หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถนำมาอภิปรายได้เป็นหัวข้อ ดังต่อไปนี้

5.1 คุณสมบัติของถ่านไม้

จากคุณสมบัติถ่านไม้ที่วิเคราะห์ได้นั้น พบว่า ถ่านไม้ที่ใช้มีค่าความร้อนสูงปานกลาง มีปริมาณเถ้าและความชื้นต่ำ ทำให้มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตน้อยมาก โดยเฉพาะความชื้นต่ำจะทำให้ปฏิกิริยาภายในเตาผลิตก๊าซไม่ยุ่งยากซับซ้อน แสดงว่าปฏิกิริยาภายในเตาเกิดจากคาร์บอนของถ่านไม้ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเป็นสำคัญ ส่วนปริมาณสารระเหยที่มีค่าสูงถึง 30 % โดยน้ำหนัก จะมีผลกระทบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมา เนื่องจากก๊าซที่ผลิตได้จากเตาผลิตก๊าซชนิด Up-draught เกิดขึ้น 2 ระดับ(10) คือ ระดับได้จากโซนรีดักชัน ระดับที่สองได้จาก distillation zone ที่อยู่เหนือเบด เกิดการแตกตัวของสารระเหย (Volatile matter) ได้เป็น top gas ลอยออกจากเตาพร้อมกัน

5.2 ผลของการหาปริมาณก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และ อุณหภูมิตลอดความสูงเบด

ในการทดลองทำการวัดอุณหภูมิและเก็บตัวอย่างก๊าซตลอดความสูงเบด โดยเริ่มที่ 5, 10, 15, 20, 30, 40 และ 50 ซม. จากนั้นนำอุณหภูมิและองค์ประกอบก๊าซที่วิเคราะห์ได้ในที่นี้ก็คือ % CO และ % CO_2 มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ที่ตลอดความสูงเบด ดังนั้นในการทดลอง 1 ครั้ง จะได้แนวเส้น 3 แนวเส้น คือ แนวเส้นอุณหภูมิ, แนวเส้น % CO_2 และ แนวเส้น % CO

แนวเส้นแต่ละเส้นมีความสัมพันธ์กันดังนี้ ที่ความสูงช่วงแรก มีอุณหภูมิสูงเนื่องจากเกิดการเผาไหม้ของ C ได้ CO_2 และพลังงานความร้อน สังเกตุได้ว่าปฏิกิริยาการเกิด CO มีโอกาสน้อย นอกจากนี้ CO ที่เกิดขึ้นในอาณาเขตนี้ยังทำปฏิกิริยาต่อไปได้เป็น CO_2 ซึ่งดูจากผลวิเคราะห์จะพบว่าปริมาณ CO น้อยลงจนถึงที่ความสูงของเบดค่าหนึ่งจะมีอุณหภูมิและ % CO_2 มากที่สุด ขณะที่ % CO น้อยที่สุด จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงไปเรื่อย ๆ ตลอดความสูงเบด ส่วน % CO_2 จะลดลงอย่างรวดเร็วเพียงความสูงช่วงหนึ่ง แล้วปริมาณการลดของ CO_2 ชลอตัวจนเกือบคงที่ สำหรับ % CO มีแนวโน้มที่ตรงข้ามกับ % CO_2 คือ ขณะที่ % CO_2 ลดลงอย่างรวดเร็ว % CO ก็จะเพิ่มขึ้นมากและขณะที่ % CO_2 ลดลงอย่างช้า ๆ % CO ก็จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยลงเช่นกัน

เมื่อนำความสัมพันธ์นี้มาพิจารณาจากกราฟทั้ง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก รูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 กลุ่มที่สอง รูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7 และกลุ่มสุดท้าย รูปที่ 4.9, 4.10 และ 4.11 พบว่า ในแต่ละกลุ่มมีแนวโน้มเหมือนกันดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น จึงอาจสรุปได้ว่าทุกผลการทดลอง แนวเส้นอุณหภูมิและแนวเส้น % CO_2 มีแนวโน้มคล้ายคลึงกัน ในขณะที่แนวเส้น % CO จะมีแนวโน้มตรงกันข้ามกับแนวเส้นทั้งสอง

