



**อิทธิพลของเถ้าไม้รวมด้านเกวียนและกากมันสำปะหลัง
ต่ออิฐฉนวนทนไฟ**

**Effect of Dan Kwian Wood Ash and Tapioca Waste on
Insulating Firebrick**

อ่อนลมี กมลอินทร์^{1*} และ ชัยศิริ ทลวงแนม¹

¹โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเซรามิกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*Corresponding Author, E-mail: onlamee@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการพัฒนาอิฐฉนวนทนไฟสำหรับเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาต้านเกวียนที่เผาอุณหภูมิไม่เกิน 1,300 องศาเซลเซียส มีงานวิจัยน้อยมากที่ศึกษาและพัฒนาประสิทธิภาพการทำอิฐฉนวนทนไฟเพื่อเป็นประโยชน์สำหรับเตาเผาต้านเกวียน งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาอิฐฉนวนทนไฟสำหรับผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาต้านเกวียน ด้วยการวิเคราะห์วัฏภาค (Phase) และองค์ประกอบทางเคมีของดินต้านเกวียนกับเถ้าไม้รวมด้านเกวียน ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) และเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินต้านเกวียน ดินขาว เถ้าไม้รวมด้านเกวียน และกากมันสำปะหลัง เตรียมขึ้นตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีผสมแบบเปียก แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศ การเผาไหม้แบบสมบูรณ์ ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล เช่น ทดสอบการหดตัวทั้งก่อนเผาและหลังเผา การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ความพรุนตัว ความถ่วงจำเพาะ และความแข็งแรง ผลการวิจัยพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของดินต้านเกวียน มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นควอตซ์ (SiO₂) ร้อยละ 70.44 อะลูมินา (Al₂O₃) ร้อยละ 19.10 เหล็กออกไซด์ (Fe₂O₃) ร้อยละ 7.40 และอื่นๆ ส่วนเถ้าไม้รวมด้านเกวียน มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 56.54 ซิลิกา (SiO₂) ร้อยละ 24.21 อะลูมินา (Al₂O₃) ร้อยละ 10.50 และอื่นๆ นอกจากนั้นยังพบว่าอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ P5 ซึ่งประกอบด้วยดินต้านเกวียน ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ดินขาว ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก เถ้าไม้รวมด้านเกวียน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และกากมันสำปะหลัง ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก กับอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ P6 ซึ่งประกอบด้วยดินต้านเกวียน ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ดินขาว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เถ้าไม้รวมด้านเกวียน ร้อยละ 30 โดย

น้ำหนัก และกากมันสำปะหลัง ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีความพรุนตัวสูงมากที่สุดถึงร้อยละ 47.20 และ 45.13 ตามลำดับ เหมาะสำหรับนำไปทำเป็นอิฐฉนวนทนไฟได้

ABSTRACT

Currently, the development of insulating fire bricks for Dan Kwian Kiln is firing temperature below 1,300 °C. A literature review in a proposal to investigate and development of the insulating fire bricks for performance benefit of Dan Kwian Kiln will find little. This research was development of Insulating Firebrick for Dan Kwian Kiln. An X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescent (XRF) techniques was used to investigate there phase and chemical composition of Dan Kwian clay and Dan Kwian wood ash. Mixtures ratios and compound are consist of Dan Kwian clay, Kaolinite clay, Dan Kwian wood ash and Tapioca waste. Then, all samples fired at 1,250°C under oxidizing atmosphere. Investigation of Physical and Mechanical Properties such as drying and firing shrinkage, water absorption, porosity, density, specific gravity and modulus of rupture. The results indicated that the chemical component of Dan Kwian clay are consist of quartz (SiO₂) 70.44 wt.%, Alumina (Al₂O₃) 19.10 wt.%, iron oxide (Fe₂O₃) 7.40 wt.%, etc. The results of chemical analysis of Dan Kwian wood ash are calcium oxide (CaO) 56.54 wt.%, silica (SiO₂) 24.21 wt.%, Alumina (Al₂O₃) 10.50 wt.%, etc. Moreover, the mixture ratio of P5 consists of Dan Kwian clay 20 wt.%, Kaolinite clay 30 wt.%, Dan Kwian wood ash 30 wt.% and tapioca waste 10 wt.%. and also P6 consists of Dan Kwian clay 20 wt.%, Kaolinite clay 40 wt.%, Dan Kwian wood ash 30 wt.% and tapioca waste 20 wt.% The maximum porosity achieved was 47.20% and 45.13%, respectively. It can be used to produce insulating firebrick.

คำสำคัญ: อิฐฉนวนทนไฟ เถ้าไม้รวมต๋านเกวียน กากมันสำปะหลัง ความพรุนตัว

Keywords: Insulating Firebrick, Dan Kwian wood ash, Tapioca waste, Porosity

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาต๋านเกวียน อำเภอโศกชัย จังหวัดนครราชสีมา ได้สร้างชื่อเสียงโด่งดังระดับโลกและนานาชาติ ซึ่งสามารถสร้างรายได้ให้กับชุมชนเครื่องปั้นดินเผาและชุมชนใกล้เคียงได้เป็นอย่างดี โดยมียอดขายสูงทั้งในประเทศและต่างประเทศ อาทิ ญี่ปุ่น อเมริกา และแถบประเทศยุโรป ผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาต๋านเกวียนมี

เอกลักษณ์เฉพาะตัว และไม่สามารถผลิตได้ในที่อื่นๆ เนื่องจากแหล่งวัตถุดิบหลัก คือ ดินที่ได้จากริมฝั่งแม่น้ำมูลบริเวณชุมชนบ้านต๋านเกวียน ลักษณะของดินริมฝั่งแม่น้ำจะมีความเหนียวเป็นพิเศษ และเมื่อเผาแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์เนื้อละเอียดสีแดงเป็นเอกลักษณ์เฉพาะของดินต๋านเกวียน สีแดงของดินต๋านเกวียนหลังเผาเกิดจากร่เหล็กที่มีปริมาณมากอยู่ในดินเมื่อเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส จะให้สีดำ มันเงา

ซึ่งเป็นเอกลักษณ์อีกรูปแบบหนึ่งสำหรับผลิตภัณฑ์ด้าน เภวียน ปัจจุบันการเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงนี้ไม่เป็น ที่นิยมมากนัก เนื่องจากต้นทุนเชื้อเพลิงในการเผา มี ราคาสูง โดยปกติชาวบ้านในชุมชนด้านเภาเวียนจะเผา ผลิตภัณฑ์โดยใช้เตาฟืน ซึ่งหากเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ สูงมากจนเกินไป จะต้องใช้ฟืนในปริมาณมากเช่นกัน นอกจากนี้การเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงยังเกิดการ สูญเสียความร้อนจากการเผา และส่งผลต่ออายุการใช้งาน ของเตาฟืนอีกด้วย ทั้งนี้เตาฟืนส่วนใหญ่ชาวบ้านจะ ใช้ดินเหนียวและทรายผสมกันอัดเป็นก้อนอิฐ แล้วนำไป ตากให้แห้งจนได้อิฐสำหรับสร้างเตา ซึ่งเป็นภูมิปัญญา ท้องถิ่นของชาวบ้านด้านเภาเวียนที่มีการพัฒนากันอย่าง ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

เตาเภาด้านเภาเวียนมีอายุการใช้งานสั้น เมื่อ เเผาที่อุณหภูมิสูงและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม บำรุงบ่อยครั้ง เนื่องจากเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งชาวบ้านด้านเภาเวียนจะเรียก กระบวนการเผาที่ว่า “การเผาดำ” จะทำให้อิฐฉนวน เตาเภาเกิดการหดตัวสูงและก่อให้เกิดความเสียหายกับ เตาเภาได้ ชาวบ้านด้านเภาเวียนจึงไม่นิยมเผาที่อุณหภูมิ สูงมากเกินไป ถึงแม้ว่า จะทำให้อิฐฉนวนที่มีผิวมัน เงาก็ตาม แต่จะเลือกเผาผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส หรือที่ชาวบ้านด้านเภาเวียนมักจะ เรียกกว่า “การเผาแดง” ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งาน เตาเภาด้านเภาเวียนไปได้หลายปี นอกจากนี้การวิจัย อุณหภูมิของเตาเภาด้านเภาเวียนของ จาริณี และเกียรติ ฟ้า (2554) ได้ศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเภา เครื่องปั้นดินเผาที่ด้านเภาเวียนที่ไม่มีเครื่องปั้นดินเผาอยู่ ภายในเตาเภา โดยใช้เชื้อเพลิงจากไม้ฟืน แล้วนำผล อุณหภูมิที่ได้มาสร้างแบบจำลองโดยการคำนวณ ทางด้านพลศาสตร์ของไหล พบว่าอากาศร้อนที่ไหลเข้า เตาเภา คือ 0.09 เมตรต่อวินาที และแบบจำลองที่สร้าง

ขึ้นนี้สามารถทำนายการกระจายอุณหภูมิและอธิบาย ปฏิกิริยาการเกิดของไหลที่เกิดขึ้นจริงในเตาเภาด้านเภาเวียน ได้

การพัฒนาอิฐทนไฟสำหรับอุตสาหกรรม เซรามิก มีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่วไปอิฐทนไฟมี 2 ชนิด คือ อิฐหนักและอิฐเบา อิฐหนัก จะเรียกได้ว่าเป็น “อิฐทนไฟ” ซึ่งมีความทนไฟที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 1,300 องศาเซลเซียส ส่วนอิฐเบา หรือที่เรียกกันว่า “อิฐฉนวนทนไฟ” จะมีความทนไฟที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1,300 องศาเซลเซียส เพราะฉะนั้นขั้นตอนการเผา ผลิตภัณฑ์เซรามิกถือเป็นขั้นตอนที่สำคัญอย่างยิ่ง เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาสมบูรณ์ไม่แตกหรือ เสียหาย โดยอิฐฉนวนทนไฟสำหรับเครื่องปั้นดินเผาจะ เเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส และนิยม ผสมเถ้าหรือซีลี้อยเป็นส่วนประกอบ จากรายงานวิจัย ของ เลิศชาย (2554) โดยการพัฒนาอิฐทนไฟ ที่ผสม จากดินปางปะหัน ดินขาว ทราย และซีลี้อย เเผาที่ อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราส่วนผสม ที่ ประกอบด้วยดินปางปะหัน ร้อยละ 10 ดินขาว ร้อยละ 40 ทราย ร้อยละ 40 และ ซีลี้อย ร้อยละ 10 สามารถ ผลิตอิฐทนไฟได้ นอกจากนี้การพัฒนาอิฐฉนวนทนไฟ โดยการใส่วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตในโรงงาน อุตสาหกรรมกระดาษ ยังสามารถนำมาใช้สร้างอิฐ ฉนวนทนไฟที่มีรูพรุน และช่วยลดการนำความร้อนได้ เป็นอย่างดี (Sutcu and Akkurt, 2009; 2010) อีกทั้ง ยังใช้ซีลี้อยผสมกับวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ในโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อช่วยลดความ หนาแน่นและลดการนำความร้อน (Sutcu et al., 2012) นอกจากนี้การใส่วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมแล้วอาจจะสร้างอิฐฉนวนทนไฟที่มีความ พรุณตัวสูงได้จากการเติมโฟมเพื่อสร้างรูพรุน (foaming) (Gong et al., 2014)

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาและพัฒนาส่วนผสมของอิฐฉนวนทนไฟสำหรับนำไปสร้างเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาและทดแทนอิฐดิบแบบดั้งเดิม โดยหาอัตราส่วนผสมระหว่างดินเหนียวด่านเกวียน ดินขาว เถ้าไม้รวมด่านเกวียนที่ได้จากฟืนที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์บริเวณหน้าเตาฟืน และกากมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมันสำปะหลังขนาดใหญ่ที่อยู่ใกล้กับชุมชนด่านเกวียน และเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในบริเวณชุมชนใกล้เคียง การพัฒนาอิฐฉนวนทนไฟร่วมกับดินด่านเกวียน ดินขาว เถ้าไม้รวมด่านเกวียน และกากมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่มีจุดเด่นที่นำไปสู่การพัฒนาศักยภาพเตาเผาสำหรับเผาผลิตภัณฑ์ด่านเกวียนที่อุณหภูมิสูงให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบตั้งต้นด้วยเทคนิค X-ray Fluorescence และวิเคราะห์วิฤภาคด้วยเทคนิค X-ray Diffraction
2. ออกแบบการทดลองโดยใช้อัตราส่วนผสมระหว่างดินด่านเกวียน ดินขาว เถ้าไม้รวมด่านเกวียน และกากมันสำปะหลัง ซึ่งมีปริมาณดินด่านเกวียน ร้อยละ 40 30 20 และ 10 โดยน้ำหนัก ตามลำดับผสมกับดินขาวในแต่ละอัตราส่วนผสม ในปริมาณร้อยละ 30 - 40 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 1 กำหนดให้เป็นอัตราส่วนผสมที่ P1 - P8
3. เตรียมแบบพิมพ์พลาสติกเพื่อสร้างชิ้นตัวอย่างทดสอบรูปร่างทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีขนาด

กว้าง × หนา × ยาว เท่ากับ 20 × 10 × 120 มิลลิเมตร

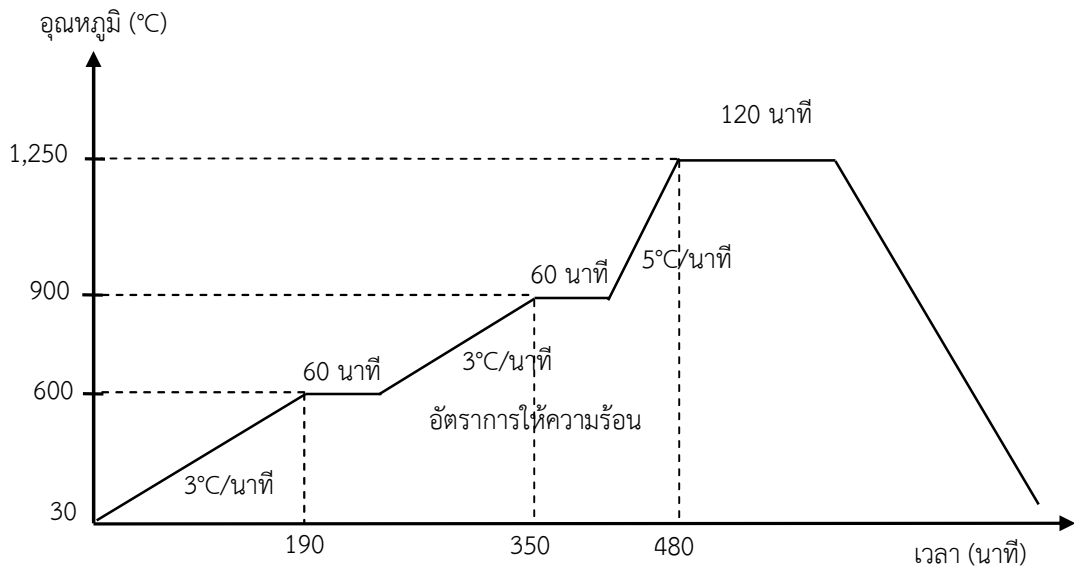
4. นำวัตถุดิบตั้งต้นของแต่ละอัตราส่วนผสมมาผสมเข้ากันด้วยวิธีการผสมแบบแห้ง โดยบดส่วนผสมในหม้อบดขนาด 750 กรัม จากนั้นเทออกใส่ภาชนะแล้วเติมน้ำลงไปเพื่อให้เกิดความเหนียว (plasticity) นวดส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเนื้อดินสำหรับนำไปอัดในแบบพิมพ์พลาสติก (Mold)

5. อัดเนื้อดินลงในแบบพิมพ์พลาสติกจำนวน 8 ชิ้น เพื่อนำไปใช้ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพ จากนั้นให้แกะแบบเมื่อชิ้นตัวอย่างทดสอบมีความแข็งแรงเพียงพอในการจับ และเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบบิดเบี้ยว จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อระเหยน้ำและความชื้นออกไปจากชิ้นตัวอย่างทดสอบ

6. เผาชิ้นตัวอย่างทดสอบสุตรส่วนผสมจำนวน 8 ชิ้น ที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในเตาไฟฟ้าบรรยากาศเผาไหม้แบบสมบูรณ์ (oxidation) โดยกำหนดอัตราการให้ความร้อน 3 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งถึง 600 องศาเซลเซียส ยืนไฟเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นใช้อัตราการให้ความร้อนเท่าเดิมจนอุณหภูมิเพิ่มเป็น 900 องศาเซลเซียส ยืนไฟเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วค่อยเพิ่มอัตราการให้ความร้อนเป็น 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส ยืนไฟเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงมาที่อุณหภูมิห้องตามธรรมชาติ ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ร้อยละอัตราส่วนผสมระหว่าง ดินด่านเกวียน ดินขาว เถ้าไม้รวมด่านเกวียน และกากมันสำปะหลัง สำหรับสร้างอิฐฉนวนทนไฟ กำหนดให้เป็นอัตราส่วนผสมที่ P1-P8

อัตราส่วนผสม	ดินด่านเกวียน	ดินขาว	เถ้าไม้รวมด่านเกวียน	กากมันสำปะหลัง
P1	40	40	10	10
P2	40	30	10	20
P3	30	40	20	10
P4	30	30	20	20
P5	20	40	30	10
P6	20	30	30	20
P7	10	40	40	10
P8	10	30	40	20



รูปที่ 1 รูปแบบการเผาขึ้นตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

7. ทดสอบและวิเคราะห์การหดตัวทั้งก่อนเผา และหลังเผา (Dried and Fired Shrinkage) ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2

$$\text{Linear drying shrinkage (\%)} = \frac{L_p - L_d}{L_p} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ L_p = ความยาวของระยะอ้างอิง (100 มม.)
 L_d = ความยาวหลังอบของระยะอ้างอิง

$$\text{Linear firing shrinkage (\%)} = \frac{L_p - L_f}{L_p} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ L_p = ความยาวของระยะอ้างอิง (100 มม.)
 L_f = ความยาวหลังอบของระยะอ้างอิง
 ทดสอบและวิเคราะห์การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ตามสมการที่ 3.3

$$\text{Water absorption} = (W_s - W_D) / W_D \times 100 \quad (3.3)$$

ความหนาแน่นหลังเผา (Fired Bulk Density) ตามสมการที่ 3.4

$$\text{Bulk density} = W_D / (W_S - W_{SS}) \quad (3.4)$$

ความพรุนตัวหลังเผา (Apparent Porosity) ตามสมการที่ 3.5

$$\text{Porosity} = [(W_S - W_D) / (W_S - W_{SS})] \times 100 \quad (3.5)$$

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ตามสมการที่ 3.6

$$\text{Apparent specific gravity} = W_D / (W_D - W_{SS}) \quad (3.6)$$

เมื่อ W_D = น้ำหนักชิ้นทดสอบแห้ง (กรัม)

W_S = น้ำหนักชิ้นทดสอบเปียก (กรัม)

W_{SS} = น้ำหนักชิ้นทดสอบในน้ำ (กรัม)

และทดสอบและวิเคราะห์ความแข็งแรง (Modulus of Rupture)

$$\text{Modulus of Rupture, } \sigma \text{ (MPa)} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.7)$$

กำหนดให้

P = แรงกดขึ้นทดสอบ (นิวตัน)

L = ระยะห่างระหว่างฐานที่ใช้ทดสอบ
(70 มิลลิเมตร)

b = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

d = ความหนาของชิ้นทดสอบ (มิลลิเมตร)

ผลและวิเคราะห์ผลการวิจัย

1. ผลและการวิเคราะห์วัตถุตั้งต้นด้วย XRF

เมื่อนำวัตถุตั้งต้นสำหรับเป็นส่วนผสมของอิฐฉนวนทนไฟไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเชิงปริมาณที่อยู่ในวัตถุตั้งต้น ด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDXRF) พบว่าในดินดานเกวียนมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 70.44 อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 19.10 เหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 7.40 โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ร้อยละ 1.68 และไททาเนียมออกไซด์ (TiO_2) ร้อยละ 1.13 ส่วนเถ้าไม่รวมดินดานเกวียนมีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ร้อยละ 56.54 ซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 24.21 อะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 10.50 โพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) ร้อยละ 4.69 และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 1.32 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 2 ส่วนกากมันสำปะหลังไม่ได้นำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ เนื่องจากกากมันสำปะหลัง มีองค์ประกอบทางเคมีของแป้งซึ่งเป็น Polysaccharide ที่ประกอบด้วยคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H) และออกซิเจน (O) เท่านั้น ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ และง่ายต่อการเผาไหม้ไม่ให้เหลือตกค้างในเนื้อเซรามิก ซึ่งยืนยันได้จากงานวิจัยของ Gregorova et al. (2006)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเชิงปริมาณที่อยู่ในดินดานเกวียนและเถ้าไม่รวมดินดานเกวียนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์

องค์ประกอบของธาตุในเชิงปริมาณ (Chemical Composition)	ดินดานเกวียน (ร้อยละ)	เถ้าไม่รวมดินดานเกวียน (ร้อยละ)
Al_2O_3	19.10	10.50
SiO_2	70.44	24.21
Cl	0.10	0.87
K_2O	1.68	4.69
CaO	-	56.54
TiO_2	1.13	0.56

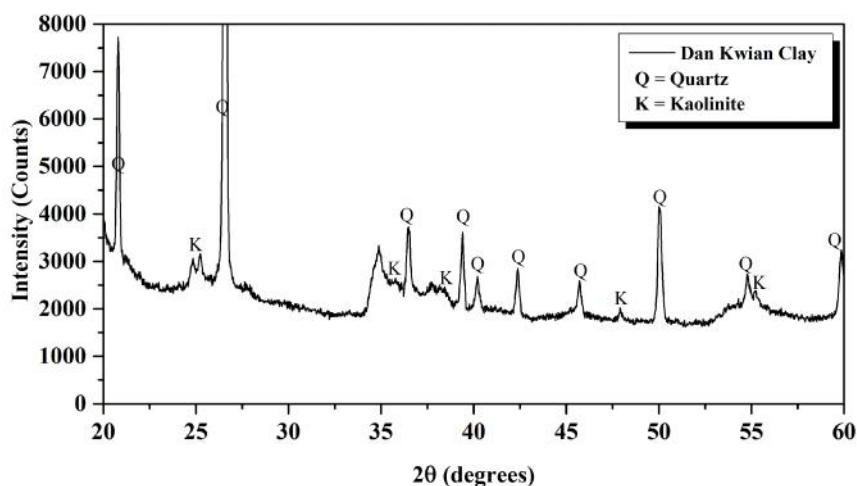
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในเชิงปริมาณที่อยู่ในดินด่านเกวียนและถ้ำไม่รวมด่านเกวียนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (ต่อ)

องค์ประกอบของธาตุในเชิงปริมาณ (Chemical Composition)	ดินด่านเกวียน (ร้อยละ)	ถ้ำไม่รวมด่านเกวียน (ร้อยละ)
MnO ₂	0.14	0.20
Fe ₂ O ₃	7.40	1.32
Rb ₂ O	0.02	-
ZnO	-	0.03
SrO	-	0.19
BaO	-	0.89

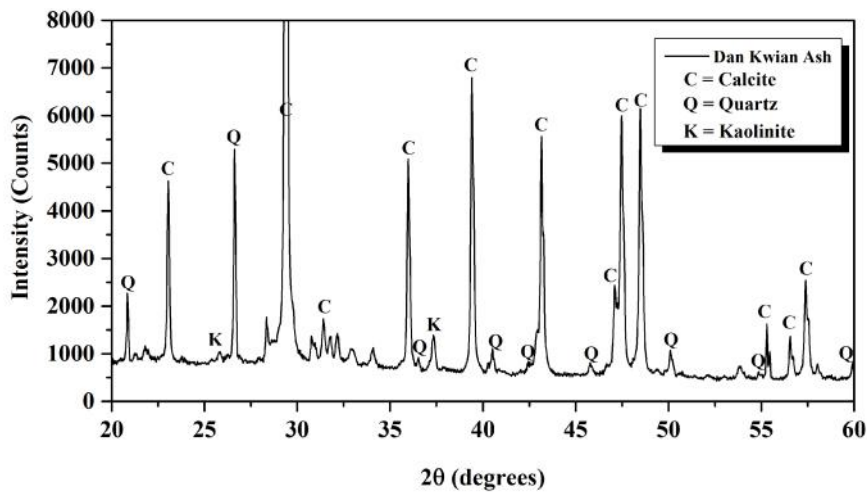
2. ผลและการวิเคราะห์หัตถุติบตั้งต้นด้วย XRD

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของหัตถุติบเบื้องต้นพบว่าดินด่านเกวียน มีวิภูภาคตรงกับสารประกอบของควอตซ์ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นซิลิกา (SiO₂) และแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นอะลูมินา (Al₂O₃) กับซิลิกา (SiO₂) สอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ส่วนถ้ำไม่รวมด่านเกวียนมีวิภูภาคตรงกับสารประกอบของแคลไซต์ (CaCO₃) ที่มี

องค์ประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) และตรงกับสารประกอบควอตซ์ ที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นซิลิกา (SiO₂) นอกจากนี้ยังตรงกับแร่เคโอลิไนต์ (Kaolinite) ที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นอะลูมินา (Al₂O₃) กับซิลิกา (SiO₂) ซึ่งยืนยันได้ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์เช่นกัน กราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของดินด่านเกวียน และถ้ำไม่รวมด่านเกวียน แสดงดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 ผลแสดงกราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของดินด่านเกวียน ซึ่งประกอบด้วยวิภูภาคของควอตซ์



รูปที่ 3 ผลแสดงกราฟเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันของเถ้าไม้รวมด่านเกวียน ซึ่งประกอบด้วยวัฏภาคของแคลไซต์ และควอตซ์

3. ผลและการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชิ้นตัวอย่างทดสอบ

3.1 การทดสอบการหดตัวทั้งก่อนและหลังเผา (Liner shrinkage) จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าไม้รวมด่านเกวียนจะทำให้การหดตัวก่อนเผา มีแนวโน้มลดลง เริ่มต้นถ้าเติมเถ้าไม้รวมด่านเกวียน ปริมาณ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จะทำให้เกิดการหดตัว ร้อยละ 5.36 และเมื่อเติมเถ้าไม้รวมด่านเกวียนเพิ่มขึ้นจนมีปริมาณเป็นร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จะทำให้การหดตัวลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 1.50 สำหรับการเติมกากมันสำปะหลังคองที่ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก การเติมกากมันสำปะหลังคองที่ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ให้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน ผลสรุปพบว่าปริมาณการเติมกากมันสำปะหลังให้ผลการทดลองไม่ต่างกัน และปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวของชิ้นตัวอย่างทดสอบ จากปริมาณการเติมเถ้าไม้รวมด่านเกวียน เนื่องจากเถ้าไม้รวมด่านเกวียนมีองค์ประกอบของแคลไซต์เป็นองค์ประกอบหลักจากผลวิเคราะห์ XRD ซึ่งจะทำหน้าที่ช่วยให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบก่อนเผามีการหดตัวน้อยลง

หากเติมเถ้าไม้รวมด่านเกวียนในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ส่วนการหดตัวหลังเผา ดังรูปที่ 5 พบว่าสำหรับกรณีการเติมกากมันสำปะหลังคองที่ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในช่วงแรกหากเพิ่มปริมาณเถ้าไม้รวมด่านเกวียนจาก ร้อยละ 10 ถึง 30 โดยน้ำหนัก จะทำให้การหดตัวของชิ้นตัวอย่างทดสอบมีแนวโน้มลดลง แต่ถ้าหากเติมเถ้าไม้รวมด่านเกวียนในปริมาณ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก กลับทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส เถ้าไม้รวมด่านเกวียนซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นแคลไซต์จะเกิดการหลอมตัวได้ดี และทำให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบ มีลักษณะเกิดการอ่อนตัวเมื่อเผา ส่วนในกรณีการเติมกากมันสำปะหลังคองที่ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก พบว่าเกิดแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่มีลักษณะเดียวกัน

3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำหลังเผา (Water absorption) กับปริมาณการเติมเถ้าไม้รวมด่านเกวียน ที่ปริมาณ ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าการเติมกากมันสำปะหลังคองที่ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำจะ

เพิ่มขึ้นและแปรผันกับการเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียนที่เพิ่มขึ้นจนมีการดูดซึมน้ำมากที่สุด เมื่อเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และการดูดซึมน้ำจะลดลง เมื่อเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียนในปริมาณที่มากจนเกินไป จะทำให้ขึ้นตัวอย่างทดสอบมีลักษณะเกิดการอ่อนตัวเมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง เพราะเถ้าไม่รวมด้านเกวียนจัดเป็นวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยหลอมได้ หากมีปริมาณมากเกินไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutcu และ Akkurt (2009) ที่นำวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกระดาษมาผสมกับวัสดุที่ใช้ทำอิฐฉนวนทนไฟ เพื่อสร้างอิฐฉนวนทนไฟให้เกิดรูพรุนและมีน้ำหนักเบา พบว่าการเติมวัสดุเหลือทิ้งในปริมาณมากเกินไปจะทำให้อิฐฉนวนทนไฟมีการดูดซึมน้ำลดลงได้เช่นกัน ส่วนในกรณีการเติมกากมันสำปะหลังที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นและแปรผันกับการเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ต่างกันเพียงการเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จะส่งผลให้การดูดซึมน้ำลดลง และลดลงอย่างชัดเจนหากเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ในปริมาณมากขึ้น ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ผลที่เกิดขึ้นอาจเนื่องมาจากปริมาณเถ้าไม่รวมด้านเกวียนที่มีมากจนเกินไปกับปริมาณการเติมกากมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลทำให้การดูดซึมน้ำมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

3.3 ความหนาแน่น (Bulk density) กับปริมาณเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าความหนาแน่นแปรผกผันกับการดูดซึมน้ำ หมายความว่า การดูดซึมน้ำสัมพันธ์กับความหนาแน่นของ ขึ้นตัวอย่างทดสอบ ถ้าหากการดูดซึมน้ำลดลง จะทำให้ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อวิเคราะห์กรณีการเติมกากมันสำปะหลังที่ ร้อยละ 10 โดย

น้ำหนัก พบว่าการเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ที่เพิ่มขึ้น ร้อยละ 10 - 40 โดยน้ำหนัก จะทำให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียนในช่วง ร้อยละ 10 - 30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากเมื่อเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดรูพรุนในขึ้นตัวอย่างทดสอบหลังเผา หากเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียนในปริมาณมากขึ้น ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก กลับทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากการเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียนในปริมาณมากเกินไป จะส่งผลให้เกิดการหลอมตัวมากขึ้น จึงทำให้เกิดรูพรุนน้อยลง และส่งผลให้ขึ้นตัวอย่างทดสอบ มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างเกิดความหนาแน่น (Densification) เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gong et al. (2014) การเติมกากมันสำปะหลังที่ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้ความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลงหากเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 - 20 โดยน้ำหนัก และความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 30 - 40 โดยน้ำหนัก

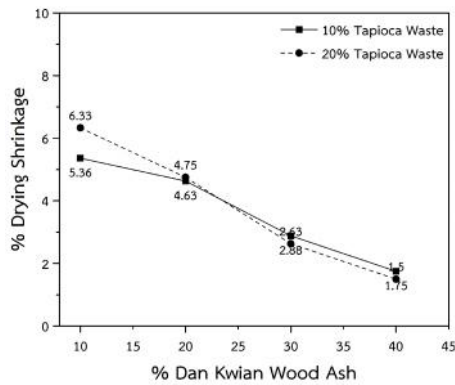
3.4 ความพรุนตัว (Apparent porosity) กับปริมาณ เถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก พบว่าความพรุนตัวจะมีลักษณะกราฟคล้ายกับกราฟของการดูดซึมน้ำ และตรงข้ามกับกราฟของความหนาแน่น หมายความว่าหากความหนาแน่นมีค่าลดลง ความพรุนตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 8 ในกรณีการเติมกากมันสำปะหลังที่ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก แล้วแปรผันการเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 - 40 โดยน้ำหนัก พบว่าความพรุนตัวจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 - 30 โดยน้ำหนัก และความพรุนตัว จะมีค่าลดลงเมื่อเติมเถ้าไม่รวมด้านเกวียน ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutcu และ Akkurt (2009) การเติมกาก

มันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก จะทำให้ ความพรุนตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 10 - 20 โดยน้ำหนัก และความพรุนตัว จะลดลงเมื่อเติมเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 30 - 40 โดยน้ำหนัก

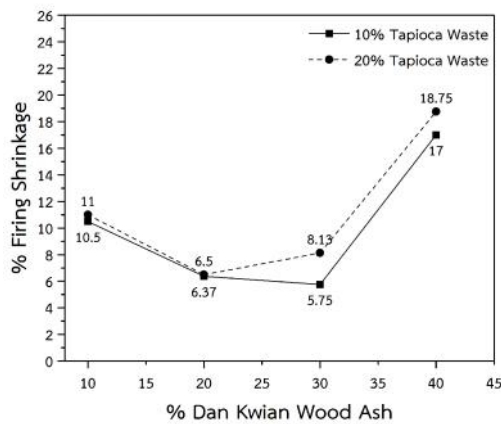
3.5 ความถ่วงจำเพาะ (Apparent specific gravity) กับปริมาณเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 9 หาก เปรียบเทียบแนวโน้มระหว่างกรณีการเติมกากมัน สำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก ค่า ความถ่วงจำเพาะจะเพิ่มขึ้นในช่วงการเติมเถ้าไม้รวม ด้าน เกวียนที่ ร้อยละ 10 - 30 โดยน้ำหนัก และจะ ลดลงเมื่อเติมเถ้าไม้รวมด้าน เกวียนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ในทั้งสองกรณี เนื่องจากการเติมเถ้าไม้รวม ด้าน เกวียน ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จะทำให้ปริมาตรที่ น้ำไม่สามารถซึมผ่านมีปริมาตรเพิ่มขึ้น และสอดคล้อง กับการดูดซึมน้ำที่ลดลงเมื่อเติมเถ้าไม้รวมด้าน เกวียนที่ ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก

3.6 การทดสอบความแข็งแรง (Modulus of Rupture) กับปริมาณเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก รูปที่ 10 พบว่าในกรณี การเติมกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ความแข็งแรง หลังเผาจะมีค่าลดลงในช่วงการเติมเถ้า ไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 10 - 20 โดยน้ำหนัก และ ลดลงต่ำสุดที่ปริมาณการเติมเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อย

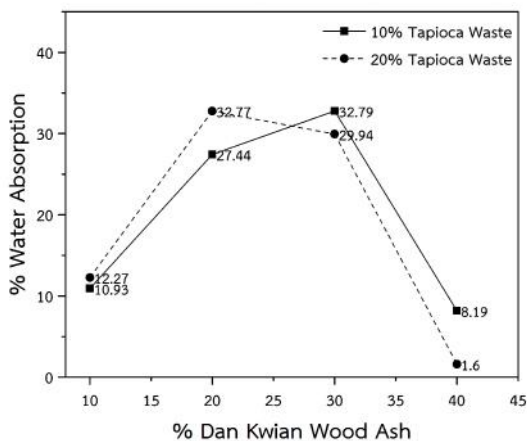
ละ 20 โดยน้ำหนัก จากนั้นความแข็งแรงหลังเผาจะมี ค่าเพิ่มขึ้นในช่วงการเติมเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 30 - 40 โดยน้ำหนัก เหตุผลอาจเนื่องมาจากในช่วงการ เติมเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 10 - 20 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมมีการลดปริมาณการเติมดินด้าน เกวียนจาก ร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เพราะดินด้าน เกวียนเป็นวัสดุดิบที่มีองค์ประกอบหลักเป็นควอตซ์ ทำ หน้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงหลังเผาให้กับชิ้นตัวอย่าง ทดสอบ หากลดปริมาณดินด้าน เกวียนลงก็จะส่งผลให้ ค่าความแข็งแรงหลังเผาลดลงด้วย ส่วนในช่วงการเติม เถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 30 - 40 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมที่มีการลดปริมาณการเติมดินด้าน เกวียนเหลือ เพียง ร้อยละ 20 และ 10 โดยน้ำหนัก แต่กลับส่งผลต่อ ค่าความแข็งแรงหลังเผาเพิ่มขึ้น เนื่องจากในส่วนผสม ที่มีเถ้าไม้รวมด้าน เกวียนอยู่ปริมาณ ร้อยละ 40 และ 30 โดยน้ำหนัก ช่วยให้ชิ้นตัวอย่างทดสอบมีความ หนาแน่นเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ส่วนในกรณีการเติมกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ความแข็งแรงหลังเผาจะมีแนวโน้มการ เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน จากการวิเคราะห์สมบัติทาง กายภาพของชิ้นตัวอย่างทดสอบอัตราส่วนผสมที่ P1 - P8 ที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้รวมด้าน เกวียน ร้อยละ 10- 40 โดยน้ำหนัก และกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก สามารถสรุปได้ดังแสดงในตาราง ที่ 3 และ 4



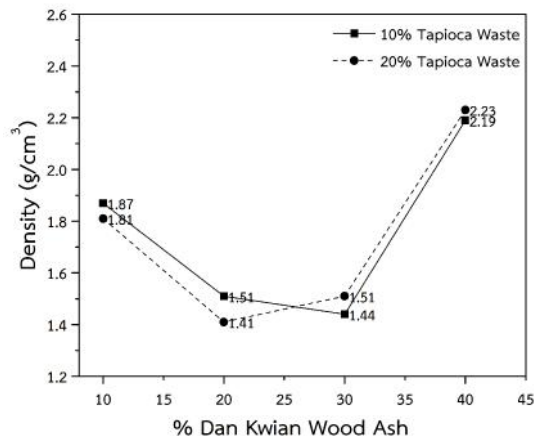
รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวก่อนเผากับปริมาณเถ้าไม้รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับปริมาณกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก



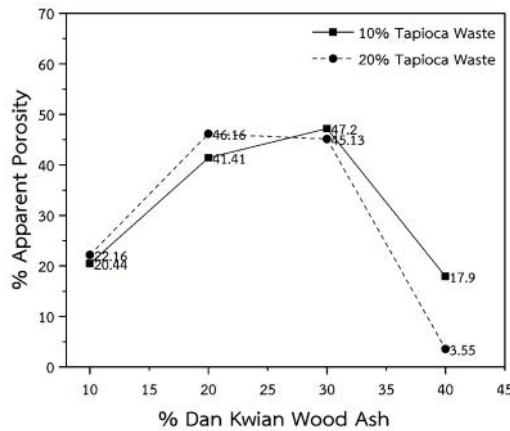
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวหลังเผากับปริมาณเถ้าไม้รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับปริมาณกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก



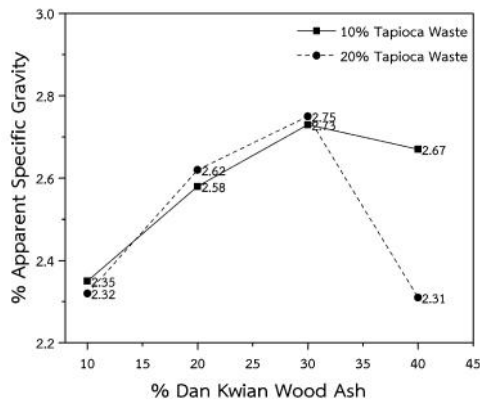
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซึมน้ำหลังเผากับปริมาณเถ้าไม้รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับปริมาณกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก



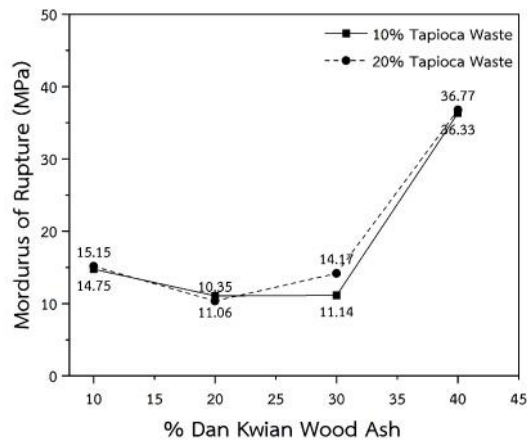
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับปริมาณเถ้าไม้รวมดำนเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนตัวกับปริมาณเถ้าไม้รวมดำนเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะกับปริมาณเถ้าไม้รวมดำนเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบระหว่างกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงหลังเผากับปริมาณเถ้าไม้รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบระหว่างกากมันสำปะหลังคองที่ ร้อยละ 10 และ 20 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นตัวอย่างทดสอบจำนวน 8 ชิ้นต่อแต่ละอัตราส่วนผสมที่ P1 P3 P5 และ P7 ที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้รวมด้านเกวียน ร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก และกากมันสำปะหลังคองที่ ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เเผาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติทางกายภาพ	อัตราส่วนน้ำหนักของ เถ้าไม้รวมด้านเกวียน (ร้อยละ)			
	10 (P1)	20 (P3)	30 (P5)	40 (P7)
Drying shrinkage (%)	5.36 ± 0.8	4.63 ± 0.5	2.88 ± 0.4	1.75 ± 0.5
Firing shrinkage (%)	10.50 ± 0.9	6.37 ± 0.5	5.75 ± 0.5	17.00 ± 0.8
Water absorption (%) ASTM C 373-88	10.93 ± 0.5	27.44 ± 0.4	32.79 ± 1.2	8.19 ± 1.5
Bulk density (g/cm ³) ASTM C 373-88	1.87 ± 0.01	1.51 ± 0.01	1.44 ± 0.02	2.19 ± 0.06
Apparent porosity (%) ASTM C 373-88	20.44 ± 0.8	41.41 ± 0.4	47.20 ± 0.9	17.90 ± 2.7
Apparent specific gravity (%) ASTM C 373-88	2.35 ± 0.03	2.58 ± 0.01	2.73 ± 0.005	2.67 ± 0.02
Modulus of Rupture (MPa) ASTM C 133-97	14.75 ± 3.1	11.06 ± 1.9	11.14 ± 1.7	36.33 ± 5.6

ตารางที่ 4 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นตัวอย่างทดสอบจำนวน 8 ชิ้นต่อแต่ละอัตราส่วนผสมที่ P2 P4 P6 และ P8 ที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้รวมด้านเหนียว ร้อยละ 10-40 โดยน้ำหนัก และกากมันสำปะหลังคงที่ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เตาที่อุณหภูมิ 1,250 องศาเซลเซียส

คุณสมบัติทางกายภาพ	อัตราส่วนน้ำหนักของ			
	เถ้าไม้รวมด้านเหนียว (ร้อยละ)			
	10 (P2)	20 (P4)	30 (P6)	40 (P8)
Drying shrinkage (%)	6.33 ± 0.5	4.75 ± 0.5	2.63 ± 0.5	1.50 ± 0.5
Firing shrinkage (%)	11.00 ± 0.6	6.50 ± 0.5	8.13 ± 0.8	18.75 ± 0.7
Water absorption (%) ASTM C 373-88	12.27 ± 0.3	32.77 ± 1.0	29.94 ± 1.1	1.60 ± 0.1
Bulk density (g/cm ³) ASTM C 373-88	1.81 ± 0.01	1.41 ± 0.02	1.51 ± 0.02	2.23 ± 0.01
Apparent porosity (%) ASTM C 373-88	22.16 ± 0.5	46.16 ± 0.8	45.13 ± 0.9	3.55 ± 0.2
Apparent specific gravity (%) ASTM C 373-88	2.32 ± 0.01	2.62 ± 0.01	2.75 ± 0.01	2.31 ± 0.004
Modulus of Rupture (MPa) ASTM C 133-97	15.15 ± 2.6	10.35 ± 1.4	14.17 ± 1.4	36.77 ± 6.3

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมของอิฐฉนวนทนไฟที่มีคุณสมบัติความพรุนต่ำสูง การนำความร้อนต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพบว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่จะนำไปสร้างเป็นอิฐฉนวนทนไฟ คือ อัตราส่วนผสมวัตถุดิบ P5 ซึ่งประกอบด้วยดินด้านเหนียว ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ดินขาว ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก เถ้าไม้รวมด้านเหนียว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และกากมันสำปะหลัง ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก กับอัตราส่วนผสมวัตถุดิบ P6 ซึ่งประกอบด้วยดินด้านเหนียว ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ดินขาว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เถ้าไม้รวมด้านเหนียว ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก และกากมันสำปะหลัง ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เป็นอัตราส่วนผสมที่มีความพรุนต่ำสูงซึ่งมีความพรุนตัว ร้อยละ 47.20 และ 45.13 ตามลำดับ เหมาะสำหรับนำไปใช้ทำอิฐฉนวนทนไฟได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยใหม่ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2557

เอกสารอ้างอิง

- จาริณี จงปลื้มปิติ และเกียรติฟ้า ตั้งใจจิต .(2554). การจำลองแบบการกระจายอุณหภูมิที่ไม่มีผลผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาอยู่ภายในเตาเผาด้านเหนียว. วารสารวิจัย มข. 16(2): 127-135.
- เลิศชาย สติชัยพนาวงศ์. (2554). การพัฒนาอิฐทนไฟ 1,300 องศาเซลเซียส จากดินบางปะหัน ดินขาว ททรายและซีลี้อย. ใน: การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. จังหวัดนครปฐม. 1411-1418.
- Gong, L., Wang, Y., Cheng, X., Zhang, R., and Zhang, H. (2014). Porous mullite ceramics with low thermal conductivity prepared by foaming and starch consolidation. Journal of Porous Materials 21: 15-21.

- Gregorova, E., Pabst, W., and Bohacenko, I. (2006). Characterization of different starch types for their application in ceramic processing. *Journal of the European Ceramic Society* 26: 1301–1309.
- Sutcu, M. and Akkurt, S. (2009). The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International* 35: 2625–2631.
- Sutcu, M. and Akkurt, S. (2010). Utilization of recycled paper processing residues and clay of different sources for the production of porous anorthite ceramics. *Journal of the European Ceramic Society* 30: 1785–1793.
- Sutcu, M., Akkurt, S., Bayram, A., and Uluca, U. (2012). Production of anorthite refractory insulating firebrick from mixtures of clay and recycled paper waste with sawdust addition. *Ceramics International* 38: 1033–1041.

