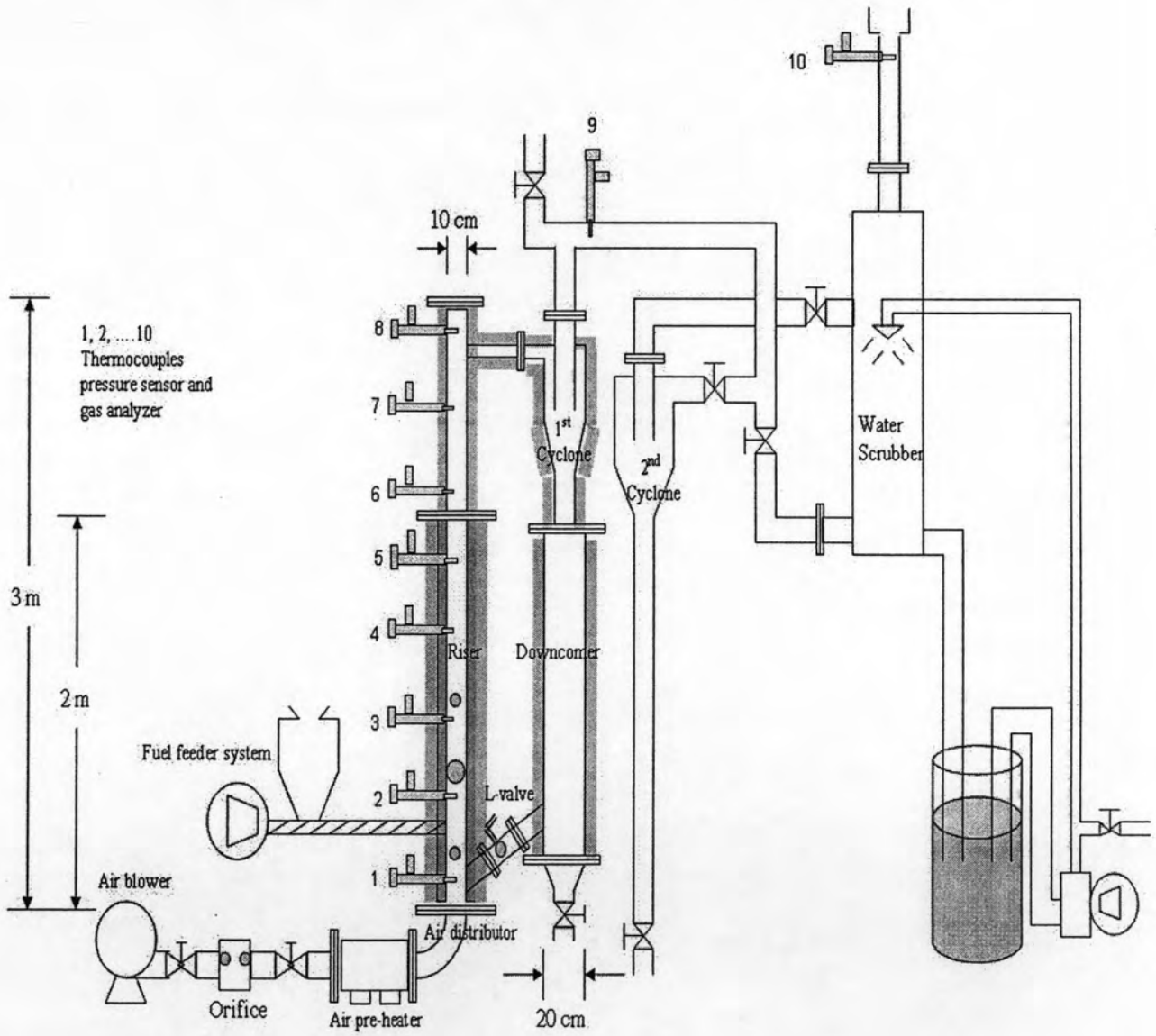
บทที่ 3

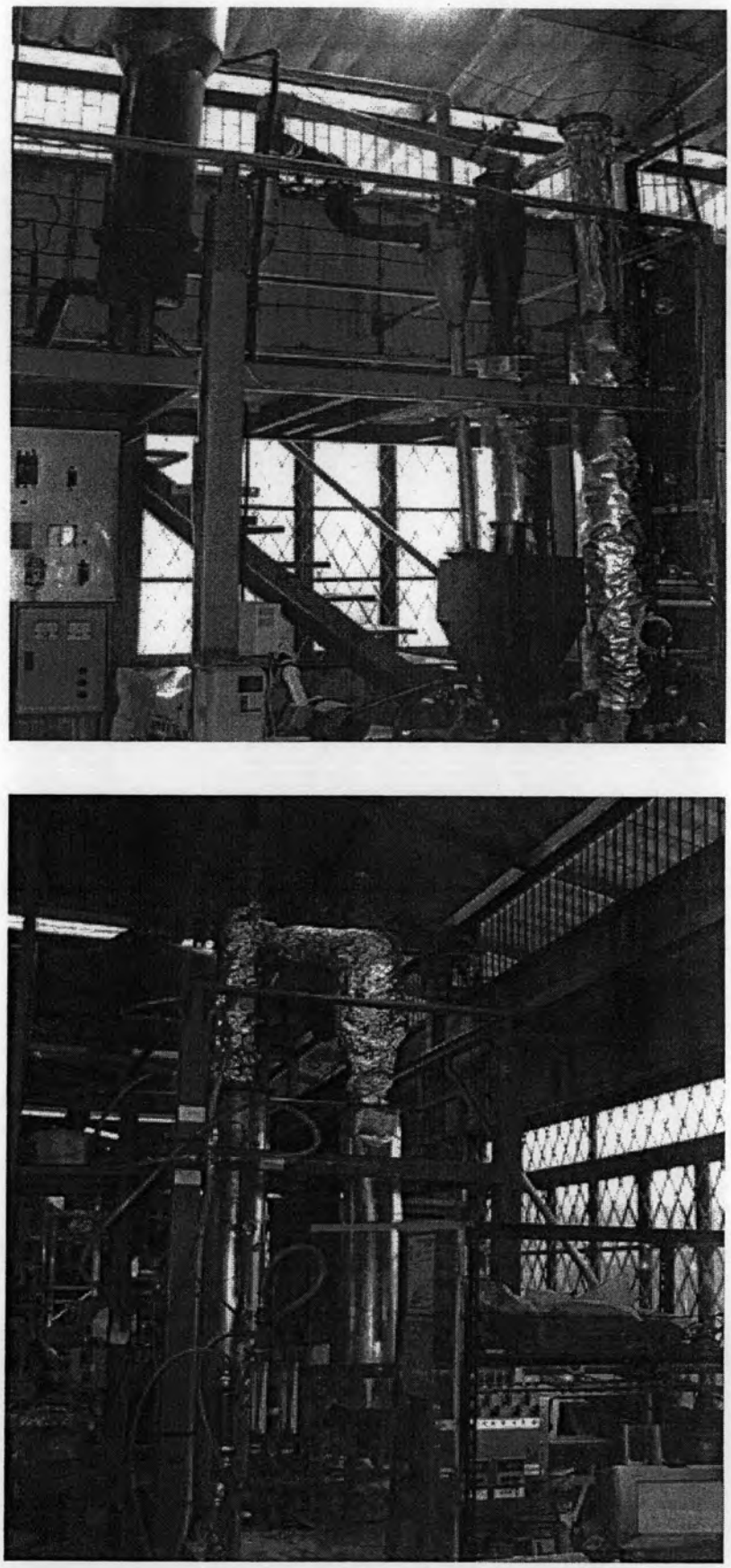
เครื่องมือและวิธีการทดลอง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เตาเผาฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน



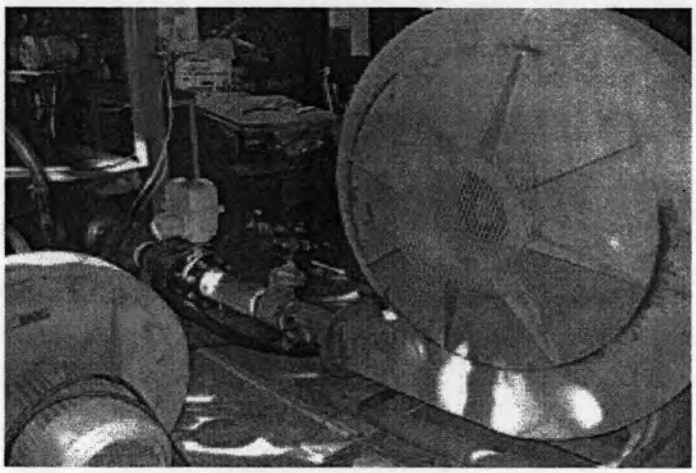
รูปที่ 3.1 โครงร่างเตาเผาฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.2 เตาเผาฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้ในงานวิจัย

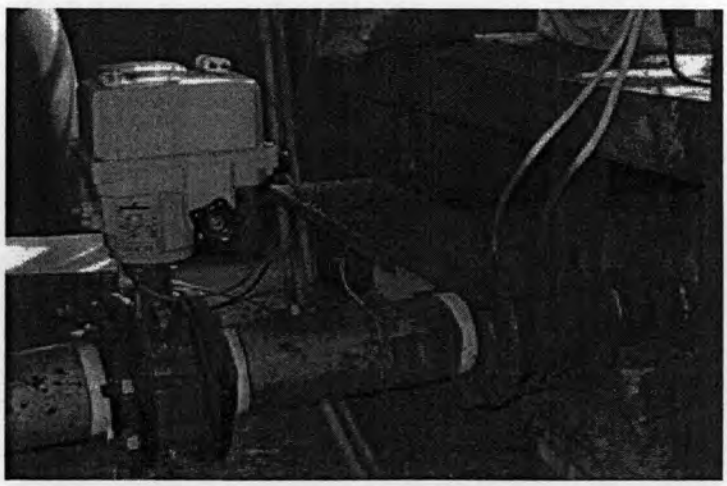
เตาเผาฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. เครื่องเป่าอากาศ (air blower) สำหรับให้อากาศปฐมภูมิ (primary air) ใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 5 แรงม้า ขนาดกำลังผลิตสูงสุด 20 ลบ.ม/นาที ความดันสูงสุด 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



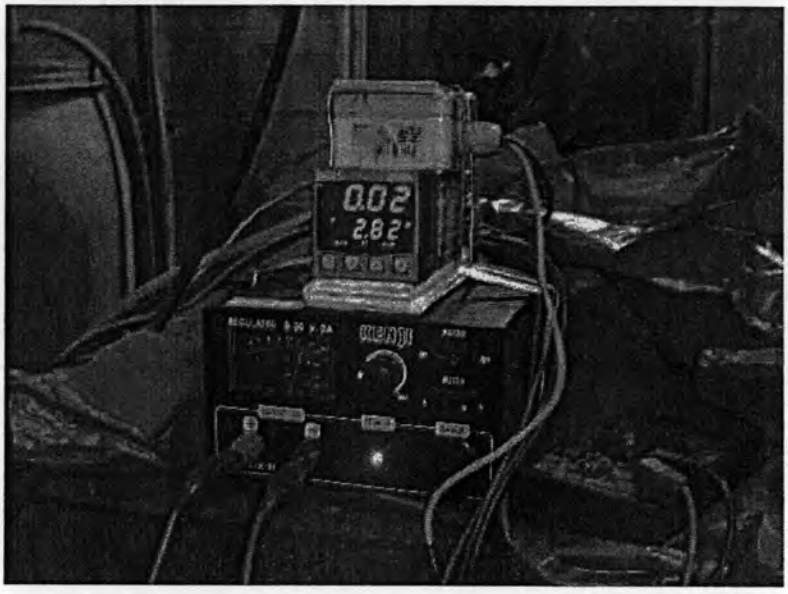
รูปที่ 3.3 เครื่องเป่าอากาศ (air blower)

2. วาล์วไฟฟ้ารูปผีเสื้อเพื่อใช้ปรับปริมาณอากาศจากเครื่องเป่าอากาศ (อากาศปฐมภูมิ) และ orifice สำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันอากาศแล้วนำไปแสดงผลเป็นอัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิที่หน้าจอดิจิตอลและบันทึกผลลงคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.4 วาล์วไฟฟ้ารูปผีเสื้อและ orifice

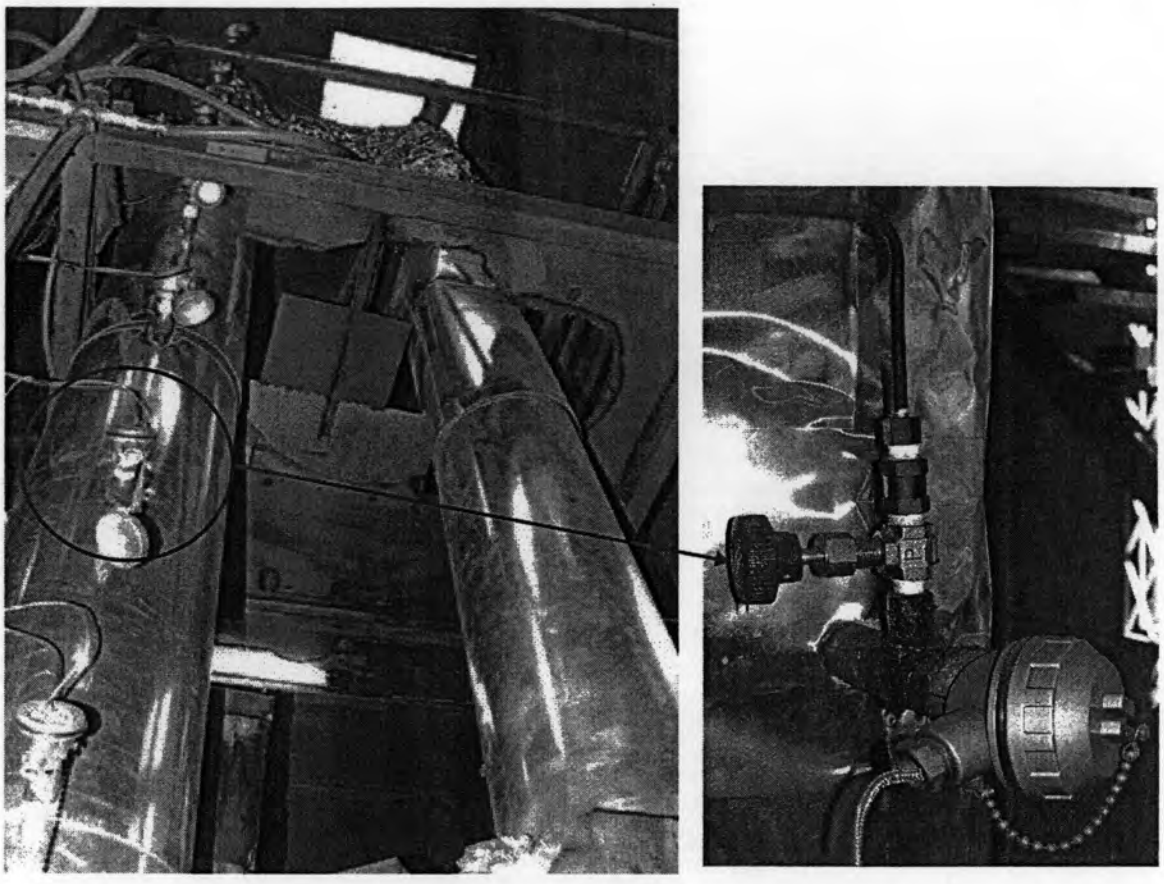
3. หน้าจอแสดงอัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิแบบดิจิตอล



รูปที่ 3.5 หน้าจอแสดงความเร็วอากาศปฐมภูมิแบบดิจิตอล

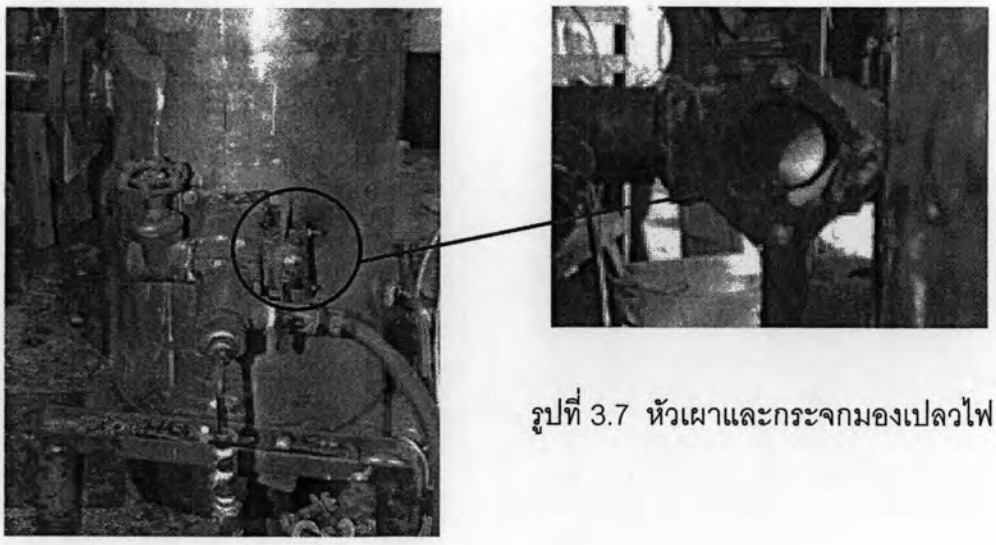
4. แผ่นกระจายอากาศ (distributor) เป็นแบบแผ่นตะแกรง ความละเอียด 60 mesh ซ้อนอยู่กับแผ่นตะแกรงชนิดหยาบ เพื่อให้อากาศกระจายตัวสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดและป้องกันไม่ให้ทรายรวมทั้งเชื้อเพลิงและเถ้าหล่นลงสู่ด้านล่างไรเซอร์

5. ท่อไรเซอร์ (riser) แบ่งออกเป็นส่วนล่างและส่วนบนโดยส่วนล่างหล่อด้วยซีเมนต์ทนไฟหนา 5 เซนติเมตร สูง 2 เมตร ส่วนบนทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 3 มิลลิเมตร สูง 1 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10 เซนติเมตร มีช่องสำหรับใส่เทอร์โมคัปเปิลและสำหรับดึงแก๊ส 8 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 10 เซนติเมตร และตำแหน่งต่อไปห่างกัน 40 เซนติเมตรขึ้นมาทางด้านบนของท่อไรเซอร์



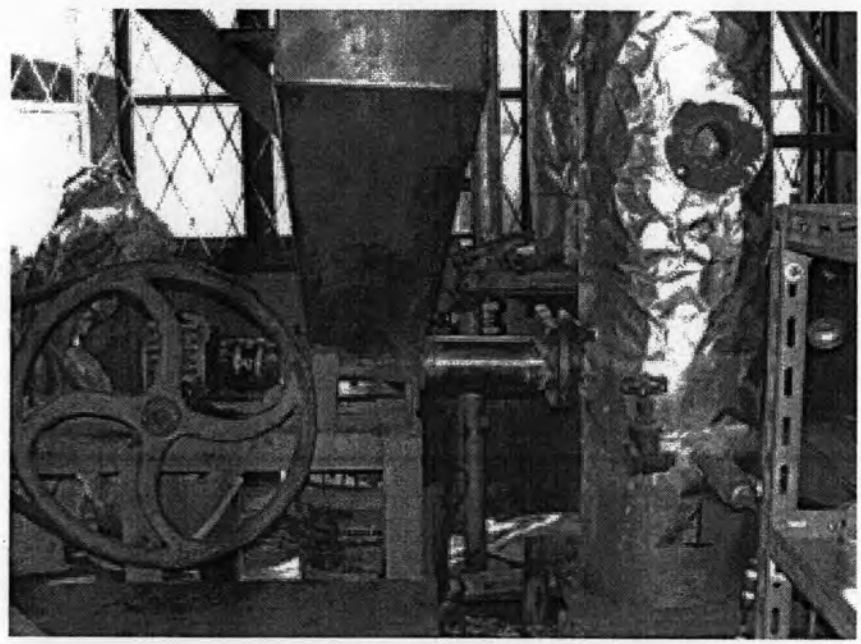
รูปที่ 3.6 ไรเซอร์ (ท่อแนวตั้งด้านซ้าย) และ probe สำหรับวัดอุณหภูมิและองค์ประกอบของแก๊ส

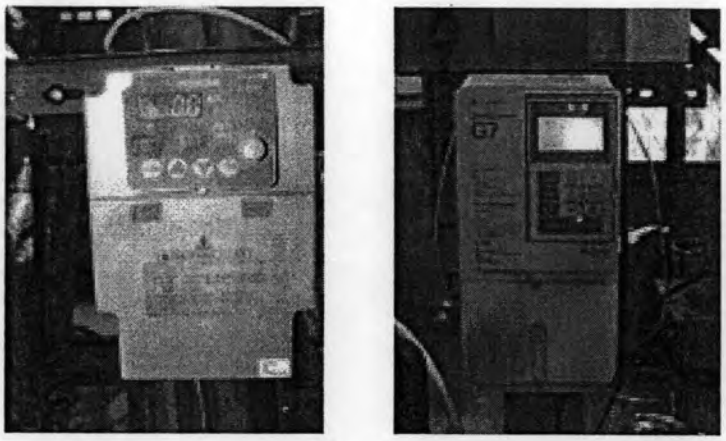
6. หัวเผา (burner) อยู่ที่ตำแหน่ง 0.25 เมตร จากแผ่นกระจายอากาศ ใช้สำหรับอุ่นเตาเผาในช่วงเริ่มต้น โดยใช้แก๊สหุงต้ม (LPG) เป็นเชื้อเพลิง และใช้อากาศจากเครื่องอัดอากาศ ด้านข้างของหัวเผาติดตั้งกระจกสำหรับดูเปลวไฟจากหัวเผาเพื่อความปลอดภัย



