บทที่ 3

เครื่องมือ และ วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการคำนวณต่าง ๆ มาใช้เพื่อประมาณอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินจากองค์ประกอบในเถ้า สำหรับถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ภายในประเทศไทยที่มีความสำคัญทางด้านพลังงานสำรอง และการใช้งาน โดยเน้นถึงคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการหลอมของเถ้าถ่านหินโดยตรง คือ อุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหิน และองค์ประกอบเถ้าถ่านหิน เพื่อสร้างเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินและองค์ประกอบ

3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ภายในประเทศที่ได้รับความอนุเคราะห์มีดังนี้

- เหมืองแม่เมาะ จ. ลำปาง (ใช้สัญลักษณ์ MM) 12 ตัวอย่าง
- เหมืองกระบี่ จ. กระบี่ 2 แหล่ง คือ
  - แหล่งบางปูดำ (ใช้สัญลักษณ์ PD) 2 ตัวอย่าง
  - แหล่งคลองหวายเล็ก (ใช้สัญลักษณ์ KV) 3 ตัวอย่าง
- เหมืองบ้านปู จ. ลำพูน (ใช้สัญลักษณ์ PO) 4 ตัวอย่าง
- เหมืองป่าคา จ. ลำพูน (ใช้สัญลักษณ์ PA) 1 ตัวอย่าง
- เหมืองหนองหญ้าปล้อง จ. เพชรบุรี (ใช้สัญลักษณ์ NO) 1 ตัวอย่าง
- เหมืองนาด้วง จ. เลย (ใช้สัญลักษณ์ NA) 1 ตัวอย่าง

รวมตัวอย่างถ่านหินทั้งสิ้น 24 ตัวอย่าง

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- เครื่องบดถ่านหินชนิด Hammer mill ที่มีตะแกรงขนาด 3/8 นิ้วอยู่ภายในถ่านหินที่ผ่านการบดเป็นถ่านหินหยาบขนาดเล็กกว่า 3/8 นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร)

- เครื่องบดถ่านหินชนิด Cross beater mill ที่มีตะแกรงขนาดต่าง ๆ คือ 4.0, 2.0, 1.0 และ 0.75 มิลลิเมตร สามารถเปลี่ยนเพื่อบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กได้ตามต้องการ

- เครื่องบดถ่านหินชนิด Centrifugal ball mill สามารถบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กละเอียดมาก เพื่อให้ผ่านตะแกรงร่อน เบอร์ 60 ได้หมด

- ตะแกรงร่อน เบอร์ 60 (ขนาด 250 ไมครอน) ใช้ในการร่อนถ่านหิน

- ตะแกรงร่อน เบอร์ 200 (ขนาด 75 ไมครอน) ใช้ในการร่อนเถ้าถ่านหิน

- เครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ ชนิดอะเดียบาติก ใช้ในการหาค่าความร้อนของถ่านหินตัวอย่าง

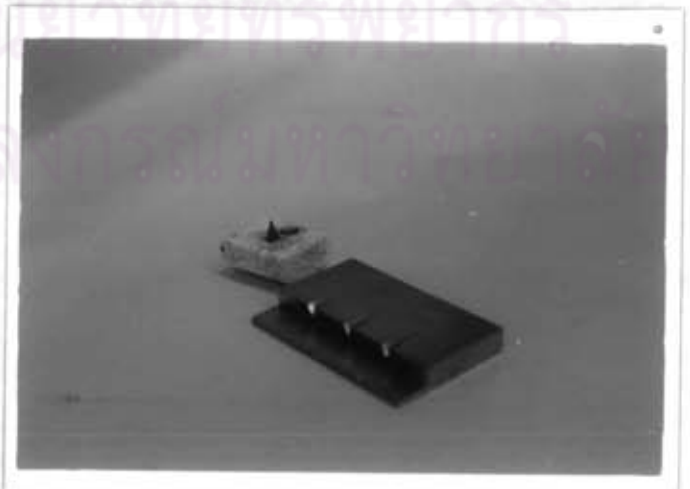
- แบบพิมพ์โคน (Cone mold) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เป็นแบบพิมพ์ใช้เตรียมเถ้าถ่านหินให้มีลักษณะเป็นโคน หรือ ปิรามิดฐานสามเหลี่ยมเล็ก ๆ มีขนาดความสูง 3/4 นิ้ว (19 มิลลิเมตร) ฐานมีความกว้างด้านละ 1/4 นิ้ว (6.4 มิลลิเมตร)

- เตาหลอมเถ้าถ่านหิน (Electric furnace for fusibility of coal ash) แสดงในรูปที่ 3.2 เป็นเตาที่ใช้ในการหาอุณหภูมิของเถ้าถ่านหินที่เตรียมให้เป็นโคน ภายในเตาเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร และมีวัสดุให้ความร้อนโดยรอบเป็น คาร์บอไนซ์ซิลิคอน (carbonized silicon) อุณหภูมิสูงสุดของเตา 1500 °ซ อัตราการให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 °ซ ต่อนาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงของโคนจากหน้ากระจกควอร์ตซ์ด้านหน้าเตาเผา

- อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมีตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3172 , ASTM D2015 , ASTM D3177 , ASTM D2492 , ASTM D3682 และ ASTM D2795 ตามภาคผนวก ก

3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ คุณภาพของถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ภายในประเทศตามหัวข้อวัสดุที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างโคนที่เตรียมขึ้น และแบบพิมพ์ (Cone mold)

รูปที่ 3.2 เตาหลอมเถ้าถ่านหิน

(Electric furnace for fusibility of coal ash)

3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์เบื้องต้น

ก. นำถ่านหิน 24 ตัวอย่างจากแหล่งต่าง ๆ คือ แม่เมาะ (MM) บางปูดำ (PD) คลองหวายเล็ก (KV) บ้านปู (PO) ป่าคา (PA) หนองหญ้าปล้อง (NO) และนาด้วง (NA) มาบดหยาบโดยเครื่อง Hammer mill, Cross beater mill และ บดให้ละเอียดด้วย Ball mill จนสามารถร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 (ขนาด 250 ไมครอน) ได้หมด ถ่านหินส่วนนี้นำมาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นต่าง ๆ คือ

- วิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ประกอบด้วย ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3172 (30)

- วิเคราะห์ค่าความร้อน (gross heating value) โดย Adiabatic bomb calorimeter ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2015 (34)

- วิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวมในถ่านหิน (total sulfur) โดยวิธี Eschka ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3177 (35)

- วิเคราะห์รูปแบบกำมะถัน (forms of sulfur) 3 รูปแบบ คือ กำมะถันซัลเฟต กำมะถันไพไรต์ และกำมะถันอินทรีย์ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D2492 (36)

ข. นำถ่านหินที่เตรียมได้ในข้อ ก (ขนาด 250 ไมครอน) เผาเพื่อให้กลายเป็นเถ้าถ่านหิน บดเถ้าให้ละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 200 (ขนาด 75 ไมครอน)

เพื่อนำเถ้าส่วนนี้ไปวิเคราะห์

- วิเคราะห์อุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหิน (ash fusion temperature) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1857 (13)

- วิเคราะห์องค์ประกอบในเถ้าถ่านหิน (ash analysis) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3682, ASTM D2795 (38, 39)

(รายละเอียดการวิเคราะห์ทั้งหมดอยู่ในภาคผนวก ก)

3.4.2 การรวบรวมข้อมูลผลการวิเคราะห์อุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหิน และองค์ประกอบในเถ้าของถ่านหินภายในประเทศของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้ ของเหมืองแม่เมาะจำนวน 285 ตัวอย่าง

(ข้อมูลผลการวิเคราะห์เถ้าถ่านหินที่รวบรวมได้ แสดงในภาคผนวก ข)

3.4.3 การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินและองค์ประกอบของเถ้าถ่านหินที่รวบรวมไว้ในข้อ 3.4.2 เพื่อหารูปแบบของความสัมพันธ์ที่ใช้ประมาณอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหิน 3 วิธี คือ

1. โดยใช้ไดอะแกรมกราฟสามเหลี่ยม ที่มีแกนเป็นร้อยละเบส ฟลักซ์ แอซิดิกออกไซด์ และนอนฟลักซ์แอซิดิกออกไซด์ โดยอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินประมาณได้จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินที่มีอยู่ในไดอะแกรม

2. โดยใช้หลักของสมการถดถอยเชิงซ้อน ที่มีตัวแปรเป็นร้อยละเบส เบสกำลังสอง แอซิดฟลักซ์แฟกเตอร์ และเบสิกฟลักซ์แฟกเตอร์ เป็นต้น เพื่อให้ได้สมการที่มีค่า R^2 ใกล้ 1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ และ ผลต่างของอุณหภูมิอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D1857

3. โดยใช้สหสัมพันธ์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ระหว่างอุณหภูมิการหลอมของเถ้าและองค์ประกอบต่าง ๆ ในเถ้า ตามหลักการที่ Attar และผู้ร่วมงาน เสนอไว้ในสมการ (2.22)

(รายละเอียดขั้นตอนการประมาณอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินแสดงในภาคผนวก ค)

3.4.4 การประมาณอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินจากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นจากข้อ 3.4.3 โดยใช้ผลของเถ้าถ่านหินที่ได้วิเคราะห์ไว้ในข้อ 3.4.1 เป็นตัวตรวจสอบ

3.4.5 การวิเคราะห์ผลและสรุปผลการวิจัย จากความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ประมาณอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหินทั้ง 3 วิธี เลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณอุณหภูมิการหลอมของเถ้าถ่านหิน โดยพิจารณาจากผลต่างของอุณหภูมิที่ประมาณได้ในช่วงกำหนดของมาตรฐาน ASTM D1857 ($\pm$55 °ซ) และ R^2 มีค่าใกล้ 1

ขั้นตอนต่าง ๆ ในงานวิจัยสามารถสรุปโดยย่อให้เห็นชัดเจน ดังนี้