# การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี เพื่อชุมชน

นิตยา พัดเกาะ[1*], กิตติศักดิ์ บัวศรี[2] และประยูร สุรินทร์[3]
nittayapadkoh@gmail.com [1*], me._ie._Eng.55@hotmail.com[2], Prayoon99@gmail.com[3]

[1*] สาขาการจัดการผังเมือง คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

[2] แผนกวิชาช่างเทคนิคพื้นฐาน วิทยาลัยสารพัดช่างกาญจนบุรี

[3] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

| | | |
|---|---|---|
| Received | : | 8-Aug-2019 |
| Revised | : | 4-Sep-2019 |
| Accepted | : | 9-Oct-2019 |

**บทคัดย่อ**

การผลิตแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีเพื่อชุมชน โดยใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน (pMDI) ปริมาณ 5 เปอร์เซนต์ และ10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารยึดติด มีความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาที่กำหนด 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และขนาดของแผ่น 300X320X15 มิลลิเมตร การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ พบว่า ค่าความหนาแน่น ปริมาณความชื้น การดูดซึม การไม่รั่วซึมน้ำ การพองตัวทางความหนา และสมบัติเชิงกล ค่าความต้านทานมอดูลัสการแตกร้าว ความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่น และความแข็งแรงการกระแทก ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนต เรซิน ปริมาณ 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ให้สมบัติที่ดีกว่า สามารถทดสอบทุกสภาวะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของ TIS 876-2547, TIS 535–2556, JIS A 5908-2003 และ ASTM D 256-06a และสมบัติเชิงความร้อน ค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน ทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C 177-2010 พบว่า การใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 5 เปอร์เซนต์มีค่าการนำความร้อนที่ดีกว่า ส่วนความต้านทานความร้อน กระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10 เปอร์เซนต์ มีค่าความต้านทานความร้อนที่ดีกว่า ซึ่งสามารถนำแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาจากงานวิจัยไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างและวัสดุทดแทนแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาจากซีเมนต์ใยหินได้

**คำสำคัญ:** เส้นใยทะลายปาล์ม เส้นใยต้นธูปฤาษี สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน

# Development of Roof Tiles Made from Palm Fibers and Typha Angustifolia L Fibers for Communities

Nittaya padkoh[1*], Kittisak, Buasri[2] and Prayoon Surin[3]
nittayapadkoh@gmail.com[1*], me._ie._Eng.55@hotmail.com[2], Prayoon99@gmail.com[3]

[1*]Department of Urban Planning and Management, Faculty of Fine Art And Industrial Design,
Rajamangala University of Technology Isan
[2]Departments of Basic Training, Karnchanaburi polytechnic College
[3]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

Received : 8-Aug-2019
Revised : 4-Sep-2019
Accepted : 9-Oct-2019

**Abstract**

The production of roof tiles from palm fiber and typha angustifolia L fibers for local communities : synthetic adhesive isocyanate resin (pMDI), volume 5% and 10% by weight was used as a binder with the density of the designated roof tiles 600 kg / $m^3$ and the size of the sheets 300X320X15 mm. Physical properties tests showed the density value, moisture content, absorption, water tightness, Inflating and thickness. Mechanical properties: modulus of rupture resistance, elastic modulus resistance modulus and impact strength which used synthetic isocyanate resin 10% by weight to give better properties. The physical and mechanical properties within the standard criteria of TIS 876-2547, TIS 535–2556, JIS A 5908-2003 and ASTM D 256-06a. Thermal properties thermal conductivity and heat resistance were tested according to the standards of ASTM C 177-2010. It was found that using synthetic adhesive isocyanate resin where the adhesive content was 5% had better thermal conductivity while the synthetic adhesive isocyanates resin with 10% adhesives had better heat resistance. From the study, the roof titles can be used as construction and renewable materials instead of the ones from asbestos cement.

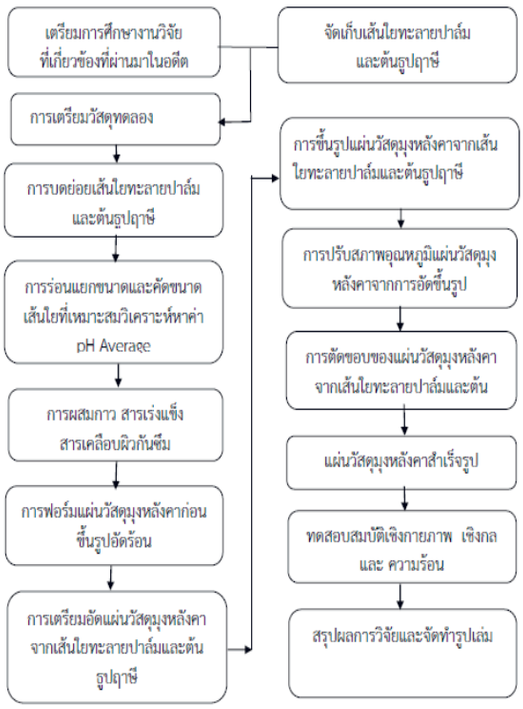
**Keywords:** Palm Fibers, Typha angustifolia L Fibers, Physical properties, Mechanical properties, Thermal properties.

**1. บทนำ**

ในปัจจุบันวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ที่ทิ้งแล้วเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในอุตสาหกรรมวัสดุในงานก่อสร้าง ที่สามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่า [1] ในแต่ละปีจะมีผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตร หรือวัสดุเหลือทิ้งทางเกษตรกรรม เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กาก ใย ทะลายปาล์มเป็นต้น ปริมาณของวัสดุชีวมวลที่เหลือทิ้งในแต่ละปีขึ้นกับผลผลิตการเกษตร ในส่วนของปาล์มน้ำมัน อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มมีแนวโน้มของอัตราเติบโตที่สูงขึ้นในแต่ละปีเนื่องจากความต้องการนำไปใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ปัจจุบันประเทศไทยมีผลผลิตน้ำมันปาล์มประมาณ 5 ล้านตันต่อปี ซึ่งเศษวัสดุเหลือทิ้งที่สำคัญคือ กากใยปาล์ม กะลาปาล์ม ทะลายเปล่า และทางปาล์ม โดยกากใยปาล์มมี ปริมาณ 50,000ตัน กะลาปาล์มมีปริมาณเหลือ 100,000 ตันในแต่ละปี ส่วนทะลายปาล์มมีปริมาณเหลือ 400,000 ตัน และทางปาล์มเป็นเศษวัสดุที่เหลือทิ้งที่มีปริมาณมากที่สุดและมีการนำกลับไปใช้งานน้อยที่สุด ซึ่งในแต่ละปีจะมีเหลือประมาณ 6.5 ล้านตัน [2] ส่วนคุณสมบัติของเส้นใยทะลายปาล์ม มีความแข็งแรงและความเหนียว ขนาดของรูพรุนที่ผิวเส้นใยปาล์มมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 0.07 องค์ประกอบทางเคมีเส้นใยปาล์ม เซลลูโลส 36.7 เปอร์เซนต์, และมีเฮมิเซลลูโลส 35.8 เปอร์เซนต์ ลิกนิก 18.6 เปอร์เซ็นต์ [3] วัสดุเหลือทิ้งอีกประเภทได้แก่ ต้นธูปฤาษี(Typha angustifolia) เป็นวัชพืชที่พบมากในพื้นที่ทั่วไป ซึ่งเมื่อต้นธูปฤาษีเจริญขึ้นในแหล่งน้ำตื้นอย่างมากมาย ปัญหาที่ตามมา ได้แก่ เรื่องการใช้สอยที่ดินทำกิน เนื่องจากต้นธูปฤาษีสามารถเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว กินพื้นที่กว้างในเวลาเพียงไม่กี่เดือน และแย่งธาตุอาหารที่จำเป็นในดินไป ทำให้ไม่สามารถทำการเพาะปลูกได้ดีเท่าที่ควร แต่ข้อดีของต้นธูปฤาษีก็คือ มีเส้นใยมากถึงร้อยละ 40 มีความชื้นของเส้นใย 8.9 เปอร์เซนต์ ลิกนิก9.6เปอร์เซนต์เซลลูโลส 63 เปอร์เซนต์และมีเฮมิเซลลูโลส 8.7 เปอร์เซนต์ โดยเส้นใยที่ได้จะมีสีขาวหรือสีน้ำตาลอ่อน [4] ดังนั้นจากองค์ประกอบของวัสดุเส้นใยทั้งสองชนิด ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเส้นใยทะลายปาล์มและเส้นใยต้นธูปฤาษีมาขึ้นรูปเป็นกระเบื้องหลังคา เพื่อศึกษาสมบัติและเปรียบเทียบปริมาณของสารยึดติด ทั้งนี้กระเบื้องมุงหลังคาของประเทศไทย มีหลายประเภทตามวัสดุที่ใช้ผลิตขึ้น ทำให้ผู้ใช้งานรวมไปถึงสถาปนิก สามารถเลือกใช้ ประเภทของกระเบื้องมุงหลังคาที่ตรงกับการใช้งานและราคาที่เหมาะสมได้ สำหรับอาคารพักอาศัยผู้มีรายได้น้อย และมีต้นทุนที่ต่ำ เหมาะสมกับการนำวัสดุที่ทำมาจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเลือกใช้ [5] การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีเพื่อชุมชน เป็นงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อมุ่งเน้นถึงการนำวัชพืชและวัสดุเหลือทิ้งในท้องถิ่นมาทำให้เกิดประโยชน์ มาเป็นวัตถุดิบโดยการนำมาผสมกับกาวสังเคราะห์ และขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องหลังคา ทั้งนี้เพื่อช่วยส่งเสริมการสร้างแผ่นหลังคาผลิตภัณฑ์ใหม่ ให้กับอุตสาหกรรมการก่อสร้าง พร้อมกับการช่วยประหยัดและทำให้เกิดประโยชน์ จากเศษวัสดุทรัพยากรธรรมชาติได้ [6]

**2.วิธีการทดลอง**

การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีเพื่อชุมชนครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าข้อมูลต่างๆ จากเอกสาร ตำราและงานวิจัย ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และวิธีการดำเนินการวิจัย วิธีการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยดังรูปที่ 1




**รูปที่ 1** ขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี

2.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเร่งแข็งที่ใช้ผสมในกาวได้แก่ สารแอมโมเนียมซัลเฟต (Ammomium sulfate) ที่ใช้ร่วมกับกาวสังเคราะห์โพลีไอโซไซยาเนตเรซิน (4-4'diphenylmethane diisocyanate :pMDI) (Hardener) ช่วยให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาแข็งตัวของกาวให้เร็วขึ้นลดระยะเวลาในการอัดร้อนให้สั้นลง และสารเคลือบผิวกันซึม(sizing agent) ช่วยลดการดูดซึมน้ำ [1]

2.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย

แม่พิมพ์กระเบื้องหลังคาชนิดเหลี่ยม ขนาด 30×32 เซนติเมตร กรอบไม้ฟอร์มแผ่น ขนาด 400x400 มิลลิเมตร เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล สามารถวัดละเอียดได้ 3 ตำแหน่ง ไมโครมิเตอร์ สามารถวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตรและ เครื่องชั่งน้ำหนัก สามารถวัดได้ละเอียด 0.001 กรัม โดยการทดลองในงานวิจัยนี้ วัตถุดิบที่ใช้เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้ใช้ทะลายปาล์มเปล่าจากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม อำเภอวานรนิวาส จังหวัดสกลนคร ดังรูปที่ 2 และต้นธูปฤาษี จากตำบลบ้านโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังรูปที่ 3

**รูปที่ 2** ลักษณะทางกายภาพทะลายปาล์ม

**รูปที่ 3** ลักษณะทางกายภาพต้นธูปฤาษี

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

เส้นใยทะลายปาล์ม(Palm Fibers)นำทะลายปาล์มที่ยังไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติทางเคมีผ่านกระบวนการบีบอัดจากการผลิตในโรงงาน เป็นเส้นใยที่ผ่านกระบวนการแช่สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 4 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนของสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ ชนิดเกล็ดเกรดอุตสาหกรรมที่ 0.5 กิโลกรัม ต่อน้ำ 100 ลิตร โดยมีเส้นใยปาล์ม 50 กิโลกรัม โดยน้ำหนักเส้นใยปาล์มแห้ง เพื่อต้องการชะล้างน้ำมันที่ติดบริเวณเส้นใยปาล์ม แล้วล้างด้วยน้ำให้สะอาด หลังจากนั้นนำมาตากให้แห้ง โดยมีความชื้นของเส้นใย 25 เปอร์เซนต์ ดังรูปที่ 4

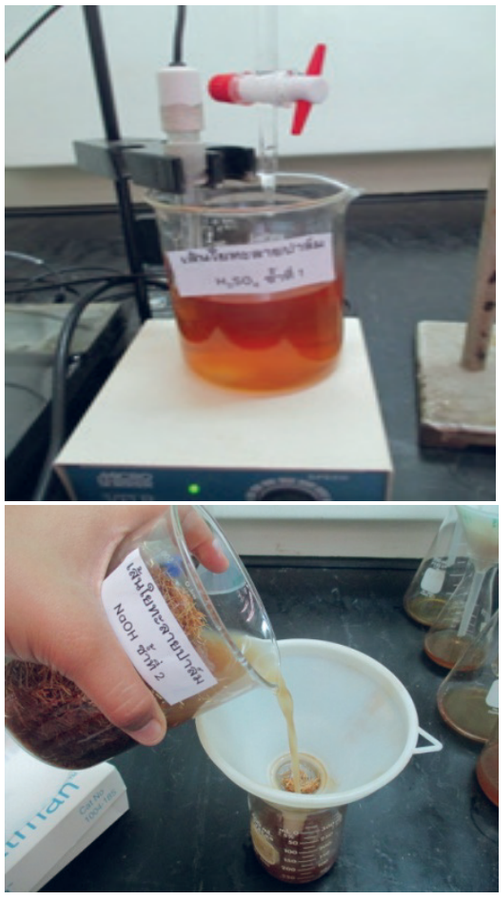
**รูปที่ 4** เส้นใยทะลายปาล์มที่ผ่านการบดย่อย

เส้นใยต้นธูปฤาษี (Typha angustifolia L) คัดเลือกต้นธูปฤาษีที่มีขนาดลำต้น 2-3 เซนติเมตร โดยวัดจากโคนของลำต้นต้นประมาณ 70-100 เซนติเมตร ส่วนบริเวณปลายของต้นธูปฤาษีตัดออก เพราะว่าไม่มีเส้นใย แล้วนำไปตากให้แห้ง โดยมีความชื้นของต้นธูปฤาษี ประมาณ 25 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเส้นใยต้นธูปฤาษีแห้ง นำเส้นใยทะลายปาล์มและเส้นใยต้นธูปฤาษีมาบดย่อย โดยใช้เครื่องสำหรับย่อย (Hammer Mill) ให้มีขนาดเล็กโดยใช้เครื่องบดแล้วร่อนแยกขนาด ใช้เครื่อง (Screening)ผ่านตะแกรง (เมช) 40 ให้มีผ่านการบดเส้นใยและการคัดขนาดเส้นใยโดยผ่านอุปกรณ์ร่อนแยกขนาด ดังรูปที่ 5

**รูปที่ 5** เส้นใยต้นธูปฤาษีที่ผ่านการบดย่อย

เส้นใยทะลายปาล์ม ที่ใช้ในการทำแผ่นกระเบื้องหลังคามีขนาดความกว้างประมาณ 0.81 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 10.03 มิลลิเมตร และความหนา 0.37 มิลลิเมตร มีปริมาณมากที่สุดถึง 28.79 เปอร์เซนต์และมีสัดส่วนความเพรียว 27.42 เท่า ส่วนเส้นใยที่ใช้ในการทำแผ่นกระเบื้องหลังคาต้นธูปฤาษี มีขนาดความกว้างประมาณ 0.72 มิลลิเมตร ความยาวประมาณ 5.41 มิลลิเมตร และความหนา 0.22 มิลลิเมตร มีปริมาณมากที่สุดถึง 39.60 เปอร์เซนต์และมีสัดส่วนความเพรียว 24.77 เท่า

การหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)โดยนำชิ้นวัสดุเมช 40 จำนวน 30 กรัม ที่ได้แช่กวนในน้ำกลั่น ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ใช้เวลา 30 นาที และกรองเอาแต่สารละลาย นำสารละลายที่ได้ไปหาค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าการผ่อนความเป็นกรด (acid buffering capacity) ค่าการผ่อนความเป็นด่าง (alkaline buffering capacity ) และการผ่อนความเป็นกรดเป็นด่าง (acid- alkaline buffering capacity) โดยการผ่อนความเป็นกรดให้ pH ของสารละลายที่ 3.50 ด้วยสารละลายกรดซัลฟูริคเจือจาง และการผ่อนความเป็นด่างให้ pH ของสารละลายที่ 7.00 ด้วยสารละลายที่โซเดียมไฮดรอกไซด์เจือจาง ดังรูปที่ 6



**รูปที่ 6** การทดสอบความเป็นกรดเป็นด่างและการผ่อนค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

การผลิตแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี โดยน้ำหนักเส้นใยแห้งโดยมี ความหนาแน่นของแผ่นที่ผลิต 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและขนาดของแผ่น 30×32 มิลลิเมตร ความหนา 15 มิลลิเมตร, ความชื้นของเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี ก่อนผสมกาว 3-5 เปอร์เซนต์และหลังผสม 10-12 เปอร์เซนต์สารยึดติดที่ใช้ คือกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ปริมาณที่ใช้ 5 เปอร์เซนต์และ10 เปอร์เซนต์โดยมีส่วนผสมปริมาณสารพาราฟินอิมั่ลชั่นที่ 1 เปอร์เซนต์ และสารเร่งแข็งที่ 2 เปอร์เซนต์ ลงไปในกระบวนการพ่นสารยึดติด, อัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องหลังคาโดยมีเส้นใยทะลายปาล์มและเส้นใยต้นธูปฤาษี 95 เปอร์เซนต์ต่อกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน 5 เปอร์เซนต์และเส้นใยทะลายปาล์มและเส้นใยต้นธูปฤาษี 90 เปอร์เซนต์ต่อกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเส้นใยแห้ง, การขึ้นรูปแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี ใช้เส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีที่ผ่านกระบวนการโรยลงในกรอบไม้ในการฟอร์มแผ่นลงในแม่พิมพ์ที่เป็นรูปกระเบื้องหลังคาชนิดทรงเหลี่ยม แล้วนำเข้ามาติดตั้งกับเครื่องอัดร้อนโดยมีชุดเครื่องอัดไฮดรอลิค อุณหภูมิในการอัดร้อน 120 องศาเซลเซียส แรงดันในการอัดร้อน 150 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และระยะเวลาการอัดร้อน คือ 15 นาที เป็นขบวนการวิธีอัดร้อน(hot pressing) โดยชุดเครื่องอัดไฮดรอลิค หลังจากอัดร้อนแล้ว นำแผ่นที่ได้ไปปรับสภาวะความชื้นที่อุณหภูมิของห้องประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้ปริมาณความชื้นและอุณหภูมิกระจายสม่ำเสมอทั่วกัน หลังจากปรับอุณหภูมิแผ่นแล้วนำไปตัดขอบออกทั้ง 4 ด้าน ด้านละ 2.5 เซนติเมตร สำหรับตัดชิ้นทดสอบในการทดลองให้ได้ขนาดตามชิ้นงานที่นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ด้วยเครื่องเลื่อยเพื่อให้ได้ขนาด และนำไปทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ [7] [8] [9] ทดสอบสมบัติเชิงกล [7] [9] [10] และทดสอบสมบัติเชิงความร้อน [11] ตามมาตรฐาน

การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีเพื่อชุมชนครั้งนี้ ประกอบด้วย ปริมาณสารยึดติด ทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน ผู้วิจัยได้ทำการขึ้นรูปตัวอย่างเป็นแผ่นกระเบื้องหลังคา ตามกระบวนการที่ได้กล่าวไว้ โดยใช้สารยึดติดชนิดเกรดอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณ 5 เปอร์เซนต์และ10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของเส้นใยแห้ง แล้วนำตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูปมาทดสอบโดยอาศัยวิธีการทดสอบตาม ตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 [7] มอก.535-2556 [8] JIS A 5908-2003 (8 type) [9] ASTM C 177-10 [10] และ ASTM D 256-2006a [11]

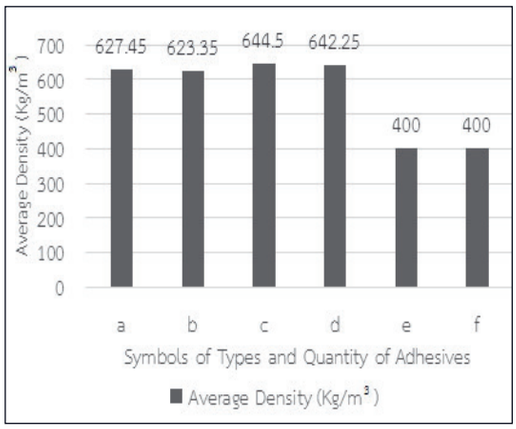
**ตารางที่1** รายละเอียดของการทดสอบกระเบื้องหลังคา

| ประเภทและปริมาณของสารยึดติด (%) | ชนิดของวัสดุ | ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น (kg/m$^3$) | อัตราส่วนเส้นใย (%) | สัญลักษณ์ |
|---|---|---|---|---|
| กาวไอโซยาเนต pMDI.5 | เส้นใยทะลายปาล์ม | 627.45 | 95 | a |
| กาวไอโซยาเนต pMDI.5 | เส้นใยต้นธูปฤาษี | 623.35 | 95 | b |
| กาวไอโซยาเนต pMDI.10 | เส้นใยทะลายปาล์ม | 644.50 | 90 | c |
| กาวไอโซยาเนต pMDI.10 | เส้นใยต้นธูปฤาษี | 642.25 | 90 | d |
| มอก.876-2547 | มอก. แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดราบ | 400-900 | | e (ค่ามาตรฐาน) |
| JIS A 5908:2003 (8 type) | | 400-900 | | f (ค่ามาตรฐาน) |

**3.ผลการทดลองและวิจารณ์ผล**

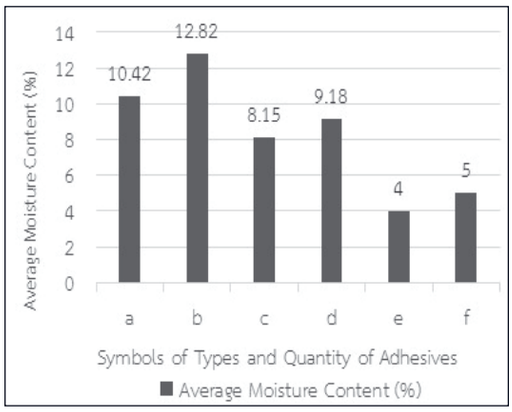
3.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกายภาพ (Physical properties) การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีเพื่อชุมชน ที่นำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องหลังคาแล้วนำมาทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)[7][8] [9] ปริมาณความชื้น (moisture content) การดูดซึมน้ำที่ 2 และ 24 ชั่วโมง (Water absorption) การไม่รั่วซึมน้ำที่ 2 ชั่วโมง[7] [8] [9] และการพองตัวทางความหนาที่ 2 และ 24 ชั่วโมง (Thickness swelling) อาศัยการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ [7] มอก. 535-2556 กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา [8] และ JIS A 5908 – 2003 (8 type) [9]



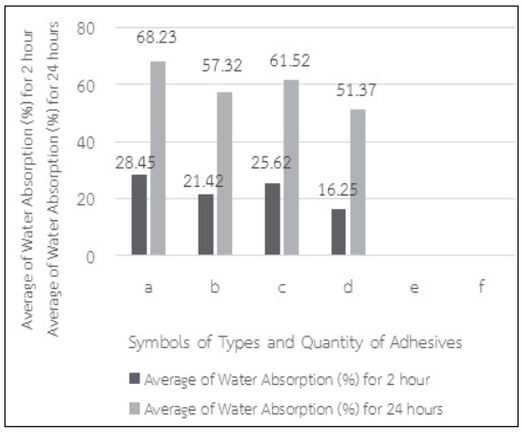

**รูปที่ 7** ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น [7] [8] [9]

รูปที่ 7 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น ปริมาณสารยึดติดที่ใช้ 5 เปอร์เซนต์ และ10 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักแห้ง ของกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน จากการทดลอง พบว่า ค่าความหนาแน่นของแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาปริมาณสารยึดติดที่ใช้ 5 เปอร์เซนต์ และ10 เปอร์เซนต์พบว่า ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 5 เปอร์เซนต์ ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 627.45 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและ 623.35 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดค่าความหนาแน่นไว้ คือ 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ แผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10 เปอร์เซนต์ ค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 644.50 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและ 642.25 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดค่าความหนาแน่นไว้ คือ 400-900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



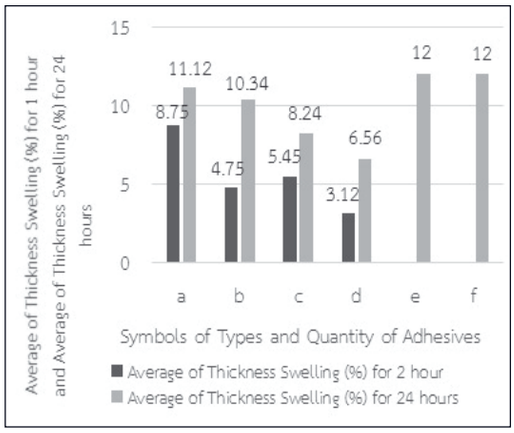

**รูปที่ 8** ค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้น [7] [8] [9]

รูปที่ 8 แสดงค่าปริมาณความชื้นของแผ่นกระเบื้อง พบว่าที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ปริมาณสารยึดติด 5 เปอร์เซนต์ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 10.42 เปอร์เซนต์และ 12.82 เปอร์เซนต์สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดค่าปริมาณความชื้นที่ 4-13 เปอร์เซนต์และ 5-13 เปอร์เซนต์ ซึ่งแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10 เปอร์เซนต์ ค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 8.15 เปอร์เซนต์ และ 9.18 เปอร์เซนต์ สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดค่าปริมาณความชื้นที่ 4-13 เปอร์เซนต์ และ 5-13 เปอร์เซ็นต์




**รูปที่ 9** ค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำที่ 2 และ24 ชั่วโมง [7] [8] [9]

รูปที่ 9 แสดงค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงของแผ่นกระเบื้อง พบว่า ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 5 เปอร์เซนต์ ค่าการดูดซึมน้ำที่ 2 ชั่วโมงเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 28.45 เปอร์เซนต์ และ21.42 เปอร์เซนต์และ 25.62 เปอร์เซนต์ และ 16.25 เปอร์เซนต์ ไม่มีเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ปริมาณสารยึดติด 10 เปอร์เซนต์ ค่าการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมงเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 68.23 เปอร์เซนต์และ57.32 เปอร์เซนต์ และที่ 24 ชั่วโมง เฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 61.52 เปอร์เซนต์ และ 51.37 เปอร์เซนต์



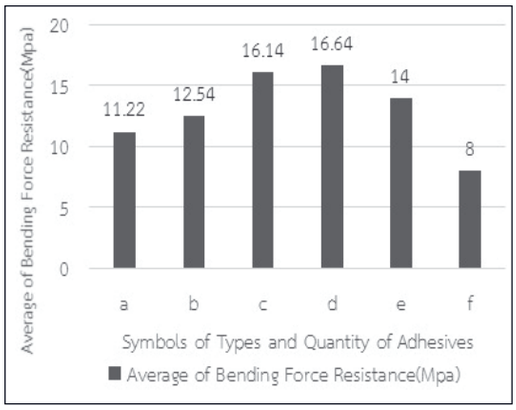

**รูปที่ 10** ค่าเฉลี่ยการพองตัวทางความหนาที่2 และ 24 ชั่วโมง [7] [8] [9]

รูปที่ 10 แสดงค่าการพองตัวทางความหนาที่ 2 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมงของแผ่นกระเบื้อง พบว่า แผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ 5 เปอร์เซนต์ มีค่าการพองตัวทางความหนาที่ 2 ชั่วโมง เฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 8.75 เปอร์เซนต์ และ4.75เปอร์เซนต์ และ ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน ที่ 10 เปอร์เซนต์ มีเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 5.45 เปอร์เซนต์ และ3.12 เปอร์เซนต์ สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และมีค่าการพองตัวทางความหนาที่ 24 ชั่วโมง เฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 11.12 เปอร์เซนต์ และ 10.34 เปอร์เซนต์ และที่เฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 8.24 เปอร์เซนต์ และ 6.56 เปอร์เซนต์ สามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนดค่าการพองตัวทางความหนาที่ 24 ชั่วโมงที่ไม่เกิน 12 เปอร์เซนต์

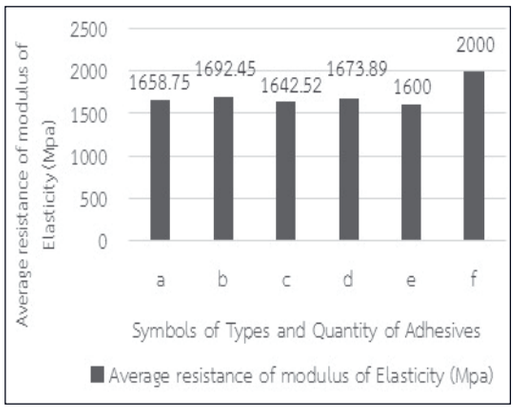
ค่าการไม่รั่วซึมน้ำของแผ่นกระเบื้องหลังคาที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ปริมาณ 5 เปอร์เซนต์และ 10 เปอร์เซนต์แผ่นกระเบื้องที่ใช้วัสดุเส้นใยทะลายปาล์มและเส้นใยต้นธูปฤาษี เมื่อครบ 2 ชั่วโมง ให้ตรวจดูผิวด้านล่างของแผ่นกระเบื้องตัวอย่าง ไม่มีหยดน้ำที่ผิวด้านล่างของแผ่นกระเบื้องตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีสามารถผ่านมาตรฐานที่กำหนด

3.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

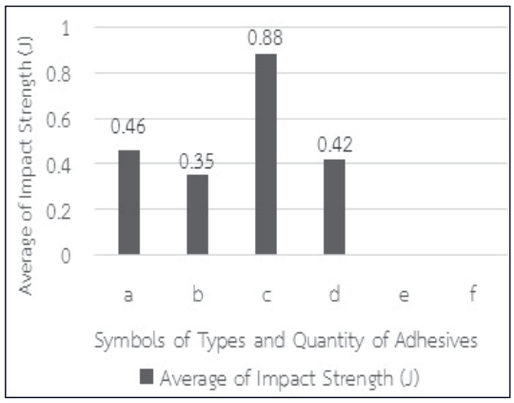
การวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ประกอบด้วย ค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of rupture and elasticity) [7] [9] [10] ค่าความแข็งแรงการกระแทก (Impact strength) [7] [9] [10] อาศัยการทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 876-2547 แผ่นชิ้นไม้อัดชนิดอัดราบ [7] และ JIS A 5908 – 2003(8type) Japanese standard association [9] ASTM D 256 – 06a [10]




**รูปที่ 11** ค่าเฉลี่ยความต้านทานมอดูลัสแตกร้าว [7] [9] [10]




**รูปที่ 12** ค่าเฉลี่ยมอดูลัสยืดหยุ่น [7] [9] [10]



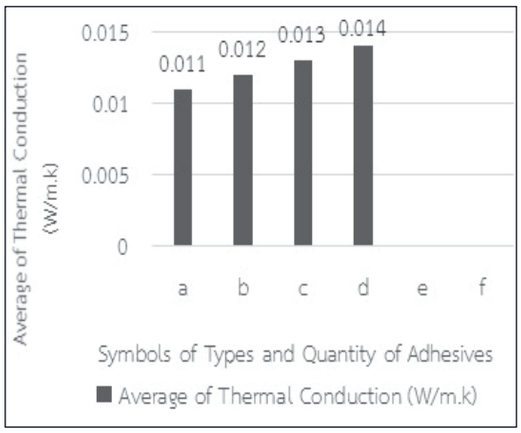

**รูปที่ 13** ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงการกระแทก [7] [9] [10]

รูปที่ 11และ12 แสดงค่าความสัมพันธ์ความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น และค่าความแข็งแรงการกระแทก กับปริมาณสารยึดติดของแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีโดยน้ำหนักแห้ง ที่ปริมาณสารยึดติดกาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน 5เปอร์เซนต์ และ10 เปอร์เซนต์ พบว่า ค่าความต้านทานมอดูลัสแตกร้าวและความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นของแผ่น พบว่า ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ 5 เปอร์เซนต์ มีค่าความต้านมอดูลัสแตกร้าวเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 11.22 เมกะปาสคาล และ 12.54 เมกะปาสคาล สามารถผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด และค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 1,658.75เมกะปาสคาล และ 1,692.45เมกะปาสคาล สามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนด และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ 10 เปอร์เซนต์มีค่าความต้านทานมอดุลัสแตกร้าวเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 14.45 เมกะปาสคาล และ14.45 เมกะปาสคาล และค่าความต้านทานมอดูลัสยืดหยุ่นเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 1,642.52 เมกะปาสคาล และ 1,673.89 เมกะปาสคาล สามารถผ่านค่ามาตรฐานที่กำหนด

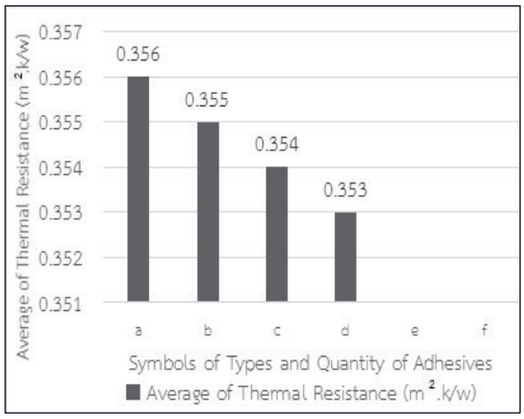
รูปที่ 13 แสดงค่าความแข็งแรงการกระแทก พบว่า ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ปริมาณสารยึดติด 5 เปอร์เซนต์ มีค่าความแข็งแรงการกระแทกเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.46 จูลน์ และ 0.35 จูลน์ และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ปริมาณสารยึดติด 10 เปอร์เซนต์ มีค่าความความแข็งแรงการกระแทกเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.88 จูลน์ และ 0.42 จูลน์

3.3 การทดสอบสมบัติเชิงความร้อน Thermal Analysisโดยใช้เครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) ดังรูปที่ 14 เป็นกระบวนการวัดค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อน และชิ้นส่วนที่ตัดนำไปทดสอบขนาด 300 มิลลิเมตร x 300 มิลลิเมตร โดยได้ทำการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 177-2010 [11]

**รูปที่ 14** เครื่องทดสอบค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อน รุ่น TC-48-20




**รูปที่ 15** ค่าเฉลี่ยการนำความร้อน[11]




**รูปที่ 16** ค่าเฉลี่ยความต้านทานความร้อน[11]

รูปที่15และ16 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อนกับประเภทและปริมาณสารยึดติดของแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี โดยน้ำหนักแห้ง ผลการทดลองพบว่า ชนิดและปริมาณสารยึดติดที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซิน 5 เปอร์เซนต์ และ10 เปอร์เซนต์ ค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน พบว่า ที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ปริมาณสารยึดติด 5เปอร์เซนต์ มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.011 วัตต์ต่อเมตร-เคลวินและ 0.012 วัตต์ต่อเมตร-เคลวินและความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.356 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ และ 0.355 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ และที่ใช้กาวสังเคราะห์ไอโซไซยาเนตเรซินที่ปริมาณสารยึดติด 10 เปอร์เซนต์มีค่าการนำความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.013 วัตต์ต่อเมตร-เคลวินและ 0.014 วัตต์ต่อเมตร-เคลวินและความต้านทานความร้อนเฉลี่ยของแผ่นที่ได้ 0.354 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์ และ 0.353 ตารางเมตร-เคลวินต่อวัตต์

**4.สรุปผลการทดลอง**

การผลิตแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษี สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นกระเบื้องหลังคาที่มีคุณสมบัติเชิงกายภาพ เชิงกล และเชิงความร้อน ที่สามารถใช้งานได้จริง และได้ผ่านตามการทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.876-2547 [7] มอก. 535-2556 [8] JIS A 5908-2003 (8 type) [9] ASTM C 177-10 [10] และ ASTM D 256-2006a [11] โดยความเด่นของกระเบื้องหลังคาจากเศษวัสดุทางธรรมชาติเส้นใยทะลายปาล์มและเส้นใยจากต้นธูปฤาษี มีความเด่นในเรื่องสมบัติเชิงความร้อน พบว่าค่าการนำความร้อนและค่าความต้านทานความร้อน อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถกันความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้ แต่หากมีการใช้คู่กับฉนวนกันความร้อนย่อมส่งผลต่อประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในอาคารได้ดีขึ้น [12] ดังนั้นหากนำผลิตภัณฑ์นี้ไปประยุกต์ใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปต่อยอด ทางงานอุตสาหกรรมการก่อสร้างได้ จัดได้ว่าเป็นวัสดุอีกทางเลือกหนึ่ง ที่จะทำให้ราคาต้นทุนต่ำลง จากการเลือกใช้เศษวัสดุ ที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย [13] [14] รวมถึงเป็นการสร้างวัฒนธรรมของการพึ่งพาตนเอง โดยอาศัยองค์ความรู้ผสมผสานกับเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นการบูรณาการท้องถิ่นและพัฒนาวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น [14]

**รูปที่ 17** ผลิตภัณฑ์กระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและเส้นใยจากต้นธูปฤาษี

**5.กิตติกรรมประกาศ**

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของการวิจัยเรื่อง การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาจากเส้นใยทะลายปาล์มและต้นธูปฤาษีเพื่อชุมชน ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ให้ทุนสนับสนุนด้วยทุนงบประมาณแผ่นดิน ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ประจำปีงบประมาณ 2561 และคุณวรธรรม อุ่นจิตติชัย นักวิชาการ 8 ว. ผู้ที่กรุณาให้แนวคิดคำปรึกษาและอำนวยความสะดวกต่อการทำงานวิจัยในครั้งนี้

**6. เอกสารอ้างอิง**

[1] Oonjittichai W.Wood Substituted. Biocomposites. Forest research and development bureau. Wood Development division. 2012 (in Thai)

[2] Center of fuels and energy from Biomass, Biomass potential in thailand. Department of chemical technology [Internet]. Chulalongkorn University; 2016[cited 2019 Sep 16] .available from:http://www.iscisaraburee.sc.chula.ac.th/2017/index.php/2016/06/06/i-sink-under-the-weight-of-the-splendour/

[3] Anantaratanachai S, Rampeung Jaroenyot. Product of typha paper of automatic machine. department of Industrial engineering. Faculty of engineering and Architecture. Rajamangala University of technology suvarnabhumi. 2013 (in Thai)

[4] Shinoj S, Visvanathan R, Panigraphi, S, Koch Ubabu M. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A Review. Industrial crops and product.2011;33:7-22 (in Thai)

[5] Suntijitto A. Influence of cellulose fiber on mechanical and thermal properties of fiber cement roof sheets in hot-humid climate. Department of Architecture. Faculty of Architecture and planning. Thammasat University. 2011 (in Thai)

[6] Padkoh N. Investigation of tile roofs properties of natural fibers from pineapple leaf fibers and maize husk fiber. Srinakharinwirot Engineering Journal. 2017; 12 (1):11-9 (in Thai)

[7] Thailand Industrial Standards Institute. Flat pressed particleboards. TIS. 876-2547. Ministry of Industry. 2004:1-17 (in Thai)

[8] Thailand Industrial Standards Institute. Concrete roof tiles. TIS. 535-2556. Ministry of Industry.2013:1-14 (in Thai)

[9] Japanese Standards Association particleboard, JIS A 5908-2003.Japanese industrial standard. Tokyo, Hohbunsha Co.Ltd. 2003:23

[10] American Society for testing and materials. ASTM D 256 – 06a Standard test methods for determining the izod pendulum impact resistance of plastics. In 1990 Annual book of ASTM Standards. philadelphia ASTM. 2006;8(1):57-73

[11] American Society for testing and materials. ,ASTM C 177-10 Standard test method for Steady-State heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the ouarded-host-plate apparatus. In annual book of ASTM Standards, MD,U.S.A. 2010;04(6): 21-32

[12] Jarunjaruphat N, Salinee.The particleboard manufacturing from Agricultural wast. The Journal of KMUTNB.2018;28 (2): 469-76 (in Thai)

[13] Thongsri K, Parmotmuang M. The study and development of contemporary product decoration for real wood identity in thailand. Rajamangala University of technology Phra nakhon. Architecture and design. 2015 (in Thai)

[14] Padkoh N. The production and study property of insulation wall light board from bagasse fiber for using in architecture work. Journal of Engineering RMUTT.2015;13(2):11-20 (in Thai)