บทที่ 6

วิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 คุณสมบัติทางกายภาพของหินน้ำมัน

หินน้ำมันมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันไปตามแหล่งที่พบดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 หินน้ำมันที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีคุณค่าความร้อนต่ำกว่าแหล่งอื่น ๆ คือ ค่าความร้อนประมาณ 885. -1064 แคลอรี่/กรัม เนื่องจากในหินน้ำมันมีส่วนประกอบของแคลเซี่ยมอยู่เป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงสามารถกำจัดกำมะถันที่มีอยู่ในหินน้ำมันได้ตามปฏิกิริยาแคลซิเนชันและซัลเฟชัน จากการทดลองครั้งนี้พบว่าหินน้ำมันจะติดไฟได้อย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส และจะเผาไหม้ได้ดีเมื่ออุณหภูมิในการเผาไหม้สูงขึ้น

การทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดของการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันแล้วนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.1, 5.2 และ 5.3 พบว่าเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นความดันที่เปลี่ยนไปก็จะเพิ่มขึ้นด้วยจนกระทั่งถึงค่าความเร็วที่จุด ๆ หนึ่ง และที่ความสูงระดับหนึ่งค่าความดันที่เปลี่ยนไปจะมีค่าคงที่ เมื่อเปลี่ยนความสูงเบดไปอีกค่าหนึ่งกราฟที่ได้ออกมาก็จะเป็นในทำนองเดียวกันแต่ค่าความดันที่เปลี่ยนไปจะมากขึ้น จนกระทั่งที่ความเร็วตำแหน่งเดียวกันค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงมีค่าคงที่ จุดที่ความดันลดเริ่มคงที่ขณะเพิ่มความเร็วของอากาศมากขึ้นที่ความสูงของเบดระดับต่าง ๆ นั้นจะเป็นจุดที่แสดงถึงความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน เช่นนี้ย่อมแสดงว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชันมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความสูงของเบด ในการทดลองนี้พบว่าหินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันมีค่า 110.03 ซม./วินาที หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันมีค่า 236.67 ซม./วินาที หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชันมีค่า 157.3 ซม./วินาที

6.2 ผลการทดลองการเผาไหม้หินน้ำมัน

6.2.1 อัตราการป้อนหินน้ำมัน

จากตารางที่ 5.2 ถึง 5.16 แสดงผลการทดลองเผาไหม้หินน้ำมันที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส ตัวอย่างตารางที่ 5.12 แสดงการเผาไหม้หินน้ำมัน

ขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนหินน้ำมันทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นตามลำดับ ผลการทดลองที่ 5.2 ถึง 5.16 ก็ทำนองเดียวกัน นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟรูปที่ 5.4, 5.5 และ 5.6

จากกราฟรูปที่ 5.4, 5.5 และ 5.6 พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนหินน้ำมันทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาอัตราส่วนระหว่างความเร็วของอากาศและความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน ดังนั้นอุณหภูมิภายในเบดจึงเพิ่มขึ้นด้วย และเนื่องจากมีระบบควบคุมความสูงเบดมีผลทำให้สามารถรักษาอุณหภูมิภายในเบดให้คงที่ได้ เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนหินน้ำมัน

สรุปได้ว่า อัตราการป้อนหินน้ำมันมีความสัมพันธ์กับปริมาณอากาศที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และอุณหภูมิของการเผาไหม้

6.2.2 อัตราการไหลของอากาศ

จากตารางที่ 5.2 ถึง 5.16 พบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นตามลำดับด้วย จากข้อมูลที่ได้นำมาเขียนกราฟรูปที่ 5.7, 5.8 และ 5.9

กราฟรูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพของการเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. กับความเร็วอากาศ พบว่าเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นด้วย มีเหตุผลที่ใช้ในการอธิบาย 2 ข้อด้วยกันคือ ข้อแรก ตามทฤษฎี Khitrin (33) ในการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ขึ้น เมื่อมีปริมาณอากาศมากเกินพอจะเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ดังนั้นทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จึงเพิ่มขึ้นด้วย และเหตุผลข้อที่สองคือ ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งจะเกิดที่บริเวณผิวเชื้อเพลิงก่อน จากนั้นบริเวณของการเผาไหม้จะค่อย ๆ เคลื่อนเข้าสู่ศูนย์กลางของอนุภาคโดยเหลือส่วนที่เกิดจากการเผาไหม้คือ เถ้า (Ash) เมื่อเวลาผ่านไปปฏิกิริยาจะดำเนินไปทั้งก้อน ในการเผาไหม้แบบฟลูอิไดเซชันเบดจะมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาอนุภาคจะเคลื่อนที่กระทบกันเองและผนังของคอลัมน์ ทำให้เถ้า

ที่เกาะติดกับผิวเชื้อเพลิงหลุดออกไปพร้อมกับก๊าซที่ไหลผ่าน เชื้อเพลิงสัมผัสกับก๊าซออกซิเจนตลอดเวลา ประสิทธิภาพการเผาไหม้จึงเพิ่มสูงขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 600 และ 650 องศาเซลเซียสของหินน้ำมันขนาด 1-3 มม. พบว่าเมื่อใช้อัตราการไหลของอากาศมากเกินกว่า 2.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน หินน้ำมันที่ลุกไหม้จะดับ เพราะเมื่ออัตราการไหลของอากาศเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนระหว่างเบดกับอากาศที่ไหลผ่านมีค่าสูง จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากเบดไปยังอากาศที่ไหลผ่าน ทำให้อุณหภูมิภายในเบดลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว การลุกไหม้ของหินน้ำมันจึงดับ จึงไม่สามารถทำการเผาไหม้หินน้ำมันอย่างต่อเนื่องได้

กราฟรูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพของการเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. กับความเร็วอากาศ และกราฟรูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละประสิทธิภาพของการเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. กับความเร็วอากาศ ผลที่ได้ก็ทำนองเดียวกับกราฟรูปที่ 5.7

6.2.3 ร้อยละของอากาศมากเกินพอ

เนื่องจากปริมาณอากาศมากเกินพอเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของอากาศดังกราฟรูปที่ 5.10, 5.11 และ 5.12 ผลในการทดลองการทดลองเพิ่มร้อยละของอากาศมากเกินพอและประสิทธิภาพในการเผาไหม้แสดงในกราฟรูปที่ 5.13 และ 5.14 พบว่าเมื่อร้อยละของอากาศมากเกินพอเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการเผาไหม้หินน้ำมันก็เพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลก็เช่นเดียวกับข้อที่ 6.2.2 จากผลการทดลองพบว่าในตอนต้นของการเพิ่มร้อยละของอากาศมากเกินพอ ประสิทธิภาพในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเมื่อเพิ่มร้อยละของอากาศมากเกินพอขึ้นไปอีก ประสิทธิภาพในการเผาไหม้เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากในการเผาไหม้ให้ได้ประสิทธิภาพสูงนั้นสารตั้งต้น (หินน้ำมัน) ต้องมีปริมาณพอเหมาะกับอากาศ (ออกซิเจน) ที่เข้าทำปฏิกิริยา เมื่อสารตั้งต้นคงที่แต่ปริมาณอากาศมากเกินพอเพิ่มมากขึ้น ในการเผาไหม้จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากเบดไปสู่อากาศทำให้อุณหภูมิภายในเบดลดลง ประสิทธิภาพในการเผาไหม้จึงลดลง และอนุภาคเชื้อเพลิงที่เกิดการเผาไหม้แล้วมีขนาดเล็กลงถูกอากาศที่พัดผ่านนำออกไปจากคอลัมน์ทั้งที่ยังเผาไหม้ไม่หมด มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลงด้วย

6.2.4 อุณหภูมิ

เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนหินน้ำมัน มีผลทำให้ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อรักษาอัตราส่วนระหว่างความเร็วของอากาศและความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน ทำให้อุณหภูมิภายในเบดเพิ่มขึ้นด้วย และประสิทธิภาพในการเผาไหม้ก็เพิ่มตามด้วยเช่นกัน

จากตารางที่ จ.1-จ.5 (ภาคผนวก จ) แสดงข้อมูลการเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส พบว่าค่าร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 4-7.5 จากตารางที่ จ.6-จ.10 แสดงข้อมูลการเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส พบว่าค่าร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 3-7.35 และจากตารางที่ จ.11-จ.15 แสดงข้อมูลการเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 600 800 องศาเซลเซียส พบว่าค่าร้อยละของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าอยู่ระหว่าง 3-7.4 จากผลการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบว่าเมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น แสดงว่าประสิทธิภาพของการเผาไหม้สูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีของ Khitrin ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3

6.2.5 ประสิทธิภาพของการเผาไหม้ (34)

ค่าร้อยละประสิทธิภาพของการเผาไหม้หินน้ำมันคำนวณได้จากสมการดังนี้คือ

$$n = 100 \left(1 - \frac{Q_{1c} + Q_{1g}}{F_c \cdot H_v}\right), \ (\%)$$

โดยที่ n = ประสิทธิภาพของการเผาไหม้

Q_{1c} = ค่าความร้อนของหินน้ำมันที่เผาไหม้ไม่หมด (กิโลแคลอรี่/นาที)

Q_{1g} = ค่าความร้อนของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (กิโลแคลอรี่/นาที)

F_c = อัตราการป้อนหินน้ำมัน (กก.)

H_v = ค่าความร้อนของหินน้ำมัน (กิโลแคลอรี่/กก.)

จากกราฟรูปที่ 5.7, 5.8 และ 5.9 พบว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้เดียวกัน ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิการเผาไหม้สูง ๆ ประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะสูงกว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำ เมื่อความเร็วของอากาศเท่ากันเพราะเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มมากขึ้น เบดจะเคลื่อนที่อย่างรุนแรงมีการหมุนเวียนมากขึ้นทำให้ก๊าซออกซิเจนมีโอกาสแพร่เข้าไปในผิวของเชื้อเพลิงเพื่อทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น และเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้หลุดลอยออกไปกับอากาศ เนื่องจากการกระทบกันเองของอนุภาค และผนังของคอลัมน์ อย่างไรก็ตามถ้าความเร็วของอากาศมากเกินไป มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการทดลองลดลง เพราะเกิดช่องว่างภายในเบด ทำให้การสัมผัสกันระหว่างอนุภาคลดลง

6.2.6 เถ้าที่ออกจากคอลัมน์

จากตารางที่ 1-5 แสดงข้อมูลการเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม. ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส ตารางที่ 6-10 แสดงข้อมูลการเผาไหม้หินน้ำมันขนาด 1-2 มม. ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส และตารางที่ 11-15 แสดงข้อมูลการเผาไหม้หินน้ำมัน 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์จะลดลงในขณะที่ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น และที่อุณหภูมิสูง ๆ ของการเผาไหม้ อัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนคงตัวของเถ้ามีแนวโน้มที่จะมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิของการเผาไหม้ต่ำกว่าเมื่อความเร็วของอากาศเดียวกันนั้น จากการทดลองพบว่าค่าความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความร้อนของหินน้ำมันที่ป้อนเข้าสู่คอลัมน์ นั้นแสดงว่าเกิดการเผาไหม้ได้ดี

อัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์มีค่าลดลงในขณะที่ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น หินน้ำมันที่อยู่ภายในเบดจะมีการเคลื่อนไหวผสมผสานกันอย่างรุนแรง ทำให้เถ้าที่เกาะอยู่รอบนอกของผิวหินน้ำมันหลุดลอยไป และโอกาสที่หินน้ำมันจะสัมผัสกับอากาศมีมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ดี และอัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์จะมีค่าลดลงอย่างมาก เมื่ออุณหภูมิของการเผาไหม้สูงขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงหินน้ำมันจะลุกติดไฟได้ดีและเกิดการเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง

ในการเผาไหม้หินน้ำมันเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศขึ้น มีผลทำให้เถ้าที่ออกจากคอลัมน์มีปริมาณมากขึ้นด้วย เพราะถ้ามีปริมาณอากาศมากพอเพียงการเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นลง ดังนั้นอัตราการนำเถ้าออกจากคอลัมน์จึงเพิ่มสูงขึ้น

6.2.7 เถ้าที่ออกจากไซโคลน

จากตารางที่ 1-15 ภาคผนวกที่ จ แสดงข้อมูลการเผาไหม้หินน้ำมันขนาดเล็กกว่า 1 มม., 1-2 มม. และ 1-3 มม. ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละของคาร์บอนคงตัวของเถ้าที่ออกจากไซโคลนมีค่าลดลงในขณะที่ความเร็วของอากาศเพิ่มขึ้น เพราะเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนที่ออกมาจากคอลัมน์มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของเบด ดังนั้นเถ้าที่ลอยอยู่บริเวณเหนือเบดจึงเกิดการเผาไหม้ได้ดีขึ้น ทำให้อัตราส่วนร้อยละของคาร์บอนคงตัวลดลง

ในการเผาไหม้หินน้ำมันเมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศขึ้นมีผลทำให้เถ้าที่ออกจากไซโคลนมีปริมาณมากขึ้นด้วย เพราะเมื่อเกิดการเผาไหม้จนเชื้อเพลิงที่เผาไหม้มีขนาดเล็กลงจะปลิวออกไปกับอากาศที่ผ่านออกสู่ทางออกก๊าซโดยที่ยังเผาไหม้ไม่หมดทำให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้ลดลง