



### บทที่ 3

#### เครื่องมือและวิธีการทดลอง

การนำความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลวิเคราะห้แบบประมาธมาใช้ในการคำนวณค่าความร้อนแทนการทดลองโดยตรงจากเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็ว และในทางกลับกันอาจใช้ทดสอบความถูกต้องของผลวิเคราะห้แบบประมาธได้ด้วย มิงงานวิจัยของต่างประเทศได้กล่าวถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวของถ่านหินค้กดีต่าง ๆ ไว้เมื่อนำความสัมพันธ์เหล่านี้มาใช้กับถ่านหินในประเทศไทยพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง โดยที่ถ่านหินในประเทศไทยส่วนใหญ่มีค้กดีซิบิทูมินัส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ดังกล่าวของถ่านหินแหล่งต่าง ๆ ในประเทศไทยโดยตรง โดยนำตัวอย่างถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ เท่าที่สามารถหาได้มาทำการวิเคราะห้คุณสมบัติ ได้แก่ ค่าความร้อน การวิเคราะห้แบบประมาธ และปริมาธกำมะถันรวม นำผลวิเคราะห้ที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลวิเคราะห้แบบประมาธ นำข้อมูลผลวิเคราะห้จากหน่วยงานภายนอกมาทดสอบความสัมพันธ์ที่ได้วิเคราะห้และสรุปผล เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับถ่านหินในประเทศไทยโดยตรง

#### 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- แหล่งบ้านไธสง จ.ลำพูน (BH)	จำนวน	31	ตัวอย่าง
- แหล่งบ้านปู้ จ.ลำพูน (BP)	"	29	"
- แหล่งแม่ล่อง จ.ลำพูน (ML)	"	8	"
- แหล่งป่าคา จ.ลำพูน (PK)	"	1	"
- แหล่งแม่ต๊ิบ จ.ลำปาง (MTP)	"	6	"
- แหล่งแม่เมาะ จ.ลำปาง (MM)	"	4	"
- แหล่งแม่ตั้น จ.ตาก (MTN)	"	4	"
- แหล่งหนองหญ้าปล้อง จ.เพชรบุรี (NYP)	"	6	"
- แหล่งคลองห้วยเล็ก จ.กระบี่ (KVL)	"	1	"
- แหล่งกระบี่ จ.กระบี่ (KB)	"	1	"

รวมตัวอย่างถ่านหินทั้งสิ้น 91 ตัวอย่าง ตัวอักษรในวงเล็บแสดงสัญลักษณ์ของถ่านหินแหล่งนั้น ๆ ในการนำไปใช้งานต่อไป

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 เครื่องบดถ่านหินชนิด Hammer mill ที่มีตะแกรงขนาด 9.5 มม. อยู่ภายใน ถ่านหินที่ได้จากการบดเป็นถ่านหินหยาบมีขนาดเล็กกว่า 9.5 มม.

3.2.2 เครื่องบดถ่านหินชนิด Cross beater mill ที่มีตะแกรงขนาดต่าง ๆ คือ ขนาด 4.0, 2.0, 1.0, และ 0.75 มิลลิเมตร สามารถบดถ่านหินให้มีขนาดเล็กมากจนละเอียดเป็นผง

3.2.3 เครื่องบดถ่านหินชนิด Centrifugal ball mill สามารถบดถ่านหินที่ละเอียดเป็นผงจนผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 60 (ขนาด 250 ไมครอน) ได้ทั้งหมด

3.2.4 เครื่องร่อนและตะแกรงร่อนเบอร์ 60 ใช้ในการร่อนถ่านหินก่อนนำไปวิเคราะห์

3.2.5 เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์แบบแอดิยาเบติก (adiabatic bomb calorimeter) พร้อมอุปกรณ์ ตามมาตรฐาน ASTM D 2015 (18)

3.2.6 เตาอบ (drying oven)

3.2.7 เตาเผา (muffle furnace)

3.2.8 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM D 3173, D 3174, D 3175 และ D 3177 (19,20,21,22) ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก

### 3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง และการวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ของถ่านหิน

นำถ่านหินทั้ง 91 ตัวอย่าง มาบดหยาบโดยเครื่องบดชนิด Hammer mill ผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มม. ผึ่งตัวอย่างไว้ในอากาศบนพื้นที่ที่สะอาดเป็นเวลาประมาณ 7-10 วัน นำมาบดต่อโดยเครื่องบดชนิด Cross beater mill ที่มีตะแกรงขนาดต่าง ๆ และโดยเครื่องบดชนิด Centrifugal ball mill จนถ่านหินที่ได้สามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 ได้ทั้งหมด เก็บถ่านหินที่ได้แต่ละตัวอย่างในขวดพลาสติกที่มีฝาปิดสนิท นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- วิเคราะห์ค่าความร้อน (gross heating value) โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์แบบแอดิยาเบติก ตามมาตรฐาน ASTM D 2015

- วิเคราะห์แบบประมาณ (proximate analysis) ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ความชื้น (moisture) ตามมาตรฐาน ASTM D 3173, เถ้า (ash) ตามมาตรฐาน ASTM D 3174, สารระเหยได้ (volatile matter) ตามมาตรฐาน ASTM D 3175 และ คาร์บอนคงตัว (fixed carbon) ตามมาตรฐาน ASTM D 3172 (23)

- วิเคราะห์ปริมาณกำมะถันรวม (total sulfur) โดยวิธี Bomb washing method ตามมาตรฐาน ASTM D 3177

### 3.3.2 การแบ่งข้อมูลผลวิเคราะห์ตามคักดิ์ (rank)

นำข้อมูลผลวิเคราะห์ของถ่านหินทั้ง 91 ตัวอย่าง แบ่งคักดิ์ตามมาตรฐาน ASTM D 388 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 เพื่อนำข้อมูลผลวิเคราะห์ของถ่านหินแต่ละคักดิ์มาสร้างความสัมพันธ์

### 3.3.3 การจัดการข้อมูลผลวิเคราะห์

การจัดการข้อมูลผลวิเคราะห์เป็นการเลือกข้อมูลผลวิเคราะห์มาสร้างความสัมพันธ์ โดยพิจารณาจากร้อยละเถ้า ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ต้องมีเถ้าต่ำกว่าร้อยละ 33 เนื่องจากถ่านหินที่มีปริมาณเถ้าสูงกว่าร้อยละ 33 โดยน้ำหนัก จัดว่าไม่เป็นถ่านหิน (24)

### 3.3.4 การหารูปแบบของความสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

การหารูปแบบของความสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานมีวิธีการดังนี้

ก. นำข้อมูลผลวิเคราะห์ของถ่านหินแต่ละคักดิ์ที่จัดการข้อมูลแล้วมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนกับผลวิเคราะห์แบบประมาณในรูปแบบต่าง ๆ

ข. เลือกรูปแบบความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเชิงซ้อน (the coefficient of multiple determination,  $R^2$ ) ที่มีค่าใกล้เคียง 1 มากที่สุด ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย และคำนึงถึงความสะดวกในการนำความสัมพันธ์ไปใช้งาน

### 3.3.5 การรวบรวมข้อมูลผลวิเคราะห์ที่ได้จากหน่วยงานภายนอก

ข้อมูลผลวิเคราะห์ของถ่านหินจากแหล่งต่าง ๆ ภายในประเทศได้รับความอนุเคราะห์จากหน่วยงานราชการ และห้องปฏิบัติการของบริษัทเอกชนที่เชื่อถือได้ ได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี, บริษัท วิศวกรรมเคมี จำกัด, รายงานผลการวิจัยโครงวิจัยแบบผสมผสาน เพื่อการพัฒนาถ่านหินในประเทศไทย คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (25) ซึ่งมีแหล่งต่าง ๆ ดังนี้

- แหล่งบ้านปู จ.ลำพูน (BP)
- แหล่งบ้านไธสง จ.ลำพูน (BH)
- แหล่งป่าคา จ.ลำพูน (PK)
- แหล่งนาทราย จ.ลำพูน (NS)
- แหล่งแม่เมาะ จ.ลำปาง (MM)
- แหล่งแม่ต๊ิบ จ.ลำปาง (MTP)
- แหล่งแม่ลาย จ.เชียงใหม่ (MLI)
- แหล่งบ่อสลี จ.เชียงใหม่ (BSL)
- แหล่งปางบ่อ จ.เชียงใหม่ (PP)
- แหล่งหนองป่าทุ่ง จ.ตาก (NPT)
- แหล่งสุเจ จ.ตาก (SC)

- แหล่งหนองหน้าปล้อง จ.เพชรบุรี (NYP)
- แหล่งเขาสินลา จ.สุราษฎร์ธานี (KSL)
- แหล่งเขามูด จ.สุราษฎร์ธานี (KM)
- แหล่งสะพานไทร จ.สุราษฎร์ธานี (SPS)
- แหล่งควนกลิ้ง จ.สุราษฎร์ธานี (KKI)
- แหล่งหนองหว่า จ.นครศรีธรรมราช (NW)
- แหล่งพระม่วง จ.ตรัง (PM)
- แหล่งกระบี่ จ.กระบี่ (KB)

รวมข้อมูลผลวิเคราะห์ทั้งสิ้นประมาณ 400 ข้อมูล และตัวอักษรในวงเล็บ แสดงสัญลักษณ์ของแหล่งนั้น ๆ ในการนำไปใช้งานต่อไป

### 3.3.6 การทดสอบความสัมพันธ์

การทดสอบความสัมพันธ์ทำได้โดย นำความสัมพันธ์ที่หาได้มาหาค่าความคลาดเคลื่อน (% err) ระหว่างค่าความร้อนที่คำนวณได้จากความสัมพันธ์ ( $HV_{ca1}$ ) กับค่าความร้อนที่ได้จากการทดลอง ( $HV_{exp}$ ) ของข้อมูลผลวิเคราะห์แต่ละข้อมูล แล้วนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ความสัมพันธ์ที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำเป็นความสัมพันธ์ที่จะนำไปใช้งาน

การทดสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลผลวิเคราะห์ที่ได้จากการทดลอง นำข้อมูลผลวิเคราะห์ที่ได้รับมาในข้อ 3.3.5 ทำตามวิธีดังนี้

ก. นำข้อมูลผลวิเคราะห์จากแต่ละหน่วยงานทำตามข้อ 3.3.2 และ 3.3.3

ข. หาค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละข้อมูล และค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย

### 3.3.7 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

นำทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมาช่วยอธิบายผลการทดลอง เสนอความสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานสำหรับถ่านหินในประเทศไทย

ขั้นตอนต่าง ๆ ในงานวิจัยสามารถสรุปให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้นได้ดังหน้าถัดไป

