

การพัฒนาแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้ง

The Development of Tile Roof from Disposal Materials

นันทชัย ชุติลป์* จุฑามาศ ลักษณกิจ พรนารายณ์ บุญราศรี จำรูญ สมบูรณ์
และ ทวีศักดิ์ ทองขวัญ

Nuntachai Chusilp*, Chuthamat Laksanakit, Pornarai Boonrasri,

Chumroon Somboon and Taweesak Thongkun

Received: 11 May 2018, Revised: 5 July 2018, Accepted: 22 November 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือใช้เพื่อเป็นทางเลือกในการก่อสร้างต้นทุนต่ำ โดยนำกระดาชเหลือทิ้งมาสกัดเป็นเยื่อกระดาษและเส้นใยปาล์มจากส่วนก้านใช้แทนมวลรวมผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมพบว่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดแปรผกผันตามปริมาณเยื่อกระดาษและค่าสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) การเพิ่มขึ้นของปริมาณเยื่อกระดาษและ W/C ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดและแรงดัดลดลง อัตราส่วนที่มีการผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันทำให้กำลังรับแรงดัดสูงขึ้นเพราะรูปร่างที่เป็นเส้นของเส้นใยปาล์มน้ำมันช่วยยึดรั้งส่วนผสมได้ดีกว่าเมื่อรับแรงดัด นอกจากนี้อัตราส่วนผสมแบบมีเส้นใยปาล์มสามารถต้านทานความร้อนได้ดีกว่าแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน ร้อยละโดยน้ำหนักซีเมนต์ของปริมาณกระดาช เส้นใยปาล์มน้ำมัน และค่า W/C ที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นมุงหลังคาผสมวัสดุเหลือทิ้งคือ 15 1.0 และ 0.8 ตามลำดับ

คำสำคัญ: แผ่นมุงหลังคา, วัสดุเหลือทิ้ง, เยื่อกระดาษ, เส้นใยปาล์มน้ำมัน

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อทราย อำเภอเมือง
จังหวัดสงขลา 90000

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Ratchadamnoen Nok Road,
Boyang, Mueang, Songkhla 90000, Thailand.

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): Nuntachai_chusilp@hotmail.com

ABSTRACT

This research aimed to explore an appropriate mixture of tile roof sheet made from disposal materials to use as an alternative option of low-cost construction. The mixtures were Portland cement type 1 and aggregate of paper pulp and oil palm fibers. The experimental tests were conducted to investigate its engineering properties. The results showed that compressive strength and flexural strength inversely depended on paper pulp quantity and water cement ratio (W/C). The increase in quantity of paper pulp and W/C contributed to the decrease of compressive strength and flexural strength. The mixture mixed with oil palm fibers presented higher flexural strength than that without oil palm fibers. This was because the stringy shape of oil palm fibers could yield a stronger bond. The mixture mixed with oil palm fibers, furthermore, presented better thermal properties than another without oil palm fibers. The appropriated mixture of paper pulp, oil palm fiber and W/C that suitable for producing tile roof were 15, 1.0 and 0.8, respectively.

Key words: tile roof sheet, disposal materials, paper pulp, oil palm fiber

บทนำ

การปลูกสร้างอาคารประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม คลังสินค้าหรือสถานบริการน้ำมัน ส่วนประกอบที่สำคัญที่ขาดไม่ได้คือวัสดุที่ใช้มุงหลังคาซึ่งมีให้เลือกซื้อในท้องตลาดหลากหลายชนิดและราคา เช่น กระเบื้องเคลือบ กระเบื้องใยหิน กระเบื้องคอนกรีตมุงหลังคา และเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี ชุบสี เป็นต้น เมื่ออาคารเปิดใช้งานแล้วหลังคาเป็นส่วนที่ตรวจสอบและบำรุงรักษาลำบากที่สุดเพราะเข้าถึงยากเนื่องจากความสูง หากเกิดการชำรุดทรุดโทรมจะก่อความเสียหายแก่ผู้ใช้อาคารโดยตรง ซึ่งสาเหตุความเสียหายส่วนใหญ่เกิดจากการเลือกวัสดุในการมุงหลังคาที่ไม่เหมาะสมกับประเภทสิ่งก่อสร้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการเลือกใช้วัสดุมุงเป็นพิเศษ จากข้อมูลพบว่าตลาดวัสดุมุงหลังคามีมูลค่าสูงถึงหนึ่งหมื่นล้านบาท โดยวัสดุเหล่านี้สามารถที่จะสร้างขึ้นจากวัสดุที่มีอยู่ในธรรมชาติและมียู้อยู่ในประเทศได้ทั้งสิ้น แต่ส่วนใหญ่ถูกจำกัด

อยู่ในบริษัทใหญ่เท่านั้นโดยใช้ลิขสิทธิ์กระบวนการผลิตของต่างประเทศทำให้ประเทศสูญเสียโอกาสในการแข่งขันในตลาดโลก งานวิจัยทั้งในประเทศของ (ธัญชัย และคณะ, 2549) พบว่าวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น มันสำปะหลัง เมื่อนำมาทำเป็นแผ่นฉนวนสามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าไม้อัดและมีต้นทุนวัสดุที่ถูกกว่ามาก เช่นเดียวกับการวิจัยของ (นันทชัย และคณะ, 2557) ใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร คือ เส้นใยตาลโตนด มาเป็นส่วนผสมของแผ่นซีเมนต์บอร์ด พบว่าแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยตาลโตนดในอัตราร้อยละ 20 สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มอก. 878-2537 (ภูมิิต และ อัญชิสา, 2555) ได้ข้อสรุปว่าการใช้เส้นใยธรรมชาติจากขี้มะพร้าวและกากเยื่อไผ่ปาล์มในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ในอัตราส่วนผสม ทำให้วัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลตามเกณฑ์มาตรฐาน และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์ ส่งผลดีต่อการ

ประหยัดพลังงานจากการใช้เครื่องปรับอากาศในที่พักอาศัย และการศึกษาของ (ฤทธิชัย และ ประยูร, 2554) ค้นพบว่าการผสมเส้นใยมะพร้าวร้อยละ 15 มีความเป็นไปได้ในการผลิตแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมผงคอนกรีต โดยสัดส่วนของเส้นใยมะพร้าวมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ เหนียวและแข็งความร้อนน้อยกว่าผงคอนกรีต และการศึกษาจากต่างประเทศของ (Ashori *et al.*, 2011) ได้ศึกษาคุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ด (Wood-wool cement board) พบว่าการเพิ่มเส้นใยคาลิปต์สในส่วนผสมของซีเมนต์บอร์ดส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลลดลง (Hermawan *et al.*, 2002) พบว่าการบ่มโดยวิธี CO_2 ทำให้การผลิตแผ่นซีเมนต์ไฟเบอร์ผสมทางใบปาล์มน้ำมันมีประสิทธิภาพสูง (Hermawan *et al.*, 2001) ค้นพบว่าแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมผงจากทางใบปาล์มน้ำมันเมื่อเติมแมกนีเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วนผสมช่วยให้การอัดขึ้นรูปดีขึ้น และ (Nazerian and Sadeghiipannah, 2013) ศึกษาการนำเส้นใยจากฟางข้าวสาลีและไม้เนื้อแข็งผสมในแผ่นซีเมนต์บอร์ดพบว่าเส้นใยจากฟางข้าวสาลีทำหน้าที่วัสดุเสริมแรงยึดเหนี่ยวภายในได้ดี งานวิจัยเหล่านี้ศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ นักวิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาวัสดุผสมหลังคาโดยใช้วัสดุที่เหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งมีอยู่อย่างมากมาย เช่น เส้นใยจากทลายหรือส่วนก้านของปาล์มน้ำมันในภาคใต้ เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำหรับมุงหลังคาได้

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุผสมหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้งโดยใช้เยื่อกระดาษที่สกัดจากกระดาษใช้แล้วและเส้นใยปาล์มน้ำมันส่วนก้านที่เหลือทิ้งจากการเกษตร เพื่อนำผลการศึกษามาเผยแพร่เพื่อเป็นทางเลือกในการก่อสร้างต้นทุนต่ำ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในเชิงเศรษฐศาสตร์และสังคม

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษการพัฒนาแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้งมีวิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานของการศึกษาที่สำคัญมีรายละเอียดดังนี้

1. การเตรียมวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบของการศึกษานี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และมวลรวมที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งคือกระดาษใช้แล้วและเส้นใยปาล์มน้ำมัน การเตรียมเยื่อกระดาษที่ใช้ในส่วนผสมได้จากการนำกระดาษมาย่อยให้เป็นชิ้นเล็กโดยการผสมน้ำแล้วปั่น จากนั้นนำไปอบด้วยอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 36 ชั่วโมง นำเศษกระดาษที่อบแห้งแล้วมาปั่นให้ละเอียดจนได้เยื่อกระดาษ ดังภาพที่ 1 (ก) เส้นใยปาล์มน้ำมันที่ใช้คัดแยกเส้นใยออกมาจากส่วนของก้านแล้วตัดให้มีควมยาว 1-2 เซนติเมตร ดังภาพที่ 1 (ข)



(ก) เยื่อกระดาษ



(ข) เส้นใยปาล์มน้ำมันส่วนก้านตัดขนาด 1-2 เซนติเมตร

ภาพที่ 1 วัสดุมวลรวมที่ใช้ในส่วนผสม

2. การออกแบบอัตราส่วนผสม

ก่อนทำการออกแบบอัตราส่วนผสมผู้วิจัยได้ทดสอบคุณสมบัติของส่วนผสมระหว่างซีเมนต์เพสต์และมวลรวมจากเชื้อกระดาชและเส้นใยปาล์มน้ำมัน เนื่องจากการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นตัวประสานจะต้องกำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ในอัตราส่วนผสมให้เหมาะสมและมีความสามารถทำงานได้ (Workability) การทดสอบประกอบด้วย (1) ความชื้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ (Normal consistency) ตามมาตรฐาน ASTM C187 โดยเครื่องมือไวแคต (Vicat apparatus) (2) ระยะเวลาการก่อตัว (Setting time) ของซีเมนต์เพสต์ และซีเมนต์เพสต์ผสมมวลรวมจากเชื้อกระดาชและเส้นใยปาล์มน้ำมัน ตามมาตรฐาน ASTM C 191 ใช้ปริมาณน้ำที่พอเหมาะจากการทดสอบความชื้นเหลวปกติ และ (3) การไหลแผ่ (Flow) ของซีเมนต์เพสต์ผสมเชื้อกระดาชและเส้นใยปาล์มน้ำมัน ผลการทดสอบสมบัติเหล่านี้นำมากำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (Water cement ratio, W/C) ของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ทำให้มีความสามารถทำงานขึ้นรูปแผ่นมุงหลังคาได้ โดยกำหนดสัดส่วนของวัสดุผสม 14 อัตราส่วนดังตารางที่ 1

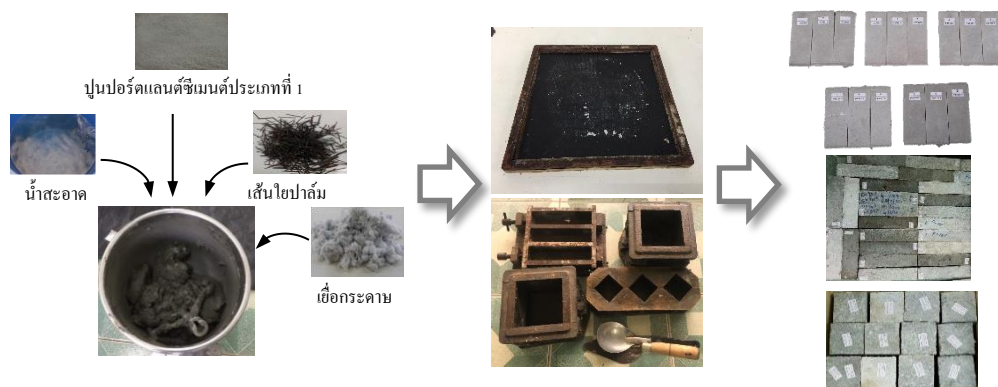
3. การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสม

การทดสอบคุณสมบัติทั่วไปในการศึกษานี้แบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุผสม ประกอบด้วย

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เชื้อกระดาช และเส้นใยปาล์มน้ำมัน การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพใช้การถ่ายภาพขยายกำลังสูงด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อระบุลักษณะพื้นฐานของวัสดุในระดับจุลภาค กำลังขยาย 1,000 เท่า 5,000 เท่า และ 10,000 เท่า ส่วนการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

4. การทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้ง

อัตราส่วนผสมต่างๆ ทั้งหมด 14 อัตราส่วนนำมาขึ้นรูปโดยเทลงในแบบหล่อที่เตรียมไว้ 3 แบบ คือ แบบลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร สำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด แบบคานขนาด $4 \times 4 \times 16$ เซนติเมตร สำหรับทดสอบกำลังรับแรงดัด และแบบแผ่นขนาด $30 \times 30 \times 1$ เซนติเมตร สำหรับทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อน จากนั้นกระทุ้งให้แน่น ทิ้งให้แข็งตัว 24 ชั่วโมง และบ่มในอากาศสูงสุดที่อายุ 28 วัน ดังภาพที่ 2 เมื่อได้ตัวอย่างแผ่นมุงหลังคาแล้วนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) เพื่อระบุความเหมาะสมในการใช้งานจริง รายละเอียดของการทดสอบมีดังนี้ (1) ความหนาแน่น (Density) (2) การทดสอบกำลังรับแรงอัด (3) การทดสอบกำลังรับแรงดัด และ (4) การทดสอบความสามารถในการต้านทานความร้อน



ภาพที่ 2 กระบวนการเตรียมวัสดุตัวอย่างทดสอบและการผลิตขึ้นตัวอย่างแผ่นมุงหลังคา

ตารางที่ 1 สัดส่วนของวัสดุผสม

อัตราส่วนผสม	ร้อยละของปูนซีเมนต์โดย		ร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ (%)		
	น้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด	W/C	เื่อกระดาษ	เส้นใยปาล์มน้ำมัน	น้ำ
P05F0W40	69.0	0.4	5	-	40
P05F1W40	68.8	0.4	5	1	40
P10F0W80	52.6	0.8	10	-	80
P10F1W80	52.4	0.8	10	1	80
P15F0W80	51.3	0.8	15	-	80
P15F1W80	51.1	0.8	15	1	80
P20F0W100	45.5	1.0	20	-	100

อัตราส่วนผสม	ร้อยละของปูนซีเมนต์โดย		ร้อยละโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ (%)		
	น้ำหนักของอัตราส่วนผสมทั้งหมด	W/C	เื่อกระดาษ	เส้นใยปาล์มน้ำมัน	น้ำ
P20F1W100	45.2	1.0	20	1	100
P25F0W100	44.4	1.0	25	-	100
P25F1W100	44.2	1.0	25	1	100
P30F0W120	40.0	1.2	30	-	120
P30F1W120	39.8	1.2	30	1	120
P35F0W120	39.2	1.2	35	-	120
P35F1W120	39.1	1.2	35	1	120

5. การทดสอบการต้านทานความร้อนของแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้ง

การทดสอบการต้านทานความร้อนของแผ่นมุงหลังคาโดยนำตัวอย่างขึ้นทดสอบแบบแผ่นแต่ละอัตราส่วนมาใส่เป็นฉนวนระหว่างห้องทดสอบที่เปิดไฟและห้องว่าง เก็บข้อมูลอุณหภูมิที่ผิวของตัวอย่างขึ้นทดสอบแผ่นมุงหลังคาด้านที่อยู่ในห้องที่เปิดไฟและด้านที่อยู่ในห้องว่างโดยเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่ความแตกต่างของอุณหภูมิเริ่มคงที่ ความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวทั้งสองด้านของแผ่นมุงหลังคาสามารถบอกถึงประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อนได้

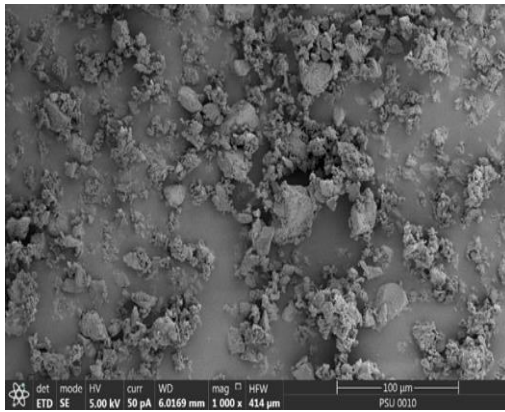
ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสม

ภาพขยายกำลังสูงขนาด 1,000 5,000 และ 10,000 เท่าด้วยเครื่อง SEM ของวัสดุที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง) เชื้อกระดาษ และเส้นใยปาล์มน้ำมัน ดังภาพที่ 3-4 แสดงให้เห็นว่าลักษณะฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง) จะมีลักษณะรูปร่างขรุขระ เป็นก้อนเหลี่ยมๆ ขนาดต่างๆ กัน เชื้อกระดาษมีลักษณะรูปร่างเป็นเส้น มีพื้นผิวที่ขรุขระ ไม่สม่ำเสมอ ส่วนของภาพตัดตามขวางของ

เส้นใยปาล์มน้ำมันมีลักษณะรูปร่างเหมือนท่อกลมหลายๆ ท่อ ทั้งกลวงและตัน ไม่สม่ำเสมอ และมีพื้นผิวหน้าตัดตามขวางขรุขระ เมื่อนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และเชื้อกระดาษมาผสมกัน (ดูภาพที่ 4 (ง)-(ฉ)) ภาพขยายของวัสดุผสมมีลักษณะรูปร่างเป็นเส้นใยของเชื้อกระดาษที่มีปูนซีเมนต์เกาะที่มีผิวขรุขระจนเกือบเต็มช่องว่างของเชื้อกระดาษ

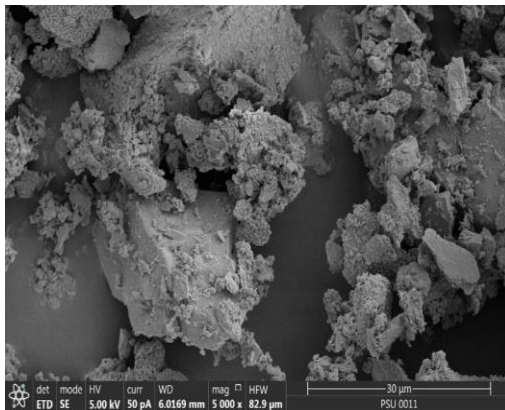
ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีสารประกอบหลักจำพวกแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe₂O₃) เป็นไปตามค่ามาตรฐาน สำหรับองค์ประกอบทางเคมีที่มีเฉพาะในเส้นใยปาล์มน้ำมันไม่มีในเชื้อกระดาษ ได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) คลอรีน (Cl) 7.54 และ โพแทสเซียม (K) ในทางกลับกันองค์ประกอบทางเคมีของเชื้อกระดาษมีร้อยละของแคลเซียม (Ca) 17.83 สูงกว่าค่าร้อยละที่มีอยู่ในเส้นใยปาล์มน้ำมันประมาณ 9 เท่า สารประกอบทางเคมีนี้มีค่าการนำความร้อน (Conductivity) หรือ K-Value เท่ากับ 201 วัตต์ ต่อเมตร-เคลวิน เป็นค่าที่สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับธาตุอื่นในมวลรวมที่ใช้ในการศึกษา



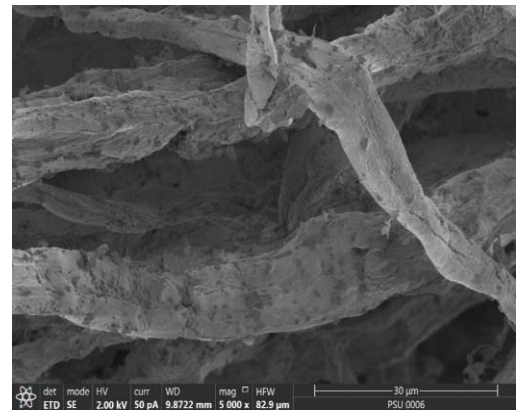
(ก) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ขยาย 1000 เท่า



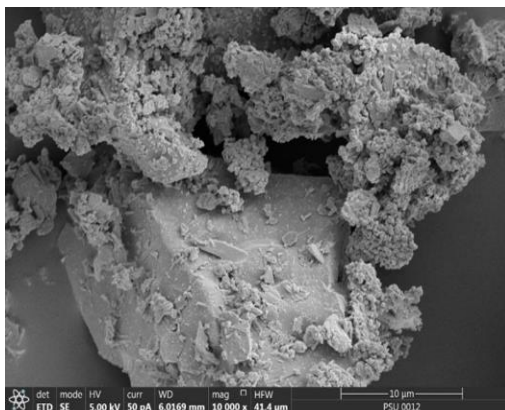
(ง) เขื่อกระดาส ขยาย 1000 เท่า



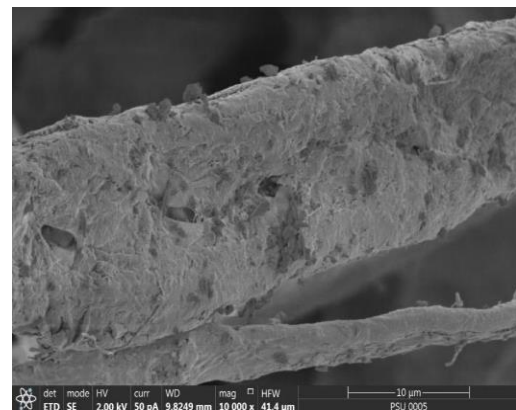
(จ) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ขยาย 5000 เท่า



(ฉ) เขื่อกระดาส ขยาย 5000 เท่า



(ค) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ขยาย 10000 เท่า



(ฉ) เขื่อกระดาส ขยาย 10000 เท่า

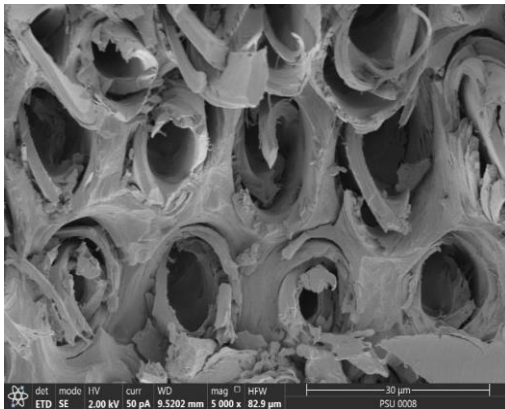
ภาพที่ 3 ภาพถ่ายขยายอนุภาคจากเครื่อง SEM ที่มีกำลังขยายในช่วง 1000 5000 และ 10000 เท่าของ (ก)-(ค) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ (ง)-(ฉ) เขื่อกระดาส



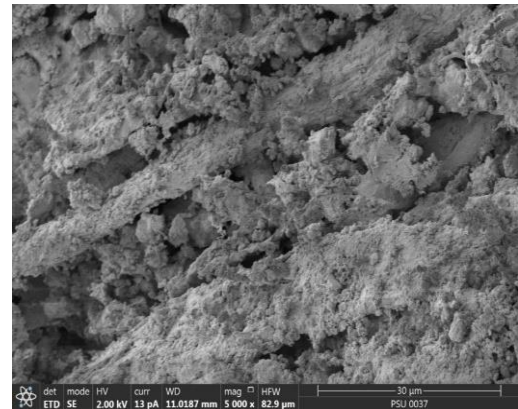
(ก) เส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



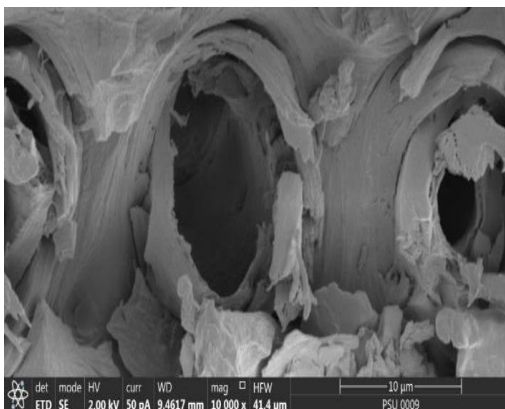
(ง) วัสดุผสม ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



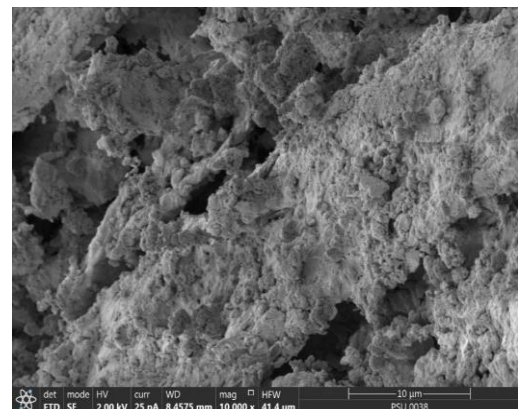
(ข) เส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่กำลังขยาย 5000 เท่า



(จ) วัสดุผสม ที่กำลังขยาย 5000 เท่า



(ค) เส้นใยปาล์มน้ำมัน ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

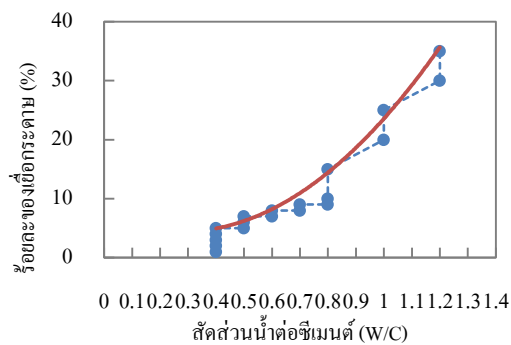


(ฉ) วัสดุผสม ที่กำลังขยาย 10000 เท่า

ภาพที่ 4 ภาพถ่ายขยายอนุภาคจากเครื่อง SEM ที่มีกำลังขยายในช่วง 1000 5000 และ 10000 เท่าของ (ก)-(ค) เส้นใยปาล์มน้ำมัน และ (ง)-(ฉ) วัสดุผสม

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ เส้นใยปาล์มน้ำมัน และ เชื้อกระดูกที่ใช้ทดสอบ

ที่	ธาตุ	ความเข้มข้น (%)		ที่	ธาตุ	ความเข้มข้น (%)	
		ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1				เส้นใยปาล์มน้ำมัน	เชื้อกระดูก
		ค่ามาตรฐาน	ค่าจากการทดสอบ				
1	แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	60.00-77.00	55.81	1	แมกนีเซียม (Mg)	1.47	-
2	ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	17.00-25.00	13.58	2	ซิลิคอน (Si)	2.3	0.53
3	อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	3.00-8.00	3.26	3	ฟอสฟอรัส (P)	0.16	-
4	เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.50-6.00	2.88	4	กำมะถัน (S)	0.18	-
5	แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.10-0.40	1.44	5	คลอรีน (Cl)	7.54	-
6	ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	0.50-3.00	4.32	6	โพแทสเซียม (K)	2.22	-
7	โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.10-1.80	-	7	แคลเซียม (Ca)	2.03	17.83
8	โพแทสเซียมไดออกไซด์(KO ₂)	0.10-1.80	0.96	8	เหล็ก (Fe)	0.311	0.85
9	สตรอนเซียมออกไซด์ (SrO)	-	0.07	9	อลูมิเนียม (Al)	-	0.34
10	การสูญเสียน้ำหนักจากการเผา	0.10-3.00	-				
11	สารประกอบอื่น ๆ	0.50-3.00	-				



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และปริมาณเชื้อกระดูก



ภาพที่ 6 ชิ้นงานตัวอย่างที่ขึ้นรูปเป็นแผ่นมุงหลังคา

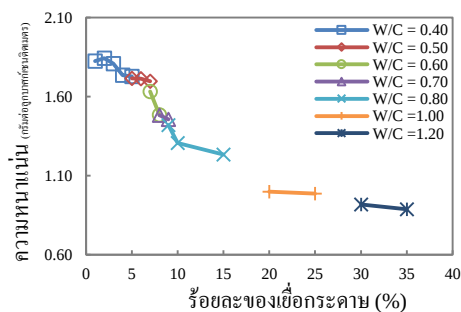
การตรวจสอบอิทธิพลของ W/C ต่อปริมาณเชื้อกระดูกเพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสม เบื้องต้นผู้วิจัยได้เตรียมตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ผสมเชื้อกระดูกที่มีค่า W/C ระหว่าง 0.4-1.2 และปริมาณเชื้อกระดูกแตกต่างกัน ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) และปริมาณเชื้อกระดูกที่มีความสามารถผสมกันได้ พบว่า W/C และปริมาณเชื้อกระดูกมีค่าจำกัดเฉพาะสัดส่วนต่างๆ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของค่า W/C ค่าเริ่มต้นของ W/C ที่ทำให้มีความสามารถผสมกันได้

เท่ากับ 0.4 โดยใช้ปริมาณเชื้อกระดูกได้สูงสุดร้อยละ 5 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ช่วงที่ค่า W/C เพิ่มขึ้นเป็น 0.8 เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อกระดูกที่เพิ่มในส่วนผสมได้อย่างมาก จนกระทั่งเมื่อ W/C มีค่าเท่ากับ 1.2 สามารถผสมเชื้อกระดูกในปริมาณสูงสุดได้ร้อยละ 35 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ เป็นค่า W/C สูงสุดที่ใช้ในการศึกษานี้เพราะทำให้ส่วนผสมมีลักษณะกึ่งพลาสติกและไม่แยกตัวเมื่อขึ้นรูป

2. ความหนาแน่นของแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้ง

หลังจากขึ้นรูปและบ่มแผ่นมุงหลังคาในอากาศเป็นเวลาสูงสุด 28 วัน (ภาพที่ 6) แล้วนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณเชื้อกระดาษที่ค่า W/C ต่างๆ ดังภาพที่ 7 พบว่าความหนาแน่นของแผ่นมุงหลังคาลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเชื้อกระดาษและค่า W/C สำหรับค่า W/C เท่ากับ 0.4 เมื่อปริมาณเชื้อกระดาษเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 2 ของน้ำหนักซีเมนต์ ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุด 1.84 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ค่า W/C เท่ากับ 0.6 และปริมาณเชื้อกระดาษร้อยละ 8 ของน้ำหนักซีเมนต์เป็นระดับที่ทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลงอย่างฉับพลัน

การเพิ่มขึ้นของเชื้อกระดาษในส่วนผสมแผ่นมุงหลังคาทำให้ต้องเพิ่ม W/C เพราะเมื่อมวลรวมซึ่งเป็นเชื้อกระดาษมากขึ้นย่อมดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และต้องการวัสดุประสานหรือซีเมนต์เพิ่มขึ้นตามสัดส่วน เพื่อให้การยึดเกาะของอนุภาคซีเมนต์และเชื้อกระดาษมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในขณะที่เดียวกันการเพิ่มปริมาณเชื้อกระดาษยิ่งทำให้น้ำหนักของแผ่นมุงหลังคาลดลง ดังนั้นอัตราส่วนที่มีปริมาณเชื้อกระดาษและค่า W/C สูงกว่าจึงมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณเชื้อกระดาษ

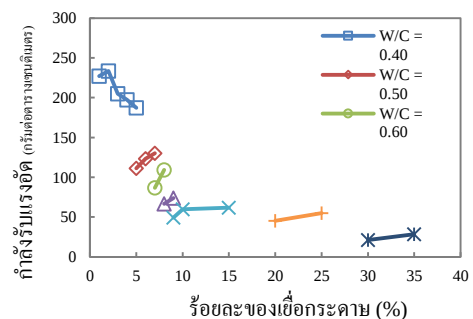


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณเชื้อกระดาษที่ค่า w/c ต่างกัน

และค่า W/C ต่ำ สรุปได้ว่าความหนาแน่นของแผ่นมุงหลังคาลดลงคิดเป็นร้อยละ 23.34 23.49 และ 8.25 เมื่อผสมเชื้อกระดาษเพิ่มจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 10 20 และ 30 ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ (นันท์ชัย และคณะ, 2557) ซึ่งพบว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยตาลโตนดลดลงคิดเป็นร้อยละ 85.92 76.16 53.01 และ 45.29 เมื่อผสมเส้นใยตาลโตนดเพิ่มจากร้อยละ 20 เป็นร้อยละ 30 40 50 และ 60 ตามลำดับ แผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยตาลโตนดในอัตราร้อยละ 20 จากงานวิจัยของ (นันท์ชัย และคณะ, 2557) สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ มอก. 878-2537

3. กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดของแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้ง

ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณเชื้อกระดาษที่ค่า W/C ต่างๆ พบว่าอัตราส่วนผสมมีกำลังรับอัดลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเชื้อกระดาษและค่า W/C และเมื่อปริมาณเชื้อกระดาษมีค่าเกินกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนักซีเมนต์ กำลังรับแรงอัดค่อยๆ ลดลง และลดลงอย่างฉับพลันเมื่อค่า W/C เพิ่มจาก 0.40 เป็น 0.50 ที่ค่า W/C เท่ากับ 0.4 และปริมาณกระดาษเท่ากับร้อยละ 2 ของน้ำหนักซีเมนต์ กำลังรับแรงอัดมี



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและปริมาณเชื้อกระดาษที่ค่า w/c ต่างกัน

ค่าสูงสุด 233 กรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อปริมาณเยื่อกระดาษสูงกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนักซีเมนต์กำลังรับแรงอัดลดลง

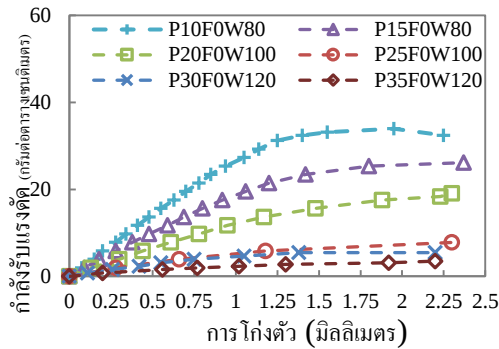
เมื่อมวลรวมจากเยื่อกระดาษเพิ่มมากขึ้น แต่ W/C เท่าเดิม ส่วนผสมจึงค่อนข้างแห้งทำให้การผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันทำได้ยากขึ้นจึงทำให้ความสม่ำเสมอในการขึ้นรูปลดลงส่งผลให้การกระจายการรับน้ำหนักลดลง ลักษณะนี้แตกต่างจากส่วนผสมอื่นๆ ที่มีค่า W/C สูงกว่า 0.4 กล่าวคือเมื่อ W/C เท่ากันแผ่นมุงหลังคาที่มีปริมาณเยื่อกระดาษมากกว่ามีกำลังรับแรงอัดสูงกว่า เนื่องจากปริมาณเยื่อกระดาษและ W/C ที่เพิ่มขึ้นทำให้การผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันและการขึ้นรูปให้มีความสม่ำเสมอมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถกระจายการรับน้ำหนักได้เพิ่มขึ้น

ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงอัด ได้ข้อค้นพบเบื้องต้นว่าอัตราส่วน P05F0W40 และ P05F1W40 ไม่เหมาะสมจึงหยุดการทดสอบแต่เพียงนี้ เนื่องจากส่วนผสมมีค่าการไหลต่ำมากทำให้ไหลเข้าแบบได้ไม่สมบูรณ์ เกิดโพรงและเนื้อวัสดุไม่สม่ำเสมอหลังจากขึ้นรูป การทดสอบคุณสมบัติในขั้นต่อไปคงเหลือเฉพาะอัตราส่วนผสมที่สามารถขึ้นรูปได้ดีทั้งหมด 12 อัตราส่วน โดยจะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดและความสามารถในการต้านทานความร้อนเพื่อคัดเลือกเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

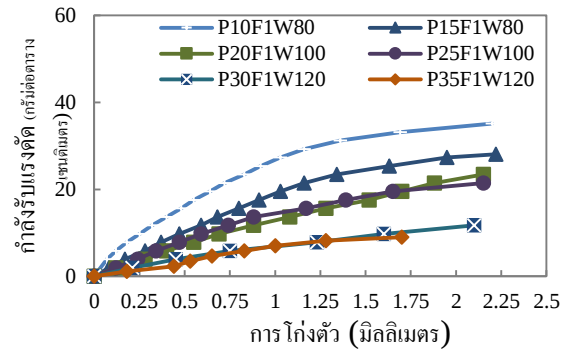
ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแผ่นมุงหลังคาที่มีมวลรวมจากเยื่อกระดาษ และมวลรวมจากเยื่อกระดาษผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันแสดงในภาพที่ 9 และ 10 พบว่ากำลังรับแรงอัดของแผ่นมุงหลังคาทั้งแบบผสมและไม่ผสมเส้นใยปาล์มน้ำมันลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเยื่อกระดาษและ W/C อัตราส่วนที่มีปริมาณเยื่อกระดาษและค่า W/C น้อยกว่ามีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณเยื่อกระดาษและค่า W/C สูงกว่า แต่การโก่งตัวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเยื่อกระดาษและค่า W/C เพิ่มขึ้น เมื่อ

พิจารณาที่ค่า W/C เท่ากัน อัตราส่วนที่มีปริมาณเยื่อกระดาษน้อยกว่ามีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าและมีค่าการโก่งตัวต่ำกว่า เมื่อค่า W/C เพิ่มขึ้นเป็น 1.0 มีความแตกต่างอย่างมากของกำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนที่มีปริมาณเยื่อกระดาษร้อยละ 2.0 และ 2.5 ของน้ำหนักซีเมนต์ ขณะที่ค่า W/C เท่ากับ 1.2 กำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนที่มีปริมาณเยื่อกระดาษร้อยละ 3.0 และ 3.5 ของน้ำหนักซีเมนต์ มีค่าไม่แตกต่างกันสำหรับแผ่นมุงหลังคาแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันผสม ในมวลรวม การลดลงของกำลังรับแรงอัดและการเพิ่มขึ้นของการโก่งตัวเกิดขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเยื่อกระดาษและ W/C แต่ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดที่ค่า W/C เท่ากัน มีน้อยกว่าแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน เห็นได้ชัดจากค่า W/C เท่ากับ 1.0 และ 1.2 เมื่อปริมาณเยื่อกระดาษในส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 2.0 และ 2.5 ของน้ำหนักซีเมนต์ และร้อยละ 3.0 และ 3.5 ของน้ำหนักซีเมนต์ ตามลำดับ กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกันอย่างมาก ที่กำลังรับแรงอัดค่าเดียวกันค่าใดค่าหนึ่งการโก่งตัวของอัตราส่วนที่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน

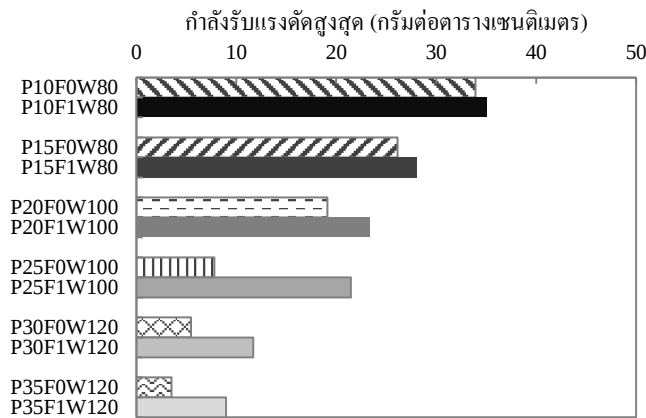
เมื่อเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดสูงสุดของแผ่นมุงหลังคาแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันและแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันดังภาพที่ 11 พบว่าทั้งหกชุดที่มีร้อยละเยื่อกระดาษและค่า W/C เท่ากันอัตราส่วนแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันรับแรงอัดสูงสุดได้มากกว่าแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน ความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดสูงสุดของอัตราส่วนแบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันและไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันแสดงค่าชัดเจนเมื่อปริมาณกระดาษและค่า W/C เพิ่มสูงขึ้น อัตราส่วนที่มีปริมาณเยื่อกระดาษร้อยละ 25 ของน้ำหนักซีเมนต์และค่า W/C เท่ากับ 1.0 แบบมีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีกำลังรับแรงอัดสูงสุดสูงกว่าแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันสูงสุดประมาณสามเท่า



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงคดและการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบผสมจากเยื่อกระดาษที่มีค่า W/C ต่างกันโดยไม่มีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงคดและการโก่งตัวของตัวอย่างทดสอบผสมจากเยื่อกระดาษที่มีค่า W/C ต่างกัน และมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน



ภาพที่ 11 กำลังรับแรงคดสูงสุดของตัวอย่างทดสอบเมื่อไม่มีและมีการเสริมเส้นใยปาล์มน้ำมัน

4. ความสามารถในการต้านทานความร้อนของแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้ง

ผลการวัดอุณหภูมิที่ผิวของชั้นทดสอบด้านที่อยู่ในห้องทดสอบที่เปิดหลอดไฟและห้องว่าง ณ เวลาเริ่มต้นอุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง ความแตกต่างของอุณหภูมิของทั้งสองห้องเริ่มคงที่ดังภาพที่ 12 การเพิ่มปริมาณเยื่อกระดาษในอัตราส่วนผสมตั้งแต่ร้อยละ 15 เป็นต้นไปทำให้การต้านทานความร้อนลดลง เห็นได้จากผลต่างของอุณหภูมิที่ลดลง เพราะปริมาณเยื่อกระดาษที่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นลดลง อัตราส่วนผสมที่มีความหนาแน่นต่ำความร้อนจึงผ่านได้ง่าย

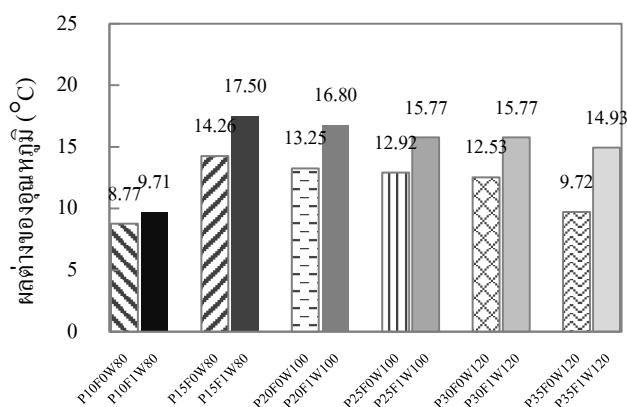
กว่าอัตราส่วนผสมที่มีความหนาแน่นสูงกว่าอัตราส่วนผสมแบบที่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิสูงกว่าอัตราส่วนผสมแบบไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน สามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการต้านทานความร้อนซึ่งแสดงอยู่ในรูปของผลต่างของอุณหภูมิจะแปรผกผันตามการเพิ่มขึ้นปริมาณเยื่อกระดาษและเส้นใยปาล์มน้ำมัน ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ (ธนัญชัย และคณะ, 2549) ซึ่งพบว่าฉนวนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีความหนาแน่นมากกว่าช่วยลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่า และการศึกษาของ (ภูษิต และ อัญชิสา, 2555) ซึ่งได้ข้อสรุปว่าการใช้เส้นใย

มะพร้าวและเส้นใยปาล์มในอัตราส่วนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักซีเมนต์ในการผลิตวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ด้านทานความร้อนได้ดีกว่าซีเมนต์เพสต์ควบคุมซึ่งมีผลต่อการประหยัดพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศในอาคารพักอาศัย

สรุป

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าร้อยละของเยื่อกระดาษเส้นใยปาล์มน้ำมัน และค่า W/C เป็นพารามิเตอร์หลักในการหาความเหมาะสมของแผ่นมุงหลังคาจากวัสดุเหลือทิ้ง บทสรุปที่สำคัญของงานวิจัยมีดังนี้ (1) ร้อยละของเยื่อกระดาษที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า W/C เพื่อให้ส่วนผสมมีความสามารถในการผสมกันได้ (2) อัตราส่วนแบบที่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันมีกำลังรับแรง

คดได้สูงกว่าและต้านทานความร้อนได้ดีกว่าแบบที่ไม่มีเส้นใยปาล์มน้ำมัน เพราะเยื่อกระดาษมีแคลเซียม (Ca) ซึ่งมีค่าการนำความร้อนสูงมากกว่าเส้นใยปาล์มน้ำมัน ในทางกลับกันเส้นใยปาล์มน้ำมันมีค่าต้านทานความร้อนจากแมกนีเซียม (Mg) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) คลอรีน (Cl) และโพแทสเซียม (K) ซึ่งไม่มีในเยื่อกระดาษประกอบกับลักษณะทางกายภาพที่เป็นท่อของเส้นใยปาล์มน้ำมันจึงช่วยให้ความร้อนระบายได้อย่างสะดวก อัตราส่วนที่มีเส้นใยปาล์มน้ำมันจึงต้านทานความร้อนได้ดีกว่า (3) เกณฑ์การพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดใช้การเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อยตามคุณสมบัติต่างๆ ที่ทดสอบ อัตราส่วนที่มีคะแนนรวมสูงสุดคือ P15F1W80 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 12 ความสามารถในการต้านทานความร้อนของตัวอย่างทดสอบเมื่อไม่มีและมีการเสริมด้วยเส้นใยปาล์มน้ำมัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยนี้จากงบประมาณเงิน งบประมาณ ประจำปี พ.ศ. 2560

เอกสารอ้างอิง

ธนัญชัย ปุณณวรกิจ, พันธุดา พุดิไพโรจน์, วรธรรม อุ่นจิตติชัย และ พรรณจิรา ทิศาวิภาต. 2549. ประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของฉนวนอาคารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร.

วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 4: 3-13.

นันทชัย ชูศิลป์, ประสิทธิ์ชัย ส่องช่วย และ จิราวุฒิ ประทุมวัลย์. 2557. คุณสมบัติของแผ่นซีเมนต์บอร์ดผสมเส้นใยตาลโตนด, น. 759-765. ใน รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 19. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ภูษิต เลิศวัฒนารักษ์ และ อัญชิสา สันติจิตโต. 2555. คุณสมบัติของวัสดุไฟเบอร์ซีเมนต์ผสมเส้นใยธรรมชาติจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยปาล์มเพื่อผลิตวัสดุก่อสร้าง. วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง 9: 113-124

ฤทธิชัย สังขทิพย์ และ ประยูร สุรินทร์. 2554. การศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแผ่นวัสดุก่อสร้างจากเส้นใยมะพร้าวผสมซีเมนต์กับผงคอนกรีตโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง, น. 594-599. ใน รายงานการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ.

Ashori, A., Tabarsa, T. and Valizadeh, I. 2011. Fiber Reinforced Cement Boards Made from Recycled Newsprint Paper. **Materials Science and Engineering A** 528: 7801-7804.

Hermawan, D., Hata, O., Kawai, H., Nagadomi, W. and Kuroki, A. 2002. Manufacturing oil palm fronds cement-bonded board cured by gaseous or supercritical carbon dioxide. **The Japan Wood Research Society** 48(1): 20-24.

Hermawan, D., Subiyanto, B. and Kawai, S. 2001. Manufacture and Properties of Oil Palm Frond Cement-bonded Board. **Journal of Wood Science** 47(3): 208-213.

Nazerian, M. and Sadeghiipah, V. 2013. Cement-bonded Particleboard with a Mixture of Wheat Straw and Poplar Wood. **Journal of Forestry Research** 24(2): 381-390.