

กระเบื้องเซรามิกมวลเบาชนิดใหม่ทำจากหางแร่ดินขาว และเถ้าลอยไม้ยางพารา

Novel Lightweight Ceramic Tile Made from Kaolin Refining Waste and Para Rubber Wood Fly Ash

ดนุพล ตันนโยภาส^{1*} กัลยาณี คุปตานนท์² หทัยทิพย์ พันฤทธิ์ดำ³ สุชาติ จันทรมณี⁴

^{1*}หน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและวัสดุก่อสร้างนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทรศัพท์ 074-558834 โทรสาร 074-558834 E-mail: danupon.t@psu.ac.th

^{2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้ประเมินความเหมาะสมของหางแร่ดินขาวว่าเป็นแหล่งทางเลือกของวัสดุดิบเซรามิกสำหรับการผลิตเนื้อกระเบื้องเซรามิก การเติมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่มีต่อสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระเบื้อง หลังจากนั้นเผาที่สามอุณหภูมิเริ่มที่ 1050 1100 และ 1150 องศาเซลเซียสบรรยากาศออกซิโดส ตรวจสอบคุณลักษณะของกระเบื้องตัวอย่างที่เผาผนึก ได้แก่ ความได้ฉาก ความหนาแน่นรวม น้ำหนักสูญหาย การหดตัวหลังเผา การดูดซึมน้ำ ความแข็งแบบชอร์ กำลังดัดและความคงทนต่อสารเคมี ส่วนผสมที่เหมาะสมพบว่าอัตราส่วนเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 เผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส มีการดูดซึมน้ำและกำลังดัดอยู่ในช่วงร้อยละ 7.95 – 12.50 และ 4.87-10.96 เมกะพาสคัล ตามลำดับ พบแร่วิฏากามูลไคต์และอะนอร์ไทต์ชัดเจน มีรูพรุนทรงเรียวยาวทั่วไป ปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพารามีผลกระทบอย่างมากต่อกำลังและการเปลี่ยนรูปในช่วงได้ความร้อน กระเบื้องเซรามิกมวลเบาสามารถผลิตได้จากเทคโนโลยีสีเขียว

คำสำคัญ: กระเบื้องเซรามิกมวลเบา, หางแร่ดินขาว, เถ้าลอยไม้ยางพารา, เทคโนโลยีสีเขียว

Abstract

The present study evaluated the suitability of kaolin refining waste as an alternative source of ceramic raw material for the production of ceramic tile bodies with Para rubber wood fly ash (PRWFA) addition. Several formulations were prepared and sintered at different temperatures of 1050 1100 and 1150°C in an oxidation atmosphere. The sintered samples were characterized to determine their porosity, water absorption, firing shrinkage, weight loss, Shore hardness, flexural strength and chemical resistance. The microstructure and the phase composition of the fired samples were analyzed by scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD). The results indicated that ceramic tile formulations containing up to 10% of PRWFA and firing temperature of 1,150°C could be used for the production of tiles with water absorption in the range of 7.95–12.50% and flexural strength of the fired specimen were and 4.87-10.96 MPa, respectively. The mullite and anorthite phases were found by XRD of the sintered

specimen and SEM microphotographs revealed crystals interlocking with elliptical pores. Effect of PRWFA contents was highly on loss strength and pyroplastic deformation of the tiles. Lightweight ceramic tile can be manufactured from green technology.

Keywords: lightweight ceramic tile, kaolin refining waste, Para rubber wood fly ash, green technology

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเซรามิกเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักที่นำรายได้เข้าสู่ประเทศ เนื่องจากมีปัจจัยหลายประการในสภาวะการณ์ปัจจุบัน ส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง ค่าขนส่ง ค่าแรงงาน นอกจากนี้ยังประสบกับปัญหาการแข่งขันทางการตลาดกับประเทศเพื่อนบ้าน จากการลงนามในข้อตกลง AFTA ได้แก่ จีน เวียดนาม ซึ่งมีข้อได้เปรียบมากกว่า ทั้งในด้านต้นทุน ค่าแรงงานต่ำ และมีแหล่งวัตถุดิบคุณภาพดี คณะวิจัยได้ทำการทดลองนำของเสียในกระบวนการอุตสาหกรรมกลับมาใช้ใหม่ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เพื่อจะเป็นทางเลือกหนึ่งให้แก่ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมเซรามิกสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ นอกจากสามารถลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมเซรามิกแล้ว ยังเป็นการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมเบ็ดเสร็จไปในตัว

ทางแร่ดินขาวที่เกิดจากกระบวนการล้างดิน โดยทางแร่ดินจะตกตะกอนอยู่ตามรางล้างดิน ส่วนใหญ่โรงล้างดินมักจะนำทางแร่ดินขาวไปกองไว้ใช้ขายแทนทรายสำหรับก่อสร้าง ไม่มีการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมเซรามิก (มอก. 2508 : 2555) นอกจากนี้ยังพบว่าในการล้างดินขาวด้วยวิธีไฮโดรไซโคลนแต่ละครั้งจะมีปริมาณทางแร่ดินขาวเหลืออยู่อีกร้อยละ 25 ซึ่งไม่คุ้มทุนกับกระบวนการแต่งแร่ในปัจจุบัน จึงเหลือทิ้งเป็นปริมาณมากและเพิ่มขึ้นตามกาลเวลา ดังนั้นคณะวิจัยจึงมีความคิดนำทางแร่ดินขาวมาใช้ในการผลิตกระเบื้อง อันเป็นลดต้นทุนวัตถุดิบและการจัดการของเสียในกระบวนการผลิตและรักษาสภาพแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมไทย ทำนองคล้ายหินอ่อน (دنุพล ตันนโยภาส, และภาณุมาศ ณ พัทลุง. 2540) หินชนวน (دنุพล ตันนโยภาส, และคณะ. 2553) หินซีสต์ (Vieira et al., 1999) และหินบะซอลต์ (دنุพล ตันนโยภาส และคณะ. 2554)

ผลจากการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราในประเทศไทย อันเป็นพืชเศรษฐกิจในปัจจุบัน และเมื่อต้นยางพาราอายุมากได้ให้น้ำยางน้อย จึงมักโค่นลงและปลูกใหม่ทดแทน ซึ่งท่อนไม้มีขนาดใหญ่ก็นำไปทำเฟอร์นิเจอร์ ส่วนเปลือกและเศษไม้นำไปทำเชื้อเพลิงใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมถลุงมีอย่างบรรจุภัณฑ์อาหารทะเล และโรงผลิตไฟฟ้าชีวมวล เป็นต้น ก่อให้เกิดเถ้าไม้ยางพาราจำนวนมากส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตของชุมชนรอบบริเวณโรงงาน ปัจจุบันโลกให้ความสำคัญกับการผลิตวัสดุเชิงนิเวศ (Ecomaterials) หรือวัสดุสีเขียว (Green materials) ซึ่งเป็นแนวทางสำคัญในการสร้างผลิตภัณฑ์และบริการให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มุ่งเน้นการลดการก่อของเสีย ยืดระยะเวลาการใช้งานและเพิ่มปริมาณการนำกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นผลิตภัณฑ์เชิงนิเวศจึงมิใช่เป็นเพียงแค่แนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น (دنุพล ตันนโยภาส, และคณะ. 2554; دنุพล ตันนโยภาส, และธรา ณ พัทลุง. 2554) แต่ยังมีความสำคัญในแง่ของการค้าและการส่งออกอีกด้วย ดังนั้นจึงมีแนวความคิดผลิตกระเบื้องเชิงนิเวศขึ้นจากของเสียทางแร่ดินขาวและเถ้าไม้ยางพารา

ให้มีคุณภาพเกณฑ์กระเบื้องหลังคาตาม มอก. โดยเน้นสมบัติด้านน้ำหนักเพื่อจะได้พัฒนาต่อยอดไปสู่ผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 พัฒนาระเบียงเซรามิกมวลเบาทำจากหางแร่ดินขาวผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของกระเบื้องให้อยู่ในเกณฑ์ มอก.

2.2 วิเคราะห์แร่ประกอบและโครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องหลังคาชนิดนี้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

คัดขนาดวัตถุดิบที่ใช้ ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีก่อนและช่วงผสมอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นกระเบื้องเผาที่ 3 อุณหภูมิ คือ 1050 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส ทดสอบสมบัติตัวอย่างหลังเผา ประกอบด้วย ความหนาแน่นรวม การดูดซึมน้ำ น้ำหนักหลังเผา กำลังตัด ความคงทนต่อสารเคมี และวิเคราะห์แร่ประกอบและโครงสร้างจุลภาค

3.1 วัตถุดิบที่ใช้

หางแร่ดินขาวสีขาวและเถ้าลอยไม้ยางพาราสีเหลืองน้ำตาล นำไปคัดให้มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน เพื่อทำเป็นตัวอย่างทดสอบ (ภาพที่ 1) ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (XRF) ของผงหางแร่ดินขาวพบว่าส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 (ร้อยละ 50 – 60) และ Al_2O_3 (ร้อยละ 20 – 25) ดังตารางที่ 1 ผลตรวจ XRD มุมที่เส้นลายพิมพ์ระบุว่าเป็นชนิดแร่ควอตซ์ เคโอลิไนต์ มัสโคไวต์ (ดุนพล ตันนโยภาส และ อัครเดช ทองคำ. 2545) ส่วนเถ้าลอยไม้ยางพารามีปริมาณ CaO ร้อยละ 54 ความเป็นกรดเป็นด่างระดับ 12-13 และมีคลอรีน ร้อยละ 0.20



(ก)



(ข)

ภาพที่ 1 วัตถุดิบทำกระเบื้อง (ก) หางแร่ดินขาว และ (ข) เถ้าลอยไม้ยางพารา

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของวัสดุด้วยวิธีเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

องค์ประกอบทางเคมี	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Fe_2O_3	CaO	MnO	SO_3	MgO	P_2O_5	LOI
หางแร่ดินขาว	47.97	35.46	3.32	1.70	-	0.17	-	-	-	11.38
เถ้าลอยไม้ยางพารา	1.70	0.60	6.34	0.38	54.08	0.90	3.20	2.69	2.08	37.05

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

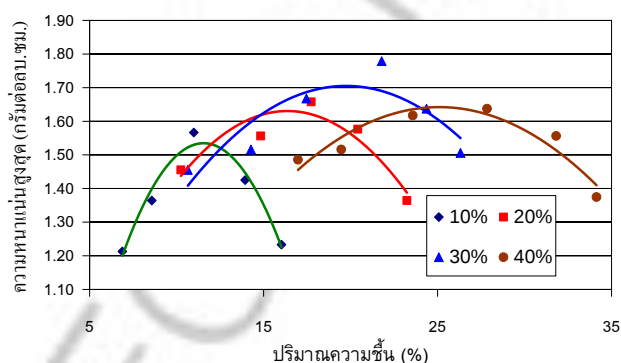
วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม 2557 – มิถุนายน 2557

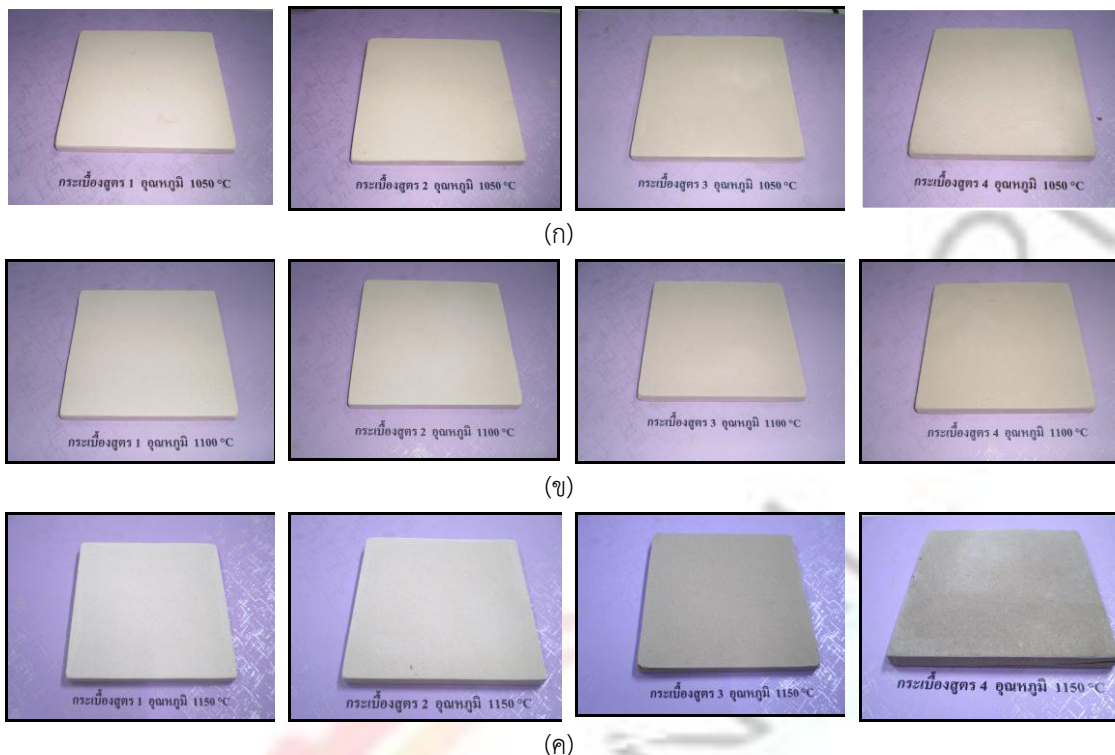
ผงหางแร่ล้วนความเหนียวไม่เพียงพอขึ้นรูป จึงต้องผสมเถ้าตามสูตรกำหนดไว้ในตารางที่ 2 วัดความหนาแน่นจริง (true density) ของส่วนผสม เพิ่มความชื้นด้วยการพ่นละอองน้ำกลั่น ยึดตามผลทดสอบหาปริมาณน้ำเหมาะสม (ASTM D 698) ด้วยเครื่องกระทุ้งขนาดจิ๋ว (Mini Proctor) เป็นแนวทาง (ภาพที่ 2) แล้วจึงปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำให้เหมาะสมกับการอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์โลหะ ด้วยแรงกดระบบไฮดรอลิกประมาณ 8 เมกะพาสคัล แผ่นกระเบื้องดิบมีมิติ 100 มม. × 100 มม. × 7 มม. จากปริมาณวัสดุผสม 200 กรัม กระเบื้องดิบมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับเคลื่อนย้ายเข้าไปอบให้แห้ง ในตู้อบที่ 100±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชม. แล้วเข้าเผาในเตาไฟฟ้าบรรยากาศออกซิเจน และกำหนดกระบวนการเผาไว้สามอุณหภูมิคือ 1050 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิสูงดังกล่าวเหมาะสมในการเผาดินขาวให้เกิดการนำความร้อนและความร้อนจำเพาะดี (Michot et al., 2008) อัตราความร้อน 3 ระดับคือ 5 องศาเซลเซียส/นาทิจนถึง 500 องศาเซลเซียส จากนั้น 3 องศาเซลเซียส/นาทิจนถึง 800 องศาเซลเซียส และช่วง 1 องศาเซลเซียส/นาทิจนถึงถึงอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนดไว้ คงความร้อนไว้แต่ละช่วง 30 นาที แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงในเตาเผาด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียส/นาทิจนถึงอุณหภูมิห้องนำมาวัดและทดสอบต่อไป (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 2 ความชื้นที่เหมาะสมและอุณหภูมิความร้อนเกิดขึ้นในระหว่างผสมวัตถุดิบเตรียมขึ้นรูป

รายการ	อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยไม่ยางพารา (หน่วย: ร้อยละ)			
	10	20	30	40
ความชื้นเหมาะสม (%)	12	17	20	25
ปริมาณน้ำ (กรัม)	24	34	40	50
น้ำหนักผงหางแร่ดินขาว (กรัม)	180	160	140	120
น้ำหนักเถ้าลอยไม่ยางพารา (กรัม)	20	40	60	80
ความหนาแน่นจริง (กรัม/ลบ.ซม.)	1.36	1.49	1.62	1.54
อุณหภูมิความร้อน (องศาเซลเซียส)	31	33	39	43



