

การผลิตกระเบื้องเซรามิกและกระเบื้องมวลเบาจากหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสม เถ้าไม้ยางพารา

PRODUCTION OF CERAMIC AND LIGHTWEIGHT TILE FROM WASTE ANDESITE FINE AND PARA RUBBER WOOD ASH

เสาวภา ชูศรี¹ ดนุพล ตันนโยภาส² และ สุชาติ จันทรณีย์³

¹ นศ., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์/คณะวิศวกรรมศาสตร์

² รศ.ดร., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์/คณะวิศวกรรมศาสตร์

³ วิศวกร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์/คณะวิศวกรรมศาสตร์

บทคัดย่อ

ศึกษาหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมกับเถ้าไม้ยางพาราเพื่อผลิตเป็นกระเบื้องเซรามิก โดยแทนที่หินฝุ่นแอนดีไซต์ด้วยเถ้าไม้ยางพาราในอัตราส่วนร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก กระเบื้องมีขนาด 100 มม. × 100 มม. × 8 มม. ผสมน้ำที่เหมาะสมและขึ้นรูปกระเบื้องด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่ 8 เมกะพาสคัล เเผที่อุณหภูมิ 1,100 และ 1,150 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติของกระเบื้อง ได้แก่ ความต้านทานและการบิดเบี้ยว การหดและขยายตัวเชิงปริมาตรหลังเผา น้ำหนักสูญหายหลังเผา ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ ความแข็งแรงแบบบอร์ กำลังตัดและความคงทนต่อสารเคมี โครงสร้างจุลภาคด้วยการวิเคราะห์ด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และถ่ายภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด หินฝุ่นแอนดีไซต์สามารถทดแทนวัตถุดิบผลิตกระเบื้องเซรามิกได้ และเถ้าไม้ยางพาราแทนที่เหมาะสมที่สุดร้อยละ 10 เเผที่ 1,150 องศาเซลเซียส ทำเป็นกระเบื้องมวลเบา เกิดวัฏภาคแร่ไดออปไซด์ ลูไซต์ อะเคอมาไนต์และอิลเมไนต์ และภาพถ่ายจุลภาคของกระเบื้องมีผลึกเรียงตัวและรูปร่างเกิดขึ้น

คำสำคัญ: หินฝุ่นแอนดีไซต์, เถ้าไม้ยางพารา, กระเบื้องเซรามิก, ผลิตภัณฑ์สีเขียว

ABSTRACT

Andesite fine tailing (AFT) ceramic tile mixed para rubber wood ash (PRWA) has been investigated. PRWA in the proportion of 0-30 wt% has been replaced partially into the AFT. Rectangular specimens in dimension of 100×100×80 mm with moisture content and shaped by hydraulic uniaxial pressing of 8 MPa. The firing durations were at 1,100 and 1,150°C for 1 h. The squareness and warpage, volumetric firing shrinkage or expansion, bulk density,

weight loss, water absorption, Shore hardness, and chemical resistance of sintered specimens are explained on the basis of X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM) analysis. The ceramic tiles can be made by AFT substitute conventional raw materials. The optimum proportion of PRWA was 10% at 1,150°C can be used developed in lightweight tile. The diopside, leucite, akermanite and ilmenite phases were observed via XRD and SEM photomicrograph revealed crystallinity embedded in the matrix with elliptical pores.

KEYWORDS: andesite fine, para rubber wood ash, ceramic tile, green products

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมสำคัญของประเทศ แบ่งออกเป็น 5 กลุ่มสำคัญ คือ กลุ่มกระเบื้องเซรามิก กลุ่มเครื่องสุขภัณฑ์ กลุ่มเครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร กลุ่มของชำร่วยและเครื่องประดับและกลุ่มลูกค้าถ้วยไฟฟ้า อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นหนึ่งในกลุ่มอุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมเซรามิกที่ใช้ในงานก่อสร้างมี 2 กลุ่มคือ กลุ่มกระเบื้องเซรามิกและกลุ่มเครื่องสุขภัณฑ์ มีมูลค่าการผลิตประมาณร้อยละ 33 ของการผลิตเซรามิกทั้งหมด

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมทำให้มีชีวมวลเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเกษตรหลากหลายชนิด ได้แก่ แกลบและซังข้าว กากอ้อย เศษไม้และขี้เลื่อยไม้ยางพารา กะลาและใบมะพร้าว ซังข้าวโพด กะลาและใบปาล์ม น้ำมัน เป็นต้น จากการสำรวจวัสดุเหลือใช้จากภาคเกษตรกรรมปัจจุบัน พบว่ามีปริมาณมากกว่า 29 ล้านตัน [1] ซึ่งปัจจุบันถ้าชีวมวลหลายชนิดได้มีการนำไปผสมกับปูนซีเมนต์ทำคอนกรีต แต่ก็ยังมีอีกหลายชนิดที่นำไปใช้น้อย เช่น ถังไม้ยางพาราที่เหลือปริมาณมหาศาล ซึ่งหากนำไปใช้จะช่วยลดมลภาวะสิ่งแวดล้อมได้มาก

นอกจากนี้ในการทำเหมืองหิน มักเกิดหินฝุ่นอยู่เสมอไม่มากก็น้อย ส่วนที่เป็นหินฝุ่นมีขนาดเล็กปะปนอยู่กับผงหินที่มีลักษณะเป็นฝุ่นหยาบ ไม่ค่อยมีการนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างมาก จึงได้มีการศึกษานำหินของเสียมาผลิตเป็นวัสดุเซรามิกก่อสร้าง [2-5] ผสมกับของเสียอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ถังปาล์ม น้ำมัน [6-8] ถังไม้ยางพารา [9-11] ดังนั้นจึงมีความคิดนำหินฝุ่นแอนดีไซต์มาใช้ประโยชน์ในงานเซรามิกและถังไม้ยางพาราเป็นตัวเชื่อมให้เกิดการเผาผนึก (sintering) เร็วขึ้น

Sariisik et al. [12] ได้ศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ทางด้านเซรามิก โดยการนำหินแอนดีไซต์ในประเทศตุรกี ทำเซรามิกแบบดั้งเดิม ขึ้นเป็นรูปกลมแบน แล้วทดสอบคุณลักษณะของตัวอย่างแอนดีไซต์ วิเคราะห์แร่ประกอบ ได้แก่ ซานิดีน (sanidine) ไมกา (mica) และไพรอกซีน (pyroxene) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินแอนดีไซต์ประกอบด้วย SiO_2 63.30%, Al_2O_3 14.70%, Fe_2O_3 4.04%, MgO 2.78%, CaO 4.26%, Na_2O 2.95%, K_2O 6.06% ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่

ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำและความพรุนลดลง และสมบัติทางกล ได้แก่ กำลังอัดและกำลังดัดสูงขึ้นตามอุณหภูมิเผาสูงขึ้นเป็นลำดับ โครงสร้างจุลภาคของหินแอนดีไซต์จากถ้ำงูจตุรศรส์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) สังเกตเห็นว่าก่อนทำการบวกรวมทางความร้อน ลักษณะโครงสร้างของหินแอนดีไซต์มีรูพรุนขนาดใหญ่แทรกอยู่ระหว่างอนุภาคของเนื้อ แต่ภายหลังเผาอุณหภูมิรวมกัน ทำให้ลดรูพรุนลงและยังทำให้อนุภาคของเนื้อแอนดีไซต์จับตัวกันแน่นและแข็งแรงขึ้น กระบวนการเผาผนึก (sintering) ได้เริ่มต้นที่อุณหภูมิ 1,134 องศาเซลเซียส และเผาสูงสุดที่อุณหภูมิ 1,138 องศาเซลเซียส ศึกษาการหดตัวของเนื้อกระเบื้องหลังการเผาเคลือบผิวด้วยน้ำเคลือบ 2 สูตร ที่อุณหภูมิ 1,160 องศาเซลเซียส

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ ศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการทำกระเบื้องเซรามิกหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ยางพารา ศึกษาอุณหภูมิเผาที่เหมาะสมในการทำกระเบื้องชนิดนี้ ทดสอบสมบัติของกระเบื้องทั้งทางกายภาพ เชิงกล เคมี และโครงสร้างจุลภาค

2.1 การเตรียมวัสดุที่ใช้

วัตถุดิบมีอยู่ 2 ชนิด คือ หินฝุ่นแอนดีไซต์จากเหมืองสยามอะกรีกเกต จังหวัดเชียงใหม่ และเถ้าไม้ยางพาราจากเชื้อเพลิงโรงเผาถ่านขนาดเล็ก จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า เถ้าไม้ นำไปบดไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4-5 ชั่วโมง ปลดปล่อยเย็นแล้วนำไปบดด้วยเครื่องบดลูกบอล (Ball Mill) และเครื่องบดลูกกลิ้ง (Jar Mill) และคัดขนาดเล็กลงกว่า 75 ไมครอน

2.2 การออกแบบส่วนผสมและการขึ้นรูป

ผสมหินฝุ่นแอนดีไซต์กับเถ้าไม้ในกระบอผสมทั้งหมด 4 สูตร คือ 100:0, 90:10, 80:20 และ 70:30 เติมน้ำสูตรละ 20 18 16 และ 14 กรัม ตามลำดับ และคลุกเคล้าให้เข้ากัน หมักไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) ด้วยแรงดันประมาณ 80 บาร์ หรือ 8 เมกะพาสคัล และกดค้างไว้ประมาณ 40 วินาที เพื่อให้เนื้อตัวอย่างอัดติดกระชับแน่น

2.3 การเผา

ตบแต่งขอบและผิวหน้าให้เรียบและเสมอกันก่อนนำไปอบความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง นำกระเบื้องมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักก่อนเผาในเตาเผาไฟฟ้าตามอุณหภูมิที่กำหนดไว้ โดยกำหนดให้อัตราความร้อนของเตาเผาเริ่มจากอุณหภูมิห้อง (25°C) ด้วย

อัตราความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส คงไว้ 30 นาที หลังจากนั้นให้อัตราความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และให้อัตราความร้อน 1 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่ตั้งไว้ 1,100 และ 1,150 องศาเซลเซียส คงไว้ 30 นาที แล้วจึงสิ้นสุดการเผาปล่อยให้อุณหภูมิลดลงและตัวอย่างกระเบื้องเย็นตัวในเตาเผา ก่อนนำไปทดสอบทั้งกายภาพและเชิงกล

2.4 วิธีการทดสอบ

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระเบื้อง ได้แก่ ทดสอบความไดนามิก การโก่งตัว การหดตัวเชิงปริมาตร ความหนาแน่นรวม น้ำหนักสูญหาย การดูดซึมน้ำ การทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแบบชอร์ (Shore Hardness) กำลังตัด การทดสอบสมบัติทางเคมี ได้แก่ ความคงทนต่อการด่าง การวิเคราะห์วัฏภาคแร่และโครงสร้างจุลภาคด้วยเครื่องวัดวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer, XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) ตามลำดับ

3. ผลและอภิปรายผลการศึกษา

3.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหินฝุ่นแอนดีไซต์และเถ้าไม้โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์แบบการวาวแสงรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence Spectrometer -XRF) แสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่า หินฝุ่นแอนดีไซต์มีปริมาณ CaO สูง และ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 รองลงมารวมได้ร้อยละ 45 ซึ่งต่างจาก หินแอนดีไซต์ในงานวิจัยของ Sariisik et al. [12] ที่มีองค์ประกอบทางเคมีของ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 สูง รวมกันได้ร้อยละ 82 ส่วนเถ้าไม้ไม่มีปริมาณ CaO สูง และสูงพอกับเถ้าไม้ใช้ในงานวิจัยของธนุพล และคณะ [9-10] และ Tonnayopas et al. [11] ซึ่งส่งผลต่อส่วนผสมเนื้อกระเบื้องทำให้มีปริมาณธาตุแคลเซียมสูง หลังเผาให้แตกตัว (calcined) ได้ปูนขาวและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้โอกาสเนื้อกระเบื้องเซรามิกมีรพูนสูงได้

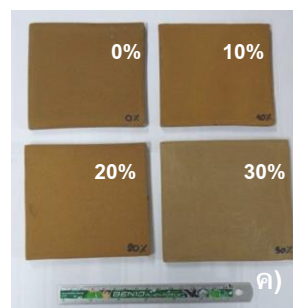
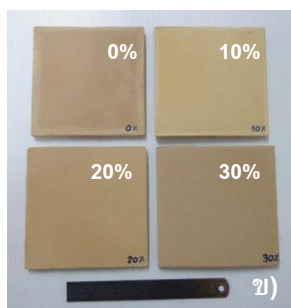
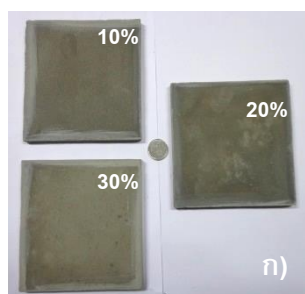
3.2 สีและคุณลักษณะทั่วไป

สีของกระเบื้องเซรามิกหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ก่อนเผา มีสีเทาคล้ายกันทุกอัตราส่วนผสม เถ้าไม้ (รูปที่ 1 ก) และเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส มีสีน้ำตาลอ่อนทุกส่วนผสม (รูปที่ 1 ข) ส่วนที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีสีน้ำตาลเข้มในสูตรที่ไม่ผสมและผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 และ 20 ส่วนสูตรที่ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 30 มีสีน้ำตาลอ่อน (รูปที่ 1 ค) นั่นคือเถ้าไม้มีผลกระทบในการพอกสีของกระเบื้องให้สีจางขึ้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบที่ใช้ศึกษา

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%)	
	หินปูนแอนดิสไตต์	เถ้าไม้ยางพารา
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	28.79	38.00
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	22.63	6.76
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	15.34	0.93
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	7.59	1.48
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	3.62	4.05
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	1.71	0.17
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.97	10.14
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	0.75	1.76
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	0.73	-
แมงกานีสออกไซด์ (MnO)	0.26	1.00
ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P ₂ O ₅)	0.18	2.37
น้ำหนักสูญหายหลังเผา (LOI)	17.43	33.34

จากการสังเกตด้วยสายตากะเบื้องเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เนื้อกระเบื้องไม่มีการแยกชั้น สำหรับเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส กระเบื้องผสมเถ้าไม้ร้อยละ 30 เท่านั้นที่เกิดการแยกชั้นบริเวณขอบของกระเบื้อง เป็นลักษณะพบในงานวิจัยของธนุพลและคณะ [10] เช่นกัน



รูปที่ 1 แผ่นกระเบื้องตัวอย่างที่ ก) ดิบ ข) เผา 1,100 องศาเซลเซียส และ ค) เผา 1,150 องศาเซลเซียส

3.3 การบิดเบี้ยวและความได้ฉาก

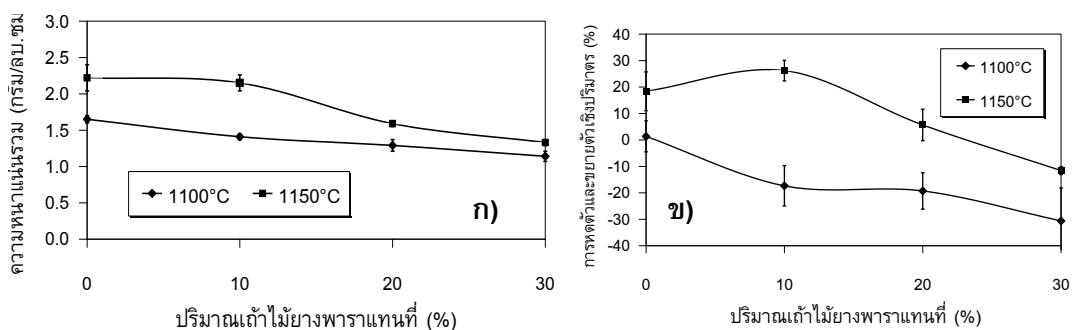
ผลการวัดความเบี่ยงเบนจากความได้ฉากของเนื้อกระเบื้องหินปูนแอนติไซต์ผสมเถ้าไม้ พบว่ากระเบื้องทุกอัตราส่วนผสมและทุกอุณหภูมิเผา เนื้อกระเบื้องมีความได้ฉากอยู่ในเกณฑ์ มอก. 37-2529 [13] ที่กำหนดว่าต้องไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร หรือไม่เกินร้อยละ 0.5 ของความยาวด้านที่วัด [14] เกิดการบิดเบี้ยวขึ้นแก่กระเบื้องเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ที่ไม่ผสมและผสมเถ้าไม้ ร้อยละ 10 และ 20 ตามแนวขอบโค้งออกและเข้าไม่เกินร้อยละ 75 หนูนูนขึ้นและแอ่นลงไม่เกินร้อยละ 1.5 ซึ่งอยู่ทั้งในเกณฑ์ มอก. 37-2529 [13] และ มอก.614-2529 [14] ส่วนกระเบื้องที่ผสมเถ้าไม้ ร้อยละ 30 เกิดการขยายและโก่งตัว เนื่องจาก CaO ในเถ้าไม้ขยายตัวดันให้บิดเบี้ยวและโก่งตัว (รูปที่ 1ค)

3.4 ความหนาแน่นรวม

อุณหภูมิที่เผา 1,100 องศาเซลเซียส และ 1,150 องศาเซลเซียส ให้ได้ค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.14 - 2.22 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (รูปที่ 2 ก) เมื่อผสมเถ้าไม้เพิ่มขึ้นและอุณหภูมิเผาสูงขึ้นได้ค่าความหนาแน่นรวมลดลงตามลำดับ ความหนาแน่นรวมสูงสุดของกระเบื้องดิบหินปูนแอนติไซต์ล้วน และความหนาแน่นรวมต่ำสุดคือ ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 20 ส่วนกระเบื้องหลังเผาที่มีความหนาแน่นรวมสูงสุดคือ กระเบื้องหินปูนแอนติไซต์ล้วน เผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส และความหนาแน่นรวมต่ำสุดคือ กระเบื้องที่ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 30 เผาที่อุณหภูมิเผา 1,100 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบความหนาแน่นรวมของกระเบื้องหินปูนแอนติไซต์ล้วนกับที่เติมเถ้าไม้ร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิเผา 1,100 และ 1,150 องศาเซลเซียส พบว่าต่างกันถึงร้อยละ 31 และ 40 ตามลำดับ ดังนั้นกระเบื้องเติมเถ้าไม้มากกว่าร้อยละ 10 มีผลให้มวลกระเบื้องเบาขึ้นมาก ที่สามารถพัฒนาไปใช้ในงานประยุกต์ด้านการเป็นวัสดุฉนวนความร้อนต่อไปได้ ผลที่ได้ลักษณะเดียวกับผลงานของดอนพลและคณะ [10]

3.5 การหดและขยายตัวเชิงปริมาตร

กระเบื้องเซรามิกหินปูนแอนติไซต์ผสมเถ้าไม้มีการหดและขยายตัวอยู่ในช่วง - 30.62 ถึง 26.16 โดยค่าการหดตัวสูงสุดของกระเบื้องที่ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 เผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณร้อยละ 26.19 ส่วนค่าการขยายตัวสูงสุดของกระเบื้องอยู่ที่ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 30 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 30.62 (รูปที่ 2 ข) ดังนั้นการหดตัวของกระเบื้องจึงมีลักษณะแปรผกผันกับอัตราส่วนเถ้าไม้ที่เติม ในขณะที่อัตราการขยายตัวลดลงเมื่ออุณหภูมิเผาสูงขึ้น



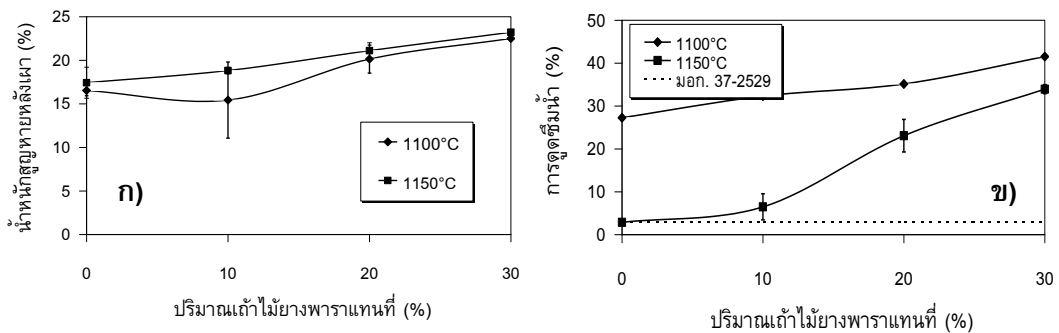
รูปที่ 2 กระเบื้องหินฝุ่นแอนติไซด์ผสมเถ้าไม้ ก) ความหนาแน่นรวม และ ข) การหดและขยายตัวเชิงปริมาตร

3.6 น้ำหนักสูญหายหลังเผา

น้ำหนักสูญหายหลังเผาของกระเบื้องมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 15.43 - 23.22 (รูปที่ 3 ก) ซึ่งกระเบื้องที่น้ำหนักสูญหายหลังเผามากที่สุดคือ กระเบื้องที่ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 30 เผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีค่าน้ำหนักลดลงร้อยละ 7.83 จากกระเบื้องหินฝุ่นแอนติไซด์ล้วน และกระเบื้องที่มีน้ำหนักสูญหายหลังเผาน้อยที่สุดคือ กระเบื้องที่ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าลดลงคิดเป็นร้อยละ 9.94

3.7 การดูดซึมน้ำ

ค่าการดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 2.89 - 35.14 (รูปที่ 3 ข) เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเถ้าไม้ยางพาราและอุณหภูมิเผา กระเบื้องมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงที่เผาทำให้น้ำในกระเบื้องส่วนเถ้าที่มี CaO มากเกิดการสลายตัวกลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงดันเกิดรูโพรงและความชื้นผ่านได้เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เช่นกระเบื้องที่ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 30 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 35.14 ซึ่งกระเบื้องไม่ผสมเถ้าไม้เผา 1,150 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.89 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกระเบื้องปูพื้น มอก. 37-2529 [13] ประเภทกระเบื้องชนิดดูดซึมน้ำต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 3) ส่วนกระเบื้องทุกสูตรเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ไม่ผ่านเกณฑ์กระเบื้องทุกประเภท ยกเว้นกระเบื้องผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 เผา 1,150 องศาเซลเซียส เท่านั้นที่มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 4.69 อยู่ในเกณฑ์กระเบื้องปูพื้น ประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ [13] และกระเบื้องบุผนังภายนอก [14] กำหนดไม่เกินร้อยละ 6 ซึ่งทำนองเดียวกับผลงานของธนุพลและคณะ [10] และ Tonayopas et al. [11] เพียงแต่ค่าการดูดซึมน้ำมีช่วงต่ำกว่า ผลการดูดซึมน้ำได้สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวม (รูปที่ 2 ก)



รูปที่ 3 กระเบื้องหินฝุ่นแอนติไซด์ผสมแก้วไม้ ก) น้ำหนักสูญหาย และ ข) การดูดซึมน้ำ

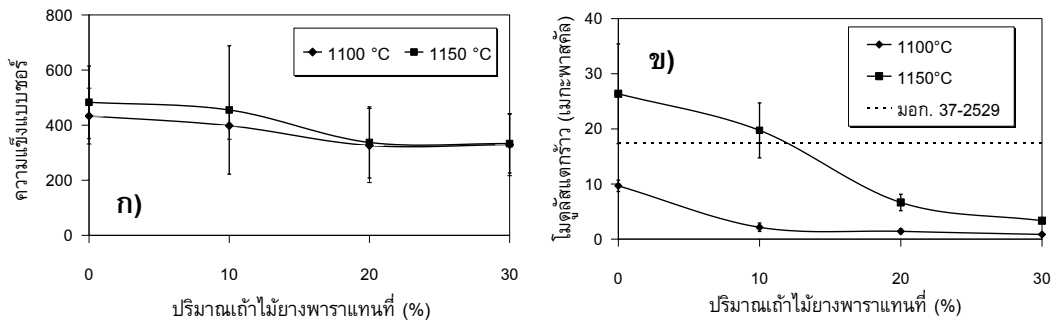
3.8 ความแข็งแบบชอร์

ค่าความแข็งแบบชอร์เฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 326 – 483 เมื่อเพิ่มปริมาณแก้วไม้ส่งผลทำให้ค่าความแข็งแบบชอร์ลดลง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาขึ้นค่าความแข็งแบบชอร์เพิ่มขึ้น โดยกระเบื้องที่ไม่เติมแก้วไม้ เผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแบบชอร์สูงที่สุดและกระเบื้องที่มีอัตราส่วนผสมแก้วไม้ร้อยละ 20 และ 30 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแบบชอร์ต่ำสุด (รูปที่ 4 ก) ซึ่งค่าความแข็งนี้สอดคล้องกับค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างเดียวกัน

3.9 กำลังดัด

กำลังดัดหรือโมดูลัสแตกร้าวของกระเบื้องเซรามิกหินฝุ่นแอนติไซด์ผสมแก้วไม้ยางพารามีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแก้วไม้มากขึ้นในทุกอุณหภูมิเผา (รูปที่ 4 ข) ค่อนข้างคล้อยตามกับค่าความแข็งแบบชอร์ เนื่องกระเบื้องที่ไม่เติมและเติมแก้วไม้ร้อยละ 10 เผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังดัดประมาณ 26.37 เมกะพาสคัล และ 19.73 เมกะพาสคัล ตามลำดับ ผลการทดลองเห็นได้ว่าแก้วไม้ยางพารามีผลกระทบต่อค่ากำลังดัดของกระเบื้องทำให้กำลังดัดลดลง เนื่องจากปริมาณแก้วไม้มากและเผาที่อุณหภูมิสูง ส่งผลให้กระเบื้องเปราะมากขึ้นและกำลังดัดลดลง (รูปที่ 4 ข) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของดอนพลและคณะ [10] และ Tonnayopas et al. [11] ที่พบว่ามีความโน้มค้ำกำลังดัดลดลงเช่นกัน เพียงแต่ค่ากำลังดัดสูงกว่า สำหรับอุณหภูมิเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส กระเบื้องทุกสูตรไม่ผ่านเกณฑ์กระเบื้องทุกประเภท สันนิษฐานว่าอุณหภูมิไม่ถึงระดับเผาผนึกของเนื้อกระเบื้องชนิดนี้ ในขณะที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส กระเบื้องชนิดไม่เติมและเติมร้อยละ 10 อยู่ในเกณฑ์กระเบื้องปูพื้น มอก. 37-2529 [13] และกระเบื้องเดินเผาบึงบุผนังภายนอก มอก. 614-2529 [14] โดยกระเบื้องหินฝุ่นแอนติไซด์ล้วนปรากฏว่าอยู่ในเกณฑ์กระเบื้องปูพื้น ประเภทดูดซึมน้ำต่ำและประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างต่ำ ที่กำหนดกำลังดัดไม่น้อยกว่า 25.0 เมกะพาสคัล

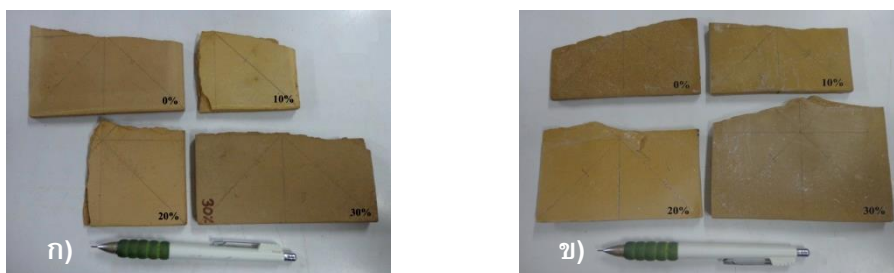
ส่วนกระเบื้องผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 อยู่ในเกณฑ์กระเบื้องปูพื้น ประเภทดูดซึมน้ำปานกลางค่อนข้างสูง กำหนดมีกำลังตัดไม่น้อยกว่า 17.5 เมกะพาสคัล และต่ำกว่าเกณฑ์กระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอกเล็กน้อย (0.7 เมกะพาสคัล) ที่กำหนดกำลังตัดไม่น้อยกว่า 20 เมกะพาสคัล



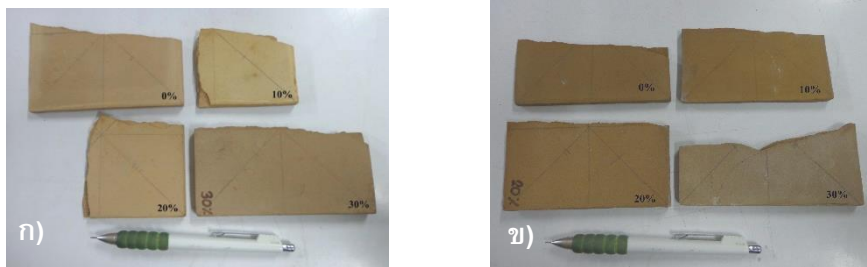
รูปที่ 4 กระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ ก) ความแข็งแรงแบบซอร์ และ ข) กำลังตัด

3.10 ความคงทนต่อสารเคมี

เมื่อนำแผ่นกระเบื้องเซรามิกหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้มาแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเจือจางเข้มข้นร้อยละ 3 และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 7 วัน เพื่อดูสภาพการทนกรดและด่างของกระเบื้อง พบว่ารอยเสียหายเกิดขึ้นจากสารละลายกรดของกระเบื้องทุกอัตราส่วนผสม สังเกตเห็นจากเนื้อกระเบื้องที่หลุดออกมาและมีคราบสีขาวเกาะบนแผ่นกระเบื้องทดสอบ (รูปที่ 5) เมื่อนำมาทดสอบความคงทนต่อด่างพบว่าไม่พบรอยเสียหายจากสารละลายด่าง (รูปที่ 6) กับทุกอัตราส่วนผสมและทุกอุณหภูมิเผา ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากเนื้อกระเบื้องมีสภาพความเป็นด่างสูงเป็นผลมาจากการเติมเถ้าไม้เข้าไป สำหรับในส่วนของน้ำหนักของกระเบื้องหลังผ่านการทดสอบความคงทนต่อสารเคมีของกรดและด่างได้น้ำหนักลดลงเพียงเล็กน้อย



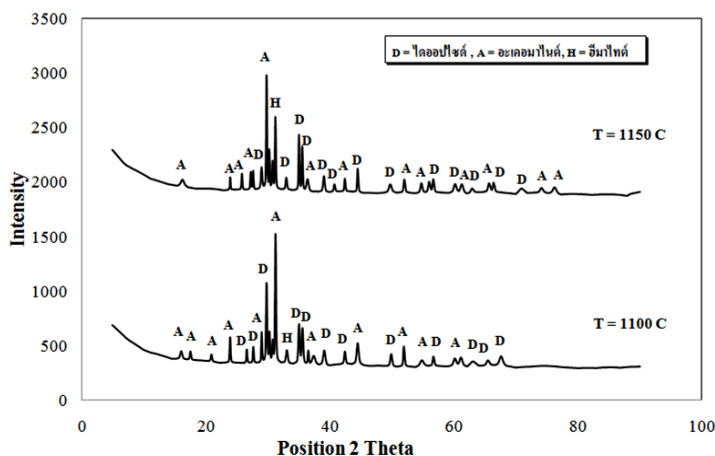
รูปที่ 5 ลักษณะความคงทนต่อกรดของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้เผาที่อุณหภูมิ ก) 1,100 องศาเซลเซียส และ ข) 1,150 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 ลักษณะความคงทนต่อต่างของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมแก้วไม้เผาที่อุณหภูมิ ก) 1,100 องศาเซลเซียส และ ข) 1,150 องศาเซลเซียส

3.11 การวิเคราะห์แร่ประกอบในกระเบื้องหลังเผา

เนื้อกระเบื้องเซรามิกหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมแก้วไม้ที่ค่ากำลังตัดสูงสุด ซึ่งผสมแก้วไม้ร้อยละ 10 ทั้งอุณหภูมิเผา 1,100 และ 1,150 องศาเซลเซียส มาวิเคราะห์วัฏภาคแร่ประกอบขึ้นด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) พบว่ามีปริมาณแร่ไดออปไซด์ (diopside) มากที่สุดของทุกอุณหภูมิเผา (รูปที่ 7) อันเป็นผลจากการรวมตัวทางเคมีเกิดผลึกเป็นแร่ชนิดต่างๆ ดังสมการเคมีข้างล่าง ผลการคำนวณปริมาณแร่โดยประมาณด้วยวิธีพื้นที่ใต้กราฟแสดงไว้ในตารางที่ 2



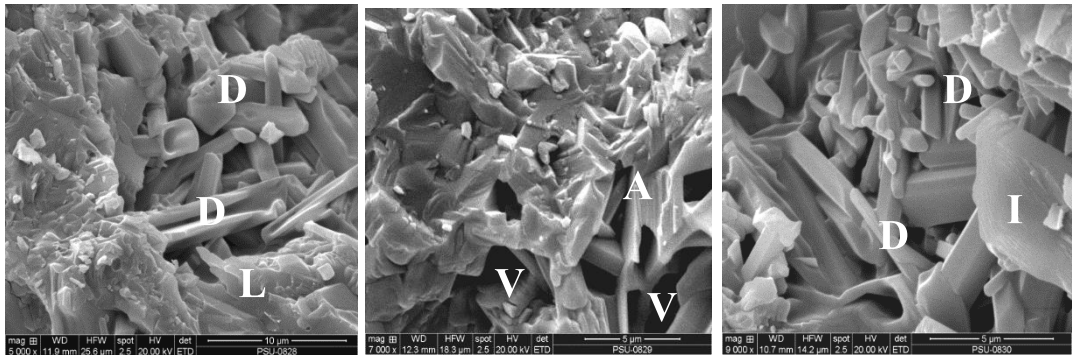
รูปที่ 7 เปรียบเทียบลายพิมพ์ของการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมแก้วไม้ร้อยละ 10 ที่อุณหภูมิทั้งสอง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณแร่ของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้

อุณหภูมิ (°C)	ชนิดแร่	สูตรเคมี	ปริมาณ (%)
1,100	ไดออปไซด์ (Diopside)	$\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$	50.68
	อะเคอมาไนต์ (Aikmanite)	$\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$	40.20
	ฮีมาไทต์ (Hematite, syn)	Fe_2O_3	9.12
1,150	ไดออปไซด์ (Diopside)	$\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$	34.00
	ลูไซต์ (Leucite)	KAlSi_3O_8	28.50
	อะเคอมาไนต์ (Aikmanite)	$\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$	27.93
	อิลเมนไนต์ (Ilmenite, syn)	$\text{Fe}(\text{TiO}_3)$	9.57

3.12 โครงสร้างจุลภาค

จากภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในโครงสร้างเนื้อกระเบื้องเซรามิกหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 เเผที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส มีลักษณะการอบผืนึกของกระเบื้องหลังเผที่อุณหภูมิสูง มีลักษณะเป็นแท่งเหลี่ยมมีความพรุนเนื่องจากการขยายตัวอันเป็นผลเนื่องมาจากการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่ได้ระเหยออกมาขณะเผา จึงทำให้เกิดรูพรุนขึ้น ส่งผลให้กระเบื้องมีค่าการดูดซึมน้ำที่สูง จากภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาครูปที่ 8 ก) พบผลึกแร่ไดออปไซด์ (D) มีลักษณะของผลึกเป็นแท่งปริซึมแสดงหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือรูปแปดเหลี่ยม และพบโครงสร้างของแร่ลูไซต์ (L) มีลักษณะรูปผลึกแบบลูกตะกร้อคล้ายผลึกโกเมนรูปที่ 8 ข) พบลักษณะของแร่อะเคอมาไนต์ (A) โครงสร้างผลึกเป็นระบบสองแกนเท่า (tetragonal) ซึ่งมีรอยแตกโค้งเว้ารูปฝ่าหอย รูพรุนหรือโพรงอากาศ (V) ส่วนรูปที่ 8 ค) พบโครงสร้างของแร่อิลเมนไนต์ (I) จะมีลักษณะรูปผลึกแบบสามแกนราบ (hexagonal) ผลึกมักจะเป็นแผ่นหนาหรือเป็นชั้น ผลึกมักจะไม่ใกล้เคียงกับแร่ฮีมาไทต์ อาจพบเป็นแผ่นบางๆ ซ้อนกันและพบผลึกไดออปไซด์เช่นเดียวกับในรูปที่ 8 ก)



รูปที่ 8 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ผิวรอยแตกของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 กำลังขยาย ก) 5000 เท่า ข) 7000 เท่า และ ค) 9000 เท่า

4. สรุปผลวิจัย

ผลการศึกษาสมบัติของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ พบว่าสามารถผลิตเป็นกระเบื้องเซรามิกและมวลเบาได้ สรุปผลการทดลองครั้งนี้ได้ดังนี้

1. สีของเนื้อกระเบื้องดิบหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ก่อนเผามีสีเทา หลังเผาเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและอ่อนลงตามอัตราส่วนเถ้าไม้และอุณหภูมิเผาที่เพิ่มขึ้น กระเบื้องเกือบทุกอัตราส่วนและทุกอุณหภูมิมีความได้ฉากและการบิดเบี้ยวอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 37-2529 [13] และ มอก 614-2529 [14] ยกเว้นกระเบื้องเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส ผสมเถ้าร้อยละ 30 ไม่ผ่านเกณฑ์

2. ความหนาแน่นรวมและการหดตัวหลังเผาของเนื้อกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ลดลงตามอัตราส่วนเถ้าไม้ในทั้งสองอุณหภูมิ พบว่าผลิตภัณฑ์กระเบื้องที่ได้ความหนาแน่นลดลงมาก จึงมีศักยภาพผลิตกระเบื้องมวลเบา พัฒนาทำเป็นกระเบื้องฉนวนความร้อน ซึ่งในทางตรงกันข้ามการดูดซึมน้ำและน้ำหนักสูญหายหลังการเผามีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ล้วนเผา 1,150 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกระเบื้องปูพื้น [13] ประเภทดูดซึมน้ำต่ำ ส่วนกระเบื้องผสมเถ้าไม้ร้อยละ 10 การดูดซึมน้ำอยู่ในเกณฑ์กระเบื้องปูพื้นประเภทดูดซึมน้ำปานกลาง นอกจากนี้กระเบื้องสูตรทั้งสองยังอยู่ในเกณฑ์กระเบื้องบุผนังภายนอก [14] ได้อีกเช่นกัน ในดังนั้นกระเบื้องที่ทำจากหินฝุ่นแอนดีไซต์เป็นกระเบื้องเซรามิกที่สามารถผลิตขึ้นโดยใช้วัตถุดิบทดแทนวัตถุดิบที่ทำจากเซรามิกแบบดั้งเดิมได้เช่นกัน สำหรับการผสมเถ้าไม้และเผาที่อุณหภูมิดังกล่าวทำให้ได้เป็นเซรามิกมวลเบา ซึ่งพัฒนาทำเป็นวัสดุเซรามิก ฉนวนความร้อนได้

3. ความแข็งแรงแบบซอร์และกำลังดัดของเนื้อกระเบื้องเซรามิกหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้มีค่าลดลงตามอัตราส่วนเถ้าไม้ที่เติมเพิ่มขึ้นเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาค่ากำลังดัดของกระเบื้องหินฝุ่นแอนดีไซต์ล้วนและที่เติมเถ้าไม้ร้อยละ 10 ปรากฏว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานกระเบื้องปูพื้น [13] ประเภทดูดซึมน้ำต่ำจนถึงปานกลางค่อนข้างสูง และกระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอก [14]

4. วัฏภาคแร่ลู่ไซต์และอีลเมไนต์ มีอิทธิพลทำเนื้อกระเบื้องมีสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระเบื้องดีขึ้นหลังจากเผาที่อุณหภูมิทั้งสองต่างกัน นอกเหนือไปจากที่ให้แร่ไดออปไซต์และอะเคอมาไนต์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.environnet.in.th> สืบค้นข้อมูลเมื่อ 10 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556
- [2] อารักษ์ พูลศักดิ์ และดนุพล ตันนโยภาส (2555). “การพัฒนากระเบื้องเซรามิกผสมหินฮอร์นเฟลส์กับหินเพอร์ไลต์,” วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 14 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม 2554 - ธันวาคม 2554 : หน้า1-8.
- [3] Kooptarnond, K. and Tonnayopas, D. [CD-ROM]. (2007). “Using weathered granite for ceramic tile production,” **Int. Conf. Recycling and Waste Processing: Materials Recovery from Wastes; Batteries and Co/Ni; Precious Metal Recovery; and Other Non Ferrous**, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society). Orlando, Florida : pp. 43-49.
- [4] Esposito, L., Salem, A., Tucci, A., Gualtieri, A. and Jazayeri, S.H. (2005). “The use of nepheline-syenite in a body mix for porcelain stoneware tiles,” **Ceramics International**. 31(2) : 233-240.
- [5] อาชีวะ หมักหมั่น ดนุพล ตันนโยภาส และสุชาติ จันทรมณีย์. (2556). “กลไกการเผาผนึกของเนื้อกระเบื้องเซรามิกซีโอไลต์เติมเศษหินชนวน,” วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2556 : หน้า10-16.

- [6] 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 (TIJSAT)**. 14(1) : 10-20.
- [7] Tonnayopas, D., Tekasakul, P. and Jaritgnam, S. (2007). "Use of oil palm fiber ash as an additive in clay bricks," **Int. Proc. of the International Conference on Mining, Materials, and Petroleum Engineering: The Frontiers of Technology (ICFT-2007)**. May 10-12, 2007. Phuket Graceland Resort & Spa, Phuket, Thailand. pp.198-203.
- [8] ดนุพล ตันนโยภาส วรณรัตน์ แก้วสมบุญ และสุชาติ จันทรมณีย์. (2554). "คุณลักษณะกระเบื้องเซรามิกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมร่วมกับเถ้าไยปาล์มน้ำมัน," **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ** ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 ต.ค. 2552 –ม.ค. 2553 : หน้า 149-159.
- [9] ดนุพล ตันนโยภาส, วิลาวรรณ ศิลป์สอน และสุชาติ จันทรมณีย์. (2555). "การเตรียมกระเบื้องมวลเบาด้วยเศษเถ้าเซรามิกถุงมือชำรุดผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและหางแร้ดินขาว," **การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณครั้งที่ 22 ประจำปี 2555 "วิถีไทย วิถีอาเซียน วิถีแห่งความร่วมมือ"**. วันที่ 23-26 พฤษภาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติฉลองสิริราชสมบัติครบ 60 ปี อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.
- [10] ดนุพล ตันนโยภาส กัลยาณี คุปตานนท์ หทัยทิพย์ พันฤทธิ์ดำ และสุชาติ จันทรมณีย์. (2556). "กระเบื้องเซรามิกมวลเบาชนิดใหม่ทำจากหางแร้ดินขาวและเถ้าลอยไม้ยางพารา," **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**. (กำลังจัดพิมพ์)
- [11] Tonnayopas, D., Kooptarnond, K. and Masae, M. (2009). "Effect of firing temperature and para rubber wood ash on the quarry granite waste roofing tiles body," **4th Int. Conf. Eng. Tec.- ICET 2009**. April 28-30 2009. Hotel Park, Novi Sad, Serbia. pp. 257-262.
- [12] Sariisik, A., Sariisik, G. and Sentürk, A. (2011). "Applications of glaze and decor on dimensioned andesites used in construction sector," **Construction and Building Materials**. 25(9) : 3694-3702.
- [13] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น มอก. 37-2529
- [14] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอก มอก. 614-2529