บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีทดลอง

3.1 อุปกรณ์ทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้สามารถแบ่งออกเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

อุปกรณ์ที่ใช้ คือ

- เตาอบ สำหรับอบวัตถุดิบที่อุณหภูมิ 105-130 องศาเซลเซียส
- เครื่องบดแบบใช้ใบมีดตัด และแบบค้อนเหวี่ยง
- เครื่องร่อนคัดขนาด

3.1.2 ขั้นตอนการคาร์บอไนซ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบบฟลูอิไดเซชัน มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

3.1.2.1 เตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด ประกอบด้วย

ตัวเตามีลักษณะเป็นทรงกระบอก ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) SS. 316 หนา 4 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร ป้อนวัตถุดิบทางด้านข้างของเบดสูงจากแผ่นกระจายก๊าซ (distributor) 15 เซนติเมตร ด้านหน้าสูงจากแผ่นกระจายก๊าซ 23 เซนติเมตรมีช่องสำหรับสอดเทอร์โมคัปเปิล สำหรับวัดอุณหภูมิภายในเบด ด้านล่างเหนือแผ่นกระกระจายก๊าซมีท่อสำหรับผลิตภัณฑ์ไหลลงถังเก็บ ซึ่งมีวาล์วควบคุม

อุปกรณ์ให้ความร้อน ประกอบด้วยขดลวดให้ความร้อนหุ้มด้วยคอนกรีตทนไฟ ขดลวดความร้อนขนาดกำลังไฟฟ้า 2,000 วัตต์ ภายนอกหุ้มด้วยใยเซรามิกทนความร้อนเพื่อป้องกันการการสูญเสียทางความร้อน ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ แบบเข็ม ซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าที่มีสวิทช์แม่เหล็ก (magnetic contactor) ควบคุมการป้อนไฟฟ้าให้แก่ขดลวด โดยมีเทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล-อลูเมล แบบเค ควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0-1,000 องศาเซลเซียส

ด้านล่างของเตาประกอบด้วยแผ่นกระจายก๊าซเป็นแผ่นเหล็กกล้า

เซนติเมตร สูง 130 เซนติเมตร ที่ผนังเจาะรูไว้ 3 รู มีแผ่นพลาสติกปิดไว้เพื่อดูการกระจายน้ำที่เกิดขึ้นภายในหอ ด้านในบรรจุแผ่นอลูมิเนียมพับซ้อนกันเหมือนกระดาษลูกฟูกและเจาะรูไว้ตามแผ่นอลูมิเนียม เพื่อเพิ่มเวลาที่จะทำให้น้ำซึ่งถูกพ่นผ่านทางหัวฉีดทางด้านบนของหอลงมาสัมผัสกับก๊าซที่ออกจากคอลัมน์ควบแน่นได้นานขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซึมก๊าซที่สามารถละลายน้ำได้ดี เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ฯลฯ และยังเป็นการจับอนุภาคเล็ก ๆ ฝุ่นผงที่อาจหลุดรอดจากการดักจับที่ไซโคลนโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายน้ำที่ใช้จะถูกดูดจากถังขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร สูง 43 เซนติเมตรโดยใช้ปั๊มน้ำขนาด 0.5 แรงม้าให้น้ำหมุนเวียนในหอดูดซึมด้านล่างของถังมีวาล์วสำหรับถ่ายเทน้ำเสียที่อยู่ในถัง ด้านบนจะติดตั้งพัดลมดูดอากาศ(blower) ขนาด 1 แรงม้า ไว้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความเร็วในหอกำจัดก๊าซให้ไหลผ่านปล่องทางด้านบนให้เร็วขึ้น

3.1.2.8 มาโนมิเตอร์ (manometer)

ใช้สำหรับวัดความแตกต่างระหว่างความดันในเบด หรือความดันลด โดยหน่วยที่วัดเป็นความสูงของระดับน้ำ (Δh) ลักษณะเป็นหลอดแก้วรูปตัวยูบรรจุน้ำปลายข้างหนึ่งต่อกับท่อเล็ก ๆ ที่ต่อออกจากเบดเหนือแผ่นกระจายก๊าซ

3.1.3 ขั้นตอนกระตุ้น หรือแอคติเวชัน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการกระตุ้นประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.1.3.1 ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SS. 316 หนา 4 มิลลิเมตร ลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 12 เซนติเมตร สูง 77 เซนติเมตร ป้อนวัตถุดิบทางด้านข้างสูงจากแผ่นกระจายก๊าซ 45 เซนติเมตรและมีช่องสำหรับสอดเทอร์โมคัปเปิลอยู่เหนือแผ่นกระจายก๊าซ 23 เซนติเมตร ด้านล่างเหนือแผ่นกระจายก๊าซมีท่อสำหรับให้ผลิตภัณฑ์ไหลสู่ถังเก็บ โดยมีวาล์วเป็นตัวปิด-เปิด

อุปกรณ์ให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิประกอบด้วยลวดความร้อนชนิดกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ยาว 5 เมตร ร้อยอยู่ภายในลูกถ้วยกระเบื้องเซรามิกพันรอบผนังเตา ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 5,000 วัตต์ แต่ในการทดลองจะใช้เพียง 4,000 วัตต์ เนื่องไม่ให้หม้อแปลงกระแสซึ่งให้แรงดันขาออก 30 โวลต์ จ่ายกระแส 50-300 แอมป์ นั้นทำงานหนักเกินไป ภายนอกหุ้มด้วยฉนวนใยเซรามิกทนความร้อน ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ชนิดเข็ม รับรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล-อลูเมล แบบเค ควบคุมอุณหภูมิช่วง 0-1,200 องศาเซลเซียส และวัดอุณหภูมิภายนอกผนังเตาอีกหนึ่งจุดเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินความต้านทานของขดลวดความร้อน

ด้านบนของคอลัมน์ต่อกับไซโคลน โดยมีวาล์สำหรับปิด-เปิดส่วนด้านล่างเป็นแผ่นกระจายก๊าซที่มีขนาดของรู 2.3 มิลลิเมตร มีพื้นที่ช่องว่างประมาณร้อยละ 30 มีเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิของไอน้ำ และก๊าซก่อนเข้าสู่เบดอยู่ใต้แผ่นกระจายก๊าซโดยด้านล่างสุดเป็นระบบเพิ่มความร้อนของก๊าซและไอน้ำ

3.1.3.2 หน่วยเพิ่มความร้อนก๊าซ

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SS.304 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1/4 นิ้ว ขดเป็นวงหลายชั้นพันด้วยขดลวดความร้อนชนิดแบนกว้าง 10 มิลลิเมตร ยาว 5 เมตร หนา 1 มิลลิเมตร ร้อยในถ้วยกระเบื้องเซรามิกหุ้มด้วยฉนวนใยเซรามิกทนความร้อน ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 3,000 วัตต์แต่ใช้เพียง 2,000 วัตต์ โดยใช้หม้อแปลงกระแสขนาด 50-300 แอมป์ ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ชนิดเข็ม ควบคุมอุณหภูมิช่วง 0-1200 องศาเซลเซียส โดยรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล-อลูเมลแบบเค ท่อของระบบเพิ่มอุณหภูมิมีทางเข้า 2 ทาง ทางแรกเป็นทางเข้าสำหรับให้อากาศซึ่งต่อท่อมาจากเครื่องอัดอากาศ ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว และมาตรวัดอัตราการไหล ทางที่สอง เป็นทางเข้าของไอน้ำที่มาจากเครื่องผลิตไอน้ำของโรงงาน ควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์ว และมาตรวัดความดันก๊าซและไอน้ำ หลังจากผ่านระบบเพิ่มความร้อนจะถูกส่งต่อไปยังแผ่นกระจายก๊าซเข้าสู่เบดต่อไป

3.1.3.3 ระบบป้อนวัตถุดิบแบบสกรู

ประกอบด้วยถังวัตถุดิบรูปสี่เหลี่ยม ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SS. 304 กว้าง 26 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร สกรูเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร สำหรับหมุนเอาวัตถุดิบเข้าสู่คอลัมน์โดยอาศัยการขับเคลื่อนของมอเตอร์ ขนาด 0.25 แรงม้า อัตราการหมุน 1,450 รอบต่อนาที อัตราการทด 1:30

3.1.3.4 ไซโคลน

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม SS. 304 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร

3.1.3.5 ถังเก็บผลิตภัณฑ์

ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SS. 304 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร และมีท่อต่อกับเครื่องดูดสุญญากาศใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า เพื่อดูดผลิตภัณฑ์ออกจากเบดโดยมีแผ่นสำหรับกันฝุ่นที่จะเข้าไปในเครื่องดูดสุญญากาศด้านล่างมีวาล์วสำหรับเปิดเอาผลิตภัณฑ์ออก

3.1.3.6 คอลัมน์ควบแน่น

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง

ภายนอก 9 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร

3.1.3.7 หอกำจัดก๊าซแบบดูดซึม

ใช้ร่วมกับเครื่องคาร์บอไนซ์

3.1.3.8 ถังเก็บน้ำมันทาร์

เป็นอุปกรณ์ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม SS.304 มีอยู่ด้วยกัน 2 ถัง คือ ใบแรกอยู่ด้านบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 35 เซนติเมตร มีท่อนำก๊าซเข้าสู่หอกำจัดก๊าซแบบดูดซึม ใบที่สอง เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร สำหรับเก็บน้ำมันทาร์ที่ได้จากถังใบแรก ถังใบที่สองนี้สามารถถอดออกได้

3.1.3.9 มาโนมิเตอร์

ลักษณะเช่นเดียวกับที่ใช้กับเครื่องคาร์บอไนเซอร์

3.2 การเตรียมวัตถุดิบ

ก. นำพืดมาผึ่งแดด ให้ความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 10-20

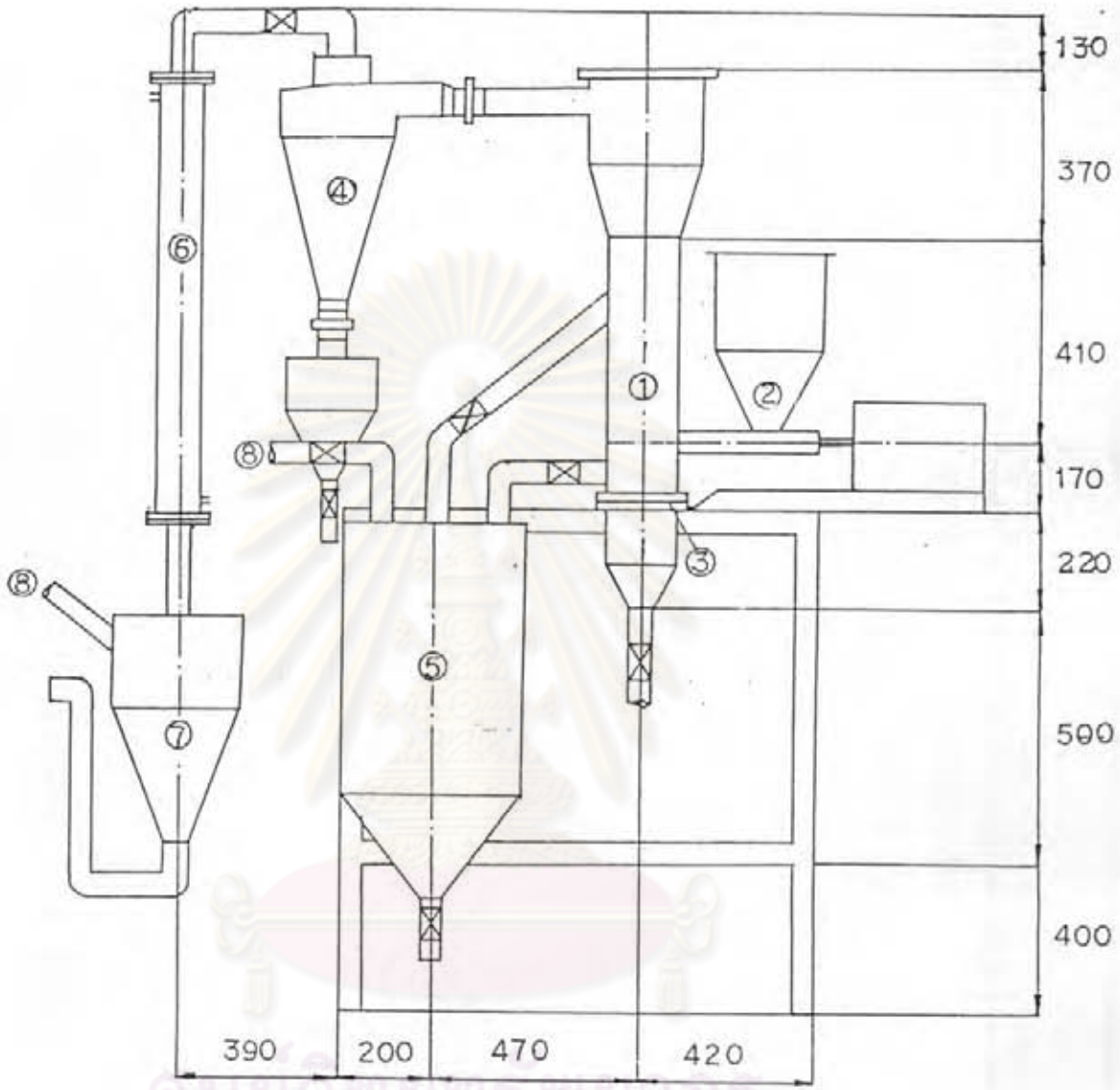
ข. อบในเตาอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ประมาณ 6-8 ชั่วโมง

ค. บดโดยใช้เครื่องบดแบบใช้ใบมีดตัด และบดต่อด้วยเครื่องบดแบบค้อนเหวี่ยง

ง. ร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรู 2.0 และ 0.5 มิลลิเมตร

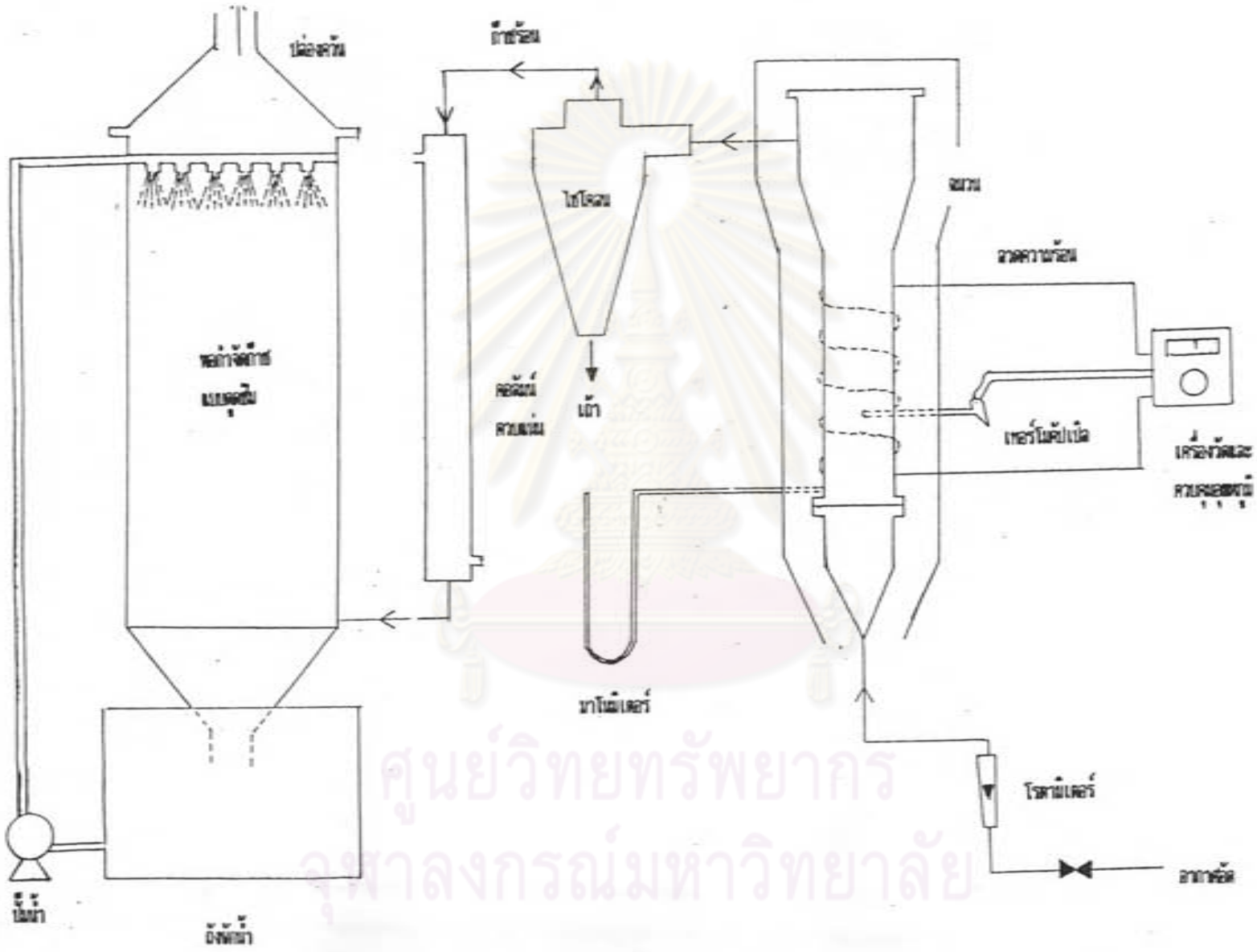
จ. แยกเส้นใยและวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ซึ่งไม่สามารถแยกด้วยตะแกรงได้ โดยใช้ลม ซึ่งในการทดลองนี้ใช้เครื่องคาร์บอไนซ์ที่ไม่เปิดเครื่องทำความร้อน ให้เส้นใยและวัสดุน้ำหนักเบาถูกแยกออกทางไซโคลน จะได้เม็ดพืดที่ต้องการในถังเก็บผลิตภัณฑ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



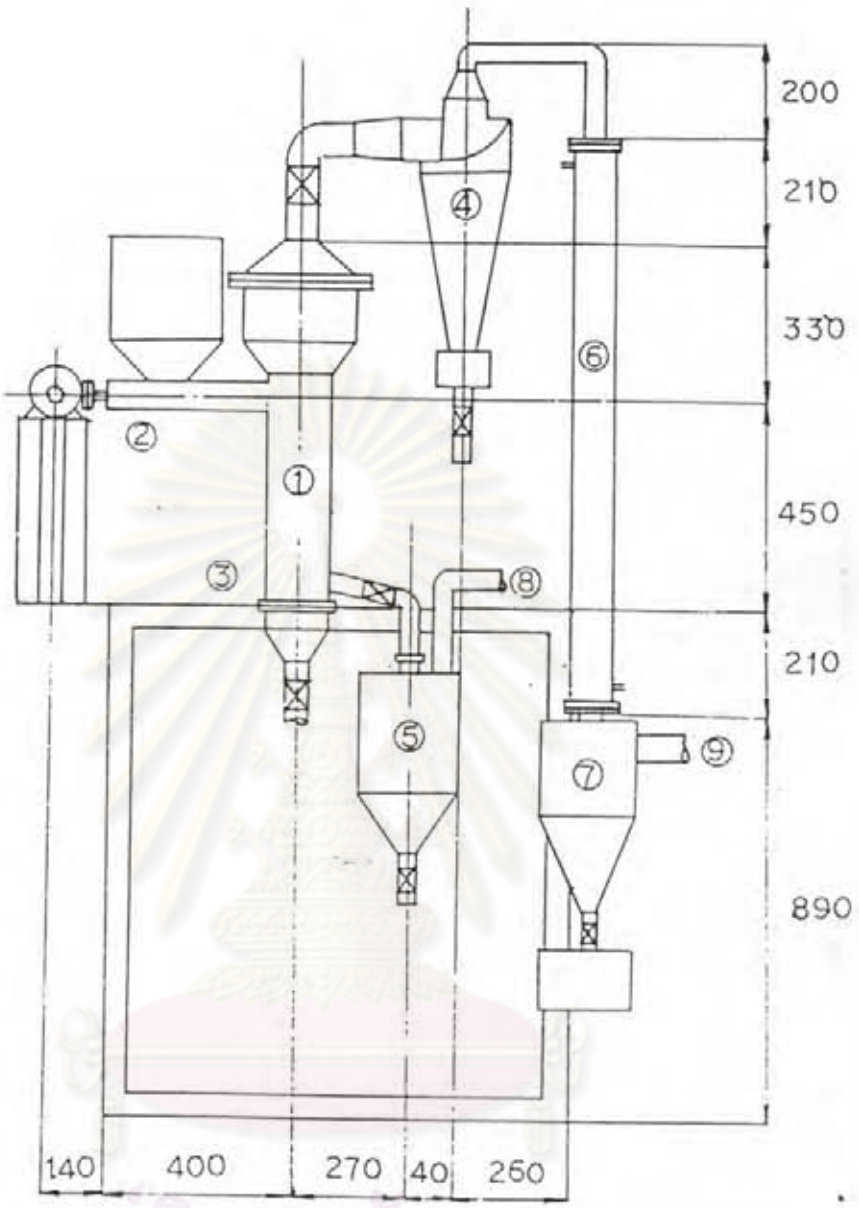
1. ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์
2. ระบบป้อนวัตถุดิบแบบสกรู
3. แผ่นกระจายอากาศ
4. ไซโคลน
5. ถังเก็บผลิตภัณฑ์
6. คอลัมน์ควบแน่น
7. ถังเก็บน้ำมันทาร์
8. ท่อที่ต่อเข้าเครื่องกำจัดก๊าซแบบดูดซึม

รูปที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ และขนาดของเครื่องคาร์บอไนซ์



รูปที่ 3.2 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องคาร์บอไนซ์

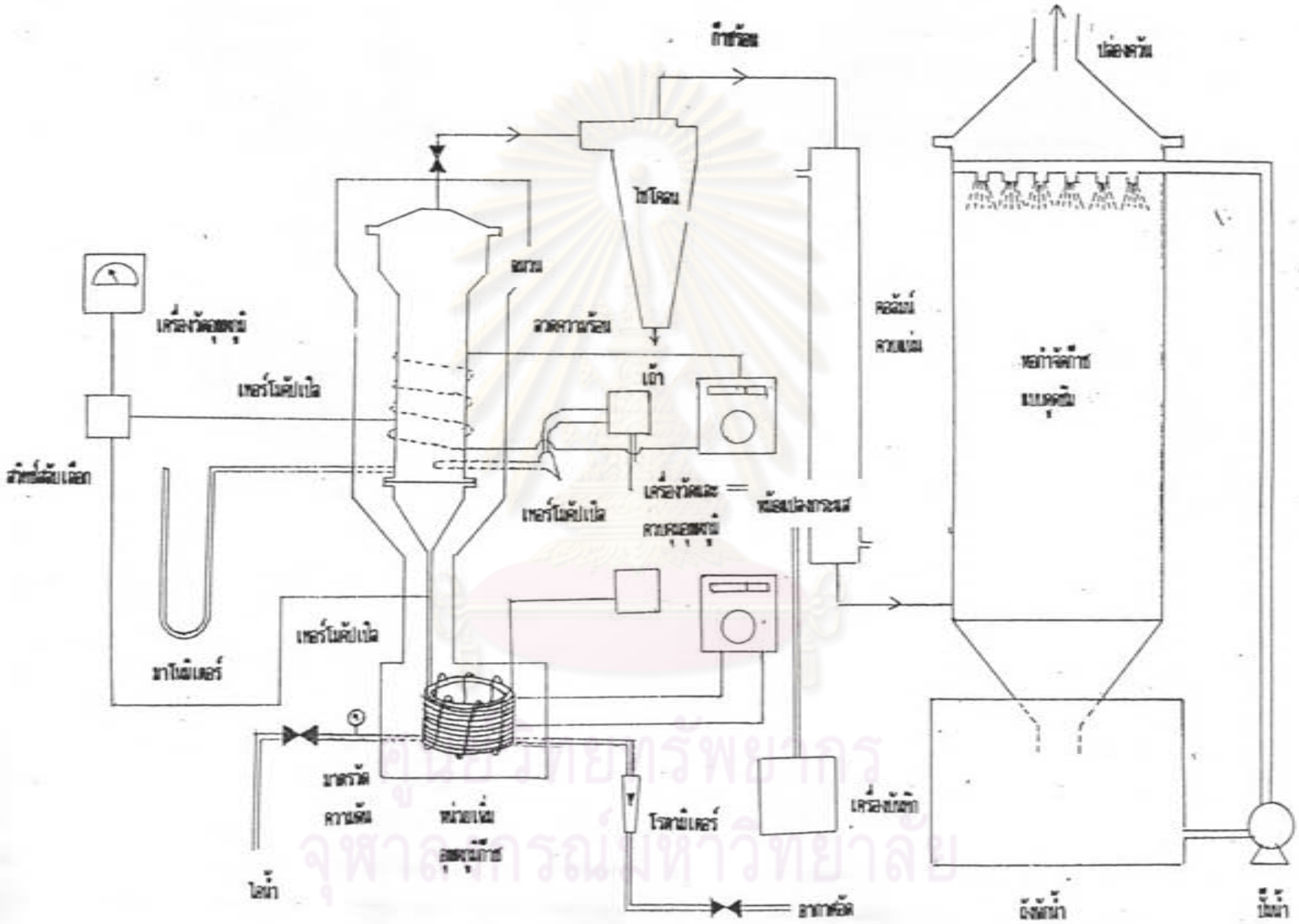
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



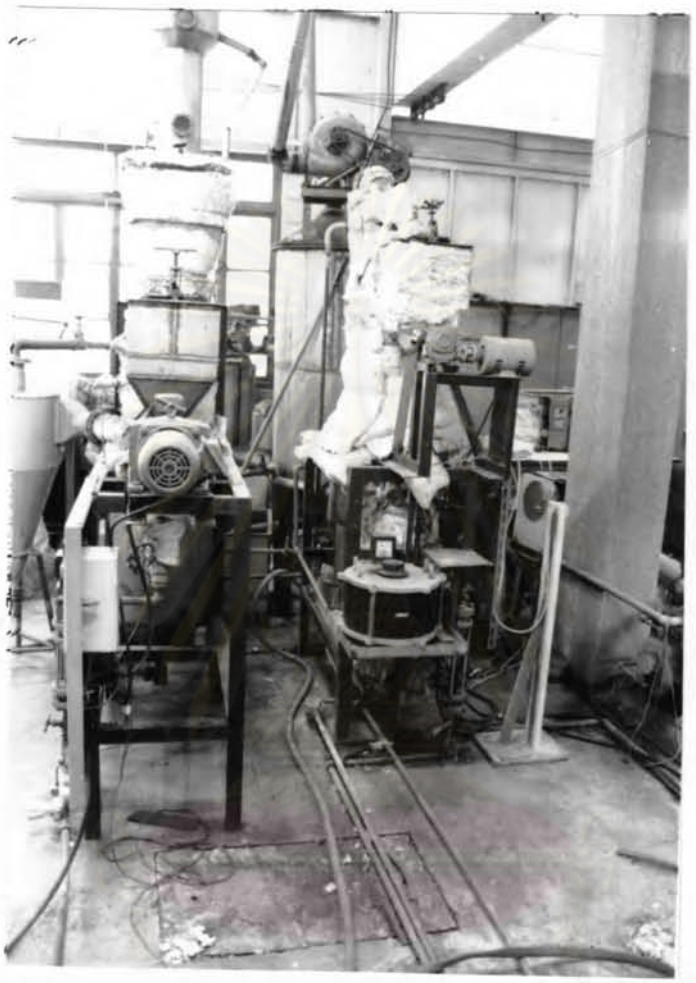
1. ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์
2. ระบบบ้อนวัตถุดิบแบบสกรู
3. แผ่นกระจายอากาศ
4. ไซโคลน
5. ถังเก็บผลิตภัณฑ์
6. คอลัมน์ควบแน่น
7. ถังเก็บน้ำมันหาร์
8. ท่อที่ต่อกับเครื่องดูดสุญญากาศ
9. ท่อที่ต่อกับเครื่องกำจัดก๊าซแบบดูดซึม

รูปที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ และขนาดของเครื่องกระตุ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องกระตุ้น



รูปที่ 3.5 แสดงเครื่องคาร์บอไนซ์และครื่องกระตุ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องคาร์บอไนซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.7 แสดงเครื่องกระตุ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.8 แสดงระบบเพิ่มความร้อนของก๊าซ และไอน้ำ

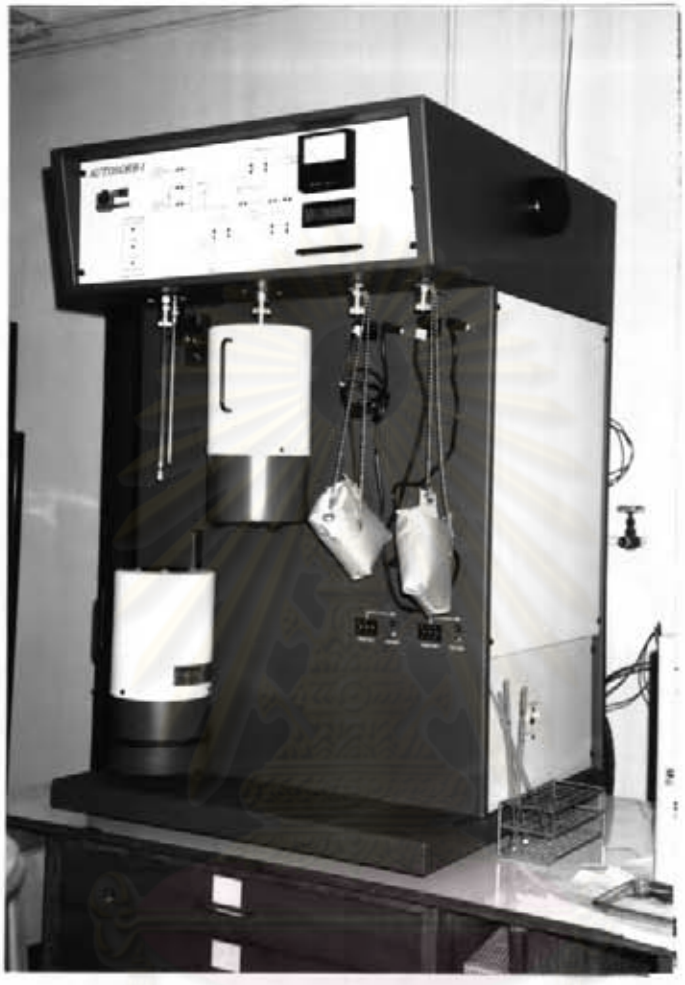
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.9 แสดงระบบกำจัดก๊าซแบบดูดซึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องดูดสุญญากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 แสดงเครื่องวัดพื้นที่ผิวจำเพาะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

วิธีดำเนินการทดลองแบ่งเป็นขั้นตอน คาร์บอไนเซชัน และขั้นตอนกระตุ้น

3.3.1 ขั้นตอนคาร์บอไนเซชัน

การคาร์บอไนซ์ในเตาฟลูอิไดซ์เบดมีขั้นตอนการทดลอง ดังต่อไปนี้

ก. ชั่งพีตน้ำหนัก 2.0 กิโลกรัม ลงในส่วนป้อนสาร (hopper)

ข. เปิดวาล์วระหว่างไซโคลนกับคอลัมน์ควบแน่น ปิดวาล์วระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับถังเก็บผลิตภัณฑ์ เปิดเครื่องทำความร้อน ป้อนอากาศด้วยอัตราการไหลที่ต้องการ ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 400 องศาเซลเซียส

ค. เปิดน้ำเข้าสู่คอลัมน์ควบแน่น และหอกำจัดก๊าซแบบดูดซึม เปิดปั๊มน้ำ แล้วเปิดพัดลมดูดอากาศ

ง. ป้อนวัตถุดิบด้วยอัตราการป้อนประมาณ 2 กิโลกรัมต่อนาที

จ. เมื่อครบกำหนดเวลาในการทดลองที่ต้องการแล้ว เปิดวาล์วระหว่างถังเก็บผลิตภัณฑ์ และวาล์วระหว่างถังเก็บผลิตภัณฑ์กับเครื่องปฏิกรณ์ ปิดวาล์วระหว่างไซโคลนกับคอลัมน์ควบแน่น แล้วป้อนอากาศด้วยความเร็วสูง ๆ เพื่อไล่ผลิตภัณฑ์ลงสู่ถังเก็บ

ฉ. เปิดวาล์วระหว่างไซโคลนกับคอลัมน์ควบแน่น ปิดวาล์วที่ถังเก็บให้หมดทุกตัว เพื่อไม่ให้มีอากาศในถังเก็บ แล้วลดอัตราไหลของอากาศลง

ช. ทิ้งให้เย็นในถังเก็บประมาณ 10-15 นาที ก็นำผลิตภัณฑ์ออกจากถังเก็บใส่ในภาชนะทนความร้อนที่มีฝาปิด เมื่ออุณหภูมิภายในเตาลดลงเหลือ 400 องศาเซลเซียส ก็จะสามารถป้อนวัตถุดิบเพื่อทำการทดลองต่อไปได้

3.3.1.1 ตัวแปรที่ศึกษาในการทดลองนี้ คือ

ก. เวลาที่วัตถุดิบอยู่ในเตา 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 นาที

ข. ความเร็วอากาศ 1.2, 1.4, 1.75 และ 2.1 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน (ที่ 200 องศาเซลเซียส)

3.3.2 ขั้นตอนการกระตุ้น

การกระตุ้นด้วยไอน้ำในฟลูอิไดซ์เบดมีขั้นตอนการทดลอง ดังต่อไปนี้

ก. แยกขนาดถ่านพีตออกเป็นขนาดต่าง ๆ โดยใช้ตะแกรงร่อน

ข. ชั่งถ่านพีตน้ำหนักตามต้องการลงในส่วนป้อนสาร

ค. ปิดวาล์วระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับถังเก็บผลิตภัณฑ์ เปิดวาล์วระหว่างไซโคลนกับเครื่องปฏิกรณ์

ง. เปิดเครื่องทำความร้อนของเครื่องปฏิกรณ์ และระบบเพิ่มอุณหภูมิ ตั้งอุณหภูมิของเครื่องปฏิกรณ์ไว้ที่ 500 องศาเซลเซียส ระบบเพิ่มอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องปฏิกรณ์จะประมาณ 450 องศาเซลเซียส เปิดให้อากาศไหลด้วยความเร็ว 3.21 เมตรต่อวินาที หรือ 1.4 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน (ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส)

จ. เปิดปั๊มน้ำเครื่องกำจัดก๊าซแบบดูดซึม และเปิดน้ำเข้าคอลัมน์ควบแน่น

ฉ. เมื่ออุณหภูมิเครื่องปฏิกรณ์ถึง 500 องศาเซลเซียส ก็ป้อนถ่านพืชเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ด้วยอัตราการป้อนประมาณ 1 กิโลกรัมต่อนาที

ช. ตั้งอุณหภูมิเป็น 1,000 องศาเซลเซียสเปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิ เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงเปิดไอน้ำ ปริมาณไอน้ำประมาณ 7.6 เปอร์เซ็นต์

ซ. เมื่อครบตามเวลาที่ต้องการแล้วทำการปิดไอน้ำ เปิดวาล์วที่อยู่ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับถังเก็บผลิตภัณฑ์ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศ ปิดวาล์วระหว่างไซโคลนกับเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งใช้เวลาในการนำผลิตภัณฑ์ออกจากเครื่องปฏิกรณ์ประมาณ 1 นาที จากนั้นเปิดวาล์วระหว่างเครื่องปฏิกรณ์กับไซโคลน ปิดเครื่องดูดสุญญากาศ และปิดวาล์วระหว่างถังเก็บผลิตภัณฑ์กับเครื่องปฏิกรณ์

ฌ. ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 15-20 นาที แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ออกจากถังเก็บใส่ในภาชนะปิดฝาที่ทนความร้อน

ญ. เมื่ออุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์ลดลงถึง 500 องศาเซลเซียส ก็สามารถป้อนถ่านพืชเพื่อทำการทดลองต่อไปได้

3.3.2.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ก. ขนาดของถ่านพืช แยกเป็นขนาด 0.5-1.0, 1.0-1.4, 1.4-2.0 มิลลิเมตร

ข. ปริมาณถ่านพืช 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 กิโลกรัม

ค. ร้อยละของสารระเหยอยู่ในช่วงประมาณ 0-10, 10-20, 25-35, 35-45 และมากกว่า 60 โดยทดลองที่ร้อยละของสารระเหย 3.6, 16.2, 31.3, 41.9 และ 61.9 ตามลำดับ

ง. เวลาที่ได้รับไอน้ำ 3, 5, 7, 9 และ 10 นาที

จ. อุณหภูมิที่เริ่มรับไอน้ำ 700, 800, 900 และ 925 องศาเซลเซียส