การศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชน

THE STUDY OF WASTE RECYCLING PROCESS IN CERAMIC INDUSTRY FOR DESIGNED OF COMMUNITY PRODUCTS

ภัทรพล เรืองศรี[1] จตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง[2] และทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา[3]
Pattarapol Ruengsri[1] , Chaturong Louhapensang[2] and Songwut Egwutvongsa[3]
[1]นักศึกษาหลักสูตร ค.อ.ม. (สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[2,3]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
pattarapol.r1988@gmail.com, klchatur@kmitl.ac.th, and momojojo108@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ 2) เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย คือ เศษกระเบื้องเซรามิกส์ประเภทกระเบื้องรีดหลังเผา ซึ่งมีปริมาณมากในอุตสาหกรรมกระเบื้องในปัจจุบัน โดยผู้วิจัยได้นำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มาศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์รูปแบบต่าง ๆ โดยใช้หลักทฤษฎีวัสดุเชิงวิศวกรรม ในส่วนของวัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิต เรียกว่า วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต ผลการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์ พบว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ที่สามารถนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มาประยุกต์ใช้ โดยมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 มาใช้เป็นวัสดุประสานในเนื้อวัสดุดังกล่าว มีทั้งหมด 5 กระบวนการ ซึ่งรูปแบบกระบวนการใช้ประโยชน์ที่มีความเหมาะสม มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและลักษณะทางกายภาพที่น่าสนใจ รวมถึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนได้ คือ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 สูตร PCS7 ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่มีขนาดอนุภาค 11.65 ไมครอน มาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 70:30 และใช้น้ำในส่วนผสมร้อยละ 15 ส่งผลให้เกิดเป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์พรุน โดยวัสดุดังกล่าวมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี คือมีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 57.61 เมกะปาสคาล ซึ่งเป็นสูตรที่ผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและมีต้นทุนอยู่ที่ 0.66 บาทต่อกิโลกรัม ผลการศึกษาด้านผลิตภัณฑ์ชุมชน พบว่า ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความสอดคล้องกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 ที่เป็นกระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน โดยมีซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับผงเซรามิกส์ (เศษกระเบื้องเซรามิกส์ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก) และใช้วิธีการขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชุนได้ คือ คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยมีการนำเทคนิคหลักการแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพ มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาผลิตภัณฑ์ เพื่อนำมาออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชุนจากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ สรุปจากผลการวิจัย พบว่า วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ประเภทเศษกระเบื้องรีดหลังเผา สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการใช้ประโยชน์กระบวนการที่ 3 โดยขึ้นรูปเป็นวัสดุประเภทเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีความพรุนตัว มีความแข็งแรงและแกร่ง รวมถึงยังมีพื้นผิว สีสัน และลักษณะทางกายภาพที่น่าสนใจ แปลกใหม่ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนให้มีความเหมาะสมได้อย่างดี

คำสำคัญ: วัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิต วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เส้นใยและขุยมะพร้าว ซีเมนต์เพสต์ คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติเชิงกล

Abstract

This study was aimed to 1) examine a utilization process of ceramic industrial waste and 2) to reuse the waste and develop suitable community products. The material used in this study was fired ceramic tile waste is currently of a large volume in ceramic industry. The waste was empirically applied in a variety of utilization processes based on materials engineering theories for mixed or composite materials, or generally called ceramic composite. The results of this study shaded light on the reuse of ceramic waste by using Portland cement type 1 as a binder. A total of 5 application formulae were obtained and Type 3 with formula PCS7 was considered high-quality as it showed good mechanical properties and other interesting physical characteristics which were adequate in the design and production of community product. Formula 3 was a mixture of 11.65 micron ceramic waste and Portland cement at the ratio of 70:30 with 15% added water. The mixture particularly formed a porous ceramic material with good mechanical. The material generally satisfied the Industrial Product Standards with the compressive strength of 57.61 Mega Pascal and cost 0.66 Thai baht per one kilogram production. The study of community product development showed that PCS7 was highly appropriate in the production of interlocking concrete flooring tile. In addition, Quality Function Deployment techniques were applied to ascertain solutions for possible product problems. In conclusion, fired ceramic scrap from ceramic industry can be reused in the production of Type 3 product by using Formula 3 which formed a porosity and high resistance ceramic composite material with unique color, texture, surface and other particular physical characteristics suitable for the development of high quality community products.

