

การเตรียมแผ่นกรองเซรามิกจากแกลบสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ Preparation of Ceramic Filter Disk from Rice Husks for Water Purification

พิทักษ์ อยู่มี*

Pitak Yoomee

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
Faculty of Science and Technology, Pibulsongkram Rajabhat University Phitsanulok 65000, Thailand

*E- mail address : pitakyoume@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมและหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นกรองเซรามิกจากแกลบสำหรับการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยนำตัวอย่างแกลบมากระตุ้นด้วยกรดแล้วทำให้แห้ง จากนั้นนำไปเผาแบบแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมงจะได้เถ้าขาว นำเถ้าขาวไปรีฟลักซ์ในสภาวะต่างแล้วเติมกรดลงไปจะได้ซิลิกาเจล จากการตรวจวิเคราะห์ซิลิกาเจลด้วยเทคนิค XRD และ SEM พบว่าซิลิกาเจลมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 10 – 100 μm และเป็นซิลิกาอสัณฐาน หลังจากนั้นนำซิลิกาเจลที่ได้มาขึ้นรูปแผ่นกรองเซรามิกที่แรงดัน 30 กิโลนิวตัน เวลาที่ใช้ 5 นาที นำไปเผาใหม้ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีความหนาแน่นของแผ่นกรองเซรามิกสูงสุด คือ 1.2020 g cm^{-3} ลักษณะของแผ่นกรองมีรูพรุนจำนวนมากและขนาดรูพรุนอยู่ระหว่าง 0.3-6.8 μm หลังจากนั้นวัดอัตราการไหลของน้ำโดยใช้กระบวนกรกรองน้ำในระบบปิด พบว่าอัตราการกรองจะอยู่ที่ประมาณ 264 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเซนติเมตร จากการศึกษาคุณภาพของน้ำที่ผ่านกับไม่ผ่านแผ่นกรองเซรามิก เปรียบเทียบผลที่ได้พบว่าผลของการตรวจวิเคราะห์สมบัติบางประการของน้ำก่อนผ่านแผ่นกรองเซรามิกและหลังผ่านแผ่นกรองเซรามิกได้ค่าความขุ่นและปริมาณเหล็กลดลง

คำสำคัญ : แผ่นกรองเซรามิก, ซิลิกาเจล, การกรอง

ABSTRACT

Ceramic filter disk used for drinking water purification was prepared from rice husk. Optimum condition for disk forming was investigated. Rice husk samples were activated with acid and dried. Calcinations were performed at 800 °C for 4 hours to produce white ash product. This product was refluxed in alkaline medium and silica gel was obtained after acidification. XRD and SEM results indicated that produced silica was amorphous with 10-100 μm in size. The silica gel was then formed to be the ceramic filter by compressing at 30 kiloNewton for 5 minutes and was sintered at 800 °C for 2 hours. The maximum density of the ceramic filter was found to be 1.2020 g cm^{-3} . High porosity with pore size in the range of 0.3-6.8 μm was obtained. The application of ceramic filters was tested by purifying water in closed system with 264 millilitre hour⁻¹ cm⁻² filtering rate. Turbidity and Fe concentration of post-filtered water were found to be decrease.

Keywords : Ceramic Filter Disk, silica gel, Filtration

บทนำ

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของโลก ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศมีอาชีพเกษตรกรรม พบว่าในปีหนึ่ง ๆ ประเทศไทยมีผลผลิตข้าวมากกว่า 20 ล้านตัน หลังจากการสีข้าวจะได้ส่วนที่เป็นเปลือกแข็งที่เรียกว่า แกลบข้าว เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรซึ่งไม่เป็นที่สนใจทางการค้าในปริมาณมากถึง 5.4 ล้านตันต่อปี องค์ประกอบหลักในแกลบเป็นเซลลูโลส (cellulose) และ ลิกนิน (lignin) ซึ่งปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและภูมิประเทศ ข้าวที่ได้จากการเผาไหม้แกลบจะมีองค์ประกอบของซิลิกา (silica) อยู่ร้อยละ 87 – 95 (Yalcin and Sevinc, 2001 ; ศุภกร ภูเกิตและยะภาพัทธ์ นิระพจน์, 2545) ซิลิกาที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของซิลิกาอสัณฐาน (amorphous silica) มีโครงสร้างคล้ายซิลิกาเจล (silica gel) มีพื้นที่ผิวและความพรุนตัวสูง ปัจจุบันสารดังกล่าวได้ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมหลายแขนง ได้แก่ อุตสาหกรรมยาใช้เป็นสารช่วยเพิ่มแรงตึงผิว อุตสาหกรรมอาหารใช้เป็นตัวดูดซับความชื้นและต้านสิ่งแวดล้อมใช้เป็นตัวดูดซับสารเคมีอันตราย (Della *et al.*, 2002 and Krishnar, 2001) ในปัจจุบันเริ่มมีการนำซิลิกาเจลไปใช้อุตสาหกรรมน้ำดื่มเพื่อเป็นตัวกรอง มีรายงานวิจัยการเตรียมซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูงจากแกลบโดยนำแกลบมาแช่ในสารละลายของกรดและด่าง และเผาที่ 600 °C แล้วศึกษาการกระจายตัวขนาดและรูปร่างลักษณะของซิลิกาที่ได้ (Yalcin and Sevinc, 2001) และมีการศึกษาการขึ้นรูปตัวกรองเซรามิกจากแกลบโดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 10, 13 และ 20 ไมโครเมตร ด้วยวิธีหล่อแบบแล้วเผาผนึก (sintering) ตัวกรองที่อุณหภูมิ 1,250 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (Nittaya, 2008)

ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำวัสดุทางการเกษตรเหลือทิ้งเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ คือ นำแกลบมาผลิตเป็นซิลิกาเจลที่มีความบริสุทธิ์สูง เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นแผ่นกรองเซรามิกสำหรับทำน้ำให้บริสุทธิ์ เนื่องจากแผ่นกรองเซรามิกที่สังเคราะห์ได้มีความละเอียดถึงระดับไมครอนซึ่งสามารถกรองเชื้อโรคต่าง ๆ ได้ดี มีความทนต่อการกัดกร่อนของกรดและด่างได้ดี สามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิสูง มีอายุการใช้งานยาวนานและการกรองยังเป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในห้องปฏิบัติการและการผลิตในอุตสาหกรรมน้ำดื่ม ถ้าสามารถผลิตได้ในประเทศจะทำให้สามารถลดการนำเข้าแผ่นกรองเซรามิกจากต่างประเทศที่มีราคาแพง

วิธีดำเนินการวิจัย

นำแกลบมาเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จนได้เถ้าข้าวแล้วนำไปกลั่นแบบรีฟลักซ์ (Reflux) กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 150 °C นาน 3 ชั่วโมง จะได้สารละลายโซเดียมซิลิเกต นำสารละลายที่ได้ไปกรองและล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน หลังจากนั้นเติม 5 N H₂SO₄ ลงในสารละลายจะได้เจล นำเจลที่ได้ไปกรองและล้างด้วยน้ำร้อน หลังจากนั้นอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer, XRD) รุ่น PW 3040/60X Pert Proconsed ผลิตโดยบริษัท Phillips เพื่อศึกษาโครงสร้างของซิลิกาเจลที่เตรียมได้ และศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) รุ่น LEO 1450 VP ผลิตโดยบริษัท LEO

ซึ่งซิลิกาเจล 1.5 กรัม บดผสมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) ประมาณ 6 – 8 หยด (เตรียมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:10) อัดลงในเครื่องอัดไฮโดรลิกที่มีแท่นกดอัดทั้งด้านบนและด้านล่าง ระหว่างแท่นอัดทั้งสองมีแม่พิมพ์เป็นท่อทรงกระบอกเปิดด้านบนและด้านล่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร ใช้ความดันในการอัดแผ่นกรองซิลิกาอยู่ในช่วง 30 กิโลนิวตัน นำแผ่นกรองเซรามิกไปเผาที่อุณหภูมิ 700–1,000 °C หาความหนาแน่นและศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

นำแผ่นกรองเซรามิกที่เผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาประกอบเป็นชุดกรองวัดอัตราการไหลของน้ำโดยใช้กระบวนการกรองในระบบปิด ตรวจสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความขุ่น (NTU) และหาปริมาณเหล็กด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy ; AAS) รุ่น AA-660 ผลิตโดยบริษัท Shimadzu

ผลการวิจัย

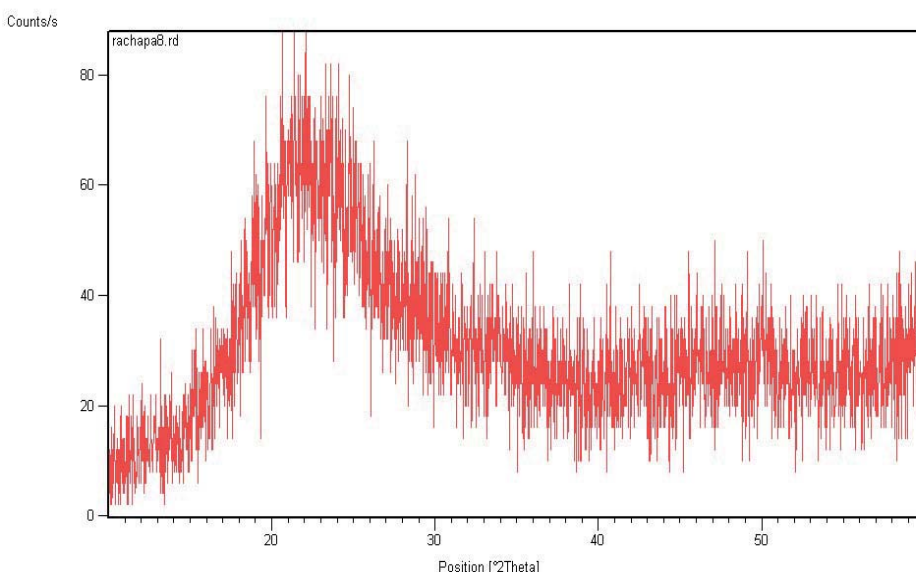
จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาเจลจากแกลบ โดยนำแกลบมาทำความสะอาดและเผาที่อุณหภูมิ 800 °C โดยใช้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิเป็น 10 °C ต่อนาทีเป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำมารีฟลักซ์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เวลาในการรีฟลักซ์ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้มาทำให้เกิดเจลโดยเติม H_2SO_4 5 N ลงในสารละลาย ผลผลิตเจลที่ได้แสดงผลดังตาราง 1

ตาราง 1 ร้อยละของซิลิกาเจลที่เกิดจากการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กัน

ครั้งที่	น้ำหนักแกลบ (กรัม)	NaOH (%w/v)	น้ำหนักซิลิกาเจล (กรัม)	% ซิลิกาเจล
1	25	10	22.84	91.36
2	25	15	22.96	91.84
3	25	20	23.14	92.56
4	25	25	22.84	91.36

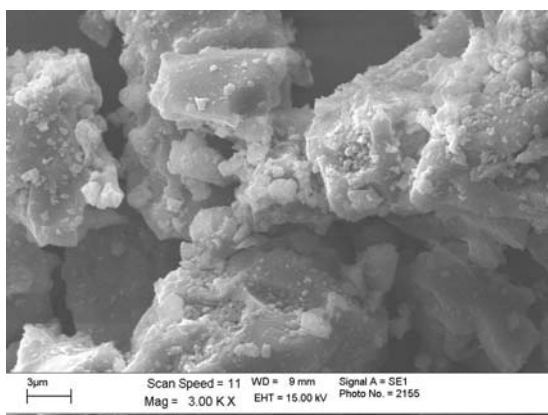
จากตาราง 1 พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร 10, 15, 20 และ 25 จะได้ร้อยละของซิลิกาเจลมากกว่าร้อยละ 90 ทั้ง 4 ความเข้มข้นและให้ร้อยละซิลิกาเจลไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร 10

จากการตรวจหาโครงสร้างของซิลิกาเจลโดยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ จะได้รูปแบบการเลี้ยวเบน (diffraction pattern) แสดงดังรูป 1 โดยที่ตำแหน่งพีก (peak) ของซิลิกาเจลจะปรากฏที่มุมเทต้า (theta ; θ) อยู่ในช่วง $20-23^\circ$ ซึ่งลักษณะของพีกจะกว้างเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการเลี้ยวเบนมาตรฐาน จะพบว่ามีลักษณะเป็นซิลิกาอสัญฐาน (Riveros and Garza, 1986) แสดงถึงความไม่เป็นผลึกของสารเพราะเมื่อพิจารณาจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของสารตัวอย่างจะได้พีกที่กว้างและต่ำ

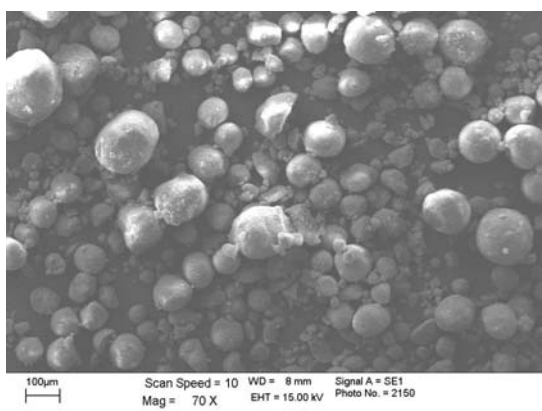


รูป 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซิลิกาเจล

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้ผลแสดงดังรูป 2 พบว่าซิลิกาเจลที่เตรียมได้มีการรวมตัวเกาะกันเป็นแผ่นค่อนข้างเรียบและรูป 3 เป็นภาพถ่าย SEM ของซิลิกาเจลที่เผาอุณหภูมิ $1,000^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง พบว่าซิลิกาเจลที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นทรงกลม มีขนาดที่แตกต่างกัน ขนาดของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 10-100 ไมโครเมตร



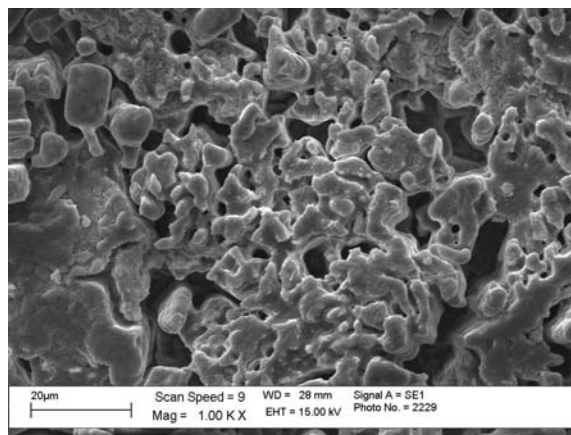
รูป 2 ภาพถ่าย SEM ลักษณะพื้นผิวและลักษณะเจลที่เตรียมได้



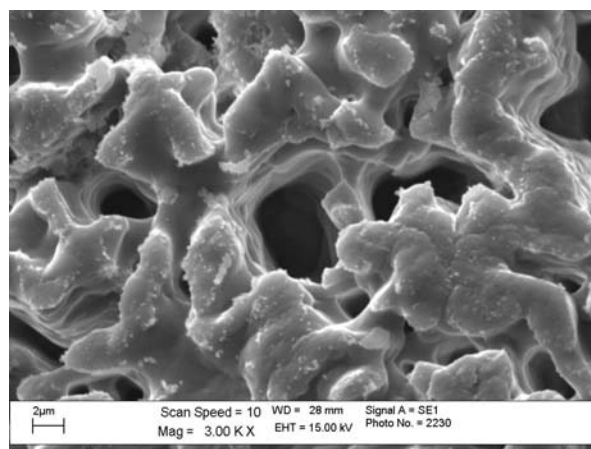
รูป 3 ภาพถ่าย SEM ลักษณะของซิลิกาเจลที่เผาอุณหภูมิ 1,000 °C

จากการนำซิลิกาเจลที่เตรียมได้อัดในเครื่องอัดไฮโดรลิกเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร พบว่าความดันที่เหมาะสมในการอัดแผ่นกรองเซรามิก 30 กิโลนิวตัน เวลา 5 นาที จะได้แผ่นกรองเซรามิกที่สมบูรณ์และแข็งแรงไม่มีผงซิลิกาหลุดร่อนออกมา หลังจากนั้นนำมาเผาผนึก (sintering) ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 700 °C – 1000 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วหาความหนาแน่นของแผ่นกรองเซรามิกที่เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยการแทนที่น้ำและคำนวณโดยใช้หลักของอาร์คิมิดีส พบว่าอุณหภูมิของการเผาผนึกจะได้ความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1.002 - 1.2020 g cm⁻³ ที่อุณหภูมิ 800 °C ได้ความหนาแน่นของแผ่นกรองเซรามิกสูงสุดคือเท่ากับ 1.2020 g cm⁻³ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับซิลิกาเจลมาตรฐาน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันกับแผ่นกรองเซรามิกมาตรฐานที่เตรียมขึ้นรูปด้วยวิธีการหล่อแบบเป็นแผ่นกลมมีค่าความหนาแน่น $1.10 \pm 0.035 \text{ g cm}^{-3}$ (Nittaya, 2008)

จากนั้นนำแผ่นกรองเซรามิกที่เผาผนึกที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มาศึกษา ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลแสดงดังรูป 4 พบว่า ขนาดรูพรุนบริเวณผิวจะอยู่ระหว่าง 0.4-8.5 ไมโครเมตร (กำลังขยาย 1000 x) และรูป 5 แสดง ภาพถ่าย SEM ของแผ่นกรองเซรามิกบริเวณผิวกำลังขยาย (3000 x) รูพรุนอยู่ระหว่าง 0.3-6.8 ไมโครเมตร ซึ่งมาตรฐาน มอก. 1420-2540 ของไส้กรองน้ำเซรามิก ช่วงของขนาดรูพรุนจะเล็กกว่า 0.3 ไมครอน



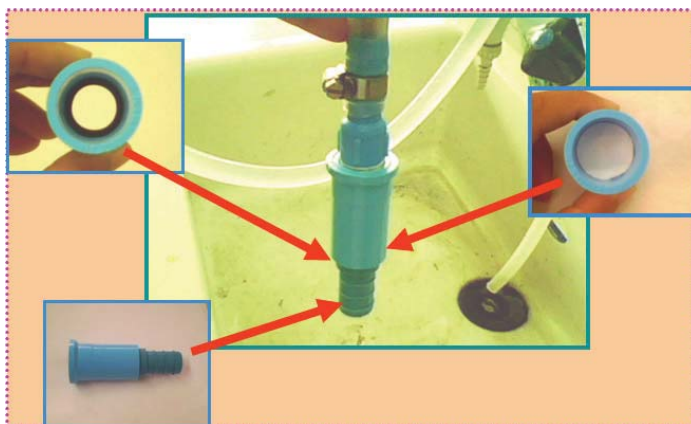
รูป 4 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นกรองเซรามิก (กำลังขยาย 1000 x)



รูป 5 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นกรองเซรามิก (กำลังขยาย 3000 x)

นำแผ่นกรองเซรามิกที่เผาผนึกแล้วมาประกอบเป็นชุดกรองแสดงดังรูป 6 หลังจากนั้นวัด อัตราการไหลของน้ำโดยใช้กระบวนการกรองน้ำในระบบปิดให้ความดันคงที่ใช้น้ำประปาที่มีค่าความ

ขุ่นไม่เกิน 10 NTU กรองผ่านตัวกรองเซรามิกภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าอัตราการกรองจะอยู่ที่ประมาณ 264 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมาตรฐาน มอก. 1420-2540 ของไส้กรองน้ำเซรามิก อัตราการกรองจะอยู่ที่ประมาณ 250 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเซนติเมตร



รูป 6 แสดงการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นกรองเซรามิก

จากการนำแผ่นกรองเซรามิกมาต่อเป็นชุดกรองแบบง่าย แล้วทดสอบความสามารถในการกรองน้ำประปาของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พบว่าผลของการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำประปาของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามก่อนกรองผ่านแผ่นกรองเซรามิก ได้ค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 7.52 ค่าความขุ่น เท่ากับ 4.48 NTU และปริมาณเหล็ก เท่ากับ 0.120 mg L^{-1} ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่พอผ่านแผ่นกรองเซรามิกได้ค่าความเป็นกรด – ด่าง เท่ากับ 7.57 ค่าความขุ่นเท่ากับ 0.49 NTU และปริมาณเหล็กเท่ากับ 0.0320 mg L^{-1} ซึ่งจะเห็นว่าค่าความขุ่นกับปริมาณเหล็กจะลดลงเนื่องจากเกิดการดูดซับทางกายภาพบนแผ่นกรองเซรามิก

วิจารณ์และสรุปผลการวิจัย

การทดลองนี้ได้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมซิลิกาเจลจากแกลบ โดยนำแกลบมาทำความสะอาดและอบให้แห้ง หลังจากนั้นเผาที่อุณหภูมิสูงแล้วทำการรีฟลักซ์กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ นำสารละลายที่ได้มาทำให้เกิดเจลโดยเติมกรดจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ซิลิกาเจล จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้างและสัณฐานวิทยา พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนของซิลิกาเจลที่เตรียมได้คล้ายกับของ ซิลิกาเจลมาตรฐานและมีขนาดอยู่ในช่วง $10 - 100 \text{ }\mu\text{m}$ จากการขึ้นรูปแผ่นกรองเซรามิกพบว่าที่อุณหภูมิของการซินเทอร์ที่ $800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความหนาแน่นของแผ่นกรองเซรามิกสูงสุด คือ 1.2020 g cm^{-3} โดยมีขนาดรูพรุนอยู่ระหว่าง $0.3-6.8 \text{ }\mu\text{m}$ เมื่อทดสอบการกรองพบว่าอัตราการกรองจะอยู่ที่ประมาณ 264 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงต่อตารางเซนติเมตร จากการศึกษาคูณภาพของน้ำที่ผ่านกับไม่ผ่านแผ่นกรองเซรามิกเปรียบเทียบผลที่ได้ พบว่าผลของการตรวจวิเคราะห์สมบัติทาง

ประการของน้ำก่อนผ่านแผ่นกรองและหลังผ่านแผ่นกรองเซรามิกได้ค่าความขุ่นและปริมาณเหล็ก
ลดลง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์กล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับ
ทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ. 2551 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1420-2540. (2540). *ไส้กรองเซรามิก*. สำนักงาน

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม : กระทรวงอุตสาหกรรม.

ศุภกร ภูเกิดและยะภาพัทธ์ นีระพจน์. (2545). การเตรียมซิลิกอนไดออกไซด์ที่มีความ
บริสุทธิ์จากแกลบข้าว. *วารสารคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี*. (ฉบับพิเศษ), 18 – 20 สิงหาคม 2546, 40-45.

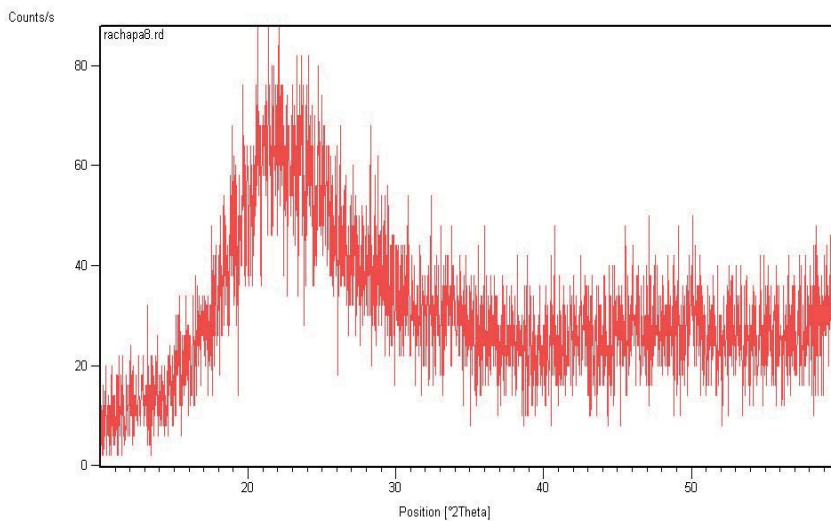
Della, V. P., Kuhn, I., and Htza, D., (2002). Rice husk ash as an alternate source for
active silica production. *Materials Letters*, 57, 818-821.

Krishnaro, R. V. (2001). Studies on the formation of black particles in rice husk
silica ash. *Journal of the European Ceramic Society*, 21, 99-104.

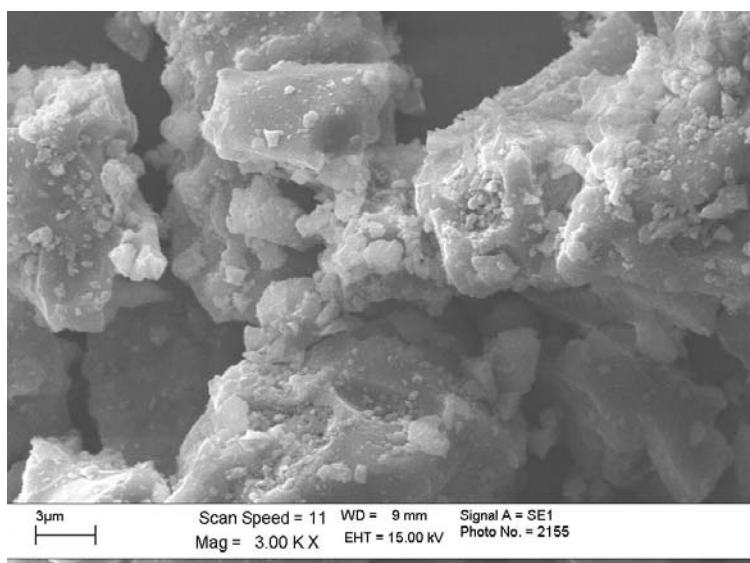
Nittaya W. (2008). Preparation of ceramic filters from rice husk ash. *Naresuan
University Journal*, 16(1), 1-9.

Riveros, H. and Garza, C. (1986). Rice husks as a source of high purity silica.
Journal of Crystal Growth, 75, 126-131.

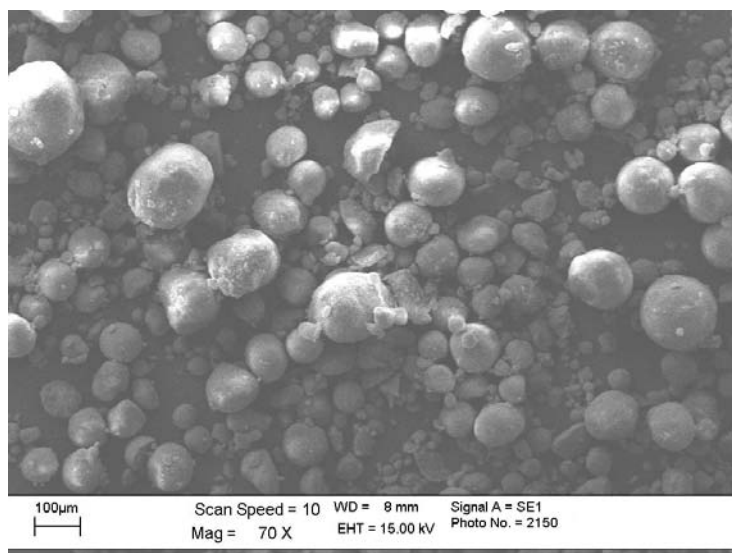
Yalcin, N. and Sevinc, V. (2001). Studies on silica obtained from rice husk. *Ceramics
International*, 27, 219-224.



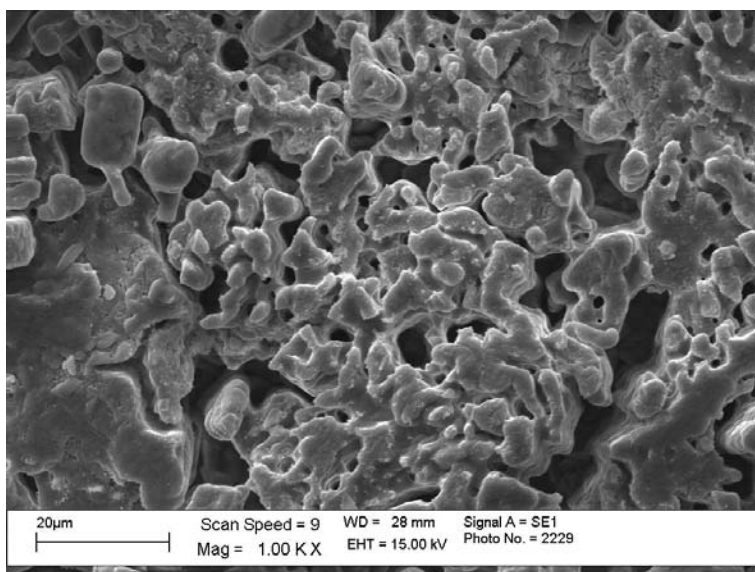
รูป 1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซิลิกาเจล



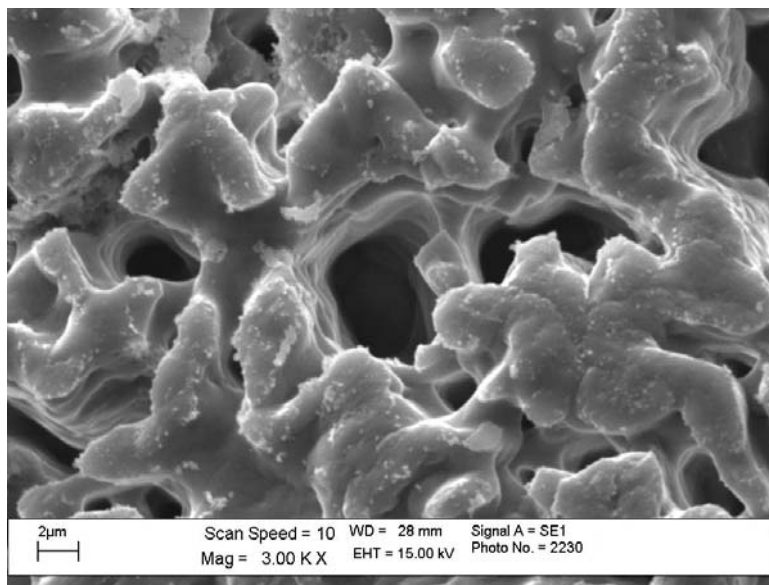
รูป 2 ภาพถ่าย SEM ลักษณะพื้นผิวและลักษณะเจลที่เตรียมได้



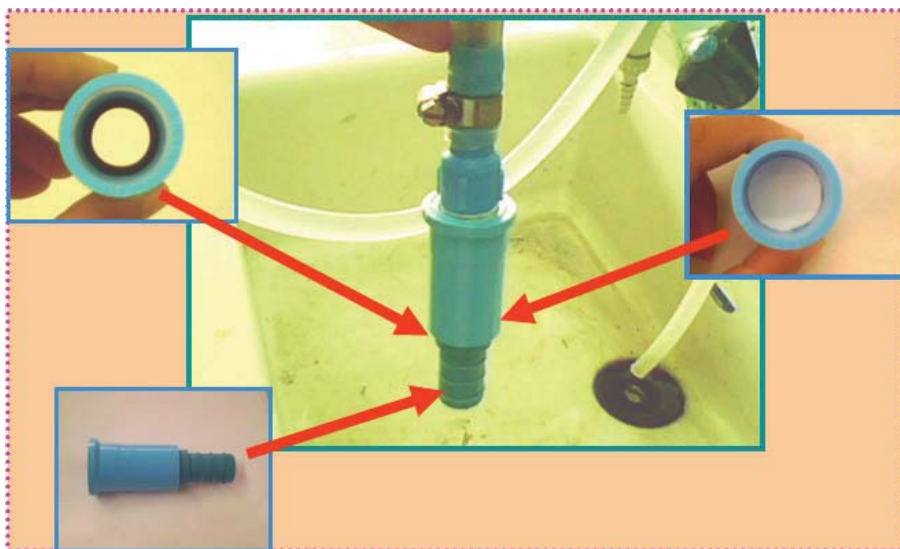
รูป 3 ภาพถ่าย SEM ลักษณะของซิลิกาเจลที่เผาอุณหภูมิ 1,000 °C



รูป 4 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นกรองเซรามิก (กำลังขยาย 1000 x)



รูป 5 ภาพถ่าย SEM ของแผ่นกรองเซรามิก (กำลังขยาย 3000 x)



รูป 6 แสดงการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านแผ่นกรองเซรามิก