

คุณลักษณะกระเบื้องเซรามิกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมร่วมกับเถ้าไยปาล์มน้ำมัน Characterization of Ceramic Tile Fabricated from Basalt Quarry Dust Incorporated with Oil Palm Fiber Ash

دننطن دننطن^{1*} วรรณรัตน์ แก้วสมบุญ² และ สุชาติ จันทรมณี³
Danupon Tonnayopas^{1*}, Waranrat Kaewsomboon² and Suchart Chantaramanee³

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เน้นถึงความเป็นไปได้ในการนำผงหินบะซอลต์เหมือนหินกลับมาใช้ใหม่ผสมกับเถ้าไยปาล์มน้ำมัน บดทำเป็นกระเบื้องเซรามิก ได้วิเคราะห์ทางเคมีและวิทยาแร่ด้วยเทคนิคการเรืองแสงรังสีเอกซ์และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ตามลำดับ ยังได้ศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกระเบื้องที่เลือก แผ่นตัวอย่างปิ้งขึ้นจากสี่ตำรับ แต่ละตำรับประกอบด้วยเถ้าไยปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 30 อุณหภูมิเผาที่ 1100, 1180 และ 1200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 5 องศาเซลเซียสต่อนาที และคงไว้ 30 นาที ได้วิเคราะห์สมบัติงานเผาได้แก่ ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ การหดตัวหลังเผา น้ำหนักสูญหาย ความแข็ง กำลังคัด และความสวยรูปแผ่น สมบัติ หลังเผาของแผ่นตัวอย่าง ได้แก่ การดูดซึมน้ำและกำลังคัดได้ตามเกณฑ์มาตรฐานไทย (มอก. 37-2529) นอกจากนี้ผล วิเคราะห์จุลภาคโครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบแอนไฮไดรต์ คริสโทบาไลต์ ควอตซ์ อะเคอร์มาไนต์ โวลลาสโทไนต์ และไดออปไซด์ ผลการศึกษาระบุว่าตำรับหินฝุ่นบะซอลต์ร้อยละ 80-70 ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันร้อยละ 20-30 เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส แสดงสมบัติเซรามิกเหมาะสมที่สุดอยู่ในเกณฑ์ มอก. สำหรับการทำกระเบื้องปูพื้น

คำสำคัญ : หินฝุ่นบะซอลต์ เถ้าไยปาล์มน้ำมัน ของเสียอุตสาหกรรม กระเบื้องเซรามิก กำลังคัด

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

² นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

³ วิศวกร ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

* Corresponding author: โทรศัพท์/โทรสาร 074-212897 E-mail: danupon.t@psu.ac.th

Abstract

The investigation focused on the recycling feasibility of basalt quarry dust (BQD) combined with ground oil palm fiber ash (GOPFA) and ceramic tiles making. Chemical and mineralogical analyses were carried out using X-ray fluorescence and X-ray diffraction (XRD) techniques, respectively. Ceramic tile bodies were made from four suggested batches. The contained GOPFA were increased from 0 to 30%. Firing temperatures were selected at 1100, 1180 and 1200 °C with heating rate of 5 °C/min and soaking for 30 min. The bulk density, water absorption, firing shrinkage, weight loss, micro hardness, flexural strength and aesthetical properties were analyzed. The fired specimens were characterized with respect to the Thai standard specification (TIS 37-1986) on water absorption and flexural strength. Furthermore, the phases characterization by XRD were found the anhydrite, cristobalite, quartz, akermanite, wollastonite and diopside phases. The result of study indicated that the batch containing 80-70% BQD and 20-30% GOPFA fired at 1200 °C exhibited the most satisfying ceramic properties that meet the TIS requirements for making floor tiles.

Keywords : Basalt Quarry Dust, Oil Palm Fiber Ash, Industrial Wastes, Ceramic Tile, Flexural Strength

คำนำ

หินบะซอลต์เป็นหินอัคนีพุเนื้อละเอียด ส่วนมากมีสีเทาถึงดำ น้ำตาลแกมแดง ม่วงปนดำ เกิดจากหินหนืดขึ้นมาเย็นตัวบนพื้นโลกโดยอาศัยรอยแตกของเปลือกโลกหรือปล่องภูเขาไฟ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรดาเกาะในมหาสมุทรและส่วนประกอบทั่วไปในภาคพื้นทวีปเช่นกัน [1] องค์ประกอบทางเคมีออกไซด์ที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา เหล็ก แคลไซต์ แมกนีไซต์และที่สำคัญรองลงมา ได้แก่ โซดา โพแทสเซียม ไททานียม และแมงกานีสและฟอสฟอรัส หรือพิจารณาชนิดแร่ปริมาณชนิดต่างๆ ได้แก่ เฟลด์สปาร์ แพลจิโอเคลสและไพรอกซีน ปกติแร่ออบไซด์ (augite) เป็นแร่สำคัญอันดับรอง บางครั้งมักปรากฏว่ามีแมกนีไทต์ โอลิวีน (olivine) และแร่รองชนิดอื่นๆ ปนอยู่ด้วย [2] หินบะซอลต์ในประเทศไทยพบเป็นหินต้นกำเนิดแร่พลอยในจังหวัดกาญจนบุรี แพร่ ลำปาง ศรีสะเกษ จันทบุรีและตราด ส่วนหินบะซอลต์ไม่ให้พลอยพบในจังหวัดเชียงราย ลำปาง เพชรบูรณ์ ลพบุรี นครราชสีมา ชลบุรี สระบุรี อุทัยธานี บุรีรัมย์ อุบลราชธานี และสุรินทร์ ในลักษณะภูเขาไฟดับสนิทแล้ว หินบะซอลต์แยกออกสองกลุ่มใหญ่คือ กึ่งแอลคาไล

และแอลคาไล กลุ่มแรกประกอบด้วยหินบะซอลต์ปนโทไลต์และหินบะซอลต์แคลก์-แอลคาไล (tholeiitic and calc-alkaline basalts) ส่วนกลุ่มที่สองคือ หินบะซอลต์แอลคาไลและหินบะซอลต์แอลคาไล-โอลิวีน จวบถึงปัจจุบันหินก่อสร้างส่วนมากใช้หินบะซอลต์ปนโทไลต์หรือหินไดอะเบส (diabase) เนื่องจากมีความหนืดสูงกว่า จึงมีลักษณะแนวโน้มลดการตกผลึกตามธรรมชาติ ในอีกด้านหนึ่งหินบะซอลต์แอลคาไลมีความหนืดต่ำเหมาะสมกับการผลิตวัสดุเซรามิกอบผนึกและแก้วเซรามิก ส่วนใหญ่นำหินมาใช้งานก่อสร้าง โดยคัดหินบะซอลต์เนื้อโพรงข่าย (vesicular basalt) และตะกรันภูเขาไฟ (scoria) ออก อุตสาหกรรมการผลิตหินเพื่อการก่อสร้างชนิดนี้มีมากในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ซึ่งขาดแคลนหินก่อสร้างชนิดอื่น ประเทศไทยมีปริมาณแหล่งหินบะซอลต์สำรองพิสูจน์ (proven reserve) 152.8 ล้านตัน และมีแหล่งหินศักยภาพ (potential reserve) 42252.8 ล้านตัน [3] การไม่หินบะซอลต์ทำให้ได้มวลรวมขนาดต่างๆสำหรับงานก่อสร้างโดยเฉพาะมวลรวมละเอียดที่ปนกับหินฝุ่นส่วนบนเหลือคงเหลืออยู่มาก เนื่องจากมีปริมาณการใช้น้อย ที่เรียกว่า หินเกล็ดและหินฝุ่น (quarry

dust) หินเกล็ดมีขนาดประมาณ 5-10 มม. ในขณะที่หินฝุ่นมีขนาดเล็กตั้งแต่ 5 มม. ลงมา ก่อนหน้านี้ได้มีการศึกษานำหินผงเหลือมาใช้ประโยชน์หลายประการ อาทิ เช่น ปูนยัดดินฤทธิ์เป็นกรด การผลิตอิฐและกระเบื้องเซรามิก [4,5,6,7] และในการผลิตเซรามิกแก้ว [8,9,10]

ในอีกด้านหนึ่งนโยบายรัฐบาลตั้งเป้าว่าจะขยายการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ทางภาคใต้ที่มี 2 ลักษณะคือ พื้นที่สวนยางเก่าที่ไร้ประสิทธิภาพ ดันยางแก่แล้วให้น้ำน้อย เปลี่ยนมาปลูกปาล์มและพื้นที่นา รวมทั้งพื้นที่อื่นๆ ที่จะบุกเบิกใหม่ ซึ่งที่ผ่านมาก็มีการเปลี่ยนที่นา มาปลูกยางพาราอยู่แล้ว ทิศทางการใช้ที่ดินจะเปลี่ยนจากสวนยางพารามาปลูกปาล์มน้ำมันมากขึ้น เพราะราคาปาล์มน้ำมันผลคุ้มค่าเทียบเท่าราคายางพารา ที่ผ่านมาพื้นที่เป้าหมายปลูกปาล์มน้ำมัน ได้แก่ จังหวัดกระบี่และจังหวัดชุมพร รัฐบาลประกาศตั้งเป้าหมายขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันไว้ว่าในปี พ.ศ. 2555 จะขยายพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันอีก 4 ล้านไร่ ถึงจะมีพื้นที่น้ำมันพอทั้งในแง่การนำมาใช้ในการอุตสาหกรรมเพื่อการบริโภคและเพื่อการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งในปี พ.ศ. 2550 มีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันประมาณ 2.2-2.9 ล้านไร่ ต่อมามีการขยายพื้นที่เพิ่มอีกประมาณ 4-5 แสนไร่ เท่านั้น ดังนั้นย่อมหมายถึงว่าจะมีปริมาณเกือออกมหาศาลจากการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมดังกล่าว ดังนั้นการหาหนทางทางการกำจัดก็จะช่วยบรรเทาสิ่งแวดล้อมประเทศและหนทางดีที่สุดคือ การนำเอามาใช้ให้เกิดประโยชน์

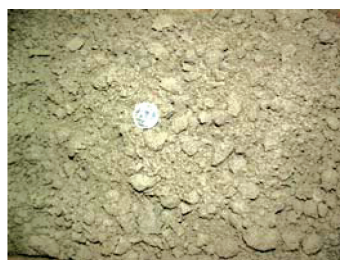
จากที่ได้เกริ่นมาจึงมีความคิดศึกษาความเป็นไปได้ของหินฝุ่นบะซอลต์ตกค้างในเหมืองหินผสมกับเถาไยปาล์มน้ำมันมาทำกระเบื้องเซรามิก ด้วยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเซรามิกตั้งแต่เริ่มต้นการคัดเลือกและเตรียมวัตถุดิบไปจนถึงสิ้นสุดกระบวนการเผา ซึ่งเป็นการลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด เกิดการนำของเสียกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่เป็นการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการและเป็นการกระตุ้นให้เกิดจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม

ผลจากการดำเนินงานจะนำไปเป็นแบบอย่างเพื่อขยายผลไปสู่การพัฒนาศักยภาพกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งนับเป็นประโยชน์แก่ระบบเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของประเทศได้เป็นอย่างดี ในงานวิจัยนี้เน้นกระเบื้องเซรามิกมีสมบัติทางกายภาพ เคมี และเชิงกลอยู่ในเกณฑ์ มอก. 37-2529 นอกจากนี้ยังช่วยให้เกิดประโยชน์แก่อุตสาหกรรมเซรามิกและผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศน์สูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุที่ใช้

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วย หินฝุ่นบะซอลต์จากเหมืองหินเพื่อการก่อสร้าง ในจังหวัดบุรีรัมย์ สีเทา (รูปที่ 1 ก) ส่วนเถาไยปาล์มน้ำมันจากบริษัทสวีปาล์มน้ำมัน จังหวัดชุมพร ที่นำเอากายไยปาล์มหลังหีบมาเผาผลิตเป็นปุ๋ย สีเทาถึงดำ (รูปที่ 1 ข) วัดการกระจายขนาด



ก)



ข)

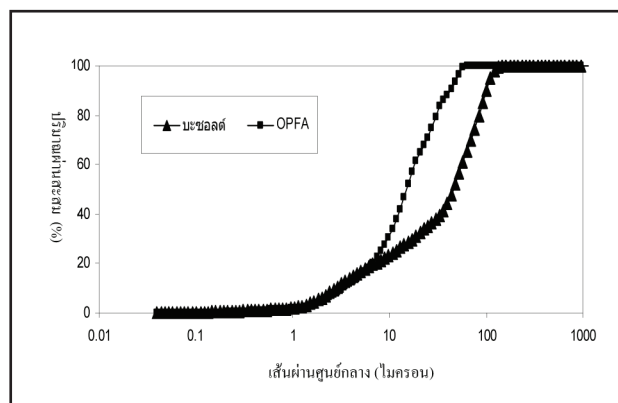
รูปที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้ทำกระเบื้อง ก) หินฝุ่นบะซอลต์ และ ข) เถาไยปาล์มน้ำมัน

ของอนุภาคของวัตถุคิด้วยเครื่องหาขนาดอนุภาคเลเซอร์ (Laser Particle Size Analyzer) รุ่น Beckman COULTER LS 230 พบว่าขนาดหินฝุ่นบะซอลต์ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1.87 ถึง 30.45 ไมครอน และขนาดเฉลี่ย 8.94 ไมครอน และค่ามัธยฐาน 10.55 ไมครอน ส่วนถ้าไปปาล์มน้ำมันที่บด มีการกระจายตัวมากที่สุดอยู่ในช่วง 2.02-30.55 ไมครอน มีค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐาน 8.98 และ 10.57 ไมครอน ตามลำดับ (รูปที่ 2) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินฝุ่นบะซอลต์และถ้าไปปาล์มน้ำมันที่บดด้วยวิธีเอ็กเรย์ฟลูออเรสเซนซ์แบบกึ่งปริมาณ (ตารางที่ 1) ด้วยเครื่อง PHILIPS, PW2400 พบว่าถ้าไปปาล์มน้ำมันมีปริมาณ SiO_2 , CaO และ K_2O ประมาณร้อยละ 44.65 21.65 และ 13.16 ตามลำดับ ในขณะที่หินฝุ่นบะซอลต์มีปริมาณ SO_3 และ CaO ประมาณร้อยละ 48 และ 42 ตามลำดับ น้ำหนักสูญเสียหลังเผาของทั้งสองเท่ากับร้อยละ 1.02 และ 2.47 ตามลำดับ ซึ่งถ้าไปปาล์มน้ำมันพอจัดเป็นวัสดุเซรามิกได้ แต่หินฝุ่นบะซอลต์อยู่นอกเกณฑ์ การวิเคราะห์องค์ประกอบแร่ใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction-XRD) โดยเครื่อง PHILIPS X'Pert MPD แสดงผลเป็นเส้นลายภาพการเลี้ยวเบน และคำนวณหา

