บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

การวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอสัณฐานซิลิกาจากแกลบ ในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันที่ขยายส่วนจากเตาเผาที่พงษ์ศักดิ์ ฟองเพ็ชร์ (2535) ใช้ในการวิจัย คือจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 เซนติเมตร เป็น 15 เซนติเมตร และส่วนอื่น ๆ ได้ขยายตามแบบไดนามิกเซมิลาริตี้ (dynamic similarity) เนื่องจากการทดลองใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันมาช่วยในการเผาไหม้ การป้อนอากาศต้องคำนึงถึงค่าความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เบดอยู่ในสภาพฟลูอิไดเซชัน จากการทดลองพบว่าค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันของแกลบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.35 เมตร/วินาที ดังนั้นอัตราการป้อนอากาศจึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการทดลอง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงตัวแปรอื่นที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ ปริมาณแกลบที่ป้อนเข้าสู่เตาเผา, อุณหภูมิของการเผาไหม้ และเวลาเผาไหม้ และหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำการ วิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ พื้นที่ผิวจำเพาะ, ความบริสุทธิ์ของซิลิกา, องค์ประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในซิลิกา และรูปแบบของซิลิกา

การคัดขนาดของเม็ดแกลบ

1. จุดประสงค์

เพื่อให้ง่ายต่อการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันจึงต้องทำการคัดขนาดของเม็ดแกลบก่อนนำมาทำการเผาในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน เนื่องจากเม็ดแกลบที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซ์แล้วจะมีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ต่ำกว่า 200 เมช จนถึงมีขนาดมากกว่า 40 เมช และยังมีรูปร่างที่ยากต่อการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันด้วย ขนาดของแกลบเหล่านี้จึงมีผลต่อการเผาไหม้ในสภาวะฟลูอิไดเซชัน เนื่องจากเมื่อเริ่มทำการทดลองป้อนอากาศเข้าสู่ด้านล่างของเตาเผา จะทำให้เม็ดแกลบที่มีขนาดเล็กหรือเป็นผงละเอียดแทรกตัวขึ้นมาด้านบนของเบด และสามารถลอยหลุดออกไปจากเตาได้ ด้วยความเร็วของอากาศที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเตาที่สูงพอ แต่เนื่องจากด้านบนของปากเตานั้นได้ออกแบบให้เป็นฝาเปิดปิดที่มีตาข่ายขนาด 200 เมช กั้นอยู่ ทำให้เม็ดแกลบหรือ

ผงละเอียดเหล่านี้ติดอยู่ที่ตาข่ายไม่ตกกลับลงมาในเตา ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อทางออกของอากาศหรือก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้

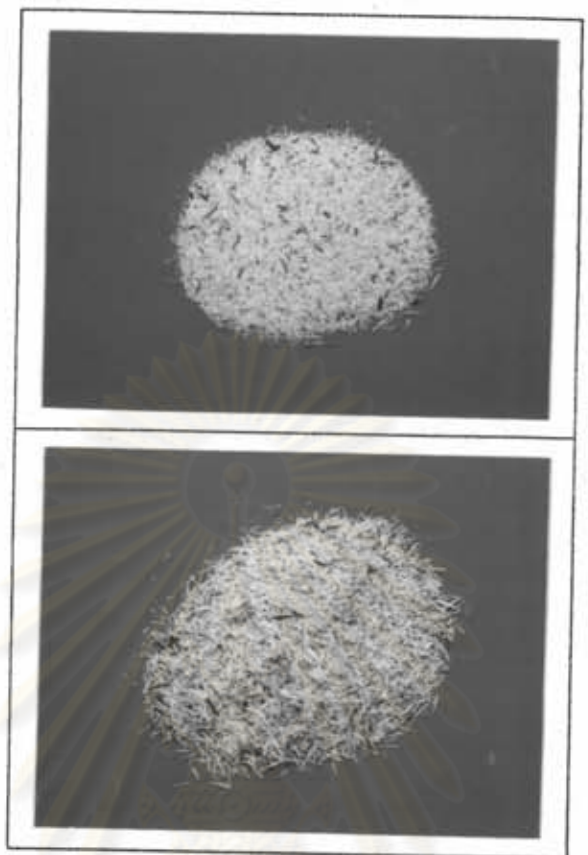
2. วิธีคัดขนาดของแกลบ

เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงต้องทำการแก้ไขโดยทำการร่อนแยกขนาดของเม็ดแกลบที่ผ่านการไพโรไลซิส ก่อนที่จะทำการป้อนแกลบลงเตาเผา โดยแยกส่วนที่เป็นเม็ดแกลบขนาดเล็กและส่วนที่เป็นผงละเอียดออกด้วยการร่อนแยกผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช ดังรูปที่ 3.5 เม็ดแกลบที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่า 60 เมช โดยเฉลี่ยประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และเป็นขนาดที่เหมาะสมในการทำให้เกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันของการทดลองนี้

อัตราการให้ความร้อน

การทดลอง มีการให้ความร้อนแก่เตาฟลูอิไดเซชันด้วยขดลวดความร้อน ประกอบกันสามส่วนคือ ส่วนเพิ่มความร้อนของอากาศ, ส่วนเพิ่มความร้อนที่ส่วนกระจายอากาศ และส่วนเพิ่มความร้อนหลักของเตาเผาฟลูอิไดเซชัน ดังนั้นการควบคุมอัตราการเพิ่มความร้อนจะกระทำได้ง่ายด้วยการปรับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดความร้อนหลักจากเครื่องแปลงไฟฟ้ามีเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ โดยรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิ้ลแล้วตัดต่อการป้อนกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดความร้อนหลักเพื่อรักษาระดับของอุณหภูมิที่ตั้งไว้ แล้วจึงปรับอุณหภูมิให้เพิ่มขึ้นเป็นขั้น ๆ ตามที่กำหนดไว้

พบว่า อัตราการให้ความร้อนจะมีผลกระทบต่อการเผาไหม้ของแกลบอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 280-320 องศาเซลเซียส กล่าวคือ เมื่อให้อัตราการให้ความร้อนแก่แกลบอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการหยุดให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมินี้ ความร้อนที่ให้จะกระตุ้นให้สารระเหยในแกลบเกิดการสลายตัวออกมาอย่างรวดเร็ว แล้วเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงของสารระเหยกับออกซิเจนขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกับอัตราการป้อนอากาศด้วย คือ เมื่อเกิดการเผาไหม้อย่างรุงแรงขึ้นจะมีการคายความร้อนออกมาในปริมาณมาก เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอากาศให้สูงที่เหมาะสมกับการพาเอาปริมาณความร้อนนี้ออกไปจากเตา ก็จะสามารถควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ แต่เนื่องจากเมื่อทำการปรับอัตราการป้อนอากาศให้เพิ่มขึ้นจนอุณหภูมิลดลงมาอยู่ในช่วงที่กำหนดแล้วและทำการปรับอัตราการป้อนอากาศให้ลดลงจะทำให้อุณหภูมิในเตาเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและส่งผลให้เกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงขึ้นอีก ทำให้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพ



ก : อัตราการป้อนอากาศในช่วงอุ่นเตาไม่เหมาะสม

ข : อัตราการให้ความร้อนในช่วงอุ่นเตาไม่เหมาะสม

รูปที่ 5.1 ลักษณะของเถ้าที่เกิดจากอัตราการป้อนอากาศและอัตราการให้ความร้อนไม่เหมาะสม

รูปที่ 5.2 ลักษณะการจับตัวกันของแกลบที่เป็นอุปสรรคต่อการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชัน

ไม่ดี คือจะได้เถ้าที่มีสีดำเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดการหลอมละลายของซิลิกามาเคลือบที่ผิวแกลบ ทำให้คาร์บอนภายในไม่สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจนหมดได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ดังนั้นการให้อัตราการให้ความร้อนแก่แกลบอย่างรวดเร็วจึงไม่เหมาะสมในการผลิต และได้พบว่าถ้ามีการให้ความร้อนแก่แกลบที่ช่วงอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราที่ช้าลง สารระเหยที่อยู่ในแกลบบางส่วนสามารถสลายตัวออกมาอย่างช้า ๆ ก็จะทำให้ไม่เกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงของสารระเหยขึ้น หลังจากนั้นจึงให้ความร้อนแก่แกลบต่อไป โดยปรับเพิ่มอุณหภูมิและมีการชลอการให้ความร้อนแก่แกลบเป็นช่วง ๆ ที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ ดังนี้ ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ชลอการให้ความร้อนแก่แกลบเป็นเวลานาน 5 นาที ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส 10 นาที และที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส 5 นาที ดังในรูปที่ 4.1 และเมื่อเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างช้า ๆ กับการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว พบว่า พื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาที่ได้จากการให้ความร้อนอย่างช้าสูงกว่าการให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว อยู่ประมาณ 38 เปอร์เซ็นต์

<u>การป้อนแกลบ</u>

เพื่อหาปริมาณแกลบที่เหมาะสมกับเตาเผาที่สร้างขึ้นเพื่อผลิตซิลิกา โดยในการทดลองใช้แกลบในปริมาณ 100, 150, 200 และ 300 กรัม แต่เนื่องจากในการทดลองนี้ใช้แกลบในปริมาณมากกว่างานวิจัยของนายพงษ์ศักดิ์ ฟองเพ็ชร์ (2535) เมื่อคิดเทียบจากปริมาณแกลบสูงสุดที่ใช้จากการทดลองครั้งที่แล้ว คือ 60 กรัม ดังนั้นการป้อนแกลบลงในเตาทั้งหมดครั้งเดียวก่อนที่จะทำการอุ่นเตาจนเตาฟลูอิไดซ์เบดมีอุณหภูมิที่ต้องการนั้น จะทำให้ปริมาณของสารระเหยที่ยังมีอยู่ในเนื้อแกลบสลายตัวออกมา เมื่อแกลบได้รับความร้อน ถึงช่วงอุณหภูมิ 280-300 องศาเซลเซียส มีปริมาณมากเกินไปจนสารระเหยเหล่านี้ลอยออกมาทางปากเตาพร้อมกับอากาศที่ป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่างไม่ทัน อาจก่อให้เกิดการระเบิดขึ้นเมื่อสารระเหยทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่ป้อนเข้าไปขณะที่แกลบเริ่มมีการเผาไหม้ มีผลทำให้ไม่สามารถควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิได้ นอกจากนี้ เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการลุกไหม้ของสารระเหยจนอุณหภูมิของเตาสูงเกินอุณหภูมิที่ต้องการ ทำให้แกลบบางส่วนเกิดการหลอมตัวของซิลิกามาเคลือบอยู่ที่ผิวแกลบเป็นผลให้คาร์บอนในแกลบไม่สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนในอากาศที่ป้อนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ (Xu และคณะ) และบางที่อาจทำให้เกิดการจับตัวกัน

เป็นก้อนของแกลบ จากสารระเหยที่ตกกลับลงมาเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำด้านบน ซึ่งขัดขวางการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันขึ้นด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงวิธีการป้อนแกลบเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยการค่อย ๆ ป้อนแกลบลงในเตาเผาที่ละน้อยในช่วงอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เพื่อให้ปริมาณสารระเหยในแกลบที่สลายตัวออกมาสามารถออกไปพร้อมกับอากาศที่ป้อนเข้าไปได้ทัน เพื่อไม่ให้เกิดการลุกไหม้ของสารระเหยจนไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของเตาได้ จากการทดลองเมื่อป้อนแกลบใหม่ลงไปในเตาอุณหภูมิของเตาจะลดลงเพียงเล็กน้อยแล้วอุณหภูมิก็จะสูงขึ้นมาตามเดิม เนื่องจากแกลบใหม่ที่ป้อนเข้าไปมีการดูดความร้อนมาสะสมก่อนแล้วคายความร้อนออกมาเมื่อเกิดปฏิกิริยาทำให้อุณหภูมิในเตาลดลงแล้วจึงเพิ่มขึ้น โดยทำการควบคุมอุณหภูมิของเตาให้ไม่เกิน 250 องศาเซลเซียส จนกระทั่งป้อนแกลบหมดในปริมาณที่ต้องการ แล้วจึงเพิ่มอุณหภูมิต่อไปจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ การป้อนแกลบด้วยวิธีนี้จะทำให้เถ้าที่ได้มีลักษณะไม่เปราะมากนักมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งเบด และทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาได้ง่ายขึ้นด้วย

<u>ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์</u>

1. <u>ปริมาณแกลบในเตา</u>

จากการทดลองทำการเพิ่มปริมาณแกลบจาก 100 กรัม เป็น 150, 200 และ 300 กรัม ที่สภาวะอัตราการป้อนอากาศ 0.15 ลูกบาศก์เมตร/นาที เวลาที่แกลบอยู่ในเตา 3 ชั่วโมง อุณหภูมิของเตา 700 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติดังนี้

พื้นที่ผิวจำเพาะ

จากรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณแกลบในเบดเพิ่มขึ้นจาก 100 กรัม เป็น 150, 200 และ 300 กรัม แนวโน้มของพื้นที่ผิวจำเพาะจะมีค่าลดลง โดยคิดเป็น 4, 14 และ 44 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การที่พื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าลดลงนั้นอาจเนื่องมาจากปริมาณแกลบที่ป้อนเข้าไปมากเกินไปจนทำให้เม็ดแกลบมีโอกาสอยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดคืออุณหภูมิบริเวณด้านล่างของเตาเผานาน ๆ ทำให้ปฏิกิริยาของคาร์บอนกับก๊าซออกซิเจน กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ออกมาจากเนื้อแกลบได้ไม่ค่อยดี ทำให้เกิดส่วนของช่องว่างภายในน้อยลง แต่ที่ปริมาณแกลบน้อยจะสามารถถ่ายเทความร้อนได้ทั่วถึงทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดีและก๊าซที่เกิดขึ้นก็สามารถแพร่ผ่านออกมาได้มาก ทำให้มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง

ความบริสุทธิ์ของซิลิกา

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของความบริสุทธิ์ของซิลิกาเมื่อใช้ปริมาณแกลบ 100, 150 และ 200 กรัม เผาในเตา สามารถวิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของซิลิกาได้มีค่าเท่ากับ 99.8, 99.8 และ 99.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่เมื่อใช้ปริมาณแกลบ 300 กรัม เถ้าที่ได้ยังคงมีสีน้ำตาลอ่อนและมีสีดำปนอยู่เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ แต่ถ้านำส่วนที่ไม่มีคาร์บอนสีดำมาทำการหาค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาในผลิตภัณฑ์ พบว่ามีค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาเป็น 99.4 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าปริมาณแกลบมากเกินไปทำให้การเผาไหม้เกิดได้ไม่ดี จึงได้เถ้าที่มีสีดำเกิดขึ้น

ลักษณะของเถ้า

เมื่อใช้ปริมาณแกลบเผาในเตา 100 กรัม เถ้าที่ได้มีสีขาว ลักษณะเปราะ เมื่อเพิ่มปริมาณแกลบเป็น 150 และ 200 กรัม ยังคงได้เถ้าที่มีสีขาวอยู่ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแกลบเป็น 300 กรัม พบว่าเถ้าที่ได้จะมีสีน้ำตาลอ่อนและมีสีดำปนอยู่เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.2 อาจเนื่องมาจากปริมาณแกลบในเบดมากเกินไป ทำให้แกลบอยู่ในส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำบริเวณใกล้แผ่นกระจายอากาศนานมากจนทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ไม่ดี แสดงให้เห็นว่า การเพิ่มปริมาณแกลบในเบดจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

ลักษณะของผลึก

จากรูปที่ 4.18 ถึง 4.21 เมื่อนำเถ้าที่ได้จากสภาวะต่าง ๆ ไปตรวจสอบด้วยเครื่องเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ จากกราฟดิฟแฟรกโตแกรมไม่มีพีคปรากฏขึ้นมาแสดงว่ารูปของซิลิกายังคงเป็นอสัณฐานซิลิกา แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณแกลบในช่วงนี้ยังไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของซิลิกา ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนรูปของซิลิกาขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ, ระยะเวลาที่ได้รับความร้อน และสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในซิลิกา

2. <u>อัตราการป้อนอากาศ</u>

เพื่อที่จะหาอัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสมในการที่จะทำให้แกลบอยู่ในสภาวะฟลูอิไดเซชันในขณะทำการทดลองและเหมาะสมกับการพาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสารระเหยกับก๊าซออกซิเจนออกไปด้วย ในช่วงที่ทำการอุ่นเตาตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ได้ใช้อัตราการป้อนอากาศ 0.27, 0.32 และ 0.42 ลูกบาศก์เมตร/นาที ซึ่งมีค่าเทากับ 1.18, 1.42 และ 2.16 เท่าของความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.40 เมตร/วินาที จากการทดลองในงานวิจัย

นี้ได้เลือกใช้อัตราการป้อนอากาศเป็น 0.42 ลูกบาศก์เมตร/นาที ในช่วงที่ทำการอุ่นเตา เพราะทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในเตามีเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4.1

การเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันที่ดีขึ้นกับความเร็วของอากาศที่ป้อนผ่านพื้นที่หน้าตัดของเบด ถ้าความเร็วสูงเม็ดแกลบที่อยู่ภายในเบดเกิดการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วทำให้เบดมีการขยายตัวสูงขึ้น ดังนั้นสัดส่วนช่องว่างของเบดจึงเพิ่มขึ้น โอกาสที่เม็ดแกลบจะได้รับพลังงานความร้อนจากผนังเตาน้อยลง เนื่องจากสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผนังเตากับเม็ดแกลบน้อยลง (สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, 2528) นอกจากนี้บริเวณพื้นที่ที่อากาศจะปรับเปลี่ยนอุณหภูมิจาก 300 องศาเซลเซียส เป็น 700 องศาเซลเซียส จะต้องกว้างขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพลดลง แต่ถ้าความเร็วลมของอากาศที่ป้อนผ่านพื้นที่หน้าตัดของเบดมีค่าต่ำกว่าค่าความเร็วลมต่ำสุดในการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชัน ความเร็วนี้จะไม่สามารถทำให้มีการเคลื่อนที่ของเม็ดแกลบขึ้นมาด้านบนของเบด ซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าด้านล่าง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพต่ำ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการแปรค่าอัตราการป้อนอากาศ หลังจากที่อุณหภูมิของเตาเพิ่มถึง 600 องศาเซลเซียสแล้ว ได้ทดลองป้อนอากาศด้วยอัตรา 0.15, 0.27 และ 0.32 ลูกบาศก์เมตร/นาที ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.15, 2.06 และ 2.47 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันของแกลบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ความเร็วต่ำสุดในการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันของแกลบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เท่ากับ 0.35 เมตร/วินาที) สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิภายในของเบด 700 องศาเซลเซียส เวลาที่แกลบอยู่ในเตา 3 ชั่วโมง และปริมาณแกลบที่ใช้คือ 100 กรัม ผลกระทบของอัตราการป้อนอากาศที่มีต่อผลิตภัณฑ์เป็นดังนี้

พื้นที่ผิวจำเพาะ

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า พื้นที่ผิวจำเพาะของเถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่ออัตราการป้อนอากาศเปลี่ยนแปลง โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแล้วลดลง คือเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอากาศจาก 0.10 ลูกบาศก์เมตร/นาที (สภาวะเบดนิ่ง มีค่าความเร็วเทียบกับค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันของแกลบที่ 600 องศาเซลเซียส เป็น 0.74 เท่า) เป็น 0.15 ลูกบาศก์เมตร/นาที พื้นที่ผิวจำเพาะจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนอากาศจาก 0.15 ลูกบาศก์เมตร/นาที เป็น 0.27 และ 0.32 ลูกบาศก์เมตร/นาที พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากความเร็วลมที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดของเบดเพิ่มขึ้น ทำให้ช่องว่างเพิ่มขึ้นระยะห่างระหว่างแกลบก็กว้างขึ้น จึงเป็นการทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนลดลง ส่งผลให้คาร์บอนในแกลบสลายตัวไม่สมบูรณ์ พื้นที่ผิวจำเพาะจึงน้อย

ความบริสุทธิ์ของซิลิกา

จากตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่าอัตราการป้อนอากาศเพิ่มขึ้นไม่ได้ทำให้ความบริสุทธิ์ของซิลิกาเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ได้อยู่ในช่วง 99.6 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าอัตราการป้อนอากาศมีผลต่อความบริสุทธิ์ของซิลิกาน้อยมาก

ลักษณะของเถ้า

เผาแกลบที่ผ่านการไพโรไลซิสแล้วในสภาวะฟลูอิไดเซชันที่อัตราการป้อนอากาศ 0.10, 0.15, 0.27 และ 0.32 ลูกบาศก์เมตร/นาที อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส โดยให้แกลบอยู่ในเตาเป็นเวลานาน 3 ชั่วโมง พบว่าเถ้าที่ได้มีสีขาวเหมือนกันหมด (รูปที่ 4.3) แสดงให้เห็นว่าอัตราการป้อนอากาศในช่วงที่ทำการทดลอง ไม่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มากนัก

ลักษณะของผลึก

จากรูปที่ 4.18, และ 4.25 ถึง 4.27 แสดงกราฟดิฟแฟรกโตแกรมของเถ้าที่อัตราการป้อนอากาศต่าง ๆ เห็นได้ว่าที่ช่วงของอัตราการป้อนอากาศนี้ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนรูปของซิลิกาจากอสัณฐานเป็นรูปผลึก เนื่องจากกราฟที่ได้วิเคราะห์เถ้าที่ผลิตนั้นไม่มีพีคที่ชี้ให้เห็นว่าเป็นรูปผลึกเลย ซิลิกาที่ได้นี้ยังคงเป็นอสัณฐานซิลิกาอยู่

3. <u>อุณหภูมิภายในเบด</u>

อุณหภูมิภายในเบดเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จะต้องมีพลังงานความร้อนระดับหนึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ ช่วงกว้างของอุณหภูมิภายในเตาก็เป็นตัวแปรที่สำคัญ ถ้าช่วงกว้างของอุณหภูมิที่ต้องการกว้าง โอกาสที่แกลบเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก็มากขึ้น ดังนั้นเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการผลิตอสัณฐาน ซิลิกาให้มีคุณภาพสูง จึงได้ทำการทดลองแปรค่าอุณหภูมิจาก 600 ถึง 750 องศาเซลเซียส ได้ผลการทดลองดังนี้

ทำการทดลองที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 600 ถึง 750 องศาเซลเซียส ที่สภาวะดังนี้ ใช้ปริมาณแกลบ 100 กรัม ที่อัตราการป้อนอากาศ 0.15 และ 0.32 ลูกบาศก์เมตร/นาที เวลาที่แกลบอยู่ในเตา 3 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ ที่ได้มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

พื้นที่ผิวจำเพาะ

ตารางที่ 4.4, 4.6 และรูปที่ 4.10 แสดงค่าของพื้นที่ผิวจำเพาะของผลิตภัณฑ์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 600 ถึง 700 องศาเซลเซียส ซึ่งการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวจำเพาะนี้อาจเกิดขึ้นจากคาร์บอนที่อยู่ในแกลบเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออก

ไปได้รวดเร็ว ทำให้เกิดช่องว่างภายในเพิ่มขึ้น เมื่อทำการวัดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยก๊าซไนโตรเจน โมเลกุลของก๊าซสามารถเข้าไปแทรกตัวอยู่ได้มาก และผลการทดลองที่ได้ก็สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ James และ Rao (1986) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 700 เป็น 750 องศาเซลเซียส พบว่าพื้นที่ผิวจำเพาะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากคาร์บอนที่อยู่ในเม็ดแกลบได้สลายตัวออกไปจนหมด พื้นที่ผิวจำเพาะไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีก นอกจากนี้ปริมาณความร้อนที่ได้รับเพิ่มขึ้นยังมีผลให้เกิดการแข่งกันเพิ่มขนาดอนุภาคของซิลิกา (coarsenning) ทำให้ช่องว่างถูกเบียดให้แคบลงพื้นที่ผิวจำเพาะที่วัดได้จึงมีค่าลดลงด้วย จะเห็นได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (รูปที่ 4.12, 4.14, 4.15 และ 4.17) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ James และ Rao (1986) นอกจากนี้ยังพบว่าที่อัตราการป้อนอากาศ 0.15 ลูกบาศก์เมตร/นาที แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวจำเพาะมี มากกว่าที่อัตราการป้อนอากาศ 0.32 ลูกบาศก์เมตร/นาที

ความบริสุทธิ์ของซิลิกา

ความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ได้จากสภาวะต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกันมาก คืออยู่ในช่วง 99.4 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.4 และ 4.6) แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิไม่มีอิทธิพลทำให้สิ่งเจือปนที่มีอยู่ในซิลิกาลดลง เนื่องจากสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในซิลิกาสามารถถูกทำให้ลดลงได้ในขั้นตอนการสกัดสารอนินทรีย์เท่านั้น

ลักษณะเถ้า

เมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เถ้าที่ได้จะมีสีขาวและอาจมีสีน้ำตาลอ่อนปนอยู่เล็กน้อย (รูปที่ 4.4 และ 4.6) แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 650, 700 และ 750 องศาเซลเซียส เถ้าที่ได้จะมีสีขาว แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในเตาเพิ่มสูงขึ้น การเกิดปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับก๊าซออกซิเจน กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออไซด์ได้รวดเร็วขึ้น ทำให้เถ้าที่ได้เปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนกลายเป็นสีขาวจนหมด

ลักษณะของผลึก

จากรูปที่ 4.18, 4.22 ถึง 4.24, 4.27 และ 4.31 ถึง 4.33 แสดงกราฟดิฟแฟรกโตแกรมของเถ้า พบว่า อุณหภูมิในช่วงที่ทำการทดลองคือ 600 ถึง 750 องศาเซลเซียส และเวลาที่แกลบอยู่ในเตา 3 ชั่วโมง ไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปของซิลิกาจากอสัณฐานซิลิกาเป็นรูปผลึก ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ทำการทดลองยังไม่สูงพอที่จะทำให้เกิดผลึกของซิลิกา และช่วงเวลาที่แกลบอยู่ในเตาเผาไม่นานมากนัก ซึ่งจากผลงานวิจัยของ Nakata และคณะ (1989) พบว่าที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการเผา 1 ชั่วโมง โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 100 มิลลิลิตร/นาที มีการเปลี่ยนรูปของซิลิกาจากอสัณฐานเป็นผลึกรูปคริสโตบาไลต์และไตรดิไมท์ได้

4. เวลาเผาไหม้

เวลาที่เม็ดแกลบอยู่ในเตาและได้รับความร้อน เป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการสลายตัวของสารอินทรีย์และคาร์บอนที่อยู่ในแกลบ เวลาที่แกลบอยู่ในเตานานขึ้น ออกซิเจนจากอากาศที่ป้อนเข้าไปจะสามารถแพร่เข้าไปทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่อยู่ในส่วนลึกของเนื้อแกลบได้ดีขึ้น ส่งผลให้คาร์บอนทำปฏิกิริยากลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่ผ่านออกมาจากในเนื้อแกลบได้สมบูรณ์ แต่ถ้าเวลาที่แกลบอยู่ในเตาและได้รับความร้อนนานเกินไปก็จะมีผลต่อการเพิ่มขนาดของอนุภาคของซิลิกาที่ได้ เป็นเหตุให้พื้นที่ผิวของซิลิกาลดลง และอาจก่อให้เกิดการรวมตัวเป็นผลึกขึ้นได้ งานวิจัยนี้ได้ทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการผลิตอสัณฐานซิลิกาให้ได้คุณภาพสูง โดยทำการแปรค่าเวลาในช่วง 1 ถึง 4 ชั่วโมง

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้ทำการเผาแกลบในสภาวะฟลูอิไดเซชัน โดยมีอัตราการป้อนอากาศ 0.15 และ 0.27 ลูกบาศก์เมตร/นาที ใช้อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ปริมาณแกลบ 100 กรัม และให้เวลาที่แกลบอยู่ในเตานาน 1 ถึง 4 ชั่วโมง ผลกระทบของเวลาที่แกลบอยู่ในเตาต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นดังนี้

พื้นที่ผิวจำเพาะ

จากตารางที่ 4.5, 4.7 และ รูปที่ 4.11 พบว่า เมื่อให้แกลบอยู่ในเตาเป็นเวลา 1 ถึง 4 ชั่วโมง โดยมีอัตราการป้อนอากาศ 0.15 และ 0.27 ลูกบาศก์เมตร/นาที พื้นที่ผิวจำเพาะจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่งแล้วลดลง เมื่อให้แกลบอยู่ในเตานาน 1 ถึง 3 ชั่วโมง พื้นที่ผิวจำเพาะจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังเช่นเพิ่มเวลาขึ้นจาก 1 เป็น 2 ชั่วโมง พื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นคิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มเวลาจาก 1 เป็น 3 ชั่วโมงพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นคิดเป็น 46 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการเผาเป็น 4 ชั่วโมง พื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาจะมีแนวโน้มลดลง โดยเมื่อใช้เวลาเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 4 ชั่วโมง พื้นที่ผิวจำเพาะจะลดลงคิดเป็น 17 เปอร์เซ็นต์ การลดลงของพื้นที่ผิวจำเพาะสามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงการจัดตัวของอนุภาคซิลิกาและการเพิ่มขนาดของอนุภาคซิลิกา ดังแสดงในรูปที่ 4.12, 4.13, 4.15 และ 4.16 ซึ่งจะเห็นว่าขนาดของรูพรุนมีขนาดเล็กลงเมื่อใช้เวลาในการเผานานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ James และ Rao (1986) ที่รายงานไว้ว่า เมื่อเวลาที่ใช้ในการเผาเพิ่มขึ้น พื้นที่ผิวจำเพาะจะลดลงและมีปริมาณผลึกของซิลิกาในเถ้าเพิ่มขึ้นด้วย

ความบริสุทธิ์ของซิลิกา

ความบริสุทธิ์ของซิลิกามีค่าใกล้เคียงกันมาก (ตารางที่ 4.5 และ 4.7) โดยเมื่อวิเคราะห์เถ้าแล้วพบว่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาอยู่ในช่วง 99.6 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าเวลาที่

ใช้ในการเผาแกลบเพิ่มขึ้น ไม่ได้มีผลต่อความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ได้ ไม่ว่าจะใช้อัตราการป้อนอากาศ 0.15 หรือ 0.27 ลูกบาศก์เมตร/นาที

ลักษณะของเถ้า

แกลบเมื่อถูกเผาในเตาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อัตราการการป้อนอากาศ 0.15 และ 0.27 ลูกบาศก์เมตร/นาที เถ้าที่ได้จะมีสีขาวเหมือนกัน (รูปที่ 4.5 และ 4.7) แสดงว่าคาร์บอนที่อยู่ในแกลบซึ่งเป็นตัวที่ทำให้แกลบมีสีดำนั้นได้สลายตัวออกไปจนเกือบหมด และเมื่อทำการทดลองต่อโดยให้เวลาที่ทำการเผานานขึ้นจาก 1 ชั่วโมง เป็น 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ก็ยังคงได้เถ้าที่มีสีขาวอยู่เช่นเดิม

ลักษณะของผลึก

จากรูปที่ 4.18, 4.26, 4.28 ถึง 4.30 และ 4.34 ถึง 4.36 ซึ่งแสดงกราฟดิฟแฟรกโตแกรมของเถ้าซิลิกาที่ผลิตได้ เห็นได้ว่า เมื่อให้แกลบอยู่ในเตาเป็นเวลานานถึง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการป้อนอากาศ 0.15 และ 0.27 ลูกบาศก์เมตร/นาที ก็ไม่มีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปของซิลิกาจากอสัณฐานซิลิกาไปเป็นรูปผลึก แต่ถ้าใช้เวลาเพิ่มขึ้นมากกว่านี้โอกาสที่จะเกิดการเปลี่ยนเป็นรูปผลึกสามารถจะเกิดขึ้นได้ เนื่องจากการเกิดผลึกของซิลิกานั้นขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้เป็นสำคัญ ดังเช่นในผลงานวิจัยของ Kapur (1981) พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส และใช้เวลานาน 15 ชั่วโมง จะพบผลึกรูปควอทซ์เกิดขึ้น และในผลงานวิจัยของ Nakata และคณะ (1989) เมื่อใช้อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการเผา 1 ชั่วโมง จะพบผลึกรูปคริสโตบาไลต์และไตรดิไมต์ในเถ้าที่ได้

<u>โครงสร้างและขนาดอนุภาคของซิลิกา</u>

จากกราฟดิฟแฟรกโตแกรมของซิลิกาที่ได้ เมื่อนำมาคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$d_0 = 0.9X / (B \cos\theta) \qquad (1)$$

เมื่อ d_0 คือ ขนาดอนุภาคขั้นต้นของซิลิกา, นาโนเมตร

X คือ ความยาวคลื่นของ Cu K_α = 0.154 นาโนเมตร

$B = 1/2 (2\theta_{max} - 2\theta_{min})\pi/180$ ที่ประมาณความสูงครึ่งหนึ่งของยอดพีค

พบว่าขนาดอนุภาคขั้นต้นของซิลิกาอยู่ในช่วงไม่เกิน 2 นาโนเมตร และเมื่อนำมาเทียบกับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาที่วัดได้จากการดูดซับไนโตรเจน (BET, N_2) สามารถคำนวณขนาดอนุภาคขั้นที่สองได้ประมาณ 7-10 นาโนเมตร โดยสมมุติฐานว่าโครงสร้างของอนุภาคซิลิกาเกาะกันเป็นก้อนทรงกลม และจากรูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าขนาดของรูพรุนเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงขนาดแสดงว่าในระดับที่เล็กลงไปต้องมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน ซึ่งจะต้องมีการศึกษาต่อไปในขั้นที่ละเอียดมากกว่านี้

<u>สิ่งเจือปนที่มีอยู่ในซิลิกา</u>

ปริมาณของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในซิลิกา ขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสารอนินทรีย์ออกจากแกลบ ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร เป็นตัวสกัดสารอนินทรีย์ออกจากแกลบโดยใช้เวลาในการสกัดนาน 3 ชั่วโมง เนื่องจากสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในแกลบนี้มีผลที่จะช่วยเร่งการเกิดผลึกของซิลิกาได้รวดเร็วขึ้น จากการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ พบว่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาที่ได้อยู่ในช่วง 99.6± 0.2 เปอร์เซ็นต์ และจากตารางที่ 4.8 ซึ่งแสดงถึงองค์ประกอบของสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในซิลิกา โดยทำการวิเคราะห์หาสิ่งเจือปนในรูปของสารประกอบออกไซด์เฉลี่ยได้ดังนี้ โปตัสเซียมออกไซด์ 0.025 เปอร์เซ็นต์, แคลเซียมออกไซด์ 0.205 เปอร์เซ็นต์, แมงกานีสออกไซด์ 0.006 เปอร์เซ็นต์ และ เหล็กออกไซด์ 0.023 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ยังพบว่าความบริสุทธิ์ของซิลิกาน่าจะมีความสัมพันธ์กับค่าของพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาที่ได้ด้วย จากตารางที่ 4.2 ถึง 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อความบริสุทธิ์ของซิลิกามีค่าสูงค่าของพื้นที่ผิวจำเพาะของซิลิกาก็จะมีค่าสูงด้วยเช่นกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อไม่มีสิ่งเจือปนที่จะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ปฏิกิริยาก็สามารถเกิดได้อย่างสมบูรณ์ทำให้เกิดพื้นที่ผิวจำเพาะได้อย่างสมบูรณ์ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะที่ได้จึงมีค่าสูงขึ้นด้วย

<u>สมดุลมวลสาร</u>

จากการทดลองพบว่า เมื่อนำแกลบที่ผ่านการล้างน้ำสะอาดและอบแห้งแล้วปริมาณ 100 กรัม มาทำการต้มสกัดสารอินทรีย์และอนินทรีย์ออกบางส่วนแล้วล้างกรดออกและทำการอบแห้งแล้ว จะได้ปริมาณแกลบออกมาประมาณ 70 กรัมของแกลบที่ล้างน้ำสะอาด 100 กรัม และ

เมื่อนำแกลบที่ผ่านการสกัดสารออกแล้วปริมาณ 70 กรัม มาผ่านการไพโรไลซ์ จะพบว่าได้ส่วนที่เป็นถ้าแกลบดำออกมาปริมาณประมาณ 35 กรัม เมื่อผ่านการร่อนแยกขนาดแล้วจะได้ขนาดที่ต้องการประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของแกลบที่ผ่านการไพโรไลซ์แล้ว ดังนั้นถ้าใช้แกลบที่ผ่านการไพโรไลซ์แล้ว 35 กรัม ก็จะได้แกลบที่มีขนาดที่ต้องการออกมาประมาณ 31.5 กรัม เมื่อนำแกลบที่ผ่านการร่อนแยกขนาดแล้วปริมาณ 31.5 กรัม มาเผาในเตาฟลูอิไดเซชันจะทำให้ได้ซิลิกาออกมาประมาณ 6-7 กรัม ส่วนน้ำหนักที่หายไปนั้นอาจเนื่องจากการสูญเสียในระหว่างการป้อนแกลบ การลอยไปอยู่ในส่วนดักฝุ่นในระหว่างการเผาไหม้ประมาณ 5-10 กรัม การกลายไปเป็นก๊าซผลิตภัณฑ์ และการลอยขึ้นมาติดค้างอยู่ที่ตะแกรงปากเตาและที่ลอยหลุดออกมาจากทางปากเตา ซึ่งเป็นปริมาณที่มากพอสมควรจึงควรมีการแก้ไขต่อไปในอนาคต ดังนั้นในการทดลองนี้ถ้าใช้ปริมาณแกลบที่ล้างสะอาดแล้ว 100 กรัม สามารถจะผลิตเป็นซิลิกาได้ปริมาณ 6-7 กรัม

<u>สภาวะที่เหมาะสม</u>

จากงานวิจัยและการทดลองทั้งหมด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตอสัณฐานซิลิกาในเตาเผาขนาดขยายส่วนที่ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงนั้น ควรใช้แกลบที่ผ่านขั้นตอนต่าง ๆ คือ ใช้แกลบที่ผ่านการล้างทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกและเศษใบไม้หรือเศษผงออกก่อน แล้วนำมาผ่านการต้มกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมล/ลิตร เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ออกบางส่วนเช่นพวกเซลลูโลสและแร่ธาตุต่าง ๆ จนเหลือปริมาณสิ่งเจือปนต่าง ๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม โปตัสเซียม เหล็ก อยู่น้อย และทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้มีความบริสุทธิ์สูง นอกจากนี้ยังช่วยให้ซิลิกาไม่เกิดการรวมตัวเป็นรูปผลึกได้ง่ายด้วย เพราะว่าสิ่งเจือปนอาจเป็นตัวช่วยเร่งให้มีการสร้างรูปผลึกขึ้นถ้ามีอยู่ในปริมาณที่สูง หลังจากนั้นนำแกลบที่ผ่านการต้มกับกรดไฮโดรคลริกแล้ว ไปไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศของก๊าซไนโตรเจน เป็นเวลา 15 นาที เพื่อไล่สารระเหยออกจากแกลบก่อน เป็นการลดปริมาณสารระเหยที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน เพราะสารระเหยเหล่านี้จะเป็นตัวสำคัญในการขัดขวางการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันและจะทำให้ยากต่อการควบคุมอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเบดเนื่องจากสารระเหยสามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนจากอากาศที่ป้อนเข้ามาให้พลังงานความร้อนจำนวนมากยากต่อการควบคุมอุณหภูมิภายในเบด การไพโรไลซ์ทำให้ปริมาณสารระเหยในแกลบลดลงจากประมาณ 52.8 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการนำไปเผาในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน

การนำแกลบที่ผ่านการไพโรไลซ์แล้วมาเผาในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน ต้องคัดขนาดของแกลบให้เหมาะสมกับการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชัน จากการทดลองพบว่า แกลบที่มีขนาดใหญ่กว่า 60 เมชขึ้นไป เป็นขนาดที่เหมาะสมในการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันในเตาเผา นอกจากนี้การเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิไดเซชันจะต้องคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสมของ อัตราการให้ความร้อน, ปริมาณแกลบในเตา, อัตราการป้อนอากาศ, อุณหภูมิภายในเบด และเวลาเผาไหม้ด้วย ซึ่งเกณฑ์ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมจะดูจากคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ควรมีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 400 ถึง 500 ตารางเมตร/กรัม มีความบริสุทธิ์ของซิลิกาไม่ต่ำกว่า 99.5±0.1 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเถ้าที่ได้ควรมีสีขาวทั้งหมดและเป็นอสัณฐานซิลิกา เป็นซิลิกาชนิดที่มีคุณภาพสูงและมีราคาแพง เป็นที่ต้องการของตลาดการค้า

จากการทดลองพบว่า อัตราการให้ความร้อนแก่แกลบที่เหมาะสมนั้นจะต้องทำให้แกลบสามารถปลดปล่อยสารระเหยที่เหลืออยู่ออกมาและสลายตัวไปอย่างช้า ๆ มีการควบคุมการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอย่างเป็นขั้น ๆ ทำให้แกลบมีการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ในการทดลองนี้เลือกใช้อัตราการให้ความร้อนที่มีการหยุดให้ความร้อนเป็นช่วง ๆ ดังในรูปที่ 4.5 เพราะเป็นการให้อัตราการให้ความร้อนอย่างสม่ำเสมอไม่มีการเกิดการเผาไหม้อย่างรุนแรงขึ้น

ปริมาณแกลบที่เหมาะสมในการผลิตซิลิกาจะอยู่ในช่วง 100 ถึง 150 กรัม เป็นช่วงที่ให้ซิลิกาที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 420 ถึง 490 ตารางเมตร/กรัม มีความบริสุทธิ์ของซิลิกาอยู่ในช่วง 99.6 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ เถ้าซิลิกาที่ได้จะมีสีขาวหมด และอยู่ในรูปอสัณฐานซิลิกาทั้งหมด

อัตราการป้อนอากาศในช่วงที่ทำการอุ่นเตาจากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 0.42 ลูกบาศก์เมตร/นาที จากการทดลองพบว่าเป็นค่าที่ทำให้อุณหภูมิภายในเบดเปลี่ยนแปลงไม่มากนักและมีการเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปตามอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ส่วนอัตราการป้อนอากาศในการเผาไหม้ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 0.15 ถึง 0.27 ลูกบาศก์เมตร/นาที มีค่าเท่ากับ 1.15 ถึง 2.06 เท่าของค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชันของแกลบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส โดยในช่วงนี้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 440 ถึง 490 ตารางเมตร/กรัม มีความบริสุทธิ์ของซิลิกาอยู่ในช่วง 99.6 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาที่ได้มีสีขาวหมด และอยู่ในรูปอสัณฐานซิลิกา ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่า ค่าความเร็วที่เหมาะสมในการทำให้เกิดปฏิกิริยาในสภาวะฟลูอิไดเซชันควรมีค่ามากกว่าค่าความเร็วต่ำสุดประมาณ 1.5 เท่า

อุณหภูมิภายในเบดที่เหมาะสมในการผลิตซิลิกาอยู่ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 400 ถึง 490 ตารางเมตร/กรัม มี

ความบริสุทธิ์ของซิลิกาอยู่ในช่วง 99.6 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของเถ้ามีสีขาว และเมื่อตรวจดูลักษณะของรูปผลึกพบว่าเป็นอสัณฐานซิลิกา

และเวลาเผาไหม้ที่เหมาะสมในการผลิตควรนาน 3 ชั่วโมง เนื่องจากถ้าใช้เวลาน้อยไปแกลบจะมีการสลายตัวของคาร์บอนไม่สมบูรณ์ทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะที่ได้มีค่าต่ำ และถ้าใช้เวลาในการเผานานเกินไปก็จะทำให้พื้นที่ผิวจำเพาะมีค่าลดลง เนื่องจากการขยายขนาดของอนุภาคซิลิกาและเกิดการเปลี่ยนแปลงการจัดตัวของอนุภาคซิลิกาด้วย จากการทดลองเมื่อให้แกลบอยู่ในเตานาน 3 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะอยู่ในช่วง 400 ถึง 490 ตารางเมตร/กรัม มีความบริสุทธิ์ของซิลิกา 99.6 ถึง 99.8 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเถ้าที่ได้จะมีสีขาวและเป็นอสัณฐานซิลิกา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย