

สมบัติของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบ

Properties of Fired Clay Tile Containing Unexpanded Perlite

ศศิกร ประสารการ¹ ดนุพล ตันนโยภาส^{2*}Sasikorn Prasarnkarn¹ Danupon Tonnayopas^{2*}

Received: 20 January 2014; Accepted: 30 March 2014

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมหินเพอร์ไลต์ดิบในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลของกระเบื้องดินเผา ทำการเตรียมกระเบื้องตัวอย่างมีขนาด 100 มม.×100 มม.×7 มม. ขึ้นรูปด้วยเครื่องกดไฮดรอลิก โดยใช้แรงกด 10 บาร์ ทำการเผาผนึกชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส ตรวจสอบสมบัติของกระเบื้องตัวอย่างที่เผาผนึก ได้แก่ ความได้ฉาก ความหนาแน่นรวม น้ำหนักสูญหายหลังเผา การหดตัวหลังเผา การดูดซึมน้ำ ความแข็งแบบชอร์ โมดูลัสแตกร้าว วิเคราะห์ความคงทนต่อสารเคมีและวิเคราะห์แร่ประกอบในกระเบื้องด้วยการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ และวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดสอบพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดคือ กระเบื้องที่มีอัตราส่วนของเพอร์ไลต์ดิบร้อยละ 30 และเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เผาผนึกพบว่ามีวัฏภาคแควออร์ตซ์ แมกนีไทต์ ฮีมาไทต์ และมุลไลต์ ฝังอยู่ในเนื้อพื้นของกระเบื้องดินเผา

คำสำคัญ : หินเพอร์ไลต์ดิบ กระเบื้องดินเผา เผาผนึก

Abstract

In this research, the effect of unexpanded perlite (UP) addition, in the range of 0, 10, 20 and 30wt.%, on the physical and mechanical properties of clay tile was investigated. Tile specimens were prepared in the dimensions of 100 mm×100 mm×7 mm using uniaxially pressed at the load of 10 bars. Subsequently, specimens were sintered at temperatures between 1,000 and 1,100°C. The properties of sintered specimens such as the squareness and warpage, bulk density, weight loss, linear and volumetric shrinkages, water absorption, Shore hardness, and modulus of rupture were measured. Chemical resistance of sintered specimens was also determined and analyzed on the basis of X-ray diffraction. The microstructure was observed via scanning electron microscope. Optimum batch was obtained in the specimen with 30wt.%UP and sintered at 1,100°C. It was exhibited that quartz, magnetite, hematite, and mullite phases were crystallized in sintered sample and revealed all crystals embedded in the matrix of clay tile.

Keywords : Unexpanded Perlite, Clay Tile, Sintering

¹ นักศึกษา, ² รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90112

¹ Bachelor degree student, ² Assoc.Prof., Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat-Yai District, Songkhla, Thailand 90112

* Corresponding author, DanuponTonnayopas, E-mail: danupon.t@psu.ac.th

บทนำ

หินเพอร์ไลต์นำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมน้ำหนักเบา ที่นิยมผสมในคอนกรีตหรือมอร์ตาร์^{1,2} เพอร์ไลต์เป็นหินภูเขาไฟเมื่อได้รับความร้อนประมาณ 850-900 องศาเซลเซียส จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแก้วเป็นผลึก (devitrification) มีความใสคล้ายกระจก และเกิดการพองขยายตัวจนมีปริมาตรประมาณ 7-16 เท่าของปริมาตรเดิม น้ำภายในผลึกจะเหวี่ยงออกไป จึงส่งผลทำให้เพอร์ไลต์มีน้ำหนักเบา เป็นฉนวนความร้อนทนไฟสูง แข็ง ทนต่อการสึกกร่อนระคายอากาศได้ดี³ และมีความเหมาะสมกับการผสมในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดยิปซัม⁴ โดยเฉพาะการนำไปใช้เป็นวัสดุประสานในคอนกรีต⁵ แต่การประยุกต์ใช้ร่วมกับดินเหนียวเพื่อทำอิฐและกระเบื้องนั้นยังมีการศึกษา เนื่องจากการรวมวิธีการเผาและการเคลือบกระเบื้องดินเผาที่มีความแตกต่างจากกระเบื้องเซรามิก และดินเหนียวมีสมบัติค่อนข้างที่บ้น้ำสูง ส่งผลให้กระเบื้องมีน้ำหนักสูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่หาวัตถุดิบที่ทำให้กระเบื้องมีน้ำหนักเบาลง Topcu and Isikdag⁶ ได้ทำการศึกษาโดยนำเอาหินเพอร์ไลต์ที่ผ่านการเผาผนึกมาผสมทำอิฐดินเผา พบว่าเติมแร่โคเลมานไนต์ (colemanite) ร่วมด้วยทำให้ได้อิฐมวลเบาที่มีสมบัติทางกายภาพและทางกลดีกว่าวัสดุมวลเบาเชิงพาณิชย์⁷ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการนำหินฮอร์นเฟลส์ผสมเพอร์ไลต์ดิบเพื่อการเกษตรผลิตเป็นกระเบื้องเซรามิก โดยทำการผสมเพอร์ไลต์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก เผาผนึกที่อุณหภูมิตั้งแต่ 1,050 ถึง 1,100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างกระเบื้องเซรามิกผสมเพอร์ไลต์ร้อยละ 10-20 ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส เหมาะสมผลิตเป็นกระเบื้องปูพื้นตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 2508⁸

จากผลงานวิจัยพบว่าเพอร์ไลต์มีสมบัติเด่นหลายประการที่เหมาะสมกับการผลิตกระเบื้อง^{9, 10} นอกจากนี้ราคาไม่แพง จึงนำมาใช้ทดแทนบรรดาแร่ใยหิน (asbestos) ในประเทศไทยจะพบแหล่งหินชนิดนี้มากในพื้นที่ภูเขาไฟลำธารายณ์ อำเภอกอเจริญและสระโบสถ์ จังหวัดลพบุรี¹¹ เป็นแนวทางในการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติ ที่เพิ่มสมบัติของผลิตภัณฑ์กระเบื้องนิเวศ การนำเสนอผลิตภัณฑ์ใหม่แก่ตลาดก่อสร้าง ให้มีทางเลือกใช้งานเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษสมบัติของกระเบื้องดินเผาที่ผสมหินเพอร์ไลต์ดิบให้มีคุณภาพเทียบเท่ากระเบื้องเซรามิกมวลเบา¹²

วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบหลักที่ใช้คือ ดินเหนียว (clayey soil, CS) จากโรงงานผลิตอิฐดินเผา และเศษหินฝุ่นเพอร์ไลต์ดิบ (unexpanded perlite, UP) จากแหล่งหินภูเขาไฟลำธารายณ์

จังหวัดลพบุรีดินเหนียวมาจากโรงงานอิฐ ตำบลบ้านพรุ อำเภอนครหลวง วัตถุประสงค์ทั้งคู่มอบเพื่อขจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ทำการบดหยาบด้วยเครื่องบดปากจับ (jaw crusher) และบดละเอียดด้วยเครื่องบดปากกรวย (gyratory) สองครั้งเพื่อให้ขนาดละเอียดผ่านการร่อนแบบแห้งจากตะแกรงเบอร์ 200 เมช หรือ 75 ไมครอน ดัง Figure 1



Figure 1 Samples preparation a) clayey soil and b) unexpanded perlite

การออกแบบ อัตราส่วนผสมและการเผากระเบื้องตัวอย่าง

ดินเหนียวและผงเพอร์ไลต์ดิบทำการผสมในอัตราส่วนเป็นร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก ดังใน Table 1 คลุกให้เข้ากันในกระบอบพลาสติก เติมน้ำปริมาณ 24 กรัม เท่ากันทั้ง 4 สูตรวัตถุดิบที่เตรียมไว้เทลงเบ้า แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแห้ง ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกที่แรงกด 100 บาร์ ค้างไว้ 30 วินาที เพื่อให้วัตถุดิบอัดตัวแน่นแผ่นกระเบื้อง ตบแต่งบริเวณขอบและผิวหน้า และนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงวัดขนาดมิติ และชั่งน้ำหนักกระเบื้องดิบ เผาผนึกในเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 1,000 และ 1,100 องศาเซลเซียส และด้วยอัตราความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อวินาทีจนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส แช่ไว้นาน 30 นาที หลังจากนั้นให้อัตราความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อวินาทีจนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสแช่ไว้ 30 นาที หลังจากนั้นให้อัตราความร้อน 1 องศาเซลเซียสต่อวินาทีจนถึงอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนด แช่ไว้นาน 30 นาที แล้วจึงสิ้นสุดการเผา ให้ตัวอย่างเย็นตัวภายในเตาเผา ตัวอย่างแผ่นกระเบื้องบางส่วนแสดงใน Figure 2 และ Figure 3

Table 1 Mix design of clay tile samples

Ratio of mixture (CS:UP)	Weight of mixture (g)		Water content (g)
	CS	UP	
100:0	200	0	24
90:10	180	20	22
80:20	160	40	20
70:30	140	60	18

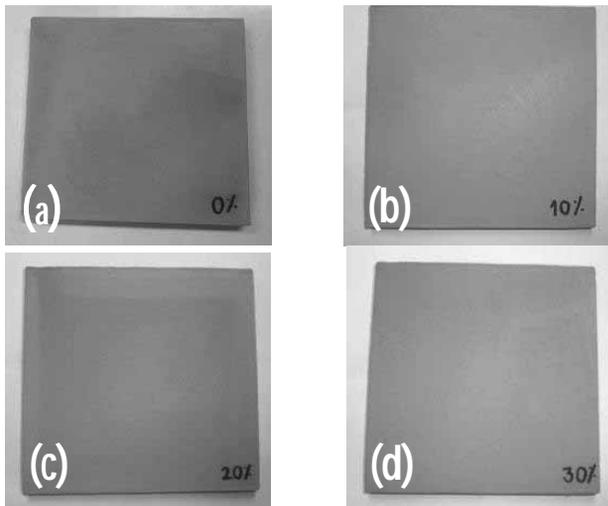


Figure 2 Clay tile samples treated at 1,000°C with UP (a) 0% (b) 10% (c) 20% and (d) 30% UP

