

กระเบื้องตกแต่งที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้ว
สุริยาวัตร ตรีชัย¹ ศิริสิทธิ์ ศรีนนท์² และ ธณิกานต์ ธงชัย^{3*}

Decorative Tiles from White Cement, Waste Macadamia Shells and Waste Soda
Lime Glass

Suriyawut Trechai¹ Sirasit Srinon² and Tanikan Thongchai^{3*}

¹⁻³คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Faculty of Engineering Naresuan University

* Corresponding author. E-mail address: ttanikan@gmail.com

received: September 4, 2020

revised: January 5, 2020

accepted: January 25, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่มุ่งศึกษาการผลิตกระเบื้องตกแต่งจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้วโซดา โลมประเภทขวดเบียร์ วัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณขยะจากการเกษตรที่เกิดขึ้นจากการทิ้งเศษกะลาแมคคาเดเมีย จากวิสาหกิจ ชุมชนกลุ่มผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมีย เขาค้อ ต.เข็กน้อย อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ นอกจากนี้ยังเป็นการนำแก้วโซดาโลมที่ ตกค้างตามแหล่งชุมชนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยใช้เศษแก้วและปูนซีเมนต์ขาวที่อัตราส่วนเศษแก้ว 20 ต่อปูนซีเมนต์ขาว 80 ใช้เศษกะลาแมคคาเดเมียที่ร้อยละ 10, 20, 30 โดยน้ำหนัก ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ทำการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงอัด จากการวิจัย พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัด และค่าเฉลี่ยร้อยละการ ดูดซึมน้ำลดลง โดยพบว่า ที่เศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 และปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก บ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัด สูงสุดที่ 2.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ 17.47 เมกะปาสคาล ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละ การดูดซึมน้ำ 6.54 นอกจากนี้ พบว่าปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติทางกายภาพ และทางกลที่ดีกว่าปริมาณน้ำ ร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก เมื่อพิจารณาระยะเวลาการบ่มพบว่า ที่เวลา 14 วัน ให้ค่าสมบัติทาง กายภาพและทางกลที่ดีกว่าระยะเวลาการบ่ม 7 วัน งานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นแนวทางในการลดของเสียจากการเกษตรและเป็น การนำเศษแก้วที่ตกค้างตามแหล่งชุมชนมาใช้แล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์และเป็นอีกแนวทางในการส่งเสริมการ ผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในครัวเรือนด้วยตนเอง สามารถนำไปต่อยอดพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอนาคตได้ อีกทั้งกระเบื้องตกแต่งจาก ปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้วนี้ จะช่วยลดขั้นตอนการใช้พลังงานการเผาผลาญได้ด้วย

คำสำคัญ: กระเบื้อง เซรามิก ปูนซีเมนต์ขาว กะลาแมคคาเดเมีย เศษแก้ว

ABSTRACT

Macadamia shells were left as waste in community enterprise group in Khaoko, Petchaboon Province. Glass can be renewed by recovering and recycling without losing quality. However, the majority of waste glass is not being recycled but rather abandoned in community especially glass beer bottles. This research focused on the fabrication and characterization of decorative white cement tiles by using waste macadamia shells and waste soda lime glass. The ratio of white cement and waste glass powder was studied at 20 : 80. Waste macadamia shells were studied at 10, 20 and 30 % by weight using water content at 30 and 35 % by weight, respectively and then samples were cured for 7 and 14 days in order to study the physical and mechanical properties including density, water absorption and compressive strength. According to the results, it can be obviously seen that density, compressive strength and water absorption decreased with increasing waste macadamia shells. The highest density and compressive strength were 2.16 g/cm³ and 17.47 MPa, respectively with water absorption 6.54 % at macadamia 10 % by weight with water content 30 % by weight at 14 days

curing. Compare physical and mechanical properties of decorative tile at water content 30 and 35 % by weight. It was found that water with 30 % by weight provided higher density and compressive strength. Moreover, curing time 14 days provided higher density and compressive strength compare with 7 days. This research is not only reducing energy consumption in firing process of normal ceramic tiles but also can be used for further development and enhancing product value.

คำสำคัญ: Decorative Tile, Ceramic, White Cement, Macadamia Shell, Waste Glass

ความเป็นมาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมเซรามิกนับเป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรม ที่เสริมสร้างเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากผลิตภัณฑ์เซรามิกเป็นที่ต้องการเพื่อนำมาใช้ในครัวเรือน รวมถึงงานก่อสร้าง ตกแต่งอาคารบ้านเรือน โดยผลิตภัณฑ์เซรามิกมีหลากหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้บนโต๊ะอาหาร สุขภัณฑ์ รวมถึงกระเบื้อง โดยกระเบื้องเซรามิก ถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแนวโน้มการผลิตสูง เพื่อจำหน่ายทั้งภายในและต่างประเทศ จึงถือเป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่ส่งเสริมเศรษฐกิจของประเทศ อย่างไรก็ตามกระเบื้องเซรามิกโดยทั่วไปยังคงมีต้นทุนการผลิตสูง อันเนื่องมาจากวัตถุดิบในการผลิตกระเบื้องนั้นประกอบไปด้วยวัตถุดิบหลายชนิดและกระบวนการผลิตต้องใช้พลังงานความร้อนในการเผา

แมคคาเดเมียเป็นพืชเศรษฐกิจใหม่ที่ได้รับ ความสนใจจากเกษตรกรไทย โดยปัจจุบันเกษตรกรไทยเริ่มหันมาสนใจปลูกแมคคาเดเมียกันอย่างกว้างขวาง โดยจะเห็นได้ว่าตลาดแมคคาเดเมียเติบโตเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะกลุ่มผู้รักสุขภาพ ซึ่งแมคคาเดเมียถือเป็นถั่วที่มีราคาแพงที่สุดในโลก มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ลักษณะของผลเป็นรูปทรงกลมค่อนข้างรี ปลายผลแหลมหรือมน เปลือกผลหนาและแข็ง ในส่วนของผลประกอบด้วย เปลือกนอกที่มีสีเขียว ถัดมา คือ เปลือก ที่เรียกว่า กะลา เป็นส่วนที่แข็งที่สุดห่อหุ้มในส่วนของเมล็ดด้านใน มีสีน้ำตาลเข้มคล้ายเนื้อไม้ และส่วนเนื้อในสุดเป็นเมล็ดที่ถูกนำมาบริโภค แมคคาเดเมียจะอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารมากมาย ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจ บำรุงหัวใจและสมอง บำรุงผิวพรรณ และมีสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง พื้นที่ประเทศไทยที่มีภูมิประเทศที่เหมาะสมแก่การปลูกแมคคาเดเมีย คือ ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น เชียงใหม่ เชียงราย เพชรบูรณ์ เลย ชัยภูมิ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีภูมิประเทศที่สามารถปลูกพืชได้หลากหลายชนิด เหตุนี้ทำให้ประสบปัญหาขยะจากการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว พืชการเกษตรหลายชนิดถูกเผาทำลายหรือทิ้งให้เปล่าประโยชน์ เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำการเพาะปลูกรอบใหม่ ทำให้เกิดปัญหาขยะ ฝุ่นควัน มลพิษในอากาศ และสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อน แม้แมคคาเดเมียจะเป็นพืชเศรษฐกิจใหม่ที่ทำรายได้สูงแต่แมคคาเดเมียเป็นพืชเกษตรชนิดหนึ่งที่ไม่ได้ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดหลังการเก็บเกี่ยว ธุรกิจการกะเทาะแมคคาเดเมียที่เติบโตทำให้มีเปลือกแมคคาเดเมียเหลือทิ้งจำนวนมาก สิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากแปรรูป คือ ส่วนของกะลาแมคคาเดเมียที่เหลือจะถูกขายไปเป็นเชื้อเพลิง แต่ด้วยคุณสมบัติของกะลาแมคคาเดเมียที่มีโครงสร้างแข็ง ทนต่อแรงกระแทก มีผิวเรียบมัน และน้ำหนักเบา กะลาแมคคาเดเมียที่อบแห้งแล้วจะมีสีน้ำตาลเข้มสวยงามเหมือนเนื้อไม้ จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าการแปรรูปเป็นเชื้อเพลิง และจากนโยบายกระทรวงอุตสาหกรรมที่ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงระบบนิเวศ โดยส่งเสริมและสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาที่สอดคล้องกันทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม อันจะทำให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน อุตสาหกรรมและชุมชนสามารถอยู่ร่วมกันได้อย่างเป็นสุข ภาครัฐจึงมีการส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมมีการหมุนเวียนและใช้ทรัพยากรอย่างเกิดประสิทธิภาพสูงสุด จึงเกิดแนวคิดการนำกะลาแมคคาเดเมียมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกที่นับเป็นอีกหนึ่งอุตสาหกรรมที่เสริมสร้างเศรษฐกิจของประเทศ

แก้ว เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้เป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เนื่องจากแก้วมีความเรียบ ไม่มีรูพรุน และไม่ทำปฏิกิริยากับสารเคมี โดยจุดเด่นสำคัญของแก้ว คือ สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้หลายครั้งโดยที่สมบัติไม่เปลี่ยนไปจากเดิม แต่แก้วเป็นขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามกาลเวลา ดังนั้นขยะแก้วจึงมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ รวมถึงยังมีเศษแก้วที่ไม่ได้เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ตกค้างอยู่ตามแหล่งชุมชนเป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยมีการตื่นตัวในการร่วมกันอนุรักษ์พลังงาน และลดการใช้ขยะสิ้นเปลือง อีกทั้งมีความกระตือรือร้นในการหมุนเวียนนำขยะกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลว่าด้วยยุทธศาสตร์ที่ 4 การบริหารจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อมอย่างสมดุลและยั่งยืน จึงควรมีการวิจัยที่มุ่งเน้นการนำเศษแก้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เพื่อลดปัญหาขยะตกค้างในแหล่งชุมชน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาการผลิตกระเบื้องตกแต่งจากปูนซีเมนต์ขาว โดยมีการเติมเศษแก้วและเศษกะลาแมคคาเดเมียเหลือทิ้ง จากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมีย เขาค้อ ต.เข็กน้อย อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ การวิจัยกระเบื้องที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้จะเป็นแนวทางในการผลิตกระเบื้องที่มีต้นทุนต่ำและเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับงานตกแต่งภายในหรืองานทางด้านสถาปัตยกรรม นอกจากนี้สามารถลดปริมาณขยะจากการเกษตรที่เกิดขึ้นจากการทิ้งเศษกะลาแมคคาเดเมีย อีกทั้งเป็นการนำเอาเศษแก้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อลดปัญหาขยะจากการเกษตรและขยะตกค้างในแหล่งชุมชน นอกจากนี้เศษกะลา แมคคาเดเมียและเศษแก้ว อาจเพิ่มความสวยงามเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้ในอนาคต นอกจากนี้กระเบื้องตกแต่งที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้วนี้ จะลดขั้นตอนการใช้พลังงานจากการเผาผลาญได้ด้วย โดยจะเห็นได้ว่าองค์รวมทั้งหมดของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี พ.ศ. 2561-2580 ด้านการสร้างการเติบโตบนคุณภาพชีวิตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในข้อที่ 1 ที่มุ่งเน้นสร้างการเติบโตอย่างยั่งยืนบนสังคมเศรษฐกิจสีเขียว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนากระเบื้องตกแต่งจากปูนซีเมนต์ขาวโดยใช้วัสดุทดแทนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและขยะตกค้างในชุมชน อันได้แก่ เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้ว
2. เพื่อศึกษาปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก (ใช้อัตราส่วนเศษแก้วต่อปูนซีเมนต์ขาว 20 : 80) ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงอัด
3. เพื่อศึกษาปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงอัด
4. เพื่อศึกษาระยะเวลาการบ่มชิ้นงานที่ระยะเวลา 7 วัน และ 14 วัน ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงอัด

ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ขาวตราเสือและเศษแก้วโซดาโลม์ ประเภทขวดเบียร์ ที่ตกค้างตามแหล่งชุมชน รอบมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่อัตราส่วนเศษแก้ว 20 ต่อปูนซีเมนต์ขาว 80 และเติมเศษกะลาแมคคาเดเมียจากวิสาหกิจชุมชนกลุ่มผู้ผลิตและแปรรูปแมคคาเดเมีย เขาค้อ ต.เข็กน้อย อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ โดยจะนำเศษกะลาแมคคาเดเมียมาบดให้ได้ขนาด 3 - 5 มิลลิเมตร ทำการศึกษาที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก และทำการศึกษาปริมาณน้ำที่ร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการขึ้นรูปกระเบื้องตกแต่งจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้ว โดยวิธีการหล่อแบบ บ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน และ 14 วัน แล้วทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ ความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงอัด

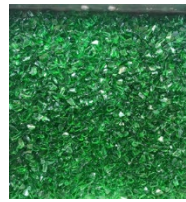
วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการขึ้นรูปกระเบื้องตกแต่งจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้ว

1. นำเศษกะลาแมคคาเดเมียมาบดให้ได้ขนาด 3 - 5 มิลลิเมตร และนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 5 - 10 เมช
2. ทูบขวดแก้วโซดาโลม์ให้ได้ขนาดประมาณ 3 - 5 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 5 - 10 เมช



(ก)



(ข)

ภาพ 1 (ก) เศษกะลาแมคคาเดเมียบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 5 - 10 เมช

(ข) เศษแก้วโซดาไมล์บดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 5 - 10 เมช

3. นำเศษแก้วโซดาไมล์ที่ได้มาผสมกับปูนซีเมนต์ขาวตราเสือที่อัตราส่วนเศษแก้วต่อปูนซีเมนต์ขาวเท่ากับ 20 : 80 แล้วนำมาผสมกับเศษกะลาแมคคาเดเมียในปริมาณร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ส่วนผสมในการขึ้นรูปกระเบื้องตกแต่ง

ปริมาณเศษแก้วและปูนซีเมนต์ขาว (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
90	10
80	20
70	30

4. ใส่น้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก เข้าไปผสมแล้วคนให้ส่วนผสมเข้ากันดี

5. จากนั้นนำไปหล่อลงแม่พิมพ์ ขนาด 10 x 10 x 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานกระเบื้องตกแต่ง สูตรละ 10 ชิ้น และนำไปหล่อลงแม่พิมพ์ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อขึ้นรูปใช้เป็นชิ้นงานทดสอบจำนวนสูตรละ 30 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการแกะออกจากแม่พิมพ์ ทำการบ่ม แล้วนำมาทดสอบความหนาแน่น ร้อยละการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรงอัด



ภาพ 2 หล่อชิ้นงานลงแม่พิมพ์ ขนาด 10 x 10 x 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพ 3 หล่อขึ้นงานลงแม่พิมพ์ ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล

ความหนาแน่น

1. เตรียมชิ้นงานที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีขนาดเท่ากับ 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. ชั่งด้วยเครื่องชั่ง จะได้มวลของวัตถุ
3. จากนั้นทำการหาปริมาตรของวัตถุโดย คำนวณจากสูตร ปริมาตรของวัตถุ ซึ่งมีค่าเท่ากับ กว้าง x ยาว x สูง
4. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าตามสมการ

$$\text{ความหนาแน่นของวัตถุ } \rho = m/v$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร, g/cm^3)

m คือ น้ำหนัก (กรัม, g)

v คือ ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร, cm^3)

ร้อยละการดูดซึมน้ำ

1. เตรียมชิ้นงานที่ทำการผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้วโซดาไลม์ ที่มีขนาดเท่ากับ 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
2. นำชิ้นงานที่ได้มาทำการอบที่อุณหภูมิ 105 ± 15 องศาเซลเซียส
3. จากนั้นนำชิ้นงานมาแยกพักที่ละแผ่น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักกระเบื้องที่ชั่งได้นี้ให้ถือเป็นน้ำหนักของชิ้นงานแห้ง
4. จากนั้นแช่ชิ้นงานให้จมอยู่ในน้ำโดยให้น้ำท่วมชิ้นงานตลอดเวลา
5. ปลอยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
6. นำชิ้นซึบน้ำที่เกาะติดอยู่ด้วยผ้าที่หมาดและสะอาดแล้วชั่งน้ำหนัก โดยน้ำหนักชิ้นงานที่ชั่ง ให้ถือเป็นน้ำหนักหลังจาก แช่น้ำ แล้วนำมาทำการคำนวณหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ตามสมการ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100$$

โดย w_2 คือ น้ำหนักของชิ้นงานเปียกหลังแช่น้ำ (กรัม, g)

w_1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานแห้งก่อนแช่น้ำ (กรัม, g)

ความแข็งแรงอัด

1. ทำการทดสอบโดยการนำชิ้นงานที่มีขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine) รุ่น KD 200 บริษัท Tecnotest Modena – Italy



ภาพ 4 เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine)

- นำมาทดสอบค่าความแข็งแรงอัด โดยใช้แรง 5 กิโลนิวตัน ใช้อัตราเร็วในการกดที่ 1 มิลลิเมตรต่อนาที
- ทำการคำนวณตามสมการ

$$\text{ความแข็งแรงอัด } \sigma = F/A$$

โดย σ คือ ค่าความแข็งแรงอัด (เมกะปาสคาล, MPa)

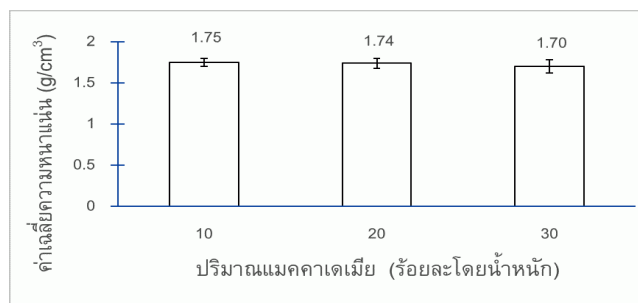
F คือ แรงกดที่ทำให้ชิ้นงานแตกหัก (นิวตัน, N)

A คือ พื้นที่ตัดขวางที่ได้รับแรงกดของชิ้นทดสอบ (ตารางเซนติเมตร, cm^2)

ผลการวิจัย

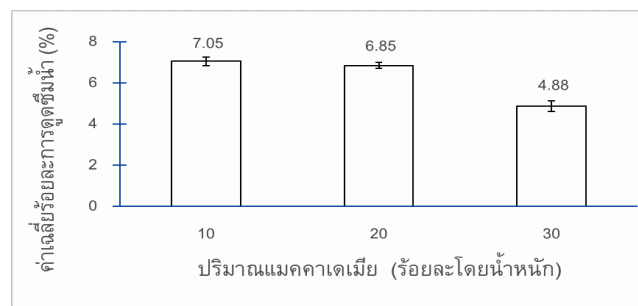
1. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องตกแต่ง

ศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัด โดยใช้ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน



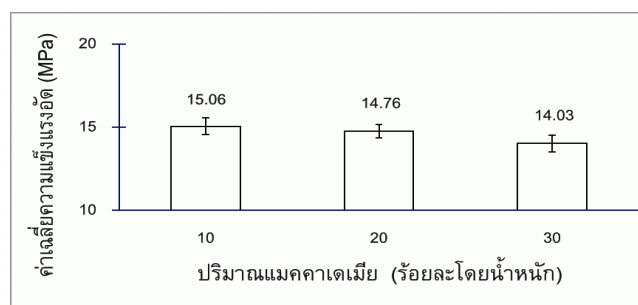
ภาพ 5 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณ น้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

จากภาพ 5 พิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่ง โดยใช้ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียที่ ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่าเมื่อปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่งลดลง ดังแสดงในภาพที่ 5 เนื่องจากกะลาแมคคาเดเมียนั้นมีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 0.5 - 0.6 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จึงเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มเฟสที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าลงไปแทนเฟสของปูนซีเมนต์ขาวและเศษแก้ว ดังนั้นปริมาณของเศษกะลาแมคคาเดเมียที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่ง มีค่าลดลง เมื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำพบว่า การเพิ่มปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง โดยค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำต่ำที่สุด คือ 4.88 พบที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 6 เนื่องจากปูนซีเมนต์ขาวเมื่อผสมเข้ากับน้ำ จะทำให้เกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชัน ปูนซีเมนต์ขาวจะสานตัวกันเป็นรูปเข็ม ส่งผลให้เกิดช่องว่างหรือรูพรุนในชิ้นงาน ดังนั้นเมื่อปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้นและปริมาณปูนซีเมนต์ขาวลดลง จึงทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลง ส่งผลให้ช่องว่างหรือรูพรุนในเฟสของปูนซีเมนต์ขาวลดลง (Zubaidi & Tabbakh, 2016) เมื่อนำชิ้นงานไปทดสอบหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ ทำให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าไปในโครงสร้างได้น้อยลง จึงทำให้ชิ้นงานมีความสามารถในการดูดซึมน้ำลดลง ดังแสดงผลในภาพ 6



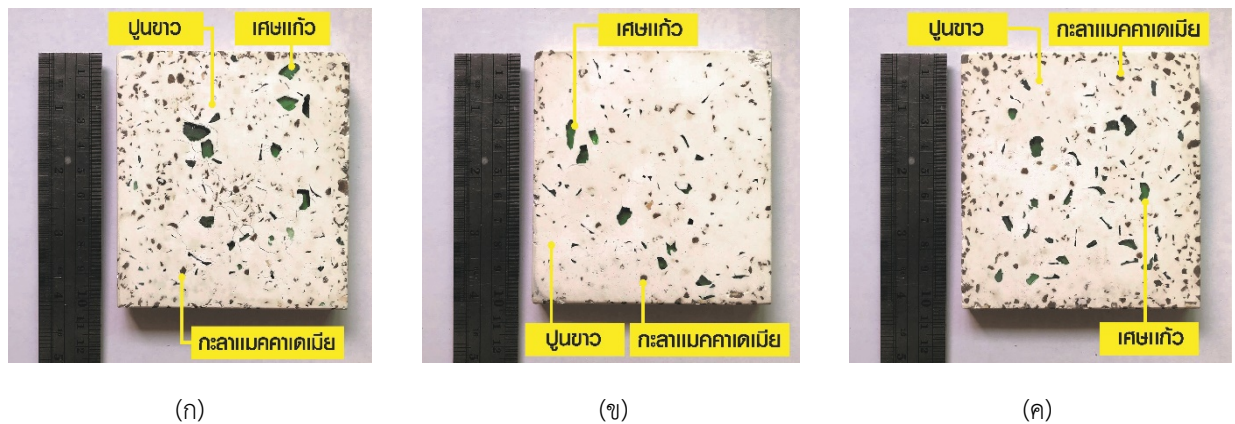
ภาพ 6 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

เมื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัด พบว่าเมื่อปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดลดลง ดังแสดงในภาพที่ 7 โดยค่าความแข็งแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 15.06 เมกกะปาสคาล พบที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก สอดคล้องกับผลการวิจัยค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ที่พบว่าเมื่อปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่งลดลง เนื่องจากแมคคาเดเมียนั้นมีความหนาแน่นที่น้อยกว่าค่าความหนาแน่นของปูนซีเมนต์ขาวและเศษแก้ว จึงเป็นการเพิ่มเฟสที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าลงไปแทนเฟสของปูนซีเมนต์ขาวและเศษแก้ว ดังนั้นปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ขาวและเศษแก้วลดลง ทำให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานลดลงส่งผลให้ค่าความแข็งแรงอัดลดลงเช่นกัน



ภาพ 7 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

ภาพ 8 แสดงลักษณะของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน พบว่ากระเบื้องตกแต่งที่ได้ มีลักษณะสีน้ำตาลที่สวยงาม แต่การเพิ่มปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย ที่ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทำให้เศษกะลาแมคคาเดเมียบางส่วนลอยอยู่บนชิ้นงาน และพบว่าทำให้การทดสอบผลในแบบหล่ออื่นทำได้ไม่ดี ปูนซีเมนต์ขาวบางส่วนเกิดการแข็งตัวก่อน ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะผิวไม่เรียบ

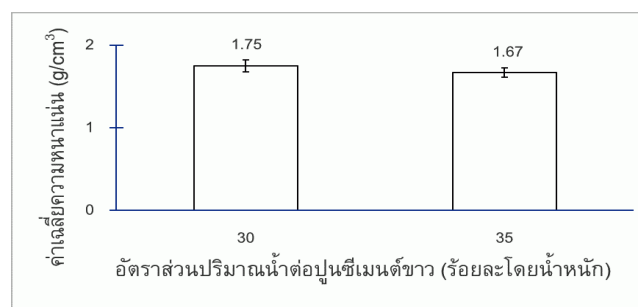


ภาพ 8 แสดงลักษณะกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ (ก) 10 (ข) 20 และ (ค) 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

2. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องตกแต่ง

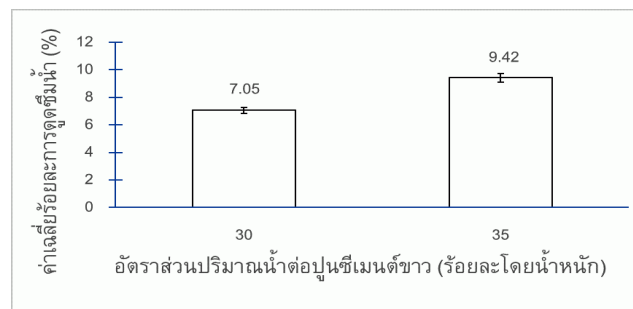
ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัด โดยใช้ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาในการบ่ม 7 วัน ศึกษาที่ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่ง โดยใช้ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่าชิ้นงานที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นมากกว่าชิ้นงานที่ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 9 เนื่องจากเมื่อปูนซีเมนต์ขาวผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจากร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก อาจทำให้มีน้ำส่วนเกินหลังจาก การทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่อนำชิ้นงานไปอบ จึงทำให้น้ำส่วนเกินนั้นระเหยออก ทำให้ชิ้นงานมีรูพรุนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานที่ปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นลดลง นอกจากนี้พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก และใช้ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 7 วัน และ 14 วัน ต่างส่งผลไปในทิศทางเดียวกันกับชิ้นงานที่มีปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มชิ้นงานที่ 7 วัน



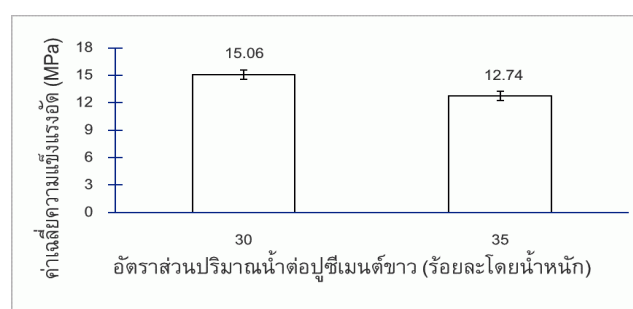
ภาพ 9 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องตกแต่ง โดยใช้ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าชิ้นงานที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 10 สอดคล้องกับการวิจัยที่พบว่า อิทธิพลของปริมาณน้ำ มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น เนื่องจากเมื่อปูนซีเมนต์ขาวผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำจะทำให้มีน้ำส่วนเกินหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน เมื่อนำชิ้นงานไปอบจะทำให้มีส่วนเกินนั้นระเหยออก ทำให้ชิ้นงานมีรูพรุนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ชิ้นงานที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก สามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าชิ้นงานที่มีปริมาณน้ำ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก



ภาพ 10 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำ ร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดของกระเบื้องตกแต่ง โดยใช้ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดมากกว่าชิ้นงานที่มีปริมาณน้ำร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในภาพที่ 11 สอดคล้องกับผลการวิจัยค่าเฉลี่ยความหนาแน่น นอกจากนี้พบว่าชิ้นงานที่มีปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก และใช้ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 7 วัน และ 14 วัน ต่างส่งผลไปในทิศทางเดียวกันกับชิ้นงานที่มีปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 7 วัน

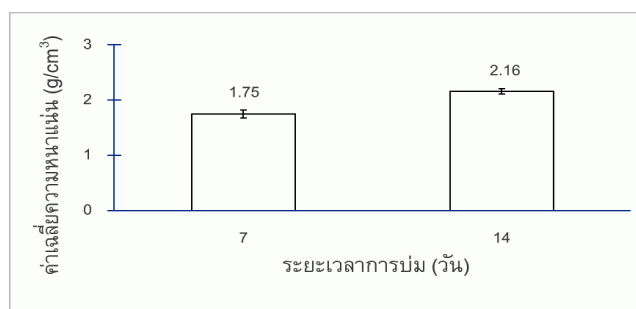


ภาพ 11 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำ ร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน

3. ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่ม ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องตกแต่ง

ศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำ และค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัด โดยใช้ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

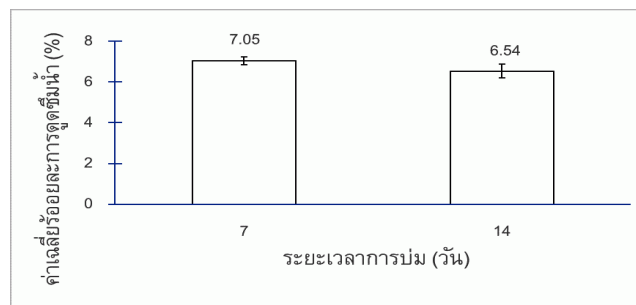
ผลการวิจัยระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาแน่นพบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 14 วัน ให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงกว่าชิ้นงานที่มีระยะเวลาการบ่ม 7 วัน ดังแสดงในภาพที่ 12 เนื่องจากการบ่มชิ้นงานจะทำให้ปูนซีเมนต์ขาวเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันหรือเกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้เกิดความร้อน เกิดการก่อตัวและแข็งตัวของซีเมนต์เพสต์ เกิดโครงสร้างสานตัวกันเป็นรูปเข็ม เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน ทำให้ปูนซีเมนต์ขาวสานตัวกันเป็นรูปเข็มที่ต่อเนื่องและสมบูรณ์มากขึ้น จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น



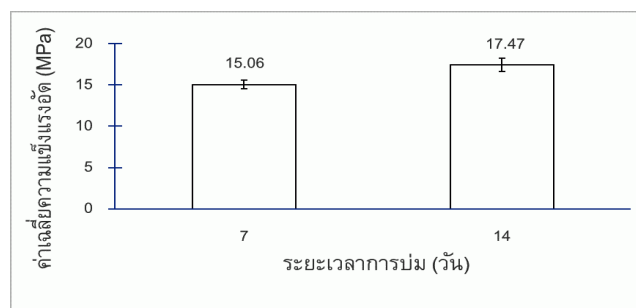
ภาพ 12 ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน

ผลการวิจัยระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำพบว่า ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงานมีผลต่อค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องตกแต่ง ดังแสดงในภาพที่ 13 จากการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน โดยทำการบ่มเป็นเวลา 7 วัน และ 14 วัน พบว่าชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน จะให้ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงสอดคล้องกับผลการทดลองเรื่องความหนาแน่นที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการบ่มผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่มากกว่าชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน เนื่องจากระยะเวลาในการบ่มจะทำให้ปูนซีเมนต์ขาวเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างต่อเนื่องและสมบูรณ์มากขึ้น ทำให้รูพรุนลดลง ส่งผลให้ชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน นอกจากนี้พบว่าที่ชิ้นงานที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย ร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก และใช้ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงาน 7 และ 14 วัน ต่างส่งผลไปในทิศทางเดียวกันกับชิ้นงานที่มีปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มชิ้นงาน 7 วัน และ 14 วัน

ผลการวิจัยระยะเวลาการบ่มที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัด พบว่าระยะเวลาในการบ่มชิ้นงานมีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดของกระเบื้องตกแต่ง ดังแสดงในภาพที่ 14 โดยจากการวิจัยเรื่องความหนาแน่น พบว่า เมื่อระยะเวลาในการบ่มผ่านไป 14 วัน ชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นที่สูงกว่าชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน เนื่องจากระยะเวลาในการบ่มจะทำให้ปูนซีเมนต์ขาวเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างต่อเนื่องสมบูรณ์มากกว่าและส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ชิ้นงานที่ทำการบ่มเป็นระยะเวลา 14 วัน มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้พบว่าที่ชิ้นงานที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก และใช้ระยะเวลาในการบ่มชิ้นงานที่ 7 วัน และ 14 วัน ต่างส่งผลไปในทิศทางเดียวกันกับชิ้นงานที่มีปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ทำการบ่มชิ้นงานที่ 7 วัน และ 14 วัน



ภาพ 13 ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน



ภาพ 14 ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดของกระเบื้องตกแต่ง ที่ปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน

อภิปรายผลและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางกลของกระเบื้องตกแต่งที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ขาว เศษกะลาแมคคาเดเมียและเศษแก้ว สามารถสรุปและวิเคราะห์ผลเรื่องอิทธิพลของปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย ปริมาณน้ำและระยะเวลาการบ่ม ดังนี้

1. อิทธิพลของปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย

จากการศึกษาปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมียต่อปูนซีเมนต์ขาวและเศษแก้ว พบว่าการเพิ่มปริมาณเศษกะลาแมคคาเดเมีย ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกล โดยกะลาแมคคาเดเมียนั้นมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่าปูนซีเมนต์ขาว จึงเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มเฟสที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าลงไปแทนที่เฟสของปูนซีเมนต์ขาวและเศษแก้ว ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความหนาแน่น ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดและค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลง

2. อิทธิพลของปริมาณน้ำ

จากการศึกษาปริมาณน้ำที่ร้อยละ 30 และ 35 โดยน้ำหนัก พบว่าการเพิ่มปริมาณน้ำส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและทางกล โดยการเพิ่มปริมาณน้ำจะส่งผลให้กระเบื้องตกแต่งมีค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำมากขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่มากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดช่องว่างของน้ำที่เหลือจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน การหายไปของโมเลกุลน้ำที่เป็นน้ำส่วนเกิน ทำให้ชิ้นงานมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดลดลง ค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำสูงขึ้น แม้การเพิ่มปริมาณน้ำทำให้เนื้อส่วนผสมมีความเหลวมากขึ้น ง่ายต่อการเทขึ้นรูป แต่น้ำส่วนเกินจะส่งผลให้เกิดเป็นฟองอากาศกระจายภายในชิ้นงาน โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้นจะลอยขึ้นไปบนผิวชิ้นงาน ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีรูพรุน อีกทั้งยังทำให้เกิดการแยกตัวของซีเมนต์เหลวกับเศษแก้ว โดยเศษแก้วที่มีอนุภาคใหญ่กว่าจมอยู่ด้านล่าง ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง โดยพบว่าปริมาณน้ำร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ให้สมบัติทางกายภาพและสมบัติ ทางกลที่ดีที่สุด

3. อิทธิพลของระยะเวลาการบ่ม 7 วัน และ 14 วัน

จากการศึกษาระยะเวลาการบ่มชิ้นงาน 7 วัน และ 14 วัน พบว่าการเพิ่มระยะเวลาการบ่มชิ้นงานทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดอย่างต่อเนื่อง สารประกอบต่าง ๆ เกิดการสานตัวในโครงสร้างได้ดี โดยจะทำการสานตัวกันเป็นรูปเข็มส่งผลให้ชิ้นงานมีความหนาแน่นมากขึ้น จำนวนโพรง หรือ ช่องว่างภายในเนื้อชิ้นงานลดลง จึงพบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละการดูดซึมน้ำลดลงไปด้วย และพบว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นและค่าเฉลี่ยความแข็งแรงอัดมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นกระเบื้องตกแต่งที่บ่มในระยะเวลา 14 วัน จึงให้ค่าสมบัติทางกายภาพและทางกลที่ดีกว่าระยะเวลาการบ่ม 7 วัน เนื่องจากชิ้นงานมีระยะเวลาเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- Zubaidi, A., & Tabbakh, A. (2016). Recycling Glass Powder and its use as Cement Mortar applications. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 7(3), 555-564.
- Civil Engineering Forum. (2019). Portland cement: compounds and hydration. Retrieved October 23, 2020, from <http://www.civilengineeringforum.me/portland-cement-compounds-and-hydration>
- Duangkham, K., & Thongtiang, T. (2018). The study of physical and mechanical properties of wall tile made up of white cement, waste glass powder and water hyacinth fiber (Unpublished undergraduate dissertation). Naresuan University, Thailand.
- Du, H., & Tan, K. (2016). Properties of high-volume glass powder concrete. *Cement and Concrete Composites*, 75, 22-29.
- Hama, S. M., Mahmoud, A. S., & Yassen, M. M. (2019). Flexural behavior of reinforced concrete beam incorporating waste glass powder. *Engineering Structures*, 20, 510-518.
- Hensonceramics Staff. (2015). Glass Ceramics. Retrieved October 23, 2020, from <http://www.hensonceramics.com/glass-ceramics/index.html>
- Ling, T.C., Poon, C.S., & Kou, S.C. Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars. *Cement & Concrete Composites*, 33(2011), 848-854.
- Mhakjuay, T., Wanna, W., & Sangsuk, S. (2012). The effects of sizes, ratio of stone chips and water content on physical and mechanical properties of wall tiles from white cement and stone chips (Unpublished undergraduate dissertation). Naresuan University, Thailand.
- Praneed, W., Khattiwong, Narin., & Timyu, Orawanya. (2011). The effects of water content, period of curing and ratio of glass powder on mechanical and physical properties of floor tiles white cement (Unpublished undergraduate dissertation). Naresuan University, Thailand.
- Prema Kumar, W.P., Ananthayya, M.B., & Vijay, K. (2014). Effect of Partial Replacement of Cement with Waste Glass Powder on the Properties of Concrete. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 3(3), 1-6.

Puechkaset staff. (2014). Macadamia. Retrieved August 7, 2020, from <https://puechkaset.com>

Srikhamsang, T. (2001). *Glass Recycle*. Retrieved September 6, 2020, from <https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/create-web/10000/arts/10000-6.html>.

Thiemsorn, W., & Kaewthip, P. (2009). Influence of Soda-LimeSilica Cullet on the Properties of Porcelain Mixture. *The Minerals, Metals & Materails Society*, 996-1000.

Tiamsorn., T. (2011). Ceramics and Glasses Made from Industrial Wastes. *Technology & InnoMag*, 38(218), 68-72.

Wechsler, A., Ramirez, M., Crosky, A., Zaharia, M., Jones, H., Ballerini, A., Núñez, M., & V. Sahajwalla, V. Physical properties of furniture panels from macadamia shells. 18TH International conference on composite materials. Retrieved January 10, 2020, from https://www.academia.edu/3036178/PHYSICAL_PROPERTIES_OF_FURNITURE_PANELS_FROM_MACADAMIA_SHELLS