ปริมาณแร่ที่ระบุจากกราฟอย่างคร่าวๆ ด้วยวิธีการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟ

การเตรียมและอัตราส่วนผสมของกระเบื้อง

เตรียมแผ่นตัวอย่างกระเบื้องจากหินฝุ่นบะซอลต์ เติมน้ำมันปาล์มน้ำมันบดทั้งหมด 3 อัตราส่วนด้วยกัน คือ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักและไม่เติมเพื่อเป็นตัวอย่างควบคุมอีก 1 อัตราส่วน ซึ่งหินฝุ่นบะซอลต์และถ้าไปปาล์มน้ำมันที่บดจนมีขนาดเล็กกว่า 125 และ 75 ไมครอน ตามลำดับ (รูปที่ 2) ด้วยเครื่องบดบนลูกกลิ้ง (Jar mill) เป็นเวลา 6 ชม. จากนั้นจึงนำวัตถุดิบทั้งสองมาคลุกเคล้ากันในเครื่องบดดังกล่าวเป็นเวลานาน 1 ชม. นำมาทดลองหาปริมาณน้ำเหมาะสมด้วยวิธีการบดอัดมาตรฐาน (Standard compaction) ด้วยอุปกรณ์กระทุ้งขนาดเล็ก (Mini Proctor compaction) ผสมวัตถุดิบกับปริมาณน้ำที่เหมาะสมดังตารางที่ 2 แล้วหมักวัสดุผสมไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25°C) เป็นเวลา 24 ชม. จึงนำมอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่แรง 100 บาร์ เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดไม่น้อยกว่า $10 \times 10 \times 0.8$ ซม. แผ่นตัวอย่างดิบทั้งหมดได้ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชม. ทำให้แผ่นกระเบื้อง



รูปที่ 2 การกระจายขนาดของอนุภาคผงหินบะซอลต์บดและถ้าไปปาล์มน้ำมันที่ใช้ศึกษา

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของวัตถุดิบทำกระเบื้อง

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ	ผลวิเคราะห์ (%)	
	หินปูนบะซอลต์	เถ้าเฒ่าปาล์มน้ำมัน
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	0.69	44.65
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	0.15	0.51
เหล็กออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.27	1.98
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	42.32	21.65
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.44	4.01
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	-	13.16
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	48.18	4.98
น้ำหนักสูญหายหลังเผา (LOI)	1.02	2.47

ตารางที่ 2 สูตรผสมของวัสดุดิบในกระเบื้องที่ศึกษา

อัตราส่วนผสม วัสดุผสม	ปริมาณ (กรัม/แผ่น)			
	0	10	20	30
หินปูนบะซอลต์	210	189	168	147
เถ้าเฒ่าปาล์มน้ำมัน	0	21	42	63
น้ำ (w)	25	27	29	31

แห้งสนิท ก่อนนำไปเข้าเตาเผาไฟฟ้าที่มีอุณหภูมิสูงสุด 1300 °ซ. กำลังไฟฟ้า 22 kW ของ Interkilns Industry รุ่น E110/P ด้วยอัตราความร้อน 2°ซ./นาที่ จนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนดไว้ 1100 1180 และ 1200°ซ. และคงอุณหภูมิสูงสุดแต่ละครั้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ก่อนลดความร้อนลงอย่างรวดเร็ว ปล่อยให้เย็นอยู่ในเตาก่อนนำออกมาทดสอบและหาค่าพฤติกรรมการอบผืนกของกระเบื้องภายหลังเผา

วิธีการทดสอบแผ่นกระเบื้อง

นำแผ่นตัวอย่างที่เผาแล้วมาทดสอบความได้ฉาก

(squareness) การบิดเบี้ยว (distortion) ตามวิธีการ มอก. 614-2529 ความหนาแน่นรวม (bulk density) ด้วยการวัดมิติทั้งสามกับชั่งน้ำหนัก และค่าการดูดซึมน้ำ (water absorption) ตามวิธี มอก. 36-2516 การหดตัวหลังเผา (firing shrinkage) คำนวณจากความต่างกันของขนาดความยาวระหว่างอบแห้งกับหลังเผาที่อุณหภูมินั้น (ASTM C326-03) สำหรับการทดสอบความแข็งแรงแบบกระดอน (rebound micro hardness) กดทดสอบจำนวน 3 ครั้ง เฉลี่ยเป็น 1 ค่า ด้วยเครื่อง Hardness tester รุ่น EQUOTIP จากค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 แผ่นตัวอย่างทดสอบ

อัตราส่วนเดียว มาเฉลี่ยอีกครั้งเป็นค่าตัวแทนของแผ่นกระเบื้องตัวอย่าง 1 ค่า ส่วนการทดสอบกำลังดัดแบบสามจุดหรือโมดูลัสแตกร้าวตามวิธี ASTM C1505-01 ด้วยเครื่อง Universal Hounsfield Test equipment รุ่น H100KS

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สีและการบิดเบี้ยว

จากการสังเกตลักษณะสีของเนื้อกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ล้วนมีสีขาวขุ่น และเมื่อเติมเถ้าไยปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนสีของกระเบื้องก็เปลี่ยนเป็นสีเหลือง จนถึงแก่น้ำตาลในที่สุด ส่วนการบิดเบี้ยวแอ่นโค้งงอไปจากผิวแนวราบของหน้ากระเบื้อง จากการวัดแนวทแยงของกระเบื้องมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยเฉพาะที่ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันร้อยละ 20 และ 30 อุณหภูมิเผา 1180 และ 1200°C. นอกจากนี้ยังพบว่ากระเบื้องที่ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน 20% ขึ้นไปและเผาที่อุณหภูมิ 1200°C. นั้น เนื้อมีลักษณะเป็นมันวาว ส่วนที่อุณหภูมิเผา 1100 และ 1180°C. ลักษณะเนื้อกระเบื้องยังคงมีลักษณะเป็นฝุ่นแป้งเนื่องจากการอบผนึก(sintering) ยังไม่สมบูรณ์

ความได้ฉาก

ผลการวัดความได้ฉากของกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน (ตารางที่ 3) พบว่าทุก

สูตรผสมและทุกอุณหภูมิการเผา ได้กระเบื้องที่มีความได้ฉากอยู่ในเกณฑ์ มอก. 614-2529 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.7 มม.

น้ำหนักสูญหายหลังเผา

พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเถ้าไยปาล์มน้ำมันในกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ค่าน้ำหนักสูญหายเพิ่มขึ้น (รูปที่ 3 ก) โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 1100°C. มีค่าน้ำหนักสูญหายสูงสุด เป็นเพราะเนื้อกระเบื้องยังไม่อบผนึกติดกันยังเป็นฝุ่นแป้ง จึงมีการบินแตกหักที่ขอบแผ่นกระเบื้องง่าย ส่งผลให้ค่าน้ำหนักสูญหายคลาดเคลื่อนมากกว่าที่ควรจะเป็น

ความหนาแน่นรวม

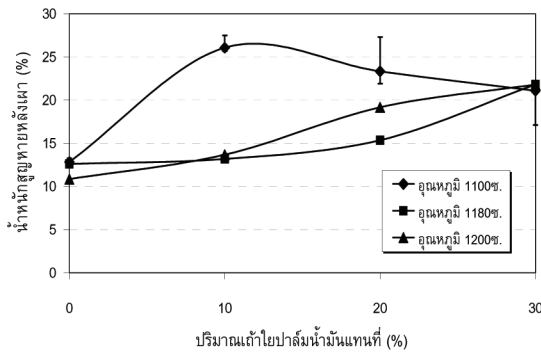
แผ่นกระเบื้องผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันมีค่าความหนาแน่นรวมต่ำสุด 1640 กก./ลบ.ม. ที่ผสมเถ้าร้อยละ 30 อุณหภูมิเผา 1100°C. และสูงสุด 2320 กก./ลบ.ม. ที่ผสมเถ้าร้อยละ 10 อุณหภูมิเผา 1200°C. (รูปที่ 3 ข) ซึ่งค่าความหนาแน่นของกระเบื้องที่ผสมเถ้าร้อยละ 30 มีค่าลดลงจากกระเบื้องไม่เติมเถ้าในทุกอุณหภูมิถึงร้อยละ 5-10

การดูดซึมน้ำ

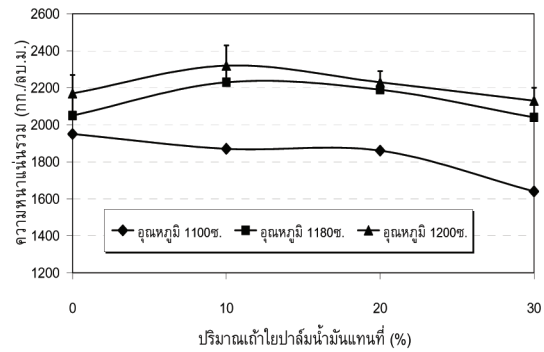
เนื้อกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วง 3.71-8.37% (รูปที่ 4 ก) พบว่าค่าการดูดซึมน้ำแปรผันตามอัตราส่วนเถ้าไยปาล์มน้ำมัน และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาค่าการดูดซึมน้ำก็ลดลง สอดคล้องกับงานวิจัย Jordan *et al.* [11] ที่

ตารางที่ 3 ความได้ฉากของกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน

เถ้าไยปาล์มน้ำมัน (%)	ความได้ฉาก (มม.)		
	1100 °ซ.	1180 °ซ.	1200 °ซ.
0	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5
10	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5
20	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.6	ไม่เกิน 0.7
30	ไม่เกิน 0.6	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.7

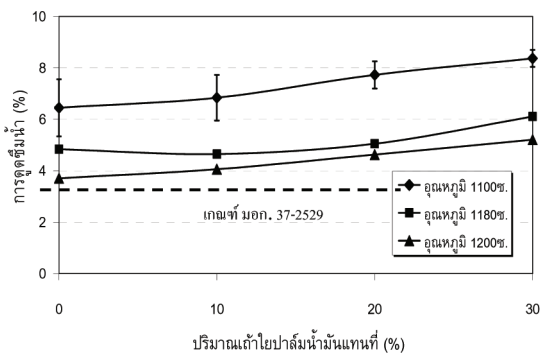


ก)

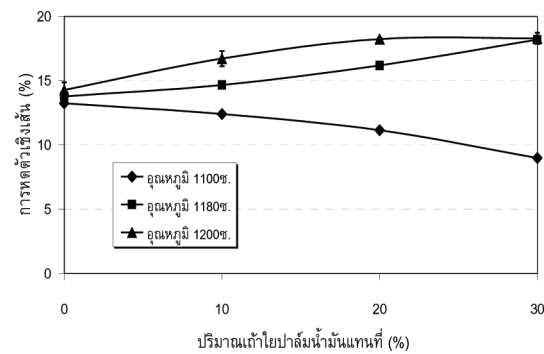


ข)

รูปที่ 3 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อแผ่นกระเบื้องหินปูนบะซอลต์ผสมน้ำมันปาล์ม ก) น้ำหนักสูญหายหลังเผา และ ข) ความหนาแน่นรวม



ก)



ข)

รูปที่ 4 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อแผ่นกระเบื้องหินปูนบะซอลต์ผสมน้ำมันปาล์ม ก) การดูดซึมน้ำ และ ข) การหดตัวเชิงเส้น

พบว่าปริมาณน้ำมันปาล์มมีผลต่อการดูดซึมน้ำ ซึ่งกระเบื้องทดสอบนี้ไม่ผ่านเกณฑ์กระเบื้องปูพื้นชนิดไม่เคลือบประเภทดูดซึมน้ำต่ำไม่เกินร้อยละ 3 (มอก. 37-2529) เท่านั้น ส่วนนอกนั้นได้ตามเกณฑ์ พบว่าหากผสมน้ำมันปาล์มมาก จะมีการดูดซึมน้ำสูงกว่ากระเบื้องที่เผาที่อุณหภูมิสูง และส่วนผสมน้ำมันน้อยกว่า

การหดตัวเชิงเส้น

กระเบื้องหินปูนบะซอลต์ผสมน้ำมันปาล์ม มีการหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมน้ำมันปาล์ม มีค่าการหดตัวเชิงเส้นอยู่ในช่วง 9.7-18.40% (รูปที่ 4 ข) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผลิตกระเบื้องแกรนิตผสมน้ำมันปาล์ม [12] และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาการหดตัวก็เพิ่มขึ้น

ความแข็งแรงแบบกระดอน

เนื้อกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน มีค่าความแข็งแรงแบบกระดอนของกระเบื้องอยู่ในช่วง 213-304 HV (รูปที่ 5 ก) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผลิตกระเบื้องเซรามิกด้วยผงแกรนิตผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน [12] อุณหภูมิเผาเพิ่มขึ้นความแข็งแรงก็เพิ่มขึ้นตามด้วยเช่นกัน ความแข็งแรงแบบกระดอนซึ่งทดสอบไม่ทำลายแผ่นตัวอย่างพบว่ามีค่าสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม (รูปที่ 3 ข) และค่าการหดตัวเชิงเส้น (รูปที่ 4 ข)

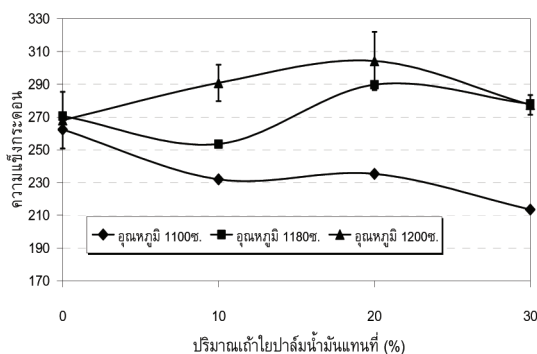
กำลังตัด

กระเบื้องมีค่ากำลังตัดเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและปริมาณเถ้าไยปาล์มน้ำมันที่เพิ่มขึ้น (รูปที่ 5 ข) ซึ่งกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์เผาที่อุณหภูมิ 1200°C. ให้ค่ากำลังตัดสูงสุด ซึ่งจะสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่น กระเบื้องทุกอัตราส่วนเผาที่ 1100 และ 1180°C. ให้ค่าต่ำกว่าเผาที่ 1200°C. อย่างไรก็ตามค่าทดสอบที่ได้ต่ำกว่าการทดลองของ Taskiran *et al.* [13] ซึ่งได้ค่าถึง 110 เมกะพาสคัล หากพิจารณาเกณฑ์กระเบื้องปูพื้นตาม มอก. 37-2529 ค่ากำลังตัดของกระเบื้องดูดซึมน้ำปานกลางและสูงต้องไม่น้อยกว่า 25 เมกะพาสคัล ซึ่ง

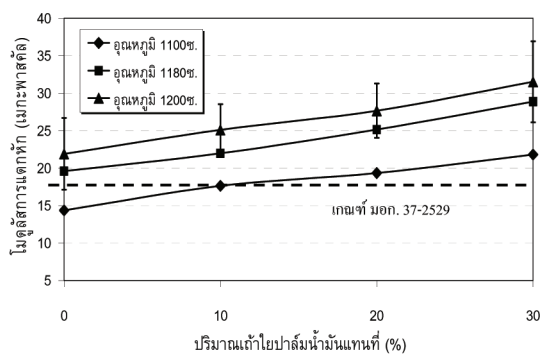
กระเบื้องทดสอบครั้งนี้ได้ผลตามเกณฑ์ดังกล่าวยกเว้นกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ล้วน เผาที่ 1100 °ซ. เท่านั้น

องค์ประกอบแร่

ผลวิเคราะห์ของแผ่นกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ที่อัตราส่วนผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันร้อยละ 20 (รูปที่ 6) ซึ่งให้สมบัติเด่นที่สุดครั้งนี้ทั้งสามอุณหภูมิที่เผา คำนวณหาปริมาณแร่ด้วยวิธีพื้นที่ได้กราฟ (ตารางที่ 4) พบว่ามีการเปลี่ยนวิวัฒนาการเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีหลักของ CaO (ปูน) SiO₂ (ซิลิกา) และแมกนีเซียม (MgO) มีอยู่ในหินฝุ่นบะซอลต์กับเถ้า ออปติกเผาที่ 1100 °ซ. ได้แร่ควอตซ์ แอนไฮไดรต์ (CaSO₄) โวลลาสไทต์ (CaSiO₃) คริสโทบาไลต์ (SiO₂) ไดออปไซด์ (CaMg(Si₂O₆)) ส่วนตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 1180 °ซ. และ 1200 °ซ. กลับไม่ปรากฏแร่ควอตซ์แต่มีแร่อะเคอร์มาไนต์ (Ca₂Mg(Si₂O₇)) เกิดขึ้นมาแทน (รูปที่ 6) ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากอุณหภูมิความร้อนที่เหมาะสมกับสามองค์ประกอบดังไปมากน้อยก่อเกิดแร่ต่างๆ จนตกผลึกได้เป็นแร่ชุดดังกล่าวขึ้นมา โดยเฉพาะการที่หินฝุ่นบะซอลต์นำมาสึกษายามี SO₃ มากกว่าปกติจึงก่อให้เกิดแร่แอนไฮไดรต์ขึ้นมาด้วย ผลของการเกิดวิวัฒนาการแร่เหล่านี้ช่วยให้



ก)

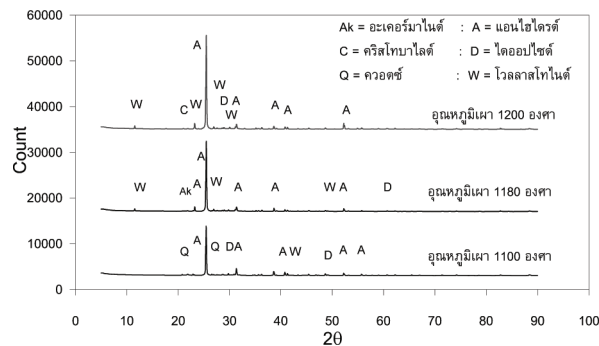


ข)

รูปที่ 5 ผลกระทบของอุณหภูมิเผาที่มีต่อแผ่นกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน ก) ความแข็งแรงแบบกระดอน และ ข) กำลังตัด

ตารางที่ 4 ปริมาณแร่ประกอบขึ้นในกระเบื้องผสมเถ้าไยปาล์มร้อยละ 20

ชนิดแร่ (%)	ปริมาณแร่ประกอบ หน่วยร้อยละ		
	1100 °ซ.	1180 °ซ.	1200 °ซ.
แอนไฮไดรต์	41.24	31.77	31.18
โวลลาสโทไนต์	38.85	32.62	32.43
ไดออปไซด์	10.55	5.36	5.65
คริสโทบาไลต์	7.82	2.18	2.47
อะเคอร์มาไนต์	-	27.57	27.59
ควอตซ์	0.93	-	-
ไม่ทราบ	0.61	0.54	0.68



รูปที่ 6 ผลกระทบของอุณหภูมิเผาทั้งสามที่มีต่อวัฏภาคของชนิดแร่ประกอบขึ้นในแผ่นกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน

กระเบื้องมีกำลังค้ำดีขึ้นและความหนาแน่นลดลง โดยเฉพาะโวลลาสโทไนต์ซึ่งจัดเป็นแร่ฉนวนความร้อนได้ดี จึงเหมาะพัฒนาเป็นกระเบื้องมวลเบาหรือกระเบื้องฉนวนความร้อนได้ต่อไป สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Pinatti *et al.* [14] ที่เติมเถ้าจากเชื้อเพลิงชีวมวลได้แร่โวลลาสโทไนต์เช่นกัน

สรุปผลการวิจัย

ผลศึกษาทดสอบกระเบื้องเซรามิกผงหินบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันได้แนวทางสรุปดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนผสมสำหรับกระเบื้องหินฝุ่นบะซอลต์ผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมต้องใช้ปริมาณเถ้าตั้งแต่ร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนัก ส่วนอุณหภูมิในการเผา

เหมาะสมครั้งนี้คือ 1200°ซ. เพราะเนื้อกระเบื้องอบผืนได้ดีที่สุด

2. สมบัติทางกายภาพของกระเบื้องผสมเถ้าไยปาล์มน้ำมัน ได้แก่ ความหนาแน่นรวม น้ำหนักสูญหายหลังเผา การดูดซึมน้ำ การหดตัวเชิงเส้นหลังเผามีค่าสูงกว่ากระเบื้องควบคุมตามปริมาณเถ้าและอุณหภูมิสูงขึ้น โดยความหนาแน่นรวมแปรผกผันกับปริมาณการแทนที่เถ้าเพิ่มขึ้นและแปรผันตามอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่กำลังคืบมีค่าแปรผันตามทั้งปริมาณเถ้าไยปาล์มน้ำมันและอุณหภูมิ

3. วัฏภาคผลึกแรกที่เกิดขึ้นหลังจากการอบผืนในกระเบื้องเถ้าไยปาล์มน้ำมันกับหินฝุ่นบะซอลต์คือแร่ควอตซ์ แอนไฮไดรต์ โวลลาสไทท์ คริสโทปาลไลต์ และไดออปไซด์ ที่ช่วยเสริมให้กระเบื้องมีความแข็งแรงและมีความเป็นวัสดุทนความร้อนมากยิ่งขึ้น

ดังนั้นผลการทดลองโดยใช้เถ้าไยปาล์มเติมแทนที่ในหินฝุ่นบะซอลต์ของกระเบื้อง พบว่ามีความเป็นไปได้ที่นำวัสดุเหลือจากโรงโม่หินและกากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก นับว่าเป็นหนทางหนึ่งได้ผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศน์และอย่างยั่งยืน

คำขอขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและวัสดุก่อสร้างนวัตกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ที่ได้ให้การสนับสนุนเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดนุพล ตันนโยภาส. (2553). แร่และหิน. พิมพ์ครั้งที่ 2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [2] ดนุพล ตันนโยภาส. (2552). วิทยาแร่. พิมพ์ครั้งที่ 2 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- [3] ยงยุทธ ชัยเขตร ปิยนัฐ สุวัรัฐ สรชยา จวนเจริญและวีระ เนตราทิพย์ 2551. การใช้ประโยชน์จากผงหินบะซอลต์ ในการทำเนื้อดินหล่อเซรามิกส์ ใน โครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี 2551
- [4] El-Mahllawy, M.S. (2008). Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag. **Construction and Building Materials**. **22**(8), 1887-1896.
- [5] El-Alfi, E.A., Othman, A.G. and Elwan, M.M. (1999). Physico-mechanical properties of basalt-clay bricks. **Industrial Ceramics**. **19**(3), 145-150.
- [6] El-Alfi, E.A., Radwan, A.M. and Ali, M.H. (2004). Physico-mechanical properties of basalt bricks. **International Ceramic Review**. **53**(3), 178-181.
- [7] Youssef, N.F., Osman, T.A. and El-Shimy, E. (2004). Utilization of granite-basalt fine quarry waste in a ceramic floor tile mixture. **Journal Silicate Industries**. **69**(1-2), 7-13.
- [8] Yilmaz, S., Ozkan, O.T. and Gunay, V. (1996). Crystallization kinetics of basalt glass. **Ceramics International**. **22**(6), 477-481.
- [9] Abdel-Hameed, S.A.M. and Bakr, I.M. (2007). Effect of alumina on ceramic properties of cordierite glass-ceramic from basalt rock. **Journal of the European Ceramic Society**. **27**(2-3), 1893-1897.
- [10] Karamanov, A., Ergul, S., Akyildiz, M. and Pelino, M. (2007). Sinter-crystallization of a glass obtained from basaltic tuffs. **Journal of Non-Crystalline Solids**. **354**(2-9), 290-295.
- [11] Jordan, M.M., Montero, M.A., Meseguer, S. and Sanfeliu, T. (2008). Influence of firing temperature and mineralogical composition on bending strength and porosity of ceramic tile

- bodies. **Applied Clay Science**. **42**(1-2), 266-271.
- [12] Tonnayopas, D., Kooptarnond, K. and Masae, M. (2009). Novel ecological tiles made with granite fine quarry waste and oil palm fiber ash. **Thammasat International Journal of Science and Technology**. **14**(1), 10-20.
- [13] Taskiran, M.U., Demirkol, N. and Capoglu, A. (2006). Influence of mixing/milling on sintering and technological properties of anorthite based porcelainised stoneware. **Ceramics International**. **32**(3), 325-330.
- [14] Pinatti, D.G., Conte, R.A., Borlinic, M.C., Santosa, B.C., Oliveirab, I., Vieirac, C.M.F. and Monteiro, S.N. (2006). Incorporation of the ash from cellulignin into vitrified ceramic tiles. **Journal of the European Ceramic Society**. **26**(3), 305–310.