



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การสังเคราะห์อิฐความพรุนสูงโดยใช้หญ้าแฝก

หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุปถัมภ์ นาครักษ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยนครพนม

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครพนม

วันลงทะเบียน..... ๒๐ มี.ค. ๒๕๖๐

เลขทะเบียน..... 1-91233 22

เลขเรียกหนังสือ..... จ..... ๐๕๕.....

-๕๔๔

๑๕๖๕๖

๒๕๖๐

กุมภาพันธ์ ๒๕๖๐

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การสังเคราะห์อิฐความพรุนสูงโดยใช้หญ้าแฝก

ผู้วิจัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุปถัมภ์ นาครักษ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร



สนับสนุนโดย
งบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีงบประมาณ 2559

Executive Summary

Vetiver grass is a widespread plant in Thailand. It has been used in several applications such as land erosion prevention, toxic pollutants removal, and environmental remediation. The chemical analysis provided that it mainly contained of >50% of potassium and ~20 wt% silicon. Since, the main element is potassium, then it is likely to be used as feldspar replacement in ceramic processing. The thermal analysis of vetiver grass also revealed that the vetiver grass can act as fluxing agents to form a glassy phase at low temperatures (600°C). The effect of vetiver percentage in ceramic processing on some physical and mechanical properties of ceramics were examined including, firing shrinkage, density, porosity, and bending stress. The results showed that with increasing the ratio of vetiver grass the density of sample decreased from 1.7 g/cm³ (without vetiver grass) to 1.1 g/cm³ (30 wt% of vetiver grass) at 600°C of firing temperature. The explanation was that during the firing process vetiver grass can generate CO₂ from hydrocarbon decomposition, this CO₂ created pores inside the sample, then the density was decreased and pore volume also increased. Meanwhile, the bending stress decreased from 3.6 MPa (without vetiver grass) to 0.5 MPa (30 wt% of vetiver grass) at 600°C of firing temperature. In summary, the results proved that the vetiver grass is a good candidate to be feldspar replacement in ceramic processing. In the other words, it can be one option for promoting environmental sustainability in term of waste and mining reductions.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ใบหญ้าแฝกมาทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเซรามิคแบบอัด ชิ้นงานทดสอบมีอัตราส่วนผสมหญ้าแฝกในชิ้นงานเป็นร้อยละ 0 5 10 15 20 25 และร้อยละ 30 ตามลำดับ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพและทางกล ได้แก่ความหนาแน่น ร้อยละการหดตัว ความต้านทานแรงดัดโค้ง ความต้านทานแรงกดอัด ผลการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้นในชิ้นงาน ทำให้ความหนาแน่นหลังเผาลดลง ร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น ปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดัดโค้งลดลง และความต้านทานแรงกดอัดลดลง

Abstract

The objective of this research is to study the possibility of using vetiver grass to replace the potassium feldspar in the compression molding of ceramic. The specimen mixed with vetiver grass in the ratio of 0 5 10 15 20 25 and 30 percentage, respectively. The temperatures of 400° 600 and 800°C were used in the sintering process. After the sintering process, the test specimens were measured the physical and mechanical properties such as density, shrinkage percentage, blending and compressive stress. The study found that the increase of vetiver grass amount in the specimen causes the decrease of density and increase of shrinkage percentage and porosity, while the blending and compressive stress were decreased.

สารบัญ

หน้า

Executive Summary.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ข
สารบัญ.....	ค
ลักษณะโครงการวิจัย.....	1
ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง	8
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	9
ผลการทดลองและอภิปรายผล	12
สรุปผลโครงการวิจัย.....	21
ข้อเสนอแนะ ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข	22
เอกสารอ้างอิง.....	23
ภาคผนวก ก.....	25
ภาคผนวก ข.....	29



1. ลักษณะโครงการวิจัย

ประเภทการวิจัย:	ทดลองและพัฒนา
กลุ่มการวิจัย:	วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี
สาขาวิชาการ:	วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
จริยธรรมการวิจัย:	ไม่เกี่ยวข้อง

2. ที่มาและความสำคัญของโครงการวิจัย

เป็นที่ทราบกันเป็นอย่างดีว่าประเทศไทยมีการทำอุตสาหกรรมเซรามิกกันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา และอุตสาหกรรมแก้ว ในกระบวนการผลิตเซรามิกนั้น แร่เฟลด์สปาร์ถือเป็นส่วนประกอบส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยมีสองประเภทด้วยกันคือ 1) โซเดียมเฟลด์สปาร์ และ 2) โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ซึ่งการได้มาของแร่เฟลด์สปาร์นั้น จำเป็นต้องมีการทำเหมืองแร่หรืออุตสาหกรรมเหมืองแร่ ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและทำลายสุนทรียภาพบริเวณนั้น ๆ ตามมา โดยเหมืองแร่ทุกประเภทและทุกขนาดต้องมีการจัดทำรายงานประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental impact assessment: EIA) ก่อนได้รับอนุญาตให้ดำเนินการ

ในขณะเดียวกัน ณ ปัจจุบันได้มีการทำโครงการรณรงค์การปลูกหญ้าแฝกเพื่อการอนุรักษ์ดินและน้ำ โดยดำเนินการปลูกหญ้าแฝกในพื้นที่ต่าง ๆ ตามความเหมาะสม ซึ่งเป็นการใช้ระบบรากของหญ้าแฝกเพื่อป้องกันการชะล้างของหน้าดินให้น้อยลง ขณะเดียวกันก็ยังมีประสิทธิภาพในการดักตะกอนดิน ดูดซับโลหะหนักจากดิน จากลักษณะดังกล่าวจึงมีการนำหญ้าแฝกมาปลูกเพื่อใช้บำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในส่วนของใบหญ้าแฝกมีส่วนผสมของสารประกอบซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) และสารประกอบโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) อยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับสารประกอบในแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (KAlSi_3O_8) ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเริ่มก่อให้เกิดปฏิกิริยาเกิดเนื้อแก้วในเนื้อผลิตภัณฑ์ หรือเป็นตัวส่งเสริมทำให้เกิดความแกร่งและความโปร่งใสของชิ้นงาน ทั้งนี้ยังทำหน้าที่ให้ผลิตภัณฑ์หลอมตัวที่อุณหภูมิต่ำ และภายหลังจากการหลอมแล้วได้ความหนืดสูงกว่าแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโซเดียมเฟลด์สปาร์ จึงเป็นผลให้รูปทรงของชิ้นงานอยู่ตัวไม่บิดเบี้ยวในช่วงการเผา อีกทั้งยังมีคุณสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้า

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ใบหญ้าแฝกทดแทนแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ในอุตสาหกรรมเซรามิกและอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยชิ้นงานทดสอบนั้นมีอัตราส่วนของแร่เฟลด์สปาร์ ชนิดโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และใบหญ้าแฝกที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีการนำชิ้นงานทดสอบไปศึกษาคุณสมบัติและประสิทธิภาพของการใช้งาน และเพื่อเป็นการนำใบหญ้าแฝกซึ่งเป็นสินค้าภาคเกษตรกรรมมาสร้างมูลค่าเพิ่มอีกด้วย

3. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาสมบัติของชิ้นงานที่มีการประยุกต์ใช้ใยหินแร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งเป็นส่วนผสมในน้ำดินของชิ้นงานเซรามิก
- 2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของใยหินแร่เฟลด์สปาร์ในการใช้แทนแร่เฟลด์สปาร์
- 3) เพื่อศึกษาผลของการใช้ใยหินแร่เฟลด์สปาร์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของชิ้นงาน

4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1) ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำใยหินแร่เฟลด์สปาร์ในอัตราส่วน ร้อยละ 5, 10, 15, 20, 25 และ 30
- 2) ศึกษาสมบัติความหนาแน่น การหดตัว และรูพรุน
- 3) ศึกษาสมบัติทางกลของชิ้นงานโดยศึกษา 2 ชนิดคือ Bending และ Compression Test

5. ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

5.1 กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ (Feldspars group)

แร่เฟลด์สปาร์เป็นแร่หินกลุ่มซิลิเกต (Silicates) ที่มีธาตุโพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญ ลักษณะโครงสร้างผลึกอยู่ในระบบโมโนคลินิกและไตรคลินิก มีค่าความแข็งในระบบของ Moh's scale ประมาณ 6 มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง 2.55-2.75 กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์เป็นกลุ่มแร่ค่อนข้างใหญ่มีเกือบ 20 ชนิดด้วยกัน แต่ที่รู้จักกันมากมีประมาณ 9 ชนิดด้วยกันและมีเพียง 2-3 ชนิดเท่านั้นที่พบและมีการผลิตขึ้นมาใช้ประโยชน์กันมาก

กลุ่มพลาจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ (Plagioclase feldspars)

แร่อัลไบต์ (Albite or Sodium aluminum silicate)

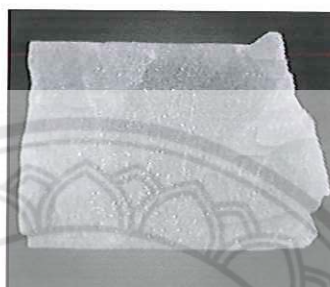
แร่อัลไบต์เป็นแร่ที่มีสีมีสีขาว สีเทา เขียว สีแดงเข้มเหลือง หรืออาจไม่มีสี บางครั้งมีความโปร่งแสงโปร่งใสจนถึงทึบแสง มีความวาวคล้ายแก้วหรือคล้ายมุก หรือด้านแบบดิน มีโครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) มีสูตรทางเคมีคือ $\text{NaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 6-6.5 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.61 มักเกิดร่วมกับแร่ควอตซ์ (Quartz) แร่ทัวร์มาลีน (Tourmaline) และแร่มีสโคไวต์ (Muscovite) ไบโอไทต์ (Biotite)



รูปที่ 1 แร่อัลไบต์ ประเทศบราซิล

แร่เอริโกเคลส (*Oligoclase or Sodium calcium aluminum silicate*)

แร่เอริโกเคลสเป็นแร่ที่ไม่ค่อยเป็นที่รู้จักกันมากนัก ส่วนใหญ่ของแร่นั้นประกอบไปด้วยแร่อัลไบต์ 90-70 เปอร์เซ็นต์ และแร่แอนอร์ไทต์ 10-30 เปอร์เซ็นต์ แต่เคยมีการนำแร่เอริโกเคลสมาทำเป็นแร่กึ่งรัตนชาติ (Semi-precious stone) เรียกว่า ซันสโตน (Sunstone) และ มูนสโตน (Moonstone) โดยหินซันสโตน (Sunstone) มีสีแดงสดเนื่องจากมีส่วนประกอบของแร่เหล็กชนิดเฮมาไทต์ (Hematite) ผสมอยู่ ส่วนหินมูนสโตน (Moonstone) มีสีคล้ายแร่แลบราโดเรสเซนซ์ (Labradorescence) แต่สีจางกว่าแร่ชนิดนี้มักมีสีเทา สีเขียวอ่อน สีน้ำตาล หรือสีเหลือง ความวาวคล้ายแก้ว มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 6-6.5 มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.65-2.68 มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) มักเกิดร่วมกับแร่ควอตซ์ (Quartz) แร่มีสโคไวต์ (Muscovite) และโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ (K-feldspars)



รูปที่ 2 แร่เอริโกเคลส ชนิดซันสโตน ประเทศนอร์เวย์



รูปที่ 3 แร่เอริโกเคลส ชนิดมูนสโตน ประเทศอินเดีย

แร่แอนดีซีน (*Andesine: Sodium calcium aluminum silicate*)

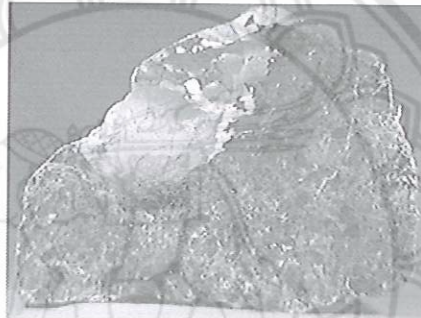
แร่แอนดีซีนเป็นแร่ที่มีส่วนประกอบหลักของแร่อัลไบต์ 70-50 เปอร์เซ็นต์ และแร่แอนอร์ไทต์ ถึง 30-50 เปอร์เซ็นต์ มีโครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) มีความวาวคล้ายแก้วหรือด้านคล้ายดิน มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 6-6.5 มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.68-2.71



รูปที่ 4 แร่พลาจิโอเคลส ชนิดแอนดีซีน

แร่ลาบราดอไรต์ (Labradorite: *Calcium sodium aluminum silicate*)

แร่ลาบราดอไรต์มีส่วนประกอบหลักของแร่อัลไบต์ถึง 50-30 เปอร์เซ็นต์ และแร่อะนอร์ไทต์ถึง 50-70 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) มีความวาวคล้ายแก้ว มีสีเทาจนถึงสีควันไฟ มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 6-6.5 ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วง 2.70-2.74 มักเกิดร่วมกับแร่ไบโอไทต์ (Biotite) แร่ไพโรซีน (Pyroxene) และ แร่ฮอร์นเบลนด์ (Hornblende)



รูปที่ 5 แร่ลาบราดอไรต์ ประเทศมาดากัสการ์

แร่ไบทาวไนต์ (Bytownite: *Calcium sodium aluminum silicate*)

แร่ไบทาวไนต์มีส่วนประกอบหลักของแร่อัลไบต์อยู่ 30-10 เปอร์เซ็นต์ และแร่อะนอร์ไทต์ 70-90 เปอร์เซ็นต์ มีคุณสมบัติต่าง ๆ คล้ายกับแร่ลาบราดอไรต์ แตกต่างกันที่ดัชนีการหักเหของแสง



รูปที่ 6 แร่ไบทาวไนต์ ประเทศเม็กซิโก

แร่อะนอร์ไทต์ (Anorthite: *Calcium aluminum silicate*)

แร่อะนอร์ไทต์มีส่วนประกอบของแร่อัลไบต์ 10-0 เปอร์เซ็นต์ และ แร่อะนอร์ไทต์ 90-100 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 6-6.5 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.76 มีความวาวคล้ายแก้วแต่หากมีการฟุ้งทำลายจะมีความด้านคล้ายดิน มักเกิดร่วมกับแร่ไบโอไทต์ (Biotite) แร่ออจีท์ (Augite) แร่ไพโรซีน (Pyroxene) และ แร่ฮอร์นเบลนด์ (Hornblende)



รูปที่ 7 แร่อะนอร์ไทต์ เกาะฮอกไกโดประเทศญี่ปุ่น

กลุ่มอัลคาไลด์เฟลด์สปาร์ (K-feldspars or alkali feldspars)

แร่ไมโครไคลน์ (Microcline: *Potassium aluminum silicate*)

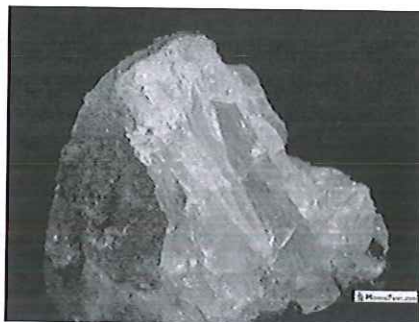
อาจจะรู้จักกันชื่อของแร่เมซอนไนต์และแร่เพอร์ไทต์ (Amazonite and perthite) แร่เมซอนไนต์ มีโครงสร้างผลึกแบบไตรคลินิก (Triclinic) มีค่าความแข็งอยู่ที่ 6 มีความถ่วงจำเพาะระหว่าง 2.54-2.57 มีสีขาว เหลืองอ่อนหรือสีแดง สีเขียวอ่อน เรียกว่า อะเมซอนสโตน (Amazon stone) เนื้อผลึกมีลักษณะโปร่งใสจนถึงโปร่งแสง มีสูตรทางเคมี คือ $KAl_2Si_2O_8$ เหมือนกับออร์โทเคลสซึ่งบางส่วนอาจมีการแทนที่ของโซเดียมแทนที่โพแทสเซียม มักประโยชน์ในอุตสาหกรรมเซรามิก เช่นเดียวกับออร์โทเคลส ส่วนแร่เมซอนสโตนมักนำไปขัดเป็นหินประดับชนิดดี ๆ เนื้อสีเขียวสวย และนิยมนำไปเจียรไนเป็นรัตนชาติ



รูปที่ 8 แร่ไมโครไคลน์ รัฐโคโลราโด สหรัฐอเมริกา

แร่ซานิไดน์ (Sanidine: *Potassium sodium aluminum silicate*)

เป็นแร่ที่มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ผลึกอาจไม่มีสี หรือมีสีขาว เทา และเหลือง ลักษณะผลึกโปร่งใส มีค่าความแข็ง 6 มีความถ่วงจำเพาะ 2.52 มีความวาวคล้ายแก้วหรือมุก



รูปที่ 9 แร่ซานิติน ประเทศเม็กซิโก

แร่ออร์โทเคลส (Orthoclase: Potassium aluminum silicate)

แร่ออร์โทเคลสเป็นแร่ที่มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก ซึ่งมักเกิดเป็นผลึกขนาดใหญ่ที่มีเนื้อสมานกันแน่นในรูปของหิน อาจเป็นเกิดเป็น สีขาว สีเทา สีแดงเข้ม หรือไม่มีสี สีผงขาว ออร์โทเคลสชนิดไม่มีสี และมีเนื้อโปร่งใสถึงโปร่งแสง มีค่าความแข็งเท่ากับ 6 มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 2.57 มีสูตรทางเคมีคือ $KAlSi_3O_8$ แร่ออร์โทเคลสมีความแตกต่างจากแร่เฟลด์สปาร์ชนิดอื่น ๆ ตรงที่มีแนวแตกเรียบตั้งฉากกัน และไม่มีร่องขนานถี่ ๆ (Striation) บนผิวหน้า มักเกิดร่วมกับแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ และอัลไบต์ ส่วนใหญ่มักใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบ นอกจากนี้ ยังใช้ในอุตสาหกรรมแก้วอีกด้วย



รูปที่ 10 แร่ออร์โทเคลส ประเทศบราซิล

สำหรับในประเทศไทยแร่เฟลด์สปาร์ที่มี 2 กลุ่มคือ

กลุ่มแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์

เป็นแร่เฟลด์สปาร์กลุ่มพลาจิโอเคลส ที่มีกลุ่มของโซดา (Soda) และไลม์ (Lime) รวมถึงอัลไบต์ (Albite) ซึ่งมีการแทนที่ของโซเดียมและแคลเซียมในอัตราส่วนที่ต่างกัน ส่วนใหญ่มักเป็นแร่ออร์โทเคลส (Orthoclase) หรือแร่ไมโครไคลน์ (Microcline)

กลุ่มแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์

ส่วนใหญ่มักเป็นแร่ออร์โทเคลส (Orthoclase) มีสีเทา สีขาว สีแดงเข้มหรืออาจไม่มีสี ซึ่งแร่เฟลด์สปาร์กลุ่มนี้ส่วนที่เป็นธาตุโซเดียมหรือแคลเซียมจะถูกแทนที่ด้วยธาตุโพแทสเซียม

5.2 หญ้าแฝก

หญ้าแฝกเป็นพืชที่มีการส่งเสริมให้ประชาชนโดยทั่วไปปลูกเพื่อเป็นการส่งเสริมให้อนุรักษ์ดินและน้ำ ทั้งนี้หญ้าแฝกในโลกมีอยู่ประมาณ 11-12 ชนิด ซึ่งในประเทศไทยนั้นพบเพียงแค่ 2 ชนิด คือ หญ้าแฝกหอมหรือหญ้าแฝกลุ่ม (*Vetiveria zizanioides* Nash.) และหญ้าแฝกดอน (*Vetiveria nemoralis* A. Camus.) โดยมีการสันนิษฐานว่าถิ่นกำเนิดดั้งเดิมนั้นอยู่ที่ประเทศอินเดีย

อนุกรมวิธาน

หญ้าแฝกเป็นพืชในตระกูลหญ้า (Gramineae) เช่นเดียวกับหญ้าคา หญ้าขจรจบ ข้าวฟ่าง ฝัอยู่ใน *Tribe Andropogoneae* สกุล *Vetiveria* มีอยู่ 16 ชนิด และ 3 พันธุ์ ดังนี้ (Chase, A. and Niles, C.D. 1962)

- 1) *Vetiveria arguta* (Steud.) C.E. Hubb.
- 2) *V. arundinacea* Griseb.
- 3) *V. elongate* (R.Br.) Stapf ex C.E. Hubb.
- 4) *V. festacoides* (Prest.) Ohwi.
- 5) *V. filipes* (Benth.) C.E. Hubb.
- 6) *V. filipes* var. *arundinacea* (Reeder) Jansen.
- 7) *V. Fulvibarbis* (Trin.) Stapf.
- 8) *V. intermedia* S.T. Brake.
- 9) *V. lawsoni* (Hook.f.) Blatle & McCann.
- 10) *V. muricata* (Retz.) Griseb.
- 11) *V. nemoralis* (Bal.) A. Camus.
- 12) *V. nigritana* (Benth.) Stapf.
- 13) *V. odoratissima* Bory.
- 14) *V. paniciflora* S.T. Blake.
- 15) *V. Venustus* (Thwaites) Willis.
- 16) *V. zizanioides* (L) Nash.
- 17) *V. zizanioides* var. *chrysopogonoides* (Heck.) A. Camus.
- 18) *V. zizanioides* var. *nigritana* (Benth.) A. Camus.
- 19) *V. zizanioides* var. *tonkinesis* A. Camus.

ลักษณะ

หญ้าแฝก จัดอยู่ในกลุ่มจำพวกหญ้า มีอายุยาวนานหลายปี ลักษณะพุ่มขึ้นเป็นกอแน่น ใบยาวตั้งตรง ขนาดกอค่อนข้างใหญ่ ส่วนโคนของลำต้น มีรากเป็นฝอยอยู่ใต้ดินขึ้นเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ หรือขึ้นกระจายกัน ส่วนแตกกอนั้นพบว่าจะมีการแตกหน่อใหม่ทดแทนต้นเก่าอยู่เสมอ โดยจะแตกออกทางด้านข้างรอบ ๆ กอ ในประเทศไทยมักพบหญ้าแฝกได้มากในบริเวณที่โล่งแจ้ง โดยเฉพาะบริเวณที่มีความชื้นสูง หรือใกล้น้ำ และในป่าเต็งรัง

การศึกษาจากเอกสาร Grasses of the malaya 1971. โดย H.B.Gilliland พบว่า *Vetiveria nemoralis* มีลักษณะพิเศษดังนี้ คือเป็นพืชที่อยู่ข้ามปี ลำต้นแตกกอแน่น สูงถึง 75 เซนติเมตร กาบ

ใบที่โคนแบนแหลม (ไม่ติดแน่นกับลำต้น) ยาว 3-4 ซม. ไม่มีขน ข้อห่าง ใบยาว 15-20 เซนติเมตร กว้าง 3-5 มิลลิเมตร ใบแคบปลายแหลมมักม้วน เกสรตัวผู้ไม่มีขน ขอบใบคม ที่ก้านใบมีหูยาว 3 มิลลิเมตร อยู่ด้านโคนใบ ช่อดอกเป็นช่อดอกแยกแขนง ยาว 12 เซนติเมตร กว้าง 6 เซนติเมตร แขนงของช่อประกอบด้วยดอกย่อยที่ไม่มีก้าน 1 หรือ 2 ดอก ส่วนดอกที่อยู่ปลายช่อมีก้านและเป็นดอกตัวผู้ ดอกที่อยู่ถัดลงมาเป็นดอกย่อยมีก้าน 1 ดอก มีข้อห่างกัน 5 มิลลิเมตร ก้านช่อดอกต่ำลงมา 2 มิลลิเมตร จะมีขน เกสรตัวผู้ 3 เกสรตัวเมีย 2 เกสรตัวเมียมีขนมาก

6. การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ดินแดงสุราษฏร์ธานี ซีเถ้าเปลือกหอยนางรม และซีเถ้าแกลบ เพื่อผลิตเคลือบซีเถ้า

เบญจมาศ รักจัญ ได้ทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมระหว่างโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ ดินแดงสุราษฏร์ธานี ซีเถ้าเปลือกหอยนางรม และซีเถ้าแกลบ เพื่อผลิตเคลือบซีเถ้า ซึ่งคำนวณหาอัตราส่วนผสมจากแผนภาพสี่เหลี่ยมด้านเท่าจำนวน 36 สูตร ทำการทดลองโดยเตรียมวัตถุดิบคือ ดินแดงสุราษฏร์ธานี นำมาผ่านตะแกรงร่อนขนาด 120 เมช ซีเถ้าแกลบเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 เมช และซีเถ้าเปลือกหอยนางรมเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช นำวัตถุดิบดังกล่าวมาผสมที่ละสูตร เพื่อชุบบนแผ่นทดสอบเคลือบสี่เหลี่ยมด้านเท่า ขนาดความกว้าง 3.50 เซนติเมตร 3.50 เซนติเมตรหนา 0.80 เซนติเมตร นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศออกซิเดชัน และรีดักชัน แล้วตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำเคลือบในด้านสีเคลือบ ความมันของเคลือบ และความสมบูรณ์ของเคลือบ เพื่อพิจารณาสูตรที่เหมาะสมที่สุดไปเคลือบผลิตภัณฑ์เซรามิค

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพเอมิเซลลูโลสพอลิเมอร์จากหญ้าแฝก

ภาวดี เมธะคานนท์ และคณะ ได้ทำการศึกษาเอมิเซลลูโลสพอลิเมอร์จากหญ้าแฝกและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ โดยศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแฝก 2 สายพันธุ์ ใบถูกตรวจสอบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก พอลิแซคคาไรด์หลักๆที่พบเป็นเอมิเซลลูโลส (ประมาณ 38%) ตามด้วยเซลลูโลส (ประมาณ 27%) มีการตรวจสอบโปรตีนด้วยกรดอัลบูมิน (BSA) โดยพบอยู่ที่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณลิกนินประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยการตรวจสอบด้วยกรดคลอไรด์ มีปริมาณซีเถ้าประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์จากส่วนที่เป็นซิลิกา ซึ่งในซีเถ้านี้เองได้พบธาตุประกอบที่สำคัญๆ อย่างเช่น ซิลิกา โพแทสเซียม ฟอสฟอรัส และแคลเซียม อาจมีผลเนื่องมาจากการเกษตรกรรม

7. วิธีการดำเนินการวิจัย

7.1 อุปกรณ์และสารเคมี

7.1.1 อุปกรณ์

1	กรรไกร	6 เล่ม
2	เครื่องปั่น	1 เครื่อง
3	เตาให้ความร้อน	1 ตัว
4	ตาเผาชนิดกล่อง	1 ตัว
5	บล็อกแบบอัดขึ้นรูป	1 บล็อก
6	ตะแกรงร่อนขนาด 212 ไมโครเมตร	1 อัน
7	ตะแกรงร่อนขนาด 300 ไมโครเมตร	1 อัน
8	ถังน้ำ	2 ใบ
9	เครื่อง Universal Testing Machine	1 เครื่อง
10	ดิน	20 กิโลกรัม
11	หย้าแผลก	20 กิโลกรัม
12	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบมือถือ	1 เครื่อง
13	ถาด	4 ถาด
14	เครื่อง Hot Plate	1 เครื่อง
15	บีกเกอร์	3 อัน

7.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

7.2.1 การจัดหาวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ใช้หย้าแผลกที่ปลูกในพื้นที่ตำบลชุมแสงสงคราม อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยได้รับความสนับสนุนจากคุณเฉลา บดิรัฐ และเครือข่ายหย้าแผลกภาคเหนือตอนล่าง

7.2.3 ขั้นตอนการทำผงหย้าแผลก

7.2.3.1 นำใบหย้าแผลกที่ได้จากการตัดมาทำความสะอาดโดยล้างด้วยน้ำสะอาดตากให้แห้ง

7.2.3.2 นำใบหย้าแผลกที่แห้งแล้วมาตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆขนาด 0.5 เซนติเมตร

7.2.3.3 ทำให้แห้งโดยอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและปล่อยให้เย็นตัวภายในเตาอบ

7.2.3.4 นำหย้าแผลกที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ หลังจากการอบมาย่อยให้ละเอียด โดยการนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่น หลังจากนั้นกรองเอาผงหย้าแผลกด้วยความละเอียด ด้วยความละเอียด 300 ไมโครเมตรด้วยตะแกรงร่อน

7.2.3.5 นำหย้าแผลกที่ผ่านการกรองเสร็จแล้วนำมาอบไล่ความชื้นด้วยอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นตัวในเตา

7.2.3 ขั้นตอนทำดินให้ละเอียด

7.2.3.1 นำดินเหนียวมาปั้นให้เป็นแผ่นบางๆขนาดความหนา 1-2 เซนติเมตร และนำไปตากแดดเป็นเวลา 6-8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นตัวในเตา

7.2.3.2 นำดินที่ได้จากการอบให้ละเอียดโดยการตำแล้วโม่ดินด้วยเครื่องบดดินเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

7.2.3.3 หลังจากได้ดินจากหม้อบดแล้วนำมาร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 212 ไมโครเมตร

7.2.4 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูป

7.2.4.1 นำส่วนผสมตามตารางที่ 3.1 มาผสมขึ้นแล้วนำไปขึ้นรูป โดยแต่ละอัตราส่วนจะผสมน้ำ ร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมก่อนอัดขึ้นรูป

รูปแบบ	ดิน ร้อยละโดยน้ำหนัก	หัวน้ำแฉก ร้อยละโดยน้ำหนัก
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20
6	75	25
7	70	30

7.2.4.2 เมื่อผสมตามอัตราส่วนเสร็จแล้ว แบ่งออกเป็นอัตราส่วนละ 6 ก้อน นำไปอัดขึ้นรูป โดยใช้ในแรงการอัดขึ้นรูปประมาณ 3 เมกะปาสกาล เสร็จแล้วทิ้งให้แห้งในอากาศ

7.2.4.3 นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา บันทึกค่าเป็นก่อนเผา

7.2.5 ขั้นตอนการอบ

7.2.5.1 นำชิ้นงานที่ได้ ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

7.2.5.2 ปล่อยให้ชิ้นงานเย็นตัวภายในเตาอบ

7.2.5.3 นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนัก วัดขนาดความกว้าง ความยาว และความหนา บันทึกค่าเป็นหลังเผา

7.2.6 ขั้นตอนการทดสอบทางกล

7.2.6.1 นำชิ้นงานไปทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing

7.2.6.2 บันทึกค่าจากเครื่อง Universal Testing เพื่อนำไปคำนวณ

7.2.6.3 นำชิ้นงานที่เหลือจากการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งชิ้นแรก ไปทำการลบขอบ ลบมุมเพื่อนำไปทดสอบความต้านทานแรงกดอัด

7.2.6.4 นำชิ้นงานไปทดสอบความต้านทานแรงกดอัด ด้วยเครื่องทดสอบ Universal Testing

7.2.6.5 บันทึกค่าจากเครื่อง Universal Testing เพื่อนำไปคำนวณ

7.2.7 ขั้นตอนการทดสอบทางกายภาพ

7.2.7.1 นำชิ้นงานอีกส่วนไปชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกเป็นน้ำหนักก่อนต้ม

7.2.7.2 ต้มชิ้นงานที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสของน้ำ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

7.2.7.3 แช่ทิ้งไว้ในน้ำเป็นเวลา 12 ชั่วโมง

7.2.7.4 หยิบชิ้นงานขึ้นมาชั่งบนเครื่องชั่ง บันทึกค่าเป็น น้ำหนักหลังต้มชั่งบนอากาศ

7.2.7.5 นำชิ้นงานไปแช่ในน้ำโดยให้อยู่ระหว่างกลางของน้ำ โดยในเครื่องชั่งน้ำหนักแบบมือถือ บันทึกค่าเป็นน้ำหนักหลังต้มชั่งในน้ำ

7.2.8 ขั้นตอนในการคำนวณค่า

ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส สัดส่วนผสมพฐ้าแฝก 0 เปอร์เซนต์ น้ำหนักชิ้นงานแห้งก่อนทดสอบ 26.17 กรัม น้ำหนักชิ้นงานทดสอบเปียกหลังทดสอบ 29.67 กรัม น้ำหนักชิ้นงานทดสอบในน้ำ 14.67 กรัม สมมติฐานที่น้ำหนัก 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าเท่ากับน้ำ 1 กรัม

3.2.8.1 ปริมาตรรวม (V)

$$V = M - S$$

$$V = 29.67 - 14.67$$

$$V = 15 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

7.2.8.2 ปริมาตรรูพรุนเปิด (V_{op})

$$V_{op} = M - D$$

$$V_{op} = 29.67 - 26.17$$

$$V_{op} = 3.5 \text{ ลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

7.2.8.3 ความพรุนตัวปรากฏ (P) เปอร์เซนต์

$$P = [(M - D) / V] \times 100$$

$$P = [(29.67 - 26.17) / 15] \times 100$$

$$P = 23.33 \text{ เปอร์เซนต์}$$

7.2.8.4 ความหนาแน่นรวม (B)

$$B = D / V$$

$$B = 26.17 / 15$$

$$B = 1.74 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

8. ผลการทดลองและอภิปรายผล

8.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

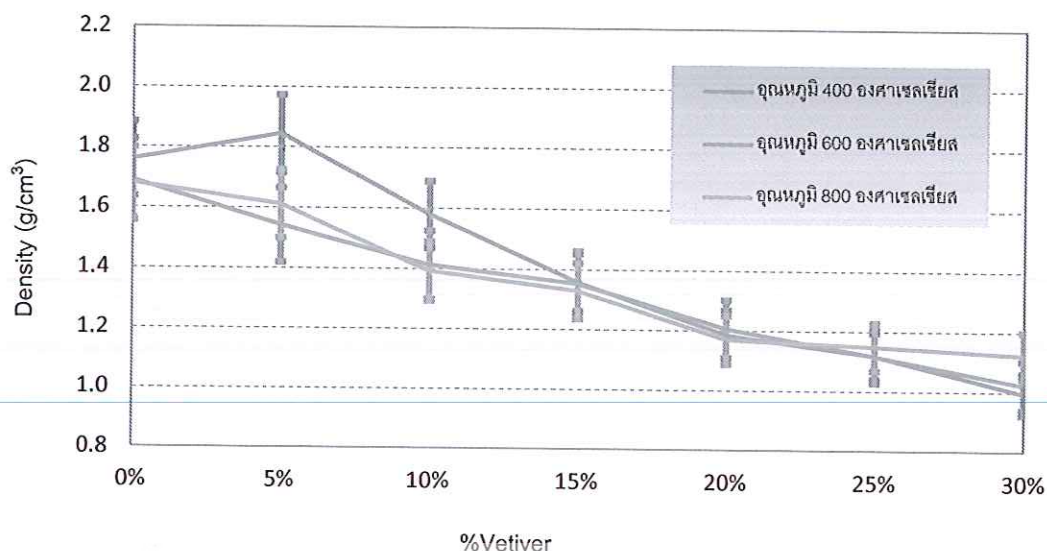
การทดสอบสมบัติทางกายภาพคือ การทดสอบคุณลักษณะภายในของชิ้นงาน การเปลี่ยนแปลงขนาดของความยาว ความกว้าง และความหนา การหดตัว ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผา เป็นต้น โดยผลการตรวจสอบแสดงดังต่อไปนี้

8.1.1 ความหนาแน่นและการหดตัว

ในการทดสอบความหนาแน่นรวม (Bulk density) และการหดตัวของชิ้นงานหลังจากเผาที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณได้จากน้ำหนักของชิ้นงานในขณะแห้งหารด้วยปริมาตรของชิ้นงาน โดยที่ปริมาตรของชิ้นงานสามารถหาได้จากการวัดขนาดชิ้นงาน เช่นเดียวกับการหาการหดตัวของชิ้นงานสามารถทำได้โดยการวัดขนาดก่อนและหลังเผา ผลการตรวจสอบความหนาแน่นรวมและการหดตัว แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 11

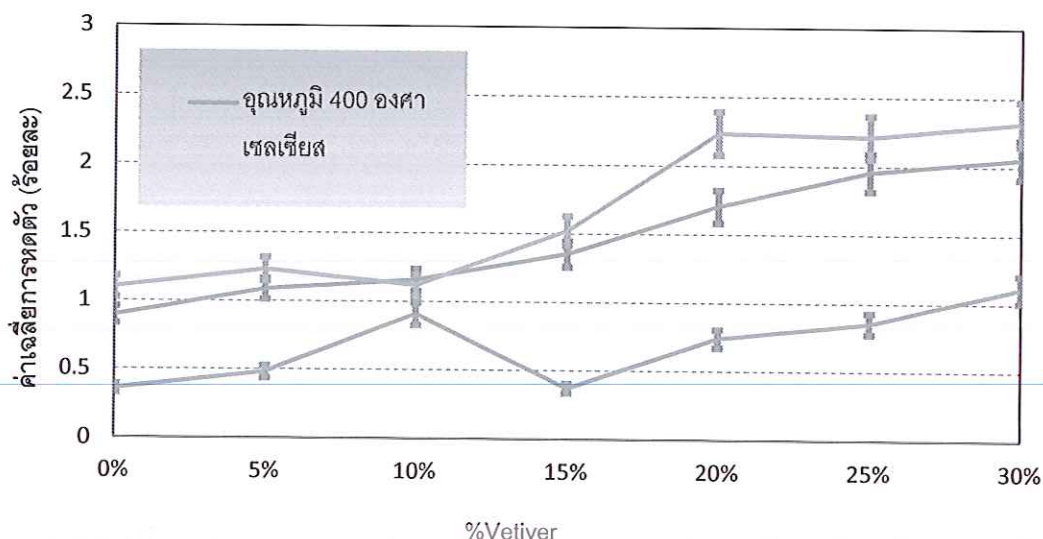
ตารางที่ 2 ความหนาแน่นและการหดตัวของชิ้นงานหลังเผา

อุณหภูมิ เผา(°C)	สัดส่วน หญา เผก (%)	ขนาดเฉลี่ยก่อนเผา (cm)			ขนาดเฉลี่ยหลังเผา (cm)			น้ำหนัก (g)		ปริมาตร หลังเผา (cm ³)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	ร้อยละ การหด ตัว
		กว้าง	ยาว	หนา	กว้าง	ยาว	หนา	ก่อน	หลัง			
400	0	2.43	10.95	1.16	2.43	10.85	1.16	64.25	52.70	30.58	1.76	0.89
	5	2.43	11.17	1.35	2.42	11.08	1.14	64.33	54.90	30.57	1.84	1.09
	10	2.46	11.22	1.41	2.45	11.11	1.28	65.58	53.42	34.84	1.58	1.16
	15	2.46	11.56	1.35	2.46	11.47	1.40	62.67	51.80	39.50	1.36	1.35
	20	2.47	11.78	1.53	2.28	11.59	1.68	62.08	49.50	44.39	1.18	1.70
	25	2.46	11.97	1.60	2.43	11.73	1.53	64.00	47.83	43.61	1.12	1.95
	30	2.53	12.08	1.63	2.48	11.84	1.59	62.83	44.17	46.69	0.99	2.05
600	0	2.46	10.30	1.22	2.44	10.27	1.19	56.58	50.42	29.82	1.69	0.36
	5	2.49	10.43	1.38	2.46	10.38	1.33	62.00	52.08	33.96	1.54	0.48
	10	2.47	10.39	1.37	2.45	10.31	1.43	63.08	50.75	36.12	1.41	0.91
	15	2.47	10.34	1.41	2.46	10.35	1.43	61.92	49.08	36.41	1.35	0.37
	20	2.52	10.47	1.49	2.47	10.39	1.51	63.08	46.58	38.75	1.20	0.74
	25	2.51	10.50	1.64	2.47	10.39	1.58	63.25	45.08	40.55	1.12	0.85
	30	2.56	10.52	1.66	2.52	10.40	1.60	64.33	42.83	41.93	1.02	1.11
800	0	2.45	10.92	1.19	2.41	10.80	1.19	66.17	49.08	30.97	1.68	1.10
	5	2.46	11.80	1.48	2.40	11.50	1.35	63.00	52.00	37.26	1.61	1.23
	10	2.46	10.62	1.42	2.39	10.51	1.43	63.58	49.42	35.92	1.39	1.11
	15	2.46	10.92	1.40	2.43	10.76	1.40	62.58	48.58	36.61	1.33	1.52
	20	2.5	10.83	1.53	2.42	10.60	1.51	64.58	45.42	38.73	1.17	2.23
	25	2.52	10.97	1.60	2.44	10.73	1.53	63.25	44.25	40.06	1.15	2.21
	30	2.54	10.48	1.62	2.46	10.24	1.57	63.67	44.33	39.55	1.12	2.31



รูปที่ 11 ความหนาแน่นรวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิต่ำ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส

จากผลการตรวจสอบความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาตามสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผา มีค่าความหนาแน่นลดลง เมื่อสัดส่วนผสมของหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.1 อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าอุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียส เนื่องจากภายในของชิ้นงานมีส่วนผสมของหญ้าแฝกที่ยังเผาไหม้ไม่หมด [19] ทำให้ดินกับหญ้ายังเกิดการยึดเกาะกันอย่างหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 600 และ 800 องศาเซลเซียสมีค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกัน แต่แนวโน้มของความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนผสมของหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นลดลงเนื่องจาก หญ้าแฝกภายในชิ้นงานเกิดการเผาไหม้หมดแล้ว เมื่อเกิดการเผาไหม้ [19] ทำให้เกิดควันหรือไอรกภายในชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อชิ้นงานได้ ยิ่งชิ้นงานที่มีส่วนผสมหญ้าแฝกในปริมาณสูง ก็ยิ่งทำให้เกิดช่องว่างภายในมากขึ้น ชิ้นงานก็จะมีค่าความหนาแน่นที่ลดลงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติทางกลของชิ้นงานด้วย



รูปที่ 12 ร้อยละการลดวัชพืชร้อยละของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส

จากผลการตรวจสอบของการลดวัชพืชร้อยละของชิ้นงานหลังเผาตามสัดส่วนต่าง ๆ พบว่าการลดวัชพืชร้อยละของชิ้นงานมีค่าการลดวัชพืชร้อยละที่เพิ่มขึ้น เมื่อสัดส่วนผสมหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น เนื่องจากภายในชิ้นงานมีความชื้นต่าง ๆ เช่น ความชื้นจากดิน ความชื้นจากหญ้าแฝก และน้ำที่ผสมลงไปในการผสม เมื่อทำการเผา ความชื้นและน้ำในกระบวนการขึ้นรูปนั้นระเหยออกจากชิ้นงาน ทำให้อุณหภูมิและหญ้าแฝกเข้ามาใกล้ชิดกัน ทำให้ขนาดชิ้นงานลดลง จากรูปที่ 4.2 อณูหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีการลดวัชพืชร้อยละที่สูง เนื่องจากความร้อนที่สูงขึ้นทำให้ความชื้นระเหยออกจากชิ้นงานมาก ทำให้การลดวัชพืชร้อยละเพิ่มขึ้น

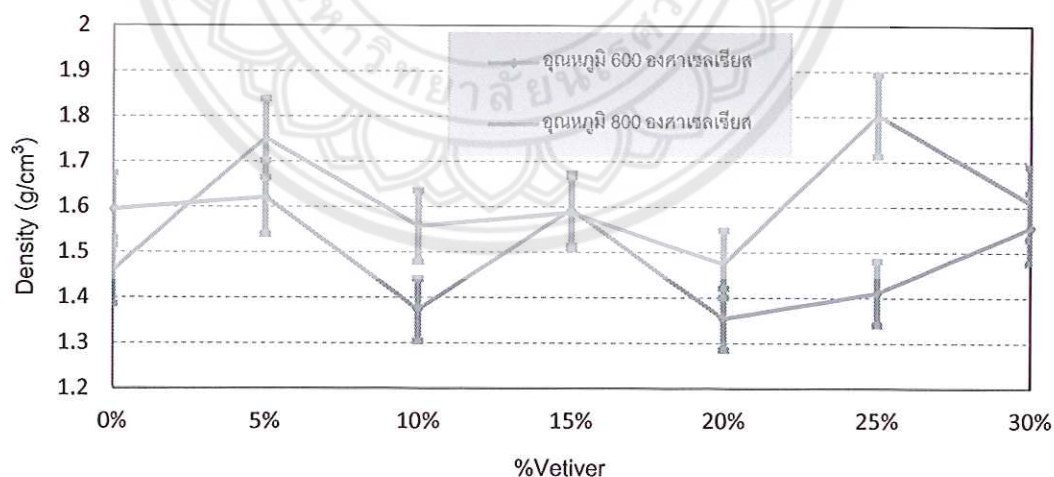
8.1.2 ความพรุน

รูพรุนคือ ช่องภายในชิ้นงานที่เกิดจากฟองอากาศจากการเผาไหม้ของหญ้าแฝกในกระบวนการเผาผลาญ ซึ่งรูพรุนของชิ้นงานจะหาได้จาก การเข้าไปแทนที่ของน้ำในช่องว่างภายในชิ้นงาน โดยใช้สมมติฐานที่ว่า เป็นรูพรุนเปิด ทำโดยการนำน้ำหนักชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีแทนที่ด้วยน้ำลบกับน้ำหนักชิ้นงานก่อนการทดสอบ เมื่อลบกันแล้วจะได้ค่าปริมาตรรูพรุนของชิ้นงาน รูพรุนมีความสำคัญกับความหนาแน่นของชิ้นงานมาก ซึ่งรูพรุนจะเป็นตัวบ่งบอกว่าชิ้นงานมีความหนาแน่นมากหรือน้อย ถ้ารูพรุนของชิ้นงานมีค่าที่มาก ๆ จะทำให้ชิ้นงานมีความความหนาแน่นที่น้อยลง แสดงดังตารางต่อไปนี้ 4.2

ตารางที่ 3 ความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ

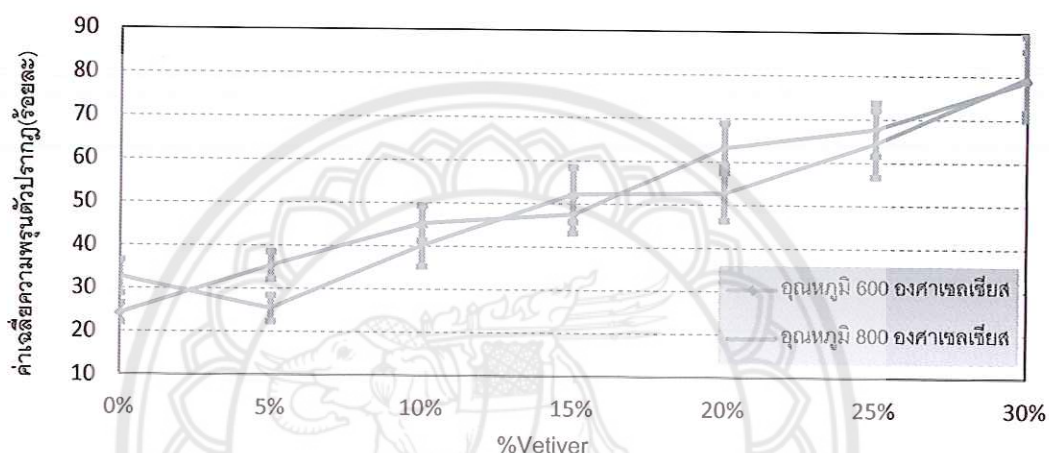
อุณหภูมิเผา (°C)	สัดส่วนผสม หญ้าแฝก (%)	น้ำหนักก่อน ต้ม ชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้ม ชั่งใน อากาศ (g)	น้ำหนักหลัง ต้ม ชั่งในน้ำ (g)	ปริมาตร ชิ้นงาน (cm ³)	Density (g/cm ³)	ร้อยละของรู พรุน
400	0	25.33	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	5	27.33	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	10	29.66	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	15	26.00	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	20	22.66	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	25	18.17	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
	30	21.83	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
600	0	22.4	28.2	12.7	15.5	1.45	24.19
	5	26.0	31.1	14.5	16.6	1.57	35.30
	10	25.2	33.4	15.0	18.4	1.37	45.24
	15	24.8	32.2	16.5	15.7	1.58	47.50
	20	23.5	34.5	17.2	17.3	1.36	63.17
	25	21.8	32.4	16.8	15.6	1.40	67.68
	30	20.3	30.8	17.5	13.3	1.53	78.75
800	0	21.0	25.4	10.8	14.6	1.44	32.58
	5	24.2	27.7	13.8	13.9	1.74	25.36
	10	25.8	32.8	16.0	16.8	1.54	40.07
	15	21.0	27.8	14.3	13.5	1.56	52.12
	20	25.0	33.9	16.5	17.4	1.44	52.61
	25	21.3	29.6	16.8	12.8	1.66	64.35
	30	21.0	31.0	19.0	12.0	1.75	79.65

***หมายเหตุ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ไม่สามารถคำนวณชิ้นงานหลังการทดสอบได้ มีลักษณะเหลว ไม่เป็นก้อนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.5 ทำให้ไม่สามารถวัดค่าน้ำหนักชั่งในอากาศและค่าน้ำหนักชั่งในน้ำ จึงแทนด้วยสัญลักษณ์ n/a



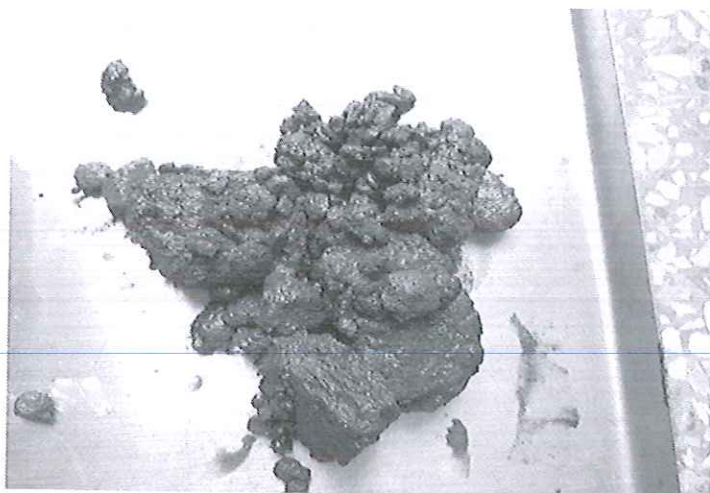
รูปที่ 13 ความหนาแน่นโดยวิธีการแทนที่ด้วยน้ำรวมของชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส

จากผลการทดสอบความหนาแน่นชิ้นงานที่อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส โดยวิธีการแทนที่น้ำ พบว่าชิ้นงานหลังเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ชิ้นงานในแต่สัดส่วนของหญ้าแฝก ไม่สามารถคงรูปได้ จึงไม่สามารถคำนวณหาความหนาแน่นได้ เนื่องจากหญ้าแฝกที่ผสมอยู่ในชิ้นงาน เผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นผลให้การยึดเกาะระหว่างหญ้าแฝกและเนื้อดินไม่ประสานกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และ 800 องศาเซลเซียส พบว่าความหนาแน่นของชิ้นงานมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของหญ้าแฝก เนื่องจากภายในชิ้นงานมีหญ้าแฝก เมื่อทำการเผาชิ้นงานเกิดการเผาไหม้ของหญ้าแฝก ก่อให้เกิดก๊าซหลังจากการเผาไหม้ภายใน เมื่ออุณหภูมิสูง ๆ ขึ้น ทำให้ก๊าซไม่สามารถออกจากชิ้นงานได้ เกิดเป็นฟองอากาศขึ้นภายในชิ้นงาน เมื่อมีฟองอากาศมาก ๆ ทำให้เกิดรูพรุนขึ้นกับชิ้นงาน จากเห็นว่าชิ้นงานที่อุณหภูมิทั้งสองนี้มีลักษณะคงรูปอยู่ได้ ดังรูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7

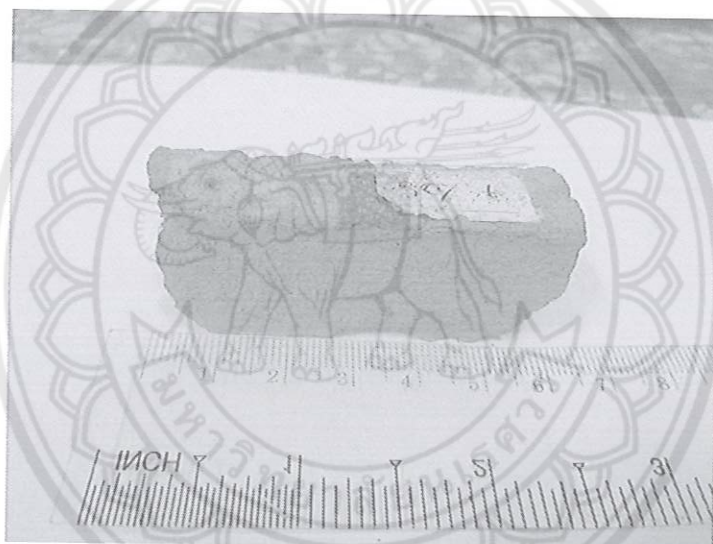


รูปที่ 14 ความพรุนปรากฏของชิ้นงาน อุณหภูมิ 400 600 และ 800 องศาเซลเซียส

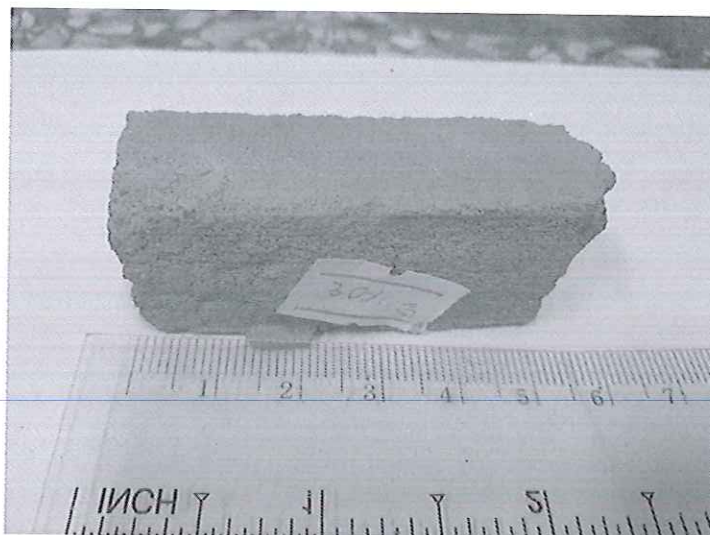
จากผลการตรวจสอบของความพรุนตัวปรากฏของชิ้นงาน พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของหญ้าแฝก ทำให้ความพรุนตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากชิ้นงานมีความหนาแน่นที่ลดลงเมื่อเราเพิ่มสัดส่วนหญ้าแฝก ดังรูป 4.1 จะทำให้สอดคล้องกันคือ เมื่อความหนาแน่นลดลง ทำให้รูพรุนของชิ้นงานหรือช่องว่างชิ้นงานเพิ่มขึ้น จากรูป 4.4 พบว่า อุณหภูมิ 600 และ 800 จะมีค่าความพรุนตัวปรากฏใกล้เคียงกัน เนื่องจากอุณหภูมิ 600 ถึง 800 องศาเซลเซียส เป็นช่วงที่หญ้าแฝกเกิดการผสมไหม้หมดแล้ว [19] ทำให้เกิดช่องว่างมากภายในชิ้นงาน เมื่อผ่านการทดสอบความหนาแน่นโดยวิธีแทนที่ในน้ำ ทำให้เราเห็นค่าความพรุนตัวปรากฏออกมา



รูปที่ 15 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



รูปที่ 16 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส



รูปที่ 17 ชิ้นงานหลังการทดสอบความหนาแน่นน้ำ ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

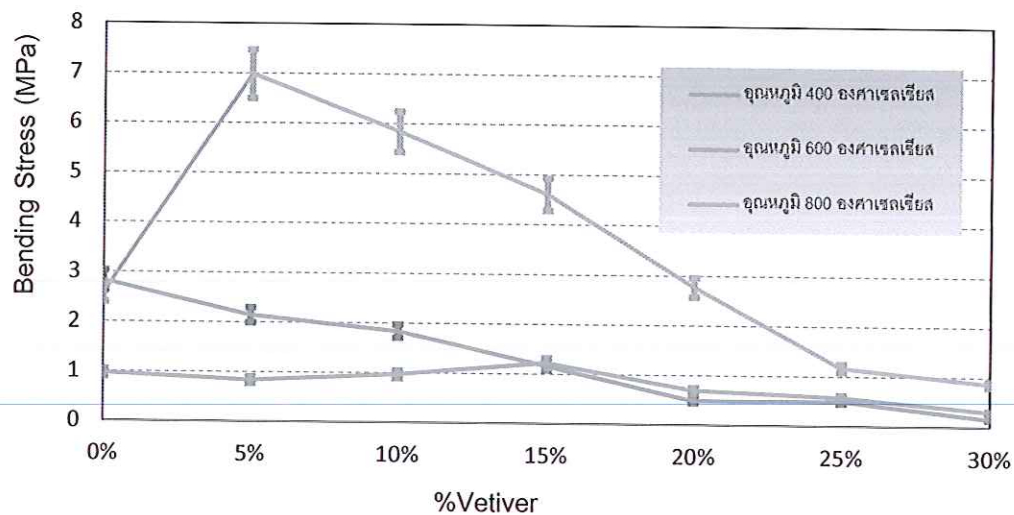
8.2 การทดสอบสมบัติทางกล

8.2.1 การทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง

ในการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้งนั้นจะทำการทดสอบด้วยวิธีการแบบ three point bending กับชิ้นงานในทุกสัดส่วนผสมหยาบที่ผ่านการเผาเรียบร้อยแล้วที่อุณหภูมิ 400, 600 และ 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็วในการกด 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที ใช้โหลดขนาด 5 กิโลนิวตัน ในสภาวะปกติอุณหภูมิห้อง ผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดโค้ง

% vetiver	Maximum Bending Stress at Maximum Load (MPa)		
	ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดโค้งของทุกอุณหภูมิ		
	400 องศาเซลเซียส	600 องศาเซลเซียส	800 องศาเซลเซียส
0%	2.82	0.97	2.58
5%	2.14	0.84	6.98
10%	1.83	0.97	5.84
15%	1.15	1.22	4.60
20%	0.48	0.69	2.76
25%	0.49	0.57	1.16
30%	0.16	0.30	0.86



รูปที่ 18 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดัดโค้งกับร้อยละหญ้าแฝก

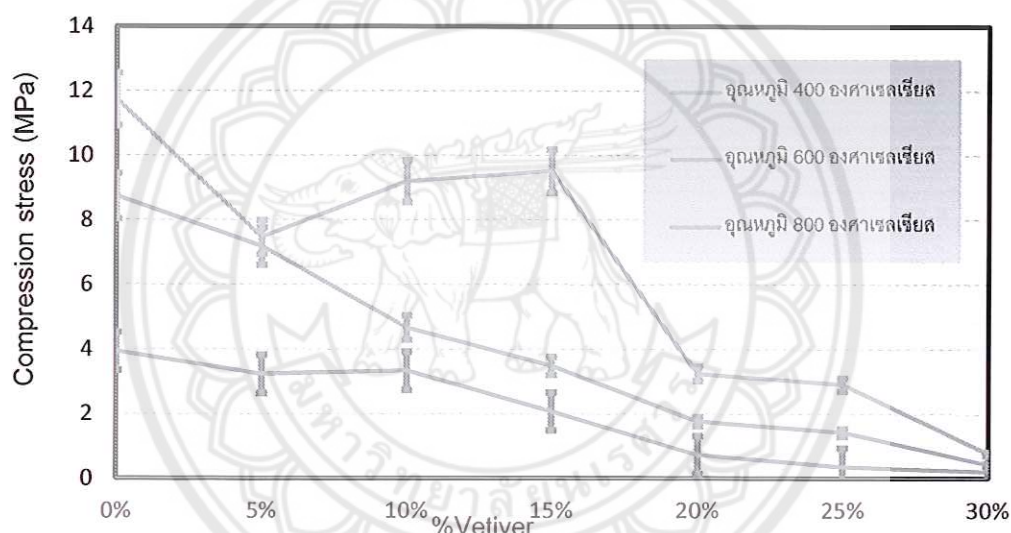
จากผลการทดสอบความต้านทานแรงดัดโค้ง พบว่าค่าความต้านทานแรงดัดโค้งจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของหญ้าแฝก จากรูปที่ 4.8 ขึ้นงานที่อุณหภูมิ 400 และ 800 องศาเซลเซียส มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะมีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งสูงกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่ 800 องศาเซลเซียส หญ้าแฝกมีการเผาไหม้ภายในชิ้นงานหมดแล้ว [19] ทำให้ได้สารเฟลด์สปาร์ที่ไปช่วยในการยึดเกาะเนื้อดินทำให้มีความแข็งแรงมากขึ้น มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งของทุกสัดส่วนผสมเท่ากับ 2.58, 6.98, 5.84, 4.60, 2.76, 1.16 และ 0.86 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีค่าต้านทานแรงดัดโค้งที่ต่ำที่สุดเนื่องจากอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส มีการเผาไหม้ของหญ้าแฝกไปบางส่วนแล้ว เมื่อเผาไหม้ไปบางส่วนทำให้ชิ้นงานเกิดรูพรุนขึ้น ความหนาแน่นลดลง ทำให้ค่าต้านทานแรงดัดโค้งลดน้อยลงไปด้วย มีค่าความต้านทานแรงดัดโค้งของทุกสัดส่วนผสมเท่ากับ 0.97, 0.84, 0.97, 1.22, 0.69, 0.57 และ 0.30 เมกะปาสกาล ตามลำดับ

8.3 ผลการตรวจสอบความต้านทานแรงกดอัด

ในการตรวจสอบความต้านทานแรงกดอัด ก่อนการทดสอบจำเป็นต้องทำให้ผิวหน้าของชิ้นงานให้มีความเรียบและสม่ำเสมอ จากนั้นทำการทดสอบด้วยการใช้โหลดที่ 5 กิโลนิวตัน ที่อัตราเร็วการกด 1 มิลลิเมตรต่อนาที ในสภาวะปกติที่อุณหภูมิห้อง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงกดอัดเฉลี่ย

% vetiver	Stress at Maximum Load (MPa)		
	ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงกดอัดของทุกอุณหภูมิ		
	400 องศาเซลเซียส	600 องศาเซลเซียส	800 องศาเซลเซียส
0%	3.93	8.73	11.73
5%	3.22	7.17	7.46
10%	3.33	4.66	9.19
15%	2.06	3.48	9.50
20%	0.72	1.75	3.24
25%	0.35	1.42	2.90
30%	0.20	0.42	0.77



รูปที่ 19 กราฟความต้านทานแรงกดอัดเฉลี่ย

จากผลการตรวจสอบของความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงาน พบว่าค่าความต้านทานแรงกดอัดมีค่าที่ลดลง เมื่อสัดส่วนผสมของหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสมีสูงสุด เนื่องจากชิ้นงานที่เผาอุณหภูมินี้ ทำให้หญ้าแฝกเกิดการเผาไหม้ [19] แล้วได้สารชนิดหนึ่งที่เป็นประโยชน์ในการยึดเกาะกันภายในดินในดีขึ้น สามารถทนต่อแรงกดอัดได้ดี มีค่าความต้านทานแรงกดอัดของทุกสัดส่วนเท่ากับ 11.73, 7.36, 9.19, 9.50, 3.24, 2.90 และ 0.77 เมกะปาสกาล ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส รองลงมาเนื่องจากการเผาไหม้ของหญ้าแฝก

ภายในชิ้นงานยังไหม้ไม่หมด ทำให้ยังคงเหลือหน้าแปลกบางส่วนที่ยังไม่เผาไหม้ ส่วนนี้จะไปช่วยลดในเรื่องความต้านทานแรงกดอัด ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 800 องศาเซลเซียส อุณหภูมินี้มีค่าความต้านทานแรงกดอัดของทุกสัดส่วนเท่ากับ 8.73, 7.17, 4.66, 3.48, 1.75, 1.42 และ 0.42 เมกะปาสกาล ตามลำดับที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ชิ้นงานมีค่าความต้านทานแรงกดอัดที่น้อยที่สุด เนื่องจากอุณหภูมินี้หน้าแปลกเพิ่งเริ่มการเผาไหม้ ยังไม่เกิดการเผาไหม้หมด ทำให้ในภายในชิ้นงานมีปริมาณหน้าแปลกอยู่จำนวนมาก เมื่อไปทำการทดสอบทำให้ได้ค่าที่น้อย โดยมีค่าของทุกสัดส่วนผสมเท่ากับ 3.93, 3.22, 3.33, 2.06, 0.72, 0.35 และ 0.20 เมกะปาสกาล ตามลำดับ

9. สรุปผลโครงการวิจัย

9.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

9.1.1 ความหนาแน่นหลังเผา

- 1) ปริมาณหน้าแปลกเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาลดลง
- 2) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาผสมหน้าแปลก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.76, 1.84, 1.58, 1.36, 1.18, 1.12 และ 0.99 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- 3) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาผสมหน้าแปลก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.69, 1.54, 1.41, 1.35, 1.20, 1.12 และ 1.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- 4) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานหลังเผาผสมหน้าแปลก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 1.68, 1.61, 1.39, 1.33, 1.17, 1.15 และ 1.12 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

9.1.2 ร้อยละการหดตัวของชิ้นงานหลังเผา

- 1) เมื่อปริมาณหน้าแปลกเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละการหดตัวเพิ่มขึ้น
- 2) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ร้อยละการหดตัวหลังเผาผสมหน้าแปลก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.89, 1.09, 1.16, 1.35, 1.70, 1.95, 2.05
- 3) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ร้อยละการหดตัวหลังเผาผสมหน้าแปลก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.36, 0.48, 0.91, 0.37, 0.74, 0.85, 1.11
- 4) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ร้อยละการหดตัวหลังเผาผสมหน้าแปลก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 1.10, 1.23, 1.11, 1.52, 2.23, 2.21, 2.3

9.1.3 ความหนาแน่นโดยวิธีชั่งในน้ำ

- 1) เมื่อปริมาณหน้าแปลกเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลง
- 2) เมื่อเพิ่มสัดส่วนผสมของหน้าแปลกลงในชิ้นงาน จะทำให้ความหนาแน่นลดลง โดยอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ไม่มีค่า เนื่องจากการทดสอบ ชิ้นงานไม่สามารถค่าหาได้

3) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.45, 1.57, 1.37, 1.58, 1.36, 1.40 และ 1.53 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.44, 1.74, 1.54, 1.56, 1.44, 1.66 และ 1.75 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

9.2 การทดสอบสมบัติทางกล

9.2.1 ความต้านทานแรงดัดโค้ง

1) เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าต้านทานแรงดัดโค้งลดลง

2) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.82, 2.14, 1.83, 1.15, 0.48, 0.49 และ 0.16 เมกะปาสกาล

3) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 0.97, 0.84, 0.97, 1.22, 0.69, 0.57 และ 0.30 เมกะปาสกาล

4) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงดัดโค้งของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 2.58, 6.98, 5.84, 4.60, 2.76, 1.16 และ 0.86 เมกะปาสกาล

9.2.2 ความต้านทานแรงกดอัด

1) เมื่อปริมาณหญ้าแฝกเพิ่มขึ้น ทำให้ความต้านทานแรงกดอัดลดลง

2) ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 3.93, 3.22, 3.33, 2.06, 0.72, 0.35 และ 0.20 เมกะปาสกาล

3) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 8.73, 7.17, 4.66, 3.48, 1.75, 1.42 และ 0.42 เมกะปาสกาล

4) ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ความต้านทานแรงกดอัดของชิ้นงานผสมหญ้าแฝก 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์ มีค่าเท่ากับ 11.73, 7.36, 9.19, 9.50, 3.24, 2.90 และ 0.77 เมกะปาสกาล

10. ข้อเสนอแนะ ปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไข

1) อาจทำการศึกษาประสิทธิภาพชิ้นงานที่มีส่วนผสมของหญ้าแฝก เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของอิฐชนิดอื่น ๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุง

2) อาจทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิ ต่อความแกร่งของชิ้นงานเซรามิกที่มีส่วนผสมของหญ้าแฝก

3) กระบวนการในการเตรียมวัสดุ มีหลายขั้นตอน จำเป็นต้องมีเครื่องมือ เพิ่มมากขึ้นเพื่อสะดวกต่อการเตรียมวัสดุ จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมืออุปกรณ์ เพิ่มขึ้น

4) เมื่อเราผสมหญ้าแฝกลงไปในชิ้นงานมากขึ้นทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ซึ่งในการใช้งานควรเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้ส่งผลต่อรูปทรงภายในชิ้นงานที่มากเกินไป

5) ผลการทดลอง อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากการออกแบบ การผสมในกระบวนการขึ้นรูปไม่ดี และชิ้นงานที่ไม่สม่ำเสมอ

11. เอกสารอ้างอิง

- [1] กนกพร สว่างแจ้ง. (2545). การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช.
- [2] คณะทำงานติดตามและประเมินผลการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝก. (2535). โครงการพัฒนาและรณรงค์การใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริ.
- [3] สมชาย ดารารัตน์. (2534). เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย Metcalf & Eddy, (1991), Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, McGraw-Hill Hickey, R.F., WU, W.M., Veiga, M.C., and Jones, R., (1991) Start-up, Operation, Monitoring, and Control of High-rate Anaerobic Treatment Systems, Wat. Sci. Tech., Vol. 24, No. 8, pp 207-255.
- [4] กรมพัฒนาที่ดิน. (2537). หญ้าแฝก. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [5] สำนักหอสมุดศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). ผลิตภัณฑ์สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม (Green products). กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [6] สันทนา อมรไชย. ผลิตภัณฑ์สีเขียวเพื่อสิ่งแวดล้อม(Green products). วารสารกรมวิทยาศาสตร์และบริการ.
- [7] ณัฐชาติ จารุจินดา. พลังงานสีเขียวสู่ความมั่นคงด้านพลังงานอย่างยั่งยืน (Green Energy towards Sustainable Energy Security).
- [8] ลั่นฉกร ประทุมรัตน์. (2556). Green Products and Eco labels. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย.
- [9] รายงานตลาดสินค้า. Eco-Friendly. ในสหราชอาณาจักร
- [10] คณะอนุกรรมการด้านวิชาการวางแผนและติดตามผลการดำเนินงานการใช้หญ้าแฝกอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. (2547). สารานุกรมเรื่องหญ้าแฝก.
- [11] ปรีดา พิมพ์ขาวดำ. (2532). เชรามิกส์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] วิสุทธิ์ พิสุทธอนนท์. (ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์). เฟลด์สปาร์: ภาควิชาธรณีวิทยาาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] สุจิตร์ พิตรากุล. (2530). แหล่งแร่ และแร่ในอุตสาหกรรม :
- [14] ชานู ถนัดงาน. (2523). กลศาสตร์วัสดุ. กรุงเทพฯ: บั๊ค เซนเตอร์.
- [15] จุฬาลงกรณ์, มหาวิทยาลัย. เอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องการวัดสมบัติวัสดุเชรามิกส์. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] ไพจิตร อังศิริวัฒน์. (2541). เนื้อดินเชรามิกส์. กรุงเทพฯ: โอ. เอส. พรินต์ติ้งเฮาส์.
- [17] มณฑล ฉายอรุณ. (2531). การทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ. กรุงเทพฯ: ยูโนเต็คบุ๊คส์.
- [18] จินตมัย สุวรรณประทีป. (2547). การทดสอบสมบัติเชิงกลของพลาสติก.

- [19] ชนาพร หอมสุวรรณ ปริญาศ อินทา และอุมาภรณ์ เมืองแดง. (2557). การใช้ใบหญ้าแฝกในกระบวนการเผาประสานเซรามิค. ปริญญานิพนธ์. มหาวิทยาลัยนเรศวร. พิษณุโลก
- [20] ASTM C 373 -88 (Reapproved 2006), Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products1 , United; ASTM, 2009.



๖ ดท
๔๙๕
-๕๙๕
๐๔๖๕๕
๒๕๖๐

25



สำนักงานหอสมุด

๒๐ ส.ค. ๒๕๖๐

เ.๗๑๒๓๓๒๒



**2016 5th International Conference on Material Science and Engineering
Technology**

Acceptance Notification and Invitation Letter

2016 5th International Conference on Material Science and Engineering Technology
(ICMSET 2016)

Tokyo, Japan October 29-31, 2016

<http://www.icmset.com>



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

A. Nakaruk

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Naresuan University, Phitsanulok, Thailand
Email: auppathamn@nu.ac.th

Dear T. Threrujirapapong, W. Khanitchaidecha, D. Channei, A. Nakaruk,

We are pleased to inform you that, after our double-blind peer review (please refer to the attached files), your manuscript identified below has been accepted for publication and presentation by 2016 5th International Conference on Material Science and Engineering Technology (ICMSET 2016) to be held in Tokyo, Japan, during October 29-31, 2016.

Paper ID: ICMSET2016-127

Paper Title: Fabrication of Eco-Green Brick by Using of Vetiver Grass as Feldspar Replacement

If the above paper is registered on time, it will be published by **Materials Science Forum** (1662-9752, Trans Tech Publications), **Indexed by Elsevier: SCOPUS, Ei Compendex (CPX).**

Yours sincerely,
ICMSET 2016 Organizing Committee



Registration Instruction

There are 6 steps to complete your registration:

1. Revise your paper according to the Review Comments carefully.
2. Format your paper according to the Template carefully.
http://www.icmset.com/NEW_AuthorInstructions.doc
3. Download and complete the Registration Form.
<http://www.icmset.com/ICMSET2016reg-author.doc>
4. Finish the payment of Registration fee. (The information can be found in the Registration form)
<http://www.icmset.com/ICMSET2016reg-author.doc>
5. Finish the Copyright Form.
http://www.icmset.com/General_copyrightTransfer.pdf
6. Send your final papers (both doc and pdf format), filled registration form (doc format), copyright form (jpg format less than 100KB) and the scanned payment proof* to icmset@sina.cn (Before August 10, 2016)

***If you pay by on-line Credit Card Payment, please fill your confirmation number in the registration form after paying.**

***If you pay by bank transfer, please scan the payment slip as the payment proof for checking.**

Maybe some authors couldn't attend the conference to present their papers due to some unavoidable matters, so if you and your co-author(s) could not attend ICMSET 2016 to present your paper for some reasons, and please inform us, we will send you, the official receipt and proceeding after conference free of charge.

The retrieval information of publications listed above only reflects the current situation, if there are any changes, the organizer doesn't assume any responsibility.

Please strictly adhere to the format specified in the conference template while preparing your final paper. If you have any problem in preparing the final paper, please feel free to contact us via icmset@sina.cn; for the most updated information on the conference, please check the conference website at <http://www.icmset.com>. The Conference Program will be available at the website in September 2016.

ICMSET 2016 Review Form

Paper ID:	ICMSET2016-127
Paper Title:	Fabrication of Eco-Green Brick by Using of Vetiver Grass as Feldspar Replacement

Recommendation to Editors					
	Strongly Reject	Reject	Marginally Accept	Accept	Strong Accept
Recommendation				X	
Expertise: Explain your rating by discussing the strengths and weaknesses of the submission, contributions, and the potential impacts of the paper. Include suggestions for improvement and publication alternatives, if appropriate. Be thorough. Be fair. Be courteous. Your evaluation will be forwarded to the authors during the rebuttal period.					
1. Please add more references. 2. Please give more discussion in each figures. 3. Check the format given by the conference guidelines for preparing the manuscript. 4. Survey related to the problem is discussed neatly and state-of-the-art is good. 5. Contribution in terms of methodology is good. 					



Fabrication of Eco-Green Brick by Using of Vetiver Grass as Feldspar Replacement

T. Threrujirapapong^{1,a}, W. Khanitchaidecha^{2,3,b}, D. Channei^{4,5,c}, A. Nakaruk^{2,6,d}

¹Department of Materials and Production Technology Engineering
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand

²Centre of Excellence for Innovation and Technology for Water Treatment

³Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering

⁴Department of Chemistry, Faculty of Science

⁵Research Center for Academic Excellence in Petroleum, Petrochemicals and Advanced Materials

⁶Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Naresuan University, Phitsanulok, Thailand

email ^athotsaphon.t@eng.kmutnb.ac.th, email ^bwilawank1@gmail.com,
email ^cduangdaoc@nu.ac.th, email ^dauppathamn@nu.ac.th

Keywords: Feldspar; Vetiver Grass; Brick, Green Materials

Abstract. Vetiver grass is a widespread plant in Thailand. It has been used in several applications such as land erosion prevention, toxic pollutants removal, and environmental remediation. The chemical analysis provided that it mainly contained of >50% of potassium and ~20 wt% silicon. Since, the main element is potassium, then it is likely to be used as feldspar replacement in ceramic processing. The thermal analysis of vetiver grass also revealed that the vetiver grass can act as fluxing agents to form a glassy phase at low temperatures (600°C). The effect of vetiver percentage in ceramic processing on some physical and mechanical properties of ceramics were examined including, firing shrinkage, density, porosity, and bending stress. The results showed that with increasing the ratio of vetiver grass the density of sample decreased from 1.7 g/cm³ (without vetiver grass) to 1.1 g/cm³ (30 wt% of vetiver grass) at 600°C of firing temperature. The explanation was that during the firing process vetiver grass can generate CO₂ from hydrocarbon decomposition, this CO₂ created pores inside the sample, then the density was decreased and pore volume also increased. Meanwhile, the bending stress decreased from 3.6 MPa (without vetiver grass) to 0.5 MPa (30 wt% of vetiver grass) at 600°C of firing temperature. In summary, the results proved that the vetiver grass is a good candidate to be feldspar replacement in ceramic processing. In the other words, it can be one option for promoting environmental sustainability in term of waste and mining reductions.

Introduction

At the present day, the use of construction materials has been increased rapidly. This leads to increase of use of natural resources. Brick is one of the most common construction materials. In general, brick is made of clay and feldspar. The latter acts as fluxing agents to form a glassy phase at low temperatures. In addition, it also improves the durability and strength of the brick. In the meantime, Thai's government encourage farmer in the remote area to grow up vetiver grass due to its advantages such as, preventing land erosion, and embankment stabilization [1, 2]. Besides, the recent literature review showed that the vetiver grass can be used in environmental remediation applications such removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) [3], persistent organic pollutants (PoPs) [4].

The previous by the authors [5] revealed the chemical analysis of vetiver grass, it showed that potassium (K) and silicon (Si) are the main elements. This data suggest that it has main elements similar to feldspar. Then, this work presented the possibility of use of vetiver grass as feldspar in ceramic processing.

Methodology

The fresh vetiver grass was collected from the crop field in Phitsanulok Province, Thailand. In order to remove the water, vetiver grass was dried at 120°C for 12 h in oven. Afterwards, it was cut and blend for 30 min. The chemical analysis of vetiver grass was done by X-Ray fluorescence (XRF).

Samples were prepared by mixing of red clay (local supply) with vetiver grass at seven different weight ratios, as shown in the Table 1. The red clay was dried at 120°C for 12 h, followed by ball milling for 24 h. The red clay and vetiver grass were mixed with 20% of water, subsequently pressing to form the bar with 10x2x1 cm of diameter. Then, the samples were calcined in the muffle furnace at 400°, 600°, and 800°C for 12 hr with 5°C/min of heating rate, followed by natural cooling. The density of samples was examined using Archimedes technique. The bending stress was evaluated using 3-point bending method.

Table 1. The weight ratio of clay and vetiver grass

Sample	Percentage of red clay (wt%)	Percentage of vetiver grass (wt%)
1	100	0
2	95	5
3	90	10
4	85	15
5	80	20
6	75	25
7	70	30

Results and Discussion

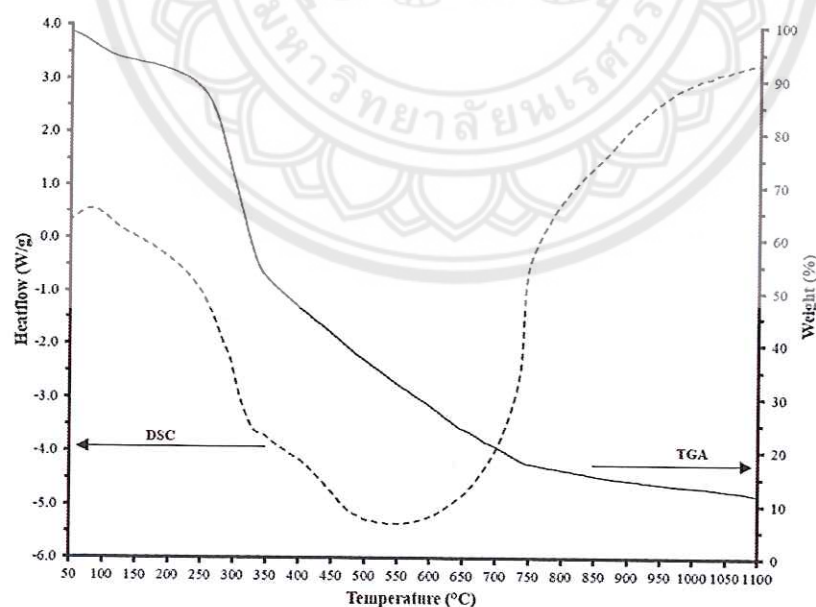


Figure 1. Thermal analysis of vetiver grass

The chemical analysis shows that the vetiver grass mainly consists of potassium (57 wt%), silicon (20 wt%), calcium (9 wt%), chlorine (7 wt%), sulphur (3 wt%), phosphorus (2 wt%) and iron (1.5 wt%). This data confirm that the main element is potassium, then it is possible to be used as feldspar replacement. The DSC/TGA curves of dried vetiver grass are shown in Fig. 1. It suggests that there is weight loss of vetiver grass at temperature ~100°C, it can be said that there was the removal of

physically adsorbed water. Besides, there is other main weight loss over the range 500°C to 600°C, this can refer to the dehydroxylation process of the remaining minerals [6, 7]. The exothermic peak of DSC analysis is shown at ~600°C, this peak suggests the flux forming of the vetiver grass. Therefore, It can be implied that the vetiver grass start melting to form the crystalline phase at ~600°C. This data also confirm that vetiver grass is very suitable to be used in ceramic processing.

Fig. 2 shows the effect vetiver grass percentage and firing temperature on firing shrinkage. It can be seen that the percentage of vetiver grass can effect on the firing shrinkage. The increasing of vetiver grass percentage and firing temperature result to increase of the firing shrinkage. With increasing the percentage of vetiver grass, it can be said that the volume of carbon and fibre in ceramic body before firing also increased. Then, after firing process carbon and fibre were decomposed from the ceramic body, resulted to the shrinkage of samples. As the same reason, with increasing firing temperature, it can also enhance the decomposition rate of carbon and fibre as well. It has to be noted that there is not much different on shrinkage of the sample firing at 600°C and 800°C. This suggests that the sample is pretty stable at 600°C of firing temperature.

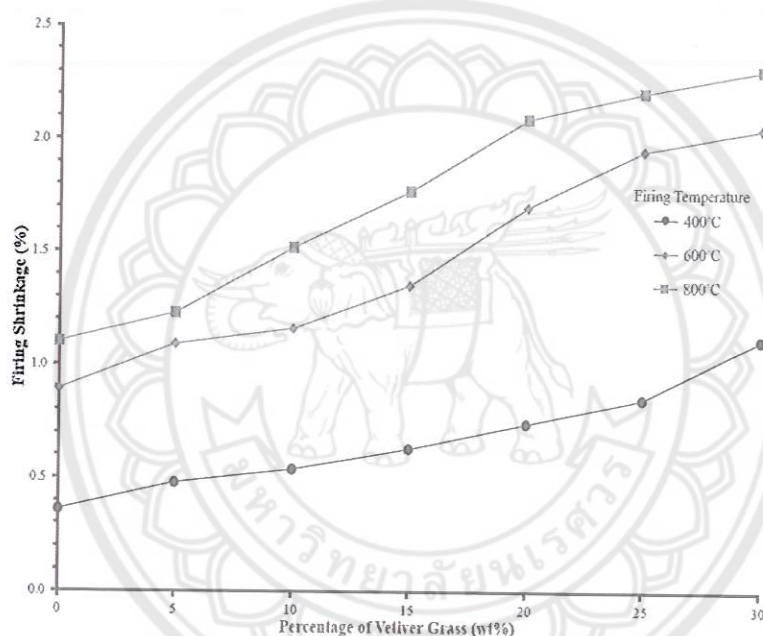


Figure 2. Firing shrinkage of samples

The density of ceramic body decreased significantly with increasing the ratio of vetiver grass, as shown in Fig. 3. It is important to be noted that the firing temperature does not have effect on the density of the sample. The explanation of decreasing of density is that the loss of organic compound from the vetiver grass. Since, the TGA data suggest that the organic compound started decomposed at ~300°C, then it decomposed into CO₂ and H₂O. This phenomenon can create the pore in the ceramic body. The supporting information is also shown in the percentage of pore in the ceramic body, as shown in Fig. 4. It clearly indicates that the pore volume increased with increasing the ratio of vetiver grass.

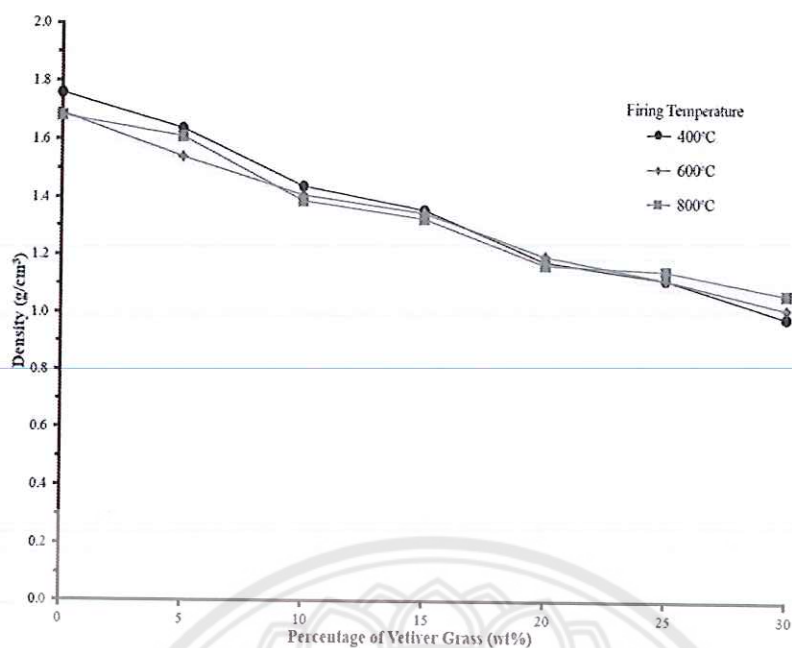


Figure 3. The density of sample

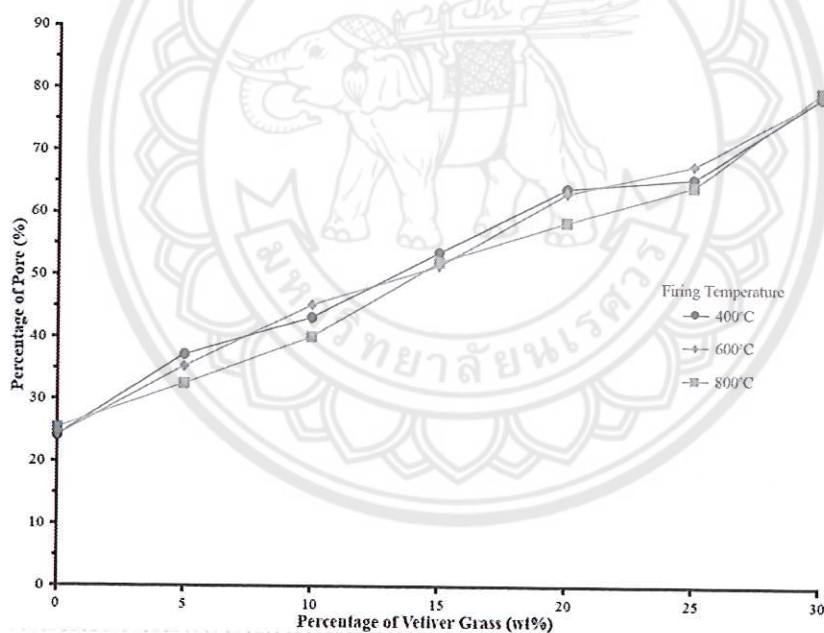


Figure 4. The percentage of pore of sample

Fig. 5 shows the bending stress of the sample. The data shown that the bending stress significantly decreased with increasing the ratio of vetiver grass. Since, the pore volume increased with increasing the ratio of vetiver grass, this is the key reason of decreasing in bending stress. In addition, the firing temperature also effects on the bending stress, at high firing temperature, the sample had higher bending stress compared to low firing temperature.

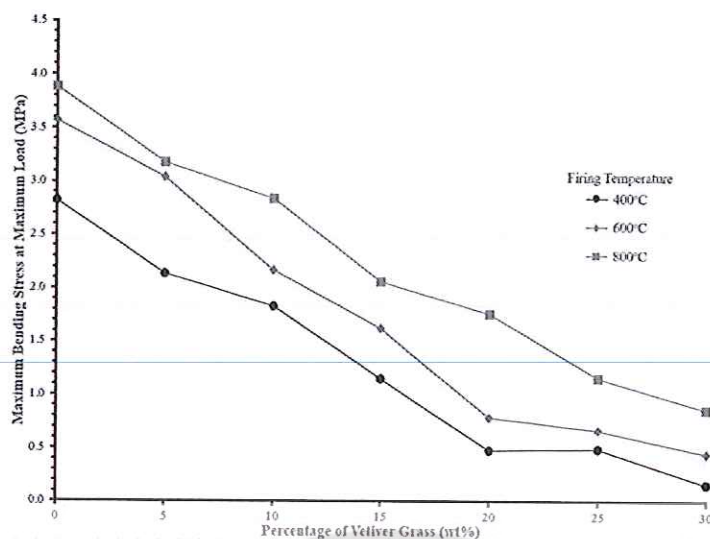


Figure 5. Bending stress of the sample

Summary

The present work have succeeded in using vetiver grass as feldspar replacement in ceramic processing. The results suggest that the sample of using vetiver grass can be form and stable at low temperature ($\sim 600^{\circ}\text{C}$). The firing shrinkage of ceramic body was also found to be 1 – 2%. In the meantime, the density decreased significantly with increasing the ratio of vetiver grass. While, the percentage of pore increased. However, the bending stress data shown with increasing the ratio of vetiver grass the bending stress decreased significantly. Therefore, it can be concluded that the vetiver grass is possible to use as feldspar replacement because it can reduce the firing temperature to $\sim 600^{\circ}\text{C}$, which is lower than normal brick firing temperature ($\sim 800^{\circ}\text{C}$). However, it has to be noted that the stress of sample also decreased. Then, the further investigation on vetiver grass ratio is needed in order to improve the quality of ceramics.

Acknowledgements

The authors would like to thank Naresuan University's research funding for the financial support. The authors also wish to thank Mr. Settaawut Aulpatorn and Mr. Amant Sridach for assistance in obtaining the experimental data.

References

- [1] S.O. Oshunsanya: Catena Vol. 104 (2013), p. 120
- [2] N.O.Z. Abaga, S. Dousset, S. Mbengue, and C. Munier-Lamy: Chemosphere Vol. 113 (2014), p. 42
- [3] K.C. Makris, K.M. Shakya, R. Datta, D. Sarkar, and D. Pachanoor: Environ. Pollut. Vol. 146 (2007), p. 1
- [4] M. Ye, M. Sun, Z. Liu, N. Ni, Y. Chen, C. Gu, F.O. Kengara, H. Li, and X. Jiang: J. Environ. Manage. Vol. 141 (2014), p. 161
- [5] S.T.T. Le, N. Yuangpho, T. Threrujirapapong, W. Khanitchaidecha, and A. Nakaruk: J. Aust. Ceram. Soc. Vol. 51 (2015), p. 40
- [6] S.Kr. Das and K. Dana: Thermochim. Acta Vol. 406 (2003), p. 199
- [7] L. Vaculíková and E. Plevová: Acta Geodyn. Geomater. Vol. 138 (2005), p. 167