Keywords: Composite materials; Ceramic Composite materials; Ceramic waste; Coconut fibers and Coconut husk; Cement paste; Physical properties; Mechanical properties

1. บทนำ

จากการศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ พบว่า จากผลสรุปสถิติของกรมโรงงานอุตสาหกรรมไทยในปัจจุบัน นับตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนกรกฎาคม ในปีพ.ศ. 2558 มีโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นจากปีพ.ศ. 2557 แล้วประมาณ 2,453 โรงงาน ซึ่งจากสถิติดังกล่าวบ่งบอกว่าประเทศไทยในอนาคตมีแนวโน้มที่จะมีโรงงานอุตสาหกรรมเปิดตัวเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ [1] เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวัตถุดิบและทรัพยากรที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตภาคอุตสาหกรรมและภาคการเกษตรมากมาย โดยสถิติประเภทอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากที่สุด 3 อันดับแรกในเดือนกรกฎาคม ปีพ.ศ. 2558 คือ อันดับแรก ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ประเภทคอนกรีตผสมเสร็จ อันดับสอง ได้แก่ โรงงานซ่อมและเคาะพ่นสีรถยนต์ และอันดับสุดท้าย ได้แก่ โรงงานกลุ่มที่ทำเครื่องเรือน ทำเครื่องตกแต่งภายในอาคารจากไม้ [2]

ซึ่งจากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ในปีพ.ศ. 2558 มีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่ผลิตเกี่ยวกับวัสดุนั้นมีเพิ่มมากขึ้น แต่ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมประเภทดังกล่าวยังไม่มีระบบการบริหารจัดการหรือมีมาตรการในการกำจัดของเสียหรือของเหลือใช้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเท่าที่ควร ส่งผลให้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้ทรัพยากรหรือวัตถุดิบทางธรรมชาติมีของเสียหรือของเหลือใช้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตคงค้างเป็นจำนวนมาก และบางประเภทไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด จึงทำให้ต้องหาวิธีกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ แทน ดังเช่นในโรงงานอุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิกส์ ซึ่งจะมีเศษกระเบื้อง รวมถึงกากดินตะกอนต่าง ๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตอยู่เป็นจำนวนมาก โดยในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวได้มีการนำของเสียต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์อยู่ 2 แนวทาง ได้แก่ แนวทางที่หนึ่ง คือ การนำเศษกระเบื้องหรือเศษต่าง ๆ ที่ผ่านกระบวนการเผาแล้วนำมาบดละเอียดและนำมาใช้ผสมกับเนื้อดินที่ใช้ในการขึ้นรูปใหม่ และแนวทางที่สอง คือ การนำเศษกระเบื้อง รวมถึงกากดินตะกอนต่าง ๆ มาใช้ในการปรับปรุงถนนต่าง ๆ ที่มีปัญหาหรือชำรุด ซึ่งส่วนใหญ่จะนำมาใช้กับถนนที่มีขนาดเล็กและอยู่ในพื้นที่ต่างจังหวัด จึงทำให้ทั้งสองแนวทางนี้ยังไม่ใช่แนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหาและจัดการของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม [3], [4]

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ พบว่า ในปัจจุบันของเสียหรือของเหลือใช้ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีเป็นจำนวนมาก และบางประเภทนั้นไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือทำประโยชน์อื่น ๆ ได้มากเท่าที่ควร จึงทำให้ประเทศไทยในอดีตจนถึงปัจจุบันปีพ.ศ. 2559 นี้มีของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และยังไม่มีแนวทางรวมถึงวิธีการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์หรือเพิ่มมูลค่าให้กับตัววัสดุเหลือใช้ดังกล่าวได้มากเท่าที่ควร

ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะทำการศึกษาแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้ในภาคอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ รวมถึงเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบหรือวัสดุดังกล่าวให้มากขึ้น [5] โดยแนวทางที่ผู้วิจัยจะนำมาใช้ในการศึกษาและวิจัย คือ การทดลองในเรื่องของวัสดุผสม คือ ประเภทของกลุ่มวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต โดยจะมีเนื้อพื้นหลักเป็นวัสดุกลุ่มเซรามิกส์และซีเมนต์ และมีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยธรรมชาติ [6] ผู้วิจัยจึงต้องการนำแนวทางดังกล่าวนี้มาใช้ในการพัฒนาและเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ให้มากขึ้น โดยนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมถึงมีการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนให้มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตดังกล่าวด้วยส่วนหนึ่งในลำดับต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

1.2.2 เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

1.2 สมมติฐานการวิจัย

การนำวัสดุเหลือใช้จากภาคอุตสาหกรรมเซรามิกส์มาทดลองผสมกับซีเมนต์และเส้นใยธรรมชาติในกระบวนการขึ้นรูปต่างๆ เพื่อให้เกิดเป็นวัสดุผสมประเภทเซรามิกส์คอมโพสิต ช่วยลดปริมาณของเสียและสามารถเพิ่มแนวทางในการนำมาใช้ประโยชน์ได้ดี

2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ และเพื่อนำกระบวนการใช้ประโยชน์ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทต่างๆ โดยวัสดุหลักที่นำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ กลุ่มวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ คือ เศษกระเบื้องเซรามิกส์หลังเผา และกลุ่มที่มีเส้นใยธรรมชาติเป็นส่วนเสริมแรงในตัวของวัสดุ ได้แก่ เส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว โดยทั้งสองกลุ่มนี้จะมีการใช้วัสดุประสานเพื่อช่วยในการยึดเกาะและขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่างๆ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง นอกจากนี้ยังเหมาะสมสำหรับงานผลิตภัณฑ์คอนกรีต เช่น ฐานราก เสา คาน พื้น ซึ่งผู้วิจัยได้นำวัสดุดังกล่าวมาทดลองขึ้นรูปด้วยกระบวนการรูปแบบต่างๆ โดยใช้หลักการหาอัตราส่วนผสมแบบตาราง Line blend percentages

