บทที่ 6

สรุป และข้อเสนอแนะ

กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ คาร์บอไนเซชัน และการกระตุ้น สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จึงแยกออกได้เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการคาร์บอไนซ์ และสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้น

กระบวนการคาร์บอไนเซชัน

1. ขนาดของพีตที่เหมาะสม คือ ขนาด 0.5-2.0 มิลลิเมตร เพราะว่าพีตขนาดใหญ่จะต้องใช้อัตราการไหลของก๊าซสูงมากในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งก๊าซและความร้อนที่สูญเสียไปกับก๊าซที่ปล่อยออกไป แต่ถ้าพีตมีขนาดเล็กก็จะสูญเสียผลิตภัณฑ์ไปกับการเผาไหม้ และผลิตภัณฑ์ที่ออกไปทางไซโคลนมาก อย่างไรก็ตามต้องมีการแยกวัสดุที่มีลักษณะเป็นเส้นใย และมีน้ำหนักเบาที่ไม่สามารถแยกออกโดยใช้ตะแกรงร่อนได้ โดยอาศัยแรงลมเป่าออกมา เนื่องจากวัสดุที่เป็นเส้นใยและน้ำหนักเบาจะไปเกาะเกี่ยวกันทำให้เป็นอุปสรรคต่อการเกิดสภาวะฟลูอิไดเซชัน โดยเกิดสภาวะที่เป็นช่อง(chaneling) และยังทำให้การป้อนวัตถุดิบด้วยสกรูทำได้ลำบากเพราะวัสดุจะจับกันเป็นก้อนค้างอยู่บนที่ใส่สาร (hopper) นอกจากนี้ในขณะทดลองวัสดุที่มีน้ำหนักเบาจะถูกก๊าซพาออกทางไซโคลนทำให้ผลิตภัณฑ์ลดลง

2. ตัวกลางในการคาร์บอไนซ์ที่เหมาะสมคืออากาศ เพราะเมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคาร์บอไนซ์ในตัวกลางที่เป็นก๊าซไนโตรเจนกับตัวกลางที่เป็นอากาศแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน โดยการคาร์บอไนซ์ในตัวกลางที่เป็นอากาศจะมีผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าในตัวกลางที่เป็นก๊าซไนโตรเจน และมีปริมาณเถ้าสูงกว่าเล็กน้อย แต่การคาร์บอไนซ์ในตัวกลางที่เป็นก๊าซไนโตรเจนใช้อุณหภูมิสูงและเวลาในการคาร์บอไนซ์นานกว่าในตัวกลางที่เป็นอากาศมาก เนื่องจากการคาร์บอไนซ์ในตัวกลางที่เป็นอากาศจะมีการเผาไหม้บางส่วนของสารระเหยทำให้ได้ความร้อนจำนวนมากซึ่งจำเป็นต่อการคาร์บอไนซ์ออกมาด้วยเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับขดลวดความร้อน และลดเวลาในการคาร์บอไนซ์

3. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการคาร์บอไนซ์ คือ อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 400 องศาเซลเซียส เพราะว่าได้ผลิตภัณฑ์ที่ดี ค่าคาร์บอนคงตัวสูง ค่าเถ้าต่ำ ผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์(%yield) สูง และที่อุณหภูมิ400 องศาเซลเซียส สูงพอที่จะเกิดการเผาไหม้ได้ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นทำให้

อุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็วควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ยาก

4. อัตราการป้อนอากาศที่เหมาะสม คือ 1.2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน(ที่ 200 องศาเซลเซียส) เพราะว่าที่ความเร็วอากาศต่างๆ ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนในเบดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้บางส่วน ดังนั้นที่ความเร็วต่ำสุดในการทดลองเท่ากับ 1.2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันจึงประหยัดพลังงานที่จะสูญเสียไปกับอากาศ และยังมีผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์สูงกว่าด้วย แต่อุณหภูมิของการคาร์บอไนซ์อยู่ในช่วง 400-750 องศาเซลเซียส ดังนั้นความเร็วอากาศจึงสูงกว่า 1.2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน

5. เวลาในการคาร์บอไนซ์ที่เหมาะสม คือ 5 นาที เนื่องจากได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าคาร์บอนคงตัวสูง ผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์สูง สารระเหย และเถ้าต่ำ

6. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการคาร์บอไนซ์พีตในฟลูอิไดซ์เบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร คือ พีตขนาด 0.5-2.0 มิลลิเมตร ปริมาณการป้อนครั้งละ 2.0 กิโลกรัม ความเร็วอากาศเท่ากับ 1.2 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน(ที่ 200 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิเริ่มต้น 400 องศาเซลเซียส เวลาในการคาร์บอไนซ์ 5 นาที

7. คุณสมบัติของถ่านพีตที่เหมาะสม คือ คาร์บอนคงตัวร้อยละ 83.60 สารระเหยร้อยละ 10.88 เถ้าร้อยละ 4.04 ผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ 34.00 เปอร์เซ็นต์

กระบวนการกระตุ้น

1. ตัวกระตุ้น ตัวกลางในการทำปฏิกิริยาเป็นอากาศที่มีความเร็ว 3.21 เมตรต่อวินาที หรือ 1.4 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน(ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส) ขั้นแรก เผาถ่านพีตให้ร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิสูงตามต้องการ (โดยมากทำที่ 700 องศาเซลเซียส) เป็นการแก้ปัญหาการนำความร้อนที่เลวของถ่าน และประหยัดไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อน แล้วจึงให้ไอน้ำเข้าทำปฏิกิริยา อัตราส่วนของของผสมระหว่างไอน้ำกับอากาศประมาณ 7.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่ทำให้ควบคุมปฏิกิริยาได้ง่าย เพราะปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ขณะที่ปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับไอน้ำเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

2. สารระเหยในวัตถุดิบ สารระเหยในวัตถุดิบมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ไม่มากนัก ยกเว้นวัตถุดิบที่ไม่ได้คาร์บอไนซ์ ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติการดูดซับ และพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำมาก ถ้าสารระเหยในวัตถุดิบต่ำก็จะมีสัดส่วนของเถ้าสูง แต่ถ้าสารระเหยในวัตถุดิบสูงก็จะเกิดควันมาก สารระเหยในวัตถุดิบที่เหมาะสม คือ ประมาณร้อยละ 10-15

3. เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำที่เหมาะสม คือ 7 นาที เพราะคุณสมบัติการดูดซับของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นเมื่อเวลาในการกระตุ้นมากขึ้นจนสูงสุดที่เวลา 7 นาที หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะ

มีคุณสมบัติการดูดซับลดลง เนื่องจากผนังของรูพรุนบางส่วนถูกทำลายทำให้ความพรุนลดลง

4. อุณหภูมิเริ่มต้นในการให้ไอน้ำ อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำที่สูงจะมีอัตราการเกิดรูพรุนที่สูง อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงต้องใช้เวลาในการเผาวัตถุดิบนานทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และมีผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ต่ำ อุณหภูมิเริ่มให้ไอน้ำที่เหมาะสม คือ 700 องศาเซลเซียส เพราะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติการดูดซับ และพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ระยะเวลาในการกระตุ้นสั้น ประหยัดพลังงาน และมีผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์สูงกว่าที่อุณหภูมิสูง

5. ขนาดของวัตถุดิบ วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองมีขนาดไม่แตกต่างกันมาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ขนาดวัตถุดิบที่เหมาะสม ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.0-2.0 มิลลิเมตร

6. ปริมาณการป้อนวัตถุดิบ ปริมาณการป้อนวัตถุดิบมีผลต่อผลิตภัณฑ์ค่อนข้างน้อย แต่ปริมาณการป้อนวัตถุดิบที่สูง คือ 1.5 และ 2.0 กิโลกรัม ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ และคุณสมบัติการดูดซับสูงกว่าปริมาณการป้อนวัตถุดิบ 0.5 และ 1.0 กิโลกรัม เล็กน้อย ปริมาณการป้อนวัตถุดิบที่เหมาะสมคือ 2.0 กิโลกรัม เพราะมีผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์สูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 59.1 ของถ่านพีต หรือ 20.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักพีตแห้ง

7. สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกระตุ้น ในฟลูอิไดซ์เบดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร คือ วัตถุดิบขนาด 1.0-2.0 มิลลิเมตร อัตราการไหลอากาศเท่ากับ 1.4 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน(ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส) ปริมาณการป้อนวัตถุดิบ 2.0 กิโลกรัม อัตราส่วนของผสมระหว่างไอน้ำกับอากาศประมาณ 7.6 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเริ่มป้อนไอน้ำ 700 องศาเซลเซียส เวลาในการกระตุ้นด้วยไอน้ำ 7 นาที

8. ผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม มีพื้นที่ผิวจำเพาะ 1,023 ตารางเมตรต่อกรัม ไอโอดีน-นัมเบอร์ 1,053 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู 354.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 59.1 ของถ่านพีต หรือ 20.1 ของน้ำหนักพีตแห้ง

9. ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าไอโอดีนนัมเบอร์ เป็นสมการเส้นตรง

$$I = 0.6294\ S + 397.7$$

เมื่อ I เป็นค่าไอโอดีนนัมเบอร์ หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร

S เป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ หน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม

ค่า R ของสมการเท่ากับ 0.8846

10. ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ผิวจำเพาะกับค่าการดูดซับเมทิลีนบลู

$$MB = 0.4323\ S - 144.6$$

เมื่อ MB เป็นค่าการดูดซับเมทิลีนบลู หน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกรัม

S เป็นค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ หน่วยเป็นตารางเมตรต่อกรัม

ค่า R ของสมการเท่ากับ 0.8708

11. เปรียบเทียบสภาวะที่เหมาะสมกับงานวิจัยที่ผ่านมา

สภาวะที่เหมาะสม	งานของ เกศรา นุตาลัย	งานวิจัยนี้
ขนาดของเครื่องปฏิกรณ์	เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.4 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร	เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร สูง 77 เซนติเมตร
ขนาดถ่านพืช	0.297-1.141 มิลลิเมตร	1.0-1.4 มิลลิเมตร
ปริมาณการป้อน	25 กรัม	2.0 กิโลกรัม
เปอร์เซ็นต์ไอน้ำ	100 เปอร์เซ็นต์	7.6 เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิ	900 องศาเซลเซียส	700 องศาเซลเซียส
เวลากระตุ้น	90 นาที	7 นาที
สารระเหยของวัตถุดิบ(ร้อยละ)	20-30	10-15
ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	0.41	0.41
คุณสมบัติของถ่านกัมมันต์		
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตารางเมตรต่อกรัม)	966	1023
ไอโอดีนนัมเบอร์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	970	1053
การดูดซับเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)	296	354

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	งานของ เกศรา นุตาลัย	งานวิจัยนี้
ผลที่ได้ของผลิตภัณฑ์ (ร้อยละโดยน้ำหนักพืดแห้ง)	8.1	20.1
ความหนาแน่น (กรัมต่อมิลลิลิตร)	0.12	0.25

จากผลของงานวิจัย มีข้อเสนอแนะ ดังนี้

1. ควรมีการประยุกต์นำความร้อนที่ถ่ายเทออกนำมาใช้ประโยชน์
2. ควรปรับปรุงให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ควบแน่นสารระเหยให้มากขึ้น
3. การขยายส่วนของอุปกรณ์ควรมีการขยายในส่วนของความสูงของเบดมากกกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเบด เนื่องจากจะทำให้การถ่ายเทความร้อนจากผนังของเบดเข้าสู่ภายในได้ดีและรวดเร็วขึ้น
4. สำหรับเครื่องกระตุ้นถ้าใช้ก๊าซเชื้อเพลิงให้ความร้อนแก่เบด และเป็นตัวกลางด้วยจะทำให้ประหยัดพลังงานขึ้น และให้ความร้อนอุณหภูมิสูงได้รวดเร็วกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย