ผลของการเติมเถ้าลอยไม้ยางพาราต่อสบัติของมวลรวมน้ำหนักเบาผลิตจากแก้วขวดใส

Effect of Rubber Wood Fly Ash Addition on Properties of Lightweight Aggregate Produced from Clear Bottle Glass

ดนุพล ตันนโยภาส[1] สุธินี ไชยสุริยา[2] และ สุชาติ จันทร์มณีย์[3]

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112

E-mail: danupon.t @psu.ac.th[1], happyparty_zaa@hotmail.com[2], suchart.ch@psu.ac.th[3]

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของการเติมเถ้าลอยไม้ยางพารามีต่อการผลิตมวลรวมน้ำหนักเบาทำด้วยเศษแก้วขวดใส ในอัตราส่วนร้อยละ 20 30 40 และ 50 โดยน้ำหนัก เผาที่อุณหภูมิ 750 800 850 และ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทดสอบความหนาแน่นรวม การหดตัวหลังเผา การดูดซึมน้ำ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ ความแข็งแบบชอร์ กำลังอัดที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส การทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิฉับพลันและสารเคมี วิเคราะห์แร่ประกอบและโครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดตามลำดับ ผลทดสอบพบว่าตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา้อยละ 20 เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 1.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร การหดตัวน้อย การดูดซึมน้ำ 21.84% ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงสุด 185.40 เมกะโอห์ม-ซม. ความแข็งแบบชอร์มีค่าอยู่ในช่วง 116.33-381.67 และกำลังอัดสูงสุด 23.87 เมกะพาสคัล ความคงทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิอย่างฉับพลันและทางเคมีสูง และวัฏภาคแร่ประกอบด้วย เพริเคลส ดีวิไทรด์ แคลไซต์ และคอมเบียตได้เสริมกำลังแก่มวลรวมน้ำหนักเบาประดิษฐ์

Abstract

Effects of rubber wood fly ash (RWFA) addition on the properties of lightweight aggregate produced from waste clear bottle glass were determined. The RWFA was mixed in ratios of 20, 30, 40 and 50wt.%. Different heat treatment was at 750, 800, 850 and 900ºC and kept for 1 hour. Experimental testing regarded bulk density, fired shrinkage, water absorption, electrical resistivity, Shore hardness, compressive strength at ambient temperature and 80ºC, thermal shock, and. chemical resistance. Mineral compositions and microstructure were employed by XRD and SEM, respectively. Testing results revealed the 20% RWFA specimen heat 800ºC having bulk density of 1.47 g/cm^3, low shrinkage, water absorption of 21.84%, resistivity of 185.40 McOhm-cm, shore hardness in the range of 116.33-381.67, and highest compressive strength of 23.87 MPa, Thermal shock and chemical durability were high. Mineral phases were composed periclase, devitrite, calcite and

combeite provided reinforcing artificial lightweight aggregate.

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้มวลรวมน้ำหนักเบาในอุตสาหกรรมก่อสร้างมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสมบัติเป็นเลิศทั้งในด้าน น้ำหนักเบา ใช้งานง่าย เป็นฉนวนกันความร้อน กันเสียงและดูดซับเสียง ทนไฟและกันไฟ และยังช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย [1]

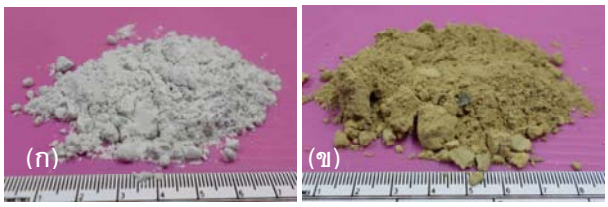
ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราประมาณ 19,272,941 ไร่ [2] ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจอันดับต้นของประเทศไทย จังหวัดผลิต 5 อันดับแรกในปัจจุบัน ได้แก่ สุราษฎร์ธานี กระบี่ ชุมพร นครศรีธรรมราช และประจวบคีรีขันธ์ ภายหลังการปลูกทดแทนต้นที่แก่ให้ผลผลิตน้ำยางน้อย ก็ส่งไปแปรรูปทำเฟอร์นิเจอร์ส่วนบรรดากิ่ง ปีกไม้และเศษไม้นำไปทำเชื้อเพลิงในโรงผลิตไฟฟ้าชีวมวล โรงงานผลิตถุงมือยาง โรงงานอาหารทะเล เป็นต้น ของเสียที่ออกมาคือเถ้าไม้ยางพารา ซึ่งได้มีการนำเอาเถ้าดังกล่าวมาผสมกับของเสียจากอุตสาหกรรมแร่ เช่น ผงหินอ่อน [3] หินฝุ่นแกรนิต [4] เศษเบ้าเซรามิก [5] หินฝุ่นแอนดีไซต์ [6] หางแร่ดินขาว [7,8] ทำเป็นอิฐดินเผา กระเบื้องเซรามิกมวลเบา และมวลรวมน้ำหนักเบา

ประเทศไทยมีเศษแก้วทิ้งอยู่ประมาณปีละ 40,000 ตัน [9] ซึ่งไม่ได้นำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตแก้ว และนับวันจะมีปริมาณขยะเศษแก้วเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามเศษแก้วเหล่านั้นก็ยังมีการบดนำกลับไปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบผลิตมวลรวมน้ำหนักเบา [1,10,11] ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงได้นำเศษแก้วขวดโซดาใสกับเถ้าไม้ยางพารากลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในอีกแนวทางการผลิตมวลรวมน้ำหนักเบาประดิษฐ์และลดของเสียจากภาคอุตสาหกรรม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เศษแก้วใสจากขวดโซดาบดละเอียด (G) รูปที่ 1 (ก) และเถ้าลอยไม้ยางพารา (RWFA) รูปที่ 1 (ข) ภายหลังจากใช้เศษไม้เป็นเชื้อเพลิงของโรงงานผลิตถุงมือยางแห่งหนึ่งในอำเภอสะเดา จังหวัดสงขลา



รูปที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้ (ก) ผงแก้วจากขวดโซดาใส และ (ข) เถ้าลอยไม้ยางพารา

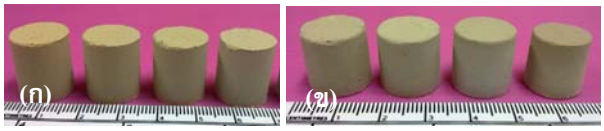
2.2. การเตรียมและเผาตัวอย่าง

ทุบเศษแก้วด้วยค้อนและอบให้แห้งในเตาอบไฟฟ้า บดหยาบด้วยเครื่องบดแบบลูกบอลกระแทก (ball mill) ที่ความเร็ว 70 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทั้งผงแก้วและเถ้าลอยไม้ยางพารานำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (jar mill) ร่อนคัดขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน ตัวอย่างเถ้าลอยไม้ยางพาราแทนที่ผงแก้วโซดาใสที่ร้อยละ 50 40 30 และ 20 (ตารางที่ 1) แต่ละส่วนผสมหนักประมาณ 120 กรัม ผสมให้เข้ากันในกระบอกพลาสติกวางบนลูกกลิ้งของเครื่องบด 30 นาที อัดขึ้นรูปตัวอย่างเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม. สูง 20 มม.

ตารางที่ 1 ออกแบบส่วนผสมของมวลรวมน้ำหนักเบาที่ศึกษา

ตัวแปร / สัญลักษณ์	G (wt.%)	RWFA (wt.%)	อุณหภูมิที่เผา (˚C)
G100RWFA0-1	100	0	750
G100RWFA0-2	100	0	800
G100RWFA0-3	100	0	850
G100RWFA0-4	100	0	900
G80RWFA20-1	80	20	750
G80RWFA20-2	80	20	800
G80RWFA20-3	80	20	850
G80RWFA20-4	80	20	900
G70RWFA30-1	70	30	750
G70RWFA30-2	70	30	800
G70RWFA30-3	70	30	850
G70RWFA30-4	70	30	900
G60RWFA40-1	60	40	750
G60RWFA40-2	60	40	800
G60RWFA40-3	60	40	850
G60RWFA40-4	60	40	900
G50RWFA50-1	50	50	750
G50RWFA50-2	50	50	800
G50RWFA50-3	50	50	850
G50RWFA50-4	50	50	900

ในแม่พิมพ์เหล็กกล้าไร้สนิม รุ่น HERZOG TP 20P อัดด้วยความดัน 283 เมกะพาสคัล โดยไร้วัสดุยึดประสานตัวอย่างดิบ (รูปที่ 2 ก) วัดขนาด ชั่งน้ำหนัก 900 องศาเซลเซียส ด้วยเตาเผาไฟฟ้าอุณหภูมิสูง กำหนดอัตราเร็วการเพิ่มอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึง 500 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความสำคัญต่อตัวอย่างที่เตรียม [12] คงไว้ 30 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิไปจนถึงที่กำหนดไว้ คงอุณหภูมิไว้นาน 1 ชั่วโมง แล้วจึงยุติให้ความร้อน ปล่อยให้เย็นอยู่ในเตา วัดขนาดอีกครั้ง ดังในรูปที่ 2 (ข) และนำไปทดสอบตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 2 ลักษณะตัวอย่างที่อัตราส่วน G:RWFA เป็น 50:50, 60:40, 70:30 และ 80:20 (ก) ก่อนเผา และ (ข) หลังเผา

2.3 การทดสอบตัวอย่าง

ทดสอบความหนาแน่นรวมและการดูดซึมน้ำตามวิธี มอก. 2398 [13] การขยายตัวเชิงความร้อน [14] ความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่อง Mega-Ohmmeter รุ่น CA 6525 ทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore hardness) ด้วยเครื่อง Hardness Tester (EQUO TIP) ทดสอบกำลังอัดที่อุณหภูมิห้องและ 80 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่อง Hounsfield test equipment รุ่น H100KS การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน (thermal shock) [15] ทดสอบความทนทานต่อกรดและด่าง [16] วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยวิธีการวาวแสง (X-ray fluorescence-XRF) แบบกึ่งปริมาณ (semi-qualitative) วิเคราะห์แร่ประกอบด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) และโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope-SEM)

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบ

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยไม้ยางพาราและผงแก้วจากขวดโซดา พบว่าแก้ว

มี SiO_2, CaO และสารแอลคาไล (Na_2O+K_2O) ปริมาณสูง แสดงดังในตารางที่ 2 ส่วนเถ้าไม้ยางพาราพบปริมาณ CaO และน้ำหนักสูญหายหลังเผา (loss on ignition-LOI) เท่ากับร้อยละ 52.31 และ 28.22 ตามลำดับ ผงวัตถุดิบผสมเข้าด้วยกันมีองค์ประกอบเอื้อให้การเผาผนึก (sintering) ของตัวอย่างมวลรวมดิบเกิดขึ้นได้ในอุณหภูมิต่ำกว่า 1,000 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของแก้วจากขวดโซดาใสและเถ้าลอยไม้ยางพารา

องค์ประกอบทางเคมี (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O
G	64.27	1.48	0.56	16.53	1.82	14.36	0.22
RWFA	1.69	0.17	0.12	52.31	5.66	-	7.53

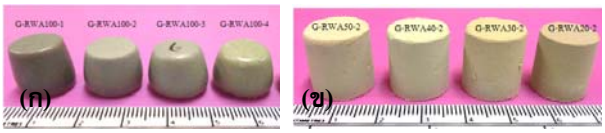
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะตัวอย่างหลังเผา