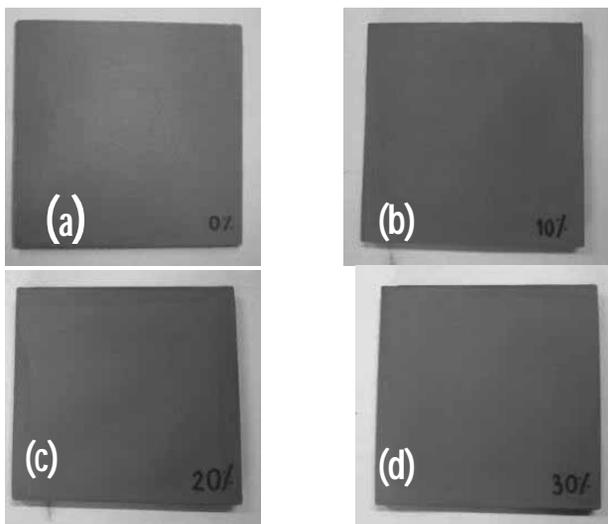


Figure 3 Clay tile samples treated at 1,100°C with UP (a) 0% (b) 10% (c) 20% and (d) 30 wt. (%)

การทดสอบสมบัติกระเบื้องตัวอย่าง

ความได้น้ำของกระเบื้องทำการทดสอบโดยใช้เหล็กฉากวัดมุมของกระเบื้อง โดยที่ขอบบนของกระเบื้องที่เบี่ยงเบนไปจากเส้นตรงที่ทำมุมฉากกับด้านประชิด ณ จุดห่างจากมุมเป็นระยะ 100 มิลลิเมตร ต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร¹³ การดูดซึมน้ำ (water absorption) ด้วยวิธีต้ม¹⁴ การหดตัว (shrinkage) กระเบื้องนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นวัดขนาดทั้งสามมิติและชั่งน้ำหนัก เมื่อเผาเสร็จก็นำวัดขนาด และชั่งน้ำหนักอีกครั้งนำผลที่ได้มาคำนวณการหดตัวเชิงเส้น (linear shrinkage) ส่วนความหนาแน่นรวม (bulk density) คือมวลของชิ้นกระเบื้องทดสอบหารด้วยปริมาตร¹⁴

ค่าโมดูลัสแตกร้าว (modulus of rupture) ทำการทดสอบตามวิธีการ มอก. 2398¹⁵ ด้วยเครื่องทดสอบแรงดัด

(Hounsfield test equipment) รุ่น H 100KS กำหนดดัดด้วยความเร็ว 1.8 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราความเครียด (strain rate) 10^{-3} /วินาที

ทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore hardness) อุปกรณ์ทดสอบคือ Hardness tester รุ่น EQUOTIP เป็นอุปกรณ์วัดความแข็งของโลหะที่ใช้หลักการของลูกบอลเหล็กไว้ส้นนิมกระแทกและค่ากระดอนขึ้นมา ไม่มีหน่วย ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบไม่ทำลายตัวอย่าง

การทนต่อสารเคมีทดสอบโดยการจุ่มในกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำการเตรียมสารละลายไฮโดรคลอริก เข้มข้นร้อยละ 3 จากไฮโดรคลอริกชนิดเข้มข้นจำนวน 30 มิลลิลิตร ผสมน้ำกลั่น 970 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จำนวน 30 กรัม แล้วเติมน้ำกลั่นจนครบ 1 ลิตร¹⁶ นำชิ้นตัวอย่างจุ่มลงในสารละลายที่เตรียมไว้ จุ่มขึ้นกระเบื้องทั้งที่มีส่วนแช่จุ่มลงในสารเคมีและเหลือบางส่วนโผล่พ้นจากสารละลาย เป็นเวลา 7 วันเมื่อครบกำหนด นำกระเบื้องไปล้างด้วยน้ำ 1 วัน และนำไปต้มในน้ำเดือด 30 นาที ทำการซับและอบแห้ง ทำการตรวจพินิจผิวหน้าเพื่อหาการเปลี่ยนแปลง นำไปอบแห้งชั่งน้ำหนัก (W_2) และเปรียบเทียบกับน้ำหนักของกระเบื้องก่อนทำการทดลอง (W_1) คำนวณค่าความต้านทานสารเคมี (R) จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$R = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

ผลการวิจัย

องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุดิบ

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวและเพอร์ไลต์ โดยวิธีการเรืองแสง (X-Ray Fluorescence Spectrometer, XRF) พบว่าทั้งดินเหนียวและเพอร์ไลต์ต่างก็มีปริมาณ SiO_2 มากที่สุด (Table 2) และในเพอร์ไลต์มีสูงกว่าในดินเหนียวจึงมีศักยภาพที่จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงแก่กระเบื้องที่ทดลอง¹⁷

Table 2 Chemical composition of clayey soil and unexpanded perlite used by XRF analysis

Raw Materials Chemical composition	Content (wt.%)	
	CS ¹⁸	UP ¹⁹
Silicon dioxide (SiO ₂)	58.11	71.02
Aluminium oxide (Al ₂ O ₃)	17.88	16.01
iron oxide (Fe ₂ O ₃)	8.58	0.71
Potassium oxide (K ₂ O)	5.98	5.59
Titanium dioxide(TiO ₂)	1.86	-
Magnesium oxide (MgO)	1.22	0.41
Calcium oxide (CaO)	0.13	0.58
Manganese dioxide(MnO ₂)	0.30	-
Sulfur trioxide (SO ₃)	-	-
Iron oxide (FeO)	-	0.73
Sodium oxide (Na ₂ O)	-	0.90
Loss on Ignition	0.28	-
H ₂ O (comb)	-	3.57

ความได้ฉาก

ผลการวัดความได้ฉาก(squareness)ของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบพบว่าทุกอัตราส่วนผสมและเผาทั้งสองอุณหภูมิ ได้กระเบื้องที่มีความได้ฉากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มอก 2398 คือไม่เกิน 0.7 มิลลิเมตร¹³

การหดตัวเชิงเส้นและเชิงปริมาตร

การหดตัวเชิงเส้น (linear shrinkage) ของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบ พบว่าการหดตัวเชิงเส้นได้ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.12 – 3.39 การหดตัวเชิงเส้นเพิ่มขึ้นซึ่งแปรผันตามอัตราส่วนเพอร์ไลต์ที่เพิ่มดัง Figure 4 (a) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผาการหดตัวก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งอุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส มีการหดตัวสูงสุด และพบว่าอัตราส่วนเพอร์ไลต์ร้อยละ 30 มีการหดตัวมากที่สุดแต่น้อยกว่า Topcu and Isikdag⁶ ที่อุณหภูมิค่าหดตัวร้อยละ 8-11.5

ในขณะที่ค่าการหดตัวเชิงปริมาตร (volumetric shrinkage) พบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.73 – 8.03 ค่าการหดตัวเชิงปริมาตรมีพฤติกรรมทำนองเดียวกับค่าการหดตัวเชิงเส้นดัง Figure 4 (b) ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการคำนวณค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่าง

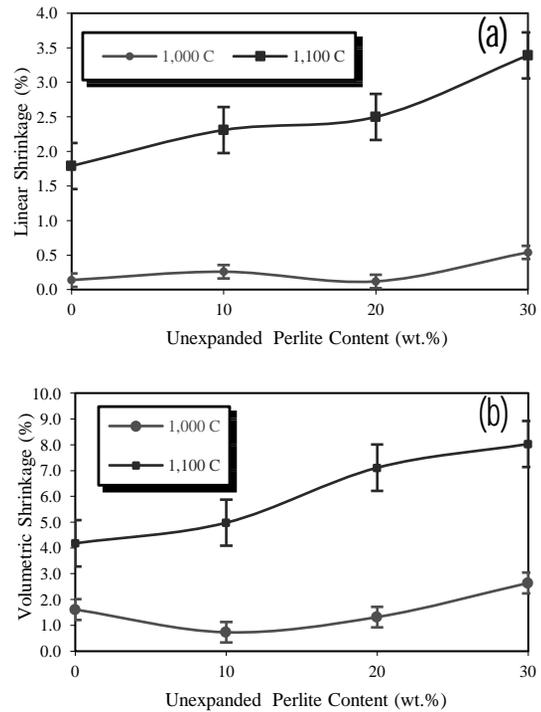


Figure 4 Shrinkage of clay tile containing unexpanded perlite a) linear and b) volumetric

การดูดซึมน้ำ

กระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบเมื่อผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่างกัน มีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 10.78 – 18.06 ดังFigure 5เห็นว่าที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส มีค่าการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูง สันนิษฐานว่าอุณหภูมิที่เผากระเบื้องยังไม่ถึงเผาผืน (sintering) ทำให้เนื้อกระเบื้องเชื่อมประสานกันไม่สนิทมีรูพรุนเปิดตามขอบวัสดุผสม แต่เมื่ออุณหภูมิเผาสูงขึ้นที่ 1,100 องศาเซลเซียส เนื้อพื้น (matrix) ยึดประสานลดรูพรุนเปิด (open pore) และช่องว่างระหว่างอนุภาค (intergranular) ก็ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลง²¹

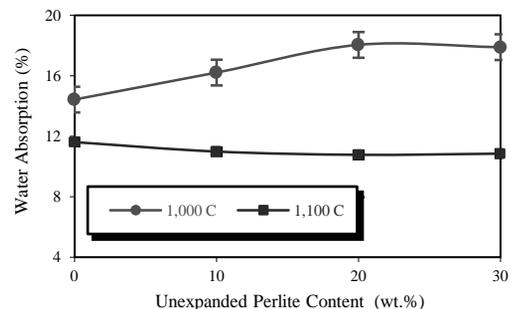


Figure 5 Water absorption of clay tile containing unexpanded perlite

น้ำหนักสูญหายหลังเผา

กระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบหลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิทั้งสอง พบว่าค่าน้ำหนักสูญหายอยู่ในช่วงร้อยละ 3.45-6.27 ดังแสดงใน Figure 6 น้ำหนักของตัวอย่างสูญหายค่อนข้างน้อย เผาที่ 1,100 องศาเซลเซียส เนื่องจากเพอร์ไลต์ดิบได้พองขยายตัวจนหมดสิ้น น้ำหนักจึงลดลง แต่สำหรับที่ 1,000 องศาเซลเซียส เพอร์ไลต์ดิบบางส่วน (ร้อยละ 10) ได้พองขยายตัว และบางส่วนไม่พองขยายตัวออก (ร้อยละ 20-30) ทำให้น้ำหนักสูญหายมากช่วงแรกและลดลงช่วงหลัง

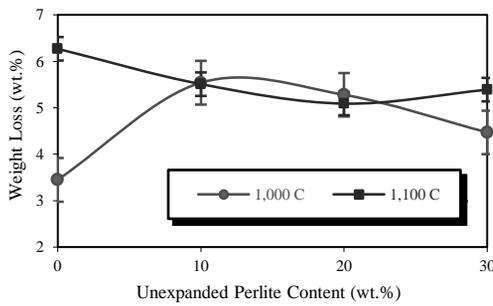


Figure 6 Weight loss of clay tile containing unexpanded perlite

ความหนาแน่นรวม

กระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบ มีความหนาแน่นรวมเพิ่มขึ้น เมื่อเผาที่อุณหภูมิต่างกัน (Figure 7) ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่างกระเบื้องลดลงร้อยละ 1.78 – 2.02 เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเผา ความหนาแน่นรวมก็สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเพอร์ไลต์ ค่าความหนาแน่นรวมที่ได้ (อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส) สูงกว่าในงานวิจัยของ Topcu and Isikdag⁶ ซึ่งได้ค่าความหนาแน่นอิฐดินเผาผสมเพอร์ไลต์อยู่ในช่วง 255-1,425 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตรจัดเป็นอิฐมวลเบา⁷ ทั้งนี้เพราะอิทธิพลของดินเหนียวทำให้กระเบื้องงานนี้สูงกว่า ส่วนงานวิจัยของอารักษ์และธนุพล⁹ ได้ความหนาแน่นรวมเฉลี่ยของกระเบื้องเซรามิกผสมหินฮอร์นเฟลส์กับเพอร์ไลต์ทดลองอยู่ในช่วง 1.63-2.46 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

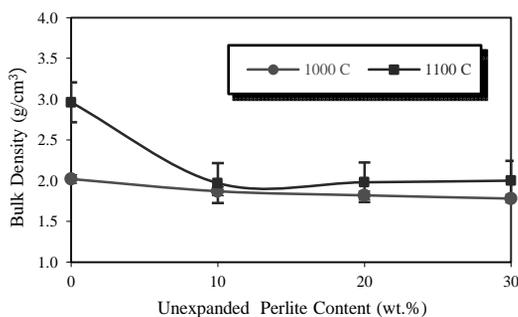


Figure 7 Bulk density of clay tile containing unexpanded perlite

ความแข็งแบบชอร์

กระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบ มีค่าความแข็งแบบชอร์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 344.00-568.67 พบว่าเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการเผาและเพิ่มอัตราส่วนผสมเพอร์ไลต์ดิบสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความแข็งแบบชอร์ก็มีค่าสูงขึ้นด้วยดัง Figure 8 ทั้งนี้เพราะความแข็งแบบชอร์สัมพันธ์กับกับความหนาแน่นรวม (Figure 7) เห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมของเพอร์ไลต์ร้อยละ 30 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสมีค่าความแข็งสูงสุด แนวโน้มค่าความแข็งค่อนข้างไปด้วยกันกับการหดตัวของตัวอย่างเผา 1,100 องศาเซลเซียส (Figure 4) และตรงกันข้ามกับค่าการดูดซึมน้ำ (Figure 5)

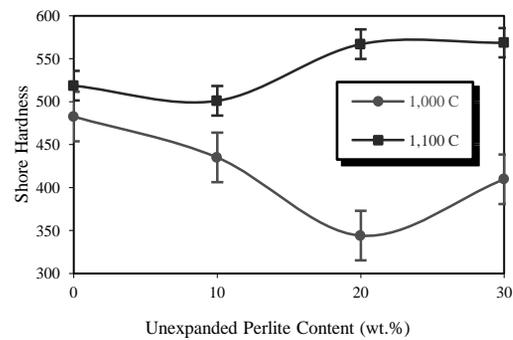


Figure 8 Shore hardness of clay tile containing unexpanded perlite

โมดูลัสแตกร้าว

ค่าโมดูลัสแตกร้าวของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1.26 - 12.47 เมกะพาสคัล (Figure 9) พบว่าอุณหภูมิเผาและปริมาณเพอร์ไลต์ที่เติมลงไปไม่มีผลต่อโมดูลัสแตกร้าวของกระเบื้อง ซึ่งที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส และที่อัตราส่วนผสมเพอร์ไลต์ร้อยละ 30 ได้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงสุด ค่าความแข็งชอร์ (Figure 8) ให้ผลทำนองเดียวกับค่าโมดูลัสแตกร้าว และผลทดลองครั้งนี้พบว่าที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส

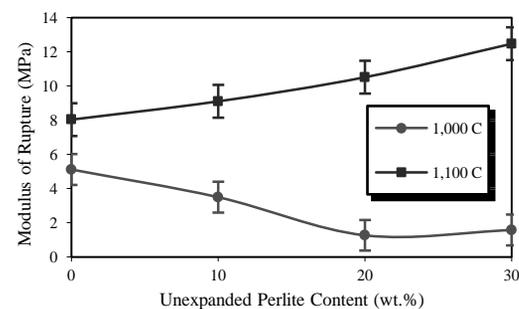


Figure 9 Modulus of rupture of clay tile containing unexpanded perlite

ได้ค่าเช่นเดียวกับงานวิจัยของอารักษ์และธนุพล⁹ ที่ได้โมดูลัสแตกร้าวเฉลี่ยอยู่ในช่วง 8.78-46.37 เมกะพาสคัล แม้ว่ากระเบื้องเซรามิกทำจากหินฮอร์นเฟลส์ผสมเพอร์ไลต์ ต่างจากงาน Topcu and Isikdag⁶ ที่ค่าลดลงตามปริมาณเพอร์ไลต์ที่เพิ่มขึ้น และผลวิจัยครั้งนี้ได้ค่าสูงกว่างานของ Celiket al.⁷

ความคงทนต่อสารเคมี

จากผลการทดสอบการทนต่อกรดและด่างของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบ ที่ได้แช่ในสารละลายเป็นเวลา 7 วัน เมื่อตรวจพิจารณาผิวด้วยสายตาแล้ว ไม่ปรากฏรอยกัดกร่อนเสียหายใดเกิดขึ้นบนผิวกระเบื้องจากสารละลายกรด (Figure10 (a)และ(b)) และด่าง (Figure10 (c)และ(d)) ส่วนน้ำหนักลดลงจากเดิมเพียงเล็กน้อย แสดงว่ากระเบื้องมีความคงทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี

การวิเคราะห์แร่ประกอบของกระเบื้องหลังเผา

ผลจากการวิเคราะห์ลายเส้นของรังสีเอกซ์ (XRD pattern) ของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ร้อยละ 30 ดัง Figure11 พบว่าอุณหภูมิเผา 1,000 องศาเซลเซียสได้แสดงลายพิมพ์ของวิฎุภาคแร่ควอตซ์ (quartz, Q) เพียงชนิดเดียว เนื่องจากอุณหภูมิความร้อนของเนื้อกระเบื้องผสมยังไม่เพียงพอที่ตกผลึกเป็นแร่ชนิดอื่นได้อีก²⁰ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาเป็น 1,100 องศาเซลเซียส

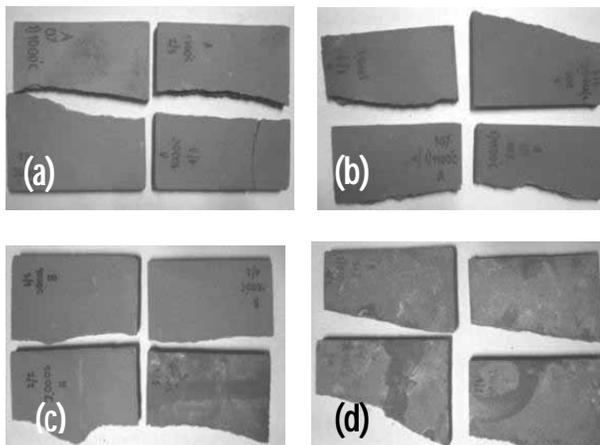


Figure 10 Chemical resistance of clay tile containing perliteseries (a) acid;1,000°Cb) acid;1,100°C c)alkali;1,000°C andd) alkali;1,100°C)

แร่ควอตซ์บางส่วนได้ตกผลึกเป็นมุลไลต์ (mullite, M) ซึ่งเกิดจากซิลิกา (SiO₂) ในเพอร์ไลต์ที่พองขยายตัวจับตัวกับอะลูมินา (Al₂O₃) ทั้งภายในเพอร์ไลต์เองและในดินเหนียว

ผลคำนวณปริมาณแร่ประกอบในตัวอย่างแสดงใน Table3 ทำให้กระเบื้องมีโมดูลัสแตกร้าวหรือกำลังตัดสูงขึ้น (Figure 9) และสีกระเบื้องได้แดงเข้มขึ้นอันเป็นผลมาจากแร่แมกนีไทต์ (magnetite) และฮีมาไทต์ (hematite) ที่ตกผลึกขึ้นเล็กน้อย^{21,22}

Table 3 XRD analysis result of fired clay tile containing 30wt.% UP

T (°C)	Type of mineral	Chemical formula	Content (%)
1,000	Quartz	SiO ₂	100.00
1,100	Quartz	SiO ₂	83.02
	Magnetite	Fe ₃ O ₄	0.88
	Hematite	Fe ₂ O ₃	5.32
	Mullite	Al(Al _{.83} Si _{1.08} O _{4.85})	8.50
	UID	-	2.28

Note: UID = unidentified minerals

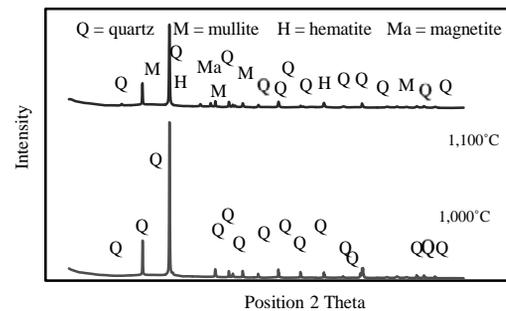


Figure 11 XRD patternof clay tile containing 30wt.%UP fired at different temperatures

โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องหลังเผา

ภาพถ่ายจุลทรรศน์แบบส่องกราด ของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบร้อยละ 30 และเผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส แสดงดัง Figure12 โดยพบว่าเนื้อกระเบื้องมีการเผาเนื้อที่ดี ขอบคมของควอตซ์ และลักษณะผิวขรุขระของแร่มุลไลต์เองก็มีส่วนเสริมให้เกิดสภาพการนำรูเล็ก (capillary conductivity) จำนวนน้อย ทำให้การดูดซึมน้ำของกระเบื้องดินเผาลดลง (Figure 5) ในขณะที่เดียวกันในเนื้อภายในมีช่องเล็ก (capillary interstice,P) มากขึ้นหรืออาจมีรูพรุนปิด (closed pore) มากขึ้นส่งผลให้กระเบื้องมีความหนาแน่นรวมลดลง (Figure7)

สรุปผลการทดลอง

1. การดูดซึมน้ำของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเผาสูงขึ้นที่ 1,100 องศาเซลเซียส ก็ส่งผลให้การดูดซึมน้ำมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความร้อนสูงขึ้นได้ทำให้น้ำในกระเบื้องเกิดเผาผนึกหลอมยึดติดกัน ส่งผลให้ลรูพรongเปิดหรือช่องว่างระหว่างอนุภาคได้ และเป็นผลให้ความหนาแน่นรวมลดลงเล็กน้อย
2. โมดูลัสแตกร้าวของกระเบื้องดินเผาแปรผันตามปริมาณของเพอร์ไลต์ที่เพิ่มขึ้น และแปรผัน

ตามอุณหภูมิเผาเช่นกัน ซึ่งกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ร้อยละ 30 อุณหภูมิเผาที่ 1,100 องศาเซลเซียสให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวสูงที่สุดอยู่ในเกณฑ์

3. ผลวิเคราะห์จุลภาคแร่ที่เกิดขึ้นในกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ร้อยละ 30 เผาที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียสพบว่ามีแร่ที่เกิดขึ้นใหม่คือ มุลไลต์แมกนีไทด์และฮีมาไทต์ส่วนควอตซ์น้ำมีอยู่เดิมในวัตถุดิบทั้งสอง ผลวิเคราะห์ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคพบว่าเนื้อกระเบื้องมีการเผาผนึกมีรูพรongเปิดขนาดเล็กเพียงเล็กน้อยตามตะเข็บรอยต่อของจุลภาคแร่เท่านั้นส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพคือ ค่าการดูดซึมน้ำและค่าความหนาแน่นรวมที่ลดลง

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเพิ่มอัตราส่วนเพอร์ไลต์ดิบมากกว่าร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิเผา 1,100 องศาเซลเซียสเนื่องจากโมดูลัสแตกร้าวยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอีก อัตราส่วนใหม่อาจเพิ่มความเหมาะสมในการใช้งานอุตสาหกรรมก่อสร้างมากขึ้นอีก และให้มูลค่าวิศวกรรมเศรษฐกิจดีขึ้นอย่างแท้จริง
2. ควรทดลองเลือกอุณหภูมิเผาย่อยในช่วงระหว่าง 1,000 ถึง 1,100 องศาเซลเซียสนำมาทำสมบัติของกระเบื้องดินเผาผสมเพอร์ไลต์ดิบพัฒนาเหมาะสมหลายด้าน เนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่าหรือสูงนั้นทำให้กระเบื้องสูญเสียสมบัติบางประการ
3. ควรตรวจสอบสมบัติความจุความร้อน (heat capacity) การนำความร้อน (heat conduction) แก่กระเบื้องผสมเพอร์ไลต์ เพื่อเกิดความมั่นใจการนำไปใช้งานด้านวัสดุกันความร้อน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากหน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและวัสดุก่อสร้างนวัตกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

1. ดนุพล ตันนโยภาส, สมพร เจริญนอร์มย์, กัมปนาท บุญกัน. สมบัติของอิฐมวลเบาผสมหินเพอร์ไลต์, การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ โลหการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 6.โรงแรมแมนดาริน กทม. 2544ตุลาคม24-26;4-21-4-25.
2. ดนุพล ตันนโยภาส, วิระพงษ์ นิยมญาติ. สมบัติของมอร์ตาร์ผสมเพอร์ไลต์และดินขาวแปร.การประชุมวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา.2548ธันวาคม8-9;MnE13-MnE18.

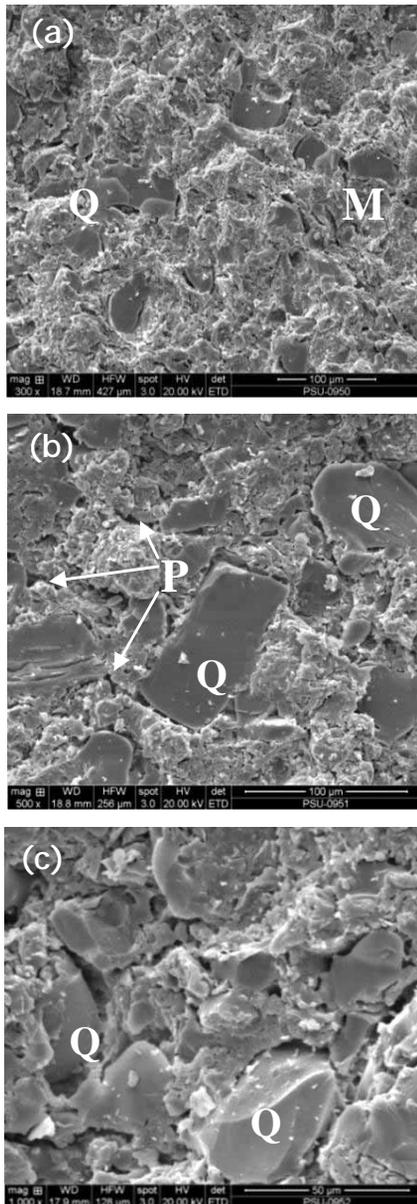


Figure 12 SEM microphotograph of clay tile with 30wt.% unexpanded perlitesintered at1,100°C,((a) 300x,(b) 500xand(c) 1,000x)

3. Boongunt G, Tonnyapopas D, Rienmanorom S. Influence of expanded perlite aggregate and admixtures on physico-mechanical properties of lightweight mortar. *The fib Symposium "Keep Concrete Attractive"*, Budapest, Hungary. 2005 May 23-25; 185-96.
4. ดนุพล ตันนโยภาส, มนูญ มาศนิยม, คัมภีร์ กิจพิพิธ. ลักษณะปูนปลาสเตอร์ที่ผสมเพอร์ไลต์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9. โรงแรมริเจนท์ ซะอ่า จ.เพชรบุรี, 2547 พฤษภาคม 19-21; MAT-48 – MAT-53.
5. ดนุพล ตันนโยภาส, วิชัย นกแก้ว. ผลกระทบของเพอร์ไลต์ดิบไทยที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตมวลหนักใสมวลรวมแบบไรต์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13 รร.จอมเทียนปาล์มมีช พัทยา จ.ชลบุรี. 2551 พฤษภาคม 14-16; (MAT) Page 31- (MAT) Page 36.
6. Topcu IB, Isikdag B. Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite. *Building and Environment*. 2006; 42(10):3540-6.
7. Celik AG, Depci T, Kilic AM. New lightweight colemanite-added perlite brick and comparison of its physicomachanical properties with other commercial lightweight materials. *ConstrBuild Mater*. 2014; 62:59-66.
8. มอก. 2508. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2555.
9. อารักษ์ พูลศักดิ์, ดนุพล ตันนโยภาส. การพัฒนากระเบื้องเซรามิกผสมหินฮอร์นเฟลส์กับหินเพอร์ไลต์. ว.มหาวิทยาลัยทักษิณ. 2555; 14(2):1-8.
10. Zukowski M, Haese G. Experimental and numerical investigation of a hollow brick filled with perlite insulation. *Energy Build*. 2010; 42(9): 1402-8.
11. ดนุพล ตันนโยภาส. แร่และหิน. พิมพ์ครั้งที่ 1 ภาค วิชาการวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2553.
12. ดนุพล ตันนโยภาส, กัลยาณี คุปตานนท์, หทัยทิพย์ พันฤทธิ์ดำ, สุชาติ จันทรมณี. กระเบื้องเซรามิกมวลเบาชนิดใหม่ทำจากหางแร่ดินขาวและเถ้าลอยไม่ยางพารา. ว. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ ลำปาง. 2557; 7(1):70-82.
13. มอก. 2398. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก เล่ม 2 วิธีตรวจสมบัติและคุณภาพผิวหน้า. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553; 2.
14. มอก. 2398. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก เล่ม 3 วิธีหาค่าการดูดซึมน้ำ ความพรุนปรากฏ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ปรากฏ และความหนาแน่นรวม. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. 2553; 3.
15. มอก. 2398. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก เล่ม 4 วิธีหามอดูลัสแตกกร้าวและความต้านแรงกดแตก. 2553; 4.
16. มอก. 2398. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก เล่ม 13 วิธีหาความทนสารเคมี. 2553; 13.
17. Richerson D, Richerson DW, Lee WE. *Modern ceramic engineering: properties, processing, and use in design*. 3rd ed., CRC Press,
18. ดนุพล ตันนโยภาส, อภิภูมิ พลชา. คุณสมบัติของเถ้าเชื้อเพลิงใยปาล์มน้ำมันในการทำอิฐดินเผาก่อสร้าง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2548 ธันวาคม 8-9; CE-7-CE-12.
19. เพอร์ไลต์ สืบค้นจาก <http://www.dpim.go.th> สืบค้นเมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2556
20. ดนุพล ตันนโยภาส. 2552. วิทยาแร่. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาค วิชาการวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
21. อาชีวะ หมักหมั่น, ดนุพล ตันนโยภาส, สุชาติ จันทรมณี. กลไกการเผาผนึกของกระเบื้องเซรามิกซีโอไลต์เต็มเศษหินชนวน. ว. มหาวิทยาลัยทักษิณ. 2556; 16(1):10-16.
22. พวงแก้ว บัวทอง, รวิกานต์, อมฤตเบญจฤทัย, ดนุพล ตันนโยภาส. สมบัติของมอร์ตาร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตดัดแปร. ว. มหาวิทยาลัยทักษิณ. 2557; 17(1):5-12.