

มาจากพันธุ์ข้าวต่างชนิดกัน และการวิเคราะห์ผลอาศัยฐานการคำนวณต่างกัน จึงน่าจะได้
มีการศึกษาเพิ่มเติมในหัวข้อนี้ เพื่อจะได้ทราบข้อมูลที่ถูกต้องต่อไป

แกลบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณเก๋าลู่งถึงร้อยละ 19.78 ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการเผา
ไหม้ และกระบวนการกาซซีฟิเคชันซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้อุณหภูมิสูงและเกิดการเผาไหม้แกลบ
ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดเก๋าลู่งมากและอาจเกาะติดกัน ดังนั้นการออกแบบเครื่องมือทดลองจึงต้อง
ใช้ระบบกำจัดเก๋าลู่งอย่างต่อเนื่อง ในงานวิจัยนี้ใช้ระบบนำเก๋าลู่งออกจากคอสมันท์กระบวนการกาซ
ซีฟิเคชันด้วยก้านสกรูตรงมีมอเตอร์เป็นอุปกรณ์หมุนก้านสกรูอย่างต่อเนื่องสามารถแก้ปัญหาปริมาณ
เก๋าลู่งในคอสมันท์ได้พอควร

6.2 ผลการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน

ในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชันแล้วนำค่าที่ได้มาวาด
กราฟดังแสดงในรูปที่ 5-1 สังเกตพบว่าเมื่อความเร็วของอากาศสูงชันความดันที่เปลี่ยนแปลง
ของมาโนมิเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่งที่ความดันของมาโนมิเตอร์มีค่าคงที่ แม้
จะเพิ่มความเร็วของอากาศให้สูงชันเท่าใดก็ตาม เมื่อเปลี่ยนความสูงของเบดผลการทดลองจะ
เป็นไปในทำนองเดียวกันแต่ค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงของมาโนมิเตอร์จะมีค่ามากกว่าจุดที่ความ
ดันที่เปลี่ยนแปลงเริ่มมีค่าคงที่จะเป็นจุดที่แสดงถึงค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน
จากผลการทดลองพบว่าค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชันมีค่า 32.5 ซม./วินาที

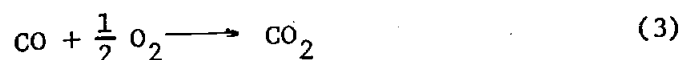
ในการคำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชันด้วยสมการ (2.15)
พบว่าค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชันมีค่า 98.50 ซม./วินาที และเมื่อคำนวณ
โดยใช้สมการของ Wen และ Yu ซึ่งปรากฏในหนังสือ Fluidization engineering
โดย Kunii และ Levenspiel (15) พบว่าค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิด
เซชันมีค่า 115.02 ซม./วินาที โดยมีค่าเลขเรโนลด์เท่ากับ 169.6 ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อ
กำหนดของการใช้สมการของ Wen และ Yu ค่านี้จึงใช้ไม่ได้ การใช้สมการคำนวณค่าความ
เร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของของแข็งและของไหลแต่
ละชนิด ผลการทดลองที่ได้ค่าออกมาแตกต่างจากค่าที่คำนวณเนื่องจากสมบัติทางกายภาพของ
แกลบ เช่น รูปร่างของแกลบ (Shape factor) โดยที่แกลบมีลักษณะเฉพาะตัวที่ต่างจาก
ลักษณะของทรงกลมจริง ๆ มาก ซึ่งทำให้ค่า Shape factor ต่างจาก 1 มาก และในการ

หา Shape factor ก็ทำได้ยากค่า Shape factor จึงคลาดเคลื่อนได้ ทำให้การคำนวณโดยใช้สมการ (2.15) ซึ่งได้มาจากการใช้อนุภาคทรงกลมเป็นหลักจึงได้ผลต่างไปจากการทดลองมาก

ค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชันที่ได้จากการทดลอง คือ 32.5 ซม./วินาที จะใช้เป็นค่าความเร็วสำหรับกำหนดความเร็วของอากาศที่จะใช้ทดลองก๊าซซีพีเคชันหนังสืออ้างอิงทางด้านฟลูอิดเซชัน (15) ได้กำหนดความเร็วที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดฟลูอิดเซชันที่ดีที่สุดและทั่วถึงเท่ากับ 1.5-2.0 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้กำหนดความเร็วของอากาศให้มีค่า 1.55-1.98 เท่าของค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิดเซชัน ซึ่งเท่ากับความเร็วของอากาศ 50.38, 53.30, 59.80 64.35 ซม./วินาที และเมื่อแปลงค่าให้เป็นอัตราการไหลของอากาศจะได้อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้เท่ากับ 0.533, 0.567, 0.633 และ 0.683 ลบ.ม./นาที

6.3 ผลการทดลองการเผาไหม้แก๊ส

จากการทดลองการเผาไหม้แก๊สในคอลัมน์การเผาไหม้ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5-3 เมื่อนำก๊าซร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้แก๊สที่อุณหภูมิต่าง ๆ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟพบว่าในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 500-800 °ซ ก๊าซร้อนมีองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซออกซิเจน และก๊าซไนโตรเจน สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนไม่สามารถวิเคราะห์พบ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟ โดยทั่วไปการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจะเริ่มจากผิวของเชื้อเพลิงแข็งก่อน จากนั้นปฏิกิริยาการเผาไหม้จะค่อย ๆ เคลื่อนเข้าสู่แกนกลางของเชื้อเพลิงแข็ง (6) ส่วนของเชื้อเพลิงแข็งที่ถูกเผาไหม้แล้วคือเถ้า ส่วนที่เผาไหม้ไม่หมดคือถ่านลู่ก ในฟลูอิดเบดอนุภาคที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเคลื่อนที่ตลอดเวลาทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างอนุภาคของเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซออกซิเจนเป็นไปอย่างทั่วถึงปฏิกิริยาระหว่างเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซออกซิเจนจึงเกิดขึ้นแล้วเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนี้





การเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ได้ต้องอาศัยก๊าซออกซิเจนจากอากาศ ดังนั้น อัตราการไหลของอากาศจึงมีอิทธิพลต่อการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็ง คีควิมล สูงสว่าง (6) ทดลองเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไต์เบด โดยใช้อัตราการไหลของอากาศในช่วง 0.365-0.700 ลบ.ม./นาที่ แล้วพบว่าอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้แกลบ สูงขึ้นและการเผาไหม้ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศปานกลางผ่านผิวของเชื้อเพลิงแข็งจะเกิด ปฏิกิริยาดังสมการ (1), (2) และ (3) โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีอัตราเร็วสัมพัทธ์ (Relative rate) ดังนี้ (ความดัน 1 บรรยากาศ, อุณหภูมิ 800 °ซ) (19)

ปฏิกิริยา	อัตราเร็วสัมพัทธ์
$C + O_2 \longrightarrow CO_2$	1×10^5
$C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$	1
$C + H_2O \rightleftharpoons H_2 + CO$	3

จากค่าอัตราเร็วสัมพัทธ์จะเห็นว่าปฏิกิริยาการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เกิดขึ้นช้ากว่าปฏิกิริยาการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งโดยทั่วไปจึงวิเคราะห์พบก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ก๊าซร้อนที่เกิดขึ้นจากคอกสันการเผาไหม้ จะประกอบไปด้วย ก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ก๊าซร้อนส่วนนี้ จะถูกผ่านเข้าสู่คอกสันที่สองซึ่งเรียกว่าคอกสันกระบวนการกาซซิฟเคชัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองของกระบวนการกาซซิฟเคชัน จะคำนวณโดยตั้งสมมติฐานว่าก๊าซชีวมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะในคอกสันที่สองนี้เท่านั้น ผลการทดลองของคีควิมล (6) พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไต์เบดอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 700-800 °ซ

6.4 ผลการทดลองกระบวนการกาซซิฟเคชัน

6.4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณร้อยละของก๊าซชีวมวล

6.4.1.1 ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5-4 ถึง 5-7 ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 11.651 ที่การทดลองกระบวนการกาซซิฟเคชัน ณ อุณหภูมิ 850 °ซ จากรูปที่ 5-3

พบว่าอุณหภูมิของกระบวนการกาซซิฟเคชันมีผลต่อปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ดังนี้คือ อุณหภูมิของกระบวนการกาซซิฟเคชันสูงขึ้นทำให้ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์เพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของกระบวนการกาซซิฟเคชันให้สูงขึ้นต่อไป ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะมีแนวโน้มลดลง Gumz (12) เสนอว่าปฏิกิริยา กาซซิฟเคชันที่ทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเป็นปฏิกิริยาเบตาตาด ($\text{CO}_2 + \text{C} \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} 2\text{CO}$) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible reaction) ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา จะเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิดังตารางที่ 6-2

ตารางที่ 6-2 ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา (12)

T (°C)	$k_1 = \frac{P^2_{\text{CO}}}{P_{\text{CO}_2}}$	$k_2 = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P^2_{\text{CO}}}$	$k_M = \frac{P_{\text{CH}_4}}{P^2_{\text{H}_2}}$
650	0.340925	2.9332	0.23992
700	1.07266	0.93226	0.13237
750	3.00907	0.33233	0.077154
800	7.64633	0.13078	0.047156
850	17.8366	0.056064	0.030336
900	38.6164	0.025896	0.019845

จากตารางที่ 6-2 ที่อุณหภูมิ 650°ซ ค่า k_2 มีค่าสูงกว่า k_1 มากปฏิกิริยาเบตาตาดจะเกิดเป็น $2\text{CO} \xrightarrow{k_2} \text{CO}_2 + \text{C}$ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นตั้งแต่ 700-900°ซ ค่า k_1 จะมีค่าสูงกว่า k_2 ปฏิกิริยาเบตาตาดจะเกิดเป็น $\text{CO}_2 + \text{C} \xrightarrow{k_1} 2\text{CO}$ ดังนั้นปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเกิดขึ้นได้มาก สำหรับงานวิจัยนี้การทดลองที่อุณหภูมิ 850 - 900°ซ ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ลดลง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์

6.4.1.2 ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากผลการทดลอง

ดังแสดงในตารางที่ 5-4 ถึง 5-7 และรูปที่ 5-5 พบว่าปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะมากเมื่อการทดลองใช้อุณหภูมิต่ำ และปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

จะลดลงเมื่อกระบวนการกาซซิฟเคชันเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการกาซซิฟเคชันจะเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ คือปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะมากขึ้นเมื่อปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ดังข้อเสนอของ Gumz (12) ที่ได้อภิปรายไว้แล้วในหัวข้อ 6.4.1.1

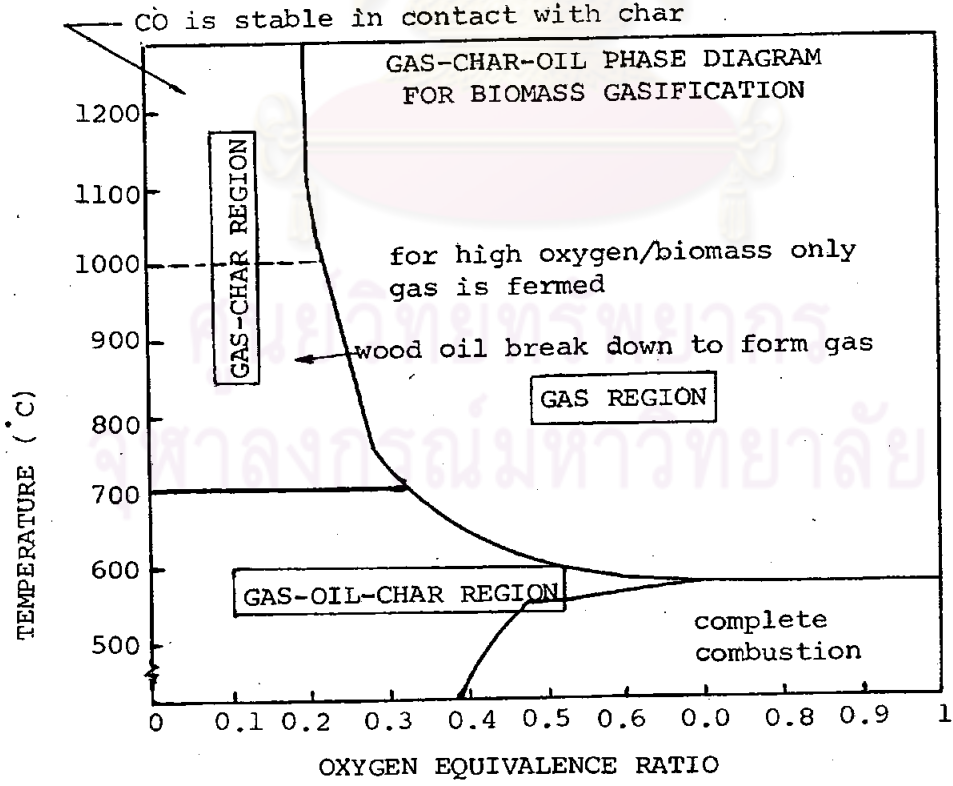
6.4.1.3 ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทน จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5-4 ถึง 5-7 รวมทั้งรูปที่ 5-9 พบว่าปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นในการทดลองที่ใช้อุณหภูมิของกระบวนการกาซซิฟเคชันต่ำ และก๊าซมีเทนจะไม่เกิดขึ้นเลยที่การทดลองที่อุณหภูมิ 900°ซ จากตารางที่ 6-2 (12) พบว่าก๊าซมีเทนจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อปฏิกิริยาของการเกิดมีเทนเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และก๊าซมีเทนจะเกิดได้น้อยเมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูง และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของงานวิจัยนี้ พบว่ามีความสอดคล้องกันยกเว้นที่อุณหภูมิ 650°ซ และ 700°ซ ที่ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนต่ำ เหตุผลที่เป็นไปได้สำหรับปรากฏการณ์จากการทดลองคือ การทดลองที่อุณหภูมิ 650°ซ และ 700°ซ ปฏิกิริยาการเกิดมีเทนยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุลจึงได้ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนต่ำ

6.4.1.4 ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน จากการทดลองของ Xu และคณะ (24) พบว่าปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจนจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของฟลูอิดซ์เบตมีค่าสูงโดยทดลองที่อุณหภูมิของเบต 801.7°ซ และได้ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 7.10 Gumz (12) อธิบายอิทธิพลของอุณหภูมิและความดันที่มีผลต่อปริมาณก๊าซไฮโดรเจนดังนี้ การเพิ่มอุณหภูมิของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนสูงขึ้น ส่วนการเพิ่มความดันให้แก่ระบบของปฏิกิริยาจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนน้อยลง นอกจากนี้ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกับค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเบาดาด ดังนั้นในกระบวนการกาซซิฟเคชันที่ประสบผลสำเร็จจะผลิตก๊าซชีวมวลที่มีองค์ประกอบของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจนในปริมาณร้อยละที่มากกว่าก๊าซอื่น (ยกเว้นก๊าซไนโตรเจน)

ในการทดลองนี้ ดังตารางที่ 5-4-5-7 และรูปที่ 5-7 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และมีแนวโน้มว่าจะลดลงเมื่อเพิ่มจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ยกเว้นที่อัตราการไหล 0.633 ลบ.ม./นาที และเนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองยังไม่มากพอ จึงยังไม่สามารถที่จะสรุปได้ถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อปริมาณร้อยละของการเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากกระบวนการกาซซิฟเคชัน

6.4.1.5 ปริมาณร้อยละของก๊าซออกซิเจน ก๊าซออกซิเจนที่เข้าทำ

ปฏิกิริยากับคาร์บอน (จากตารางที่ 5-8) พบว่าปริมาณก๊าซออกซิเจนจะถูกใช้ในปฏิกิริยากาซซิฟเคชันมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของปฏิกิริยากาซซิฟเคชันสูงขึ้น นั่นคือที่อุณหภูมิล่าง เช่น อุณหภูมิ 850 °ซ ก๊าซออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับคาร์บอนแล้วเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หลังจากนั้นปฏิกิริยาเบาดาดจะเกิดขึ้นโดยที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนแล้วเกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ และจากตารางที่ 5-8 อัตราส่วนของปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ใช้ในเครื่องกำเนิดก๊าซต่อปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ควรใช้ทางทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ (ER) ของการทดลองกระบวนการกาซซิฟเคชันที่อุณหภูมิ 850 °ซ มีค่า 0.79 จากงานวิจัยของ Reed และคณะ (21) พบว่า ER (รูปที่ 6-1) สามารถใช้ทำนายสถานะต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกาซซิฟเคชัน และได้เสนอแผนภาพของสภาวะก๊าซชีวมวลถ่านลู่ก-น้ำมันดิน จากรูปที่ 6 - 1 เมื่อใช้อุณหภูมิจากกระบวนการกาซซิฟเคชันต่ำกว่า 700 °ซ และค่า ER มีค่าต่ำกว่า 0.35 จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซชีวมวล น้ำมันดิน และถ่านลู่ก



รูปที่ 6-1 แสดงแผนภาพของสภาวะก๊าซชีวมวล-ถ่านลู่ก-น้ำมันดิน

6.4.2 อิทธิพลของอัตราการไหลของอากาศต่อปริมาณร้อยละของก๊าซชีวมวล

6.4.2.1 ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ จากผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5-4 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นจาก 0.533-0.633 ลบ.ม./นาที่ ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 11.651 และเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจาก 0.633 ลบ.ม./นาที่ เป็น 0.683 ลบ.ม./นาที่ ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์จะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 0.106 จากผลการทดลองอธิบายได้ว่าที่อัตราการไหลระหว่าง 0.533-0.633 ลบ.ม./นาที่ เป็นอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมจะทำให้แก๊สเกิดการฟลูอิดิชัยอย่างสม่ำเสมอ และเกิดการสัมผัสกันระหว่างคาร์บอนและก๊าซออกซิเจนอย่างทั่วถึง ปฏิริยาการเผาไหม้ และปฏิริยาการออกซิฟิเคชันจึงเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศให้สูงกว่าอัตราการไหลดังกล่าว การเผาไหม้และปฏิริยาการออกซิฟิเคชันที่เกิดขึ้นจะไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ทั้งนี้เพราะอัตราการไหลของอากาศที่สูงมาก ๆ จะทำให้เบดเกิดเป็นฟองก๊าซขนาดใหญ่ขึ้น และอากาศจะผ่านออกไปจากเบดเป็นช่อง ๆ ไม่สัมผัสกับอนุภาคภายในเบด ทำให้ปฏิริยาต่าง ๆ ระหว่างคาร์บอนและก๊าซเกิดขึ้นไม่เพียงพอ

6.4.2.2 ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากผลการทดลอง ในรูปที่ 5-6 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศสูงขึ้นปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้น แต่การทดลองที่อุณหภูมิ 800 และ 850 องศาเซลเซียส ผลการทดลองจะแตกต่างกันโดยที่ปริมาณร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ ร้อยละ 4.95 ที่อัตราการไหล 0.633 ลบ.ม./นาที่ จากผลการทดลองอธิบายได้ว่าอัตราการไหลค่านี้ทำให้เบดเกิดการฟลูอิดิชัยได้ดีโดยที่คาร์บอนจะทำปฏิริยาการเผาไหม้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และในขณะเดียวกันคาร์บอนจะทำปฏิริยาลดออกซิเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งสอดคล้องกับคำอธิบายของ Gumz (12)

6.4.2.3 ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจน จากผลการทดลองในรูปที่ 5-8 พบว่าเมื่ออัตราการไหลเพิ่มจาก 0.533-0.567 ลบ.ม./นาที่ ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจนของการทดลองที่อุณหภูมิ 700 และ 800 °ซ จะเพิ่มขึ้น และสำหรับการทดลองที่อุณหภูมิ 900 °ซ ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ

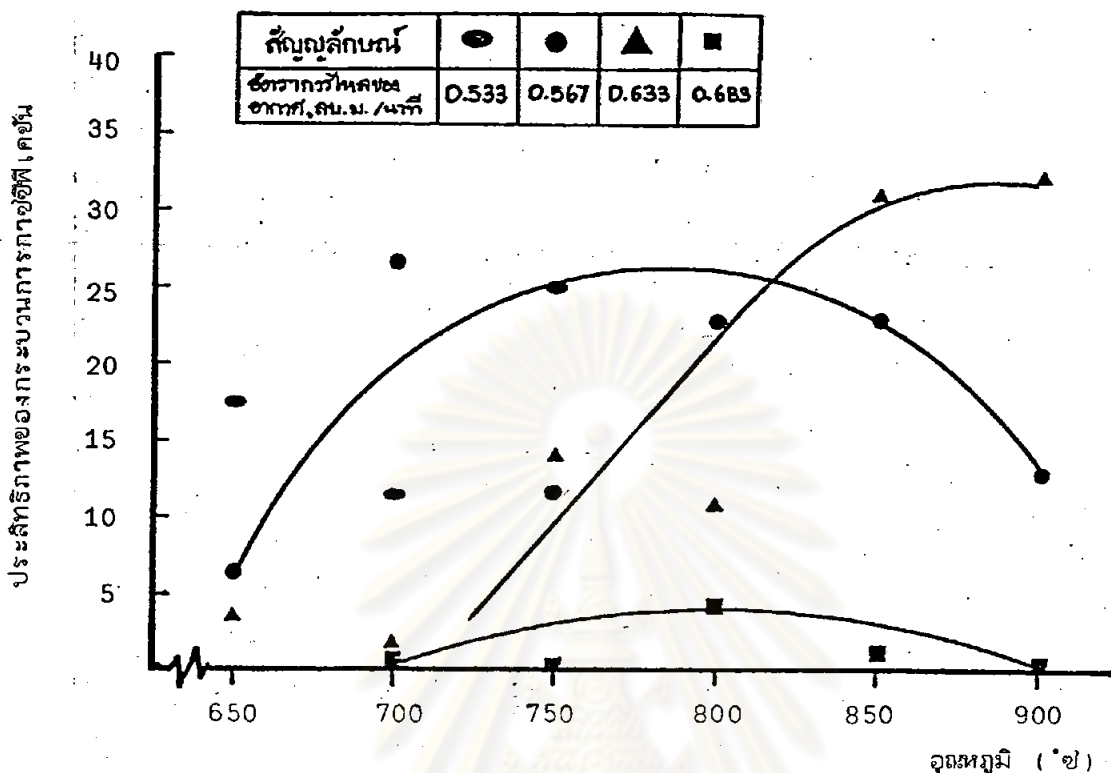
3.45 เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจาก 0.567-0.633 ลบ.ม./นาที แสดงว่าปฏิกิริยา $C+H_2O(g) \rightleftharpoons H_2+CO$ เกิดขึ้นภายในเบด ปฏิกิริยานี้เป็นแบบให้ความร้อนจึงต้องอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากระบบ ดังนั้นการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจึงทำให้เบดเกิดฟลูอิดไรต์ตลอดทั้งคอลัมน์ อุณหภูมิของปฏิกิริยาจะเท่ากันตลอดเบด และการถ่ายเทความร้อนระหว่างอนุภาคกับกระแสก๊าซจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เป็นผลให้ก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นมากจนได้ค่าสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจาก 0.633 ลบ.ม./นาที เป็น 0.683 ลบ.ม./นาที ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจนของการทดลองที่อุณหภูมิทุก ๆ ค่าจะเริ่มลดลงจนถึงค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 0.011 อัตราการไหลดังกล่าวนี้ทำให้เบดเกิดฟองก๊าซขนาดใหญ่ อนุภาคของคาร์บอนจะสัมผัสกับไอน้ำได้น้อยลง ปฏิกิริยาจึงเกิดขึ้นน้อย และนอกจากนี้การเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจะทำให้ก๊าซออกซิเจนเข้าสู่คอลัมน์มากเกินพอ ก๊าซไฮโดรเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นไอน้ำ ซึ่งเมื่อทำสมดุลไฮโดรเจน พบว่า ปริมาณไอน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ

6.4.2.4 ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทน ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่

5-10 จากสรุปพบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศสูงขึ้น ปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนจะลดลง จากปฏิกิริยา Hydrogenolysis คาร์บอนเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจนเกิดเป็นก๊าซมีเทน แต่เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นก็ทำให้ปริมาณร้อยละของก๊าซไฮโดรเจนลดลง นอกจากนี้ Methane formation reaction จะช้า (19) ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างคาร์บอนกับก๊าซไฮโดรเจนที่อัตราการไหลของอากาศสูงกว่า 0.567 ลบ.ม./นาที จึงเกิดก๊าซมีเทนปริมาณน้อยมาก และที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.683 ลบ.ม./นาที จึงไม่สามารถวิเคราะห์พบก๊าซมีเทนด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊สโครมาโตกราฟ

6.4.3 ประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซิฟิเคชัน

เมื่อนำผลการทดลองจากตารางที่ 5-4 ถึง 5-7 ไปวาดกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซิฟิเคชันกับอุณหภูมิภายในเบด จะได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6-2



รูปที่ 6-2 แสดงความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซีพีเคซินกับอุณหภูมิภายในเบต

ประสิทธิภาพของกระบวนการกาซซีพีเคซินเป็นอัตราส่วนของคุณค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลต่อพลังงานความร้อนที่ใส่เข้าสู่ระบบกาซซีพีเคซิน คุณค่าความร้อนของก๊าซชีววมวลเป็นคุณค่าความร้อนที่คิดจากปริมาณของก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ดังนั้นอัตราส่วนร้อยละของก๊าซเหล่านี้ในก๊าซชีววมวลจึงสัมพันธ์กับคุณค่าความร้อนของก๊าซชีววมวล Xu และคณะ (24) พบว่าอุณหภูมิของเบตที่สูงขึ้นจะได้ประสิทธิภาพความร้อนของก๊าซสูงขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาจากงานวิจัยนี้ (รูปที่ 6-2) ประสิทธิภาพของกาซซีพีเคซิน หรือประสิทธิภาพความร้อนของก๊าซชีววมวลจะให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Xu และคณะ เฉพาะที่อัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.633 ลบ.ม./นาถิ ส่วนอัตราการไหลของอากาศ 0.533 0.567 และ 0.683 ลบ.ม./นาถิ จะให้ผลการทดลองแตกต่างกันมาก คือ ที่อัตราการไหลของอากาศ 3 ค่าหลังนี้ประสิทธิภาพของกาซซีพีเคซินจะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 800 °ซ

อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 800 °ซ และสูงกว่า 800 °ซ ประสิทธิภาพของก๊าซซีพีเคชั่นจะมีค่าลดลง ทั้งนี้อธิบายได้ว่าที่อุณหภูมิ 800 °ซ เป็นอุณหภูมิที่ผลิตภัณฑ์ของกระบวนการก๊าซซีพีเคชั่น เช่น ก๊าซชีวมวล ถ่านลู่ก และน้ำมันดิน อยู่ในสภาวะสมดุลซึ่งกันและกันดังรูปที่ 6-1 ซึ่ง Reed และคณะ (21) ได้เสนอแผนภาพของสภาวะ ก๊าซชีวมวล-ถ่านลู่ก-น้ำมัน จากปฏิกิริยาก๊าซซีพีเคชั่นจากสรุปสามารถอธิบายได้ว่า ก๊าซชีวมวลจะเกิดในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 650 °ซ ขึ้นไป โดยต้องมีค่า Oxygen equivalence ratio มากกว่า 0.3 และสำหรับค่า ER ใดๆ สภาวะของก๊าซชีวมวลจะสมดุลเสถียรกับถ่านลู่กที่อุณหภูมิมากกว่า 800 °ซ เมื่อนำค่า ER จากตารางที่ 5-8 ซึ่งได้จากผลการทดลองมาพิจารณาเทียบกับรูปที่ 6-1 จะพบว่าที่ อุณหภูมิ 850 °ซ และอัตราการผลิตของอากาศเท่ากับ 0.633 ลบ.ม./นาที่ ค่า ER เท่ากับ 0.60 ซึ่งจะเป็นขอบเขตของก๊าซชีวมวล แสดงว่าถ้าการทดลองสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 850 °ซ และใช้อัตราการผลิตของอากาศในช่วงที่จะทำให้ ER อยู่ในขอบเขตของก๊าซชีวมวลแล้ว ก๊าซชีวมวลจะเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย