

อุปกรณ์การทดลองและการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการทดลอง เผาหินน้ำมันแหล่งแม่สอดใน เตาฟลูอิดซ์ เบด เพื่อศึกษาการเผาไหม้ และหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ และเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว จำต้องอาศัย การออกแบบอุปกรณ์ การสร้างอุปกรณ์ เครื่องมือวัด และการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม การออกแบบการทดลองต้องทราบตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเผาไหม้เสียก่อน ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ได้แก่ ขนาดของ เชื้อเพลิง ความเร็วของอากาศที่ทำให้เกิดฟลูอิดซ์  $U_f$  อัตราการป้อน เชื้อเพลิง ความสูงของ เบด เพื่อกำหนดตัวแปรที่ต้องการศึกษา การวิจัยนี้กำหนดตัวแปรที่ต้องการศึกษาสองตัวด้วยกันคือ ขนาดของ เชื้อเพลิง และความเร็วของอากาศ  $U_f$  สำหรับตัวแปรที่เหลือกำหนดให้คงที่ตลอดการทดลอง การกำหนดตัวแปรนี้แตกต่างจากหัวข้อ 1.3.2 กล่าวคือ ได้ เปลี่ยนตัวแปรจากอัตราการป้อนหินน้ำมัน เป็นความเร็วของอากาศ  $U_f$  เหตุผลในการ เปลี่ยนตัวแปรดังกล่าวคือ จากการทดลอง เผาหินน้ำมันใน เตาฟลูอิดซ์ เบดโดยปรับอัตราการไหลของอากาศให้คงที่และ เปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนหินน้ำมัน พบว่า เมื่อปรับอัตราการป้อนหินน้ำมัน เพิ่มขึ้นอุณหภูมิการเผาไหม้ภายใน เบดจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสาเหตุสำคัญสองประการคือ ประการแรก เมื่อป้อนหินน้ำมัน เข้า เตาเผา เพิ่มขึ้น ปริมาณความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงก็เพิ่มขึ้น ประการที่สองการถ่าย เทความร้อนจากเบดสู่อากาศขึ้นกับอัตราการไหลของอากาศ จากเหตุผลสองประการนี้ทำให้อุณหภูมิภายใน เบดสูงขึ้นอยู่ในระดับที่ทำให้เกิดการหลอมรวมตัวของ เถ้า และในที่สุดจะทำให้ เบดสูญเสียสภาพฟลูอิดซ์ เบดไป อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงความเร็วของอากาศ  $U_f$  โดยกำหนดอัตราการป้อนหินน้ำมันให้คงที่ทำให้ อัตราส่วน อากาศ/ เชื้อเพลิง เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งให้ผลตามต้องการ เช่นเดียวกับการ เปลี่ยนแปลงอัตราการป้อนหินน้ำมันโดยกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศคงที่

เพื่อให้เกิดความ เข้าใจการเผาไหม้ฟลูอิดซ์ เบดดีขึ้น จึงได้จัดโปรแกรมการทดลองขึ้นดังนี้

1. ทดลองปรากฏการณ์ฟลูอิดซ์เบดของหินน้ำมัน และหาค่าความเร็วต่ำสุดของอากาศที่ทำให้เกิดฟลูอิดซ์ เบด  $U_{mf}$  ที่อุณหภูมิห้อง วัตถุประสงค์การทดลองนี้ก็คือ เพื่อให้

ความเข้าใจและความคุ้นเคยกับปรากฏการณ์ฟลูอิด เซชัน และหาค่า  $U_{mf}$  เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทดลอง เผาหินน้ำมันต่อไป ถึงแม้ว่าการทดลองฟลูอิด เซชันที่อุณหภูมิห้องกับขณะเกิดการเผาไหม้จะแตกต่างกันก็ตาม

2. ทดลอง เผาหินน้ำมันใน เตาฟลูอิดซ์ เบด เพื่อศึกษาการเผาไหม้และประสิทธิภาพการเผาไหม้หินน้ำมัน

อุปกรณ์การทดลอง เครื่องมือวัด และวิธีการทดลองดังกล่าวมีรายละเอียดดังจะได้อีกต่อไป

### 5.1 อุปกรณ์การทดลองที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์ฟลูอิด เซชัน

อุปกรณ์ที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์ฟลูอิด เซชันของหินน้ำมัน และหาค่าความเร็วของอากาศ  $U_{mf}$  แสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ท่อทดลองหรือคอลัมน์ ทำจากพลาสติกใสมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10.7 ซม. สูง 100 ซม. ที่ปลายทั้งสองข้างมีหน้าแปลนเพื่อเชื่อมต่อกับส่วนอื่น

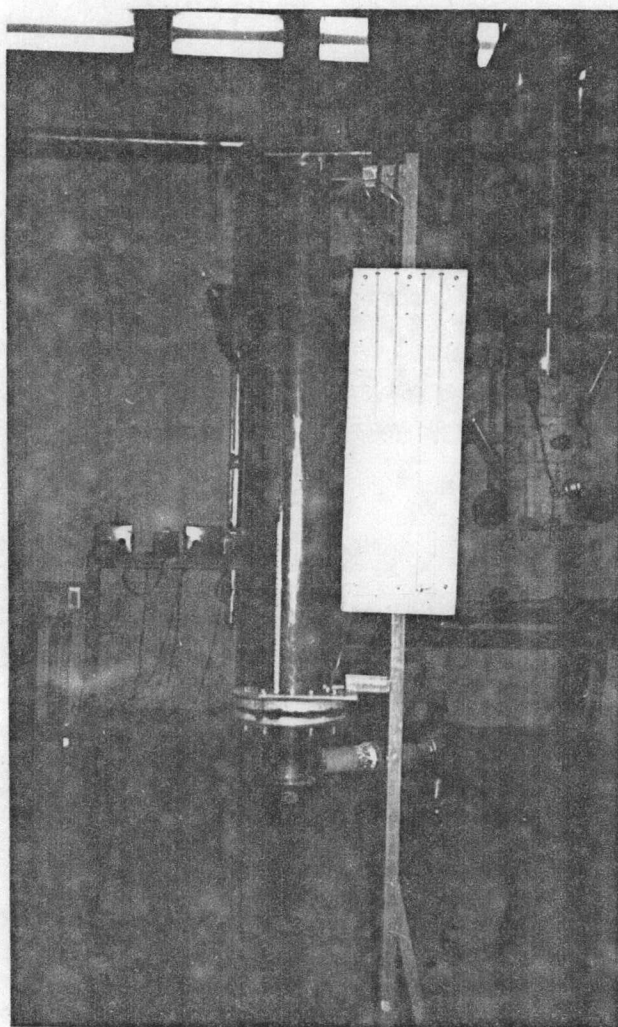
5.1.2 กล่องอากาศ (Air Box) ทำจากพลาสติกใสเช่นกัน ส่วนนี้เป็นส่วนแรกที่อากาศไหลผ่าน ก่อนที่จะไหลผ่านแผ่นกระจายอากาศ (Distributor) และท่อทดลอง รายละเอียดของท่อทดลองและกล่องอากาศ แสดงในรูปที่ 5.3

5.1.3 แผ่นกระจายอากาศ เป็นแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิม เจาะรูขนาด 0.5 มม. ซึ่งมีความหนาแน่น 38 รู/ซม.<sup>2</sup> แผ่นกระจายอากาศติดตั้งอยู่ระหว่างท่อทดลองและกล่องอากาศ

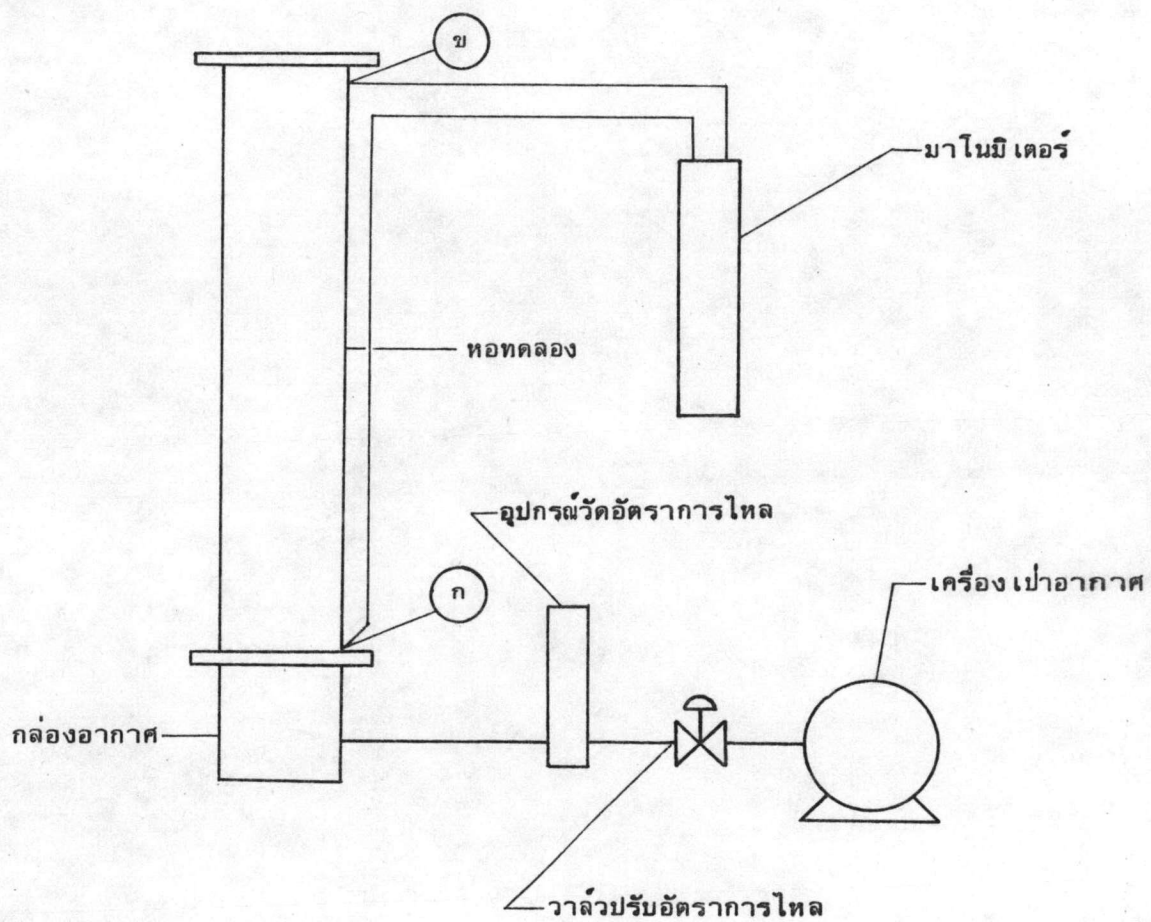
5.1.4 อุปกรณ์วัดความแตกต่างของความดันภายในท่อทดลอง ใช้การวัดความแตกต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์ (U-Tube Manometer)

5.1.5 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ ใช้โรตاميเตอร์ (Rotameter) ซึ่งสามารถวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (Volumetric Air Flow Rate) ได้ตั้งแต่ 18-90 Nm<sup>3</sup>/hr โดยมีความละเอียด 2 Nm<sup>3</sup>/hr ต่อ 1 ช่อง

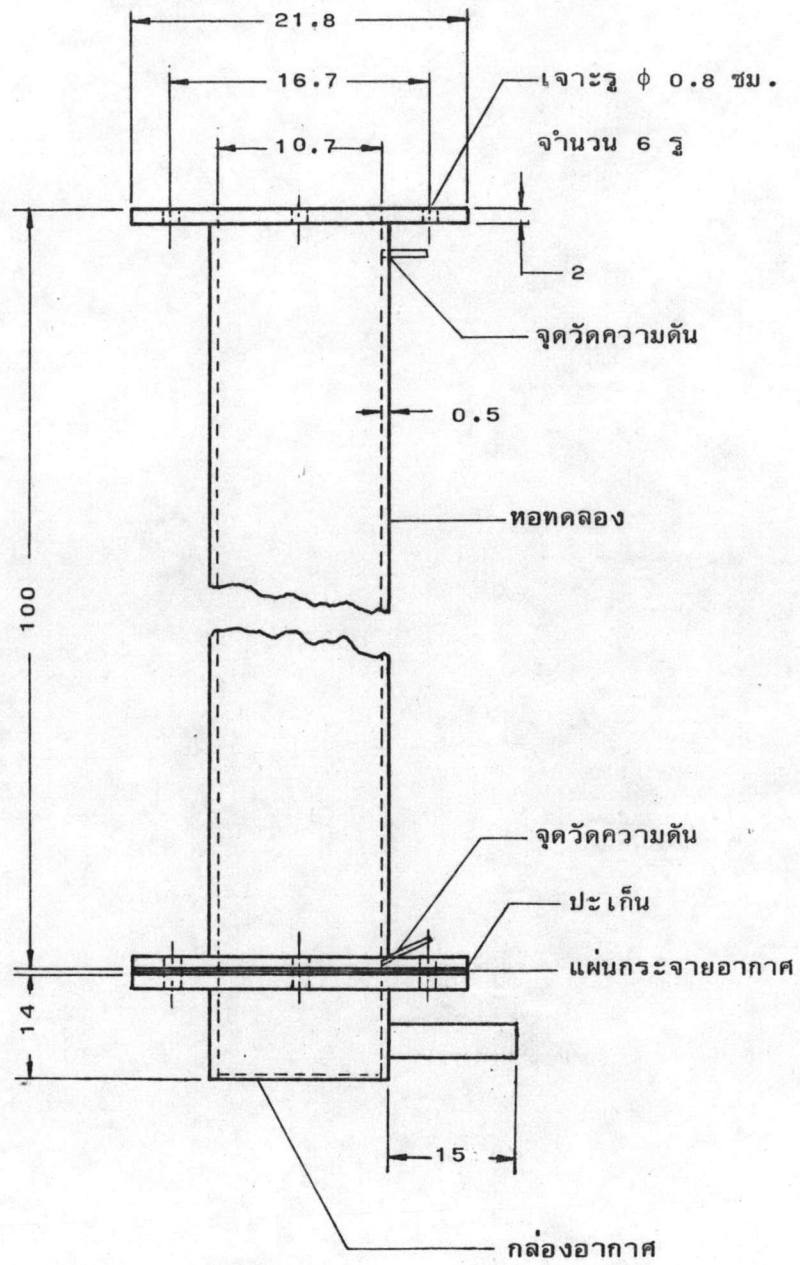
5.1.6 อุปกรณ์เครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดอากาศที่ใช้เป็นแบบโรตารีโลบ (Rotary Lobe) มีความสามารถในการอัดอากาศ 500 m<sup>3</sup>/hr ที่ความดัน 7 ปอนด์/ตารางนิ้วเหนือบรรยากาศ



รูปที่ 5.1 รูปถ่ายหอดทดลองพลาสติกใสพร้อมมาโนมิเตอร์



รูปที่ 5.2 แสดงชุดอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับทดลองปรากฏการณ์ฟลูอิดิเคชัน



ขนาดที่ระบุมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

รูปที่ 5.3 แสดงรายละเอียดของท่อทดลองพลาสติกใส

### 5.1.7 อุปกรณ์ปรับอัตราการไหลของอากาศ ใช้ เกทวาล์วและการบายพาส

(By Pass)

## 5.2 การทดลองหาค่าความเร็วของอากาศ $U_{mf}$

5.2.1 เตรียมหินน้ำมันสำหรับใช้ในการทดลอง โดยทำการบดและร่อนคัดขนาด หินน้ำมันที่ใช้มีสามขนาด คือ 3.94 มม. , 2.29 มม. และ 1.15 มม. รายละเอียดการเตรียม กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.5

5.2.2 บรรจุหินน้ำมันขนาด 3.94 มม. ปริมาณ 500 กรัม ลงในหอทดลอง

5.2.3 ปรับความเร็วเริ่มต้นของอากาศที่ไหลผ่านหอทดลองให้ เท่ากับ 55.6 ซม./วินาที (คิดจากอัตราการไหลหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของหอทดลอง)

5.2.4 บันทึกค่าความเร็วของอากาศ ( $U_0$ ) ความแตกต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์ ( $\Delta P$ ) และความสูงของ เบนด (L)

5.2.5 ปรับความเร็วของอากาศ เพิ่มขึ้นทีละ 15.4 ซม./วินาที (คิดจากอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของหอทดลอง) แล้วบันทึกข้อมูลตามข้อ 5.2.4 จนกระทั่งความแตกต่างของระดับน้ำในมาโนมิเตอร์มีแนวโน้มคงที่ตลอดช่วงความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้น เป็นอันสิ้นสุดการทดลองชุดหนึ่ง

5.2.6 นำหินน้ำมันที่บรรจุในหอทดลองออก แล้วทำการทดลองตามข้อ 5.2.2 ถึง 5.2.5 ใหม่ โดยเพิ่มน้ำหนักของหินน้ำมัน เป็น 1,000 และ 1,500 กรัม ตามลำดับ

5.2.7 ทำการทดลองตามข้อ 5.2.2 ถึง 5.2.6 ใหม่ โดยเปลี่ยนขนาดของหินน้ำมัน เป็น 2.29 มม. และ 1.15 มม. ตามลำดับ

## 5.3 อุปกรณ์การทดลอง เหาหินน้ำมัน

เพื่อศึกษาการ เหาใหม่หินน้ำมันและหาประสิทธิภาพการ เหาใหม่จึงได้ทำการออกแบบ ตระเตรียม และจัดหา เคาเหาฟลูอิดซ์ เบนดพร้อมอุปกรณ์ต่าง ๆ ขึ้น ซึ่งประกอบด้วย

5.3.1 เคาฟลูอิดซ์ เบนด และอุปกรณ์สนับสนุนอื่น ๆ รายละเอียดต่าง ๆ กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.4

5.3.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ อุปกรณ์เครื่องอัดอากาศและอุปกรณ์

ปรับอัตราการไหลของอากาศ รายละเอียดต่าง ๆ ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 5.1.5, 5.1.6 และ 5.1.7 ตามลำดับ

5.3.3 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาและผนังเตา

5.3.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ก๊าซโอเลียม (Orsat Apparatus) ซึ่งใช้หาปริมาณของ  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  และ  $\text{CO}$

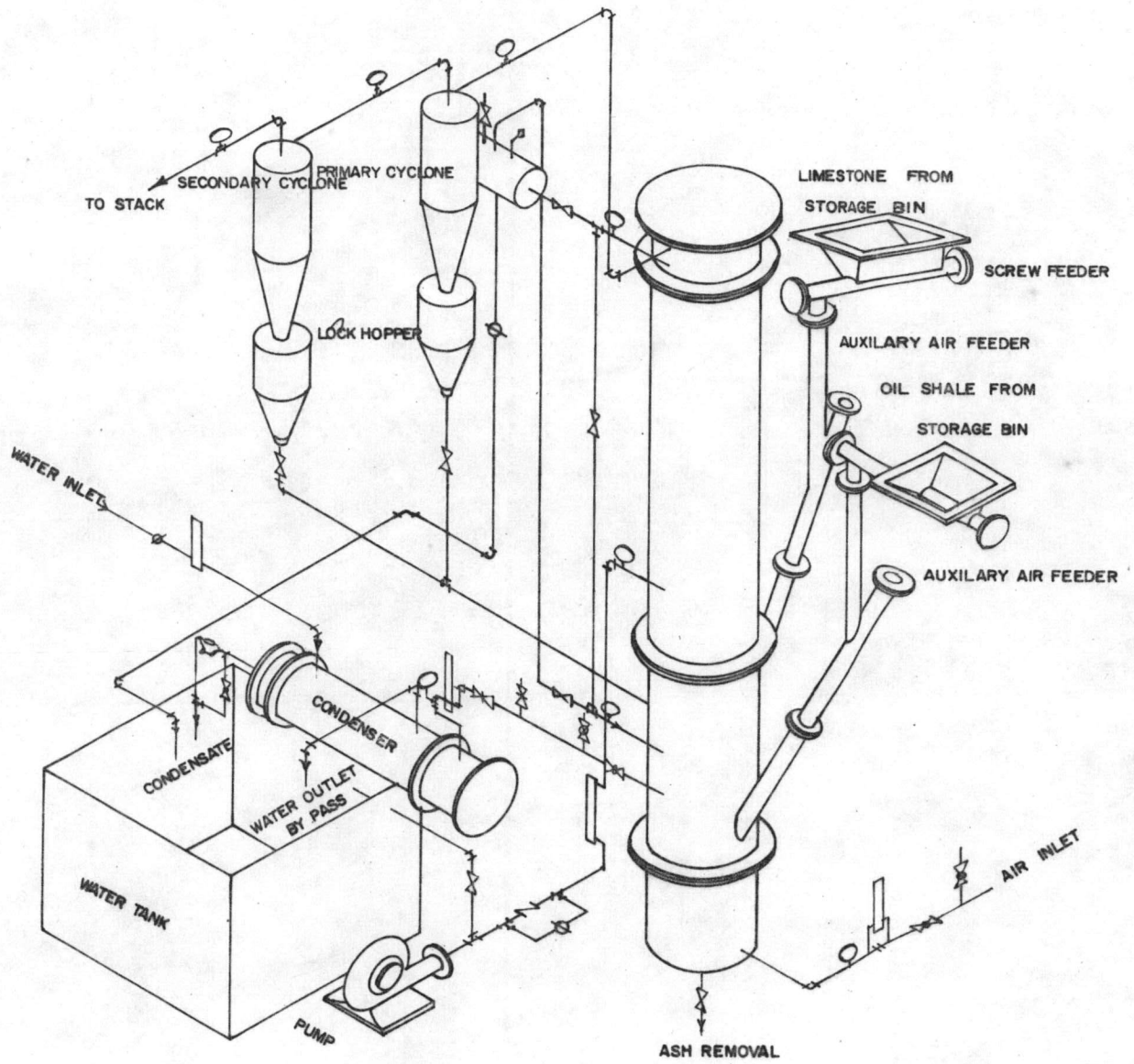
#### 5.4 รายละเอียดอุปกรณ์การทดลอง

เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบด ที่ใช้ประกอบการทดลองมี 2 เตา ด้วยกัน เตาตัวแรกได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย วัตถุประสงค์ในการสร้างเตาตัวนี้คือนำไปใช้เผาหินน้ำมัน เพื่อการผลิตไอน้ำ ดังนั้นภายในเตาจึงมีอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนทั้งในเบดและเหนือเบด ระบบการทำงานจึงค่อนข้างซับซ้อน การวิจัยนี้ได้ใช้เตาเผาตัวแรกประกอบการทดลองขั้นต้น เพื่อศึกษาการทำงานบางอย่าง เช่น การทำงานของระบบบ้อน เชื้อเพลิงและระบบระบายแก๊สออกจากเตาเผา และศึกษาวิธีการจุดเตาเผา เพื่อให้หินน้ำมันลุกไหม้ได้ด้วยตนเอง สำหรับเตาตัวที่สองได้สร้างขึ้นเองเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาการเผาไหม้และการหาประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยเฉพาะ โดยเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานบางอย่าง เช่น ลักษณะการให้ความร้อนแก่เตาเผา และลักษณะการบ้อนหินน้ำมัน เข้าสู่เตาเผา ต่อไปจะได้อธิบายถึงรายละเอียดของเตาเผาและระบบต่าง ๆ รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน

แนวการออกแบบเตาเผาตัวแรกอาศัยข้อมูลจากเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดขนาด 15 ซม. ของ METC (Morgantown Energy Technology Center) <sup>(14)</sup> และเตาเผาขนาด 20 ซม. ของ C.E.G.B (Central Electricity Generating Board) <sup>(18)</sup> เป็นบรรทัดฐาน เตาเผาตัวนี้ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 23 ซม. ความสูงรวม 219 ซม. ลักษณะของเตาเผาแสดงในรูป 5.4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. กล่องอากาศ (Air Box หรือ Plenum)

2. เบด (Bed) สูง 60 ซม. ภายในหล่อด้วยซีเมนต์ทนไฟหนั เบด 16 ทน 4 ซม. ซึ่งสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 1,600 °ซ. ภายในเบดมีท่อทองแดงขนาด  $\phi$  3/8" ยาว 200 ซม. บรรจุอยู่ เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในเบด ภายนอกของผนังเตาหล่อด้วยซีเมนต์ทนไฟหนา 2.5 ซม. อีกชั้นหนึ่ง



รูปที่ 5.4 เตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดตัวที่หนึ่ง



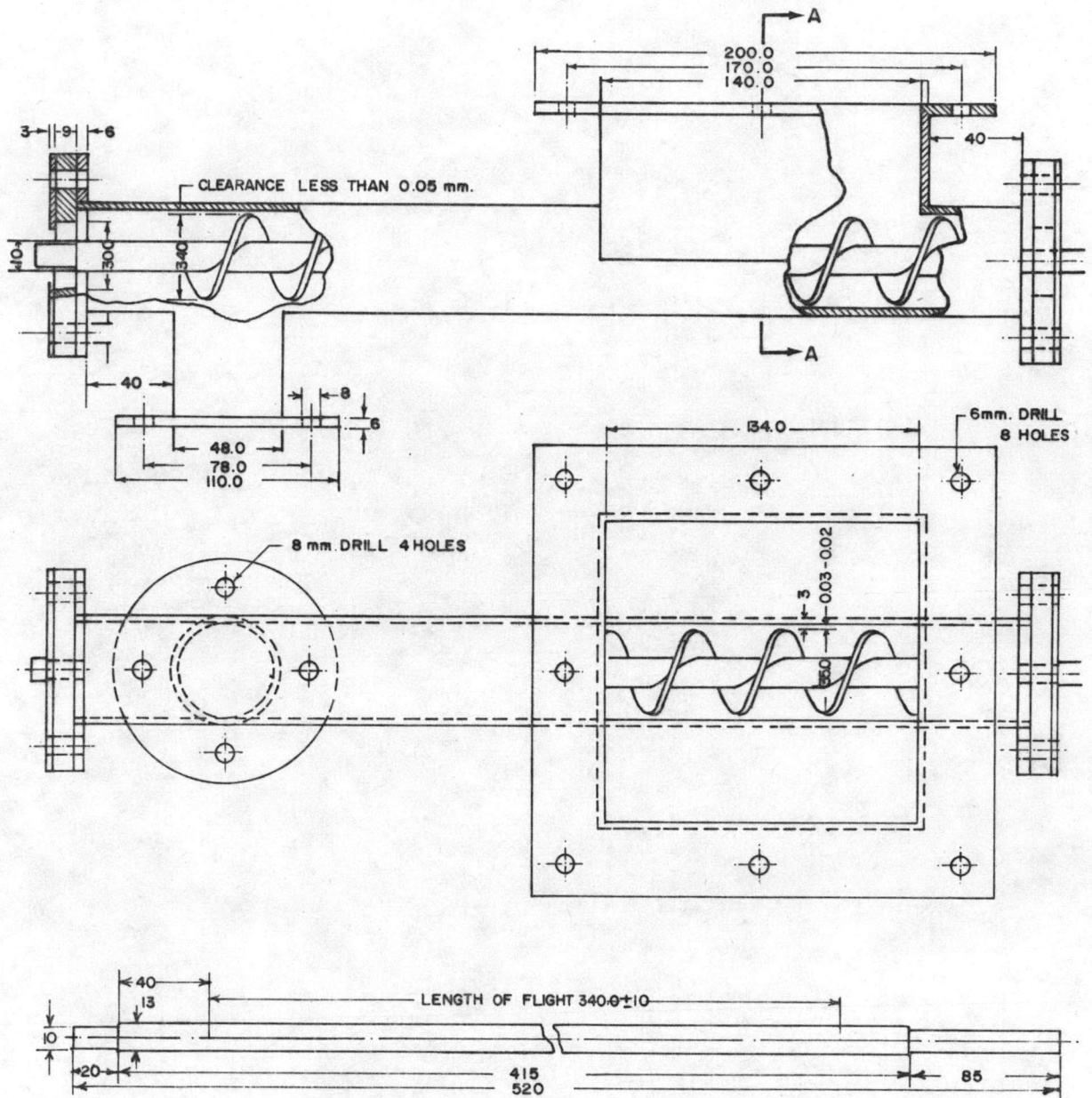
3. ฟรีบอร์ด (Freeboard) สูง 114 ซม. ส่วนนี้มีฉนวนความร้อนแบบ Rock-wool หนา 2.5 ซม. หุ้มอยู่ภายนอก ภายในมีท่อทองแดงขนาด  $\phi$  3/8" ยาว 4,600 ซม. บรรจุอยู่ เพื่อรับความร้อนจากก๊าซร้อน

4. ส่วนที่ต่อกับไซโคลน สูง 15 ซม.

ระบบต่าง ๆ ที่สำคัญของเตาเผานี้ได้แก่ ระบบป้อน เชื้อเพลิง ระบบจุดเตา ระบบถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ระบบป้อน เชื้อเพลิงใช้ เครื่องป้อนแบบสกรู และส่ง เชื้อเพลิง เข้าสู่เตา ผ่านท่อทิ้ง เชื้อเพลิง (Gravity Drop Pipe) รูปร่างลักษณะของ เครื่องป้อนแบบสกรูที่สร้างขึ้นแสดงในรูปที่ 5.5 สำหรับขั้นตอนการออกแบบแสดงอยู่ในภาคผนวก ก. เมื่อทดสอบการทำงานของสกรูโดยใช้ป้อนหินน้ำมัน ปรากฏว่าสกรูไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากสกรูหยุดหมุนโดยเกิดการลื่นไถล (Slip) ระหว่างสายพานและมู เล่ ซึ่งเกิดจากการขัดตัวระหว่างหินน้ำมันกับใบเกลียวของสกรู การแก้ไขในขั้นแรกได้เพิ่มระยะห่าง (Clearance) ระหว่างใบเกลียวกับท่อป้อนให้ใกล้เคียงกับขนาดของหินน้ำมันที่จะป้อนผ่านสกรู เมื่อทำการทดลองใหม่ปรากฏว่าสกรูทำงานดีขึ้น แต่สกรูก็ยังหยุดหมุน เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง จึงทำการลดช่องเปิดที่หินน้ำมันสัมผัสกับใบเกลียวของสกรูลง ช่องเปิดใหม่มีความยาวประมาณ 1-1.5 เท่าของความยาวหนึ่งพิทช์ (Pitch) ผลการทดสอบเมื่อแก้ไขช่องเปิดดังกล่าว ปรากฏว่าสกรูทำงานได้ดี ชีตจำกัดการทำงานของสกรูขึ้นกับขนาดของหินน้ำมัน เพราะว่าถ้า เม็ดหินน้ำมันมีขนาดใหญ่กว่าค่าระยะห่างดังกล่าว โอกาสการติดขัดระหว่างใบ เกลียวกับท่อป้อน โดยมี เม็ดหินน้ำมัน เป็นลิ่มขัดอยู่มีมากขึ้น

ผลการทดสอบระบบป้อน เชื้อเพลิงขณะป้อนหินน้ำมัน เข้า เตา เผาที่กำลังเผาหินน้ำมัน ปรากฏว่าระบบป้อน เชื้อเพลิงทำงานได้แต่ยังไม่สมบูรณ์ เนื่องจากการสูญเสียความดันภายในเตาค่อนข้างสูง ก๊าซร้อนจึงไหลย้อนออกทางท่อทิ้ง เชื้อเพลิง บางครั้งทำให้หินน้ำมันที่เข้าสู่เตา เผาขาดตอน ปัญหานี้มักเกิดขึ้นในระหว่าง เริ่มจุดเตาด้วยก๊าซหุงต้ม เพราะไอน้ำที่เกิดจากการ เผาไหม้จะกลั่นตัวในบริเวณช่องป้อนหินน้ำมันทำให้หินน้ำมันชื้นและจับตัวกันอุดหินน้ำมันส่วนอื่นไม่ให้ไหลผ่าน เข้าไปในสกรู อย่างไรก็ตามขณะเผาไหม้หินน้ำมัน เองก็มีไอน้ำ เกิดขึ้นด้วย ดังนั้นปัญหาการอุดตันของหินน้ำมันที่ชื้นจึงอาจเกิดขึ้นได้เสมอ การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยติดตั้ง วาล์ว (Air Lock Valve) ระหว่าง เครื่องป้อนสกรูกับท่อทิ้ง เชื้อเพลิง ซึ่งวาล์วนี้จะทำหน้าที่ส่งผ่านหินน้ำมันผ่านท่อทิ้ง เชื้อเพลิงขณะเดียวกันจะทำหน้าที่สกัดกั้นความดันจากภายในเตา



ขนาดที่ระบุมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

รูปที่ 5.5 ลักษณะและรายละเอียดของเครื่องป้อนแบบสกรู  
ของเตาเผาฟลูอิดไคซ์เบดตัวที่หนึ่ง

เผาไม่ให้มีผลกระทบต่อการทำงานของ เครื่องบ้อนสกรู

อย่างไรก็ตามระบบการบ้อน เชื้อเพลิงในลักษณะนี้โดยตัวของมันเอง สามารถทำงานได้ดี แต่ข้อบกพร่องหรือปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบบ้อน เชื้อเพลิงของ เตา เผาตัวแรกนี้มีสาเหตุเนื่องจากการสูญเสียความดันภายใน เตา เผาค่อนข้างสูง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากท่อระบายก๊าซร้อนออกจาก เตา เผามีขนาดค่อนข้าง เล็ก ปัญหานี้อาจไม่เกิดขึ้นถ้าการไหลของก๊าซร้อนออกจากเตาสะดวกขึ้น และการสูญเสียความดันภายใน เตา เผาไม่สูงมากนัก สำหรับระบบการบ้อน เชื้อเพลิงในรูปที่ 5.4 จะสังเกตเห็นว่ามี เครื่องบ้อนแบบสกรูสำหรับบ้อนหินปูนอยู่ด้วยอีกชุดหนึ่ง เครื่องบ้อนชุดนี้ใช้ในกรณีที่ทดลอง เผาไหม้ เชื้อเพลิงชนิดอื่นนอกเหนือจากหินน้ำมัน เช่น ถ่านหิน เป็นต้น วัตถุประสงค์ในการบ้อนหินปูนก็เพื่อลดปริมาณซิล เพอร์ไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่าง การ เผาไหม้ เชื้อเพลิงที่มีซิล เพอร์ เป็นองค์ประกอบอยู่สูง

ระบบจุด เตา ใช้หัว เผาซึ่งใช้ก๊าซหุงต้ม เป็น เชื้อเพลิง เป็นอุปกรณ์ให้ความร้อนแก่ เบนด์ แต่เนื่องจากตำแหน่งของหัว เผาที่ออกแบบครั้งแรกไม่เหมาะสม จึงไม่สามารถให้ความร้อนแก่ เบนด์ถึงอุณหภูมิที่ต้องการได้ จึง เปลี่ยนตำแหน่งของหัว เผาใหม่โดยติดตั้งหัว เผาที่ ส่วนล่างของ เบนด์และมีทิศทางสัมผัสกับผนัง เตา

ระบบถ่าย เทความร้อน ใช้น้ำและ/หรือไอน้ำที่ไหลอยู่ในท่อทองแดงขนาด  $\phi 3/8$ " เป็นตัวรับความร้อนทั้งใน เบนด์และเฟรียบอร์ด ปัญหาที่พบก็คือขดท่อทองแดงในเฟรียบอร์ดหนาแน่น ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียความดันมาก การไหลของก๊าซร้อนผ่านช่วงเฟรียบอร์ดจึงไม่สะดวก การแก้ไขอาจทำได้โดยใช้พัดลมดูดช่วย (Induced Draft Fan)

นอกจากระบบที่กล่าวมายังมีระบบระบาย แก้ออกจาก เตา เผา และระบบแยกฝุ่น ละอองจากก๊าซร้อนด้วยไซโคลน สำหรับการบ้อนกลับฝุ่นละอองกลับ เข้าสู่ เตา เผาดังแสดงในรูปที่ 5.4 ซึ่งเป็นรูปแสดงแผนภูมิคร่าว ๆ นั้นในทางปฏิบัติลักษณะดังกล่าวไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากความแตกต่างของความดันระหว่าง เตา เผากับไซโคลน ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องแยกแหล่งความดันทั้งสองให้ เป็นอิสระต่อกันโดยใช้ Air Lock Valve

เตา เผาตัวที่สอง ทำจาก เหล็ก เหนียวมี เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 30 ซม. ความสูงทั้งหมดรวม 150 ซม. แบ่งออกเป็น ส่วนต่าง ๆ ได้คือ

1. กล้องอากาศมีลักษณะ เป็นรูปกรวย สูง 25 ซม.
2. เบด สูง 40 ซม. ภายในหล่อด้วยซีเมนต์ทนไฟเบอร์ 16 ทน 7.5 ซม.
3. ฟรียอร์ด สูง 80 ซม. ภายในหล่อด้วยซีเมนต์ทนไฟเช่นกันหนา 5.0 ซม. ทั้งในเบดและฟรียอร์ดไม่มีท่อน้ำบรรจุอยู่
4. ส่วนผาปิดเตา ซึ่งต่อกับไซโคลนสูง 5 ซม. รายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ที่กล่าวมาแสดงในรูปที่ 5.6

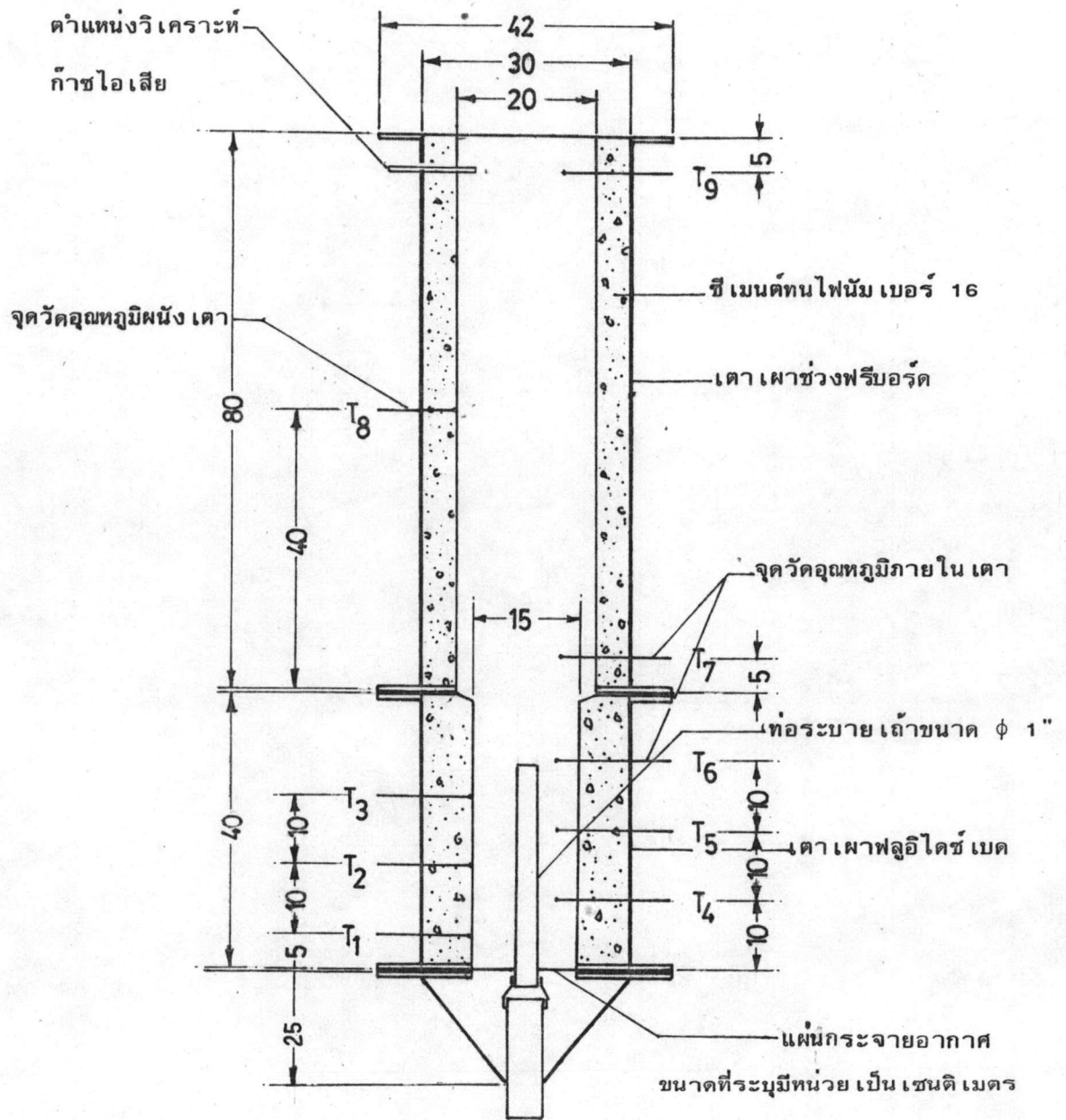
ระบบต่าง ๆ ที่ดัดแปลงแตกต่างจากเตาเผาตัวที่หนึ่งก็คือ ระบบบ้อน เชื้อเพลิง และระบบจุดเตา ลักษณะของ เตาเผาตัวที่สองแสดงในรูปที่ 5.7

ระบบบ้อน เชื้อเพลิงยังคงใช้สกรู แต่ลักษณะของ เชื้อเพลิงที่เข้าสู่ เตาเผาแตกต่างกันเนื่องจากสกรูที่ใช้กับ เตาเผาตัวที่สองบ้อน เชื้อเพลิง เข้าสู่เตาโดยตรงโดยไม่ผ่านท่อทั้ง เชื้อเพลิง ระบบบ้อน เชื้อเพลิงลักษณะนี้ได้แนวความคิดจากเตาเผาฟลูอิดซ์เบดขนาด 15.2 ซม. ของอิสราเอล<sup>(15)</sup> และ เตาขนาด 15 ซม. ของ METC. ซึ่งวิธีการนี้แก้ปัญหาการติดขัดของเชื้อเพลิงที่บ้อน เข้าเตาเผา เนื่องจากก๊าซร้อนไหลออกจากท่อบ้อน เชื้อเพลิงได้ ข้อเสียของการบ้อนในลักษณะนี้ก็คือ การกระจายของ เชื้อเพลิงไม่สม่ำเสมอ ถ้าเบดเพลิง เริ่ม เกิดฟลูอิดซ์ลักษณะของสกรูที่เปลี่ยนแปลงใหม่แสดงในรูปที่ 5.8 และ 5.9

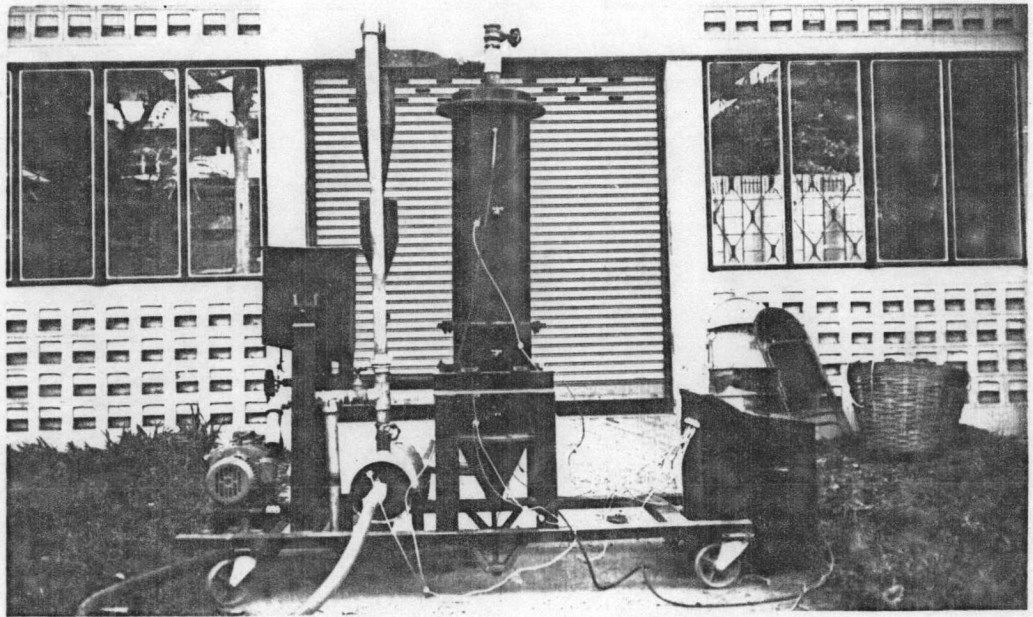
ระบบจุดเตา เพื่อความสะดวกจึง เปลี่ยนการจุดเตาโดยใช้หัวเผาให้ความร้อนเป็นการให้ความร้อนด้วยการเผาไหม้ก๊าซหุงต้มที่บ้อนผ่านแผ่นกระจายอากาศ ซึ่งทำได้โดยบ้อนก๊าซหุงต้มกับอากาศในอัตราส่วนที่เหมาะสมผ่านแผ่นกระจายอากาศ แล้วจุดโดยใช้ประกายไฟจากหัวเทียนซึ่งติดตั้งอยู่ในเบด<sup>(15)</sup>

สำหรับการนำกากหินน้ำมันหรือ ถ้ำออกจากเตาใช้ท่อแอสแตนเลส ขนาด ๘ 1" ติดตั้งไว้ภายในเบดดังแสดงในรูปที่ 5.6

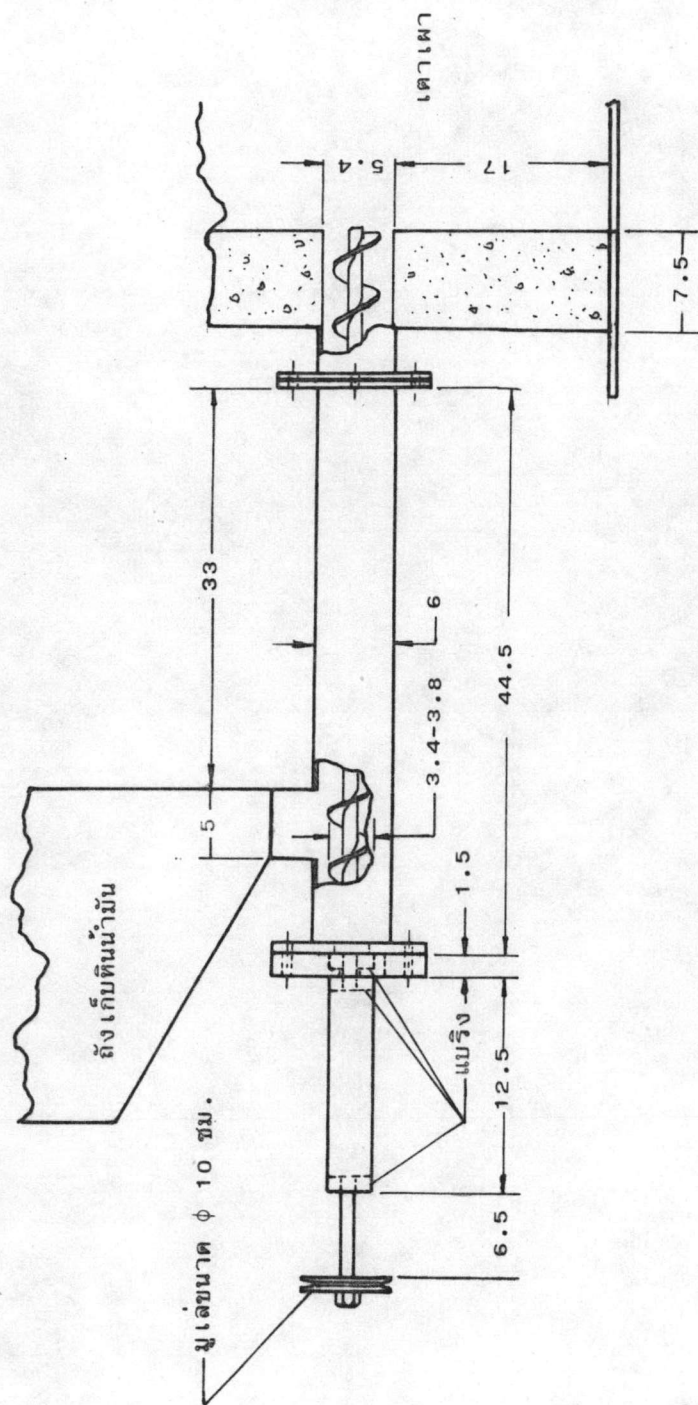
อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิ อุณหภูมิทุกจุดใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด โครเมิล-อลูเมล (Chromel-Alumel) เป็นตัววัด ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิภายในเตาแสดงในรูปที่ 5.6 สำหรับเครื่องแสดงผล เป็นแบบแสดงผลด้วยตัวเลขสามารถอ่านค่าอุณหภูมิได้สูงถึง 1,200 °ซ. โดยมีความละเอียด 1 °ซ.



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะและรายละเอียดของเตาเผาตัวที่สอง

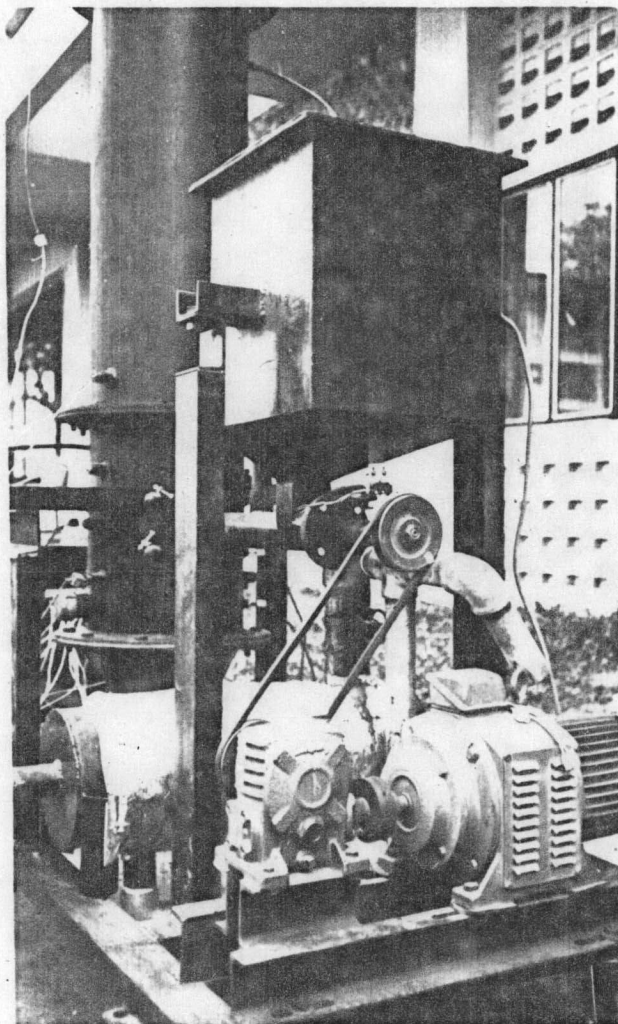


รูปที่ 5.7 แสดงลักษณะของเตาเผาตัวที่สองที่สร้างขึ้น



ขนาดที่ระบุมีหน่วยเป็น เซนติเมตร

รูปที่ 5.8 แสดงรายละเอียดของเครื่องบ่อนแบบสกูว์ของ เตาตัวที่สอง



รูปที่ 5.9 แสดงระบบป้อนเชื้อเพลิงของเตาดั่วที่สอง





## 5.5 การเตรียมหินน้ำมัน เพื่อใช้ทดลอง

5.5.1 นำหินน้ำมันมาบด เพื่อลดขนาดด้วย เครื่อง Jaw Crusher ซึ่งเป็น เครื่องที่ใช้ในห้องปฏิบัติการภาควิชาเหมืองแร่

5.5.2 ร่อนคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน ASTM E-11 70 เบอร์ 4, 6, 10 และ 20 ตามลำดับ ขนาดของหินน้ำมันที่ใช้ในการทดลองคือ ขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และเหลือค้างบนตะแกรงเบอร์ 6 (-4+6) , ขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 6 และเหลือค้างบนตะแกรงเบอร์ 10 (-6+10) , ขนาดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 และเหลือค้างบนตะแกรงเบอร์ 20 (-10+20) หินน้ำมันแต่ละขนาดควรมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 150 กิโลกรัม

5.5.3 ทำการผสมหินน้ำมันแต่ละขนาดให้เข้ากัน เพื่อให้มีการกระจายคุณสมบัติที่ดี และสม่ำเสมอ

5.5.4 ทำการวิเคราะห์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ( $\bar{d}_p$ ) ของหินน้ำมันโดยใช้ตะแกรง (Sieve Analysis) จากการวิเคราะห์ขนาดตามวิธีการในภาคผนวก ค. พบว่า

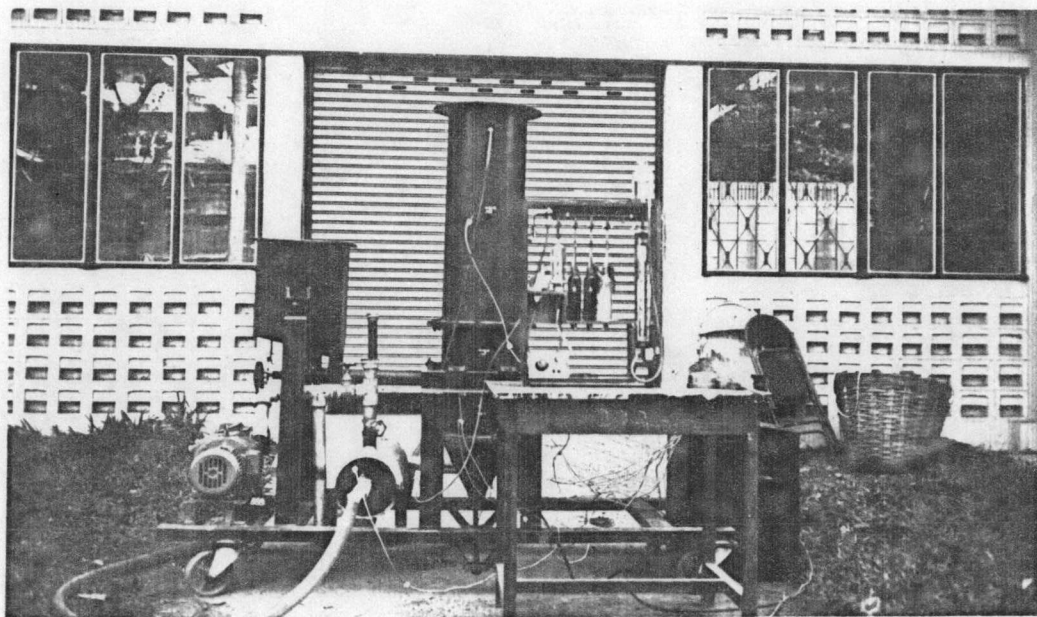
หินน้ำมันขนาด -4+6	มีค่า $\bar{d}_p$	เท่ากับ 3.94 มม.
หินน้ำมันขนาด -6+10	มีค่า $\bar{d}_p$	เท่ากับ 2.29 มม.
หินน้ำมันขนาด -10+20	มีค่า $\bar{d}_p$	เท่ากับ 1.15 มม.

5.5.5 บดหินน้ำมันตัวอย่างแต่ละขนาดให้ละเอียด และร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 60 ส่วนของหินน้ำมันที่ร่อนผ่านตะแกรงนำไปวิเคราะห์ ค่าความถ่วงจำเพาะ พรอกซิเมท (Proximate Analysis) และอันติมะ (Ultimate Analysis)

## 5.6 การดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาการเผาไหม้หินน้ำมัน

เพื่อป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง เนื่องจากหินน้ำมันที่บ้อน เข้าสู่เตาเผา หยุตไหล เป็นบางครั้ง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในระบบบ้อน เชื้อเพลิงของ เตาตัวที่หนึ่งในหัวข้อ 5.4 เพื่อความสะดวกและความคล่องตัวในการวิจัย จึงใช้เตาเผาตัวที่สอง เป็นอุปกรณ์การทดลองการวิจัย เพื่อหาประสิทธิภาพการไหม้ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังนี้

5.6.1 จัดอุปกรณ์ทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.10 โดยกำหนดความสูงของท่อระบาย เถ้าที่ติดตั้งใน เเบด เท่ากับ 30 ซม. เนื่องจากการทดลอง เผาหินน้ำมันใน เตา เเผาตามรูปที่



รูปที่ 5.10 แสดงลักษณะของเตาเผาตัวที่สองขณะดำเนินการทดลอง

5.7 พบว่าเกิดการสูญเสียความดันในเตาเผามาก ก๊าซร้อนส่วนใหญ่จึงหนีออกทางท่อระบาย  
 เถ้า ปัญหานี้แก้ไขได้โดยใช้พัดลมดูดช่วยดูดก๊าซร้อนผ่านไซโคลนออกจากเตา อย่างไรก็ตาม  
 ไม่สามารถหาพัดลมดูดที่เหมาะสมได้ จึงเปิดฝาเตาเพื่อให้การไหลของก๊าซร้อนสะดวกขึ้น และ  
 เพื่อให้ความดันภายในเตาใกล้เคียงกับความดันบรรยากาศ

5.6.2 เตรียมหินน้ำมันที่จะใช้ในการทดลองเผาไหม้ขนาด 2.29 มม. และ 1.15  
 มม. ตามวิธีการในหัวข้อ 5.5

5.6.3 ทำการปรับเทียบ (Calibrate) อัตราการบ่อนหินน้ำมันขนาดต่าง ๆ ที่บ่อน  
 ผ่านสกรู ซึ่งมีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ นำหินน้ำมันขนาดที่ต้องการปรับเทียบอัตราการบ่อน  
 บรรจุในถัง เก็บหินน้ำมันดังแสดงในรูปที่ 5.8 ปรับความเร็วของมอเตอร์โดยหมุนสวิตซ์ที่เครื่อง  
 ควบคุมให้อยู่ตำแหน่งที่ 1 ปลดให้เครื่องบ่อนสกรูบ่อนหินน้ำมันสักพักหนึ่ง เพื่อให้อัตราการบ่อน  
 คงที่ หลังจากนั้นบันทึกค่าความเร็วรอบของเครื่องบ่อนสกรู และน้ำหนักของหินน้ำมันที่บ่อนผ่าน  
 สกรูในเวลา 5 นาที ปรับความเร็วรอบของมอเตอร์โดยปรับสวิตซ์เครื่องควบคุมเพิ่มขึ้นที่ละ  
 ตำแหน่ง แต่ละความเร็วรอบของเครื่องบ่อนสกรูบันทึกข้อมูลดังกล่าว นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณ  
 อัตราการบ่อนหินน้ำมัน (กก./ชม.) ดังแสดงในตารางที่ ข-6 และพลอตเป็นกราฟดังแสดงใน  
 รูปที่ 6.5

5.6.4 จุดเตาเพื่อให้หินน้ำมันขนาดที่ต้องการลุกไหม้ด้วยตนเองซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ  
 ดังนี้ ใส่อิฐทนไฟขนาดก้อนละประมาณ 1.5 ซม. น้ำหนักรวม 1,500 กรัม ลงไปในเตาเผา  
 ให้กระจายอยู่บนแผ่นกระจายอากาศ เพื่อป้องกันมิให้แผ่นกระจายอากาศสัมผัสกับเปลวไฟโดย  
 ตรง บ่อนก๊าซหุงต้มกับอากาศด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมผ่านแผ่นกระจายอากาศและชั้นอิฐทนไฟ  
 แล้วจุดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน และเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของก๊าซหุงต้ม  
 จึงใช้ความดันเป็นบรรทัดฐานแทน จากการทดลองพบว่าที่ความดันก๊าซหุงต้มประมาณ 0.3  
 บรรยากาศ และอัตราการไหลของอากาศประมาณ  $20 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด  
 เนื่องจากจะเกิดปรากฏการณ์ Blow off หรือ Flash Back ขึ้นภายในเตา เมื่อความ  
 เร็วของอัตราส่วนผสมระหว่างอากาศและก๊าซหุงต้มที่ไหลผ่านแผ่นกระจายไม่เหมาะสม

เมื่อจุดเตาด้วยก๊าซหุงต้ม เรียบร้อยแล้วรอจนอุณหภูมิในเตาบริเวณ เบดสูงประมาณ  
 600-700°ซ. โดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 10 - 15 นาที จากนั้นปิดก๊าซหุงต้มแล้ว  
 บ่อน เถ้าผสมหินน้ำมันขนาดที่ต้องการเผาไหม้ในอัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร ปริมาตร-

รวมทั้งหมดประมาณ 1,800 ลบ.ซม. หรือคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 2,000 กรัม เข้าไปในเตา  
 สภา เหตุที่ต้องผสมกากหินน้ำมันและหินน้ำมันในขณะเริ่มจุดเตา มีสามประการด้วยกันคือ ประการแรก  
 ถ้าใส่หินน้ำมันลงไปทั้งหมดในขณะหินน้ำมันเริ่มจะลุกไหม้ด้วยตนเองนั้นจะมีวันที่เกิดจากการเผา  
 ไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในระยะแรกเกิดขึ้นมาก ประการที่สอง ถ้าใส่หินน้ำมันอย่างเดียวยุคหินน้ำมัน  
 เริ่มลุกไหม้อุณหภูมิในเบคจะสูงขึ้นรวดเร็วมากและไม่สามารถควบคุมให้ต่ำกว่าอุณหภูมิการหลอม  
 รวมตัวของเถ้า เมื่อเถ้าหลอมตัวกันฟลูอิดซ์ เบคจะไม่เกิดขึ้น ประการที่สาม กากหินน้ำมันที่  
 ผสมเข้าไปจะทำหน้าที่ดูดซับความร้อนที่เกิดขึ้นขณะหินน้ำมันเริ่มลุกไหม้ เพื่อป้องกันมิให้อุณหภูมิใน  
 เบคสูงเกินอุณหภูมิการหลอมรวมตัวของเถ้า หลังจากป้อนกากหินผสมหินน้ำมันลงไป ในเตาเผาแล้ว  
 ปรับอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น อุณหภูมิภายในเบค  $T_4$  จะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งกลับ  
 เพิ่มขึ้นอีกอย่างรวดเร็ว เริ่มป้อนหินน้ำมันขนาดที่ต้องการ เข้าสู่เตาเผาด้วยอัตราที่สามารถทำให้  
 หินน้ำมันยังลุกไหม้อยู่ได้ เพิ่มอัตราการไหลของอากาศขึ้นอีกจนแน่ใจว่าเพียงพอทำให้เบคเกิด  
 ฟลูอิดซ์ โดยสังเกตจากอุณหภูมิภายในเบค  $T_4$  และ  $T_5$  ถ้าอุณหภูมิทั้งสองตำแหน่งใกล้เคียง  
 กันก็แสดงว่าเบคอยู่ในสภาพฟลูอิดซ์ ทั้งนี้เนื่องจากถ้าเบคอยู่ในสภาพฟลูอิดซ์ เบคแล้ว เชื้อเพลิงจะ  
 เคลื่อนที่หมุนเวียนทำให้อุณหภูมิภายในเบคใกล้เคียงกัน ลองลดอัตราการไหลของอากาศลงเรื่อย ๆ  
 และสังเกตอุณหภูมิภายในเบคถ้ายังสม่ำเสมอ และไม่เกิน  $950^{\circ}\text{C}$ . ก็แสดงว่ายังลดได้ พยายาม  
 ปรับให้หินน้ำมันเผาไหม้ในสภาพฟลูอิดซ์ เบคโดยมีอัตราการไหลของอากาศต่ำสุดเท่าที่จะทำได้  
 การจุดเตาด้วยวิธีนี้แตกต่างจากวิธีการทั่วไปบ้าง<sup>(14)</sup> เนื่องจากปิดก๊าซหุงต้มก่อนป้อนกากหินน้ำ-  
 มันและหินน้ำมัน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการหลอมรวมตัวของกากหินในระหว่างเริ่มจุดเตา จากการ  
 สังเกตพบว่าถ้ากากหินน้ำมันสัมผัสกับ เปลวไฟของการเผาไหม้ก๊าซหุงต้มโดยตรงสแลค (Slag)  
 จะเกิดขึ้นรวดเร็วมาก

อัตราการป้อนหินน้ำมันขนาด 2.29 มม. และ 1.15 มม. ที่สามารถทำให้หินน้ำมัน  
 ลุกไหม้ด้วยตนเองได้คือ 9.49 กิโลกรัม/ชม. และ 7.69 กิโลกรัม/ชม. ตามลำดับ อัตราการ  
 ป้อนหินน้ำมันนี้ความจริงสามารถเปลี่ยนแปลงได้ แต่ทั้งนี้ต้องสัมพันธ์กับอัตราการไหลของอากาศที่  
 พอดีไม่ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้สูงเกินจุดหลอมรวมตัวของเถ้า และ/หรือทำให้อุณหภูมิการเผา-  
 ไหม้ลดต่ำลงจนกระทั่งเชื้อเพลิงไม่สามารถลุกไหม้ได้ด้วยตนเอง จากการทดลองปรากฏว่าค่า  
 อัตราการป้อนดังกล่าวสามารถทำให้หินน้ำมันลุกไหม้ได้ และไม่ทำให้อุณหภูมิการเผาไหม้ลดต่ำลง  
 จนกระทั่งเตาดับในช่วงอัตราการไหลของอากาศที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทดลอง

5.6.5 บันทึกข้อมูลต่าง ๆ แต่ต้องทิ้งช่วงประมาณ 15 นาที หลังจากปรับอัตราการไหลของอากาศแต่ละครั้ง เพื่อให้การเผาไหม้ถึงสภาวะ Steady State ซึ่งพิจารณาได้จาก อุณหภูมิการเผาไหม้ภายใน เบนมีแนวโน้มคงที่ไม่ขึ้นกับเวลา ข้อมูลที่ทำการบันทึกได้แก่ อัตราการป้อนหินน้ำมันซึ่งจะคงที่สำหรับหินแต่ละขนาด อัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ภายในเตา อัตราการระบายกากหินน้ำมัน และปริมาณ  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  และ  $\text{CO}$  ในก๊าซไอเสีย

5.6.6 ปรับอัตราการไหลของอากาศขึ้นทีละ  $5 \text{ Nm}^3/\text{hr}$  และบันทึกผลตามข้อ 5.6.5

5.6.7 ปฏิบัติตามข้อ 5.6.6 จนกระทั่ง เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นอีก จะทำให้อุณหภูมิภายใน เตา เผลอตกลงอย่างรวดเร็ว เป็นอันสิ้นสุดการทดลอง

5.6.8 กากหินน้ำมันที่ระบายออกจากท่อระบาย เถ้าจะถูกผ่านลงไปใต้น้ำ เพื่อมิให้เกิดการสันดาปของคาร์บอนที่เหลืออยู่ในกากหินน้ำมันภายนอกเตาเผา นำกากหินน้ำมันดังกล่าว มาอบให้แห้ง แล้วบดและร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 60 เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนที่เหลืออยู่