

สมบัติของแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษเหลือใช้และเส้นใยแก้ว สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร

ธนภรณ์ โภควรรณวิทย์¹ และ ภูษิต เลิศวัฒน์รักษ์^{2*}
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถ.พหลโยธิน อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาวัสดุอาคารประเภทแผ่นประกอบสำหรับงานผนังและฝ้าเพดาน ได้แก่ กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษคราฟท์ และกระดาษพิมพ์เขียน โดยใช้เส้นใยแก้ว เหลือใช้เป็นวัสดุผสมแทนที่กระดาษที่อัตราส่วนร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักของกระดาษ และใช้วัสดุประสาน ได้แก่ กาวเมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยาเนต (MDI) ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัสดุทั้งหมด และได้ทำการศึกษา สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของแผ่นประกอบที่ผลิตได้ ผลการศึกษาพบว่า แผ่นประกอบ ในทุกสัดส่วนผสมมีค่าความหนาแน่นอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลางเท่ากับ 597-792 กก./ลบ.ม. แผ่นประกอบที่ผลิตจาก กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์มีสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด การเพิ่มปริมาณของเส้นใยแก้ว ส่งผลให้ปริมาณความชื้น และการพองตัวเมื่อแช่น้ำลดลง แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษคราฟท์มีสมบัติทางกลที่ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพ ของเยื่อกระดาษ ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนและพลังงานไฟฟ้ารวมของอาคารที่มีการปรับอากาศ พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 10 และ 20 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด เท่ากับ 0.175 W/mK และ 0.173 W/mK ตามลำดับ ซึ่งมีสมบัติเทียบเคียงกับแผ่นโฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดและแผ่น ยิปซัมบอร์ดในท้องตลาด

คำสำคัญ : แผ่นประกอบ / กระดาษเหลือใช้ / เส้นใยแก้วเหลือใช้ / คุณสมบัติทางกายภาพ / คุณสมบัติเชิงกล / คุณสมบัติทางความร้อน

* Corresponding Author : lertwatt@tu.ac.th

¹ นักวิจัย คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

² รองศาสตราจารย์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

Properties of Composite Panel Made from Waste Paper and Glass Fiber for Applications in Building

Thanaporn Pokawanavit¹ and Pusit Lertwattanaruk^{2*}

Thammasat University, Rangsit Center, Khlong Luang, Pathum Thani, 12121

Abstract

This research aimed to develop composite building panels for wall and ceiling applications from waste materials, including pasteurized milk cartons, newsprints as well as Kraft and printing papers. Waste glass fiber was used as a partial replacement of paper at 0%, 10% and 20% by weight of paper. Methylene diphenyl diisocyanate (MDI) was used as a binder at 5% by weight of all materials. The physical, mechanical and thermal properties of the specimens were then investigated. Test results showed that all composite panel samples exhibited low to medium density in the range of 597-792 kg/m³. The panel made from pasteurized milk cartons performed best in terms of the physical properties. Increasing the percentage replacement of glass fiber reduced the moisture content and swelling after immersion in water. The panel made from Kraft paper exhibited the best mechanical performance due to the quality of the paper pulp. In terms of the thermal properties and energy consumption of air-conditioned buildings, the composite panels made from newsprints mixed with 10% and 20% glass fiber yielded the lowest thermal coefficient of 0.175 W/mK and 0.173 W/mK, respectively; these values are comparable to those offered by fiber cement board and gypsum board products available in the market.

Keywords : Composite Panel / Waste Paper / Waste Glass Fiber / Physical Properties / Mechanical Properties / Thermal Properties

* Corresponding Author : lertwatt@tu.ac.th

¹ Researcher, Faculty of Architecture and Planning.

² Associate Professor, Faculty of Architecture and Planning.

1. บทนำ

ปัจจุบันรูปแบบการใช้วัสดุประกอบอาคารประเภทแผ่นประกอบมีความหลากหลายมากขึ้น โดยการผลิตจะใช้ไม้เป็นวัตถุดิบหลัก ส่งผลให้พื้นที่ป่าไม้ในประเทศถูกทำลายลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีแนวโน้มความต้องการบริโภคไม้เพิ่มมากขึ้น จากปัจจัยดังกล่าว ทำให้อุตสาหกรรมไม้ประสบปัญหาขาดแคลนวัตถุดิบ ซึ่งส่งผลให้รูปแบบการใช้ประโยชน์ไม้ภายในประเทศเปลี่ยนแปลงไป โดยมีการส่งเสริมให้ใช้ไม้ขนาดเล็ก ไม้จากสวนป่า และการใช้วัตถุดิบทดแทนอื่นในการผลิต นอกจากนี้ยังพบว่าไม้ปริมาตรวัสดุเหลือใช้อีกจำนวนมากที่สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้เช่นกัน จากรายงานสรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2555 [1] พบว่าคนไทยใช้กระดาษเฉลี่ยปีละ 3.9 ล้านตัน และมีปริมาณขยะกระดาษที่เกิดขึ้นในประเทศ 2.7 ล้านตันต่อปี ซึ่งพบว่ามีปริมาณขยะกระดาษอีกจำนวนมากที่ไม่ได้นำกลับมาใช้ใหม่ โดยปัจจุบันกระดาษทุกชนิดที่นิยมใช้ ส่วนใหญ่ผลิตจากเนื้อเยื่อของต้นไม้ และจากการศึกษางานวิจัยต่างๆ พบว่า กระดาษแต่ละชนิดสามารถนำมาทำแผ่นประกอบที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้งานสำหรับอาคาร เช่น วงกบ ผนัง วัสดุตกแต่งผนัง และฝ้าเพดานได้ [2] ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกันตามคุณภาพของเยื่อกระดาษ เช่น เยื่อเคมี เยื่อกึ่งเคมี และเยื่อเชิงกล นอกจากนี้ยังมีวัตถุดิบประเภทเส้นใยแก้วเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2537 มีการศึกษาและเปรียบเทียบการอุปโภคต่อประชากรของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสในประเทศไทย มีอัตราการอุปโภคผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสเฉลี่ย 90 กรัม/คน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 15 เนื่องจากปริมาณและมูลค่าการส่งออก [3] และการนำเข้าของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กลาสที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเส้นใยแก้วมีสมบัติในการเสริมแรงและมีความเป็นฉนวนที่ดี จึงถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในหลากหลายอุตสาหกรรม แต่วิธีการกำจัดในปัจจุบันทำโดยการฝังกลบเป็นหลัก ซึ่งทำให้เสียทั้งค่าใช้จ่าย เวลา และยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและปัญหาในการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

งานวิจัยเป็นจำนวนมากได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสริมความแข็งแรงในแผ่นใยไม้อัดและแผ่นประกอบที่มีส่วนผสมของไม้ เช่น แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด (particle

board) แผ่นใยไม้อัด (fiber board) และแผ่นไม้ประกอบ (composite panel) ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Wangard [4] และ Biblis [5] ได้บุกเบิกการวิจัยเกี่ยวกับการเสริมแรงในแผ่นไม้อัดและผลิตภัณฑ์ไม้ โดยใช้เส้นใยแก้ว (glass fiber) และวัสดุประสานประเภทอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) งานของ Rowlands และคณะ [6] ได้ศึกษาการเสริมแรงในแผ่นไม้ประกอบด้วยเส้นใยแก้ว (glass fiber) เคพลาร์ (Kevlar) และกราไฟท์ (graphite) โดยใช้กาว 10 ชนิดเป็นวัสดุประสาน ซึ่งพบว่า กาว epoxy resin มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับส่วนผสมข้างต้น Laufenberg และคณะ [7] ได้ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตแผ่นไม้วีเนียร์ลามิเนต (Veneer laminated lumber หรือ LVL) ที่เสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยสังเคราะห์ โดยพบว่า แผ่นประกอบที่ใช้เส้นใยแก้วประเภท E glass และกาวเรซินประเภทฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ (phenol formaldehyde หรือ PF) มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในการพัฒนา กำลังรับแรงดึงของวัสดุ คณะวิจัยของ Chui [8] ได้ศึกษาการใช้กาวเรซิน (resin) ในการผลิตแผ่น LVL และพบว่าสมบัติเชิงกลและการคงรูปของวัสดุจะมีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อขึ้นรูปด้วยกาวชนิดฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์ นอกจากนี้ Basterra และคณะ [9] ได้ทดสอบการเสริมแรงในคานไม้ประกอบด้วยเส้นใยแฟล็กซ์ (flax fiber) ใยแก้ว (glass fiber) และเส้นใยคาร์บอน (carbon fiber) ซึ่งพบว่า คานมีความแข็งแรงและมีโมดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ Borri และคณะ [10] ได้ทดสอบการเสริมแรงในคานไม้ประกอบด้วยเส้นใยป่าน (hemp fiber) เส้นใยแฟล็กซ์ (flax fiber) เส้นใยหินบะซอลต์ (basalt fiber) และเส้นใยไม้ไผ่ ซึ่งพบว่า คานมีความสามารถสูงขึ้นในการรับแรงดัดและการโก่งตัว การศึกษาของ Mohebbi และคณะ [11] เกี่ยวกับการเสริมแรงของแผ่นใยไม้อัด ความหนาแน่นปานกลาง (MDF) ด้วยเส้นใยโลหะและเส้นใยวัสดุสังเคราะห์ พบว่า ความสามารถในการรับแรงดัดของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผสมด้วยเส้นใยโลหะ งานวิจัยของ Cai [12] นำเสนอการใช้เส้นใยแก้ว (fiber glass mat) ในการปรับปรุงสมบัติเชิงกลและคุณภาพพื้นผิวของแผ่นไม้ MDF และแผ่นเกล็ดไม้อัด (flakeboard) Xu และคณะ [13] ได้ศึกษาผลกระทบของความยาวและแนวการเรียงตัวของ

เส้นใยแก้วที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและความยืดหยุ่นของแผ่นใยไม้อัด Bal [14] ได้ทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นไม้ LVL ที่ผสมด้วยกาวเรซิน PF และเส้นใยแก้ว (glass fiber fabric) ซึ่งพบว่า วัสดุผสมสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการรับแรงดึงแบบผ่าซีก (splitting strength) และงานวิจัยต่อมาของ Bal [15] แสดงให้เห็นว่าการผสมเส้นใยแก้วในแผ่นไม้วีเนียร์ลามิเนต (LVL) จะช่วยให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติในการรับแรงกระแทกของวัสดุดีขึ้นด้วย

งานวิจัยข้างต้นได้นำเสนอผลการพัฒนาสมบัติของแผ่นใยไม้อัดและแผ่นประกอบที่มีไม้เป็นวัสดุผสม ซึ่งใช้กาวเรซินเป็นวัสดุประสาน และเสริมความแข็งแรงโดยใช้เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ เส้นใยโลหะ เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์หลักในการพัฒนาสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการรายงานเกี่ยวกับการพัฒนาแผ่นประกอบที่มีส่วนผสมของกระดาษเหลือใช้เพื่อนำมาใช้ทดแทนชิ้นไม้และใยไม้จากธรรมชาติ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหลือใช้เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานอาคาร และเป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาทดแทนวัสดุที่ใช้ในการผลิตวัสดุประกอบอาคารและนำเสนอแก่ผู้ผลิตหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตได้ต่อไป

1.1 กระดาษ

อุตสาหกรรมกระดาษจะใช้เยื่อกระดาษเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งประกอบด้วยเยื่อกระดาษใยสั้น ผลิตได้จากไม้ใบกว้าง (hardwood) และพืชสวน (non wood) เยื่อกระดาษใยยาว ผลิตได้จากไม้จำพวกสน (softwood) เช่น สนสองใบและสนสามใบ และเยื่อจากเศษกระดาษ นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกเยื่อตามกรรมวิธีการผลิตได้ คือ เยื่อไม้บดหรือเยื่อไม้เชิงกล (mechanical wood pulp) มีความทึบแสงดีแต่ก็ไม่มีความเหนียว เยื่อกึ่งเคมี (semi-chemical wood pulp) ใช้ทำกระดาษลูกฟูกและกระดาษอื่นๆ ที่ไม่ต้องการความเหนียวมาก และเยื่อเคมี (chemical wood pulp) มีราคาสูง ใช้ผลิตกระดาษคุณภาพดีที่ต้องการความเหนียว [2]

1.2 เส้นใยแก้ว

อุตสาหกรรมเส้นใยแก้ว (glass fiber) นั้น มีการเจริญเติบโตไปพร้อมกับอุตสาหกรรมการผลิตไฟเบอร์กลาส (Fiberglass Reinforced Plastic : FRP) เนื่องจากอุตสาหกรรมเส้นใยแก้วเป็นชิ้นส่วนวัตถุดิบสำคัญที่ใช้ในการผลิตไฟเบอร์กลาส ทั้งนี้ ใยแก้วเป็นวัสดุเสริมแรงที่จัดเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี โดยมีส่วนผสมมาจากทราย (ซิลิกา) เป็นหลัก มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเสริมแรงให้กับวัสดุอื่น เนื่องจากมีน้ำหนักเบา มีความทนทานต่อสารเคมี สามารถผลิตได้ง่าย ราคาไม่แพง และมีหลายรูปแบบตามความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแบ่งประเภทของเส้นใยแก้วตามคุณสมบัติได้ 4 ประเภท ได้แก่ กลุ่ม E glass (electrical glass) มีลักษณะเป็นเส้นใยต่อเนื่องกัน โดยนิยมใช้ในกระบวนการผลิตพลาสติกเสริมแรง กลุ่ม A glass (alkali glass) เป็นแก้วชนิดโซดาไลม์ ที่ใช้ทำกระจกหน้าต่างและขวดแก้ว มีส่วนผสมของด่างสูง ทำให้สามารถดูดความชื้นได้ และใช้เสริมแรงได้ในขอบเขตจำกัด กลุ่ม C glass (chemical glass) เป็นแก้วที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานที่ต้องทนกรดสูงกว่า E glass โดยมักจะเป็นใยพีน เพื่อใช้เป็นชิ้นส่วนผิวหน้าของงานที่สัมผัสกับสภาพการกัดกร่อนของกรด และกลุ่ม S or T glass (high strength) เป็นแก้วที่ผลิตมาเพื่อทนต่อการต้านทานแรงดึง โดยมีความต้านทานแรงดึงและความยืดหยุ่นสูงกว่า E และ C glass ร้อยละ 33 และ 20 ตามลำดับ ใยแก้วชนิดนี้มักใช้กับงานโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง เพราะมีความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง และมีขีดจำกัดความล้าสูง [16]

1.3 แผ่นประกอบ

แผ่นประกอบ เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นที่ผลิตจากวัสดุ 2 ชนิดขึ้นไป คือ ไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส ซึ่งทำหน้าที่เป็นวัสดุหลักที่ให้ความแข็งแรง และผสมกับวัสดุประสานซึ่งทำหน้าที่ประสานเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่น ส่วนประกอบทั้งสองนี้จะต้องแสดงคุณสมบัติแต่ละส่วนแยกกันอย่างชัดเจน แต่เมื่อนำมาผสมกันจะมีคุณสมบัติที่ส่งเสริมกัน [17] โดยผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นไม้ประกอบใช้งาน ขนาด และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แผ่นไม้อัด

(plywood) แผ่นไม้อัดไส้ไม้ระแนง (block board) แผ่นใยไม้อัด (fiber board) แผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (Medium Density Fiberboard : MDF) แผ่นชั้นไม้อัดหรือแผ่นปาร์ติเกิล (particle board) แผ่นเกล็ดไม้อัดหรือเวเฟอร์บอร์ด (wafer boards) แผ่นแถบไม้อัดเรียงเส้น (oriented strand boards) และแผ่นไม้อัดประกอบ (composites plywood) [18]

กาวยุรีเนียมใช้สำหรับแผ่นประกอบสามารถแบ่งเป็น 3 ชนิด ซึ่งมีข้อดี ข้อเสีย และคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1) กาวยุรีเนียมฟอร์มัลดีไฮด์

กาวยุรีเนียมฟอร์มัลดีไฮด์ (Urea Formaldehyde หรือ UF) ผลิตจากการสังเคราะห์ก๊าซแอมโมเนีย (Ammonia) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide) ทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ด้วยปฏิกิริยาคอนเดนเซชัน โพลีเมอร์ไรเซชัน (condensation polymerization) กาวยุรีเนียมนี้เหมาะกับการผลิตไม้อัดเนื่องจากมีคุณสมบัติในการยึดติดที่แน่นสนิท ทนทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อรา และแนวคามมีสีอ่อนทำให้มองเห็นแนวคาม แต่ไม่ทนทานความชื้นและอุณหภูมิสูง โดยกาวยุรีเนียมอายุการเก็บ 3 ถึง 6 เดือน และกาวยุรีเนียมอายุการเก็บ 1 ถึง 2 ปี [17]

2) กาวยุรีเนียมฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์

กาวยุรีเนียมฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ (Phenol Formaldehyde หรือ PF) ผลิตจากฟีนอล (Phenol) ครีโซลล์ (Cresols) และซีเลโนลล์ (Xylenols) ทำปฏิกิริยากับสารแอลดีไฮด์ (Aldehydes) จำพวกฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) หรือพาราฟอร์มัลดีไฮด์ (Paraformaldehyde) ทำปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชัน (polymerization) กาวยุรีเนียมนี้มีความทนทานต่อสภาวะอากาศ ความร้อน และจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอัดไม้อยู่ระหว่าง 130-150 องศาเซลเซียส และมีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลแดง ซึ่งเหมาะกับการใช้ยึดติดไม้และสามารถใช้กับงานภายนอกได้ โดยสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิปกติได้ประมาณ 3 สัปดาห์ [17]

3) กาวยุรีเนียมไดไอโซไซยานาต

เมทิลีนไดฟีนิลไดไอโซไซยานาต (Methylene Diphenyl Diisocyanate : MDI) มีโครงสร้างแบบ

วงอะโรมาติก กาวยุรีเนียมนี้ มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีน้ำตาลดำ ไม่ละลายในน้ำ แอลกอฮอล์ กรด และด่าง สามารถยึดเหนี่ยวกับลิกนินและเซลลูโลสในไม้ได้ดี และมีความแข็งแรงสูงกว่ากาวยุรีเนียมทั่วไป ซึ่งมีประสิทธิภาพดีที่สุดในการนำมาใช้ผลิตแผ่นประกอบ [19] โดยสามารถใช้ได้ทั้งงานภายในและงานภายนอกอาคาร เนื่องจากมีความทนทานต่อสภาวะอากาศ และปล่อยสารพิษในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับกาวยุรีเนียมฟอร์มัลดีไฮด์ และฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ [20] งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กาวยุรีเนียม MDI เป็นวัสดุประสาน

2. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางความร้อนของแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษเหลือใช้ 4 ชนิด ได้แก่ กระดาษกล่องนมพาสเจอร์ไรส์ กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษคราฟท์ และกระดาษพิมพ์เขียน และใช้เส้นใยแก้วเป็นวัสดุผสมเพิ่มที่อัตราส่วนร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักของกระดาษ วัสดุประสานที่ใช้คือ กาวยุรีเนียม Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัสดุทั้งหมด

2.1 การผลิตตัวอย่างผลิตภัณฑ์แผ่นประกอบ

การผลิตตัวอย่างแผ่นประกอบจากกระดาษเหลือใช้เส้นใยแก้วเหลือใช้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- (1) ย่อยกระดาษทั้ง 4 ชนิดและเส้นใยแก้ว ด้วยเครื่องย่อยให้ได้เป็นชิ้นขนาดเล็กเท่าๆ กัน
- (2) นำวัสดุมาพิจารณาสัดส่วนที่ความหนาแน่นประมาณ 750 กก./ลบ.ม.
- (3) นำกระดาษที่ได้ผสมกับเส้นใยแก้วที่อัตราส่วนร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักของกระดาษ ตามสัดส่วนผสมดังแสดงในตารางที่ 1
- (4) นำวัตถุดิบที่ได้มาผสมกาวยุรีเนียม MDI ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของวัตถุดิบทั้งหมด
- (5) เทส่วนผสมเข้ากล่องเตรียมอัดที่รองด้วยแผ่นโลหะและกระดาษ Teflon โดยอัดร้อนที่แรงอัด 150 บาร์ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที
- (6) วางแผ่นตัวอย่างที่ผลิตได้ไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 7 วัน ก่อนนำมาตัดเพื่อทดสอบ

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของแผ่นประกอบจากกระดาษและเส้นใยแก้วเคลือใช้

สัดส่วนผสม	อัตราส่วนของเส้นใยแก้ว (%)	วัสดุผสม		กาว (g)
		กระดาษ (g)	เส้นใยแก้ว (g)	
P-F0G5	0	950.0	-	50.0
P-F10G5	10	855.0	95.0	50.0
P-F20G5	20	760.0	95.0	50.0
N-F0G5	0	950.0	-	50.0
N-F10G5	10	855.0	95.0	50.0
N-F20G5	20	760.0	190.0	50.0
K-F0G5	0	950.0	-	50.0
K-F10G5	10	855.0	95.0	50.0
K-F20G5	20	760.0	190.0	50.0
W-F0G5	0	950.0	-	50.0
W-F10G5	10	855.0	95.0	50.0
W-F20G5	20	760.0	190.0	50.0

หมายเหตุ P คือ กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์

N คือ กระดาษหนังสือพิมพ์

K คือ กระดาษคราฟท์

W คือ กระดาษพิมพ์เขียน

F คือ เส้นใยแก้วแทนที่กระดาษในอัตราร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักแห้งของกระดาษ

G คือ กาวเมทิลินไดฟีนิลไดโซไซยานเนต ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบทั้งหมด

2.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของแผ่นประกอบ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมแผ่นตัวอย่างขนาด 35x35x1 ซม. และนำมาตัดเป็นแผ่นตัวอย่างขนาดเล็ก เพื่อทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 [21] และ 878-2537 [22] โดยมีขนาด

ของตัวอย่างขึ้นทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยแผ่นตัวอย่างแต่ละแผ่น ถูกใช้ในการทดสอบตามมาตรฐานที่กำหนด โดยได้ทำการทดสอบประเภทละ 3 ตัวอย่าง เพื่อนำผลการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ย และนำไปวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดต่อไป

ตารางที่ 2 ขนาดขึ้นทดสอบ

สมบัติที่ทำการทดสอบ	ขนาดขึ้นทดสอบ (ม ³)
1. ความหนาแน่นและความชื้น	5x5x1
2. การพองตัวตามความหนา	5x5x1
3. การดูดซึมน้ำ	5x5x1
4. ความต้านทาน แรงตัด	5x20x1
5. แรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า	5x5x1

2.3 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิ์การนำความร้อนของตัวอย่างแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหล็ลือใช้ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) นำแผ่นประกอบที่ผลิตได้เตรียมเป็นชิ้นตัวอย่างขนาด 5x5x1 ซม. สำหรับการทดสอบโดยใช้สัดส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง

(2) นำชิ้นทดสอบเข้าเครื่อง hot disk thermal constant analyzer โดยใช้เทคนิค thermal constant analysis [23] ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิด้านหนึ่งให้กับแผ่นทดสอบให้คงที่ และเครื่องมือจะทำการบันทึกค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k)

3. ผลการศึกษา

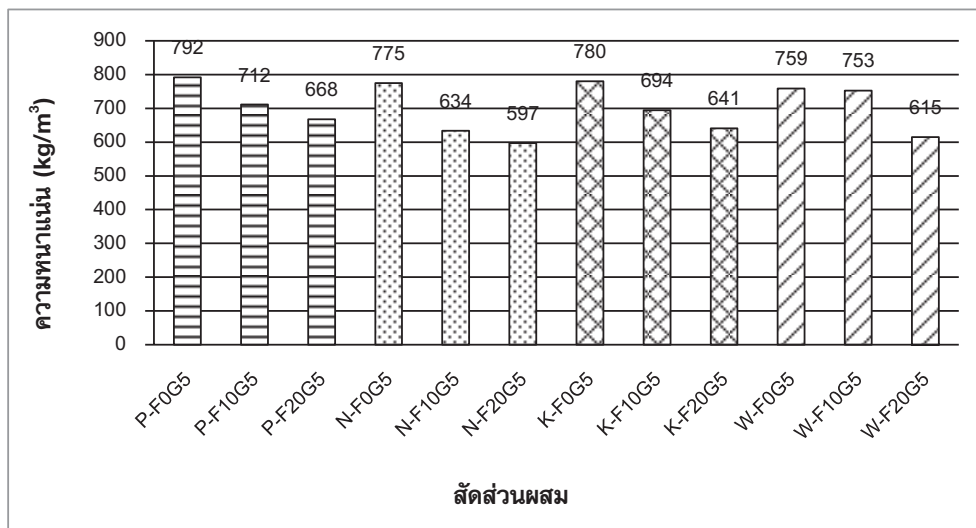
ผลการศึกษาแบ่งเป็นการศึกษาด้านสมบัติทางกายภาพสมบัติทางกลและสมบัติทางความร้อน โดยนำข้อมูลที่ได้มาศึกษา วิเคราะห์ และเปรียบเทียบเพื่อให้แผ่นประกอบ

ที่ผลิตได้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับงานก่อสร้างและงานสถาปัตยกรรมได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

3.1 สมบัติทางกายภาพของแผ่นประกอบ

3.1.1 ความหนาแน่นของแผ่นประกอบ

ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของแผ่นประกอบดังในรูปที่ 1 พบว่า แผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มค่าความหนาแน่นน้อยลง เนื่องจากปริมาณเส้นใยแก้วที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดรูพรุนและโพรงในเนื้อวัสดุมากขึ้น แผ่นประกอบในทุกสัดส่วนผสมมีค่าความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 597-792 กก./ลบ.ม. ซึ่งจัดเป็นวัสดุแผ่นประเภทความหนาแน่นต่ำถึงปานกลางและมีน้ำหนักต่ำกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดทั่วไปที่มีค่าความหนาแน่นประมาณ 800 กก./ลบ.ม. และแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดทั่วไปที่มีค่าความหนาแน่นประมาณ 1,100-1,300 กก./ลบ.ม. [24] ดังนั้นแผ่นประกอบที่ผลิตได้นี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นผนังโครงเคร่า ฝ้าเพดาน และส่วนประกอบอื่นในงานอาคารได้



รูปที่ 1 ความหนาแน่นของแผ่นประกอบ

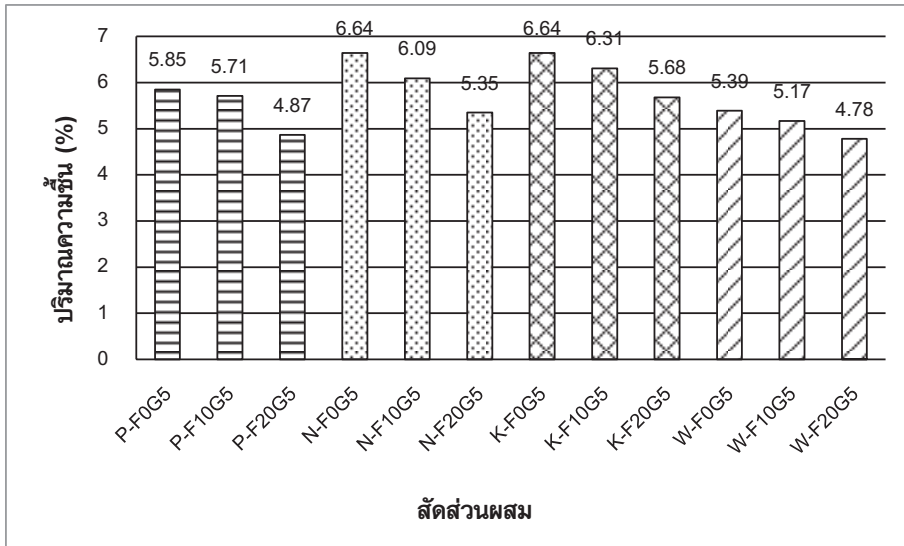
ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของแผ่นประกอบ พบว่า แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษกลอนมชนิดพาสเจอร์ไรส์มีแนวโน้มค่าความหนาแน่นเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษคราฟท์

และกระดาษหนังสือพิมพ์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ [8] ที่พบว่ากระดาษพิมพ์เขียนมีแนวโน้มค่าความหนาแน่นสูงกว่ากระดาษหนังสือพิมพ์เมื่อนำมาอัดเป็นแผ่น

3.1.2 ปริมาณความชื้นของแผ่นประกอบ

ผลการทดสอบปริมาณความชื้น ดังในรูปที่ 2 พบว่า แผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้นจะมีแนวโน้มค่าปริมาณความชื้นน้อยลง เนื่องจากเส้นใยแก้ว

เป็นวัสดุที่ไม่ดูดความชื้น เมื่อเข้าไปแทนที่กระดาษที่เป็นวัสดุประเภท hydrophilic จึงทำให้ปริมาณความชื้นในชั้นวัสดุน้อยลง โดยแผ่นประกอบจากกระดาษทุกชนิดอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด



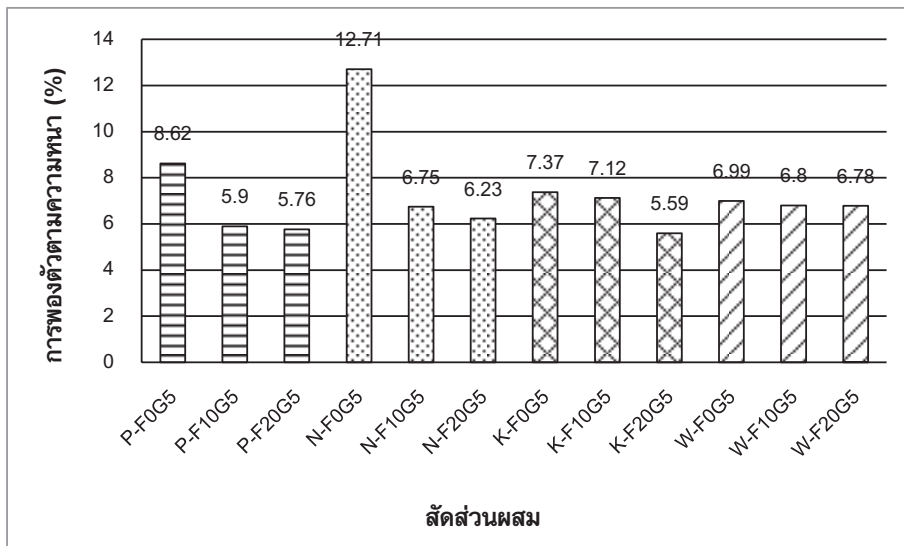
รูปที่ 2 ปริมาณความชื้นของแผ่นประกอบ

ผลการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของแผ่นประกอบ พบว่า แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษกราฟที่มีแนวโน้มปริมาณความชื้นเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือกระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์ และกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ

3.1.3 การพองตัวตามความหนาของแผ่นประกอบ

ผลการทดสอบการพองตัวตามความหนา ดังในรูปที่ 3 พบว่า แผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนของเส้นใยแก้ว

เพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มค่าการพองตัวตามความหนาลดลง เนื่องจากกาวและเส้นใยแก้วมีส่วนช่วยให้ประสิทธิภาพในการคงรูปของวัสดุเพิ่มมากขึ้น [8] และจากตัวอย่างที่ได้ทดสอบทั้งหมด มีเพียงแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 0 (N-F0G5) เท่านั้นที่มีค่าการพองตัวตามความหนาเท่ากับร้อยละ 12.71 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ร้อยละ 12 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก. 876-2547) อยู่เล็กน้อย [21]

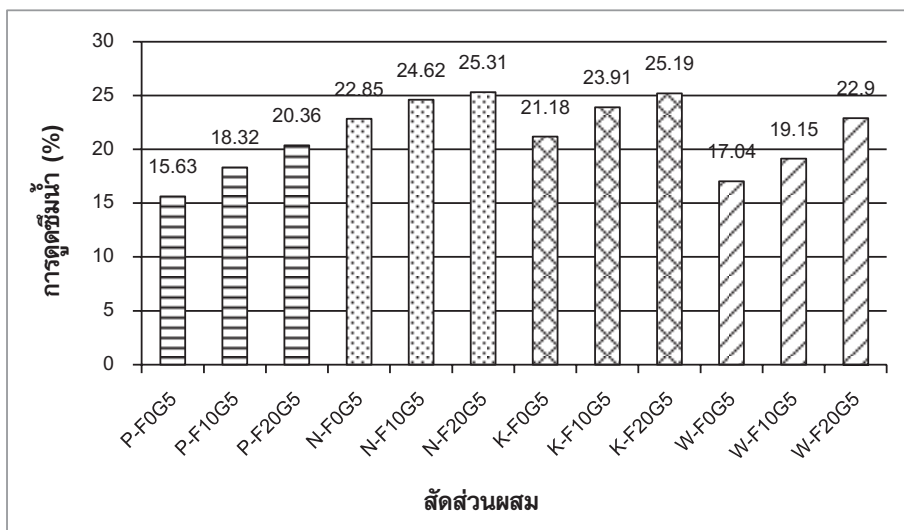


รูปที่ 3 การพองตัวตามความหนาของแผ่นประกอบ

ผลการเปรียบเทียบค่าการพองตัวตามความหนาพบว่า แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษหนังสือพิมพ์มีแนวโน้มค่าการพองตัวตามความหนาสูงที่สุด รองลงมาคือกระดาษพิมพ์เขียน กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์ และกระดาษคราฟท์ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [2, 20] ที่พบว่า กระดาษหนังสือพิมพ์มีแนวโน้มค่าการพองตัวตามความหนาสูงกว่ากระดาษพิมพ์เขียนเมื่อนำมาอัดขึ้นรูปเป็นแผ่น

3.1.4 การดูดซึมน้ำของแผ่นประกอบ

ผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ดังในรูปที่ 4 พบว่า แผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เส้นใยแก้วยังทำให้การอุ่มน้ำเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยแก้วทำให้เนื้อวัสดุไม่แนบติดกันสนิท เกิดโพรงในเนื้อวัสดุมากขึ้น น้ำจึงเข้าไปแทนที่ช่องว่างอากาศที่เกิดขึ้น



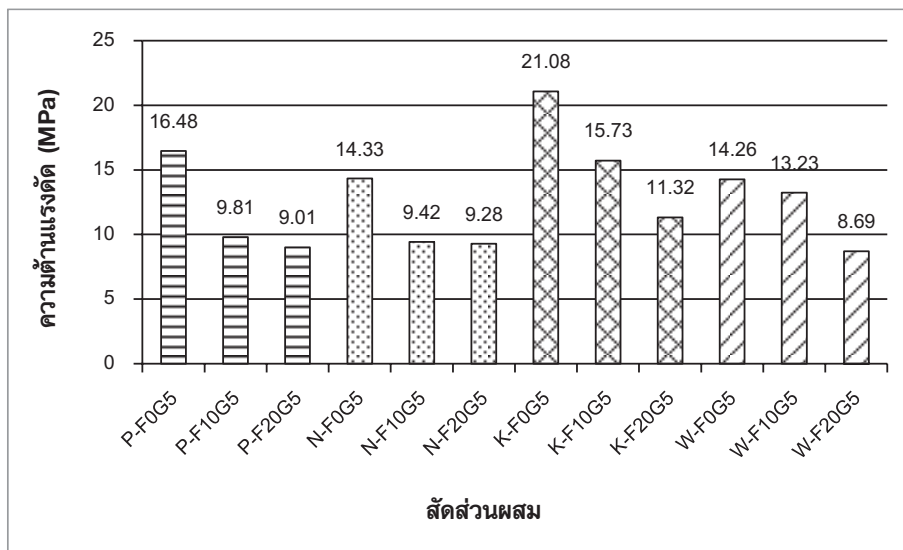
รูปที่ 4 การดูดซึมน้ำของแผ่นประกอบ

ผลการเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำ พบว่า แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษหนังสือพิมพ์มีแนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมาคือ กระดาษคราฟท์ กระดาษพิมพ์เขียน และกระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์ ตามลำดับ เนื่องจากกระดาษเป็นวัสดุประเภท hydrophilic ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [19] ที่พบว่ากระดาษหนังสือพิมพ์มีแนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่ากระดาษพิมพ์เขียน ทั้งแผ่นประกอบที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้มีแนวโน้มค่าการดูดซึมน้ำที่ต่ำกว่า แสดงให้เห็นว่าแผ่นประกอบที่ได้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

3.2 สมบัติเชิงกลของแผ่นประกอบ

3.2.1 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นประกอบ

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัด ดังในรูปที่ 5 พบว่า แผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนของเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มของค่าความต้านทานแรงดัดลดลง เนื่องจากเส้นใยแก้วทำให้สัดส่วนผสมของวัสดุมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ และเกิดโพรงในเนื้อวัสดุเพิ่มมากขึ้น และจากตัวอย่างทั้งหมด มีเพียงแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษพิมพ์เขียนผสมเส้นใยแก้วในอัตราร้อยละ 20 (W-F20G5) เท่านั้นที่มีค่าความต้านทานแรงดัดเท่ากับ 8.69 MPa ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ 9 MPa ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ความหนาแน่นสูง (มอก. 878-2537) อยู่เล็กน้อย [22]



รูปที่ 5 ความต้านทานแรงดัดของแผ่นประกอบ

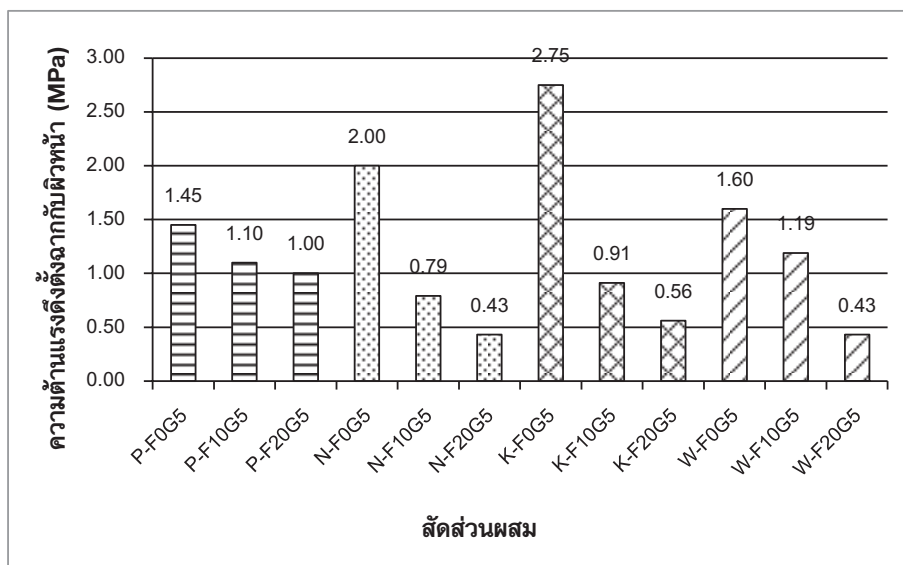
ผลการเปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงดัด พบว่า แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษคราฟท์มีแนวโน้มค่าความต้านทานแรงดัดเฉลี่ยสูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 21.08 MPa รองลงมาคือ กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์ (16.48 MPa) กระดาษหนังสือพิมพ์ (14.33 MPa) และกระดาษพิมพ์เขียน (14.26 MPa) ตามลำดับ โดยแผ่นประกอบที่ผลิตกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษพิมพ์เขียนมีค่าความต้านทาน

แรงดัดอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ผลจากการวิจัยพบว่าคุณภาพของเยื่อที่ใช้ทำกระดาษส่งผลต่อคุณภาพของแผ่นประกอบซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [20] ที่พบว่ากระดาษพิมพ์เขียน ซึ่งผลิตมาจากเยื่อที่มีคุณภาพสูงกว่าจะมีสมบัติเชิงกลสูงกว่ากระดาษหนังสือพิมพ์ซึ่งผลิตมาจากเยื่อที่มีคุณภาพต่ำกว่า

3.2.2 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นประกอบ

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ดังในรูปที่ 6 พบว่า แผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าน้อยลง ซึ่งเส้นใยแก้วที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าลดลงค่อนข้างมาก โดย

มีเพียงแผ่นประกอบจากกระดาษหนังสือพิมพ์และกระดาษพิมพ์เขียนที่ผสมเส้นใยแก้วร้อยละ 20 (N-F20G5 และ W-F20G5) เท่านั้นที่มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าเท่ากับ 0.43 MPa ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ 0.45 MPa ของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัตราบ (มอก. 876-2537) อยู่เล็กน้อย [21]

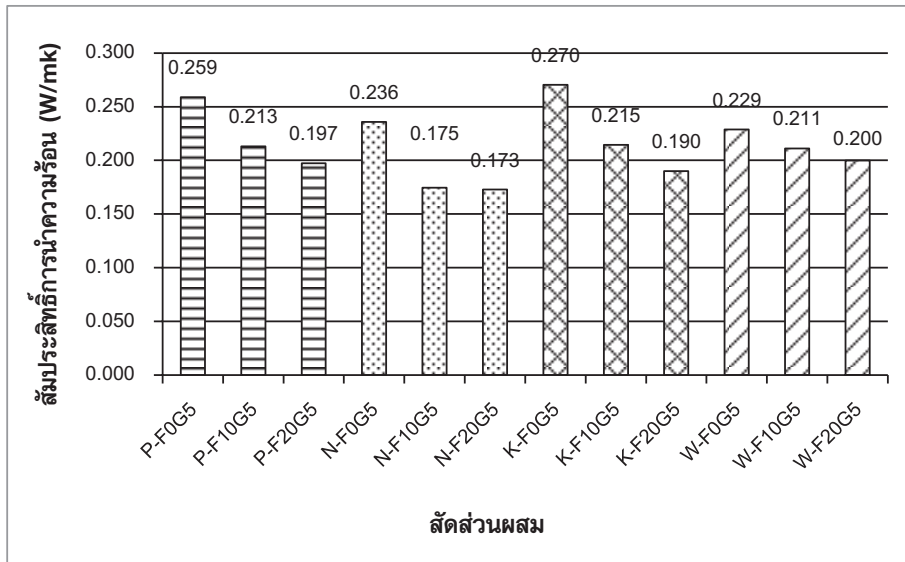


รูปที่ 6 ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นประกอบ

การเปรียบเทียบค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า พบว่า แผ่นประกอบที่ทำจากกระดาษกราฟที่มีค่าความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าสูงสุด รองลงมาคือ กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์ กระดาษพิมพ์เขียน และกระดาษหนังสือพิมพ์ ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของวัสดุ โดยวัสดุที่มีลักษณะบางกว่า จะยึดติดแน่นกว่า แต่การใส่ปริมาณเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น จะทำให้ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าของแผ่นประกอบมีค่าลดลงด้วยเช่นกัน

3.3 สมบัติทางความร้อนของแผ่นประกอบ

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (k) ของแผ่นประกอบ ดังในรูปที่ 7 พบว่า แผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนน้อยลง เนื่องจากเส้นใยแก้วมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำกว่ากระดาษ รวมถึงเส้นใยแก้วยังทำให้เนื้อวัสดุไม่แน่นติดกันสนิท เกิดโพรงอากาศในเนื้อวัสดุมากขึ้น และอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำกว่ากระดาษและเส้นใยแก้วอีกด้วย การเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่า แผ่นประกอบจากกระดาษกราฟที่มีแนวโน้มค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนสูงสุด รองลงมาคือ กระดาษกล่องนมชนิดพาสเจอร์ไรส์ กระดาษพิมพ์เขียน และกระดาษหนังสือพิมพ์ ตามลำดับ



รูปที่ 7 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นประกอบ

แผ่นประกอบจากกระดาษหนังสือพิมพ์ที่ผสมเส้นใยแก้วในอัตราร้อยละ 10 และ 20 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำสุด เท่ากับ 0.175 W/mK และ 0.173 W/mK ตามลำดับ ซึ่งจัดเป็นวัสดุแผ่นที่มีความสามารถในการเป็นฉนวนกันความร้อน และมีค่าการนำความร้อนใกล้เคียงแผ่นยิปซัมบอร์ดทั่วไปที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนประมาณ 0.190 W/mK และแผ่นไฟเบอร์ซีเมนต์บอร์ดทั่วไปที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนประมาณ 0.125 W/mK จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นผนังโครงคร่าวและฝ้าเพดานเพื่อช่วยลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารและส่งผลในการลดพลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศได้ [24]

4. สรุปผลการวิจัย

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษและเส้นใยแก้วเหลือใช้สำหรับการประยุกต์ใช้งานในอาคาร โดยแผ่นประกอบที่ผลิตขึ้นจากกระดาษแต่ละประเภทจัดเป็นวัสดุแผ่นที่มีความหนาแน่นในระดับต่ำถึงปานกลาง จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุประกอบอาคารได้ตามสมบัติที่ปรากฏ รวมถึงการผสมวัสดุประเภทเส้นใยแก้วซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแผ่นประกอบ จึงทำให้มีความ

เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นวัสดุประกอบอาคารในส่วนที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ฝ้าเพดานเป็นวัสดุอาคารที่ไม่ต้องการความแข็งแรงสูงมาก แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษเหลือใช้และเส้นใยแก้วในงานวิจัยนี้สามารถนำมาใช้ในงานฝ้าเพดานได้ ยกเว้นแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษหนังสือพิมพ์ไม่ผสมเส้นใยแก้วที่มีค่าการพองตัวตามความหนาสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานเล็กน้อย เส้นใยแก้วมีผลให้ปริมาณความชื้นและการพองตัวตามความหนาลดลง แผ่นประกอบที่ผลิตได้นี้สามารถนำไปใช้เป็นฝ้าเพดานในส่วนที่สัมผัสความชื้น เช่น ฝ้าระเบียง ฝ้าห้องน้ำ เป็นต้น

(2) ผนังเป็นวัสดุอาคารที่ต้องการความแข็งแรงเมื่อนำมาใช้เป็นผนังรับน้ำหนัก โดยแผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษคราฟท์มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดเท่ากับ 21 MPa และแผ่นประกอบที่มีอัตราส่วนของเส้นใยแก้วเพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มของความต้านแรงดัดลดลง เนื่องจากเส้นใยแก้วทำให้เกิดโพรงในเนื้อวัสดุมากขึ้น แต่มีข้อดีในการช่วยให้วัสดุมีความหนาแน่นลดลงและมีสมบัติในการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีขึ้น

(3) ฉนวนเป็นวัสดุอาคารที่ใช้ในการต้านทานความร้อนโดยไม่จำเป็นต้องมีความแข็งแรงสูง แผ่นประกอบ

ที่ผลิตจากกระดาษหนังสือพิมพ์ผสมเส้นใยแก้วมีสมบัติในการต้านทานความร้อนดีที่สุดและมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าแผ่นยิปซัมบอร์ดทั่วไป การผสมเส้นใยแก้วมีผลให้ความหนาแน่นลดลงซึ่งส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลงด้วย แผ่นประกอบที่ผลิตจากกระดาษเหลือใช้และเส้นใยแก้วในงานวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้เป็นแผ่นฝ้าเพดานและแผ่นผนังโครงเคร่าเพื่อป้องกันความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารและช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการปรับอากาศของอาคารได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปี 2556 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร และคณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และห้องปฏิบัติการสำหรับการผลิตและทดสอบ รวมไปถึงบริษัท ฟริสแลนด์คัมพิน่า เฟรช (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัท นิธิกูระ (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์วัสดุสำหรับการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

1. Ministry of Natural Resources and Environment, Pollution Control Department, 2012, Thailand State of Pollution Report 2012, Kotchakorn Publishing, Bangkok. (In Thai)
2. Okino, E.Y.A., Santana, M.A.E. and Souza, M.R., 2000, "Utilization of Waste Paper to Manufacture Low Density Boards," *Bioresource Technology*, 73, pp. 77-79.
3. Panavipart, C., 1996, A Feasibility Study Used Material and Fiberglass Products to Make a New Product in Industry, Master of Science Thesis, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University. (In Thai)
4. Wangaard, F.F., 1964, "Elastic Deflection of Wood-fiberglass Composite Beams," *Forest Product Journal*, 13 (6), pp. 256-260.

5. Biblis, E.J., 1965., "Analysis of Wood-fiberglass Composite Beams within and beyond the Elastic Region," *Forest Product Journal*, 15 (2), pp. 81-89.
6. Rowlands, R.E., Deweghe, R.P.V., Laufenberg, T.L. and Krueger, G.P., 1986, "Fiber-Reinforced Wood Composites," *Wood Fiber Science*, 18 (1), pp. 39-57.
7. Laufenberg, T.L., Rowlands, R.E. and Krueger, G.P., 1984, "Economic Feasibility of Synthetic Fiber Reinforced Laminated Veneer Lumber (LVL)," *Forest Product Journal*, 34 (4), pp. 15-22.
8. Chui, Y.H., Schneider, M.H. and Zhang, H.J., 1994, "Effects of Resin Impregnation and Process Parameters on some Properties of Poplar LVL," *Forest Product Journal*, 44 (7), pp. 74-79.
9. Basterra, L.A., Acuna, L., Casado, M., Lopez, G. and Bueno, A., 2012, "Strength Testing of Poplar Duo Beams, Populus x Euramericana (Done) Guinier cv. I-214, with Fibre Reinforcement," *Construction and Building Materials*, 36, pp. 90-96.
10. Borri, A., Corradi, M. and Speranzini, E., 2013, "Reinforcement of Wood with Natural Fibers," *Composites Part B : Engineering*, 53, pp. 1-8.
11. Mohebbi, B., Tavassoli, F. and Kazemi-Najafi, S., 2011, "Mechanical Properties of Medium Density Fiberboard Reinforced with Metal and Woven Synthetic Nets," *European Journal of Wood and Wood Products*, 69 (2), pp. 199-206.
12. Cai, Z., 2006, "Selected Properties of MDF and Flakeboard Overlaid with Fiberglass Mats," *Forest Product Journal*, 56 (11/12), pp. 142-146.
13. Xu, H., Nakao, T., Tanaka, C., Yoshinobu, M. and Katayama, H., 1998, "Effects of Fiber Length and Orientation on Elasticity of Fiber-reinforced Plywood," *Journal of Wood Science*, 44 (5), pp. 343-347.

14. Bal, B.C., 2014, "Flexural Properties, Bonding Performance and Splitting Strength of LVL Reinforced with Woven Glass Fiber," *Construction and Building Materials*, 51, pp. 9-14.
15. Bal, B.C., 2014, "Some Physical and Mechanical Properties of Laminated Veneer Lumber Reinforced with Woven Glass Fiber," *Construction and Building Materials*, 68, pp. 120-126.
16. Japan External Trade Organization (JETRO), 1990, FRP and Plastics Moulding Technology and its application in Japan, JETRO, Tokyo.
17. Oonjittichai, W., 1998, Particleboard Manufacture and Processing, Research Paper No. ๖.514, Wood and Forest Products Development Division, Royal Forest Department, Thailand. (In Thai)
18. Maloney, T.M., 1996, "The Family of Wood Composite Materials," *Forest Product Journal*, 46 (2), pp. 19-26.
19. Massijaya, M.Y. and Okuma, M., 2005, "Comparisons of Boards Properties made from Different Waste Papers," *Proceedings of Scientific Session 90, XXII IUFRO World Congress*, Brisbane, Australia.
20. Oonjittichai, W., 2005, Formaldehyde Emission from Particleboards, Research Report, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (In Thai)
21. Thai Industrial Standards Institute (TISI), 2004, Thai Industrial Standards for Flat Pressed Particleboards (TIS 876-2547), TISI, Bangkok. (In Thai)
22. Thai Industrial Standards Institute (TISI), 1994, Thai Industrial Standards for Cement Bonded Particleboards: High Density (TIS 878-2537), TISI, Bangkok. (In Thai)
23. Lateja, A., Hirunlabh, J., Thepa, S., Khedari, J. and Khedari, J., 2001, "Measurement of Thermal Properties of Building Materials," *KMUTT Research and Development Journal*, 24 (1), pp. 43-55. (In Thai)
24. Pakunworakij, T., Puthipiroj, P., Oonjittichai, W. and Tisavipat, P., 2006, "Thermal Resistance Efficiency of Building Insulation Material from Agricultural Waste," *Journal of Architectural Research and Studies (JARS)*, 4 (1), pp. 1-14. (In Thai)