บทที่ 6

วิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 คุณสมบัติทางกายภาพของถ่านลิกไนท์

ถ่านลิกไนท์จากแหล่งต่าง ๆ มีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 2-2 ถ่านลิกไนท์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณซัลเฟอร์ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับแหล่งอื่น ๆ คุณค่าทางความร้อนประมาณ 4,600 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม จากการทดลองพบว่าถ่านลิกไนท์จะติดไฟและเผาไหม้ได้เองอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ไม่ต่ำกว่า 780 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kiorboe (18) และถ่านลิกไนท์จะเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้นเมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น

ในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันแล้วนำค่าที่ได้มาวาดกราฟดังแสดงในรูปที่ 5-1 พบว่า เมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นความดันลดก็จะเพิ่มขึ้นด้วยจนกระทั่งถึงจุด ๆ หนึ่ง ความดันลดจะมีค่าคงที่ที่ความสูงของเบดระดับหนึ่ง เมื่อความสูงของเบดเพิ่มขึ้นรูปกราฟที่ได้ก็จะเป็นไปในทำนองเดียวกัน แต่ค่าความดันลดจะมากกว่า ลึงเกตุเห็นได้ว่า จุดที่ความดันลดเริ่มคงที่ยิ่งจะเพิ่มความเร็วของอากาศมากขึ้นที่ความสูงของเบดระดับต่าง ๆ นั้น จะเป็นจุดที่แสดงถึงความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความสูงของเบด จากการทดลองพบว่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันมีค่า 49 ซม./วินาที

ในการคำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันตามสมการ (2-7) นั้น พบว่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันมีค่า 47.29 ซม./วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่หาได้จากการทดลอง สมการที่ใช้คำนวณหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันมีหลายสมการ ซึ่งแต่ละสมการเหมาะสมกับเบดชนิดหนึ่ง ๆ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความหนาแน่น ขนาดของอนุภาคและความเร็วของอากาศที่ใช้เป็นสำคัญ แต่ละสมการได้มีการดัดทอนทำให้ได้รูปสมการใหม่ ซึ่งเหมาะสมกับเบดเฉพาะอย่างไป ในการคำนวณหาค่า

ความเร็วต่ำสุดของถ่านลิกไนท์ที่ใช้ในการทดลองนี้สอดคล้องกับสมการ (2-7) และค่าที่ได้จากการคำนวณต่างกับค่าที่ได้จากการทดลองประมาณร้อยละ 3.49

6.2 ผลการทดลองการเผาไหม้ถ่านลิกไนท์

6.2.1 อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์

จากตารางที่ 5-2 แสดงผลการทดลองเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ที่อุณหภูมิ 800 องศา-เซลเซียส จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศให้มากขึ้นจาก 76.08 - 98.20 ซม./วินาที อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ก็จะเพิ่มขึ้นด้วยตามลำดับ จากตารางที่ 5-3 ถึง ตารางที่ 5-5 ก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน กล่าวคือ อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ค่าหนึ่งเมื่อป้อนอากาศให้เข้าสู่ระบบมากขึ้น อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ก็จะมากขึ้นด้วย จากกราฟรูปที่ 5-2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศมากขึ้น อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ก็จะมากขึ้น และที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 950 องศา-เซลเซียส อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์จะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 900, 850 และ 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงว่านอกจากความเร็วหรือปริมาณอากาศมีผลต่ออัตราการป้อนถ่านลิกไนท์แล้ว อุณหภูมิก็มีผลเช่นเดียวกันกล่าวคือ อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการเผาไหม้และปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อที่จะทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ดีและต่อเนื่อง เมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้หรือปริมาณอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ก็ต้องเพิ่มเช่นกัน ในการทดลองใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิบังคับการทำงานของมอเตอร์ที่จะขับเคลื่อนระบบลำรูที่ป้อนถ่านลิกไนท์ เมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้นจนถึงค่าที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิก็จะตัดกระแสไฟทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน จึงไม่มีการป้อนถ่านลิกไนท์เข้าสู่คอลัมน์และอุณหภูมิของการเผาไหม้ก็จะไม่สูงขึ้นอีก เมื่อปล่อยทิ้งไว้สักครู่อุณหภูมิของการเผาไหม้จะลดต่ำลงกว่าค่าที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิก็จะบังคับให้มอเตอร์ทำงานขึ้นใหม่อีก จนกระทั่งถึงอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่ตั้งไว้มอเตอร์ก็จะหยุดทำงานอีกเป็นเช่นนี้เรื่อยไป ทำให้อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการเผาไหม้และปริมาณอากาศที่ใช้

6.2.2 เถ้าที่ออกจากคอลัมน์

จากตารางที่ 1 ในภาคผนวกที่ 5 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศา-เซลเซียส อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์ลดลงเมื่อความเร็วของอากาศ

เพิ่มขึ้น นอกจากนี้คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์ก็ลดลงด้วยเช่นกัน และจากตารางที่ 2 ถึง ตารางที่ 4 ในภาคผนวกที่ 5 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวและคุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์จะลดลงเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิของการเผาไหม้สูง ๆ อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัว และคุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์จะมีแนวโน้มว่ามีค่าต่ำกว่า ขณะที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำที่ความเร็วของอากาศเท่ากัน จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 จะเห็นว่าคุณค่าของความร้อนลดลงอย่างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะการเผาไหม้เกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส

คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์พบว่ามีค่าลดลงเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น ถ่านลิกไนท์ที่อยู่ภายในเบดจะมีการเคลื่อนไหวและผสมกันอย่างรุนแรง ปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้นทำให้ผิวหน้าของถ่านลิกไนท์มีโอกาสสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้ดี คุณค่าของความร้อนจึงมีค่าลดลงและจะมีค่าลดลงมากเมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น เพราะที่อุณหภูมิสูงถ่านลิกไนท์จะลุกติดไฟได้ดี ในบางครั้งคุณค่าทางความร้อนของเถ้าอาจจะมีค่าสูงกว่าคุณค่าทางความร้อนของถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ เช่น จากตารางที่ 1 ในภาคผนวกที่ 5 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศ 76.08 ซม./วินาที คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์มีค่า 5205.69 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าคุณค่าทางความร้อนของถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ ทั้งนี้เป็นเพราะอุณหภูมิของการเผาไหม้และความเร็วของอากาศมีค่าต่ำทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นไม่ดีพอ เกิดการผสมทางถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์กับถ่านลิกไนท์ที่กำลังลุกไหม้อยู่ ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะไปไล่ความชื้นและสารระเหยให้ออกไปคล้ายกับการทำถ่านอบ (Carbonization) จึงทำให้คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์มีค่าสูงกว่าคุณค่าทางความร้อนของถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์

6.2.3 เถ้าที่ออกจากไซโคลน

จากตารางที่ 1 ในภาคผนวกที่ 5 ซึ่งเป็นการแสดงรายละเอียดข้อมูลผลการทดลอง จะเห็นว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศาเซลเซียส อัตราส่วนร้อยละคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากไซโคลนมีค่าลดลงในขณะที่ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น นอกจากนี้

คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากไซโคลนก็มีค่าลดลงเช่นกัน คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากไซโคลนมีค่าต่ำกว่าเถ้าที่ออกจากคอสัมน์มาก ทั้งนี้เพราะเถ้าที่ออกจากไซโคลนมีการเผาไหม้อย่างต่อเนื่องในบริเวณเหนือเบด ทำให้ขนาดและคุณค่าทางความร้อนลดลง จากตารางที่ 2 ถึง ตารางที่ 4 ในภาคผนวกที่ 5 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 850 , 900 และ 900 องศาเซลเซียส อัตราส่วนร้อยละการับอนคงตัวและคุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากไซโคลนจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน การเพิ่มความเร็วของอากาศให้มากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกจากคอสัมน์มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของเบด เมื่ออุณหภูมิของเบดมีค่าสูงขึ้นจะทำให้เถ้าที่ลอยอยู่บริเวณเหนือเบดเกิดการไหม้ได้ดีขึ้น คุณค่าทางความร้อนจึงลดลงในขณะที่เพิ่มความเร็วของอากาศ การหุ้มฉนวนรอบคอสัมน์ก็เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยให้อุณหภูมิภายในเบดสูงอยู่ตลอดเวลา