ตัวอย่างแก้ว 100% หลอมที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส หลังเผาจะมีสีเข้มค่อนไปทางสีเทาดำและสีอ่อนลงเมื่ออุณหภูมิการเผาเพิ่มสูงขึ้น ผิวลื่นเป็นมันวาว (รูปที่ 3 ก) เมื่อเพิ่มเถ้าลอยไม้ยางพาราเผาที่อุณหภูมิเดิมทำให้ตัวอย่างมีสีอ่อน ซึ่งเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 40 มีความสว่างที่สุด และที่เถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 สีเข้มที่สุด ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการฟอกสีของ CaO [4,5] (รูปที่ 3 ข)

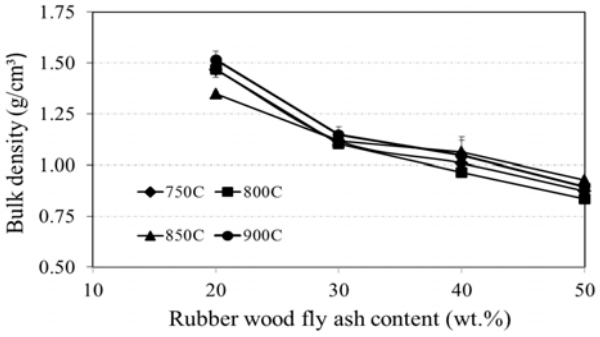
3.2 ความหนาแน่นรวม

ตัวอย่างเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 750 800 850 และ 900 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นรวม



รูปที่ 3 (ก) ตัวอย่างแก้ว 100% เผาที่อุณหภูมิ 750 800 850 และ 900 องศาเซลเซียส จากซ้ายไปขวา และ (ข) ตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา ร้อยละ 50 40 30 และ 20 จากซ้ายไปขวา

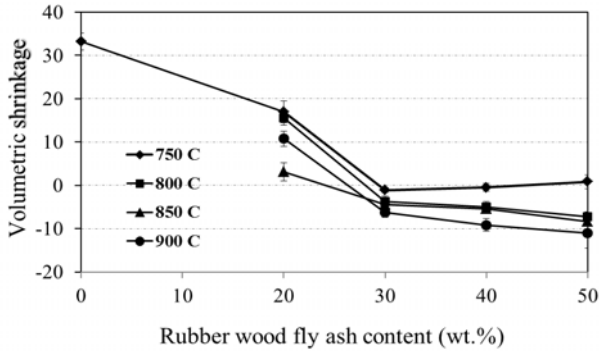
เฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.84–1.55 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในรูปที่ 4 ค่าลดลงตามส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น อุณหภูมิในการเผามีผลน้อยมากกับค่าความหนาแน่นรวม เกณฑ์มวลรวมน้ำหนักเบาด้านโครงสร้างกำหนดค่าความหนาแน่นรวมต้องไม่เกิน 0.88 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [17] ดังนั้นอัตราส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 50 เผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ขึ้นไปจึงมีผลอยู่ในเกณฑ์ ซึ่งสอดคล้องกับ Tuan et al. [11] ที่เติมผงแก้วร้อยละ 50 ในตะกอนน้ำทิ้ง จึงได้ตัวอย่างมีความหนาแน่นน้อยกว่า 2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร



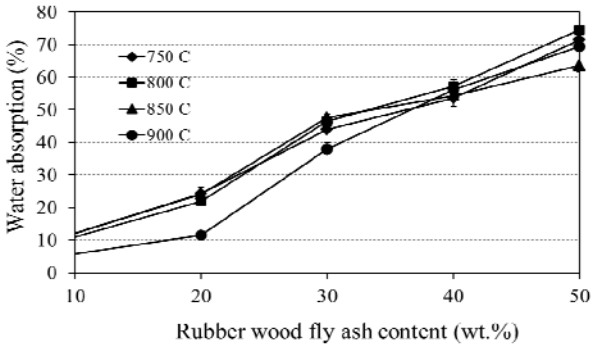
รูปที่ 4 ความหนาแน่นรวมของตัวอย่างผงแก้วโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา

3.3 การหดและขยายตัวเชิงปริมาตร

ค่าการขยายตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 0.49 – 11.09 ดังในรูปที่ 5 ได้เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมเถ้า



รูปที่ 5 การหดและขยายตัวหลังเผาของตัวอย่างผงแก้วโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา



รูปที่ 6 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา

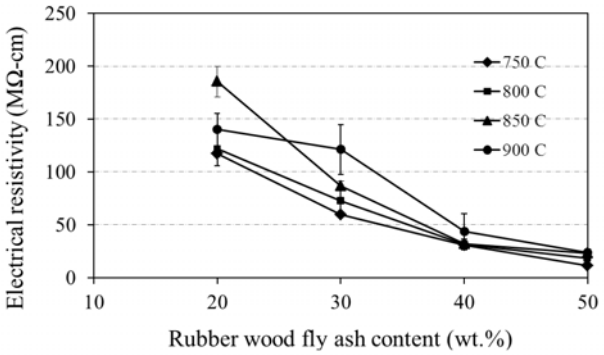
ลอยไม้ยางพารา อันเป็นผลมาจากปริมาณ CaO อยู่ในรูปของ $CaCO_3$ ของเถ้าลอยไม้ยางพารา เมื่อได้รับความร้อนทำให้เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ก่อให้เกิดรูพรุนในเนื้อตัวอย่าง ขึ้นกับระยะเวลาคงอุณหภูมิสูงสุดไว้ด้วย [18,19,20] ตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 เท่านั้น ที่หดตัวทุกอุณหภูมิเผา (ค่าบวก) และที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 50 เผาที่ 750 องศาเซลเซียส เท่านั้นที่เกิดการหดตัว ส่วนอุณหภูมิอื่นเกิดการขยายตัวทั้งสิ้น (ค่าลบ)

3.4 การดูดซึมน้ำ

ตัวอย่างมีค่าการดูดซึมน้ำอยู่ในช่วงร้อยละ 11.46–71.51 (รูปที่ 6) ค่าการดูดซึมน้ำแปรผันตามส่วนผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้นในอุณหภูมินั้น เป็นผลมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจาก CaO ที่มาจาก $CaCO_3$ (หยดกรดเจือจางเกิดฟองฟู่) ในเถ้าลอยไม้ยางพาราส่งผลให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น

3.5 ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ

ค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของตัวอย่างได้ลดลงตามอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น ดังในรูปที่ 7 และมีค่าอยู่ในช่วง 11.44 – 185.40 เมกะโอห์ม-ซม.ตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 อุณหภูมิเผาที่ 850 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงสุด และค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะต่ำสุดที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 50 อุณหภูมิเผาที่ 750 องศาเซลเซียส

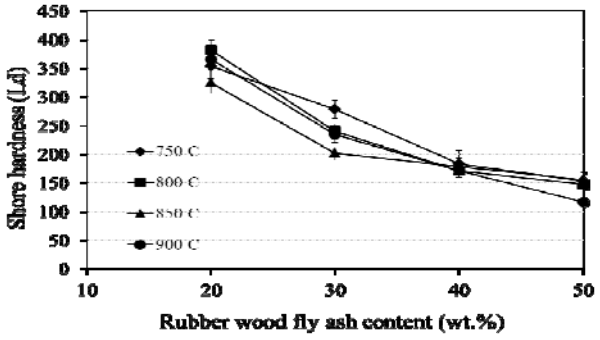


รูปที่ 7 ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา

3.6 ความแข็งแบบชอร์

ค่าความแข็งแบบชอร์ของตัวอย่างเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่ากำลังอัดที่อุณหภูมิห้องและที่

อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความแข็งแบบชอร์มีค่าสูงสุดที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 20 ซึ่งแนวโน้มค่าแปรผกผันกับปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพาราและอุณหภูมิเผา (รูปที่ 8) ความแข็งแบบชอร์มีค่าอยู่ในช่วง 116.33-381.67

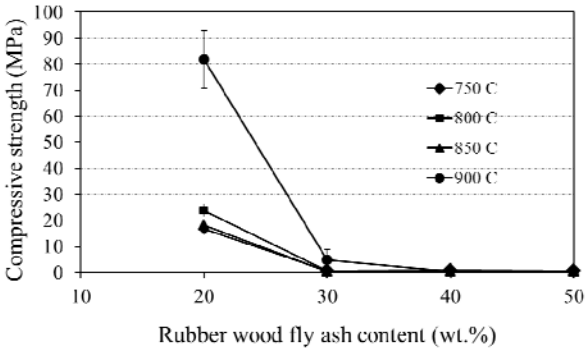


รูปที่ 8 ความแข็งแบบชอร์ของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา

3.7 กำลังอัด

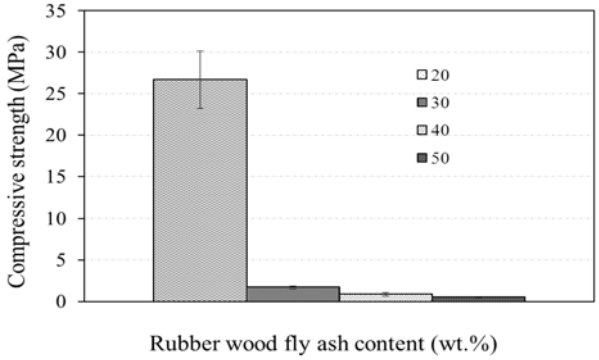
ค่ากำลังอัดของตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 20 เผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังอัดสูงสุด (รูปที่ 9) เนื่องจากปริมาณผงแก้วที่สูงเถ้าลอยไม้ยางพาราน้อยและอุณหภูมิเผาผนึกที่เหมาะสมลงตัวพอดีกับส่วนผสม เมื่อแก้วเกิดการหลอมทำให้เกิดการไหลตัวคล่อง รูพรุนภายในตัวอย่างลดน้อยลง เนื้อควบแน่นมากขึ้น จึงส่งผลให้กำลังอัดสูงถึง 81.88 เมกกะพาสคัล [21] ขณะที่อุณหภูมิเดียวกันผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 50 กำลังอัดได้ลดลงเหลือ 0.30 เมกะพาสคัล ค่ากำลังอัดนอกนั้นมีค่าอยู่ใกล้เคียงกัน

ตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ให้ค่ากำลังอัดอุณหภูมิห้องโดดเด่น จึงเลือกมาทดสอบในสภาพแวดล้อมที่อุณหภูมิสูงกว่าปกติคือ 80 องศาเซลเซียส พบว่าค่ากำลังอัดแปรผกผันกับ



รูปที่ 9 กำลังอัดของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา

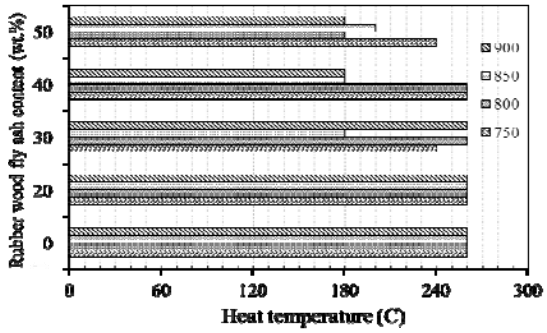
ปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพารา (รูปที่ 10) เช่นเดียวกับค่ากำลังอัดที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 20 มีค่าสูงสุด 26.69 เมกะพาสคัล อยู่ในเกณฑ์มวลรวมน้ำหนักเบาด้านโครงสร้างที่กำหนดไม่ต่ำกว่า 25 เมกะพาสคัล [17] และสูงกว่าค่ากำลังอัดที่อุณหภูมิห้อง 23.87 เมกะพาสคัล ทั้งนี้ค่ากำลังอัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทุกสูตรสูงกว่ากำลังอัดที่อุณหภูมิห้อง สันนิษฐานว่าแรงดันน้ำในโพรง (pore water pressure) ในตัวอย่างระเหยออกไป จึงลดแรงดันภายในเนื้อตัวอย่างมวลรวมลง จึงไม่เกิดแรงดันต้านทั้งภายในและภายนอกกระทำแก่ตัวอย่างทดสอบ ค่ากำลังอัดจึงเพิ่มขึ้น [21]



รูปที่ 10 กำลังอัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา

3.8 ความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

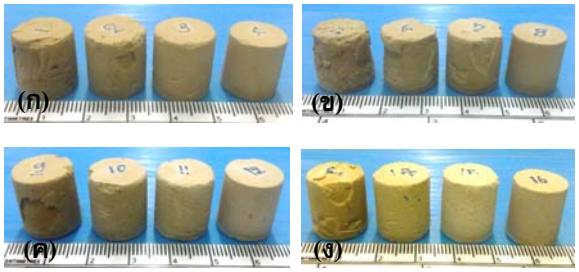
ตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 20 ทุกอุณหภูมิเผามีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลันดี ไม่แตกร้าว เช่นเดียวกับแก้ว 100% (260 องศาเซลเซียส) แต่ที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 50 ทุกอุณหภูมิเกิดรอยร้าว และตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส เสียหายมากสุด ขณะที่ตัวอย่างมวลรวมเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เสียหายน้อยที่สุด (รูปที่ 11)



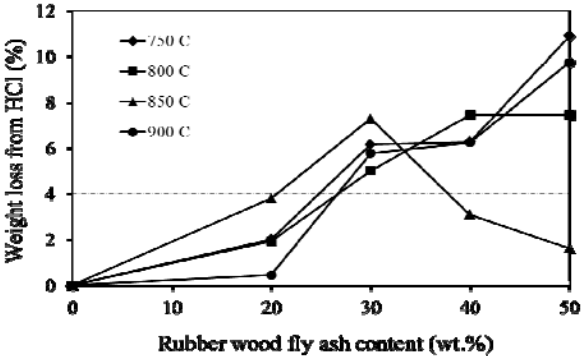
รูปที่ 11 ความทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิอย่างฉับพลัน ของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพารา

3.9 ความต้านทานสารเคมี

ตัวอย่างแช่ในกรดไฮโดรคลอริกเจือจางและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นเวลา 7 วัน เพื่อสังเกตสภาพภายนอกของตัวอย่างทนต่อกรดและด่าง (รูปที่ 12) เมื่อพิจารณาด้วยสายตาพบว่าตัวอย่างแช่ในสารละลายกรดเกิดการเสียหาย โดยเฉพาะตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 50 เสียหายมากที่สุด ในขณะที่ตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 20 เสียหายน้อยที่สุด แปรผันตามอัตราส่วนเถ้าลอยไม้ยางพารา (รูปที่ 13)

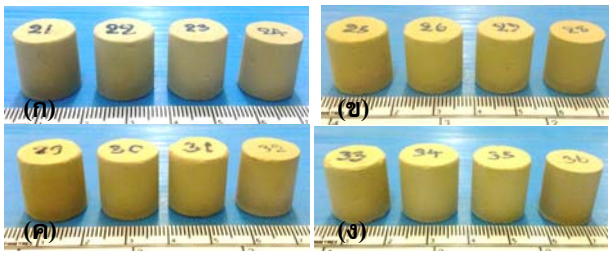


รูปที่ 12 ความคงทนต่อกรดของตัวอย่างผงแก้วใสผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 50 40 30 และ 20 จากซ้ายไปขวา เผาที่ (ก) 750 (ข) 800 (ค) 850 และ (ง) 900 องศาเซลเซียส

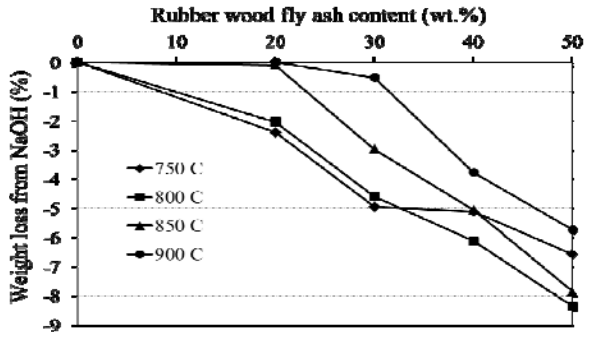


รูปที่ 13 น้ำหนักสูญหายของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราหลังแช่ในกรด

ส่วนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์พิจารณาด้วยสายตาไม่พบรอยเสียหาย (รูปที่ 14) แต่น้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการตกค้างของคราบเกลือจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ภายในรูพรุนของตัวอย่าง ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น (รูปที่ 15)



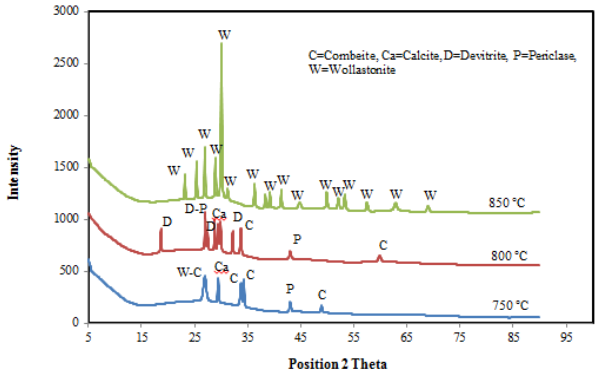
รูปที่ 14 ความคงทนต่อด่างของตัวอย่างผงแก้วใสผสมเถ้าลอยไม้ยางพาร้อยละ 50 40 30 และ 20 จากซ้ายไปขวา เผาที่ (ก) 750 (ข) 800 (ค) 850 และ (ง) 900 องศาเซลเซียส



รูปที่ 15 น้ำหนักสูญหายของตัวอย่างผงแก้วจากขวดโซดาผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราหลังแช่ในด่าง

3.10 วัฏภาคแร่ของตัวอย่างหลังเผา

ผลวิเคราะห์แร่ประกอบด้วยวิธี XRD ของตัวอย่างผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 เผาที่ 750 800 และ 850 องศาเซลเซียส ตรวจพบลายพิมพ์ (XRD pattern) ระบุรูปแบบแร่ 5 ชนิด (รูปที่ 16) ได้แก่ โวลลาสโทไนต์ (wollastonite, $CaSiO_3$) คอมไบต์ (combeite, $Na_2Ca_2(Si_6O_{18})$) แคลไซต์ (calcite, $CaCO_3$) เพริเคลส (periclase, MgO) และดีวิไทต์ (devitrite, $Na_2Ca_3(Si_6O_{16})$) ผลการคำนวณปริมาณแร่ของแต่ละชนิดอย่างคราวจากพื้นที่ใต้กราฟ XRD แสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 3



รูปที่ 16 ลายพิมพ์ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของตัวอย่างทำจากผงแก้วผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 เผาที่อุณหภูมิ 750 800 และ 850 องศาเซลเซียส

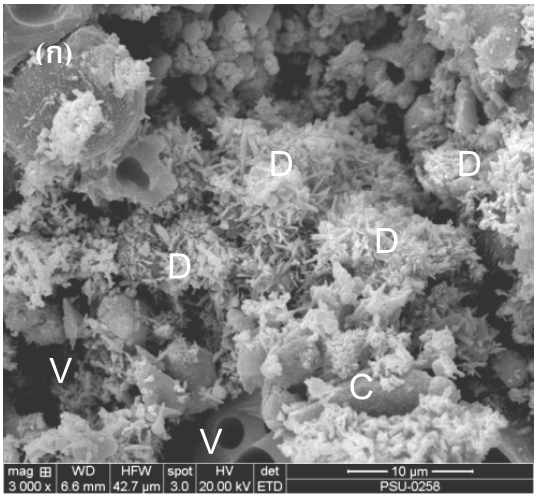
ตารางที่ 3 ปริมาณวัฏภาคแร่ในมวลรวมอุณหภูมิต่างกัน

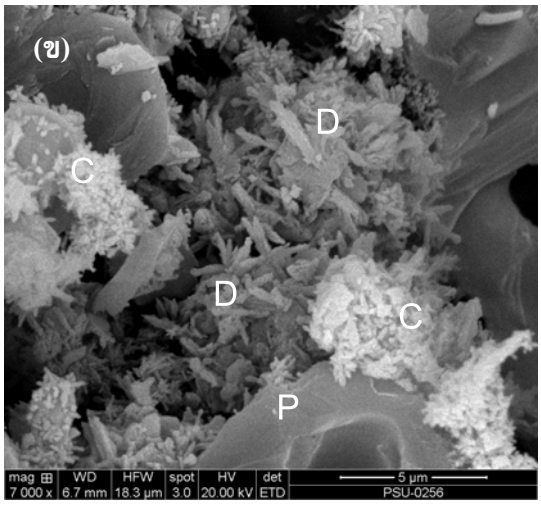
ปริมาณ (%) / ชนิดแร่	อุณหภูมิเผา (°C)		
	750	800	850
คอมไบต์	43.36	36.75	0.03
เพริเคลส	3.56	2.87	0.03
แคลไซต์	9.71	9.59	-
โวลลาสโทไนต์	43.36	0.0	99.94
ดีวิไทรต์	-	50.78	-

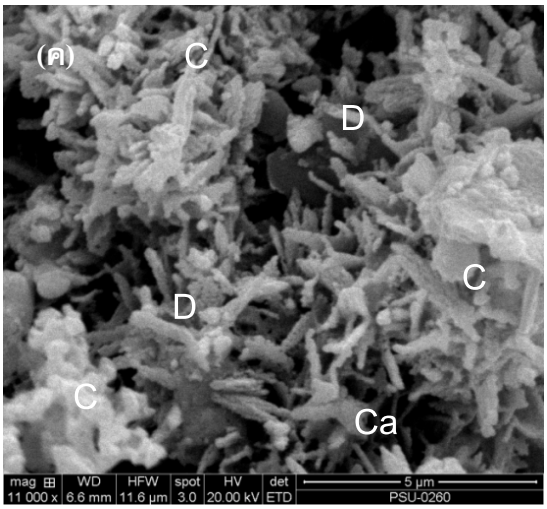
ผลจากการเติมเถ้าลอยไม้ยางพาราลงไปในผงแก้วได้เกื้อให้ตัวอย่างมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสมกอปรกับพลังงานความร้อนที่กระตุ้นในการตกผลึกจึงเปิดโอกาสให้แร่โวลลาสโทไนต์เกิดได้ง่ายจนเกือบทั้งตัวอย่าง (≈100%) ดังนั้นจึงเว้นที่ไม่ตรวจตัวอย่างเผา 900 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับผลงานของ Yoon et al. [22] ที่เติมเถ้าลอยถ่านหินในแก้วทำเป็นเซรามิกแก้ว

3.11 โครงสร้างจุลภาค

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยวิธี SEM ของ ตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 อุณหภูมิเผาที่ 800 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างจุลภาคเป็นแท่งเข็มจำนวนมากจับกันเป็นกลุ่มก้อนเป็นผลึกของแร่ดีวิไทรต์ (D) (รูปที่ 17 ก) เป็นสิ่งยืนยันผลวิเคราะห์ XRD เป็นแร่ทนความร้อนได้ แต่แตกหักได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนอย่างฉับพลัน ผลึกแร่คอมไบต์ (C) (รูปที่ 17 ข) เป็นรูปกิ่งไม้และผลึกแคลไซต์ (Ca) รูปดอกพุ่ม (รูปที่ 17 ค) ส่วนโพรงเปิด (V) อันเป็นผลมาจากการระเหยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาจากแคลเซียม







รูปที่ 15 ภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของตัวอย่างวัสดุผสมผงแก้วใสจากขวดโซดากับเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 เผาที่ 800 องศาเซลเซียส กำลังขยาย (ก) 3,000 เท่า (ข) 7,000 เท่าและ (ค) 11,000 เท่า

ออกไซด์ (CaO) ที่อยู่ในเถ้าลอยไม้ยางพารามีปริมาณสูง (ตารางที่ 2) มีความสัมพันธ์กับสมบัติทางกายภาพและเชิงกล เช่นเดียวกับผลศึกษาของ Juoi et al. [23] ซึ่งจากข้อมูลศึกษาครั้งนี้การตกผลึกของดีวิไทรต์และคอมไบต์เกี่ยวข้องกับการผลิตวัสดุแก้วเซรามิกโดยวิธีเผาผนึกและตกผลึกจากการอัดผงแก้วและเถ้าลอยไม้ยางพาราเช่นเดียวกับงานของอาซีย๊ะและคณะ [24] ใช้ซีโอไลต์เติมเศษหินชนวน

4. สรุป

ผลการศึกษาทดลองตัวอย่างมวลรวมน้ำหนักเบาจากอัตราส่วนผสมระหว่างผงแก้วใสจากขวดโซดาและเถ้าลอยไม้ยางพาราที่เหมาะสมคือส่วนผสมของเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 และปริมาณผงแก้วใสจากขวดโซดาร้อยละ 80 ภายใต้อุณหภูมิที่เผาคือ 800 องศาเซลเซียส ในขณะที่ผลงานวิจัยใช้ผงแก้วกับของเสียชนิดอื่นได้เผาที่อุณหภูมิสูงกว่า 1100 องศาเซลเซียส ขึ้นไปทั้งสิ้น [10,25,26]

จากผลการทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ของตัวอย่างที่ผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราร้อยละ 20 และผงแก้วขวดใสร้อยละ 80 เผาที่อุณหภูมิ 800 และ 900 องศาเซลเซียส พบว่ามีสมบัติใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงน่าจะสามารถใช้ตัวอย่างเผาที่อุณหภูมิต่ำกว่าได้อันเป็นการประหยัดพลังงาน ซึ่งตัวอย่างทดสอบมีค่ากำลังอัดสูงถึง 23.87 เมกะพาสคัล ค่าความแข็งแบบชอร์ 381.67 รวมถึงมีค่าความหนาแน่น 1.47 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สูงกว่ามวลรวมน้ำหนักเบาจากงานวิจัยของ Kourti and Cheesman [1] ที่ค่าความหนาแน่น 1.35 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

แต่งานครั้งนี้มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 21.84 สูงกว่างานวิจัยของ Kourti and Cheesman ซึ่งมีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 16.4 และมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ 121.99 เมกะโฮห์ม-เซนติเมตร ความทนต่อการเปลี่ยนอุณหภูมิฉับพลันได้สูงกว่า 260 องศาเซลเซียส ตัวอย่างมวลรวมน้ำหนักเบาที่ทดลองได้ครั้งนี้มีสมบัติเป็นด่าง จึงมีสภาพไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนการกัดกร่อนจากกรดไฮโดรคลอริกมีผลเพียงร้อยละ 1.92 เท่านั้น ดังนั้นมวลรวมน้ำหนักเบาประดิษฐ์จากแก้วขวดใสและเถ้าลอยไม้ยางพาราสามารถพัฒนาเป็นมวลรวมหยาบน้ำหนักเบาในคอนกรีตได้

ในภาพรวมมวลรวมที่ประดิษฐ์ขึ้นมาครั้งนี้เป็นวัสดุอนินทรีย์ที่มีเนื้อโพรงข่าย (vesicular) ไม่ต่อเนื่องกัน และเป็นก้อนเม็ดมวลเบา ปริมาณวัสดุอันตรายน้อย ปราศจากคราบสนิมเหล็กเปื้อนบนก้อนมวลรวม น้ำหนักสูญหายหลังเผาน้อย ไม่มีอนุภาคเปราะบาง ไม่เจือปนเศษดิน ความหนาแน่นหลวม กำลังอัด การหดตัวแบบแห้ง การผุพอง (popouts) และต้านทานการผุจากน้ำแข็งตัว ทั้งหมดล้วนอยู่ในเกณฑ์ของมวลรวมหยาบน้ำหนักเบาด้านโครงสร้าง [17]

5. เอกสารอ้างอิง

[1] I. Kourti and Ch.R. Cheeseman., "Properties and microstructure of lightweight aggregate produced from lignite coal fly ash and recycled glass," Resources, Conservation and Recycling, 54(11): 769–775, 2010.

[2] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, "ข้อมูลพื้นฐานเศรษฐกิจ การเกษตร ปี 2555" เอกสารสถิติการเกษตรเลขที่ 401, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 93 หน้า, 2555.

[3] ดนุพล ตันนโยภาส และภาณุมาศ ณ พัทลุง, "อิฐผงหินอ่อนและขี้เลื่อยไม้ยางพารา" การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2540 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพมหานคร หน้า 322-329, 2540.

[4] D. Tonnayopas, K. Kooptarnond and M. Masae, "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, 2009.

[5] ดนุพล ตันนโยภาส วิลาวรรณ ศิลป์สอน และสุชาติ จันทรมณีย์, "การเตรียมกระเบื้องมวลเบาด้วยเศษเบ้าเซรามิกถุงมือชำรุดผสมเถ้าลอยไม้ยางพาราและหางแร่ดินขาว," วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 17 ปีที่ เล่มที่ 3 หน้า, 2555.

[6] เสาวภา ชูศรี ดนุพล ตันนโยภาส และสุชาติ จันทรมณีย์, "การผลิตกระเบื้องเซรามิกและกระเบื้องมวลเบาจากหินฝุ่นแอนดีไซต์ผสมเถ้าไม้ยางพารา" วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 3 ฉบับที่ 1, หน้า 70-83, 2556.

[7] ดนุพล ตันนโยภาส กัลยาณี คุปตานนท์ หทัยทิพย์ พันฤทธิ์ดำ และสุชาติ จันทรมณีย์,

“กระเบื้องเซรามิกมวลเบาชนิดใหม่ทำจากหางแร่ดินขาวและเถ้าลอยไม้ยางพารา,” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ปีที่ 7 เล่มที่ 1หน้า 70-82, 2557.

[8] ดนุพล ตันนโยภาส กัลยาณี คุปตานนท์ และณัฐพงศ์ ย้อยยางทอง, “สมบัติของกระเบื้องมุงหลังคาผลิตด้วยผงแก้วใสกับหางแร่ดินขาว,” การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่โลหการและปิโตรเลียม ครั้งที่ 9 รร.มณเฑียร ริเวอร์ไซต์ กทม. หน้า 249-254, 2554. [9] จักกฤษณ์ สุนทรานุรักษ์ และดนุพล ตันนโยภาส, “การพัฒนากำลังและความคงทนต่อซัลเฟตของคอนกรีตใส่มวลรวมเศษขวดแก้วใสผสมเถ้าชานอ้อย” วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 หน้า 62-69, 2557.

[10] Y.-L. Wei, Ch.-Y. Lin, K.-W. Ko and H.P. Wang., “Preparation of low water-sorption lightweight aggregates from harbor sediment added with waste glass” Marine Pollution Bulletin, 63(5-12): 135–140, 2011.

[11] B.L.A. Tuan, C.-L. Hwang, K.-L. Lin, Y.-Y. Chen, and M.-P. Young, “Development of lightweight aggregate from sewage sludge and waste glass powder for concrete,” Construction and Building Materials, 47: 334–339, 2013.

[12] B. Gonzalez-Corrochano, J. Alonso-Azcrate and M. Rodas, “Effect of prefiring and firing dwell times on the properties of artificial lightweight aggregates,” Construction and Building Materials, 53: 91–101, 2014.

[13] มอก 2398 เล่ม 3-2553 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุต สาหกรรม เล่ม 3 วิธีหาค่าการดูดซึมน้ำ ความพรุน ความหนาแน่นสัมพัทธ์ และความหนาแน่นรวม

[14] มอก 2398 เล่ม 8-2551 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุต สาหกรรม เล่ม 8 วิธีหาค่าการขยายตัวทางความร้อนเชิงเส้น

[15] มอก 2398 เล่ม 9-2551 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 9 วิธีหาค่าความต้านทานการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างฉับพลัน

[16] มอก. 2398 เล่ม 13-2551 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องเซรามิก เล่ม 13 วิธีหาค่าความต้านทานสารเคมี

[17] ASTM C330/C330M-14, “Standard specification for lightweight aggregates for structural concrete,”

[18] D. Tonnayopas, K. Kooptarnond and M. Masae, “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, 257-262, 2009.

[19] M. Bernhardt, H. Tellesbø, H. Justnes and K. Wiik, “Mechanical properties of lightweight aggregates,” Journal of the European Ceramic Society, 33(13-14): 2731–2743, 2013.

[20] M. Bernhardt, H. Tellesbø, H. Justnes and K. Wiik, “The effect of heat treatment and cooling rate on the properties of lightweight aggregates,” Journal of the European Ceramic Society, 34(5): 1353–1363, 2014.

[21] A.A. Francis, M.K.A. Rahman and A. Daoud, “Processing, structures and compressive properties of porous glass-ceramic composites prepared from secondary by-product materials,” Ceramics International, 39(6): 7089–7095, 2013.

[22] S.-D. Yoon, J.-U. Lee, J.-H. Lee, Y.-H. Yun, W.-J. Yoon, “Characterization of wollastonite glass-ceramics made from waste glass and coal fly ash,” J. Mater. Sci. Technol., 29(2): 149-153, 2013.

[23] J.M. Juoi, D. Arudra, Z.M. Rosli, K. Hussain. and A.J. Jaafar, “Microstructural properties of glass composite material made from incinerated scheduled waste slag and soda lime silicate (SLS) waste glass,” Journal of Non-Crystalline Solids, 367: 8-13, 2013.

[24] อาซีย๊ะ หมักหมัน ดนุพล ตันนโยภาส และสุชาติ จันทรมณีย์, “กลไกการเผาผนึกของกระเบื้องเซรามิกซีโอไลต์เติมเศษหินชนวน,” วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1 หน้า 10-16, 2556.

[25] N.U. Kockal and T. Ozturan, “Characteristics of lightweight fly ash aggregate produced with different binders and heat treatments,” Cement and Concrete Composites, 33(1): 61-67, 2011.

[26] Y.-C. Liao and C.-Y. Huang, “Effects of heat treatment on the physical properties of lightweight aggregate from water reservoir sediment,” Ceramics International, 37(8): 3723-3730, 2011.