การพัฒนาแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงเพื่อเป็นผนังตกแต่งภายในอาคาร

วนารัตน์ กรอิสรานุกูล[1*] นวลวรรณ ทวยเจริญ [2] และ สุญาดา โสรธร [3]

[1*3] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
[2] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
e-mail: kwanarat@gmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงเพื่อใช้เป็นวัสดุผนังภายในอาคาร ด้วยกระบวนการอัดร้อนโดยใช้ชิ้นส่วนแกนกัญชงที่มีขนาดต่างกัน 2 ขนาดและตัวประสานที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ 1) กาวยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ 2) กาวไร้สารฟอมัลดีไฮด์หรืออีซีโร่ 3) เชลแลกจากครั่ง อัดขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้ปาร์ติเกิลขนาด 400 x 400 มิลลิเมตร ความหนา 20 มิลลิเมตร นำชิ้นงานทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ มอก. 876 – 2547 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพพบว่า แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงจากตัวประสานทั้ง 3 ชนิด มีค่าความหนาแน่นและความชื้นอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลพบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงโดยใช้ครั่งเป็นวัสดุประสานมีคุณสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นชิ้นไม้อัดมากที่สุด แผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสานทั้ง 3 ชนิดมีคุณสมบัติเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนได้ตามเกณฑ์ฉนวนทั่วไป มีค่าการนำความร้อนที่ 0.044 W/mK และ 0.0919 W/mK และ 0.941 W/mK ตามลำดับ
คำสำคัญ: ไม้อัดกัญชง, ไม้ปาร์ติเกิล, แผ่นผนังตกแต่งภายใน

Abstract

This research is focused on the study of how to develop interior wall panel from hemp woody core. Three types of adhesives; Urea-formaldehyde adhesive (UF), Isocyanate-based adhesive (E-Zero) and Shellac (lac) were mixed with hemp material to create sample hemp boards using hydraulic hot press machine. The physical and mechanical properties of the panels: density, moisture content, percentage of swelling, modulus of rupture and elasticity, and internal bond strength were determined according to the specifications of Thai Industrial Standard (TIS) 876 – 2547) Then, thermal insulation properties of the boards were tested. Results indicated that hemp board with shellac adhesive meet most of the requirements as per Thailand industrial Standard specification. Some of the properties i.e. density, moisture content, and internal bond of hemp boards with all three types of adhesives were found higher than the required value of Thailand Standard specification (876 – 2547). Test results on thermal and physical properties showed that the hemp boards with UF and E-Zero binding exhibited a considerably good thermal insulation.
Keywords: Hemp board, Particle board, Interior wall panel

1. บทนำ

กัญชง (Hemp) เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของโลกเนื่องจากเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย มีการปลูกเพื่อใช้ทำเส้นใยและสกัดเป็นยารักษาโรค ปัจจุบันกัญชงได้ถูกนำมาแปรรูปเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างมาก เส้นใยของกัญชงเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความยืดหยุ่นสูง แข็งแรงและทนทาน สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จากเส้นใยได้กว่า 5,000 ชนิด และยังสามารถใช้ประโยชน์ในการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้เป็นจำนวนมาก เช่น ผลิตเป็นเยื่อกระดาษ เป็นส่วนผสมของดินระเบิด อัดเป็นเสื้อเกราะ พัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้าง แผ่นฉนวนกันความร้อน กันเสียง เป็นส่วนผสมของคอนกรีตและแผ่นผนัง นอกจากนี้กัญชงยังมีคุณสมบัติทางยาสามารถใช้เป็นวัสดุดิบในอุตสาหกรรมอาหารและยารวมถึงเครื่องสำอางค์ ในเมล็ดกัญชงยังมีน้ำมันสูงถึง 30% สามารถใช้ได้ทั้งเป็นอาหารและน้ำมันเชื้อเพลิง อย่างไรก็ตามองค์ประกอบทางธรรมชาติของกัญชงที่มีคุณสมบัติเป็นสารเสพติด ทำให้หลายๆประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยไม่อนุญาตให้มีการปลูกกัญชงทั้งในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม ประโยชน์ที่หลากหลายและมูลค่าทางเศรษฐกิจของกัญชงทำให้รัฐบาลไทยเล็งเห็นความสำคัญของการส่งเสริมให้กัญชงเป็นพืชเศรษฐกิจทดแทนพืชที่ให้ผลตอบแทนต่ำกว่า จึงมีนโยบายที่จะอนุญาตการปลูกกัญชงเป็นพืชเศรษฐกิจ รวมถึงส่งเสริมให้นำกัญชงมาใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิตให้สูงขึ้น จึงคาดว่าจะมีปริมาณแกนต้นกัญชงที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตเส้นใยจำนวนมหาศาลที่สามารถนำมาใช้ในอุตสาหรรมการก่อสร้างได้ การศึกษาวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำเศษวัสดุจากลำต้นและเส้นใยของกัญชงมาผลิตเป็นวัสดุทดแทนไม้ [1, 2, 3, 4] และยังพบว่าวัสดุอาคารจากเส้นใยและลำต้นกัญชงมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนและดูดซับเสียง [5, 6] การศึกษาวิจัยกัญชงของมหาวิทยาลัยบริติชโคลัมเบียในประเทศแคนาดาอย่างต่อเนื่องนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่ากัญชงและแฟลกซ์ (Flax) ที่เป็นพืชเส้นใยที่สำคัญกลายจะเป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตไม้ปาร์ติเกิลในอนาคตทั้งในประเทศแคนาดาเองและในประเทศยุโรป [7]

นอกจากเศษวัสดุจากไม้หรือวัสดุธรรมชาติอื่นๆที่เป็นองค์ประกอบหลักของไม้อัดแล้ว ตัวประสานหรือกาวเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตไม้อัดและไม้ปาร์ติเกิล โดยมีสัดส่วนไม่น้อยกว่า 32% ของต้นทุนการผลิต ชนิดของตัวประสานยังมีผลกระทบต่อคุณภาพของไม้อีกด้วย [8] ตัวประสานหลายชนิดได้ถูกนำมาใช้กระบวนการผลิตไม้อัดประเภทต่างๆ เพื่อให้ได้แผ่นไม้ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อลักษณะการใช้งานไม่ว่าจะเป็นภายในหรือภายนอกอาคาร โดยเฉพาะคุณสมบัติในการตอบสนองต่อความชื้นและอุณหภูมิ ตัวประสานหรือกาวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัดในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มที่มีฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นองค์ประกอบสำคัญ เช่น ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์(UF) ฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (PF) และ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (MF) เนื่องจากราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพในการทำให้ไม้อัดมีความแข็งแรง รับแรงเฉือนและต้านทานแรงกดได้ดี ข้อจำกัดสำคัญของไม้อัดที่ใช้กาวกลุ่มฟอร์มัลดีไฮด์คือการปลดปล่อยสารฟอร์มัลดีไฮด์ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยเฉพาะเมื่อมีการนำวัสดุทดแทนไม้ดังกล่าวไปใช้เป็นส่วนประกอบภายในอาคารหรือผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ จึงมีการนำกาวสังเคราะห์ชนิดอื่น เช่น กาวไอโซไซยาเนต (Isocyanate adhesive) ยิบซั่ม (Gypsum) แมกนีเซีย (Magnesia) มาใช้ทดแทนโดยเฉพาะไอโซไซยาเนตที่มีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไม้อัดและวัสดุทดแทนไม้มากขึ้นเนื่องจากมีคุณสมบัติทำให้ไม้มีความแข็งแรงทนทานและไม่มีสารฟอร์มัลดีไฮด์เป็นส่วนประกอบ [9] ข้อจำกัดสำคัญของกาวไอโซไซยาเนตคือมีราคาแพงกว่ากาวในกลุ่มยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ทำให้มีต้นทุนการผลิตไม้อัดที่สูงกว่า นอกจากนี้ยังมีการนำวัสดุธรรมชาติที่มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานที่ดีมาใช้ทดแทนกาวที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น ลิกนิน แทนนิน น้ำมันมะม่วงหิมพานต์ น้ำยางพาราที่เป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติที่ได้จากพืช และไคโตซานที่เป็นโพลิเมอร์ธรรมชาติจำพวกโพลิเอมีน ที่พบมากในเปลือกหรือกระดองของสัตว์จำพวกกุ้ง-ปู [10,11] รวมทั้งเชลแล็ค (shellac) ที่เป็นสารที่ได้จากครั่งและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมวัสดุก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ [12] ครั่ง

มีคุณสมบัติที่หลากหลาย เช่น การซึมผ่านไอน้ำต่ำ สามารถนำมาป้องกันความชื้น จึงนำมาเคลือบเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ การนำความร้อนและการนำไฟฟ้าต่ำ ประมาณ 0.24 วัตต์ต่อองศาสเซลเซียส ทำให้มีความเป็นฉนวนที่ดี ในปัจจุบันความต้องการวัสดุก่อสร้างอาคารและวัสดุทดแทนไม้ที่เป็นมิตรสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มสูงขึ้นต่อเนื่อง ทำให้มีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุทดแทนไม้ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาติ มีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการเป็นวัสดุก่อสร้างอาคารและมีปริมาณวัตถุดิบเพียงพอต่อการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม รวมถึงการใช้ตัวประสานหรือกาวที่มีความปลอดภัยทั้งจากการสังเคราะห์ทางเคมีและกาวจากวัสดุธรรมชาติ (Bio-adhesives) การวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษากระบวนการผลิตแผ่นไม้อัดจากแกนต้นกัญชง โดยนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนชิ้นไม้หรือเศษไม้ในการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่สามารถพัฒนาเป็นแผ่นผนังตกแต่งภายในอาคารได้ โดยให้ความสำคัญกับการพัฒนาคุณสมบัติของไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงให้ได้มาตรฐานอุตสาหกรรมและใช้เทคโนโลยีการผลิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยใช้ตัวประสานจากธรรมชาติหรือสารประกอบทางเคมีที่ลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้บริโภค

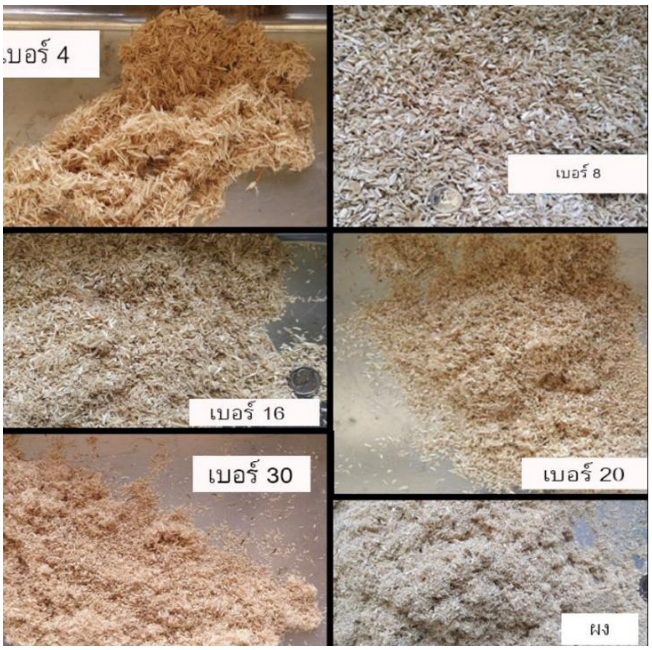
2. ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology) ให้บอกวัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ และวิธีการวิจัย บอกรายละเอียดการศึกษา การวิเคราะห์ และการดำเนินการที่กระชับและชัดเจน

ดำเนินการศึกษาในห้องปฏิบัติการโดยออกแบบการทดลองเพื่อผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชง การจัดการทดลองใช้แกนต้นกัญชงที่เป็นวัสดุเหลือใช้จากการผลิตเส้นใยกัญชงเป็นวัสดุหลัก โดยใช้ตัวประสานที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (UF) ตัวประสานจากครั่ง (Shellac) และกาวอีซีโร่ (Isocyanate) ที่ไม่มีฟอร์มัลดีไฮด์ (non - formaldehyde resins) เมื่อได้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงแล้วจึงทำการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานอุตสาหกรรมโดยมีรายละเอียดการศึกษา ดังนี้

2.1 การเตรียมแกนกัญชง

การเตรียมชิ้นส่วนแกนกัญชงจะต้องบดให้มีขนาดตามที่ต้องการ ก่อนการบดจะนำวัตถุดิบแกนกัญชงไปตากแดดให้แห้งเพื่อไล่ความชื้นและแมลงที่ติดอยู่ออก เนื่องจากแกนกัญชงมีลักษณะช่องรูพรุน ทำให้มีการพองตัวและมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ง่าย หากเก็บไว้เป็นเวลานานทำให้เกิดการดูดความชับความชื้นจากอากาศภายนอกเข้ามามีผลทำให้แกนกัญชงเกิดความชื้นสูงหรืออาจเป็นเชื้อรา ทดลองคัดแยกแกนกัญชงด้วยตระแกรงคัดแยกด้วยมือ เพื่อคัดเลือกขนาดตระแกรงที่เหมาะสมก่อนนำไปเข้าเครื่องคัดแยก ทำให้สามารถคัดเลือกขนาดตระแกรงที่ใช้ในการดำเนินงานได้อย่างเหมาะสม ในขั้นตอนนี้ สามารถคัดแยกขนาดจากการใช้ตระแกรง ร่อนได้ขนาดเศษแกนกัญชง ตั้งแต่ เบอร์ 1, เบอร์ 3/8 ,เบอร์ ¾ ,เบอร์ 4 ,เบอร์ 8, เบอร์ 16, เบอร์ 20, เบอร์ 30 และขนาดที่ละเอียดกว่าเบอร์ 30 ที่มีลักษณะเป็นฝุ่นผง ทำการบดแกนกัญชงให้มีขนาดที่เหมาะสมต่อการนำไปเป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปไม้ปาร์ติเกิล โดยใช้เครื่องย่อย SEMCO ขนาด 10 แรงม้า จะทำให้ได้ชิ้นส่วนแกนกัญชงที่สามารถผ่านช่องตะแกรงขนาด 2x2 มิลลิเมตร(เบอร์ 16) ขนาด 1x1 มิลลิเมตร (เบอร์ 20) และขนาด 0.5x0.5 มิลลิเมตร (เบอร์ 30) ในปริมาณมากตามลำดับ หลังจากนั้นนำไปเข้าเครื่องคัดแยกขนาด (Sieve Analysis) 2 ขนาด ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เครื่องคัดแยกขนาดใหญ่ คือ เครื่องคัดแยก Humbold รุ่น 7300 H 4295 สามารถตักปริมาณของเศษกัญชง ได้ครั้งละ 250 กรัม ใช้เวลาในการเขย่าเพื่อคัดแยกครั้งละ 3 นาที ส่วนเครื่องคัดแยกขนาดขนาดเล็กนั้นใช้เมื่อต้องการขนาดเบอร์ 20 เบอร์ 30 หรือขนาดที่มีลักษณะเป็นผง หรือถ้าต้องการความละเอียดของเศษกัญชงก็สามารถใช้เครื่องนี้ในการคัดแยกได้ ดังแสดงในภาพที่ 1 ระยะเวลาในการเขย่าเพื่อคัดแยกใช้เวลาครั้งละ 3 นาที นำชิ้นส่วนแกนกัญชงที่ผ่านการคัดแยกบรรจุใส่ถุงกระสอบตามปริมาณที่กำหนดในการขึ้นรูปแผ่นไม้ในลำดับถัดไป



ภาพที่ 1 การบดแกนกัญชงและคัดแยกขนาดแกนกัญชงโดยใช้เครื่องคัดแยกขนาดเล็ก

2.2 การเตรียมส่วนผสมไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชง

เตรียมส่วนผสมเพื่อทำการอัดแผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชง โดยนำชิ้นส่วนของแกนกัญชงที่ผ่านการบดและคัดขนาด มาผสมกับตัวประสานทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (UF) ตัวประสานจากครั่ง (Shellac) และกาวอีซีโร่ (Isocyanate) โดยจัดการทดลองออกเป็น 3 ชุด คือ 1) ตัวประสานกาวยูเรีย-ฟอมัลดีไฮด์ 13 % และตัวทำละลาย 1% 2) ตัวประสานจากครั่ง 26 % และตัวทำละลายคือ แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 1 % และ 3) ตัวประสานกาว อีซีโร่ 20% และตัวเร่งแข็ง 1% โดยการขึ้นรูปไม้อัดแต่ละชุด จะทำการขึ้นรูปโดยใช้ขนาดแกนกัญชงเบอร์ 16 ที่เป็นชิ้นส่วนแกนกัญชงที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 2x2 มิลลิเมตร จากการทดสอบเบื้องพบว่าเป็นขนาดที่มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชง การขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงมีปัจจัยควบคุม ดังนี้

- ความหนาแน่นของแผ่นผนัง 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ขนาดของแผ่นผนัง 400x400x20 มิลลิเมตร
- ความชื้นชิ้นกัญชงก่อนผสมกาว ร้อยละ 5
- แรงดันในการอัด
- ระยะเวลาในการอัดร้อน 12-15 นาที

2.3 การดำเนินการอัดร้อนแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชง

1) ผสมเศษแกนกัญชงที่เตรียมไว้กับตัวประสานทั้ง 3 ชนิดตามสัดส่วนที่กำหนด โดยผสมผ่านเครื่องผสมกาวและใช้เครื่องพ่นกาว พ่นจากซ้ายไปขวา จนกว่าปริมาณกาวตามที่กำหนดไว้หมด จากนั้นนำเศษแกนกัญชงที่ผสมกาวแล้วมาขึ้นรูปเป็นแผ่นให้ได้ขนาด 400x400 มิลลิเมตร โดยค่อยๆ ใช้มือโรยให้ได้แนวระนาบไม่ควรเท เพราะจะทำให้การอัดแผ่นไม่สม่ำเสมอ จากนั้นทำการยกแผ่นขึ้นรูปออก โดยทั้ง 2 ด้านของการขึ้นรูปแผ่นนั้นจะมีแผ่นหลักที่มีความหนา 20 มิลลิเมตร วางขนาบไว้ด้านข้างเพื่อเป็นการกำหนดขนาดของแผ่น ทำการอัดร้อนด้วยเครื่องอัดร้อน กำหนดแรงดัน อุณหภูมิและเวลา โดยกำหนดเวลาที่ 12 นาทีและความร้อน

ตั้งแต่ 110 องศาเซลเซียส ถึง 150 องศาเซลเซียส และอัดโดยไม่เปิดเครื่องทำความร้อน 3 นาที เพื่อทำให้แผ่นติดกันสนิท ยกแผ่นที่ต้องการอัดขึ้นด้วยเครื่อง เมื่อครบกำหนดเวลา จึงเอาออกและปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลา 3-7 วัน เพื่อให้แผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงคงรูป นำมาตัดแต่งขอบ ก่อนนำไปทำการทดสอบ

2) การปรับสภาพชิ้นทดสอบ โดยการนำแผ่นชิ้นทดสอบที่ได้ไปปรับสภาวะที่อุณหภูมิ(20±2) องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ (65±5) % จนมีมวลคงที่ คือ มวลของชิ้นทดสอบที่ชั่ง 2 ครั้ง ห่างกัน 24 ชั่วโมง ต่างกันไม่เกิน 0.1 % แล้วทดสอบทันทีที่พ้นจากการปรับสภาวะ ส่วนชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบความหนาแน่นและปริมาณความชื้นไม่ต้องปรับสภาวะ

2.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกล

นำแผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ การทดสอบความหนาแน่น ความชื้น การพองตัวและความหนา การทดสอบความแข็งแรงเชิงกล ได้แก่ การทดสอบความต้านทานแรงดัด มอดุลัสยืดหยุ่น และทดสอบความยึดแน่นของผิวหน้าโดยใช้เครื่องมือและวิธีการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2

2.4.1 การทดสอบความหนาแน่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อทดสอบความหนาแน่นขนาด 50x50 มิลลิเมตร ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์เป็นตัววัดหรือเครื่องมือที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร ซึ่งมีส่วนของแป้นวัดเรียบและขนานกัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ถึง 20 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นชิ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร จากนั้นใช้เวอร์เนียร์แคลิปเปอร์หรือเครื่องมือวัดอื่นหรือเทียบเท่า อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร วัดความกว้างและยาวของชิ้นทดสอบ โดยวางเครื่องมือทำมุมกับแนวระนาบของชิ้นทดสอบ ประมาณ 45 องศา คำนวณหาค่าความหนาแน่น จากสมการ ความหนาแน่นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

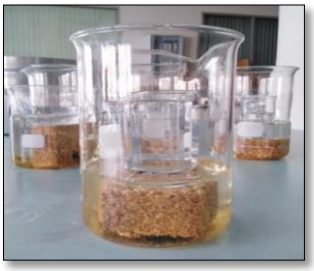
เมื่อ

$$\rho = \frac{m}{V} \times 10^6 \quad (1)$$

ρ = ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
m = มวลของชิ้นทดสอบ (กรัม)
v = ปริมาตรของชิ้นทดสอบ (ลูกบาศก์มิลลิเมตร)

ตารางที่ 2 เครื่องมือและวิธีการทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิล

การทดสอบ	รายละเอียดการทดสอบ
• การนำชิ้นไม้อัดจากแกนกัญชงเข้าตู้อบ เพื่อหาปริมาณความชื้น	

• การทดสอบเพื่อหาค่าพองตัวตามความหนา	
• การทดสอบความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นและการตัดชิ้นไม้เพื่อเตรียมการทดสอบ	
• การทดสอบแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	
• การทดสอบความเป็นฉนวนกันความร้อน	

2.4.2 การทดสอบความชื้น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อวัดความชื้นขนาด 50x50 มิลลิเมตร ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอลที่มีความละเอียดถึง 0.01 g. กำหนดให้เป็นมวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ อบชิ้นทดสอบในตู้อบที่อุณหภูมิ (103 ± 2) °C จนได้มวลคงที่ คือ มวลของชิ้นทดสอบ เมื่อชั่ง 2 ครั้งที่เวลาห่างหัน 6 ชั่วโมง ต้องไม่แตกต่างกันเกิน 0.1 % ของมวลชิ้นทดสอบ จากนั้นปล่อยให้เย็น ชั่งชิ้นทดสอบเป็นมวลของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง คำนวณหาค่าปริมาณความชื้นจากมวลก่อนและหลังการอบของชิ้นทดสอบจากสมการ

เมื่อ $$\text{Moisture content } (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

m_1 = มวลของชิ้นทดสอบก่อนอบ (กรัม)

m_2 = มวลของชิ้นทดสอบหลังอบแห้ง (กรัม)

2.4.3 การทดสอบการพองตัวตามความหนา

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 เพื่อวัดความชื้นขนาด 50x50 มิลลิเมตร ทำการชั่งชิ้นทดสอบด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล วัดความหนาโดยใช้ไมโครมิเตอร์ที่สามารถวัดความหนาได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิเมตร วัดที่บริเวณกึ่งกลางของขอบแผ่นชิ้นไม้ทั้ง 4 ด้าน และให้ลึกเข้าไปจากขอบประมาณ 25 มิลลิเมตร แล้วทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่วัดไว้ ซึ่งเป็นความหนาก่อนแช่น้ำ แช่ชิ้นทดสอบในน้ำสะอาดที่อุณหภูมิ (20+2) องศาเซลเซียส โดยตั้งชิ้นทดสอบให้ได้ตั้งฉากกับผิวน้ำให้ขอบบนอยู่ใต้ระดับผิวน้ำ ประมาณ 25 มิลลิเมตร แต่ละชิ้นต้องห่างกัน และต้องห่างจากผนังและก้นภาชนะที่ใส่ไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร เมื่อแช่ชิ้นทดสอบครบ 1 ชั่วโมงแล้ว นำชิ้นทดสอบมาซับน้ำที่ผิวออกให้หมดด้วยผ้าหมาด แล้วปล่อยไว้ที่อุณหภูมิห้อง โดยวางให้ขอบด้านใดด้านหนึ่งอยู่บนแผ่นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ เช่น พลาสติก กระจก ปล่อยชิ้นทดสอบไว้อีก 1 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นมาวัดตามความหนาตามตำแหน่งเดิม คำนวณเปอร์เซนต์การพองตัวตามความหนาของแผ่นทดสอบก่อนและหลังแช่น้ำจากสมการ

เมื่อ $$\text{Thickness swelling} = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100 \quad (3)$$

t_1 = ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

t_2 = ความหนาของชิ้นทดสอบหลังแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

2.4.4 การทดสอบความต้านแรงดัดและมอดูลัสยืดหยุ่น

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ซึ่งกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบไว้ที่ 50x200 มิลลิเมตร วางชิ้นทดสอบบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่างกัน 15 เท่าของความหนาระบุชิ้นทดสอบ (ตัวเลขที่ได้ให้ปัดเป็นจำนวนเต็ม ของ 10 mm.) แต่ต้องไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร ให้ปลายชิ้นทดสอบยื่นออกไปจากจุดที่รองรับประมาณ 25 มิลลิเมตร ให้แรงกดที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ โดยมีอัตราการเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ เครื่องกดที่ใช้สามารถวัดแรงกดได้ละเอียดถึง 5 N หรือ 5 % ของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มกด จนกระทั่งชิ้นทดสอบหักต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ความเร็วในการกดประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวณความต้านทานแรงดัดและค่ามอดุลัสยืดหยุ่นจากสมการ

ค่าความต้านทานแรงดัด (MOR)

เมื่อ $$f_m = \frac{3 F_{max} l_1}{2bt^2} \quad (4)$$

f_m = ความต้านทานแรงดัด (เมกะพาสคัล)

F_{max} = แรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ (นิวตัน)

l_1 = ระยะห่างของแท่นรองรับ (มิลลิเมตร)

b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลาง ด้านยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

t = ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

ค่ามอดุลัสยืดหยุ่น (MOE)

เมื่อ $$E_m = \frac{l_1^3 (F_2 - F_1)}{4bt^2 (a_1 - a_2)} \quad (5)$$

E_m = มอดุลัสยืดหยุ่น (เมกะพาสคัล)

l_1 = ระยะห่างของแท่งรองรับ (มิลลิเมตร)

$F_2 - F_1$ = แรงกดที่เพิ่มขึ้นในช่วงกราฟเป็นเส้นตรง (นิวตัน)

b = ความกว้างที่จุดกึ่งกลางด้านยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

t = ความหนาที่จุดกึ่งกลางของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

$a_1 - a_2$ = ระยะแอ่นตัวที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง (มิลลิเมตร)

2.4.5 การทดสอบความต้านทานแรงดึงกับผิวหน้า

ตัดแผ่นทดสอบตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ตามการกำหนดขนาดของชิ้นทดสอบที่ 50x50 มิลลิเมตร ติดผิวหน้าทั้งสองของชิ้นทดสอบกับแผ่นดึงซึ่งทำด้วยโลหะมีขนาดไม่น้อยกว่า 50x50 มิลลิเมตร โดยใช้กาวสังเคราะห์ที่ใช้แรงยึดระหว่างชิ้นทดสอบกับแผ่นดึงได้มากกว่าแรงยึดตัวในชิ้นทดสอบ นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้แล้วนี้ไปเข้าเครื่องดึง ดึงให้ชิ้นทดสอบแยกออกจากกัน ซึ่งปกติจะแยกในชั้นไส้ อัตราเพิ่มแรงดึงต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มดึง จนกระทั่งชิ้นทดสอบแยกออกจากกันต้องไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่มากกว่า 90 วินาที ความเร็วในการดึงประมาณ 2 มิลลิเมตรต่อนาที คำนวนความต้านทานแรงดึงกับผิวหน้าจากสมการ

เมื่อ $$\text{Internal bond strength} = \frac{F}{W \times L} \quad (6)$$

F = แรงดึงสูงสุด (นิวตัน)

W = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

L = ความยาวของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

2.5 การทดสอบความเป็นฉนวนกันความร้อน

การทดสอบคุณสมบัติการป้องกันและถ่ายเทความร้อน โดยการศึกษาค่าการนำความร้อนและการต้านทานความร้อนของแผ่นไม้อัดจากแกนกัญชง โดยใช้วิธีการตรวจวัดจากเครื่อง Thermal Constant Analyzer (HotDisk TCA) ดังแสดงในตารางที่ 2 ทำการทดสอบแผ่นไม้อัดกัญชงแบบแผ่นเรียบที่ใช้ตัวประสานที่แตกต่างกัน และตัดแผ่นไม้ทดสอบ ชิ้นละ 20 x 20 เซนติเมตร จาก แผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสานยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ กาวอี ซีโร่ (E O) และตัวประสานจากครั่ง

3. ผลการวิจัย

3.1 การทดลองขึ้นรูปแผ่นไม้อัดจากแกนกัญชง

การขึ้นรูปไม้ปาร์ติดเกิลแกนกัญชงที่โดยใช้ตัวประสาน 3 ชนิด คือ 1) ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (formaldehyde resins) หรือยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ 2) ครั่ง 3) กาว E-Zero ที่มีไอโซยาเนต (Isocyanate Resins) เป็นองค์ประกอบสำคัญ สัดส่วนของวัสดุองค์ประกอบและเวลาที่ใช้ในการอัด แสดงในตารางที่ 3 ผลการศึกษาพบว่า สามารถขึ้นรูปแผ่นไม้ปาร์ติเกิลขนาด 400 มิลลิเมตร x 400 มิลลิเมตร x 20 มิลลิเมตร (กว้างxยาวx หนา) ได้ ลักษณะของสีแผ่นไม้จะแตกต่างกันตามสีของตัวประสาน โดยไม้อัดที่ขึ้นรูปจากครั่งจะมีสีเนื้อไม้ปาร์ติเกิลออกสีน้ำตาลออกเข้ม ไม้ปาร์ติเกิลที่ได้จากตัวประสานจากยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ และกาว E-Zero จะมีสีของแผ่นไม้เป็นน้ำตาลอ่อน

ตารางที่ 3 สัดส่วนวัสดุประสานและลักษณะทางกายภาพไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชง

ตัวประสาน	ปริมาณตัวทำละลาย (%)*	ปริมาณกาว (%)	กัญชง (กรัม)	เวลาที่ใช้อัด (นาที)		ผลิตภัณฑ์ แผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชง ขนาด 40x40x2 ซม.
				เปิด Heater	ปิด Heater	
Urea formaldehyde (UF)	1	13	1,611	12 นาที	3 นาที	
ครั่ง (Shellac)	1.3	26	1,611	12 นาที	3 นาที	
E-Zero (Isocyanate)	1.3	26	1,611	12 นาที	3 นาที	

หมายเหตุ: ร้อยละจากมวลกัญชงแห้งทั้งหมดเมื่อทำการคำนวณตามสัดส่วน

3.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกายภาพของแผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชง

การศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties) ของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่ได้จากการขึ้นรูปโดยใช้ตัวประสาน 3 ชนิด ประกอบด้วยทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) ปริมาณความชื้น (Moisture content) การดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง (Water absorption) และการพองตัวทางความหนาเมื่อแช่น้ำ 24 ชั่วโมง (Thickness swelling) โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 มีผลการศึกษาดังนี้

(1) การทดสอบความหนาแน่น

การทดสอบความหนาแน่นของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชง พบว่า ความหนาแน่นของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (formaldehyde resins) หรือยูเรีย

ฟอร์มัลดีไฮด์ กาว E-Zero และครั่ง (Shellac) โดยการเตรียมส่วนประกอบของไม้ปาร์ติเกิล ได้กำหนดความหนาแน่นของแผ่นทดสอบไว้ที่ 800 kg/m^3 การทดสอบหลังการอัดไม้ พบว่า แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากวัสดุประสานทั้ง 3 ชนิดมีความหนาแน่นต่ำกว่า 800 kg/m^3 แต่ยังคงอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนด คือ 400-800 kg/m^3 ดังแสดงในภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ย (Mean) ของความหนาแน่นของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสาน 3 ชนิด (*p*-value<0.01)

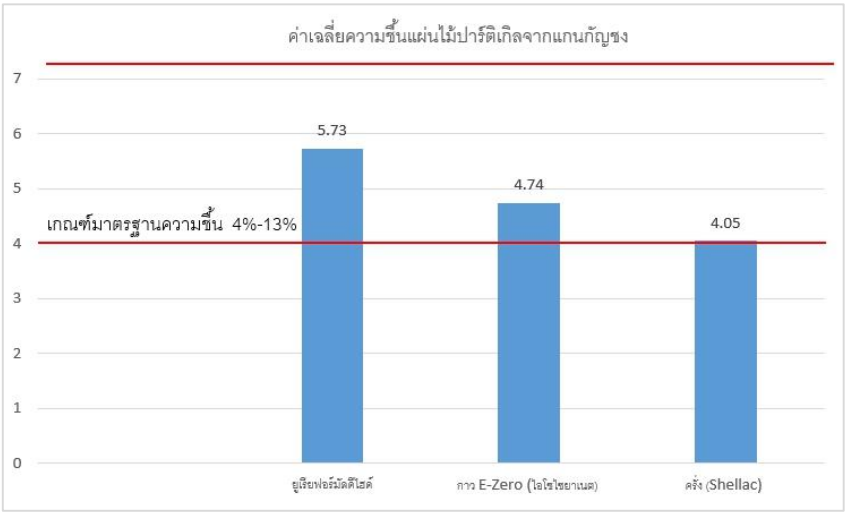
จากภาพที่ 2 แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีความหนาแน่นสูงสุด (ค่าเฉลี่ย=804.99) รองลงมา คือ แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาว E-Zero เป็นตัวประสาน (ค่าเฉลี่ย= 710.17) และแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน (ค่าเฉลี่ย=634.73) ตามลำดับ ผลการทดสอบความแตกต่างของความหนาแน่นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ตัวประสานต่างกันโดย One-way ANOVA พบว่ามีความาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง($p<0.01$) โดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีความหนาแน่นมากกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาว E-Zero และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$) และแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาว E-Zero เป็นตัวประสานมีความหนาแน่นมากกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p<0.05$)

(2) ปริมาณความชื้น (Moisture content)

การทดสอบปริมาณความชื้นเป็นการวัดปริมาณการดูดซับความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลโดยเปรียบเทียบมวลของชิ้นทดสอบก่อนการอบและหลังอบที่อุณหภูมิ 103 ± 2 °C ชิ้นไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (formaldehyde resins) หรือยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ กาว E-Zero และครั่ง (Shellac) มีความแตกต่างกันโดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากวัสดุประสานทั้ง 3 ชนิดมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงที่มาตรฐานกำหนดโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4 – 13 % ดังแสดงในภาพที่ 3

ผลการทดสอบความแตกต่างของความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงจากตัวประสานทั้ง 3 ชนิด พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$) โดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีความชื้นต่ำกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมี

นัยสำคัญทางสถิติอย่างสูง ($p<0.01$) และแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ เป็นตัวประสานมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p<0.05$)

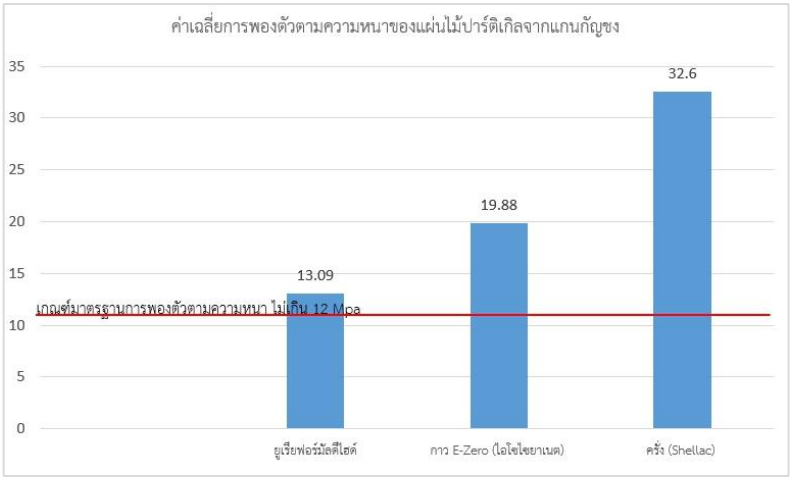


ภาพที่ 3 ค่าเฉลี่ย (Mean) ความชื้นของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสาน 3 ชนิด (*p*-value<0.01)

(3) การพองตัวตามความหนา (Thickness swelling)

การทดสอบค่าการพองตัวตามความหนาของแผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชงพบว่าความหนาของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (formaldehyde resins) หรือยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ กาวอีซีโร่ (E-Zero) และครั่ง (Shellac) พบว่ามีความแตกต่างกันโดยพบว่ามีไม้ปาร์ติเกิลจากตัวประสานทั้ง 3 ชนิดมีค่าพองตัวตามความหนา 13.09 19.88 และ 32.6 ตามลำดับ แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากวัสดุประสานทั้ง 3 ชนิดมีค่าความพองตัวตามความหนาสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 12 ดังแสดงในภาพที่ 4

ผลการทดสอบความแตกต่างของความชื้นของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงพบว่ามีต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีการพองตัวตามความหนาสูงกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ เป็นตัวประสานมีการพองตัวตามความหนาสูงกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p<0.05$)



ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ย (Mean) ความพองตัวตามความหนาแน่นของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสาน 3 ชนิด (***p***-value<0.01)

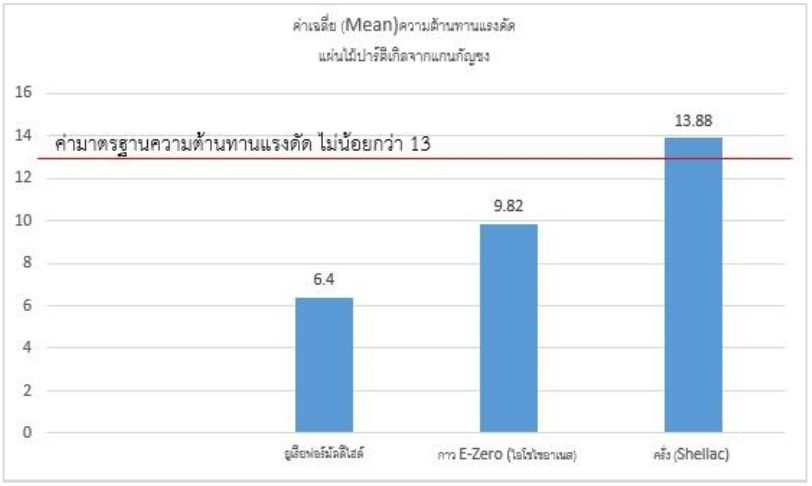
3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชง

การทดสอบแผ่นไม้อัดจากแกนกัญชง ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ประกอบด้วยการทดสอบ ค่าความต้านทานแรงดัด (Modulus of rupture) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bond) มีผลการทดสอบ ดังนี้

(1) ความต้านแรงดัด (Modulus of rupture)

การทดสอบค่าความต้านทานแรงดัดหรือค่ามอดูลัสแตกร้าวของชิ้นไม้ปาร์ติเกิล แกนกัญชง พบว่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (formaldehyde resins) หรือยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ กาวอีซีโร่ (E-Zero) และครั่ง (Shellac) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value<0.01)

โดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดันสูงที่สุด (ค่าเฉลี่ย=13.88 Mpa) รองลงมา คือ แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ เป็นตัวประสาน (ค่าเฉลี่ย=9.82 Mpa) และแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน(ค่าเฉลี่ย=6.40 Mpa) ตามลำดับ ไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้ครั่งเป็นวัสดุประสานมีค่าความต้านทานแรงดัดสูงสุดและผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ดังแสดงในภาพที่ 5



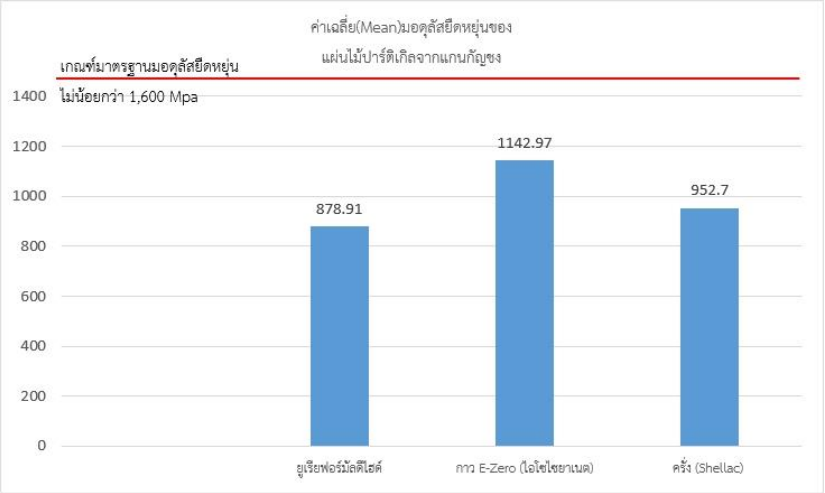
ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ย (Mean) ความต้านทานแรงดัดแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสาน 3 ชนิด (***p***-value<0.01)

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงดัดของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ตัวประสานต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีความต้านทานแรงดัดสูงกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) และแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ เป็นตัวประสานมีความต้านทานแรงดัดสูงกว่าว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน (p<0.05)

(2) มอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

การทดสอบค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (formaldehyde resins) หรือยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ กาวอีซีโร่ (E-Zero) และครั่ง (Shellac) พบว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่เป็นตัวประสานมีค่าเฉลี่ยมอดูลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด (ค่า เฉลี่ย= 1142.97 Mpa) รองลงมา คือ แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสาน (ค่าเฉลี่ย=952.70Mpa) และแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสาน(ค่าเฉลี่ย=878.91Mpa) ตามลำดับและชิ้นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงจากตัวประสานทั้ง 3 ชนิด มีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 876-2547 ดังแสดงในภาพที่ 6

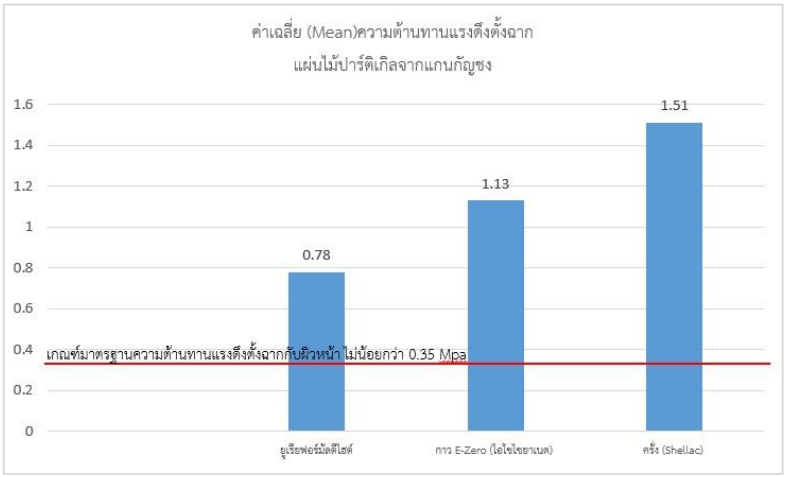
ผลการทดสอบความแตกต่างค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสาน 3 ชนิด ด้วย a Scheffe t-test พบว่า ค่ามอดุลัสยืดหยุ่นของชิ้นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสาน 3 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยการทดสอบมอดุลัสยืดหยุ่น (*p*-value<0.01)

(3) ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (Internal bond)

การทดสอบค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงพบว่าแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้วัสดุประสาน 3 ชนิด ได้แก่ ยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์ กาวอีซีโร่ (E-Zero) และครั่ง (Shellac) มีค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าแตกต่างกัน โดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานมีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า เฉลี่ย 0.78 Mpa แผ่นไม้ปาร์ติดเกิลที่ใช้กาวอีซีโร่ (E-Zero) และครั่ง (Shellac) เป็นตัวประสาน มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สูงสุดเฉลี่ย 1.13 และ 1.51 Mpa ตามลำดับ ชิ้นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงจากตัวประสานทั้ง 3 ชนิด มีค่าความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้ามากกว่า 0.35 Mpa ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม



ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ยการทดสอบแรงดึงตั้งฉาก

การทดสอบความแตกต่างของแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสานต่างกัน 3 ชนิดพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่และยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และแผ่นชิ้นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวอีซีโร่ เป็น

ตัวประสานมีความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงกว่าแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชงที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน ($p<0.05$)

3.4 การทดสอบค่าความเป็นฉนวนความร้อนแผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชง

การทดสอบคุณสมบัติการป้องกันและถ่ายเทความร้อน โดยการศึกษาค่าการนำความร้อนและการต้านทานความร้อนของแผ่นไม้อัดจากแกนกัญชง โดยใช้วิธีการตรวจวัดจากเครื่อง Thermal Constant Analyzer (HotDisk TCA) พบว่า แผ่นกัญชง เบอร์ 20 ที่มีตัวประสานจากอี ซีโร่ และยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ มีคุณสมบัติเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนได้ตามเกณฑ์ฉนวนทั่วไป มีค่าการนำความร้อนที่ 0.044 W/m.k และ 0.0919 W/mK ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 4 ส่วนแผ่นกัญชงที่มีตัวประสานจากครั่ง พบว่า มีค่าการนำความร้อนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.941 W/mK

ตารางที่ 4 การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity)

Sample Type	Thermal conductivity (W/m.k)
	K – Value (W/m.k)
แผ่นกัญชงประสานครั่ง	$0.0961 \pm 0.020 = 0.941$
แผ่นกัญชงประสานยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์	$0.1069 \pm 0.015 = 0.0919$
แผ่นกัญชงประสานอี ซีโร่ (E O)	$0.0784 \pm 0.034 = 0.044$

หมายเหตุ. วัสดุที่เป็นฉนวนจะมีค่าการนำความร้อนที่ 0.02 – 0.40 W/m.k

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากกัญชง

การศึกษาการผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้จากการผลิตเส้นใยผ้าทอกัญชง โดยใช้สัดส่วนของวัสดุผสมที่แตกต่างกัน วัสดุประสานที่ใช้มี 3 ชนิด คือ ยูเรีย ฟอร์มัลดีไฮด์เรซินส์ (formaldehyde resins) ครั่ง (Shellac) ซึ่งเป็นตัวประสานที่ได้จากธรรมชาติ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และกาวอี ซีโร่ (E-Zero) ที่มีกาวไอโซไซยาเนตเป็นองค์ประกอบสำคัญและเป็นตัวประสานที่มีไม่มีการปล่อยยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ ทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำการขึ้นรูปแผ่นไม้อัดจากแกนกัญชงมีความกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร หนา 20 มีสัดส่วนในการผลิตไม้อัดจากแกนกัญชงที่ใช้ตัวประสานทั้ง 3 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 4. ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าการใช้ปริมาณตัวประสานครั่งและอี ซีโร่ ที่น้อยกว่า 26 % ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นได้และตัวประสานที่ผลิตจากสารเคมี 13 % ซึ่งเมื่อรวมน้ำหนักของตัวประสานกับตัวทำละลายแล้ว ตัวประสานที่ได้จากยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ มีค่าเท่ากับ 370.53 กรัม มีน้ำหนักรวมน้อยกว่าตัวประสานจากครั่งและอี ซีโร่ ซึ่งมีน้ำหนักรวมของตัวประสานกับตัวทำละลาย มีค่าเท่ากับ 445.2 กรัม ดังนั้น ตัวประสานจากยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ มีการใช้ปริมาณตัวประสานน้อยกว่าครั่งและอี ซีโร่ ทำให้เห็นว่า ยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ มีความสามารถในการยึดเหนี่ยวของวัสดุและการยึดติดโครงสร้างที่ต้องรับแรงกดเป็นหลักมีความหนืดอยู่ระหว่าง 100 - 600 cps ซึ่งมากกว่าตัวประสานจากครั่งและอี ซีโร่ ที่มีคุณสมบัติรับแรงยึดติดได้น้อย [13] และลักษณะแผ่นไม้ปาร์ติเกิลที่ได้

จากการขึ้นรูปด้วยตัวประสานที่ต่างกันจะมีลักษณะของสีที่ต่างกันตามสีของตัวประสานแต่ละชนิด โดยไม้ปาร์ติเกิลที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานจะมีสีเข้มมากกว่าแผ่นไม้ที่ใช้ตัวประสานชนิดอื่นดังแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8 แผ่นไม้ปาร์ติเกิลแกนกัญชง โดยใช้ตัวประสานจากครั่ง

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล

การทดสอบแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงแผ่นเรียบตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. ประกอบด้วย 1) การทดสอบความหนาแน่น 2) การพองตัวทางความหนา 3) การทดสอบปริมาณความชื้น 4) การทดสอบความสามารถในการต้านทานแรงดัด 5) การทดสอบค่าความยืดหยุ่นมอดูลัส 6) การทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า สามารถสรุปได้ตามตารางที่ 2

การทดสอบด้านกายภาพและความแข็งแรงของแผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากแกนกัญชง พบว่า แผ่นไม้ที่ใช้ครั่งและกาวอีซีโร่ เป็นตัวประสานมีแนวโน้มที่จะผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรมมากกว่าการใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ที่เป็นตัวประสานที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมไม้อัดอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ผลการทดสอบมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่นปาร์ติเกิลจากกัญชงโดยใช้ตัวประสานทั้ง 3 ชนิด พบว่า ไม่ผ่านมาตรฐานอุตสาหกรรม แผ่นไม้ปาร์ติเกิลจากตัวประสานอีซีโร่ที่มีค่ามอดูลัสใกล้เคียงกับมาตรฐานอุตสาหกรรมมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาด้านการขึ้นรูปไม้อัดที่ พบว่า กาวที่มีไอโซไซยาเนตเป็นองค์ประกอบของตัวประสานที่สำคัญจะมีคุณสมบัติช่วยให้ไม้ยึดเกาะกันได้ดีกว่าการใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ [1, 14] ในขณะที่ไม้ปาร์ติเกิลกัญชงที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานค่ามอลดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ย 952.70 Mpa ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สอดคล้องกับผลการวิจัยของ นงค์นุช กลิ่นพิกุล (2557) ที่ศึกษาแผ่นใยไม้อัดจากเศษขี้เลื่อยโดยใช้ผลผลิตจากครั่งเป็นตัวประสาน พบว่า การใช้ครั่งในอัตราส่วนที่สูงกว่าร้อยละ 20 ของวัสดุองค์ประกอบจะทำให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นลดลงต่ำ [15] การศึกษาคุณสมบัติของแผ่นปาร์ติเกิลกัญชงโดย Kallakas และคณะ (2018) ยังพบว่า แผ่นปาร์ติเกิลกัญชงที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานจะมีค่าความต้านทานแรงดัด 6.26 MPa [3] ซึ่งมีความใกล้เคียงกับผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ที่ พบว่า แผ่นปาร์ติเกิลกัญชงที่ใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานมีค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับ 6.40 Mpa ผลการศึกษายังพบว่าแผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชงมีน้ำหนักเบาสามารถใช้เป็นผนังเบาในการปรับปรุงโครงสร้างภายในอาคาร สอดคล้องกับรายงานการศึกษาโอกาสทางการค้าของวัสดุทดแทนไม้และฉนวนกันความร้อนจากกัญชงที่รายงานว่าวัสดุทดแทนไม้จากกัญชงมีโอกาสที่จะเข้ามาแทนที่ไม้อัดจากเศษไม้จริงทั้งในสหรัฐอเมริกาและตลาดโลกในอนาคต โดยจุดเด่นที่สำคัญของแผ่นไม้ MDF หรือไม้ปาร์ติเกิลกัญชงคือมีน้ำหนักเบา แต่มีลักษณะแข็งและมีความแข็งแรงทำให้เป็นที่ต้องการในวงการวัสดุก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบปริมาณมากและหาได้ง่าย สามารถทดแทนไม้จริงได้ [16, 17]

ตารางที่ 5 คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงกลของแผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่ใช้วัสดุประสาน 3 ชนิดตามเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม

วัสดุประสาน/ มาตรฐาน มอก.	ความหนาแน่น (400-900 Kg/m^3)	ความชื้น (4%-13%)	การพองตัว (ไม่เกิน 12%)	ความต้านทานแรงดัด (≥13 Mpa)	มอดุลัสยืดหยุ่น (≥1600 Mpa)	ความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า (> 0.35 Mpa)
ยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ (Formaldehyde rasin)	634.73 ผ่าน มอก.	5.73 ผ่าน มอก.	13.09 ไม่ผ่าน มอก.	6.40 ไม่ผ่าน มอก.	878.91 ไม่ผ่าน มอก.	0.78 ผ่าน มอก.
กาวอี ซีโร่ (Isocyanate)	710.17 ผ่าน มอก.	4.74 ผ่าน มอก.	19.88 ไม่ผ่าน มอก.	9.82 ไม่ผ่าน มอก.	1142.97 ไม่ผ่าน มอก.	1.13 ผ่าน มอก.
ครั่ง (Shellac)	804.99 ผ่าน มอก.	4.05 ผ่าน มอก.	32.60 ไม่ผ่าน มอก.	13.88 ผ่าน มอก.	952.70 ไม่ผ่าน มอก.	1.51 ผ่าน มอก.

4.3 การทดสอบคุณสมบัติการป้องกันและถ่ายเทความร้อน

การศึกษาการเป็นฉนวนความร้อนโดยการศึกษาค่าการนำความร้อนและการต้านทานความร้อนของแผ่นไม้อัดปาร์ติเกิลและแผ่นเส้นใยไม้อัดที่ความหนาของแผ่นไม้ต่างกันหรือสัดส่วนขององค์ประกอบที่ต่างกัน โดยใช้วิธีการตรวจวัดจากเครื่อง Thermal Constant Analyzer (HotDisk TCA) ทดสอบการนำความร้อนของชิ้นไม้อัดแกนกัญชงแผ่นเรียบ ที่มีตัวประสาน 3 ชนิด พบว่า แผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่มีตัวประสานจากอี ซีโร่ และยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ มีคุณสมบัติเป็นวัสดุฉนวนกันความร้อนได้ตามเกณฑ์ฉนวนทั่วไป มีค่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ 0.044 W/m.K และ 0.0919 W/m.K ตามลำดับ ส่วนแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้ตัวประสานจากครั่ง พบว่า มีค่าการนำความร้อนมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.941 W/m.K ซึ่งแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้ตัวประสานทั้ง 3 ชนิดมีค่าการนำความร้อนสูงกว่าแผ่นยิปซั่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอยู่ที่ 0.038 W/m.K แม้ว่าครั่ง (Shallac) จะมีคุณสมบัติในตัวคือการเป็นฉนวนกันความร้อน แต่เนื่องจากแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้ครั่งเป็นตัวประสานมีความหนาแน่นสูงกว่าแผ่นปาร์ติเกิลที่ใช้กาวอี ซีโร่ และยูเรีย ฟอมัลดีไฮด์ ตัวประสาน จึงมีแนวโน้มที่จะนำความร้อนได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ที่ทดลองการผลิตวัสดุซับเสียงผนังภายในอาคารจากเส้นใยกัญชงและวัสดุประสานธรรมชาติและพบว่า แผ่นเส้นใยกัญชงที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ต่ำกว่าแผ่นเส้นใยที่มีความหนาแน่นมากกว่า [18] เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาคุณสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อยที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานพบว่ามีค่าการนำความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0724 - 0.0925 W/mK [19] ซึ่งสูงแผ่นปาร์ติเกิลแกนกัญชงที่ใช้ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์เป็นตัวประสานเช่นเดียวกันกับผลการศึกษาคุณสมบัติในการเป็นฉนวนของกัญชงโดย Mirski et al. (2018) ที่พบว่าแผ่นฉนวนกัญชงที่ใช้กาว pMDI (Isocyanate) เป็นตัวประสานมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ (λ = 0.035 W/mK) มีคุณสมบัติเทียบเท่าฉนวนกันความร้อนที่มีอยู่ในปัจจุบัน [6] ดังนั้น แผ่นปาร์ติเกิลจากแกนกัญชงจึงมีศักยภาพในการผลิตเป็นแผ่นผนังตกแต่งภายในที่มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่นอกจากจะใช้ในแง่ของการตกแต่งเพื่อความสวยงามแล้วยังสามารถช่วยในการลดความร้อนได้อีกทางหนึ่ง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2561 และได้รับความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการอัดไม้ และเครื่องมือในการดำเนินการวิจัยจากภาควิชาเทคโลยีวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. เอกสารอ้างอิง

[1] บุญศักดิ์ สมบุญรอด และคณะ, ***"การผลิตแผ่นไม้ปาร์ติเกิลเสริมแรงจากแกนต้นกัญชง"*** ,รายงานผลการวิจัยประจำปี 2549, สำนักวิจัยการจัดการป่าไม้และผลิตผลป่าไม้, 2549

[2] ภัสสร กลิ่นรอด. (2015). ***"แผ่นผนังและฝ้าเพดานภายในอาคารจากเส้นใยและแกนลำต้นกัญชง"***. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[3] H. Kallakas, "Mechanical and physical properties of industrial hemp-based insulation materials". Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, 2018, 67, 2, 183–192.

[4] E. Kirilovs, S. Kukle, and H. J. Gusovius, ***"Wet-preserved hemp fibreboard properties improvement with veneering",*** 4th International Congress in Advances in Applied Physics and Materials Science (APMAS 2014), AIP Conf. Proc. 1653, 020059-1–020059-6, 2014.

[5] กิตติศักดิ์ กราบเคหะ ดำรงศักดิ์ วงค์ฐาน และกรวัฒน์ วุฒิกิจ, ***"การใช้ประโยชน์จากเส้นใยกัญชงในการผลิตฉนวนกันความร้อน"***, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. 2558, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

[6] P. Mirski, D. Dziurka,, and A. Trociński, A. (2018). ***"Insulation properties of boards made from long hemp (Cannabis sativa L.) fibers"***, BioRes. 13(3), 6591-6599.

[7] C. Allen***, "Researcher sees future for flax and hemp as particleboard alternative"***, University of British Columbia, in Phys Org, Available: https://phys.org/news/2017-04-future-flax-hemp-particleboard-alternative.html

[8] P. Mamza, E.C. Ezeh, E.C. Gimba, D.E. Arthur, ***"Comparative Study of Phenol Formaldehyde and Urea Formaldehyde Particleboards from Wood Waste for Sustainable Environment",*** International Journal Of Scientific & Technology Research Volume 3, Issue 9, 2014.

[9] A. Nuryawan and E. Mulya Alamsyah***, "A Review of Isocyanate Wood Adhesive: A Case Study in Indonesia"*** in H. Ozer (Ed), Applied Adhesive Bonding in Science and Technology, Intech Open, 2017.

[10] ภาวดี เมธะคานนท์ และ วรธรรม อุ่นจิตติชัย, ***"กาวลิกนิน-ไคโตซาน: กาวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม"***, ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2548.

[11] L. Ping, F. Gambier, A. Pizzi, Z. D. Guo., and N. Brosse, ***"Wood Adhesives from Agricultural By-Products: Lignins and Tannins for The Elaboration of Particleboards".*** Cellulose Chem. Technol., 46 (7-8), 457-462, 2012.

[12] นิศาธร คำปุก (2560) ***"การจัดการห่วงโซ่อุปทานของครั่งในจังหวัดลำปาง"*** วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต,
สาขาวิชาพัฒนาการเกษตรและการจัดการทรัพยากร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
[13] J. Shields, ***Adhesive Bonding***, Oxford University Press.
[14] พนุชศดี เย็นใจ, ทรงกลด จารุสมบัติ, และ ธีระ วีณิน, ***"การผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดจากเศษเหลือทิ้งของไม้เสม็ดขาว"***, วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 (เดือนพฤษภาคม – เดือนสิงหาคม) 2559.
[15] นงค์นุช กลิ่นพิกุล (2557) ***"การศึกษาแผ่นใยไม้อัดจากเศษชี้เลื่อยโดยใช้ผลผลิตจากครั่งเป็นตัวประสาน".*** มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
[16] L.J. Graham Ed. ***"Hemp Insulation and Hemp Board, Commercial Opportunities for Alberta Producers"*** Final Report, July 2009.
[17] S. Cannabaceae, ***"Hemp Fiberboard Poised to Replace Plywood".*** The Hemp Connoisseur. Available: http://www.thcmag.com/hemp-fiberboard-poised-to-replace-plywood, 2016.

[18] กอปร เปรมฤทัย, โสภา วิศิษฏ์ศักดิ์, และปารเมศ กำแหงฤทธิรงค์, ***"วัสดุดูดซับเสียงผนังภายในอาคารจากเส้นใยกัญชงและวัสดุประสานจากธรรมชาติ"*** การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านนวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้และสิ่งประดิษฐ์ ครั้งที่ 2 (กรกฎาคม 2561), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี, 2561.

[19] ประยูร สุรินทร์, ***"การศึกษากระบวนการผลิตและสมบัติแผ่นฉนวนความร้อนจากชานอ้อย",*** วิทยานิพนธ์หาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (เทคโนโลยีวัสดุ),มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2544.