



การแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวลด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลในสภาวะเบสและการตกตะกอนซิลิกาด้วยกรดอินทรีย์

ภัทรา เฟงธรรมกิริติ* ตฤวิทย์ สถาปนจารุ นิภาวรรณ สนั่นไหว อัจฉรา บุญฤทธิ์ และ พัชรียา เวลุดัง
ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

*ผู้พิมพ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2579-3877 อีเมล: fsciptp@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.023

รับเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2560 ตอบรับเมื่อ 29 มีนาคม 2560 เผยแพร่ออนไลน์ 17 มกราคม 2561

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกและตกตะกอนซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวล ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่ดีที่สุดในการแยกซิลิกาจากเถ้าลอยในงานศึกษานี้คือ การกระตุ้นเถ้าลอยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 3 โมลาร์ อัตราส่วนระหว่างเถ้าลอยและสารละลายที่ใช้ 1 : 10 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาชี้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีความสำคัญต่อการละลายของซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวล การศึกษาการตกตะกอนซิลิกาด้วยสารละลายกรดอินทรีย์พบว่าการใช้กรดซิตริกและสภาวะการตกตะกอนที่ pH เท่ากับ 4 เป็นสภาวะที่ทำให้ซิลิกาตกตะกอนสูงสุด (ร้อยละ 98.5) ซึ่งเป็นเพราะสภาวะความเป็นกรดที่เพียงพอในการตกตะกอนและกรดอินทรีย์มีค่าการแตกตัวที่เหมาะสม ซิลิกาที่ผลิตได้ทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction และพบว่าเป็นซิลิกาแบบออสทรูนา การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักที่ร้อยละ 95.6 ดังนั้นการนำเถ้าลอยชีวมวลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตซิลิกาจึงเป็นแนวทางที่จะเพิ่มมูลค่าให้กับเถ้าลอยชีวมวลได้อย่างน่าสนใจ

คำสำคัญ: กรดอินทรีย์, ซิลิกา, เถ้าลอยชีวมวล, วิธีไฮโดรเทอร์มัล

การอ้างอิงบทความ: ภัทรา เฟงธรรมกิริติ ตฤวิทย์ สถาปนจารุ นิภาวรรณ สนั่นไหว อัจฉรา บุญฤทธิ์ และ พัชรียา เวลุดัง, “การแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวลด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มัลในสภาวะเบสและการตกตะกอนซิลิกาด้วยกรดอินทรีย์,”วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1, หน้า 175-182, ม.ค.-มี.ค. 2561.

Extracting Silica from Biomass Fly Ash by Using Alkaline Hydrothermal Treatment and Silica Precipitation by Using Organic Acids

Patthra Pengthamkeerati,* Tunlawit Satapanajaru, Nipawan Sananwai, Autchara Boonrite and Phatchariya Welutung

Department of Environmental Technology and Management, Faculty of Environment, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

*Corresponding Author, Tel. 0-2579-3877, E-mail: fsciptp@ku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.01.023

Received 9 February 2017; Accepted 29 March 2017; Published online: 17 January 2018

© 2018 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This study aims to investigate the optimal condition to extract and precipitate silica from biomass fly ash. Results showed that the best condition to extract silica from fly ash in this study was by treating fly ash with 3M NaOH solution using fly ash-to-solution ratio of 1 : 10 g/ml at 90°C for 24 h. The findings indicate that these studied variables are of importance to the dissolution of silica from biomass fly ash. In the study on precipitating silica using organic acid solution, results showed that the use of citric acid and precipitation condition at pH of 4 were the appropriate conditions by giving the maximum silica precipitation (98.5%). This was because of sufficient acidic conditions to precipitate silica and the appropriate dissociation constant of organic acid. The obtained silica was analyzed by using X-ray diffraction was amorphous silica. X-ray fluorescence analysis showed that the obtained product was mainly composed of silica at 95.6%. Therefore, the use of biomass fly ash as a raw material for silica production is an interesting way to enhance value for biomass fly ash.

Keywords: Organic Acids, Silica, Biomass Fly Ash, Hydrothermal Treatment

Please cite this article as: P. Pengthamkeerati, T. Satapanajaru, N. Sananwai, A. Boonrite, and P. Welutung, "Extracting silica from biomass fly ash by using alkaline hydrothermal treatment and silica precipitation by using organic acids," *The Journal of KMUTNB*, vol. 28, no. 1, pp. 175–182, Jan.–Mar. 2018 (in Thai).



1. บทนำ

ถั่วลอยชีวมวลเป็นของเหลือจากการเผาไหม้ ชีวมวล โดยวัตถุดิบที่มักถูกที่ใช้ในการเผา ได้แก่ แกลบ เศษไม้ เป็นต้น การใช้พลังงานทดแทนจากชีวมวลได้รับการส่งเสริมค่อนข้างมากเพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลจากต่างประเทศและเพื่อความมั่นคงทางพลังงานของประเทศ แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Development Plan; AEDP) [1] รายงานว่าในปี 2557 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงมีปริมาณ 2,451.82 เมกะวัตต์ จากปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนทั้งหมด คิดเป็นเมกะวัตต์ติดตั้งเท่ากับ 4,494.03 เมกะวัตต์ และเป้าหมายในปี 2579 จะส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลให้เป็น 5,570 เมกะวัตต์ ด้วยเหตุนี้จึงคาดว่า ปริมาณถั่วลอยชีวมวลจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และอาจต้องมีการกำจัดที่เพิ่มขึ้นตามมา ดังนั้นการนำถั่วลอยชีวมวลมาใช้ประโยชน์จึงเป็นวิธีการที่ได้รับความสนใจในการลดปริมาณ และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลลง

ถั่วลอยจากชีวมวลมีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกา โดยจากงานศึกษาของสันติ [2] พบว่าแกลบประกอบด้วยซิลิการ้อยละ 21.72 และไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 75.06 และภายหลังการเผาเป็นเชื้อเพลิงของแกลบแล้ว ซี้อะไหล่แกลบมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบมากกว่าร้อยละ 80 รวมทั้งงานศึกษาของ Pengthamkeerati *et al.* [3] ที่พบว่าถั่วลอยจากชีวมวลมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 91.05 ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำถั่วลอยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการแยกซิลิกาเพื่อนำไปใช้ทดแทนซิลิกาทางการค้า โดยซิลิกาเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น เป็นฉนวนกันความร้อน การใช้ในงานเซรามิก เป็นตัวดูดความชื้นในอุตสาหกรรมอาหาร เป็นตัวเพิ่มแรงดึงผิวในอุตสาหกรรมยา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำเข้าซิลิกาจากต่างประเทศเพื่อนำมาใช้เป็นสารสื่อในอาหารสัตว์ ยา และสารอื่นๆ

งานศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การแยกซิลิกาจากถั่วลอยชีวมวลสามารถดำเนินการได้โดยวิธีการให้ความร้อนและการใช้สารละลายเบส แต่พบว่าประสิทธิภาพการแยกซิลิกามีสารเจือปนอื่น เช่น Kalapathy *et al.* [4] ศึกษาการผลิต

ซิลิกาจากซี้อะไหล่แกลบโดยใช้วิธีการสกัดด้วยสารละลายเบส จากนั้นทำการตกตะกอนด้วยสารละลายกรดแล้วได้เป็นซีโรเจลที่มีซิลิกาอยู่ร้อยละ 93 ที่ความชื้นร้อยละ 2.6 ทั้งนี้ การสกัดซิลิกาจากซี้อะไหล่แกลบมีประสิทธิภาพที่ร้อยละ 91 แต่ส่วนใหญ่เจือปนด้วยโซเดียม โพลแทสเซียม และแคลเซียม การล้างซีโรเจลด้วยน้ำทำให้ปริมาณแร่ที่เจือปนนั้นต่ำลง (โซเดียม < 200 ส่วนในล้านส่วนและโพแทสเซียม < 400 ส่วนในล้านส่วน) และ Kalapathy *et al.* [5] ปรับปรุงวิธีการผลิตซิลิกาจากซี้อะไหล่แกลบเพื่อให้มีปริมาณโซเดียมต่ำลง โดยพบว่าซิลิกาซีโรเจลที่ผลิตที่ความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 โดยใช้กรดซัลฟิวริกและกรดออกซาลิกมีปริมาณโซเดียมปนเปื้อนอยู่ร้อยละ 0.52 และ 0.22 ตามลำดับ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกและตกตะกอนซิลิกาจากถั่วลอยชีวมวล เพื่อประเมินประสิทธิภาพใช้ถั่วลอยชีวมวลในการเป็นแหล่งซิลิกา โดยสภาวะการแยกซิลิกาที่ศึกษา คือ ความเข้มข้นของสารละลายเบส อัตราส่วนถั่วลอยต่อสารละลายเบส อุณหภูมิ และเวลาการทำปฏิกิริยา และสภาวะการตกตะกอนซิลิกาที่ศึกษา คือ ชนิดกรดอินทรีย์และความเป็นกรดต่างในการตกตะกอน

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การเตรียมถั่วลอย

ถั่วลอยชีวมวลนำมาจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ใช้แกลบและเศษไม้เป็นเชื้อเพลิง โดยมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีดำ ถั่วลอยชีวมวลถูกอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นเก็บในภาชนะปิดป้องกันความชื้นจนกว่าจะใช้งาน

2.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากถั่วลอยชีวมวล

ถั่วลอยชีวมวลหนัก 20 กรัม ถูกเติมด้วยสารละลายเบสเพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากถั่วลอย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายเบสที่เลือกใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการศึกษานี้ในช่วง 0.5–3 โมลาร์ อัตราส่วนระหว่างถั่วลอยและสารละลายเบสในช่วง

1 : 5-1 : 20 กรัม/มิลลิลิตร อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ในช่วง 80–110°C และเวลาในการให้ความร้อนในช่วง 3–24 ชั่วโมง เมื่อเสร็จสิ้นการทำปฏิกิริยาแล้วให้กรอง แยกเถ้าลอยที่เหลือออกจากสารละลายนำไปอบแห้งและ ชั่งน้ำหนักทำการทดลองจำนวน 2 ซ้ำ การศึกษานี้กำหนดให้ สภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวล คือ สภาวะที่ทำให้ของแข็งที่เหลือมีปริมาณน้อยที่สุดและรายงาน ผลในหน่วยร้อยละ ซึ่งใช้สูตรคำนวณตามสมการที่ (1)

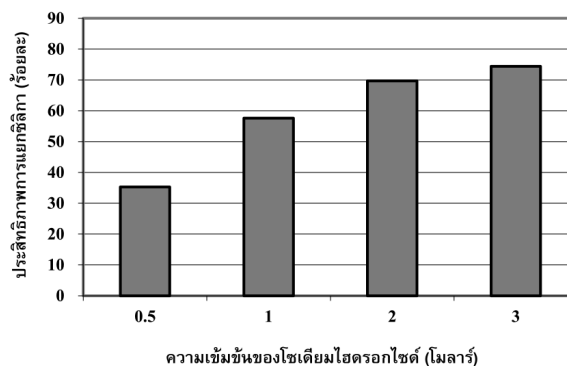
$$\text{ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากเถ้าลอย (ร้อยละ)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักเถ้าลอยเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักของแข็งที่เหลือ}}{\text{น้ำหนักเถ้าลอยเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (1)$$

2.3 การตกตะกอนซิลิกาด้วยสารละลายกรดอินทรีย์

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการแยกซิลิกา จากเถ้าลอยชีวมวลด้วยสภาวะที่กำหนด จากนั้นกรองแยก สารละลายส่วนใสเพื่อนำไปศึกษาการตกตะกอนซิลิกาด้วย สารละลายกรดอินทรีย์ การทดลองนี้ใช้กรดซิตริกที่ความเข้มข้น 2 โมลาร์ และกรดอะซิติกเข้มข้น โดยนำสารละลายใสที่ได้ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร มาเติมสารละลายกรดอินทรีย์ทั้งสอง จนกระทั่งได้ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ตามกำหนด คือ pH เท่ากับ 4 หรือ 7 แล้วทิ้งให้เกิดการตกตะกอนเป็นเวลา 18 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปล้างโดยนำเข้าเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว รอบ 2,500 รอบต่อนาที รินสารละลายใสทิ้งและเติมน้ำกลั่นใหม่ เพื่อล้างสารส่วนเกิน โดยทำการล้างทั้งหมด 3 รอบ แล้ว นำของแข็งที่ได้ไปอบแห้งและชั่งน้ำหนัก ทำการทดลอง จำนวน 2 ซ้ำ การศึกษานี้กำหนดให้สภาวะที่เหมาะสม ในการตกตะกอนซิลิกาด้วยกรดอินทรีย์ คือ สภาวะที่ทำให้ ของแข็งที่ได้จากการตกตะกอนมีปริมาณมากที่สุดและ รายงานผลในหน่วยร้อยละ ซึ่งใช้สูตรคำนวณตามสมการที่ (2)

$$\text{ประสิทธิภาพการตกตะกอนซิลิกา (ร้อยละ)} = \left(\frac{\text{น้ำหนักของแข็งที่ได้จากการตกตะกอน}}{\text{น้ำหนักเถ้าลอยเริ่มต้น}} \right) \times 100 \quad (2)$$

ของแข็งที่ได้จากสภาวะการตกตะกอนที่เหมาะสม



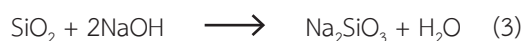
รูปที่ 1 ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวลตาม ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (สภาวะทดลอง คือ อัตราส่วนเถ้าลอยต่อสารละลาย ที่ 1 : 10 อุณหภูมิที่ 100°C และเวลาที่ใช้ 24 ชั่วโมง)

ถูกนำไปศึกษาชนิดของสารที่ได้และองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง X-ray Diffraction (XRD) รุ่น Phillips X’Pert Diffractometer และเครื่อง X-ray Fluorescence (XRF) รุ่น Oxford ED2002 Model

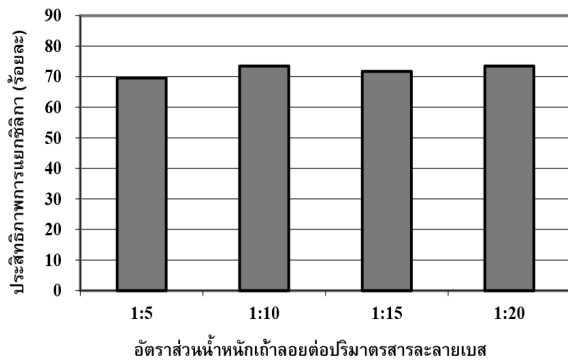
3. ผลการศึกษา

3.1 สภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวล

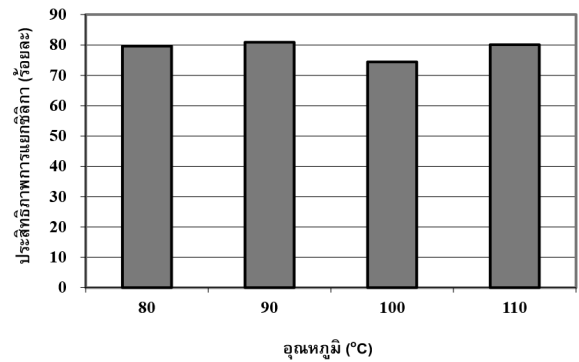
รูปที่ 1 แสดงประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวลตามความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 0.5, 1, 2 และ 3 โมลาร์ โดยพบว่าสามารถแยกซิลิกา จากเถ้าลอยได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายเบส ที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 74 ที่สารละลายเบส เข้มข้น 3 โมลาร์ ผลที่พบนี้เป็นเพราะซิลิกาละลายได้ดี ในสภาวะที่เป็นเบส [4] ดังนั้นเมื่อความเป็นเบสเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ซิลิกาละลายได้ดีขึ้น ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดง ดังสมการที่ (3) [6] และเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 3 โมลาร์ ในงานศึกษาขั้นต่อไป



การศึกษ้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักเถ้าลอยต่อปริมาตร



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากแกลลอลซีมวลตามอัตราส่วนแกลลอลต่อสารละลายเบส (สภาวะทดลองคือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 3 โมลาร์ อุณหภูมิที่ 100°C และเวลาที่ใช้ 24 ชั่วโมง)



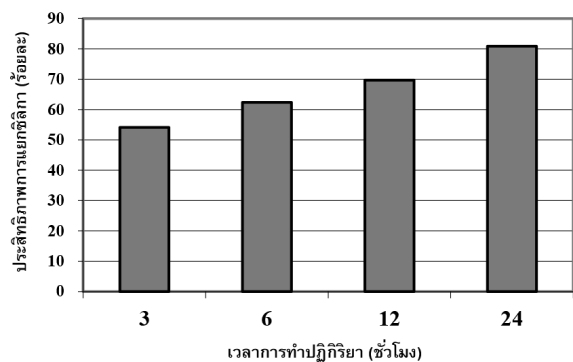
รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากแกลลอลซีมวลตามอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา (สภาวะทดลองคือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 3 โมลาร์ อัตราส่วนแกลลอลต่อสารละลายเบสที่ 1 : 10 และเวลาที่ใช้ 24 ชั่วโมง)

สารละลายเบสที่ 1:5, 1:10, 1:15 และ 1:20 กรัมต่อมิลลิลิตรพบว่าประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากแกลลอลมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 70–74 โดยอัตราส่วนที่ 1 : 10 ขึ้นไปมีแนวโน้มที่ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากอัตราส่วนที่ 1 : 5 (รูปที่ 2) ทั้งนี้เป็นเพราะอัตราส่วนระหว่างแกลลอลและสารละลายเบสจะมีผลต่อการละลายซิลิกาที่ให้ 1) การสัมผัสที่เพียงพอระหว่างแกลลอลและโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ 2) ให้ความแรงไอออนิกที่เหมาะสมสำหรับการแพร่ของไฮดรอกไซด์ไอออนเข้าไปในอนุภาคแกลลอล [7] โดยหากอัตราส่วนต่ำเกินไปจะทำให้แยกซิลิกาจากแกลลอลได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ คือสารละลายเบสไม่เพียงพอที่จะละลายซิลิกาจากแกลลอลได้ทั้งหมดทำให้ประสิทธิภาพการแยกต่ำ แต่หากอัตราส่วนสูงเกินไปอาจส่งผลละลายสารประกอบอื่นๆ ออกมากับซิลิกาด้วย และยังต้องใช้สารเคมีและพลังงานที่มากเกินไปในการแยกซิลิกา ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างแกลลอลและสารละลายเบสที่ 1 : 10 จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานขั้นต่อไป

รูปที่ 3 แสดงผลของอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการแยกซิลิกาจากแกลลอล โดยพบว่าประสิทธิภาพมีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 80 และที่อุณหภูมิ 90°C ให้ค่าสูงสุดที่ร้อยละ 81 หากแต่อุณหภูมิ 100°C ให้ค่าต่ำสุด

ที่ร้อยละ 74 ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการละลายของซิลิกาจากแกลลอล เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้สารหรือโมเลกุลของสารมีการเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นให้พลังงานที่เพียงพอหรือมากกว่าพลังงานก่อกัมมันต์ (Activation Energy; E_a) และทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ต้องการได้ตามการอธิบายด้วยสมการอาร์เรเนียส (Arrhenius Equation) อย่างไรก็ตามงานศึกษานี้ไม่พบผลที่ชัดเจนของอุณหภูมิที่มีต่อการแยกซิลิกาจากแกลลอล ซึ่งอาจเป็นเพราะช่วงอุณหภูมิที่เลือกศึกษาเป็นช่วงที่เหมาะสมในการละลายซิลิกาจากแกลลอลแล้ว นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิที่ 100°C มีค่าที่ต่ำในงานศึกษานี้ยังไม่ทราบเหตุผลที่แน่ชัดนัก ดังนั้นอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 90°C จึงมีความเหมาะสมในการใช้งานขั้นต่อไป

การศึกษาเวลาในการให้ความร้อนเพื่อทำปฏิกิริยาพบว่าประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากแกลลอลซีมวลมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 81 เมื่อใช้เวลานาน 24 ชั่วโมง (รูปที่ 4) เวลาที่มีผลต่อการละลายซิลิกาโดยต้องใช้เวลาที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการละลายซิลิกาได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งหากใช้เวลาทำปฏิกิริยาน้อยเกินไปทำให้ซิลิกาละลายออกมาเพียงบางส่วนและยังคงเหลือซิลิกาในแกลลอลอยู่ แต่หากใช้เวลานานเกินไป อาจเกิดการละลาย



รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการแยกซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวลตามอัตราส่วนเถ้าลอยต่อสารละลายเบส (สภาวะทดลอง คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 3 โมลาร์ อัตราส่วนเถ้าลอยต่อสารละลายเบสที่ 1 : 10 และอุณหภูมิที่ 90°C)

สารประกอบอื่นและทำให้เกิดการปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้นของสารอื่นในซิลิกาที่แยกได้ ดังนั้นเวลาในการให้ความร้อนเพื่อทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง จึงมีความเหมาะสมในงานศึกษานี้

ผลการทดลองข้างต้นพอสรุปเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตซิลิกาจากเถ้าลอยชีวมวล คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 3 โมลาร์ อัตราส่วนระหว่างเถ้าลอยและสารละลายเบส 1 : 10 อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาที่ 90°C และเวลาในการทำปฏิกิริยา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการผลิตซิลิกาจากเถ้าลอยโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมเหล่านี้ เพื่อให้ได้สารละลายโซเดียมซิลิเกตที่จะใช้ต่อไปในขั้นการตกตะกอนซิลิกา

3.2 การตกตะกอนซิลิกาจากสารละลายที่แยกได้

สารละลายไซที่แยกได้จากการทดลองก่อนหน้าถูกนำมาศึกษาการตกตะกอนซิลิกาด้วยกรดอินทรีย์ (กรดซิตริกเข้มข้น 2 โมลาร์ และกรดอะซิติกเข้มข้น) ที่ระดับความเป็นกรดต่าง 2 ระดับ คือ pH เท่ากับ 4 และ 7 โดยสารละลายโซเดียมซิลิเกตทำปฏิกิริยากับกรดแล้วจะตกตะกอนซิลิกาที่มีลักษณะเป็นเจลและเมื่ออบแห้งจะได้ซิลิกาที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว

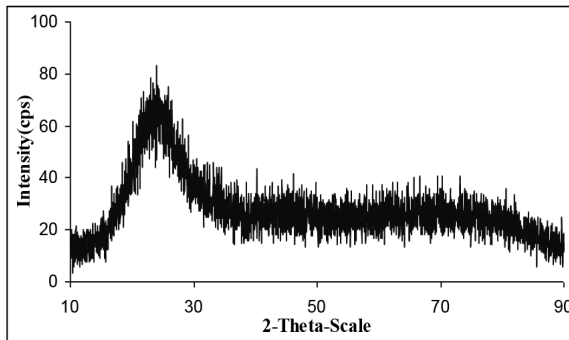
ตารางที่ 1 แสดงร้อยละของซิลิกาที่แยกได้จาก

เถ้าลอยชีวมวลเริ่มต้นเมื่อทำการตกตะกอนด้วยกรดอินทรีย์ โดยประสิทธิภาพการตกตะกอนซิลิกามีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 86.6–98.5 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าค่า pH มีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนซิลิกา โดยการตกตะกอนซิลิกาในสภาวะที่ pH เท่ากับ 4 มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าการใช้สภาวะที่ pH เท่ากับ 7 สำหรับกรดอินทรีย์ทั้งสองชนิดที่ศึกษา ซึ่งชี้ว่าสภาวะที่เป็นกรด (pH = 4) ส่งเสริมให้มีปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H⁺) จำนวนมากขึ้นที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับโซเดียมซิลิเกตและทำให้ตกตะกอนซิลิกาได้ดีกว่าสภาวะที่เป็นกลาง (pH = 7) ผลที่ได้สอดคล้องกับ Kalapathy *et al.* [5] ที่ศึกษาผลของกรด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดซิตริก และกรดออกซาลิก และค่าความเป็นกรดต่าง โดยพบว่าซิลิกาที่ตกตะกอนในสภาวะการตกตะกอนที่เป็นกรดมีซิลิกอนเป็นองค์ประกอบที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับสภาวะที่เป็นกลาง แม้ว่าปริมาณซิลิกาที่ตกตะกอนได้จากเถ้ากลับไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าในช่วงร้อยละ 89–91 อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าร้อยละของซิลิกาที่แยกได้จากเถ้าลอยชีวมวลมีค่าค่อนข้างสูงในงานศึกษานี้ ซึ่งคาดว่าอาจเป็นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งตัวอย่าง (< 100°C) มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิที่จะไล่โมเลกุลน้ำที่ค้างอยู่โครงสร้างของซิลิกา โดยสนับสนุนกับผลการศึกษาของ Kalapathy *et al.* [4] ที่พบว่าซิลิกาที่สกัดได้จากเถ้ากลับและอบแห้งที่ 80°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง มีความชื้นอยู่ร้อยละ 2.6

ตารางที่ 1 ซิลิกาที่ตกตะกอนตามชนิดกรดอินทรีย์และระดับความเป็นกรดต่าง

กรดอินทรีย์	pH	ซิลิกาที่ตกตะกอน (ร้อยละ)
กรดซิตริก 2 โมลาร์	4	98.5
	7	86.6
กรดอะซิติกเข้มข้น	4	91.1
	7	87.8

การใช้กรดซิตริกมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนซิลิกาได้สูงกว่าการใช้กรดอะซิติกสำหรับสภาวะที่ pH เท่ากับ 4 แต่ผลที่ได้ไม่แตกต่างกันนักเมื่อใช้สภาวะที่ pH เท่ากับ 7 ซึ่งคาดว่าอาจเป็นเพราะค่าการแตกตัว (pKa) ที่แตกต่างกันของ



รูปที่ 5 รูปแบบ XRD ของซิลิกาที่แยกจากเถ้าลอยข้าวหมอล

กรดอินทรีย์ทั้งสองที่ให้ผลการตกตะกอนต่างกันสำหรับสภาวะที่เป็นกรด และเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไฮดรอกไซด์ไอออนจำกัด เช่น สภาวะที่เป็นกลางในงานศึกษานี้ พบว่าผลของชนิดกรดอาจถูกทอนลงด้วยปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนที่จำกัดนั่นเอง

ดังนั้นสภาวะการตกตะกอนซิลิกาจากเถ้าลอยข้าวหมอลที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการทดลองนี้ คือ การใช้กรดซิตริกและปรับสภาวะให้มี pH เท่ากับ 4 ซึ่งซิลิกาที่ตกตะกอนได้นี้ถูกนำไปศึกษาคุณภาพต่อไป

3.3 การวิเคราะห์คุณภาพของซิลิกาที่ได้

ของแข็งที่ตกตะกอนได้ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และได้รูปแบบ XRD ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยแสดงว่าของแข็งที่ได้เป็นซิลิกาที่มีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบและมีลักษณะเป็นซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica) ซึ่งสอดคล้องกับงานศึกษาของ Kalapathy *et al.* [4], Kalapathy *et al.* [5] และ Hamdan *et al.* [8] ที่แยกซิลิกาจากเถ้าแกลบและได้ซิลิกาแบบอสัณฐาน

การวิเคราะห์องค์ประกอบของซิลิกาที่แยกได้จากเถ้าลอยข้าวหมอลด้วยเครื่อง XRF แสดงดังตารางที่ 2 โดยพบว่าซิลิกาเป็นองค์ประกอบหลักที่ร้อยละ 95.6 และสารประกอบอื่น (เช่น Al_2O_3 ร้อยละ 1.3 และ NbO ร้อยละ 2.6) รวมประมาณร้อยละ 4.4 ซึ่งซิลิกาที่แยกได้มีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณซิลิกาในเถ้าลอยข้าวหมอลเริ่มต้นที่มีค่าร้อยละ 91.05 [7] ซึ่งงานศึกษาที่เกี่ยวข้องพบว่าสามารถแยกซิลิกาได้บริสุทธิ์สูงถึงร้อยละ 91 เมื่อใช้เถ้าแกลบเป็นวัตถุดิบ

ตั้งต้น [4] นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจว่าซิลิกาที่ตกตะกอนได้นี้ไม่มีองค์ประกอบที่เป็นโซเดียม ซึ่งแสดงว่าสภาวะการตกตะกอนที่ศึกษาช่วยให้โซเดียมไม่ติดค้างอยู่ในซิลิกาผลที่ได้สนับสนุนด้วยงานศึกษาของ Kalapathy *et al.* [5] ที่พบว่า การปรับ pH ของสารละลายโซเดียมซิลิเกตให้เป็นกรด ทำให้ซิลิกาทกผลึกอย่างช้าๆ จากนั้นโซเดียมอาจจะแพร่ออกมาและสามารถล้างออกได้ง่าย ผลที่ได้ทำให้ซิลิกามีความบริสุทธิ์สูงขึ้นและปริมาณโซเดียมลดลง

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของซิลิกาที่แยกจากเถ้าลอยข้าวหมอลด้วยเครื่อง XRF

องค์ประกอบ	ร้อยละ
ซิลิกา (SiO_2)	95.6
อะลูมินา (Al_2O_3)	1.3
ไนโอเบียมออกไซด์ (NbO)	2.6
สารประกอบออกไซด์และสารอื่น	0.5

4. อภิปรายผลและสรุป

การหาวิธีการและสภาวะที่เหมาะสมในการแยกซิลิกาจากเถ้าลอยข้าวหมอลด้วยปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายเบส อัตราส่วนระหว่างเถ้าลอยและสารละลายเบส อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และเวลาในการให้ความร้อน ซึ่งว่าทุกปัจจัยมีผลต่อประสิทธิภาพการละลายซิลิกาจากเถ้าลอย สภาวะที่เหมาะสมในการศึกษานี้ คือ การใช้สารละลายเบสเข้มข้น 3 โมลาร์ อัตราส่วนระหว่างเถ้าลอยและสารละลายเบสเท่ากับ 1 : 10 กรัมต่อมิลลิลิตร การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $90^\circ C$ นาน 24 ชั่วโมง และเมื่อนำมาตกตะกอนโดยการใช้กรดอินทรีย์พบว่าชนิดกรดอินทรีย์ที่มีค่าการแตกตัวที่เหมาะสมและสภาวะที่เป็นกรดช่วยให้ตกตะกอนซิลิกาจากสารละลายได้ดี โดยการใช้กรดซิตริกและสภาวะการตกตะกอนที่ค่า pH เท่ากับ 4 ให้ปริมาณซิลิกาที่มากที่สุด ซิลิกาที่ได้มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 95.6 แต่ซิลิกาที่ตกตะกอนได้มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน

5. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษารั้งนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนจากสำนักงาน

กองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการ
โครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, *Alternative Energy Development Plan (AEDP 2015–2036)*, Bangkok: Ministry of Energy, 2015 (in Thai).
- [2] S. Rattanaveeranon, “Optimal condition for preparation of silica from rice husk ash,” M.S. thesis, Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, 2004 (in Thai).
- [3] P. Pengthamkeerati, T. Satapanajaru, and O. Singchan, “Sorption of reactive dye from aqueous solution on biomass fly ash,” *Journal of Hazardous Materials*, vol. 153, pp. 1149–1156, 2008.
- [4] U. Kalapathy, A. Proctor, and J. Shultz, “A simple method for production of pure silica from rice hull ash,” *Bioresource Technology*, vol. 73, pp. 257–262, 2000.
- [5] U. Kalapathy, A. Proctor, and J. Shultz, “An improved method for production of silica from rice hull ash,” *Bioresource Technology*, vol. 85, pp. 285–289, 2002.
- [6] R. R. Zaky, M. M. Hessien, A. A. El-Midany, M. H. Khedr, E. A. Abdel-Aal, and K. A. El-Barawy, “Preparation of silica nanoparticles from semi-burned rice straw ash,” *Powder Technology*, vol. 185, pp. 31–35, 2008.
- [7] P. Pengthamkeerati, T. Satapanajaru, N. Chatsatapattayakul, P. Chairattanamanokorn, and N. Sananwai, “Alkaline treatment of biomass fly ash for reactive dye removal from aqueous solution,” *Desalination*, vol. 261, pp. 34–40, 2010.
- [8] H. Hamdan, M. N. M. Muhid, S. Endud, E. Listiorini, and Z. Ramli, “²⁹Si MAS NMR, XRD and FESEM studies of rice husk silica for the synthesis of zeolites,” *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 211, no. 1–2, pp. 126–131, 1997.