บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

การทดลองเตรียมวัตถุดิบได้แก่ ถ่านหิน และโดโลไมท์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จาก บริษัท แพร่ลิกไนต์ จำกัด การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และบริษัท เทพประทานการแร่ จำกัด เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบคือ

4.1.1 ระบบการเตรียมวัตถุดิบ ประกอบด้วยอุปกรณ์

4.1.1.1 เครื่องบดแบบฆ้อนเหวี่ยง (hammer mill) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บดถ่านหินให้มีขนาดเล็ก โดยใช้หลักการเหวี่ยงของแท่งเหล็กทำให้ถ่านหินที่มีขนาดใหญ่แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ผ่านตะแกรงรองรับด้านล่างซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.95 เซนติเมตร

4.1.1.2 เครื่องร่อนแยกขนาด (seive) ถ่านที่บดแล้วจะนำมาร่อนแยกเอาขนาดที่ต้องการด้วยเครื่องที่สร้างขึ้นเอง มีลักษณะเป็นทรงกระบอกทำด้วยแผ่นเหล็กเจาะรู 2 วงซ้อนกัน สามารถถอดเพื่อเปลี่ยนขนาดแผ่นเหล็กเจาะรูได้ ทรงกระบอกอันในมีขนาดรูใหญ่กว่าทรงกระบอกอันนอกมีแกนกลางวางในแนวเอียงเป็นมุม 30 องศา ปลายของแกนเหล็กต่อกับมอเตอร์เพื่อขับให้เครื่องหมุนอย่างช้าๆ โดยวัตถุดิบป้อนเข้าทางด้านบนผ่านแผ่นเหล็กเจาะรู และถูกแยกออกทางด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วงแยกขนาดตามขนาดของรูที่เจาะบนแผ่นเหล็กเป็น 3 ขนาด

4.1.2 ระบบการเผาไหม้ (combustion system)

เนื่องจากระบบการเผาไหม้เป็นแบบฟลูอิไดซ์จึงต้องมีระบบการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในก๊าซร้อน จึงรวมเอาระบบนี้เข้ากับระบบการเผาไหม้ดังนั้นจึงประกอบด้วย

4.1.2.1 เตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed combustor) เป็นเตาเผาที่ออกแบบและสร้างขึ้นทำด้วยเหล็กเหนียว ประกอบด้วย 3 ส่วนมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก

ส่วนแรกซึ่งเป็นส่วนล่างสุดจะเป็นส่วนพักอากาศจากเครื่องป้อนอากาศแบบพัดลม (blower) ก่อนเข้าเตาเผา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ส่วนบนมีแผ่นกระจายอากาศ (air distributor) ซึ่งเป็นแผ่นสแตนเลสเจาะรู ทำหน้าที่กระจายอากาศให้สม่ำเสมอก่อนเข้าสู่ส่วนที่สองซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร มีความสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 65 เซนติเมตร บุด้วยซิเมนต์ทนไฟ (fire-cement) ตรงส่วนล่างมีท่อเปิดระบายเถ้า (overflow) ทำด้วยสแตนเลส มีหน้าที่ควบคุมความสูงของเบด ซึ่งสามารถเปลี่ยนความสูงได้ ช่วงเหนือแผ่นกระจายอากาศตรงส่วนที่สองมีช่องเสียบหัวเผา (burner) สำหรับส่วนที่สามจะเป็นส่วนขยายจากส่วนที่สอง ประกอบด้วยส่วนขยาย 2 ช่วงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 24 , 50 เซนติเมตร สูง 50 , 70 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

4.1.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือหม้อไอน้ำ (heat exchanger or boiler) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นหม้อน้ำชนิดท่อไฟ (fired-tube boiler) ในแนวตั้ง ทำด้วยเหล็กเหนียว รูปร่างเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยท่อ 38 ท่อให้ก๊าซร้อนวิ่งไหลผ่านจากด้านบนและมีน้ำไหลสวนทางอยู่ภายนอก ดังรูปที่ 4.3 และ 4.5

4.1.2.3 เครื่องดักฝุ่นแบบไซโคลน (cyclone) เป็นเครื่องมือแยกอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในกระแสอากาศ จัดเป็นเครื่องแยกอนุภาคเชิงกล (mechanical separator) อาศัยการหมุนของก๊าซซึ่งไหลเข้าเครื่องในแนวสัมผัส ทำให้ศูนย์กลางการหมุนเกิดความดันต่ำ อนุภาคซึ่งแขวนลอยอยู่จะถูกแยกออกทางด้านล่าง ก๊าซที่สะอาดไหลออกทางด้านบน ไซโคลนที่ใช้ในการวิจัยออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 เซนติเมตร สูง 130 เซนติเมตร

4.1.2.4 เครื่องป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ ในระบบการเผาไหม้นี้เนื่องจากเตาเผามีขนาดไม่ใหญ่นัก ระบบการการป้อนเชื้อเพลิงซึ่งเป็นส่วนผสมของถ่านหินและโดโลไมท์จึงใช้การป้อนด้วยระบบสกรู (screw feeder) ซึ่งอยู่เหนือเบด สำหรับเครื่องป้อนอากาศเป็นพัดลม (blower) ใช้กำลังขับจากมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า

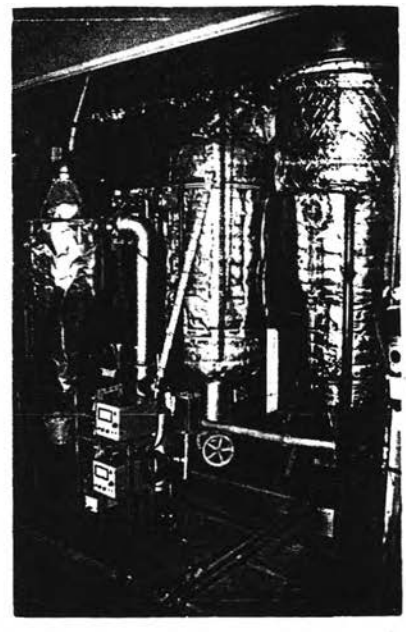
4.1.2.5 ระบบการควบคุมและการวัดอุณหภูมิ การควบคุมอุณหภูมิในเบดใช้ระบบการควบคุมการป้อนเชื้อเพลิงแบบอัตโนมัติชนิดเปิด-ปิด (on-off controller) โดยควบคุมอุณหภูมิ (750-900 °ซ) ซึ่งวัดจากเครื่องวัดอุณหภูมิในเบดจุดที่สอง (TC_2) ทำด้วยลวดวัดอุณหภูมิชนิด K (thermocouple type K)

4.1.2.6 ระบบกำจัดฝุ่นและก๊าซแบบการดูดซึม (gas scrubber) เป็นระบบที่ใช้กำจัดเถ้าขนาดเล็กที่อาจหลงเหลืออยู่ เนื่องจากไซโคลนไม่สามารถดักฝุ่นขนาดเล็กๆ ได้และก๊าซพิษบางส่วนซึ่งไม่สามารถกำจัดได้หมด โดยให้ก๊าซที่ออกจากไซโคลนเข้า scrubber ทางด้านล่าง ไหลสวนทางกับน้ำที่พ่นจากด้านบนลงมา เป็นฝอยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับก๊าซทำให้ได้ก๊าซที่สะอาดก่อนทำการปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ

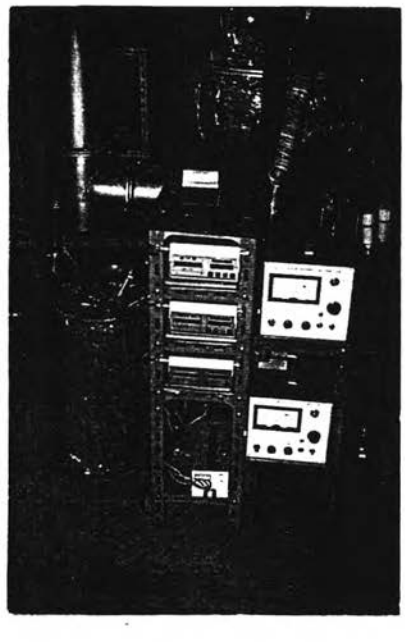
4.1.3 ระบบการชักและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เนื่องจากการเผาไหม้มีน้ำเกิดขึ้นและกระแสก๊าซมีอุณหภูมิสูง การชักตัวอย่างก๊าซเพื่อการวิเคราะห์จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (dew point) นอกจากนี้ก๊ามะถันซึ่งถูกออกซิไดซ์เป็นก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ออกมากับก๊าซร้อน สามารถละลายน้ำกลายเป็นกรดซัลฟุริกมีผลทำให้จุดน้ำค้างของก๊าซสูงขึ้น ในทางปฏิบัติหลีกเลี่ยงการควบแน่นของไอกรดโดยรักษาอุณหภูมิของก๊าซที่จะชักตัวอย่างให้สูงกว่า 350 °ฟ (175 °ซ) (51) และทำให้เย็นอย่างช้าๆ พร้อมกับกำจัดน้ำออกโดยใช้ silica gel ก๊าซที่เก็บนำมาวิเคราะห์ดังนี้

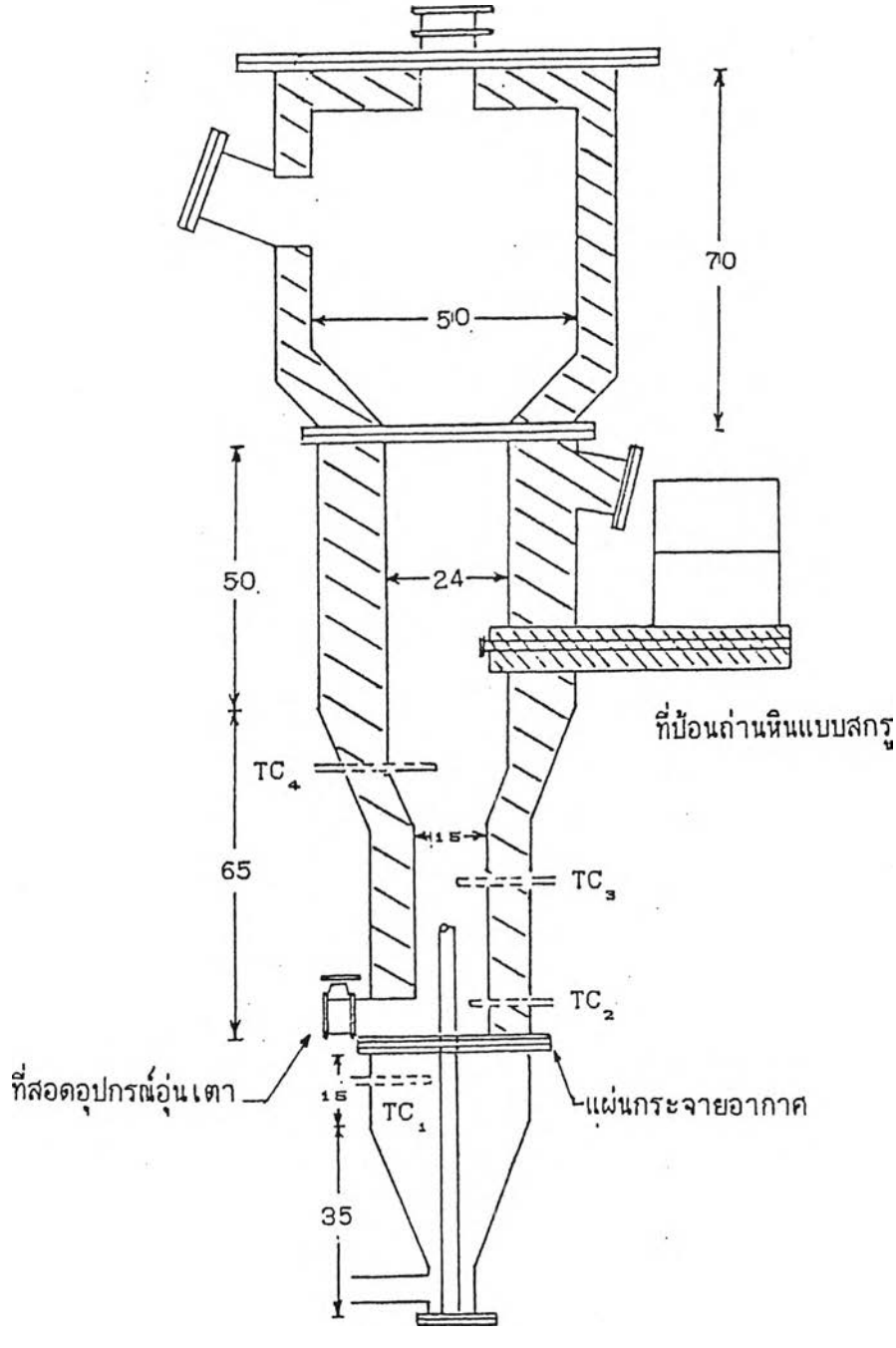
- ก๊าซ CO และ CO_2 วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Riken Infrared Gas Analyzer Model RI-550A ผลิตโดย Riken Keiki Fien Instrument Co.,Ltd ประเทศญี่ปุ่น มีความละเอียดช่วงต่ำสุดผิดพลาดน้อยกว่า ± 5% ของสเกล และสูงสุดผิดพลาดน้อยกว่า ± 3% ของสเกล
- ก๊าซ SO_2 , NO และ O_2 ใช้เครื่อง Riken Portable Toxic model HX-7 และ SC-7 ผลิตโดยบริษัท Riken Keiki Fien Instrument Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น



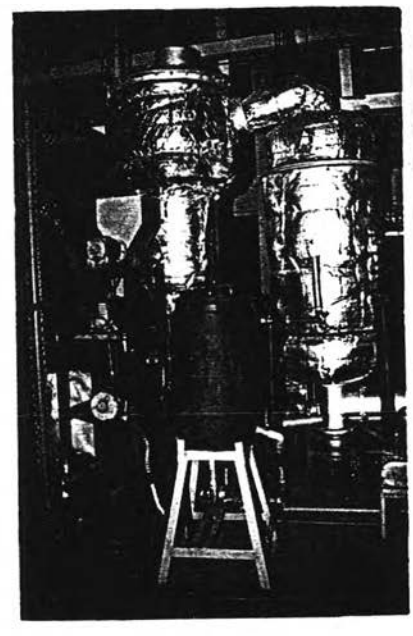
รูปที่ 4.1 แสดงระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิไดซ์เบด



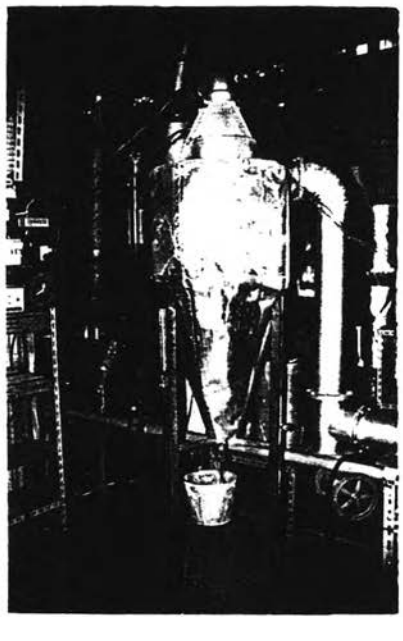
รูปที่ 4.2 แสดงระบบการวิเคราะห์และชักตัวอย่างก๊าซ



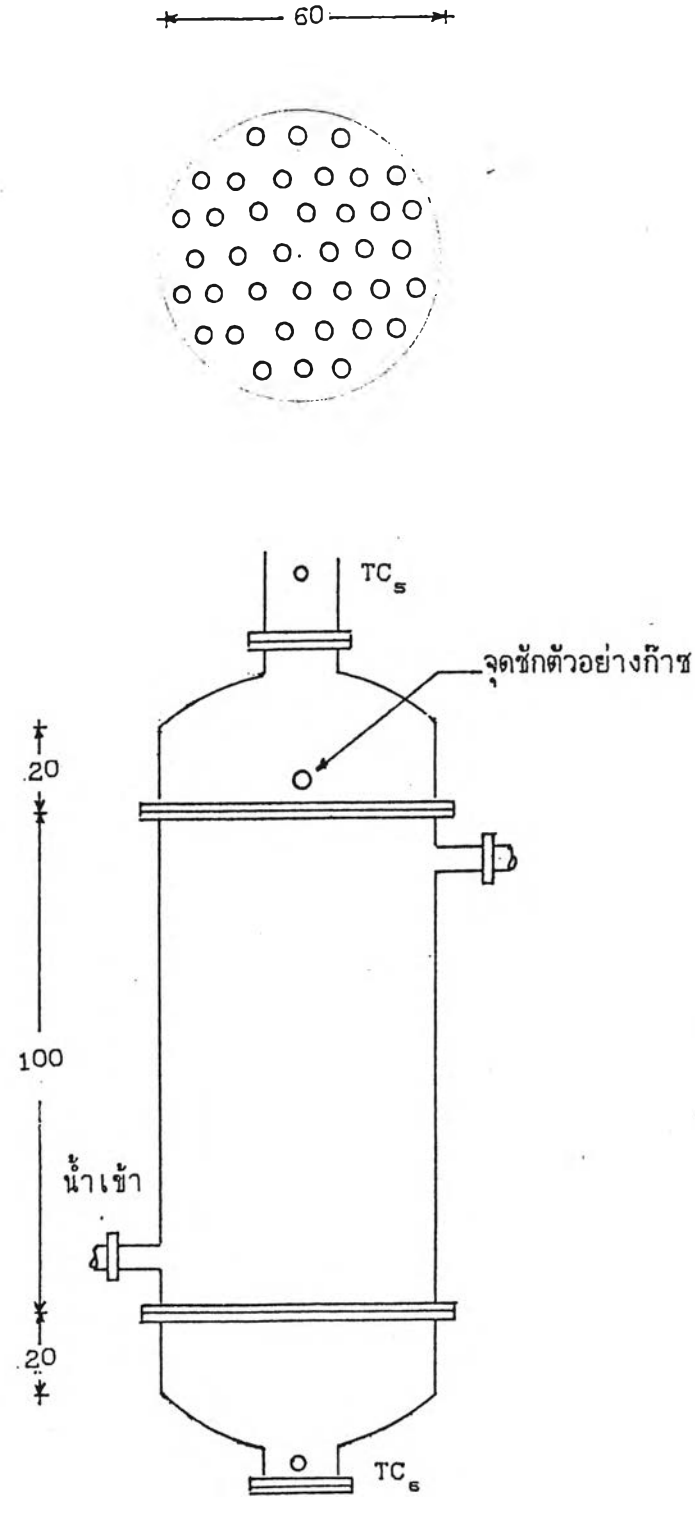
รูปที่ 4.3 แสดงสัดส่วนของเตาเผาทดลองแบบฟลูอิไดเซชัน



รูปที่ 4.4 แสดงเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
หรือหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ

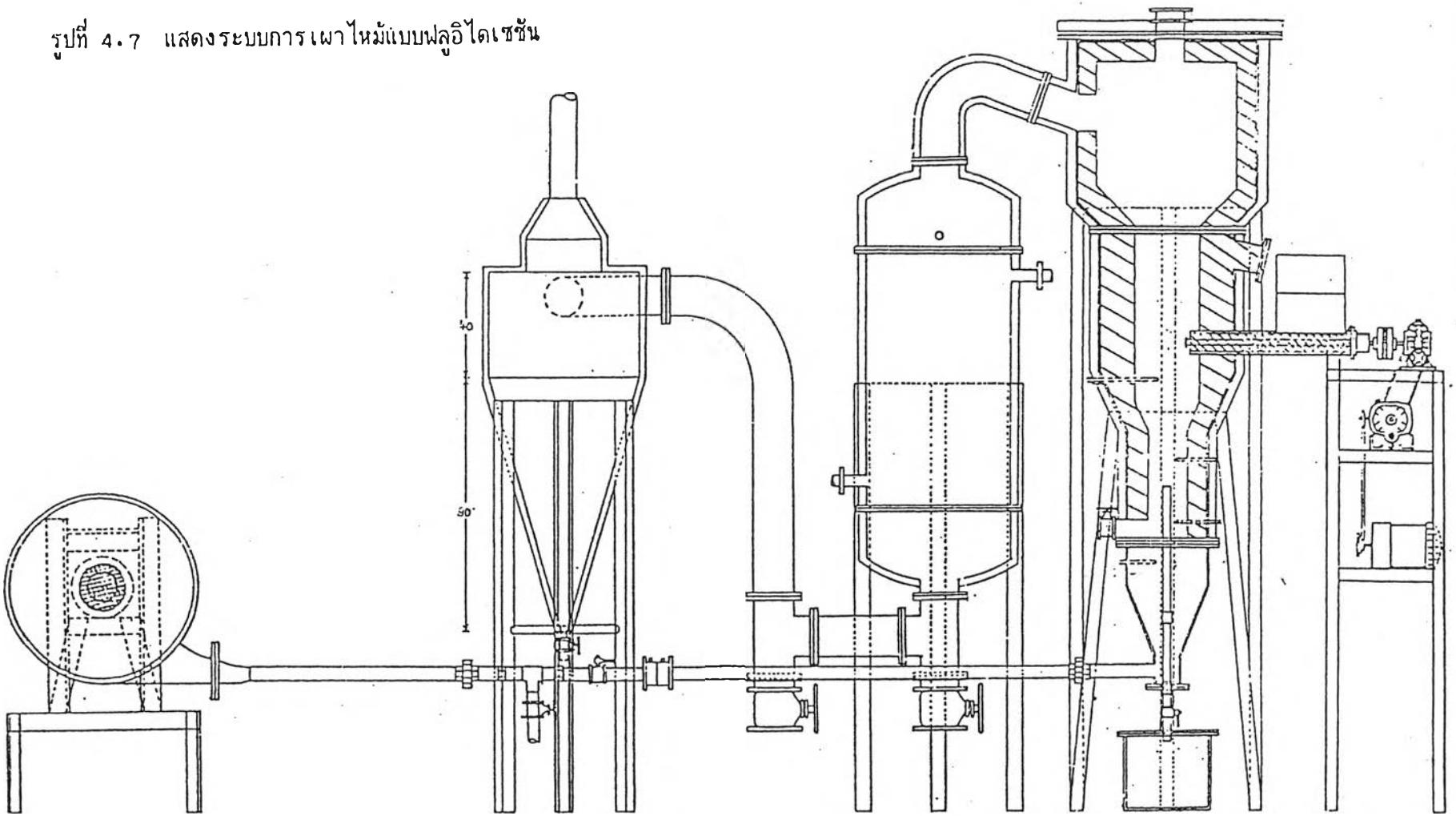


รูปที่ 4.5 แสดงเครื่องดักฝุ่นเชิงกลแบบไซโคลน

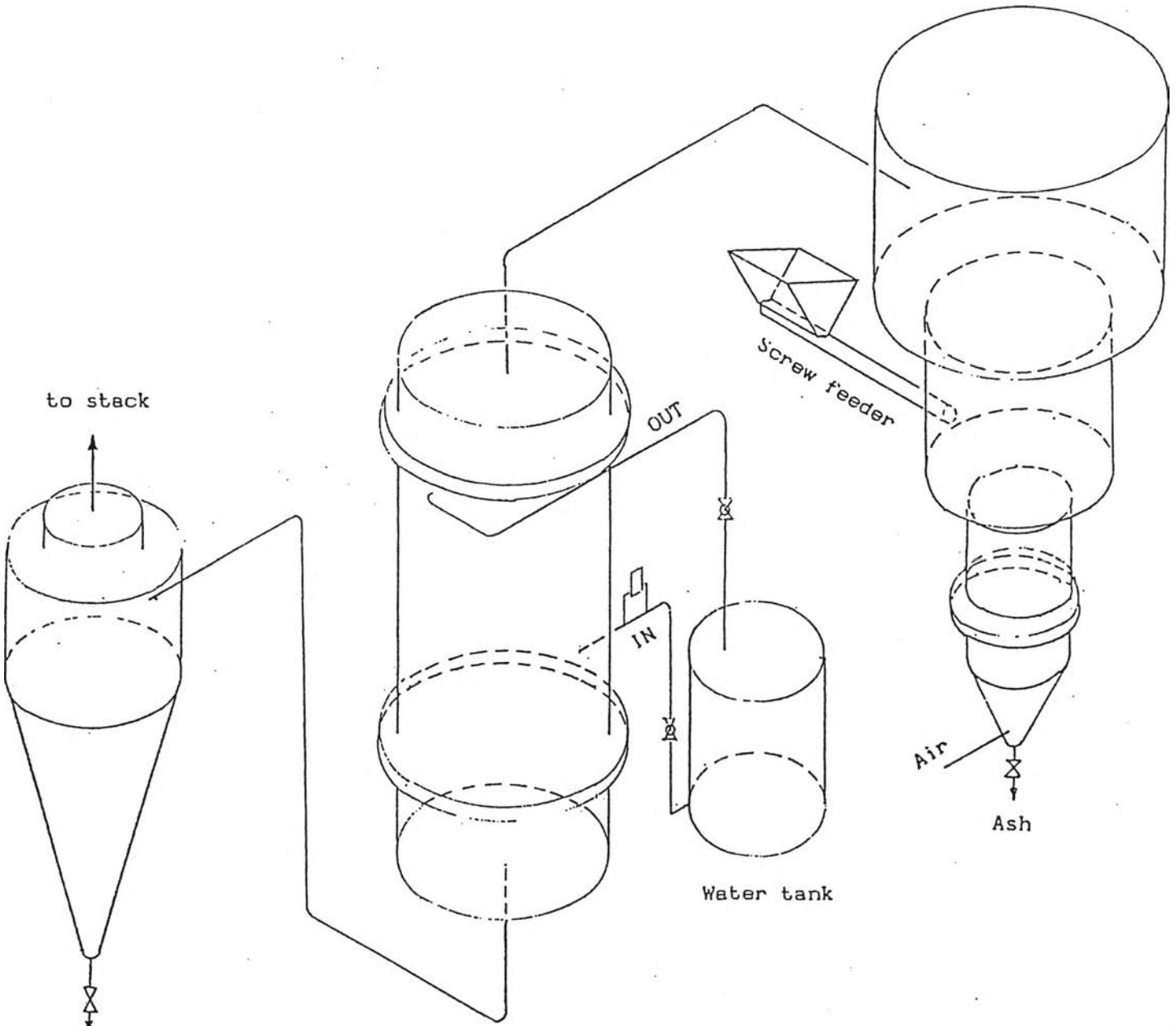


รูปที่ 4.6 แสดงขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ

รูปที่ 4.7 แสดงระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิไดเซชัน



เครื่องเป่าอากาศ ไซโคลน หม้อน้ำแบบท่อไฟ เตาเผาแบบฟลูอิไดเซชัน



รูปที่ 4.8 แสดงภาพ 3 มิติระบบการเผาไหม้แบบฟลูอิไดเซชัน

4.2 วิธีดำเนินการทดลอง

แบ่งขั้นตอนดำเนินการทดลองได้ดังนี้

4.2.1 เตรียมวัตถุดิบ

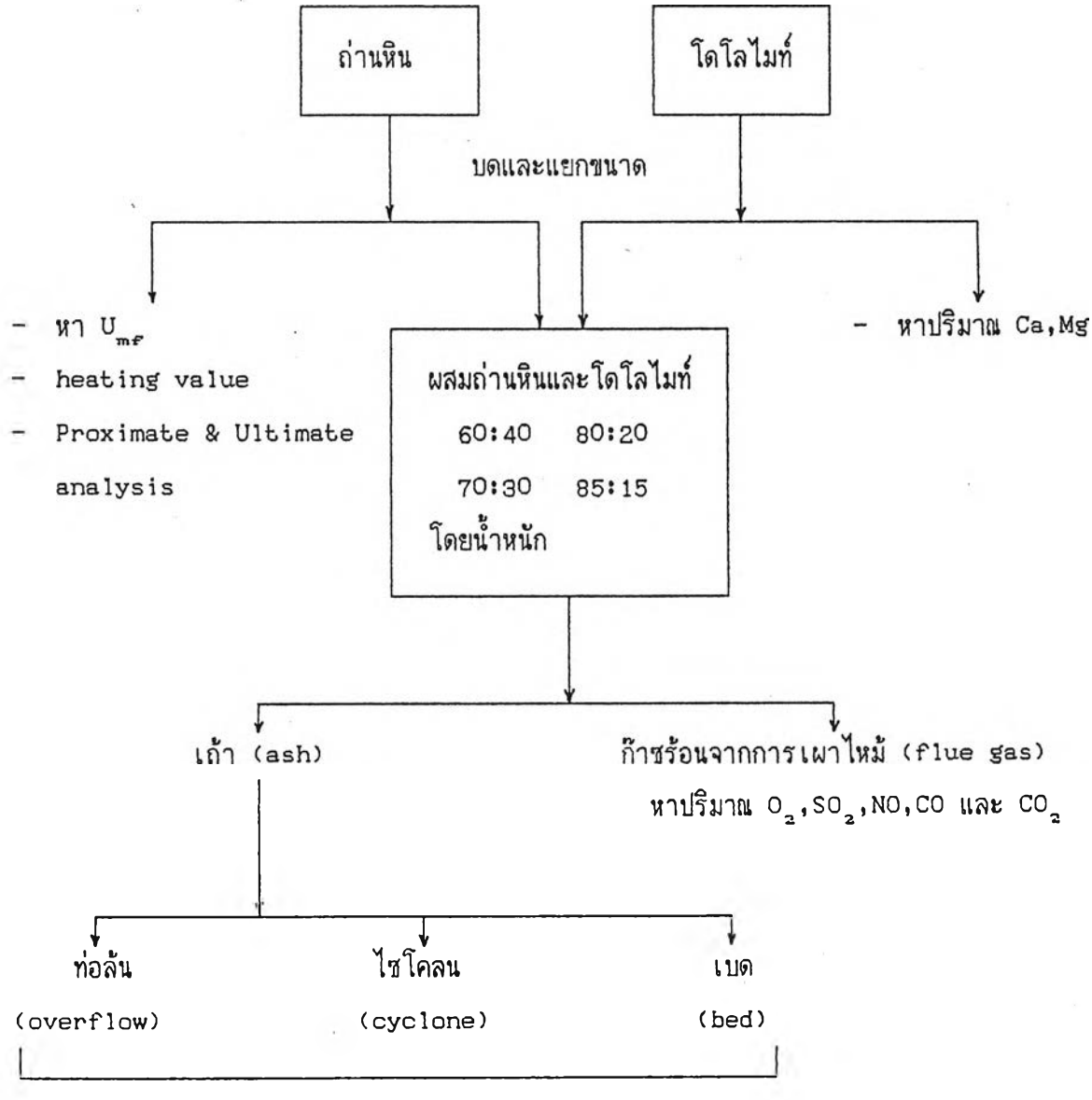
ถ่านหินซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบได้จากเหมืองบ้านปู ของบริษัท แพร่ลิกไนต์ จำกัด และแหล่งคลองโตน จังหวัดกระบี่ ของการไฟฟ้าผ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ส่วนโดโลไมท์ได้จากจังหวัดนครปฐม ของบริษัท เทพประทานการแร่ จำกัด วัตถุดิบที่ได้จะมีขนาดไม่เหมาะสมต้องนำมาบดและคัดขนาดโดยถ่านหินและโดโลไมท์จะมีขนาดอยู่ในช่วง 1-3 มิลลิเมตร และ 0.5-2 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำวัตถุดิบที่ได้ขนาดไปทำการวิเคราะห์โดยถ่านหินนำไปหาค่าความร้อน (heating value) วิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) และแบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ส่วนโดโลไมท์จะนำไปหาปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม

4.2.2 ทำการทดลองหาค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ของโดโลไมท์และถ่านหินที่ทำการคัดขนาดแล้ว

4.2.3 ทำการทดลองเผาไหม้ของถ่านหินผสมโดโลไมท์ โดยมีตัวแปรคือ

- อัตราส่วนถ่านหินและโดโลไมท์ (โดยน้ำหนัก)
- อุณหภูมิเบด
- อัตราการป้อนอากาศ และความสูงของเบด

โดยมีขั้นตอนคือ เริ่มต้นภายในเตาซึ่งไม่มีวัตถุดิบ อุ่นเตาโดยใช้ก๊าซบิโตรเลียมเหลวจากหัวเผา (burner) จนกระทั่งมีอุณหภูมิประมาณ 350-400 °ซ จึงทำการป้อนถ่านหินผสมโดโลไมท์ประมาณ 200-300 กรัม เมื่อถ่านหินติดไฟดีแล้วจึงปิดหัวเผาแล้วจึงทำการป้อนอากาศและเชื้อเพลิง โดยรักษาอุณหภูมิให้ถึงระดับที่ต้องการจนกระทั่งมีอุณหภูมิเบดคงที่ จึงทำการเก็บตัวอย่างก๊าซจากการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง และเก็บเถ้าจากท่อล้น ไซโคลน ประมาณ 30 นาทีเป็นอย่างน้อย ทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้โดยแปรค่าตัวแปรต่างๆข้างต้น



รูปที่ 4.9 แสดงผังการดำเนินการทดลอง