จากความสัมพันธ์เหล่านี้ทำให้สามารถแบ่งช่วงความสูงเบดออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น ช่วงนี้จะเห็นว่ามี % CO_2 มาก แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของคาร์บอนกับออกซิเจนเหนือแผ่นกระจายอากาศได้เป็น CO_2 ในขณะเดียวกันก็พบปริมาณ CO ด้วย แสดงว่าเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากแผ่นกระจายอากาศงอ ไม่เรียบและเกิดการอุดตันขึ้น ทำให้การกระจายอากาศเป็นไปอย่างไม่ทั่วถึงจึงเกิดปฏิกิริยานี้ ปฏิกิริยาของการเกิด CO_2 เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน อุณหภูมิในบริเวณนี้จึงสูงมาก และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่า % CO_2 เพิ่มขึ้น ขณะที่ % CO ลดลง แสดงว่าน่าจะเกิดการเผาไหม้ของ CO อีกครั้งหนึ่งกับออกซิเจนที่เหลือ เมื่อพิจารณาจากกราฟของ % CO กับอุณหภูมิทั้ง 3 รูป คือ รูปที่4.4, 4.8 และ 4.12 จะเห็นว่ามีแนวโน้มที่เหมือนกัน กล่าวคือ ที่อุณหภูมิต่ำพบปริมาณ CO มาก และจะลดลงไปเรื่อย ๆ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แสดงว่า CO เสถียรได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ แม้ว่าจะมี O_2 อยู่ด้วย แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเสถียรภาพของ CO ลดลง CO จะทำปฏิกิริยากับ O_2 ได้เป็น CO_2 ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นจึงทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น

ช่วงที่สอง เป็นช่วงความสูงที่อุณหภูมิลดลง ในช่วงนี้แบ่งเป็น 2 ระดับ ระดับแรก % CO_2 ลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ % CO เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงว่าเกิดปฏิกิริยารีดักชันของ CO_2 กับคาร์บอนที่ลุกแดงได้เป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ปฏิกิริยานี้มีชื่อว่า "Boudouard reaction" เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ซึ่งจะดูดความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ในส่วนล่างมาใช้ ทำให้บริเวณนี้มีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนระดับที่สองพบว่า % CO_2 ลดลงเพียงเล็กน้อย ขณะที่ % CO เพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยลงเช่นกัน เนื่องจากปฏิกิริยานี้เกิดได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 850-1100 °ซ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจนเกินช่วงอุณหภูมินี้ จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลงไปด้วย แต่จะเห็นว่าอุณหภูมิในระดับนี้ยังคงลดลงไปเรื่อยๆ แทนที่จะลดลงไปเพียงเล็กน้อย เช่นเดียวกับ % CO_2 แสดงว่ามีการนำความร้อนไปใช้ในด้านอื่น และเนื่องจากในการทดลองทำการป้อนถ่านไม้เข้าสู่เตาที่เหนือเบดประมาณ 10 ซม. ความร้อนที่หายไปจึงคาดว่าจะนำไปใช้ในการ pre heat ถ่านไม้ก่อนนั่นเอง

จากผลการทดลองในแต่ละการทดลอง จะพบว่ามีปริมาณ O_2 ตลอดความสูงเบดและในก๊าซผลิตภัณฑ์ ทั้งที่จากทฤษฎีการก๊าซซิฟาย กล่าวว่าจะพบ O_2 ในโซนออกซิเดชันเท่านั้น สำหรับ

ในโซนรีดักชันพบน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย เนื่องจากการทดลองนี้เป็นระบบฟลูอิไดเซชัน เกิดการฟลูอิไดซ์ด้วยอากาศ ดังนั้นจึงพบปริมาณ O_2 ในโซนรีดักชัน เนื่องจากในช่วงที่ 2 มีอุณหภูมิลดลง CO ซึ่งเสถียรได้ดีในอุณหภูมิต่ำ ๆ จึงทำปฏิกิริยากับ O_2 น้อยลง และปฏิกิริยา Boudouard ยังคงดำเนินไปเรื่อย ๆ ในอัตราที่ลดลง จึงทำให้ในช่วงที่สองนี้ มีปริมาณ CO เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ส่วนปริมาณ O_2 นั้นจะลดลงไปเพียงเล็กน้อย

5.3 การแบ่งแยกโซนออกซิเดชันและรีดักชัน

จากการแบ่งแยกความสูงเบดออกเป็น 2 ช่วงในหัวข้อที่ 5.2 เมื่อนำไปพิจารณากับการศึกษาของ Campbell (17) และ Foley & Barnard (18) จะเห็นว่าผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของทั้งสอง กล่าวคือ ช่วงแรกที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก็คือ โซนออกซิเดชัน และช่วงที่สองเกิดปฏิกิริยารีดักชันก็คือ โซนรีดักชัน จากความสัมพันธ์ของแนวเส้นทั้งสามที่กล่าวมาแล้ว ปฏิกิริยาที่คาดว่าน่าจะเกิดในแต่ละโซนของเตาผลิตก๊าซนี้ คือ

โซนออกซิเดชัน

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (5.1)$$

$$C + 1/2\ O_2 \longrightarrow CO \qquad (5.2)$$

$$CO + 1/2\ O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (5.3)$$

โซนรีดักชัน

$$C + CO_2 \longrightarrow 2\ CO \qquad (5.4)$$

จากปฏิกิริยาทั้งหมดจะเห็นว่า ตัวแปรที่มีผลต่อ อุณหภูมิและองค์ประกอบก๊าซ คือ ปริมาณคาร์บอนและออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยากัน ซึ่งตัวแปรทั้งสองมาจาก การป้อนถ่านไม้และการป้อนอากาศนั่นเอง

5.4 ผลของตัวแปรที่มีต่อการเกิดโซนออกซิเดชันและรีดักชัน

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากถ่านไม้ เกิดจากคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ปฏิกิริยาที่เกิดมีทั้งคายความร้อนและดูดความร้อน การเกิดโซนออกซิเดชันและรีดักชัน พิจารณาจากอุณหภูมิและองค์ประกอบก๊าซที่ได้ ดังนั้นตัวแปรที่มีผลต่อโซนทั้งสอง ก็คือ การป้อนถ่านไม้และการป้อนอากาศ

5.4.1 อัตราการไหลของอากาศ

อากาศเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซซิฟิเคชัน เพราะถ้ามีปริมาณอากาศเข้าสู่เบดมากเกินไป จะกลายเป็นการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ สำหรับฟลูอิไดเซชันความเร็วของอากาศเป็นตัวกำหนดการเกิดฟลูอิไดซ์ ดังนั้นในการทดลองจึงใช้ความเร็วอากาศต่ำกว่าและสูงกว่า ค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ (U_{mf}, วัดที่อุณหภูมิห้อง ความดันบรรยากาศ) เพียงเล็กน้อยเพื่อควบคุมปริมาณอากาศที่เข้า แม้ว่าบางการทดลองจะใช้ค่าความเร็วอากาศต่ำกว่า แต่เบดก็ยังเกิดในลักษณะฟลูอิไดซ์เช่นกัน เพราะอุณหภูมิภายในเบดสูงมาก เมื่ออากาศผ่านแผ่นกระจายอากาศขึ้นมา ก็จะขยายตัวทันที ทำให้ความเร็วเพิ่มขึ้นจากเดิมจนเกิดการฟลูอิไดซ์ (3)

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าที่แต่ละอัตราการป้อนถ่านไม้ เมื่อเปลี่ยนค่าอัตราการไหลเข้าของอากาศ จะได้ว่ามีเพียงค่าหนึ่งที่ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ออกจากเตาผลิตก๊าซสูงที่สุดและมีเสถียรภาพ ถ้าอัตราการไหลของอากาศมากหรือน้อยกว่าค่านั้น ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และเสถียรภาพจะลดลง ดังนั้นที่การป้อนถ่านไม้ค่าหนึ่ง จึงต้องทำการแปรค่าอัตราการไหลเข้าของอากาศให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมนี้ด้วย

อัตราการไหลของอากาศเป็นตัวกำหนดปริมาณออกซิเจน ที่เข้าทำปฏิกิริยาในแต่ละการทดลอง และจากสมการในหัวข้อที่ 5.3 จะเห็นว่าการเพิ่มหรือลดปริมาณออกซิเจน จะมีผลกระทบต่อสมการที่ (5.1), (5.2) และ (5.3) ซึ่งสมการทั้ง 3 เป็นตัวกำหนดขอบเขตของโซนออกซิเดชันตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นเอง

การทดลองจะกำหนดค่าอัตราการป้อนถ่านให้คงที่ จากนั้นทำการแปรค่าอัตราการไหลของอากาศ ผลของการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศแบ่งตามอัตราการป้อนถ่านได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

