บทที่ 3

เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้ประกอบด้วยหลาย ๆ ชนิดดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งได้แก่

1. ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์ (Fluidized bed column)
2. ไซโคลน (Cyclone)
3. ระบบป้อนวัตถุดิบ (Screw feeder)

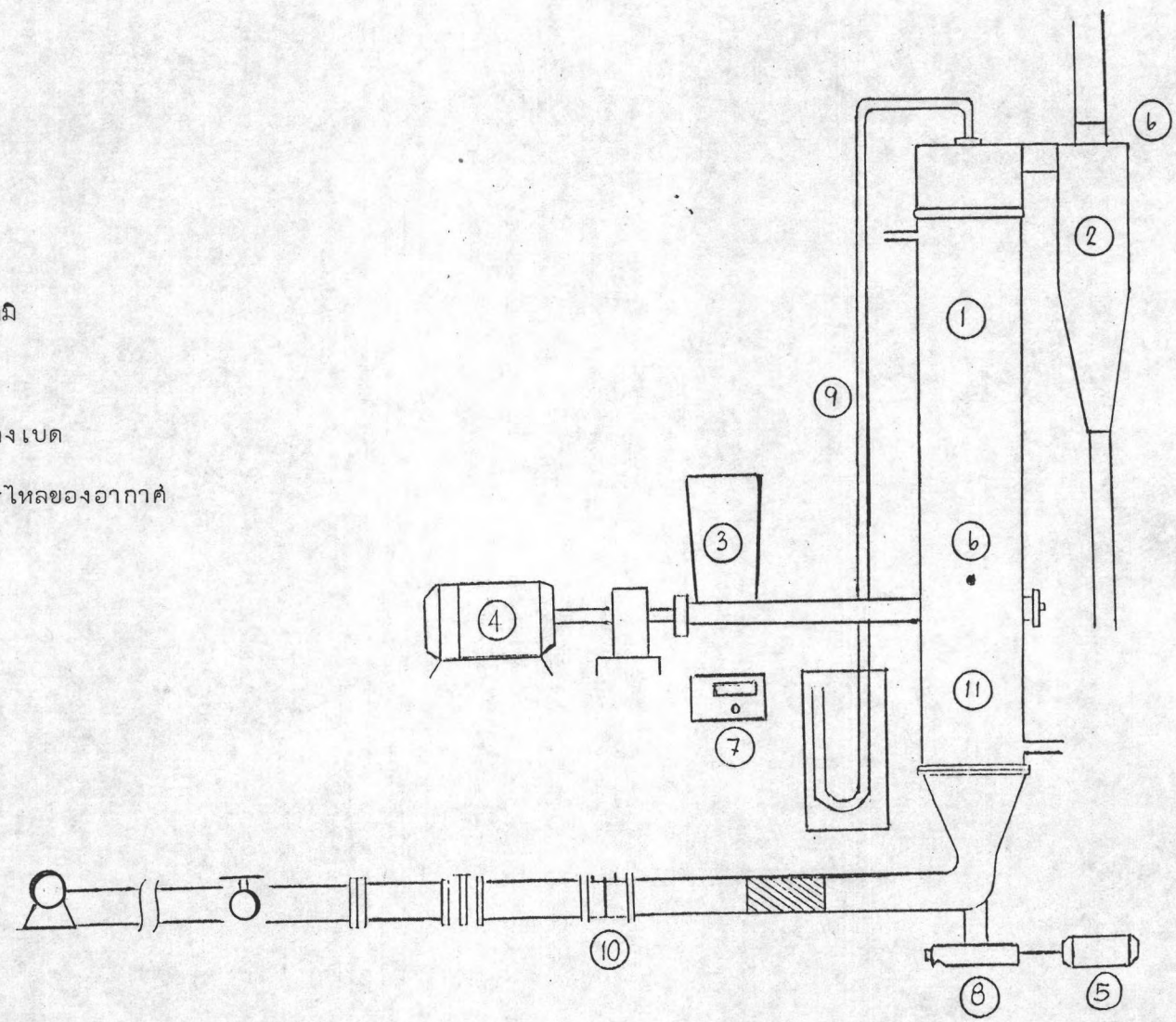
4,5 มอเตอร์ (Motor)

6. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)
7. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller)
8. ระบบทางออกเถ้า (Ash outlet)
9. ระบบควบคุมความสูงเบด
10. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (Orifice meter)

3.1.1 ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์ (Fluidized bed column) (1)

รูปที่ 3.2 และ 3.3 แสดงฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์ซึ่งประกอบด้วยคอลัมน์ 2 ชั้น ชั้นในทำหน้าที่เป็นเตาเผา มีช่องว่างระหว่างคอลัมน์ทั้งสอง คอลัมน์ทั้งสองชั้นทำด้วยเหล็กเส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ชั้นในที่ทำหน้าที่เป็นเตาเผามีขนาด 20 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์ชั้นนอก 29 ซม. ความสูงของคอลัมน์ 178 ซม. ที่ผิวด้านนอกคอลัมน์หุ้มด้วยฉนวนเซรามิคไฟเบอร์(Ceramic fiber) รุ่นอาร์พี-8 หนา 2.5 ซม. 2 ชั้น สามารถทนความร้อนได้สูงประมาณ 1300 องศาเซลเซียส ได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ (Themocouple) ไว้ที่ส่วนบนบริเวณท่อทางออกของควันอากาศเพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ออกจากเตาเผา (6) และติดตั้งไว้ที่บริเวณส่วนกลางของคอลัมน์เพื่อวัดอุณหภูมิของการเผาไหม้ (7) ภายในคอลัมน์มีแท่งโลหะไร้สนิม (Stainless steel) กลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 ซม. ปลาย

1. ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์
2. ไซโคลน
3. ระบบป้อนวัตถุดิบ
4, 5 มอเตอร์
6. เครื่องวัดอุณหภูมิ
7. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ
8. ระบบออกเถ้า
9. ระบบควบคุมความสูงเบด
10. เครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 3.1 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวิจัยเบื้องต้นและส่วนประกอบของระบบการเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 แสดงส่วนประกอบของเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด

รูปที่ 3.3 แสดงฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์

ข้างหนึ่งอยู่ภายในส่วนกลางของคอสัมน์ ปลายอีกข้างหนึ่งทะลุผ่านส่วนบนของคอสัมน์ต่อเชื่อมกับระบบควบคุมความสูงเบด ซึ่งใช้ควบคุมไปถึงระบบป้อนวัตถุดิบ และระบบทางออกเถ้าอีกด้วย ที่ส่วนกลางของคอสัมน์ต่ำกว่าบริเวณที่ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิจะเป็นตำแหน่งที่ล่อดหัวเผา (Burner) (11) ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งใช้ก๊าซหุงต้มในการจุดเตาเผา และที่ตำแหน่งนี้ยังใช้ดูลักษณะการเกิดฟลูอิไดเซชันภายในคอสัมน์อีกด้วย ส่วนล่างของคอสัมน์เป็นแผ่นกระจายลม 12 มีลักษณะเป็นกรวย ดังรูปที่ 3.5 โดยให้อากาศผ่านเข้าท่อทางด้านล่างซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 ซม. อากาศจะทำให้อนุภาคเชื้อเพลิงอยู่ในลักษณะฟลูอิไดซ์ ส่วนล่างของแผ่นกระจายลมทำด้วยแผ่นโลหะไร้สนิม (Stainless steel) (13) เจาะรูพรุนและมีท่อทางออกของเถ้าขนาด 6 ซม. ต่อเข้ากับลูกรูสำหรับขับให้เถ้าไหลออกจากคอสัมน์ ลูกรูนี้จะทำงานสัมพันธ์กับระดับความสูงของอนุภาคภายในเบดซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1.7

3.1.2 ไซโคลน (Cyclone) (2)

ดังรูปที่ 3.8 ทำขึ้นจากเหล็กหนา เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับส่วนบนของฟลูอิไดซ์เบดคอสัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. สูง 72 ซม. ด้านล่างที่เป็นทางออกเถ้านับต่อเชื่อมกับท่อเหล็กขนาด 4.5 ซม. เพื่อสะดวกในการนำเถ้าออก ส่วนบนของไซโคลนต่อเข้ากับท่อขนาด 8.5 ซม. เพื่อเป็นทางระบายออกของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งจะมีเครื่องวัดอุณหภูมิติดตั้งอยู่เพื่อวัดอุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากการเผาไหม้ พร้อมทั้งมีช่องเก็บก๊าซร้อนเพื่อนำไปวิเคราะห์หาส่วนประกอบด้วย

3.1.3 ระบบป้อนวัตถุดิบ (Screw feeder) (3)

ดังรูปที่ 3.6 ประกอบด้วยถังใส่วัตถุดิบรูปสี่เหลี่ยมขนาด 21 x 35 ซม. สูง 50 ซม. มีเกลียวสำหรับหมุนเพื่อพาเอาวัตถุดิบเข้าสู่คอสัมน์ฟลูอิไดซ์โดยอาศัยแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ อัตราการป้อนวัตถุดิบสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยพูเลย์ (Pulley) ทดรอบขนาดต่าง ๆ ต่อเข้ากับมอเตอร์

3.1.4 มอเตอร์ (Motor) (4) (5)

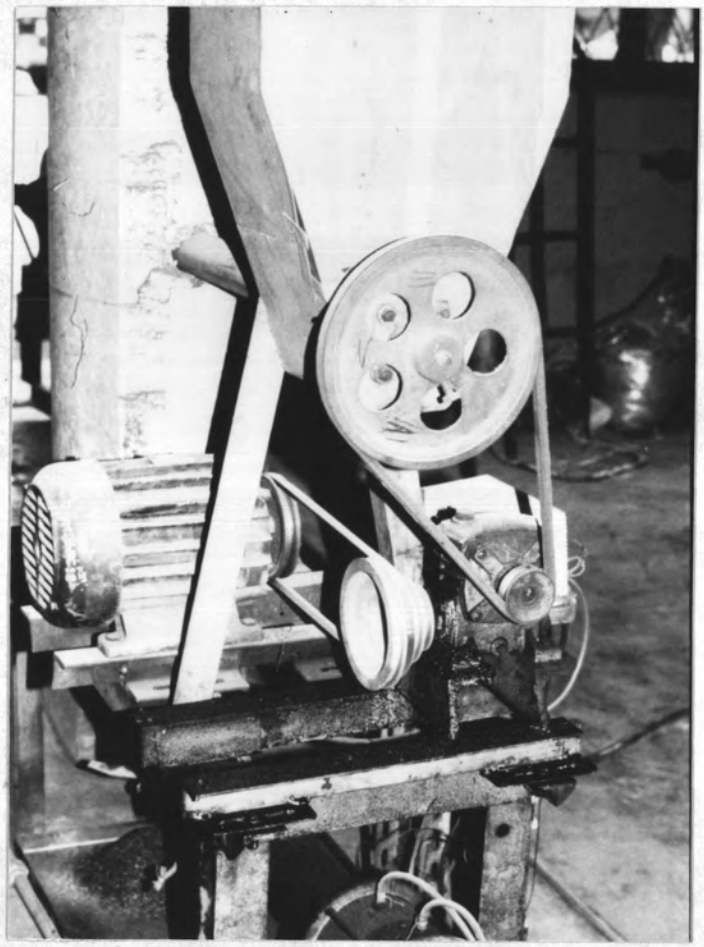
มอเตอร์ที่ใช้มี 2 ตัวคือ ใช้มอเตอร์ขนาด 2.2 แรงม้าระบบ 3 เฟส เพื่อขับเคลื่อนเกลียวในระบบป้อนวัตถุดิบให้หมุนเพื่อป้อนวัตถุดิบเข้าสู่คอสัมน์ และใช้มอเตอร์

เพื่อชับเคลื่อนเกลียวในระบบทางออกเถ้าให้หมุนเพื่อนำเถ้าออกจากคอสมน์หลังการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แล้ว

รูปที่ 3.4 ช่องส่องหัวเผาและดูการเกิดฟลูอิไดเซชัน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.5 กรวยแผ่นกระจายลม



รูปที่ 3.6 แสดงระบบป้อนวัตถุดิบ

3.1.5 เครื่องวัดและเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Thermocouple and Temperature controller) ⑥⑦

ใช้เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิของ RKC SERIES REX 96 ซึ่งสามารถวัดและควบคุมอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่เกิดภายในช่วง 0-1000 องศาเซลเซียส เครื่องควบคุมอุณหภูมินี้จะต่อเชื่อมเข้ากับระบบป้อนวัตถุดิบ สามารถตั้งอุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิได้ตามตำแหน่งที่ต้องการ กล่าวคือเมื่อเราตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 750 องศาเซลเซียส เมื่อเกิดการเผาไหม้จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 750 องศาเซลเซียสแล้ว เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะไปควบคุมระบบป้อนวัตถุดิบไม่ให้ป้อนเชื้อเพลิงลงลงไปในเตาเผา จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 750 องศาเซลเซียส เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะทำให้ควบคุมให้ระบบป้อนวัตถุดิบทำให้มอเตอร์เคลื่อนเชื้อเพลิงโดยอาศัยสกรูหมุนป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาเป็นเช่นนี้สลับกันไปเรื่อย ๆ ตลอดการทำการทดลอง

3.1.6 ระบบทางออกเถ้า (Ash outlet) ⑧

ดังแสดงในรูปที่ 3.7 มีลักษณะเป็นท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 ซม. ภายในท่อมีเกลียวหมุนซึ่งจะหมุนได้จากแรงขับเคลื่อนของมอเตอร์ เกลียวหมุนนี้จะทำหน้าที่ในการนำเถ้าให้ไหลออกสู่ภายนอกคอลัมน์ซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กับระดับความสูงของอนุภาคในเบด ซึ่งจะได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.1.7

3.1.7 ระบบควบคุมความสูงเบด ⑨

ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ประกอบด้วยแท่งแก้วกลวงงอโค้งรูปตัวยูดังรูป ภายในบรรจุด้วยสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ ทำหน้าที่เป็นสารละลายอิเลคโตรไลต์ ปลายข้างหนึ่งของหลอดแก้วเปิดออกสู่อากาศ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งเชื่อมต่อกับแท่งโลหะไร้สนิมกลวง (Stainless steel) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 ซม ⑨ ที่อยู่ภายในคอลัมน์ด้วยสายยาง ภายในหลอดแก้วจะมีเส้นลวดทองแดงเส้นหนึ่งจุ่มลงในสารละลายอิเลคโตรไลต์ อีกเส้นหนึ่งวางห่างจากสารละลายอิเลคโตรไลต์เล็กน้อย อีกปลายหนึ่งของเส้นลวดทองแดงทั้งสองเชื่อมต่อเข้ากับแมกนีติกสวิทช์ (Magnetic switch) ที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ซึ่งขับเคลื่อนระบบสกรูที่นำเถ้าออกจากคอลัมน์ทางด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 หลักการทำงานของระบบควบคุมความสูงเบดมีดังนี้คือ เมื่อความสูงเบดมากเกินไปกว่าที่กำหนดไว้ในเบด ความดันภายในเบด

รูปที่ 3.7 ทางออกเถ้า

รูปที่ 3.8 ระบบควบคุมความสูงเบด และไซโคลน

จะมากขึ้นตามด้วย จะไปดันให้ระดับของสารละลายอิเลคโตรไลต์ที่อยู่ในหลอดแก้วรูปตัวยูสูงขึ้นไปจนไปแตะปลายอีกข้างหนึ่งของเส้นลวดทองแดง จะทำให้เกิดการครบวงจรไฟฟ้าซึ่งมีผลทำให้มอเตอร์ทำงานหมุนสกรูที่นำเถ้าออกจากคอลัมน์ทางด้านล่าง เพื่อรักษาให้ความสูงเบดอยู่ในระดับเดิม นั่นคือระดับความสูงจะลดลงเรื่อย ๆ ความดันภายในเบดจะลดต่ำลงด้วย ระดับของสารละลายอิเลคโตรไลต์ก็จะลดลงจนกระทั่งทางออกจากปลายหนึ่งของลวดทองแดง ทำให้เกิดผลในทางตรงกันข้ามคือ ไม่ครบวงจรไฟฟ้า แมกนีติก สวิทช์ จะตัดกระแสไฟฟ้าที่หมุนมอเตอร์ทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน ดังนั้นระบบทางออกเถ้าจึงปิด วิธีนี้ทำให้สามารถควบคุมระยะเวลากจรอยู่ภายในคอลัมน์ของอนุภาคได้แน่นอนและทั้งยังทำให้เครื่องมือทำงานอย่างต่อเนื่องด้วย

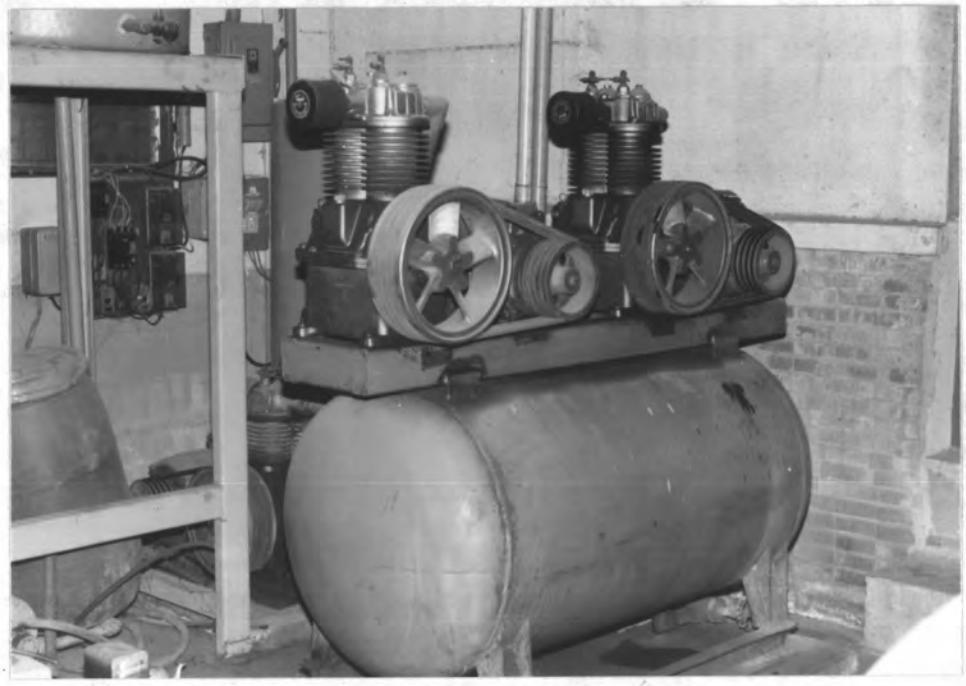
3.1.8 เครื่องวัดและควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Orifice meter) (10)

ใช้ในการวัดอัตราการไหลของอากาศโดยมีบอลวาล์วควบคุมปริมาณการไหล ได้เปรียบเทียบอัตราการไหลของอากาศ (Volume flowrate) โดยวัดเป็นความแตกต่างของความดันที่ได้จากการวัดก่อนและหลังที่อากาศไหลผ่านเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ หน่วยที่วัดเป็นความสูงที่แตกต่างกันของระดับน้ำ (Δh) กับอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ (Air flow meter) ที่ได้มาตราฐาน มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา (ภาคผนวกที่ ค)

อากาศที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ได้มาจากเครื่องวัดอากาศขนาดใหญ่ (ในข้อ 3.2) ไหลผ่านท่อขนาด 3.75 ซม. แล้วขยายท่อออกต่อกับท่อ 8.5 ซม. ต่อเข้ากับท่อทางด้านล่างของคอลัมน์ ภายในท่อจะบรรจุด้วยสารดูดซับโมเลกุลลาซีพของบริษัท Union Carbide เพื่อทำหน้าที่ในการดูดซับน้ำที่มีอยู่ในอากาศก่อนเข้าสู่คอลัมน์ สารดูดซับนี้จะมีการเปลี่ยนนำออกมา regenerate ใหม่เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง

3.2 เครื่องอัดอากาศ (Air compressor)

ดังรูปที่ 3.9 ใช้เครื่องอัดอากาศ Broom Wade แบบ AC 41 ขนาดกำลังผลิตสูงสุด 80 ลบ.ม.ต่อนาที ความดันสูงสุด 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ผลิตในประเทศอังกฤษ ทำหน้าที่ในการผลิตอากาศเพื่อใช้ในการเผาไหม้คาร์บอนน้ำมันในฟลูอิไดซ์เบด โดยให้ไหลผ่านท่อต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.1.8 แล้วเข้าสู่ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์ทางด้านล่าง



รูปที่ 3.9 เครื่องอัดอากาศ (Air compressor)

3.3 เครื่องมือวิเคราะห์หาปริมาตรเป็นร้อยละของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซดังแสดงในรูปที่ 3.10-3.13

3.3.1 เครื่องมือออร์ซัท

ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ใช้ในการวิเคราะห์หาส่วนประกอบของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ได้แก่ การวิเคราะห์อัตราส่วนโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

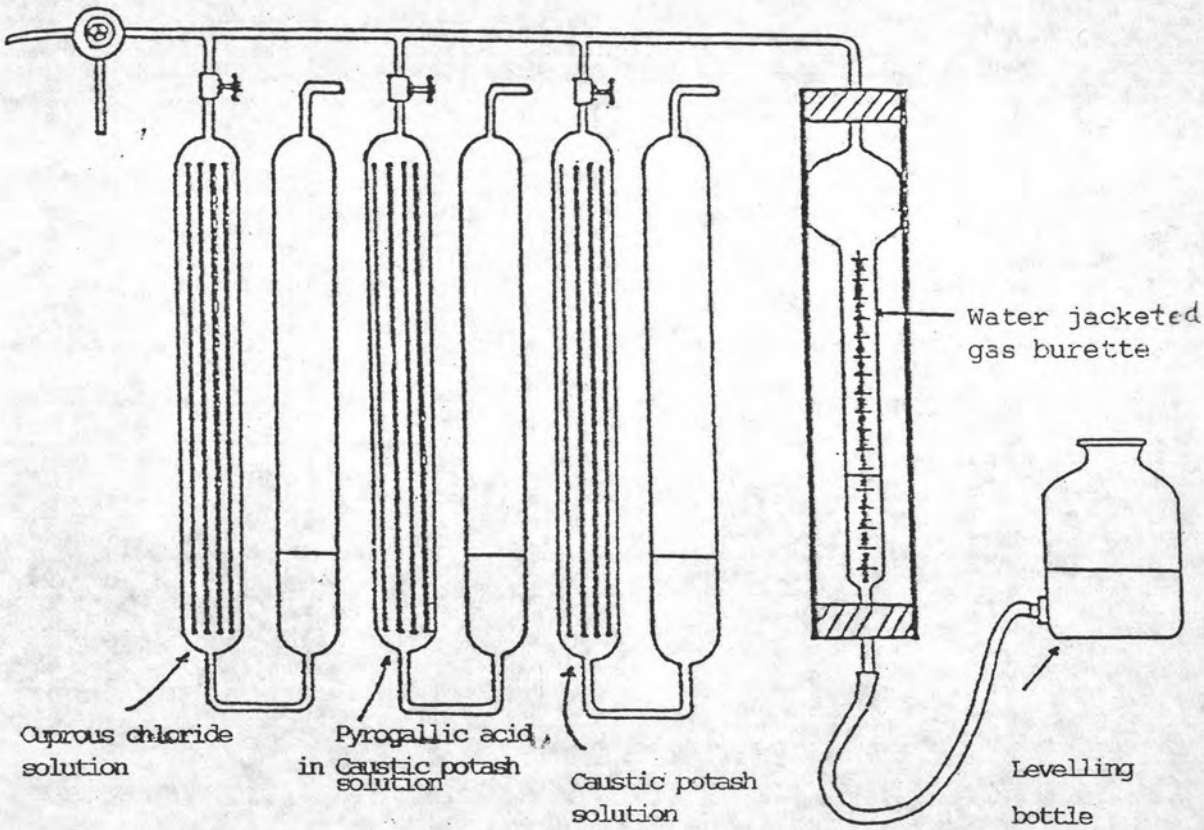
3.3.2 เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ใช้เครื่อง Riken Infrared Gas Analyzer Model RI-550A ผลิตโดยบริษัท Riken Keiki Fien Instrument Co., LtD ประเทศ

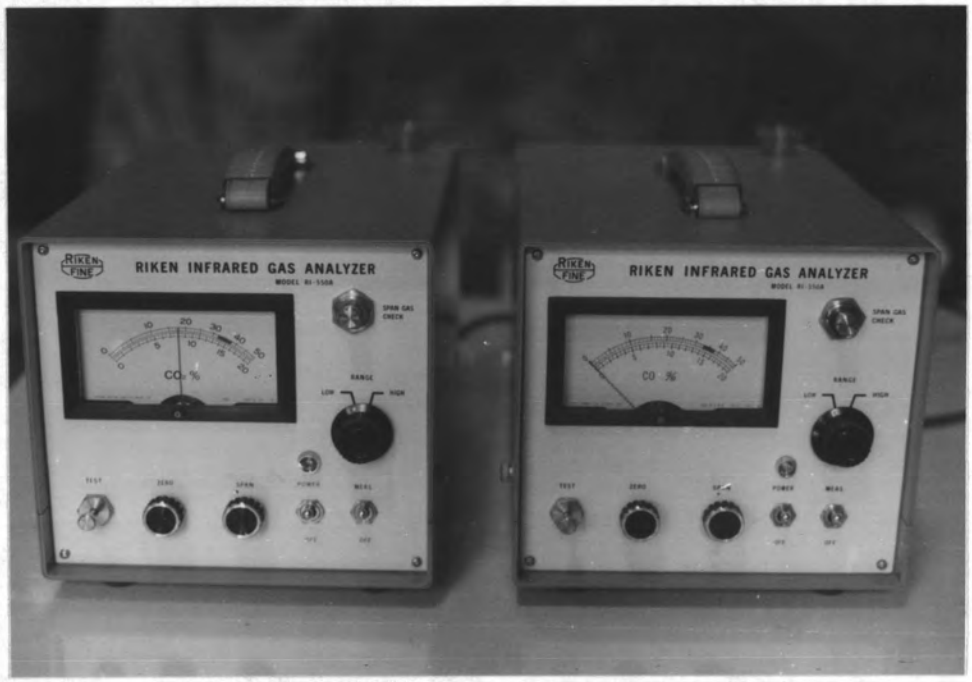
ญี่ปุ่น วัดได้ละเอียดช่วงต่ำสุดผิดพลาดน้อยกว่า ± 5% ของสเกล และสูงสุดผิดพลาดน้อยกว่า ± 3% ของสเกล

3.3.3 เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน (O_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และ 3.13 ใช้เครื่อง Riken Portable Toxic ผลิตโดยบริษัท Riken Keiki Fien Instrument Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 3.10 Orsat apparatus

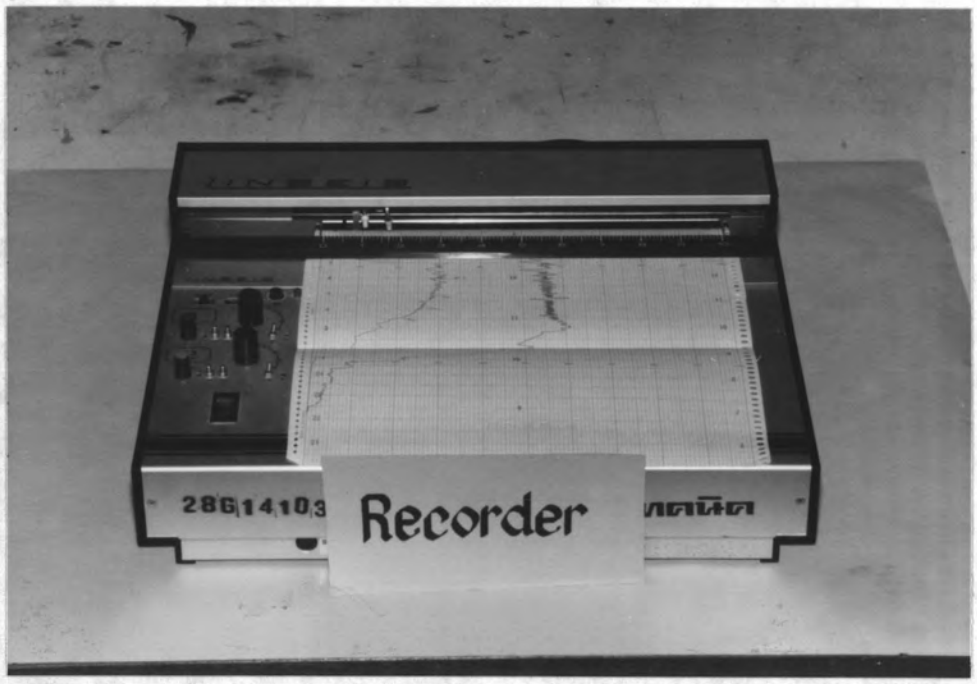


รูปที่ 3.11 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.12 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน

รูปที่ 3.13 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์



รูปที่ 3.14 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