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการการศึกษาวัสดุและดูแนวโน้มผลลัพธ์จากกระบวนการขึ้นรูป รวมถึงเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกล โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเซรามิกส์ [7], [8] พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่เป็นเซรามิกส์มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์เซรามิกส์และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีเซรามิกส์เป็นองค์ประกอบ เช่น มีผลทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความแข็งแรง ทนความร้อน และสามารถทนต่อการสึกหรอจากสารเคมีหรือสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ดี

ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงทำการส่งตัวอย่างวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ไปทดสอบการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพของวัสดุ ด้วยเทคนิค XRF (X-Ray Fluorescence) โดยผลการวิเคราะห์มีดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์

Element	Compound	Concentration (%)	Element	Compound	Concentration (%)
Si	SiO_2	67.20	Mg	MgO	0.75
Al	Al_2O_3	21.25	Mn	MnO	0.08
Fe	Fe_2O_3	5.71	P	P_2O_5	0.06
K	K_2O	2.07	Rb	Rb_2O	0.03
Na	Na_2O	0.71	Zr	ZrO_2	0.03
Ti	TiO_2	0.85	S	SO_3	0.05
Ba	BaO	0.56	Cr	Cr_2O_3	0.02
Ca	CaO	0.64	-	-	-

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ดังแสดงในตารางที่ 1) วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประกอบไปด้วยธาตุหลัก ๆ อยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) โดยมีร้อยละ 67.20 และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) มีร้อยละ 21.25 โดยซิลิกาออกไซด์มีคุณสมบัติเด่นในการช่วยเสริมโครงสร้างให้วัสดุมีความแข็งแรง สามารถยึดเกาะกันได้ดี ส่วนอลูมิเนียมออกไซด์มีคุณสมบัติเด่นในการเพิ่มความแข็งแกร่ง สามารถทนความร้อนและรอยขีดข่วนได้ดี ดังนั้นจะเห็นว่าวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่มีซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) เป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณที่มากนั้น เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวัสดุอื่นจะส่งผลให้วัสดุผสมที่เกิดขึ้นใหม่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านของความแข็งแรง แกร่ง รวมถึงยังสามารถทนความร้อนและรอยขีดข่วนได้ดี เพราะฉะนั้นวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์จึงสามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยและทดลองเกี่ยวกับกระบวนการใช้ประโยชน์หรือขึ้นรูปในแบบต่าง ๆ ได้

2.2 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์

ความละเอียดหรือขนาดอนุภาคของวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์นั้น มีผลต่อคุณสมบัติโดยรวมของวัสดุผสมหรือวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต โดยขนาดหรืออนุภาคของวัสดุหลักที่อยู่ภายในจะส่งผลต่อการยึดเกาะ การผสานกันระหว่างวัสดุระหว่าง 2-3 ชนิด รวมถึงยังส่งผลถึงความแข็งแรง และความแกร่งของวัสดุผสมดังกล่าวเป็นอย่างมาก [6], [7], [8] เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์เบื้องต้นนั้นมีลักษณะที่ยังไม่สามารถนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการบดย่อยให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกันก่อนที่จะนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยในลำดับต่อไป

โดยขนาดอนุภาคโดยรวมหลังจากผ่านกระบวนการบดย่อยแล้วนั้น พบว่าวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ดังกล่าวมีความละเอียดหรือมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ มีอนุภาคขนาดเล็ก (มีปริมาณร้อยละ 90 ของวัสดุหลังทำการบดทั้งหมด) และอนุภาคขนาดใหญ่ (มีปริมาณร้อยละ 10 ของวัสดุหลังทำการบดทั้งหมด) จากขนาดอนุภาควัสดุทั้ง 2 สรุปได้ ดังนี้

1. วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ขนาดเล็ก โดยมีขนาดอนุภาค 11.65 ไมครอน : วิธีทดสอบ คือ ทำการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2.36 มิลลิเมตร (ตามมาตรฐาน มอก. 566-2528) [9] ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กจะผ่านตะแกรงทั้งหมด และเนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีความละเอียดมาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการส่งตัวอย่างวัสดุเพื่อทดสอบหาค่าความละเอียด โดยวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาควัสดุ (Particle Size Distribution) โดยใช้เทคนิค Laser diffraction ด้วยเครื่อง Mastersizer-2000 [7]
2. วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ขนาดใหญ่ โดยมีขนาดอนุภาค 1-3 มิลลิเมตร วิธีทดสอบ คือ ทำการร่อนผ่านขนาด 2.36 มิลลิเมตร (ตามมาตรฐาน มอก. 566-2528) [9] ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่จะค้างไม่ผ่านตะแกรง จากนั้นจึงใช้เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ (Vernier caliper) ในการวัดขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยรวมของวัสดุดังกล่าว

2.3 การศึกษาและทดลองกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสมหรือวัสดุคอมโพสิต (Composite material) ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะงาน โดยไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยการผสมของวัสดุจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะแยกกันเป็นเฟสที่เห็นได้อย่างเด่นชัด [6] โดยจะมีการแบ่งออกเป็น 2 เฟส คือ เฟสที่ 1 เรียกว่า ส่วนเมตริกซ์ หรือ เนื้อพื้น (Matrix phase) คือ องค์ประกอบหลักเป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง และเมตริกซ์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ พอลิเมอร์ โลหะ และเซรามิกส์ เป็นต้น และเฟสที่ 2 เรียกว่า ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) คือ เป็นส่วนที่ทำให้วัสดุผสมมีความแข็งแรง เป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นแผ่นอนุภาคเล็ก ๆ หรือเส้นใย โดยวัสดุเสริมแรงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ เส้นใยแก้ว หรือเส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น

ซึ่งในปัจจุบันวัสดุคอมโพสิท แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ พอลิเมอร์คอมโพสิต (PMCs) เซรามิกส์คอมโพสิต (CMCs) และเมทัลคอมโพสิต (MMCs) โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะในส่วนของเซรามิกส์คอมโพสิต (Ceramic Matrix Composites) เนื่องจากทฤษฎีดังกล่าวมีความสอดคล้องกับวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ คือ เป็นหลักการสร้างวัสดุคอมโพสิตที่มีเซรามิกส์ แก้ว หรือซีเมนต์เป็นเนื้อพื้น และมีส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยแก้ว หรือ เส้นใยธรรมชาติ เป็นองค์ประกอบในตัววัสดุ

ซึ่งจากการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและทดลองนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์มาเข้าสู่กระบวนการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ ทั้งหมด 5 กระบวนการ (ดังแสดงในตารางที่ 2) ได้แก่ กระบวนการที่ 1 คือ กระบวนการขึ้นรูปซีเมนต์เพลส โดยมีซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับผงเซรามิกส์ [6] กระบวนการที่ 2 คือ กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์คอมโพสิต โดยมีซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับผงเซรามิกส์ เส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว [10], [11] กระบวนการที่ 3 คือ กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน โดยมีซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับผงเซรามิกส์ (อนุภาคขนาดเล็ก) [6] กระบวนการที่ 4 คือ กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน โดยมีซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับผงเซรามิกส์ (อนุภาคขนาดใหญ่) [6] กระบวนการที่ 5 คือ กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน โดยมีซีเมนต์เป็นวัสดุประสานผสมกับผงเซรามิกส์ เส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว [10], [11]

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ ทั้งหมด 5 กระบวนการ

กระบวนการใช้ประโยชน์	อัตราส่วนผสมวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต แบบ Line blend percentages (%) (วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ : ซีเมนต์ : เส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว)									
รูปแบบ / สูตรที่	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7	สูตรที่ 8	สูตรที่ 9	น้ำ (%)
กระบวนการที่ 1	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	30
กระบวนการที่ 2	10:90:5	20:80:5	30:70:5	40:60:5	50:50:5	60:40:5	70:30:5	80:20:5	90:10:5	30
กระบวนการที่ 3	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	15
กระบวนการที่ 4	10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30	80:20	90:10	15
กระบวนการที่ 5	10:90:5	20:80:5	30:70:5	40:60:5	50:50:5	60:40:5	70:30:5	80:20:5	90:10:5	15

2.4 การวิเคราะห์กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่นำมาใช้ออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชน

จากที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตแล้ว กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนนั้น ในกระบวนการขึ้นรูปบางกระบวนการสามารถนำมาใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแบ่งประเภทของผลิตภัณฑ์ตามลักษณะที่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) โดยมีผลิตภัณฑ์ที่มีความสอดคล้องกับชุมชุนอยู่ทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ ผลิตภัณฑ์กระถาง ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้น ผลิตภัณฑ์อิฐบล็อก และผลิตภัณฑ์ของตกแต่ง [12]

ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลผลิตภัณฑ์ชุมชนในประเภทต่าง ๆ แล้ว ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกับกระบวนการขึ้นรูป กระบวนการที่ 1-5 ในส่วนของวัสดุและกระบวนการผลิต จึงทำให้กระบวนการใช้ประโยชน์รูปแบบดังกล่าวที่มีวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์และซีเมนต์เป็นส่วนผสมหลัก สามารถนำมาใช้ในการผลิตและออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนได้อย่างเหมาะสม

จากการวิเคราะห์กระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการสรุปผลการวิเคราะห์ทางกายภาพและคัดเลือกกระบวนการขึ้นรูปที่เหมาะสมและมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ชุมชนไว้ทั้งหมด 5 กระบวนการ ดังนี้

1) กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปซีเมนต์เพลส (ใช้เศษกระเบื้องเซรามิกส์อนุภาคขนาดเล็ก) โดยวัสดุที่ได้มีลักษณะทึบ ตัน และมีผิวเรียบ โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์กระถาง แผ่นปูพื้น และของตกแต่ง

2) กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการที่ 2 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์คอมโพสิต โดยวัสดุที่ได้มีลักษณะทึบ ตัน มีผิวขรุขระเล็กน้อย และมีน้ำหนักเบา โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทกระถาง แผ่นปูพื้น และของตกแต่ง

3) กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการที่ 3 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ใช้เศษกระเบื้องเซรามิกส์อนุภาคขนาดเล็ก) โดยวัสดุที่ได้มีลักษณะโปร่ง มีรูพรุนขนาดเล็ก และมีผิวขรุขระ โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นปูพื้นและอิฐบล็อก

4) กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการที่ 4 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ใช้เศษกระเบื้องเซรามิกส์อนุภาคขนาดใหญ่) โดยวัสดุที่ได้มีลักษณะโปร่ง มีรูพรุนขนาดใหญ่ และมีผิวขรุขระ โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่นปูพื้นและอิฐบล็อก

5) กระบวนการขึ้นรูป กระบวนการที่ 5 กระบวนการขึ้นรูปเซรามิกส์พรุน (ใช้ผงเซรามิกส์อนุภาคขนาดเล็กร่วมกับเส้นใยมะพร้าวและขุยมะพร้าว) โดยวัสดุที่ได้มีลักษณะโปร่ง มีรูพรุนขนาดเล็ก ผิวขรุขระ และมีน้ำหนักเบา โดยมีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ประเภทกระถาง แผ่นปูพื้น และอิฐบล็อก

3. ผลการวิจัย

จากผลการทดลองการนำวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์มาขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปทั้งหมด 5 กระบวนการ ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองในกระบวนการต่าง ๆ เป็นรายสูตร (ดังแสดงในตารางที่ 3) เพื่อใช้ในการพิจารณาและประเมินผลในด้านคุณสมบัติทางกายภาพในส่วนของสี น้ำหนัก และพื้นผิว เพื่อใช้ในการคัดเลือกสูตรการทดลองที่มีคุณสมบัติที่ดี มีความเหมาะสม และสามารถนำมาต่อยอดในการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้งานจริงได้ในลำดับต่อไป

3.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต จากกระบวนการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์

จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต ผู้วิจัยจึงทำการเตรียมชิ้นตัวอย่างวัสดุสูตรที่มีความเหมาะสม เพื่อส่งทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดในแต่ละสูตร [6] โดยผลจากการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงกลมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต จากกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 5 กระบวนการ

กระบวนการใช้ประโยชน์	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตในแต่ละสูตร (เมกะปาสคาล)								
	Cement paste	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	สูตรที่ 7	สูตรที่ 8
กระบวนการที่ 1	69.08	64.82	58.05	37.68	33.33	27.27	20.17	-	-
กระบวนการที่ 2	69.08	33.09	27.54	25.85	23.11	21.45	-	-	-
กระบวนการที่ 3	69.08	70.21	67.39	67.18	65.54	62.26	60.24	57.61	37.07
กระบวนการที่ 4	69.08	-	-	-	-	78.07	59.96	36.88	16.15
กระบวนการที่ 5	69.08	43.96	36.37	35.67	28.55	26.83	18.41	-	-

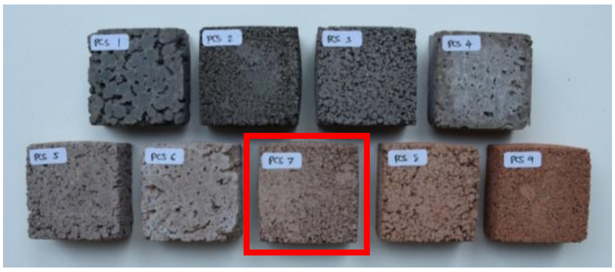
3.2 การวิเคราะห์วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่สามารถนำมาใช้ออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชน

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลในส่วนของกำลังรับแรงอัดวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตในแต่ละกระบวนการใช้ประโยชน์ มีกระบวนการใช้ประโยชน์ที่ผ่านการทดสอบและมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ทั้งหมด 5 กระบวนการ (ดังแสดงในตารางที่ 3) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำมาเข้าสู่กระบวนการประเมินรูปแบบคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุจากผู้เชี่ยวชาญด้านวัสดุศาสตร์จำนวน 3 ท่าน และจากการเปรียบเทียบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมในผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆ พบว่า มีกระบวนการใช้ประโยชน์ที่ผ่านการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญอยู่ทั้งหมด 3 กระบวนการ ได้แก่ 1) กระบวนการที่ 1 สูตรที่เหมาะสม คือ CW2 โดยผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สอดคล้อง ได้แก่ กระเบื้องหินขัดและแผ่นปูพื้น 2) กระบวนการที่ 3 สูตรที่เหมาะสม คือ PCS7 โดยผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สอดคล้อง ได้แก่ แผ่นปูพื้น และ 3) กระบวนการที่ 4 สูตรที่เหมาะสม คือ PCL6 โดยผลิตภัณฑ์ชุมชนที่สอดคล้อง ได้แก่ แผ่นปูพื้น

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่ากระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 3 กระบวนการนั้น มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน คือ 58.05, 57.61 และ 59.9 เมกะปาสคาล ซึ่งบ่งบอกได้ว่ามีคุณสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน รวมถึงยังมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ แต่เนื่องจากผลการประเมินกระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ พบว่า ผลการประเมินกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1, 3 และ 4 มีความแตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญ คือ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 1 มีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.28, S.D. = 0.63) และกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 และ 4 มีผลการประเมินโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.56, 4.56 และมีค่า S.D. = 0.58, 0.41) ตามลำดับ โดยเมื่อทำการวิเคราะห์รายด้านเพิ่มเติม พบว่า ในด้านของวัสดุและด้านการนำไปใช้ประโยชน์นั้นมีความแตกต่างกันแบบมีนัยสำคัญเช่นกัน คือ ส่วนของผลการประเมินด้านวัสดุ กระบวนการที่ 3 และ 4 มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.56, 4.56 และมีค่า S.D. = 0.58, 0.48) ตามลำดับ และกระบวนการที่ 1 มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 3.94, S.D. = 0.77) และในส่วนของผลการประเมินด้านการนำไปใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 4 และ 3 มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด ($\overline{x}$ = 4.84, 4.67 และมีค่า S.D. = 0.29, 0.58) ตามลำดับ และกระบวนการที่ 1 มีความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก ($\overline{x}$ = 4.33, S.D. = 0.58)

จากผลการวิเคราะห์การประเมินวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต จากกระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 3 กระบวนการ สามารถสรุปได้ว่ากระบวนการใช้ประโยชน์ที่มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ได้แก่ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 และ 4 และจากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นรวมถึงผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 2.2 เกี่ยวกับขนาดอนุภาคของวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์นั้น พบว่า วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์หลังทำการบดย่อยมีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ อนุภาคขนาดเล็ก มีขนาด 11.65 ไมครอน และมีในปริมาณที่มาก (ประมาณร้อยละ 90) และอนุภาคขนาดใหญ่ มีขนาด 1-3 มิลลิเมตร มีปริมาณที่น้อย (ประมาณร้อยละ 10) จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่นำมาใช้ในกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 (อนุภาคขนาดเล็ก) นั้น มีปริมาณมากกว่าวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ที่นำมาใช้ในกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 4 (อนุภาคขนาดใหญ่) ถึงร้อยละ 90 ส่งผลให้เมื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตในชุมชนระยะยาว กระบวนการใช้ประโยชน์ รูปแบบที่ 4 อาจจะไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์ชุมชน เนื่องจากมีปริมาณน้อยและไม่คุ้มค่าในการผลิตเป็นจำนวนมาก [7], [8]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 มีความเหมาะสมมากที่สุดทั้งในด้านการนำมาออกแบบผลิตภัณฑ์และด้านการนำมาผลิตในเชิงอุตสาหกรรมชุมชน ซึ่งวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวนอกจากมีความแข็งแรงและทนทานแล้ว ยังมีสีสันและลักษณะพื้นผิวที่แปลกใหม่น่าสนใจ รวมถึงยังมีราคาต้นทุนที่ต่ำและมีปริมาณมากในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ ซึ่งสูตรวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่เหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ คือ สูตร PCS7 (ดังแสดงในรูปที่ 1) นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ชุมชนที่มีความสอดคล้องและเหมาะสมในการนำมาออกแบบ คือ แผ่นปูพื้น



รูปที่ 1 ชิ้นงานตัวอย่างกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 และแสดงลักษณะของสี พื้นผิวและความพรุนตัว สูตร PCS7

3.3 การวิเคราะห์การออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชนจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

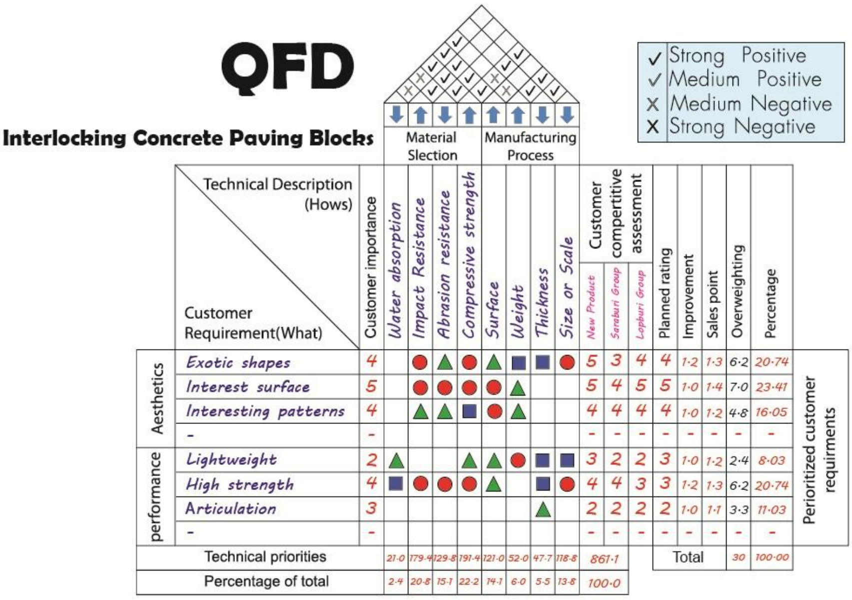
จากการสำรวจข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิเบื้องต้น พบว่า แผ่นปูพื้นจะมีการแบ่งเป็น 3 ประเภท ตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ได้แก่ กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น และคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยมีความสอดคล้องกับวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต [6] จากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 เป็นอย่างมาก โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลรายละเอียดเกี่ยวกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ลำดับ	มาตรฐานที่	ชื่อมาตรฐาน	รูปแบบใช้งาน	วัตถุดิบที่ใช้	วิธีการขึ้นรูป
1	378-2531	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น	ใช้ปูพื้น	1. ซีเมนต์ 2. ทราย 3. หิน	การหล่อแบบ
2	826-2531	กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น	ใช้ปูพื้น	1. ซีเมนต์ 2. มวลละเอียด	การหล่อแบบ
3	827-2531	คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	ใช้ปูพื้น	1. ซีเมนต์ 2. ทราย 3. หิน	การอัดแบบ

จากตารางจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ประเภท มีรูปแบบการใช้งานที่เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในส่วนของวัตถุดิบและในส่วนของวิธีการขึ้นรูป ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้น (ดังแสดงในตารางที่ 4) พบว่า ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีความสอดคล้องและเหมาะสมกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 มากที่สุด คือ มีวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการอัดแบบเช่นเดียวกัน และมีการใช้น้ำในอัตราส่วนที่น้อย รวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ต้องการคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและมีกำลังรับแรงอัดที่สูง

ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจากเอกสารและแหล่งชุมชน [12], [13] พบว่า ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานในปัจจุบันนั้น กลุ่มเป้าหมายจะมีความต้องการและให้ความสำคัญต่อปัจจัยต่าง ๆ ในการตัดสินใจเลือกซื้อ คือ ต้องการให้มีรูปทรงแปลกใหม่น่าสนใจ มีพื้นผิว สีสัน และมีลวดลายน่าสนใจ และต้องการให้มีน้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง และมีการเชื่อมต่อกันระหว่างชิ้นงานได้สนิท และจากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคหลักการแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment) โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2 แสดงการวิเคราะห์การแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

จากข้อมูลการวิเคราะห์เทคนิคหลักการแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพ (ดังแสดงในรูปที่ 2) ผู้วิจัยได้จัดลำดับความสำคัญตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมายหรือ VOC (Voice of the Customer) และจากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถนำมาปรับปรุง แก้ปัญหา และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ โดยมีการจัดลำดับความสำคัญ คือ 1) พัฒนาให้มีรูปทรงที่แปลกใหม่ 2) พัฒนาให้มีพื้นผิวและสีสันน่าสนใจ และ 3) พัฒนาให้มีลวดลายน่าสนใจและมีความแข็งแรงสูง

จากตารางข้างต้นความต้องการของผู้บริโภคที่ผู้วิจัยได้เลือกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความต้องการให้มีรูปทรงที่แปลกใหม่ และได้เลือกหัวข้อนี้มาใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยกำหนดให้มีการนำวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต จากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 มาใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ คือ วัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่นำมาใช้นั้นจะมีความพรุนตัวและให้ลักษณะพื้นผิวที่แปลกใหม่น่าสนใจ รวมถึงมีสีสันที่ให้ดูเป็นธรรมชาติมากยิ่งขึ้น

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์

ผลการศึกษาวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์ จากการนำวัสดุไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางเคมี พบว่า วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ประกอบไปด้วยธาตุหลัก ๆ อยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) โดยมีร้อยละ 67.20 และอลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) มีร้อยละ 21.25 ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของวัสดุในปริมาณมาก เมื่อนำมาใช้ร่วมกับวัสดุอื่นจะส่งผลให้วัสดุผสมที่เกิดขึ้นใหม่มีคุณสมบัติที่ดีในด้านของความแข็งแรง สามารถทนความร้อนและรอยขีดข่วนได้ดี

สำหรับขนาดอนุภาคของวัสดุโดยรวม พบว่า วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์มีขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันอยู่ 2 ลักษณะ คือ มีขนาดอนุภาค 11.65 ไมครอน (มีปริมาณร้อยละ 90) และมีขนาดอนุภาค 1-3 มิลลิเมตร (มีปริมาณร้อยละ 10) ซึ่งวัสดุดังกล่าว แสดงให้เห็นว่าขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันนี้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้มีคุณสมบัติที่น่าสนใจและเกิดเป็นรูปแบบวัสดุใหม่ได้อย่างดี

4.2 ผลการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์ที่มีความสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ชุมชน

ผลการศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ เมื่อนำวัสดุมาเข้าสู่กระบวนการใช้ประโยชน์ทั้ง 5 กระบวนการ กระบวนการที่สามารถนำมาใช้ร่วมกับวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์และมีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสม รวมถึงมีลักษณะทางกายภาพ เช่น สีสันและพื้นผิวที่น่าสนใจ ได้แก่ กระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 โดยสูตรที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและมีต้นทุนในการผลิตต่ำ คือ สูตร PCS7 โดยมีค่ากำลังรับแรงอัด 57.61 เมกะปาสคาล มีต้นทุนวัสดุอยู่ที่ 0.66 บาทต่อกิโลกรัม

ซึ่งจากการวิเคราะห์ข้อมูลมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นที่มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 มากที่สุด คือ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการอัดแบบเช่นเดียวกัน และมีการใช้น้ำในอัตราส่วนที่น้อย รวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติเชิงกลที่ดีและมีกำลังรับแรงอัดที่สูง จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด

4.3 ผลการศึกษาแนวทางการแก้ปัญหา เพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชน

ผลการศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ชุมชน พบว่า เมื่อทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น จากแหล่งชุมชน พบว่า ในปัจจุบันกลุ่มเป้าหมายมีความต้องการในการตัดสินใจเลือกซื้อหรือใช้งานผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ต้องการให้มีรูปทรงแปลกใหม่ มีพื้นผิว สีสันและลวดลายน่าสนใจ รวมถึงมีความแข็งแรงสูง ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิคหลักการแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพ (QFD) เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามวัตถุประสงค์และตามความต้องการของกลุ่มเป้าหมายได้ในลำดับต่อไป

จากผลการวิเคราะห์วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ รวมถึงกระบวนการใช้ประโยชน์ และการสรุปแนวทางการแก้ปัญหาผลิตภัณฑ์ชุมชนดังกล่าวข้างต้นจะเห็นว่า วัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิกส์หรือเซรามิกส์คอมโพสิต จากกระบวนการใช้ประโยชน์ กระบวนการที่ 3 สูตร PCS7 มีความสอดคล้องและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ชุมชนประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้อย่างดี

5. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีการใช้วัสดุที่หลากหลาย อาทิ วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ เส้นใยและขุยมะพร้าว ซึ่งวัสดุแต่ละชนิดดังกล่าวให้คุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกล รวมถึงมีการใช้งาน และมีคุณภาพที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมดังนี้

1) วัสดุเหลือใช้เซรามิกส์ คือ กรณีที่มีการนำวัสดุเหลือใช้เซรามิกส์กลุ่มอื่น ๆ มาใช้ในการศึกษาอาจส่งผลให้เกิดวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิตที่มีรูปแบบและคุณสมบัติต่าง ๆ ที่น่าสนใจ และอาจนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ ได้

2) เส้นใยและขุยมะพร้าว คือ การศึกษากระบวนการใช้ประโยชน์ จะใช้เพื่อช่วยเป็นตัวเสริมแรงให้กับวัสดุเซรามิกส์คอมโพสิต กรณีนี้สามารถนำวัสดุอื่น ๆ มาใช้เสริมแรงแทนเส้นใยและขุยมะพร้าวได้ เช่น เส้นใยปาล์ม เส้นใยสับปะรด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] The Industrial Environment Institute, The Federation of Thai Industries. 2007. **Situation and Industrial Waste Management**. Bangkok: The Federation of Thai Industries.

[2] The Center of Excellence for Environmental and Hazardous Waste Management (EHWM). 2012. **Accounts of Waste as a source Renewable Resources**. Bangkok: Chulalongkorn University.

[3] Industrial Waste Management Bureau, Department of Industrial Works. 2012. **Manual with 3Rs of Waste Management Factory within Years Two**. Bangkok: Department of Industrial Works.

[4] Department of Industrial Works. 2015. **Waste Management Industry**. Bangkok: Ministry of Industry.

[5] Industrial Waste Management Bureau, Department of Industrial Works. 2013. **The Rules Properties of Waste Suitable for Utilization an Industrial Scale**. Bangkok: Ministry of Industry.

[6] Wangniwetkul, K. 2015. **Engineering Materials**. Bangkok: Print fatory Rungsaengkanpim.

[7] Pimkhaokham, P. 2004. **Ceramics**. 5th ed. Bangkok: Chulalongkorn University.

[8] Thiamsorn, W. 2012. **Ceramics for Construction and Ceramic for Techniques**. Bangkok: Odeon Store.

[9] Thai Industrial Standards Institute (TISI). 2000. **Standard for Concrete Aggregates**. Bangkok: Ministry of Industry.

[10] Buasri, K. 2011. **Development Tile Roof Cement Board Mixes Coconut Fibers and Bagasse Fibers**. Kanchanaburi: Polytechnic Kanchanaburi.

[11] Lertwattanaruk, P. 2012. **Properties of Natural Fiber Cement Materials Containing Coconut Coir and Oil Palm Fibers for Manufacture of Building Materials**. Pathum Thani: Thammasat University.

[12] Sujarid, C. 1997. **Construction Materials for Architecture**. Bangkok: Chulalongkorn University Book Center.

[13] Nanchai, B., Louhapensang, C. & Saribut, U. 2015. Study and Development from local wisdom of baan Tawai village Chiang Mai. **Journal of Industrial Education**, 14(1), p.116-120.