การปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพและเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ด้วยเศษกระดาษเหลือใช้
The improvement of physical and mechanical properties of cement decorative ornaments by adding wasted paper

1

ก่อพงศ์ หงษ์ศรี[1*], ขวัญใจ สมบุญ[1]
Korpong Hongsri[1*], Kwanjai Somboon[1]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพด้านกายภาพและเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ด้วยเศษกระดาษเหลือใช้ โดยการนำเยื่อจากกระดาษประเภทต่าง ๆ อาทิเช่น กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษหนังสือพิมพ์ กล่องกระดาษและเศษกระดาษรวม ผสมลงในปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม ทราย น้ำ ซึ่งได้กำหนดอัตราส่วนของเยื่อกระดาษ ปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม ทราย และน้ำ เป็น 0.1 : 1 : 0.25 : 0.25 : 4 ตามลำดับ เพื่อหาชนิดของเยื่อจากกระดาษที่เหมาะสมในการผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ด้วยเศษกระดาษเหลือใช้ ผลจากการศึกษาวิจัยพบว่าเมื่อเติมเยื่อจากเศษกระดาษลงไปในวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์มีค่าความหนาแน่นและมอดูลัสการตกร้าวลดลง การดูดซึมน้ำ การพองตัวทางความหนาและมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเยื่อจากเศษกระดาษสามารถนำมาใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ได้ ทำให้มีน้ำหนักเบาและเพิ่มความยืดหยุ่น และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของเยื่อจากกระดาษที่นำมาผสม พบว่า เยื่อจากเศษกล่องกระดาษ มีความเหมาะสมที่สุดเพราะทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,215 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การดูดซึมน้ำเท่ากับ 44.1 % การพองตัวทางความหนาเท่ากับ 1.56 % มอดูลัสการตกร้าวเท่ากับ 1.384 เมกะพาสคัล และมอดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 2,424 เมกะพาสคัล ผลการศึกษาวิจัยนี้สรุปได้ว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ ทำให้ขึ้นรูปแบบได้หลากหลายมากขึ้น มีน้ำหนักเบา การตัด ดัด เจาะและยึดทำได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนการผลิตเพราะมีการนำวัสดุเหลือใช้มาเป็นวัตถุดิบอีกด้วย

Abstract

The aim of this project was to improve physical and mechanical properties of decorative ornaments made from cement with the ratio of cement : gypsum : sand : water equaled to 1 : 0.25 : 0.25 : 4 by adding different types of wasted paper, which were printing paper, newspaper paper, cardboard paper and mix wasted paper with the ratio of cement : gypsum : sand : water : wasted paper equaled to 1 : 0.25 : 0.25 : 4 : 0.1 respectively and to discover the most appropriated type of the wasted paper to be used to create a mix cement-paper decorative ornaments. The study found that by adding wasted paper into the mixture of cement, the density and modulus of rupture of the cement decorative ornament decreased, whereas water absorption, thickness swelling and modulus of elasticity of the cement decorative ornament increased. This proved that by adding wasted paper into the mixture of cement, the cement-paper mixture was more suitable to make decorative ornaments as the products were lighter and had more flexibility. The cardboard paper was the most suitable wasted paper to be used as it provided the best physical and mechanical properties improvements which were the density of 2,215 gcm-3, the water absorption of 44.1 %, the thickness swelling of 1.56 %, the modulus of rupture of 1.384 megapascal and modulus of elasticity of 2,424 megapascal. It can be concluded that where the cement-paper mixture was used to make decorative ornament, it was found that it can be used to make more variety of decorative ornaments because of its lightness, easier to cut and shaped. Using wasted paper also helped reducing the cost of production.

คำสำคัญ: ปูนซีเมนต์ เศษกระดาษเหลือใช้ วัสดุผสมเยื่อกระดาษ
Keywords: Cement, Wasted paper, Recycled paper based composite

[1]กรมวิทยาศาสตร์บริการ
[*]Corresponding author Email address : korpong@dss.go.th

1. บทนำ (Introduction)

ปูนซีเมนต์ คือสารผสมที่ได้จากการนำแคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูนและหินดินดานหรือดินเหนียวไปผสมให้เข้ากันแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1400 -1600 องศาเซลเซียส ความร้อนจะทำปฏิกิริยาเคมีกับวัตถุดิบจนกลายเป็นปูนเม็ดซึ่งให้คุณสมบัติช่วยยึดประสาน จากนั้นนำไปบดกับยิปซั่มเพื่อเพิ่มความแข็งแรงจนกลายเป็นผง เมื่อนำมาผสมกับ น้ำ หินและทราย ปูนซีเมนต์จะทำหน้าที่ยึดประสานวัสดุต่างๆให้เป็นเนื้อเดียวกัน ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทมีส่วนประกอบที่ต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน เช่น ปูนซีเมนต์ผสมได้จากการบดปูนเม็ดกับยิปซั่มและทราย เหมาะกับการใช้การก่อ โบก ฉาบ หรืองานก่อสร้างที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมากเกินไป เป็นต้น วัสดุตกแต่งที่ทำจากปูนซีเมนต์ เช่น กระถางต้นไม้ แจกัน ดอกไม้ติดฝาผนัง รูปปั้นต่างๆ เป็นต้น จะพบปัญหา คือ มีน้ำหนักมาก ความยืดหยุ่นต่ำ รูปแบบการขึ้นรูป ไม่หลากหลาย การตัด ดัด เจาะและยึดทำได้ยาก

กระดาษเป็นแผ่นวัสดุซึ่งได้จากการนำวัสดุหลายๆ ชนิดมาผสมให้เข้ากันดีแล้วนำไปทำเป็นแผ่น วัสดุที่ใช้ผสมสามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) ส่วนที่เป็นเส้นใย (Fibrous material) ซึ่งถือว่าเป็นองค์ประกอบหลักของกระดาษ แบ่งเป็นเส้นใยสั้น (Short fiber) ได้จากไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) จะมีความยาวของเส้นใยประมาณ 1-2 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 10-20 ไมครอน และเส้นใยยาว (Long fiber) ได้จากไม้เนื้ออ่อน (Softwood) จะมีความยาวของเส้นใยมากกว่า 2 มิลลิเมตร กว้างประมาณ 20-40 ไมครอน และ (2) ส่วนที่ไม่ใช่เส้นใย ซึ่งเป็นสารเติมแต่งใช้เติมผสมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน ในกระดาษโดยทั่วไปจะมีส่วนเส้นใยผสมอยู่ในปริมาณร้อยละ 80-95 ของน้ำหนักกระดาษ ปริมาณอัตราส่วนของเส้นใยจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต Khadari, Suttisonk, Pratinthong & Hirunlabh (2001) ได้ทำการศึกษาการใช้เส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนเป็นส่วนผสมในทรายและซีเมนต์ เพื่อผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ผลการศึกษา พบว่า การใช้เส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างจะช่วยลดค่าการนำความร้อนและน้ำหนัก (ความหนาแน่น) Vachira (2012) ได้พัฒนาบล็อกประสานน้ำหนักเบาจากเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง พบว่า การเพิ่มส่วนผสมของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งช่วยลดน้ำหนัก ลดความหนาแน่น และลดค่าการนำความร้อนของวัสดุได้ดี Vachira (2012) ได้ใช้เยื่อกระดาษเหลือใช้ผสมวัสดุตกแต่งและเฟอร์นิเจอร์ พบว่า การใช้เศษกระดาษในวัสดุผสมส่งผลให้วัสดุมีศักยภาพที่ดีขึ้น กล่าวคือ การเพิ่มปริมาณกระดาษจะทำให้ค่าความหนาแน่นต่ำลง (มวลเบา) วัสดุสามารถตัด เจาะ ยึดและตกแต่งได้ง่ายขึ้น และการใช้ตาข่ายพลาสติกเสริมในวัสดุจะทำให้สามารถรับแรงดัดได้เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมของ ปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม ทราย น้ำ และเยื่อกระดาษสำหรับผลิตฟอร์นิเจอร์และวัสดุตกแต่งที่จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลเหมาะสมที่สุด คือ 1:0.25:0.25:4:0.1 ตามลำดับ ซึ่งคิดน้ำหนักเยื่อกระดาษเป็นร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์

เมื่อพิจารณางานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า เส้นใยธรรมชาติและเยื่อจากเศษกระดาษเหลือใช้ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์เพราะจะทำให้ความหนาแน่นต่ำลงสามารถตัด เจาะ ยึดและตกแต่งได้ง่ายขึ้น โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้เยื่อจากเศษกระดาษเหลือใช้เป็นส่วนผสม เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติจากพืชมีขั้นตอนในการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า ส่วนเยื่อจากเศษกระดาษมากกว่าร้อยละ 80 เป็นเยื่อ/เส้นใยที่สามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมได้เลย อีกทั้งเป็นการนำเศษกระดาษกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งหนึ่งถือได้ว่าเป็นหนึ่งวิธีที่จะช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ช่วยลดปริมาณของเสีย

จากเหตุผลต่างๆ ดังกล่าวมางานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการนำเยื่อจากเศษกระดาษเหลือใช้มาผสมกับปูนซีเมนต์ ยิบซั่ม ทราย และน้ำ ในอัตรา 0.1 : 1 : 0.25 : 0.25 : 4 ตามลำดับ เพื่อผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ โดยจะศึกษาเปรียบเทียบเยื่อจากเศษกระดาษแต่ละชนิด คือ เศษกระดาษพิมพ์เขียน เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เศษกล่องกระดาษ และเศษกระดาษรวม ว่าเยื่อจากเศษกระดาษชนิดใดเหมาะสมที่สุดในการนำไปเป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

2. วิธีการวิจัย (Experimental)

2.1 วัตถุดิบที่ใช้

2.1.1 ปูนซีเมนต์ประเภท 1 (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนธรรมดา เหมาะกับงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วๆ ไป ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2555

2.2.2 ปูนยิปซั่มสำหรับงานก่อสร้าง ตามมาตรฐาน มอก. 188-2547

2.2.3 ทรายแม่น้ำ ร่อนผ่านตะแกรง 2.38 มิลลิเมตร (8 Mesh)

2.2.4 น้ำประปา

2.2.5 เศษกระดาษประเภทต่างๆ คือ เศษกระดาษพิมพ์เขียน เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เศษกล่องกระดาษ และเศษกระดาษรวม ซึ่งเป็นการนำเศษกระดาษพิมพ์เขียน เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเศษกล่องกระดาษมาผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1

2.2 การผลิตวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

2.2.1 ขั้นตอนการเตรียมเยื่อกระดาษจากเศษกระดาษ

2.2.1.1 ในขั้นตอนนี้เศษกระดาษชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นแผ่นวัสดุขนาดใหญ่จะถูกตีให้กระจายตัวแยกออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยวหรือกลุ่มเส้นใยในน้ำเยื่อ เส้นใยจะกระจายตัวได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก คือ ความข้นของน้ำเยื่อ (Consistency) และระยะเวลาที่ใช้ในการกระจายเยื่อ โดยใช้เศษกระดาษพิมพ์เขียนอบแห้ง 1 กิโลกรัม ตัดหรือฉีกให้มีขนาดประมาณ 1x1 นิ้ว แช่น้ำอย่างน้อย 4 ชั่วโมงหรือสังเกตจนเศษกระดาษชุ่มน้ำ ใส่ลงในเครื่องกระจายเยื่อแล้วเติมน้ำลงไป โดยควบคุมความข้นของน้ำเยื่อที่ร้อยละ 25 และระยะเวลาในการกระจายเยื่อ 5 นาที แล้วกรองเอาน้ำออก เยื่อที่ได้

เรียกว่า Screened Pulp จัดเก็บเพื่อใช้งานต่อไป

2.2.1.2 ดำเนินการเหมือนข้อ 2.2.1.1 แต่ใช้เศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เศษกล่องกระดาษและเศษกระดาษรวม ตามลำดับ

2.2.2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

2.2.2.1 นำเยื่อจากเศษกระดาษมาหาปริมาณความชื้น เพื่อหาน้ำหนักแห้งของเยื่อกระดาษ

2.2.2.2 นำเยื่อจากเศษกระดาษมาผสมกับปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม และทราย ในอัตราส่วน 0.1 : 1 : 0.25 : 0.25 ตามลำดับ ซึ่งในอัตราส่วนดังกล่าวปริมาณเยื่อกระดาษคิดเป็นร้อยละ 10 ของปูนซีเมนต์ มาคลุกเคล้าให้เข้ากัน

2.2.2.3 เติมน้ำในอัตราส่วน 4 ส่วนเมื่อเทียบกับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ จากนั้นคลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนที่มีใบพัดโลหะประมาณ 3 นาที

2.2.2.4 นำส่วนผสมเทลงในแบบพิมพ์ ขนาด 150 x 150 x 15 เซนติเมตร จากนั้นกระจายวัสดุให้ทั่วทุกจุด ปาดผิวให้เรียบ ทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จึงถอดออกจากแบบพิมพ์ นำไปตากแห้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบ 28 วันจึงนำไปทดสอบ

2.3 วิธีการทดสอบ

2.3.1 ความหนาแน่น (Density)

นำชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ย วัดความกว้างและความยาวของชิ้นทดสอบขนานกับขอบ วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่งโดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์เป็นตัววัดแล้วหาค่าเฉลี่ย คำนวณหาค่าความหนาแน่นตามสูตร

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล(กรัม)}}{\text{ปริมาตร(ซม}^3\text{)}}$$

2.3.2 การดูดซึมน้ำ (Water absorption)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 นำชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ไปชั่งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่งก่อนแช่น้ำ จากนั้นวางชิ้นทดสอบในระนาบเดียวกับผิวน้ำโดยให้ขอบบนอยู่ใต้ผิวน้ำประมาณ 20 มิลลิเมตร ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นวางห่างกันและห่างผนังของภาชนะพอสมควร เมื่อแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ โดยไม่มีการซับน้ำทำเช่นนี้ทุกชิ้นทดสอบ แล้วจึงนำชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยก่อนคำนวณหาค่าการดูดซึมน้ำตามสูตร

$$\text{การดูดซึมน้ำ (\%)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ(กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ(กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ(กรัม)}} \right) \times 100$$

2.3.3 การพองตัวทางความหนา (Thickness swelling)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 วัดความหนาของชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ทั้ง 4 มุม หาค่าเฉลี่ยความหนาก่อนแช่น้ำ นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำในภาชนะที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำ และนำไปวัดความหนาตามตำแหน่งเดิม จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเป็นความหนาหลังแช่น้ำ แล้วหาค่าเฉลี่ยโดยคำนวณค่าการพองตัวทางความหนาตามสูตร

$$\text{การพองตัวทางความหนา (\%)} = \left(\frac{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ(มิลลิเมตร)} - \text{ความหนาหลังแช่น้ำ(มิลลิเมตร)}}{\text{ความหนาก่อนแช่น้ำ(มิลลิเมตร)}} \right) \times 100$$

2.3.4 สมบัติมอดูลัสการตกร้าว (Modulus of rupture, MOR)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 วางชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 110 เซนติเมตร กดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องกดที่สามารถเพิ่มแรงได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีจังหวะหยุดหรือกระตุกในระหว่างเพิ่ม หาค่าเฉลี่ยของแรงกดสูงสุดที่ชิ้นทดสอบรับได้ แล้วคำนวณค่ามอดูลัสยืดหยุ่นตามสูตร

$$MOR = \frac{3pL}{2bd^2}$$

เมื่อ MOR = มอดูลัสตกร้าว หน่วย เมกกะพาสคัล (MPa)

P = แรงสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ หน่วย นิวตัน (N)

L = ความยาวของช่วงระหว่างแท่นรองรับ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

d = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

2.3.5 สมบัติมอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity, MOE)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS A 5908-2003 วางชิ้นทดสอบของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ลงบนแท่นรองรับซึ่งมีระยะห่าง 110 เซนติเมตร กดชิ้นทดสอบด้วยเครื่องกดที่สามารถเพิ่มแรงได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีจังหวะหยุดหรือกระตุกในระหว่างเพิ่ม หาค่าเฉลี่ยของแรงกดที่กระทำเพิ่มขึ้นและระยะแอนตัวของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นในช่วงเส้นกราฟเป็นเส้นตรง แล้วคำนวณค่ามอดูลัสยืดหยุ่นตามสูตร

$$MOE = \frac{L^3 \Delta w}{4bt^3 \Delta s}$$

เมื่อ MOE = มอดูลัสยืดหยุ่น หน่วย เมกกะพาสคัล (MPa)

L = ระยะห่างของแท่นรองรับ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

Δw = แรงกดที่กระทำเพิ่มขึ้นในช่วงที่เส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วย นิวตัน (N)

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

t = ความหนาเฉลี่ยของชิ้นงานทดสอบ หน่วย มิลลิเมตร (mm)

Δs = ระยะแอ่นตัวของชิ้นทดสอบที่เพิ่มขึ้นในช่วงเส้นกราฟเป็นเส้นตรง หน่วย มิลลิเมตร (mm)

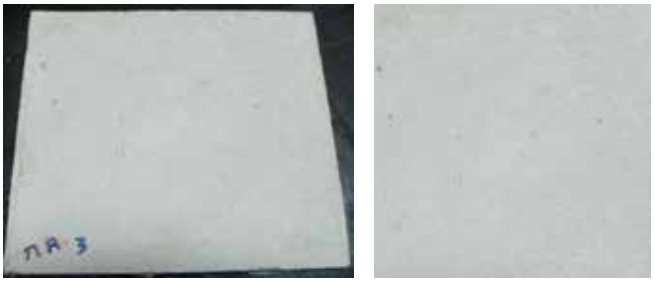
3. ผลและวิจารณ์ (Results and Discussion)

3.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ

ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์

ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน



ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ

ชิ้นทดสอบและพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม

รูปที่ 1 ชิ้นทดสอบและลักษณะพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

เมื่อพิจารณาลักษณะพื้นผิวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ พบว่า วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อกระดาษลงไปจะเรียบมากกว่าวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป โดยวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไปจะมีพื้นผิวหยาบและมีโพรงอากาศขนาดเล็กปนอยู่ เมื่อพิจารณาสีของพื้นผิวพบว่าวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไปจะมีสีเทาที่อ่อนกว่าสีเทาของวัสดุตกแต่งที่ไม่ได้ผสมเยื่อกระดาษ เพราะตัวเยื่อจากเศษกระดาษจะไปลดความเข้มของสีเทาของปูนซีเมนต์ลง นอกจากนี้ยังพบผงหมึกในวัสดุตกแต่งที่ผสมเยื่อกระดาษลงไปเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ เยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน และเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ ตามลำดับ

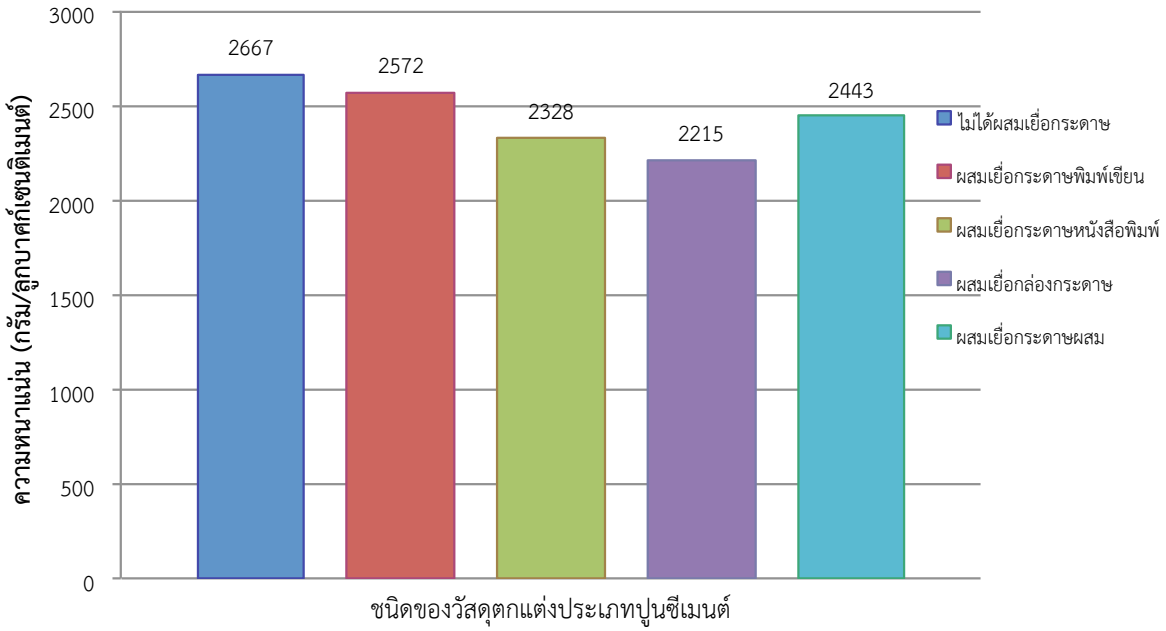
3.2 สมบัติเชิงของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์	ความหนาแน่น, g/cm^3	การดูดซึมน้ำ, %	การพองตัวทางความหนา, %	มอดูลัสการตกร้าว, MPa	มอดูลัสยืดหยุ่น, MPa
ไม่ได้ผสมเยื่อจากกระดาษ	2,667	17.6	0.15	1.771	1,014
ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน	2,572	41.8	1.12	1.628	1,610
ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์	2,328	42.6	1.34	1.561	1,859
ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ	2,215	44.1	1.56	1.384	2,424
ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม	2,443	43.5	1.35	1.474	1,709

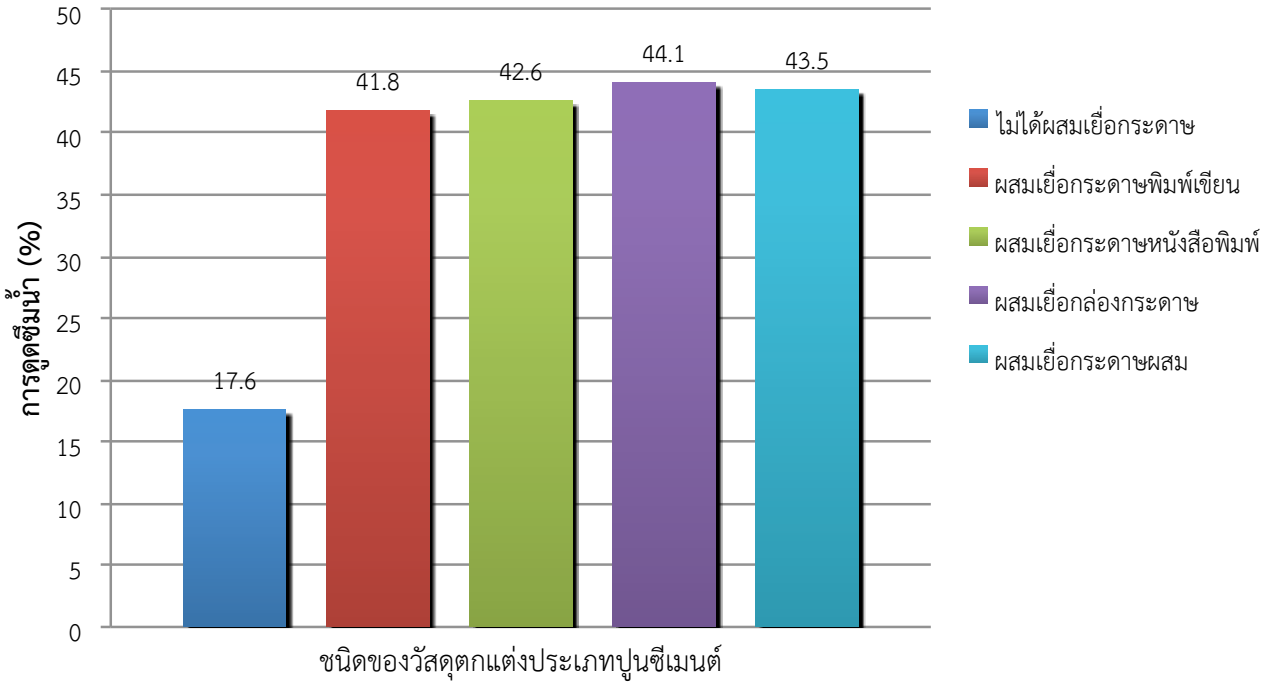
ผลจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้น ตามตารางที่ 1 พบว่า

1. ความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 2,667 2,572 2,328 2,215 และ 2,443 g/cm^3 ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะการเติมเยื่อจากเศษกระดาษซึ่งเป็นวัสดุมวลเบาทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ได้มีน้ำหนักเบาขึ้นและมีปริมาตรมากขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นต่ำลง เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษ พบว่า ความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตเป็นกระดาษพิมพ์เขียนมีอัตราส่วนของเยื่อใยสั้นต่อเยื่อใยยาวมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกล่องกระดาษ ตามลำดับ โดยเส้นใยสั้นทำให้ช่องว่างระหว่างส่วนผสมต่างๆ ในวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์มีค่าน้อยกว่าเส้นใยยาวทำให้ปริมาตรน้อยกว่าส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าสูงกว่า ส่วนความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกล่องกระดาษและเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน แสดงดังรูปที่ 2



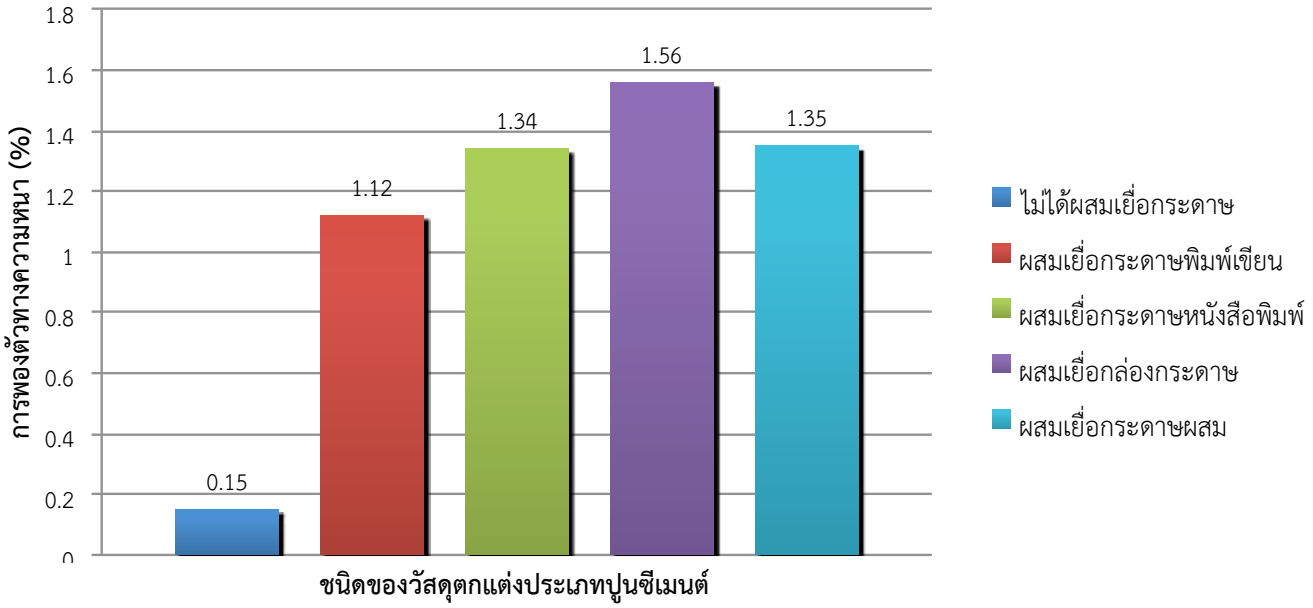
รูปที่ 2 แสดงความหนาแน่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

2. การดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 17.6 41.8 42.6 44.1 2 และ 43.5 % ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีความการดูดซึมน้ำสูงกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปมีการดูดซับน้ำส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกล่องกระดาษมีอัตราส่วนของเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ซึ่งเยื่อใยยาวมีความสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าเยื่อใยสั้นส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำมีค่าสูงกว่า ส่วนการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนและเยื่อจากเศษกล่องกระดาษแสดง แสดงดังรูปที่ 3



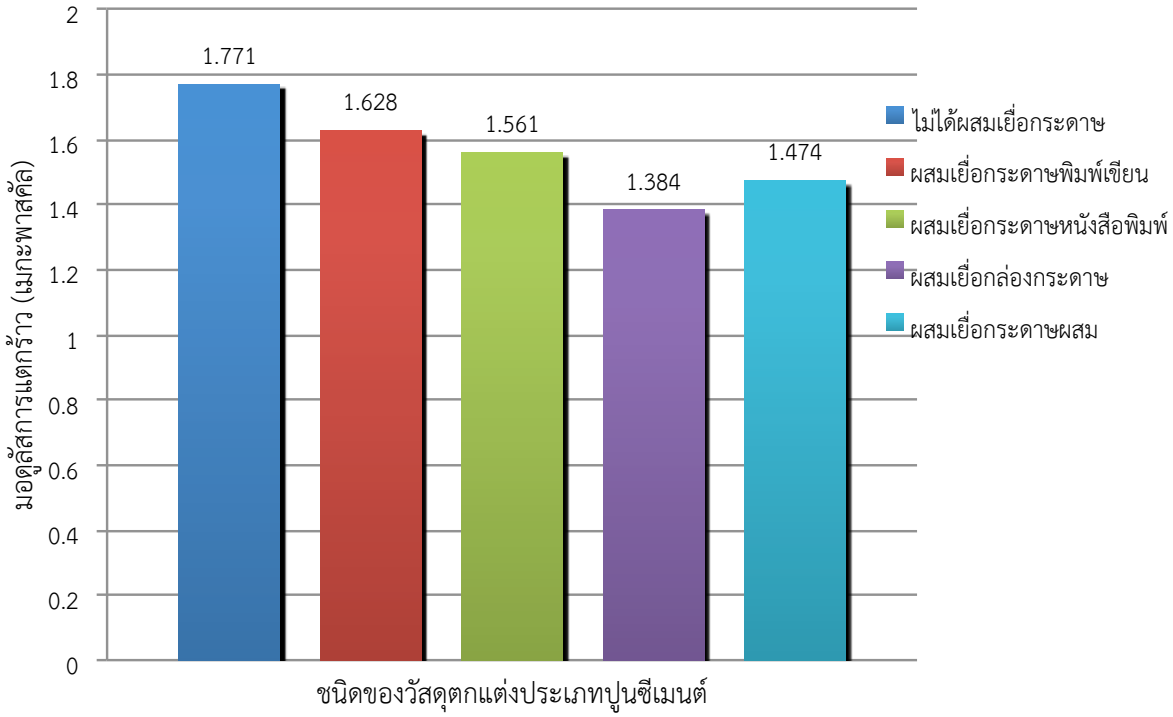
รูปที่ 3 แสดงการดูดซึมน้ำของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์

3. การพองตัวทางความหนาของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 0.15 1.12 1.34 1.56 และ 1.35 % ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีความการพองตัวทางความหนาสูงกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง และมีการขยายตัวสูง (พองตัว) จึงเกิดการผลักดันกันภายในวัสดุผสมเยื่อกระดาษ ส่งผลให้การพองตัวทางความหนาสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษพบว่า มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการพองตัวทางความหนาของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกล่องกระดาษมีอัตราส่วนของเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ซึ่งเยื่อใยยาวเมื่อมีการดูดซับน้ำจะมีการพองตัวได้มากกว่าเยื่อใยสั้น ส่งผลให้การพองตัวทางความหนามีค่าสูงกว่า ส่วนการพองตัวทางความหนาของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนและเยื่อจากเศษกล่องกระดาษแสดง ดังรูปที่ 4



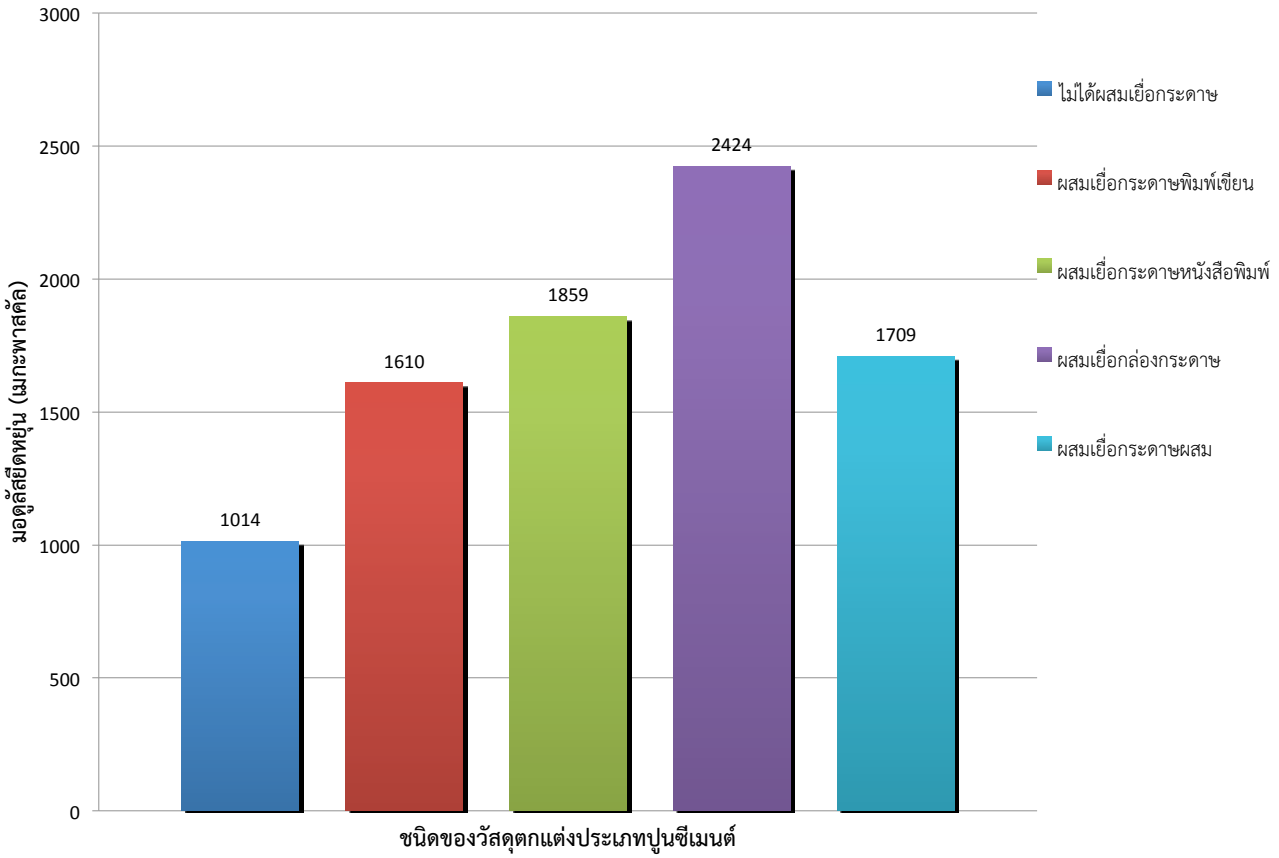
รูปที่ 4 แสดงการพองตัวทางความหนา

4. มอดูลัสการตกร้าวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 1.771 1.628 1.561 1.384 และ 1.474 MPa ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีค่ามอดูลัสการตกร้าวต่ำกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปทำให้ความสามารถในการรับแรงดัดสูงสุดที่กระกระทำต่อตัวอย่างปูนซีเมนต์ ณ จุดวิบัติลดลง ส่งผลให้ค่ามอดูลัสการตกร้าวลดลง เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษ พบว่า มอดูลัสการตกร้าวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกระดาษพิมพ์เขียนมีอัตราส่วนเยื่อใยสั้นต่อเยื่อใยยาวมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกล่องกระดาษ ตามลำดับ ซึ่งวัสดุที่ผสมเยื่อใยสั้นมากกว่าจะมีการประสานตัวกันระหว่างเส้นใยกับปูนซีเมนต์และส่วนผสมอื่นๆ ดีกว่าส่งผลให้ค่ามอดูลัสการตกร้าวมีค่าสูงกว่า ส่วนมอดูลัสการตกร้าวของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกล่องกระดาษและเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงค่ามอดูลัสการแตกร้าว

5. มอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษ ผสมเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ผสมเยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ และผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสม มีค่าเท่ากับ 1,014 1,610 1,859 2,424 และ 1,709 MPa ตามลำดับ ตามตารางที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบจะเห็นว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษจะมีค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงกว่าวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้ผสมเยื่อจากเศษกระดาษลงไป ทั้งนี้เพราะเส้นใยของเยื่อกระดาษที่เติมลงไปทำให้วัสดุผสมสามารถทนทานต่อแรงกระทำได้มาก เสียรูปร่างเดิมได้ยาก ส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่มีการเติมเยื่อจากเศษกระดาษ พบว่า มอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์ และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะกระดาษที่นำมาผลิตกล่องกระดาษมีอัตราส่วนเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่า กระดาษหนังสือพิมพ์ และกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ซึ่งวัสดุที่ผสมเยื่อใยยาวมากกว่าจะสามารถทนทานต่อแรงกระทำได้มาก เสียรูปร่างเดิมได้ยากกว่า ส่งผลให้มอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าสูงกว่า ส่วนมอดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกระดาษผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่นำมาผสม โดยจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าของวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียนและเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ แสดง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงค่ามอดูลัสยืดหยุ่น

4. การนำวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ผสมไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์

การขึ้นรูปทรงเพื่อเป็นทำเป็นวัสดุตกแต่งจะใช้วิธีการหล่อแบบขึ้นรูปทรงโดยใช้วัสดุที่ผสมด้วยเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ เพราะเป็นเยื่อที่ทำให้วัสดุมีความหนาแน่นต่ำสุด (มวลเบา) และมีมอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด วัสดุตกตกที่ผลิตได้ดังดังรูปที่ 7

ผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นป้าย

ผลิตภัณฑ์ประเภทดอกไม้ติดฝาผนัง

ผลิตภัณฑ์ประเภทดอกไม้ตั้งโต๊ะ

รูปที่ 7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ผสมเยื่อจากเศษกล่องกระดาษ

วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ ตามอัตราส่วนที่ผลิตขึ้น สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์วัสดุตกแต่งได้หลากหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับแบบหล่อที่จะขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ดอกไม้ แผ่นป้าย ฯลฯ โดยวัสดุตกแต่งที่ได้จะมีน้ำหนักเบา การดัด ตัด เจาะ และยึด เพื่อประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ทั้งนี้ในขั้นตอนการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์จะมีการเติมสารเติมแต่งลงไป เช่น สารต้านทานการซึมน้ำเพื่อป้องกันการซึมของน้ำเป็นการยืดอายุการใช้งานวัสดุ สารเคลือบผิวเพื่อทำให้ผิวของวัสดุมีความคงทนและเงางาม กาวเพื่อให้วัสดุยึดติดกันมากขึ้น ทาสีเพื่อเพิ่มความสวยงาม หรืออาจจะเพิ่มความแข็งแรงด้วยการเสริมตาข่ายเหล็กหรือพลาสติกลงไปในขณะที่ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

5. สรุป (Conclusion)

5.1 วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ที่ไม่ได้เติมเยื่อจากเศษกระดาษกับเติมเยื่อจากเศษกระดาษร้อยละ 10 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ พบว่า เมื่อเติมเยื่อจากเศษกระดาษลงไปทำให้วัสดุมีค่าความหนาแน่นและมอดูลัสการตกร้าวลดลง ส่วนการดูดซึมน้ำ การพองตัวทางความหนา และมอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเศษกระดาษเหลือใช้สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในปูนซีเมนต์ ยิปซั่ม ทราย และน้ำได้ โดยส่งผลให้วัสดุมีน้ำหนักเบา (มวลเบา) ช่วยลดรอยตกร้าวและเพิ่มความยืดหยุ่นของวัสดุตกแต่งได้

5.2 วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ ที่นำเยื่อจากเศษกระดาษชนิดต่าง ๆ มาผสม พบว่า เยื่อจากเศษกล่องกระดาษจะทำให้วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ มีความหนาแน่นและมอดูลัสการตกร้าวต่ำสุด การดูดซึมน้ำ การพองตัวทางความหนา และมอดูลัสยืดหยุ่นสูงสุด รองลงมาคือ เยื่อจากเศษกระดาษหนังสือพิมพ์และเยื่อจากเศษกระดาษพิมพ์เขียน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะเยื่อจากเศษกล่องกระดาษมีอัตราส่วนระหว่างเยื่อใยยาวต่อเยื่อใยสั้นมากกว่าเยื่อจากเศษกระดาษชนิดอื่นๆ

5.3 วัสดุตกแต่งประเภทปูนซีเมนต์ผสมเยื่อกระดาษไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ สามารถขึ้นรูปได้หลากหลายรูปแบบ การตัด ดัด เจาะ และยึดทำได้สะดวก ง่าย และรวดเร็ว เนื่องจากมีน้ำหนักเบา

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบคุณกลุ่มวัสดุก่อสร้าง โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการที่ให้ความอนุเคราะห์ทดสอบค่ามอดูลัสการตกร้าวและมอดูลัสยืดหยุ่น

7. เอกสารอ้างอิง (References)

[1] กิตติศักดิ์ บัวศรี. *การพัฒนาแผ่นกระเบื้องหลังคาซีเมนต์ผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยชานอ้อย : เอกสารเผยแพร่ผลงานวิชาการ 2557.* วิทยาลัยสารพัดช่างกาญจนบุรี อำเภอเมืองจังหวัดกาญจนบุรี

[2] กรมโยธาธิการและผังเมือง. มยผ. 1211-50. มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง. 2550. *มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต.*

[3] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มอก. 15 เล่ม 1-2555 *มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์*. กรุงเทพฯ : สมอ., 2555.

[4] วชิระ แสงรัศมี. การพัฒนาบล็อกประสานน้ำหนักเบาจากเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง. *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ Built Environment Research Associates Conference, BERAC 3, 2012*

[5] วชิระ แสงรัศมี. วัสดุตกแต่งและเฟอร์นิเจอร์เยื่อกระดาษเหลือใช้ทางใหม่. *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/ผังเมือง*. 2555, 95-104.

[6] JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD. JIS A 5098: 2003. *Particleboard*, Translated and Published by Japanese Standard Association.

[7] KHEDARI, J., et al., New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites,* 27(1), 111-116.