หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สามารถแบ่งได้เป็น

3.1.1 อุปกรณ์การเตรียมวัตถุดิบ ประกอบด้วยอุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องบดแบบฆ้อนเหวี่ยง (hammer mill) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บดถ่านหินให้มีขนาดเล็ก โดยใช้หลักการเหวี่ยงของแท่งเหล็กทำให้ถ่านหินที่มีขนาดใหญ่แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ผ่านตะแกรงรองรับด้านล่างซึ่งสามารถเปลี่ยนขนาดของตะแกรงได้ตามต้องการ

3.1.1.2 เครื่องร่อนแยกขนาด (seive) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกทำด้วยแผ่นเหล็กเจาะรู 2 วงซ้อนกัน สามารถเปลี่ยนขนาดของแผ่นเหล็กเจาะรูได้ ทรงกระบอกอันในมีขนาดรูใหญ่กว่าทรงกระบอกอันนอก มีแกนกลางวางในแนวเอียงเป็นมุม 30 องศา ปลายของแกนเหล็กต่อกับมอเตอร์เพื่อขับให้เครื่องหมุนอย่างช้าๆ โดยป้อนวัตถุที่ต้องการแยกขนาดเข้าทางด้านบนผ่านแผ่นเหล็กเจาะรู และถูกแยกออกทางด้านล่างด้วยแรงโน้มถ่วง วัตถุดิบที่แยกได้มี 3 ขนาดตามขนาดรูของแผ่นเหล็ก

3.1.2 อุปกรณ์การเผาไหม้ (combustion system) ประกอบด้วย

3.1.2.1 เตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed combustor) เป็นเตาเผาที่ออกแบบและสร้างขึ้นทำด้วยเหล็กเหนียว ลักษณะรูปร่างเป็นทรงกระบอกประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนแรกซึ่งเป็นส่วนล่างสุดจะเป็นส่วนพักอากาศจากเครื่องป้อนอากาศแบบพัดลม (blower) ก่อนเข้าเตาเผา มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ด้านบนมีแผ่นกระจายอากาศ (air distributor) ซึ่งเป็นแผ่นสแตนเลสเจาะรู ทำหน้าที่กระจายอากาศให้สม่ำเสมอก่อนเข้าสู่ส่วนที่สองซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 เซนติเมตร มีความสูงจากแผ่นกระจายอากาศ 65 เซนติเมตร บุด้วยซิเมนต์ทนไฟ (fire-cement) ตรงส่วนล่างมีท่อเปิดระบายเถ้า (overflow) ทำด้วยสแตนเลสมีหน้าที่ควบคุมความสูงของเบด โดยเปลี่ยนความสูงเบดตามความสูงของท่อระบายที่ใช้ช่วงเหนือแผ่นกระจายอากาศในส่วนที่สองมีช่องเสียบหัวเผา (burner) สำหรับส่วนที่สามจะเป็นส่วนขยายจากส่วนที่สอง ประกอบด้วยส่วนขยาย 2 ช่วงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 24 และ 50 เซนติเมตร แต่ละส่วนมีความสูง 50 เซนติเมตร และ 70 เซนติเมตร ตามลำดับ

3.1.2.2 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือหม้อไอน้ำ (heat exchanger or boiler) เป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ มีลักษณะเป็นหม้อน้ำชนิดท่อไฟ (fired-tube boiler) ในแนวตั้ง ทำด้วยเหล็กเหนียว รูปร่างเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ภายในประกอบด้วยท่อ 38 ท่อให้ก๊าซร้อนวิ่งไหลผ่านจากด้านบนและมีน้ำไหลสวนทางอยู่ภายนอก

3.1.2.3 เครื่องดักฝุ่นแบบไซโคลน (cyclone) เป็นเครื่องมือแยกอนุภาคขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในกระแสก๊าซ จัดเป็นเครื่องแยกอนุภาคเชิงกล (mechanical separator) อาศัยการหมุนของก๊าซซึ่งไหลเข้าเครื่องในแนวสัมผัส ทำให้ศูนย์กลางการหมุนเกิดความดันต่ำอนุภาคซึ่งแขวนลอยอยู่จะถูกแยกออกทางด้านล่าง ก๊าซที่สะอาดไหลออกทางด้านบน ไซโคลนที่ใช้ในการวิจัยออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดฝุ่นหรืออนุภาคถ่านหินขนาดเล็ก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 55 เซนติเมตร สูง 130 เซนติเมตร

3.1.2.4 เครื่องป้อนเชื้อเพลิงและอากาศ การป้อนเชื้อเพลิงหรือส่วนผสมของถ่านหินและโดโลไมท์ใช้การป้อนด้วยระบบสกรู (screw feeder) ซึ่งอยู่เหนือเบด มีมอเตอร์เป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุน สำหรับเครื่องป้อนอากาศเป็นพัดลม (blower) ใช้กำลังขับจากมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า

3.1.2.5 อุปกรณ์การวัดอุณหภูมิหรือเทอร์โมคัปเปิล อุณหภูมิในเบดเป็นตัวแปรที่ควบคุม วัดค่าโดยเทอร์โมคัปเปิลทำด้วยลวดวัดอุณหภูมิชนิด K (thermocouple type K) ค่าอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าจึงต้องมีตัวแปลงค่าสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นค่าอุณหภูมิ เช่น เครื่อง recorder เป็นต้น

3.1.2.6 เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ขนาด 16 บิท หน่วยความจำ 1024 กิโลไบท์ ประกอบด้วยศูนย์กลางการควบคุม (central processing unit) จอแสดงผลและคีย์บอร์ด ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิในการเผาไหม้ตามลักษณะของโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ใช้ โปรแกรมซอฟท์แวร์สามารถเขียนเป็นภาษาเบสิกให้ลักษณะการทำงานของโปรแกรมเป็นการควบคุมแบบ proportional, proportional integral และ proportional integral derivative ซึ่งเป็นการควบคุมอุณหภูมิของการเผาไหม้โดยปรับอัตราการป้อนถ่านหิน

3.1.2.7 การ์ดแปลงค่าสัญญาณ (A/D card) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณตัวเลขที่ใช้ในไมโครคอมพิวเตอร์และแปลงสัญญาณกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้า การ์ดที่ใช้เป็นการ์ดควบคุมรุ่น DM-P005A ชนิด D (D-type) มี 25 พิน ช่องรับสัญญาณเข้า 8 ช่อง สัญญาณออก 4 ช่อง ใช้กับภาษาเบสิก ฟอร์แทรน และเทอร์โบปาสคาล เป็นต้น

3.1.2.8 เครื่องขยายสัญญาณ ทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่เข้าและออกจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เนื่องจากค่าสัญญาณอุณหภูมิที่วัดโดยเทอร์โมคัปเปิลมีค่าน้อยสำหรับจะนำไปใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ และค่าสัญญาณที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์มีค่าน้อยกว่าที่จะใช้ในเครื่องควบคุมขั้นสุดท้าย จึงจำเป็นต้องขยายสัญญาณเพื่อให้สัญญาณนั้นสามารถใช้ได้อย่างเหมาะสมในแต่ละเครื่อง

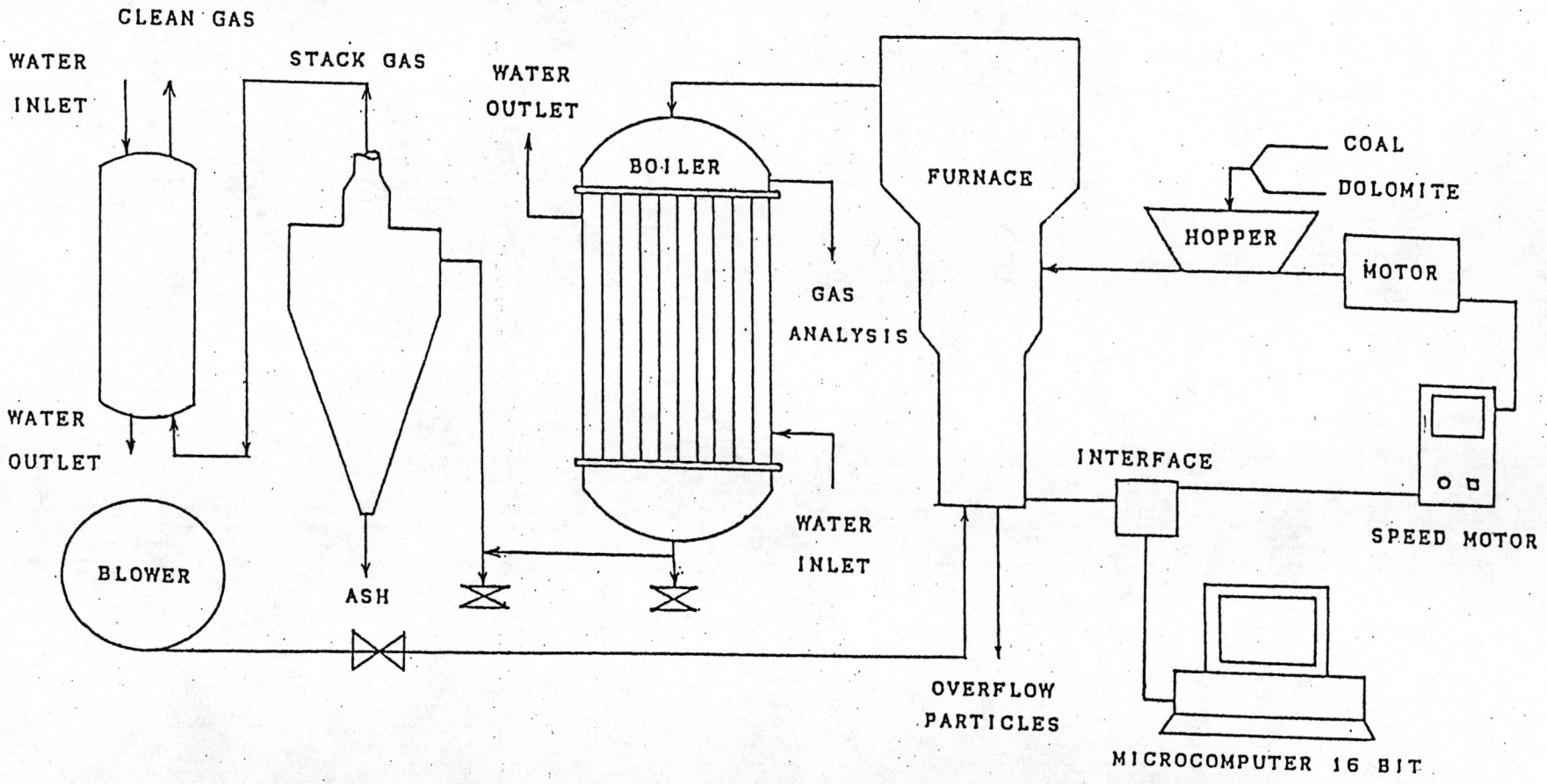
3.1.2.9 เครื่องควบคุมขั้นสุดท้าย คือ เครื่องควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์สำหรับป้อนเชื้อเพลิง โดยรับค่าสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องขยายสัญญาณไปปรับค่าความเร็วในการหมุนของมอเตอร์

3.1.2.10 อุปกรณ์กำจัดฝุ่นและก๊าซแบบการดูดซึม (gas scrubber) เป็นระบบที่ใช้กำจัดเถ้าขนาดเล็กที่อาจหลงเหลืออยู่ เนื่องจากไซโคลนไม่สามารถดักฝุ่นขนาดเล็กๆ ได้และก๊าซพิษบางส่วนซึ่งไม่สามารถกำจัดได้หมด โดยให้ก๊าซที่ออกจากไซโคลนเข้า scrubber ทางด้านล่าง ไหลสวนทางกับน้ำที่พ่นจากด้านบนลงมาเป็นฝอยเพิ่มพื้นที่ในการสัมผัสกับก๊าซทำให้ได้ก๊าซที่สะอาดก่อนทำการปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ

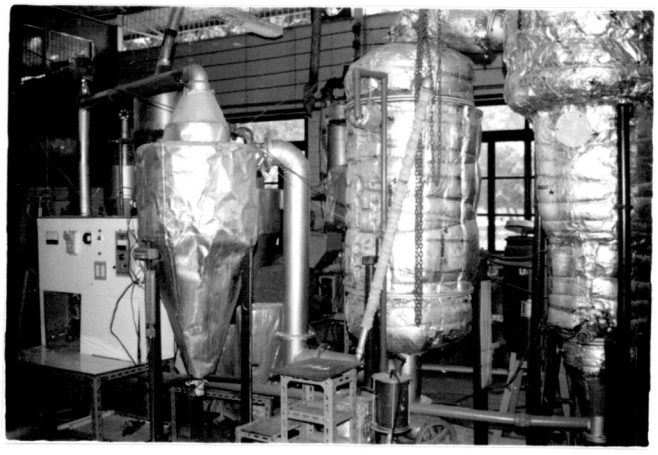
3.1.3 อุปกรณ์การชักและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เนื่องจากการเผาไหม้ให้กระแสก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงและมีไอน้ำปนอยู่ ดังนั้นในการชักตัวอย่างก๊าซเพื่อวิเคราะห์จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไม่ให้ต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (dew point) เนื่องจากถ้าอุณหภูมิของก๊าซต่ำกว่าจุดน้ำค้างแล้วก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ที่ออกมากับก๊าซร้อน จะละลายน้ำกลายเป็นกรดซัลฟุริกมีผลทำให้จุดน้ำค้างของก๊าซสูงขึ้นทำให้ปริมาณก๊าซที่วัดได้ผิดพลาดไป ในทางปฏิบัติจะรักษาอุณหภูมิของก๊าซที่จะชักตัวอย่างให้สูงกว่า 350 °ฟ (175 °ซ) และทำให้เย็นอย่างช้าๆ พร้อมกับกำจัดน้ำออกโดยใช้ silica gel ก๊าซที่เก็บนำมาวิเคราะห์ดังนี้

- ก๊าซ CO 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 และ NO ใช้เครื่อง Riken Portable Toxic model HX-7 และ SC-7 ผลิตโดยบริษัท Riken Keiki Fien Instrument Co., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- ก๊าซ CO_2 และ O_2 วิเคราะห์โดยใช้เครื่องโครมาโตกราฟรุ่น GC 121 MB ต่อกับเครื่องแสดงผล (recorder) รุ่น C-R6A Chromatopac ของบริษัท Shimadzu



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องมือในระบบการเผาไหม้ถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบด
ที่ควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือในระบบการเผาไหม้ถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบด

รูปที่ 3.3 แสดงแผงควบคุมการเผาไหม้ถ่านหินและเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

แบ่งขั้นตอนดำเนินการทดลองได้ดังนี้

3.2.1 เตรียมวัตถุดิบ

ถ่านหินซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบได้จากเหมืองบ้านปู ของบริษัท แพร่ลิกไนท์ จำกัด ส่วนโดโลไมท์ได้จากจังหวัดนครปฐม ของบริษัท เทพประทานการแร่ จำกัด นำวัตถุดิบทั้งสองมาบดและคัดขนาดโดยถ่านหินและโดโลไมท์จะมีขนาดอยู่ในช่วง 1-3 มิลลิเมตร และ 0.5-2 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำถ่านหินที่คัดได้ขนาดแล้วไปหาค่าความร้อน (heating value) วิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) และแบบแยกธาตุ (ultimate analysis) ส่วนโดโลไมท์นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมและแมกนีเซียม

3.2.2 ทำการทดลองหาค่าความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิไดซ์ของโดโลไมท์และถ่านหินที่ทำการคัดขนาดแล้ว

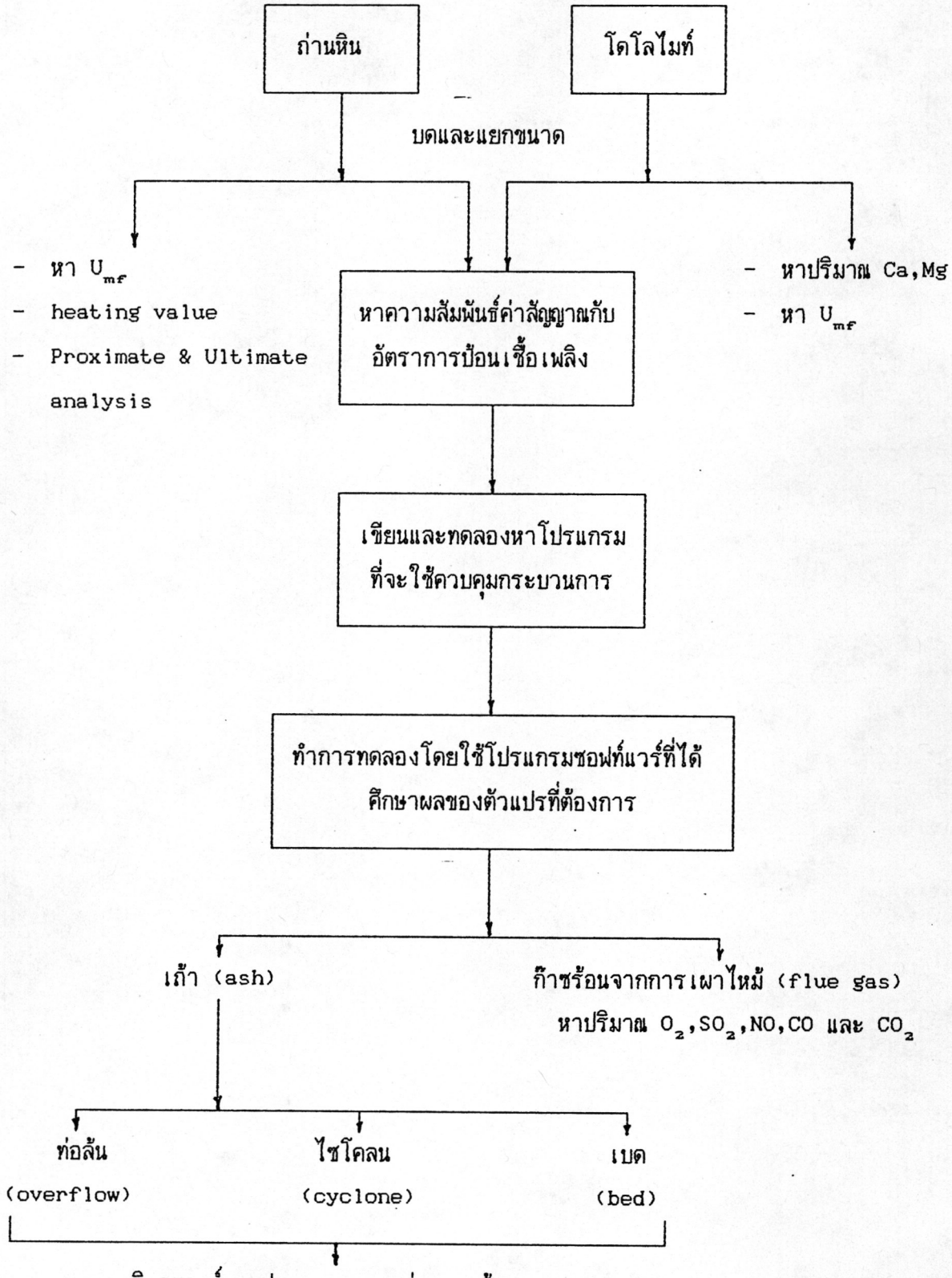
3.2.3 ทำการทดลองหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัญญาณของคอมพิวเตอร์ ความเร็วในการหมุนของมอเตอร์และปริมาณถ่านหินต่อโดโลไมท์ที่ป้อนเข้าสู่เบดต่อเวลา

3.2.4 เขียนโปรแกรมซอฟท์แวร์และนำมาใช้ทดลองเพื่อพัฒนาปรับปรุงและแก้ไขให้ได้โปรแกรมซอฟท์แวร์ที่เหมาะสมในการควบคุมกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินในฟลูอิไดซ์เบด

3.2.5 ใช้โปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ได้ทำการทดลองควบคุมการเผาไหม้ถ่านหิน โดยมีตัวแปรคือ

- ความเร็วอากาศ
- อัตราส่วนถ่านหินและโดโลไมท์ (โดยน้ำหนัก)
- อุณหภูมิเบด

มีขั้นตอนคือ เริ่มต้นทำความสะอาดภายในเตาไม่ให้มีวัตถุดิบหรือเถ้าเหลืออยู่ อุ่นเตาโดยใช้ก๊าซบิโตรเลียมเหลวจากหัวเผา (burner) จนกระทั่งเตามีอุณหภูมิประมาณ 350-400 °ซ จึงทำการป้อนถ่านหินผสมโดโลไมท์ประมาณ 200-400 กรัมด้วยโปรแกรมซอฟท์แวร์ที่ผู้ควบคุมสามารถปรับค่าการป้อนได้เอง เมื่อถ่านหินติดไฟดีแล้วจึงปิดหัวเผา แล้วจึงทำการป้อนอากาศและเชื้อเพลิงโดยพยายามรักษาอุณหภูมิให้ถึงระดับที่ต้องการจนกระทั่งมีอุณหภูมิเบดคงที่ จากนั้นเข้าสู่โปรแกรมซอฟท์แวร์แบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมอุณหภูมิเบดให้คงที่ จึงทำการเก็บตัวอย่างก๊าซจากการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง และเก็บเถ้าจากท่อล้น ไซโคลน ประมาณ 30 นาทีเป็นอย่างน้อย ทำการทดลองเช่นเดียวกันนี้โดยแปรค่าตัวแปรต่างๆข้างต้น



รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังการดำเนินการทดลอง