บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การศึกษาการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหินเวียงแหงในฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง มีอุปกรณ์และขั้นตอนในการทำการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 อุปกรณ์เตรียมถ่านหิน ได้แก่

3.1.1.1 เครื่องบดถ่านหินชนิดหยาบ (รูปที่ 3.1)

3.1.1.2 เครื่องบดถ่านหินชนิดละเอียด

3.1.1.3 ตะแกรงแร่งคัดขนาด

รูปที่ 3.1 เครื่องบดถ่านหินชนิดหยาบ

3.1.2 อุปกรณ์ป้อนถ่านหินเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ผลิตแก๊ส (รูปที่ 3.2)

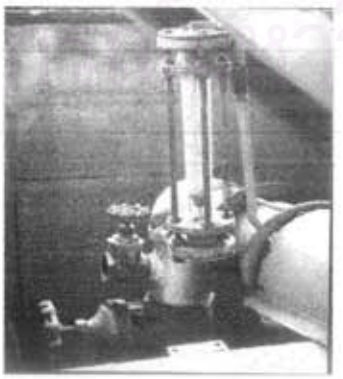
เป็นเครื่องป้อนถ่านหินแบบ Screw Feeder ประกอบด้วยถังบรรจุถ่านหินและระบบลำเลียงวัตถุดิบ (Screw Feeder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวป้อน 4.8 เซนติเมตร ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส อัตราการหมุน 1,400 รอบต่อนาที พ่วงด้วย

เครื่องลดความเร็วขนาด 1 : 50 ควบคุมความเร็วการป้อนด้วย เครื่องควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ สามารถปรับความเร็วในการป้อนถ่านหินได้ตั้งแต่อัตราการป้อน 27 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ถึงอัตราการป้อนถ่านหิน 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง บริเวณสกรูป้อนมีระบบน้ำหล่อเย็น เพื่อไม่ให้อุณหภูมิของสกรู สูงเกินไป

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ป้อนถ่านหินเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ผลิตแก๊ส

3.1.3 อุปกรณ์ป้อนอากาศ (Air Blower)

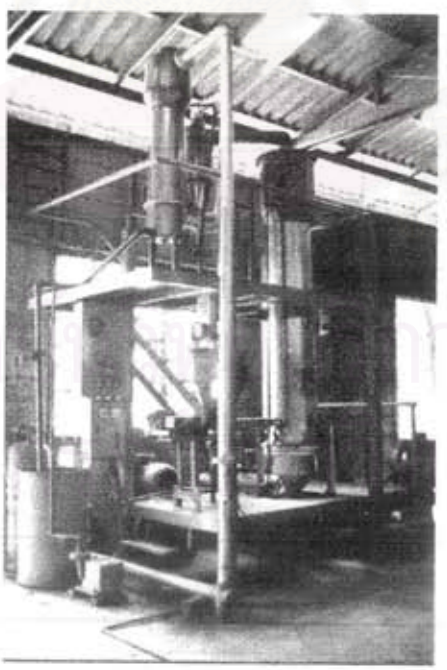
เครื่องป้อนอากาศที่ใช้เป็นเครื่องเป่าอากาศ Broom Wade แบบ Ac 41 ขนาดกำลังผลิตสูงสุด 1.86 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ความดันสูงสุดประมาณ 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อากาศจะส่งตามท่อผ่านการควบคุมโดยบอลวาล์ว และวัดอัตราการไหลด้วยเครื่องวัดอัตราการไหล



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Rotameter)

3.1.4 ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์สำหรับกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (รูปที่ 3.4)

เครื่องปฏิกรณ์สร้างขึ้นจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) หนา 0.3 เซนติเมตร ส่วนล่างของคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 39 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร ส่วนบนของคอลัมน์ (Freeboard) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 54 เซนติเมตร สูง 74 เซนติเมตร เพื่อลดความเร็วลมและอนุภาคที่อยู่ในคอลัมน์ ภายในส่วนของ Freeboard บรรจุ ไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ทำหน้าที่แยกอนุภาคถ่านหินออกจากแก๊สที่จะออกจากคอลัมน์ เพื่ออนุภาคถ่านจะตกลงสู่ด้านล่างของคอลัมน์ บริเวณส่วนล่างของคอลัมน์ ภายในติดตั้งแผ่นกระจายลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 41 เซนติเมตร หนา 0.1 เซนติเมตร ขนาดรูของแผ่นกระจายลม 0.04 เซนติเมตร บริเวณกึ่งกลางแผ่นกระจายลมมีช่องสำหรับสอดท่อนำเถ้าออกจากคอลัมน์สู่ท่อบรรจุสกรูขับเถ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนำเถ้าและท่อบรรจุสกรูขับเถ้า มีขนาด 5 เซนติเมตร ภายนอกเครื่องปฏิกรณ์หุ้มด้วยท่อเหล็กหล่อหนา 0.95 เซนติเมตร ทำหน้าที่เป็นโครงพยุงเครื่องปฏิกรณ์ ป้องกันการยุบตัวของคอลัมน์เมื่ออุณหภูมิสูง ด้านนอกท่อเหล็กหุ้มด้วยฉนวนเซรามิกไฟเบอร์ หนา 2.54 เซนติเมตร ป้องกันการสูญเสียความร้อนจากเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 3.4 เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง (ลักษณะทั่วไป)

3.1.5 อุปกรณ์นำเถ้าออกจากคอลัมน์ ประกอบด้วย

3.1.5.1 อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ขับเถ้า

เป็นวงจรควบคุมการทำงานมอเตอร์โดยวงจรจะควบคุมให้มอเตอร์ขับเถ้าทำงานเมื่อระดับน้ำในมานอมิเตอร์ที่ใช้วัดความดันลดภายในคอลัมน์ อยู่ต่ำกว่าระดับที่สัมผัสกับลวดทองแดงที่ต่อมาจากวงจรควบคุมในมานอมิเตอร์ การควบคุมอาศัยหลักของความดันลดที่เกิดขึ้นภายในคอลัมน์เมื่อ ปริมาณถ่านหินในคอลัมน์มีปริมาณมากขึ้น ทำให้มอเตอร์ขับเถ้าทำงาน

3.1.5.2 อุปกรณ์ขับเถ้า ประกอบด้วย

ท่อนำเถ้าออกจากคอลัมน์สู่ท่อบรรจุสกรูขับเถ้า สกรูขับเถ้ามีเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียว 4.76 เซนติเมตร ยาว 162 เซนติเมตร สกรูพ่วงด้วยเครื่องลดความเร็วรอบขนาด 1 : 40 ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้าใช้ไฟฟ้า 3 เฟส อัตราการหมุน 1,400 รอบต่อนาที

3.1.6 ไซโคลน (Cyclone)

ไซโคลนเป็นอุปกรณ์สำหรับแยกเถ้าและอนุภาคถ่านหินขนาดเล็กออกจากแก๊สเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของอนุภาคในอากาศ ตัวไซโคลนทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 0.3 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 31 เซนติเมตร สูง 120 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกแก๊ส 16 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของเถ้า 5 เซนติเมตร

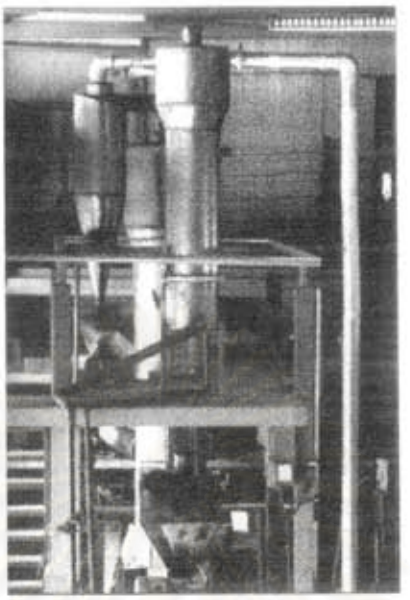
3.1.7 หอดูดซับ (Adsorption Column) (รูปที่ 3.5)

คอลัมน์ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ตัวคอลัมน์สูง 160 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมี 2 ส่วน ส่วนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ส่วนล่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ภายในบรรจุตะแกรงสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 32 เซนติเมตร ขนาดช่องของตะแกรง 0.3 เซนติเมตร ภายในบรรจุตัวกลางในการดูดซับ (Raschig rings) ทำจากท่อสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร บรรจุเหนือตะแกรงความสูงเบด 15 เซนติเมตร ส่วนบนของหอมีท่อสำหรับสเปรย์น้ำสวนทางกับทิศทางเดินทางของแก๊สที่ผลิตได้ ด้านล่างมีท่อทางเดินแก๊สจากไซโคลน เข้าสู่คอลัมน์ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตร หอดูดซับทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของแก๊สผลิตภัณฑ์ และดูดซับควันและเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้

3.1.8 เครื่องบรรจุแก๊ส ประกอบด้วย

3.1.8.1 เครื่องปั๊มสูญญากาศ เพื่อทำให้ภายในภาชนะบรรจุแก๊สเป็นสูญญากาศ โดยดูจาก ภาวะในการเกิดสูญญากาศจาก เกจวัด

3.1.8.2 เครื่องคอมเพรสเซอร์ เพื่อดึงแก๊สเชื้อเพลิงจากท่อนำแก๊สเพื่อบรรจุลงในภาชนะ บรรจุแก๊ส โดยแก๊สที่จะผ่านคอมเพรสเซอร์ จะต้องผ่านไส้กรองอนุภาคและลดอุณหภูมิก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 3.5 หอดูดซับ (Adsorption Column)

3. 1.9 หอเผาเขม่า (Berner Tower)

คอลัมน์ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ตัวคอลัมน์สูง 140 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ภายในติดตั้งหัวเผา ทำหน้าที่กำจัดแก๊สซัลเฟอร์ที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหิน และลดเขม่า

3.1.10 เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโทกราฟี ของภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประกอบด้วย

เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟียี่ห้อ : Shimadzu GC-14B

ชนิดของคอลัมน์ : แพคคอลัมน์ยาว 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร อนุภาคขนาด 50 – 80 ไมโครเมตร

: โมเลคิวลาร์ ซีฟ ยาว 3 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร อนุภาคขนาด 50-80 ไมโครเมตร

วัสดุที่ใช้ทำคอลัมน์มีหลายชนิดในการวิเคราะห์นี้ใช้เหล็กสแตนเลสขดเป็นคอยส์ เนื่องจากเหล็กสแตนเลสเหมาะที่จะใช้ในการวิเคราะห์สารพวกไฮโดรคาร์บอน โดยแบ่งออกเป็น 2 คอลัมน์บรรจุพอราแพค คิว (Porapak Q) และโมเลคิวลาร์ ซีฟ (Molecular seive) ตามลำดับ เพื่อเป็นตัวดูดซับ (Adsorbent) สารต่าง ๆ ไว้ในขณะที่มีการวิเคราะห์ เหตุผลที่ต้องมี 2 คอลัมน์ก็เนื่องมาจากโมเลคิวลาร์ ซีฟ จะให้ผลการวิเคราะห์ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไม่ถูกต้อง เพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกดูดซับโดยอนุภาคที่บรรจุภายในคอลัมน์

พอราแพค คิว เป็นตัวดูดซับที่เป็นพอลิเมอร์มีรูพรุน (Porous polymer) เหมาะสำหรับการแยกแก๊สและสารที่มีขั้ว เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ เมทานอล เป็นต้น

โมเลคิวลาร์ ซีฟ เป็นตัวดูดซับประเภท Aluminium silicate ion exchange ใช้ในการแยกออกซิเจนและไนโตรเจนได้ดี แต่จะมีข้อเสียสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

เครื่องตรวจวัด : Thermal conductivity detector (TCD)

เครื่องตรวจวัด คือ เครื่องมือที่ทำการวัดจำนวนสารตัวอย่างที่แยกโดยคอลัมน์และถูกพามาโดยแก๊สพา เครื่องตรวจวัดต้องร้อนพอที่จะระเหยสารตัวอย่างและผ่านออกไปโดยไม่ตกค้างอยู่ในเครื่องตรวจวัดเลย นอกจากนี้อุณหภูมิของเครื่องตรวจวัดต้องสูงกว่าของคอลัมน์ เครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้กันมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ Flame ionization detector (FID) และ Thermal conductivity detector (TCD)

เครื่องตรวจวัดแบบ TCD นี้จะวัดสารที่ออกมากับแก๊สพาได้โดยใช้หลักการทำงานดังนี้ แก๊สพาบริสุทธิ์กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างอยู่ด้วยจะมีสมบัติในการนำความร้อน (Thermal conductivity) ต่างกัน เมื่อสารตัวอย่างที่ถูกแยกออกจากคอลัมน์พร้อมด้วยแก๊สพาผ่านเข้าไปในเครื่องตรวจวัดและผ่านตลอด (Filament) ซึ่งทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่ง ขดลวดจะเสียความร้อนให้กับแก๊สพาที่มีสารตัวอย่างเข้ามาในเครื่องตรวจวัดแล้ว เครื่องตรวจวัดก็จะปรับกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดมีความร้อนเท่าเดิม กระแสไฟฟ้าที่ใช้ปรับความร้อนนี้จะเป็นสัญญาณส่งเข้าเครื่องบันทึกโดยบันทึกออกมาเป็น โครมาโทแกรม (Chromatogram)

สารตัวอย่างที่เข้าเครื่อง TCD นี้จะไม่ถูกทำลาย ความว่องไวของเครื่องตรวจวัดชนิดนี้ขึ้นอยู่กับค่าการนำความร้อนของแก๊สพา ถ้าแก๊สพามีค่าการนำความร้อนจะทำให้ sensitivity ของเครื่องตรวจวัดดีมาก ตารางที่ 3 แสดงค่าของการนำความร้อนของแก๊สบางชนิด จากตาราง พบว่าไฮโดรเจนเหมาะสมสำหรับ TCD แต่ไฮโดรเจนค่อนข้างอันตรายเพราะเกิดการระเบิดได้ ดังนั้นจึงนิยมใช้ฮีเลียมมากกว่า

ข้อควรระวังในการใช้ TCD คือ อัตราเร็วของแก๊สพาจะต้องคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง อุณหภูมิของเครื่องตรวจวัดต้องสูงกว่าอุณหภูมิของคอลัมน์ และเมื่อเสร็จการวิเคราะห์แล้ว ต้องปิดกระแสไฟเสียก่อนที่จะลดอุณหภูมิ และปิดแก๊สพา ถ้าปิดกระแสไฟหลังการลดอุณหภูมิและการปิดแก๊สพาจะทำให้ขดลวดขาดได้

เครื่องวิเคราะห์ผล : C – R 6A Chromatopac Integrator

เครื่องบันทึกเป็นส่วนที่บันทึกผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม โดยใช้สัญญาณที่ได้มาจากเครื่องตรวจวัด เครื่องบันทึกนี้สามารถนำไปใช้กับเครื่องมืออื่น ๆ ได้ วิธีการใช้เครื่อง

บันทึกผลนี้จะมีข้อแตกต่างกันไปตามชนิดของเครื่องบันทึก สำหรับที่ใช้ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เป็นแบบอินทิเกรเตอร์ (Integrator)

อินทิเกรเตอร์เป็นเครื่องสำหรับการคำนวณหาพื้นที่ของพีกที่ได้มาจากเครื่องบันทึก อินทิเกรเตอร์บางชนิดมีเครื่องบันทึกและส่วนที่คำนวณพีกอยู่รวมกัน เช่น computing integrator จะให้โครมาโทแกรม และคำนวณพื้นที่ของพีก ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของแก๊สแต่ละชนิดได้

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1. ถ่านหิน จากแหล่งถ่านหินเวียงแหง อ.เวียงแหง จ. เชียงใหม่ ได้มาจากกรมทรัพยากรธรณี กองเชื้อเพลิงธรรมชาติ

3.2.2. แก๊สอาร์กอน

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1. การเตรียมวัตถุดิบ

1. นำถ่านหินที่ได้จากแหล่งถ่านหินเวียงแหง ผึ่งแดด เป็นเวลา 1 วันเพื่อให้ถ่านหินแห้ง เนื่องจากแหล่งที่ขุดถ่านหินอยู่ในบริเวณห้วย ทำให้ถ่านหินที่ได้มีความชื้นสูง

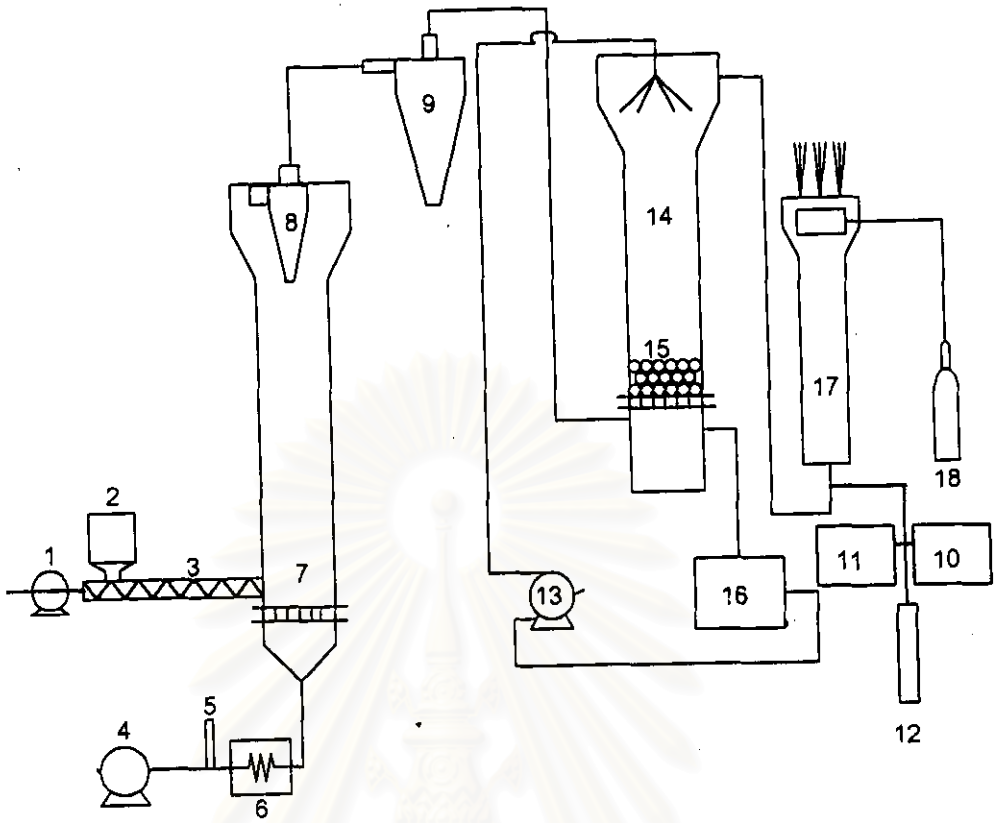
2. นำถ่านหินที่ผึ่งแดดแล้ว นำมาบดด้วย เครื่องบดชนิดหยาบ

3. ถ่านหินที่ผ่านการบดหยาบแล้ว จะถูกคัดแยกขนาดเป็นขนาดเล็กกว่า 0.8 มิลลิเมตร, 0.8-2.36 มิลลิเมตร, 2.36-4.75 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร โดยผ่านตะแกรงแร่ง ขนาด 4.75, 2.36 และ 0.8 มิลลิเมตร

4. ถ่านหินที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร จะนำไปเข้าเครื่องบดละเอียดเพื่อนำมาผ่านตะแกรงแร่ง อีกครั้ง

5. นำถ่านหินที่ได้มาผสมกันด้วยเครื่องผสมในแต่ละขนาด เพื่อให้ถ่านหินที่ใช้ในการทดลองมีสมบัติเหมือนกัน

6. นำถ่านหินที่ได้จากข้อ 5 มาบดผ่านตะแกรงแร่ง ขนาด 250 ไมโครเมตร นำถ่านหินไปวิเคราะห์หาสมบัติแบบประมาณ (Proximate Analysis, ASTM D 3172)



1. MOTER
2. HOPPER
3. SCREW FEEDER
4. BLOWER
5. ROTAMETER
6. HEATER
7. FLUIDIZED – BED COLUMN
8. INTERNAL CYCLONE
9. EXTERNAL CYCLONE
10. VACUUM PUMP
11. COMPRESSOR
12. SAMPLING BOTTOM
13. PUMP
14. ABSORBER TOWER
15. RASCHIG RING
16. TANK
17. BURNER TOWER
18. LPG GAS

รูปที่ 3.6 เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

3.3.2. การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากถ่านหิน

นำถ่านหินที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบมา 1 ขนาด

1. ป้อนถ่านหินเข้าสู่คอลัมน์จำนวน 27 kg ซึ่งจะให้ความสูงเบดในคอลัมน์เท่ากับ 20 เซนติเมตร

2. ป้อนอากาศเข้าสู่คอลัมน์ ที่ความเร็วน้อย ๆ แล้วใส่ถ่านไม้ติดไฟเข้าสู่คอลัมน์ทางช่องใส่ถ่านไม้ จนถ่านหินในคอลัมน์เริ่มติดไฟ จึงทำการปิดฝาของช่องใส่ถ่านไม้ จากนั้นทำการป้อนอากาศให้เท่ากับความเร็ว 1.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิไดเซชันของถ่านหินขนาดใหญ่ ซึ่งมีความเร็วอากาศเท่ากับ 1.26 เมตรต่อวินาที

3. เมื่ออุณหภูมิในคอลัมน์ ถึง 400 องศาเซลเซียส จึงเริ่มป้อนถ่านหินเข้าสู่คอลัมน์ด้วยอัตราการป้อนถ่านหิน 174 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ควบคุมให้อุณหภูมิภายในเบดคงที่ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส จึงเริ่มเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิ เป็น 600 องศาเซลเซียส

4. เพิ่มอุณหภูมิ เป็น 600 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการป้อนถ่านหิน 175 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ควบคุมให้อุณหภูมิภายในเบดคงที่ จึงเริ่มเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง เป็นเวลา 15 นาที เพิ่มอุณหภูมิ เป็น 700, 800, 900 ทำซ้ำขั้นตอนเดิม โดยใช้อัตราการป้อนถ่านหิน 175.5, 190, และ 196 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ

5. นำแก๊สที่ได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบแก๊สโดยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี

6. การวิเคราะห์หาองค์ประกอบโดยโครมาโทกราฟี

ใช้เข็มฉีดแก๊สปริมาตร 1 มิลลิลิตรดูดแก๊สจากอุปกรณ์เก็บแก๊ส ฉีดแก๊สเข้าเครื่องมือแก๊สโครมาโทกราฟีด้วยปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยมีภาวะดังนี้

อุณหภูมิระบบฉีดสาร	150 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิเครื่องตรวจวัด	150 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิของ TCD	150 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์	อุณหภูมิเริ่มต้น 60 องศาเซลเซียสให้อุณหภูมิคงที่นาน 1 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มด้วยอัตรา 3 องศาเซลเซียสต่อ 1 นาที ให้อุณหภูมิคงที่ 1 นาที
อัตราการไหลของแก๊สตัวพา	12 มิลลิลิตรต่อนาที

จากภาวะดังกล่าวเวลาที่อยู่ในคอลัมน์ (Retention Time) ของ

ไฮโดรเจน ประมาณ	1.35 นาที
มีเทน ประมาณ	6.30 นาที
คาร์บอนมอนอกไซด์ ประมาณ	8.85 นาที
คาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ	4.88 นาที