การศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ เพื่อประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน

ภัทรพล เรืองศรี[1*] จตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง[2] และทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา[3]

A Study of Utilization From Waste Reycling Process Type Ceramic Tiles To Apply For Community Product Development

Pattarapol Ruengsri[1*] Chaturong Louhapensang[2] and Songwut Egwutvongsa[3]

[1*] คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

[2 3] คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

[1*] Faculty of Fine and Applied Arts, Burapha University, ChonBuri

[2 3] Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok

* Corresponding author. E-mail address: pattarapol.r1988@gmail.com, klchatur@kmitl.ac.th and momojojo108@gmail.com

---

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ และ 2) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ ซึ่งวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย คือ เศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) โดยกรณีศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด และในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ดังกล่าวมาทำการศึกษาและทดลองขึ้นรูปด้วยกระบวนการใช้ประโยชน์ ทั้งหมด 3 กระบวนการ โดยใช้หลักทฤษฎีวัสดุเชิงวิศวกรรมในส่วนของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต ซึ่งจากผลการศึกษาวิจัยกระบวนการใช้ประโยชน์ พบว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ที่สามารถนำเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มาพัฒนาเป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์คอมโพสิตได้อย่างเหมาะสม มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ได้แก่ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 โดยเป็นกระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุนด้วยวิธีการอัดแบบ โดยสูตรที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ สูตร PCB5 (อัตราส่วนวัสดุเหลือใช้ : ปูนซีเมนต์ : น้ำบริสุทธิ์ เท่ากับร้อยละ 50:50:15) มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 78.07 เมกะปาสคาล ซึ่งจากผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์ทั้ง 3 ท่าน พบว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.56, S.D. = 0.41) และจากผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 พบว่า ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องมากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความแข็งแรง ทนทาน สามารถทนต่อการเสียดสี และการกระแทกได้ดีขึ้น รวมถึงมีความพรุนตัวสูง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มีน้ำหนักน้อยกว่าผลิตภัณฑ์เดิมอย่างชัดเจน และในส่วนของการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์และผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ พบว่า ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ได้อย่างเหมาะสมและมีแนวโน้มที่ดีขึ้น คือ จากปริมาณ 57.25 ตัน (ต่อเดือน) ให้คงเหลือประมาณ 48.60 ตัน (ต่อเดือน) สามารถลดได้ประมาณ 8.65 ตัน (ต่อเดือน) และสามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์โดยรวม จากมีปริมาณ 158.25 ตัน (ต่อเดือน) ให้คงเหลือประมาณ 149.60 ตัน (ต่อเดือน) เพราะฉะนั้นกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 ที่มีเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) เป็นวัสดุหลัก สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ได้ รวมถึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต ซีเมนต์เพสต์ เซรามิกส์พรุน

ABSTRACT

The objectives of this research are 1) to study the utilization of waste materials type the ceramic tile and 2) to develop community products from waste materials type the ceramic tile. The ceramic materials used in this research are granite tile fragments (after burning). The object of this case study is Kenzai Ceramics Industry Co., Ltd. In this study, the researcher used such waste ceramic fragments to study how to shape it by using 3 processes based on material engineering theory on composite ceramic materials. The results of the study revealed that the utilization process which could be used to develop granite tiles fragments (after burning) to be composite ceramic materials with good physical and mechanical properties was the third process: perforate ceramic molding process. The most suitable formulation was PCB5 (the ratio of waste material, cement and pure water was 50:50:15) with compressive strength of 78.07 MPa. Based on evaluation results from three material science experts, the third process was the most appropriate one ($\bar{x}$= 4.56, S.D. = 0.41). By analysis result of community products with were most suitable and consistent to the third process, the most suitable and consistent one was concrete flooring block products. Such product was durable and resistant to abrasion and shock with high porosity. As a result, such concrete blocks made of ceramics waste material was significantly less weight than the old product. By the study of the utilization process and community products made of ceramic waste material, it was found that Interlocking concrete paving blocks products could reduce the amount of granite tile fragments (after burning) well from 57.25 tons (per month) to 48.60 tons (per month). Month), to say it was 8.65 tons (per month) reduced, and could reduce the amount of overall waste in the ceramic tile industry from 158.25 tons per month to about 149.60 tons per month. It could be concluded that the third process which uses granite tile fragments (after burning) as the main material could reduce the amount of waste type the ceramic tile. It could also be applied in the development of Interlocking concrete paving blocks products with better physical and mechanical properties.

Keywords : Ceramic waste, Ceramic composite materials, Cement paste, Porous ceramic

บทนำ

จากการศึกษาเกี่ยวกับภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย พบว่า ผลการสรุปสถานการณ์การผลิตภาคอุตสาหกรรมของกรมโรงงานอุตสาหกรรมไทย และการสรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรมในปัจจุบัน มีโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวบ่งบอกว่าประเทศไทยในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีโรงงานอุตสาหกรรมเปิดตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีวัตถุดิบและทรัพยากรที่สำคัญ รวมถึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเซรามิกส์และปูนซีเมนต์ ซึ่งจากข้อมูลการศึกษาข้างต้น พบว่า มีโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มพื้นที่ศึกษานำร่องในส่วนของพื้นที่จังหวัดสระบุรี มีวัสดุเหลือใช้ที่ไม่เป็นอันตราย มีประมาณ 642,204 ตัน และมีวัสดุเหลือใช้ที่เป็นอันตราย มีประมาณ 68,138 ตัน โดยกากของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ที่ขออนุญาตนำออกจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมากที่สุด ได้แก่ กากของเสียหรือวัสดุเหลือใช้จากการผลิตสินค้าประเภทเซรามิกส์ อิฐ กระเบื้อง และผลิตภัณฑ์สำหรับงานก่อสร้าง มีปริมาณ 259,511 ตัน ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่มาก (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2559 : 4)

ทั้งนี้ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมประเภทดังกล่าวยังไม่มีระบบการบริหารจัดการในการกำจัดวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้ดีเท่าที่ควร ส่งผลให้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตคงค้างเป็นจำนวนมาก จึงจำเป็นต้องหาวิธีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ แทน ดังเช่นในกลุ่มอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์จะมีเศษกระเบื้องรวมถึงกากดินตะกอนต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตอยู่เป็นจำนวนมาก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2558 : 2-4) โดยในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์อยู่ 2 แนวทาง ได้แก่ แนวทางที่หนึ่ง คือ การนำเศษกระเบื้องที่ผ่านกระบวนการเผาแล้วนำมาบดละเอียดและนำมาใช้ผสมกับเนื้อดินที่ใช้ในการขึ้นรูปใหม่ และแนวทางที่สอง คือ การนำเศษกระเบื้องรวมถึงกากดินตะกอนต่าง ๆ มาใช้ในการปรับปรุงถนนที่มีปัญหาหรือชำรุด ซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับถนนที่มีขนาดเล็กและอยู่ในพื้นที่ต่างจังหวัด (สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม. 2555 : 35-38) จึงทำให้ทั้งสองแนวทางนี้ยังไม่ใช่แนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหาและจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวได้อย่างดีและมีความเหมาะสมในระยะยาว ทั้งนี้

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ พบว่า ในปัจจุบันวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีเป็นจำนวนมาก และบางประเภทไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำหรือนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ จึงทำให้ปัจจุบันมีวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมในกลุ่มของกระเบื้องเซรามิกส์เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่น ๆ โดยแนวทางที่ผู้วิจัยจะนำมาใช้ในการศึกษาวิจัย คือ กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ในส่วนของวัสดุคอมโพสิตประเภทวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต (กวี หวังนิเวศน์กุล. 2558 : 370) โดยจะมีเนื้อพื้นหลักเป็นเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) และใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสาน โดยแนวทางดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตตั้งต้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนให้มีความเหมาะสมในด้านของลักษณะทางกายภาพและมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีมากขึ้นได้ในลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.เพื่อศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์

2.เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์

สมมติฐานการวิจัย

การนำวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์มาทำการวิเคราะห์และทดลอง โดยผ่านกระบวนการใช้ประโยชน์รูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดเป็นวัสดุผสมประเภทเซรามิกส์คอมโพสิต ที่สามารถใช้เป็นแนวทางในการช่วยลดปริมาณกากของเสียในภาคอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ได้ รวมถึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนให้มีความเหมาะสมและมีคุณสมบัติในด้านต่าง ๆ ที่ดีขึ้นได้เป็นอย่างดี

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์และเพื่อนำกระบวนการใช้ประโยชน์ดังกล่าวที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทต่าง ๆ ให้เหมาะสมและมีความสอดคล้องกับความต้องการของกลุ่มตัวอย่างของงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการสำรวจและลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ โดยมีการกำหนดขอบเขตด้านพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ เป็นบริษัทอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตและจำหน่ายสินค้าประเภทกระเบื้องเซรามิกส์และมีพื้นที่ตั้งอยู่ในจังหวัดสระบุรี เนื่องจากในพื้นที่จังหวัดสระบุรีเป็นศูนย์กลางการผลิตกระเบื้องเซรามิกส์ในเชิงอุตสาหกรรมมากมาย ซึ่งในกรณีศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด โดยมีการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ปูพื้นและผนังเป็นหลัก ทั้งนี้วัสดุหลักที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัย ได้แก่ วัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ คือ เศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่เกิดจากกระบวนการผลิตและไม่ผ่านตามมาตรฐานหรือเกณฑ์ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ เช่น บิ่น แตก ร้าว รวมถึงมีขนาด น้ำหนัก และสีไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ เป็นต้น (สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม. 2556 : 45-55) โดยกระบวนการใช้ประโยชน์รูปแบบต่าง ๆ ที่มีวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) เป็นองค์ประกอบหลักนั้น จะมีการใช้วัสดุประสานเพื่อช่วยในการยึดเกาะและขึ้นรูปวัสดุดังกล่าวทั้งในรูปแบบวิธีการหล่อและวิธีการอัด ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง (กำลังรับแรงอัดสูง) ทนทาน และสามารถนำมาใช้งานที่อยู่ในสภาพอากาศปกติได้เป็นอย่างดี (กวี หวังนิเวศน์กุล. 2558 : 350)

นอกจากนี้ยังมีความเหมาะสมและสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุในการผลิตหลายประเภท เช่น กระถาง แผ่นปูพื้น อิฐบล็อก ประติมากรรมและของตกแต่ง เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาวิจัยในส่วนของกระบวนการใช้ประโยชน์ที่มีการนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มาพัฒนาให้อยู่ในรูปของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตนั้น อาจทำให้สามารถนำวัสดุดังกล่าวมาช่วยลดปริมาณหรือใช้ทดแทนวัสดุหลักของผลิตภัณฑ์ชุมชนเดิม เช่น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และทรายได้เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดลองวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต โดยใช้หลักการหาอัตราส่วนผสมแบบตาราง Line blend percentages (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 359)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) เพื่อดูแนวโน้มและผลการศึกษาจากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการต่าง ๆ ที่เหมาะสม รวมถึงวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลในด้านต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ภาพ 1 แสดงตัวอย่างพื้นที่กองเก็บวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา)

ตาราง 1 แสดงข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับปริมาณวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ กรณีศึกษา บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด

ลำดับ	หน่วยงาน	ประเภทวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์	ลักษณะที่เสียหรือมีตำหนิ	วิธีการจัดการ	ปริมาณวัสดุเหลือใช้ (ต่อเดือน)
1	ผลิต	กระเบื้องเซรามิกส์ (หลังขึ้นรูป)	บิ่น แตก ร้าว	นำมาบดใช้ซ้ำ	56 ตัน
2	เตรียมวัตถุดิบ	1. วัตถุดิบเม็ดหิน 2. ผงวัตถุดิบที่เหลือจากการผสมขึ้นรูป	1. มีขนาดใหญ่ 2. เศษผงที่เกิดจากการผสม	1. นำมาบดให้เล็กลงและใช้ซ้ำ 2. ทิ้งแยกขยะ	35 ตัน 10 ตัน
3	คัดเลือก	1. กระเบื้องเซรามิกส์ (ก่อนเผา) 2. กระเบื้องเซรามิกส์ (หลังเผา)	1. บิ่น แตก ร้าว 2. สีไม่ตรงตามมาตรฐาน (STD)	1. นำมาบดใช้ซ้ำและขึ้นรูป 2. นำมาบดใช้ซ้ำปริมาณน้อย	45 ตัน 57 ตัน
4	วิจัยและพัฒนา	กระเบื้องเซรามิกส์ (หลังเผา)	สีไม่ตรงตามมาตรฐาน (STD)	นำไปทิ้งแยกประเภท	0.25 ตัน
ปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (ก่อนเผา) รวม					101 ตัน
ปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (หลังเผา) รวม					57.25 ตัน
ปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (ก่อนเผาและหลังเผา) รวม					158.25 ตัน
ปริมาณวัสดุเหลือใช้ในระบบอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ทั้งหมด รวม					203.25 ตัน

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ กรณีศึกษา บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด เบื้องต้น (ดังแสดงในตาราง 1) พบว่า บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด มีวัสดุเหลือใช้ในระบบอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ทั้งหมด ปริมาณรวม 203.25 ตันต่อเดือน โดยมีการแบ่งวัสดุเหลือใช้ออกเป็น 3 ประเภท หลัก ๆ ได้แก่ เศษกระเบื้องเซรามิกส์ที่มีตำหนิและไม่ผ่านมาตรฐานทั้งหมด มีปริมาณรวม 158.25 ตันต่อเดือน เศษวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ไม่ผ่านตะแกรง มีปริมาณรวม 35 ตันต่อเดือน และเศษวัตถุดิบที่เกิดจากกระบวนการผลิต มีปริมาณรวม 10 ตันต่อเดือน โดยวัสดุเหลือใช้ที่มีปริมาณมากที่สุด คือ กระเบื้องเซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (ก่อนเผา) มีปริมาณ 101 ตันต่อเดือน รองลงมาคือกระเบื้องเซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มีปริมาณ 57.25 ตันต่อเดือน โดยปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากลักษณะการบิ่น แตก ร้าว และมีเฉดสีไม่ตรงตามมาตรฐาน (STD) ที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าเป็นวัสดุเหลือใช้จากเศษกระเบื้องเซรามิกส์หลังขึ้นรูปและก่อนเผานั้น จะสามารถนำมาทำการบดซ้ำและนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตได้ แต่ในกรณีที่เป็นเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) จะสามารถนำมาทำการบดซ้ำได้เช่นกัน แต่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ทั้งหมด เนื่องจากเซรามิกส์หลังเผานั้นมีความแข็งแรงและมีเนื้อที่แกร่งมาก จึงทำให้การบดในปริมาณมากทำได้ยาก

ทั้งนี้ในปัจจุบันจึงมีการนำเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มาบดและใช้ซ้ำในปริมาณที่น้อย หรือใช้ในปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานหรือผลิตสินค้าเท่านั้น ส่งผลให้บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด ยังคงมีปริมาณกากของเสียหรือวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ในปริมาณมาก และไม่สามารถนำมากำจัดได้ทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการสุ่มตัวอย่างวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้น เพื่อดูศักยภาพและแนวโน้มของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ในลำดับต่อไป โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา)

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่เป็น เซรามิกส์มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีเซรามิกส์เป็นองค์ประกอบหลักเป็นอย่างมาก คือ ในกรณีที่มีวัสดุประเภทเซรามิกส์ผสมอยู่ในเนื้อหลักของผลิตภัณฑ์มาก จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความแข็งแรง ทนความร้อน ทนการขีดข่วน และสามารถทนต่อการสึกหรอจากสารเคมีหรือสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ดี

ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการส่งตัวอย่างวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ไปทดสอบการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพของวัสดุ ด้วยเทคนิค XRF (X-Ray Fluorescence) โดยผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา)

Element	Compound	Concentration (%)	Element	Compound	Concentration (%)
Si	SiO2	67.20	Mg	MgO	0.75
Al	Al2O3	21.25	Mn	MnO	0.08
Fe	Fe2O3	5.71	P	P2O5	0.06
K	K2O	2.07	Rb	Rb2O	0.03
Na	Na2O	0.71	Zr	ZrO2	0.03
Ti	TiO2	0.85	S	SO3	0.05
Ba	BaO	0.56	Cr	Cr2O3	0.02
Ca	CaO	0.64	-	-	-

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ดังแสดงในตาราง 2) วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ประกอบไปด้วยแร่ธาตุหลายชนิด โดยแร่ธาตุหลักที่มีปริมาณมากในเนื้อวัสดุดังกล่าวมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO2) โดยมีร้อยละ 67.20 และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al2O3) มีร้อยละ 21.25 โดยซิลิกาออกไซด์มีคุณสมบัติเด่นในการช่วยเสริมโครงสร้างให้วัสดุมีความแข็งแรง สามารถยึดเกาะกันได้ดี ส่วนอลูมิเนียมออกไซด์มีคุณสมบัติเด่นในการเพิ่มความแข็งแกร่ง สามารถทนความร้อนและรอยขีดข่วนได้ดี (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 243-247) ดังนั้นจะเห็นว่าวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่มีซิลิกาออกไซด์ (SiO2) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al2O3) เป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณที่มากนั้น เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวัสดุอื่นจะส่งผลให้วัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิตที่เกิดขึ้นใหม่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านของความแข็งแรง แกร่ง ทนทาน รวมถึงยังสามารถทนความร้อนและรอยขีดข่วนได้ดี เพราะฉะนั้นวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) จึงสามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยและทดลองกระบวนการใช้ประโยชน์รูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เกิดเป็นวัสดุคอมโพสิตประเภทเซรามิกส์คอมโพสิตได้อย่างดี

2. การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา)

ขนาดอนุภาคของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) นั้น มีผลต่อคุณสมบัติโดยรวมของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต โดยขนาดอนุภาคของวัสดุหลักที่อยู่ภายในจะส่งผลต่อการยึดเกาะ การผสานกันระหว่างวัสดุระหว่าง 2-3 ชนิด รวมถึงยังส่งผลถึงความแข็งแรง และความแกร่งของวัสดุผสมดังกล่าวเป็นอย่างมาก เนื่องจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) เบื้องต้น มีลักษณะที่ยังไม่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยและทดลองได้ เนื่องจากมีความละเอียดหรือขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันมากเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการบดย่อยให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันก่อนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในลำดับต่อไป

โดยขนาดอนุภาคโดยรวมหลังจากผ่านกระบวนการบดย่อยมาแล้วนั้น พบว่า วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มีความละเอียดหรือมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันอยู่ 2 ลักษณะ (ดังแสดงในภาพ 2) คือ มีอนุภาคขนาดเล็ก (มีปริมาณร้อยละ 85-90 ของวัสดุหลังทำการบดทั้งหมด) และอนุภาคขนาดใหญ่ (มีปริมาณร้อยละ 10-15 ของวัสดุหลังทำการบดทั้งหมด) จากความละเอียดหรือขนาดอนุภาคของวัสดุดังกล่าว สามารถสรุปได้เป็น 2 ลักษณะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ภาพ 2 แสดงตัวอย่างขนาดอนุภาคของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา)

2.1 วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) อนุภาคขนาดเล็ก โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 11.65 ไมครอน โดยใช้วิธีการทดสอบ คือ ทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (ตามมาตรฐาน มอก. 566-2528) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2528 : 5) ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กจะผ่านตะแกรงได้ทั้งหมด และเนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีความละเอียดมาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการส่งตัวอย่างวัสดุเพื่อทดสอบและวิเคราะห์หาขนาดและการกระจายขนาดอนุภาควัสดุ (Particle Size Distribution) โดยใช้เทคนิค Laser diffraction ด้วยเครื่อง Mastersizer-2000 (ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. 2541 : 250) (ดังแสดงในตาราง 3)

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและการกระจายตัวของวัสดุเหลือใช้ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา)

จำนวนครั้งในการวิเคราะห์	จำนวนการวิเคราะห์ซ้ำ	D (4,3) ไมครอน	D (V,0.1) ไมครอน	D (V,0.5) ไมครอน	D (V,0.9) ไมครอน	Span
1	3	22.63	1.27	11.53	48.13	4.07
2	3	22.40	1.28	11.67	47.98	4.00
3	3	22.55	1.28	11.74	48.38	4.01
ค่าเฉลี่ย	-	22.52	1.28	11.65	48.16	4.03
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	-	0.32	0.01	0.11	0.39	0.05
% ค่าความผิดพลาด	-	1.42	0.78	0.94	0.81	1.24

2.2 วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) อนุภาคขนาดใหญ่ โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 2-4 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีการทดสอบ คือ ทำการร่อนผ่านขนาด 2.36 มิลลิเมตร (ตามมาตรฐาน มอก. 566-2528) (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2528 : 4) ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่จะไม่ผ่านตะแกรงและมีขนาดแตกต่างกันเล็กน้อย ผู้วิจัยจึงใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier caliper) ในการวัดหาขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยรวมของวัสดุดังกล่าว

3 การศึกษาและทดลองกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิต (Composite material) ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะงาน โดยไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยการผสมของวัสดุจะไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่จะแยกกันเป็นเฟสที่เห็นได้อย่างเด่นชัดในเนื้อของวัสดุ โดยจะมีการแบ่งออกเป็น 2 เฟส คือ เฟสที่ 1 เรียกว่า ส่วนเมตริกซ์หรือเนื้อพื้น (Matrix phase) คือ องค์ประกอบหลักเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง และเมตริกซ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ พอลิเมอร์ โลหะ และ

เซรามิกส์ เป็นต้น และเฟสที่ 2 เรียกว่า ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) คือ เป็นส่วนที่ทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรง เป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นแผ่นอนุภาคเล็ก ๆ หรือเส้นใย โดยวัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ เส้นใยแก้ว หรือเส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น (กวี หวังนิเวศน์กุล. 2558 : 364-370)

ซึ่งในปัจจุบันวัสดุคอมโพสิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พอลิเมอร์คอมโพสิต (PMCs) เซรามิกส์คอมโพสิต (CMCs) และเมทัลคอมโพสิต (MMCs) โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของเซรามิกส์คอมโพสิต (Ceramic Matrix Composites) เนื่องจากทฤษฎีดังกล่าวมีความสอดคล้องกับวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ คือ เป็นหลักการสร้างวัสดุคอมโพสิตที่มีเซรามิกส์หรือซีเมนต์เป็นเนื้อพื้น ซึ่งในที่นี้คือ เศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) และมีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยแก้วหรือเส้นใยธรรมชาติหรือเป็นในรูปแบบของอนุภาคกระจายตัวกันอยู่เป็นองค์ประกอบในตัววัสดุดังกล่าว (กวี หวังนิเวศน์กุล. 2558 : 370) ซึ่งจากการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดลองนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มาเข้าสู่กระบวนการใช้ประโยชน์หรือกระบวนการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ ทั้งหมด 3 กระบวนการ (ดังแสดงในตาราง 4) ได้แก่ กระบวนการที่ 1 คือ กระบวนการขึ้นรูปซีเมนต์เพสต์ (ด้วยวิธีการหล่อแบบ) (สำเริง รักช้อน. 2557 : 75) โดยใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก กระบวนการที่ 2 คือ กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ด้วยวิธีการอัดแบบ) (อำพล วงศ์ษา. 2556 : 4) โดยใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก กระบวนการที่ 3 คือ กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ด้วยวิธีการอัดแบบ) (อำพล วงศ์ษา. 2556 : 4) โดยใช้ซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่

ตาราง 4 แสดงรายละเอียดกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ ทั้งหมด 3 กระบวนการ

กระบวนการใช้ประโยชน์	อัตราส่วนผสมวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต แบบ Line blend percentages (%) (วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์)									
กระบวนการ / สูตรที่	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7	สูตรที่ 8	สูตรที่ 9	น้ำบริสุทธิ์ (%)
กระบวนการที่ 1	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	30
กระบวนการที่ 2	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	15
กระบวนการที่ 3	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	15

4 การวิเคราะห์กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่นำมาประยุกต์ใช้พัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตแล้ว กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนนั้น มีผลิตภัณฑ์ที่มีความสอดคล้องกับชุมชนอยู่ทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์กระถาง ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้น ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อก และผลิตภัณฑ์ของตกแต่ง ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชนในประเภทต่าง ๆ แล้ว ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับกระบวนการใช้ประโยชน์ ทั้ง 3 กระบวนการ ทั้งในส่วนของวัสดุและกระบวนการผลิต จึงทำให้กระบวนการใช้ประโยชน์รูปแบบดังกล่าวที่มีวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นส่วนผสมหลัก สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนได้อย่างเหมาะสม

จากการวิเคราะห์กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการสรุปผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และทำการคัดเลือกกระบวนการใช้ประโยชน์ที่เหมาะสมและมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ชุมชนไว้ทั้งหมด 3 กระบวนการ ดังนี้

4.1 กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปซีเมนต์เพสต์ (ขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบ) วัสดุหลัก คือ เศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) อนุภาคขนาดเล็กและอนุภาคขนาดใหญ่ โดยวัสดุที่ได้มีลักษณะทึบ ตัน และมีผิวเรียบ โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์กระถาง แผ่นปูพื้น และของตกแต่ง

4.2 กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ) วัสดุหลัก คือ เศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) อนุภาคขนาดเล็ก โดยวัสดุที่ได้มีรูพรุนขนาดเล็กที่ผิว และมีผิวเรียบ โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นปูพื้น และอิฐบล็อก

4.3 กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ) วัสดุหลัก คือ เศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) อนุภาคขนาดใหญ่ โดยวัสดุที่ได้มีลักษณะโปร่ง มีรูพรุนขนาดกลาง - ขนาดใหญ่ และมีผิวขรุขระ โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นปูพื้น และอิฐบล็อก

ผลการศึกษาวิจัย

จากผลการศึกษาและทดลองการนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มาทดลองขึ้นรูปด้วยกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้งหมด 3 กระบวนการนั้น ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม รวมถึงทำการสรุปผลการทดลองในกระบวนการใช้ประโยชน์ รูปแบบต่าง ๆ เป็นรายสูตร (ดังแสดงในตาราง 5-6) เพื่อใช้ในการพิจารณาและประเมินผลในด้านคุณสมบัติทางกายภาพในส่วนของสี น้ำหนัก และพื้นผิว และคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของกำลังรับแรงอัด เพื่อใช้ในการคัดเลือกกระบวนการใช้ประโยชน์และสูตรการทดลองที่มีคุณสมบัติที่ดี มีความเหมาะสม และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สามารถนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตจริงและสามารถนำไปใช้งานที่เหมาะสมได้ในลำดับต่อไป

ทั้งนี้การพัฒนาวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่มีความเหมาะสมและไม่เหมาะสมในการส่งทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของกำลังรับแรงอัดในแต่ละกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 3 กระบวนการ ผู้วิจัยขอนำเสนอรายละเอียดต่าง ๆ ไว้ดังนี้

กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปซีเมนต์เพสต์ (มีอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่)

1) สูตรที่มีความเหมาะสม ได้แก่ สูตร CW1, CW2, CW3, CW4, CW5 และ CW6 โดยมีสีเทาเข้มจนถึงสีเทาอ่อน มีพื้นผิวเรียบจนถึงมีผิวขรุขระ มีน้ำหนักลดลงตามอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่เพิ่มขึ้น และสามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์

2) สูตรที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ สูตร CW7, CW8 และ CW9 โดยมีสีเทาอ่อนจนถึงสีน้ำตาล มีพื้นผิวขรุขระจนถึงมีผิวที่บิ่นและมีผิวร่อนเป็นขุย มีน้ำหนักโดยรวมลดลงตามอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่เพิ่มขึ้น และสามารถขึ้นรูปได้ แต่มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ จึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (มีอนุภาคขนาดเล็ก)

1) สูตรที่มีความเหมาะสม ได้แก่ สูตร PCS1, PCS2, PCS3, PCS4, PCS5, PCS6, PCS7 และ PCS8 โดยมีสีเทาเข้มจนถึงสีน้ำตาลอ่อนและน้ำตาลเข้ม มีพื้นผิวที่เป็นรูพรุนขนาดเล็กและมีผิวเรียบเสมอกัน มีน้ำหนักเบา โดยรวมมีน้ำหนักลดลงตามอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่เพิ่มขึ้น และสามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์

2) สูตรที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ สูตร PCS9 โดยมีสีน้ำตาลเข้ม มีพื้นผิวที่เป็นรูพรุนขนาดเล็กและมีผิวขรุขระ สามารถหลุดร่อนออกจากผิวเดิมได้ มีน้ำหนักเบามากที่สุด และสามารถขึ้นรูปได้ แต่มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ จึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (มีอนุภาคขนาดใหญ่)

1) สูตรที่มีความเหมาะสม ได้แก่ สูตร PCB5, PCB6, PCB7 และ PCB8 โดยมีสีเทาจนถึงสีเทาอ่อน มีพื้นผิวที่เป็นรูพรุนขนาดกลาง-ขนาดใหญ่และมีผิวขรุขระ แต่มีบางส่วนที่เป็นผิวเรียบเสมอกัน มีน้ำหนักลดลงตามอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่เพิ่มขึ้น และสามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ตามลำดับ

2) สูตรที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ สูตร PCB1, PCB2, PCB3, PCB4 และ PCB9 โดยมีสีเทาเข้มจนถึงสีเทาอ่อน มีพื้นผิวขรุขระและเป็นขุย สามารถหลุดร่อนออกมาจากผิวเดิมได้ มีน้ำหนักลดลงตามอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่เพิ่มขึ้น และสามารถขึ้นรูปได้ แต่มีลักษณะทางกายภาพที่ไม่สมบูรณ์ โดยเฉพาะสูตร PCB9 ที่มีความพรุนตัวมาก มีรูพรุนขนาดใหญ่และมีพื้นผิวขรุขระ โดยมีพื้นผิวบางส่วนที่สามารถหลุดร่อนหรือบิ่นได้ง่าย จึงไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้

การวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตจากกระบวนการใช้ประโยชน์

จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตในแต่ละกระบวนการใช้ประโยชน์ ผู้วิจัยจึงทำการคัดเลือกและเตรียมชิ้นตัวอย่างสูตรวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีความเหมาะสม เพื่อส่งทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดในแต่ละสูตรการทดลอง รวมทั้งหมด 18 สูตร (ดังแสดงในตาราง 5) ซึ่งในแต่ละสูตรจะมีการส่งทดสอบทั้งหมดสูตรละ 3 ตัวอย่าง (ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 12-2532) และทำการบ่มน้ำชิ้นวัสดุตัวอย่างก่อนส่งทดสอบเป็นเวลา 14 วัน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2532 : 2-8) โดยผลจากการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุในส่วนของค่ากำลังรับแรงอัดทั้ง 3 กระบวนการใช้ประโยชน์ มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต จากกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 3 กระบวนการ

กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในเซรามิกส์	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตในแต่ละสูตร (เมกะปาสคาล)								
	Cement paste	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7	สูตรที่ 8
กระบวนการที่ 1 (ซีเมนต์เพลส)	69.08	64.82	58.05	37.68	33.33	27.27	20.17	-	-
กระบวนการที่ 2 (เซรามิกส์พรุน)	69.08	70.21	67.39	67.18	65.54	62.26	60.24	57.61	37.07
กระบวนการที่ 3 (เซรามิกส์พรุน)	69.08	-	-	-	-	78.07	59.96	36.88	16.15

จากข้อมูลข้างต้น (ดังแสดงในตาราง 5) จะเห็นว่า วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตจากกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 3 กระบวนการนั้น มีค่ากำลังรับแรงอัดและแนวโน้มที่แตกต่างกันตามอัตราส่วนและวัสดุที่ใช้ในแต่ละสูตร ซึ่งจากข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของกำลังรับแรงอัดของวัสดุนั้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลผลการทดสอบดังกล่าว มาทำการเปรียบเทียบค่าตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่เกี่ยวข้องและมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมถึงทำการเปรียบเทียบกับวัสดุประเภทซีเมนต์เพสต์สูตรปกติ (สูตรมาตรฐาน) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 3 กระบวนการที่สอดคล้องกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) และเพื่อหาสูตรการทดลองที่ผ่านตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

การวิเคราะห์วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน

จากการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตในแต่ละกระบวนการใช้ประโยชน์ พบว่า มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ที่มีความสอดคล้องกับกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์และผลิตภัณฑ์ชุมชนอยู่ทั้งหมด 5 มาตรฐาน ได้แก่ 1) มาตรฐาน มอก. เลขที่ 378 - 2531 กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น 2) มาตรฐาน มอก. เลขที่ 379 - 2556 กระเบื้องหินขัดชนิดสองชั้น 3) มาตรฐาน มอก. เลขที่ 826 - 2531 กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น 4) มาตรฐาน มอก. เลขที่ 827 - 2531 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และ 5) มาตรฐาน มอก. เลขที่ 2600 - 2556 กระเบื้องหินขัดชั้นเดียว ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุที่ผ่านตามมาตรฐานดังกล่าวไว้ดังนี้

ตาราง 6 แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกับกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้งหมด 3 กระบวนการ

เลขที่ มอก.	ชื่อมาตรฐาน มอก.	ค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า	กระบวนการใช้ประโยชน์		
			กระบวนการที่ 1	กระบวนการที่ 2	กระบวนการที่ 3
378	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	3.0 Mpa	สูตร CW1-CW6	สูตร PCS1-PCS8	สูตร PCB5-PCB8
379	กระเบื้องหินขัดชนิดสองชั้น	3.0 Mpa	สูตร CW1-CW6	สูตร PCS1-PCS8	สูตร PCB5-PCB8
826	กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น	5.0 Mpa	สูตร CW1-CW6	สูตร PCS1-PCS8	สูตร PCB5-PCB8
827	คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	40.0 Mpa	สูตร CW1-CW2	สูตร PCS1-PCS7	สูตร PCB5-PCB6
2600	กระเบื้องหินขัดชั้นเดียว	5.0 Mpa	สูตร CW1-CW6	สูตร PCS1-PCS8	สูตร PCB5-PCB8

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของกำลังรับแรงอัดวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตในแต่ละกระบวนการใช้ประโยชน์ มีกระบวนการใช้ประโยชน์ที่ผ่านการทดสอบและมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ทั้งหมด 3 กระบวนการ ซึ่งจะมีการแสดงสูตรการทดลองที่ผ่านตามมาตรฐานดังกล่าวไว้ (ดังแสดงในตาราง 6)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำมาเข้าสู่กระบวนการประเมินรูปแบบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์จำนวน 3 ท่าน เพื่อทำการคัดเลือกกระบวนการใช้ประโยชน์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ในลำดับต่อไป (ดังแสดงในตาราง 7) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 7 แสดงข้อมูลสรุปผลการประเมินกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์จากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์

รายละเอียด	ผลการประเมินกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ทั้งหมด 3 กระบวนการ					
	กระบวนการที่ 1		กระบวนการที่ 2		กระบวนการที่ 3	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
1. ด้านวัสดุ	3.94	0.77	4.56	0.58	4.56	0.48
ระดับความเหมาะสม	มีความเหมาะสมมาก		มีความเหมาะสมมากที่สุด		มีความเหมาะสมมากที่สุด	
2. ด้านกระบวนการขึ้นรูป	4.50	0.58	4.50	0.58	4.50	0.58
ระดับความเหมาะสม	มีความเหมาะสมมาก		มีความเหมาะสมมาก		มีความเหมาะสมมาก	
3. ด้านการนำไปใช้ประโยชน์	4.33	0.58	4.67	0.58	4.84	0.29
ระดับความเหมาะสม	มีความเหมาะสมมาก		มีความเหมาะสมมากที่สุด		มีความเหมาะสมมากที่สุด	
4. ด้านความปลอดภัย	4.33	0.58	4.50	0.58	4.34	0.29
ระดับความเหมาะสม	มีความเหมาะสมมาก		มีความเหมาะสมมาก		มีความเหมาะสมมาก	
สรุปผลการประเมินเฉลี่ยรวมทุกด้าน	4.28	0.63	4.56	0.58	4.56	0.41
ระดับความเหมาะสมรวมทุกด้าน	มีความเหมาะสมมาก		มีความเหมาะสมมากที่สุด		มีความเหมาะสมมากที่สุด	

จากข้อมูลข้างต้น (ดังแสดงในตาราง 7) จะเห็นว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2, 3 กับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 มีแนวโน้มที่แตกต่างกันชัดเจน โดยเฉพาะในส่วนของด้านวัสดุและด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ในขณะที่กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2, 3 นั้น มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งกระบวนการประเมินรูปแบบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์จำนวน 3 ท่าน และจากการเปรียบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ พบว่า มีกระบวนการใช้ประโยชน์ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุและผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) อยู่ทั้งหมด 3 กระบวนการ ดังนี้

1) กระบวนการที่ 1 สูตรที่เหมาะสม คือ CW1 มีค่ากำลังรับแรงอัด 64.82 เมกะปาสคาล โดยผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สอดคล้อง ได้แก่ กระเบื้องหินขัด และแผ่นปูพื้น

2) กระบวนการที่ 2 สูตรที่เหมาะสม คือ PCS1 มีค่ากำลังรับแรงอัด 70.21 เมกะปาสคาล โดยผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สอดคล้อง ได้แก่ แผ่นปูพื้น

3) กระบวนการที่ 3 สูตรที่เหมาะสม คือ PCB5 มีค่ากำลังรับแรงอัด 78.07 เมกะปาสคาล โดยผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สอดคล้อง ได้แก่ แผ่นปูพื้น

ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์และประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์ตามหลักแนวคิดที่สอดคล้องกับนโยบายของกระทรวงอุตสาหกรรมที่ส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ (Eco-Industry) เพื่อเพิ่มความสามารถในการนำกากอุตสาหกรรมไปใช้ประโยชน์ตามหลัก 3Rs (สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2555 : 4) พบว่ามีกระบวนการใช้ประโยชน์ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ทั้งหมด 3 กระบวนการ โดยทั้ง 3 กระบวนการ มีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก - มากที่สุด ซึ่งกระบวนการใช้ประโยชน์ที่ได้ผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์มากและมีความเหมาะสมมากที่สุด คือ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 และ 3 อยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.56, 4.56 และมีค่า S.D. = 0.58, 0.41) ตามลำดับ และกระบวนการใช้ประโยชน์ที่ได้ผลการประเมินรองลงมา ได้แก่ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 อยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก ($\bar{X}$= 4.28 และมีค่า S.D. = 0.63) โดยเมื่อทำการแยกผลการวิเคราะห์เป็นรายด้าน ผู้วิจัยขอนำเสนอรายละเอียดไว้ดังนี้

1) ด้านวัสดุ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 และ 3 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{X}$= 4.56, 4.56 และมีค่า S.D. = 0.58, 0.48) โดยกระบวนการที่ 1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก ($\bar{X}$= 3.94 และมีค่า S.D. = 0.77)

2) ด้านกระบวนการขึ้นรูป กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1, 2 และ 3 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก ($\bar{x}$ = 4.50, 4.50, 4.50 และมีค่า S.D. = 0.58, 0.58, 0.58) ตามลำดับ

3) ด้านการนำไปใช้ประโยชน์ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 และ 2 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{x}$= 4.84, 4.67 และมีค่า S.D. = 0.29, 0.58) โดยกระบวนการที่ 1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก ($\bar{x}$= 4.33 และมีค่า S.D. = 0.58)

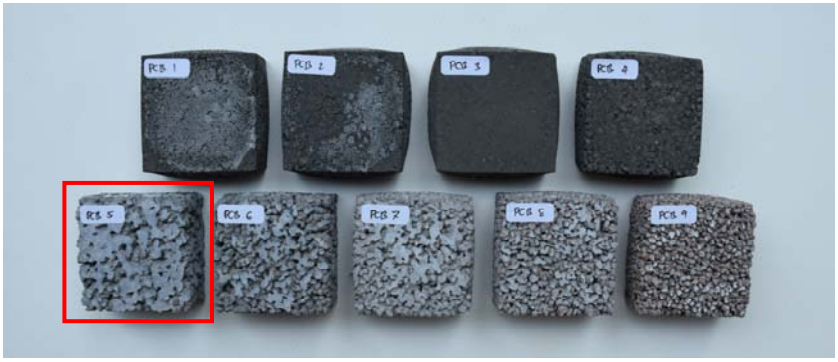
4) ด้านความปลอดภัย กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2, 3 และ 1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก ($\bar{x}$= 4.50, 4.34, 4.33 และมีค่า S.D. = 0.58, 0.29, 0.58) ตามลำดับ

จากผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์ข้างต้น พบว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1, 2 และ 3 มีแนวโน้มที่แตกต่างกันในส่วนของด้านวัสดุและด้านการนำไปใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน คือ ในด้านของวัสดุ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2, 3 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก และในด้านของการนำไปใช้ประโยชน์ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2, 3 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ส่วนกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมาก ส่วนในด้านกระบวนการขึ้นรูปและด้านความปลอดภัยนั้น กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1, 2 และ 3 มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากเช่นเดียวกัน ดังนั้นจะเห็นว่าในส่วนของการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์ กระบวนการใช้ประโยชน์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ได้แก่ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 และ 3

ทั้งนี้จากข้อมูลผลการวิเคราะห์ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต จะเห็นว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 สูตร PCS1 และกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 สูตร PCB5 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน คือ 70.21 และ 78.07 เมกะปาสคาล และมีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าซีเมนเพสต์มาตรฐานที่ได้ทำการทดสอบเทียบไว้ ในขณะที่กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 สูตร CW1 มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 64.82 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่าที่ต่ำกว่าซีเมนเพสต์มาตรฐาน ส่งผลให้กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 ที่มีสูตรการทดลองที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ชุมชนและผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) นั้น อาจไม่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนได้

เนื่องจากมีคุณสมบัติเชิงกลหรือค่ากำลังรับแรงอัดที่ต่ำ รวมถึงมีผลการประเมินโดยรวมจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์ที่น้อยกว่ากระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญ เพราะฉะนั้นกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 จึงไม่เหมาะในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ในลำดับต่อไป และในขณะเดียวกันกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 และ 3 ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลนั้น กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกับซีเมนเพสต์มาตรฐาน คือ มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 70.21 และ 69.08 เมกะปาสคาล ตามลำดับ รวมถึงยังมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ต่ำกว่ากระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 อยู่ประมาณ 7.86 เมกะปาสคาล (ดังแสดงในตาราง 5) จึงทำให้ในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลของกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 2 ยังคงไม่มีความแตกต่างออกมาอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 ทั้งในด้านคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 มีความเหมาะสมมากที่สุดในด้านของวัสดุด้านกระบวนการขึ้นรูป และด้านการนำไปใช้ประโยชน์ ที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทแผ่นปูพื้นซึ่งวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) นอกจากมีความแข็งแรงและทนทานสูงแล้ว ยังมีลักษณะพื้นผิวที่แปลกใหม่น่าสนใจ และมีปริมาณมากในภาคอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ ซึ่งสูตรวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุดและผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์ คือ สูตร PCB5 (ดังแสดงในภาพ 3) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความสอดคล้องกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้น



ภาพ 3 แสดงชิ้นตัวอย่างวัสดุจากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 (สูตรการทดลอง PCB1 – PCB9)

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา)

จากการสำรวจข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิเบื้องต้น พบว่า แผ่นปูพื้นในปัจจุบันที่มีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เป็นองค์ประกอบหลักในเนื้อของผลิตภัณฑ์จะมีการแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ได้แก่ กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น และคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 8 แสดงข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทแผ่นปูพื้น

ลำดับ	มาตรฐานที่	ชื่อมาตรฐาน (มอก.)	รูปแบบใช้งาน	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต	วิธีการขึ้นรูป
1	378-2531	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	ใช้ปูพื้น	1. ซีเมนต์ 2. ทราย 3. หินฝุ่น	การหล่อแบบ
2	826-2531	กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น	ใช้ปูพื้น	1. ซีเมนต์ 2. มวลละเอียด	การหล่อแบบ
3	827-2531	คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	ใช้ปูพื้น	1. ซีเมนต์ 2. ทราย 3. หินฝุ่น	การอัดแบบ

จากตาราง 8 จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นทั้ง 3 ประเภท มีรูปแบบการใช้งานที่เหมือนกัน แต่จะมีความแตกต่างกันในส่วนของวัตถุดิบและในส่วนของวิธีการขึ้นรูป ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ข้างต้น (ดังแสดงในตาราง 8) พบว่า ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีความสอดคล้องและเหมาะสมกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 มากที่สุด เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบเช่นเดียวกัน และมีการใช้น้ำเพื่อช่วยในการขึ้นรูปในอัตราส่วนที่น้อย รวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและมีกำลังรับแรงอัดที่สูง แต่จะมีความแตกต่างกันในส่วนของวัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2531 : 1-16) ซึ่งในกระบวนการใช้ประโยชน์กระบวนการที่ 3 ที่เป็นวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตนั้น สามารถนำมาใช้แทนทราย หินฝุ่น และช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ รวมถึงยังมีคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของกำลังรับแรงอัด ความแข็งแรงทนทาน และความพรุนตัวที่ดีกว่าวัสดุตั้งต้นของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นเดิมได้อย่างดี (อุดมศักดิ์ สาริบุตร. 2549 : 85-89)

ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากเอกสาร (เฉลิม สุจริต. 2540 : 59) และแหล่งชุมชน พบว่า ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นในปัจจุบันนั้น กลุ่มตัวอย่างมีความต้องการและให้ความสำคัญต่อปัจจัยต่าง ๆ ในการตัดสินใจเลือกซื้อในส่วนของวัสดุที่ใช้ในการผลิต คือ ต้องการให้มีความแข็งแรงสูง สามารถทนต่อแรงกด แรงอัด และแรงกระแทกได้ดี มีน้ำหนักเบา มีพื้นผิวที่น่าสนใจ และจากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ดังกล่าว โดยใช้เทคนิคหลักการแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment) มาประยุกต์ใช้ในการช่วยวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญ เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาและพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นให้มีความเหมาะสมในด้านของวัสดุให้ดียิ่งขึ้นได้ในลำดับต่อไป

จากข้อมูลการวิเคราะห์เทคนิคหลักการแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพ ผู้วิจัยได้จัดลำดับความสำคัญตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมายหรือ VOC (Voice of the Customer) และจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถนำมาปรับปรุง แก้ปัญหา และพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นให้มีความเหมาะสมมากขึ้นได้ โดยผู้วิจัยได้มีการจัดลำดับความสำคัญไว้ดังนี้ คือ ลำดับที่ 1 พัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงสูง สามารถทนต่อแรงกด แรงอัด และแรงกระแทกได้ดี ลำดับที่ 2 พัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีน้ำหนักเบา และลำดับที่ 3 พัฒนาให้ผลิตภัณฑ์มีพื้นผิวที่น่าสนใจ โดยจะมีการนำวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต จากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

จากผลการศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชน โดยการนำวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตจากกระบวนการใช้ประโยชน์กระบวนการที่ 3 สูตร PCB5 มาประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแทนวัสดุเดิมนั้น พบว่า วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตจากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน โดยมีวัสดุหลัก คือ เศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) อนุภาคขนาดใหญ่ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนได้อย่างดี โดยเฉพาะในส่วนของคุณสมบัติเชิงกลในด้านของกำลังรับแรงอัดที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหลังขึ้นรูปมีความแข็งแรง ทนทาน สามารถทนต่อการเสียดสี และการกระแทกได้ดีขึ้น รวมถึงยังมีความพรุนตัวภายในเนื้อหลักของผลิตภัณฑ์สูงกว่าผลิตภัณฑ์ชุมชนเดิม ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มีน้ำหนักที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุเดิมด้วยส่วนหนึ่ง

การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ ที่สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (กรณีศึกษา บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด)

ตาราง 9 แสดงข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ ที่สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (กรณีศึกษา บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด)

รายละเอียดของผลิตภัณฑ์	อัตราส่วนของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูป (ต่อผลิตภัณฑ์)	ปริมาณที่ใช้ขึ้นรูป (ต่อชิ้น)	ปริมาณที่ใช้ขึ้นรูป (ต่อวัน)	ปริมาณที่ใช้ขึ้นรูป (ต่อเดือน)
วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์	ร้อยละ 50	1,600 กรัม	332,800 กรัม (0.33 ตัน)	8,652,800 กรัม (8.65 ตัน)
หมายเหตุ ปกติเวลาทำงาน 1 วัน กลุ่มชุมชนสามารถผลิตชิ้นงานได้ประมาณ 208 ชิ้น (ต่อวัน) ปกติเวลาทำงาน 1 เดือน กลุ่มชุมชนสามารถผลิตชิ้นงานได้ประมาณ 5,408 ชิ้น (ต่อเดือน)				
ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มีการใช้ปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (หลังเผา) รวม (ต่อเดือน)				8.65 ตัน
บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (หลังเผา) รวม (ต่อเดือน)				57.25 ตัน
ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (หลังเผา) ได้คงเหลือ (ต่อเดือน)				48.60 ตัน
บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด มีปริมาณวัสดุเหลือใช้ในระบบอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ทั้งหมดรวม (ต่อเดือน)				158.25 ตัน
ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ในระบบอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ทั้งหมด ได้คงเหลือ (ต่อเดือน)				149.60 ตัน

จากตาราง 9 จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ จากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ) มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชุมชนดังกล่าวนั้น สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ (หลังเผา) ได้คงเหลือ 48.60 ตัน (ต่อเดือน) (ดังแสดงในตาราง 9) โดยสามารถช่วยลดลงได้ประมาณ 8.65 ตัน (ต่อเดือน) และสามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ในระบบอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ทั้งหมด จากปริมาณ 158.25 ตัน (ต่อเดือน) ได้คงเหลือ 149.60 ตัน (ต่อเดือน)

ทั้งนี้จากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถอธิบายได้ว่า วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่ผ่านกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 และนำมาประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นให้มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นนั้น ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ในระบบอุตสาหกรรมเซรามิกส์ได้เป็นอย่างดี

3.5 การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ชุมชนระหว่างผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแบบดั้งเดิม

จากการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) และนำมาพัฒนาเป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์พรุน รวมถึงนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นนั้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของต้นทุนที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทดังกล่าวที่มีการใช้วัสดุตั้งต้นในการขึ้นรูปที่แตกต่างกัน คือ วัสดุประเภทเซรามิกส์พรุน และวัสดุแบบดั้งเดิม เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบต้นทุนของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้มีความสอดคล้องและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยมากยิ่งขึ้น โดยผู้วิจัยขอนำเสนอรายละเอียดไว้ดังนี้

ตาราง 10 แสดงข้อมูลต้นทุนผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) และผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุแบบเดิม

รายละเอียด	ค่าใช้จ่าย (ต่อ 50 กิโลกรัม)	จำนวน (ต่อ 1 กิโลกรัม)	ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	
			จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ (รวม 3.2 กิโลกรัม)	จากวัสดุแบบเดิม (รวม 3.2 กิโลกรัม)
วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์	-	-	ร้อยละ 50 (1.6 กิโลกรัม)	-
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	110 บาท	2.20 บาท	ร้อยละ 50 (1.6 กิโลกรัม)	ร้อยละ 11.43 (0.37 กิโลกรัม)
ปูนซีเมนต์ขาว (ทำผิว)	400 บาท	8.00 บาท	-	ร้อยละ 14.28 (0.46 กิโลกรัม)
ทรายหยาบ	40 บาท	0.80 บาท	-	ร้อยละ 22.86 (0.73 กิโลกรัม)
ทรายละเอียด	40 บาท	0.80 บาท	-	ร้อยละ 28.57 (0.91 กิโลกรัม)
หินฝุ่น	30 บาท	0.60 บาท	-	ร้อยละ 22.86 (0.73 กิโลกรัม)
ค่าแรงขั้นต่ำ	300 บาท	1 คน	1 คน	1 คน
ราคาต้นทุนผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (รวม)			303.52 บาท	306.24 บาท
หมายเหตุ ปกติเวลาทำงาน 1 วัน = คนงานสามารถผลิตชิ้นงานได้ประมาณ 208 ชิ้น (ต่อวัน)				
ราคาต้นทุนผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (ต่อชิ้น)			1.45 บาท	1.47 บาท

จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนนั้น มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 1.45 บาทต่อชิ้น และในส่วนของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้วัสดุแบบเดิม มีต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 1.47 บาทต่อชิ้น ซึ่งมีความแตกต่างกันอยู่ 0.02 บาทต่อชิ้น (ดังแสดงในตาราง 10) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ชุมชนโดยรวมที่มีการนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มาประยุกต์ใช้ในการผลิตจะสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตให้กับผู้ผลิตและผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้ด้วยส่วนหนึ่ง

ทั้งนี้จากการสอบถามและสัมภาษณ์ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทดังกล่าวส่วนใหญ่ พบว่า กลุ่มผู้ผลิตและผู้จำหน่ายผลิตภัณฑ์ชุมชนมีความสนใจที่จะนำวัสดุเซรามิกส์พรุนที่เกิดจากการพัฒนาวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษ

กระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตจริงในอนาคต เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีความแปลกใหม่และน่าสนใจ รวมถึงมีลักษณะทางกายภาพที่ดี มีความทนทานและมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ค่อนข้างสูง ทำให้ตัวผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภท

ดังกล่าวเกิดการร้าว แตกหัก บิ่น หรือชำรุดได้ยากกว่าวัสดุรูปแบบเดิม แต่เนื่องจากวัสดุประเภทเซรามิกส์พรุนจะต้องมีการเตรียมวัตถุดิบที่ซับซ้อน เช่น จะต้องทำการร่อนผ่านตะแกรงก่อนนำวัตถุดิบมาใช้เพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสม รวมถึงจะต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ให้ถูกต้องตามอัตราส่วน ในขณะที่ปัจจุบันกลุ่มชุมชนผู้ผลิตและผู้จำหน่ายใช้วิธีการคาดคะเนจากสายตาและการสัมผัสมวลรวมหลังทำการผสม โดยไม่มีการชั่งหรือตวงปริมาณน้ำ ส่งผลให้แนวทางการนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่พัฒนาเป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์พรุนนั้นจะต้องใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนรูปแบบหรือขั้นตอนในการผลิตให้คงที่และมีความเคยชินกับการควบคุมปริมาณวัตถุดิบแต่ละตัวก่อนที่จะนำมาประยุกต์ใช้ได้ในอนาคตต่อไป

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

1.ผลการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์

ผลการศึกษาวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ จากการนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมี พบว่า วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประกอบไปด้วยธาตุหลัก ๆ อยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) โดยมีร้อยละ 67.20 และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) มีร้อยละ 21.25 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีในปริมาณมาก เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวัสดุอื่นจะส่งผลให้วัสดุที่เกิดขึ้นใหม่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านของความแข็งแรง ทนความร้อนและรอยขีดข่วนได้ดี และในส่วนของขนาดอนุภาคของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) โดยรวม พบว่าวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ดังกล่าวมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ อนุภาคขนาดเล็ก มีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 11.65 ไมครอน (มีปริมาณร้อยละ 85-90) และอนุภาคขนาดใหญ่ มีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 2-4 มิลลิเมตร (มีปริมาณร้อยละ 10-15) ซึ่งวัสดุดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันนี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ให้เกิดเป็นวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ดีได้อย่างเหมาะสม

ทั้งนี้จากการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่มีการนำเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) มาใช้เป็นวัสดุเนื้อหลักในการขึ้นรูป โดยมีการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 มาใช้เป็นวัสดุประสานนั้น พบว่ากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ดี มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ คือ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 เป็นกระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ) ใช้วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์อนุภาคขนาดใหญ่ โดยสูตรวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ สูตร PCB5 (มีอัตราส่วนวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 : น้ำบริสุทธิ์ เท่ากับร้อยละ 50:50:15) โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 78.07 เมกะปาสคาล ซึ่งจากผลการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุทั้ง 3 ท่าน พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ($\bar{x}$= 4.56, S.D. = 0.41) ซึ่งนอกจากจะมีความแข็งแรง ทนทาน และความพรุนตัวสูงแล้ว ยังมีลักษณะพื้นผิวที่แปลกใหม่น่าสนใจ โดยจากผลการวิเคราะห์กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์กับผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความสอดคล้องและเหมาะสมแล้ว พบว่า ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความเหมาะสมมากที่สุดทั้งในด้านของวัสดุและด้านกระบวนการขึ้นรูป คือ ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้น

2. ผลการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์

จากการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ พบว่า กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 (กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน) โดยสูตรวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีความเหมาะสมมากที่สุด คือ สูตร PCB5 และผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับกระบวนการใช้ประโยชน์ดังกล่าวมากที่สุด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้น ประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีวิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ รวมถึงมีการใช้วัสดุที่สอดคล้องและมีการใช้น้ำบริสุทธิ์เพื่อช่วยในการขึ้นรูปในอัตราส่วนที่น้อยเช่นเดียวกัน รวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและมีกำลังรับแรงอัดที่สูง ผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจึงมีความเหมาะสมในการนำวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตจากกระบวนการใช้ประโยชน์กระบวนการที่ 3 มาประยุกต์ใช้มากที่สุด

ทั้งนี้เมื่อทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากแหล่งชุมชนและเอกสารต่าง ๆ พบว่า ในปัจจุบันกลุ่มตัวอย่างมีความต้องการให้ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีความแข็งแรงสูง สามารถทนต่อแรงกดแรงอัด และแรงกระแทกได้ดี มีน้ำหนักเบา รวมถึงมีพื้นผิวที่น่าสนใจ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง

โดยได้นำเทคนิคหลักการแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment) มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและเพื่อนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมายและตรงตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยได้อย่างเหมาะสม

จากการวิเคราะห์วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) รวมถึงกระบวนการใช้ประโยชน์กระบวนการที่ 3 ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น พบว่า วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่นำมาเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปเป็นวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม ทั้งในด้านของวัสดุที่นำมาใช้ในกระบวนการขึ้นรูปและด้านของการใช้งานหรือการนำไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่มีแนวโน้มดีกว่าผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีการใช้วัสดุเดิม คือ วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์นั้น ส่งผลให้มีคุณสมบัติเชิงกลในด้านของกำลังรับแรงอัดที่สูง ทำให้ผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มีความแข็งแรง ทนทาน สามารถทนต่อการเสียดสี และการกระแทกได้ดีขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังมีความพรุนตัวสูง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มีน้ำหนักที่น้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัสดุเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

ทั้งนี้จากการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์และการศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ข้างต้น พบว่า ผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์นั้น สามารถช่วยลดปริมาณกากของเสียหรือวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) จากมีปริมาณ 57.25 ตัน (ต่อเดือน) ให้คงเหลือประมาณ 48.60 ตัน (ต่อเดือน) และสามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ในระบบอุตสาหกรรมเซรามิกส์โดยรวม กรณีศึกษา บริษัท เคนไซ ซีรามิคส์ อินดัสตรี้ จำกัด จากมีปริมาณ 158.25 ตัน (ต่อเดือน) ให้คงเหลือประมาณ 149.60 ตัน (ต่อเดือน) เพราะฉะนั้นผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) นั้น สามารถช่วยลดปริมาณวัสดุเหลือใช้ประเภทกระเบื้องเซรามิกส์ รวมถึงสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ในรูปแบบของกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 (กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน) ได้อย่างดี และส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่ดียิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทกระเบื้องแกรนิตโต (หลังเผา) นั้น จะต้องมีการเก็บและรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิอย่างต่อเนื่อง เพื่อจะได้ทราบข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อวัสดุเหลือใช้ประเภทนี้ ได้แก่ ปัจจัยเรื่องวัตถุดิบที่นำมาใช้ ปัจจัยเรื่องกระบวนการผลิต และปัจจัยเรื่องการคัดแยกประเภท รวมถึงวิธีการจัดการกับวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์รูปแบบต่าง ๆ ก่อนนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยเสมอ

2. วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องแกรนิตโต้ (หลังเผา) ที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนั้น จำเป็นต้องมีการเก็บและรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวมีการนำมาทดสอบลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลในด้านต่าง ๆ ก่อนนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการใช้ประโยชน์ เพราะฉะนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์กระเบื้องเซรามิกส์ มีการเปลี่ยนแปลงสูตรหรืออัตราส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต รวมถึงกระบวนการผลิตต่าง ๆเช่น กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ กระบวนการผสม กระบวนการขึ้นรูป และกระบวนการเผา เป็นต้น จะสามารถส่งผลให้คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลในด้านต่าง ๆ ของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประเภทดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปจากคุณสมบัติเดิมได้

3. การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 สูตร PCB5 ซึ่งเป็นกระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุนที่นำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นนั้น มีการใช้วัตถุดิบหลัก ๆ อยู่ 3 ประเภท ได้แก่ วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำสะอาด จึงทำให้กรณีที่มีการชั่งวัตถุดิบเพื่อผสมเป็นวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตจำเป็นต้องมีการควบคุมปริมาณและอัตราส่วนที่ใช้ให้ถูกต้องทุกครั้ง เนื่องจากในกรณีที่มีการชั่งอัตราส่วนไม่คงที่ จะส่งผลให้การแสดงลักษณะพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ไม่สมบูรณ์ รวมถึงส่งผลให้มีลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนไปจากเดิม

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2558). **ระบบการจัดการมลพิษกากอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

กวี หวังนิเวศน์กุล. (2558). **วัสดุวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ รุ่งแสงการพิมพ์.

เฉลิม สุจริต. (2543). **วัสดุและการก่อสร้างสถาปัตยกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไพจิตร อิ่งศิริวัฒน์. (2541). **เนื้อดินเซรามิก.** กรุงเทพฯ : โอ.เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2528.) มาตรฐานเลขที่ มอก. 566-2528 **มวลผสมคอนกรีต**. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2531). มาตรฐานเลขที่ มอก. 827-2531 **คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.** กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2532). มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 12-2532 **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (เล่ม 12 วิธีทดสอบความต้านแรงอัดของมอร์ตาร์ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก).** กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2559**). สรุปภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรมปี 2559 และแนวโน้มปี 2560**. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2555). **คู่มือ 3Rs กับการจัดการของเสียภายในโรงงาน ปี 2**. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

สำนักบริหารจัดการกากอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2556). **หลักเกณฑ์คุณสมบัติของเสียที่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ในระดับอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำเริง รักซ้อน. (2557). **ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี.** พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ : แองเกิ้ลออฟไซ.

อำพล วงศ์ษา และวันชัย สะตะ. (2556). **การใช้เศษวัสดุเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพรุน.** ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา. บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุดมศักดิ์ สาริบุตร. (2549). **เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.