

# การหาลักษณะเฉพาะของซิลิกาบริสุทธิ์ จากแกลบที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรด

## Characterization of High Purity Silica from Rice Husk by Acid Treatment

นันทพร คงคะจันทร์\*, รวมพร ทองเรือง, ณัฐรญา สายสิน และศุภรัตน์ แก้วเงิน  
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต  
ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Nuntaporn Kongkajun\*, Raumporn Thongruang, Natruja Saisin and Suparat Kaewngeun

Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University,  
Rangsit Centre, Klong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและการเผาแคลไซน์ต่อเปอร์เซ็นต์ซิลิกา เฟส ความขาว พื้นที่ผิว และปริมาตรรูพรุนของเถ้าแกลบ สมบัติของเถ้าแกลบดีขึ้นเมื่อแกลบได้ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรด ผลวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG/DTA แสดงอุณหภูมิการเผาแคลไซน์แกลบดิบต้องสูงกว่า 600 °C ผลวิเคราะห์เทคนิค XRD และ XRF แสดงให้เห็นว่าเถ้าแกลบที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดและตามด้วยการเผาแคลไซน์ที่ 700-900 °C มีสีขาว มีซิลิกาที่เป็นเฟสอสัณฐานปริมาณสูง ผลวิเคราะห์ด้วยเทคนิค BET พบว่าแกลบที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูง สำหรับแกลบที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยกรดเมื่อผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900 °C พบการเปลี่ยนเฟสอสัณฐานเป็นคริสโตบาลไลต์

คำสำคัญ : แกลบดิบ, เถ้าแกลบ, การปรับปรุงสมบัติด้วยกรด, ซิลิกา

### Abstract

In this study, the effects of acid treatment and calcinations of rice husk ash on percentage of silica, phase, whiteness, surface area and pore volume have been investigated. Pretreatment of rice husk with acid improved the properties of ash. TG/DTA results indicated that the calcination temperature of rice husk should be above 600 °C. X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF) results showed that white rice husk ash containing large amount of amorphous silica was obtained by acid treatment and calcinations at 700-900 °C.

BET results showed that higher surface area and pore volume were also obtained in acid treated samples. The transition from amorphous silica to cristobalite after calcinations at 900 °C was observed in untreated samples.

**Key words:** rice husk, rice husk ash, acid treatment, silica

## 1. บทนำ

แกลบเป็นวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการสีข้าวที่มีปริมาณมากในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศส่งออกข้าว องค์ประกอบทางเคมีหลักของแกลบที่สำคัญคือ ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ซึ่งคิดเป็นคาร์บอน 66.67 % ซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) 22.3 % น้ำ 7.1 % และองค์ประกอบรองอื่น ๆ ได้แก่  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$  และ  $\text{MgO}$  [1] เมื่อนำแกลบดิบไปผ่านกระบวนการเผาจะได้แกลบซึ่งคิดเป็นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของแกลบดิบ ในแกลบมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นซิลิกาปริมาณสูง (มากกว่าร้อยละ 90) คุณภาพของแกลบ ได้แก่ ปริมาณซิลิกาอสัณฐาน พื้นที่ผิวสูง และปริมาณรูพรุนขึ้นอยู่กับสภาวะการเผาแคลไซน์ [2] จึงมีการนำแกลบมาใช้เป็นตัวดูดซับ (adsorbent) เช่น ซิลิกา ถ่านกัมมันต์ ซีโอไลต์ สำหรับอุตสาหกรรมผลิตซีเมนต์ ใช้เป็นวัสดุปอร์ซโซลาน (Pozzolana) ตัวเติมในวัสดุโพลิเมอร์ [3] นอกจากนี้ยังใช้แทนที่วัสดุดิบสำหรับผลิตวัสดุเซรามิกหลายชนิด เช่น ซิลิกอนคาร์ไบด์ คอเรียไรต์ [4] จึงนับว่าเป็นประโยชน์ในการใช้วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร จากรายงานที่ผ่านมาการศึกษาผลของสภาวะในการเผาแคลไซน์แกลบดิบต่อสมบัติของแกลบอย่างกว้างขวาง พบว่าแกลบที่ผ่านการเผาแคลไซน์ในบรรยากาศที่อุณหภูมิ 550-800 °C จะได้แกลบที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานซึ่งไวต่อการเกิดปฏิกิริยามากกว่าผลึกซิลิกา [5] เมื่อแกลบผ่านการเผาที่อุณหภูมิสูง (>800-1000 °C) โครงสร้าง

อสัณฐานจะเปลี่ยนไปโครงสร้างผลึก เช่น ผลึกควอตซ์ ทรไคไมต์ และคริสโตบาไลต์ [6] นอกจากนี้ขั้นตอนการเตรียมแกลบดิบก่อนเผาด้วยการปรับปรุงสมบัติโดยด้วยสารละลายกรด และตามด้วยกระบวนการเผาแคลไซน์ จะช่วยเพิ่มปริมาณซิลิกาให้แก่แกลบเนื่องจากการสารละลายกรดช่วยชะล้างโลหะอื่น ๆ ที่อยู่ในแกลบออกไป จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาผลของกรด  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{HNO}_3$  ตามด้วยการเผาแคลไซน์ พบว่าแกลบที่ผ่านกรด  $\text{HCl}$  มีสัดส่วนซิลิกาสูงกว่าแกลบที่ผ่านกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{HNO}_3$  เนื่องจากกรด  $\text{H}_2\text{SO}_4$  อาจทำให้เกิด metallic sulphate และ  $\text{HNO}_3$  สามารถชะล้างโลหะเหล็กได้น้อยกว่า  $\text{HCl}$  [7-8] ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติด้วยกรด  $\text{HCl}$  และสภาวะในการเผาแคลไซน์ต่อลักษณะเฉพาะของซิลิกาจากแกลบในด้านต่าง ๆ ได้แก่ โครงสร้าง องค์ประกอบทางเคมี และพื้นที่ผิวของอนุภาค เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำแกลบไปใช้งานต่อไป

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 การเตรียมซิลิกาจากแกลบ

การวิจัยนี้แบ่งแกลบดิบออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ (1) แกลบดิบไม่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยการชะล้างด้วยสารละลาย  $\text{HCl}$  โดยแกลบดิบชั่งน้ำหนัก 20 กรัม ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่นและอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ในส่วนของกลุ่มที่ (2) แกลบดิบผ่านปรับปรุงสมบัติของ

เคลือบด้วยการชะล้างด้วยสารละลาย HCl ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยต้มสารละลายให้เดือด จากนั้นนำเคลือบที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วไปลงในสารละลาย HCl เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ล้างเคลือบด้วยน้ำกลั่น 3 รอบ และอบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง จากนั้นนำไปเคลือบทั้งสองกลุ่มผ่านการวิเคราะห์เชิงความร้อนเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาแคลไซน์ด้วยเทคนิค TG/DTA (thermo-gravimetric-differential thermal analyzer; ยี่ห้อ TA Instrument รุ่น 2950) ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 °C ต่อนาที จากอุณหภูมิห้องถึง 1000 °C ภายใต้ความดันบรรยากาศ เมื่อทราบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาแคลไซน์เคลือบแล้ว เคลือบทั้งสองกลุ่มผ่านการเผาแคลไซน์เพื่อให้ได้เป็นแผ่นเคลือบ (RHA) โดยบรรจุลงในเบ้าอะลูมิเนียมด้วยอัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิ 5 °C ต่อนาที ในเตาเผาอุณหภูมิสูง (ยี่ห้อ Lenton)

## 2.2. การวิเคราะห์เฟสและองค์ประกอบทางเคมีของแผ่นเคลือบ

นำแผ่นเคลือบที่ผ่านการแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไปตรวจสอบเฟสและโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffractometry, XRD; Bruker D8) และวัดที่มุม 2 $\theta$  เท่ากับ 10-60 องศา เครื่องทำการวัดที่ทุก ๆ 0.04 องศา ในทุก 1 วินาที วิเคราะห์หาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของแผ่นเคลือบด้วยวิธีเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (x-ray fluorescence, XRF; Philips PW2400) และวิเคราะห์ความขาวของแผ่นเคลือบจากเปอร์เซ็นต์ความสว่าง (% whiteness) ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีในช่วง UV-VIS (UV-VIS spectroscopy)

## 2.3 การวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของแผ่นเคลือบ

นำแผ่นเคลือบที่ผ่านการแคลไซน์ไปตรวจสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนด้วยเทคนิค Bruuauer-Emmett-Teller (BET) โดยวัดการดูดซับก๊าซไนโตรเจนที่พื้นผิวอนุภาค (autosorb iQ surface area analyzer) ที่ -196 °C ภายใต้สุญญากาศ

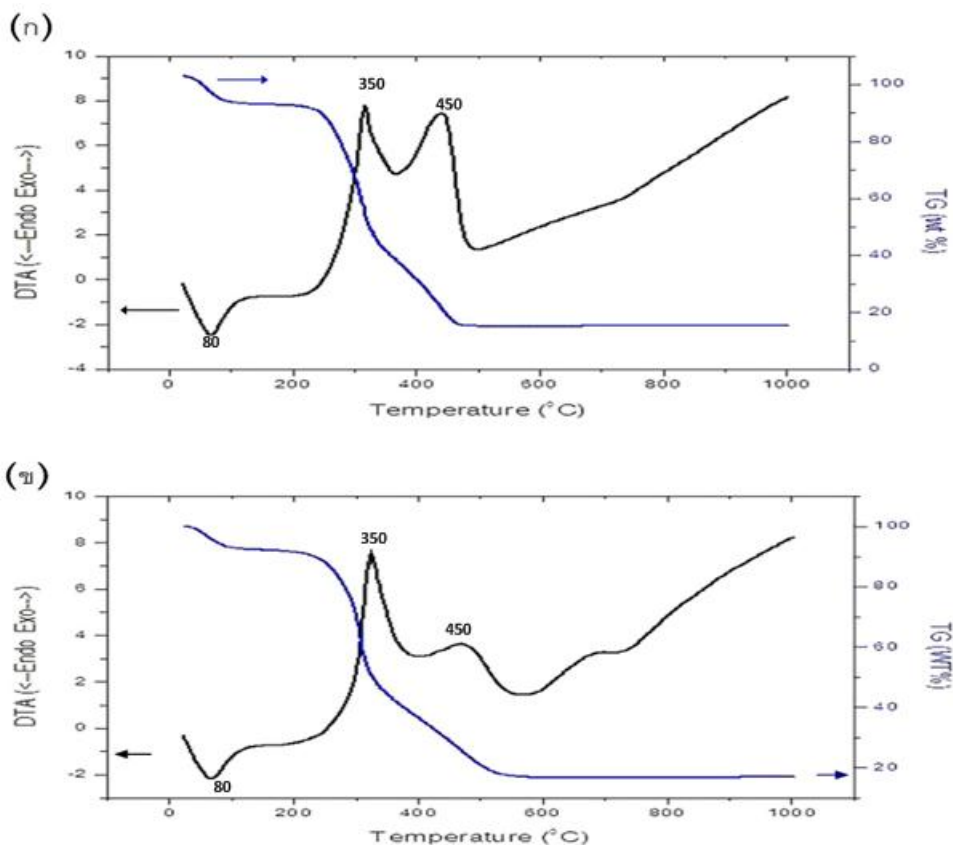
## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TG/DTA เพื่อหาช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาแคลไซน์เคลือบ (รูปที่ 1ก) กราฟ DTA ของเคลือบกลุ่มที่ 1 ปรากฏพีคที่อุณหภูมิ 80 °C แสดงปฏิกิริยาคูดความร้อนเนื่องจากความชื้นระเหยออกไปซึ่งสอดคล้องกับกราฟ TG ที่แสดงน้ำหนักที่หายไป ร้อยละ 5 นอกจากนี้ปรากฏพีคที่อุณหภูมิ 320 °C และ 450 °C แสดงปฏิกิริยาคายความร้อน จากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ในเคลือบ ได้แก่ เอมีเซลลูโลสและลิกนินในช่วงพีคแรกและตามด้วยเซลลูโลสในช่วงพีคที่สอง ซึ่งสอดคล้องสอดคล้องกับกราฟ TG ที่แสดงน้ำหนักที่หายไปอย่างรวดเร็วในช่วง 250-500 °C และที่อุณหภูมิมากกว่า 550 °C กราฟ TG แสดงน้ำหนักของแผ่นเคลือบคงที่ แผ่นเคลือบที่ได้หลังจากการเผาแคลไซน์คิดเป็นน้ำหนักประมาณร้อยละ 18 ของเคลือบจากผลวิเคราะห์ TG/DTA แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผาแคลไซน์เคลือบคือ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 600 °C เป็นต้นไป

รูปที่ 1 (ข) แสดงกราฟ DTA ของเคลือบกลุ่มที่ 2 ปรากฏพีคที่อุณหภูมิ 80 °C แสดงปฏิกิริยาคูดความร้อนและปรากฏพีคที่อุณหภูมิ 320 และ 450 °C จากปฏิกิริยาคายความร้อน เช่นเดียวกับเคลือบกลุ่มที่ 1 แต่พีคที่อุณหภูมิ 450 °C มีความเข้มข้นน้อยกว่าของเคลือบกลุ่มที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาผลวิเคราะห์ TG/DTA ของเคลือบที่ผ่านกรดซัลฟูริก [9]

คาดว่าแกลบกลุ่มที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยกรด ใช้ปริมาณความร้อนในการเผาไหม้สารอินทรีย์น้อยกว่าในแกลบกลุ่มที่ 1 เพราะผลจากการละลายกรด

ช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเซลลูโลสในแกลบมีโมเลกุลที่เล็กลง และช่วยให้เกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ได้ง่ายขึ้นในช่วงการเผาแคลไซน์

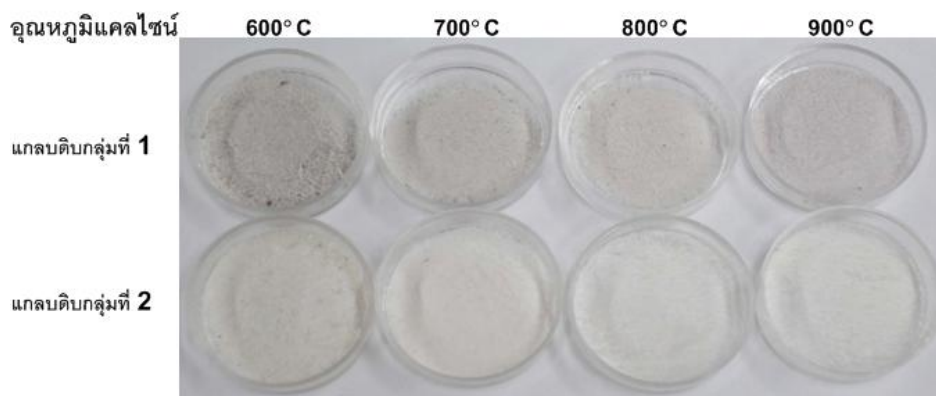


รูปที่ 1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของแกลบดิบกับอุณหภูมิ (TG) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนอุณหภูมิของแกลบดิบกับอุณหภูมิ (DTA) (ก) แกลบดิบกลุ่มที่ 1 และ (ข) แกลบดิบกลุ่มที่ 2

จากการวัด % whiteness ด้วยเทคนิค UV-VIS สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ แกลบดิบทั้งสองกลุ่มเมื่อเผาแคลไซน์อุณหภูมิ 600 °C ได้แกลบสีเทา โดยลักษณะสีที่ปรากฏเกิดจากการคาร์บอนเหลือตกค้างในแกลบบางส่วนจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเมื่อเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 700 °C เป็นต้นไป จะได้แกลบที่มีสีขาว (รูปที่ 2) โดยแกลบกลุ่มที่

2 มี % whiteness มากกว่าแกลบกลุ่มที่ 1 พบว่าแกลบกลุ่มที่ 2 เมื่อผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C มี % whiteness เป็น 69.5, 75 และ 74.7 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าแกลบกลุ่มที่ 1 ที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิเดียวกัน (ตารางที่ 1)

ผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแกลบทั้งสองกลุ่ม เผาแคลไซน์อุณหภูมิ 700-900 °C



รูปที่ 2 แก้วแคลไซน์ที่ผ่านการเผาแคลไซน์อุณหภูมิ 600-900 °C

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและ % whiteness ของแก้วแคลไซน์ทั้งสองกลุ่มที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 700-900 °C

| ผลวิเคราะห์                    | ปริมาณออกไซด์ (%)      |        |        |                        |        |        |
|--------------------------------|------------------------|--------|--------|------------------------|--------|--------|
|                                | แก้วแคลไซน์ กลุ่มที่ 1 |        |        | แก้วแคลไซน์ กลุ่มที่ 2 |        |        |
|                                | 700 °C                 | 800 °C | 900 °C | 700 °C                 | 800 °C | 900 °C |
| SiO <sub>2</sub>               | 92.71                  | 94.78  | 94.91  | 99.25                  | 99.45  | 99.25  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.92                   | 0.70   | 0.79   | 0.14                   | 0.13   | 0.22   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.21                   | 0.17   | 0.22   | 0.21                   | 0.21   | 0.18   |
| K <sub>2</sub> O               | 2.89                   | 2.09   | 1.93   | 0.09                   | 0.08   | 0.14   |
| CaO                            | 1.26                   | 1.01   | 1.08   | 0.06                   | 0.06   | 0.08   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.19                   | 0.15   | 0.16   | 0.1                    | 0.07   | 0.06   |
| TiO <sub>2</sub>               | <0.01                  | 0.02   | 0.03   | <0.01                  | <0.01  | 0.02   |
| MnO <sub>2</sub>               | <0.01                  | 0.31   | 0.22   | <0.01                  | <0.01  | 0.03   |
| MgO                            | 0.33                   | 0.17   | 0.16   | <0.01                  | <0.01  | <0.01  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.19                   | <0.01  | 0.06   | <0.01                  | <0.01  | <0.01  |
| Bal.                           | 1.3                    | 0.60   | 0.65   | 0.15                   | -      | 0.02   |
| % whiteness                    | 48.23                  | 60.96  | 70.98  | 69.48                  | 75.06  | 74.76  |

ด้วยเทคนิค XRF (ตารางที่ 1) แก้วแคลไซน์ทั้งสองกลุ่มพบองค์ประกอบหลักคือซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) และองค์ประกอบรอง ได้แก่ K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,

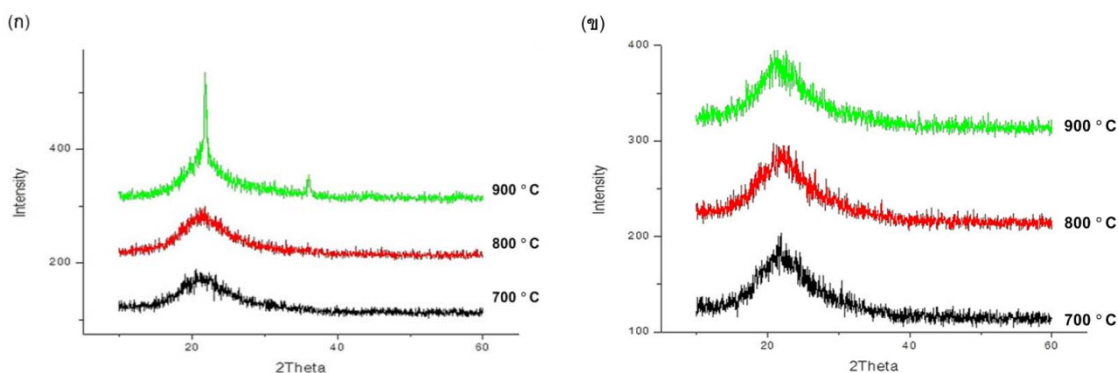
TiO<sub>2</sub> และ MnO<sub>2</sub> แก้วแคลไซน์ที่ได้จากแคลไซน์กลุ่มที่ 2 ซึ่งผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายกรดมีปริมาณซิลิกาสูงกว่ากลุ่มที่ 1 ทุกอุณหภูมิการเผา

แคลไซน์ คาดว่าเนื่องจากสารละลายกรด HCl ได้ชะล้างโลหะอื่น ๆ ในแก้วออกไป โดยโลหะเหล่านั้นทำปฏิกิริยากับกรด HCl เกิดเป็นสารประกอบคลอไรด์ (metallic chloride) ซึ่งละลายน้ำ ทำให้สัดส่วนของซิลิกาหลังเผาแคลไซน์เพิ่มขึ้น [8] แก้วกลุ่มที่ 2 ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C มีปริมาณซิลิกาสูงที่สุดที่ร้อยละ 99.45

จากผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วแก้วที่ได้จากแก้วที่ไม่ผ่านสารละลายกรด HCl พบว่าปริมาณออกไซด์ของโลหะอื่น ๆ นอกจากซิลิกาที่มีปริมาณสูงคือ  $K_2O$  เมื่อแก้วผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 400°C ปริมาณ  $K_2O$  ที่อยู่ในแก้วจะสลายตัวเป็นโลหะโปแตสเซียมซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำ โปแตสเซียมเหล่านี้จะเกิดการหลอมที่ผิวของแก้วแก้ว (K-rich melt) เป็นผลให้คาร์บอนบางส่วนในแก้วไม่สามารถเผาไหม้ออกไปได้หมด สังเกตได้จากสีของแก้วแก้วที่มีสีเทาเนื่องจากคาร์บอนตกค้าง สำหรับผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแก้วแก้วที่ได้จากการผ่านสารละลายกรด พบปริมาณ  $K_2O$  น้อยกว่า จึงสังเกตได้ว่าแก้วแก้วมีสีขาวกว่าเมื่อเทียบกับการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิเท่ากัน เพราะไม่มีผลของคาร์บอนตกค้างในแก้วแก้ว นอกจากนี้การ

เกิดการหลอมที่ผิวของแก้วแก้วเนื่องจากโปแตสเซียมยังเร่งให้เกิดการตกผลึกของเฟสซิลิกาออสเทนฐานไปเป็นเฟสคริสโตบาไลต์ (Cristobalite) [2]

ผลการวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างของแก้วแก้ว (รูปที่ 3) แก้วแก้วกลุ่มที่ 1 ที่ไม่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายกรด HCl ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (รูปที่ 2ก) พบว่าเมื่อแก้วแก้วที่อุณหภูมิ 700-800 °C เกิดฟลักของ 2θ ที่ตำแหน่ง 21.8 ° ซึ่งฟลักที่มีลักษณะกว้างแสดงถึงลักษณะของโครงสร้างอสเทนฐานที่เกิดขึ้นในแก้วแก้ว และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 900 °C พบฟลักที่ตำแหน่ง 21.9 ° และ 36.12 ° ซึ่งเป็นฟลักของคริสโตบาไลต์ ซึ่งฟลักมีลักษณะแหลมซึ่งแสดงถึงการเกิดผลึกคริสโตบาไลต์ในแก้วแก้ว สำหรับผลการวิเคราะห์เฟสของแก้วแก้วจากแก้วแก้วกลุ่มที่ 2 ที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติด้วยสารละลายกรด HCl ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (รูปที่ 2ข) พบว่าแก้วแก้วที่ผ่านการเผาที่ทั้งสามอุณหภูมิพบฟลักของ 2θ ที่ตำแหน่ง 21.8 ° ซึ่งฟลักมีลักษณะกว้างแสดงถึงลักษณะของโครงสร้างอสเทนฐานที่เกิดขึ้นในแก้วแก้ว



รูปที่ 3 ผลวิเคราะห์เฟสของแก้วแก้วที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 700, 800 และ 900 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ก) แก้วแก้วกลุ่มที่ 1 และ (ข) แก้วแก้วกลุ่มที่ 2

การตรวจสอบพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของ เถ้าแกลบด้วยเทคนิค BET โดยวัดการดูดซับก๊าซ ไนโตรเจนที่พื้นผิวนุภาคที่อุณหภูมิ -196 °C ภายใต้ สภาวะอากาศ เพื่อหาลักษณะเฉพาะที่สำคัญของตัวดูดซับ (adsorbent) (ตารางที่ 2) เถ้าแกลบกลุ่มที่ 2 มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนน้อยกว่าเถ้าแกลบกลุ่มที่ 1 ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าเถ้าแกลบกลุ่มที่ 1 มีลักษณะเฉพาะทางพื้นที่ผิวที่สำหรับเป็นตัวดูดซับและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาแคลไซน์ในเถ้าแกลบกลุ่มที่ 1 ไปเป็น 900 °C มีค่าพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลวิเคราะห์เฟสของเถ้าแกลบกลุ่มที่ 1 ที่มีแนวโน้มเป็นผลึกมากขึ้น

**ตารางที่ 2** ผลวิเคราะห์พื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนของเถ้าแกลบทั้งสองกลุ่มที่ผ่านการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-900 °C

| ผลวิเคราะห์                    | เถ้าแกลบกลุ่มที่ 1 |        | เถ้าแกลบกลุ่มที่ 2 |        |
|--------------------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|
|                                | 800 °C             | 900 °C | 800 °C             | 900 °C |
| พื้นที่ผิว (m <sup>2</sup> /g) | 42.2               | 6.8    | 103.8              | 123.8  |
| ปริมาตรรูพรุน (cc/g)           | 0.153              | 0.071  | 0.251              | 0.290  |

#### 4. สรุป

ผลของการเผาแคลไซน์แกลบดิบทั้งสองกลุ่มที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นต้นไปภายใต้ความดันบรรยากาศจะเหลือเป็นเถ้าแกลบประมาณ 20 % โดยผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและเฟสของเถ้าแกลบ การปรับปรุงสมบัติแกลบดิบด้วยกรด HCl ตามด้วยการเผาแคลไซน์ช่วยให้เถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกาเพิ่มขึ้น และยังคงมีโครงสร้างอสัณฐาน นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงสมบัติด้าน % whiteness มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูงอีกด้วย จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้งานทางด้านตัวดูดซับและวัตถุดิบสำหรับการผลิตวัสดุเซรามิก

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Genieva, S.D., Turmanova, S.C., Dimitrova, A.S. and Vlaev, L.T., 2008, Characterization of rice husks and the products of its thermal degradation in air or nitrogen atmosphere, J. Thermal. Anal. Calorim. 93: 387-396.
- [2] Krishnarao, R.V., Subrahmanyam, J. and Jagadish Kumar, T., 2001, Studies on the formation of black particles in rice husk silica ash, J. Euro. Cer. Soc. 21: 99-104.
- [3] Chandrasekhar, S., Satyanarayana, K.G., Pramada, P.N. and Raghavan, P., 2003, Review processing, properties and applications of reactive silica from rice husk, J. Mater. Sci. 38: 3159-3168.
- [4] Gonzalez-Velasco, J.R., Gutierrez-Ortiz, M.A. and Ferret, R., 1999, Synthesis of cordierite monolithic honeycomb by solid state reaction of precursor oxides, J. Mater. Sci. 34: 1999-2002.
- [5] Chandrasekhar, S. and Pramada, P.N., 2006,

- Effect of calcination temperature and heating rate on the optical properties and reactivity of rice husk ash, J. Mater. Sci. 41: 7926-7933.
- [6] Masingboon, C., Rujakorakarn, R. Swatsitang, E. and Jittakavee, Y., 2003, Crystallization of thermally grown silica from rice husk, KKU Res. J. 3: 207-215.
- [7] Chandrasekhar, S., Pramada, P.N. and Praveen, L., 2005, Effect of organic acid treatment on the properties of rice husk silica, J. Mater. Sci. 40: 6535-6544.
- [8] Chakraverty, A., Mishra, P. and Banerjee, H.D., 1988, Investigation of combustion of raw and acid-leaching rice husk for production of pure amorphous white silica, J. Mater. Sci. 23: 21-24.
- [9] Umeda, J. and Kondoh, K., 2008, High-purity amorphous silica originated in rice husks via carboxylic acid leaching process, J. Mater. Sci. 143: 7084-7090.