

## บทที่ 3

### เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

#### 3.1 ระบบการเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองได้แก่ เม็ดทราย, ตะกอนสลัดจ์ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท บุญรอด บริวเวอรี่ จำกัด และขยะจากบ้านเรือน เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้แบ่งเป็นระบบ ดังนี้

ก เครื่องร่อนแยกขนาด (sieve) ใช้ในการเตรียมเม็ดทราย โดยแยกขนาดของ ทรายให้มีขนาดระหว่าง 1.00 ถึง 1.40 มิลลิเมตร

ข เครื่องตัดย่อยขยะ (cutting) เป็นเครื่องที่ออกแบบเพื่อลดขนาดของขยะก่อน ป้อนเข้าเครื่องบ้อนขยะแบบสกรู ดังรูปที่ 3-15

#### 3.2 ระบบการเผาไหม้

เนื่องจากระบบการเผาไหม้ใช้เทคนิคฟลูอิดไธเซชัน ดังนั้นถ้าที่ เกิดขึ้นหลังการเผาไหม้ ส่วนใหญ่จะถูกพาออกมาพร้อมกับก๊าซร้อน จึงต้องมีระบบการกำจัดอนุภาคเหล่านี้ เพราะฉะนั้นจึง รวมระบบนี้เข้ากับระบบการเผาไหม้ โดยมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบด้วย

ก เตาเผาแบบฟลูอิดไธเซต (Fluidized bed combustor) จากการทดลองได้ แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน การทดลองตอนที่ 1 และ 2 ใช้เตาเผาที่ออกแบบและสร้างขึ้น ทำด้วยเหล็กเหนียว ลักษณะรูปร่างเป็นทรงกระบอก ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนแรก ซึ่งเป็น ส่วนล่างสุด จะเป็นส่วนนำอากาศจากเครื่องบ้อนอากาศแบบพัดลม (blower) ก่อนเข้าเตาเผา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ด้านบนมีแผ่นกระจายอากาศ (air distributor) ซึ่ง

เป็นแผ่นสแตนเลสเจาะรู ทำหน้าที่กระจายอากาศให้สม่ำเสมอเข้าสู่ส่วนที่สอง ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร มีความสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 65 เซนติเมตร บุด้วยซีเมนต์ทนไฟ ตรงส่วนล่างมีท่อเปิดระบายเถ้า (overflow) ทำด้วยสแตนเลส มีหน้าที่ควบคุมความสูงของเบต โดยเปลี่ยนความสูงเบตตามความสูงของท่อระบายที่ใช้ ช่วงเหนือแผ่นกระจายอากาศ ในส่วนที่สอง มีช่องเสียบหัวเผา (burner) ซึ่งจะต่อกับท่อก๊าซแอลพีจีใช้สำหรับเป็นตัวให้ความร้อนในการเผาไหม้ ส่วนที่สาม จะเป็นส่วนที่ขยายจากส่วนที่สองประกอบด้วยส่วนขยาย 2 ช่วง มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 24 และ 50 เซนติเมตรแต่ละส่วนมีความสูง 50 เซนติเมตร และ 70 เซนติเมตร ตามลำดับ แต่ในการทดลองตอนที่ 2 มีการเปลี่ยนแปลงเตาเผา ดังนี้ เปลี่ยนส่วนล่างสุดของเตาเผาให้มีช่องเสียบหัวเผาเข้าทางด้านล่างของเตาเผา และปิดช่องเสียบหัวเผาในส่วนที่สองของเตาเผา ส่วนการทดลองตอนที่ 3 ได้ทำการสร้างเตาเผาตัวใหม่ตั้งมีรายละเอียดดังนี้ เป็นเตาเผาทำด้วยเหล็กหนา 1.5 มิลลิเมตร ลักษณะรูปร่างเป็นทรงกระบอกภายในบุด้วยซีเมนต์ทนไฟหนา 5 เซนติเมตร ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนแรก ซึ่งเป็นส่วนล่างสุด มีช่องเสียบหัวเผา 3 หัว เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 20 เซนติเมตร จากส่วนนี้สูงขึ้นไป 20 เซนติเมตร มีช่องเสียบเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดอุณหภูมิของเบตในเตาเผา ส่วนที่สอง เป็นช่วงขยายจากส่วนแรก โดยสูงจากช่องเสียบหัวเผา 40 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 30 เซนติเมตร บริเวณนี้จะเจาะรูให้อากาศช่วย (secondary air) ในการเผาไหม้ ส่วนสุดท้าย เป็นช่วงขยายจากส่วนที่สอง โดยสูงจากช่องเสียบหัวเผา 100 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 50 เซนติเมตร บริเวณนี้มีเครื่องป้อนขยะแบบสกรู ทำหน้าที่ป้อนขยะเข้าเตาเผาแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงแรกจะป้อนขยะผ่านเตาเผาเพื่อลดความชื้นบางส่วนในขยะลง ช่วงที่สองจะทำหน้าที่ป้อนขยะที่ลดความชื้นจากช่วงแรกเข้าเตาเผาต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ถึง 3-3 และรูปที่ 3-6 ถึง 3-7

