

### เครื่องมือและวิธีการทดลอง

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการศึกษาผลของอิทธิพลต่าง ๆ ที่มีต่อการขจัดกำมะถันในถ่านหินนั้น ได้ทำการทดลองโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบตั้งกวน (stirred tank reactor) ลักษณะเป็นตั้งกวนที่มีฝาปิดแน่นบรรจุอยู่ในอ่างน้ำมัน (Oil bath) ที่เป็นตัวให้ความร้อน ในการดำเนินการทดลองได้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1 ถ้ามีการใช้ออกซิเจนในการทำปฏิกิริยาด้วยก็จะมีการต่อท่อนำก๊าซจากถังก๊าซออกซิเจน ผ่านโรตاميเตอร์ (Rotameter) เข้าสู่ตั้งกวนดังรูปที่ 3.1

oil bath ทำจากเหล็กปลอดสนิม (stainless steel) มีความสูง 30.48 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 33 ซม. มีฉนวนทำด้วยใยแก้วหนา 2.54 ซม. หุ้ม oil bath เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ภายใน oil bath บรรจุน้ำมันพาราฟินปริมาณ 10 ลิตร มีขดลวดไฟฟ้า ขนาด 2500 วัตต์ เพื่อให้ความร้อนแก่น้ำมันจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ และมีเทอร์โมมิเตอร์เสียบติดอยู่เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำมันพาราฟิน ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

เครื่องปฏิกรณ์ตั้งกวน ที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 1 ลิตร ทำจากเหล็กปลอดสนิม หนา 1.27 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.16 ซม. สูง 15.24 ซม. บริเวณขอบของตั้งกวนจะเจาะรูเพื่อใช้ร้อยนอตในการเชื่อมปิดระหว่างฝาปิดกับส่วนตัวตั้งกวนดังรูปที่ 3.3

ฝาปิดตั้งกวน ทำจากเหล็กปลอดสนิม หนา 1.27 ซม. มีแผ่นกั้น (baffle)

4 แผ่นเชื่อมติดอยู่ด้านล่างของฝาปิด ตัวฝาปิดตั้งกวนมีแท่งกวน (stirrer) เสียบติดอยู่ที่กึ่งกลาง ส่วนบริเวณรอบ stirrer มีท่อต่าง ๆ คือ ท่อปรับความดันภายในตั้งกวน, ท่อวัดออกซิเจน ท่อดูดสารละลายออกจากตั้งกวน, เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิภายในตั้งกวน เครื่องมือวัดความดันภายในตั้งกวน (pressure gauge) ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

รายละเอียดของกังวน

หมายเลข 1 แสดง ท่ออัดก๊าซออกซิเจน

หมายเลข 2 แสดง ท่อปรับความดัน

หมายเลข 3 แสดง เทอร์โมมิเตอร์

หมายเลข 4 แสดง ท่อดูดสารละลาย

หมายเลข 5 แสดง เครื่องวัดความดัน

$T_1 = 10.16$  ซม.

$B = 1.27$  ซม.

$H = 15.25$  ซม.

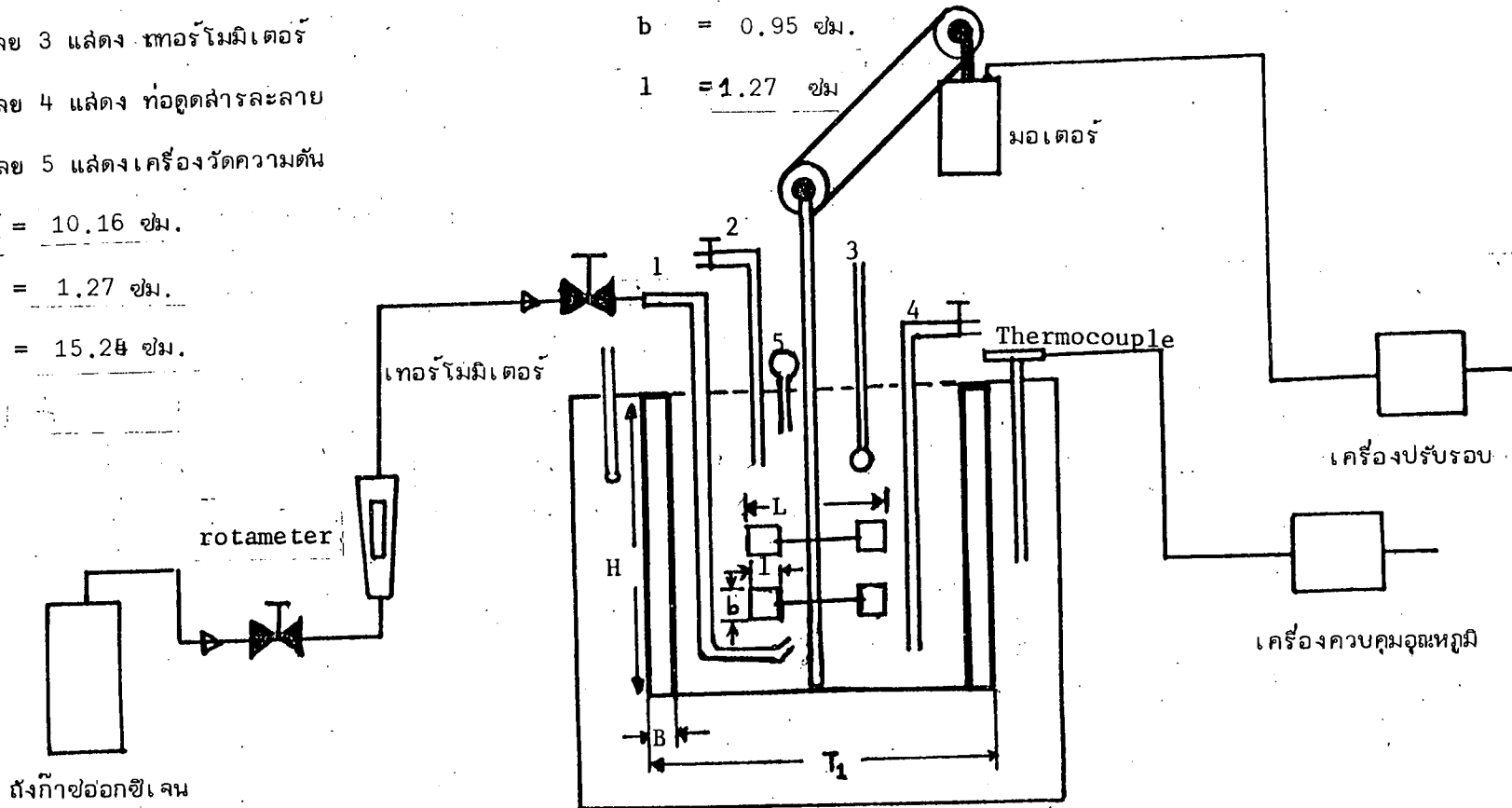
จำนวน baffle = 4

จำนวน blade = 12

$L = 3.81$  ซม.

$b = 0.95$  ซม.

$l = 1.27$  ซม.



ถังก๊าซออกซิเจน

rotameter

เทอร์โมมิเตอร์

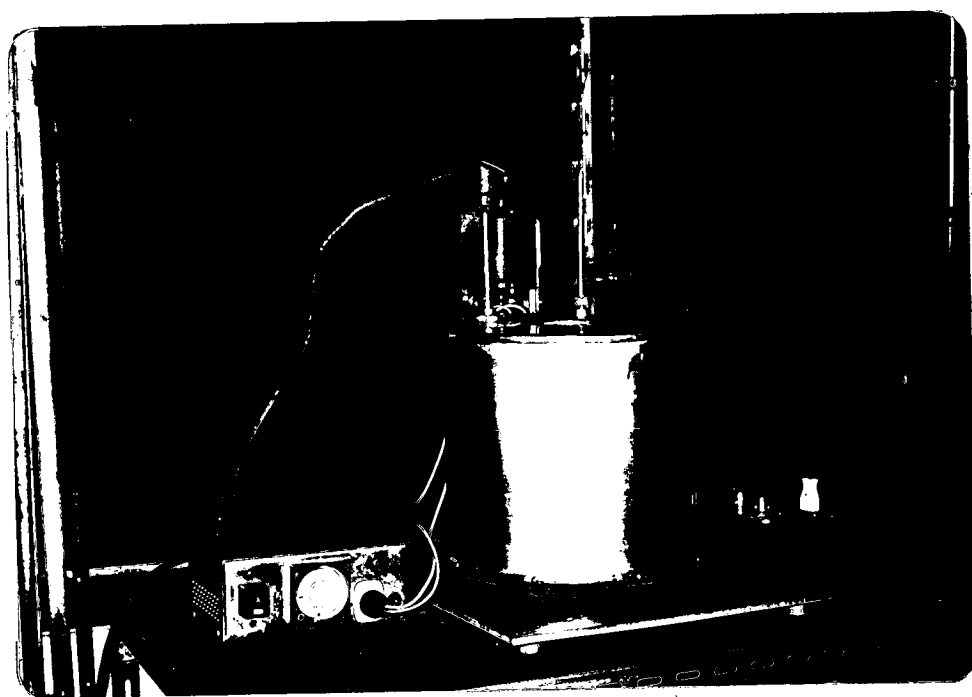
มอเตอร์

Thermocouple

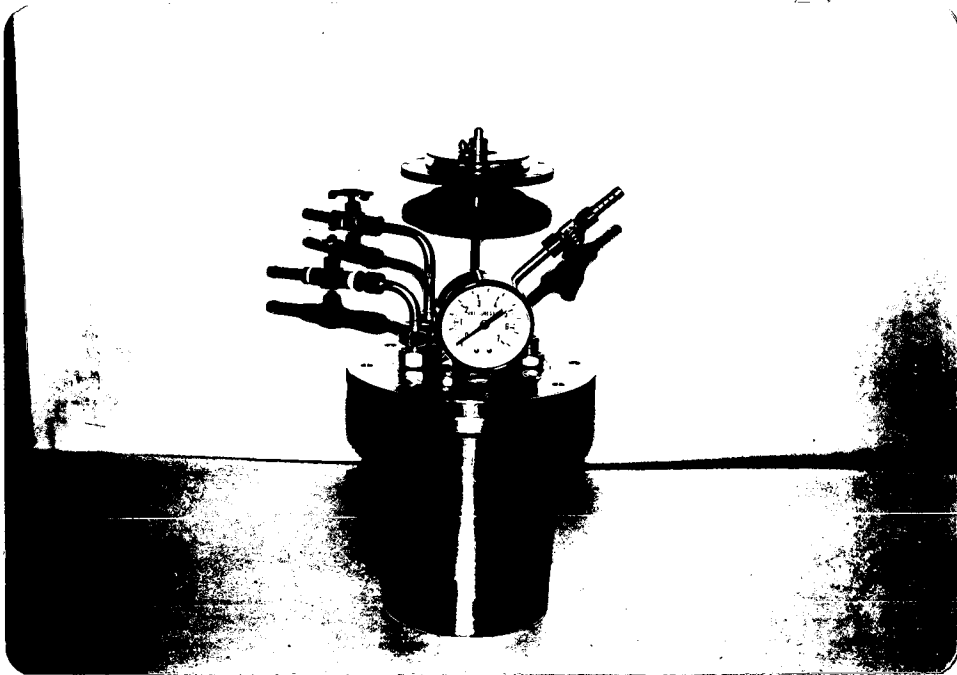
เครื่องปรับรอบ

เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

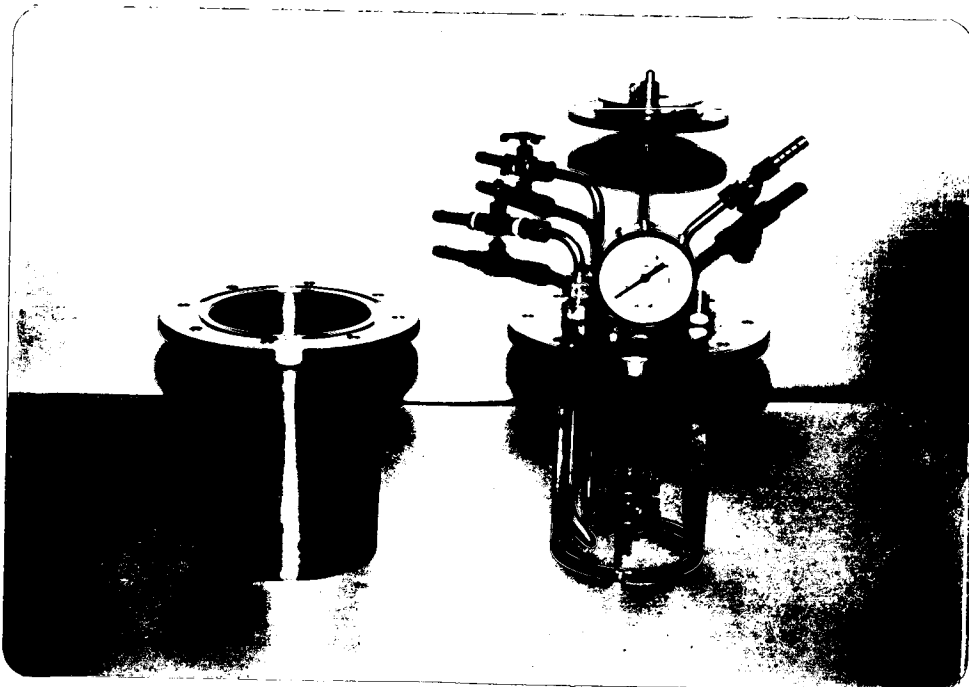
รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องมือในการทดลอง



รูปที่ 3.2 ลักษณะ oil bath



รูปที่ 3.3 เครื่องปฏิกรณ์ตั้งกวาง



รูปที่ 3.4 ลักษณะตั้งกวางและฝาปิดตั้งกวาง

มอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนใบพัดกวน เป็นมอเตอร์ ขนาด  $\frac{1}{8}$  แรงม้า ติดตั้งอยู่กับแท่งเหล็กที่อยู่บริเวณข้างของตัว oil bath การหมุนของใบพัดกวนจะอาศัย แรงขับจากมอเตอร์ผ่านสายพาน ความเร็วของใบพัดกวนสามารถปรับได้ตามความต้องการ ในช่วงที่ทำการทดลองสามารถทำได้ถึง 1800 รอบ/นาที โดยที่ไม่มีการรบกวนของอากาศออกจาก ถังกวน

### 3.2 ตัวอย่างถ่านหินและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- ก. ถ่านหินจากเหมืองบางปุดำ, เหมืองหวายเล็ก จังหวัดกระบี่
- ข. ถ่านหินจากเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง
- ค. สารเคมี  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$



### 3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การทดลองหาผลของความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟตที่มีต่อการ ชัดกัมมะถันในถ่านหิน โดยทำการทดลองที่ค่าความเข้มข้น 0.5, 0.75, 1 และ 1.5 M ตามลำดับ

3.3.2 การทดลองหาผลของเวลาที่มีต่อการชัดกัมมะถันในถ่านหินโดยทำการทดลอง เปรียบเทียบที่ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชม. ตามลำดับ

3.3.3 การทดลองหาผลของปริมาณถ่านหินที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่มีต่อการชัด กัมมะถันในถ่านหินโดยใช้ปริมาณถ่านหิน 25, 50, 100, 150 กรัมต่อสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟต 500 มล. ตามลำดับ

3.3.4 การทดลองหาผลของอัตราการกวนที่มีต่อการชัดกัมมะถันในถ่านหิน โดย ทำการทดลองที่ค่าอัตราการกวนที่วัดด้วยเครื่อง สโตรโบสโคป (stroboscope) 700, 1400, 1800 รอบ/นาที

3.3.5 การทดลองหาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการชัดกัมมะถันในถ่านหินโดยทำการ ทดลองที่ค่าอุณหภูมิ 80, 100, 125 °ซ ตามลำดับ

3.3.6 การทดลองหาผลของออกซิเจนที่ความดันต่าง ๆ ที่มีผลต่อ regeneration ของสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟตที่ใช้ในการขจัดกำมะถันจากถ่านหิน โดยทำการทดลองที่ค่าความดันออกซิเจน 1.41, 2.82 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3.3.7 การทดลองหาผลของการใช้สารละลายเฟอร์ริกซัลเฟตกับออกซิเจนที่มีผลในการขจัดกำมะถันรูปอื่นนอกจากกำมะถันไพไรต์ในกระบวนการขจัดกำมะถันในถ่านหิน

### 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนี้จะใช้ถ่านหินที่มีขนาด  $106 \pm 250 \mu\text{m}$  และทำการทดลองดังต่อไปนี้

1. ชั่งน้ำหนักของถ่านหินตามที่ต้องการใส่ในถังกวน
2. เติมสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟตความเข้มข้นตามที่ต้องการลงไปในถังกวน 500 มล. พร้อมทั้งปิดฝาให้แน่น
3. นำถังกวนใส่ลงใน oil bath ที่มีอุณหภูมิตามต้องการ
4. เปิดเครื่องกวน ปรับความเร็วของอัตราการกวน, ระยะเวลาตามที่ต้องการ เมื่อครบกำหนดระยะเวลาจึงปิดเครื่องกวน
5. ในกรณีที่ใช้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาด้วย จะทำการต่อท่อจากถังก๊าซออกซิเจนผ่านโรตารีเตอร์เข้าสู่ถังกวนเพื่อทำปฏิกิริยาพร้อมกับสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟตที่สภาวะต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้
6. หลังจากเสร็จสิ้นการทำปฏิกิริยาแล้วกรองถ่านหินและสารละลาย เพื่อแยกถ่านหินจากสารละลาย, นำถ่านหินที่ได้ไปล้างด้วยน้ำร้อนจนหมดกรด
7. นำถ่านหินไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ  $110^{\circ}\text{C}$  เวลา 1 ชม. แล้วนำออกมาทำให้ลมดูดอยู่กับอากาศ
8. นำถ่านหินไปวิเคราะห์ผล

### 3.5 การวิเคราะห์ถ่านหินและสารละลาย

ในการวิเคราะห์ผลจะทำการวิเคราะห์ทั้งของแข็งคือถ่านหินที่ทำปฏิกิริยาแล้วกับของเหลวคือ สารละลายเฟอร์ริกซัลเฟตที่ใช้ทำปฏิกิริยา

### 3.5.1 การวิเคราะห์ถ่านหิน

ในการทดลองจะนำถ่านหินมาวิเคราะห์ผลดังนี้คือ

- ก. การวิเคราะห์โดยประมาณ (proximate analysis) ซึ่งประกอบด้วยค่าร้อยละของความชื้น, ร้อยละของสารระเหย, ร้อยละของเถ้า, ร้อยละของคาร์บอนคงตัวของถ่านหิน
- ข. การหาค่าความร้อน (heating value) ของถ่านหิน
- ค. การหาค่ากำมะถันที่ประกอบอยู่ในถ่านหินในรูปต่าง ๆ คือ กำมะถันรวม (total sulfur) กำมะถันไพไรต์ (pyritic sulfur), กำมะถันซัลเฟต (sulfate sulfur) และกำมะถันอินทรีย์ (organic sulfur)

### 3.5.2 การวิเคราะห์สารละลายเฟอร์ริกซัลเฟต

ในการทดลองจะนำสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟตมาวิเคราะห์ผลดังนี้

- ก. การหาค่าปริมาณเหล็กทั้งหมด (total iron) ในสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟต
- ข. การหาค่าปริมาณ  $\text{Fe}^{2+}$  ในสารละลายเฟอร์ริกซัลเฟต