ภาพที่ 2 ความชื้นที่เหมาะสมของอัตราส่วนต่าง ๆ ของหางแร่ดินขาวกับเถ้าลอยไม่ยางพารา



ภาพที่ 3 กระเบื้องทางแร่ดินขาวผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราเผาที่อุณหภูมิ (ก) 1050 องศาเซลเซียส (ข) 1100 องศาเซลเซียส และ (ค) 1150 องศาเซลเซียส

3.3 วิธีการทดสอบ

ตัวอย่างแผ่นกระเบื้องเผาผนึกทั้งหมดได้ชั่งน้ำหนักและวัดขนาดก่อนและหลังเผา เพื่อหาค่าน้ำหนักสูญหายหลังเผา ความหนาแน่นรวม การหดตัวหลังเผาเชิงปริมาตร การดูดซึมน้ำ โดยวิธี มอก. 2398 ล.3 การทดสอบความแข็งแบบชมิคต์ ทดสอบกำลังดัดแบบสามจุดตาม มอก.2398 ล.4 (2553) ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (Hounsfield) รุ่น H 100ks ด้วยแรงกดตรงกลางมีหน้ากว้าง 100 มม. และความเร็วหัวกด 1.8 มม./นาที ผลจากการทดสอบได้เฉลี่ยจาก 5 ตัวอย่าง ในแต่ละอุณหภูมิและแต่ละอัตราส่วนผสม วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างที่เผา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่อง Quanta400, FEI ส่วนตรวจวิเคราะห์ด้วย XRD ด้วยเครื่องรุ่น Philips X'Pert MPD ส่องกราดในช่วง $2\theta = 5 - 90$ องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการกราด 0.58 ในการระบุวิฤภาคผลึก และความคงทนต่อสารเคมีกรดและด่างตาม มอก 2398 ล.13 (2553)

4. ผลและอภิปรายผล

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

องค์ประกอบทางเคมีเด่นของทางแร่ดินขาว คือ ซิลิกอน (ร้อยละ 47.97) อะลูมินาและ โพแทสเซียมออกไซด์ ตามเกณฑ์ทั่วไป ในขณะที่เถ้าลอยไม้ยางพาราพบว่ามีแคลเซียมออกไซด์ ค่อนข้างสูง (ร้อยละ 54.08) มากกว่าเถ้าไม้ชนิดอื่นที่มีร้อยละ 2-33 (Naik et al.,2003; Tonnayopas

et al., 2009) ซึ่งต่างจากเก้าไม้ในงานวิจัยของ Udoeyo and Dashibil (2002) และ Raheem and Adenuga (2013) ประกอบด้วย CaO มีปริมาณปานกลาง คือ ร้อยละ 10 แต่มี SiO₂ สูงถึงร้อยละ 30 - 65

4.2 สีและการเผาผนึก

ผลจากการสังเกตด้วยสายตาสีของกระเบื้องผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 และ 20 เเผที่สามอุณหภูมิสีชาวล้ายกัน แต่เมื่อเพิ่มเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 30 และ 40 ที่อุณหภูมิ 1100 และ 1150 องศาเซลเซียส สีถูกฟอกเปลี่ยนเป็นขาวปนน้ำตาล เนื้อกระเบื้องเป็นฟูนแป้ง เนื่องจากเถ้าลอยไม้ยางพาราเปลี่ยนเป็นปูนในเนื้อกระเบื้องมากขึ้น

4.3 ความได้ฉากและการบิดเบี้ยว

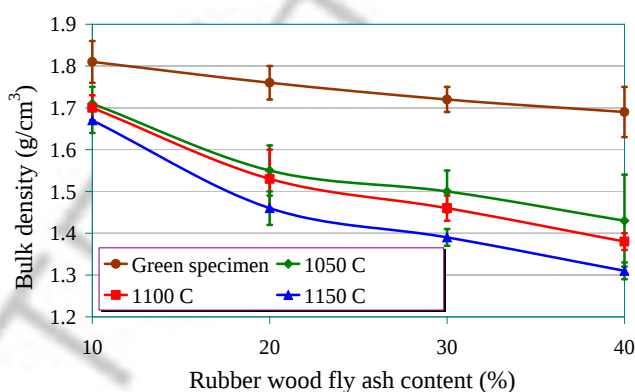
กระเบื้องทดลองทุกสูตรมีความได้ฉากอยู่ในเกณฑ์ มอก. 37 – 2529 นั่นก็คือไม่เกิน 0.7 มม. ส่วนการบิดเบี้ยวเกิดขึ้นเล็กน้อยเมื่อกระเบื้องผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราไม่เกินร้อยละ 20 แต่บิดเบี้ยวมากขึ้นเมื่อผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราตั้งแต่ร้อยละ 30 ขึ้นไป จนถึงขั้นเกิดปริแตกอ้าออกบริเวณขอบกระเบื้อง และไม่สามารถเป็นตัวอย่างทดสอบที่ดีได้

4.4 ความหนาแน่นรวม

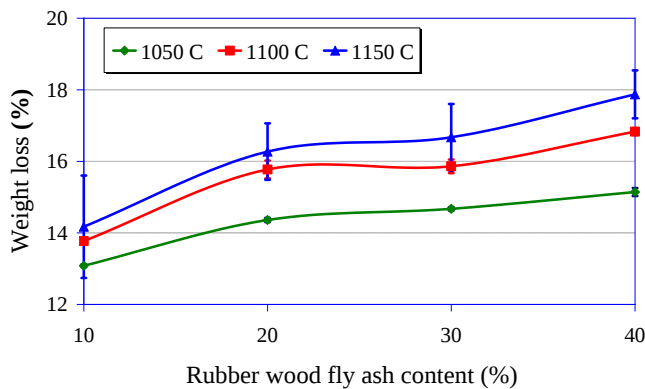
กระเบื้องทุกสูตรเผที่ 3 อุณหภูมิ มีค่าความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.31-1.81 กรัม/ลบ.ซม. (ภาพที่ 4 (ก)) ใกล้เคียงกับกระเบื้องมวลเบาเติมซิลิกอนคาร์ไบด์ของ García-Ten ที่ได้ 1.70 กรัม/ลบ.ซม. พบว่าความหนาแน่นของกระเบื้องแปรผกผันกับส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและอุณหภูมิเผา ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ CaO ในเถ้าลอยไม้ยางพาราได้สลายตัวเป็นแก๊ส จึงส่งผลให้กระเบื้องมีรูพรุนและเบา โดยกระเบื้องความหนาแน่นรวมสูงสุด (1.81) คือ สูตรผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 เเผที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส ส่วนเบาสุด (1.31) คือ สูตรผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 40 เเผที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส

4.5 น้ำหนักสูญหายหลังเผา

น้ำหนักสูญหายหลังเผาของกระเบื้องทุกสูตรอยู่ในช่วงร้อยละ 13.08 – 17.87 ภาพที่ 4 (ข) กระเบื้องที่น้ำหนักสูญหายมากที่สุด คือ กระเบื้องผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 40 เเผที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส ในขณะที่กระเบื้องน้ำหนักสูญหายน้อยสุดคือ กระเบื้องผสมเถ้าร้อยละ 10 เเผที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส



(ก)



(ข)

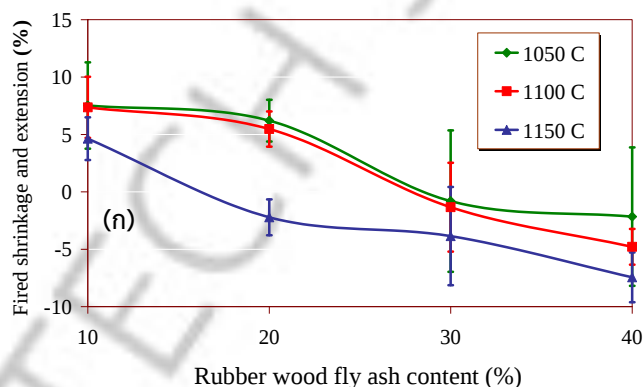
ภาพที่ 4 อิทธิพลเถ้าลอยไม้ยางพาราต่อกระบือียง (ก) ความหนาแน่นรวม และ (ข) น้ำหนักสูญหายหลังเผา

4.6 การหดและขยายตัว

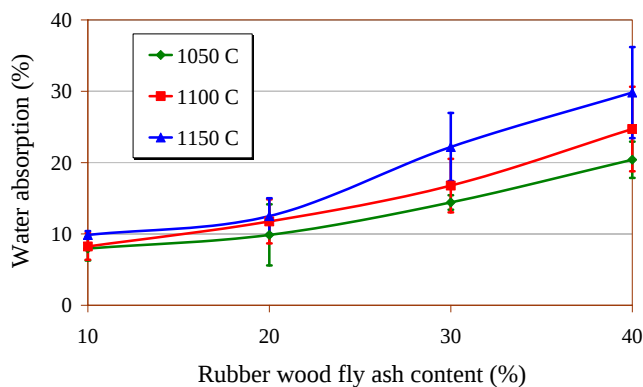
การหดและขยายตัวของกระบือียงทุกสูตรอยู่ในช่วงร้อยละ -7.31 ถึง 7.52 ดังในภาพที่ 5 (ก) ซึ่งที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส กระบือียงผสมเถ้าร้อยละ 40 มีการขยายตัวประมาณร้อยละ 7.31 ดังนั้นการหดตัวหลังเผาของกระบือียงจึงแปรผันตามปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพาราแทนที่และอุณหภูมิในการเผาด้วยเช่นกัน มีบางส่วนสลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ดันเนื้อกระบือียงขยายตัว เช่นที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 30 และ 40 เเผาที่ 1150 องศาเซลเซียส

4.7 การดูดซึมน้ำ

กระบือียงทุกสูตรมีการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 7.95 – 29.81 ดังภาพที่ 5 (ข) ซึ่งกระบือียงเผาที่ 1150 องศาเซลเซียส ผสมเถ้าร้อยละ 40 มีการดูดซึมน้ำสูงสุด และกระบือียงผสมเถ้า ร้อยละ 10 เเผาอุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส ดูดซึมน้ำต่ำสุด ดังนั้นการดูดซึมน้ำจึงแปรผันตามทั้งส่วนผสมเถ้าและอุณหภูมิเผา เนื่องจากความร้อนทำให้เถ้าลูกไหม้สลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ส่วนใหญ่ (Toledo et al., 2004) ทำให้เนื้อกระบือียงเกิดรูพรุนช่องว่างเพิ่มขึ้น รูพรุนที่ได้ขนาดเล็กและต่อเนื่องกันทั่วเนื้อกระบือียง การดูดซึมน้ำจึงเพิ่มตามขึ้นมาด้วย



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 อิทธิพลเถ้าลอยไม้ยางพาราต่อกระเบื้อง (ก) การหดและขยายตัว และ (ข) การดูดซึมน้ำ

4.8 ความแข็งแบบชอร์

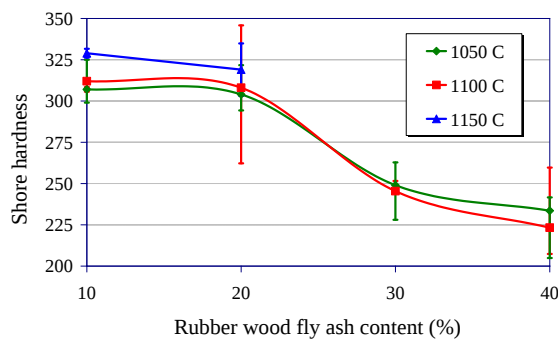
ค่าความแข็งแบบชอร์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 223 – 329 ดังในภาพที่ 6 (ก) ซึ่งแปรผกผันกับปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพาราที่ผสมและแปรผันตามอุณหภูมิเผา ในทำนองเดียวกับค่าความหนาแน่นรวมและการสูญเสียน้ำหนักหลังเผา แต่เนื่องจากสูตรผสมร้อยละ 30 และ 40 และอุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส แผ่นกระเบื้องมีการขยายตัวจนเกิดปริ้ำและแตกหักบริเวณริมขอบกระเบื้อง ทำให้เสียหายจนไม่สามารถทดสอบได้

4.9 กำลังดัด

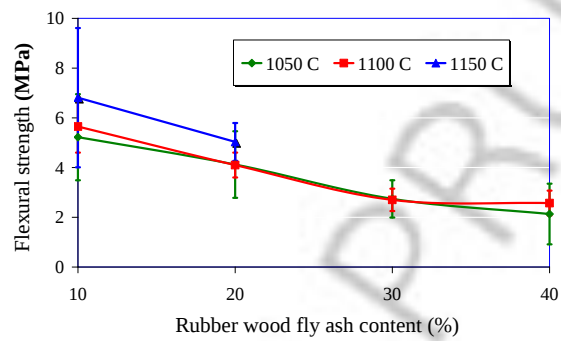
กระเบื้องทุกสูตรมีค่ากำลังดัดเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.57 – 6.81 เมกะพาสคัล ใกล้เคียงกับของ Aksel (2003) ซึ่งค่านี้แปรผกผันกับส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและแปรผันตามอุณหภูมิเผา ดังในภาพที่ 6 (ข) ทำนองเดียวกับผลงานของ Jordan et al. (2008) ผลกระทบของเถ้าลอยไม้ยางพารามีต่อกำลังดัดอย่างมาก เนื่องจากเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วและเนื้อพูนจึงส่งผลให้กระเบื้องที่เกิดมีความกรอบและเปราะ

4.10 ความคงทนต่อสารเคมี

ผลการแช่ชิ้นส่วนตัวอย่างแผ่นกระเบื้องในกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 7 วัน ตรวจสอบด้วยสายตาพบรอยเสียหายเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาของกรดกับเนื้อกระเบื้องที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 30 และ 40 เมาที่อุณหภูมิ 1100 องศาเซลเซียส และ 1150 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 7) เนื้อกระเบื้องกรอบและหลุดออกและมีคราบสีขาวของกรดที่ไม่ได้ล้างออกในทางตรงกันข้ามชิ้นส่วนตัวอย่างอีกส่วนทุกสูตรที่ทดสอบกับด่างไม่พบรอยเสียหายก็ดกร่อนเกิดขึ้น (ภาพที่ 8)

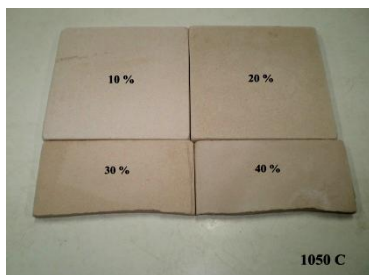


(ก)

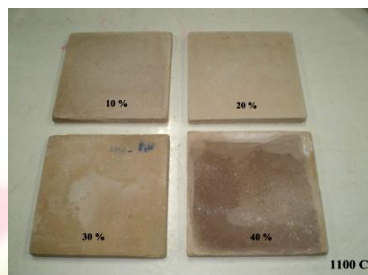


(ข)

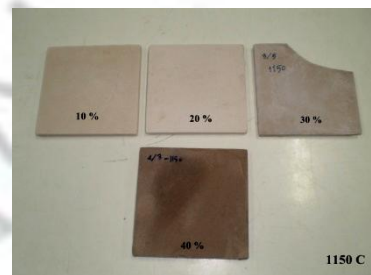
ภาพที่ 6 อิทธิพลเถ้าลอยไม้ยางพาราต่อกระเบื้อง (ก) ความแข็งแบบชอร์ และ (ข) กำลังดัด



(ก)

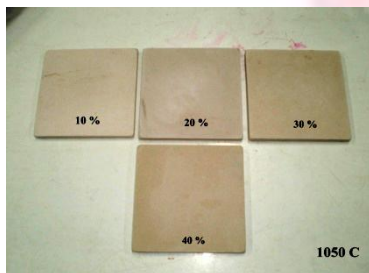


(ข)



(ค)

ภาพที่ 7 ความคงทนต่อการกดของกระเบื้องเซรามิกทางแร่ดินขาวผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราเผาที่อุณหภูมิ (ก) 1050 องศาเซลเซียส (ข) 1100 องศาเซลเซียส และ (ค) 1150 องศาเซลเซียส



(ก)



(ข)

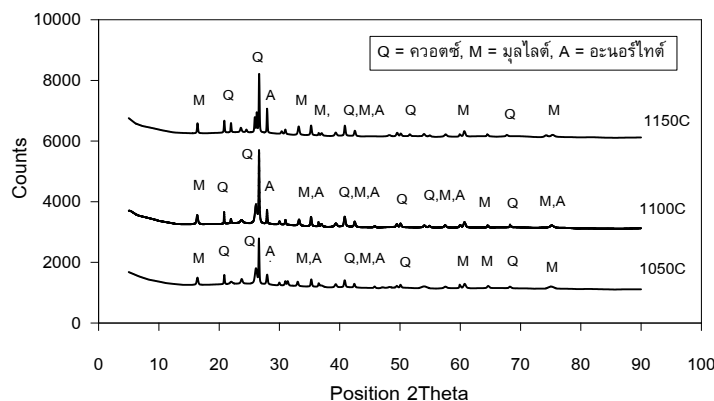


(ค)

ภาพที่ 8 ความคงทนต่อการกดของกระเบื้องเซรามิกทางแร่ดินขาวผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราเผาที่อุณหภูมิ (ก) 1050 องศาเซลเซียส (ข) 1100 องศาเซลเซียส และ (ค) 1150 องศาเซลเซียส

4.11 แร่ประกอบในกระเบื้องหลังเผา

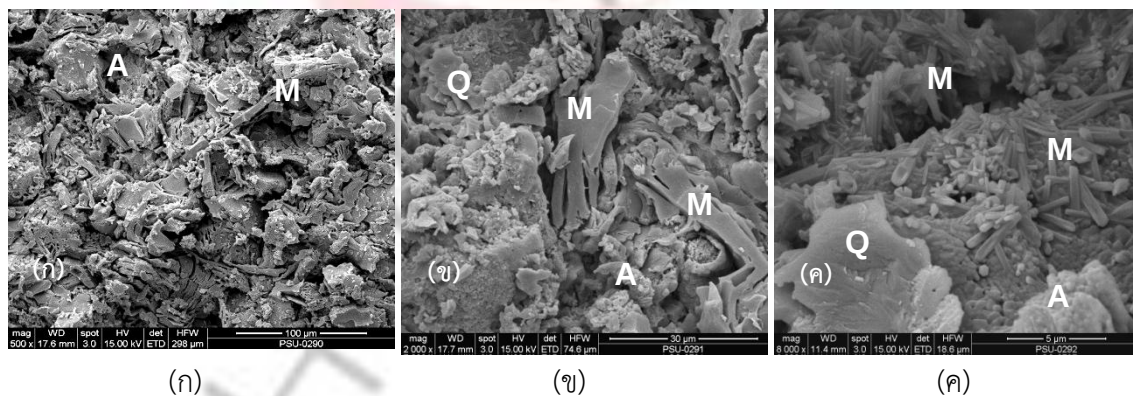
ผลวิเคราะห์ด้วย XRD ของกระเบื้องผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 ทั้ง 3 อุณหภูมิ (ภาพที่ 9) พบว่ามีวัฏภาคแร่มุลไลต์มากที่สุด (ร้อยละ 38 – 43) อะนอร์ไทต์ (ร้อยละ 36 – 38) นอกนั้นเป็นควอตซ์ ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นแร่เดิมมีอยู่ในทางแร่ดินขาว นอกจากนี้วัฏภาคแร่มุลไลต์ของกระเบื้องนี้เกิดที่อุณหภูมิสูงกว่าในดินขาวที่มากกว่า 1100 องศาเซลเซียส (Chen et al., 2000) แต่ต่ำกว่าเกิดในดินเหนียวที่ 1500 องศาเซลเซียส (Juettner et al., 2007)



ภาพที่ 9 ลายพิมพ์ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของกระเบื้องทางแร่ดินขาวผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา ร้อยละ 10 เผาทั้งสามอุณหภูมิ

4.12 โครงสร้างจุลภาค

แร่มุลไลต์ (M) และอะนอร์ไทต์ (A) มีรูปร่างเล็กแนวยาวจำนวนมากแทรกอยู่ทั่วไป (ภาพที่ 10) ในภาพที่ 10 (ค) พบว่ามุลไลต์มีทั้งขนาดเล็กกว่าโดยมีขนาดประมาณ 5 ไมครอน ซึ่งขนาด 5 ไมครอน ช่วยเพิ่มความต้านทานการลุกลามของรอยร้าวและความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (thermal shock) (ภาพที่ 10 (ข)) ส่วนขนาดเล็กกว่านั้นทำให้เกิดการดันออกมาและเม็ดขัดประสานกัน และกับแร่อะนอร์ไทต์ มีส่วนเกี่ยวข้องกับกำลังและความเหนียวของรอยแตก สอดคล้องกับผลศึกษา ของ Aksel (2003) ที่ได้ขนาดรูพรุนอยู่ในช่วง 5 – 30 ไมครอน



ภาพที่ 10 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผิวรอยแตกของกระเบื้องทางแร่ดินขาวผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 เผาที่ 1150 องศาเซลเซียส (ก) พบแถบยาวและผิวเรียบของมุลไลต์และกลุ่มก้อนอะนอร์ไทต์ (ข) ภาควัดตามยาวของแท่งมุลไลต์ชัดเจน และ (ค) ผลึกแท่งยาวมุลไลต์ แผ่นควอตซ์และอะนอร์ไทต์จับกันเป็นกลุ่มก้อน

5. สรุปผล

ผลการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตกระเบื้องเซรามิกมวลเบาด้วยทางแร่ดินขาวผสมกับเถ้าลอยไม้ยางพาราที่อุณหภูมิเผาต่างกัน พอได้แนวทางสรุปดังต่อไปนี้

ถ้าลอยไม้ยางพาราเป็นวัสดุก่อให้เกิดโฟมได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับลดความหนาแน่นของกระเบื้องเซรามิก เนื่องจากได้สลายเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ในอุณหภูมิต่ำ จึงเกิดการขยายตัวมากขึ้นตามปริมาณถ้าเกินร้อยละ 20 ขึ้นไป ความหนาแน่นรวมอยู่ในช่วง 1.31 – 1.81 กรัม/ลบ.ซม. และความพรุนเปิดหรือการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 7.95 – 29.81 มีความคงทนต่อต่างดี กำลังตัดมีค่าอยู่ในช่วง 2.57 – 6.81 เมกะพาสคัล

ผลวิเคราะห์ XRD ของกระเบื้องผสมถั่วลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 ทุกอุณหภูมิเผาเกิดแร่มุลไลต์ และผลวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของกระเบื้องสูตรนี้ เผาที่อุณหภูมิ 1150 องศาเซลเซียส เกิดรูพรุน ส่งผลให้กระเบื้องมีการดูดซึมน้ำมากและมีค่ากำลังตัดสูงขึ้นตามวิถุภาคแร่มุลไลต์ที่เกิดขึ้น และยังพบว่าผลึกขัดประสานกัน ทำให้เพิ่มสมบัติด้านความแข็งแรงให้แก่ตัวอย่างแผ่นกระเบื้อง

ในภาพรวมสมบัติกระเบื้องเซรามิกที่ดีที่สุดคือ แผ่นตัวอย่างที่เตรียมจากสูตรผสมที่ประกอบด้วยทางแร่ดินขาวร้อยละ 90 และถั่วลอยไม้ยางพาราร้อยละ 10 และเผาที่ 1150 องศาเซลเซียส เป็นส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการพัฒนาต่อไปในอนาคตในอุตสาหกรรมกระเบื้องมวลเบา และยังสามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ทำเป็นอุปกรณ์ในการดูดซับความชื้นและแผ่นกันความร้อน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากเหมืองหินเนอรอลดีเวลอปเมนต์ จังหวัดระนอง และโรงงานเซฟสกิน จังหวัดสงขลา และการสนับสนุนจากหน่วยวิจัยธรณีเทคนิคและนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

7. เอกสารอ้างอิง

دنول دننโยماس وطانمات دن طلل. (2540). อัญมหินอ่อนและขี้เลื่อยไม้ยางพารา

การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2540 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ :
ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์.

دنول دننโยماس ธรณิศ จิตรพิศาล และสุชาติ จันทรณย์. (2553). สมบัติของกระเบื้องเซรามิกที่ทำจากหินชนวนเติมถั่วกลบดำ, **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลา นครินทร์ ครั้งที่ 8 จังหวัดสงขลา.**

دنول دننโยماس และอัครเดช ทองคำ. (2545). การใช้ประโยชน์ทางแร่ดินขาวจากไฮโดรไซโคลนเป็นแร่ผสมเพิ่มในมอร์ตาร์, **การประชุมวิชาการวิศวะ มอ. 2002, จังหวัดสงขลา.**

دنول دنนโยماس วรณรัตน์ แก้วสมบูรณ์ และสุชาติ จันทรณย์. (2553). คุณลักษณะกระเบื้องเซรามิกผลิตจากหินฝุ่นบะซอลต์ผสมร่วมกับถั่วปาล์มน้ำมัน, **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, 12, ต.ค. 2552 –ม.ค. 2553, หน้า 149-159.**

دنول دنนโยماس ปาจิรีย์ เกิดกุล และสุชาติ จันทรณย์. (2553). ผลกระทบของการเติมผงหินพัมมิชที่มีต่อสมบัติและโครงสร้างจุลภาคของเนื้อดินสทั้งพระสำหรับการผลิตกระเบื้อง, **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 8, จังหวัดสงขลา.**

- Raheem, A.A. and Adenuga, O.A. (2013). Wood ash from bread bakery as partial replacement for cement in concrete, **International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology**, vol.4(1), 2013, pp. 75-81.
- Toledo, R., dos Santos, D.R., Faria, Jr.R.T., Carrió, J.G., Auler, L.T. and Vargas, H. (2004). Gas release during clay firing and evolution of ceramic properties, **Applied Clay Science**, vol. 27(3-4), December 2004, pp. 151-157.
- 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**, Hotel Park, Novi Sad, Serbia.
- Udoeyo, F.F. and Dashibil, P.U. (2002). Sawdust ash as concrete material, **Journal of Materials in Civil Engineering**, vol. 14(2), April 2002, pp. 173-176.
- Vieira, M.T., Catarino, L., Oliveira, M., Torralba, J.M. Cambronero, L.E.G., F.L. González-Mesones and A. Victoria. (1999). Optimization of the sintering process of raw material wastes, **Journal of Materials Processing Technology**, vol. 92-93, August 1999, pp. 97-101.

Industrial Technology

Journal of Materials in Civil Engineering