

### บทที่ 3

#### การดำเนินงานทดลอง

##### 3.1 ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

เลือกถ่านหินที่มีเกรดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ

- ถ่านหินบางปุดำ 110 จังหวัดกระบี่ มีเกรด 8.02 เปอร์เซ็นต์
- ถ่านหินแม่เมาะ จังหวัดลำปาง มีเกรด 18.05 เปอร์เซ็นต์
- ถ่านหินบางปุดำ 163 จังหวัดกระบี่ มีเกรด 41.89 เปอร์เซ็นต์

##### 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

###### อุปกรณ์ในการเตรียมตัวอย่าง

- เครื่องบดถ่านหินชนิด hammer mill
- เครื่องบดถ่านหินชนิด cross beater mill
- เครื่องบดถ่านหินชนิด ball mill
- ตะแกรงร่อนถ่านหิน ขนาด 75 และ 250 ไมโครเมตร

###### อุปกรณ์ในการล้างสารอินทรีย์

- ชุดรีฟลักซ์ ประกอบด้วยขวดก้นกลมขนาด 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- คอนเดนเซอร์ และเตา heating mantle (ภาพที่ 3.1)
- กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37.6 เปอร์เซ็นต์
- ชุดอุปกรณ์กรองแบบสุญญากาศ (suction) ประกอบด้วย
  - ก. กระดาษกรองเบอร์ 42
  - ข. Suction filtering flask ขนาด 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร
  - ค. กรวยกรอง (Buchner funnel)
  - ง. บี้มสุญญากาศ ขนาด 0.25 แรงม้า

### อุปกรณ์ในการไพโรไลส์

- เตาสำหรับไพโรไลส์ (tubular furnace) เป็นเตาทรงกระบอก ด้านบนเปิด สูง 52.5 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 เซนติเมตร ตั้งอุณหภูมิได้ในช่วง 30-1200 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัปเปิลตรงกลางเตา (ภาพที่ 3.2)

- เครื่องปฏิกรณ์สำหรับไพโรไลส์ (pyrolyzed reactor) ทำด้วยเหล็กปลอดสนิม เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 3.8 เซนติเมตร มีฝาปิดและท่อระบายก๊าซขนาด 1 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร (ภาพที่ 3.3)

### อุปกรณ์ในการเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

- ตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ โปตัสเซียมคาร์บอเนต และโซเดียมคาร์บอเนต
- เตาอบสูญญากาศ (vacuum oven)

### อุปกรณ์ในการแก๊สฟลาย

- ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
- อุปกรณ์ควบคุมการไหลเข้าของก๊าซ Metheson mass flow meter มี 2 ขนาดคือ ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีสำหรับควบคุมก๊าซไนโตรเจนและก๊าซออกซิเจน และขนาด 300 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาทีสำหรับควบคุมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ภาพที่ 3.4)
- Metheson mass flow controller model 8274
- Netzsch Thermal Analyser รุ่น STA 429 (ภาพที่ 3.5 และ ภาพที่ 3.6) ประกอบด้วย
  - ก. Simultaneous DTA and Thermobalance
  - ข. Temperature Controller
  - ค. X-Y <sub>1</sub> Y<sub>2</sub> Plotter
  - ง. Sample holder ลักษณะเป็นจานเซรามิกส์ เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.7 เซนติเมตร

### อุปกรณ์ในการดักเก็บก๊าซ

- อุปกรณ์ดักเก็บก๊าซ 5 กระบอก เป็นท่อเหล็กปลอดสนิมทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร สูง 14 เซนติเมตร ปิดหัวท้าย ด้านบนติดวาล์ว 2 ตัวและมีท่อตรงกลางเป็นฝาเกลียวเจาะรูด้านบน มีแผ่นยาง (septum) กันเพื่อความสะอาดในการดูดก๊าซไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (ภาพที่ 3.7)

- เทอร์มอสตอสมิเนียมใส่ไนโตรเจนเหลว เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 เซนติเมตร และสูง 13.75 เซนติเมตร ภายนอกหุ้มด้วยฉนวนโฟมหนา 5 เซนติเมตร บรรจุไนโตรเจนเหลวได้ 1300 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ภาพที่ 3.8)

- ถังเก็บไนโตรเจนเหลว ขนาด 25 ลิตร (ภาพที่ 3.9)

### อุปกรณ์ในการตรวจสอบก๊าซ

- ก๊าซผสมมาตรฐานจาก Scott Specialty Gases เลขที่ K-002077 (ภาพที่ 3.10) ส่วนผสมคือ

	เปอร์เซ็นต์โมล
คาร์บอนมอนอกไซด์	0.996
คาร์บอนไดออกไซด์	1.01
ไฮโดรเจน	1.01
มีเทน	1.01
ออกซิเจน	1.00
ไนโตรเจน	ที่เหลือ

- เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟของ Hewlett Packard รุ่น 5990 series II (ภาพที่ 3.11)

- คอลัมน์ทำด้วยเหล็กปลอดสนิมบรรจุด้วย 60/80 เมช carboxen-1000

เส้นผ่านศูนย์กลาง 1/8 นิ้ว ยาว 15 ฟุต

- เข็มฉีดยาชนิด pressure lock ขนาด 1000 ไมโครลิตร

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 เตรียมตัวอย่างถ่านหินเพื่อนำไปวิเคราะห์

3.3.2 วิเคราะห์ถ่านหินแบบประมาณตามมาตรฐาน ASTM D 3172-3175 ได้แก่ ความชื้น สารระเหย เถ้า และส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์แบบแยกธาตุ โดยได้รับความอนุเคราะห์จาก กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม

3.3.3 วิเคราะห์หาค่าความร้อนและปริมาณกำมะถันของถ่านหิน ตาม ASTM D 2015, D-3177

3.3.4 ล้างสารอินทรีย์ออกจากถ่านหิน ด้วยกรดไฮโดรคลอริก

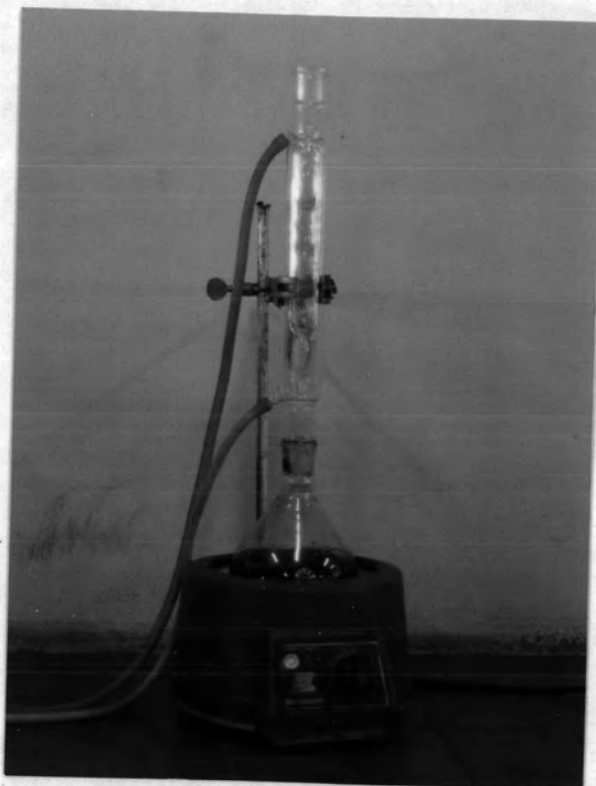
3.3.5 ไพโรไลซิส ในเตา tubular furnace

3.3.6 เติมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยวิธี vacuum impregnation

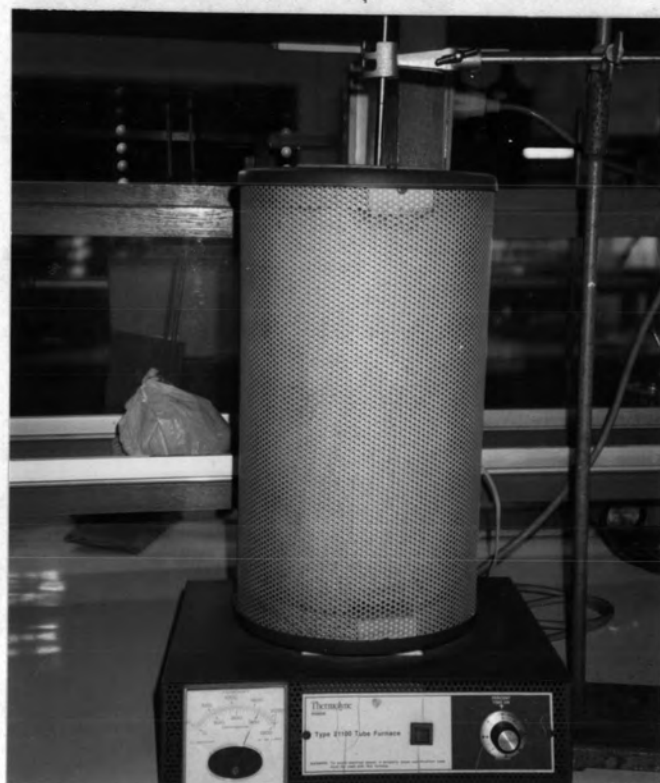
3.3.7 แกสไฟฟาย โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ทางความร้อน พร้อมทั้งเก็บก๊าซที่ออก

3.3.8 วิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ

สรุปขั้นตอนการทดลองดังแสดงเป็นแผนภูมิในรูปที่ 3.1 และแผนผังชุดการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



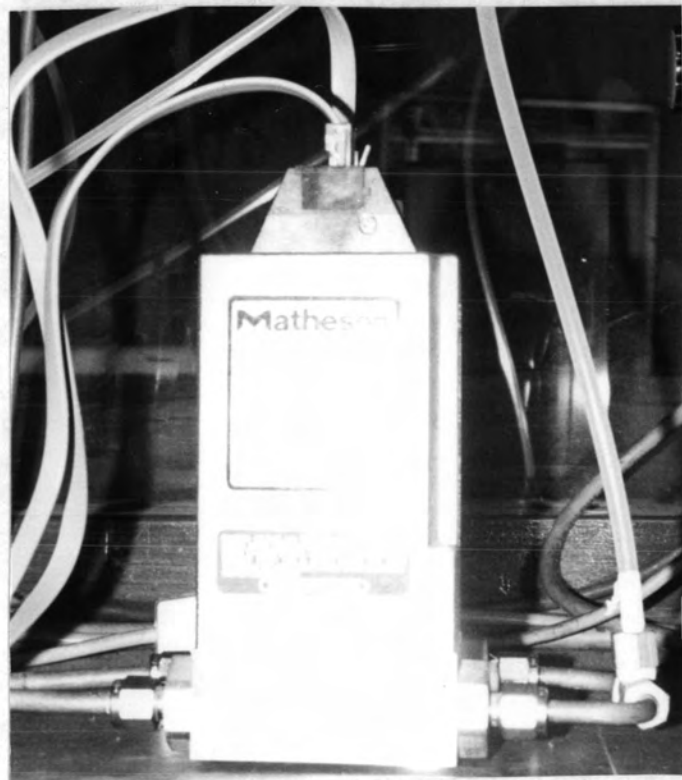
ภาพที่ 3.1 ชุดรีฟลักซ์



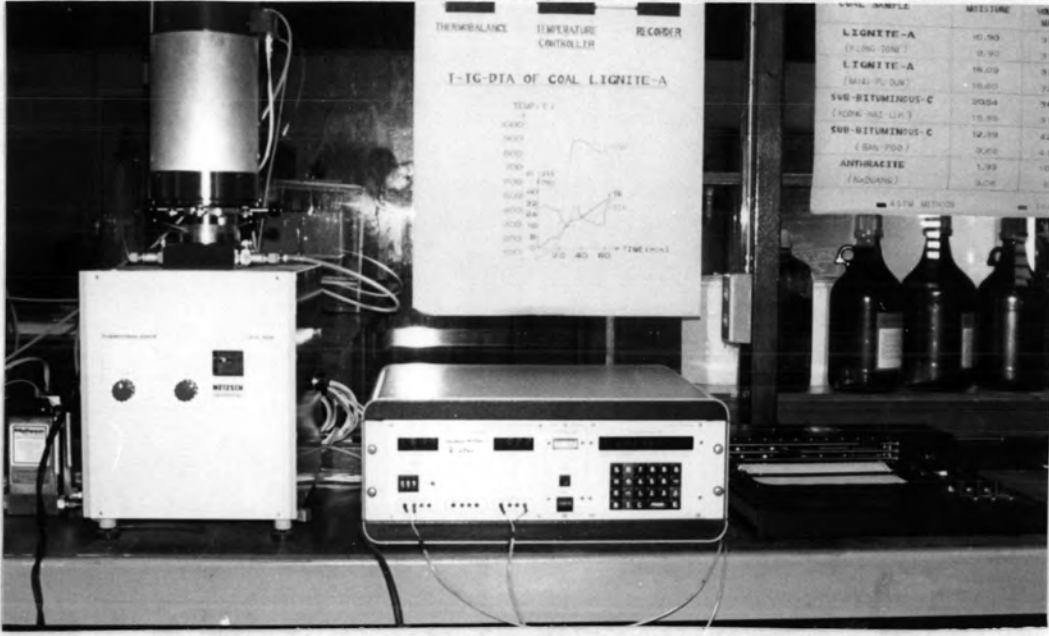
ภาพที่ 3.2 เตาสำหรับไพโรไลส์ (tubular furnace)



ภาพที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์สำหรับไพโรไลซ์ (pyrolyzed reactor)



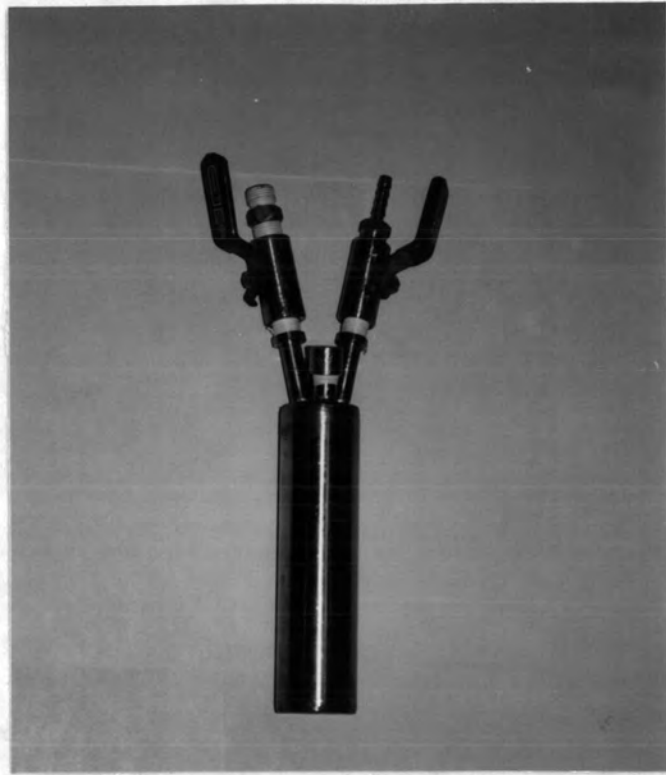
ภาพที่ 3.4 อุปกรณ์ควบคุมการไหลเข้าของก๊าซ Matheson mass flow meter



ภาพที่ 3.5 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ทางอุณหภูมิจึงความร้อน ได้แก่ Simultaneous DTA and Thermobalance, Recorder, Plotter



ภาพที่ 3.6 การวางครุขีเบ็ดบนแกนตั้งน้ำหนัก



ภาพที่ 3.7 อุปกรณ์ดักเก็บก๊าซ



ภาพที่ 3.8 เทอร์มอสตอสมิเนียมหุ้มฉนวนสำหรับใส่ในโตรเจนเหลว



ภาพที่ 3.9 ถังเก็บไนโตรเจนเหลว ขนาด 25 ลิตร

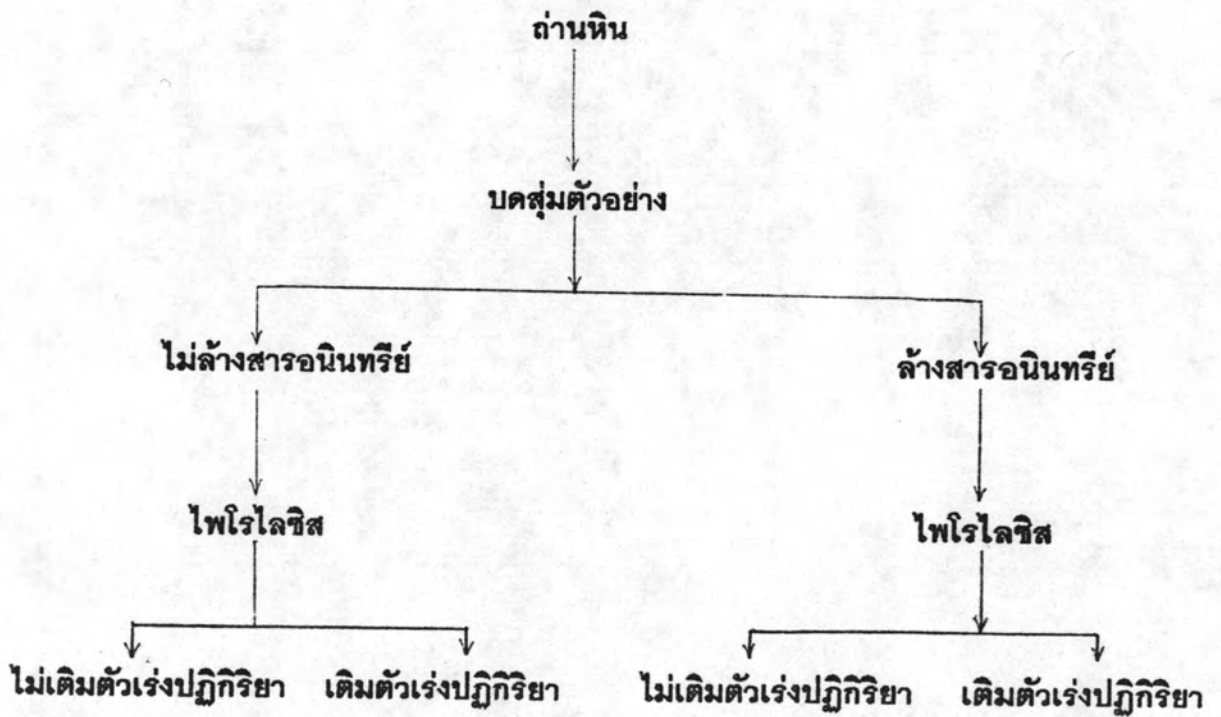


ภาพที่ 3.10 ก๊าซผสมมาตรฐานจาก Scott Specialty Gases

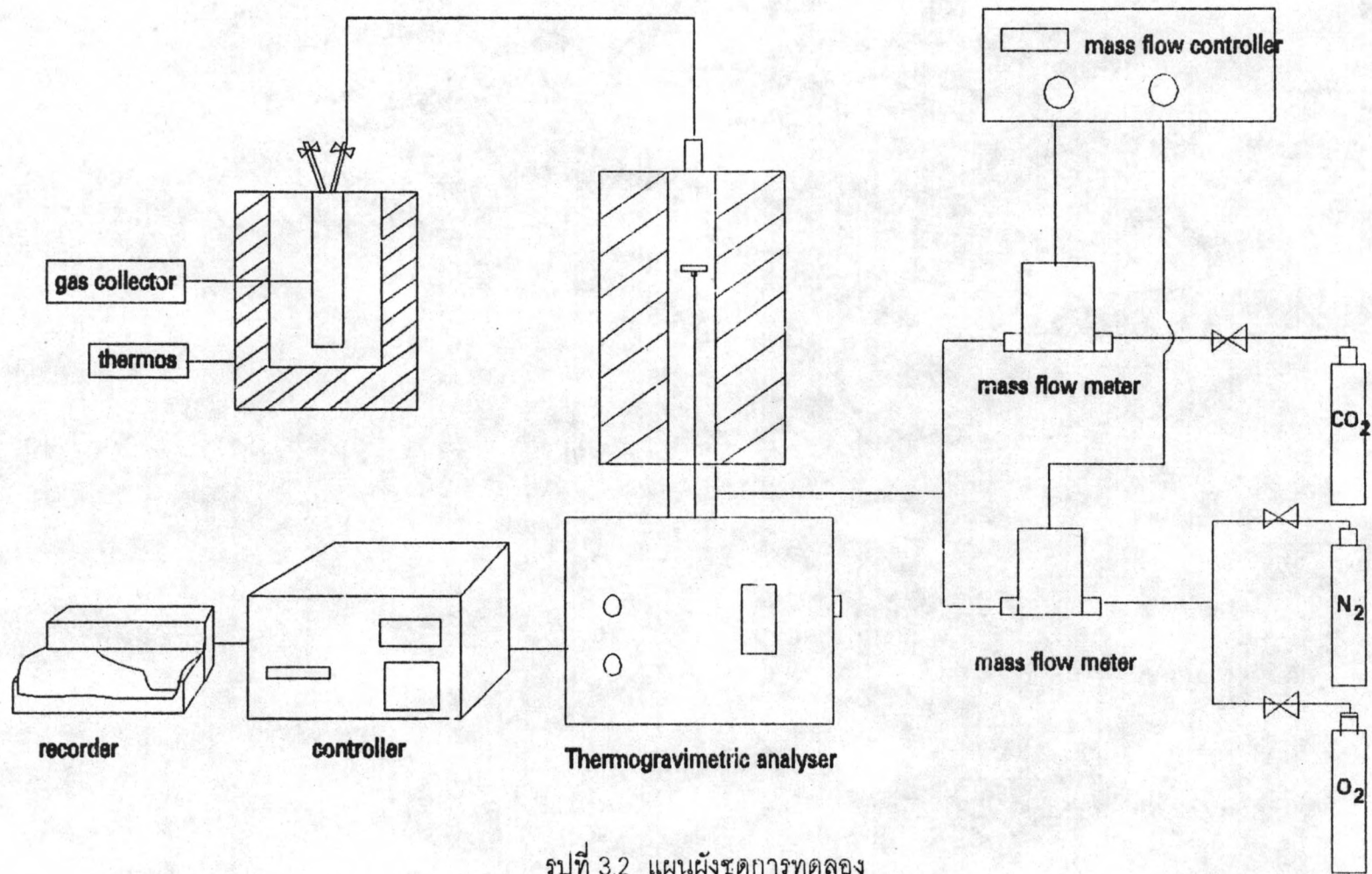




ภาพที่ 3.11 เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟของ Hewlett packard



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง



### 3.4 วิธีการทดลอง

#### 3.4.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหิน ตาม ASTM D-2013

3.4.1.1 บดถ่านหินตัวอย่าง 5 กิโลกรัมด้วย hammer mill จากนั้นนำไปผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 4 (4.75 มม) บดให้ผ่านตะแกรงร่อนอย่างน้อย 95% ของน้ำหนักถ่านหินทั้งหมด แบ่งถ่านหินโดยใช้รึฟเฟิล (riffle) ให้ได้น้ำหนักอย่างน้อย 2000 กรัม

3.4.1.2 นำถ่านหินที่ได้มาบดด้วย cross beater Mill ให้ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 8 (2.36 มิลลิเมตร) แบ่งให้มึน้ำหนักอย่างน้อย 500 กรัม

3.4.1.3 นำมาผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 20 (850 ไมโครเมตร) แบ่งให้มึน้ำหนักอย่างน้อย 250 กรัม

3.4.1.4 นำถ่านหินที่ได้มาบดละเอียดด้วย ball mill แบ่งเพื่อให้ได้ตัวอย่างสุดท้าย มีปริมาณไม่น้อยกว่า 50 กรัม ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 (250 ไมโครเมตร) ได้ทั้งหมด และนำไปเก็บในขวดที่มีฝาปิดแน่น

#### ตารางที่ 3.1 การเตรียมตัวอย่างถ่านหินที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์

บดให้ผ่านตะแกรงอย่างน้อย 95 เปอร์เซ็นต์	น้ำหนักอย่างน้อย (กรัม)
เบอร์ 4 ( 4.75 มิลลิเมตร )	2000
เบอร์ 8 ( 2.36 มิลลิเมตร )	500
เบอร์ 20 ( 850 ไมโครเมตร )	250
เบอร์ 60 ( 250 ไมโครเมตร )	50

#### 3.4.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการแก๊สฟลาย

3.4.2.1 เตรียมถ่านหินเช่นเดียวกับ 3.4.1

3.4.2.2 บดด้วย cross beater mill แล้วบดละเอียดด้วย ball mill

3.4.2.3 ให้ผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) อย่างน้อย 500 กรัม

3.4.2.4 นำไปอบที่ 105 องศาเซลเซียส แล้วเก็บในเดสิเคเตอร์

#### 3.4.3 การล้างสารอินทรีย์ออกจากถ่านหิน (Demineralization) (Matsukata, 1992)

3.4.3.1 เตรียมกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 1 นอร์มัล

3.4.3.2 นำถ่านหินที่เตรียมได้จากข้อ 3.4.2 ปริมาณ  $50 \pm 0.0050$  กรัม ใส่ขวดแก้วกลม ค่อยๆ เทกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มัล 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมทั้งคนด้วยแท่งคนจนถ่านหินจมในกรดจนหมด ใส่เศษกระเบื้อง ประกอบเข้ากับคอนเดนเซอร์ ให้ความร้อนด้วยเตา heating mantle เวลาในการรีฟลักซ์ 3 ชั่วโมง

3.4.3.3 กรอง (suction) และล้างถ่านหินด้วยน้ำร้อน 5-6 ครั้ง จนกระทั่งไม่มีคลอไรด์เหลืออยู่โดยทดสอบด้วยซิลเวอร์ไนเตรต

3.4.3.4 อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำหนักของถ่านหินที่ถูกล้างสารอินทรีย์ออกแล้ว เก็บไว้ในเดสิเคเตอร์

3.4.3.5 เตรียมแก้วเพื่อส่งวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ของถ่านหินก่อนและหลังล้างสารอินทรีย์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence ตาม ASTM D-3174 นำถ่านหินที่ล้างและไม่ล้างสารอินทรีย์อย่างละ 10 กรัม แบ่งใส่ในถ้วยกระเบื้อง เมาโล่สารระเหยออกด้วยตะเกียงบุนเซน แล้วนำไปเผาในเตาเผาที่ 750 องศาเซลเซียส ให้ได้ปริมาณแก้วอย่างน้อย 3 กรัม ถ้าตัวอย่างมีถ่านหินน้อยให้เพิ่มปริมาณถ่านหินเริ่มต้น ส่งศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นผู้ดำเนินการให้

3.4.3.6 ในการล้างสารอินทรีย์ของตัวอย่างก่อนการทดลองในชั้นอื่น ล้างสารอินทรีย์ตามวิธีการข้างต้น 5 ครั้ง แล้วผสมกันเพื่อสุ่มสำหรับการทดลองในชั้นต่อไป

3.4.4 การไพโรไลส์ (Calemma, 1991 และ McKee, 1983)

3.4.4.1 เปิดเตา tubular furnace ควบคุมอุณหภูมิไพโรไลส์ที่ 900 องศาเซลเซียส

3.4.4.2 นำถ่านหิน  $4.0000 \pm 0.0005$  กรัม บรรจุในเครื่องปฏิกรณ์สำหรับไพโรไลส์ ปิดฝาให้แน่น แล้วหย่อนลงไปใน tubular furnace ในระดับกลางเตา โดยปลายเปิดของท่อระบายก๊าซจะอยู่เหนือปากเตาประมาณ 11 เซนติเมตร จับเวลาในการไพโรไลส์ 1 ชั่วโมง

3.4.4.3 เมื่อไพโรไลส์เสร็จ นำเครื่องปฏิกรณ์สำหรับไพโรไลส์ออกจาก tubular furnace ปลดยthingไว้ในบรรยากาศครึ่งชั่วโมง อุณหภูมิจะลดลงจนถึง 100 องศาเซลเซียส ปิดฝาและเก็บในดิสซิเคเตอร์ จนเข้าสู่อุณหภูมิห้อง ซึ่งน้ำหนัก เก็บตัวอย่างในดิสซิเคเตอร์

3.4.4.4 ในแต่ละตัวอย่าง ไพโรไลส์ 20 ครั้ง แล้วผสมกันเพื่อสุ่มสำหรับการทดลองในชั้นต่อไป

3.4.5 การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (Meijer 1991)

3.4.5.1 นำตัวอย่าง  $5.0000 \pm 0.0005$  กรัม ใส่ในขวดขนาด 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.4.5.2 ซั่งไปตัสเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตที่ผ่านการอบจนแห้งแล้วในปริมาณที่คำนวณเทียบเท่ากับ 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของถ่านหิน ละลายตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยน้ำกลั่น 10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วค่อย ๆ หยดสารละลายดังกล่าว ลงในตัวอย่าง ใช้แท่งคนคนให้ทั่วจนกระทั่งสารละลายซึมเข้าไปในตัวอย่งจนหมด

3.4.5.3 นำไปอบในเตาอบสูญญากาศที่ 60 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง หลังจากนั้น ปิดฝาขวดตัวอย่างให้แน่น เก็บตัวอย่างในเดสิเคเตอร์

### 3.4.6 การแกสไฟฟายถ่านชาร์ (Pande, 1992)

ในช่วงแรกให้ความร้อนแก่ตัวอย่างในภาวะของก๊าซเฉื่อยด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแกสไฟฟาย แล้วจึงแกสไฟฟายด้วยคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินพอที่ อุณหภูมิคงที่ (isothermal gasification) ภาวะในการทดลองดังนี้

- ตัวอย่าง : ถ่านชาร์ล้างและไม่ล้างสารอนินทรีย์ โดยมี  $K_2CO_3$  และ  $Na_2CO_3$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- ขนาดตัวอย่าง : เล็กกว่า 75 ไมโครเมตร
- ปริมาณตัวอย่าง :  $40 \pm 0.5$  มิลลิกรัมต่อครั้ง
- อัตราการไหลไนโตรเจน : 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
- อัตราการไหลคาร์บอนไดออกไซด์ : 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
- อัตราการไหลออกซิเจน : 50 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที
- อัตราการให้ความร้อน : ตั้งโปรแกรมเป็น 6 ช่วง คือ

ช่วงที่ 1-2 ไล่ความชื้นที่อาจยังหลงเหลือในตัวอย่างและในเตาเผา ใช้ไนโตรเจน ผ่าน เพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิจนถึง 130 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราเร็ว 25 องศาเซลเซียสต่อ นาที แล้วรักษาอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลา 30 นาที

ช่วงที่ 3-4 ช่วงให้ความร้อน โดยผ่านก๊าซไนโตรเจน เพิ่มอุณหภูมิจาก 130 องศาเซลเซียส ไปยังอุณหภูมิที่ต้องการศึกษาการแกสไฟฟาย ด้วยอัตราเร็ว 20 องศาเซลเซียสต่อ นาที ปล่อยให้อุณหภูมิจนถึง 5 นาที

ช่วงที่ 5-6 ช่วงแกสไฟฟาย เมื่ออุณหภูมิเข้าสู่ภาวะสมดุลแล้ว เปลี่ยนจากก๊าซไนโตรเจนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ จับเวลาแกสไฟฟาย 30 นาที ระหว่างการแกสไฟฟายดักเก็บก๊าซที่ออกมาเป็นเวลา 1 นาทีที่เวลาต่าง ๆ กันคือ 4.5-5.5, 9.5-10.5, 14.5-15.5, 19.5-20.5, 24.5-25.5 และ 29.5-30.5 นาที

อุณหภูมิแกสไฟฟาย ที่ 600, 700, 800 และ 850 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 6-7 ให้น้ำหนักสูญเสียดังกล่าว เปลี่ยนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็น ก๊าซออกซิเจน และเพิ่มอุณหภูมิจากอุณหภูมิกแกสไฟฟายเป็น 850 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 20 องศาเซลเซียสต่อนาที แล้วรักษาอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลา 15 นาที จะได้น้ำหนักสุดท้ายคงที่

### 3.4.7 การเก็บก๊าซ

3.4.7.1 นำระบบอกเก็บก๊าซดูดอากาศภายในออกด้วย vacuum pump จนความดันภายในระบบอกเก็บก๊าซต่ำกว่า 300 มิลลิเมตรปรอท ปิดวาล์ว นำระบบอกเก็บก๊าซเข้าในไนโตรเจนเหลวก่อนเก็บก๊าซ 2 นาที เพื่อให้ระบบเข้าสู่ภาวะเดียวกัน

3.4.7.2 เก็บก๊าซที่เวลา 4.5-5.5, 9.5-10.5, 14.5-15.5, 19.5-20.5, 24.5-25.5 และ 29.5-30.5 นาที โดยสวมท่อระหว่างเครื่อง TG และระบบอกเก็บก๊าซ หลังจากเก็บก๊าซแล้ว นำระบบอกเก็บก๊าซไปแช่น้ำ 15 นาที เพื่อให้ระบบอกและก๊าซภายในเข้าสู่อุณหภูมิห้อง

3.4.7.3 บันทึกอุณหภูมิและความดันห้อง

### 3.4.8 การตรวจสอบก๊าซด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟ

#### ภาวะที่ฉีดก๊าซ

- ก๊าซตัวพา : ฮีเลียม อัตราเร็ว 30 มิลลิลิตรต่อนาที
- อุณหภูมิอินเจคเตอร์: 50 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิดีเทคเตอร์ : 170 องศาเซลเซียส
- ดีเทคเตอร์ : ชนิด thermal conductivity detector (TCD)
- ปริมาตรที่ฉีด : 250-500 ไมโครลิตร
- อุณหภูมิคอลัมน์ : แบบโปรแกรม ดังนี้

ช่วงที่ 1-2 คงที่ที่ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที

ช่วงที่ 2-3 เพิ่มอุณหภูมิจาก 35 เป็น 60 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

ช่วงที่ 3-4 คงที่ที่ 60 องศาเซลเซียส 2 นาที

ช่วงที่ 5-6 เพิ่มอุณหภูมิจาก 60 เป็น 150 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

ช่วงที่ 6-7 คงที่ที่ 150 องศาเซลเซียส 15 นาที

### 3.4.9 การวิเคราะห์เทอร์โมแกรม

ก. นำข้อมูลของน้ำหนักที่หายไปและอุณหภูมิที่เวลาต่าง ๆ มาทำการคำนวณหาอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลาต่อน้ำหนักคาร์บอนเริ่มต้น ( $\text{mg/mg C}_i/\text{min}$ ) ที่เวลาต่าง ๆ แล้วคำนวณเป็นอัตราการแกสไฟฟาย

ข. นำผลการคำนวณที่ได้มาสร้างกราฟ ระหว่างเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยน (% conversion) กับอัตราการสูญเสียน้ำหนักต่อเวลาต่อน้ำหนักคาร์บอนเริ่มต้น

ค. คำนวณอัตราส่วนโดยอะตอมตัวเร่งปฏิกิริยาต่อคาร์บอน (M/C atomic ratio) แล้วเปรียบเทียบความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา

ง. สร้างกราฟอาร์เรเนียส พร้อมทั้งหาค่าพลังงานกระตุ้นจากความชัน

จ. คำนวณปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟเทียบกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ได้จากการคำนวณ

### 3.4.10 ปัจจัยที่ควบคุม

- ปริมาณสารอนินทรีย์
- ชนิดตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ โปตัสเซียมคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต
- ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็น 0, 5, 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- อุณหภูมิในการแกสไฟฟาย เป็น 600, 700, 800 และ 850 องศาเซลเซียส