รูปที่ 3.7 หัวเผาและกระจกมองเปลวไฟ

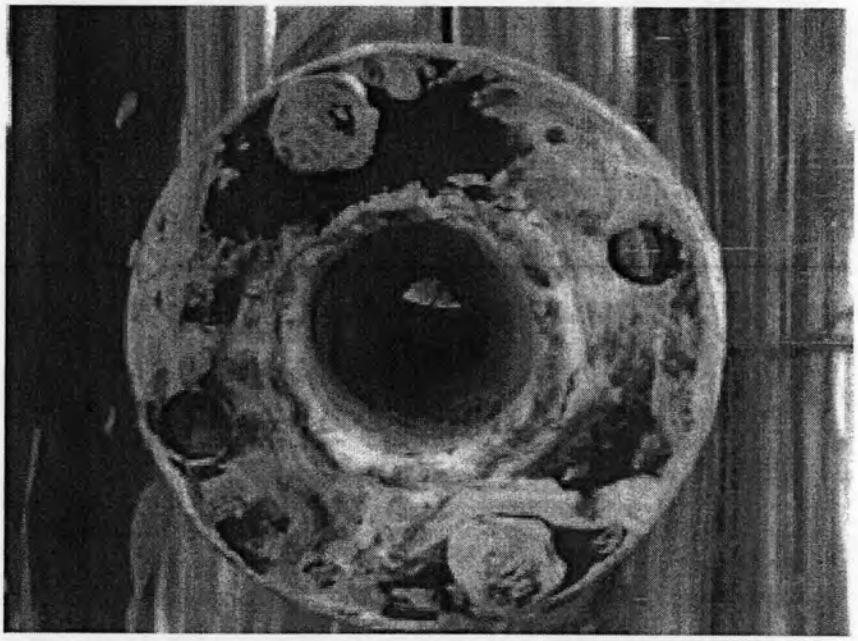
7. อุปกรณ์ป้อนเชื้อเพลิง เป็นเครื่องป้อนเชื้อเพลิงแบบสกรูฟีดเดอร์ทั้งหมด 2 ตัวแต่ละตัวประกอบด้วยถังบรรจุเชื้อเพลิงและระบบลำเลียงเชื้อเพลิงรูปเกลียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวป้อน 4.8 เซนติเมตร ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส อัตราการหมุน 1400 รอบต่อนาที ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ด้วยเครื่องควบคุมความเร็วของมอเตอร์ (inverter) ที่ตำแหน่งปลายของระบบลำเลียงเชื้อเพลิงและตำแหน่งบนของถังบรรจุเชื้อเพลิงตัวหนึ่ง (สำหรับป้อนเชื้อเพลิงประเภทชีวมวล) จะติดตั้งระบบป้อนอากาศเพื่อป้องกันการไหม้ย้อนกลับเข้าสู่ถังเก็บเชื้อเพลิง โดยตำแหน่งที่ป้อนเชื้อเพลิงอยู่ที่ระดับสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 0.35 เมตร





รูปที่ 3.8 ระบบป้อนเชื้อเพลิง (fuel feeder system)

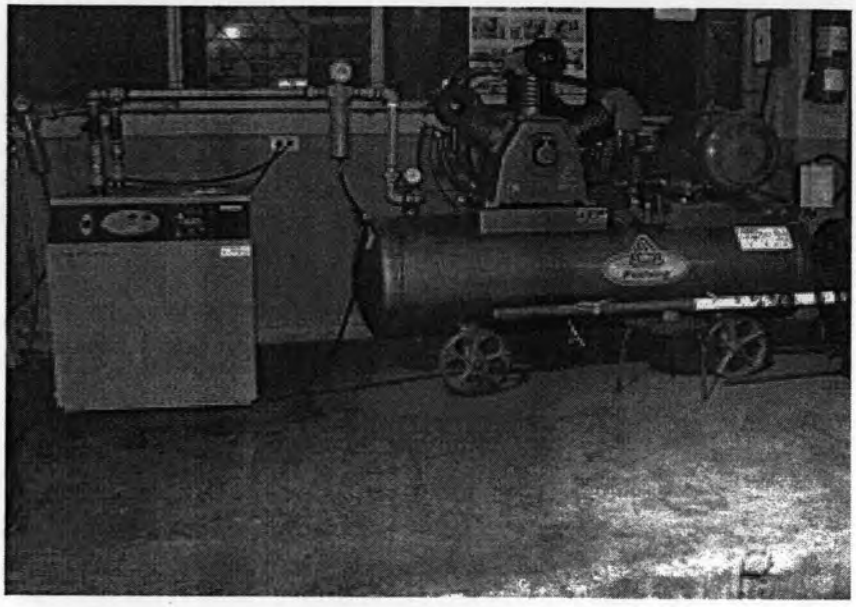
8. กระจกสำหรับดูภายในห้องเผาไหม้อยู่ที่ตำแหน่ง 0.60 เมตร จากแผ่นกระจายอากาศ



รูปที่ 3.9 กระจกสำหรับดูภายในห้องเผาไหม้

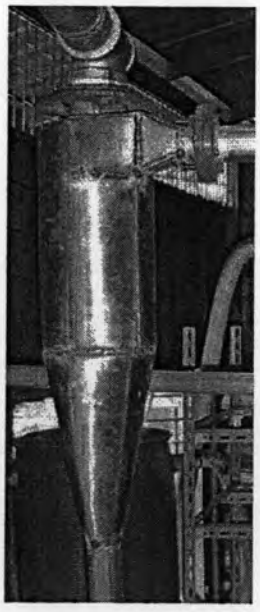
9. เครื่องอัดอากาศ (air compressor) สำหรับป้อนอากาศให้หัวเผา ระบบป้อนเชื้อเพลิงชีวมวล และ ตำแหน่งป้อนอากาศทุติยภูมิ โดยใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาด 15 แรงม้า หรือ 11.2 กิโลวัตต์ ลูกสูบมี bore 120 มิลลิเมตร และ stroke 80 มิลลิเมตร ความเร็วรอบ 860 รอบต่อนาทีที่ความถี่ 50 Hz ขนาดถังเส้นผ่านศูนย์กลางคูณความยาวเป็น 485x1770

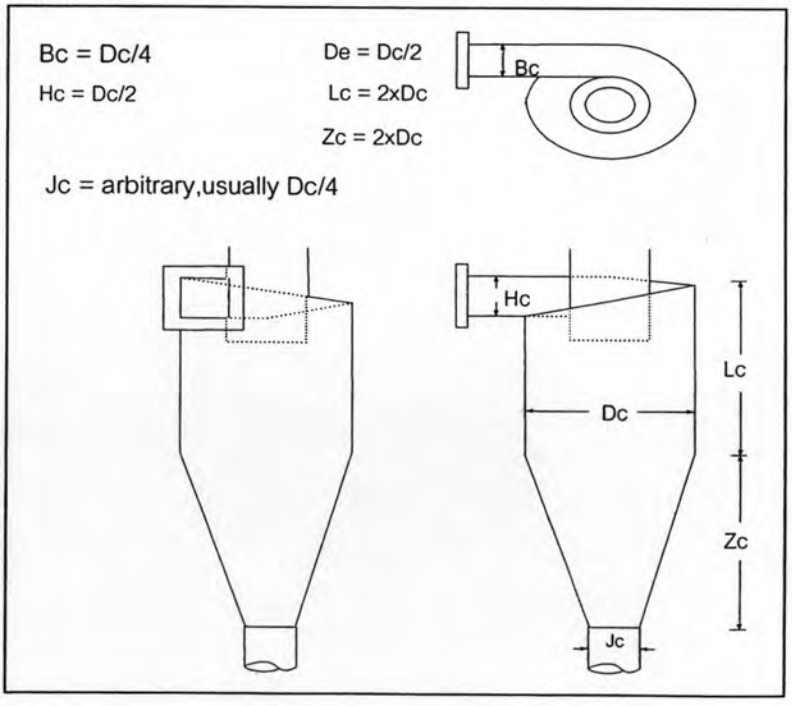
มิลลิเมตร ความจุถัง 304 ลิตร ความดันที่ใช้งาน 12 กก.ต่อ ตร.ซม. และความดันสูงสุด 15 กก.ต่อ ตร.ซม. พร้อมอุปกรณ์ทำความเย็นอากาศและระบบกำจัดน้ำในอากาศ



รูปที่ 3.10 เครื่องอัดอากาศ พร้อมอุปกรณ์ทำความเย็นอากาศและระบบกำจัดน้ำในอากาศ

10. ไซโคลน (cyclone) เพื่อแยกอนุภาคของแข็ง (ทราย เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่หมด และเถ้าบางส่วน) ออกจากแก๊ส





รูปที่ 3.11 ไซโคลน (cyclone) (ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์, 2548)

ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม

เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกไซโคลน (Dc) = 20 เซนติเมตร

ทางเข้าของแก๊สและอนุภาค (Bc x Hc) = 5x10 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของแก๊ส (De) = 10 เซนติเมตร

ความสูงของกระบอกไซโคลน (Lc) = 40 เซนติเมตร

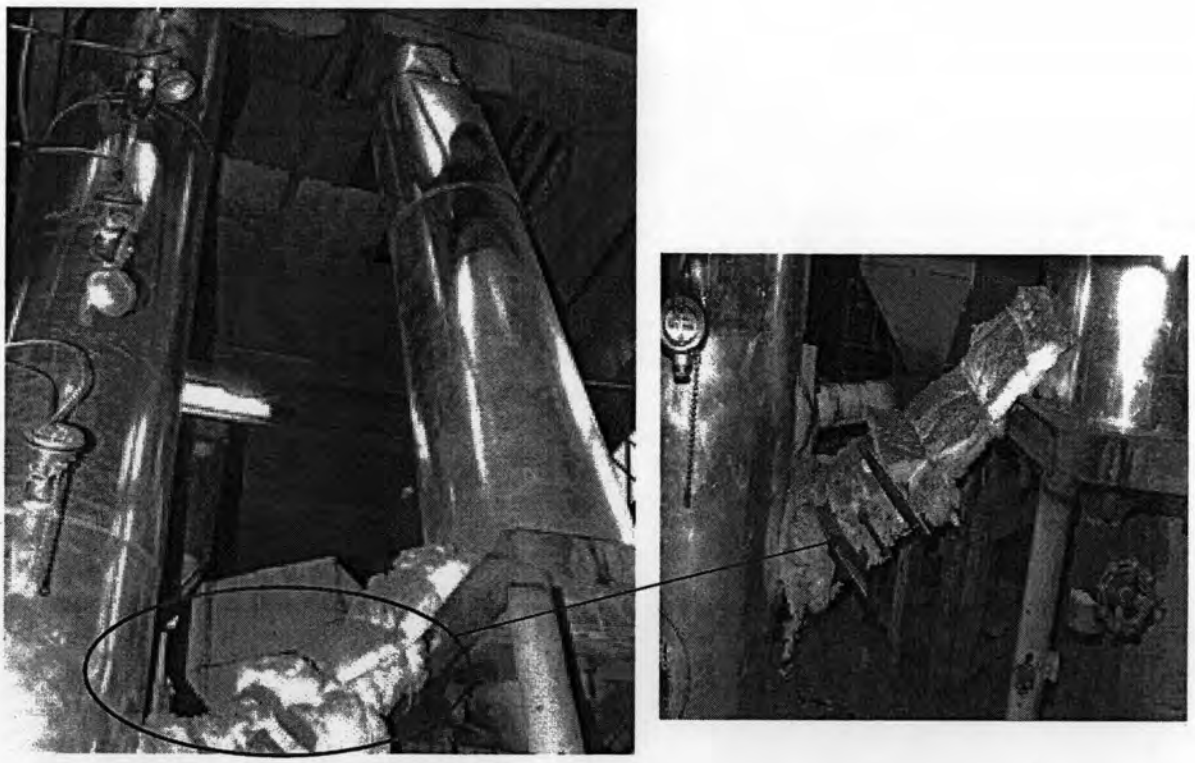
ความสูงของกรวยไซโคลน (Zc) = 40 เซนติเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางทางออกของอนุภาค (Jc) = 5 เซนติเมตร

11. ระบบป้อนกลับของแข็ง

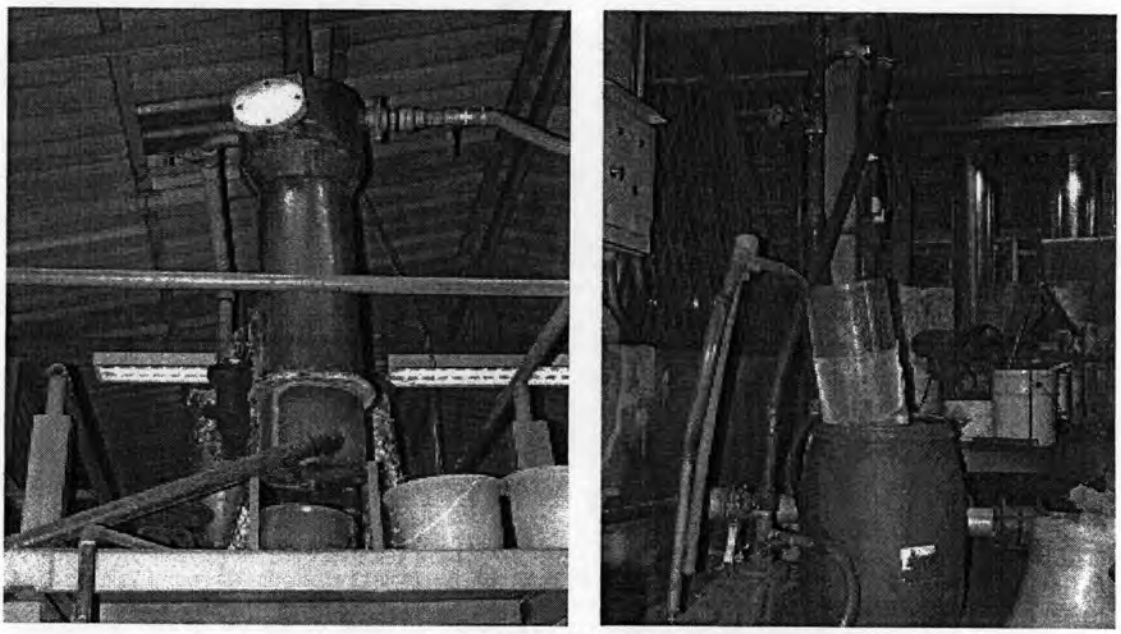
- ท่อ downcomer ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมหนา 2 มิลลิเมตร สูง 1.6 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 เซนติเมตร เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างไซโคลนกับแอลวาล์ว ด้านล่างของ downcomer มีวาล์วสำหรับปล่อยเถ้าออกจากระบบ

- แอลวาล์ว ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม โดยใช้ท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ใช้วาล์วเป็นลักษณะของวาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve)



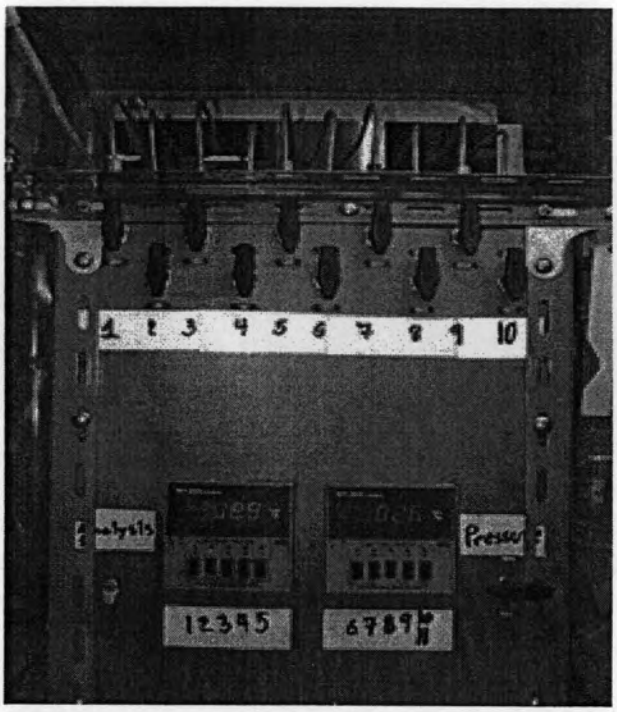
รูปที่ 3.12 downcomer (ท่อทาง ด้านขวา) และ แอลวาล์ว (วาล์วปีกผีเสื้อ)

12. หอดูดซึม (water scrubber) คอลัมน์ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ตัวคอลัมน์สูง 160 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์ภายนอกมี 2 ส่วน ส่วนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ส่วนล่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ภายในบรรจุตะแกรงสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 32 เซนติเมตร ขนาดช่องของตะแกรง 0.3 เซนติเมตร ภายในบรรจุตัวกลางในการดูดซับ ทำจากท่อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.54 เซนติเมตร บรรจุเหนือตะแกรงความสูงเบด 15 เซนติเมตร ส่วนบนของหอมีท่อสำหรับสเปรย์น้ำสวนทางกับทิศทางเดินทางของแก๊สที่ออกจากไซโคลน ด้านล่างมีท่อทางเดินแก๊สจากไซโคลนเข้าสู่คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.62 เซนติเมตรหอดูดซับทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของแก๊สและดูดซับควันและเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ ถังเก็บน้ำจะมีตะแกรงกรองอนุภาคของแข็งออกจากน้ำก่อนที่จะนำน้ำไปฉีดสเปรย์ในหอดูดซึมเพื่อป้องกันอุปกรณ์ฉีดสเปรย์อุดตัน



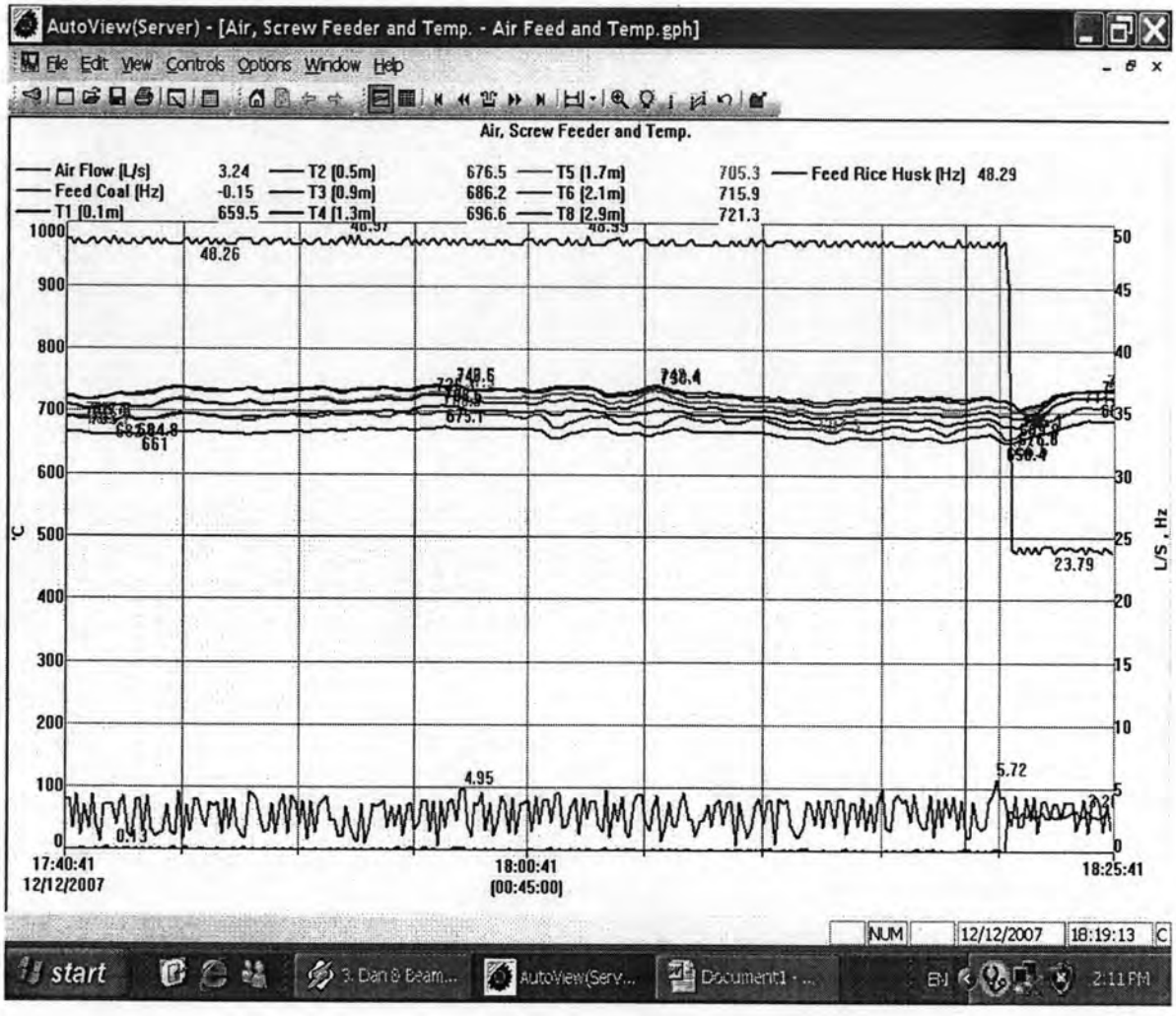
รูปที่ 3.13 หอดูดซึมและอุปกรณ์อัดฉีดน้ำ

13. หน้าจอแสดงอุณหภูมิและวาล์วสำหรับดึงแก๊สออกจากระบบเพื่อนำไปวัดความดันภายในระบบและนำไปวัดองค์ประกอบของแก๊ส



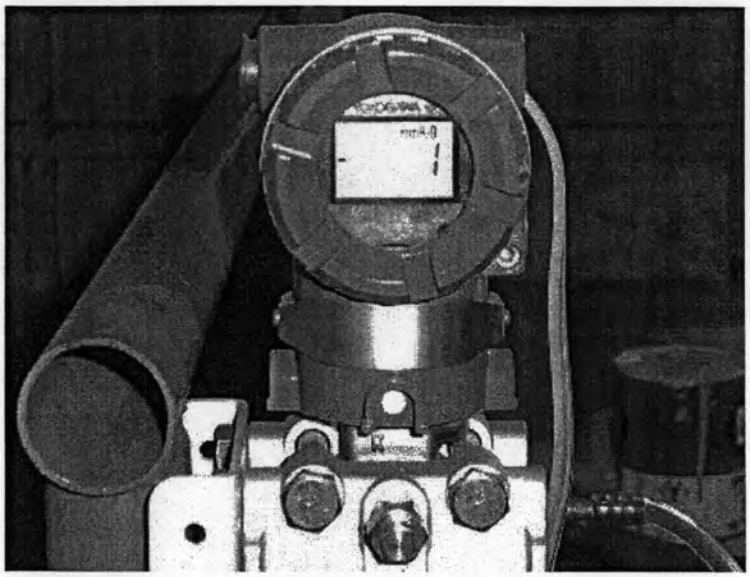
รูปที่ 3.14 หน้าจอแสดงอุณหภูมิและวาล์วสำหรับดึงแก๊สออกจากระบบ

รูปที่ 3.15 อุปกรณ์ (module) สำหรับแปลงสัญญาณอุณหภูมิจากเทอร์โมคับเปิล ความเร็วอากาศ ปฐมภูมิจากเครื่องเป่าอากาศ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงจาก inverter แล้วส่งสัญญาณไปแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.16 หน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงอุณหภูมิ ความเร็วอากาศปฐมภูมิ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงของถ่านหินและแกลบ โดยหน้าจอนี้เป็นตัวอย่างของการทดลองเผาไหม้แกลบ 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศป้อนที่สกรูฟีดเดอร์ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ แล้วในช่วงท้ายเป็นการเริ่มทดลองเผาไหม้ถ่านหินผสมแกลบในอัตราส่วน 50:50 อากาศปฐมภูมิ 200 ลิตรต่อนาที อากาศป้อนที่สกรูฟีดเดอร์ 200 ลิตรต่อนาที ไม่มีการป้อนอากาศทุติยภูมิ

14. อุปกรณ์วัดความดันอากาศแบบดิจิตอล ยี่ห้อ Yokogawa โดยมีค่าการวัดอยู่ในช่วง 0 ถึง 1,100 มิลลิเมตรน้ำ

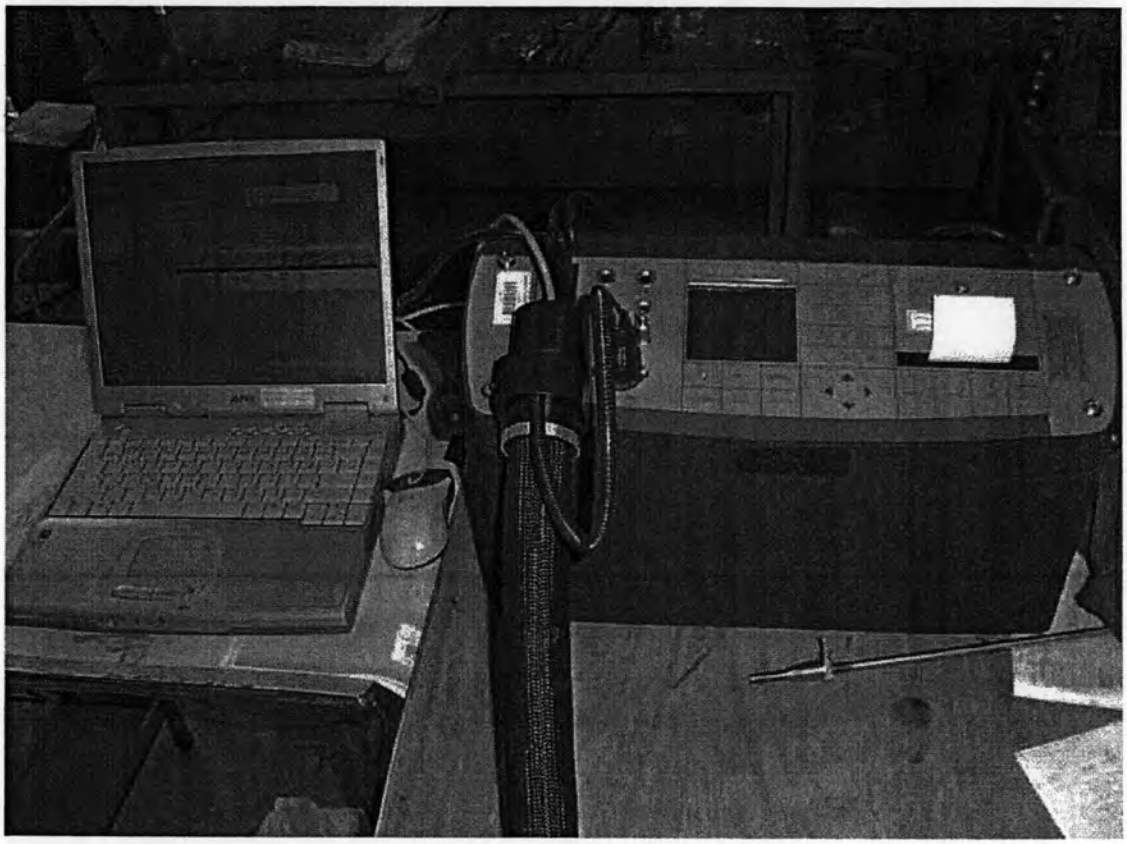


รูปที่ 3.17 อุปกรณ์วัดความดันอากาศแบบดิจิตอล

15. ปั้มดูดจ่ายของไหล (peristaltic pump) ใช้ดึงแก๊สออกจากระบบเพื่อทำการวัดองค์ประกอบของแก๊ส

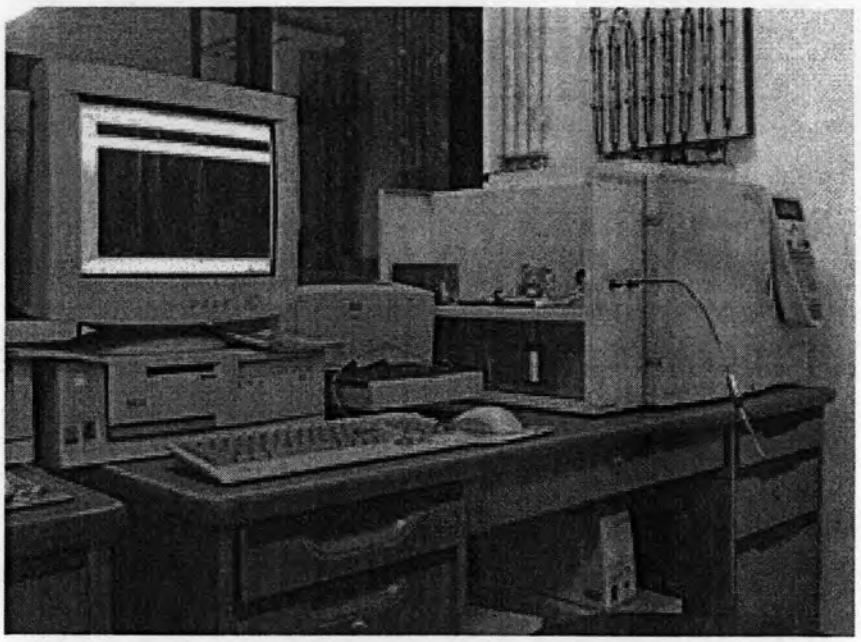
รูปที่ 3.18 ปั้มดูดจ่ายของไหล (peristaltic pump)

16. เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของฟลูแก๊ส (flue gas analyzer) ยี่ห้อ Madur รุ่น GA-40T plus สามารถวัดฟลูแก๊สได้ 5 ชนิดคือ แก๊สออกซิเจน (O_2) , แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) , แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) , แก๊สไนตริกออกไซด์ (NO) และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) , แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เครื่องจะทำการคำนวณและแสดงผลไว้ให้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.19



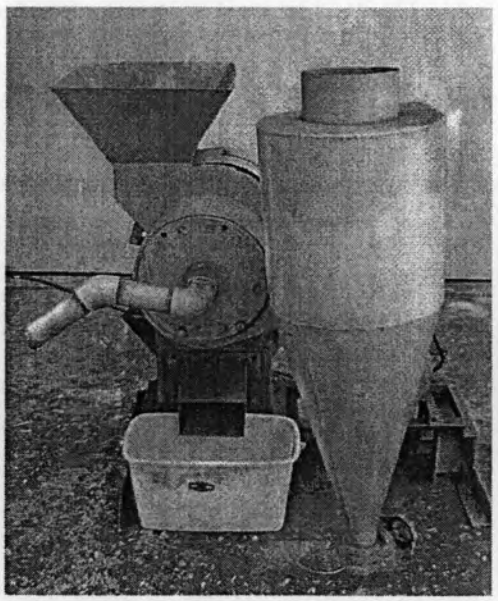
รูปที่ 3.19 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของฟลูแก๊ส (flue gas analyzer)

17. Gas Chromatography สำหรับวัดแก๊สไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ยี่ห้อ Thermo Finnigan โดยใช้คอลัมน์ Hayesep Q ดีเทคเตอร์แบบ TCD



รูปที่ 3.20 gas chromatography

18. เครื่องบดถ่านหินอย่างหยาบ ใช้มอเตอร์ขนาด 3.8 กิโลวัตต์ 3 เฟส บดผ่านซ่องตะแกรงแยกขนาด 1.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.21 เครื่องบดถ่านหินอย่างหยาบ

19. เครื่องบดชีวมวลอย่างหยาบ ใช้มอเตอร์ขนาด 3.8 กิโลวัตต์ 3 เฟส บดผ่านช่องตะแกรงแยกขนาด 1.2 มิลลิเมตร

รูปที่ 3.22 เครื่องบดชีวมวลอย่างหยาบ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมเชื้อเพลิงและทราย

3.2.1.1 เตรียมทรายให้ได้ขนาดระหว่าง 200 ไมโครเมตร ถึง 300 ไมโครเมตร

3.2.1.2 บดถ่านหินและคัดขนาดให้ต่ำกว่า 1.2 มิลลิเมตร

3.2.1.3 บดแกลบและคัดขนาดให้ต่ำกว่า 1.2 มิลลิเมตร

3.2.1.4 นำถ่านหินและแกลบไปวิเคราะห์โดยประมาณและวิเคราะห์โดยแยกธาตุ พร้อมทั้งหาค่าปริมาณความร้อน

3.2.2 การจุดเตาและดำเนินการทดลอง

3.2.2.1 ปิดแอลวาล์ว และปิดวาล์วด้านล่างของ downcomer แล้วป้อนทรายเข้า downcomer ปริมาณ 25 กิโลกรัม

3.2.2.2 อุ่นเตาเผา (ไรเซอร์) ด้วยแก๊ส LPG โดยป้อนอากาศที่หัวจุดเตาจากเครื่องอัดอากาศ 200 ลิตรต่อนาที สังเกตกระจกดูเปลวไฟที่หัวจุดเตาว่ายังคงมีเปลวไฟสีฟ้าติดอยู่ หากไฟดับให้หยุดป้อนแก๊ส LPG ทันทีแล้ว

เริ่มจุดเตาใหม่ จนกระทั่งอุณหภูมิตำแหน่งเบอร์ 2 (0.5 เมตร) ได้ 600 องศาเซลเซียส

3.2.2.3 ป้อนถ่านหินที่อัตรา 3.01 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (2.00 Hz) และ ป้อนแกลบที่อัตรา 3.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (12.26 Hz) โดยป้อนอากาศ 100 ลิตรต่อนาทีที่สกรูฟีดเดอร์ของแกลบด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนและเปลวไฟในไรเซอร์ย้อนเข้าสู่ถังเก็บแกลบซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการไหม้ย้อนของไฟเข้าสู่ถังเก็บแกลบได้ จนกระทั่งอุณหภูมิตำแหน่งเบอร์ 2 (0.5เมตร) ได้ 900 องศาเซลเซียส

3.2.2.4 ป้อนอากาศปฐมภูมิจากเครื่องเป่าอากาศ (blower) 200 ลิตรต่อนาที เข้าทางด้านล่างของไรเซอร์ผ่านแผ่นกระจายอากาศ พร้อมทั้งเปิดแอลวาล์วเพื่อให้ทรายใน downcomer ไหลเข้าสู่ส่วนล่างไรเซอร์ด้วยอัตรา 300 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จนกระทั่งอุณหภูมิตลอดไรเซอร์อยู่ที่ประมาณ 800 องศาเซลเซียส

3.2.2.5 หยุดป้อนแก๊ส LPG และอากาศที่หัวจุดเตา

3.2.2.6 ป้อนอากาศทุติยภูมิและเชื้อเพลิงตามสภาวะที่ต้องการ เติมเชื้อเพลิงเข้าถังเก็บอยู่เสมอ จนกระทั่งอุณหภูมิในไรเซอร์คงที่ บันทึกผลการทดลอง (อัตราการป้อนเชื้อเพลิง อัตราการป้อนอากาศ อุณหภูมิ ความดันและองค์ประกอบของแก๊สเผาไหม้)

- อัตราการป้อนเชื้อเพลิง อ่านค่าด้วย อินเวอร์เตอร์ (ตัวปรับความเร็วของสกรูฟีดเดอร์) หน้าจอแสดงค่าแบบดิจิตอล และบันทึกลงคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม autoview
- อัตราการป้อนอากาศปฐมภูมิ อ่านค่าด้วย orifice หน้าจอแสดงค่าแบบดิจิตอล และบันทึกลงคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม autoview
- อัตราการป้อนอากาศทุติยภูมิ อ่านค่าด้วย โรตามิเตอร์
- อุณหภูมิ วัดโดย เทอร์โมคับเปิล หน้าจอแสดงค่าแบบดิจิตอล และบันทึกลงคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม autoview
- ความดัน วัดโดย digital pressure ยี่ห้อ Yokogawa
- องค์ประกอบของแก๊สเผาไหม้

- O_2 , CO , CO_2 , SO_2 , NO , NO_2 , NO_x และ H_2S อ่านค่าด้วย Flue gas Analyzer แบบออนไลน์ ยี่ห้อ Madur รุ่น GA-40T plus
- N_2O อ่านค่าด้วย gas chromatography ยี่ห้อ Thermo Finnigan โดยใช้คอลัมน์ Hayesep Q ดีเทคเตอร์แบบ TCD อุณหภูมิคอลัมน์ 35 องศาเซลเซียส อุณหภูมิดีเทคเตอร์ 80 องศาเซลเซียส

3.2.2.7 เปลี่ยนสภาวะการทดลองใหม่ จนกระทั่งอุณหภูมิในไรเซอร์คงที่อีกครั้ง บันทึกผลการทดลอง

3.2.2.8 ทำซ้ำข้อที่ 7 จนกระทั่งเสร็จสิ้นการทดลอง

3.2.3 การปิดเตาเผา

3.2.3.1 ปิดแอลวาล์ว หยุดการป้อนเชื้อเพลิงถ่านหิน และลดการป้อนเชื้อเพลิงแกลบลงเหลือ 2.00 กิโลกรัมต่อชั่วโมง (8.17 Hz) เพื่อป้องกันไฟไหม้ย้อนเข้าถังเก็บแกลบ

3.2.3.2 เมื่ออุณหภูมิในไรเซอร์เหลือประมาณ 600 องศาเซลเซียส หยุดการป้อนเชื้อเพลิงแกลบ

3.2.3.3 เมื่ออุณหภูมิในไรเซอร์เหลือประมาณ 400 องศาเซลเซียส ปิดอากาศปฐมภูมิ

3.2.3.4 เมื่ออุณหภูมิในไรเซอร์เหลือประมาณ 200 องศาเซลเซียส หยุดการป้ออากาศทั้งหมด

3.2.3.5 ถ่ายทรายใน downcomer ออกมาทางวาล์วด้านล่างของ downcomer