

สรุป และข้อเสนอแนะ

ในช่วงเริ่มต้นของการคาร์บอนไนซ์แกลบนินฟลูอิดไคต์เบตต้องมีการควบคุมสภาวะในระบบ เนื่องจากสารระเหยที่ปลดปล่อยออกมาจากแกลบน สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ความร้อนออกมา อุณหภูมิภายในเบตจะเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วจึงควบคุมอุณหภูมิได้ยาก และเบตของแกลบนในช่วงเริ่มต้นจะเกิดลักษณะเป็นช่อง(chaneling) หรือเกิดฟองก๊าซ สลับกับชั้นของเม็ดแกลบน(slugging)จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่สม่ำเสมอ จึงต้องป้อนก๊าซ ในช่วงเริ่มต้นให้สูงพอที่ทำให้เกิดสภาวะฟลูอิดไคเซชัน โดยมีการควบคุมอัตราการให้ความร้อน และปริมาณออกซิเจนด้วย

ในงานวิจัยนี้ใช้อัตราเร็วในการป้อนก๊าซช่วงเริ่มต้น 3 เมตรวินาที ปริมาณออกซิเจนในระบบต่ำกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ และมีการหยุดให้ความร้อนเป็นช่วงๆ จากอุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดการปลดปล่อยสารระเหยออกมาจากแกลบนอย่างช้าๆ สามารถที่จะควบคุมอุณหภูมิภายในเบตได้

ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

1. ปริมาณแกลบน

การเพิ่มปริมาณแกลบนในเบตจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้น สารระเหย และอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์เถ้า และคาร์บอนคงตัวมีแนวโน้มลง ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมีเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณสารระเหยในกระแสก๊าซจะเพิ่มขึ้นตามความสูงของเบต แรงผลักดันที่ทำให้เกิดการแพร่ของสารอินทรีย์ออกจากเม็ดแกลบนน้อยลง การหมุนวนอย่างอิสระของเม็ดแกลบนจะทำให้สารระเหยสู่กระแสก๊าซอย่างช้าๆ จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณสมบัติต่างๆ แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ปริมาณแกลบนจึงไม่ค่อยมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

2. อัตราการป้อนก๊าซ

การป้อนก๊าซให้ไหลผ่านเบตเร็วขึ้นจะทำให้เกิดสภาวะปั่นป่วนภายในเบตเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดผสมแบบย้อนกลับ และบริเวณผิวหน้าเม็ดแกลบนจะเกิดชั้นฟิล์มใหม่ เพราะการหมุนวนของเม็ดแกลบนจะมีการสลัดชั้นฟิล์มเก่าออกอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะช่วยให้มีแรงผลักดันของการแพร่ของ

สารระเหยออกสู่อากาศ และมีการถ่ายเทมวลสารออกสู่กระแสก๊าซได้ดีขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้น สารระเหย และอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอนลดลง ในกรณีของถ้ำ และคาร์บอน พบว่าเปอร์เซ็นต์มีแนวโน้มสูงขึ้น

3. เวลา

ในงานวิจัยพบว่า การคาร์บอนไนซ์แกลบที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส โดยให้เวลาอยู่ในเตานานขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวทางความร้อนเพิ่มขึ้น เพราะจะมีการถ่ายเทความร้อนผ่านเข้าสู่แกนกลางของเม็ดแกลบมากขึ้น อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นและเกิดการสลายตัวของสารอินทรีย์ที่ประกอบเป็น โครงสร้างของแกลบ สารระเหยจะแพร่ผ่านชั้น โครงสร้างออกสู่ภายนอกตลอดเวลา ทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในแกลบลดลงเรื่อยๆ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้น สารระเหย และอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอน มีแนวโน้มลดลงมาก สำหรับเปอร์เซ็นต์ถ้ำ และคาร์บอนที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์จะให้แนวโน้มเพิ่มขึ้น แนวโน้มคุณสมบัติที่เวลานานๆจะค่อนข้างเปลี่ยนแปลงน้อย เพราะสารระเหยจากแกนกลางจะแพร่ผ่านออกมาได้ช้า

4. อุณหภูมิ

จากผลการทดลองจะเห็นว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการคาร์บอนไนซ์ 300 องศาเซลเซียส คุณสมบัติจากการวิเคราะห์โดยประมาณมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ส่วนการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 ถึง 600 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์มาก เพราะการใช้อุณหภูมิสูงจะมีความร้อนไหลเข้าสู่เม็ดแกลบดีขึ้น มีการสลายตัวของเซลลูโลส และลิกนิน ที่เป็นโครงสร้างโดยส่วนใหญ่ของแกลบ โดยเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ต่างๆ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด โดยที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น สารระเหย และอัตราส่วนซิลิกาต่อคาร์บอน ลดลง ส่วนถ้ำ และคาร์บอนคงตัว เปอร์เซ็นต์จะลดลง

จากงานวิจัยพบว่า ผลิตภัณฑ์จากการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 45 นาทีจะได้แกลบสีดำเป็นมันวาว ส่วนการคาร์บอนไนซ์ที่อุณหภูมิ 500 และ 600 องศาเซลเซียสพบว่า ใช้เวลาเพียง 15 นาที สามารถที่จะไล่สารอินทรีย์ออกทำให้ได้โครงสร้างที่มีคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ ได้แกลบสีดำเป็นมันวาวเช่นเดียวกัน

แนวโน้มความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ สามารถนำมาวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปของสมการอย่างง่าย โดยตั้งสมมติฐานให้ปริมาณแกลบมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์น้อยมาก คุณสมบัติของแกลบจากการคาร์บอนไนซ์จะเป็นฟังก์ชันกับตัวแปร 3 ตัว ได้แก่ อัตราการป้อนก๊าซ เวลา และอุณหภูมิ ซึ่งรูปของสมการแสดงได้ดังนี้

$$M/M_0 = 0.963 + 1.024 e^{-0.067U/U_{mf}} e^{-0.031(T-T_0)/T_0} e^{-0.006t/t_0}$$

$$VM/VM_0 = 0.124 + 5.595V' - 11.493V'^2 + 6.775V'^3$$

$$A/A_0 = 0.999 - 1.228A' + 2.790A'^2$$

$$FC/FC_0 = 0.822 \exp \left[\frac{9.804 \frac{U/U_{mf}}{0.483+U/U_{mf}} \frac{(T-T_0)/T_0}{78.355+(T-T_0)/T_0} \frac{t/t_0}{7.928+t/t_0}}{\quad} \right]$$

เมื่อ

$$V' = e^{-0.098U/U_{mf}} e^{-0.116(T-T_0)/T_0} e^{-0.007t/t_0}$$

$$A' = \frac{U/U_{mf}}{0.224+U/U_{mf}} \frac{(T-T_0)/T_0}{4.332+(T-T_0)/T_0} \frac{t/t_0}{2.650+t/t_0}$$

ความสัมพันธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความผิดพลาดเฉลี่ยจากการทดลองดังนี้ ค่าความชื้นมีความผิดพลาดประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ค่าสารระเหยผิดพลาด 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าเด็ถผิดพลาด 9 เปอร์เซ็นต์ และค่าคาร์บอนคงตัวผิดพลาด 9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งสมการที่แสดงไว้ให้ผลดีพอสมควรในช่วงที่ทำการทดลอง แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ที่วิเคราะห์ได้มีแนวโน้ม และเป็นไปได้จริงตามสมมติฐาน

จากผลของงานวิจัย มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ลักษณะของเตาฟลูอิดไธซ์ควรจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความสูง เพิ่มขึ้น
2. ควรปรับปรุงให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ความแน่นสารระเหยได้มากขึ้น
3. ควรมีการประยุกต์นำความร้อนที่ถ่ายเทออกมา นำมาใช้ประโยชน์
4. ควรปรับปรุงวิธีการทำความสะอาดแลกเปลี่ยนให้ได้ปริมาณมากขึ้น
5. สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตซิลิกาอย่างต่อเนื่องได้