

แบบสรุปย่อรายงานสำหรับผู้บริหารโครงการย่อยที่ 2

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การลดต้นทุนของวัตถุดิบในกระบวนการเตรียมแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มี
ยางธรรมชาติเป็นแกนกลางโดยใช้เศษชิ้นไม้จากไม้ยางพารา

(ภาษาอังกฤษ) Material Cost Reduction for the Preparation of Structural
Insulated Panel with NR Core by Using Rubberwood Particles

ชื่อแผนงาน (ภาษาไทย) การพัฒนาแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางสำหรับใช้เป็น
แผ่นผนังภายในตัวอาคาร

ชื่อแผนงาน (ภาษาอังกฤษ) The Development of Structural Insulated Panels with NR Core Filler
for Interior Uses

ผู้รับผิดชอบและหน่วยงาน ประกอบด้วย

1.1 หัวหน้าโครงการ

ชื่อหัวหน้าโครงการ	ผศ.ดร.สุฤกษ์ คงทอง
หน่วยงานต้นสังกัด	มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
สถานที่ติดต่อ	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160
หมายเลขโทรศัพท์	075-672-326
หมายเลขโทรสาร	075-672399
E-mail	ksureurg@wu.ac.th

งบประมาณ 465,300 บาท

ระยะเวลาดำเนินการ 12 เดือน ตั้งแต่วันที่ 15 กันยายน 2557 ถึง วันที่ 14 กันยายน 2558 ขยาย

ระยะเวลา 3 เดือน ถึงวันที่ 14 ธันวาคม 2558

ปัญหาที่ทําวิจัยและความสำคัญ

ปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุสำหรับก่อสร้างผนังภายในตัวอาคารมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา เพื่อลดความจำเป็นของการต้องมีคานเพื่อรับน้ำหนักของผนัง ส่งผลให้มีความยืดหยุ่นในการจัดสรรพื้นที่ใช้สอยภายในตัวอาคารมากยิ่งขึ้น ผนังภายในตัวอาคารดังกล่าวเป็นที่รู้จักกันในชื่อ Drywall หรือ ผนังเบา ซึ่งจำเป็นต้องติดตั้งวัสดุที่ใช้เป็นแผ่นผนังบนโครงคร่าวเนื่องจากเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีความแข็งแรงต่ำ ผลการวิจัยจากโครงการวิจัยที่ผ่านมา (*การพัฒนาแผ่นผนังฉนวนสำเร็จรูปที่มียางธรรมชาติเป็นวัสดุแกนกลาง RDG5550082*) ได้ทดลองเตรียมแผ่นผนังที่มีความแข็งแรงในตัวเพียงพอโดยไม่จำเป็นต้องใช้โครงคร่าวในการติดตั้ง มีลักษณะเป็นแผ่นผนังที่ประกอบด้วยชั้นผิวเป็นแผ่นแถบไม้อัดเรียงเส้น (oriented strand board, OSB) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ให้ความแข็งแรง และมีชั้นแกนกลางเป็นยาง

โพนที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี วัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของชั้นผิวคือแถบไม้บางๆที่เตรียมจากเศษไม้เหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา ส่วนวัสดุชั้นแกนกลางเป็นฉนวนโพนจากยางธรรมชาติ เพื่อพัฒนาแผ่นผนังที่เตรียมได้จากงานวิจัยให้มีศักยภาพเพื่อให้สามารถผลิตใช้งานเป็นแผ่นผนังภายในตัวอาคารได้จริง จึงจำเป็นต้องปรับปรุงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นผนังให้สามารถแข่งขันกับราคาค่าก่อสร้างผนังเบาซึ่งใช้ผลิตภัณฑ์ทางการค้ากลุ่ม board on frame ที่ผลิตจากวัตถุดิบราคาต่ำ ได้แก่ เส้นใยไม้ เศษชิ้นไม้เล็กๆ และปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์เป็นหลัก โดยการลดสัดส่วนของยางธรรมชาติซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีราคาสูง ซึ่งการลดวัตถุดิบส่วนดังกล่าวต้องไม่ส่งผลให้คุณสมบัติของแผ่นผนังที่เตรียมได้ลดลงไปจากผลการวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงต้องไม่ด้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าด้วย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาวิธีการลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูปที่มีแถบไม้ยางพาราเป็นชั้นผิวและยางโพนจากยางธรรมชาติเป็นแกนกลางด้วยการใช้เศษไม้ผสมในยางคอมพาวด์ชั้นยางโพน ซึ่งแผ่นผนังที่เตรียมได้ต้องมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

ผลการดำเนินงาน

1. สามารถเติมเศษผงไม้ลงในยางคอมพาวด์ได้สูงสุด 75 % โดยน้ำหนักของยาง (phr) เพื่อใช้เป็นชั้นยางโพนแกนกลางสำหรับเตรียมแผ่นผนัง ซึ่งแผ่นผนังยังคงความสามารถในการขยายตัวจนมีความหนาถึงระดับที่ต้องการได้
2. การเติมเศษผงไม้ในยางคอมพาวด์ในปริมาณ 75 phr ช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบของแผ่นผนังต้นแบบลงได้ประมาณ 60% และส่งผลให้ต้นทุนการเตรียมแผ่นผนังเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกรณีของการผลิตแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ และแผ่นผนังต้นแบบที่ได้นี้มีต้นทุนการผลิตอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับราคากลางของค่าก่อสร้างผนังเบา
3. แผ่นผนังซึ่งมีการเติมเศษผงไม้ในปริมาณ 75 phr ในชั้นยางคอมพาวด์ สามารถอัดขึ้นรูปได้ด้วยกระบวนการขยายแบบพัมพ์ 4 ช่วงที่ระยะเวลา 8:8:8 นาติ เพื่อให้ได้แผ่นผนังที่มีลักษณะสมบูรณ์และมีค่าความหนาแน่นตามข้อกำหนดของผนังเบา

4. เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นผนังที่มีการเติมเศษผงไม้กับแผ่นผนังที่ไม่เติมเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมแกนกลาง พบว่าแผ่นผนังที่มีการเติมเศษผงไม้มีค่า bending strength และ ค่า modulus of elastic สูงกว่าประมาณ 4 เท่า และ 6 เท่า ตามลำดับ ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน
5. เมื่อเปรียบเทียบแผ่นผนังจากงานวิจัยที่มีเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมกับผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้า พบว่าคุณสมบัติเด่นที่แผ่นผนังจากงานวิจัยมีเหนือกว่า คือค่า bending strength ที่สูงกว่าประมาณ 5 – 7 เท่า ค่า modulus of elastic ที่สูงกว่าประมาณ 1.5 เท่า ค่า water absorption และ thickness swelling หลังแช่น้ำ 24 ชม. ที่ดีกว่าประมาณ 1 เท่า ความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าประมาณเกือบ 2 เท่า ความสามารถในการลดทอนเสียง (STC) ที่ดีกว่าประมาณ 14 dB และนอกเหนือจากคุณสมบัติเด่นต่างๆที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้ แผ่นผนังจากงานวิจัยยังมีค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ของแผ่นผนังที่ต่ำกว่าประมาณ 12 กก. / ตร.ม. ด้วย แต่แผ่นผนังจากงานวิจัยมีจุดด้อยคือเกิดการลามไฟได้แต่ไม่ลุกลามไฟได้เอง ซึ่งการมีเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมช่วยชะลอการลามไฟของชั้นแกนกลางให้ลดลงได้ 21 มม./นาที่ ส่วนผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้าไม่เกิดการลามไฟ อย่างไรก็ตามระดับการลามไฟของชั้นผิวแถบไม้ของแผ่นผนังจากงานวิจัยนี้ยังอยู่ในระดับเดียวกับผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบทางการค้า ส่วนการลามไฟของชั้นยางโฟมอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ยางทั่วไปถึง 2 เท่า

สรุปผลการวิจัย

สามารถขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบที่ประกอบด้วยชั้นผิวจากแถบไม้ยางพาราและชั้นฉนวนโฟมแกนกลางจากยางธรรมชาติผสมเศษผงไม้ได้ด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปทั้งสองส่วนดังกล่าวไปพร้อมๆกัน โดยเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมช่วยให้แผ่นผนังที่เตรียมได้มีความแข็งแรงสูงขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ก่อสร้างผนังเบาชนิด board on frame พบว่าแผ่นผนังจากงานวิจัยมีความแข็งแรง มีความต้านทานต่อความชื้น ความเป็นฉนวนความร้อนและความสามารถกันเสียงรบกวนที่ดีกว่า ส่วนการลามไฟเป็นคุณสมบัติด้อยของแผ่นผนังนี้ ในขณะที่ต้นทุนการผลิตของแผ่นผนังจากงานวิจัยอยู่ในระดับใกล้เคียงกับราคากลางของค่าก่อสร้างผนังเบาในปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

การลดต้นทุนของแผ่นผนังในลักษณะนี้ยังสามารถทำได้โดยเพิ่มความหนาของชั้นผิวแถบไม้และลดความหนาของชั้นยางโฟมแกนกลาง เนื่องจากชั้นผิวแถบไม้มีต้นทุนที่ต่ำกว่า แต่การเพิ่มความหนาของชั้นผิวแถบไม้ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชั้นยางแกนกลางลดลง ดังนั้นส่งผลให้ไม่สามารถใช้กระบวนการขึ้น

รูปชั้นผิวแถบไม้และชั้นยางโฟมไปพร้อมๆกันได้ จึงจำเป็นต้องต้องแยกไลน์การผลิตชั้นผิวกับชั้นโฟมแกนกลางซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนราคาพลังงานการผลิตเพิ่มขึ้น และยังส่งผลให้การนำผลการวิจัยไปขยายขนาดเพื่อใช้กับอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรสำหรับผลิตแผ่นไม้ประกอบ (multi layers opening hot press) ทำได้ยากขึ้นเนื่องจากจะต้องเพิ่มไลน์การผลิต นอกจากนั้นการเพิ่มความหนาของชั้นผิวแถบไม้และลดความหนาของชั้นยางโฟมแกนกลางยังเป็นสาเหตุให้ค่าความหนาแน่น (น้ำหนัก) ของแผ่นผนังเพิ่มขึ้นจนอาจจะสูงเกินค่าที่กำหนดสำหรับผนังเบา ส่วนคุณสมบัติด้านการลามไฟซึ่งเป็นจุดด้อยของแผ่นผนังนั้นสามารถปรับปรุงได้โดยใช้ลามิเนตปิดผิวหรือใช้แผ่นโลหะเป็นวัสดุชั้นผิวแทนแถบไม้

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาการลดต้นทุนของการเตรียมแผ่นผนังที่ประกอบด้วยชั้นผิวเป็นแถบไม้อัดเรียงสลับผสมจากเศษไม้ยางพาราเหลือใช้และมีชั้นแกนกลางเป็นฉนวนโฟมจากยางธรรมชาติ ด้วยการเติมเศษผงไม้ในยางคอมพาวด์สำหรับใช้เป็นชั้นโฟมแกนกลาง พบว่าสามารถเติมเศษผงไม้ลงในยางคอมพาวด์ได้สูงสุด 75 % โดยน้ำหนักของยาง ซึ่งแผ่นผนังที่ได้ยังคงความสามารถในการขยายตัวจนมีความหนาถึงระดับที่ต้องการ และการเติมเศษผงไม้ในปริมาณดังกล่าวช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบของแผ่นผนังต้นแบบลงได้ประมาณ 60% แต่ส่งผลให้ต้นทุนพลังงานการผลิตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของการผลิตแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ อีกทั้งยังพบว่าแผ่นผนังต้นแบบที่ได้จากงานวิจัยนี้มีราคาต้นทุนอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับราคากลางของค่าก่อสร้างผนังเบาในปัจจุบัน

สำหรับกระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังนั้น ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการอัดร้อนแถบไม้ผสมกาวซึ่งเป็นส่วนประกอบของชั้นผิวแถบไม้และชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางในแบบพิมพ์ที่ออกแบบให้สามารถปรับขยายช่องว่างภายในแบบพิมพ์ได้ ดังนั้นชั้นผิวแถบไม้และชั้นยางโฟมแกนกลางจึงฟอร์มตัวขึ้นเป็นแผ่นผนังที่มีลักษณะเป็นแผ่นแซนวิชพร้อมๆ กันและในแบบพิมพ์เดียวกัน ซึ่งนอกจากแผ่นผนังที่มีการเติมเศษผงไม้นี้จะมีต้นทุนที่ลดลงแล้ว ยังมีค่า bending strength และ ค่า modulus of elastic สูงขึ้นกว่ากรณีไม่เติมเศษผงไม้ประมาณ 4 เท่า และ 6 เท่า ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นผนังจากงานวิจัยที่มีเศษผงไม้กับผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้าพบว่า คุณสมบัติเด่นที่แผ่นผนังจากงานวิจัยมีเหนือกว่า คือการที่มีค่า bending strength สูงกว่าประมาณ 5 – 7 เท่า มีค่า modulus of elastic สูงกว่าประมาณ 1.5 เท่า มีค่า water absorption และ thickness swelling หลังแช่น้ำ 24 ชม. ที่ดีกว่าประมาณ 1 เท่า มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าประมาณเกือบ 2 เท่า มีความสามารถในการลดทอนเสียง (STC) ที่ดีกว่าประมาณ 14 dB และยังมีค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ของแผ่นผนังที่ต่ำกว่าประมาณ 12 กก. / ตร.ม. อีกด้วย แต่แผ่นผนังจากงานวิจัยมีจุดด้อยคือเกิดการลามไฟ ซึ่งการมีเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมช่วยชะลอการลามไฟของชั้นแกนกลางให้ลดลงได้ 21 มม./นาที อย่างไรก็ตามระดับการลามไฟของชั้นผิว OSB ของแผ่นผนังจากงานวิจัยยังอยู่ในระดับเดียวกับผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบทางการค้า ส่วนการลามไฟของชั้นโฟมยางอยู่ในระดับที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์ต่างๆไปถึง 2 เท่า

คำสำคัญ: แผ่นผนังเบา แซนวิชบอร์ด ยางโฟม ไม้ยางพารา ยางธรรมชาติ

Abstract

This study involves the cost containment of frameless sandwich panel preparation by the addition of rubberwood particles into rubber compounding. This panel consists of oriented strand board (OSB) from the waste of rubberwood timber production as facing layers and rubber foam from natural rubber as an insulated core. The highest amount of rubberwood particles incorporated into rubber compounds was 75 wt% to yield the panel with a desired thickness. This would reduce the material cost for about 60% while brought about a little increase in the processing energy. Additionally, the production cost of this prototype panels was about the same as that of the construction of drywalls in Thailand.

In order to form the prototype, adhesive pre-mixed rubberwood strands and a rubber compound were compressed in the special mold. Thus, the outside OSB surfaces and the core rubber foam were simultaneously developed in the same procedure and became a sandwich panel. The addition of rubberwood particles led not only to the cost reduction, but also the development of 4 times in bending strength and 6 times in modulus of elastic than that of the unfilled one. Moreover, the filled prototype provided about 5 – 7 times in bending strength, 1.5 times in elastic of modulus, 1 times in water absorption and thickness swelling (24 h), 2 times in thermal insulation and 14 dB of sound transmission resistance greater than that of the commercial light weight panels (wood/cement or fiber/cement composite boards). However, the prototype yield poor flammability resistance - its flammability rate was fast, but not faster than that of general wood composite boards. In addition, the rubber foam core with rubberwood particles could retard the burning for 21 mm/min and yield two times greater fire resistance than that of the general rubber goods.

Keywords: light weight panel, sandwich board, rubber foam, rubberwood, natural rubber

โครงการย่อยที่ 2: การลดต้นทุนของวัตถุดิบในกระบวนการเตรียมแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางโดยใช้เศษชิ้นไม้จากไม้ยางพารา

1.ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุสำหรับก่อสร้างผนังตัวอาคารมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้คือเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและสะดวกในการติดตั้ง เพื่อลดความจำเป็นของการต้องมีคานเพื่อรับน้ำหนักของผนัง ส่งผลให้มีความยืดหยุ่นในการจัดสรรพื้นที่ใช้สอยภายในตัวอาคารมากยิ่งขึ้น ในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์กลุ่มดังกล่าวให้เลือกใช้หลายชนิด ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มแรกเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นผนังที่ต้องใช้โครงสร้างสำหรับการติดตั้ง (board on frame panels) ได้แก่ แผ่นผนังที่มีเส้นใยเซลลูโลส เศษชิ้นไม้ผสมกับซีเมนต์ แผ่นยิบซัม ซึ่งเป็นที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ “ผนังเบา” ซึ่งเมื่อติดตั้งบนโครงสร้าง (โครงคร่าว) แล้วจะมีการโป้วและทาสีทับ และกลุ่มที่สองเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นผนังที่ไม่ต้องใช้โครงสร้างในการติดตั้ง (frameless panels) ได้แก่ แผ่นผนังโครงสร้างที่เป็นฉนวนความร้อน (structural insulated panels, SIP) ซึ่งเป็นผนังที่มีความแข็งแรงและเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่ากลุ่มแรก นอกจากนั้นการรื้อถอนและติดตั้งใหม่เพื่อปรับเปลี่ยนพื้นที่ใช้สอยภายในตัวอาคารยังทำได้ง่ายกว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มแรกเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้โครงคร่าวเป็นตัวยึดแผ่น และสามารถทาสีทับหรือปิดทับด้วยแผ่นลามิเนตได้เช่นเดียวกัน [SIPA, 2012] อย่างไรก็ตามแผ่นผนังที่ใช้ก่อสร้างผนังเบาในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นกลุ่ม board on frame panels เนื่องจาก SIP ยังไม่ค่อยเป็นที่รู้จักและไม่มีการผลิตภายในประเทศ

ผลการวิจัยจากโครงการวิจัยที่ผ่านมา (*การพัฒนาแผ่นผนังฉนวนสำเร็จรูปที่มียางธรรมชาติเป็นวัสดุแกนกลาง RDG5550082*) [สุฤกษ์; 2556] ซึ่งได้ทดลองเตรียมแผ่นผนังในลักษณะเดียวกับ SIP ที่ใช้งานในต่างประเทศ แต่ปรับปรุงการใช้วัตถุดิบให้เหมาะสมกับบริบทของประเทศไทยและใช้กระบวนการขึ้นรูปขั้นผิว และยางแกนกลางด้วยการอัดขึ้นรูปในขั้นตอนและแบบพิมพ์เดียวกัน โดยแผ่นผนังที่เตรียมได้ประกอบด้วยชั้นผิว oriented strand board (OSB) ซึ่งเป็นชั้นที่ให้ความแข็งแรง และมีชั้นแกนกลางเป็นยางโฟมที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดี วัสดุที่ใช้เป็นส่วนประกอบของชั้นผิว OSB คือแถบไม้ยางพาราที่เตรียมจากเศษไม้เหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา ส่วนวัสดุชั้นแกนกลางเป็นยางโฟมจากยางธรรมชาติ ซึ่งในขั้นตอนการอัดขึ้นรูปนั้น ความร้อนจะถ่ายเทผ่านชั้น OSB ก่อนจึงผ่านเข้าสู่ชั้นยางแกนกลาง ดังนั้นการในชั้น OSB จะเกิดการเชื่อมประสานแถบไม้เข้าด้วยกันและสามารถเกิดพันธะกับสายโซ่ยางธรรมชาติในชั้นยางแกนกลางได้ ส่งผลให้เกิดความแข็งแรงภายในชั้นผิว OSB และที่รอยต่อระหว่างผิว OSB กับชั้นยาง ในขณะที่ความเย็นที่ถ่ายเทสู่ชั้นยางแกนกลางจะส่งผลให้สารพอลิเมอร์เกิดการสลายตัวให้ก๊าซ ดังนั้นเมื่อขยายแบบพิมพ์เพื่อให้ได้ระยะความหนาตามต้องการ ก๊าซในชั้นยางจะขยายตัวทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อยางโฟมและชั้นยางโฟมเกิดการวัลคาไนซ์คงรูปร่างที่ระยะความหนาตามต้องการ

เพื่อพัฒนาศักยภาพการแข่งขันของแผ่นผนังที่เตรียมได้จากงานวิจัย เพื่อให้สามารถใช้งานเป็นแผ่นผนังภายในตัวอาคารได้ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังเพื่อให้สามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์กลุ่ม board on frame panels ซึ่งใช้วัตถุดิบราคาต่ำ ได้แก่ เส้นใย เศษชิ้นไม้ เล็กๆ และปูนซีเมนต์พอร์ทแลนด์เป็นหลัก โดยการลดสัดส่วนของวัตถุดิบที่มีราคาสูงและการลดวัตถุดิบส่วนดังกล่าวต้องไม่ส่งผลให้คุณสมบัติของแผ่นผนังที่เตรียมได้ลดลงไปจากผลการวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงต้องไม่ด้อยกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าด้วย

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเป็นแผ่นผนังสำเร็จรูปที่มี OSB จากแถบไม้ยางพาราเป็นชั้นผิวและยางโฟมจากยางธรรมชาติเป็นแกนกลางด้วยการใช้เศษผงไม้ผสมในสูตรยางคอมปาวด์ชั้นยางโฟม
2. แผ่นผนังที่เตรียมได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ทางการค้า

3. ทฤษฎี แนวคิดในการทำวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากเป้าหมายของงานวิจัยคือ การเตรียมแผ่นผนังสำเร็จรูปสำหรับใช้ภายในตัวอาคาร ดังนั้นแผ่นผนังจากงานวิจัยนอกจากจะต้องมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าแผ่นผนังเบาประเภท board on frame แล้ว ยังต้องมีราคาต้นทุนอยู่ในระดับที่สามารถแข่งขันผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ได้ด้วย โดยผลิตภัณฑ์กลุ่มดังกล่าวมีราคาค่าก่อสร้างดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 นอกจากนั้นในการก่อสร้างผนังดังกล่าวจำเป็นต้องใช้โครงคร่าวเป็นโครงสร้างให้แผ่นผนังยึดเกาะ ดังนั้นจึงต้องมีราคาต้นทุนของโครงคร่าวอีกประมาณ 200 บาท/ตร.ม.

ตารางที่ 3.1 แสดงราคากลางของค่าก่อสร้างแผ่นผนังเบา (ข้อมูลจาก: รายการประมาณราคา ปิงบประมาณ 2557, สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน)

ผลิตภัณฑ์	ราคา (บาท/ตร.ม.)*
ยิปซัมบอร์ด หนา 9 มม.	564
ยิปซัมบอร์ด หนา 12 มม.	583
แผ่นกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ** หนา 6 มม.	396
แผ่นกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ** หนา 8 มม.	480
แผ่นกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ** หนา 10 มม.	571
แผ่นกระเบื้องซีเมนต์เส้นใยแผ่นเรียบ** หนา 12 มม.	655
แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนาแน่นสูง*** หนา 8 มม.	496
แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนาแน่นสูง*** หนา 10 มม.	546
แผ่นขึ้นไม้อัดซีเมนต์ ความหนาแน่นสูง*** หนา 12 มม.	588

* ราคาแผ่นผนังสองด้าน ไม่รวมราคาโครงคร่าวอีกประมาณ 200 บาท/ตร.ม.

** ผลิตภัณฑ์ประเภท fiber cement board

*** ผลิตภัณฑ์ประเภท wood cement board

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบที่ใช้ในการเตรียมแผ่นผนังจากแถบไม้ยางพาราและยางธรรมชาติ พบว่า ต้นทุนของราคาวัตถุดิบส่วนใหญ่เป็นราคาที่มาจากราคายางธรรมชาติดังแสดงในราคาที่ 3.2 การดำเนินการวิจัย ในช่วงนี้จึงศึกษาการลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้ โดยการปรับลดสัดส่วนของยางธรรมชาติในยางคอมพาวด์สำหรับใช้เป็นชั้นยางโฟมกลาง โดยการใช้วัตถุดิบที่มีต้นทุนต่ำ นั่นคือ **เศษผงไม้ (wood particle)** เนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ยางพารา นอกจากนั้นการมีเศษผงไม้ในแผ่นผนังยังเป็นการเพิ่มปริมาณการกักเก็บคาร์บอนไว้ในตัวผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์ในประเด็นของ carbon credit และในแง่ความเป็น Green Products ที่มากขึ้น ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกได้มากยิ่งขึ้น ในอนาคต อนึ่งประเด็นเรื่องการตั้งราคาของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้อาจจะมีใช้ปัญหาในการทำตลาดเนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อน ดังนั้นการลดต้นทุนของวัตถุดิบจะยิ่งช่วยเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขันให้กับผลิตภัณฑ์แผ่นผนังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงราคาต้นทุนวัตถุดิบของแผ่นผนังที่ชั้นผิวเป็น OSB และมียางโฟมเป็นแกนกลาง

ส่วนประกอบ	ราคาวัตถุดิบ (%)
ชั้นผิว OSB	
แถบไม้	4
กาว	14
ชั้นยางโฟม	
ยางธรรมชาติ	50
สารเคมีอื่นๆ	32

การปรับลดต้นทุนโดยการลดสัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติในชั้นยางโฟมนั้น ไม่กระทบต่อคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากแผ่นผนังที่เตรียมได้จากงานวิจัยมีลักษณะเป็นแผ่นผนังแซนวิชคือ ชั้นผิวสองด้านเป็นชั้น OSB และมีชั้นยางโฟมจากยางธรรมชาติเป็นแกนกลาง ชั้นผิว OSB ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้ความแข็งแรงแก่แผ่นผนัง โดยมีชั้นยางพองน้ำทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน ลดทอนเสียง และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แผ่นทางการค้า (ตารางที่ 3.3) พบว่าคุณสมบัติทางเชิงกลที่กำหนดไว้ ได้แก่ bending strength และ MOE นั้นขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของชั้นผิว OSB เป็นหลัก ส่วนคุณสมบัติด้าน internal bonding นั้น ในกรณีของแผ่นผนังแซนวิช ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้น OSB และชั้นโฟมยางเองจะมีอิทธิพลต่อค่า internal bonding การมีเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมจึงอาจจะส่งผลให้เกิด interlocking ระหว่าง OSB และ

ยางโฟมเกิดขึ้นได้น้อยลง [del Coz Díaz, J.J. et al.; 2008] ซึ่งหากกรณีนี้เกิดขึ้น ค่า internal bonding จะต่ำและพบการประลัยของชั้นทดสอบบริเวณรอยต่อของชั้น OSB และยางโฟม

นอกเหนือจากคุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงแล้ว ผู้วิจัยยังได้ทดสอบคุณสมบัติทางด้านความหนาแน่นซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของแผ่นผนัง การทนทานต่อความชื้น (water absorption และ thickness swelling) การเป็นฉนวนความร้อน การลดทอนเสียง ตลอดจนการลามไฟ โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แผ่นผนังกลุ่ม board on frame ทางการค้า เพื่อยืนยันว่าแผ่นผนังต้นแบบจากงานวิจัยที่มีเศษผงไม้ผสมในชั้นยางโฟม มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้เป็นแผ่นผนังภายในตัวอาคารได้

ตารางที่ 3.3 แสดงคุณสมบัติของแผ่นผนังทางการค้า (Mahaphant, 2012; วิบูลย์วัฒนอุธสากรรม, 2010; Siam cement group, 2010)

คุณสมบัติ	ผลิตภัณฑ์ทางการค้า*	มอก. 878-2537
การต้านแรงดัด (bending strength, MPa)	7 – 12	9 up
มอดุลัสยืดหยุ่น (MOE, MPa)	4,500 – 5,000	3,000 up
แรงยึดติดภายใน** (internal bonding, MPa)	0.25	0.25
ความหนาแน่น (density, ton/m ³)	1.3 – 1.4	-
การดูดซึมน้ำ (water absorption, wt%)	12 – 35	-
การพองตัวด้านความหนาหลังดูดน้ำ (thickness swelling, %)	1	Below 2
การเป็นฉนวนความร้อน (thermal conductivity, Watt/mK)	0.08 – 0.15	Below 0.25
สมรรถนะการลดทอนเสียง (sound transmission class, STC, dB)	28 - 38	-
การลามไฟ	ไม่ลามไฟ	-

* ผลิตภัณฑ์กลุ่ม fiber cement board และ wood cement board

** ผลิตภัณฑ์กลุ่ม OSB

นอกจากนั้นกระบวนการที่ใช้อัดขึ้นรูปแผ่นผนังในงานวิจัยนี้ยังเป็นกระบวนการขึ้นรูปแถบไม้ผสมกาซึ่งเป็นส่วนประกอบของชั้นผิว OSB ไปพร้อมกับชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางภายใต้อุณหภูมิและแรงอัดในแบบพิมพ์เดียวกัน ดังนั้นชั้นผิว OSB และชั้นยางโฟมแกนกลางจึงฟอร์มตัวขึ้นเป็นแผ่นผนังซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นแซนวิชพร้อมๆกัน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำกระบวนการนี้ไปประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปแผ่นไม้ประกอบของผู้ประกอบการที่มีเครื่องอัดแบบ multi layer opening hot press ได้โดยไม่ต้องมีการเพิ่มไลน์การผลิตใหม่

4. วิธีการดำเนินงาน

4.1 การศึกษาคุณสมบัติของยางคอมพาวด์ผสมเศษผงไม้ยาง

- การเตรียมเศษผงไม้ ทำโดยนำขี้เลื่อยคละขนาดจากโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา นครศรีพาราวัฏ อ.พรหมคีรี จ.นครศรีธรรมราช มาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 mesh (รูปที่ 4.1) เพื่อคัดเอาสิ่งเจือปน เช่น เศษยาง กรวด ก้อนหิน รวมทั้งชิ้นไม้ขนาดใหญ่ออก จากนั้นอบแห้งเศษผงไม้ที่ผ่านการร่อนแล้วที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (พบว่าให้น้ำหนักคงที่แล้ว) แล้วเก็บใส่ภาชนะปิดจนกระทั่งใช้งาน

- การเตรียมยางคอมพาวด์ที่มีเศษผงไม้ผสม เตรียม master bath ของยางธรรมชาติและเศษผงไม้ ด้วยเครื่อง two roll mills เพื่อให้ได้ master batch ที่มีปริมาณเศษผงไม้เท่ากับ 50, 75, 100 และ 125% โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ โดยในงานวิจัยนี้ไม่มีการใช้สารคู่ควบเพื่อเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับเศษผงไม้ เนื่องจากมีรายงานว่า การใช้สารคู่ควบไม่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของยางพองน้ำที่เตรียมได้ (สุฤกษ์, 2553) จากนั้นผสมยางคอมพาวด์โดยใช้สูตรยางในตารางที่ 4.1 โดยผสมในเครื่อง miniature internal mixer ใช้ fill factor เท่ากับ 70 % ความเร็วโรเตอร์ 60 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 30 °C แล้ววัดค่าพลังงานการผสมของคอมพาวด์แต่ละสูตร (การผสม ZDEC และ sulfur ทำภายหลังด้วยเครื่อง two roll mill)

ตารางที่ 4.1 แสดงสูตรยางคอมพาวด์ที่ใช้ในงานวิจัย

ส่วนผสม	ใช้สารฟูล 5 phr	ใช้สารฟูล 10 phr
ยางธรรมชาติ (STR 5L)	100	100
เศษผงไม้	0, 50, 75, 100,125	0, 50, 75, 100,125
ZnO	5	5
Stearic acid	1	1
สารฟูล (OBSh)	5	10
Kicker	1.5	3.3
ZMP	1	1
ZDEC	3	3
sulfur	2.5	2.5

- การทดสอบคุณสมบัติการวัลคาไนซ์ ใช้เครื่อง Gortech Oscillating Dies Rheometer (ODR) ที่อุณหภูมิ 150 °C โรเตอร์แกว่งด้วยมุม 1° ความถี่ 100 รอบต่อนาที

4.2 การศึกษาสภาวะเบื้องต้นสำหรับนำไปใช้ขึ้นรูปแผ่นผนัง

- การเตรียมแผ่นไม้ งานวิจัยนี้ใช้ไม้จากกิ่งของต้นยางพาราพันธุ์ RRIM 600 อายุ 25–30 ปี (เพื่อลดปัจจัยที่จะมีอิทธิพลต่อความแตกต่างของเส้นใยไม้ให้เหลือน้อยที่สุด) โดยนำไม้สดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ~ 8 ซม. ยาว ~ 15 ซม. ไปปอกเปลือกออกจนหมดก่อนนำเข้าเครื่อง disc flaker (รูปที่ 4.1) เพื่อแปรรูปเป็นแผ่นไม้ที่มีขนาดประมาณ $15 \times 2.5 \times 0.1$ ซม. แล้วอบแห้งด้วยเครื่อง rotary drum oven เป็นเวลา 24 ชม (รูปที่ 4.2) เพื่อให้เหลือความชื้นต่ำกว่า 3% จากนั้นผสมด้วยกาว Isocyanate Resins (MDI) ปริมาณ 6% โดยน้ำหนักในถังผสมกาวแบบหมุนเพื่อมิให้แผ่นไม้เกิดการแตกหัก

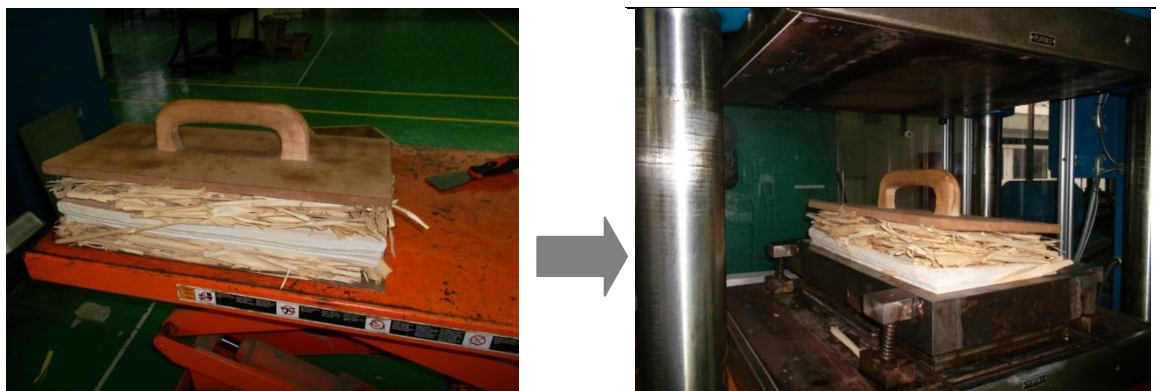


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะของท่อนไม้สดกลมที่กำลังป้อนเข้าสู่เครื่อง disc flaker



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะแผ่นไม้ในขณะอบด้วย rotary drum oven

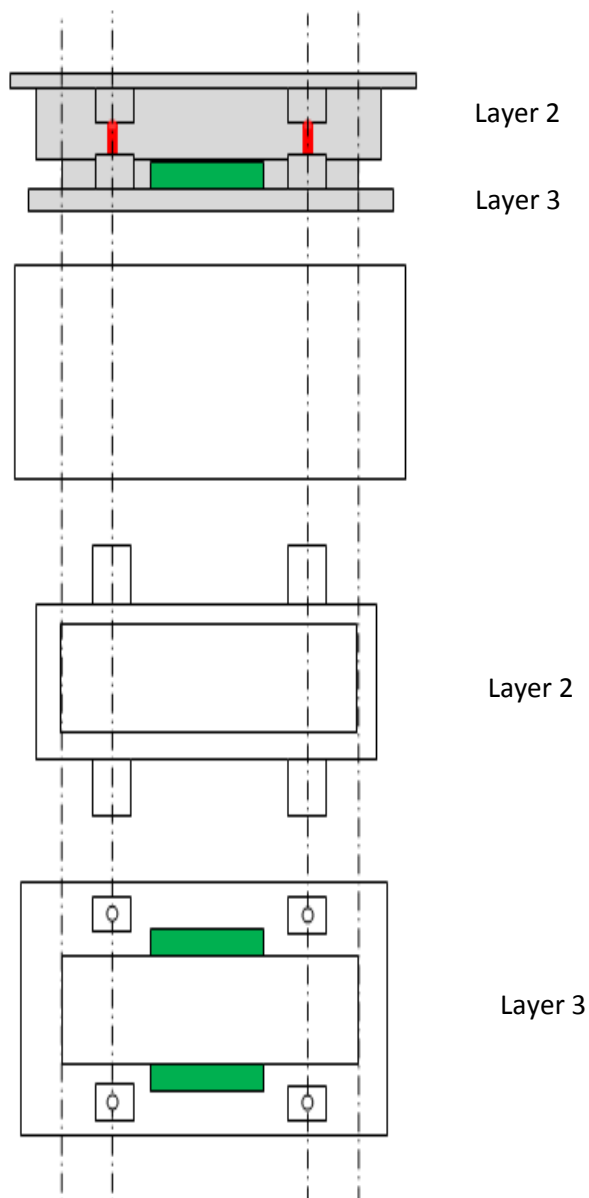
- การศึกษาอุณหภูมิภายในชิ้นตัวอย่างในขณะอัดขึ้นรูป โดยใช้แถบไม้ผสมกาวที่ได้ข้างต้นเรียงเป็นชั้นผิวทั้งด้านบนและล่างแล้วใช้ยางคอมพาวด์ที่ได้จากข้อ 4.1 เป็นชั้นยางแกนกลาง โดยแปรปริมาณของยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางให้มีปริมาณเท่ากับ เป็น 30, 40 และ 50% (ปริมาณ blank) ของแบบพิมพ์ที่มี mold cavity หนา 5 ซม (ใช้ 5 ซม เป็นเป้าหมาย เนื่องจากเป็นงานที่ดำเนินการก่อนการปรับความหนาแผ่นผนังเป็น 6.5 ซม และผู้วิจัยได้แปรปริมาณ blank มากกว่าที่ระบุไว้ในแผนงานของข้อเสนอโครงการวิจัยเพื่อให้ผลการทดลองมีความละเอียดมากขึ้น) โดยมีลักษณะการเรียงแถบไม้ผสมกาวและชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางดังแสดงในรูปที่ 4.3 จากนั้นอัดส่วนประกอบในแบบพิมพ์ด้วยแรงอัดประมาณ 24 kg/cm^2 และอุณหภูมิของแบบพิมพ์ 150°C เป็นระยะเวลานาน 10 และ 20 นาที โดยวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในชั้นยางแกนกลางทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 4.3 ลักษณะส่วนประกอบของชั้นแถบไม้ประกบชั้นยางคอมพาวด์แกนกลาง: ก่อนใส่ในแบบพิมพ์ (ซ้าย) และในขณะอยู่ในแบบพิมพ์ (ขวา)

4.3 การหากระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบที่ชั้นยางโฟมผสมด้วยเศษผงไม้

- กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นผนัง ใช้ยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณสารฟูล 5 และ 10 phr และแถบไม้ซึ่งเตรียมด้วยวิธีการที่กล่าวถึงข้างต้น โดยเรียงใส่แบบพิมพ์ด้วยวิธีการเดียวกัน โดยใช้ปริมาณ blank 40, 50 และ 60% อัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์ที่อุณหภูมิ 150°C ซึ่งแบบพิมพ์ที่ใช้มีขนาดประมาณ 25×50 ซม และสามารถปรับระยะความหนาของ mold cavity ได้ด้วยการตั้งระยะการเคลื่อนที่ของ layer 3 ที่อัดเข้าไปใน layer 2 ของแบบพิมพ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงภาพฉายของแบบพิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัย

- กระบวนการอัดขึ้นรูปที่ขยายแบบพิมพ์สองช่วง ทำโดยใช้แรงอัดประมาณ 24 kg/cm^2 กดอัดขึ้นแผ่นไม้และยางคอมพาวด์ที่เรียงในแบบพิมพ์เพื่อให้ความร้อนเกิดการถ่ายเทเข้าสู่ชั้นแผ่นไม้ผสมกาวและชั้นยางคอมพาวด์แกนกลาง จนถึงระยะเวลาที่กำหนดจึงขยายแบบพิมพ์ออกเพื่อให้ได้ความหนาของช่องว่างในแบบพิมพ์เท่ากับ 6.5 ซม แล้วให้ความร้อนต่อจนครบระยะเวลาที่กำหนดเพื่อให้ชั้นยางโฟมเกิดการขยายตัว

- กระบวนการอัดขึ้นรูปที่ขยายแบบพิมพ์สี่ช่วง ทำโดยใช้แรงอัดประมาณ 24 kg/cm^2 กดอัดขึ้นแถบไม้และยางคอมพาวด์ที่เรียงในแบบพิมพ์เพื่อให้ความร้อนเกิดการถ่ายเทเข้าสู่ชั้นแถบไม้ผสมกาวและชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางเช่นเดียวกัน จนถึงระยะเวลาที่กำหนดจึงขยายแบบพิมพ์ออกประมาณ 1 ใน 3 เพื่อให้ชั้นยางโฟมสามารถขยายตัวออกจนดันให้แผ่นผนังขยายเต็มช่องว่างในแบบพิมพ์อีกครั้ง เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดก็ขยายแบบพิมพ์ออกไปอีก 2 ครั้งเช่นเดิมจนกระทั่งได้ความหนาของช่องว่างในแบบพิมพ์เท่ากับ 6.5 ซม. ดังนั้นวิธีการนี้ผิวของแผ่นผนังซึ่งอยู่ภายในแบบพิมพ์จึงมีโอกาสขยายตัวออกจนสัมผัสกับแบบพิมพ์เป็นระยะเวลาที่นานกว่าส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานได้ดีกว่า

4.4 การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นผนัง

- การทดสอบคุณสมบัติทางเชิงกล เพื่อทดสอบความสามารถในการรับแรงดัดของแผ่นผนัง (bending strength และ modulus of elastic, MOE) ผู้วิจัยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน EN 310 ด้วยเครื่อง universal testing machine (UTM) ด้วยโหลดเซลล์ขนาด 500 KN ส่วนการทดสอบเพื่อหาค่า Internal bonding ซึ่งบ่งชี้ถึงระดับการเชื่อมประสานของกาวกับแถบไม้ในชั้น OSB ตลอดจนการเชื่อมประสานภายในชั้นยางโฟมและระหว่าง OSB กับชั้นยางโฟม ทำได้โดยใช้เครื่อง universal testing machine (UTM) ตามมาตรฐาน EN319 ด้วยโหลดเซลล์ขนาด 500 KN เช่นกัน

- การทดสอบความต้านทานต่อความชื้น โดยการทดสอบหาค่า water absorption และ thickness swelling

$$\text{water absorption (\%)} = (W_t - W_o) / W_o \times 100$$

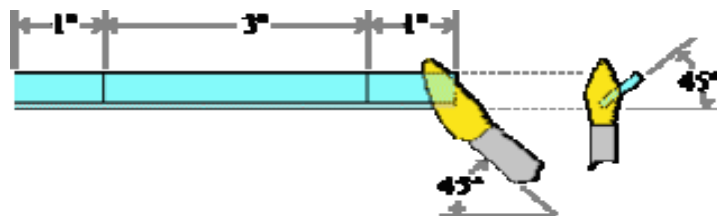
เมื่อ W_t , W_o = น้ำหนักหลังแช่น้ำ 24 ชม, น้ำหนักก่อนแช่น้ำ

ส่วน thickness swelling ทำโดยเลาะเอาชั้นผิว OSB, ชั้นยางพองน้ำแกนกลาง และใช้แผ่นฉนวนทั้งชิ้น แช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชม. แล้วคำนวณหาค่า thickness swelling

$$\text{thickness swelling (\%)} = (t_o - t_i) / t_o \times 100$$

เมื่อ t_o คือ ความหนาของชิ้นทดสอบก่อนแช่น้ำ และ t_i คือ ความหนาหลังแช่น้ำ

- *การนำความร้อน* (thermal conductivity) เพื่อทดสอบความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนโดยส่งชิ้นตัวอย่างไปทดสอบยังกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์ โดยเลาะเอาชั้นผิวOSB, ชั้นยางโฟมแกนกลาง และแผ่นผนังทั้งชั้นไปทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 518-10
- *การลดทอนเสียง* (sound transmission loss, STL และ sound transmission class, STC) เพื่อทดสอบความสามารถในการป้องกันเสียงจากภายนอกและคงไว้ซึ่งความเป็นส่วนตัวของผู้อยู่อาศัย ได้ส่งแผ่นผนังไปทดสอบยังสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยทดสอบด้วย impedance tube ตามมาตรฐาน ASTM E90-70t
- *การทดสอบการลามไฟ* ได้ส่งตัวอย่างแผ่นผนังไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ซึ่งเป็นการทดสอบการเผาไหม้ของวัสดุในแนวนอน (Horizontal testing) เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทดสอบเป็นวัสดุที่สามารถติดไฟได้ง่าย โดยให้เปลวไฟทำมุม 45 องศากับปลายด้านในด้านหนึ่งของชิ้นตัวอย่างตามข้อกำหนดของมาตรฐาน UL 94 (Standard for tests for flammability of plastic material for part in device & appliance) ดังแสดงในรูปที่ 4.5

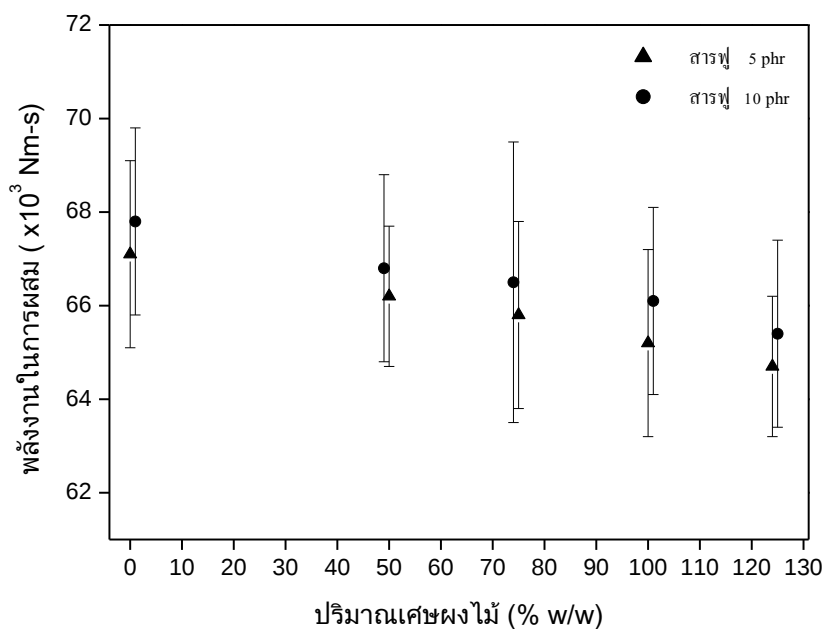


รูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบการลามไฟแบบ Horizontal Testing

5. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

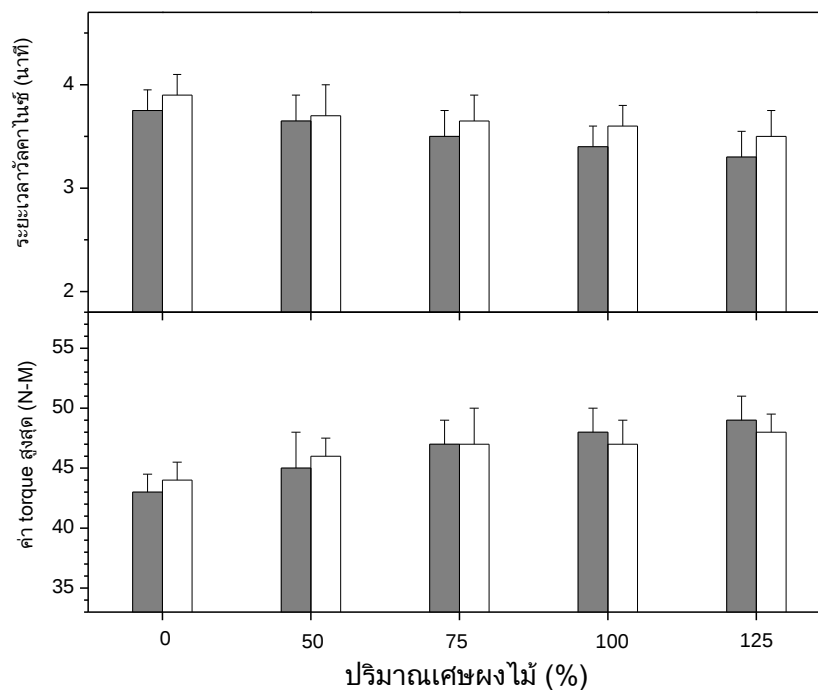
5.1 คุณสมบัติของยางคอมพาวด์ผสมเศษผงไม้ยาง

เพื่อให้แผ่นผนังที่มีชั้นยางโฟมเป็นแกนกลางจากงานวิจัย RDG 5550082 มีต้นทุนวัตถุดิบอยู่ในระดับที่สามารถแข่งขันกับผนังเบาภายในตัวอาคารซึ่งใช้ผลิตภัณฑ์ลักษณะ board on frame เป็นวัสดุก่อสร้าง ได้ผู้วิจัยจึงลดสัดส่วนการใช้ยางธรรมชาติในชั้นยางคอมพาวด์แกนกลาง (เนื่องจากต้นทุนของวัตถุดิบประมาณ 80 % มาจากชั้นยางคอมพาวด์) โดยการผสมเศษผงไม้ลงในยางคอมพาวด์ จากนั้นจึงศึกษาพลังงานของการผสมและคุณสมบัติของยางคอมพาวด์ที่มีการเติมเศษไม้ พบว่าการผสมยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณเศษผงไม้แตกต่างกันด้วยเครื่องผสมแบบปิดแสดงแนวโน้มการลดลงของพลังงานในการผสมประมาณ 3% เมื่อปริมาณเศษผงไม้เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 125 % โดยน้ำหนักยาง (phr) (รูปที่ 5.1) เนื่องจากเศษไม้ที่แทรกอยู่ในเนื้อยางคอมพาวด์ช่วยลดการพันเกี่ยวกันของยางโซโม่เลกุลยางธรรมชาติ ส่วนคอมพาวด์ที่มีปริมาณสารฟูล 5 phr และ 10 phr ให้แนวโน้มของพลังงานการผสมที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 5.1 พลังงานที่ใช้ในการผสมยางคอมพาวด์ที่มีเศษผงไม้ยางพาราผสมอยู่ในปริมาณที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ, phr) การทดลองทำในเครื่องผสมแบบปิด

จากนั้นนำยางคอมพาวด์ที่ผสมได้ไปทดสอบคุณสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Oscillating Disc Rheometer (ODR) พบว่ายางคอมพาวด์ที่มีเศษผงไม้ผสมในปริมาณที่สูงขึ้นแสดงแนวโน้มการลดลงของระยะเวลาวัลคาไนซ์ (รูปที่ 5.2) ซึ่งคาดว่าเนื่องจากการที่เศษไม้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่สูงกว่ายางธรรมชาติ จึงส่งผลให้มีปริมาณความร้อนถ่ายเทเข้าสู่คอมพาวด์ได้มากกว่า (Barbin and Rodgers, 1994) ดังนั้นการผสมเศษผงไม้ลงในคอมพาวด์ของชั้นยางแกนกลางน่าจะช่วยให้ระยะเวลาการขึ้นรูปแผ่นผนังลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่าทอร์คสูงสุด(M_H) ที่วัดได้จากเครื่อง ODR มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเศษผงไม้ในยางคอมพาวด์ด้วย ซึ่งผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าคุณสมบัติด้านความแข็งแรงของแผ่นผนังที่มีการเติมเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมแกนกลางน่าจะเพิ่มสูงขึ้นด้วย (Barbin and Rodgers, 2013)



รูปที่ 5.2 แสดงระยะเวลาการวัลคาไนซ์และค่าทอร์คสูงสุดจากเครื่อง ODR ของยางคอมพาวด์ที่มีเศษผงไม้ยางผสมในปริมาณที่แตกต่างกัน (แสดงปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ) แท่งกราฟสีเข้มและสีขาวแสดงคุณสมบัติของยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณสารฟูล์เท่ากับ 5 และ 10 phr ตามลำดับ

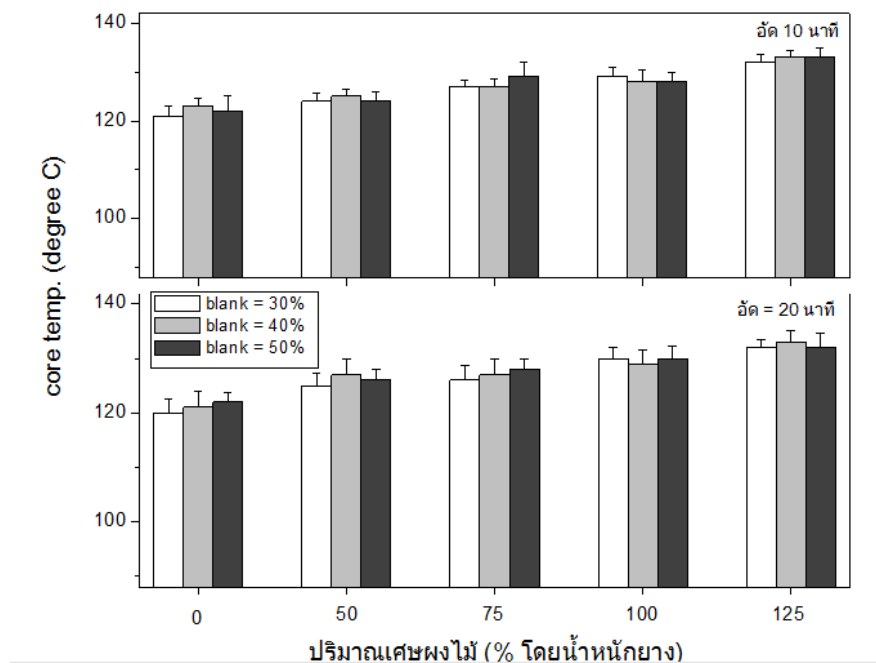
5.2 การศึกษาสภาวะเบื้องต้นของการอัดขึ้นรูปแผ่นผนัง

เนื่องจากกระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนัง ต้องใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อน โดยใส่วัสดุที่เป็น ส่วนประกอบคือแถบไม้ผสมกาสำหรับชั้นผิว OSB และยางคอมพาวด์สำหรับชั้นยางโฟมแกนกลางลงในแบบพิมพ์ ดังนั้นความร้อนจะเกิดการถ่ายเทผ่านแบบพิมพ์เข้าสู่ชั้นผิว OSB และยางคอมพาวด์ตามลำดับ การทดลองในช่วงนี้ จึงศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษผงไม้ในยางคอมพาวด์ต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่บริเวณกึ่งกลางชิ้นงานในขณะ ดำเนินการอัดร้อนขึ้นรูปแผ่นผนังในงานวิจัย

การทดลองนี้ผู้วิจัยได้วัดอุณหภูมิที่บริเวณกึ่งกลางของชั้นยางคอมพาวด์ในขณะขึ้นรูปแผ่นผนังในแบบพิมพ์ ที่มีอุณหภูมิ 150 °C เป็นระยะเวลานาน 10 และ 20 นาทีดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5.3 ซึ่งพบว่าแผ่นผนังที่มี เศษผงไม้ผสมอยู่ยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางตัวอย่างตาม ปริมาณของเศษไม้ที่เพิ่มขึ้นโดยตัวอย่างที่มีปริมาณเศษไม้ 125% ให้อุณหภูมิที่บริเวณกึ่งกลางสูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ประมาณ 10 °C ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองที่ได้กล่าวถึงไปแล้วในรูปที่ 5.2 นั่นคือที่พบว่าระยะเวลาการวัลคาไนซ์ของคอมพาวด์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณเศษผงไม้ที่มีมากขึ้น

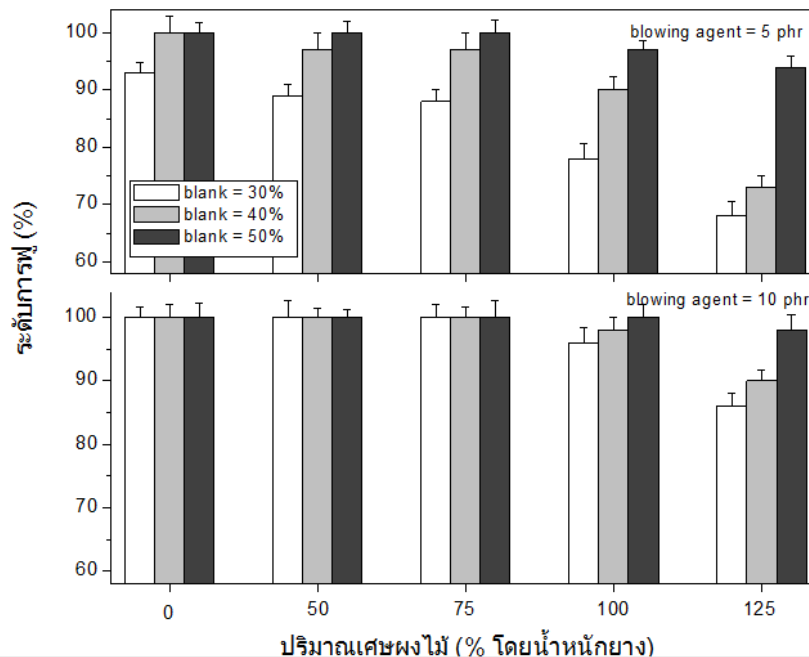
ผลการทดลองในรูปที่ 5.3 ยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณยางคอมพาวด์ที่ใช้ในชั้นแกนกลางของแผ่น ผนัง (ปริมาณ blank) ในช่วง 30 – 50 % ของปริมาตรแบบพิมพ์ ไม่มีอิทธิพลต่อการนำความร้อนของตัวอย่าง นอกจากนั้นยังพบว่าการเพิ่มระยะเวลาอัดจาก 10 นาทีเป็น 20 นาที ไม่ส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางชั้นยาง แกนกลางเพิ่มขึ้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าการให้ความร้อนที่ระยะเวลานาน 10 นาที ส่งผลให้อุณหภูมิบริเวณกึ่งกลาง ยางเข้าสู่สมดุลแล้ว นอกจากนั้นผลการทดลองที่แสดงในรูปนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้รายงานไว้ใน งานวิจัยที่ผ่านมา (RDG5550082) กล่าวคือที่พบว่าอุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางของชั้นยางในขณะอัดขึ้นรูปเริ่มเข้าสู่ สมดุลที่ระยะเวลาในการอัดประมาณ 10 นาทีและอุณหภูมิที่จุดสมดุลดังกล่าว (ที่รายงานไว้ในงานวิจัย RDG5550082) อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่กึ่งกลางของตัวอย่างยางคอมพาวด์ที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ดังที่ ได้แสดงในรูปที่ 3 นั่นคือประมาณ 120 °C

อย่างไรก็ตามแม้ผลการทดลองในช่วงนี้จะบ่งชี้ว่า การมีเศษผงไม้ในชั้นยางคอมพาวด์สามารถช่วยเพิ่มการ นำความร้อนในขณะอัดขึ้นรูปก็ตาม แต่ระดับอุณหภูมิสูงสุดในขณะอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 120 - 128 °C ซึ่งเป็นระดับ ที่ยังจำเป็นต้องใช้สารฟู OBSH และ สารตัวเร่ง ZDEC ในสูตรยางคอมพาวด์เช่นเดียวกับที่ใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมา (RDG 5550082)



รูปที่ 5.3 แสดงอุณหภูมิบริเวณกึ่งกลางของชั้นยางโฟมเมื่อมีปริมาณเศษผงไม้แตกต่างกันตั้งแต่ 0 – 125 % (โดยน้ำหนักของยางธรรมชาติ) และอัดขึ้นรูปด้วยปริมาณ blank 30, 40 และ 50% เมื่อใช้ระยะเวลาอัดในแบบพิมพ์นาน 10 และ 20 นาที

เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษผงไม้ ปริมาณสารฟู และปริมาณของ blank ที่ใช้ในการขึ้นรูปยางพองน้ำในแบบพิมพ์ต่อความสามารถในการขยายตัวของชั้นยางโฟม ผู้วิจัยได้แสดงผลค่าเปอร์เซ็นต์ระดับการฟูของยางโฟมแกนกลาง (หาจากความหนาของยางพองน้ำที่ได้ต่อความหนาของช่องว่างในแบบพิมพ์) จากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการอัดร้อน (โดยขยายแบบพิมพ์ทุกๆ 2 นาที จนได้ความหนาถึงระดับที่ต้องการ) ไว้ในรูปที่ 5.4 ซึ่งพบว่ายางคอมพาวด์ที่ผสมเศษผงไม้ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีระดับการฟูของยางพองน้ำลดลงเนื่องจากฟองอากาศเกิดขึ้นเฉพาะในส่วนของเนื้อยางที่ผสมสารเคมีเท่านั้น ดังนั้นการเพิ่มสัดส่วนของเศษผงไม้ในยางคอมพาวด์ส่งผลให้สัดส่วนของเนื้อยางคอมพาวด์ลดลง

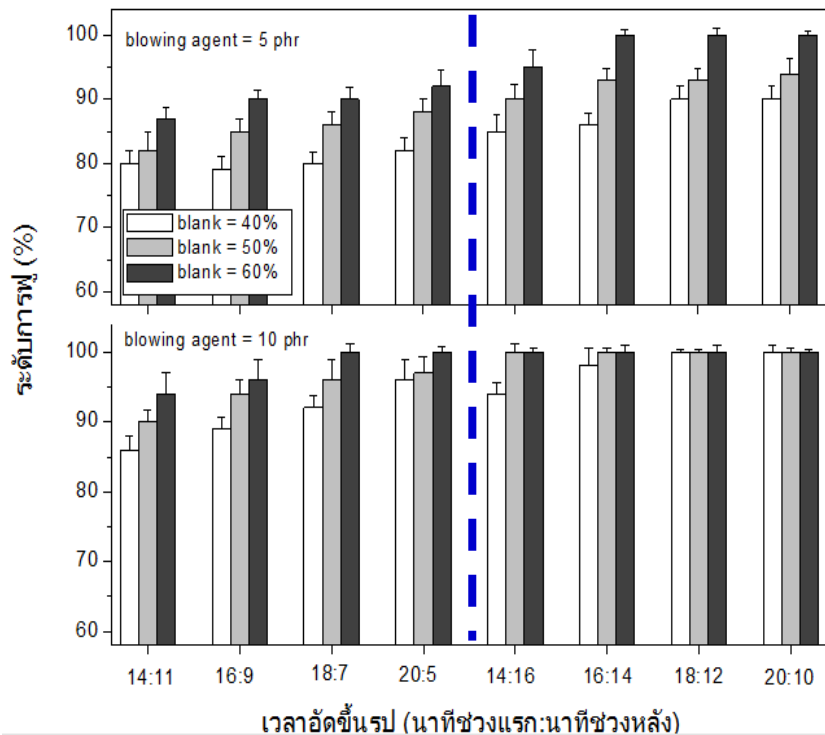


รูปที่ 5.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ระดับการฟุ้งของยางโฟมที่ขึ้นรูปจากยางคอมพาวด์ที่ใช้สารฟุ้ง 5 และ 10 phr เมื่อมีปริมาณเศษผงไม้ 0 – 125 % (โดยน้ำหนักของยาง) และอัดขึ้นรูปด้วยปริมาณ blank 30, 40 และ 50% เมื่อใช้ระยะเวลาอัดขึ้นรูปนาน 20 นาที

ผลการทดลองนี้ยังบ่งชี้ด้วยว่า ขีดจำกัดของการใช้ปริมาณเศษผงไม้ในสูตรยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางคือที่ปริมาณเศษผงไม้ไม่เกิน 75% เนื่องจากเศษไม้ในปริมาณสูงกว่านี้ส่งผลให้ชั้นยางโฟมไม่สามารถขยายตัวได้เต็มแบบพิมพ์แม้จะเพิ่มปริมาณสารฟุ้งขึ้นเป็นสองเท่าคือจาก 5 เป็น 10 phr นอกจากนั้นยังสะท้อนให้เห็นว่าการที่จะได้ชั้นยางโฟมที่สามารถขยายตัวเต็มแบบพิมพ์จะต้องใช้ blank ที่มีปริมาณอย่างน้อยคือ 40% ของช่องว่างแบบพิมพ์ เนื่องจากเป็นปริมาณที่ยังให้ชั้นยางโฟมที่ขยายเต็มแบบพิมพ์ได้แม้จะลดปริมาณสารฟุ้งลงถึงหนึ่งเท่าตัว (จาก 10 เป็น 5 phr) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้เศษผงไม้ผสมในสูตรยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางในปริมาณสูงสุดของขีดจำกัดคือ 75% เพื่อใช้อัดขึ้นรูปเป็นแผ่นผนังต้นแบบโดยไม่ได้ดำเนินการแปรการใช้เศษผงไม้ในปริมาณที่ต่ำกว่า 75% เนื่องจากการแปรปริมาณเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมแกนกลางของแผ่นผนังนั้นส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนในขณะอัดขึ้นรูปเปลี่ยนแปลง ซึ่งหากจะดำเนินการแปรการใช้เศษผงไม้ จะต้องใช้เวลาทำการทดลองหาสถานะในการอัดขึ้นรูปใหม่ในทุกๆ ครั้งที่แปรปริมาณเศษผงไม้เพื่อให้แผ่นผนังต้นแบบมีความหนาตามค่าที่กำหนด

5.3 กระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบที่ใช้ชั้นยางโฟมผสมด้วยเศษผงไม้

เพื่อศึกษากระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังที่ชั้นยางโฟมแกนกลางผสมด้วยเศษผงไม้ เพื่อให้ได้ความหนาของแผ่นผนัง 6.5 ซม (ข้อมูลจากโครงการย่อยที่ 3 ซึ่ง 6.5 ซม เป็นค่าความหนาที่จะเอื้อต่อการติดตั้งแผ่นผนังโดยใช้วัสดุก่อสร้างที่มีใช้ในปัจจุบันได้) ผู้วิจัยจึงได้ทดลองใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นผนังด้วยการอัดร้อนแถบไม้ผสมการซึ่งเป็นส่วนประกอบของชั้นผิว OSB และยางคอมพาวด์แกนกลางในแบบพิมพ์ที่ปรับขยายช่องว่างในแบบพิมพ์ได้ ดังนั้นชั้นผิว OSB และชั้นโฟมยางแกนกลางจึงเกิดการฟอร์มเป็นแผ่นผนังพร้อมๆกันและในแบบพิมพ์เดียวกัน โดยใช้ระยะเวลาอัดขึ้นรูปรวมทั้งสิ้นนาน 25 และ 30 นาที ซึ่งในช่วงระยะเวลาดังกล่าวได้การแปรระยะเวลาการอัดในช่วงแรกและช่วงคลายแบบพิมพ์ที่แตกต่างกัน รวมทั้งแปรปริมาณของ blank ที่ใส่ในช่องว่างแบบพิมพ์ ทั้งนี้เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นผิว OSB เข้าสู่ชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางแล้วส่งผลให้สารพอลิเมอร์ในตัวจนชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางเกิดการขยายตัวเป็นยางโฟม หลังจากนั้นจึงนำแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปได้จากแต่ละสภาวะไปหาค่าความหนา โดยแผ่นผนังที่สามารถขยายตัวจนได้ความหนารวมของแผ่นผนังต้นแบบเท่ากับ 6.5 ซม จะให้มีระดับการฟูเท่ากับ 100% ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5.5

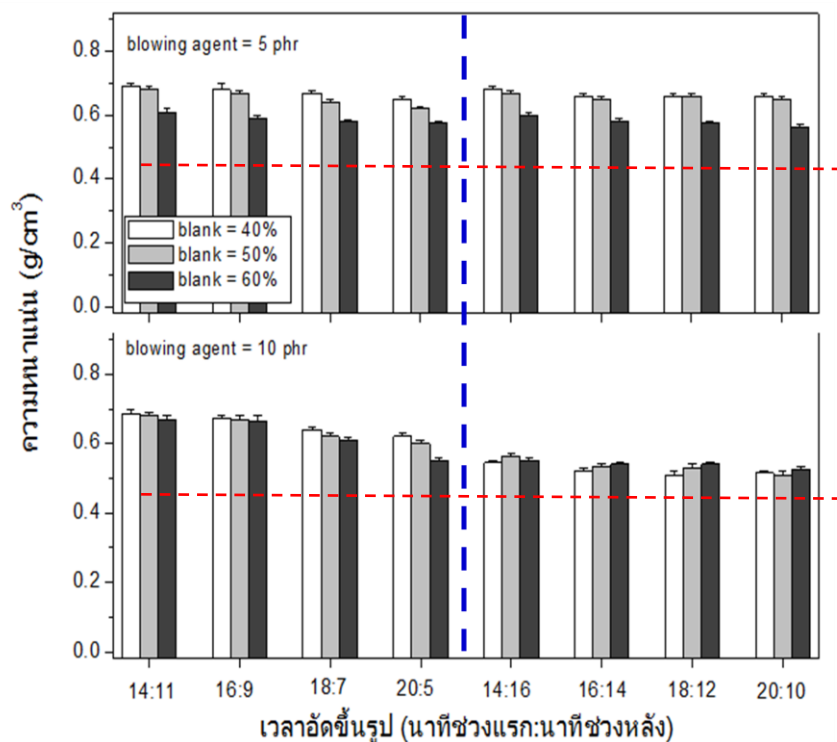


รูปที่ 5.5 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ระดับการฟูของแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปด้วยระยะเวลาการอัดรวมเท่ากับ 25 นาที (กลุ่มข้อมูลทางซ้ายของเส้นประ) และ 30 นาที (กลุ่มข้อมูลทางขวาของเส้นประ) โดยแปรระยะเวลาอัดช่วงแรกและระยะเวลาการขยายแบบพิมพ์ที่ต่างกัน เมื่อใช้ยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางที่มีสารฟู 5 และ 10 phr ที่ปริมาณ blank เท่ากับ 40 – 60 %

จากรูปจะเห็นได้ว่าการใช้ระยะเวลาอัดขึ้นรูปรวม 25 นาที จะให้แผ่นผนังที่มีความหนาถึงระดับที่ต้องการเมื่อใช้สารฟูปริมาณ 10 phr และปริมาณ blank 60% เพียงสถานะเดียว ส่วนการเพิ่มระยะเวลาการอัดขึ้นรูปรวมเป็น 30 นาที สามารถช่วยให้ได้แผ่นผนังในระดับความหนา 6.5 ซม ได้แม้จะใช้ปริมาณสารฟูเพียง 5 phr และยังสามารถลดปริมาณ blank ลงเหลือเพียง 40% ได้หากเพิ่มปริมาณสารฟูเป็น 10 phr ทั้งนี้ได้พบแนวโน้มของระดับการฟูที่เพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาของการอัดในช่วงแรก เนื่องจากเหตุผลที่ได้กล่าวถึงในตอนต้นกล่าวคือการเปิดโอกาสชั้นผิว OSB สัมผัสกับแบบพิมพ์นานขึ้นนั้น ช่วยให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางเพื่อให้สารฟูเกิดการสลายตัวได้สมบูรณ์มากขึ้น

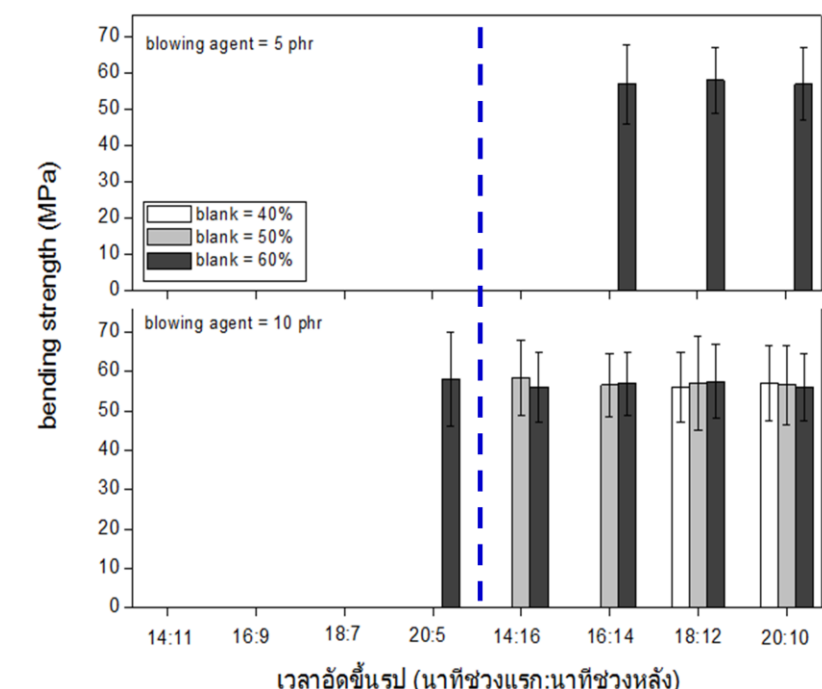
จากนั้นได้นำแผ่นผนังที่ขึ้นรูปได้ทั้งหมดไปทดสอบหาค่าความหนาแน่น (ซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักของแผ่นผนัง) พบว่าค่าความหนาแน่นที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าความหนาของแผ่นผนังที่เตรียมได้ กล่าวคือค่าความหนาแน่นมี

แนวโน้มลดลง (รูปที่ 5.6) ตามระดับการฟูของแผ่นผนังที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับเหตุผลของการเพิ่มระยะเวลาอัดในช่วงแรกคือเป็นการเพิ่มโอกาสให้สารฟูสลายตัวให้ฟองอากาศมากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าแผ่นผนังต้นแบบที่มีความหนา 6.5 ซม. (ซึ่งเป็นแผ่นผนังที่มีระดับการฟูเท่ากับ 100% ในรูปที่ 5.5) ที่ขึ้นรูปได้จากการทดลองนี้ล้วนมีค่าความหนาแน่นสูงกว่า 0.5 g/cm^3 ดังแสดงผลในรูปที่ 5.6 ซึ่งค่าความหนาแน่นดังกล่าวเป็นข้อกำหนดสำหรับผนังเบา, lightweight panels อนึ่งการที่แผ่นผนังมีค่าความหนาแน่นสูงขึ้นส่งผลให้น้ำหนักเพิ่มขึ้นด้วย จึงอาจเป็นอุปสรรคต่อการขนย้ายโดยการใช้กำลังคนเข้าภายในตัวอาคารและต่อกระบวนการติดตั้งได้ นอกจากนี้ค่าความหนาแน่นของแผ่นผนังที่เตรียมได้นี้ยังมีความสูงกว่ากรณีแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้อีกด้วย ซึ่งมีค่าความหนาแน่นประมาณ $0.45 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$

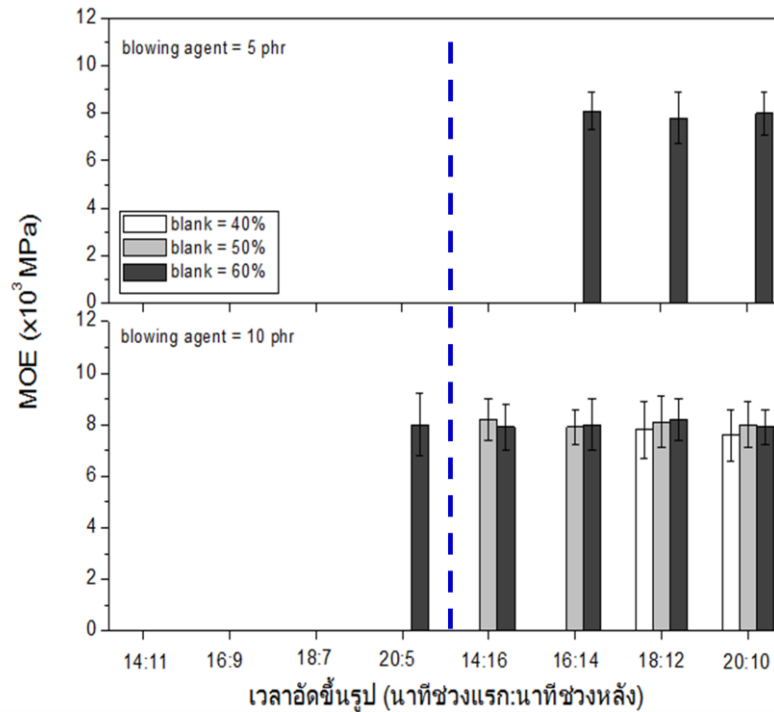


รูปที่ 5.6 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปด้วยระยะเวลาการอัดรวมเท่ากับ 25 นาที (กลุ่มข้อมูลทางซ้ายของเส้นประ) และ 30 นาที (กลุ่มข้อมูลทางขวาของเส้นประ) โดยแปรระยะเวลาอัดช่วงแรกและระยะเวลาการขยายแบบพิมพ์ต่างกัน เมื่อใช้ยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางที่มีสารฟู 5 และ 10 phr ที่ปริมาณ blank เท่ากับ 40 – 60 % (เส้นประในแนวนอนแสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้)

เพื่อทดสอบว่าแผ่นผนังต้นแบบซึ่งเตรียมได้ที่ระดับความหนา 6.5 ซม. มีคุณสมบัติทางเชิงกลที่ไม่ด้อยกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้า ผู้วิจัยจึงทดสอบหาค่า bending strength และ Modulus of elastic (MOE) ซึ่งแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5.7 และ 5.8 พบว่าคุณสมบัติทั้งสองของแผ่นผนังอยู่ในระดับที่สูงกว่าแผ่นผนังทางการค้าอย่างมาก (ข้อมูลคุณสมบัติของแผ่นผนังทางการค้าแสดงในตารางที่ 3.3 ซึ่งพบว่าแผ่นผนังจากงานวิจัยมีค่า bending strength สูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าตั้งแต่ 5 เท่าขึ้นไป) นอกจากนั้นยังพบว่าคุณสมบัติทั้งสองดังกล่าวมีค่าสูงกว่าแผ่นผนังกรณีที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ซึ่งมีค่า bending strength และ MOE ประมาณ 14 MPa และ 1.3×10^3 MPa ตามลำดับอีกด้วย เนื่องจากการที่เศษผงไม้ในชั้นยางโฟมช่วยเพิ่ม stiffness ให้กับแผ่นผนัง



รูปที่ 5.7 แสดงค่า bending strength ของแผ่นผนังต้นแบบเฉพาะกรณีที่มีความหนาถึง 6.5 ซม. (ค่า bending strength ของผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้าคือ 9 – 12 MPa)

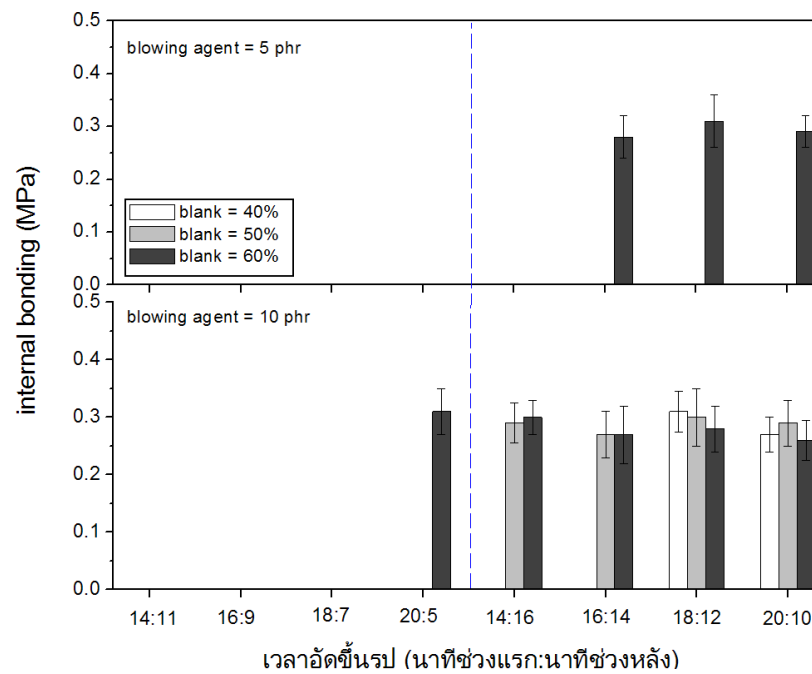


รูปที่ 5.8 แสดงค่า modulus of elastic (MOE) ของแผ่นผนังต้นแบบเฉพาะกรณีที่มีความหนาถึง 6.5 ซม (ค่า MOE ของผลิตภัณฑ์แผ่นผนังเบาทางการค้าคือ $5.0 - 5.5 \times 10^3$ MPa)

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทดสอบค่าแรงยึดติดภายในของแผ่นผนัง (internal bonding, IB) โดยการดึงชิ้นตัวอย่างในทิศทางตั้งฉากกับแนวระนาบของแผ่นเพื่อตรวจสอบความสามารถในการประสานกันของแถบไม้ในชั้นผิว OSB, ความสามารถในการติดกันระหว่างชั้นผิว OSB กับชั้นยางโฟมและความสามารถในการยึดติดกันภายในชั้นยางโฟมเอง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าชิ้นตัวอย่างเกิดการประลัยขึ้นในบริเวณแถบไม้ของชั้นผิว OSB ทั้งสิ้น (รูปที่ 5.9) โดยไม่พบการประลัยบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นผิว OSB กับชั้นยางโฟม และการประลัยภายในชั้นยางโฟมเลยในทุกตัวอย่างที่ทำการทดสอบ ผลการทดลองนี้บ่งชี้ว่าความสามารถในการเชื่อมประสานระหว่างชั้นผิว OSB ซึ่งเป็นแถบไม้กับชั้นยางโฟม และการเชื่อมประสานของเนื้อยางโฟมเอง มีค่าสูงกว่าแรงยึดติดของกาวระหว่างแถบไม้ในชั้นผิว OSB ซึ่งหากพิจารณาค่า IB ของชิ้นตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าแผ่นผนังจากงานวิจัยให้ค่า IB ที่สูงกว่าแผ่น OSB ทางการค้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.26 MPa (ตารางที่ 3.3) และสูงกว่าค่าของกรณีแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ นอกจากนี้ผลการทดลองนี้ยังบ่งชี้ด้วยว่าไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ชั้นยางโฟมเมอร์เพื่อช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างชั้นแถบไม้และยางโฟมแต่อย่างใด



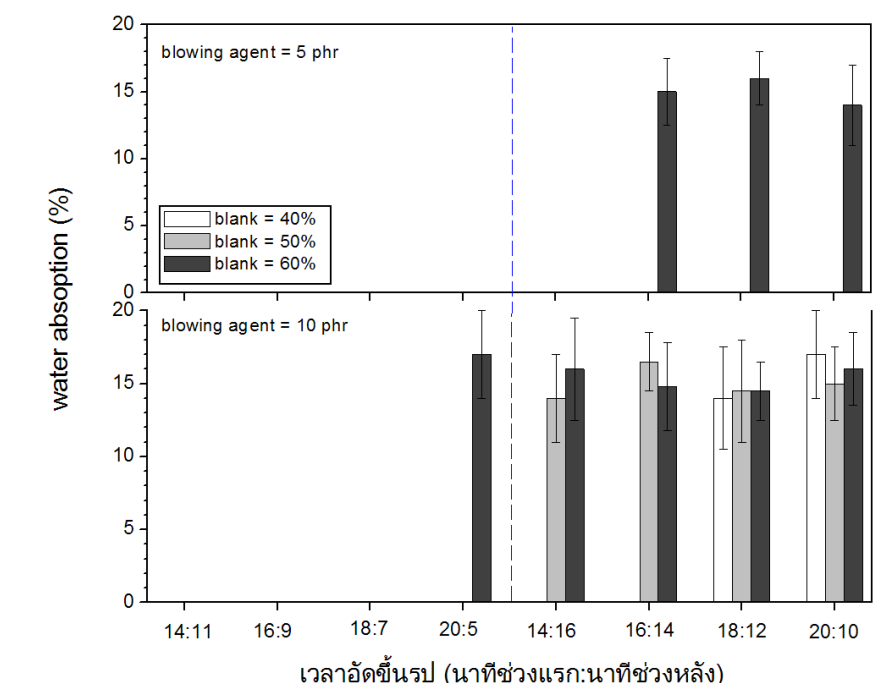
รูปที่ 5.9 แสดงการประลัยของชิ้นตัวอย่างที่เกิดจากการทดสอบ IB ซึ่งพบว่า เกิดขึ้นระหว่างแถบไม้ในชั้นผิว OSB



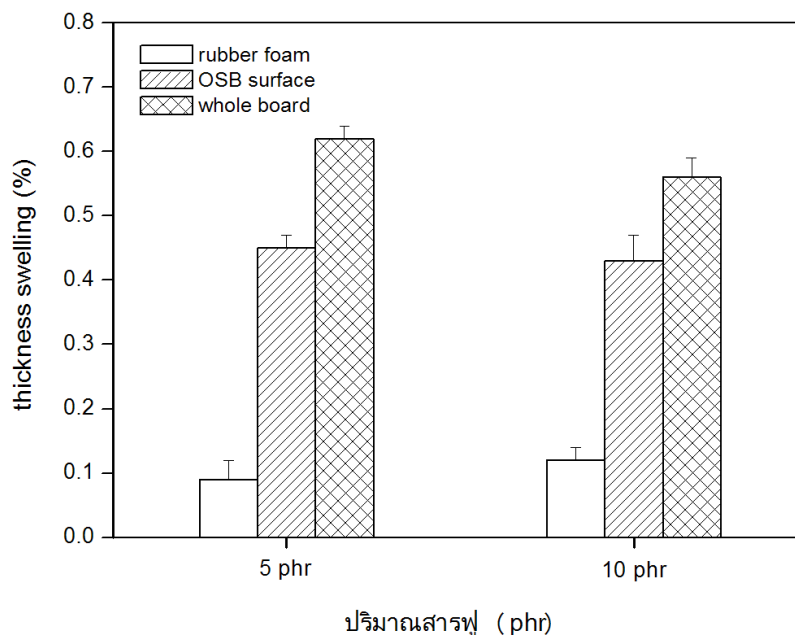
รูปที่ 5.10 แสดงค่า internal bonding (IB) ของแผ่นผนังต้นแบบเฉพาะกรณีที่มีค่าความหนาถึง 6.5 ซม (ค่า IB ของแผ่นผนังที่ไม่เติมเศษผงไม้ คือ 0.26 MPa)

ผู้วิจัยยังได้ทดสอบคุณสมบัติทางด้านการต้านทานต่อความชื้นของแผ่นผนังต้นแบบจากงานวิจัยด้วย โดยการหาค่า water absorption ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5.11 ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 14-17 % ซึ่งเป็นค่าที่ดีกว่าแผ่นผนังทางการค้า (ผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้ามีค่า water absorption $\leq 35\%$ (จากค่าที่แสดงในตาราง 3.3) ดังนั้นแผ่นผนังจากงานวิจัยจึงดูดความชื้นต่ำกว่า) และได้ทดสอบหาค่า thickness swelling ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5.12 โดยได้แยกส่วนให้เห็นการบวมพองในทิศทางด้านความหนาของชั้นผิว OSB, ชั้นยางโฟมแกนกลางและของแผ่นผนังรวมทั้งชิ้น (แสดงเฉพาะผลที่ได้จากแผ่นผนังที่ใช้ระยะเวลาอัดขึ้นรูปช่วงแรก: ช่วงหลัง เท่ากับ 20:10 นาที) ซึ่งพบว่ามีค่า thickness swelling ของแผ่นผนังรวมทั้งชิ้นมีค่าประมาณ 0.65% ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้าที่มีค่า thickness swelling $\leq 1\%$ ดังนั้นแผ่นผนังจากงานวิจัยจึงเกิดการพองตัวที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความชื้น

นอกจากนี้ยังพบว่าคุณสมบัติด้านการต้านทานต่อความชื้นดังกล่าวนี้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผลไม้นั้นชั้นยางโฟมแกนกลางด้วย แม้ว่าเศษผงไม้จะเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้สูงก็ตาม ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากการที่แผ่นผนังที่ขึ้นรูปได้ในครั้งนี้มีความหนาแน่นที่สูงกว่าดังนั้นปริมาณของรูพรุน (porosity) ในชั้นยางโฟม (ซึ่งเป็นสาเหตุให้ยางโฟมสามารถดูดซับน้ำได้) จึงมีน้อยกว่า



รูปที่ 5.11 แสดงค่า water absorption ของแผ่นผนังต้นแบบเฉพาะกรณีที่มีค่าความหนาถึง 6.5 ซม (ค่า water absorption เฉลี่ยของแผ่นผนังที่ไม่เติมเศษผงไม้อยู่ในช่วง 13-16%)



รูปที่ 5.12 แสดงค่าเฉลี่ยของ thickness swelling ของแผ่นผนังต้นแบบเฉพาะแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปด้วยระยะเวลา ช่วงแรก:ช่วงหลัง เท่ากับ 20:10 นาที (ปริมาณ blank 40-60%) ค่า thickness swelling เฉลี่ยของแผ่นผนังที่ไม่ เต็มเศษผงไม้ (รวมทั้งแผ่น) เท่ากับ 0.6%

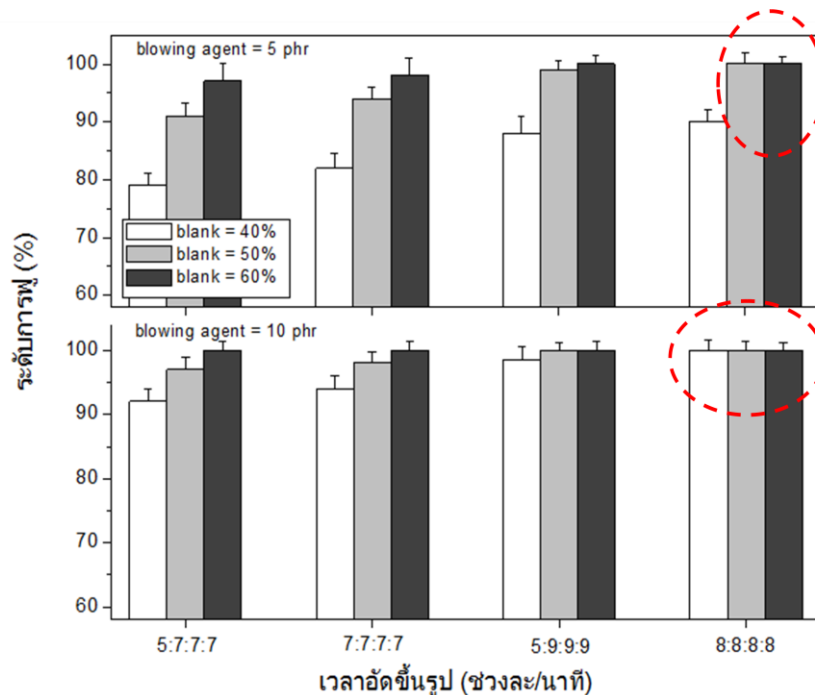
5.4 กระบวนการลดค่าความหนาแน่น (น้ำหนัก) ของแผ่นผนังต้นแบบ

ผลการวิจัยในช่วงที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าแผ่นผนังต้นแบบที่มีการเติมเศษผงไม้ลงในชั้นยางโฟมมี คุณสมบัติต่างๆที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้าแทบทั้งสิ้น ยกเว้นค่าความหนาแน่นซึ่งยังมีค่าสูงกว่า ข้อกำหนดของผนังเบา ดังนั้นการดำเนินงานวิจัยในขั้นตอนต่อจากนี้ผู้วิจัยจึงได้ทดลองหากระบวนการลดค่าความ หนาแน่น (น้ำหนัก) ของแผ่นผนังต้นแบบที่มีความหนา 6.5 ซม เพื่อให้ค่าความหนาแน่นของแผ่นผนังต้นแบบ เป็นไปตามข้อกำหนดของผนังเบา

โดยในขณะอัดขึ้นรูปแผ่นผนังได้ทดลองขยายเพิ่มความหนาของแบบพิมพ์ที่ละน้อยเป็นระยะรวมทั้งสิ้น 4 ช่วง จนได้ความหนาของช่องว่างในแบบพิมพ์เท่ากับ 6.5 ซม (จากเดิมที่ใช้เพียงสองช่วง) การที่ค่อยๆเพิ่มระยะ ความหนาแบบพิมพ์เป็นการเปิดโอกาสให้แผ่นผนังขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ผิวทั้งของด้านของแผ่นผนัง

สัมผัสกับผิวของแบบพิมพ์ได้นานมากขึ้น การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางจึงเกิดได้มากขึ้น ด้วย จากการใช้กระบวนการดังกล่าวอัดขึ้นรูปแผ่นผนังพบว่า การอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง ด้วยระยะเวลา 5:9:9:9 นาที และ 8:8:8:8 นาที ช่วยให้แผ่นผนังมีระดับการพองได้ความหนาเท่ากับ 6.5 ซม ได้ (ผลการทดลองในรูปที่ 5.13) ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลารวมทั้งยางคอมพาวด์ได้รับความร้อนนานเพียงพอต่อการสลายตัวของสารฟูและทำให้ยางโฟมเกิดการวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นผนังโดยการขยายความหนาแบบพิมพ์เป็น 4 ช่วงนี้ ยังช่วยให้ระดับการพองของแผ่นผนังดีขึ้นกว่าเดิมกล่าวคือในกรณีของการใช้สูตรยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางที่มีสารฟู 5 phr และใช้ปริมาณ blank= 50% ก็สามารถขึ้นรูปแผ่นผนังได้ (เมื่อใช้การอัดขึ้นรูปแบบ 8:8:8:8 นาที) จากที่ก่อนหน้านี้ทำไม่ได้ด้วยสูตรคอมพาวด์และปริมาณ blank ดังกล่าว ส่วนการใช้สูตรยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางที่มีสารฟู 10 phr ช่วยให้สามารถลดปริมาณ blank ลงเหลือเพียง 40% ได้ (เมื่อใช้การอัดขึ้นรูปแบบ 8:8:8:8 นาที) ทั้งที่ก่อนหน้านี้ไม่สามารถขึ้นรูปแผ่นผนังหนา 6.5 ซม ได้ด้วยปริมาณ blank ในระดับที่ต่ำถึง 40% มาก่อน ทั้งนี้การลดปริมาณ blank คือการลดปริมาณการใช้ยางคอมพาวด์ในการขึ้นรูปซึ่งส่งผลให้ต้นทุนวัตถุดิบลดลง

อย่างไรก็ตามเมื่อได้ลองตัดแผ่นผนังเพื่อตรวจสอบลักษณะภายในของชั้นยางโฟม พบว่าการอัดขึ้นรูปด้วยระยะเวลา 5:9:9:9 นาที ให้ยางโฟมส่วนกึ่งกลางของแผ่นผนังที่มีลักษณะเป็นโพรงอากาศ (air pockets) ดังแสดงในรูปที่ 5.14 ซึ่งคาดว่าเนื่องจากนั้นระยะเวลาการอัดขึ้นรูปในระยะแรกสุดสั้นไป (5 นาทีแรก) ส่งผลให้ระดับการวัลคาไนซ์ในบริเวณกึ่งกลางของชั้นยางโฟมยังอยู่ในระดับที่ต่ำ ดังนั้นเมื่อขยายแบบพิมพ์ในระยะที่ 2 (9 นาทีถัดไป) โพรงอากาศที่เกิดจากการสลายตัวของสารฟูจึงสามารถไหลไปรวมตัวกันเกิดเป็นช่องว่างของโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และยังพบด้วยว่าปริมาณของโพรงอากาศที่เกิดขึ้นในแผ่นผนังที่เตรียมได้นั้น เกิดขึ้นกับกรณีที่ใช้อย่างคอมพาวด์ที่มีสารฟู 10 phr มากกว่า 5 phr ข้อมูลนี้จึงสนับสนุนสมมุติฐานของการเกิดโพรงอากาศตามที่ได้กล่าวถึง ส่วนแผ่นผนังที่ใช้การอัดขึ้นรูปด้วยระยะเวลา 8:8:8:8 นาที ไม่พบปัญหาดังกล่าว เนื่องจากระยะเวลาของการอัดในระยะแรกสุด (8 นาทีแรก) นานพอที่จะเกิดวัลคาไนซ์เซชันถึงระดับที่ความหนืดของชั้นยางมีค่าสูงจนไม่เกิดการไหลของโพรงอากาศ ดังนั้นผลการทดลองในช่วงนี้บ่งชี้ว่าการอัดขึ้นรูปแผ่นผนังด้วยระยะเวลา 8:8:8:8 นาที ช่วยให้ได้แผ่นผนังที่มีความหนาถึงระดับ 6.5 ซม โดยไม่เกิดโพรงอากาศขึ้นภายในชั้นยางโฟมแกนกลาง

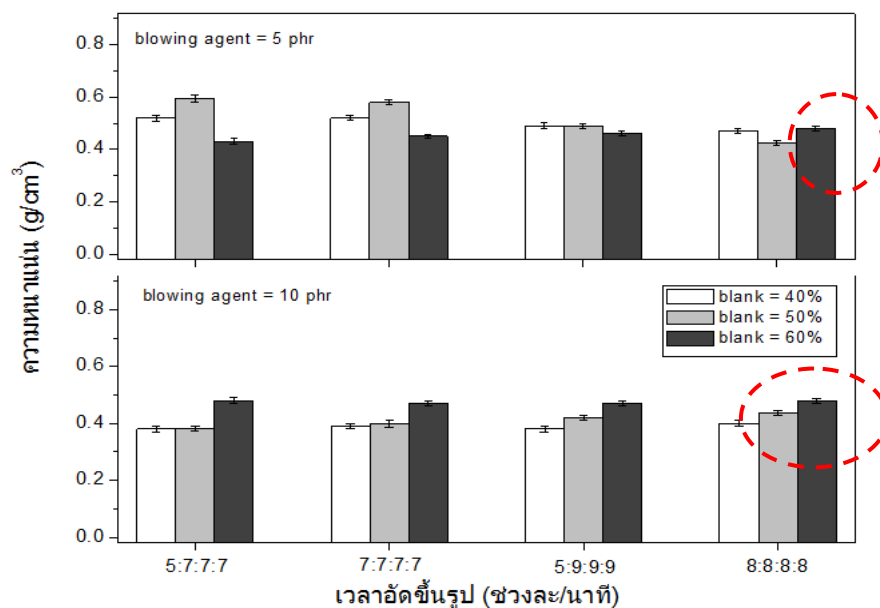


รูปที่5.13 แสดงระดับการฟูของแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง ด้วยระยะเวลา 5:7:7:7 นาที่, 7:7:7:7 นาที่, 5:9:9:9 นาที่ และ 8:8:8:8 นาที่ (ระดับการฟูที่ 100% หมายถึงแผ่นผนังที่มีความหนาเท่ากับ 6.5 ซม) วงกลมในรูประบุถึงสถานะของการอัดขึ้นรูปที่สามารถให้แผ่นผนังที่มีความหนา 6.5 ซม และไม่มีโพรงอากาศภายใน



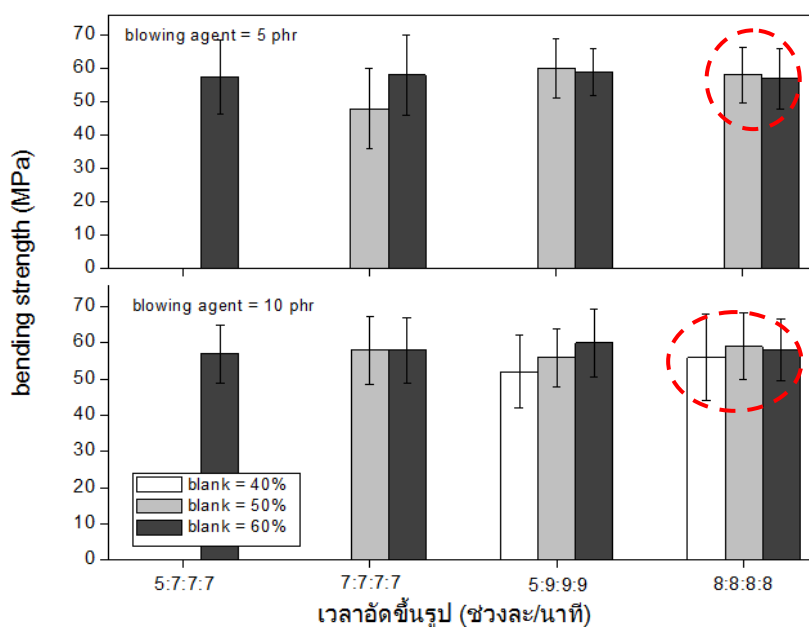
รูปที่5.14 แสดงลักษณะแผ่นผนังที่ได้จากการขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง: (ซ้าย) แผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปด้วยช่วงระยะเวลา 5:9:9:9 นาที่ ซึ่งเกิดโพรงอากาศในบริเวณชั้นยางโฟมแกนกลาง และ (ขวา) แผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปด้วยช่วงระยะเวลา 8:8:8:8 นาที่

ดังที่ได้กล่าวถึงว่า การทดลองอัดขึ้นรูปแผ่นผนังโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้ชั้นยางโฟมแกนกลางแผ่นผนังเกิดการขยายตัวได้มากกว่าการอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์เพียง 2 ช่วง ซึ่งน่าจะส่งผลให้ความหนาแน่น (น้ำหนัก) ของแผ่นผนังลดลง ผู้วิจัยจึงนำแผ่นผนังที่ได้จากการขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงไปหาทดสอบค่าความหนาแน่น พบว่าค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาการอัดขึ้นรูปในช่วงเริ่มต้นเนื่องจากสารฟูกเกิดการสลายตัวได้สมบูรณ์มากขึ้น (รูปที่ 5.15) โดยแผ่นผนังที่มีความหนาถึงระดับ 6.5 ซม. และไม่มีโพรงอากาศในชั้นแกนกลาง มีค่าความหนาแน่นประมาณ $0.40 - 0.45 \text{ g/cm}^3$ ซึ่งเป็นระดับที่ต่ำกว่าค่าที่เคยได้เมื่อใช้วิธีอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 2 ช่วง ดังนั้น ข้อมูลนี้จึงบ่งชี้ว่ากระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นผนังโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง ที่ระยะเวลา 8:8:8:8 นาที ให้แผ่นผนังซึ่งมีความหนา 6.5 ซม. ที่มีค่าความหนาแน่นตามข้อกำหนดของผนังเบาได้ (คือต่ำกว่า 0.5 g/cm^3) อนึ่งค่าความหนาแน่นของแผ่นผนังที่เตรียมได้ในขั้นตอนนี้นี้ยังมีค่าอยู่ในระดับเดียวกับแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้อีกด้วย

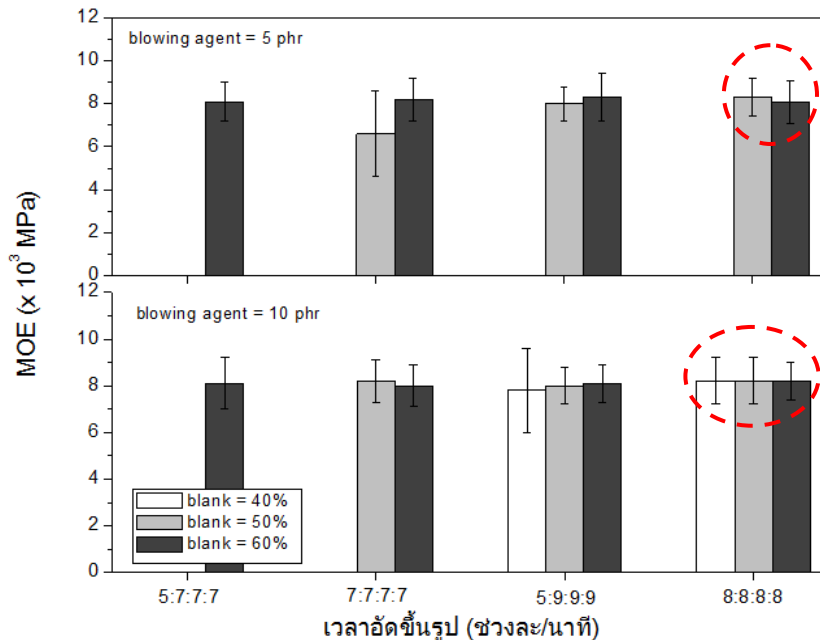


รูปที่ 5.15 แสดงค่าความหนาแน่นของแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง ด้วยระยะเวลา 5:7:7:7 นาที, 7:7:7:7 นาที, 5:9:9:9 นาที และ 8:8:8:8 นาที วงกลมในรูประบุถึงสภาวะของการอัดขึ้นรูปที่สามารถให้แผ่นผนังที่มีความหนา 6.5 ซม. และไม่มีโพรงอากาศภายใน

หลังจากที่สามารถขึ้นรูปแผ่นผนังหนา 6.5 ซม. ซึ่งมีค่าความหนาแน่นตามข้อกำหนดของแผ่นผนังเบาด้วยการกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงด้วยระยะเวลา 8:8:8 นาทีแล้ว ผู้วิจัยจึงนำแผ่นผนังที่เตรียมได้ไปทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งแรง โดยทดสอบหาค่า bending strength, Modulus of elastic (MOE) และ Internal bonding พบว่าค่า bending strength และ MOE มีค่าอยู่ในระดับเดียวกับการอัดขึ้นรูปด้วยการขยายแบบพิมพ์ 2 ช่วง ดังแสดงผลในรูปที่ 5.16 และ 5.17 กล่าวคือมีค่าอยู่ในช่วง 53-57 MPa และ 7,000 – 8,000 MPa ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในระดับสูงกว่าค่าของแผ่นผนังทางการค้าตามที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่าการเพิ่มจำนวนครั้งของการขยายแบบพิมพ์และเพิ่มระยะเวลาอัดรวมจาก 30 นาทีเมื่อขึ้นรูปด้วยการขยายแบบพิมพ์ 2 ช่วง เป็น 32 นาทีจากการขึ้นรูปด้วยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง ไม่ส่งผลให้แถบไม้ในชั้นผิว OSB ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ให้ความแข็งแรงแก่แผ่นผนังเกิด over cure

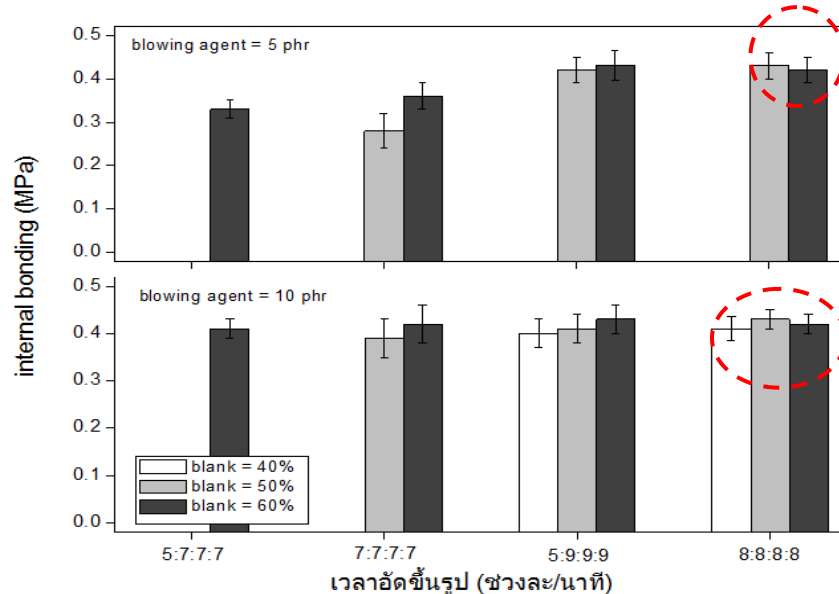


รูปที่ 5.16 แสดงค่า bending strength ของแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงด้วยระยะเวลา 5:7:7 นาที, 7:7:7 นาที, 5:9:9 นาที และ 8:8:8 นาที วงกลมในรูประบุถึงสภาวะของการอัดขึ้นรูปที่สามารถให้แผ่นผนังที่มีความหนา 6.5 ซม. และไม่มีโพรงอากาศภายใน



รูปที่ 5.17 แสดงค่า modulus of elastic (MOE) ของแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงด้วยระยะเวลา 5:7:7:7 นาที, 7:7:7:7 นาที, 5:9:9:9 นาที และ 8:8:8:8 นาที วงกลมในรูประบุถึงสภาวะของการอัดขึ้นรูปที่สามารถให้แผ่นผนังที่มีความหนา 6.5 ซม และไม่มีโพรงอากาศภายใน

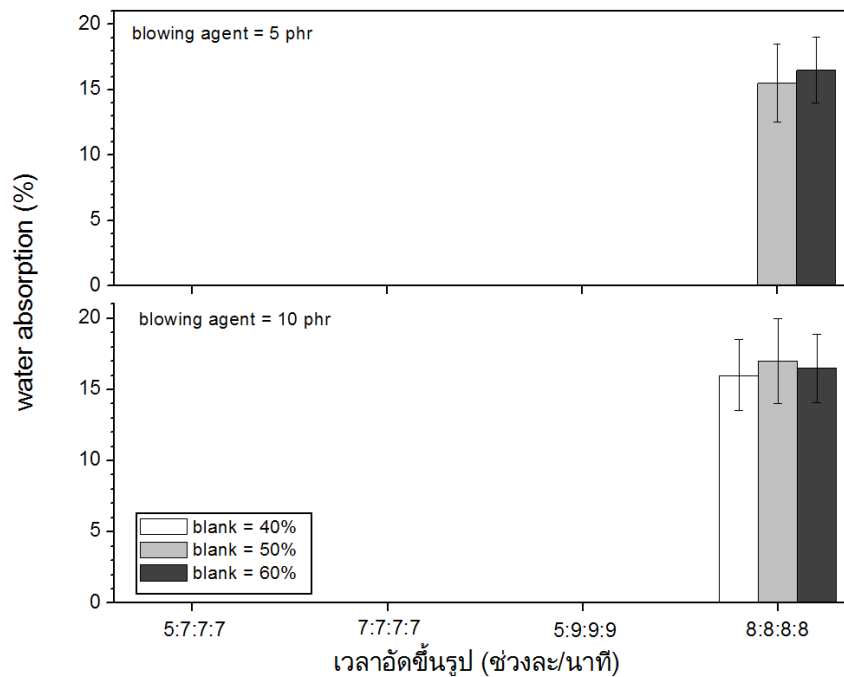
ผู้วิจัยได้พบผลการทดลองเพิ่มเติมว่า คุณสมบัติเด่นอีกประการของแผ่นผนังที่ได้จากการอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง คือการที่แผ่นผนังมีค่า internal bonding (IB) เพิ่มสูงขึ้นกว่าการใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 2 ช่วงแบบเดิมถึงประมาณ 70% ดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5.18 กล่าวคือจากเดิมที่มีค่า IB ประมาณ 0.26 MPa แต่กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 0.45 MPa เมื่อใช้การขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง (ซึ่งเป็นค่า IB ที่สูงกว่าค่าของแผ่นผนังทางการค้าอย่างมาก ซึ่งมีค่า IB = 0.26 MPa) ทั้งนี้เนื่องจากการที่ผิวทั้งสองด้านของแผ่นผนังมีโอกาสสัมผัสกับผิวของแบบพิมพ์ได้นานมากขึ้นส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชั้นยางคอมพาวด์แกนกลางได้มากขึ้นและเมื่อชั้นยางโฟมขยายตัวมากจึงช่วยเพิ่มแรงอัดให้ภายในชั้นผิว OSB เกิดการประสานให้แถบไม้ติดกันได้ดีขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลของระดับการพู่ที่เพิ่มขึ้นตามที่ได้กล่าวไปแล้วในผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 5.13



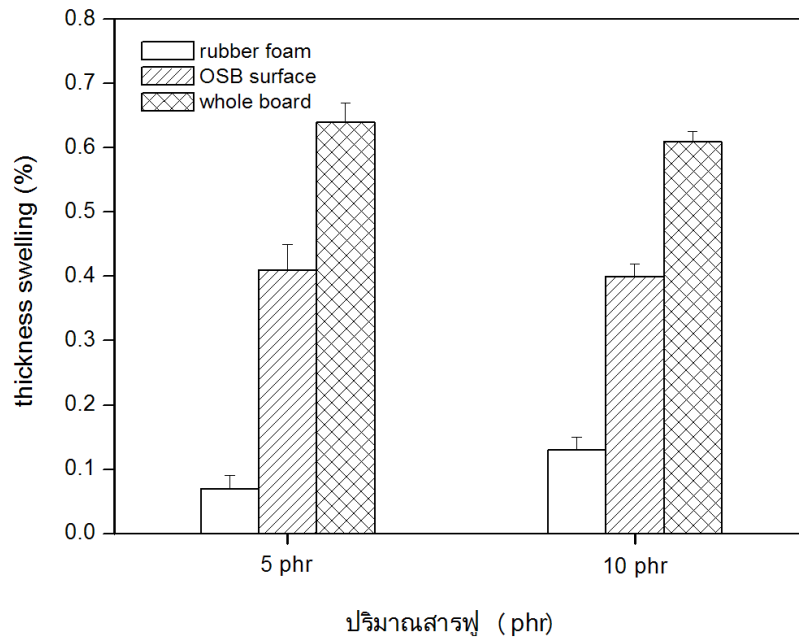
รูปที่ 5.18 แสดงค่า internal bonding (IB) ของแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงด้วยระยะเวลา 5:7:7:7 นาที, 7:7:7:7 นาที, 5:9:9:9 นาที และ 8:8:8:8 นาที วงกลมในรูประบุถึงสถานะของการอัดขึ้นรูปที่สามารถให้แผ่นผนังที่มีความหนา 6.5 ซม และไม่มีโพรงอากาศภายใน

จากนั้นเพื่อทดสอบว่าระดับการขยายตัวที่เพิ่มขึ้นของชั้นยางโฟมของแผ่นผนังที่ได้จากกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงนั้น ยังคงให้แผ่นผนังต้นแบบที่มีความต้านทานต่อความชื้นในระดับที่ไม่ด้อยกว่าแผ่นผนังทางการค้า ผู้วิจัยจึงได้ทดสอบหาค่า water absorption ของแผ่นผนังดังกล่าว ซึ่งพบว่ามีคุณสมบัติอยู่ในระดับที่ดีกว่าแผ่นผนังทางการค้าดังแสดงผลการทดลองในรูปที่ 5.19 กล่าวคือ มีค่า water absorption อยู่ในช่วง 15-17% (ผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้ามีค่า water absorption $\leq 35\%$ ดังนั้นแผ่นผนังจากงานวิจัยจึงดูดความชื้นต่ำกว่า) ส่วนผลการทดลองในรูปที่ 5.20 แสดงค่า thickness swelling โดยได้แยกส่วนให้เห็นการพองตัวของความหนาของชั้นผิว OSB, ของชั้นยางโฟมแกนกลางและของแผ่นผนังรวมทั้งขึ้นเมื่อขึ้นตัวอย่างได้รับความชื้นซึ่งพบว่าแผ่นผนังที่ขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงเกิดการพองตัวในชั้นผิว OSB มากกว่าชั้นยางโฟมดังเช่นที่พบก่อนหน้านี้ในแผ่นผนังที่ขยายแบบพิมพ์ 2 ช่วง ทั้งนี้เนื่องจากการที่ชั้นผิว OSB ประกอบด้วยแถบไม้ซึ่งติดประสานกันด้วยกาวจึงเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีความสามารถดูดซึมน้ำได้มาก อย่างไรก็ตามค่า thickness swelling ของแผ่นผนังทั้งขึ้นมีค่าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า (ทางการค้า: thickness swelling $\leq 1\%$) ดังนั้นแผ่นผนังจากงานวิจัยจึงเกิดการพองตัวที่ต่ำกว่าเมื่อได้รับความชื้น อนึ่งการทดสอบค่าความต้านทานต่อความชื้นของแผ่นผนังจากกระบวนการอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงนั้นสามารถดำเนินการได้เฉพาะกับแผ่นผนังที่มีความหนาถึง 6.5 ซม และไม่เกิดโพรงอากาศภายในชั้นยางโฟมแกนกลาง นั่นคือ

ตัวอย่างที่ได้จากการใช้ระยะเวลาขึ้นรูปเท่ากับ 8:8:8:8 นาที เท่านั้น เนื่องจากแผ่นผนังที่เตรียมด้วยสภาวะ นอกเหนือจากนี้ล้วนแต่มีโพรงอากาศภายในชั้นยางโฟมแกนกลางตามที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว



รูปที่ 5.19 แสดงค่า water absorption ของแผ่นผนังต้นแบบเฉพาะกรณีที่มีค่าความหนาถึง 6.5 ซม และไม่มีโพรงอากาศภายใน ค่า water absorption เฉลี่ยของแผ่นผนังที่มีเติมเศษผงไม้อยู่ในช่วง 13-16 %



รูปที่ 5.20 แสดงค่า thickness swelling เฉลี่ยของแผ่นผนังต้นแบบที่อัดขึ้นรูปด้วยระยะเวลาเท่ากับ 8:8:8:8 นาที่ (ปริมาณ blank 40, 50 และ 60%)

ผลการทดสอบความต้านทานต่อความชื้นของแผ่นผนังที่ได้จากการอัดขึ้นรูปโดยการขยายแบบพิมพ์ 4 ระยะในช่วงนี้ยังแสดงให้เห็นด้วยว่า กระบวนการขึ้นรูปดังกล่าวให้แผ่นผนังต้นแบบที่มีความต้านทานต่อความชื้นในระดับที่ใกล้เคียงกับแผ่นผนังที่ใช้กระบวนการขยายแบบพิมพ์ 2 ช่วงแบบเดิมทั้งที่แผ่นผนังที่ได้จากช่วงหลังนี้มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่า (ค่าความหนาแน่นของแผ่นผนังอยู่ในช่วง 0.40 – 0.45 สำหรับการอัด 4 ระยะ และ 0.60 - 0.70 สำหรับการอัด 2 ระยะ ซึ่งค่าความหนาแน่นที่ลดลงบ่งชี้ถึง porosity ที่เพิ่มขึ้นในชั้นยางโฟม) ดังนั้นข้อมูลที่พบนี้อาจจะสะท้อนให้เห็นว่า ความสามารถด้านการต้านทานต่อความชื้นของแผ่นผนังมีได้ขึ้นอยู่กับระดับความมีรูพรุนของแผ่นผนังเท่านั้น

เพื่อหาเหตุผลอธิบายผลการทดลองที่พบดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำแผ่นผนังที่ได้ไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อศึกษาลักษณะของชั้นยางโฟมซึ่งพบว่าลักษณะของฟองอากาศ (air cells) ในยางโฟมแกนกลางของแผ่นผนังที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นเซลล์แบบปิด (closed cells) เป็นส่วนใหญ่ (รูปที่ 5.21) ดังนั้นแม้ว่าชั้นยางโฟมจะมีปริมาณฟองอากาศเพิ่มมากขึ้นจากกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงก็ตาม แต่ในขณะทดสอบความต้านทานต่อความชื้นนั้น น้ำไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนซึ่งเป็นเซลล์แบบปิดเข้าสู่รูพรุนที่อยู่ในระดับลึกภายในชั้นยางโฟมได้ และข้อมูลนี้ยังสนับสนุนผลการทดลองซึ่งพบว่า การเติมเศษผงไม้ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงลงในชั้นยางโฟมกลับไม่ส่งผลให้คุณสมบัติด้านความต้านทานต่อความชื้นของแผ่น

ผนังเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นผนังต้นแบบที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้จากงานวิจัย ตามที่ได้กล่าวถึงไปแล้วในตอนต้นด้วย



รูปที่ 5.21 ลักษณะ air cells ภายในชั้นยางโฟมแกนกลางแผ่นผนังที่อัดขึ้นรูปด้วยกระบวนการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วง ด้วยระยะเวลา 8:8:8 นาที ซึ่งพบว่าลักษณะของ air cells เป็นเซลล์แบบปิดเป็นส่วนใหญ่

5.5 คุณสมบัติที่ส่งผลให้แผ่นผนังจากงานวิจัยเหมาะกับการใช้เป็นแผ่นผนังภายในตัวอาคาร

5.5.1 *ค่าการนำความร้อน* นอกเหนือจากการศึกษาการปลดปล่อยสารระเหยที่ดำเนินการในโครงการย่อยที่ 1 แล้ว ผู้วิจัยได้ส่งแผ่นผนังต้นแบบจากงานวิจัยไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เพื่อยืนยันว่าแผ่นผนังจากโครงการวิจัยมีความเหมาะสมที่จะใช้งานภายในตัวอาคาร ซึ่งคุณสมบัติแรกที่ทดสอบคือค่าการนำความร้อน (thermal conductivity) ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกและป้องกันความเย็นจากระบบปรับอากาศไหลออกสู่ภายนอกซึ่งส่งผลให้ช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในระบบปรับอากาศของห้องที่กั้นด้วยแผ่นผนังนี้ ข้อมูลในตารางที่ 5.1 ได้แสดงค่าการนำความร้อนของแผ่นผนังจากงานวิจัย เปรียบเทียบกับแผ่นผนังซึ่งไม่มีการเติมเศษผงไม้ในชั้นยางโฟม (จากงานวิจัย RDG5550082) พบว่าค่าที่ได้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน (ค่ายิ่งต่ำยิ่งมีความเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี) ดังนั้นเศษผงไม้ (ซึ่งเป็นวัสดุที่นำ

ความร้อนได้ดีกว่ายาง) ในชั้นยางโฟมที่ใช้ในงานวิจัยนี้จึงไม่ส่งผลให้ระดับความเป็นฉนวนความร้อนของแผ่นผนังที่เตรียมได้ลดลง

นอกจากนั้นพบว่าค่าการนำความร้อนของแผ่นผนังจากงานวิจัยยังอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าข้อกำหนดตามมาตรฐาน มอก.878-2537 ถึงเกือบ 3 เท่า และมีค่าอยู่ในระดับที่ดีกว่าผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้า (นอกจากนั้นชั้นยางโฟมที่ได้จากงานวิจัยมีค่าการนำความร้อนในระดับที่ใกล้เคียงกับโฟมสังเคราะห์) อย่างไรก็ตามหากพิจารณาน้ำหนักบรรทุก (รวมโครงคร่าว) ของผนังต่อพื้นที่ 1 ตร.เมตร (แสดงค่าในตารางที่ 5.2) พบว่าแผ่นผนังจากงานวิจัยจะให้ค่าที่ต่ำกว่าแผ่นผนังทางการค้าและแผ่นผนังจากงานวิจัยยังมีข้อได้เปรียบคือไม่จำเป็นต้องใช้โครงคร่าวในการติดตั้ง (โครงการวิจัยย่อยที่ 3) ข้อมูลนี้จึงสะท้อนให้เห็นว่าความสามารถในการเป็นฉนวนความร้อนต่อน้ำหนักเป็นข้อได้เปรียบอีกประการหนึ่งของแผ่นผนังจากงานวิจัย

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการนำความร้อนของแผ่นผนังจากงานวิจัย (ความหนา 6.5 ซม) เปรียบเทียบกับแผ่นผนังและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็นฉนวนกันความร้อน

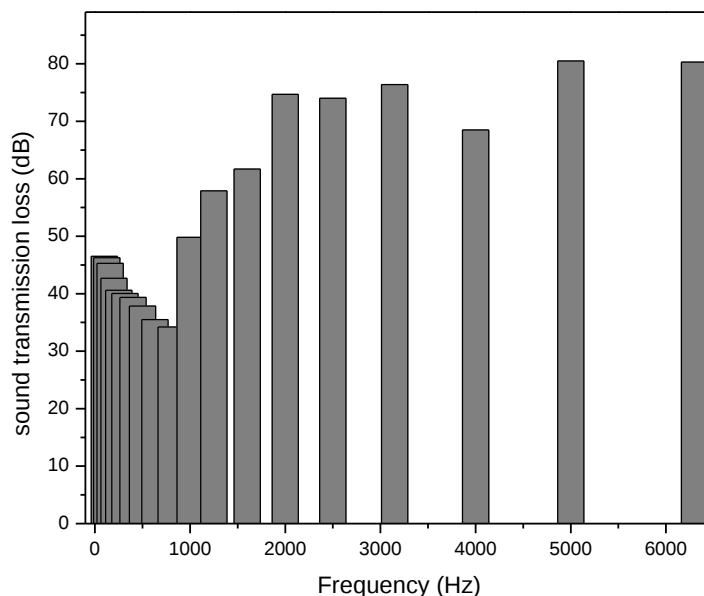
ตัวอย่าง	ค่าการนำความร้อน (W/mK)
งานวิจัย	0.086 (ชั้นยางโฟม= 0.038, ชั้นฉนวน OSB = 0.135)
แผ่นผนังจากโครงการ RDG5550082	0.088
มาตรฐาน มอก.878-2537	≤ 0.25
ผลิตภัณฑ์ fiber cement board ทางการค้า	0.08 – 0.15
อิฐมวลเบา	0.138

*หมายเหตุ โฟมสังเคราะห์มีค่าการนำความร้อนประมาณ 0.03 (W/mK)

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ของแผ่นผนังจากงานวิจัยเปรียบเทียบกับแผ่นผนังและผลิตภัณฑ์อื่นๆ

ตัวอย่าง	น้ำหนักต่อพื้นที่ (kg/m^2)
งานวิจัย	26 - 30
แผ่นผนังจากโครงการ RDG5550082	28
ผลิตภัณฑ์ fiber cement board ทางการค้า (ติดตั้งสองด้าน โครงคร่าวและยังไม่รวม นน โครงคร่าว)	22- 42
อิฐมวลเบา (ยังไม่รวมน้ำหนักปูนฉาบผิว)	45

5.5.2 การลดทอนเสียง ผู้วิจัยได้ส่งแผ่นผนังไปทดสอบค่าความสามารถในการลดทอนเสียง (sound transmission loss) เพื่อทดสอบความสามารถของการลดความดังของเสียงรบกวนจากภายนอกและรักษาความเป็นส่วนตัวโดยการป้องกันมิให้เสียงจากภายในเล็ดลอดออกไปภายนอก ซึ่งทำการทดสอบโดยใช้คลื่นเสียงทั้งหมด 19 ค่าความถี่ ในช่วง 100- 6300 Hz ซึ่งเป็นความถี่เสียงที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน (รวมความถี่เสียงที่เกิดจากการสนทนาด้วย) พบว่าแผ่นผนังจากงานวิจัยสามารถลดทอนเสียง (หมายถึงการลดความดังของเสียงจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านของแผ่นผนัง) ที่ความถี่ในย่านดังกล่าวลงได้ประมาณ 35 – 80 dB (แผ่นผนังทางการค้ามีความสามารถในการลดทอนเสียงในย่านนี้ได้ประมาณ 35 – 60 dB) โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นเสียงความถี่ช่วง 1000 – 5000 Hz ซึ่งเป็นช่วงที่หูคนเราไวมากที่สุดนั้นสามารถลดทอนเสียงลงได้ตั้งแต่ 50dB ขึ้นไป (รูปที่ 5.22) นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นผนังจากงานวิจัยให้ค่าสมรรถนะการลดทอนเสียง (sound transmission class, STC) ที่ระดับประมาณ 42 dB (ผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้ามีค่า STC ในช่วง 28 - 38 dB) ซึ่งอยู่ในระดับที่สามารถใช้เป็นแผ่นผนังภายในสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยและสำนักงานได้ (American Institute of Architects)



รูปที่ 5.22 แสดงค่าเฉลี่ยการลดทอนเสียง (sound transmission loss) ของแผ่นผนังต้นแบบ เมื่อทดสอบด้วย ความถี่เสียงทั้งหมด 19 ค่าในช่วง 100 – 6300 Hz

5.5.3 การลามไฟ เนื่องจากแผ่นผนังจากงานวิจัยมีลักษณะเป็นวัสดุเชิงประกอบที่ประกอบด้วยชั้นผิว OSB และชั้นยางโฟมซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันอย่างมากระหว่างกัน การทดสอบหาการลามไฟจึงต้องทำการทดสอบ แยกส่วนผิว OSB และชั้นไส้ยางโฟม พบว่าชั้นยางโฟมเกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็วกว่าชั้นผิว OSB อย่างมาก เนื่องจากยางเป็นวัสดุที่ติดไฟง่ายแต่จัดเป็นวัสดุที่ไม่ลุกติดไฟได้เอง (ตารางที่ 5.3) และพบว่าค่าอัตราการลามไฟ ของชั้นยางโฟม ในแผ่นผนังมีค่าที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติทั่วไปถึงสองเท่า (Patarapaiboolchai and Chaiyaphate, 2010) ทั้งนี้คาดว่าเนื่องจากส่วนของฟองอากาศในเนื้อยางโฟมมีก๊าซไนโตรเจนและ คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของสารฟูลเวอเลอการลามไฟ นอกจากนั้นยังพบว่าการเติมเศษผงไม้ ในชั้นยางโฟมช่วยให้การลามไฟของชั้นยางโฟมในแผ่นผนังลดลงได้อีก 35% เนื่องจากการลดสัดส่วนยางซึ่งเป็น วัสดุที่ติดไฟได้ง่าย ส่วนอัตราการลามไฟของชั้นผิว OSB มีค่าอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ไม้อัดและไม้ ประกอบที่ใช้ในอาคารโดยทั่วไป (König 2004; Binhussainand El-Tonsy 2013) แต่หากเปรียบเทียบ คุณสมบัติการลามไฟกับผลิตภัณฑ์แผ่นผนังเบาทางการค้า พบว่าผลิตภัณฑ์กลุ่มนี้ไม่เกิดการลามไฟเลย เนื่องจาก เป็นวัสดุที่มีปูนซีเมนต์เป็นองค์ประกอบหลัก

ตารางที่ 5.3 แสดงคุณสมบัติการลามไฟของแผ่นผนังสำเร็จรูปต้นแบบตามแนวนอน*

ค่าที่วัดได้	แผ่นผนังสำเร็จรูปที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลาง		แผ่นผนังสำเร็จรูปที่มียางธรรมชาติเป็นแกนกลางผสมเศษผงไม้	
	ชั้นผิว(OSB)	ยางโฟม	ชั้นผิว(OSB)	ยางโฟมผสมผงไม้
อัตราการเผาไหม้เฉลี่ย (มม./นาท)	4	57	5	37

* ทดสอบตามแนวนอน ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน UL-94

ผลิตภัณฑ์แผ่นผนังเบาทางการค้าไม่เกิดการลามไฟ

5.6 การหาต้นทุนการผลิตแผ่นผนังต้นแบบ

เนื่องจากแผ่นผนังประกอบด้วยส่วนของชั้นผิว OSB ซึ่งมีความหนาคงที่คือ หนาด้านละประมาณ 0.5 ซม และชั้นยางโฟมแกนกลาง ดังนั้นการขึ้นรูปแผ่นผนังด้วยการแปรปริมาณ blank เท่ากับ 40, 50 และ 60% ของช่องว่างในแบบพิมพ์ก็คือการแปรปริมาณของยางคอมพาวด์ที่ใช้ ดังนั้นส่วนประกอบของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปแผ่นผนังในแต่ละกรณีจึงเป็นไปตามข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงส่วนประกอบโดยน้ำหนัก (กิโลกรัม) ที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบ 1 ชั้น (25 x 50 x 6.5 ซม.) สำหรับแต่ละกรณี

ส่วนประกอบ	สารฟู่ 5 phr			สารฟู่ 10 phr		
	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%
ชั้นผิว OSB						
แถบไม้	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
กาว	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

ชั้นยางโฟม						
NR	1.24	1.37	1.45	1.20	1.32	1.40
Stearic ã	0.012	0.014	0.015	0.012	0.013	0.014
ZnO	0.062	0.068	0.073	0.060	0.066	0.070
ZDEC	0.037	0.041	0.044	0.036	0.040	0.042
Sulfur	0.031	0.034	0.036	0.030	0.033	0.035
สารฟูล์	0.062	0.068	0.073	0.12	0.132	0.140
kicker	0.019	0.020	0.022	0.042	0.046	0.049
ZMP	0.012	0.014	0.015	0.012	0.013	0.014
เศษผงไม้	0.93	1.02	1.09	0.90	0.99	1.05
รวม	2.41	2.65	2.82	2.41	2.65	2.82

จากนั้นเมื่อใช้ข้อมูลราคาต่อน้ำหนักที่แสดงในตารางที่ 5.5 ประกอบ จึงคำนวณราคาของส่วนประกอบแต่ละรายการในแผ่นผนังต้นแบบได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5 แสดงราคา (บาท/กก) ของวัตถุดิบที่เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนัง (ข้อมูลราคาในขณะดำเนินการวิจัยในปี พ.ศ. 2557)

ชั้นผิว OSB	
แถบไม้	1.8
กาว	110

ชั้นยางโฟม	
ยางธรรมชาติ	40
Stearic a.	132
ZnO	90
ZDEC	176
Sulfur	48
สารฟูล	210
kicker	50
ZMP	195
เศษผงไม้	1.5

ตารางที่ 5.6 แสดงต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตแผ่นผนังต้นแบบจากงานวิจัยในแต่ละกรณี (บาท/ชิ้น)

ส่วนประกอบ แผ่นผนัง	สารฟูล 5 phr			สารฟูล 10 phr		
	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%
ชั้นผิว OSB						
แถบไม้	0.79x1.8= 1.42	0.79x1.8= 1.42	0.79x1.8= 1.42	0.79x1.8= 1.42	0.79x1.8= 1.42	0.79x1.8= 1.42
กาว	0.05x110=5.5	0.05x110=5.5	0.05x110=5.5	0.05x110=5.5	0.05x110=5.5	0.05x110=5.5
ชั้นยางโฟม						
ยางธรรมชาติ	1.24x40=49.69	1.37x40=54.64	1.45x40=58.14	1.20x40=47.96	1.32x40=52.74	1.40x40=56.12
Stearic a.	0.012x132=1.64	0.014x132=1.80	0.015x132=1.92	0.012x132=1.58	0.013x132=1.74	0.014x132=1.85
ZnO	0.062x90=5.59	0.068x90=6.15	0.073x90=6.54	0.060x90=5.40	0.066x90=5.93	0.070x90=6.31
ZDEC	0.037x176=6.56	0.041x176=7.21	0.044x176=7.68	0.036x176=6.33	0.040x176=6.96	0.042x176=7.41
Sulfur	0.031x48=1.49	0.034x48=1.64	0.036x48=1.74	0.030x48=1.44	0.033x48=1.58	0.035x48=1.68
สารฟูล	0.062x210=13.04	0.068x210=14.34	0.073x210=15.26	0.12x210=25.18	0.132x210=27.69	0.14x210=29.46

kicker	0.019x50=0.93	0.020x50=1.00	0.022x50=1.10	0.042x50=2.10	0.046x50=2.31	0.049x50=2.46
ZMP	0.012x195=2.42	0.014x195=2.66	0.015x195=2.83	0.012x195=2.34.	0.013x195=2.57	0.014x195=2.74
เศษผงไม้	0.932x1.5=1.40	1.024x1.5=1.54	1.09x1.5=1.64	0.90x1.5=1.35	0.99x1.5=1.48	1.05x1.5=1.58
รวม	90	98	104	101	110	117

จากตารางพบว่าต้นทุนวัตถุดิบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารฟูในชั้นยางแกนกลางและปริมาณ blank ที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนัง ซึ่งต้นทุนวัตถุดิบหลักของแผ่นผนัง (45 – 54%) มาจากยางธรรมชาติในชั้นยางคอมพาวด์แกนกลาง รองลงมาคือต้นทุนจากสารฟู โดยการใช้สารฟูในปริมาณ 5 phr มีผลให้ต้นทุนของสารฟูคิดเป็นประมาณ 14% และหากเพิ่มปริมาณสารฟูในสูตรยางคอมพาวด์เป็นสองเท่า ส่งผลให้ต้นทุนจากสารฟูเพิ่มขึ้นเป็น 24%

อีกหนึ่งงานวิจัยนี้ใช้ยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางสูตรเดิมคือไม่มีการเติมเศษผงไม้ ซึ่งเป็นการใช้องค์ความรู้จากโครงการวิจัย RDG5550082 พบว่าแผ่นผนังต้นแบบจะมีต้นทุนวัตถุดิบเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 54 - 64 บาทต่อชิ้นดังแสดงในตารางที่ 5.7 (ต้นทุนวัตถุดิบในตารางนี้คำนวณในทำนองเดียวกับที่แสดงในตารางที่ 5.6) ดังนั้นการเติมเศษผงไม้ในสูตรยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางสามารถช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตลงได้ประมาณ 57 - 60%

ตารางที่ 5.7 แสดงราคาวัตถุดิบแผ่นผนังหากไม่มีการเติมผงเศษไม้ในชั้นยางคอมพาวด์สำหรับในแต่ละกรณี (บาท/ชิ้น)

ขนาดแผ่น ผนัง	สารฟู 5 phr			สารฟู 10 phr		
	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%
25x50x6.5	144	157	166	159	173	184

นอกจากต้นทุนวัตถุดิบแล้วในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังยังมีการใช้เครื่องจักรต่างๆในการเตรียมชั้นผิว OSB และชั้นยางคอมพาวด์ตลอดจนการอัดขึ้นรูปในแบบพิมพ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้คำนวณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตจากค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิตดังนี้

- ใช้เครื่องเตรียมแถบไม้ที่มีพลังงาน 36.7 kW/h เพื่อเตรียมแถบไม้เป็นเวลานาน 36 นาที (0.6 ชม) ได้แถบไม้ประมาณ 30 กก
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(36.7 \text{ kW/h} \times 0.6 \text{ h}) / 30 \text{ kg} = 0.73 \text{ หน่วย/กก}$
- ใช้เครื่องอบแถบไม้ที่มีพลังงาน 2.9 kW/h เพื่ออบแถบไม้เป็นเวลา 6 ชม ได้แถบไม้ประมาณ 30 กก
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(2.9 \text{ kW/h} \times 6 \text{ h}) / 30 \text{ kg} = 0.58 \text{ หน่วย/กก}$
- ใช้เครื่องผสมกาวที่มีพลังงาน 2.2 kW/h เพื่อพ่นและผสมกาวแก่แถบไม้เป็นเวลา 45 นาที (0.75 ชม) ได้แถบไม้ 30 กก
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(2.2 \text{ kW/h} \times 0.75 \text{ h}) / 30 \text{ kg} = 0.06 \text{ หน่วย/กก}$
- ใช้เครื่องอบเศษผงไม้ที่มีค่าพลังงาน 2.4 kW/h เพื่ออบเศษผงไม้เป็นเวลา 24 ชม ได้เศษผงไม้ 30 กก
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(2.4 \text{ kW/h} \times 24 \text{ h}) / 30 \text{ kg} = 1.92 \text{ หน่วย/กก}$
- ใช้เครื่องผสมยางที่มีค่าพลังงาน 7.5 kW/h เพื่อผสมยางคอมพาวด์เป็นเวลา 30 นาที (0.5 ชม) ได้ยางคอมพาวด์สำหรับใช้เตรียมแผ่นผนังได้ประมาณ 5 ชิ้น
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(7.5 \text{ kW/h} \times 0.5 \text{ h}) / 5 \text{ ชิ้น} = 0.75 \text{ หน่วย/ชิ้น}$
- ใช้เครื่องอัดร้อนที่มีพลังงานไฟฟ้า 14.9 kW/h เพื่ออัดขึ้นรูปแผ่นผนังเป็นเวลานาน 32 นาที (0.53 ชม) ได้แผ่นผนังจำนวน 1 ชิ้น
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(10.6 \text{ kW/h} \times 0.53 \text{ h}) / 1 \text{ ชิ้น} = 5.62 \text{ หน่วย/ชิ้น}$
- ใช้เครื่องอัดเย็นที่มีพลังงานไฟฟ้า 2.6 kW/h เพื่ออัดขึ้นรูปแผ่นผนังเป็นเวลานาน 45 นาที (0.75 ชม) ได้แผ่นผนังจำนวน 1 ชิ้น
หน่วยไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(2.6 \text{ kW/h} \times 0.75 \text{ h}) / 1 \text{ ชิ้น} = 1.95 \text{ หน่วย/ชิ้น}$

จากนั้นจึงใช้ข้อมูลข้างต้นเพื่อคำนวณต้นทุนของราคาไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิต โดยอ้างอิงจากค่าพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่จัดเก็บจากหน่วยงานราชการที่มีการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน (ในช่วงแรงดัน 22-23 กิโลโวลท์) ที่ 3.22 บาท/หน่วย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) โดยการคำนวณต้นทุนของค่าพลังงานไฟฟ้าจะอยู่บนพื้นฐานของปริมาณของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแผ่นผนังต้นแบบ 1 ชิ้นของแต่ละกรณีของการผลิต (ใช้ข้อมูลปริมาณวัตถุดิบจากตารางที่ 5.4) ยกตัวอย่างเช่น

การคำนวณต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ใช้ผลิตแผ่นผนังต้นแบบเมื่อใช้สูตรยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณสารฟูล 5 phr ด้วยปริมาณ blank 50% ดังนี้

- เครื่องเตรียมแผ่นไม้ใช้ไฟฟ้า 0.73 หน่วย ได้แผ่นไม้ 1 กก โดยแผ่นผนัง 1 ชั้น ใช้แผ่นไม้ 0.75 กก
ดังนั้นต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(0.73 \text{ หน่วย/กก} \times 0.75 \text{ กก/ชั้น}) \times 3.22 \text{ บาท/หน่วย}$
= 1.77 บาท/ชั้น
- เครื่องอบแผ่นไม้ใช้ไฟฟ้า 0.58 หน่วย ได้แผ่นไม้ 1 กก โดยแผ่นผนัง 1 ชั้น ใช้แผ่นไม้ 0.75 กก
ดังนั้นต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(0.58 \text{ หน่วย/กก} \times 0.75 \text{ กก/ชั้น}) \times 3.22 \text{ บาท/หน่วย}$
= 1.40 บาท/ชั้น
- เครื่องพ่นผสมกาวแก่แผ่นไม้ใช้ไฟฟ้า 0.06 หน่วยได้แผ่นไม้ 1 กก โดยแผ่นผนัง 1 ชั้น ใช้แผ่นไม้ 0.75 กก
ดังนั้นต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(0.06 \text{ หน่วย/กก} \times 0.75 \text{ กก/ชั้น}) \times 3.22 \text{ บาท/หน่วย}$
= 0.13 บาท/ชั้น
- เครื่องอบเศษผงไม้ใช้ไฟฟ้า 1.92 หน่วยได้ผงไม้ 1 กก โดยแผ่นผนัง 1 ชั้น ใช้เศษผงไม้ 1.02 กก(เฉพาะกรณีนี้)
ดังนั้นต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $(1.92 \text{ หน่วย/กก} \times 1.02 \text{ กก/ชั้น}) \times 3.22 \text{ บาท/หน่วย}$
= 6.31 บาท/ชั้น
- เครื่องผสมยางใช้ไฟฟ้า 0.75 หน่วยได้แผ่นผนัง 1 ชั้น
ดังนั้นต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $0.75 \text{ หน่วย/ชั้น} \times 3.22 \text{ บาท/หน่วย}$
= 2.42 บาท/ชั้น
- เครื่องอัดร้อนใช้ไฟฟ้า 5.62 หน่วย ได้แผ่นผนังจำนวน 1 ชั้น
ต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $5.62 \text{ หน่วย/ชั้น} \times 3.22 \text{ บาท/หน่วย}$
= 18.09 บาท/ชั้น
- เครื่องอัดเย็นใช้ไฟฟ้า 1.95 หน่วย ได้แผ่นผนังจำนวน 1 ชั้น
ต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้มีค่าโดยประมาณ = $1.95 \text{ หน่วย/ชั้น} \times 3.22 \text{ บาท/หน่วย}$
= 6.28 บาท/ชั้น

ดังนั้นด้วยวิธีการคำนวณทำนองเดียวกับที่แสดงข้างต้น ผู้วิจัยได้คำนวณต้นทุนราคาไฟฟ้าที่เครื่องจักรแต่ละเครื่องต้องใช้ในกระบวนการผลิตแผ่นผนังในแต่ละกรณีไว้ในตารางที่ 5.8 ซึ่งพบว่าต้นทุนราคาไฟฟ้าของกระบวนการผลิตแผ่นผนัง 1 ชั้นมีค่าประมาณ 36 บาท โดยขั้นตอนการอัดร้อนขึ้นรูปมีค่าสูงที่สุดคือคิดเป็นประมาณ 50% ของต้นทุนราคาไฟฟ้า อนึ่งหากกระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังนี้ไม่มีการเติมเศษผงไม้ลงในชั้นยาง

คอมพิวเตอร์แล้วนั้นต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในส่วนการอบเศษไม้จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นการเดิมเศษผงไม้เป็นการเพิ่มต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในการผลิตประมาณ 6-7 บาท/ชิ้น (ในขณะที่ช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบลงได้ 54 – 67 บาท/ชิ้น)

อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตจริงในอุตสาหกรรม เครื่องจักรที่ใช้อัดขึ้นรูป (ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในการผลิต) จะมีลักษณะเป็นหลายช่องอัด (multi-layers hot press) จึงสามารถอัดขึ้นรูปแผ่นผนังได้จำนวนหลายๆแผ่นในการอัดครั้งเดียวกัน ค่าต้นทุนไฟฟ้าเมื่อผลิตจริงในอุตสาหกรรมจะมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้จากงานวิจัย นอกจากนั้นปริมาณของวัตถุดิบที่เข้าสู่กระบวนการอบ การผสมกาว การอบเศษผงไม้ และการผสมยางคอมพิวเตอร์ในงานวิจัย ยังเป็นปริมาณที่ต่ำกว่าความจุของเครื่องจักรที่ใช้อยู่มาก เนื่องจากในการทำวิจัยต้องคำนึงถึงความสะดวกความปลอดภัยในการทำปฏิบัติการ (เช่น การพ่นกาวแถบไม้ในเครื่องพ่นกาว ไม่สามารถทำในปริมาณมากๆในครั้งเดียวได้ เนื่องจากไม่มีระบบดูดละอองสารเคมี ส่งผลให้เกิดการฟุ้งของกาวไปทั่วทั้งห้องปฏิบัติการ) ตลอดจนต้องคำนึงถึงภาระและสถานที่ในการจัดเก็บวัตถุดิบที่เตรียมไว้สำหรับการขึ้นรูปแผ่นผนัง ดังนั้นต้นทุนราคาไฟฟ้าที่คำนวณได้นี้จึงมีค่าสูงกว่าความเป็นจริงและไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการผลิตในอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามข้อมูลนี้สามารถบ่งชี้ได้ว่าต้นทุนราคาไฟฟ้าในกระบวนการผลิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณยางคอมพิวเตอร์ (blank) ที่ใช้มากขึ้น โดยเป็นต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้นจากขั้นตอนการใช้เครื่องอบเศษผงไม้ ดังนั้นสถานะของกระบวนการผลิตแผ่นผนังที่ต่างกันในแต่ละกรณี (ปริมาณสารฟู่หรือปริมาณ blank ที่ต่างกัน) ส่งผลต่อต้นทุนราคาไฟฟ้าในการผลิตเพียงเล็กน้อย แต่ส่งผลต่อต้นทุนวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญ (ข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.6)

ตารางที่ 5.8 ต้นทุนราคาไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปแผ่นผนังในแต่ละกรณี (บาท/ชิ้น)

กระบวนการ	สารฟู่ 5 phr			สารฟู่ 10 phr		
	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%
เครื่องเตรียมแถบไม้	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
เครื่องอบแถบไม้	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
เครื่องผสมกาว	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
เครื่องอบเศษผงไม้	5.75	6.31	6.74	5.56	6.12	6.49
เครื่องผสมยาง	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42
เครื่องอัดรีด	18.09	18.09	18.09	18.09	18.09	18.09

เครื่องอัดเย็น	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28	6.28
รวม	35.84	36.39	36.83	35.65	36.21	36.58

เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบต้นทุนแผ่นผนังจากงานวิจัยกับราคากลางของผนังเบาได้ ผู้วิจัยได้คำนวณต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนังที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยเริ่มจากการแสดงรายละเอียดของปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในแผ่นผนังขนาดดังกล่าวในตารางที่ 5.9 จากนั้นใช้ข้อมูลราคา (จากตารางที่ 5.5) คูณกับปริมาณส่วนผสม จะได้ราคาต้นทุนวัตถุดิบของแผ่นผนังที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 แสดงส่วนประกอบโดยน้ำหนัก (กก.) ของที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบขนาด 1 ตร.ม

ส่วนผสม	สารฟู่ 5 phr			สารฟู่ 10 phr		
	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%
ชั้นผิว OSB						
แถบไม้	12.48	12.48	12.48	12.48	12.48	12.48
กาว	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79

ชั้นยางโฟม						
NR	6.56	7.56	8.23	6.34	7.31	7.95
Stearic â	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07	0.08
ZnO	0.33	0.38	0.41	0.32	0.37	0.40
ZDEC	0.20	0.23	0.25	0.19	0.22	0.26
Sulfur	0.16	0.19	0.21	0.16	0.18	0.20
สารฟูล	0.33	0.38	0.41	0.63	0.73	0.80
kicker	0.10	0.11	0.12	0.21	0.24	0.26
ZMP	0.07	0.08	0.08	0.06	0.07	0.08
เศษผงไม้*	4.92	5.67	6.17	4.75	5.48	5.97
รวม	26.00	27.95	29.25	26.00	27.95	29.25

ตารางที่ 5.10 แสดงต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตแผ่นผนังต้นแบบจากงานวิจัยขนาด 1 ตร.ม (บาท/ตร.ม)

ส่วนผสม	สารฟูล 5 phr			สารฟูล 10 phr		
	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%	Blank 40%	Blank 50%	Blank 60%
ชั้นผิว OSB						
แถบไม้	22.46	22.46	22.46	22.46	22.46	22.46
กาว	86.9	86.9	86.9	86.9	86.9	86.9

ชั้นยางโฟม						
NR	262.27	302.47	329.28	253.39	292.23	318.13
Stearic â	8.65	9.98	10.87	8.36	9.64	10.50
ZnO	29.51	34.03	37.04	28.51	32.88	35.79
ZDEC	34.62	39.93	43.46	33.45	38.57	41.99
Sulfur	7.78	9.07	9.88	7.60	8.77	9.54
สารฟูลเลอร์	68.85	79.40	86.44	133.03	153.42	167.02
kicker	4.92	5.67	6.17	10.45	12.05	13.12
ZMP	12.79	14.75	16.05	12.35	14.25	15.51
เศษผงไม้*	7.38	8.51	9.26	7.13	8.22	8.95
รวม	546.20	613.17	657.82	603.63	679.40	729.91

อนึ่งราคากลางของค่าก่อสร้างผนังเบา (board on frame) ประเภทบุสองด้าน มีค่าอยู่ในช่วง 480 – 588 บาท / ตร.ม และมีราคาโครงคร่าวเหล็กชุบสังกะสีอีกประมาณ 200 บาท / ตร.ม (ราคาขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นผนังและขนาดเหล็กโครงคร่าวที่ใช้ ข้อมูลจากรายการประมาณราคา ปีงบประมาณ 2557 สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน) ดังนั้นแผ่นผนังจากงานวิจัยจึงมีราคาต้นทุนอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าราคากลางของค่าก่อสร้างโดยรวมของผนังเบาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเล็กน้อย (ข้อมูลในตารางที่ 5.10 ยังไม่รวมต้นทุนพลังงานไฟฟ้าจากกระบวนการผลิต ซึ่งในการทำวิจัยมีค่าประมาณ 36 บาท/ชิ้น แต่ในกระบวนการผลิตจริงระดับอุตสาหกรรมมีค่าต่ำกว่านี้)

อย่างไรก็ตามแม้ต้นทุนแผ่นผนังจากงานวิจัยมีค่าต่ำกว่าราคากลางของค่าก่อสร้างโดยรวมของผนังเบาที่ใช้ภายในตัวอาคารในปัจจุบันอยู่ไม่มากนักก็ตาม แต่แผ่นผนังจากงานวิจัยมีคุณสมบัติหลายประการที่เด่นกว่าผนังเบาที่ใช้ภายในปัจจุบัน ได้แก่ ความแข็งแรง (bending strength, modulus of elastic), ความต้านทานต่อความชื้น (thickness swelling, water absorption), ความสามารถในการลดเสียงรบกวน, น้ำหนักต่อพื้นที่ (ตร.ม) ของแผ่นผนังที่ต่ำ, การเป็นฉนวนความร้อนที่ดี, มีการปล่อยสารระเหยในปริมาณต่ำ และความสะดวกในการติดตั้งตามที่ได้กล่าวถึงในช่วงต้นและจากโครงการวิจัยย่อยที่ 1 และ 3 นอกจากนั้นวัตถุดิบหลักในแผ่นผนังจาก

โครงการวิจัยยังมาจากแหล่งธรรมชาติที่ยั่งยืน จึงมีความเป็น green product ที่สูง อนึ่งข้อมูลจากการสำรวจความเห็นของกลุ่มตัวอย่างจากผู้ประกอบการ (ข้อมูลในแผนงานวิจัย) ไม่พบว่ามีข้อกังวลในประเด็นราคาแผ่นผนังต้นแบบ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ไม่เคยมีมาก่อนในตลาดเมืองไทย ดังนั้นหากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติเด่นที่ชัดเจนแล้วราคาไม่น่าจะเป็นอุปสรรคทางการตลาด

6. สรุปผลการวิจัย

พบว่าสามารถเติมเศษผงไม้ลงในยางคอมพาวด์ได้สูงสุด 75 % โดยน้ำหนักของยาง สำหรับใช้เป็นชั้นยางโฟมแกนกลางของแผ่นผนังต้นแบบซึ่งแผ่นผนังยังคงความสามารถในการขยายตัวจนถึงระยะความหนาที่ต้องการได้ การเติมเศษผงไม้ในยางคอมพาวด์ด้วยปริมาณดังกล่าวช่วยลดต้นทุนวัตถุดิบของแผ่นผนังลงได้ประมาณ 60% เมื่อเทียบกับกรณีของการผลิตแผ่นผนังที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ และแผ่นผนังต้นแบบที่เตรียมได้มีราคาต้นทุนอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับราคากลางของค่าก่อสร้างผนังเบา board on frame ที่ใช้อยู่ปัจจุบัน

เพื่อให้ได้แผ่นผนัง (ซึ่งมีเศษผงไม้ในปริมาณดังกล่าว) ที่มีลักษณะสมบูรณ์และมีค่าความหนาแน่นตามข้อกำหนดของผนังเบา ผู้วิจัยใช้วิธีการอัดขึ้นรูปแผ่นผนังด้วยกระบวนการขยายแบบพิมพ์ 4 ช่วงที่ระยะเวลา 8:8:8:8 นาติ โดยเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นผนังที่มีการเติมเศษผงไม้กับแผ่นผนังที่ไม่เติมเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมแกนกลาง พบว่าแผ่นผนังที่มีการเติมเศษผงไม้มีค่า bending strength และ ค่า modulus of elastic สูงกว่าประมาณ 4 เท่า และ 6 เท่า ตามลำดับ ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบแผ่นผนังจากงานวิจัยที่มีเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมกับผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้า พบว่าคุณสมบัติเด่นที่แผ่นผนังจากงานวิจัยมีเหนือกว่า คือการที่มีค่า bending strength สูงกว่าประมาณ 5 – 7 เท่า มีค่า modulus of elastic สูงกว่าประมาณ 1.5 เท่า มีค่า water absorption และ thickness swelling หลังแช่น้ำ 24 ชม. ที่ดีกว่าประมาณ 1 เท่า มีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีกว่าประมาณเกือบ 2 เท่า มีค่าสมรรถนะการลดทอนเสียง (STC) ที่ดีกว่าประมาณ 14 dB และนอกเหนือจากคุณสมบัติเด่นต่างๆที่กล่าวถึงทั้งหมดนี้แล้ว แผ่นผนังจากงานวิจัยยังมีค่าน้ำหนักต่อพื้นที่ของแผ่นผนังที่ต่ำกว่าประมาณ 12 กก. / ตร.ม. ด้วย แต่แผ่นผนังจากงานวิจัยมีจุดด้อยคือเกิดการลามไฟได้แต่ไม่ลุกลามไฟได้เอง ซึ่งการมีเศษผงไม้ในชั้นยางโฟมช่วยชะลอการลามไฟของชั้นแกนกลางให้ลดลงได้ 21 มม./นาติ ส่วนผลิตภัณฑ์แผ่นผนังทางการค้าไม่เกิดการลามไฟ อย่างไรก็ตามระดับการลามไฟของชั้นผิว OSB ของแผ่นผนังจากงานวิจัยยังอยู่ในระดับเดียวกับผลิตภัณฑ์แผ่นไม้ประกอบทางการค้า ส่วนการลามไฟของชั้นยางโฟมอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ยางทั่วไปถึง 2 เท่า

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 การลามไฟคือคุณสมบัติด้อยของแผ่นผนังจากงานวิจัยเมื่อเทียบกับแผ่นผนังทางการค้า แต่การลามไฟของแผ่นผนังจากงานวิจัยก็ยังมีค่าอยู่ในระดับเดียวกับแผ่นไม้ประกอบ (wood composite board) ซึ่งเป็นวัสดุก่อสร้างที่ใช้กันทั่วไปในอาคารและในเฟอร์นิเจอร์ไม้ต่างๆ ดังนั้นจึงไม่น่าจะเป็นข้อกังวลสำหรับการใช้งานเป็นแผ่นผนังภายในตัวอาคาร อย่างไรก็ตามสามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านการต้านทานลามไฟของแผ่นผนังจากงานวิจัยให้สูงขึ้นได้ด้วยการใช้วัสดุปิดผิวที่ไม่ติดไฟ เช่น แผ่นโลหะ แผ่นลามิเนต หรือไม่ก็เปลี่ยนไปใช้วัสดุชั้นผิวที่ไม่ติดไฟแทนแถบไม้ยางพารา เช่น แผ่นโลหะ อย่างไรก็ตามแผ่นโลหะมีน้ำหนักสูงกว่าแถบไม้และมีความสามารถในการรับแรงดัดที่ต่ำกว่าด้วย

7.2 การลดต้นทุนของแผ่นผนังในลักษณะนี้ยังสามารถทำได้อีก โดยเพิ่มความหนาของชั้นผิวแถบไม้และลดความหนาของชั้นยางโฟมแกนกลาง เนื่องจากชั้นผิวแถบไม้มีต้นทุนที่ต่ำกว่า แต่การเพิ่มความหนาของชั้นผิวส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ชั้นยางแกนกลางลดลงจึงไม่สามารถใช้กระบวนการขึ้นรูปชั้นผิวที่เป็นแถบไม้และชั้นยางโฟมไปพร้อมๆ กันได้ (ต้องแยกไลน์การผลิต) ส่งผลให้นำผลการวิจัยไปขยายขนาดเพื่อใช้กับอุตสาหกรรมที่มีเครื่องจักรสำหรับผลิตแผ่นไม้ประกอบ (wood composite board) อยู่แล้วทำได้ยากขึ้น นอกจากนั้นการเพิ่มความหนาของชั้นผิวและลดความหนาของชั้นยางโฟมแกนกลางยังเป็นสาเหตุให้ค่าความหนาแน่น (น้ำหนัก) ของแผ่นผนังเพิ่มขึ้นจนอาจจะสูงเกินค่าที่กำหนดสำหรับผนังเบาและยังส่งผลให้มีการปลดปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่ายจากแผ่นผนังมากขึ้นด้วย

7.3 แม้ข้อมูลจากงานวิจัยบ่งชี้ว่า แผ่นผนังต้นแบบมีต้นทุนการผลิตที่ใกล้เคียงกับราคากลางค่าก่อสร้างผนังเบา แต่ต้นทุนการผลิตจริงในระดับอุตสาหกรรมน่าจะมีค่าต่ำกว่านี้ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้คำนวณต้นทุนในงานวิจัยยังไม่ได้อยู่บนพื้นฐานของขนาดการผลิตจริง (production capacity) ของแต่ละเครื่องจักรที่ใช้ในการขึ้นรูปแผ่นผนัง เพราะต้องคำนึงถึงเหตุผลทางด้านความปลอดภัยและความสะดวกในการทำวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ นอกจากนั้นจุดเด่นของแผ่นผนังที่ได้จากงานวิจัยคือ คุณสมบัติหลายๆ ด้านที่สูงกว่าผนังเบาที่ใช้ในปัจจุบันและยังมีความเป็น green product ที่สูงด้วย ดังนั้นต้นทุนที่ใกล้เคียงกับผนังเบาจึงไม่น่าจะเป็นประเด็นในการทำตลาดของผลิตภัณฑ์นี้

8. เอกสารอ้างอิง

วิบูลย์วัฒนอุตสาหกรรม, แคลตตาล็อก VIVA Board: The original wood cement board, 2010, 2-3.

สุฤกษ์ คงทอง, การพัฒนาแผ่นผนังฉนวนสำเร็จรูปที่มียางธรรมชาติเป็นวัสดุแกนกลาง RDG5550082, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 2556.

สุฤกษ์ คงทอง, โฟมกันกระแทกจากยางพาราและซีลี้อยไม้ยาง, สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, 2553.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.), รายการประเมินราคาปีงบประมาณ 2557 ส่วนที่ 1 B 4 งานผนัง, สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, 2557, 26-31.

Barbin, W.W., Rodgers, M. B., 1994, In: Mark, J. E., Erman, B., Eirich, F. R. (Eds.), Science and Technology of Rubber, 2nd, Academic Press, New York.

del Coz Díaz, J.J.; García Nieto, P.J.; Álvarez Rabanal, F.P.; Betegón Biempica, C. Finite element analysis of thin-walled composite two-span wood-based loadbearing stressed skin roof panels and experimental validation, Thin-Walled Structures, 46, 2008, 276-289.

Mahaphant, catalog SHERA Application Solutions, 2012, 15.

Siam Cement Group, Roofing, Ceiling, Wall and Floor, 2010, 7-50.

Structural Insulate Panel Association (SIPA). 2012. Designing With Structural Insulated Panels-Advance. An American Institute of Architects (AIA) Continuing Education Program.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบวัตถุดิบ ประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุดิบประสงค์	ผลที่ได้รับ
เพื่อศึกษาวิธีการลดต้นทุนของวัตถุดิบที่ใช้เตรียมเป็นแผ่นผนังประหยัดพลังงานที่มี OSB จากแถบไม้ยางพาราเป็นชั้นผิวและยางโฟมจากยางธรรมชาติเป็นแกนกลาง ด้วยการใช้เศษชิ้นไม้ผสมในสูตรยางคอมพาวด์ชั้นยางโฟมแกนกลาง	ได้แผ่นผนังต้นแบบที่มีต้นทุนวัตถุดิบลดลง 60% (เปรียบเทียบกับกรณีไม่เติมเศษชิ้นไม้) และมีต้นทุนการผลิตอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับราคาค่าก่อสร้างผนังเบาที่ใช้วัสดุแผ่นผนังทางการค้า (fiber/cement และ wood/cement boards)
กิจกรรมที่วางแผน	กิจกรรมที่ดำเนินการและผลที่ได้รับ
1. ทดลองขึ้นรูปแผ่นผนังหนา 5 ซม. โดยใช้คอมพาวด์สำหรับชั้นยางแกนกลางที่แปรปริมาณเศษชิ้นไม้ 4 ระดับ คือ 0, 50, 75 และ 100 phr และแปรปริมาตรของ blank 2 ระดับ คือ 35% และ 45% ของปริมาตรช่องว่างในแบบพิมพ์ เพื่อให้ได้แผ่นผนังที่มีความหนา 5 ซม. และมีค่าความหนาแน่นของชั้นยางพองน้ำแกนกลางตามเกณฑ์ที่กำหนด	1. เพิ่มความหนาของผนังต้นแบบเป็น 6.5 ซม. เพื่อให้สามารถติดตั้งด้วยวัสดุก่อสร้างที่มีอยู่ได้ (ข้อมูลจากโครงการวิจัยย่อยที่ 3) และแปรปริมาณเศษชิ้นไม้ 0, 50, 75, 100 และ 125 phr และแปรปริมาณของ blank 3 ระดับ คือ 40, 50 และ 60 % เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ละเอียดขึ้น ซึ่งพบว่าสามารถขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบที่มีความหนา 6.5 ซม. ได้ด้วยการใช้ปริมาณเศษชิ้นไม้ 75 phr
2. ศึกษาอิทธิพลของชั้นไพเมอร์ ต่อค่าแรงยึดติดระหว่างชั้นผิว OSB และชั้นยางโฟมแกนกลางและอิทธิพลของชั้นไพเมอร์ต่อคุณสมบัติอื่นๆตามเกณฑ์ที่กำหนดของแผ่นผนัง	2. ไม่ได้ดำเนินการ เนื่องจากพบว่าแผ่นผนังต้นแบบไม่เกิดการประลัยตรงบริเวณรอยต่อระหว่างชั้นผิว OSB และชั้นยางโฟม นอกจากนั้นผลการทดสอบค่าแรงยึดติดภายใน (IB) บ่งชี้ว่า แผ่นผนังต้นแบบมีคุณสมบัติดังกล่าวที่สูงกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า
3. ปรับสูตรยางคอมพาวด์ชั้นแกนกลางและกระบวนการอัดขึ้นรูปเพื่อใช้เตรียมแผ่นผนังที่มีต้นทุนวัตถุดิบลดลงและมีการปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในระดับที่ยอมรับได้	3. ทดลองใช้ยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณสารฟูล 5 และ 10 phr ด้วยปริมาณ blank 40, 50 และ 60% ตลอดจนใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปที่ขยายแบบพิมพ์ 2 ช่วงและ 4 ช่วง จึงได้กระบวนการผลิตที่มีต้นทุนลดลง รวมทั้งได้ข้อมูลแสดงถึง

	อิทธิพลของส่วนประกอบและกระบวนการขึ้นรูปในแต่ละกรณี ต่อระดับการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (รายงานไว้ในโครงการย่อยที่ 1)
4. ทดสอบคุณสมบัติของแผ่นผนังต้นแบบ (ที่ขึ้นรูปในระดับห้องปฏิบัติการ) ตามเกณฑ์ที่กำหนด	4. ทำการทดสอบคุณสมบัติของแผ่นผนังต้นแบบที่ได้จากงานวิจัย ได้แก่ ความหนาแน่น, bending strength, modulus of elastic, internal bonding, water absorption, thickness swelling, thermal conductivity, sound transmission loss, flammability โดยเปรียบเทียบกับค่าของผลิตภัณฑ์ทางการค้า
5. คำนวณต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมแผ่นผนังเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์คู่แข่ง	5. คำนวณต้นทุนวัตถุดิบและพลังงานในกระบวนการผลิตแผ่นผนังต้นแบบ เปรียบเทียบกับราคากลางค่าก่อสร้างผนังในอาคารที่ใช้แผ่นผนังเบาและโครงคร่าวเป็นวัสดุก่อสร้าง
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	ผลที่ได้รับจริง
1. ได้แนวทางเบื้องต้นในการเตรียมยางคอมพาวด์ที่มีเศษชิ้นไม้ผสมในปริมาณต่างๆกันสำหรับใช้เป็นชั้นยางแกนกลางของแผ่นผนัง	1. ได้ยางคอมพาวด์ที่แปรปริมาณเศษผงไม้ 0, 50, 75, 100 และ 125 phr ในการทำวิจัย
2. ทราบอิทธิพลของปริมาณเศษผงไม้และปริมาณของ blank ต่อความหนาแน่นของแผ่นผนัง และความหนาแน่นของชั้นยางโฟมแกนกลางแผ่นผนัง	2. ทราบอิทธิพลของปริมาณเศษผงไม้ในยางคอมพาวด์ และปริมาณ blank ที่ใช้ ต่อความหนาแน่นของแผ่นผนัง และความหนาแน่นของชั้นยางโฟม และคุณสมบัติอื่นๆของแผ่นผนังต้นแบบ
3. ได้สูตรยางคอมพาวด์สำหรับใช้เป็นชั้นยางแกนกลางของแผ่นผนัง และได้แนวทางสำหรับกระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นผนังในระยะแรกและระยะที่สอง	3. ทราบสัดส่วนของชั้นแถบไม้ ชั้นยางคอมพาวด์แกนกลาง สูตรยางคอมพาวด์แกนกลาง กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบ

4. ได้ปริมาณของชั้นไพรมอร์ที่เหมาะสม เพื่อเตรียมแผ่นผนังประหยัดพลังงานต้นแบบที่มีต้นทุนวัตถุดิบลดลงอย่างน้อย 30% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ และมีการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในระดับที่ยอมรับได้	4. ทราบว่าไม่จำเป็นต้องใช้ชั้นไพรมอร์ในการขึ้นรูปแผ่นผนังต้นแบบ ซึ่งแผ่นผนังที่ได้มีต้นทุนการผลิตลดลงประมาณ 60% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเติมเศษผงไม้ โดยแผ่นผนังต้นแบบที่มีปริมาณเศษผงไม้ดังกล่าวและใช้กระบวนการผลิตตามที่กล่าวถึงในรายงานนั้น มีการปลดปล่อยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายในระดับที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์ทางการค้า
--	--