ข เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือหม้อไอน้ำ (Heat exchanger or boiler) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นหม้อน้ำชนิดท่อไฟ (fired-tube boiler) ในแนวตั้ง ทำด้วยเหล็กเหนียว มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยท่อ 38 ท่อ ให้ก๊าซร้อนวิ่งไหลผ่านจากด้านบนและมีน้ำไหลสวนทางอยู่ภายนอก ซึ่งใช้มีมน้ำขนาด 0.45 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 3-9

ค เครื่องดักฝุ่นแบบไซโคลน (Cyclone) เป็นเครื่องมือแยกอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในกระแสก๊าซ จัดเป็นเครื่องแยกอนุภาคเชิงกล (mechanical separator) อาศัย

การหมุนของก๊าซซึ่งไหลเข้าเครื่องในแนวสัมผัส ทำให้ศูนย์กลางการหมุนเกิดความดันต่ำอนุภาคซึ่งแขวนลอยอยู่จะถูกแยกออกทางด้านล่าง ก๊าซที่สะอาดไหลออกทางด้านบน ไชโคลนที่ใช้ในการวิจัย ออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นหรือขยะขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 เซนติเมตร สูง 130 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-8 และ 3-9

ง เครื่องป้อนขยะแบบสกรู (Screw feeder) ใช้สำหรับป้อนขยะและตะกอนสลัดจ์ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตรในการทดลองตอนที่ 1.1 และ 12.5 เซนติเมตรในการทดลองตอนที่ 2 และ 3 ยาว 90 เซนติเมตร โดยมีมอเตอร์กำลัง 0.37 กิโลวัตต์ เป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุน ซึ่งจะมีเครื่องควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์อีกชั้นหนึ่ง สามารถปรับอัตราเร็วในการหมุนของมอเตอร์เป็นหน่วยรอบต่อนาที (rpm)

จ เครื่องป้อนอากาศแบบพัดลม (Blower) ใช้สำหรับป้อนอากาศที่เข้าสู่เตาเผา และในการผสมกับก๊าซหุงต้ม ซึ่งใช้มอเตอร์ความเร็วรอบสูงขนาด 3 แรงม้า และมีเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศ (rotameter) ดังแสดงในรูปที่ 3-13

ฉ เครื่องกำจัดฝุ่นและก๊าซแบบดูดซึม (Scrubber) เป็นระบบที่ใช้กำจัดก๊าซขนาดเล็กที่อาจหลงเหลืออยู่ เนื่องจากไชโคลนไม่สามารถดักฝุ่นขนาดเล็กมาก ๆ ได้ และก๊าซพิษบางส่วนที่ไม่สามารถกำจัดได้หมดเช่น  $SO_2$ ,  $NO$  เป็นต้น โดยก๊าซที่ออกจากไชโคลนจะถูกดูดเข้าเครื่องกำจัดฝุ่นนี้ทางด้านล่าง ซึ่งใช้มอเตอร์ขนาด 0.25 แรงม้า ก๊าซจะไหลส่วนทางกับน้ำที่พ่นจากด้านบนเครื่องลงมาเป็นฝอย เป็นการเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสก๊าซ ทำให้ได้ก๊าซที่สะอาดก่อนทำการปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3-10 และ 3-11

ช อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมคัปเปิล เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิของเตาเผาที่ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งอุณหภูมิในเบตจะเป็นตัวที่บอกถึงการเผาไหม้ในเตา เทอร์โมคัปเปิลทำด้วยลวดวัดอุณหภูมิชนิด K (thermocouple type K) ค่าอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า จึงต้องมีตัวแปลงค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นค่าอุณหภูมิโดยจะบอกค่าอุณหภูมิออกมาเป็นสเกล และตัวเลขที่อ่านค่าได้

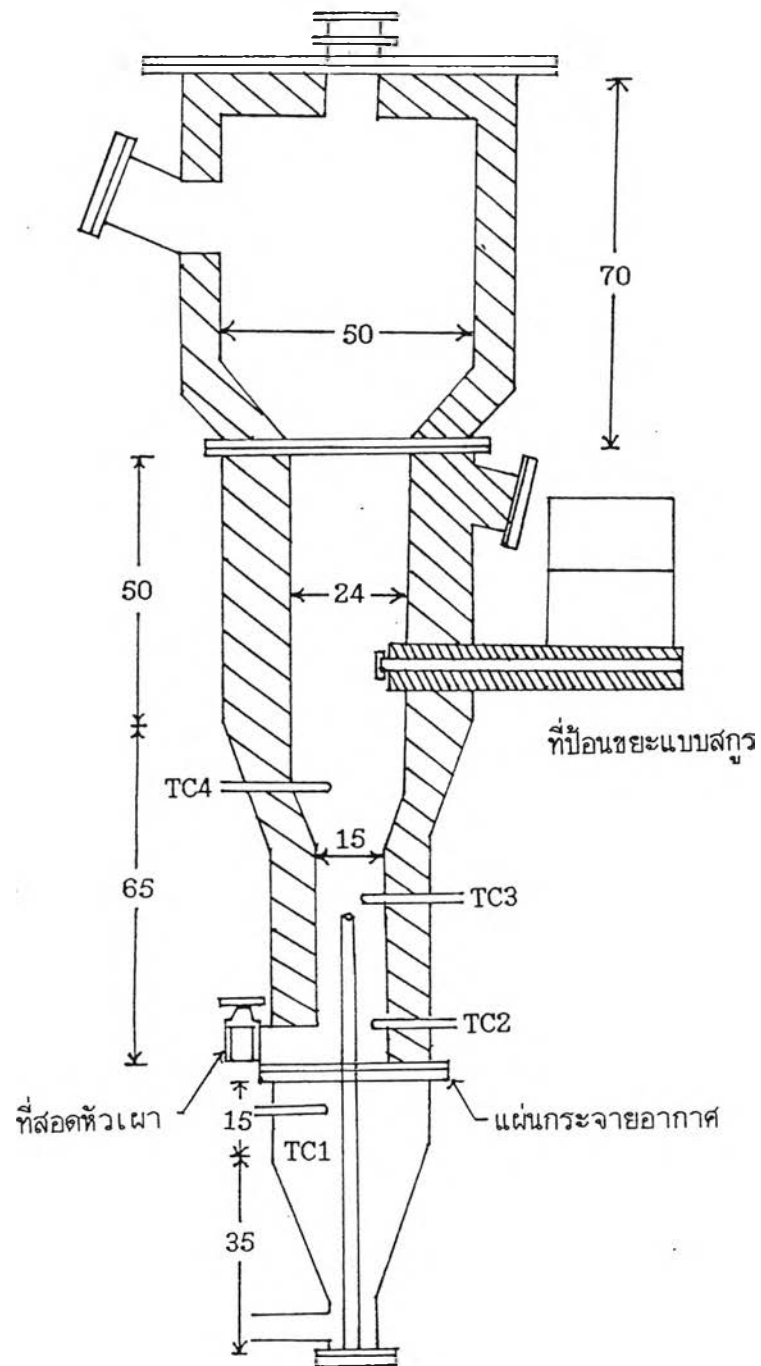
### 3.3 ระบบการวิเคราะห์ก๊าซ

เนื่องจากการเผาไหม้มีน้ำเกิดขึ้นและกระแสก๊าซมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัด

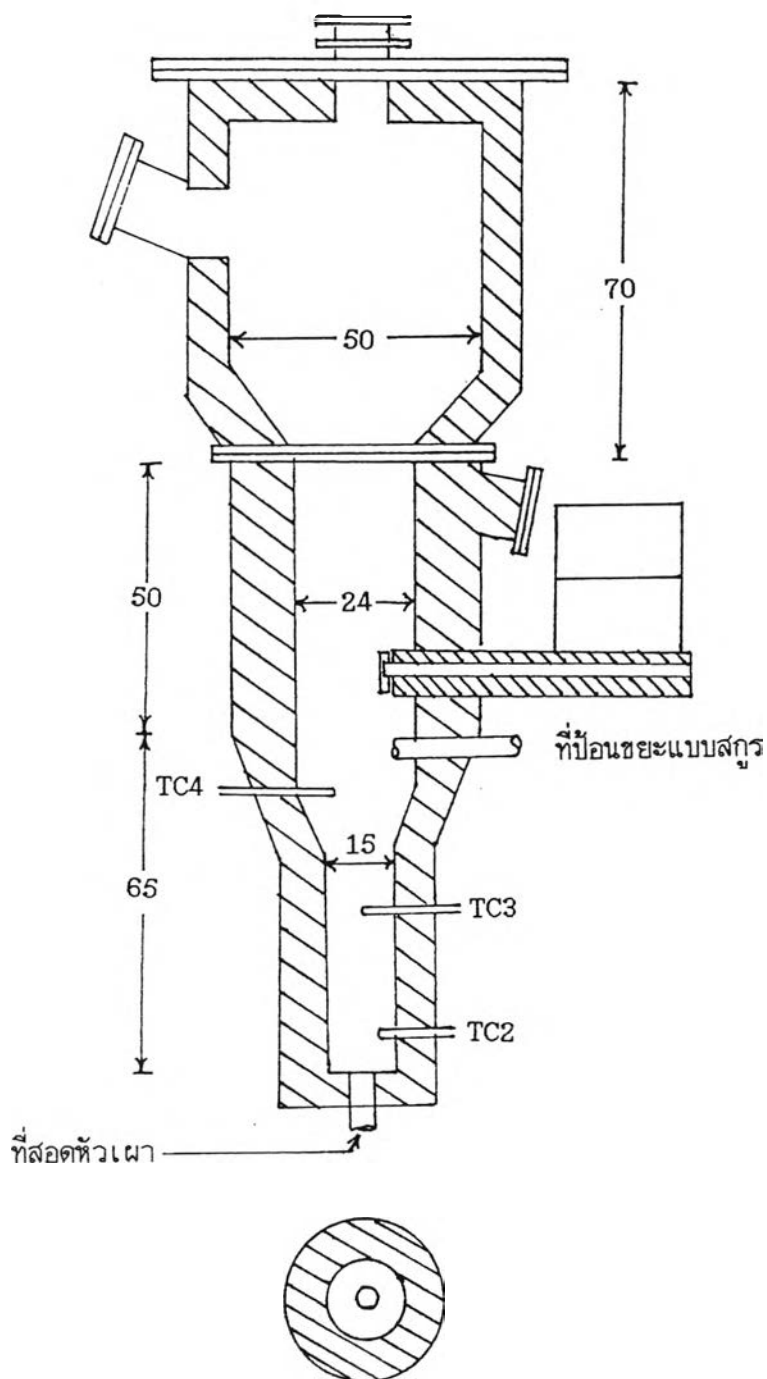
น้ำโดยใช้ silica gel และลดอุณหภูมิของก๊าซลง ก๊าซที่นำมาวิเคราะห์ได้แก่

ก ก๊าซออกซิเจน วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Riken Portable Toxic Model HX-7 ผลิตโดย Riken Keiki Fien Instrument Co.,Ltd ประเทศญี่ปุ่น เป็นเครื่องมือวิเคราะห์ ก๊าซได้ 2 ชนิดพร้อมกันคือ ออกซิเจน ( $O_2$ ) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ใช้หลักการ Electrochemical Method เซนเซอร์เป็นอิเล็กโตรด 2 อัน มีการควบคุมศักย์ภาพของ อิเล็กโตรดไลซิส การทำงานอยู่ได้สภาวะของการแพร่ มีหลักการดังนี้ โมเลกุลของก๊าซจะแพร่ผ่าน เมมเบรนและถูกดูดซับบนอิเล็กโตรด ซึ่งจะถูกออกซิไดซ์หรือรีดิวซ์ขึ้นอยู่กับเซนเซอร์ ณ ค่าศักย์ภาพ ของอิเล็กโตรดที่เหมาะสม ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นมีผลให้เกิดกระแสไฟฟ้า พบว่าขึ้นอยู่กับ การแพร่และแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของก๊าซ หลังจากนั้นมีการขยายกำลังไฟฟ้า และแสดงผล ออกมาให้อ่านได้โดยตรงเป็นร้อยละ และพีพีเอ็ม ของก๊าซออกซิเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ตาม ลำดับ ดังรูปที่ 3-16

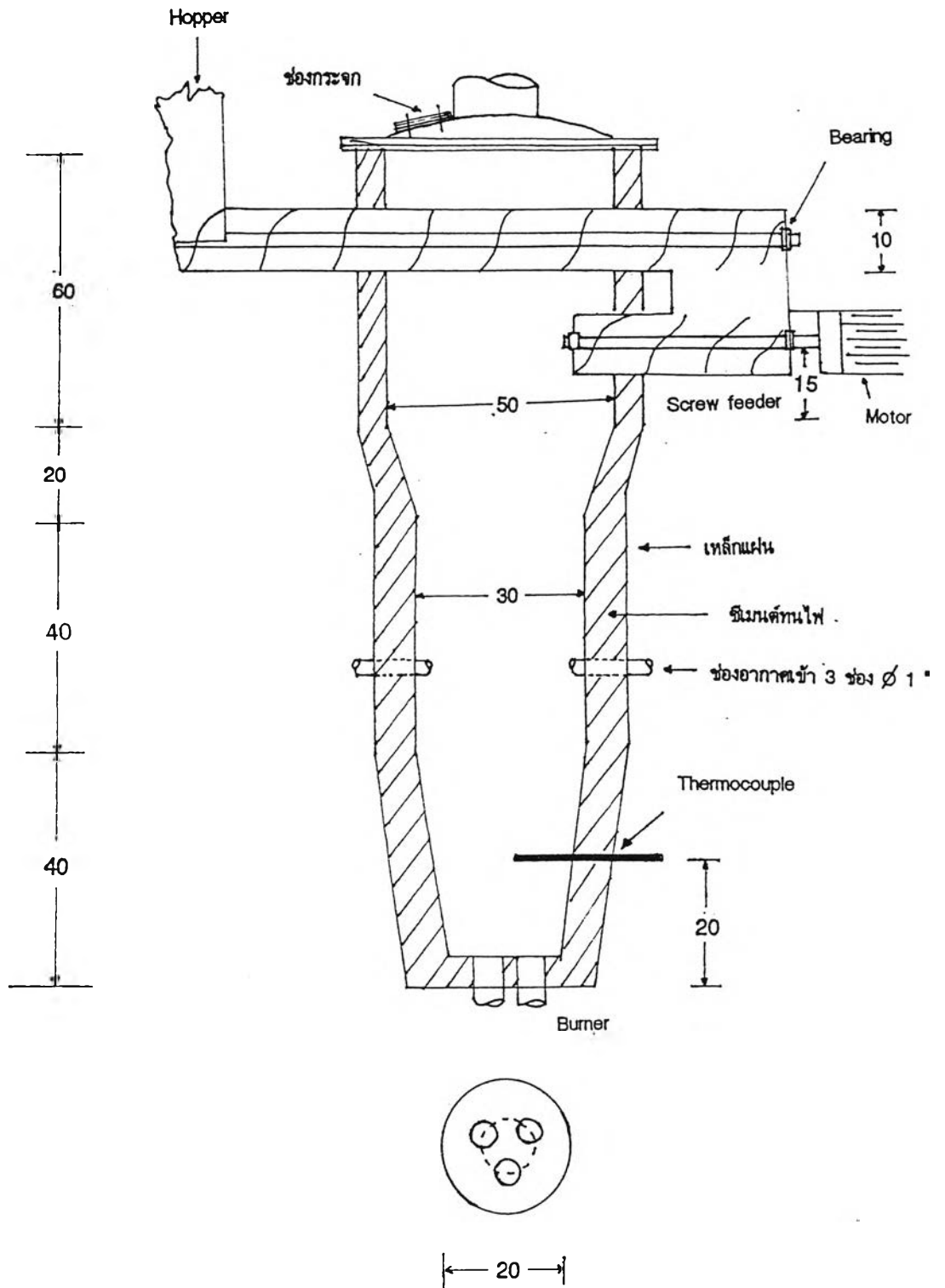
ข ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO$  และ  $CO_2$ ) วิเคราะห์ โดยใช้เครื่อง Riken Infrared Gas Analyzer Model RI-550A ผลิตโดย Riken Keiki Fien Instrument Co.,Ltd ประเทศญี่ปุ่น จำนวน 2 เครื่อง มีความละเอียดช่วง ต่ำสุดผิดพลาดน้อยกว่า  $\pm 5\%$  ของสเกล และสูงสุดผิดพลาดน้อยกว่า  $\pm 3\%$  ของสเกลแต่ละ เครื่องวัดก๊าซได้เครื่องละชนิด ในการวัดใช้ท่อดูดตัวอย่าง (sampling probe) ดูดตัวอย่าง ก๊าซจากท่อโดยปั๊มสุญญากาศภายในเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (internal vacuum pump) ผ่าน Optical System และสามารถอ่านค่าได้จากมิเตอร์ด้านหน้าเครื่องได้ทันที ซึ่งหลักการของ เครื่องวิเคราะห์นี้ก็คือ อาศัยหลักการที่โมเลกุลของก๊าซแต่ละชนิดประกอบด้วยอะตอมที่แตกต่าง กันมากกว่า 2 อะตอมขึ้นไป มี dipole moment เมื่อถูกแสงอินฟราเรด อะตอมจะถูกกระตุ้น และเกิดการสั่นที่ความยาวเครื่องสัมพันธ์กับการสั่นสะเทือนจำเพาะ (Specific Vibration) และ rotation spectrum ของก๊าซชนิดนั้น ก๊าซทุกชนิดจะดูดกลืนรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในลักษณะที่ เฉพาะตัว ลักษณะของสเปกตรานี้เองที่ใช้ในการแยกชนิดองค์ประกอบของก๊าซและความเข้มข้นของ ก๊าซชนิดนั้น ๆ ดังรูปที่ 3-17



รูปที่ 3-1 ลัสดส่วนของเตาเผาแบบฟลูอิดซ์เบด ในการทดลองตอนที่ 1  
หน่วย : เซนติเมตร

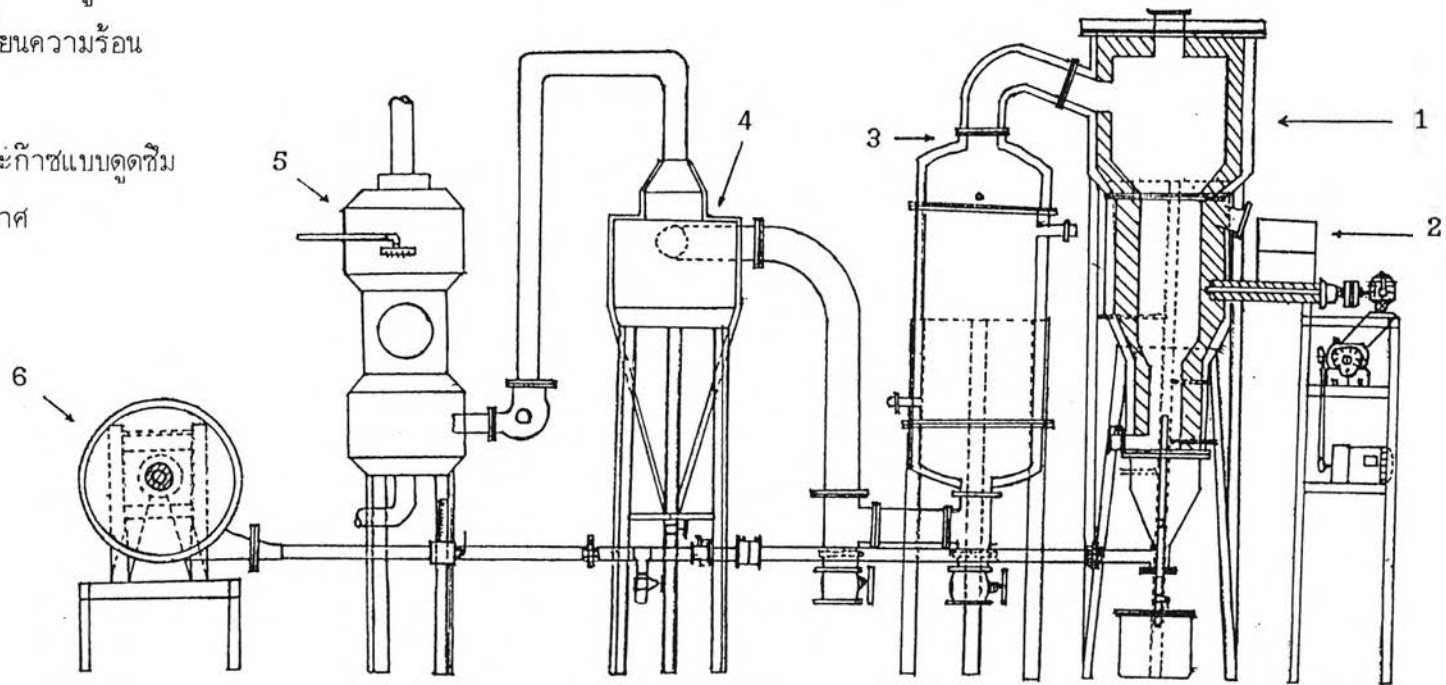


รูปที่ 3-2 สั้ดส่วนของเตาเผาแบบฟลูอิโดซ์เบต ในการทดลองตอนที่ 2  
หน่วย : เซนติเมตร



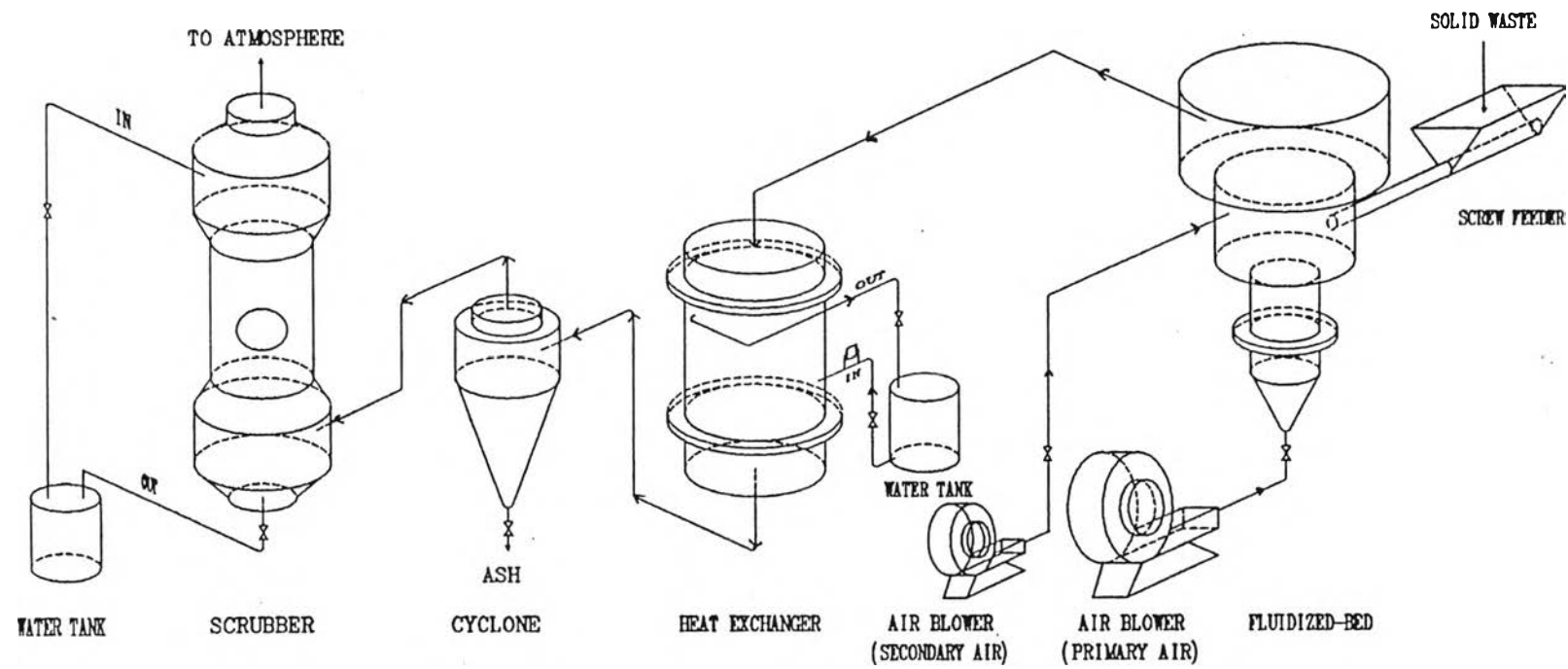
รูปที่ 3-3 สัดส่วนของเตาเผาแบบฟลูอิดไรส์เบด ในการทดลองตอนที่ 3  
หน่วย : เซนติเมตร

- 1 เต้าเผาไหม้แบบฟลูอิไดซ์เบด
- 2 เครื่องป้อนขยะแบบสกรู
- 3 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
- 4 ไซโคลน
- 5 เครื่องดักฝุ่นและก๊าซแบบดูดหิม
- 6 เครื่องเป่าอากาศ

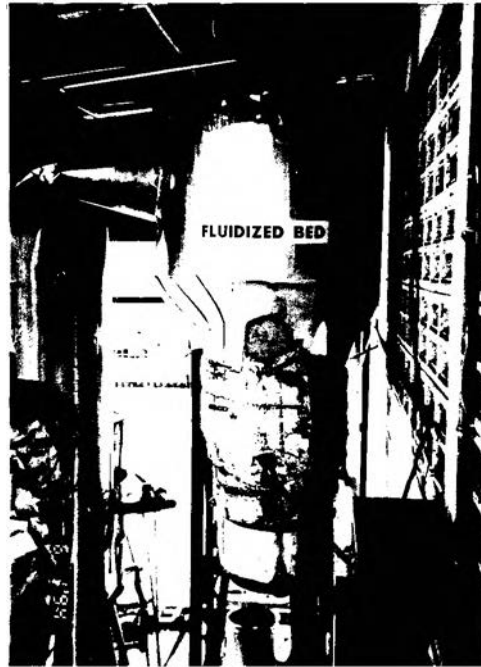


รูปที่ 3-4 ระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิไดซ์เบด

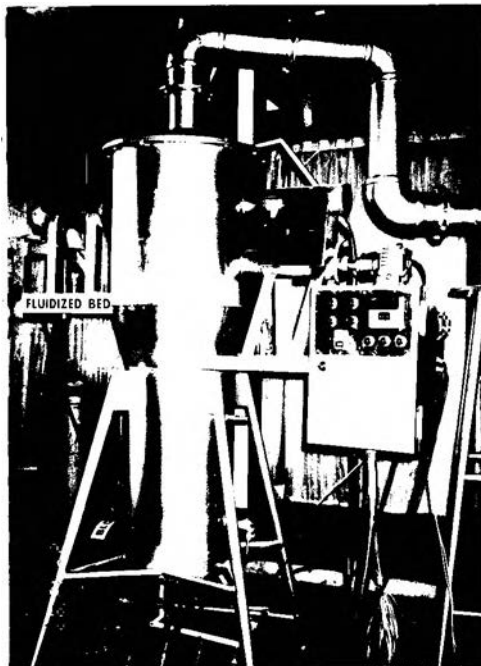




รูปที่ 3-5 ภาพ 3 มิติของระบบเผาไหม้แบบฟลูอิดไบลัด



รูปที่ 3-6 เตาเผาแบบฟลูอิดไชน์เบด ในการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2



รูปที่ 3-7 เตาเผาแบบฟลูอิดไชน์เบด ในการทดลองตอนที่ 3



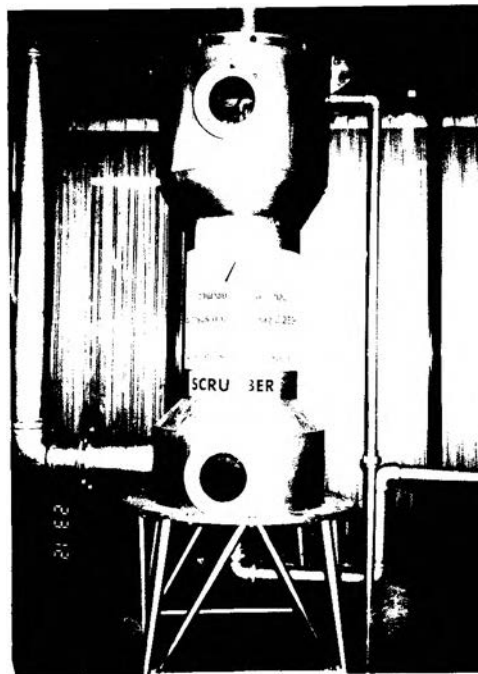
รูปที่ 3-8 เครื่องตักฝุ่นแบบไซโคลนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน  
ในการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2



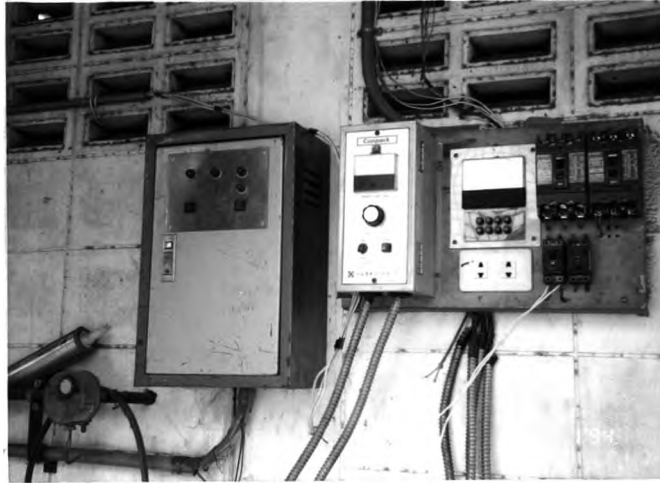
รูปที่ 3-9 เครื่องตักฝุ่นแบบไซโคลนในการทดลองตอนที่ 3



รูปที่ 3-10 เครื่องตักฝุ่นและก๊าซแบบดูดซึมในการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2



รูปที่ 3-11 เครื่องตักฝุ่นและก๊าซแบบดูดซึมในการทดลองตอนที่ 3



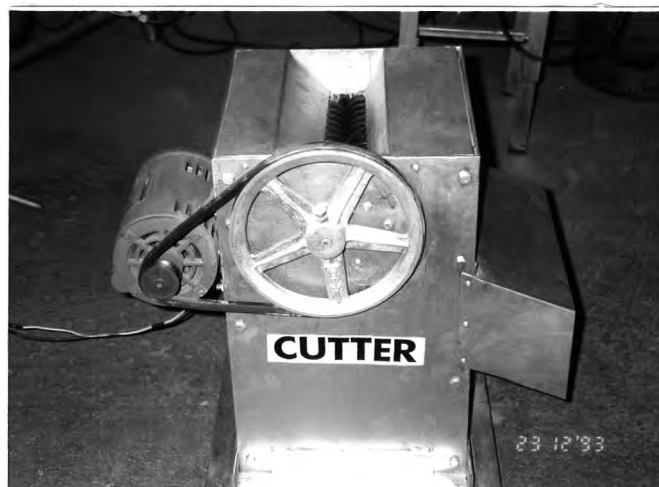
รูปที่ 3-12 เครื่องควบคุมอุณหภูมิและอัตราการป้อนขยะ ในการทดลอง  
ตอนที่ 1 และตอนที่ 2



รูปที่ 3-13 เครื่องเป่าอากาศ



รูปที่ 3-14 เครื่องวัดความเร็วของอากาศ



รูปที่ 3-15 เครื่องตัดย่อยขยะ



รูปที่ 3-16 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซออกซิเจน



รูปที่ 3-17 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์