แต่อย่างไรก็ตามคุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากไซโคลนมีค่าลดลงไม่มากนัก ทั้งนี้เป็นเพราะระยะเวลาที่เถ้าเกิดการเผาไหม้ในช่วงเหนือเบดสั้นเกินไป การเพิ่มความสูงของคอสัมน์ช่วงเหนือเบดจะทำให้เถ้าที่หลุดลอยออกไปมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานขึ้น ทำให้คุณค่าทางความร้อนลดลงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้ จากรายงานของ Kiorboe (18) กล่าวว่าระยะเวลาที่เถ้าเผาไหม้อยู่ในบริเวณเหนือเบดไม่ควรน้อยกว่า 3 วินาที จึงจะทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นสมบูรณ์ เมื่อพิจารณาความเร็วของอากาศที่ใช้ในการทดลองมีค่า 98.20 ซม./วินาที ดังนั้นความสูงของคอสัมน์ช่วงเหนือเบดจึงไม่ควรน้อยกว่า 294.6 ซม. จึงจะทำให้เถ้ามีระยะเวลานานพอที่จะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์

จากรูปที่ 5-3 เถ้าที่ออกจากไซโคลนเมื่อคำนวณออกมาเป็นอัตราส่วนร้อยละของถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอสัมน์ พบว่ามีอยู่ประมาณร้อยละ 1-6 ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่วนร้อยละของเถ้าที่มีอยู่ในถ่านลิกไนท์จริง ๆ คือมีอยู่ประมาณร้อยละ 10 เนื่องจากมีเถ้าบางส่วนสะสมอยู่ภายในคอสัมน์และบางส่วนก็หลุดลอยออกจากไซโคลนไปพร้อมกับก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ นอกจากนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ค่าหนึ่งเมื่อความเร็วของอากาศสูงขึ้น อัตราส่วนร้อยละของเถ้าที่ออกจากไซโคลนก็จะสูงขึ้นด้วย แสดงให้เห็นว่าควรจะให้ความเร็วของอากาศสูงพอที่จะทำให้เถ้าหลุดลอยออกไปไม่สะสมอยู่ในคอสัมน์ แต่ก็ไม่ควรจะใช้ความเร็วของอากาศสูงเกินไป เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ลดลง

6.2.4 อัตราการไหลของอากาศ

จากตารางที่ 5-2 ถึง ตารางที่ 5-4 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ค่าหนึ่ง เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศหรืออัตราการไหลของอากาศจะทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เพิ่มขึ้น จากข้อมูลที่ได้นำมาวาดกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 5-5 จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของอากาศเท่ากัน ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถ่านลิกไนท์จะเผาไหม้ได้ดี จากผลการทดลองพบว่าต้องใช้ความเร็วของอากาศไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน ซึ่งจะทำให้ถ่านลิกไนท์เกิดฟลูอิไดเซชันได้ดี การใช้ความเร็วของอากาศที่สูงขึ้นทำให้ถ่านลิกไนท์เผาไหม้ได้ดีขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอากาศมีโอกาสสัมผัสกับคาร์บอนที่ผิวของถ่านลิกไนท์ได้มากขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

กลไกของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งมีหลายขั้นตอน ซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิของการเผาไหม้และขนาดของอนุภาคที่ใช้ สำหรับการเผาไหม้คาร์บอนในถ่านลิกไนท์นั้นมีสมมุติฐานว่า[8] ความชื้นและสารระเหยได้ถูกกำจัดไปในขณะที่อนุภาคเชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เบด ดังนั้นจึงยังคงเหลืออยู่แต่คาร์บอนเท่านั้นที่จะเกิดการเผาไหม้ ปฏิกิริยาของการเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาที่สารเริ่มต้นอยู่ในสภาวะที่ต่างกัน (Heterogeneous reaction) แบบจำลองของปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 6-1 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ง่าย ๆ ดังนี้

$$A_{(\text{ของไหล})} + bB_{(\text{ของแข็ง})} \longrightarrow \text{Product}_{(\text{ผลผลิต})}$$

