกลศาสตร์และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นจีนไม้อัด

มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการใช้กิ่งไม้ kiwi (*Actindia sinensis* Planch.) ในอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นจีนไม้อัด ไม้ kiwi มีความหนาแน่น 0.502 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (Ntalos and Grigoriou, 2002 อ้างใน Nemli *et al.*, 2003) โดยใช้จีนไม้ที่มีความชื้นร้อยละ 3 หลังการอบแห้ง ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ชนิด E2 ความเข้มข้นร้อยละ 60 ในอัตราส่วน ชั้นไม้ร้อยละ 8-9 และชั้นผิวร้อยละ 10-11 จากน้ำหนักอบแห้งของไม้ สารเร่งแข็งที่ใช้คือ (ammonium chloride) ความเข้มข้นร้อยละ 30 ใช้ปริมาณร้อยละ 1 ของน้ำหนักอบแห้งของแผ่นจีนไม้อัด ทำการฟอร์มแผ่นแบบ 3 ชั้น โดยการกระจายด้วยมือ หลังจากการผสมกาวด้วยเครื่อง ในอัตราส่วนชั้นผิวต่อชั้นไม้ร้อยละ 30: 70 แผ่นจีนไม้อัดถูกอัดที่แรงอัด 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อุนหนุมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที แผ่นจีนไม้อัดขนาด 56.2×56.2×2 ลูกบาศก์เซนติเมตร ภายหลังจากการปรับสภาพที่อุนหนุมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ทำการตัดขอบแผ่นจีนไม้อัดให้มีขนาด 55×55 ตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของแผ่นจีนไม้อัดเฉลี่ย 0.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากการทดลองพบว่า แผ่นจีนไม้อัดที่ใช้กิ่งไม้ kiwi เป็นชั้นไม้ได้ค่ามอดุลัสแตกร้าและค่าแรงดึงตั้งฉากผ่านมาตรฐาน โดยปริมาณกาวที่เหมาะสมคือ ชั้นไม้ร้อยละ 9 และชั้นผิวร้อยละ 11 นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงค่าคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแผ่นจีนไม้อัดจากกิ่งไม้ kiwi ต่อไป (Nemli *et al.*, 2003)

ไม้ที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับไม้กฤษณาอีกชนิดหนึ่งที่ได้มีการศึกษาในการผลิตแผ่นจีนไม้อัด คือ ไม้ eastern redcedar (*Juniperus virginiana* L.) โดยมีความหนาแน่น 430 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สถานะความชื้นร้อยละ 15 (Anonymous, 2007b) Hiziroglu และ Holcomb (2005) ได้ทำการศึกษาค่าคุณสมบัติบางประการของไม้ eastern redcedar ในการผลิตแผ่นจีนไม้อัดแบบ 3 ชั้น โดยใช้จีนไม้ที่มีความชื้นร้อยละ 5 ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ความเข้มข้นร้อยละ 65.8 มีการผสมกาวโดยใช้ป็นผสมกาวแบบอัดโนมัต โดยมีส่วนชั้นไม้ร้อยละ 6 และชั้นผิวร้อยละ 9 ของน้ำหนักอบแห้งของไม้ โดยไม่ใช้พาราฟินแวกซ์ และสารเติมแต่งอื่นๆ แผ่นจีนไม้อัดมีขนาด 50.8×55.8 ตารางเซนติเมตร หนา 1.27 เซนติเมตร โดยทำการอัดที่อุนหนุมิ 180 องศาเซลเซียส แรงอัด 5.38 เมกะพาสกาล เป็นเวลา 5 นาที ระยะเวลาปิดอัด 22 วินาที ทำการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นจีนไม้อัดตามมาตรฐาน ASTM D-1037 ทำการปรับสภาพที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ที่อุนหนุมิ 20 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าค่ามอดุลัสแตกร้า และค่ามอดุลัสยืดหยุ่น มีค่าเฉลี่ย 12.84 เมกะพาสกาล

และ 1,752 เมกะพาสกาล ตามลำดับ มีค่าเทียบเคียงได้กับแผ่นชั้นไม้อัดที่ผลิตขึ้นจากชั้นไม้ชนิดอื่นตามท้องตลาด แต่ได้ค่าการยึดติดภายในต่ำกว่า ควรมีการปรับปรุงในส่วนของชั้นไม้

ได้มีผู้ศึกษาการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดจากไม้ *Pinudus brutia* ซึ่งมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับไม้กฤษณา โดยทำการประเมินคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติเชิงกายภาพ และความคงทนของแผ่นชั้นไม้อัดจาก *Pinudus brutia* โดยมีปริมาณเปลือกเป็นตัวแปร โดยทำการผลิตแผ่นชั้นไม้อัด 3 ชั้น โดยชั้นไม้ที่นำมาผลิตมีความชื้น ร้อยละ 3 ทำการผสมกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 60 โดยใช้ปริมาณกาวในชั้นไม้ ร้อยละ 8 และชั้นผิว ร้อยละ 10 จากน้ำหนักอบแห้งของไม้ มีแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เป็นสารเร่งแข็ง โดยใช้อัตราส่วนชั้นผิวต่อชั้นไม้เป็น 40 ต่อ 60 ทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้แรงอัด 2.75 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เป็นเวลา 50 นาที พบว่าที่ปริมาณเปลือกที่ร้อยละ 1 เป็นปริมาณมากที่สุดที่สามารถผลิตแผ่นชั้นไม้อัดให้ได้ตรงความต้องการของท้องตลาด (Nemli *et al.*, 2006)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ชิ้นไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา (non induced Agarwood residual)
2. ชิ้นไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย (distilled Agarwood residual)
3. กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ (urea formaldehyde)
4. สารเร่งแข็ง (hardener)
5. พาราฟินแวกซ์ (paraffin-wax)
6. เครื่องชั่ง (balance)
7. เครื่องทำชิ้นไม้สับ (chippers)
8. เครื่องย่อยไม้ (hammer mills)
9. เครื่องคัดขนาด (screen)
10. เตาอบไม้ (hot air oven รุ่น ULM 400)
11. เครื่องผสมกาว (blender)
12. เครื่องอัดร้อน (hot press)
13. เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine)
14. เครื่องเลื่อยแขนรัศมี (radial arm saw)
15. ห้องควบคุมบรรยากาศ (climate conditioning room)
16. เครื่องวัดขนาดละเอียด (veneer caliper)
17. โถเก็บความชื้น (desiccators)
18. เครื่องชั่ง ความละเอียด 2 ตำแหน่ง (balance)

วิธีการ

1. สภาพะที่ใช้ในการทดลอง

ความหนาแน่นของแผ่นชิ้นไม้อัด	0.65 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
ความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัด	10 มิลลิเมตร
ขนาดของแผ่นชิ้นไม้อัด	35×35 เซนติเมตร
ความชื้นของชิ้นไม้ก่อนผสมกาวย้อยละ	3-5
ปริมาณกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ในชั้นผิวร้อยละ	8, 10 และ 12
ปริมาณกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่ใช้ในชั้นไส้ร้อยละ	6, 8 และ 10
ปริมาณพาราฟินอิมัลชันร้อยละ	5
ปริมาณสารเร่งแข็งร้อยละ	2
ความชื้นของไม้หลังผสมกาวย้อยละ	8-10
อุณหภูมิที่ใช้	140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาอัดร้อน	3 นาที

นำเศษเหลือของไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา และเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย อายุ 13 ปีโดยเฉลี่ย จากเกษตรกรที่ อ.เมือง จ.ตราด โดยกำหนดระดับอุณหภูมิในการอัดร้อนมี 4 ระดับ คือที่ 140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ปริมาณกาวยที่ใช้ มี 3 ระดับ คือ 1) ปริมาณกาวยในชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไส้ร้อยละ 6 2) ปริมาณกาวยในชั้นผิว ร้อยละ 10 ชั้นไส้ ร้อยละ 8 3) ปริมาณกาวยในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10 (ร้อยละเนื้อกาวยเทียบกับน้ำหนักอบแห้งของชิ้นไม้)

2. การเตรียมชิ้นไม้

ทำการย่อยชิ้นไม้เศษเหลือไม้กฤษณาที่ไม่เกิดสารกฤษณาและเศษเหลือจากการกลั่นโดยใช้เครื่องทำชิ้นไม้สับ ทำการสับไม้ให้มีขนาดเล็กลง จากนั้นนำชิ้นไม้สับที่ได้ไปเข้าเครื่องย่อยไม้ เพื่อทำการย่อยชิ้นไม้ ทำการคัดขนาดชิ้น ไม้ที่ใช้ในการทำส่วนของชั้นผิวของแผ่นชิ้นไม้อัด และใช้ในการทำในส่วนของชั้นไส้ นำชิ้นไม้ที่ได้ไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นให้ได้ความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 จากนั้นนำไปเก็บไว้ในถุงพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้น

จากการนำขึ้นไม้ที่ผ่านการย่อยและคัดขนาดมาทำการหาความหนาแน่นมวลรวม (bulk density) ที่ความชื้นร้อยละ 12 พบว่า ขึ้นไม้กฤษณาที่ไม่เกิดสารกฤษณาในส่วนของชั้นผิว มีความหนาแน่นมวลรวม (bulk density) 0.140 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนชั้นไส้ มีความหนาแน่นมวลรวม (bulk density) 0.110 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และขึ้นไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่น น้ำมันหอมระเหย ส่วนชั้นผิวมีความหนาแน่นมวลรวม (bulk density) 0.144 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ชั้นไส้มีความหนาแน่นมวลรวม (bulk density) 0.090 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3. การผลิตแผ่นขึ้นไม้อัด

3.1 การผสมกาว ทำการผสมกาวโดยแยกชั้นไส้ และชั้นผิวในอัตราส่วน ชั้นผิวร้อยละ 40 ต่อชั้นไส้ร้อยละ 60 ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ความเข้มข้นร้อยละ 65 ในอัตราส่วนร้อยละ 10 ต่อน้ำหนักอบแห้งของไม้ ผสมพาราฟินแว็กซ์ร้อยละ 5 ในทั้งชั้นผิวและชั้นไส้ ใช้สารเร่งแข็งร้อยละ 2 เฉพาะชั้นไส้ นำขึ้นไม้ไปผสมกาวในเครื่องผสมกาวที่มีหัวฉีดโดยใช้แรงดันลมจากเครื่องปั๊มลม ทำการผสมกาวและสารปรับปรุงคุณภาพอื่นๆ ตามปริมาณที่ทำการคำนวณไว้ เทใส่เครื่องผสมกาว เมื่อทำการสเปรย์กาวในเครื่องผสมที่มีการพลิกหมุนของขึ้นไม้ตลอดเวลา หลังทำการสเปรย์กาวเสร็จแล้วปล่อยให้มีการคลุกเคล้าต่อไปอีก 3-5 นาที แล้วทำการสูมตัวอย่างขึ้นไม้เพื่อทำการหาความชื้น โดยความชื้นที่ได้อาจอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10

ในการวิจัยครั้งนี้ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ความเข้มข้นร้อยละ 66.51 ความถ่วงจำเพาะ 1.2810 ความหนืด 1.9 พอยส์ ระยะเวลาการแข็งตัว (gel time) ที่ 100 องศาเซลเซียส 72 วินาที มีค่า pH 7.7



ภาพที่ 1 เครื่องผสมกาวมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที

3.2 การเตรียมแผ่นก่อนอัด นำชิ้นไม้ที่ผสมกาวแล้วมาซั่งให้ได้น้ำหนักตามที่ทำการคำนวณไว้สำหรับการทำแผ่นชิ้นไม้อัด 1 แผ่น มาทำการกระจายชิ้นไม้ด้วยมือในกล่องไม้ขนาด 35×35×30 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยพยายามโรยชิ้นไม้ให้สม่ำเสมอ

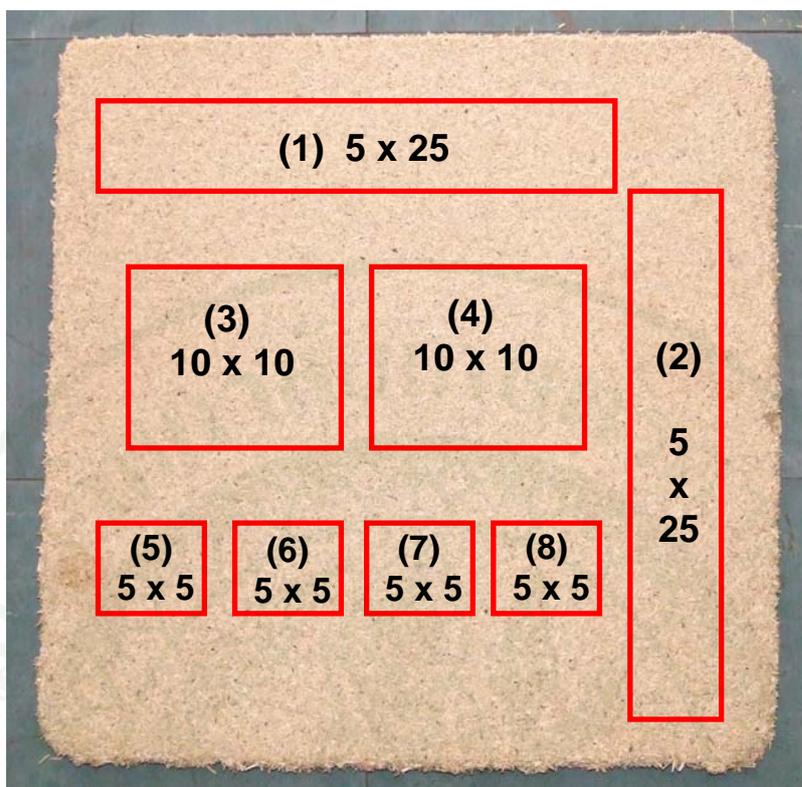
3.3 การอัดร้อน นำแผ่นที่เตรียมอัดวางระหว่างแผ่นรองอัด (caul plate) 1 คู่ และแท่งเหล็ก (stopper) หนา 10 มิลลิเมตร 1 คู่ นำเข้าเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส ด้วยความดันจำเพาะ (specific pressure) 41 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 3 นาที



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด

4. การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัด

นำแผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้ไปวางไว้ในสภาวะบรรยากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 จนน้ำหนักคงที่ ก่อนนำไปตัดขอบออกด้านละ 3 เซนติเมตร และตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาดตามมาตรฐาน EN (European Standard)



ภาพที่ 3 การตัดชิ้นทดสอบเพื่อทำการทดสอบค่าต่างๆ (หน่วย: เซนติเมตร)

เมื่อ หมายเลข 1 และ 2 ใช้ทดสอบค่ามอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) และมอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity)

หมายเลข 3 และ 4 ใช้ทดสอบปริมาณความชื้น (moisture content) และความหนาแน่น (density)

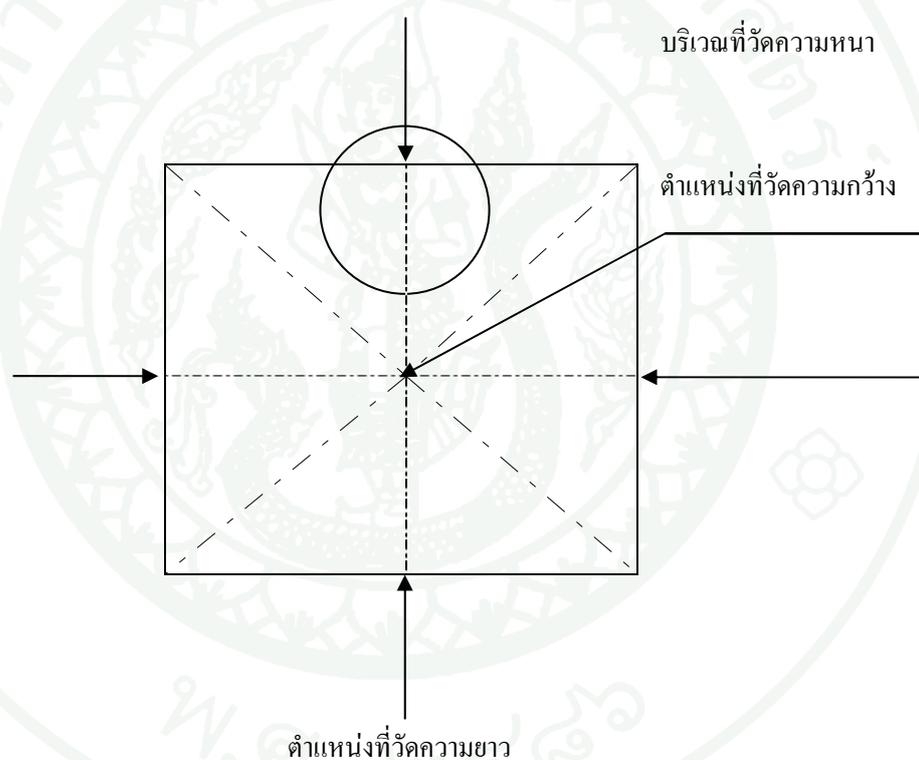
หมายเลข 5 และ 6 ใช้ทดสอบการดูดซึมน้ำ (water absorption) และการพองตัวของความหนา (thickness swelling)

หมายเลข 7 และ 8 ใช้ทดสอบแรงดึงตึงจากผิวหน้า (internal bonding)

4.1 สมบัติทางกายภาพ (physical properties)

4.1.1 ปริมาณความชื้น และความหนาแน่น

การหาปริมาณความชื้นและความหนาแน่นได้ดัดแปลงมาจากมาตรฐานการทดสอบ EN322 (European Standard Wood-based panel-Determination of Moisture Content 1993) มาตรฐานการทดสอบ EN 323 (European Standard Wood-based panel-Determination of Density) (1993)



ภาพที่ 4 ตำแหน่งที่วัดความกว้าง ความยาว และความหนาของชิ้นทดสอบ

ที่มา: European Standard (1993)

ตัดชิ้นทดสอบขนาดกว้าง 100×100 ตารางมิลลิเมตร นำชิ้นทดสอบไปปรับสมดุลภายในห้องควบคุมบรรยากาศ (conditioning room) ที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 5 จนชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักก่อนทดสอบและวัดขนาดที่แท้จริงเพื่อคำนวณหาปริมาตรก่อนทดสอบ แล้วนำชิ้นทดสอบไปอบด้วยเตาอบไฟฟ้า

ที่อุณหภูมิ 103 ± 2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักขึ้นตัวอย่างคงที่ นำขึ้นทดสอบไปเก็บในโถแห้งที่บรรจุซิลิกาเจลเพื่อลดความชื้น ก่อนจะนำขึ้นทดสอบไปยังห่าน้ำหนักอบแห้ง เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้นและความหนาแน่น จากสูตรดังต่อไปนี้

สูตรคำนวณ

1) ปริมาณความชื้น

$$\%MC = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \times 100$$

เมื่อ MC = ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
 m_1 = น้ำหนักก่อนอบ (กรัม)
 m_2 = น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)

2) ความหนาแน่น

$$D = \frac{m}{V_t}$$

เมื่อ D = ความหนาแน่น (กิโลกรัม)
 m = น้ำหนักสด (กิโลกรัม)
 V_t = ปริมาตรก่อนทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร)

4.1.2 การดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนา

การหาการพองตัวตามความหนาได้ตัดแปลงมาจากมาตรฐานการทดสอบของมาตรฐานการทดสอบ EN 317 (European Standard Particleboards and fiberboards-Determination of swelling in thickness after immersion in water) (1993)

ตัดชิ้นทดสอบขนาด 50×50 ตารางมิลลิเมตร นำไปปรับสมดุลภายในห้องควบคุมบรรยากาศที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 5 จนชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักและวัดความหนาของชิ้นทดสอบ นำชิ้นทดสอบไปแช่ในน้ำสะอาดภายใต้ อุณหภูมิห้อง 20 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยชิ้นตัวอย่างจะต้องอยู่ห่างจากก้นภาชนะและผิวน้ำอย่างน้อย 25 ± 5 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 5 จากนั้นชั่งน้ำหนักออกจากชิ้นตัวอย่าง แล้วทำการชั่งและวัดความหนาของชิ้นตัวอย่าง เพื่อนำไปคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำและการพองตัวตามความหนา ดังสูตรต่อไปนี้

สูตรการคำนวณ

1) การดูดซึมน้ำ

$$\%WA = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100$$

เมื่อ WA = การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)
 W_1 = น้ำหนักก่อนทดสอบ (กรัม)
 W_2 = น้ำหนักหลังทดสอบ (กรัม)

2) การพองตัวตามความหนา

$$\%TS = \frac{(T_2 - T_1)}{T_1} \times 100$$

เมื่อ TS = การพองตัวตามความหนา (ร้อยละ)
 T_1 = ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (กรัม)
 T_2 = ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (กรัม)



ภาพที่ 5 ชั้นทดสอบการดูดซึมน้ำ และการพองตัวตามความหนา

4.2 สมบัติเชิงกล

4.2.1 การทดสอบค่ามอดูลัสแตกร้าว และมอดูลัสยืดหยุ่น

การทดสอบแรงต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น ได้ดัดแปลงมาจากมาตรฐานการทดสอบ EN 310 (European Standard Wood-based panel-Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength) (1993)

ตัดชิ้นทดสอบตามขนาดในมาตรฐาน EN 310 จากนั้นนำไปปรับสภาพที่ห้องควบคุมบรรยากาศ ที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 5 จนชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่ ทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบสากล (universal testing machine) โดยใช้อัตราการเพิ่มแรงกดสม่ำเสมอ (10 มิลลิเมตรต่อนาที) ลงบริเวณกึ่งกลางของชิ้นทดสอบและในแนวตั้งฉากกับชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบหัก บันทึกค่าแรงและระยะการโก่ง ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7 เพื่อนำไปคำนวณแรงต้านแรงดัด และมอดูลัสยืดหยุ่น จากสูตรต่อไปนี้

สูตรการคำนวณ

1) แรงต้านแรงดัด หรือมอดูลัสแตกหัก

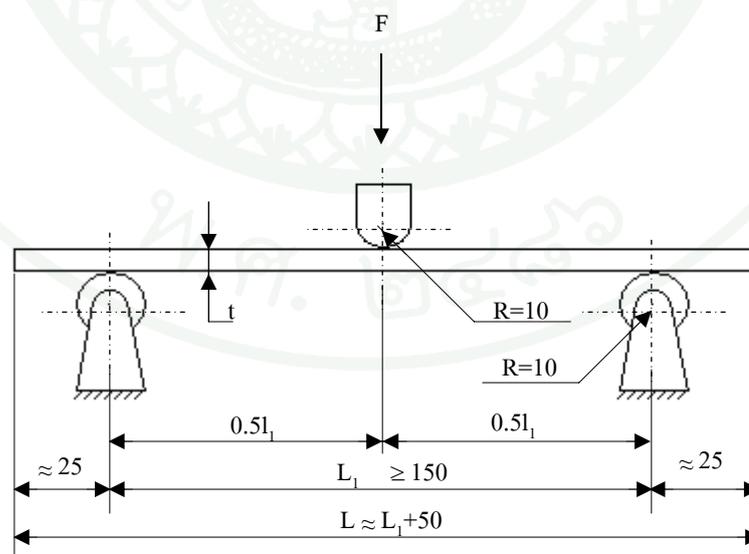
$$MOR = \frac{3PL_1}{2bt^2}$$

- เมื่อ MOR = แรงต้านแรงดัด (เมกะพาสคัล)
 P = แรงกดสูงสุด (นิวตัน)
 L_1 = ระยะห่างระหว่างแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)
 b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
 t = ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

2) โมดูลัสยืดหยุ่น

$$MOE = \frac{P_1 L_1^3}{4bt^3 Y_1}$$

- เมื่อ MOE = ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (เมกะพาสคัล)
 P_1 = แรงกดที่เพิ่มขึ้น ในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (นิวตัน)
 L_1 = ระยะห่างระหว่างแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)
 b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
 t = ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
 Y_1 = ระยะแอนตัวสูงสุดในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรง (มิลลิเมตร)



ภาพที่ 6 การทดสอบแรงต้านแรงดัด และมอดูลัสยืดหยุ่น (หน่วย : มิลลิเมตร)

ที่มา: JIS A 5908 (2003)



ภาพที่ 7 เครื่องทดสอบค่ามอดุลัสแตกร้าว และมอดุลัสยืดหยุ่น

4.2.2 แรงดึงตั้งฉากผิวหน้า

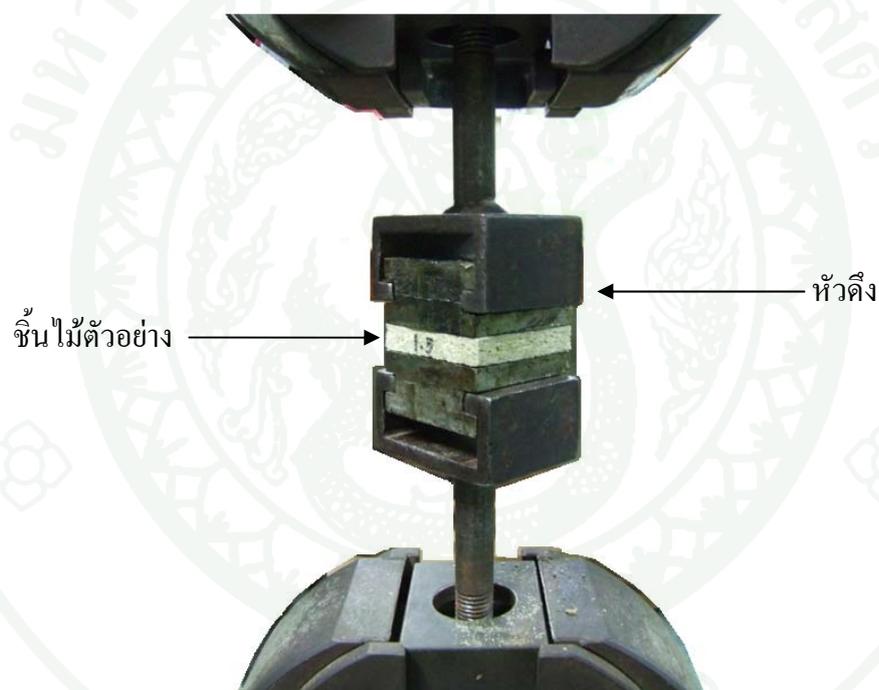
การหาแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าได้จากมาตรฐาน EN 319 (European Standard Particleboard and fiberboards-Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board) (1993)

นำชิ้นทดสอบขนาด 50×50 ตารางมิลลิเมตร ไปปรับสภาพที่ห้องควบคุมบรรยากาศที่ปรับอุณหภูมิไว้ที่ 20 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ± 5 จนชิ้นทดสอบมีน้ำหนักคงที่ ก่อนประกอบชิ้นทดสอบกับแท่งเหล็ก (metal block) ในลักษณะเช่นนี้ โดยมีกาวอีพอกซี (epoxy glues) เป็นตัวประสานกาวกับแท่งเหล็ก ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมงเพื่อให้กาวแข็งตัว จากนั้นติดตั้งเข้ากับหัวทดสอบสำหรับทดสอบแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (ดังภาพที่ 8) ดึงชิ้นทดสอบด้วยอัตราการเพิ่มของแรงที่สม่ำเสมอ เครื่องจะบันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้ดึงชิ้นทดสอบแยกออกจากกันเพื่อนำไปคำนวณหาแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าตามสูตร

สูตรการคำนวณ

$$IB = \frac{P_{\max}}{a \times b}$$

- เมื่อ IB = แรงดึงตึงจากผิวหน้า (เมกะพาสคัล)
 P_{\max} = แรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน (นิวตัน)
 a = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)
 b = ความยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)



ภาพที่ 8 การทดสอบหาค่าแรงดึงตึงจาก

4.3 การทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

การทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัด คัดแปลงมาจากมาตรฐาน EN 120 (European Standard Wood based panels-Determination of formaldehyde content-Extraction method called the perforator method) (1991)

เตรียมชิ้นตัวอย่างขนาด 25×25 มิลลิเมตร ประมาณ 500 กรัม เพื่อใช้หาความชื้นและใช้ในการทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ นำชิ้นทดสอบ 110 กรัม ไปทำการทดสอบหาปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ตามมาตรฐาน EN 120 ดังแสดงในภาพที่ 9 จากนั้นนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) จากนั้นทำการคำนวณโดยใช้สูตร

สูตรการคำนวณ

$$\text{Formaldehyde Content} = \frac{(A_S - A_B) \cdot f \cdot (100 + MC) \cdot V}{M} \times 100$$

เมื่อ formaldehyde content	=	ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ (มิลลิกรัมต่อแผ่นชิ้นไม้อัด (น้ำหนักแห้ง) 100 กรัม)
A_S	=	ค่า absorbance ของสารละลายที่สกัดได้
A_B	=	ค่า absorbance ของน้ำกลั่น
f	=	ความชันของ standard curve (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร)
MC	=	ปริมาณความชื้นของชิ้นทดสอบ (ร้อยละ)
M	=	น้ำหนักชิ้นทดสอบ (กรัม)
V	=	ปริมาตรของ Volumetric (2,000 มิลลิลิตร)



ภาพที่ 9 ชุดทดสอบฟอร์มาลดีไฮด์

5. วิธีการวิเคราะห์

การศึกษาอิทธิพลของปริมาณกาวและระดับอุณหภูมิที่ใช้ต่อค่าความแข็งแรงของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาใช้แผนการทดลองแบบ 3×4 แฟกตอเรียล โดยการทดลองแบบสุ่มตลอด (3×4 factorial arrangement of treatment in Completely Randomized Design) ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ 12 ทรีทเมนต์ โดยทำการแยกวิเคราะห์ระหว่างแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือของไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา และส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

ผลและวิจารณ์

จากการทดลองผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือของไม้กฤษณาทั้งจากส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา และส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ที่ความหนาแน่น 0.65 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยความชื้นของแผ่นขึ้นไม้อัดจากส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น คือ ร้อยละ 9.9 และร้อยละ 8.5 ตามลำดับ

ค่ามอดูลัสแตกร้าว

จากการทดสอบหาค่ามอดูลัสแตกร้าว พบว่าแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา ค่ามอดูลัสแตกร้าวที่ไม่ผ่านมาตรฐาน EN และแผ่นขึ้นไม้อัดที่ได้จากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ที่อัดด้วยปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 อัดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 8) ให้ค่ามอดูลัสแตกร้าวผ่านมาตรฐานที่ 14 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 1) พบว่า ปริมาณกาวมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา โดยที่ สภาวะที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไม้ร้อยละ 6 กับการใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไม้ร้อยละ 8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับการใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 ส่วนการใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไม้ร้อยละ 8 กับการใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 2) และพบว่าอุณหภูมิไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1

สำหรับแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย พบว่า ปริมาณกาวมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว ดังแสดงในตารางผนวกที่ 13 โดยการใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไม้ร้อยละ 6 และการใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไม้ร้อยละ 8 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไม้ร้อยละ 6 กับการใช้ปริมาณกาว ชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 และปริมาณกาวชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไม้ร้อยละ 8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 14) ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว ดังแสดงในตารางผนวกที่ 14

ตารางที่ 8 ค่ามอดูลัสแตกร้าว

หน่วย: N/mm²

สภาวะ	ค่ามาตรฐาน	ไม้กฤษณา	ไม้กฤษณา
		ส่วนที่ไม่เกิด สารกฤษณา	ส่วนที่เหลือ จากการกลั่น
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	14	9.615	7.855
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	14	12.556	7.840
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	14	10.617	7.553
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	14	12.088	9.581
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	14	9.750	10.021
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	14	11.416	9.542
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	14	9.908	9.653
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	14	10.801	8.947
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	14	13.054	14.050*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	14	11.533	13.512
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	14	13.938	10.235
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	14	13.416	9.428

หมายเหตุ * หมายถึงค่าที่ผ่านมาตรฐาน EN

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น

จากการทดสอบค่ามอดูลัสยืดหยุ่น พบว่า แผ่นชิ้นไม้อัดที่ได้จากการอัดเศษเหลือจากไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไม้ร้อยละ 8 อัดที่อุณหภูมิ 140, 160 และ 180 องศาเซลเซียส และแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 อัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ไม่ผ่านมาตรฐาน EN ที่ 1,800 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยที่ใช้ปริมาณกาว ชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 อัดที่อุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียส ให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นที่ผ่านมาตรฐาน EN (ตารางที่ 9)

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ดังแสดงในตารางผนวกที่ 3

สำหรับแผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ปริมาณกาว และ อุณหภูมิที่ใช้มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (ตารางผนวกที่ 15) และเมื่อทำการ เปรียบเทียบปริมาณกาวที่ใช้ในแต่ละสภาวะ พบว่า ปริมาณกาวทุกสภาวะมีความแตกต่างอย่างมี นัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 16) และเมื่อทำการวิเคราะห์แผ่นขึ้นไม้อัดที่อัดด้วยอุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียส พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้ อุณหภูมิ 140 และ 160 องศาเซลเซียสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ รวมไปถึงการใช้ อุณหภูมิที่ 140 และ 180 องศาเซลเซียส ก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนการใช้ อุณหภูมิ 150 และ 180 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เช่นเดียวกับการ ใช้อุณหภูมิที่ 150 และ 160 องศาเซลเซียส ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แต่ที่ อุณหภูมิ 160 และ 180 องศาเซลเซียสนั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงใน ตารางผนวกที่ 17

ตารางที่ 9 ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น

สภาวะ	ค่ามาตรฐาน	หน่วย: N/mm ²	
		ไม้กฤษณาส่วนที่ ไม่เกิดสารกฤษณา	ไม้กฤษณาที่ได้ จากการกลั่น
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไล่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	1,800	1,822.043*	1,180.000
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไล่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	1,800	2,061.875*	1,137.767
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไล่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	1,800	2,006.849*	1,091.367
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไล่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	1,800	2,009.385*	1,162.100
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไล่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	1,800	1,715.458	1,435.333
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไล่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	1,800	1,956.160*	1,382.333
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไล่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	1,800	1,592.861	1,323.667
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไล่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	1,800	1,474.590	1,261.350
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไล่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	1,800	2,095.189*	1,956.833*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไล่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	1,800	1,668.902	1,912.833*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไล่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	1,800	2,073.316*	1,344.633
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไล่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	1,800	2,266.533*	1,306.333

หมายเหตุ * หมายถึงค่าที่ผ่านมาตรฐาน EN

ดิ่งตั้งฉากผิวหน้า

จากการทดสอบแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้า พบว่า ค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้าในทุกสภาวะการทดลองของทั้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือของไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ผ่านค่ามาตรฐาน EN ที่ 0.40 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (ตารางที่ 10)

เมื่อนำค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้าในแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณามาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ปริมาณกาวที่ใช้มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้า เช่นเดียวกับอุณหภูมิที่ใช้ก็มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้า (ตารางผนวกที่ 4) โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณกาวที่ใช้ในทุกสภาวะ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ดังตารางผนวกที่ 5 และเมื่อทำการเปรียบเทียบทางสถิติของอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด อุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่อุณหภูมิ 140 และ 160 องศาเซลเซียส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เช่นเดียวกับค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140 และ 180 องศาเซลเซียส และแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตด้วยอุณหภูมิ 150 และ 180 องศาเซลเซียส ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง แต่ในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตด้วยอุณหภูมิ 150 และ 160 องศาเซลเซียส ให้ค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้าที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 6)

ในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย พบว่า ปริมาณกาวมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้า (ตารางผนวกที่ 18) และเมื่อทำการเปรียบเทียบแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไส้ร้อยละ 6 กับแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 8 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไส้ร้อยละ 6 กับปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 และในชั้นไส้ร้อยละ 10 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ตลอดจนแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 8 กับแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 12 ที่ชั้นไส้ร้อยละ 10 ที่ชั้นไส้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 19) แต่เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างอุณหภูมิที่ใช้กับค่าแรงดิ่งตั้งฉากผิวหน้า พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 18

ตารางที่ 10 ค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า

หน่วย: N/mm²

สถานะ	ค่ามาตรฐาน	ไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา	ไม้กฤษณาที่ได้จากการกลั่น
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	0.40	0.42*	0.44*
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	0.40	0.54*	0.52*
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	0.40	0.43*	0.48*
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ไม้ 6% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	0.40	0.84*	0.63*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	0.40	0.52*	0.54*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	0.40	0.64*	0.60*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	0.40	0.78*	0.60*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ไม้ 8% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	0.40	0.96*	0.51*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	0.40	0.82*	0.69*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	0.40	0.92*	0.85*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	0.40	1.21*	0.90*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	0.40	0.97*	0.63*

หมายเหตุ * หมายถึงค่าที่ผ่านมาตรฐาน EN

การป้องกันตามความหนา

จากการทดสอบการป้องกันตามความหนา พบว่า แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา ที่ปริมาณกาวชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไม้ร้อยละ 6 อัดที่อุณหภูมิ 140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส รวมถึงแผ่นชิ้นไม้อัดที่อัดด้วยปริมาณกาวชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไม้ร้อยละ 8 อัดที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส มีค่าการป้องกันตามความหนา ที่เกินมาตรฐานที่ไม่เกินร้อยละ 12 ในส่วนของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือของไม้กฤษณาที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยนั้น ให้ค่าการป้องกันตามความหนาที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในทุกสภาวะการทดลอง (ตารางที่ 11)

ปริมาณกาวที่ใช้มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อค่าการป้องกันตามความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา (ตารางผนวกที่ 7) โดยที่แผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นไม้ร้อยละ 6 และแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 10

ชั้น 15 ร้อยละ 8 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิว ร้อยละ 8 ชั้น 15 ร้อยละ 6 กับแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวที่ผิวร้อยละ 12 ชั้น 15 ร้อยละ 10 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตารางผนวกที่ 8) และอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นชั้นไม้ อัดนั้นมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการพองตัวตามความหนา (ดังแสดงในตารางผนวกที่ 10) เมื่อทำ การเปรียบเทียบระหว่างแผ่นชั้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ยิงทางสถิติ ยกเว้นแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้อุณหภูมิ 160 และ 180 องศาเซลเซียส ที่ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 9

สำหรับในแผ่นชั้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ปริมาณกาวมี นัยสำคัญทางสถิติต่อการพองตัวตามความหนา ดังแสดงในตารางผนวกที่ 20 และเมื่อทำการ วิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบระหว่างแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 8 ชั้น 15 ร้อยละ 6 กับแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวที่ผิวร้อยละ 10 ชั้น 15 ร้อยละ 8 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้น 15 ร้อยละ 6 กับแผ่นชั้น ไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้น 15 ร้อยละ 10 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ยิงทางสถิติ เช่นเดียวกับแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาว ที่ชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้น 15 ร้อยละ 8 กับแผ่นที่ ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้น 15 ร้อยละ 10 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ดังตารางผนวกที่ 21) ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอุณหภูมิไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตาราง ผนวกที่ 20)

ตารางที่ 11 การพองตัวตามความหนา

สถานะ	ค่ามาตรฐาน	หน่วย: ร้อยละ	
		ไม้กฤษณาส่วนที่ ไม่เกิดสารกฤษณา	ไม้กฤษณาที่ได้ จากการกลั่น
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% 15 6% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	12	15.96	6.53*
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% 15 6% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	12	14.96	6.11*
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% 15 6% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	12	13.40	5.75*
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% 15 6% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	12	13.92	6.78*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% 15 8% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	12	13.59	4.87*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% 15 8% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	12	8.57*	5.88*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% 15 8% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	12	7.23*	6.00*
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% 15 8% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	12	8.43*	5.59*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% 15 10% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	12	10.62*	2.56*

ตารางที่ 11 (ต่อ)

หน่วย: ร้อยละ

สถานะ	ค่ามาตรฐาน	ไม้กฤษณาส่วนที่	
		ไม่เกิดสารกฤษณา	ไม้กฤษณาที่ได้จากการกลั่น
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไล่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	12	11.27*	3.35*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไล่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	12	7.72*	4.05*
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไล่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	12	7.52*	4.06*

หมายเหตุ * หมายถึงค่าที่ผ่านมาตรฐาน EN

การดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณามีค่าต่ำสุดที่ร้อยละ 7.47 ที่ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 12 ชั้นไล่ ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ให้ค่าต่ำสุดเท่ากับ ร้อยละ 6.33 ที่ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 12 ชั้นไล่ ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 12

เมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณกาวที่ใช้มีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา (ตารางผนวกที่ 10) เมื่อทำการเปรียบเทียบแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 8 ชั้นไล่ ร้อยละ 6 กับแผ่นที่ใช้ปริมาณกาวชั้นผิว ร้อยละ 10 ชั้นไล่ ร้อยละ 8 พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ แผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิว ร้อยละ 8 ชั้นไล่ ร้อยละ 6 กับแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิว ร้อยละ 12 ชั้นไล่ ร้อยละ 10 ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ และแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิว ร้อยละ 10 ชั้นไล่ ร้อยละ 8 กับการใช้ปริมาณกาวที่ใช้ผิว ร้อยละ 12 ชั้นไล่ ร้อยละ 10 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ดังแสดงในตารางผนวกที่ 11) การเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติต่อค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นไม้อัด (ตารางภาคผนวกที่ 10) และเมื่อทำการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดพบว่าแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140 และ 150 องศาเซลเซียสมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140 กับ 160

องศาเซลเซียส แผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140 กับ 180 องศาเซลเซียส ที่ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิ 150 กับ 160 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิ 150 กับ 180 องศาเซลเซียส และแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตที่อุณหภูมิ 160 กับ 180 องศาเซลเซียส ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงในตารางภาคผนวกที่ 12

ในส่วนของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณการมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าการดูดซึมน้ำ (ดังตารางผนวกที่ 22) เมื่อทำการเปรียบเทียบแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นใสร้อยละ 6 กับแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 8 พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนในแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 8 ชั้นใสร้อยละ 6 กับแผ่นที่ใช้กาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นใสร้อยละ 10 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นใสร้อยละ 8 กับการใช้ปริมาณกาวชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นใสร้อยละ 10 ที่พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 29) แต่ในการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าการดูดซึมน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 12 การดูดซึมน้ำ

สถานะ	หน่วย: ร้อยละ	
	ไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา	ไม้กฤษณาที่ได้จากการกลั่น
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ใส่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	28.95	10.43
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ใส่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	25.63	8.96
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ใส่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	23.99	9.35
ปริมาณกาวชั้นผิว 8% ใส่ 6% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	23.56	10.60
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ใส่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	21.87	9.01
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ใส่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	11.55	9.00
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ใส่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	9.79	11.11
ปริมาณกาวชั้นผิว 10% ใส่ 8% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	11.71	10.06
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ใส่ 10% อัดที่อุณหภูมิ 140°C	11.29	6.44

ตารางที่ 12 (ต่อ)

หน่วย: ร้อยละ

สถานะ	ไม้กฤษณาส่วนที่	ไม้กฤษณาที่ได้
	ไม่เกิดสารกฤษณา	จากการกลั่น
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 150 °C	12.61	6.33
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 160 °C	9.44	7.64
ปริมาณกาวชั้นผิว 12% ไม้ 10% อัดที่อุณหภูมิ 180 °C	7.47	7.86

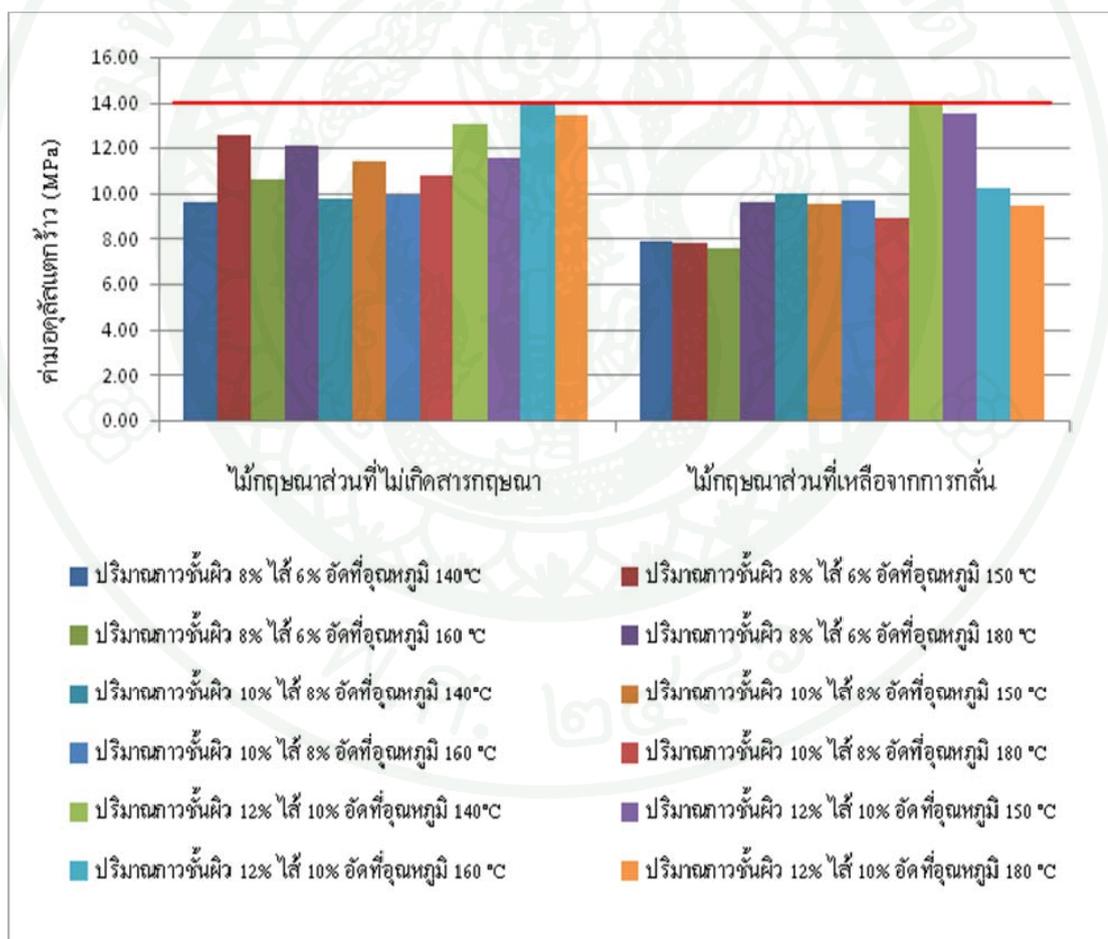
การทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์

ผลการทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในแผ่นชิ้นไม้อัดตามมาตรฐาน EN 120 (1993) พบว่า ในแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 5.51 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแผ่นชิ้นไม้อัดอบแห้ง ส่วนในแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย มีปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ 5.67 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแผ่นชิ้นไม้อัดอบแห้ง ซึ่งจัดอยู่ในชั้นคุณภาพที่ E1 คือ มีปริมาณสารฟอร์มาลดีไฮด์ อยู่ระหว่าง 3-8 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักอบแห้งของแผ่นชิ้นไม้อัด

สรุปและข้อเสนอแนะ

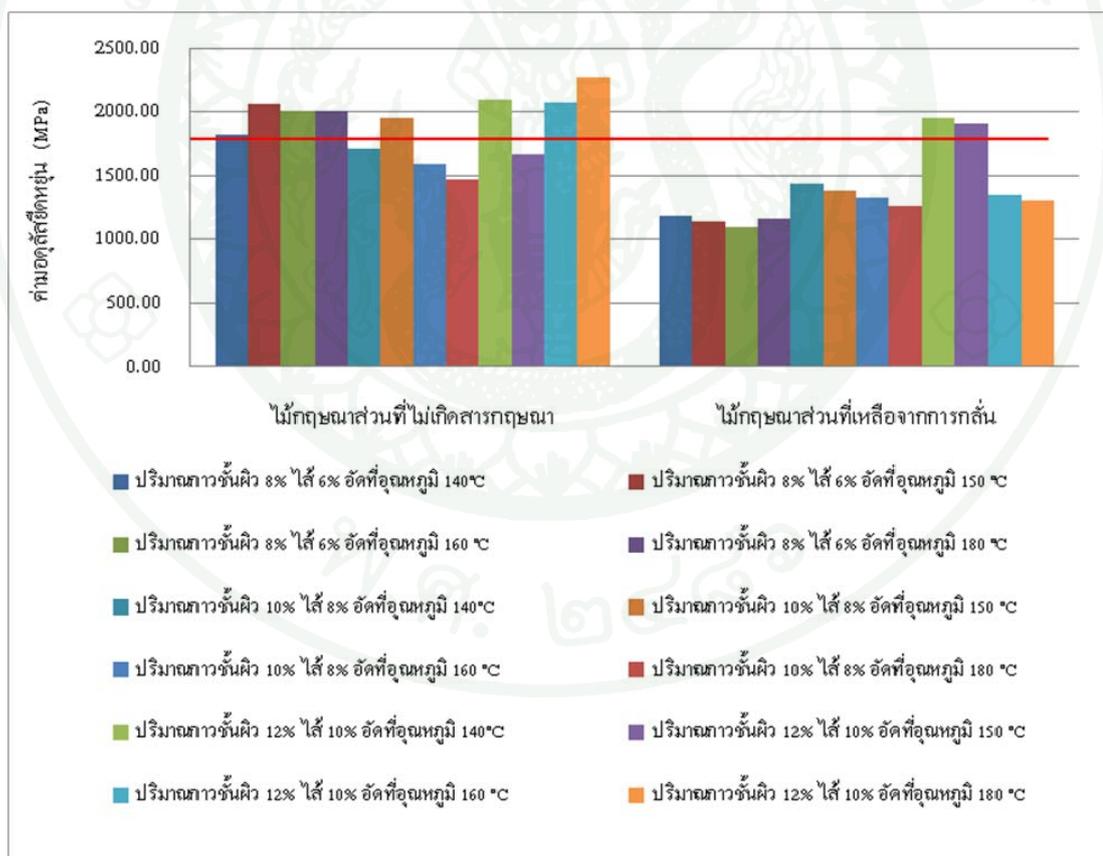
สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา คือ การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดที่ผลิตโดยใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10 ผลิตที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส และสำหรับในแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย สภาวะที่เหมาะสมได้แก่การใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10 ใช้อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส



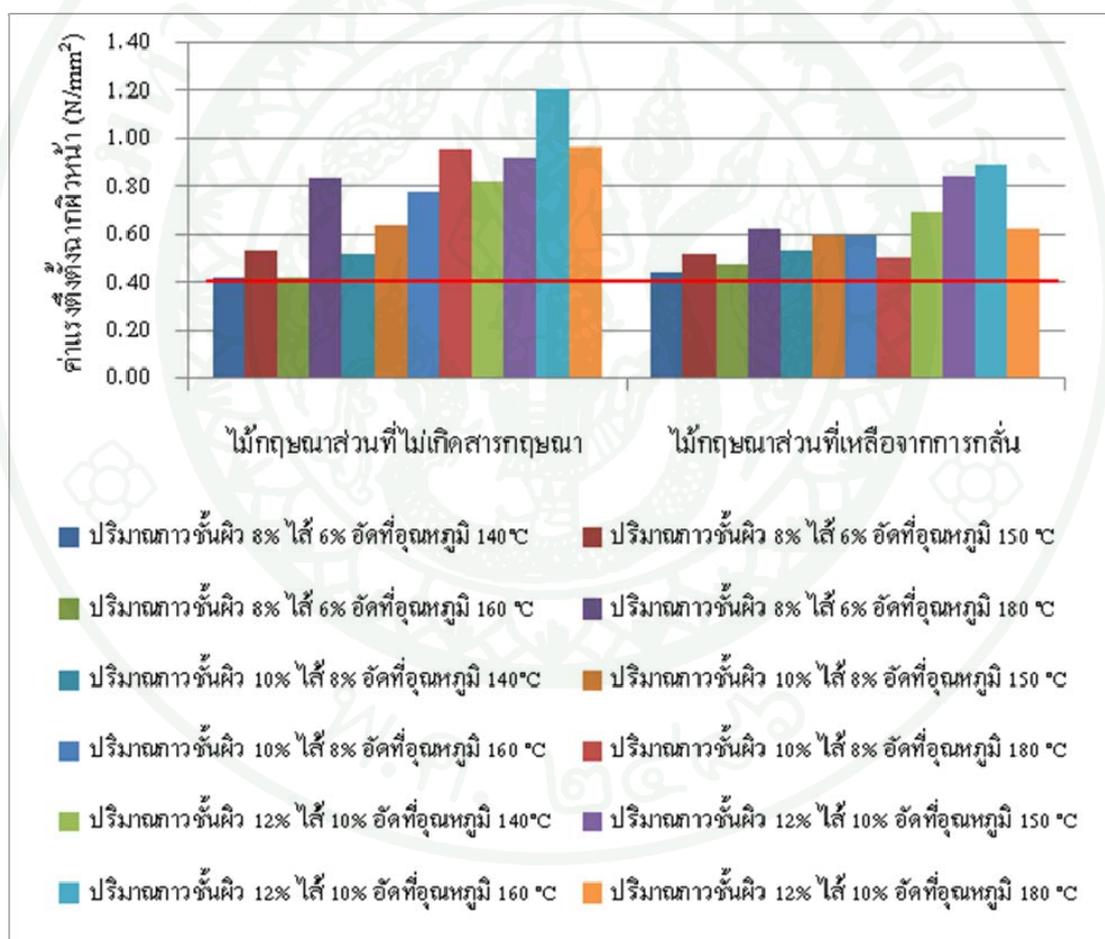
ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบค่ามอดุลัสแตกร้าวของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN

ค่ามอดุลัสแตกร้าว ในแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือของไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณามีค่าสูงสุดเมื่อใช้ปริมาณกาวที่ชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไม้ร้อยละ 10 จากผลการทดสอบทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 1) พบว่า ปริมาณกาวมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ค่ามอดุลัสแตกร้าวเพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวที่เพิ่มขึ้น สำหรับแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ค่ามอดุลัสแตกร้าว มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวที่เพิ่มขึ้น แต่มีค่าลดลงเมื่อผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดด้วยอุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 10 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ashori and Nourbakhsh (2008) ที่ได้ทำการทดลองผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากไม้ *Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis)*, mesquite (*Prosopis juliflora*), saltcedar (*Tamarix stricta*) และ date palm (*Phoenix dactylifera*) ที่ความหนาแน่น 0.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อัดด้วยอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มาลดีไฮด์ร้อยละ 9, 10 และ 11 โดยน้ำหนักอบแห้ง พบว่า ค่าความแข็งแรงของแผ่นชิ้นไม้อัดจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวที่ใช้



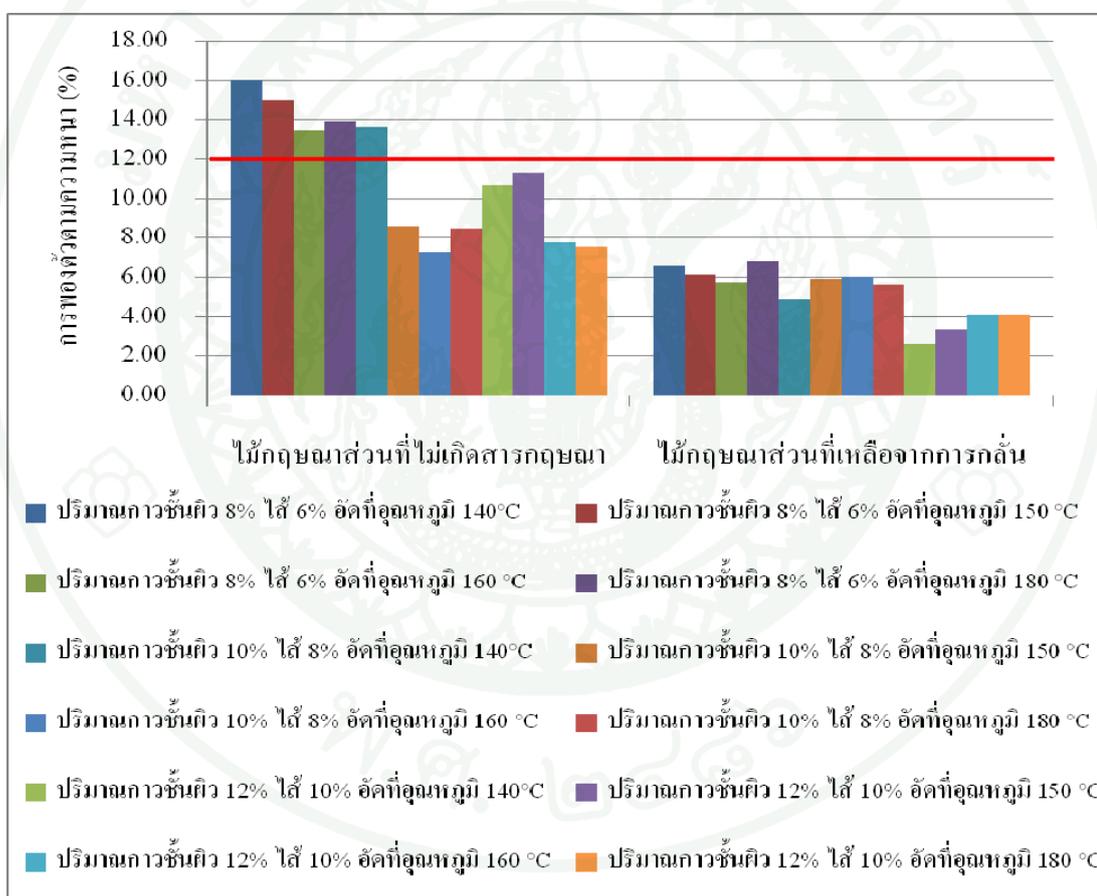
ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบค่ามอดุลัสยึดหยุ่นของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาส่วนใหญ่มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin *et al.* (2008) ที่ได้ทำการทดลองผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากไม้ betel palm (*Areca catechu* Linn.) โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ร้อยละ 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนักอบแห้งทำการอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณกาว ร้อยละ 10 ให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด แต่สำหรับแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 11



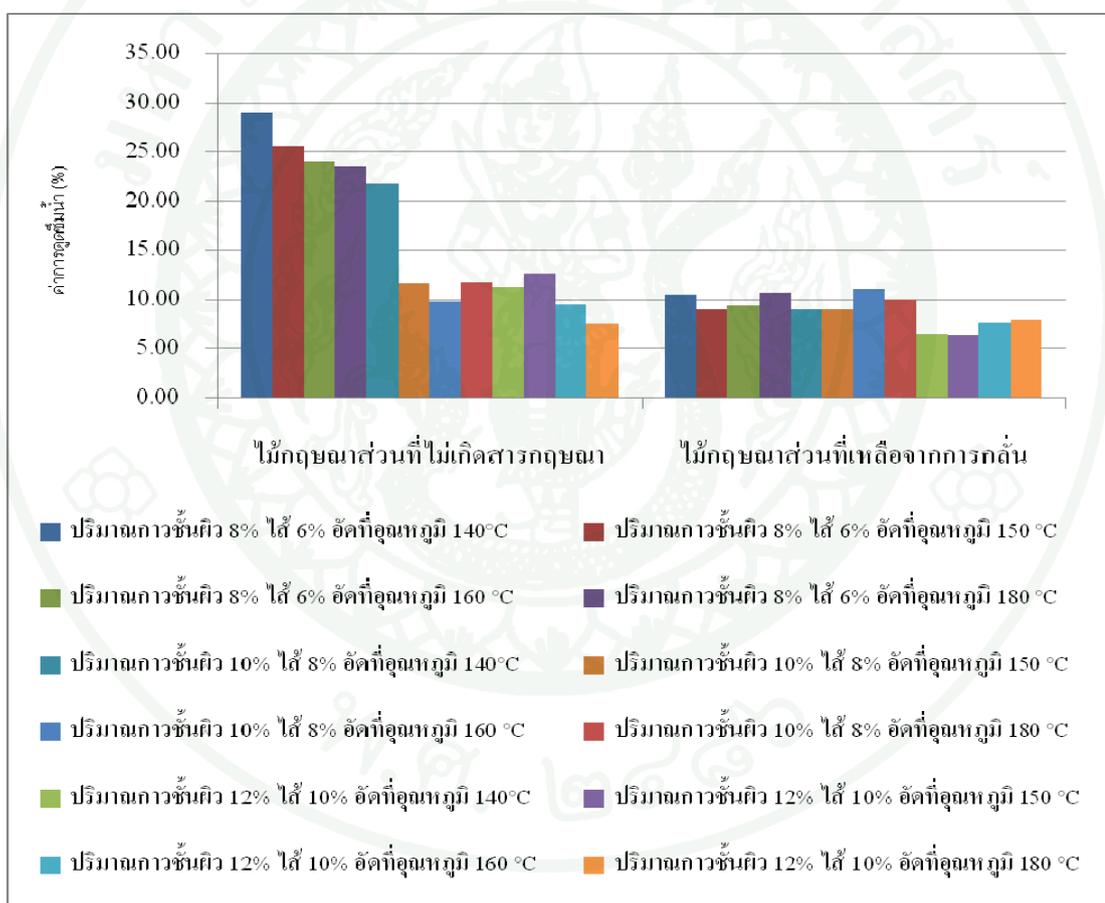
ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN

ในแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย ค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้าเพิ่มขึ้น ตามปริมาณกาวและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่จะลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 12 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากไม้ eggplant (*Solanum melongena*) stalks ที่ความหนาแน่น 0.53, 0.63, 0.73 และ 0.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ร้อยละ 6, 8 และ 10 ที่ชั้นไม้ และร้อยละ 8, 10 และ 12 โดยน้ำหนักที่ชั้นผิว และใช้กาวเมลามินยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ร้อยละ 10 ที่ชั้นผิว และร้อยละ 12 ที่ชั้นไม้ อัดที่อุณหภูมิ 155 ± 5 องศาเซลเซียส พบว่าค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณกาวที่ใช้เพิ่มขึ้น (Guntekin and Karakus , 2007)



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN

การพองตัวของความหนาในแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณามีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกาวและเพิ่มอุณหภูมิ ส่วนในแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณกาว แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 13 สอดคล้องกับผลการทดลองผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจาก kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) stalks ที่ความหนาแน่น 0.60 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยกาวยูเรียฟอรัลดีไฮด์ที่ขึ้นไสร้อยละ 8 และชั้นผิวร้อยละ 10 โดยน้ำหนักอบแห้ง อุณหภูมิ 130 และ 150 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการพองตัวของความหนาลดลงตามปริมาณกาวและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (Kalaycioglu and Nemli, 2006)



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่น เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน EN

ในแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา พบว่า การดูดซึมน้ำ มีค่าลดลงตามปริมาณกาวและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ใช้ในการผลิตแผ่นชั้นไม้อัด สำหรับแผ่นชั้นไม้อัด ที่ผลิตจากเศษเหลือไม้กฤษณาในส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยมีค่าลดลงเมื่อปริมาณกาว ที่ใช้ในการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดเพิ่มขึ้น ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำ ลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จนถึง 160 องศาเซลเซียส ค่าการดูดซึมน้ำ จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 14 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pan *et al.* (2007) ที่ชี้ให้เห็นว่าค่าการดูดซึมน้ำจะมีค่าลดน้อยลงเมื่อเพิ่ม ปริมาณกาวที่ใช้ในการผลิต

ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองค่ามอดูลัสแตกร้าวของแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิด สารกฤษณา ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานและได้ทำการทดลองเพิ่มเติม ด้วยการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดจาก เศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา โดยใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ ในชั้นผิวร้อยละ 12 และ ชั้นไส้ร้อยละ 10 ของน้ำหนักอบแห้งของชั้นไม้ ที่อุณหภูมิ 140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที โดยทำการลดปริมาณพาราฟินแวกซ์เป็นร้อยละ 2 ของน้ำหนักอบแห้งของกาว เพื่อ ทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงกับการผลิตแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักอบแห้งของกาว (ตารางผนวกที่ 35) พบว่า

ปริมาณการใช้พาราฟินแวกซ์และอุณหภูมิที่ใช้ ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว ของแผ่นชั้นไม้อัด (ตารางผนวกที่ 24) ดังนั้นในการเพิ่มค่ามอดูลัสแตกร้าวควรมีการทดลองเพิ่มเติม โดยการผันแปรเวลาในการอัดแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ร้อยละ 5 ให้ค่ามอดูลัส ยืดหยุ่นที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางผนวกที่ 25 และ 26)

แผ่นชั้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักอบแห้งของกาว ให้ค่าแรง ดึงตั้งฉากผิวหน้าที่สูงกว่า และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า อุณหภูมิที่ใช้มีความแตกต่างอย่าง มีนัยสำคัญยิ่ง (ตารางผนวกที่ 28) ปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ใช้ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางผนวกที่ 27)

แผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้พาราฟินแวกซ์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักอบแห้งของกาวให้ค่าการพองตัวตามความหนาที่ต่ำกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ร้อยละ 2 ของน้ำหนักอบแห้งของกาว และเมื่อทำการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณพาราฟินแวกซ์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 29 และ 30) และอุณหภูมิที่ใช้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (ตารางผนวกที่ 29 และ 31)

ปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ใช้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งต่อค่าการดูดซึมน้ำ (ตารางผนวกที่ 32 และ 33) เช่นเดียวกับอุณหภูมิที่ใช้ซึ่งมีผลต่อค่าการดูดซึมน้ำอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่แผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ร้อยละ 5 ให้ค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าแผ่นขึ้นไม้อัดที่ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ร้อยละ 2

ในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือของไม้กฤษณาในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณานั้น ควรมีการปกปิดเปลือกไม้ก่อนนำมาขยี้เป็นชิ้นไม้ เนื่องจากเมื่อนำไปผสมกาวแล้วส่วนเปลือกไม้จะจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้แผ่นขึ้นไม้อัดที่ผลิตออกมาเป็นรอยด่างที่บริเวณผิวหน้าและลดความแข็งแรง และควรทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาทั้งในส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาและส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย เพื่อให้สามารถส่งเสริมการผลิตแผ่นขึ้นไม้อัดให้แก่เกษตรกรผู้ปลูกไม้กฤษณาต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- จงรัก วัชรินทร์รัตน์ และ บุญธิดา ม่วงศรีเมืองดี. 2550. ชนิดไม้กฤษณาและความเป็นไปได้ในการปลูกเพื่อเศรษฐกิจ, ใน ไม้หอม (กฤษณา) มือนาคตติจริงหรือ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2550. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.
- _____. 2550. ชนิดไม้กฤษณาและความเป็นไปได้ในการปลูกเพื่อเศรษฐกิจ, ใน ไม้หอม (กฤษณา) มือนาคตติจริงหรือ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี อ้างถึง Phillips, D. 2003. **Revealing of the Structure of the World Agarwood Markets** (CD Rom). The Rainforest Project. Viet Nam. (First International Agarwood Conference, November 10-15)
- ณัฐวัฒน์ คลังทรัพย์ และ จงรัก วัชรินทร์รัตน์. 2551. สถานการณ์ด้านการปลูกไม้กฤษณาของประเทศไทย, ใน เอกสารประกอบการฝึกอบรม เรื่อง การจัดการไม้กฤษณาเชิงเศรษฐกิจอย่างยั่งยืน วันที่ 3 เมษายน 2551. สถาบันวิจัยวนเกษตรตราด สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิมล เทียงธรรม. 2538. การเพาะเลี้ยงกฤษณาในสภาพปลอดเชื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภาณุเมศวร์ ฐิติสมบูรณ์. 2549. ไม้กฤษณาปลูก ต้นละหมื่น ไร่เป็นล้าน. บริษัท เอ็ม เอ เอช พรินต์ติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- มิชชัย ประชากุล. 2532. ลักษณะทางกายวิภาคของเนื้อไม้ปกติและเนื้อไม้ผิดปกติของต้นกฤษณา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรรณม อุ่นจิตติชัย. 2541. อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นปาร์ติเกิล (แผ่นชิ้นไม้อัด) และกรรมวิธีผลิต. กลุ่มพัฒนาอุตสาหกรรมป่าไม้ ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้, กรมป่าไม้.

วรรณกรรม อุ๋นจิตติชัย. 2549. กาวติดไม้-เคมีน้ำรู้. แหล่งที่มา:

<http://www.forest.go.th/forprod/Tips/default.asp>, 9 พฤศจิกายน 2549.

สมคิด สิริพัฒนดิลก. 2525. ไม้กฤษณา. เอกสารทางวิชาการ เล่มที่ 17 ภาควิชาวิทยาป่าไม้
คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นชิ้น
ไม้อัดชนิดอัดราบ. มอก. 876- 2547.

องอาจ คล้ามไพบูรณ์. 2545. กฤษณาไม้หอม ไม้มหาเศรษฐี สมุนไพรที่แพงที่สุดในโลก.
สนธิทใจ, กรุงเทพฯ.

อรไท ผลดี. 2537. ประโยชน์ของพรรณพืชทางศิลปวัฒนธรรม, น. 491-500. ใน การประชุม
ทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 32 สาขาเกษตรศาสตร์ อุตสาหกรรม
เกษตร เศรษฐศาสตร์ บริหารธุรกิจ ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ การจัดการทรัพยากรและ
สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

อภิชาติ รัตนวิระกุล. 2546. กฤษณา. แหล่งที่มา: [http://www.dnp.go.th/Pattani_botany/พันธุ์ไม้/
ไม้เอนกประสงค์/กฤษณา/กฤษณา.htm](http://www.dnp.go.th/Pattani_botany/พันธุ์ไม้/ไม้เอนกประสงค์/กฤษณา/กฤษณา.htm), 15 พฤศจิกายน 2549.

Anonymous. 2007a. **Aquilaria malaccensis**. Available Source: [http://www.worldagroforestry.
org/sea/Products/AFDbases/wd/asps/DisplayDetail.asp?SpecID=299](http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/wd/asps/DisplayDetail.asp?SpecID=299), December 10,
2007.

_____. 2007b. **Juniperus virginiana**. Available Source: [http://www.worldagroforestry.
org/sea/Products/AFDbases/wd/asps/DisplayDetail.asp?SpecID=1881](http://www.worldagroforestry.org/sea/Products/AFDbases/wd/asps/DisplayDetail.asp?SpecID=1881), November 25,
2007.

Ashori, A. and A. Nourbakhsh. 2008. Effect of press cycle time and resin content on physical and mechanical properties of particleboard panels made from the underutilized low-quality raw materials. **Industrial Crops and Products** (28): 225-230.

Colak, S., G. Colakoglu, I. Aydin and H. Kalaycioglu. 2007. Effects of steaming process on some properties of eucalyptus particleboard bonded with UF and MUF adhesives. **Building and Environment** 42 (1): 304-309.

European Standard. 1991. **Wood-based panels-Determination of formaldehyde content-Extraction method called the perforator method.** EN 120: 1991.

_____. 1993a. **Particleboards and fiberboards-Determination of swelling in thickness after immersion in water.** EN 317: 1993.

_____. 1993b. **Particleboards and fiberboards-Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board.** EN 319: 1993.

_____. 1993c. **Wood-based panels-Determination of density.** EN 323: 1993.

_____. 1993d. **Wood-based panels-Determination of dimensions of boards Part 1: Determination of thickness, width and length.** EN 324-1: 1993.

_____. 1993e. **Wood-based panels-Determination of elasticity in bending and of bending strength.** EN 310: 1993.

_____. 1993f. **Wood-based panels-Determination of moisture content.** EN 322: 1993.

_____. 1993g. **Wood-based panels Sampling, cutting and inspection Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results.** EN 326-1: 1993.

- European Standard. 1996. **Requirements for board for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions.** EN 312-3: 1996.
- Forestry and Forest Products Research Institute. 1998. **Aquilaria spp.** Available Source: <http://cs.ffpri.affrc.go.jp/fdb/esawoodq/trings/wood/w-114.html>, November 2, 2006.
- Guntekin, E. and B. Karakus. 2008. Feasibility of using eggplant (*Solanum melongena*) stalks in the production of experimental particleboard. **Industrial Crops and Products** (27): 354-358.
- Hiziroglu, S. and R. Holcomb. 2005. Some of the properties of three-layer particleboard made from eastern redcedar. **Building and Environment** (40): 719-723.
- Japanese Industrial Standard. 2003. **Particleboards.** A 5908: 2003.
- Kalaycioglu, H. and G. Nemli. 2006. Producing composite particleboard from kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) stalks. **Industrial Crops and Products** (24): 177-180.
- Lin, C. J., S. Hiziroglu, S. M. Kan and H. W. Lai. 2008. Manufacturing particleboard panels from betel palm (*Areca catechu* Linn.). **Journal of materials processing technology** (97): 445-448.
- Nemli, G., E.D. Gezer, S. Yildiz, A. Temiz and A. Aydim. 2003. Suitability of kiwi (*Actinidia sinensis* Planch.) prunings for particleboard manufacturing. **Industrial Crops and Products** (17): 39-46. Cited G.A. Ntalos and A.H. Grigoriou. 2002. Characterization and utilisation of Wine prunings as a wood substitute for particleboard production. **Industrial Crops and Products** (16): 59-68.

- Nemli, G., E.D. Gezer, S. Yildiz, A. Temiz and A. Aydim. 2006. Evaluation of the mechanical, physical properties and decay resistance of particleboard made from particles impregnated with *Pinus brutia* bark extractives. **Bioresource Technology** (97): 2059-2064.
- _____, S. Aydın and E. Zekovic. 2007. Evaluation of some of the properties of particleboard as function of manufacturing parameters. **Materials & Design** (28): 1169-1176.
- Pan, Z., Y. Zheng, R. Zhang and B. M. Jenkins. 2007. Physical properties of thin particleboard made from saline eucalyptus. **Industrial Crops and Products** (26): 185-194.
- Que, Z., T. Furuno, S. Kato and Y. Nishino. 2007. Effects of urea-formaldehyde resin mole ratio on the properties of particleboard. **Building and Environment** 42 (3): 1257-1263.



ภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิ จากเศษเหลือจากไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	71.638	11	6.513	1.519	0.189
resin	40.068	2	20.034	4.673	0.019*
temperature	8.483	3	2.828	0.660	0.585 ^{ns}
resin * temperature	23.087	6	3.848	0.897	0.513 ^{ns}
Error	102.903	24	4.288		
Corrected Total	174.542				

R-Square = 0.140

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นชิ้น ไม้้อคจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่ามอดูลัสแตกร้าว (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	11.2190	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	10.4686	12	a
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	12.9853	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	1871400.606	11	170127.328	1.300	0.283
resin	813128.452	2	406564.226	3.108	0.063 ^{ns}
temperature	7172.291	3	2390.764	0.018	0.997 ^{ns}
resin * temperature	1051099.863	6	175183.311	1.339	0.279 ^{ns}
Error	3139669.600	24	130819.567		
Corrected Total	5011070.205	35			

R-Square = 0.373

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าแรงดึงตั้งจากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	2.002	11	0.182	14.018	0.000
resin	1.086	2	0.543	41.845	0.000**
temperature	0.553	3	0.184	14.190	0.000**
resin * temperature	0.363	6	0.060	4.656	0.003**
Error	0.312	24	0.013		
Corrected Total	2.313	35			

R-Square = 0.865

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่าแรงดึงตั้งฉาก (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	0.5575	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	0.7250	12	b
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	0.9800	12	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 6 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

อุณหภูมิ (°C)	ค่าแรงดึงตั้งฉาก (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
140	0.5889	9	a
150	0.7000	9	b
160	0.8044	9	b
180	0.9233	9	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	332.779	11	30.253	31.779	0.000
resin	215.768	2	107.884	113.326	0.000**
temperature	85.603	3	28.534	29.974	0.000**
resin * temperature	31.408	6	5.235	5.499	0.001**
Error	22.847	24	0.952		
Corrected Total	355.626	35			

R-Square = 0.936

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 8 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่าการพองตัวตามความหนา (%)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	14.5600	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	9.4542	12	b
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	9.2833	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 9 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

อุณหภูมิ (°C)	ค่าการพองตัวตามความหนา (%)	N	Duncan Grouping
140	13.3889	9	a
150	11.5989	9	b
160	9.4511	9	c
180	9.9578	9	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณา

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	1917.767	11	174.342	25.562	0.000
resin	1546.698	2	773.349	113.389	0.000**
temperature	244.325	3	81.442	11.941	0.000**
resin * temperature	126.744	6	21.124	3.097	0.022*
Error	163.687	24			
Corrected Total	2081.454	35			

R-Square = 0.921

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	25.5317	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	13.7300	12	b
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	10.2033	12	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 12 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

อุณหภูมิ (°C)	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	N	Duncan Grouping
140	20.7033	9	a
150	16.5989	9	b
160	14.4078	9	b
180	14.2433	9	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	137.159	11	12.469	4.444	0.001
resin	79.446	2	39.723	14.159	0.000**
temperature	14.444	3	4.815	1.716	0.190 ^{ns}
resin * temperature	43.269	6	7.211	2.570	0.046*
Error	67.332	24	2.806		
Corrected Total	204.491	35			

R-Square = 0.671

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 14 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นชั้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย จากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่ามอดูลัสแตกร้าว (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	8.2073	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	9.5408	12	a
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	11.8061	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	2618285.292	11	238025.936	5.858	0.000
resin	1435248.916	2	717624.458	17.662	0.000**
temperature	584747.681	3	194915.894	4.797	0.009**
resin * temperature	598288.694	6	99714.782	2.454	0.054 ^{ns}
Error	975152.610	24	40631.359		
Corrected Total	3593437.902	35			

R-Square = 0.729

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 16 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	1142.8083	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	1350.7958	12	b
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	1630.1583	12	c

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 17 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากปัจจัยอุณหภูมิ โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

อุณหภูมิ (°C)	ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
140	1524.0556	9	a
150	1477.8111	9	a
160	1253.2222	9	b
180	1243.2611	9	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	0.645	11	0.059	3.884	0.003
resin	0.424	2	13.616	14.055	0.000**
temperature	0.067	3	0.212	1.476	0.246 ^{ns}
resin * temperature	0.154	6	0.022	1.697	0.165 ^{ns}
Error	0.362	24	0.026		
Corrected Total	1.007	35	0.015		

R-Square = 0.640

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 19 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่าแรงดึงตั้งฉาก (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	0.5183	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	0.5600	12	a
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	0.7667	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	59.163	11	5.378	7.540	0.000
resin	50.398	2	25.199	35.323	0.000**
temperature	3.302	3	1.101	1.543	0.229 ^{ns}
resin * temperature	5.464	6	0.911	1.276	0.305 ^{ns}
Error	17.121	24	0.713		
Corrected Total	76.284	35			

R-Square = 0.936

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 21 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่าการพองตัวตามความหนา (%)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	6.2925	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	5.5858	12	a
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	3.5050	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณกาวและอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหย

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	81.017	11	7.365	2.406	0.035
resin	60.436	2	30.218	9.872	0.001**
temperature	11.729	3	3.910	1.277	0.305 ^{ns}
resin * temperature	8.852	6	1.475	0.482	0.815 ^{††}
Error	73.463	24	3.061		
Corrected Total	154.481	35			

R-Square = 0.524

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 23 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันหอมระเหยจากปัจจัยปริมาณกาว โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณกาว	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)	N	Duncan Grouping
ชั้นผิว 8% ชั้นไส้ 6%	9.8350	12	a
ชั้นผิว 10% ชั้นไส้ 8%	9.7950	12	a
ชั้นผิว 12% ชั้นไส้ 10%	7.0667	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 24 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแว็กซ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่ามอดุลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	23.768	7	3.395	1.219	0.348
wax	0.209	1	0.209	0.075	0.787 ^{ns}
temperature	6.015	3	2.005	0.720	0.555 ^{ns}
wax * temperature	17.543	3	5.848	2.099	0.141 ^{ns}
Error	44.568	16	2.786		
Corrected Total	68.336	23			

R-Square = 0.348

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดรีดต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	4290354.868	7	612907.838	11.942	0.000
wax	3808066.667	1	3808066.667	74.195	0.000**
temperature	36052.071	3	12017.357	0.234	0.871 ^{ns}
wax * temperature	446236.130	3	148745.377	2.898	0.067 ^{ns}
Error	821201.604	16	51325.100		
Corrected Total	5111556.472	23			

R-Square = 0.839

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
 ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 26 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของ แผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณ พาราฟินแวกซ์ที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 12 ชั้นไส้ร้อยละ 10 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณพาราฟินแวกซ์	ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
ร้อยละ 2	1098.5975	12	a
ร้อยละ 5	1895.2642	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 27 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	0.806	7	0.115	4.930	0.004
wax	0.012	1	0.012	0.512	0.485 ^{ns}
temperature	0.513	3	0.171	7.325	0.003**
wax * temperature	0.281	3	0.094	4.008	0.026*
Error	0.374	16	0.023		
Corrected Total	1.179	23			

R-Square = 0.685

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

* มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 28 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (internal bonding) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

อุณหภูมิ (°C)	ค่าแรงดึงตั้งฉากผิวหน้า (N/mm ²)	N	Duncan Grouping
140	0.5224	6	a
150	0.6750	6	ac
160	0.9033	6	b
180	0.8267	6	bc

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแว็กซ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการพองตัวของความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	1985.352	7	283622	42.590	0.000
wax	1791.245	1	1791.245	268.982	0.000**
temperature	145.840	3	48.613	7.300	0.000**
wax * temperature	48.267	3	16.089	2.416	0.104 ^{ns}
Error	106.550	16	6.659		
Corrected Total	2091.901	23			

R-Square = 0.949

หมายเหตุ ^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 30 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณพาราฟินแวกซ์	ค่าการพองตัวตามความหนา (%)	N	Duncan Grouping
ร้อยละ 2	28.3775	12	a
ร้อยละ 5	11.0992	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการพองตัวตามความหนา (thickness swelling) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

อุณหภูมิ (°C)	ค่าการพองตัวตามความหนา (%)	N	Duncan Grouping
140	23.4200	6	a
150	19.2683	6	b
160	16.4933	6	bc
180	19.7717	6	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 32 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติถึงอิทธิพลของปริมาณพาราฟินแวกซ์ และอุณหภูมิที่ใช้ในการอัดร้อนต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้ ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12

Source	SS	df	MS	F	Sig.
Corrected Model	5846.234	7	835.176	73.312	0.000
wax	5239.511	1	5239.511	459.927	0.000**
temperature	426.974	3	142.325	12.493	0.000**
wax * temperature	179.750	3	59.917	5.26	0.010**
Error	182.273	16	11.392		
Corrected Total	6028.507	23			

R-Square = 0.970

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง

ตารางผนวกที่ 33 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นขึ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยปริมาณพาราฟินแวกซ์ที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ปริมาณพาราฟินแวกซ์	การดูดซึมน้ำ (%)	N	Duncan Grouping
ร้อยละ 2	46.0392	12	a
ร้อยละ 5	16.4883	12	b

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 34 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยต่อค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาจากปัจจัยอุณหภูมิที่ใช้ปริมาณกาวในชั้นผิวร้อยละ 10 ชั้นไส้ร้อยละ 12 โดยวิธี Duncan's Multiple Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

อุณหภูมิ (°C)	การดูดซึมน้ำ (%)	N	Duncan Grouping
140	37.8183	6	a
150	31.9317	6	b
160	26.7383	6	cd
180	28.5667	6	bd

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรเหมือนกัน หมายถึง มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ตารางผนวกที่ 35 การเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือไม้กฤษณาส่วนที่ไม่เกิดสารกฤษณาที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในชั้นผิวร้อยละ 10 และร้อยละ 12 ของน้ำหนักอบแห้ง ใช้ปริมาณพาราฟินแวกซ์ร้อยละ 2 และ 5 ของน้ำหนักอบแห้งของกาว อุณหภูมิ 140, 150, 160 และ 180 องศาเซลเซียส

ปริมาณพาราฟินแวกซ์ (%)	สถานะ	ค่าความแข็งแรง				
		MOR (N/mm ²)	MOE (N/mm ²)	IB (N/mm ²)	TS (%)	WA (%)
2	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 140 °C	10.363	1062.738	0.581	32.066	49.448
	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 150 °C	12.229	951.507	0.685	26.511	44.871
	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 160 °C	12.753	1199.048	0.956	24.434	42.543
	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 180 °C	10.144	1148.654	0.618	30.706	47.292
5	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 140 °C	13.054	2095.189	0.823	10.623	11.290
	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 150 °C	11.533	1668.902	0.920	11.270	12.613
	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 160 °C	13.938	2073.316	1.210	7.720	9.443
	กาวชั้นผิว 12% ไส้ 10% T 180 °C	13.416	2266.533	0.967	7.520	7.467

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นางสาวอิสริย์ ฮาวป็นใจ
เกิดวันที่	21 กันยายน 2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-