5.4.1.1 ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 100 กรัมต่อนาที

อัตราการไหลของอากาศแปรค่าจาก 0.28-0.32 ลบ.ม./นาที แนวเส้นอุณหภูมิ, แนวเส้น % CO_2 และ แนวเส้น % CO แสดงในรูปที่ 4.1-4.3 พบว่า เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก 0.28 เป็น 0.29 และ 0.30 เป็น 0.32 ลบ.ม./นาที บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้คงที่ที่ 0-10 และ 0-15 ซม.ตามลำดับ แต่เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจาก 0.29 เป็น 0.30 ลบ.ม./นาที บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เพิ่มขึ้นจาก 0-10 เป็น 0-15 ซม. ที่เป็นเช่นนี้เพราะ เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (5.1), (5.2) และ (5.3) จะเห็นว่าถ้าเพิ่มปริมาณออกซิเจนทำให้ปฏิกิริยาทั้งสามดำเนินไปข้างหน้า เพราะปริมาณคาร์บอนมีมากเกินพอ สังเกตุได้จากปริมาณ % CO_2 ในรูปที่ 4.2 ที่เพิ่มขึ้น 19.30 % (พิจารณาจากค่า % CO_2 สูงที่สุดที่อัตราการไหลของอากาศ 0.28 และ 0.32 ลบ.ม./นาที) บริเวณของการเกิดปฏิกิริยาจึงกว้างขึ้นด้วย ซึ่งตรงกับการเปลี่ยนปริมาณอากาศจาก 0.29 เป็น

ø.3ø ลบ.ม. สำหรับการเปลี่ยนปริมาณอากาศจาก ø.28 เป็น ø.29 และ ø.3ø เป็น ø.32 ลบ.ม. แม้ว่าจะทำให้มีการเผาไหม้มากขึ้น แต่ยังไม่มีผลกระทบมากพอที่จะทำให้บริเวณของการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนไป

5.4.1.2 ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 18ø กรัมต่อนาที

อัตราการไหลของอากาศแปรค่าจาก ø.3ø-ø.34 ลบ.ม./นาที แนวเส้นอุณหภูมิ, แนวเส้น % CO_2 และแนวเส้น % CO แสดงในรูปที่ 4.5-4.7 พบว่า ปริมาณอากาศเพิ่มขึ้นจาก ø.3ø-ø.34 ลบ.ม. ทำให้ปริมาณ % CO_2 จากรูปที่ 4.6 เพิ่มขึ้น 7.96 % (พิจารณาจากค่า % CO_2 สูงสุดที่อัตราการไหลของอากาศ ø.31 และ ø.34 ลบ.ม./นาที เนื่องจากค่า % CO_2 สูงสุดของอัตราการไหลของอากาศ ø.3ø ลบ.ม./นาที มีค่ามากเกินไป ทำให้ไม่สามารถนำมาพิจารณาร่วมได้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อผิดพลาดในการเก็บตัวอย่างก๊าซ) แต่บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้คงที่อยู่ที่ ø-1ø ซม. แสดงว่าการเพิ่มปริมาณออกซิเจนทำให้ปฏิกิริยาในสมการทั้งสามดำเนินไปข้างหน้าก็จริง แต่ยังมีผลกระทบจากตัวแปรอื่นอีก ซึ่งในที่นี้คือ ปริมาณถ่านไม้ที่เข้าทำปฏิกิริยามีปริมาณมากขึ้นกว่าเดิม จึงทำให้ช่วงของการเผาไหม้ไม่กว้างขึ้นเท่าที่ควร

5.4.1.3 ที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 26ø กรัมต่อนาที

อัตราการไหลของอากาศแปรค่าจาก ø.33-ø.36 ลบ.ม./นาที แนวเส้นอุณหภูมิ, แนวเส้น % CO_2 และ แนวเส้น % CO แสดงในรูปที่ 4.9-4.11 พบว่า มีแนวโน้มเหมือนกันกับที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 18ø กรัม/นาที กล่าวคือ เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศจาก ø.33 เป็น ø.36 ลบ.ม. ปริมาณ % CO_2 จากรูปที่ 4.1ø เพิ่มขึ้น 28.39 % (พิจารณาจากค่า % CO_2 สูงสุดที่อัตราการไหลของอากาศ ø.33 และ ø.36 ลบ.ม./นาที) แต่บริเวณที่เกิดการเผาไหม้คงที่ที่ ø-5 ซม. แสดงว่าการเพิ่มปริมาณออกซิเจน แม้ว่าจะทำให้การเผาไหม้เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากถ่านไม้ที่เข้าทำปฏิกิริยามีปริมาณมาก จึงทำให้ช่วงของการเผาไหม้ไม่กว้างขึ้นเท่าที่ควร

จากอัตราการป้อนถ่านไม้ทั้งสาม เมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นจะได้ว่า การเผาไหม้หรือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้น ดังจะสังเกตุได้จากแนวเส้นอุณหภูมิและแนวเส้น % CO_2 ที่เพิ่มขึ้น ทำให้บริเวณที่เกิดการเผาไหม้หรือโซนออกซิเดชันเพิ่มขึ้น โซนรีดักชันจึงลดลง โดยเฉพาะที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 1 øø กรัม/นาที จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเมื่อปริมาณอากาศเพิ่มขึ้นจาก ø.28 เป็น ø.32 ลบ.ม./นาที โซนออกซิเดชันจะเพิ่มจาก ø-1ø เป็น ø-15 ซม. แต่สำหรับที่อัตราการป้อนถ่านไม้ 18ø และ 26ø กรัม/นาที จะเห็นผลไม่ชัดเจนนัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณถ่านไม้ที่เข้าทำปฏิกิริยามีมากเกินไป แม้ว่าจะเพิ่มปริมาณอากาศหรือ

ออกซิเจนแล้วก็อาจมีผลจากปริมาณถ่านไม้ที่มากมากระทบ ทำให้ขอบเขตของโซนออกซิเดชันไม่กว้างขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลของปริมาณถ่านไม้นี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป และเนื่องจากขอบเขตของโซนออกซิเดชันภายในความสูงเบด 50 ซม.ของทั้ง 3 กลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการกำหนดโซนออกซิเดชันและรีดักชัน จะต้องบอกถึงอัตราการป้อนถ่านไม้กำกับไว้ด้วย

5.4.2 อัตราการป้อนถ่านไม้

ถ่านไม้ก็เป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวแปรหนึ่ง เพราะเป็นตัวกำหนดปริมาณคาร์บอนที่เข้าทำปฏิกิริยา และเนื่องจากข้อจำกัดของอัตราการไหลของอากาศที่มีต่ออัตราการป้อนถ่านไม้และความสูงเบด กล่าวคือ ที่ความสูงเบดคงที่และอัตราการป้อนถ่านไม้ค่าหนึ่ง จะมีอัตราการไหลของอากาศช่วงหนึ่งเท่านั้นที่จะทำให้เกิดก๊าซซิฟิเคชันได้อย่างมีเสถียรภาพ เมื่อเปลี่ยนอัตราการป้อนถ่านไม้ ช่วงของอัตราการไหลของอากาศจึงต้องเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ จึงแปรค่าอัตราการป้อนถ่านไม้ได้ไม่มากนัก และที่สำคัญถ้าอัตราการป้อนถ่านไม้สูงเกินไปจะทำให้เกิดการแพคเบด (Packed bed) ในโซนรีดักชันได้

ในการทดลองนี้ป้อนถ่านไม้เข้าสู่เตาที่ความสูงเหนือเบดประมาณ 10 ซม. ถ่านไม้จะถูกทำให้ร้อน (pre heat) ด้วยก๊าซร้อนที่ลอยขึ้นสวนทางกับถ่านไม้ที่ตกลงสู่เบด ทำให้ถ่านไม้ปลดปล่อยสารระเหย (Volatile Matter) ออกมา ลอยปะปนไปกับก๊าซผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโซนรีดักชัน(10) อนุภาคที่เหลือเป็นคาร์บอนทำปฏิกิริยากับออกซิเจน เนื่องจากคาร์บอนเข้าทำปฏิกิริยาโดยผ่านเข้าสู่โซนรีดักชันก่อนจะตกลงสู่โซนออกซิเดชัน ดังนั้นเมื่อทำการเพิ่มอัตราการป้อนถ่านไม้หรือปริมาณคาร์บอนที่เข้าสู่เตา จะมีผลให้ปฏิกิริยาจากสมการที่ (5.4) หรือปฏิกิริยา Boudouard ดำเนินไปข้างหน้าหรือเกิดมากขึ้น นั่นคือมีปริมาณ CO มากขึ้น ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ปริมาณความร้อนจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ในเบดไม่เพียงพอกับปริมาณความร้อนที่ต้องการ ความร้อนจากโซนออกซิเดชันจึงถูกดึงไปใช้ ทำให้อุณหภูมิในโซนออกซิเดชันลดลง และเพราะปฏิกิริยาที่สมการ (5.4) ดำเนินไปข้างหน้า ทำให้มีการใช้ CO_2 ในการทำปฏิกิริยานี้มากขึ้น ปริมาณของ % CO_2 ในโซนออกซิเดชันซึ่งเกิดจากสมการที่ (5.1) และ (5.3) จึงลดลงไปด้วย ทั้งอุณหภูมิและ % CO_2 เป็นตัวกำหนดขอบเขตของโซนออกซิเดชันดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 5.2 ดังนั้นเมื่อค่าทั้งสองมีปริมาณลดลง โซนออกซิเดชันจึงลดลงไปด้วยทำให้โซนรีดักชันกว้างขึ้น

การทดลองกำหนดให้ค่าอัตราการไหลของอากาศคงที่ จากนั้นนำผลการทดลองที่อัตราการป้อนถ่านไม้ต่างกันมาหาความสัมพันธ์กัน ผลของการเพิ่มอัตราการป้อนถ่านไม้แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

5.4.2.1 ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.30 และ 0.32 ลบ.ม./นาที

อัตราการถ่านไม้แปรค่าจาก 100 เป็น 180 กรัม/นาที แนวเส้นอุณหภูมิ, แนวเส้น % CO_2 และแนวเส้น % CO แสดงในรูปที่ 4.13-4.15 และ 4.16-4.18 พบว่า จากกราฟทั้งสองชุดสามารถแบ่งช่วงของโซนออกซิเดชันและรีดักชันได้ดังนี้ เมื่อปริมาณถ่านไม้เพิ่มขึ้นจาก 100 เป็น 180 กรัม ช่วงของการเกิดโซนออกซิเดชันลดลงจาก 0-15 เป็น 0-10 ซม. แสดงว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนถ่านไม้ทำให้มีปริมาณคาร์บอนในเตาสูงขึ้น ปฏิกิริยา Boudouard เกิดมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากแนวเส้น % CO ที่เพิ่มขึ้นในช่วงของโซนรีดักชัน จากรูปที่ 4.15 และ 4.18 และเมื่อปฏิกิริยารีดักชันในสมการที่ (5.4) เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณ CO_2 ในสมการที่ (5.1) และ (5.3) ลดลง การเกิดปฏิกิริยาทั้งสองซึ่งเป็นปฏิกิริยาคายความร้อนจึงลดลง เป็นเหตุให้อุณหภูมิลดลงไปด้วย

5.4.2.2 ที่อัตราการไหลของอากาศ 0.33 และ 0.34 ลบ.ม./นาที

อัตราการป้อนถ่านไม้แปรค่าจาก 180 เป็น 260 กรัม/นาที แนวเส้นอุณหภูมิ, แนวเส้น % CO_2 และแนวเส้น % CO แสดงในรูปที่ 4.19-4.21 และ 4.22-4.24 จากกราฟทั้งสองชุดสามารถแบ่งเป็นช่วงของโซนออกซิเดชันและรีดักชันได้ว่า เมื่อปริมาณถ่านไม้เพิ่มขึ้นจาก 180 เป็น 260 กรัม ช่วงของการเกิดโซนออกซิเดชันลดลงจาก 0-10 เป็น 0-5 ซม. ซึ่งจะเห็นว่ามีแนวโน้มที่เหมือนกันกับผลที่ได้ของกลุ่มแรก

จากผลการทดลองทั้งสองกลุ่มของอัตราการไหลของอากาศ 4 ค่า จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่ออัตราการป้อนถ่านไม้เพิ่มขึ้น โซนรีดักชันจะเพิ่มขึ้นจึงทำให้โซนออกซิเดชันลดลง แต่เนื่องจากช่วงของโซนออกซิเดชันและรีดักชันภายในความสูงเบด 50 ซม.ของทั้งสองกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของโซนออกซิเดชันและรีดักชัน นอกจากจะต้องบอกถึงอัตราการป้อนถ่านไม้แล้ว ยังต้องบอกถึงอัตราการไหลของอากาศกำกับไว้ทุกครั้งด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย