บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

การทดลองควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด ของปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งก๊าซไฮโดรคาร์บอนด้วยไอน้ำโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ มีอุปกรณ์หลายอย่างประกอบกัน ได้แก่

ก. เครื่องปฏิกรณ์ผลิตก๊าซสังเคราะห์แบบฟลูอิไดซ์เบด

ข. ชุดควบคุมอุณหภูมิ ประกอบด้วย ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมการ์ดอินเตอร์เฟสรับส่งสัญญาณไฟฟ้า ชุดขยายสัญญาณไฟฟ้า เทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล อลูเมล ชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และขดลวดให้ความร้อน

ค. เครื่องผลิตไอน้ำ

ง. เครื่องวัดและควบคุมอัตราการป้อนก๊าซเข้าเครื่องปฏิกรณ์ ประกอบด้วย เรกูเลเตอร์ (regulator) และโรตามิเตอร์ (rotameter)

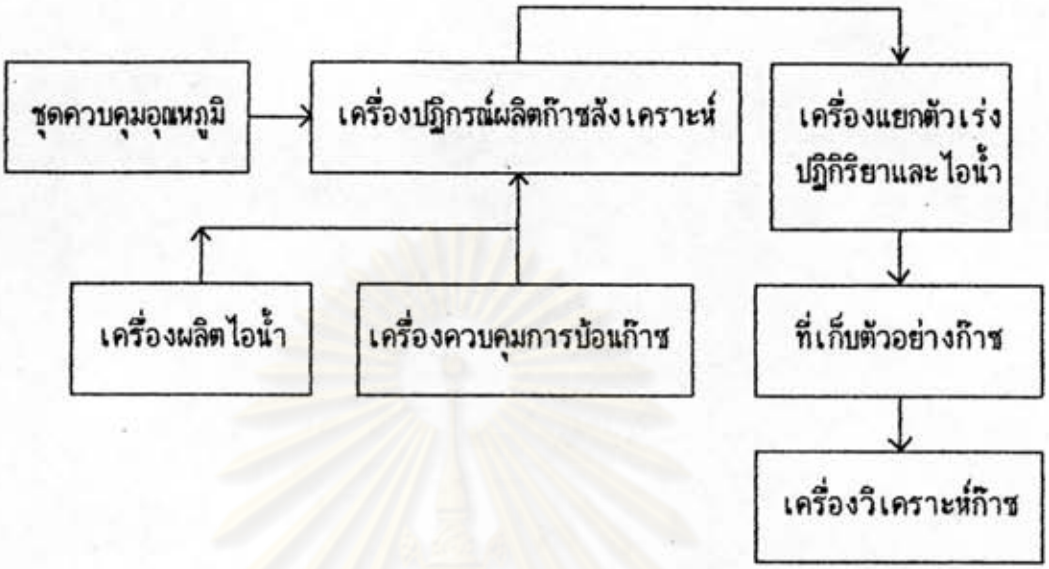
จ. เครื่องแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและไอน้ำออกจากก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ ไซโคลน (cyclone) ดักฝุ่นของตัวเร่งปฏิกิริยา และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น (double pipe heat exchanger) ควบแน่นไอน้ำออกจากก๊าซผลิตภัณฑ์

ฉ. ที่เก็บตัวอย่างก๊าซ

ช. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

ซึ่งทำงานร่วมกันดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

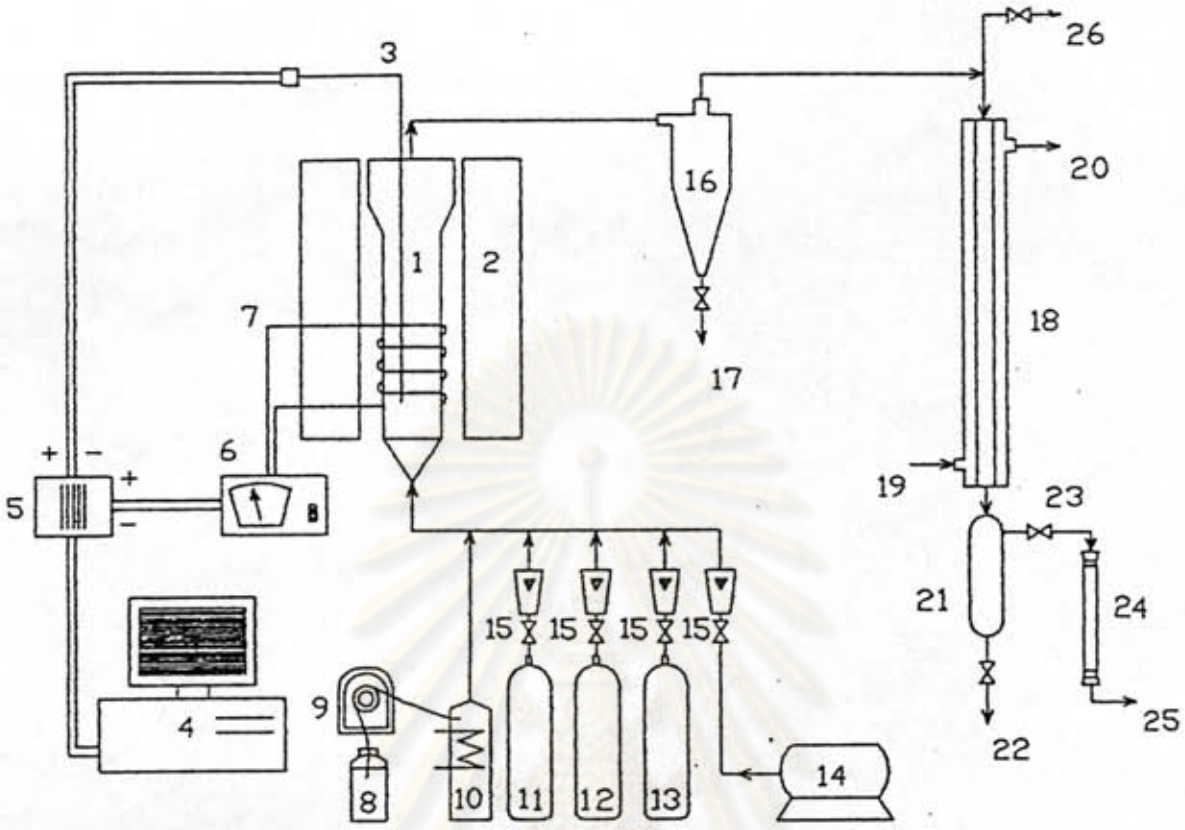
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานและการควบคุมในการผลิตก๊าซสังเคราะห์

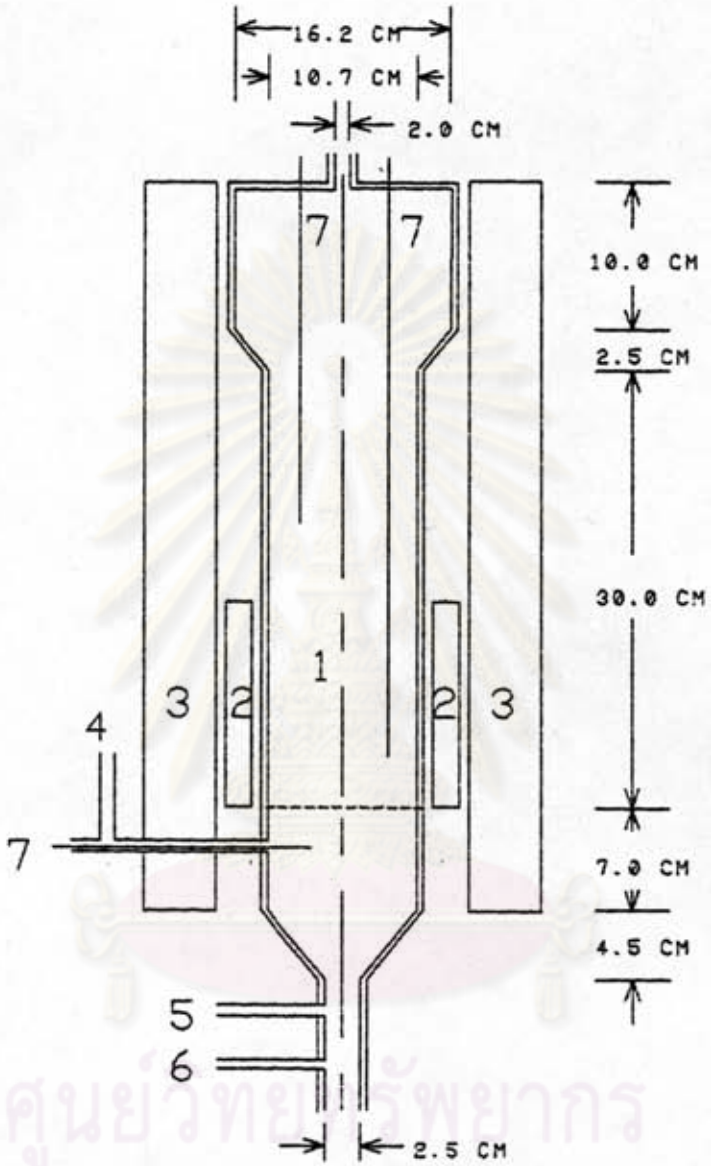
3.1.1 เครื่องปฏิกรณ์ผลิตก๊าซสังเคราะห์แบบฟลูอิไดซ์เบด

เครื่องปฏิกรณ์ผลิตก๊าซสังเคราะห์แบบฟลูอิไดซ์เบด สร้างขึ้นจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ชนิดไม่มีส่วนประกอบของนิกเกิลผสมอยู่ เครื่องปฏิกรณ์เป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.7 ซม. สูง 30 ซม. ส่วนบนทำการขยายขนาดเพื่อลดการสูญเสียตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะปลิวออกไปพร้อมกับก๊าซผลิตภัณฑ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.2 ซม. สูง 12.5 ซม. ดังรูปที่ 3.5 ก๊าซที่เข้าเครื่องปฏิกรณ์จะถูกส่งผ่านไปรอบ ๆ เครื่องปฏิกรณ์ด้วยท่อส่งก๊าซ เพื่อทำการอุ่นก่อนที่จะเข้าเครื่องปฏิกรณ์ทางด้านล่างซึ่งออกแบบเป็นรูปกรวยติดด้วยตะแกรงที่ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อรองรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นเบด และทำให้ก๊าซเกิดการฟุ้งกระจายอย่างสม่ำเสมอก่อนเข้าเบดด้วย ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.3



1 เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด
2 ฉนวนกันความร้อนหุ้มเครื่องปฏิกรณ์
3 เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิในเครื่องปฏิกรณ์
4 ไมโครคอมพิวเตอร์
5 อินเตอร์เฟสต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์
6 เครื่องขยายสัญญาณไฟฟ้า
7 ขดลวดให้ความร้อน
8 ถังใส่น้ำสำหรับผลิตไอน้ำ
9 ปั๊มน้ำ
10 เครื่องผลิตไอน้ำ
11 ก๊าซแอล พี จี
12 ก๊าซไนโตรเจน
13 ก๊าซไฮโดรเจน
14 เครื่องอัดอากาศ
15 โรตามิเตอร์พร้อมวาล์วปรับ
16 ไซโคลน
17 ท่อทางออกของฝุ่นที่ดักจากไซโคลน
18 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้น
19 ทางน้ำเข้า
20 ทางน้ำออก
21 เครื่องแยกน้ำออก
22 ท่อทางออกของน้ำที่แยกออก
23 วาล์วปรับปริมาณก๊าซ
24 สารดูดความชื้น $CaCl_2$
25 ที่เก็บตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์
26 ท่อทางออกของก๊าซผลิตภัณฑ์

รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตก๊าซสังเคราะห์ซึ่งควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอมพิวเตอร์



1 เครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด
2 ขดลวดให้ความร้อน
3 ฉนวนกันความร้อน
4 ท่อวัดความดันตกของเบด
5 ท่อทางเข้าของก๊าซ
6 ท่อทางเข้าของไอน้ำ
7 เทอร์โมคัปเปิล

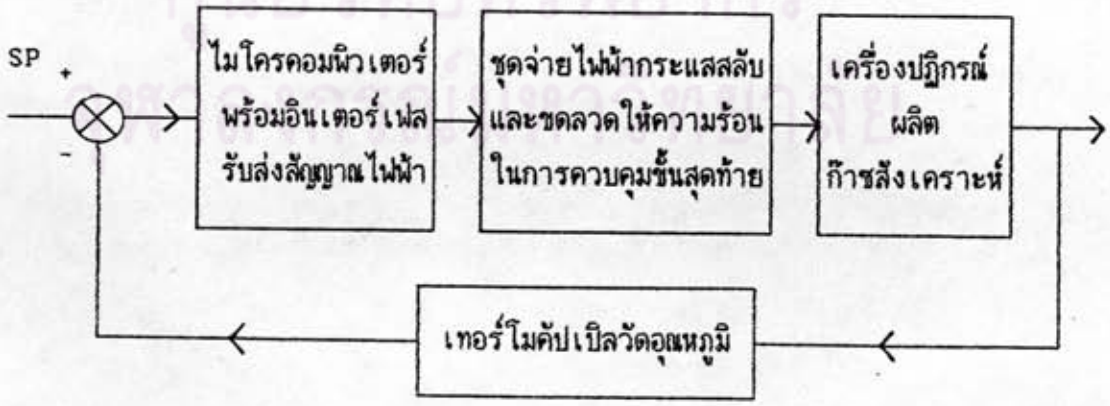
รูปที่ 3.3 แสดงสัดส่วนของเครื่องปฏิกรณ์ผลิตก๊าซสังเคราะห์แบบฟลูอิไดซ์เบด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.2 ชุดควบคุมอุณหภูมิ

ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในเบดให้คงที่ ประกอบด้วย ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมการ์ดอินเตอร์เฟสรับส่งสัญญาณไฟฟ้า ชุดขยายสัญญาณไฟฟ้า ชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิชนิดโครเมล อลูเมล และขดลวดให้ความร้อน ซึ่งแสดงขั้นตอนการควบคุม ดังรูปที่ 3.4

ก. ไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมอินเตอร์เฟสรับส่งสัญญาณไฟฟ้า ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีขนาด 16 บิต ติดด้วยการ์ดอินเตอร์เฟส ทำหน้าที่รับและประมวลสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากเทอร์โมคัปเปิลซึ่งผ่านชุดขยายสัญญาณไฟฟ้า ออกมาเป็นค่าอุณหภูมิเบด และส่งสัญญาณไฟฟ้าไปยังชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับติดอยู่ ให้ปรับปริมาณแรงเคลื่อนไฟฟ้า ที่จะจ่ายให้กับขดลวดให้ความร้อนรอบเครื่องปฏิกรณ์ ดังรูปที่ 3.6 เพื่อควบคุมอุณหภูมิเบด ตามโปรแกรมควบคุมที่เขียนขึ้น (แสดงโปรแกรมควบคุม และผังการทำงานดังภาคผนวก ข.) ซึ่งมีโปรแกรมย่อยในลักษณะการควบคุมที่ต่างกัน อยู่ 3 โปรแกรม คือโปรแกรมควบคุมแบบ P (proportional) โปรแกรมควบคุมแบบ PI (proportional integral) และโปรแกรมควบคุมแบบ PID (proportional integral derivative)



รูปที่ 3.4 แสดง block diagram การควบคุมอุณหภูมิในเบดที่หน่วยผลิตก๊าซสังเคราะห์

รูปที่ 3.5 ชุดทดลองผลิตก๊าซสังเคราะห์

รูปที่ 3.6 ไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุม
อุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์

ศูนย์วิทย
จุฬาลงกรณ์

เครื่องขยายสัญญาณไฟฟ้า เป็นเครื่องที่ต่อเชื่อมระหว่างการ์ดอินเตอร์เฟสในไมโครคอมพิวเตอร์ กับเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ จะขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิล 40 เท่า ก่อนที่จะเข้าการ์ดอินเตอร์เฟสเพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์ประมวลผลออกมาเป็นค่าอุณหภูมิเบด

สำหรับเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ มีหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดให้ความร้อนที่พันรอบเครื่องปฏิกรณ์ ด้วยปริมาณที่ประมวลผลได้จากไมโครคอมพิวเตอร์ เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ จะรับสัญญาณจากไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และมีเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงติดอยู่ เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อนที่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดให้ความร้อน

ข. เทอร์โมคัปเปิลชนิดโครเมล อลูเมล หรือเทอร์โมคัปเปิลแบบ K (type K chromel vs alumel thermocouple) เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้งานที่อุณหภูมิสูง แต่ไม่เกิน 1260 องศาเซลเซียส (21) อาศัยหลักเมื่อเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ขั้วและที่ปลายจุดต่อบนโลหะสองชนิดของเทอร์โมคัปเปิล จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างขั้วทั้งสอง ความแตกต่างของอุณหภูมิยิ่งสูงแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น (ภาคผนวก ฉ. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่ปลายของเทอร์โมคัปเปิล) สัญญาณของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ส่งมาจากเทอร์โมคัปเปิลจะเข้าเครื่องขยายสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะขยายสัญญาณประมาณ 40 เท่า สัญญาณที่ถูกขยายใหม่จะถูกส่งเข้าไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นไมโครคอมพิวเตอร์จะประมวลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้เป็นค่าของอุณหภูมิเบด ปรากฏให้เห็นบนจอคอมพิวเตอร์

ค. ขดลวดให้ความร้อน ขดลวดให้ความร้อนที่ใช้มีกำลังไฟฟ้า 3000 วัตต์ ใช้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 โวลต์ พันอยู่รอบเครื่องปฏิกรณ์ส่วนล่างซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่เบด ด้วยปริมาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

3.1.3 เครื่องผลิตไอน้ำ

สร้างจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) เป็นรูปทรงกระบอกยาว ตั้งในแนวดิ่ง ดังรูปที่ 3.7 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 ซม. สูง 45 ซม. พันด้วยขดลวดให้ความร้อนรอบนอก ขนาด 1600 วัตต์ ใช้กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า 220 โวลต์ ควบคุมการให้ความร้อนด้วยระบบ เปิด-ปิด ภายนอกหุ้มด้วยฉนวนไมโครไฟเบอร์กันความร้อนรอบเครื่องปฏิกรณ์

เพื่อให้ความร้อนในการเปลี่ยนน้ำที่อุณหภูมิห้องให้กลายเป็นไอน้ำ ในแต่ละการทดลองจึงควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องผลิตไอน้ำไว้ที่ 120 องศาเซลเซียส

น้ำที่ใช้ในการผลิตไอน้ำจะใช้น้ำกลั่น ถูกป้อนเข้าเครื่องผลิตไอน้ำอย่างต่อเนื่องทางด้านบนของเครื่องผลิตไอน้ำด้วยอัตราการป้อนที่คงที่ น้ำกลั่นจะกลายเป็นไอน้ำภายในเครื่องผลิตไอน้ำ แล้วไอน้ำจะออกทางด้านบน ซึ่งเป็นช่องเปิดที่ต่อกับท่อขนาด 1/4 นิ้ว แล้วเข้าทางด้านล่างของเครื่องปฏิกรณ์เพื่อเข้าทำปฏิกิริยา นอกจากนี้ทางด้านล่างของเครื่องผลิตไอน้ำยังมีวาล์วติดไว้ เพื่อใช้เป็นทางระบายน้ำกลั่นและไอน้ำส่วนที่เหลือออกเครื่อง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 3.7 เครื่องผลิตไอน้ำ และการป้อนน้ำกลั่นด้วยปั๊มน้ำ

3.1.4 เครื่องวัดและควบคุมอัตราการป้อนก๊าซเข้าเครื่องปฏิกรณ์

ก๊าซที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ก๊าซแอล พี จี (มีก๊าซโพรเพน มากกว่า 98 เปอร์เซนต์) ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซทั้งหมดจะถูกบรรจุอยู่ในถังเก็บก๊าซรูปทรงกระบอกสูง ที่ทางออกของถังเก็บก๊าซแต่ละถังจะติดตั้งเรกกูเลเตอร์ (regulator) ไว้เพื่อปรับความดันของก๊าซที่ออกจากถัง ก๊าซที่ผ่านเรกกูเลเตอร์จะไหลผ่านท่อที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมขนาด 1/4 นิ้ว เข้าโรตามิเตอร์ (rotameter) ซึ่งสามารถปรับและวัดปริมาณก๊าซที่ผ่านโรตามิเตอร์ก่อนที่จะเข้าเครื่องปฏิกรณ์ได้

3.1.5 เครื่องแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและไอน้ำออกจากก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้

ก. เครื่องแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากก๊าซผลิตภัณฑ์ การแยกตัวเร่งปฏิกิริยาและฝุ่นซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก ที่ปนออกมากับก๊าซต่าง ๆ จากเครื่องปฏิกรณ์จะใช้ไซโคลนดักฝุ่นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 ซม. สูง 19 ซม. ก๊าซซึ่งปนอนุภาคของแข็งขนาดเล็กจะเข้าทางด้านข้างของไซโคลน ภายในไซโคลนจะเกิดแรงเหวี่ยงทำให้ของอนุภาคแข็งแยกออกมาทางด้านล่าง ส่วนก๊าซซึ่งแยกอนุภาคของแข็งได้แล้วจะไหลออกไปทางด้านบนของไซโคลน

ข. เครื่องแยกไอน้ำออกจากก๊าซผลิตภัณฑ์ ออกแบบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นในแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.8 ยาว 120 ซม. ชั้นนอกเป็นท่อน้ำ ขนาด 2 นิ้ว ซึ่งจะเข้าทางด้านล่างที่อุณหภูมิห้อง ส่วนชั้นในเป็นท่อก๊าซ ขนาด 1 นิ้ว ซึ่งจะเข้าทางด้านบน ไอน้ำที่ปนเข้ามากับก๊าซจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำรวมตัวกันไหลออกทางด้านล่าง และลงชุดดักน้ำ ซึ่งสามารถระบายน้ำออกได้เป็นระยะ ๆ ทางด้านล่าง ส่วนก๊าซผลิตภัณฑ์แห้งที่เหลือจะผ่านเข้าชุดเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.8 เครื่องควบแน่นไอน้ำ ซึ่งออกแบบเป็นท่อสองชั้นในแนวดิ่ง

3.1.6 ที่เก็บตัวอย่างก๊าซ

เป็นท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 ซม. ยาว 30 ซม. ดังรูปที่ 3.9 ภายในบรรจุสารดูดความชื้นแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$ anhydrous) ทางออกต่อเข้ากับสายยาง ซึ่งเป็นบริเวณที่ดึงตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์

3.1.7 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ

เป็นเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รุ่น GC 121 MB ของประเทศฝรั่งเศส ดังรูปที่ 3.10 (รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ช.) เมื่อฉีดก๊าซตัวอย่างเข้าเครื่องวิเคราะห์ ก๊าซตัวอย่างจะถูกดูดซับบนพอราพัค คิว (Porapak Q) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ ก๊าซที่ถูกดูดซับได้ดีจะใช้เวลาอยู่ในคอลัมน์นาน ส่วนก๊าซที่ถูกดูดซับได้ยากกว่าจะออกจากคอลัมน์ได้เร็ว เมื่อก๊าซแต่ละชนิดถูกแยกจากกันปริมาณของก๊าซแต่ละชนิดจะถูกแสดงออกมาเป็นพีค (peak) ที่เครื่องอินทิเกรเตอร์ (integrator) ดังรูปที่ 3.11 และสามารถคำนวณหาเปอร์เซนต์ของก๊าซแต่ละชนิด จากพื้นที่ใต้กราฟของแต่ละพีคได้ ดังภาคผนวก ช.

รูปที่ 3.9 บริเวณที่ทำการเก็บก๊าซตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์

รูปที่ 3.10 เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ รุ่น GC 121 MB ที่ใช้วิเคราะห์ก๊าซตัวอย่าง

I10311385

รูปที่ 3.11 เครื่องอินทิเกรเตอร์แสดงผลการวิเคราะห์ก๊าซตัวอย่าง

รูปที่ 3.12 ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al_2O_3 ก่อนและหลังการใช้งาน

3.2 วิธีการทดลอง

ได้แบ่งขั้นตอนการทดลองไว้ดังนี้

3.2.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี Ni/Al_2O_3 (10)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี Ni/Al_2O_3 หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่เป็นโลหะนิกเกิลเกาะตัวอยู่บนอลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งเป็นซับพอร์ต (support) ในการทดลองอลูมินาที่นำมาใช้คือ อลูมินาชนิดแกมมา (gamma alumina) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 ถึง 315 ไมโครเมตร มีความพรุนสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน 50 อังสตรอม ปริมาตรของรูพรุนคิดเป็น 90 เปอร์เซนต์ของปริมาตรทั้งหมด วัดพื้นที่จำเพาะโดยวิธีของ BET ได้ถึง 250 ตารางเมตรต่อกรัม (10)

ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี Ni/Al_2O_3 ที่ใช้เตรียมโดยการอิมเพรกเนชัน (impregnation) ตามวิธีการของ Hemati (10) เริ่มจากการเตรียมอลูมินา โดยการอบอลูมินาที่จะนำมาใช้ที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ขณะเดียวกัน เตรียมสารละลายนิกเกิลไนเตรท ($Ni(NO_3)_2.6H_2O$) จากการละลายนิกเกิลไนเตรทเฮกซะไฮเดรท 180 กรัมในน้ำ 1 ลิตร จากนั้นเทอลูมินาลงในสารละลายนิกเกิลไนเตรทที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สารละลายนิกเกิลไนเตรทจะเกาะตัวอยู่บนผิวของอลูมินา กรองแยกสารละลายที่เหลือออกจากอลูมินา จากนั้นนำอลูมินาที่ชุบนิกเกิลไนเตรทเรียบร้อยแล้วไปทำการอบที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้สารประกอบของนิกเกิลไนเตรทซึ่งมีสีเขียวอ่อนเกาะอยู่บนซับพอร์ตอลูมินา

ทำการแคลซิเนชันนิกเกิลไนเตรทบนอลูมินาที่ได้ ให้เป็นนิกเกิลออกไซด์ด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด ที่สภาวะความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เก็บนิกเกิลออกไซด์บนอลูมินาที่ได้ไว้ก่อนนำมาใช้งานจะต้องทำการรีดักชันด้วยไฮโดรเจนปริมาณเล็กน้อย ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดให้เป็นนิกเกิลบนซับพอร์ตอลูมินา (Ni/Al_2O_3) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่พร้อมจะนำมาใช้งาน

ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี Ni/Al_2O_3 ที่เตรียมได้ จะมีพื้นที่จำเพาะ 230 ตารางเมตรต่อกรัม ความหนาแน่น 1610 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.2 ทำการทดลองหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี Ni/Al_2O_3

ทำการทดลองหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชัน ของตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี Ni/Al_2O_3 ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบด ด้วยอากาศที่อุณหภูมิ 650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส

ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/Al_2O_3 จำนวนหนึ่ง ในเครื่องปฏิกรณ์แบบฟลูอิไดซ์เบดเพื่อใช้เป็นเบด จากนั้นป้อนอากาศพร้อมกับให้ความร้อนแก่เบดด้วยขดลวดให้ความร้อน ซึ่งควบคุมอุณหภูมิโดยไมโครคอมพิวเตอร์ ควบคุมอุณหภูมิที่ 600 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิคงที่ทำการเก็บข้อมูลระหว่างอัตราการไหลของอากาศจากระดับโรตามิเตอร์ และความดันตกของเบดจากความสูงของมานอมิเตอร์ ข้อมูลที่ได้นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศที่ผ่านเบดกับความดันตกของเบด สามารถหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันได้จากกราฟ ซึ่งเป็นจุดที่ความดันตกของเบดเริ่มคงที่ ดังภาคผนวก ก. จากนั้นทำการทดลองซ้ำที่อุณหภูมิ 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส

3.2.3 ขั้นตอนการทดลอง

ก่อนทำการทดลองต้องทำการอุ่นเครื่องปฏิกรณ์ซึ่งบรรจุตัวเร่งปฏิกิริยาไว้ภายในด้วยอากาศ และควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ให้ได้ที่ 600 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการรีดักชันตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยไฮโดรเจน โดยการป้อนไฮโดรเจนผ่านเบดปริมาณเล็กน้อยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ในขั้นตอนนี้จะมีแอคติวิตีสูงพร้อมที่นำไปใช้งาน เริ่มการป้อนสารตั้งต้น ไนโตรเจน ไอน้ำ และแอล พี จี ตามลำดับ ด้วยปริมาณที่กำหนด จนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงทำการดึงตัวอย่างก๊าซผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครโตรกราฟ จากนั้นทำการทดลองซ้ำโดยการเปลี่ยนสภาวะการทดลอง ตามตัวแปรที่จะศึกษาดังนี้

3.2.3.1 ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิเบดด้วยโปรแกรมควบคุมแบบ P ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่

ก. ค่าขยายสัญญาณไฟฟ้า (proportional gain, K_c) ที่ K_c 0.2, 3, 6, 9, 12 และ 15 โวลต์ต่อองศาเซลเซียส

ข. แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สภาวะคงที่ที่อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (V_s) ที่ V_s 70 ถึง 180 โวลต์

ค. อุณหภูมิที่ต้องการควบคุม (T_s) ที่อุณหภูมิ 650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส

จากนั้นทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสัดส่วนของสารตั้งต้น H_2O/LPG และอัตราเร็วในการป้อนสารตั้งต้น U/U_{mf} ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิของระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

3.2.3.2 ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิเบดด้วยโปรแกรมควบคุมแบบ PI ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าคงที่เวลาอินทิกรัล (integral time constant, T_I) ที่ T_I = 1, 5, 10 และ 15 นาที

จากนั้นทำการศึกษาถึง อิทธิพลของอัตราเร็วในการป้อนสารตั้งต้น U/U_{mf} ที่มีผลต่อการควบคุมอุณหภูมิของระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

3.2.3.3 ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิเบดด้วยโปรแกรมควบคุมแบบ PID ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าคงที่เวลาเดริวาทีฟ (derivative time constant, T_D) ที่ T_D = 5, 1, 0.1 และ 0.02 นาที

3.2.3.4 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จากปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 650, 700, 750 และ 800 องศาเซลเซียส

3.2.3.5 ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วน H_2O/LPG ที่มีผลต่อปฏิกิริยารีฟอร์มมิ่งแอล พี จี ด้วยไอน้ำ ที่ H_2O/LPG = 1.5, 3, 4.5 และ 6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย