บทที่ 3

แบบจำลองเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง

3.1 บทนำ

แบบจำลองเตาผลิตก๊าซแบบไหลลงที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ค่า Equilibrium (Zainal, 2000) ใช้สำหรับทำนายกระบวนการ Gasification ในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง โดยจะทำนายค่า องค์ประกอบของก๊าซ ในโปรดิวเซอร์แก๊ส และหาค่าพลังงานความร้อนของโปรดิวเซอร์แก๊ส อัตราส่วน Air/fuel ratio , อัตราการผลิตแก๊สที่ได้ ซึ่งจะพิจารณาตัวแปร คุณสมบัติของเชื้อเพลิง , ความชื้นของเชื้อเพลิง , อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในชั้นรีดักชั่นโซน

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองโดยใช้ Equilibrium Model ซึ่งในแบบจำลองจำเป็นต้องทราบค่าคุณสมบัติของเชื้อเพลิงก่อน ดังนั้นจึงต้องศึกษาคุณสมบัติของเศษถ่านซึ่งเป็นวัสดุที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตแก๊สก่อน ซึ่งผลจากแบบจำลองจะทำให้ทราบ องค์ประกอบแก๊ส, ค่าพลังงานความร้อนของแก๊ส , อัตราส่วน Air/fuel ratio , อัตราการผลิตแก๊สที่ได้ หลังจากหาค่าต่างๆ ได้แล้วจะนำค่าที่ได้ไปทำการออกแบบตัวเตาดังจะกล่าวในบทที่ 4 จากนั้นจะนำค่าที่ได้จากแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งจะกล่าวในบทที่ 5

3.2 สมบัติของเศษถ่าน

เศษถ่านที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ เป็นถ่านที่ได้จากการเผาไหม้ไม้ฟืน (ไม้ยางพารา) ในหม้อไอน้ำซึ่งระหว่างการเผาไหม้พบว่ามีเศษถ่านที่ร่วงหล่นจากตะกรับเตา จึงนำเศษถ่านดังกล่าวมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาผลิตก๊าซ และนำมาหาค่า ขนาดของเศษถ่านโดยการคัดขนาด ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ Proximate Analysis, Higher Heating Value ณ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และค่า Ultimate Analysis ณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ซึ่งสมบัติของเศษถ่านที่วิเคราะห์ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. และผลการวิเคราะห์สมบัติเศษถ่านพบว่า ขนาดของเศษถ่านอยู่ในช่วง +3/8,-3/4 in. (โดยที่ 50% Passing ที่ขนาด 3/4 in. และที่ 10% Passing ขนาด 3/8 in.)

มีค่าความหนาแน่น 167 kg/m^3 ค่าปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 9 – 13 % คิดเป็นปริมาณความชื้นเฉลี่ย 11.10% ค่าปริมาณขี้เถ้าอยู่ระหว่าง 14 – 17% คิดเป็นขี้เถ้าเฉลี่ย 15.86 % ค่าปริมาณสารระเหยอยู่ระหว่าง 22 – 25% คิดเป็นปริมาณสารระเหยเฉลี่ย 23.85% ค่าปริมาณคาร์บอนคงตัวอยู่ระหว่าง 46 –50% คิดเป็นปริมาณคาร์บอนคงตัวเฉลี่ย 49.19% นอกจากนี้ยังได้ทดสอบค่า Ultimate Analysis ได้ค่า C, H, N, O, S เท่ากับ 66.42%, 0.91%, 0.28%, 13.81%, และ ซัลเฟอร์ไม่พบ (คิดฐานแห้ง) ส่วนค่าทางความร้อนของเศษถ่าน มีค่าเฉลี่ย 20.32 MJ/kg

3.3 การสร้างแบบจำลองในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง

สมมุติฐานและข้อตกลงเบื้องต้น

(1) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในตัวเตาผลิตแก๊สอยู่ในสภาพ Thermodynamic Equilibrium

(2) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียงตามลำดับการเกิดปฏิกิริยา

Pyrolysis $\Rightarrow$ Oxidation $\Rightarrow$ Reduction

(3) แบบจำลองที่ได้สำหรับใช้ในเตาผลิตก๊าซแบบไหลลง

(4) กำหนดให้เศษถ่านมีความชื้น 11% (จากเศษถ่านที่วิเคราะห์ ตามภาคผนวก ก.)

(5) ให้อุณหภูมิที่รีดักชั่นโซน 830°C (เป็นโซนที่คายความร้อนมีอุณหภูมิสูง 750-900°C จึงใช้ค่าเฉลี่ย) (Zainal, 2000)

(6) ให้อุณหภูมิแวดล้อมที่ 35°C (เนื่องจากบริเวณใกล้เตา)

ปฏิกิริยาสำคัญที่เกิดขึ้น

$$C + CO_2 = 2CO \qquad (3.1)$$

$$C + H_2O = CO + H_2 \qquad (3.2)$$

$$C + 2H_2 = CH_4 \qquad (3.3)$$

สมการที่ (3.2)-(3.1)

$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 \qquad (3.4)$$

หาค่า Equilibrium constant จากสมการการเกิดมีเทน (3.3)

$$K_1 = \frac{[CH_4]}{[H_2]^2} \qquad (3.5)$$

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

และค่า Equilibrium constant จากสมการ shift reaction (3.4)

$$K_2 = \frac{[CO_2][H_2]}{[CO][H_2]} \qquad (3.6)$$

สมการโครงสร้างอย่างง่ายของเศษถ่านที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง คือ

$CH_{0.164}O_{0.156}$ (จากข้อมูลการวิเคราะห์ค่า C, H, N, O และ S ในภาคผนวก ก.)

สมการทั่วไปของการเกิดปฏิกิริยา gasification สามารถเขียนได้ดังนี้

$$CH_{0.164}O_{0.156} + wH_2O + mO_2 + 3.76mN_2 = x_1H_2 + x_2CO + x_3CO_2 + x_4H_2O + x_5CH_4 + 3.76mN_2 \qquad (3.7)$$

จากสมการที่ (3.7) พบว่ามี 7 ตัวแปร และตัวแปร w สามารถหาได้จากปริมาณน้ำต่อกิโลโมลของเศษถ่าน

MC = Moisture content per mol of wood

$$MC = \frac{\text{mass of water}}{\text{Mass of wet biomass}} \times 100\ \% \quad \Rightarrow \quad MC = \frac{18w}{24 + 18w} \times 100\%$$

$$w = \frac{24MC}{18(1-MC)}$$

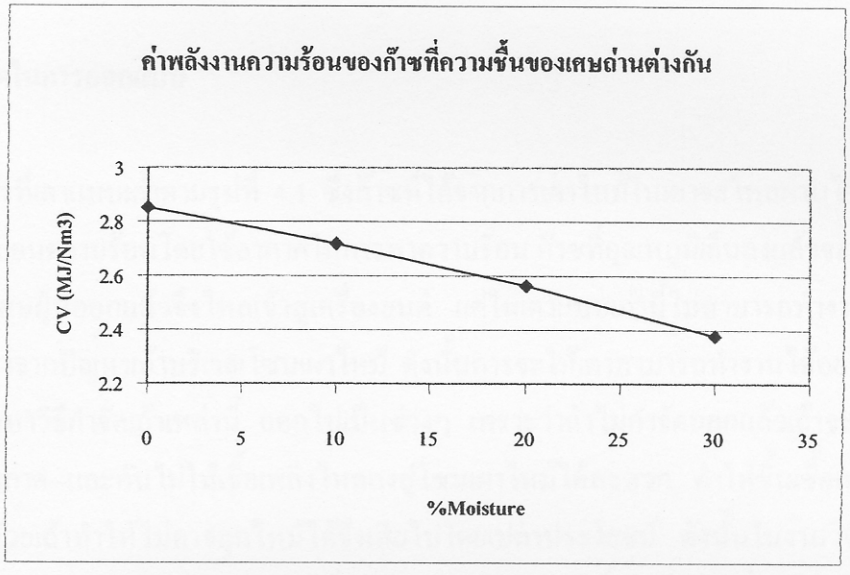
ดังนั้นจึงมีตัวแปรไม่ทราบค่า 6 ค่า ดังนี้ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 และ m และในการหาค่าตัวแปรทั้ง 6 ตัว จำเป็นต้องหาสมการเพิ่มเติม เพื่อที่จะหาค่าตัวแปรดังกล่าว สร้างสมการเพิ่มเติมจาก สมดุลมวล, ค่า Equilibrium constant , สมดุลพลังงาน ซึ่งวิธีการหาได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

3.4 ผลการจำลอง

จากสมการ (3.7) จะมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า 6 ค่า x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 และ m ซึ่งหลังจากใช้วิธีการจำลองโดยใช้ Equilibrium Model โดยกำหนดให้ ความชื้นของเศษถ่าน 11% (จากการวิเคราะห์), T1 เท่ากับ 35°C (Ambient temperature) และ T2 เท่ากับ 830°C (Reduction temperature) และแก้สมการโดยใช้วิธี Newton-rahpson ซึ่งได้แสดงโปรแกรมการคำนวณไว้ในภาคผนวก ค. ได้ผลลัพธ์ดังสมการ

$$CH_{0.164}O_{0.156}+0.101H_2O+0.589O_2+3.76(0.589)N_2=0.134H_2+0.611CO+0.389CO_2+0.047H_2O$$
$$0.001CH_4+3.76(0.589)N_2$$

จากสมการข้างต้นพบว่าเศษถ่าน 1 kg ต้องใช้ปริมาณอากาศเข้าไปเผาไหม้จำนวน 5.10 kg หรือ Air/Fuel Ratio=5.10 และได้ปริมาณก๊าซจำนวน 5.22 Nm^3/kg (fuel) ดังนั้นเมื่อให้อัตราการใช้เชื้อเพลิง (เศษถ่าน) เท่ากับ 3.3 kg/hr จะต้องใช้ปริมาณอากาศในการเผาไหม้ 16.83 kg/hr และ ปริมาณก๊าซที่ได้เท่ากับ 17.23 Nm^3/hr ก๊าซที่ได้มีองค์ประกอบ H_2, CO, CO_2, CH_4, N_2 เท่ากับ 4.01, 18.23, 11.60, 0.02, 66.14 มีค่าพลังงานความร้อนของก๊าซเท่ากับ (Calorific value) 2.74MJ/Nm^3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนของก๊าซที่ได้เมื่อใช้เชื้อเพลิงที่ความชื้นต่างๆ กันพบว่าที่ความชื้นของเศษถ่านซึ่งมีค่าความชื้นต่ำจะทำให้ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซมีค่าสูงขึ้นดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซที่ค่าความชื้นของเศษถ่านต่างกัน

ดังนั้นการนำเศษถ่านไปใช้ในการเผาไหม้ในเตาผลิตก๊าซจำเป็นต้องนำเศษถ่านที่มีความชื้นต่ำมาใช้งาน หรือนำพลังงานความร้อนมาอุ่นเศษถ่านเพื่อลดความชื้นของเศษถ่าน อันจะเป็นผลทำให้ก๊าซที่ได้มีค่าพลังงานความร้อนที่สูงขึ้น