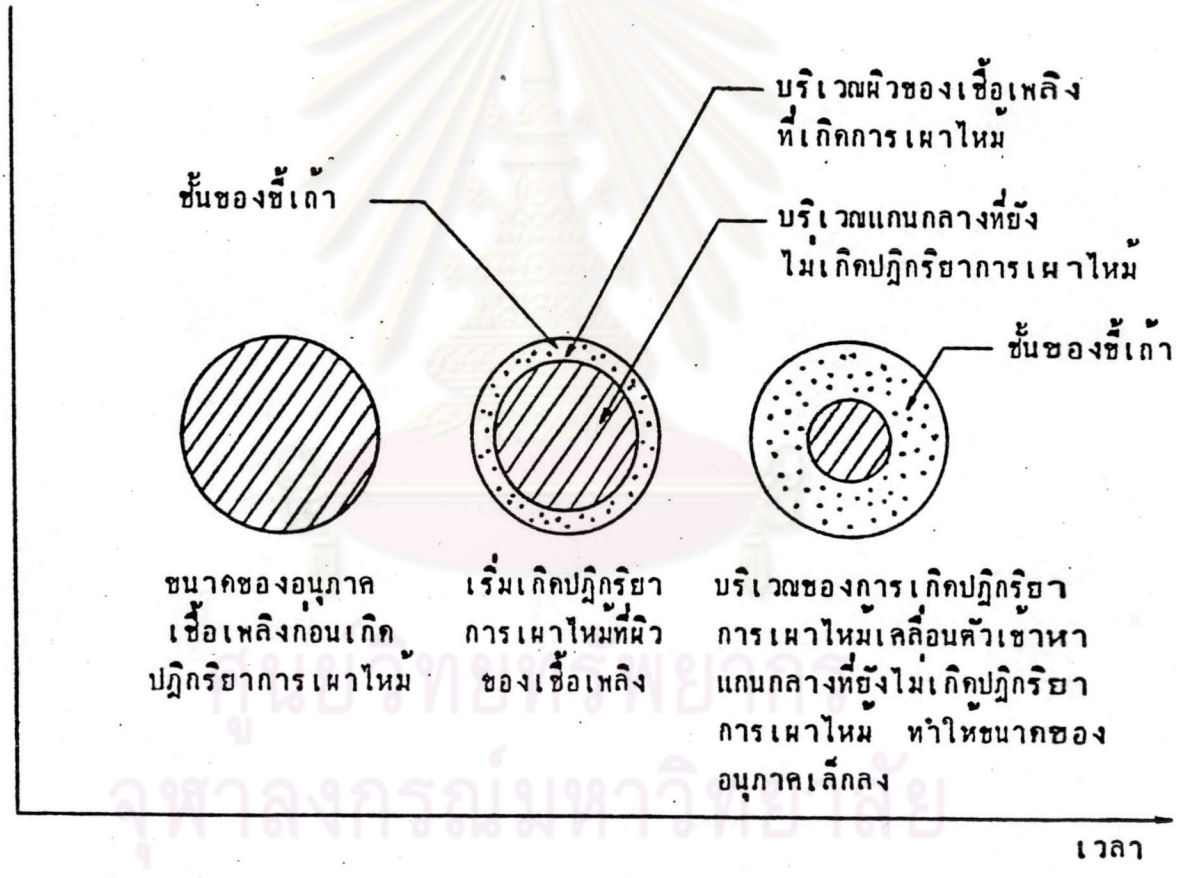
ขบวนการที่เกิดขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยามี 3 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 ก๊าซ A จะแพร่กระจายผ่านชั้นของอากาศไปสู่ผิวของเชื้อเพลิง B

ขั้นตอนที่ 2 ก๊าซ A จะซึมผ่านชั้นของขี้เถ้าไปสู่แกนกลางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยา

ขั้นตอนที่ 3 ก๊าซ A จะเข้าทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิง B

ขั้นตอนใดจะเป็นขั้นตอนที่ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคเชื้อเพลิงที่ใช้ ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 0.05 มม. ขั้นตอนที่ 3 (Kinetic controlled) จะเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราการเกิดของปฏิกิริยา ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า 0.1 มม. ขั้นตอนที่ 1 และ 2 (Diffusion controlled) จะเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราการเกิดของปฏิกิริยา สำหรับถ่านลิกไนท์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.5 มม. ดังนั้นขั้นตอนที่



รูปที่ 6-1 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคเชื้อเพลิงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

ก๊าซหรืออากาศแพร่กระจายผ่านชั้นฟิล์มบาง ๆ รอบผิวอนุภาคและชั้นตอนที่ก๊าซหรืออากาศซึมผ่านชั้นของยี้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ไปสู่แกนแกลางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาจึงเป็นขั้นตอนควบคุมอัตราการเกิดของปฏิกิริยา ทฤษฎีดังกล่าวใช้สำหรับเบดที่อยู่กับที่ แต่ในกรณีของฟลูอิไดซ์เบด อนุภาคมีการเคลื่อนที่ทำให้อิทธิพลของตัวควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของอนุภาค เช่น เกิดการชัดสีระหว่างอนุภาคกับอนุภาคและอนุภาคกับผนังของคอลัมน์ ทำให้เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้หลุดลอยไปอย่างรวดเร็วหรือทำให้ขนาดของอนุภาคเล็กลงรวดเร็วกว่าในกรณีของเบดที่อยู่กับที่

ในขณะที่เริ่มเกิดการเผาไหม้ของถ่านลิกไนท์นั้นจะเกิดการเผาไหม้ที่บริเวณผิวเยื่อเพลิง ก่อนจากนั้นบริเวณของการเกิดปฏิกิริยาจะค่อย ๆ เคลื่อนตัวเข้าไปหาแกนกลางของอนุภาคเยื่อเพลิง ทำให้อนุภาคเยื่อเพลิงมีขนาดเล็กลง (Shrink) และเถ้าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้จะมีบางส่วนหลุดลอยไป การเพิ่มความเร็วของอากาศให้สูงขึ้นจะทำให้ชั้นฟิล์มของอากาศที่อยู่รอบอนุภาคบางลง ทำให้อัตราการแพร่กระจายของอากาศผ่านชั้นฟิล์มดังกล่าวสูงขึ้น การเผาไหม้จึงเกิดขึ้นได้ดีเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศ

6.2.5 อุณหภูมิของการเผาไหม้

จากตารางที่ 5-2 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราส่วนร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 ซึ่งค่านี้ไม่แตกต่างกันมากนัก และจากตารางที่ 5-3 ถึงตารางที่ 5-5 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 850, 900 และ 950 องศาเซลเซียส อัตราส่วนร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ก็มีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 - 0.8 เช่นเดียวกัน สอดคล้องกับทฤษฎีที่ Khitrin (17) ได้อธิบายตามสมการดังต่อไปนี้

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (1)$$

$$C + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow CO \qquad (2)$$

$$CO + \tfrac{1}{2}O_2 \longrightarrow CO_2 \qquad (3)$$

$$CO_2 + C \longrightarrow 2CO \qquad (4)$$

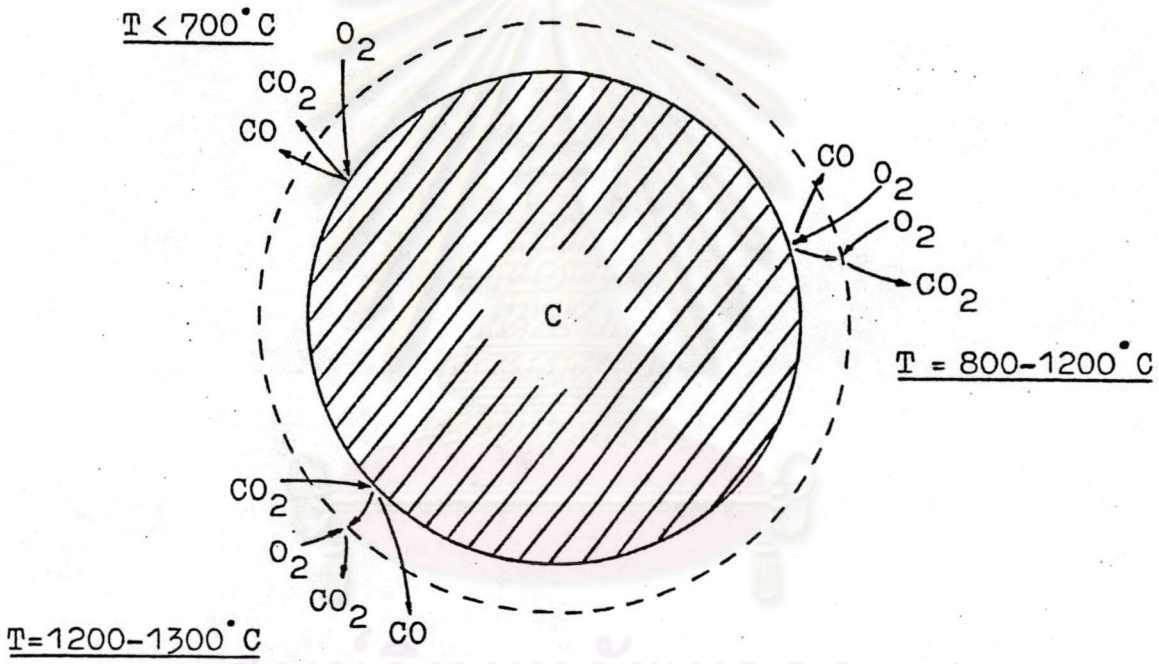
รูปที่ 6-2 แสดงความสำคัญของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ผิวของถ่าน ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาที่ (1) และ (2) จะเด่นมาก ก๊าซที่เกิดขึ้น

จากการเผาไหม้คาร์บอนที่ผิวถ่านจะมีทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ ในช่วงอุณหภูมิ 800 - 1200 องศาเซลเซียส ก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์บางส่วนจะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ตามสมการ (3) ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ลดลง แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีก (ประมาณ 1200 - 1300 องศาเซลเซียส) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่ผิวของถ่านตามสมการที่ (4) จะเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ ทำให้มีปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์เพิ่มขึ้นแต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กลับลดลง ดังนั้นในการทดลองปฏิกิริยาการเผาไหม้ในช่วงอุณหภูมิ 800 - 950 องศาเซลเซียส จึงควรจะคล้ายคลึงกัน กล่าวคืออัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ควรมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำ แต่อัตราส่วนร้อยละของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ควรมีค่าสูงกว่า เพราะก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์บางส่วนจะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการ (3)

6.2.6. อัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอ

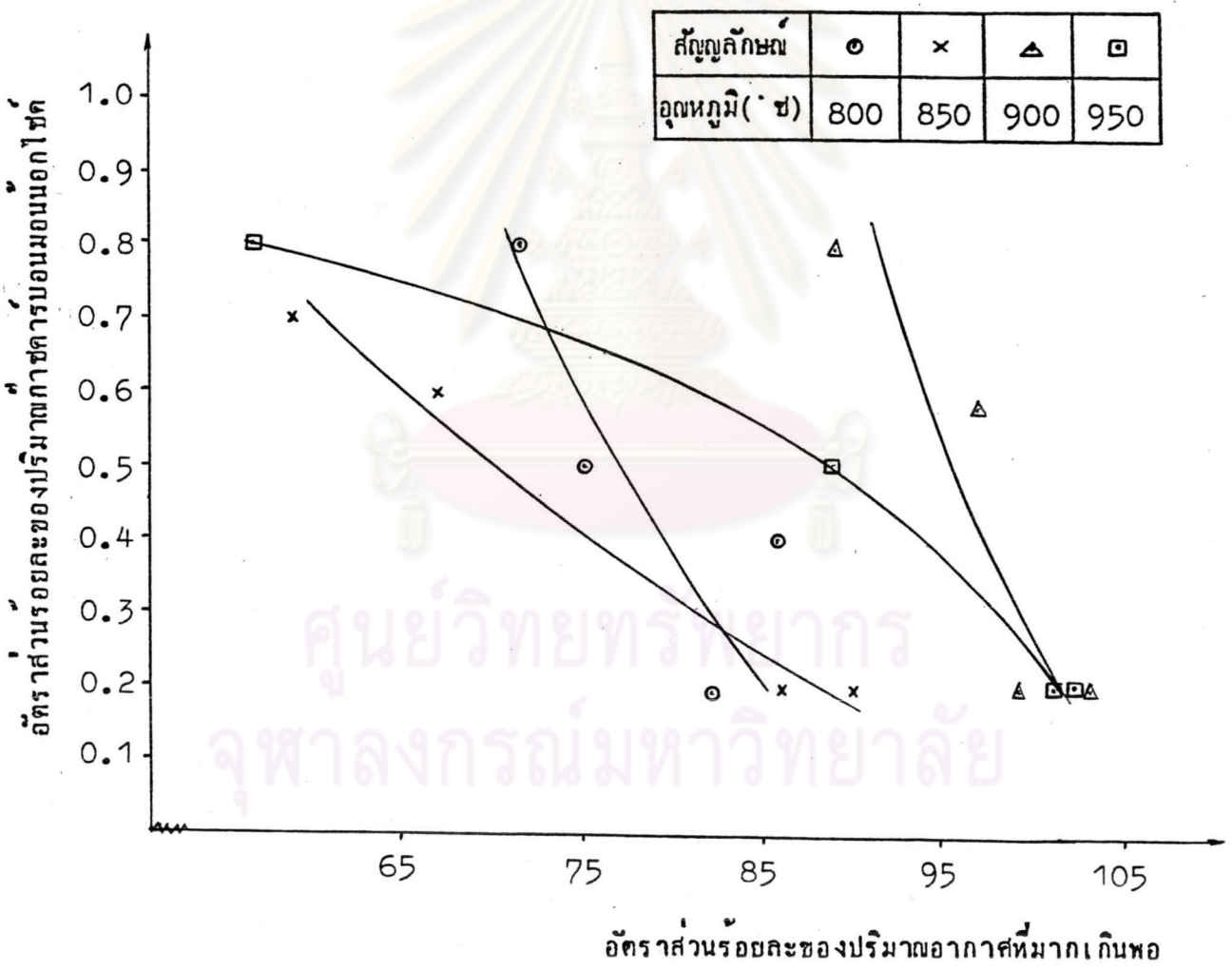
จากตารางที่ 5-2 ถึงตารางที่ 5-5 พบว่าอัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพออยู่ในช่วง 57-103 และจากรูปที่ 6-3 จะสังเกตเห็นว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้เดียวกัน อัตราส่วนร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์มีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้บางส่วนทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจนที่มากเกินพอได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามสมการ (3) ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ลดลง จากกราฟจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์มีค่าลดลงต่ำสุด 0.2 ซึ่งตามทฤษฎีเกี่ยวกับเทอร์โมไดนามิกส์จะทำให้ค่าคงที่สมดุลย์ (K_a) มีค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ

จากรูปที่ 5-4 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ค่าหนึ่ง เมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นอัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอก็เพิ่มเช่นกัน อัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอจะมีค่าเท่าใดขึ้นกับอัตราการป้อนถ่านลิกไนท์และปริมาณอากาศ ในการทดลองจึงต้องทำการทดลองซ้ำหลาย ๆ ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยของปริมาณถ่านลิกไนท์ที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ เพื่อนำมาคำนวณหาอัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอ



รูปที่ 6-2 แสดงความสำคัญของอุณหภูมิต่อปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ผิวของถ่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6-3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนน็อกไซด์ และอัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 5-5 และรูปที่ 5-6 จะเห็นว่าอัตราส่วนร้อยละของประสิทธิภาพของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศหรืออัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอเพิ่มขึ้น เพราะปริมาณอากาศที่เพิ่มขึ้นจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ดี ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จึงเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิของการเผาไหม้สูง ๆ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะสูงกว่าขณะที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำกว่า เมื่ออัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอมีค่าเท่ากัน เพราะที่อุณหภูมิสูงการเผาไหม้ย่อมเกิดขึ้นได้ดี แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 900 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของการเผาไหม้มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอเพิ่มขึ้น และพบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้มีค่าสูงกว่าขณะที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 950 องศาเซลเซียสที่อัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นเพราะว่าที่สภาวะดังกล่าวอัตราการเผาไหม้ของถ่านลิกไนท์มีค่าสูงมาก มีการหมุนเวียนของอากาศอย่างรุนแรง อัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ และปริมาณอากาศเหมาะสมทำให้อัตราส่วนร้อยละของปริมาณอากาศที่มากเกินพอไม่สูงหรือต่ำเกินไป จากรายงานของ Kiorboe (18) ก็ยืนยันว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 900 องศาเซลเซียสจะให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้สูงสุด

6.2.7 อุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

จากตารางที่ 1 ถึงตารางที่ 4 ในภาคผนวกที่ 5 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 800 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของไอน้ำจะสูงขึ้นตามความเร็วของอากาศที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นก็จะทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้มีค่าสูงขึ้นหรือมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของเบด จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปสู่ไอน้ำที่อยู่รอบคอลัมน์สูงขึ้น และที่อุณหภูมิของการเผาไหม้สูง ๆ อุณหภูมิของไอน้ำจะมีค่าสูงกว่าขณะที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำกว่าเมื่อความเร็วของอากาศเท่ากัน เพราะความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิของก๊าซร้อนและอุณหภูมิของไอน้ำที่อยู่รอบคอลัมน์มีมากกว่า จึงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าและไอน้ำก็มีระยะเวลานานพอที่จะรับความร้อนโดยผ่านผนังคอลัมน์

ในการทดลองใช้อัตราการป้อนน้ำเข้าสู่คอลัมน์สูงสุดเพียง 90 กรัม/นาที ซึ่งถ้าให้ปริมาณน้ำไหลเข้าสู่คอลัมน์มากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ลดลงอย่างรวดเร็ว ไม่สามารถเผาไหม้ถ่านลิกไนท์อย่างต่อเนื่องได้ ไอน้ำที่เกิดขึ้นก็ปล่อยออกสู่บรรยากาศโดยไม่

ผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแต่อย่างใด ซึ่งถ้าได้มีการติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนก็สามารถนำไอน้ำที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ได้ ผลจากการทดลองนี้พอสรุปได้ว่าถ้าจะทำไอน้ำจากคอลัมน์ฟลูอิไดซ์เบดแบบใช้คอลัมน์ 2 ชั้นนั้น พื้นที่ของการแลกเปลี่ยนความร้อนไม่จำเป็นต้องเริ่มตั้งแต่ตอนต้นของเบด อาจใช้บริเวณเหนือเบดก็อาจเพียงพอต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน เพราะการถ่ายเทความร้อนที่ดีของฟลูอิไดซ์เบดนั่นเอง

6.2.8 ประสิทธิภาพของการเผาไหม้

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้อยู่ในช่วงร้อยละ 66 - 89 และจากตารางที่ 5-2 ถึง ตารางที่ 5-5 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้เดียวกันประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิของการเผาไหม้สูง ๆ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะสูงกว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำกว่าเมื่อความเร็วของอากาศเท่ากัน ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศเบดจะถูกก่อกวนให้มีการเคลื่อนไหวอย่างรุนแรง และมีการหมุนเวียนมากขึ้น ทำให้โอกาสที่ก๊าซออกซิเจนจะแพร่ผ่านชั้นฟิล์มบาง ๆ ของอากาศที่อยู่รอบอนุภาคมีมากขึ้น เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ก็จะหลุดลอยออกไปเพราะอนุภาคมีการเคลื่อนที่กระทบกันเองและยังเสียดสีกับผนังของคอลัมน์อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามถ้าใช้ความเร็วของอากาศมากเกินไปจะทำให้เกิดช่องว่างภายในเบด การสัมผัสกันระหว่างอนุภาคจะลดลง การเผาไหม้เกิดขึ้นไม่ได้ผลดี ทำให้ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ลดลง จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้สูงสุดร้อยละ 89.57 ที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ 900 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Kiorboe (18) เช่นกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย