บทที่ 6

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองและวิธีดำเนินการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีดำเนินการทดลองและการบันทึกผลข้อมูล

6.1 เชื้อเพลิงที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

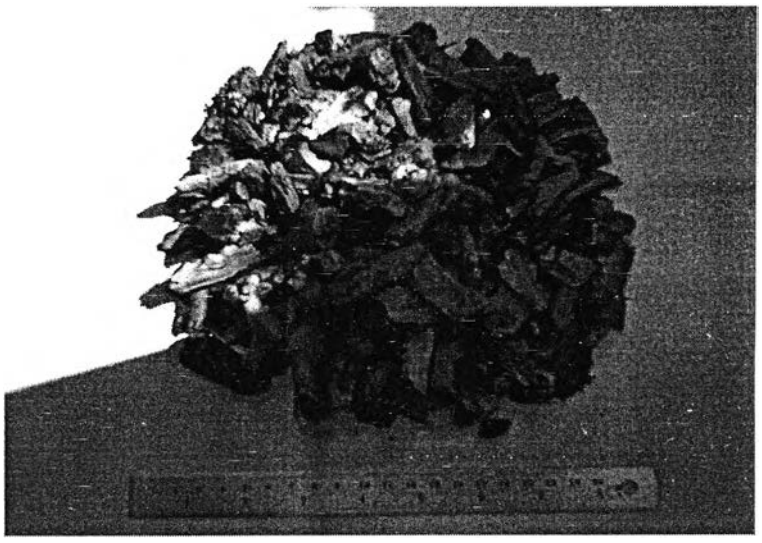
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวิจัยเฉพาะเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้น (Cassava-Rhizome chips) เนื่องจากผลการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นให้ผลดีกว่าดีกว่าการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลังแบบท่อน เพราะว่าเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นมีพื้นที่ผิวสำหรับการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้มากกว่าเหง้ามันสำปะหลังแบบท่อน

องค์ประกอบทางเคมีของเหง้ามันสำปะหลังแสดงรายละเอียดใน ผลการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีเหง้ามันสำปะหลัง (ภาคผนวก ข) โดยกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม และรายละเอียดของค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังแสดงในตารางที่ 6.1

ชนิดของเหง้ามันสำปะหลัง	ค่าความร้อนสูงของเหง้ามัน (HHV) MJ/kg	ค่าความร้อนต่ำของเหง้ามัน (LHV) MJ/kg
แบบชิ้น (chips)	16.61	15.14

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความร้อนของเหง้ามันสำปะหลัง (Heating value)

เหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นได้มาจากการนำเหง้ามันสำปะหลังมาผ่านกระบวนการแปรรูปให้เป็นชิ้น โดยใช้เครื่องหั่นย่อยซากพืชบดสับเหง้ามันสำปะหลังผ่านตะแกรง ซึ่งสามารถกำหนดขนาดของชิ้นเหง้ามันสำปะหลังให้มีขนาดที่แตกต่างกันได้จาก การเลือกใช้ตะแกรงที่มีขนาดของรูตะแกรงแตกต่างกันตามขนาดของชิ้นเหง้ามันที่ต้องการ โดยเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการบดสับให้เป็นชิ้นที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยแสดงในรูปที่ 6.1

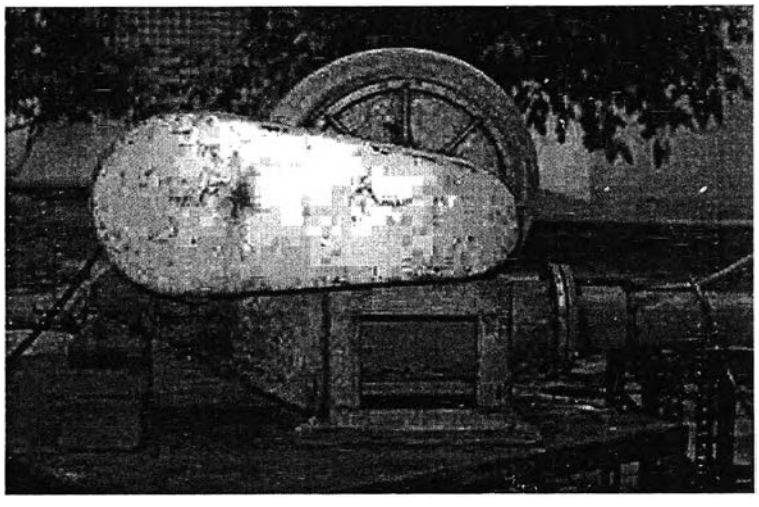


รูปที่ 6.1 แสดงเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

6.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

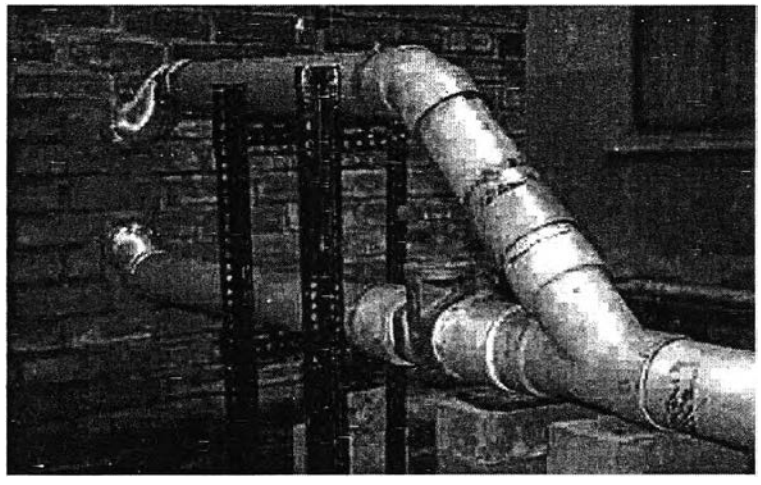
1. ระบบป้อนอากาศ

1.1 พัดลมเป่าอากาศ (Blower) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์แบบ Synchronous ขนาด 10 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 2,910 รอบต่อนาที ต่อเข้ากับไฟฟ้าแบบ 3 เฟส ที่มีอัตราการไหลสูงสุด 1,200 m^3/hr และมีความดันสูงสุด (ที่อัตราการไหลต่ำสุด) 210 เซนติเมตรน้ำ



รูปที่ 6.2 แสดงพัดลมเป่าอากาศ

1.2 ท่อส่งอากาศ ใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4 นิ้ว จากท่อส่งอากาศหลักยาวประมาณ 2 เมตร จะแยกอากาศออกเป็นสองส่วน โดยอากาศส่วนหนึ่งเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงเหนือตะกรับ (overfire air) และอากาศส่วนที่สองสำหรับเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ใต้ตะกรับ (underfire air)

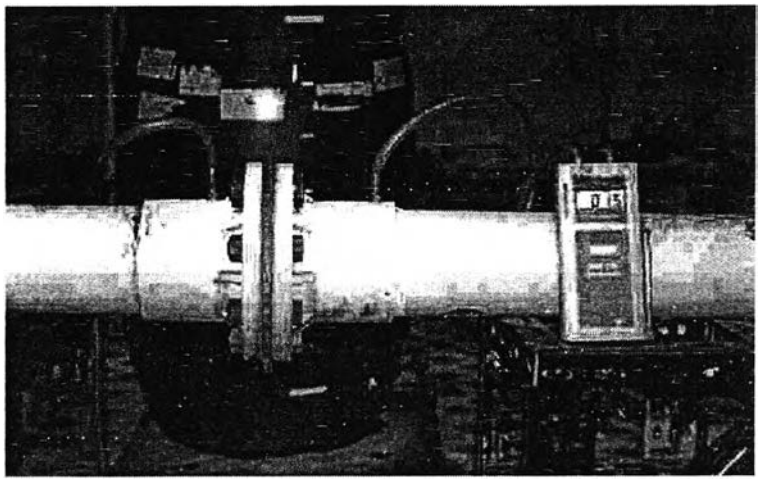


รูปที่ 6.3 แสดงท่อส่งอากาศ

2. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

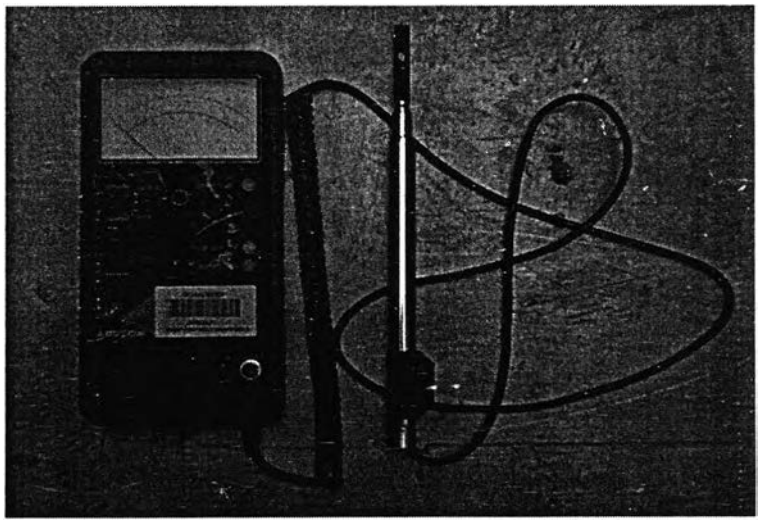
2.1 ชุดออริฟิส (orifice) สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่จะเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ ทำจากแผ่น stainless steel โดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นออริฟิสเท่ากับ 7.62 เซนติเมตร อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter ratio, β) เท่ากับ 0.7595 มีค่า discharge coefficient, C_d เท่ากับ 0.6893 รูแท็ปสำหรับวัดความดันใช้แบบชนิด D, D/2 tapping ตามมาตรฐาน ASME [16] โดยนำมาโนมิเตอร์ (manometer) ต่อเข้ากับออริฟิสเพื่อจะอ่านค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้น แล้วจึงนำค่าไปคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ

2.2 มาโนมิเตอร์แบบตัวเลข (micro manometer) ใช้สำหรับอ่านค่าความดันสถิตแตกต่างที่เกิดขึ้นที่ชุดออริฟิส และที่เกิดที่ปล่องควัน เป็นของ ALNOR รุ่น AXD 510 สามารถอ่านค่าความดันแตกต่างในช่วง 0 ถึง 19.99 นิ้วน้ำ (inH_2O)



รูปที่ 6.4 แสดงชุดออริฟิสและมาโนมิเตอร์

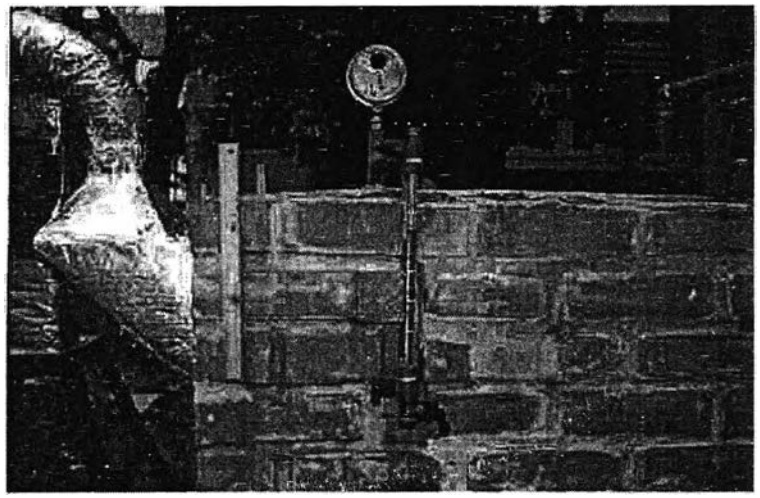
2.3 Airflow anemometer/thermometer เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดความเร็วและอุณหภูมิของอากาศ ใช้สำหรับปรับตั้งอัตราส่วนปริมาณอากาศที่จะใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงระหว่างอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้เหนือตะกรับกับอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ใต้ตะกรับ ตามอัตราส่วนที่กำหนด อุปกรณ์สามารถอ่านค่าความเร็วได้ทั้งในหน่วย เมตรต่อวินาที (อ่านค่าได้ในช่วง 0 ถึง 30 เมตรต่อวินาที) และ ฟุตต่อนาที (อ่านค่าได้ในช่วง 0 ถึง 6,000 ฟุตต่อนาที) รวมทั้งสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้ทั้งในหน่วย องศาเซลเซียส (อ่านค่าได้ในช่วง 0 ถึง 80 องศาเซลเซียส) และ องศาฟาเรนไฮต์ (อ่านค่าได้ในช่วง 32 ถึง 170 ฟาเรนไฮต์)



รูปที่ 6.5 แสดง Airflow anemometer

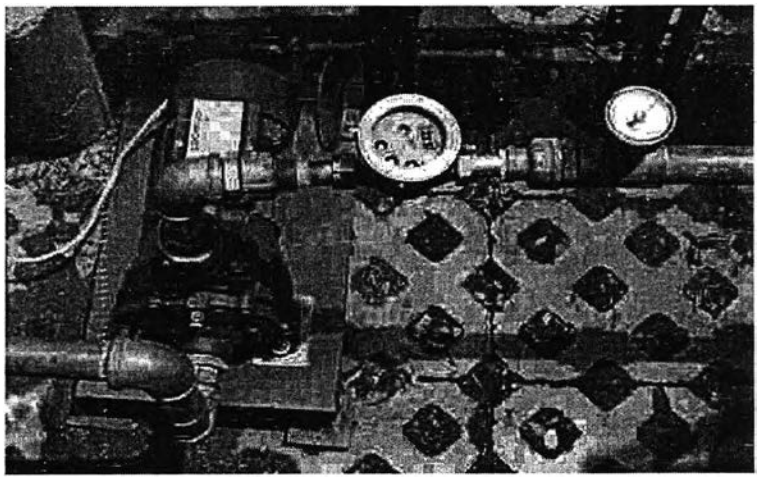
3. ชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ

3.1 มาตรวัดระดับน้ำ ในระบบผลิตไอน้ำมีการติดตั้งมาตรวัดระดับน้ำแบบหลอดแก้วกลม เพื่อแสดงระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำ ทำให้สามารถตรวจสอบระดับน้ำภายในหม้อไอน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมอยู่เสมอ



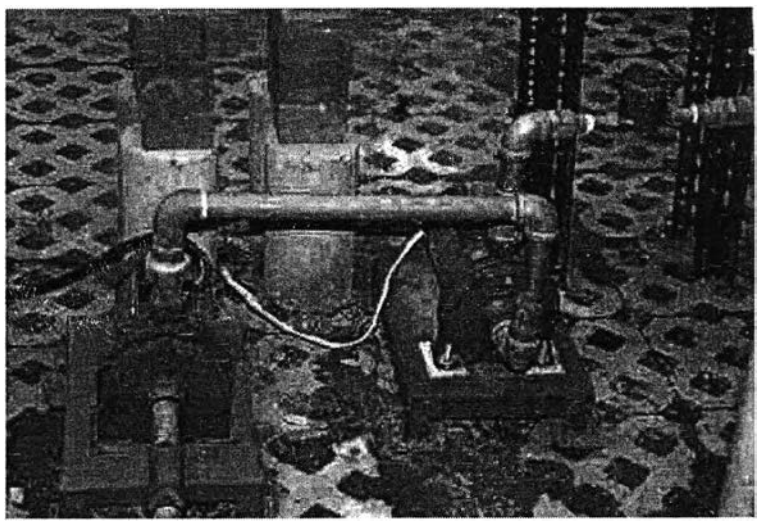
รูปที่ 6.6 แสดงมาตรวัดระดับน้ำแบบหลอดแก้วกลม

3.2 มาตรวัดปริมาณการไหล ในระบบผลิตไอน้ำมีการติดตั้งมาตรวัดปริมาณการไหลแบบปริมาตร เพื่อใช้สำหรับวัดปริมาณของน้ำป้อนที่เข้าสู่หม้อไอน้ำ โดยสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ในหน่วยลูกบาศก์เมตร

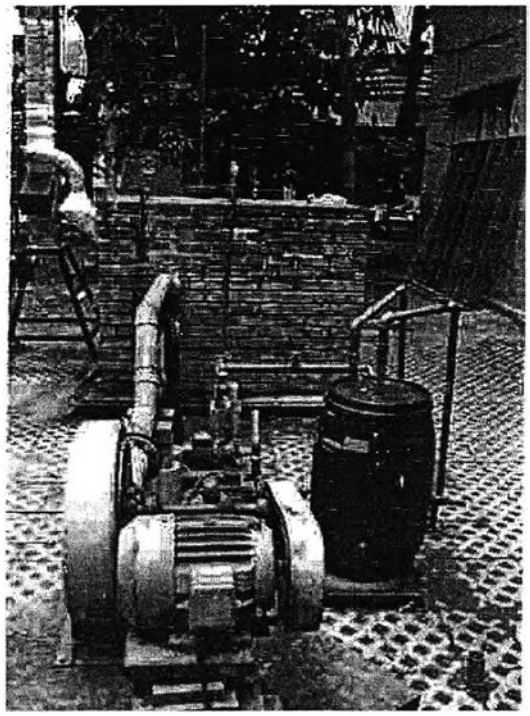


รูปที่ 6.7 แสดงมาตรวัดปริมาณการไหลแบบปริมาตร

3.3 เครื่องสูบน้ำ (water pump) ในระบบการจ่ายน้ำป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำมีการออกแบบโดยการนำเครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump) จำนวน 2 เครื่องมาต่อใช้งานร่วมกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มความดันของระบบจ่ายน้ำป้อนให้สูงขึ้น ประกอบด้วยเครื่องสูบน้ำตัวที่ 1 เป็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ชนิดสองใบพัด รุ่น DB 44/100 สร้างความดันได้สูงสุด 40 เมตรน้ำ ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อนาที ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 2,850 รอบต่อนาที และเครื่องสูบน้ำตัวที่ 2 เป็นแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 2,900 รอบต่อนาที สามารถสร้างความดันสูงสุดได้ 40 เมตรน้ำ ที่อัตราการไหล 20 ลิตรต่อนาที และให้อัตราการไหลสูงสุดที่ 80 ลิตรต่อนาที ที่ความดัน 18 เมตรน้ำ โดยที่เครื่องสูบน้ำตัวที่ 1 ต่อเข้ากับถังพักน้ำที่จะเติมเข้าไปในตัวหม้อไอน้ำ (boiler shell) มีวาล์วกันกลับ (check valve) เพื่อป้องกันไอน้ำจากตัวหม้อไอน้ำไหลย้อนกลับเข้ามายังถังพักน้ำ เครื่องสูบน้ำมีสวิตซ์ควบคุมเปิด-ปิด สำหรับเติมน้ำโดยดูระดับน้ำในตัวหม้อไอน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปจากมาตรวัดระดับน้ำแบบหลอดแก้วกลม ส่วนระบบท่อจ่ายน้ำใช้ท่อเหล็กชุบ Galvanize ขนาด 1 นิ้ว



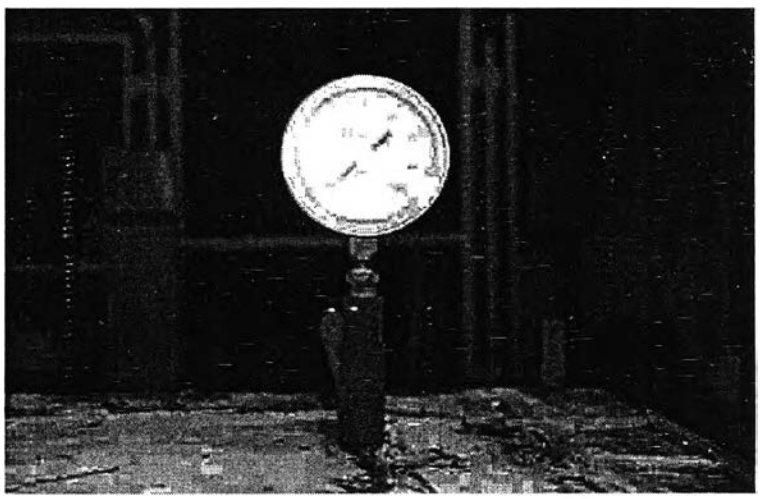
รูปที่ 6.8 แสดงเครื่องสูบน้ำ



รูปที่ 6.9 แสดงระบบป้อนอากาศและชุดอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ

4. อุปกรณ์ควบคุมความดันไอน้ำ

4.1 มาตรวัดความดันไอน้ำ (steam pressure gauge) ใช้ของ TRERICE สำหรับแสดงค่าระดับความดันไอน้ำภายในหม้อไอน้ำ โดยเลือกใช้มาตรวัดความดันแบบบัวดอง (bourdon gage) และติดตั้งมาตรวัดความดันไว้ที่ด้านบนตัวหม้อไอน้ำ พิจารณาตามมาตรฐานของ ASME โดยอ่านค่าได้ในช่วง 0 ถึง 160 psi (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) และแบ่งช่องการอ่านค่าละเอียดออกเป็นช่องละ 2 psi (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)



รูปที่ 6.10 แสดงมาตรวัดความดันไอน้ำ

4.2 วาล์วนิรภัย (safety valve) หม้อไอน้ำถูกออกแบบให้ใช้งานได้อย่างปลอดภัยที่ความดันใช้งานสูงสุด ถ้าเกินความดันที่กำหนดจะเกิดอันตรายได้ วาล์วนิรภัยจะทำหน้าที่ควบคุมความดันภายในหม้อไอน้ำไม่ให้สูงเกินกว่าค่าที่กำหนด ถ้าความดันในหม้อไอน้ำสูงเกินกว่าค่าที่กำหนด วาล์วนิรภัยจะเปิดและปล่อยไอน้ำทิ้งออกไป พิจารณาใช้วาล์วนิรภัยตามมาตรฐาน ASME

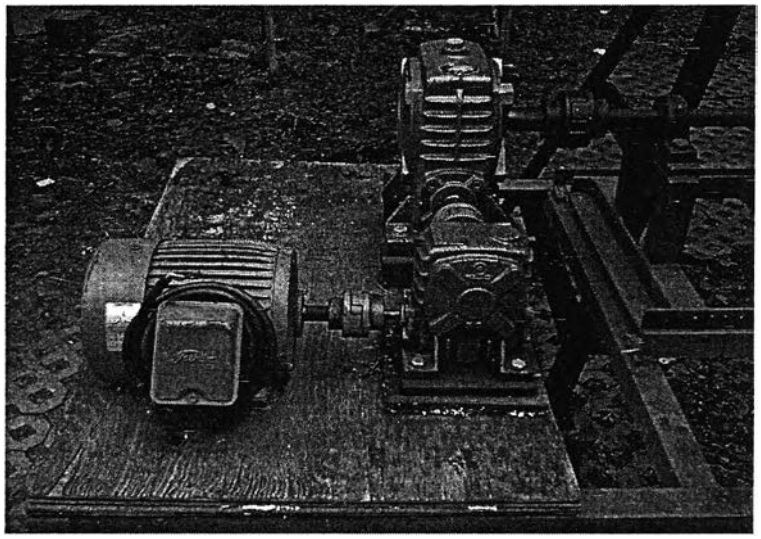
รูปที่ 6.11 แสดงวาล์วนิรภัย

5. มอเตอร์และชุดเฟืองทด (motor and gear box)

ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับขับเคลื่อนและทดรอบระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรู (Screw feeder) โดยควบคุมการทำงานของระบบด้วยอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ทำให้สามารถปรับความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ เพื่อให้ได้ความเร็วรอบการหมุนของสกรูที่เหมาะสมสำหรับปริมาณของเชื้อเพลิงที่ต้องการป้อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ที่ต้องการ

5.1 มอเตอร์ (motor) เป็นมอเตอร์แบบ induction motor 3 เฟส 4 ขั้ว ขนาด 1 แรงม้า ความถี่ 0-50 Hz รอบสูงสุด 1,410 รอบต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 6.12

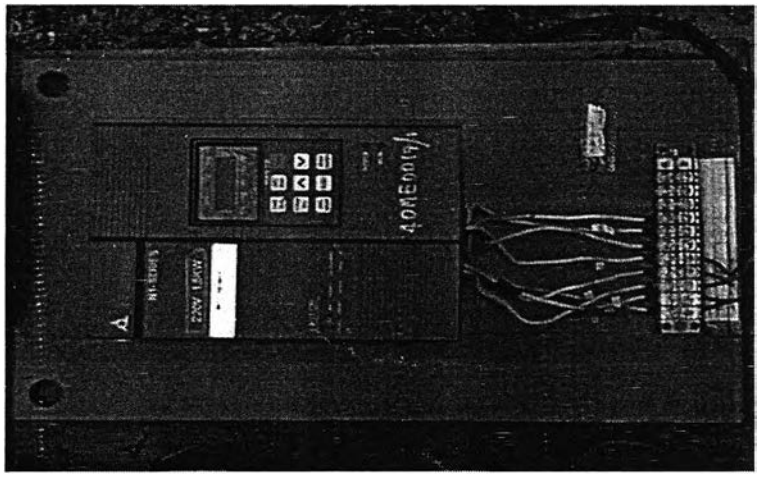
5.2 ชุดเฟืองทด (gear box) ใช้เฟืองทดจำนวน 2 ตัว มีอัตราทดรวม 1:200 ดังแสดงในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 แสดงมอเตอร์และชุดเฟืองทด

6. ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

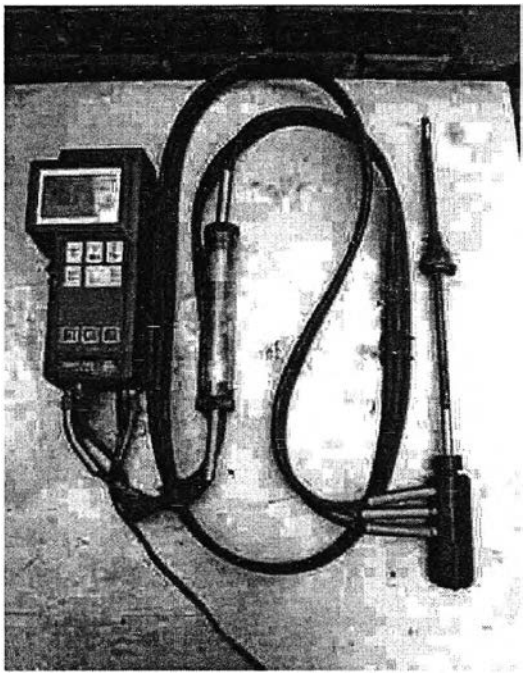
ใช้เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมความเร็วรอบการหมุนของสกรูของระบบป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรู เพื่อให้ได้ความเร็วรอบการหมุนของสกรูที่เหมาะสมสำหรับปริมาณของเชื้อเพลิงที่ต้องการป้อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ที่ต้องการ ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ขนาด 1 แรงม้า สามารถปรับค่าความถี่ได้ 0-50 Hz แรงดันไฟฟ้า 220 volt กำลัง 1.5 kW มีมาตรแสดงค่าความถี่ และสวิทส์ควบคุมการทำงาน



รูปที่ 6.13 แสดงชุดอินเวอร์เตอร์

7. เครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย (flue gas analyzer)

เป็นเครื่องมือใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้เหง้ามันสำปะหลัง โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียยี่ห้อ Testo350 สามารถวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย เช่น O_2, CO_2, CO, NO_X, NO, SO_2 โดยเครื่องมือนี้สามารถแสดงผลออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และมีหัว flue gas probe ที่สามารถอ่านค่าของอุณหภูมิของก๊าซไอเสียได้

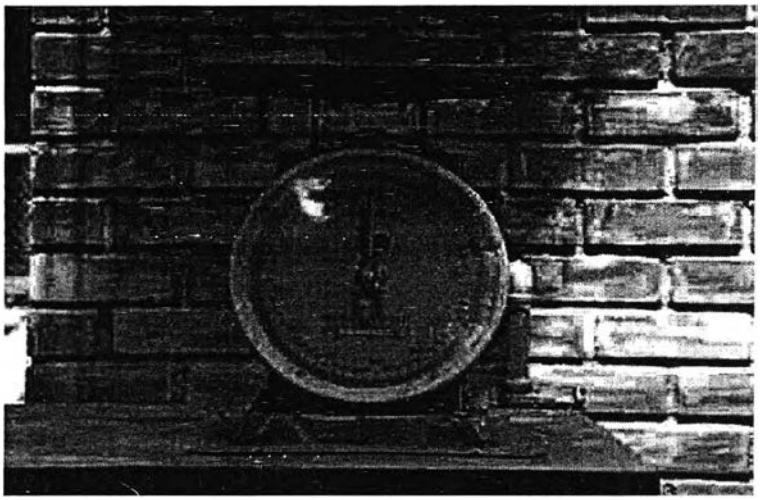


รูปที่ 6.14 แสดงเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย

8. เครื่องชั่งน้ำหนัก

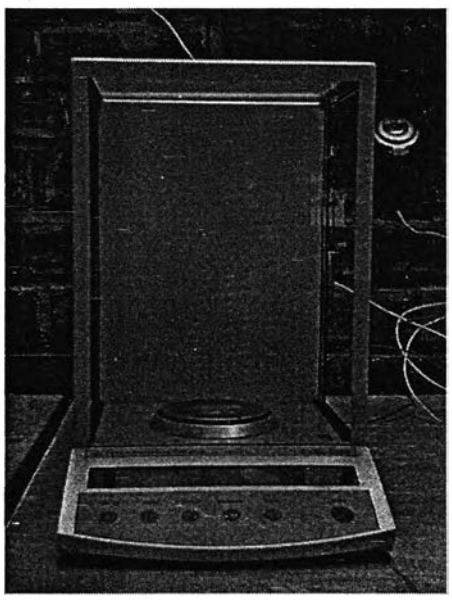
ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังที่จะใช้ในการเผาไหม้ รวมทั้งชั่งน้ำหนักของตัวอย่างชิ้นเหง้ามันสำปะหลังที่ออกจากห้องอบลดความชื้น หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งในห้องอบลดความชื้น และน้ำหนักของขี้เถ้าจากการเผาไหม้ที่เกิดจากการทดลอง

8.1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบ ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังที่จะใช้ในการเผาไหม้ เพื่อให้ได้ปริมาณของเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังตรงตามข้อกำหนดของการทดลอง อ่านค่าได้ในช่วง 0 ถึง 60 กิโลกรัม และสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.2 กิโลกรัม (2 ขีด)



รูปที่ 6.15 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบ

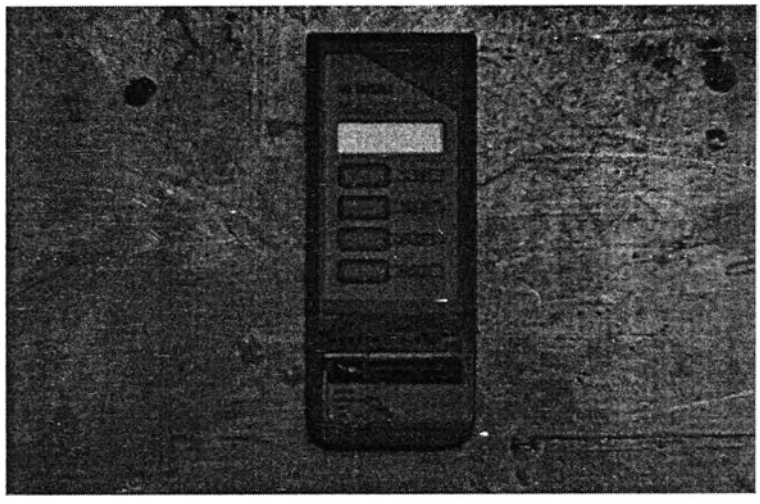
8.2 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักของตัวอย่างชิ้นเหง้ามันสำปะหลังที่ออกจากห้องอบลดความชื้น หลังจากผ่านกระบวนการอบแห้งในห้องอบลดความชื้น เป็นเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดของบริษัท Denver Instrument Company รุ่น TC-205 เป็นเครื่องชั่งละเอียดที่สามารถวัดได้ละเอียดถึงทศนิยม 5 ตำแหน่ง ในหน่วยกรัม ถ้าน้ำหนักที่ชั่งมีค่าไม่เกิน 32 กรัม และสามารถวัดได้ละเอียดถึงทศนิยม 4 ตำแหน่ง ถ้าน้ำหนักที่ชั่งมีค่ามากกว่า 32 กรัม แต่ไม่เกิน 220 กรัม



รูปที่ 6.16 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

9. อุปกรณ์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ

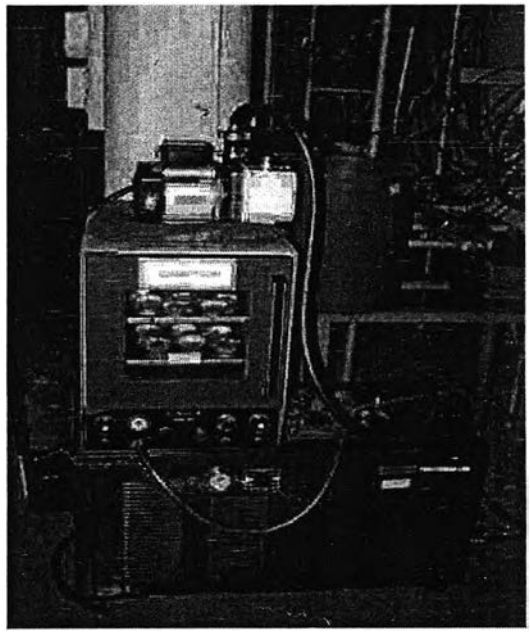
ใช้สำหรับวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และอุณหภูมิของอากาศในบรรยากาศ โดยสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึงทศนิยมสองตำแหน่ง



รูปที่ 6.17 แสดงอุปกรณ์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ

10. เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum dryer)

ใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศในการอบแห้งตัวอย่างชิ้นเหง้ามันสำปะหลังที่เก็บจากห้องอบลดความชื้น ก่อนป้อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ เพื่อหาค่าความชื้นของตัวอย่างชิ้นเหง้ามันสำปะหลัง เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้ง



รูปที่ 6.18 แสดงเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ

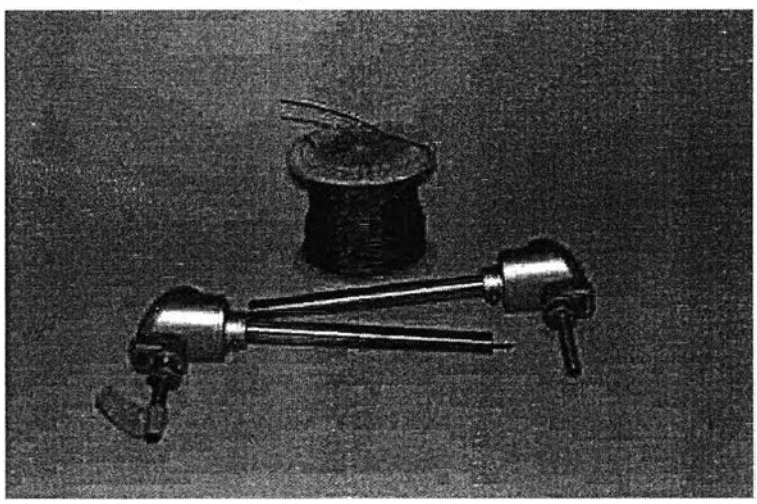
11. นาฬิกาจับเวลา

ใช้สำหรับกำหนดเวลาที่ต้องทำการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาเผาไหม้ และการจดบันทึกข้อมูลการทดลอง

12. ชุดอุปกรณ์การวัดและอ่านค่าอุณหภูมิ

ชุดอุปกรณ์การวัดและอ่านค่าอุณหภูมิประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (thermocouple) ต่อเข้ากับอุปกรณ์แสดงผลอุณหภูมิแบบตัวเลข (digital display) โดยต่อสายเทอร์โมคัปเปิลผ่านอุปกรณ์ตัวเลือก (selector switch) เพื่อเลือกอ่านค่าอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ในระบบกำเนิดไอน้ำ

12.1 เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของระบบกำเนิดไอน้ำ โดยเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้เป็นชนิด K (type K, Chromel-Alumel) ทั้งแบบ probe (model JB-35) และแบบสาย มีช่วงการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 0-1,200 °C ดังแสดงในรูปที่ 6.19

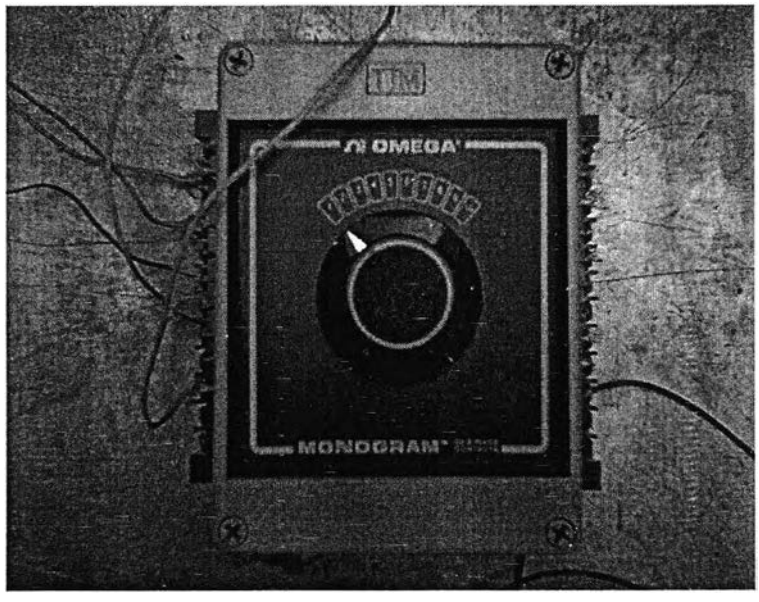


รูปที่ 6.19 แสดงเทอร์โมคัปเปิลชนิด K

12.2 อุปกรณ์แสดงผลอุณหภูมิ (digital display) เป็นอุปกรณ์สำหรับแสดงผลอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล โดยแสดงผลในรูปแบบของตัวเลขดิจิตอลในหน่วยองศาเซลเซียส (°C) โดยใช้อุปกรณ์ของ Hewlett Packard แบบ multimeter รุ่น 973A ดังแสดงในรูปที่ 6.20

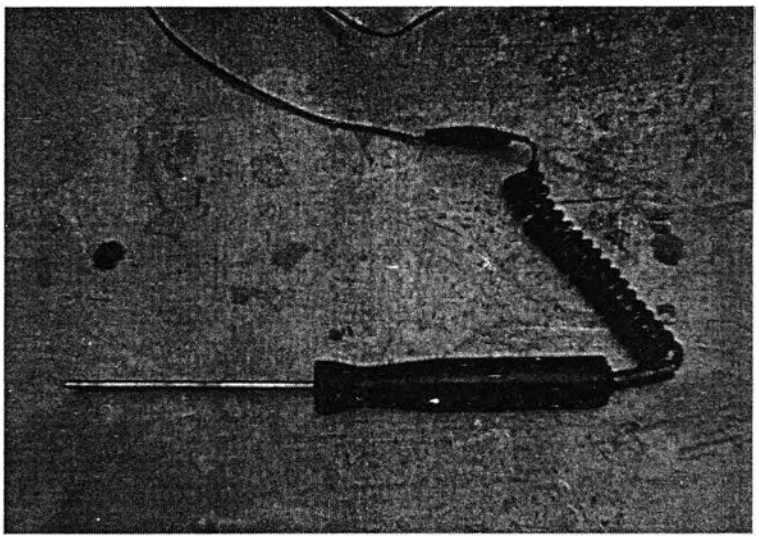
รูปที่ 6.20 แสดงอุปกรณ์แสดงผลอุณหภูมิ

12.3 อุปกรณ์ตัวเลือก (selector switch) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเลือกอ่านค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในระบบกำเนิดไอน้ำ ใช้อุปกรณ์ของ OMEGA รุ่น monogram (gold plated contacts) สามารถเลือกอ่านค่าอุณหภูมิได้ทั้งหมด 10 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 แสดงอุปกรณ์ตัวเลือก

12.4 อุปกรณ์ Temperature probe เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิของไอน้ำที่ปล่อยออกจากหม้อไอน้ำ โดยการให้ปลายหัวของ temperature probe สัมผัสกับไอน้ำโดยตรง โดยเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้เป็นชนิด K (type K, Chromel-Alumel) ดังแสดงในรูปที่ 6.22

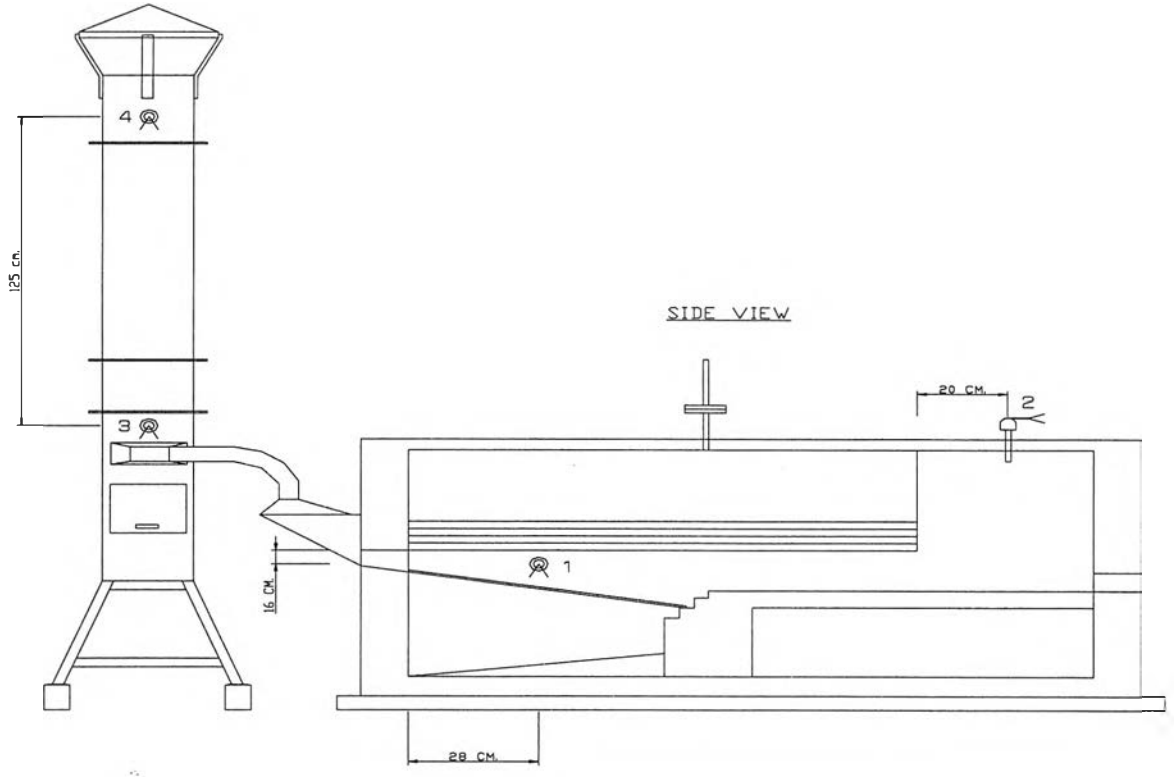


รูปที่ 6.22 แสดงอุปกรณ์ Temperature probe

6.3 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในระบบกำเนิดไอน้ำ

(1) ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดค่าอุณหภูมิของแก๊สไอเสียร้อน ที่เกิดจากการเผาไหม้ ภายในระบบกำเนิดไอน้ำที่ใช้ชิ้นเหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

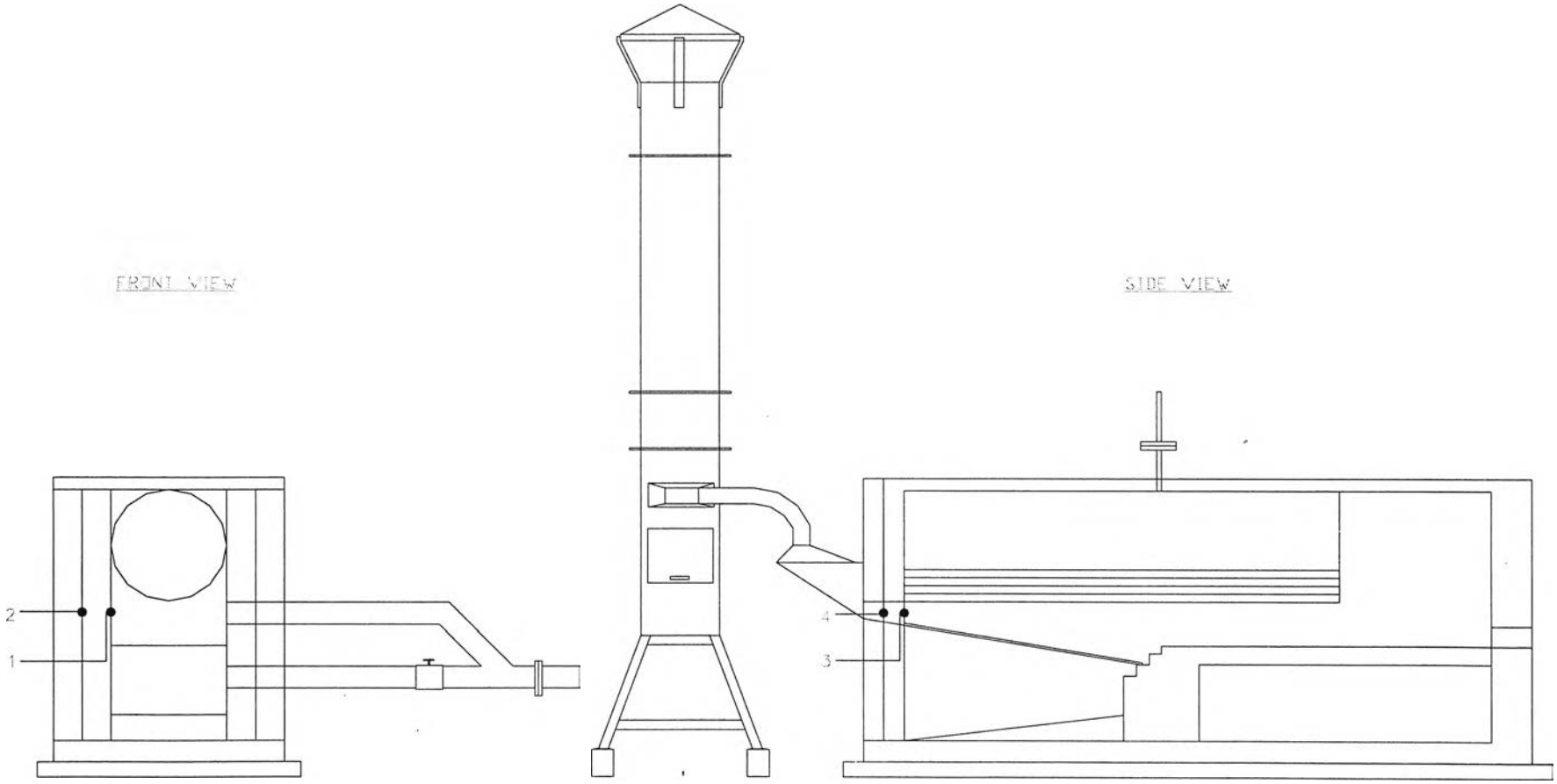
ตำแหน่งที่ 1	วัดอุณหภูมิแก๊สร้อนภายในห้องเผาไหม้ ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ probe รุ่น JB-35 ชนิด K ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร สามารถทนอุณหภูมิได้ในช่วง 0-1,200 °C
ตำแหน่งที่ 2	วัดอุณหภูมิแก๊สร้อนก่อนเข้าท่อไฟในตัวหม้อไอน้ำ ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ probe รุ่น JB-35 ชนิด K ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร สามารถทนอุณหภูมิได้ในช่วง 0-1,200 °C
ตำแหน่งที่ 3	วัดอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ออกมาจากท่อไฟของตัวหม้อไอน้ำ โดยใช้อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย วัดอุณหภูมิของแก๊สไอเสียร้อน พร้อมไปกับการวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย ขณะที่ทำการทดลอง
ตำแหน่งที่ 4	วัดอุณหภูมิของแก๊สร้อนที่ออกมาจากห้องอบลดความชื้นทางปล่องควัน ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ probe รุ่น JB-35 ชนิด K ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร สามารถทนอุณหภูมิได้ในช่วง 0-1,200 °C



รูปที่ 6.23 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดค่าอุณหภูมิของแก๊สไอเสียร้อน ที่เกิดจากการเผาไหม้ ภายในระบบกำเนิดไอน้ำที่ใช้ชิ้นเหง้ามันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง

(2) ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านในและด้านนอกของเตาเผาไหม้

ตำแหน่งที่ 1	วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังด้านข้างชั้นในของเตาเผาไหม้ ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบสาย ชนิด K ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1,260 °C
ตำแหน่งที่ 2	วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของผนังด้านข้างชั้นในของเตาเผาไหม้ ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบสาย ชนิด K ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1,260 °C
ตำแหน่งที่ 3	วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านในของผนังด้านหน้าชั้นในของเตาเผาไหม้ ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบสาย ชนิด K ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1,260 °C
ตำแหน่งที่ 4	วัดอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของผนังด้านหน้าชั้นในของเตาเผาไหม้ ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบสาย ชนิด K ทนอุณหภูมิสูงสุดได้ 1,260 °C



รูปที่ 6.24 แสดงตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวของผนังด้านในและด้านนอกของเตาเผาไหม้

6.4 วิธีดำเนินการทดลองและการบันทึกผลข้อมูล

1. การเตรียมเหง้ามันสำปะหลังที่จะใช้เป็นเชื้อเพลิง ต้องนำไปแปรรูปโดยการเข้าเครื่องบดสับให้เป็นชิ้น (Chip) แล้วตากแดดพอสมควร เพื่อลดความชื้นในเหง้ามันสำปะหลัง อีกทั้งเป็นการป้องกันการเกิดเชื้อราขึ้น

2. นำตัวอย่างเหง้ามันสำปะหลังไปวิเคราะห์หาค่าทางความร้อน ค่าความชื้นเริ่มต้น และองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ

3. เตรียมเครื่องมือการทดลองและอุปกรณ์การวัดให้พร้อม ตรวจสอบสภาพให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน เตรียมถ่านหุงต้มสำหรับใช้อุ่นเตา และเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการทดลอง

4. ก่อนดำเนินการทดลอง ให้ติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดเข้ากับระบบกำเนิดไอน้ำให้พร้อม ดังนี้

4.1 ตรวจสอบสายเทอร์โมคัปเปิลให้ติดตั้งบนอุปกรณ์ตัวเลือก พร้อมกับติดตั้งเครื่องแสดงผลค่าอุณหภูมิเข้ากับอุปกรณ์ตัวเลือกให้เรียบร้อย

4.2 ต่อชุดออริฟิสเข้ากับอุปกรณ์การวัด Micro manometer และ Airflow anemometer ให้เรียบร้อย

4.3 เปิดเครื่องสูบน้ำเพื่อเติมน้ำลงในตัวหม้อไอน้ำให้ได้ตามระดับที่กำหนด และเติมน้ำลงในถังพักน้ำป้อนสำหรับป้อนเข้าสู่หม้อไอน้ำให้พร้อม

4.4 ติดตั้งเครื่องมือวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย

4.5 ติดตั้งชุดอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบป้อนเชื้อเพลิงให้เรียบร้อย

4.6 เปิดอุปกรณ์วัดค่าความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของอากาศ

4.7 เตรียมเครื่องชั่งน้ำหนักแบบหยาบและเครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

5. เปิดพัดลมเป่าอากาศ เพื่อตั้งค่าปริมาณอากาศที่จะเข้ามาทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิง ปรับพื้นที่หน้าตัดตรงทางดูดของพัดลมเป่าอากาศ เพื่อให้ได้ค่าของอัตราการไหลของอากาศที่กำหนด โดยเปรียบเทียบกับค่าความดันแตกต่างที่อ่านได้จากมาโนมิเตอร์แบบตัวเลข ในการศึกษาวิจัยนี้มี 2 สภาวะ คือ ทำการทดลองที่ค่าเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 40% และ 120% เมื่อได้ปริมาณอากาศส่วนเกินตามสภาวะที่กำหนดแล้วจึงปิดเครื่องเป่าอากาศไว้ก่อน

6. ใช้อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ Airflow anemometer เพื่อปรับปริมาณอากาศที่เข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ ของอากาศบนตะกรับและอากาศใต้ตะกรับ ให้อยู่ในอัตราส่วน 40:60

7. รวมทั้งจดบันทึกค่าปริมาณเริ่มต้นของการทดลอง เช่น ค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ระดับน้ำในหม้อไอน้ำเริ่มต้น เลขมิเตอร์เริ่มต้นของมาตรวัดน้ำ เป็นต้น

8. เตรียมเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นโดยนำมาชั่งน้ำหนักให้พร้อม ในการศึกษาวิจัยนี้กำหนดให้มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่ 10 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยป้อนเชื้อเพลิงทุก 10 นาที

9. อุ่นเตาเผาไหม้โดยใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นช่วย ในการวิจัยนี้ใช้ถ่านหุงต้มนำมาติดไฟให้เรียบร้อยเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงเริ่มต้น ใส่เชื้อเพลิงถ่านหุงต้มเข้าไปในเตาเผาไหม้ เปิดพัดลมเป่าอากาศ และเริ่มจับเวลา

10. เปิดสวิตช์ของชุดอินเวอร์เตอร์ให้ทำงาน และปรับค่าความถี่ให้สอดคล้องกับความเร็วรอบของสกรูที่กำหนด

11. รอเวลาให้ครบ 10 นาที หรือรอให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผามีค่าสูงขึ้นประมาณ 250 °C จึงเริ่มป้อนเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นผ่านทางสกรูเข้าไปในเตาเผาไหม้ และนำเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้นไปอุ่นในห้องอบลดความชื้น ป้อนเชื้อเพลิงและอุ่นเชื้อเพลิงเหง้ามันสำปะหลังอย่างต่อเนื่องต่อไปอีกประมาณ 10 ถึง 20 นาที แต่ยังไม่บันทึกผลข้อมูล เพื่อรอให้ผลจากถ่านหุงต้มหมดก่อน และเป็นการอุ่นเตาเผาไหม้ให้มีอุณหภูมิสูงพอ จนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) หลังจากนั้นจึงเริ่มจดบันทึกผลข้อมูลได้

12. จดบันทึกผลข้อมูลทุกๆ 5 นาที โดยข้อมูลที่ต้องบันทึกมีดังนี้

12.1 อุณหภูมิทุกตำแหน่งที่กำหนด

12.2 ความแตกต่างของความดันจากมาโนมิเตอร์แบบตัวเลข เพื่อวัดค่าอัตราการไหลของแก๊สไอเสียที่ออกจากห้องอบลดความชื้นไปทางปล่องควัน (บันทึกผลทุก 10 นาที)

12.3 ความดันหม้อไอน้ำ

12.4 ค่าองค์ประกอบของแก๊สไอเสีย

12.5 ค่าน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างเหง้ามันสำปะหลังแบบชิ้น เมื่อผ่านการอบแห้งออกจากห้องอบลดความชื้น โดยจะมีการเก็บตัวอย่างชิ้นเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านการอบก่อนป้อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ทุกๆ 30 นาที เมื่อชั่งน้ำหนักเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงนำตัวอย่างที่เก็บจากห้องอบลดความชื้นมาใส่ไว้ในถุง ziploc เพื่อเก็บไว้สำหรับหาค่าน้ำหนักแห้งต่อไป

13. เมื่อความดันหม้อไอน้ำถึงจุดที่กำหนดปล่อยไอน้ำออก จึงเปิดวาล์วเพื่อปล่อยไอน้ำออก ระดับน้ำในตัวหม้อไอน้ำจะลดลงถึงจุดที่กำหนด ให้เปิดเครื่องสูบน้ำเพื่อป้อนน้ำเข้าไปในตัวหม้อไอน้ำจนน้ำถึงระดับเดิม บันทึกหมายเลขมิเตอร์ที่มาตรวัดน้ำ

14. ทำการทดลองควรใช้เวลาประมาณ 3-5 ชั่วโมง จึงหยุดป้อนเชื้อเพลิง

15. จดบันทึกผลการทดลองต่อไป จนกระทั่งอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เริ่มลดลง

16. ปิดชุดอิเวอร์เตอร์เพื่อหยุดการหมุนของระบบป้อนเชื่อเพลิง ปิดพัดลมเป่าอากาศ ปิดเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สไอเสีย และปิดเครื่องสูบน้ำ

17. เมื่ออุณหภูมิในเตาเผาไหม้เย็นลง โกยขี้เถ้าและนำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกผล

18. หาปริมาณไอน้ำที่หม้อไอน้ำสามารถผลิตได้ภายในช่วงเวลาที่ทำการเปิดวาล์วปล่อยไอน้ำ โดยพิจารณาจากค่าปริมาตรของน้ำที่เติมลงในหม้อไอน้ำตลอดการทดลองจากค่าที่อ่านได้จากมาตรวัดน้ำ บันทึกผล

19. นำตัวอย่างชิ้นเหง้ามันสำปะหลังที่ผ่านการอบลดความชื้นในห้องอบแห้ง ที่เก็บไว้เป็นตัวอย่างในถุง ziploc มาใส่ไว้ในถ้วยทนความร้อนแล้วนำไปหาค่าน้ำหนักแห้ง โดยการอบแห้งในเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ (vacuum dryer) เพื่อหาค่าความชื้นที่ลดลงของชิ้นเหง้ามันสำปะหลังเมื่อออกจากห้องอบลดความชื้น

20. นำข้อมูลที่บันทึกได้จากการทดลอง มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป