

การใช้เศษไม้ยางพารา ใบยางพารา และน้ำยางพารา เป็นระบบผนังฉนวนความร้อน

ประชุม คำพุด^{1*}

prachoom_k@rmutt.ac.th^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Received	: 2-Jun-2022
Revised	: 9-Jun-2022
Accepted	: 14-Jun-2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อศึกษาวิธีการผลิตต้นแบบ การทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางกล และสภาพการนำความร้อนของระบบผนังอาคารที่เป็นฉนวนความร้อน โดยทำมาจากเศษไม้ยางพารา ใบยางพารา และน้ำยางพารา ด้วยเครื่องจักรที่มีต้นทุนต่ำ และนำไปถ่ายทอดองค์ความรู้ให้กับผู้ประกอบการ เมื่อนำมาประกอบขึ้นรูปเป็นระบบผนังอาคารขนาด กว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 30 x 30 x 15 ซม. ผลการทดสอบพบว่าชิ้นงานมีลักษณะทั่วไปผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนด โดยมีเหลี่ยมคม ไม่บิด ไม่หลุดร่อน ได้ฉาก และความคลาดเคลื่อนของมิติไม่เกิน ± 2 มม. มีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 2.54 เมกะพาสคัล ซึ่งผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐาน มอก.58-2533 และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.138 วัตต์/ม.-องศาเซลเซียส จึงสามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานก่อสร้างเป็นผนังอาคารได้จริง

คำสำคัญ: เศษไม้ยางพารา ใบยางพารา น้ำยางพารา ผนังอาคาร ฉนวนความร้อน

Using Rubber Wood Chips, Rubber Leaves and Rubber Latex as a Heat Insulating wall System

Prachoom Khamput^{1*}

prachoom_k@rmutt.ac.th^{1*}

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received	: 2-Jun-2022
Revised	: 9-Jun-2022
Accepted	: 14-Jun-2022

Abstract

This research aims to study the prototype of the production process, physical and mechanical properties testing and the thermal conductivity of the building wall system with insulation properties made from rubber wood chips, rubber leaves and rubber latex by low cost machines. Then this research will be used to transfer production technology to establishment. When it is assembled into a building wall system with the size 30 cm x 30 cm x 15 cm, the testing result showed that the general properties achieved as per regulations with sharp edges, not chipping, not flipping perpendicular, and dimensional tolerance not more than ± 2 mm with compressive strength of 2.54 MPa as the TIS.58-2533 standard requirements. The coefficient of thermal conductivity is 0.138 W/m-Kelvin degree. Therefore, it can be a good heat insulator. The results from this research can be applied to the construction concerned with building wall.

Keywords: rubber wood chips, rubber leaves, rubber latex, building wall, thermal insulation

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางประมาณ 22.8 ล้านไร่ (พ.ศ.2560) โดยในช่วงปีหลัง ๆ เนื้อที่ปลูกยางมีแนวโน้มลดลงจากการปลูกพืชอื่นทดแทน [1] อย่างไรก็ตามพื้นที่ปลูกยางก็ยังมีปริมาณที่มากเพียงพอต่อการประกอบอุตสาหกรรมไม้ยางพาราแปรรูป ซึ่งปัจจุบันมีโรงงานแปรรูปไม้ในประเทศไทยทั้งสิ้น 1,208 โรงงานตั้งอยู่ในภาคใต้ร้อยละ 80 ภาคตะวันออกร้อยละ 15 ภาคอีสานร้อยละ 4 และภาคอื่น ๆ ร้อยละ 1 [2] โดยอุตสาหกรรมด้านนี้กำลังมีอนาคตเนื่องจากตลาดหลายประเทศต้องการเฟอร์นิเจอร์ไม้ ซึ่งการแปรรูปไม้ยางพาราย่อมมีเศษขี้เลื่อยและเศษชิ้นไม้เหลือในโรงงานอยู่เป็นจำนวนมาก อีกทั้งการทำสวนยางก็จะมีเศษกิ่งไม้ยางและเศษใบยางพาราเหลือทิ้งในแปลงปลูกจำนวนมากเช่นกัน จึงมีแนวคิดในการนำเศษเหลือทิ้งทั้งจากโรงงานและจากสวนยางมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างผนังฉนวนความร้อนซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าสูงทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยงานวิจัยนี้ใช้แนวทางมาจากการใช้เศษไม้สักและใบสักเป็นระบบผนังฉนวนป้องกันความร้อนแบบแซนด์วิชซึ่งขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดร้อนใช้กาวยูรีเทนเป็นสารเชื่อมประสาน อัดเป็นชั้น 3 ชั้น มีขนาดกว้าง 30 ซม. x ยาว 30 ซม. x หนา 7 ซม. ค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 2.64 เมกะพาสคัล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.104 วัตต์/ม.-องศาเซลเซียส [3] โดยนวัตกรรมที่ได้จากงานวิจัยนี้เรียกว่า “ผนังอาคารแบบแซนด์วิชจากเศษไม้ยางพารา ใบยางพารา และน้ำยางพารา” มีความแตกต่างจากเดิมคือการใช้วัสดุประสานที่เป็นน้ำยางพาราคอมปาวด์ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่ากาวเคมีสังเคราะห์ทั้งในส่วนผนังประกบด้านนอกและฉนวนไส้กลาง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายตามท้องตลาดและในงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่ได้ดำเนินการในส่วนนี้ ดังนั้นผลสำเร็จที่ได้จากงานวิจัยนี้ นอกจากจะได้ระบบผนังอาคารที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีแล้ว ยังได้นวัตกรรมวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่ใช้คุณสมบัติในการประสานของน้ำยางทดแทนการใช้วัสดุประสานกาวสังเคราะห์ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานประกอบด้วย เครื่องบดย่อยวัสดุ (รูปที่ 1) เครื่องอัดร้อนใช้ไฮดรอลิกแบบมือโยกขนาดแผ่นเพลท 40 x 40 ซม. (รูปที่ 2) ถังเก็บวัสดุ ไม่สำหรับผสมเศษวัสดุกับสารเชื่อมประสาน (รูปที่ 3) เครื่องฉีดสารเชื่อมประสานต่อวัสดุ เครื่องชั่งน้ำหนัก แผ่นเหล็กกรองอัด แท่งเหล็กเพื่อใช้กำหนดความหนา กล้องสปีดลิ้มเพื่อใช้ในการเตรียมแผ่น แผ่นเทปล่อน ถังลม บั้มลม พัดลม ถูมือ กันร้อน ผ้าปิดจมูก แว่นตา อุปกรณ์ทดสอบสมบัติทางกายภาพ และเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (รูปที่ 4)



รูปที่ 1 เครื่องบดย่อยวัสดุ



รูปที่ 2 เครื่องอัดร้อนใช้ไฮดรอลิกแบบมือโยกขนาดแผ่นเพลท 40 x 40 ซม.



รูปที่ 3 ไม่สำหรับผสมเศษวัสดุกับกาว



รูปที่ 5 ลักษณะของเศษไม้ยางพาราที่บดย่อยแล้ว



รูปที่ 4 เครื่องทดสอบแรงกดอัด



รูปที่ 6 ลักษณะของใบยางพาราที่บดย่อยแล้ว
(ผ่านตะแกรงขนาด 25 มม.)

2.2 การเตรียมวัสดุ

การเตรียมเศษไม้ยางพารา ที่เหลือทิ้งจากสวนยางพาราของชาวบ้านในจังหวัดระยอง ซึ่งเป็นส่วนของกิ่งยอดอ่อนไม้ยางพารา นำมาทำการบดย่อยด้วยเครื่องบดเส้นใยให้ผ่านตะแกรงจำนวน 4 ขนาดด้วยกัน คือ 25, 10, 6 และ 4 มม. ทำความสะอาด แล้วตากแห้งหรืออบไล่ความชื้นด้วยเตาอบ โดยกำหนดปริมาณความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 12 (รูปที่ 5) การขึ้นรูปแผ่นขนาด 30 x 30 x 1 ซม. ใช้ปริมาณเศษไม้ยางพาราบดย่อยจำนวน 800 กรัม/แผ่น

การเตรียมใบยางพารา ที่เหลือทิ้งจากสวนยางพาราของชาวบ้านในจังหวัดระยอง ซึ่งเป็นส่วนที่ติดกับกิ่งยอดอ่อนไม้ยางพาราและส่วนที่ร่วงลงพื้นสวนยางผสมกัน นำมาทำความสะอาด ตากให้แห้ง แล้วบดย่อยด้วยเครื่องบดเส้นใยให้ผ่านตะแกรงขนาด 25 มม. ควบคุมปริมาณความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 12 (รูปที่ 6) การขึ้นรูปแผ่นขนาด 30 x 30 x 6.5 ซม. (ใช้ครั้งละ 2 แผ่น ประกบกัน เพื่อให้ได้ความหนา 13 ซม.) ใช้ปริมาณเศษใบยางบดย่อยจำนวน 3,000 กรัม/แผ่น

การเตรียมสารเชื่อมประสานใช้น้ำยางคอมปาวด์สูตรของกองวิจัยอุตสาหกรรมยาง การยางแห่งประเทศไทย ดังตารางที่ 1 โดยกำหนดปริมาณอัตราส่วนการผสมร้อยละ 15, 20 และ 25 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สูตรของน้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้เชื่อมประสาน

ส่วนผสม	ส่วนโดยน้ำหนักเปียก
60% น้ำยางข้น	167
10% เทอริค 16 60 16	2
50% กำมะถัน	5
50% แซต ดี อี ซี	3
50% วิงสเตย์แอล	2
50% ดีตาเนียมไดออกไซด์	5
50% แคลเซียมคาร์บอเนต	20
50% ซิงค์ออกไซด์	3

2.3 วิธีการทำส่วนของแผ่นผนังไม้ด้านนอก

ทำส่วนของผนังไม้โดยการอัดแผ่นผนังขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบจากเศษไม้ยางพารา ขนาด $30 \times 30 \times 1$ ซม. กำหนดปริมาณเศษไม้ยางพาราบดย่อยจำนวน 800 กรัม ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ ร้อยละ 15, 20 และ 25 ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการอัดขึ้นรูป เริ่มจากการทำความสะอาดและบดย่อย แล้วอบจนได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมด้วยเครื่องอบ ซึ่งน้ำหนักนำไปใส่ไม่ผสมคลุกกับน้ำยางคอมปาวด์ด้วยการฉีดพ่น เมื่อผสมเข้ากันเรียบร้อยแล้ว นำเศษไม้ยางพาราผสมน้ำยางคอมปาวด์ ไปทำเป็นแผ่นขึ้นไม้ด้วยเครื่องอัดร้อนในแนวราบทั้งนี้ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส แรงอัดความดัน 200 บาร์ และระยะเวลาในการอัดร้อน 10 นาที ให้นำหนักค้ำทิ้งไว้ให้เย็นตัวในเครื่องอัดอีก 6 ชั่วโมง นำแผ่นตัวอย่างออกจากเครื่อง แกะออกจากแบบ แล้วนำไปผึ่งให้แห้งในสภาพอากาศปกติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 7) จากนั้นนำไปตัดเป็นชิ้นให้มีขนาดเท่ากับวิธีการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน มอก.876-2547 [4] เรืองแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ เพื่อเลือกอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดสำหรับใช้งานประกอบเป็นระบบผนังอาคาร



รูปที่ 7 การผึ่งชิ้นงานแผ่นอัดจากเศษไม้ยางพารา

2.4 วิธีการทำส่วนของแกนฉนวนไส้กลาง

ทำส่วนของแกนไส้กลางโดยการอัดขึ้นรูปแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนจากใยยางพารา ขนาด $30 \times 30 \times 6.5$ ซม. กำหนดปริมาณเศษใยยางพาราบดย่อยจำนวน 3,000 กรัม ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ ร้อยละ 15, 20 และ 25 ตามลำดับ โดยมีขั้นตอนการอัดขึ้น

รูป เริ่มจากการทำความสะอาดและบดย่อย แล้วอบจนได้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมด้วยเครื่องอบ ซึ่งน้ำหนักนำไปใส่ไม่ผสมคลุกกับน้ำยางคอมปาวด์ ด้วยการฉีดพ่น เมื่อผสมเข้ากันเรียบร้อยแล้ว นำเศษใยยางพาราผสมกับน้ำยางคอมปาวด์ ไปทำเป็นแผ่นใยอัดด้วยเครื่องอัดร้อนในแนวราบทั้งนี้ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส แรงอัดความดัน 200 บาร์ และระยะเวลาในการอัดร้อน 30 นาที ให้นำหนักค้ำทิ้งไว้ให้เย็นตัวในเครื่องอัดอีก 6 ชั่วโมง นำแผ่นตัวอย่างออกจากเครื่อง แกะออกจากแบบ แล้วนำไปผึ่งให้แห้งในสภาพอากาศปกติเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตัดเป็นชิ้นให้มีขนาดเท่ากับวิธีการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ (รูปที่ 8) ตามมาตรฐาน มอก.966-2547 [5] เรืองแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง เพื่อเลือกอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดสำหรับใช้เป็นฉนวนความร้อนเสริมไส้กลางระบบผนัง



รูปที่ 8 ชิ้นงานแกนฉนวนไส้กลางจากเศษใยยางพารา

2.5 วิธีการประกอบเป็นระบบผนัง

อาคารฉนวนป้องกันความร้อน

เลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุดของแผ่นผนังประกอบด้านนอกและแผ่นฉนวนไส้กลางจากผลการทดสอบที่ทำการประกอบชิ้นงานส่วนของผนังแผ่นขึ้นไม้อัดและส่วนของแกนไส้กลางด้วยกาวติดไม้ได้เป็นผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารขนาดขึ้นละ 30×30 ตร.ซม. หนา 15 ซม. (เมื่อนำไปผลิตจำหน่ายในเชิงพาณิชย์สามารถออกแบบให้มีลักษณะเป็นเตี้ยและวางลื่นที่ขอบปลายของผนังทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อสะดวกในการประกอบติดตั้งได้) ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การประกอบชิ้นงานส่วนของผนังแผ่นขึ้นไม้อัด และส่วนของแกนไส้กลางด้วยกาวติดไม้

2.6 วิธีการทดสอบชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบชิ้นส่วนของผนังแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบที่ใช้ทำส่วนของผนังประกบด้านนอก เทียบเคียงกับมาตรฐาน มอก.876-2547 [4] เรื่องแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ เพื่อเลือกอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดสำหรับใช้งานประกอบเป็นระบบผนังอาคาร โดยการทดสอบในขั้นตอนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ส่วนผสมที่ดีที่สุดเท่านั้นไม่จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกสมบัติเนื่องจากเกณฑ์มาตรฐานที่ต้องการให้ผ่านทุกคุณสมบัติคือมาตรฐาน มอก.58-2533 [6] เรื่องบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนัก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ปลายทางที่ได้เป็นลักษณะของบล็อกก่อผนังไม่ใช่เป็นแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ

การทดสอบชิ้นส่วนของแผ่นฉนวนไส้กลาง เทียบเคียงกับมาตรฐาน มอก.966-2547 [5] เรื่องแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง เพื่อเลือกอัตราส่วนที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดสำหรับใช้เป็นฉนวนความร้อนเสริมไส้กลางระบบผนัง โดยการทดสอบในขั้นตอนี้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้ส่วนผสมที่ดีที่สุดเท่านั้นไม่จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกสมบัติเช่นเดียวกันกับชิ้นส่วนของผนังแผ่นขึ้นไม้อัด

ระบบผนังอาคารฉนวนป้องกันความร้อนทำการทดสอบสมบัติเชิงวิศวกรรมในด้านการรับกำลังต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ โดยใช้มาตรฐานอ้างอิงหลักในการทดสอบ คือ มอก.58-2533 [6] เนื่องจากเป็นลักษณะของบล็อกก่อผนังแบบไม่รับน้ำหนัก ส่วน

มาตรฐานอื่น ๆ ทำการทดสอบเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการนำไปใช้งานในเชิงพาณิชย์ โดยสมบัติที่ทำการทดสอบประกอบด้วย 1) ขนาดและเกณฑ์ความคาดเคลื่อน, 2) ความต้านทานแรงอัด ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 (รูปที่ 10), 3) ความต้านทานแรงดัด (ไม่ระบุในข้อกำหนด) ดังรูปที่ 11, 4) ความชื้น ตามมาตรฐาน มอก.58-2533, 5) การลามไฟ ตามมาตรฐาน ASTM E84 [7] (ไม่ระบุในข้อกำหนด), และ 6) สภาพการนำความร้อนของระบบผนัง ตามมาตรฐาน ASTM C518 [8]



รูปที่ 10 การทดสอบความต้านทานแรงอัด



รูปที่ 11 การทดสอบความต้านทานแรงดัด

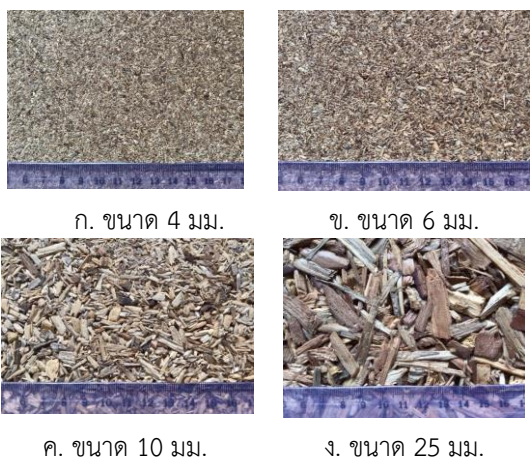
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดสอบแบ่งออกเป็นกิจกรรมหลัก ๆ ด้วยกัน คือ (1) กระบวนการผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีโดยใช้เศษไม้ยางพารา ใบยางพารา

และน้ำยางพารา (2) ผลการทดสอบสมบัติของผนังแผ่นอัดจากเศษไม้ยางพารา และผลการทดสอบสมบัติของแผ่นอัดฉนวนไส้กลางจากใบยางพารา (3) ผลการทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารจากเศษไม้ยางพาราและใบยางพาราในห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐาน มอก.58-2533 และมาตรฐานอื่นเพิ่มเติม

3.1 กระบวนการผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์

กระบวนการผลิตต้นแบบผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคาร พบว่าสามารถได้ตัวอย่างแผ่นขึ้นไม้อัดจากไม้ยางพารา สำหรับทำผนังประเภทด้านนอก 2 ด้าน และแผ่นใยอัดฉนวนแกนไส้กลางจากใบยางพารา โดยมีผลปัจจัยในการดำเนินงานดังนี้ คือ ผลการเลือกขนาดที่เหมาะสมของเศษไม้ยางพาราบดย่อย ทำการเลือกจาก 4 ขนาด คือ 25, 10, 6 และ 4 มม. โดยลักษณะแผ่นขึ้นไม้อัดจากไม้ยางพาราที่ได้ แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผิวหน้าของแผ่นขึ้นไม้อัดจากไม้ยางพารา ขนาดไม่เกิน 4, 6, 10 และ 25 มม.

รูปที่ 12 พบว่าการบดย่อยไม้ยางพาราให้มีขนาดใหญ่ (25 มม.) จะทำให้ผิวหน้ามีความหยาบ เป็นช่องว่างระหว่างชั้นไม้กระจายอยู่ทั่วไป ไม่สวยงาม และทำการปรับแต่งผิวหน้าได้ยาก ส่วนการบดย่อยไม้ยางพาราให้มีขนาดเล็กเกินไป (6 และ 4 มม.) ส่งผลให้แผ่นไม้อัดยางพารายึดเกาะกับน้ำยางคอมปาวด์ได้ไม่ดี ทำให้เนื้ออ่อน ไม่แข็งแรง รับแรงได้น้อย โดยเฉพาะไม้ยางพาราบดย่อยขนาด 10 มม. มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปเป็นแผ่นไม้อัดยางพาราด้านนอกของบล็อก

ระบบผนังอาคารมากที่สุด ทั้งด้านค่าความต้านทานแรงดัดและมอดุลัสยืดหยุ่นที่สูงกว่าขนาดอื่น เนื่องจากมีผิวหน้าที่เรียบเนียน สวยงาม และมีการยึดติดกับน้ำยางคอมปาวด์ดีกว่าขนาดอื่น ๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้ขนาด 10 มม. ในการนำมาใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ส่วนของใบยางพาราใช้ขนาด 25 มม. เนื่องจากมีความเหมาะสมในการนำมาอัดแผ่นแบบหลวม ๆ อยู่แล้ว อีกทั้งยังช่วยลดขั้นตอนค่าใช้จ่ายในการบดย่อยอีกด้วย

ส่วนของสารเชื่อมประสานใช้น้ำยางคอมปาวด์ และทำการปรับค่าตัวแปรในการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดรีด จากเดิมการอัดรีดโดยใช้กาวเคมีเป็นตัวประสานต้องใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส สำหรับอัดแผ่นเศษขึ้นไม้ยางพารา และใช้อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส ในการอัดแผ่นใยอัดจากใบยางพารา ใช้ความดัน 50 บาร์ ระยะเวลาในการอัดแผ่น 5 นาที ต่อความหนา 1 ซม. ปรับเปลี่ยนมาเป็น การอัดแผ่นเศษขึ้นไม้ยางพาราและแผ่นใยอัดจากใบยางพาราใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เท่ากัน ใช้ความดัน 200 บาร์ ระยะเวลาในการอัดแผ่นเศษขึ้นไม้ยางพาราใช้เวลา 10 นาที ส่วนระยะเวลาในการอัดแผ่นใยอัดจากใบยางพาราใช้เวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการทิ้งให้ชิ้นงานเย็นตัวลงโดยคงค้างแรงอัดไว้เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับชิ้นตัวอย่างแผ่นอัดทั้งไม้ยางพาราและใบยางพารา โดยทั้งแผ่นเศษขึ้นไม้ยางพาราและแผ่นใยอัดจากใบยางพาราสามารถขึ้นรูปเป็นตัวอย่างได้โดยไม่มีการพองตัวจากด้านในเนื้อวัสดุขณะทำการอัดรีด และไม่เกิดการโก่งตัวของแผ่นตัวอย่างขณะผึ่งในสภาพอากาศปกติ

3.2 ผลการทดสอบสมบัติของผนังแผ่นอัดจากเศษไม้ยางพารา และแผ่นอัดฉนวนไส้กลางจากใบยางพารา

ผลการทดลองสมบัติของผนังแผ่นอัดจากเศษไม้ยางพารา และแผ่นอัดฉนวนไส้กลางจากใบยางพารา แสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 สมบัติของแผ่นอัดเศษชิ้นไม้ยางพารา (ผนังด้านนอก) ที่อัตราส่วนน้ำยางคอมปาวด์ต่างกัน

สมบัติ	ปริมาณน้ำยาง (ร้อยละ)			ข้อกำหนด
	*25	20	15	ตาม มอก.
ลักษณะทั่วไป	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ผิวเรียบ ขอบได้ฉากกับระนาบผิว
ความหนาแน่น	854.65 กก./ลบ.ม.	829.19 กก./ลบ.ม.	781.75 กก./ลบ.ม.	400 - 900 กก./ลบ.ม.
ปริมาณความชื้น	ร้อยละ 12.14	ร้อยละ 12.78	ร้อยละ 13.82	ร้อยละ 4 - 13
การพองตัว	ร้อยละ 9.50	ร้อยละ 10.63	ร้อยละ 11.24	ไม่เกินร้อยละ 12
ความต้านทานแรงดัด	14.26 เมกะพาสคัล	12.43 เมกะพาสคัล	10.32 เมกะพาสคัล	ไม่น้อยกว่า 14 เมกะพาสคัล
มอดูลัสยืดหยุ่น	1,855 เมกะพาสคัล	1,467 เมกะพาสคัล	1,285 เมกะพาสคัล	ไม่น้อยกว่า 1,800 เมกะพาสคัล
ความต้านแรงดึงดัดฉากกับผิวหน้า	0.49 เมกะพาสคัล	0.38 เมกะพาสคัล	0.33 เมกะพาสคัล	ไม่น้อยกว่า 0.4 เมกะพาสคัล
ความยืดหยุ่นของผิวหน้า	0.92 เมกะพาสคัล	0.82 เมกะพาสคัล	0.73 เมกะพาสคัล	ไม่น้อยกว่า 0.8 เมกะพาสคัล
ส.ป.ส.การนำความร้อน	0.132 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน	0.130 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน	0.129 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน	ไม่ได้กำหนด

ตารางที่ 3 สมบัติของแผ่นอัดเศษใบยางพารา (แผ่นฉนวนไส้กลาง) ที่อัตราส่วนน้ำยางคอมปาวด์ต่างกัน

สมบัติ	ปริมาณน้ำยาง (ร้อยละ)			ข้อกำหนด
	25	20	*15	ตาม มอก.
ลักษณะทั่วไป	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ผิวเรียบ ขอบได้ฉากกับระนาบผิว
ความหนาแน่น	152.25 กก./ลบ.ม.	151.98 กก./ลบ.ม.	151.50 กก./ลบ.ม.	400 - 800 กก./ลบ.ม.
ปริมาณความชื้น	ร้อยละ 9.97	ร้อยละ 11.18	ร้อยละ 12.23	ร้อยละ 4 - 13
การพองตัว	ร้อยละ 42.87	ร้อยละ 43.75	ร้อยละ 45.89	ไม่เกินร้อยละ 6
ความต้านทานแรงดัด	1.21 เมกะพาสคัล	0.66 เมกะพาสคัล	0.47 เมกะพาสคัล	ไม่น้อยกว่า 15 เมกะพาสคัล
มอดูลัสยืดหยุ่น	53.25 เมกะพาสคัล	34.43 เมกะพาสคัล	30.73 เมกะพาสคัล	ไม่น้อยกว่า 1,700 เมกะพาสคัล
ส.ป.ส.การนำความร้อน	0.065 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน	0.060 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน	0.052 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน	ไม่ได้กำหนด

การทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของผนังแผ่นอัดจากเศษไม้ยางพาราตามมาตรฐาน มอก.876-2547 เรื่องแผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ และแผ่นอัดฉนวนไส้กลางจากใบยางพารา ตามมาตรฐาน มอก.966-2547 เรื่องแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ทั้ง 2 ประเภทนั้น ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐานดังกล่าว เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกค่าสมบัติที่มีความเหมาะสมสำหรับนำไปประกอบเป็นระบบผนังฉนวนความร้อน ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ไม่จำเป็นต้องผ่านเกณฑ์มาตรฐานทุกค่าเพราะว่าไม่ได้ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ในลักษณะของแผ่นวัสดุทดแทนไม้ เพียงแต่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบของระบบเปลือกก่อผนัง ดังนั้นมาตรฐานที่ต้องผ่านเกณฑ์ทั้งหมดคือ

มาตรฐานตาม มอก.58-2533 เรืองบล็อกก่อผนังไม่รับน้ำหนักประเภทไม่ควบคุมความชื้น จึงสามารถนำไปใช้งานได้ โดยข้อกำหนดเบื้องต้นนั้น แผ่นอัดเศษชิ้นไม้ยางพารา (ผนังด้านนอก) ไม่ต้องทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ เนื่องจากใช้ยางธรรมชาติเป็นสารเชื่อมประสาน และไม่ต้องทดสอบความยืดหยุ่นของตะปู เนื่องจากมีขนาดไม่เกิน 13 มม. ส่วนของแผ่นอัดเศษไม้ยางพารา (แผ่นฉนวนไส้กลาง) ไม่ต้องทดสอบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์เนื่องจากใช้ยางธรรมชาติเป็นสารเชื่อมประสาน และไม่ต้องทดสอบความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าและไม่ต้องทดสอบความยืดหยุ่นของตะปูเนื่องจากใช้เป็นวัสดุฉนวนด้านใน จึงไม่จำเป็นต้องใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติดังกล่าว

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบแผ่นผนังขึ้นไม้อัดจากเศษไม้ยางพารา ความหนา 1 ซม. ที่ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ร้อยละ 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ตามมาตรฐาน เรืองแผ่นขึ้นไม้อัดชนิดอัดราบ (มอก.876-2547) พบว่าทุกอัตราส่วนสามารถขึ้นรูปได้ โดยมีลักษณะทั่วไปที่ผ่านข้อกำหนด คือ มีผิวเรียบ ขอบได้ฉากกับกระนาบผิว มีค่าความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์กำหนด คือ ช่วง 400 กก./ลบ.ม. ถึง 900 กก./ลบ.ม. ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 4-13 ตรวจไม่พบปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ มีการพองตัวตามความหนาไม่เกินร้อยละ 12 ความต้านทานแรงดัดไม่ต่ำกว่า 14 เมกะพาสคัล โมดูลัสยืดหยุ่นไม่ต่ำกว่า 1800 เมกะพาสคัล ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้าไม่ต่ำกว่า 0.4 เมกะพาสคัล ความยืดหยุ่นของผิวหน้าไม่ต่ำกว่า 0.8 เมกะพาสคัล ความยืดหยุ่นของตะปูไม่ต้องการทดสอบเนื่องจากมีขนาดความหนาไม่เกิน 13 มม. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.132 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน ซึ่งพบว่าเมื่อผสมน้ำยางในปริมาณที่มากขึ้นส่งผลให้แผ่นผนังขึ้นไม้อัดจากเศษไม้ยางพารามีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงมากขึ้น ทั้งค่าความต้านทานแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น ความต้านแรงดึงตั้งฉากกับผิวหน้า ความยืดหยุ่นของผิวหน้า โดยในการวิจัยครั้งนี้ผลการทดลองที่เหมาะสมเลือกใช้ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ร้อยละ 25 ใช้เศษไม้ยางพาราบดย่อยขนาด 10 มม.

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแผ่นฉนวนป้องกันความร้อนจากใบยางพารา ความหนา 6.5 ซม. ที่ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ ร้อยละ 15, 20 และ 25 ตามลำดับ ใช้ใบยางพาราบดย่อยขนาด 25 มม. ตามมาตรฐาน เรืองแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (มอก.966-2547) พบว่าคุณสมบัติด้านความแข็งแรงมีค่าไม่มากเนื่องจากต้องการใช้คุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี จึงจำเป็นต้องลดความหนาแน่นลงให้มากที่สุดให้ต่ำกว่ามาตรฐานของแผ่นใยอัดจึงส่งผลให้ความแข็งแรงลดลงตามไปด้วย ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ ร้อยละ 15 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.052 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน

3.3 ผลการทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารจากเศษไม้ยางพาราและใบยางพาราในห้องปฏิบัติการ

การประกอบเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกระบบผนังอาคารเพื่อทำการทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก. 58-2533 โดยเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมมากที่สุดของแผ่นผนังประกบด้านนอกและแผ่นฉนวนไส้กลางจากผลการทดสอบที่ได้ ทำการประกอบชิ้นงานส่วนของผนังแผ่นขึ้นไม้อัดและส่วนของแกนไส้กลางด้วยกาวเป็นผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารขนาดชิ้นละ 30 x 30 ตร.ซม. หนา 15 ซม. (สามารถออกแบบให้มีลักษณะเป็นเดือยและรางลื่นที่ขอบปลายของผนังทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อสะดวกในการประกอบติดตั้ง เมื่อนำไปใช้งานจริงในเชิงพาณิชย์ได้) โดยสมบัติของผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารจากเศษไม้ยางพาราและใบยางพารา ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประกอบชิ้นงานส่วนของผนังไม้และส่วนของแกนไส้กลางเป็นผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารและบ้านพักอาศัยที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี พบว่าสามารถใช้กาวลาเท็กซ์สำหรับยึดติดไม้เป็นวัสดุในการยึดติดระหว่างส่วนของแผ่นผนังไม้ด้านนอกและส่วนของแกนฉนวนไส้กลางได้ดี ทำให้ไม่แยกตัวกันระหว่างการทดสอบการรับแรงอัด อีกทั้งสามารถนำไปเจาะร่องและทำเดือยได้

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบสมบัติด้านต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ระบบผนังฉนวนความร้อนที่ใช้งาน

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้	เกณฑ์ข้อกำหนด
ลักษณะทั่วไป	ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	ความคาดเคลื่อนไม่เกิน ± 2 มม. แข็งแรง ปราศจากรอยแตกร้าว
ความต้านทานแรงอัด	2.54 เมกะพาสคัล	มอก.58-2533 กำหนดไว้ ต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล
ความต้านทานแรงดัด	0.5 เมกะพาสคัล	มอก.58-2533 ไม่ได้กำหนด
ความหนาแน่น	353.78 กก./ลบ.ม.	มอก.58-2533 ไม่ได้กำหนด
การดูดซึมน้ำ	เฉลี่ยผนังไม้ ด้านนอกและแผ่นฉนวนไส้กลางเท่ากับ ร้อยละ 32.6	มอก.58-2533 ประเภทไม้ควบคุมความชื้นไม่ได้ กำหนดค่าการดูดซึมน้ำ
ปริมาณความชื้น	เฉลี่ยผนังไม้ ด้านนอกและแผ่นฉนวนไส้กลางเท่ากับ ร้อยละ 12.73	ร้อยละ 4 – 13
การทนไฟ	1 ชั่วโมง	มอก.58-2533 ไม่ได้กำหนด
สัมประสิทธิ์การนำความร้อน	0.064 วัตต์/ม.-องศาเซลวิน	มอก.58-2533 ไม่ได้กำหนด

ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไป ในเชิงกายภาพ และเชิงวิศวกรรมในด้านการรับกำลังต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ และด้านสัมประสิทธิ์การนำความร้อน แล้วทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐาน พบว่าระบบผนังอาคารที่ทำมาจากเศษไม้ยางพาราและใบยางพารานั้น มีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 2.54 เมกะพาสคัล

ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.58-2533 เรื่องบล็อกไม้รับน้ำหนักประเภทไม้ควบคุมความชื้น ที่กำหนดค่าความต้านทานแรงอัดต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล การดูดซึมน้ำคิดค่าเฉลี่ยผนังไม้ด้านนอกและแผ่นฉนวนไส้กลางเท่ากับร้อยละ 32.6 ซึ่งมีค่าสูงเนื่องจากเป็นวัสดุประเภทขึ้นไม้ (ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้วัสดุชีวมวลประเภทไม้โตเร็ว หล้าเนเปียร์ ยอดอ้อยและใบอ้อยในการทำเป็นระบบผนังฉนวนความร้อน [9]) แต่สามารถใช้งานได้เนื่องจาก มอก.58-2533 เรื่องบล็อกไม้รับน้ำหนักประเภทไม้ควบคุมความชื้น ไม่ได้กำหนดไว้ และเมื่อพิจารณาค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 12.73 ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดตามมาตรฐาน มอก.876-2547 และ มอก.966-2547 ที่กำหนดอยู่ในช่วงร้อยละ 4 ถึง 13 ส่วนค่าความต้านทานแรงดัดมีค่าไม่สูงเนื่องจากเป็นวัสดุเชิงประกอบเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีความหนาแน่นต่างกัน มากยึดติดด้วยกาว (แต่อย่างไรก็ตามความต้านทานแรงดัดไม่ได้ถูกกำหนดไว้ใน การทดสอบตามมาตรฐาน มอก. ของวัสดุก่อผนัง) ส่วนผลทดสอบการทนไฟที่ระดับ 200 องศาเซลเซียส ได้เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นปกติของวัสดุก่อสร้างที่เป็นไม้ซึ่งจัดอยู่ในประเภทวัสดุไม่ทนไฟ (โดยในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบค่าต่าง ๆ ที่ไม่ได้กำหนดตามมาตรฐานเพิ่มเติมขึ้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์ของผู้ประกอบการและเป็นองค์ความรู้ในการต่อยอดงานวิจัยเท่านั้นจึงไม่ส่งผลใด ๆ ต่อการใช้งานจริง) ส่วนคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดของโครงการวิจัยนี้ คือ การเป็นฉนวนความร้อนซึ่งสามารถดูได้จากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน พบว่าระบบผนังอาคารจากเศษไม้ยางพารา ใบยางพารา และน้ำยางพาราของงานวิจัยนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.064 วัตต์/เมตร.องศาเซลวิน ซึ่งต่ำกว่าอิฐมวลเบาที่จำหน่ายในท้องตลาดมาก (ประมาณ 0.13 วัตต์/เมตร.องศาเซลวิน) และใกล้เคียงกับฉนวนความร้อนแบบโฟม (ประมาณ 0.017-0.024 วัตต์/เมตร.องศาเซลวิน) อีกทั้งระบบผนังอาคารจากงานวิจัยนี้มีความหนาแน่นเท่ากับ 353.78 กก./ลบ.ม. ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก ๆ (เป็นวัสดุมวลเบา) จึงมีคุณสมบัติเด่นด้านการเป็น

ฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นระบบผนังอาคารสำหรับก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4. สรุปผลการทดลอง

ต้นแบบผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนโดยใช้เศษไม้ยางพารา เศษใบยางพารา และน้ำยางพารา มีลักษณะเป็นบล็อกก่อผนังอาคารแบบแซนด์วิช ซึ่งผลการทดลองได้อัตราส่วนที่ดีที่สุดดังนี้

(1) ผนังด้านนอกหนา 1 ซม. เป็นแผ่นอัดเศษชิ้นไม้ยางพาราโดยใช้ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ร้อยละ 25 ใช้เศษไม้ยางพาราบดย่อยขนาดไม่เกิน 10 มม.

(2) ผนังชั้นในเป็นแผ่นอัดจากใบยางพารา ความหนา 13 ซม. (แผ่นละ 6.5 ซม. ประทับกัน 2 ชั้น) ใช้ใบยางพาราบดย่อยขนาดไม่เกิน 25 มม. ปริมาณน้ำยางคอมปาวด์ร้อยละ 15 ของน้ำหนักใบยางพารา

(3) เมื่อนำมาประกบติดกันได้เป็นผนังอาคาร ขนาด กว้าง 30 ซม. x ยาว 30 ซม. x หนา 15 ซม. นำไปทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน มอก.58-2533 ผลการทดสอบพบว่า มีลักษณะทั่วไปผ่านตามเกณฑ์ข้อกำหนด โดยมีเหลี่ยมคม ไม่บิด ไม่หลุดร่อน ได้ฉนวนและความคลาดเคลื่อนของมิติไม่เกิน ± 2 มม. มีค่าความต้านทานแรงอัดเท่ากับ 2.54 เมกะพาสคัล สามารถทนไฟที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียสได้ 1 ชั่วโมง มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 0.064 วัตต์/ม.-องศาเซลเซียส ซึ่งมีความเป็นฉนวนความร้อนใกล้เคียงกับผนังฉนวนแบบโฟมแซนด์วิช และมีความเป็นฉนวนความร้อนดีกว่าผนังอาคารมวลเบาแบบปกติถึง 2 เท่าตัว จึงสามารถนำผลิตภัณฑ์ระบบผนังอาคารฉนวนความร้อนจากเศษไม้ยางพารา ใบยางพารา น้ำยางพารา ไปใช้ในงานกันห้องภายในอาคารประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัยจากการยางแห่งประเทศไทย (กยท.) เรื่อง “การสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศษไม้ยางพารา ใบยางพารา และน้ำยางพารา สำหรับทำเป็นระบบผนังอาคารที่มีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี” ประจำปี พ.ศ.2563

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Rubber Authority of Thailand. 20-year rubber strategy. Rubber Authority of Thailand, Ministry of Agriculture and Cooperatives; 2021. [sited 2022 May 27]. Available from : <https://www.forest.go.th/plantationexpert/wp-content/uploads/sites/122/2021/01>.
- [2] Rattananukul, P. Reduction and Utilization of Wood Waste in Thailand. Forest Research and Development Office, Royal Forest Department; 2017[sited 2022 May 27]. Available from: http://110.170.148.135/forprod/forprod2017/Project_research/59/.
- [3] Khamput, P. Using teak waste and teak leaves as a heat insulation wall system. The 17th National Kasetsart University Kamphaeng Saen Conference; Nakhon Pathom, Thailand. 2020;3953-61. (in Thai)
- [4] Thai Industrial Standards Institute. Flat pressed particleboards (TIS.876-2547). Ministry of industry; 2004. (in Thai)
- [5] Thai Industrial Standards Institute. Medium density fiberboards (MDF) (TIS. 966-2547) . Ministry of industry; 2004. (in Thai)
- [6] Thai Industrial Standards Institute. Standard for hollow non-load-bearing concrete masonry units (TIS.58-2533). Ministry of industry; 2004. (in Thai)

[7] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials (ASTM E 84-21a) ASTM International; West Conshohocken, PA; 2021.

[8] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus (ASTM C518-15,), ASTM International; West Conshohocken, PA; 2015.

[9] Khamput, P. Evaluation of properties of artificial wood building walls from fast growing wood chips. Thai Environmental Engineering Journal. 2018;32(3):21–8. (in Thai)