บทที่ 4

วิธีการทดลอง

4.1 สร้างและปรับปรุงเครื่องมือวิจัย

เริ่มแรกได้ทำการทดลองการเผาไหม้แกลบโดยเครื่องมือวิจัยที่สร้างไว้ ปรากฏว่าเกิดปัญหาต่าง ๆ ขึ้น จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติมเครื่องมือวิจัยบางส่วนให้มีการทำงานที่ดีขึ้น ดังนี้คือ

ก. เนื่องจากตอนเริ่มแรกนั้นมีระบบการป้อนแกลบอยู่เหนือแผ่นกระจายลมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อทำการทดลองเผาไหม้แกลบปรากฏว่าเกิดควันออกมาทางระบบการป้อนแกลบมาก ทั้งนี้เพราะเมื่อป้อนแกลบเข้าไปแกลบก็จะเกิดการเผาไหม้เหนือแผ่นกระจายนั้นเป็นส่วนใหญ่และเมื่อให้อากาศผ่านเข้าไปเพื่อให้เกิดการเผาไหม้เป็นแบบฟลูอิไดซ์เบดนั้น อากาศร้อนบางส่วนก็จะออกมาทางด้านระบบการป้อนแกลบทำให้แกลบบางส่วนเกิดการเผาไหม้ทำให้เกิดควันขึ้น ฉะนั้นจึงได้ปรับให้ระบบการป้อนแกลบให้อยู่สูงขึ้นเหนือเบด (ประมาณกลางคอลัมน์) ซึ่งทำให้ควันลดลง

ข. ได้มีการติดตั้งท่อสำหรับระบายควันที่เกิดขึ้นออกจากห้องจากห้องทดลอง ทั้งนี้เพราะในช่วงเริ่มต้น ของการทดลองนั้นจะมีควันเกิดขึ้นมาก จึงต้องมีการระบายควันออกไปจากห้องทดลอง

ค. ปรับปรุงซ่อมแซมระบบการป้อนแกลบ เช่น เกลียวที่ใช้ในการป้อนแกลบเข้าไปในคอลัมน์นั้น ถ้าสร้างไว้มีช่องว่างระหว่างเกลียวกับท่อน้อย เมื่อใช้ไปนาน ๆ เกิดการขัดสีกับแกลบทำให้สึกกร่อนและหักในที่สุด เมื่อหักก็ต้องทำการซ่อมแซมหรือทำเกลียวใหม่ ซึ่งต้องใช้เวลา

พอสมควร นอกจากนั้น ยังมีปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับระบบการป้อนแกลบดังนี้คือ ในการทดลองที่มีการป้อนแกลบเข้าไปในคอลัมน์อย่างต่อเนื่องนั้นเมื่อทำการทดลองต่อไปเรื่อย ๆ แกลบก็จะเข้าไปอัดแน่นระหว่างท่อและเกลียวทำให้เกลียวไม่สามารถหมุนนำแกลบเข้าไปในคอลัมน์ได้ จึงได้ทำการแก้ไขและพบว่าถ้าจะให้ระบบนี้ทำงานได้ดีพอสมควรต้องสร้างให้มีช่องว่างประมาณ 2-3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุที่ต้องการจะใช้ระบบนี้ขนถ่าย

ง. เนื่องจากในบางโอกาสที่มีการทำงานไม่ดีนักจะมีเถ้าหรือแกลบค้างอยู่ในคอลัมน์มาก จึงได้ทำการสร้างที่ปัดเถ้าให้หล่นลงมาข้างล่างขึ้น ซึ่งที่ปัดนี้เป็นแผ่นโลหะยาวใช้สำหรับกวาดเถ้าที่อาจเกาะแน่นอุดรูกระจายลมให้เคลื่อนที่หรือไม่เกาะกันได้ด้วย

จ. หุ้มคอลัมน์ด้วยฉนวนที่หนาประมาณ 3.8 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

4.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบ

เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของแกลบบางอย่างยังไม่มีผู้หาไว้ จึงได้มีการทดลองหาคุณสมบัติของแกลบไว้ดังนี้ สัดส่วนช่องว่าง (Void Fraction) ความเป็นทรงกลมเทียบเท่า (Sphericity) เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่า (Equivalent Diameter) ความหนาแน่น (Density) ความชื้น (Moisture) เถ้า (Ash) คุณค่าทางความร้อน (Heating Value) และความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ (Minimum Fluidizing Velocity)

ก. การหาสัดส่วนของช่องว่างในการบรรจุไม่เป็นระเบียบ (random) และความเป็นทรงกลมเทียบเท่าของแกลบ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หาได้ด้วยการบรรจุแกลบลงในกระบอกตวงแบบไม่เป็นระเบียบ แล้วบันทึกค่าปริมาตรของแกลบที่บรรจุลงไปไว้จากนั้นเติมนอร์มอลเฮ็กเซน (n-hexane) ที่ทราบปริมาตรแน่นอนลงไปผสมกับแกลบแล้วบันทึกปริมาตรหลังจากการผสมไว้ นำไปคำนวณหาค่าของสัดส่วนของช่องว่าง ดังแสดงในภาคผนวกที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของช่องว่างและความเป็นทรงกลมเทียบเท่า ก็สามารถจะหาค่าของความเป็นทรงกลมเทียบเท่าได้

ข. การหาเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่ากับแกลบ

นำแกลบจำนวนหนึ่งมาชั่งน้ำหนักและนับจำนวนอนุภาค จากผลที่ได้นำไปคำนวณก็สามารถหาค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่ากับแกลบได้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 1

ค. การหาความหนาแน่นของแกลบ

นำแกลบจำนวนหนึ่งมาชั่งน้ำหนักและวัดปริมาตร นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่นได้ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 1

ง. การหาปริมาณความชื้น

ชั่งแกลบในจานอะลูมิเนียมที่ทราบค่าน้ำหนักที่แน่นอน แล้วบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนของแกลบไว้ จากนั้นนำไปอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสประมาณ 5 ชั่วโมง นำออกมาชั่งแล้วนำเข้าไปอบใหม่ จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณ ดังแสดงในภาคผนวกที่ 1

จ. การหาปริมาณเถ้า

ชั่งแกลบในถ้วยกระเบื้อง (crucible) ที่ทราบค่าน้ำหนักที่แน่นอน บันทึกน้ำหนักของแกลบไว้ จากนั้นนำไปเผาด้วยตะเกียงบุนเซนจนควันหมด จึงนำไปเผาต่อในเตา

เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เผาประมาณ 5 ชั่วโมง นำออกมาชั่งแล้วนำเข้าไปเผาใหม่จนกว่าจะได้น้ำหนักคงที่ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณดังแสดงในภาคผนวกที่ 1

ฉ. การหาค่าคุณค่าทางความร้อน (Heating value)

เพื่อที่จะหาปริมาณของสารเชื้อเพลิง (คาร์บอน) ที่มีอยู่ภายในตัวอย่างแต่ละชนิด การหาคุณค่าทางความร้อนนั้นหาได้โดยการใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งจะหา

1) ปริมาณความร้อนเทียบเท่า (energy equivalent) ของบอมบ์แคลอริมิเตอร์จากปริมาณความร้อนของการเผาไหม้ (heat of combustion) ของกรดเบนโซอิค (benzoic acid)

2) คุณค่าทางความร้อนของแกลบที่ใช้ในการทดลอง

3) คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จากไซโคลนของแต่ละการทดลอง

4) คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ในโรงสีที่เก็บมาเพื่อเปรียบเทียบกับเถ้าที่ได้จากการทดลอง

จากผลการทดลองนำไปคำนวณหาคุณค่าทางความร้อนได้ดังแสดงในภาคผนวกที่ 2

ช. ความเร็วต่ำสุดของฟลูอิไดเซชัน (Minimum fluidizing velocity)

ก่อนทำการทดลองทำการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากโรทามิเตอร์ กับค่าของปริมาตรจริง ๆ ผลการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 3 และรูปที่ 1

การหาความเร็วต่ำสุดนั้นเป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านแกลบที่บรรจุในคอลัมน์ด้วยความสูงต่าง ๆ กันกับความแตกต่างของความดัน (ΔP) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากอากาศไหลผ่านระหว่างเบดโดยมีขั้นตอนการทำดังนี้

1) ให้อากาศไหลผ่านคอลัมน์เปล่าด้วยอัตราเร็วตั้งแต่ 0.10 $ม^3$/นาที ถึง 0.30 $ม^3$/นาที ตามลำดับ พร้อมทั้งวัดความแตกต่างของความดันในแต่ละความเร็วด้วยมาโนมิเตอร์ (manometer)

2) จากนั้นบรรจุแกลบลงในคอลัมน์สูง 15 ซม. แล้วให้อากาศไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราเร็ว 0.10 $ม^3$/นาที ถึง 0.30 $ม^3$/นาที ตามลำดับ พร้อมทั้งวัดความแตกต่างของความดันในแต่ละความเร็วด้วยมาโนมิเตอร์

จากข้อ 1 และ 2 นำค่าของความแตกต่างของความดันในแต่ละความเร็วมาลบกัน จะเป็นค่าของความแตกต่างระหว่างความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านเบดของแกลบ

3) ในทำนองเดียวกับข้อ 2 แต่บรรจุแกลบลงในคอลัมน์ให้มีความสูงต่าง ๆ กัน ดังนี้คือ 20 ซม. 25 ซม. และ 30 ซม. ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้จากการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 4

4.3 การเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

ก. การเตรียมการก่อนการเผาไหม้

เริ่มต้นด้วยการวัดอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านขดลวดเหล็กไร้สนิมก่อนพร้อมทั้งวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulk temperature) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulk temperature) ของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้หรือให้เข้าไปในคอลัมน์แล้วก็เริ่มอุ่นคอลัมน์ให้มีอุณหภูมิประมาณ 200–250 องศาเซลเซียส โดยจุดไฟที่หัวเผาซึ่งมีก๊าซหุงต้มและอากาศจากเครื่องปั๊มอากาศช่วยในการติดไฟ

ข. วิธีทดลองการเผาไหม้แกลบในฟลูอิไดซ์เบด

เมื่อทำการอุ่นคอลัมน์จนมีอุณหภูมิประมาณ 200–250 องศาเซลเซียส ก็เริ่มป้อนแกลบเข้าไปในคอลัมน์อย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องป้อนวัตถุดิบ ในขณะเดียวกันก็เปิดวาล์วให้อากาศ

ที่ได้จากเครื่องปั๊มอากาศไหลผ่านเข้าไปในคอลัมน์ด้วยความเร็วที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วที่ต้องการ ซึ่งสามารถทราบและควบคุมด้วยเครื่องวัดความเร็วของอากาศ เมื่อมีการป้อนแกลบเข้าไปในคอลัมน์และมีปริมาณอากาศผ่านเข้าไปในคอลัมน์ก็เกิดการลุกไหม้ขึ้น โดยไฟที่หัวเผาเป็นตัวเริ่มต้นทำให้แกลบลุกไหม้ เมื่อแกลบเผาไหม้ได้เองแล้วก็จะดับไฟที่หัวเผาแกลบก็ยังคงเผาไหม้ต่อไป (การเผาไหม้สามารถดูได้จากช่อง 2 ช่อง ที่เจาะไว้ซึ่งมีแผ่นไมก้าปิดไว้) รอจนกระทั่งการเผาไหม้เกิดคงที่ที่อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่ตั้งไว้ จากนั้นป้อนแกลบซึ่งทราบน้ำหนักที่แน่นอน (500 กรัม) เข้าไปโดยจะนำเอาเถ้าที่อยู่ในไซโคลนออกเสียก่อน ในขณะที่เริ่มป้อนแกลบที่มีน้ำหนักที่แน่นอนเข้าไปในคอลัมน์ด้วยเครื่องป้อนวัตถุดิบเริ่มจับเวลาจนกระทั่งถึงเวลาที่แกลบที่มีน้ำหนักที่แน่นอนนั้นถูกป้อนเข้าไปในคอลัมน์และเผาไหม้จนหมด

ในช่วงระหว่างการเผาไหม้แกลบปริมาณดังกล่าวนั้น นอกจากนับเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้แล้ว ก็มีการวัดอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากขดลวดเหล็กไร้สนิม อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ที่ออกจากคอลัมน์ และวัดส่วนผสมของก๊าซที่ได้จากการเผาไหม้ด้วยเครื่องมือออแสท

เมื่อการเผาไหม้สิ้นสุดลง ก็นำเอาเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้จากไซโคลนและในคอลัมน์ไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปหาคุณค่าทางความร้อน (heating value) ต่อไป

ค. สภาวะในการเผาไหม้

ในการทดลองแต่ละการทดลองจะมีตัวแปรที่พิจารณาคือ อุณหภูมิของการเผาไหม้และอัตราการไหลของอากาศหรือความเร็วของอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 แสดงสภาวะในการเผาไหม้ของการทดลอง

อุณหภูมิของการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลของอากาศ ($ม^3$/นาที)	ความเร็วของอากาศ (ม/นาที)
500	0.365	20.62
	0.470	26.55
	0.580	32.77
	0.700	39.55
600	0.365	20.62
	0.470	26.55
	0.580	32.77
	0.700	39.55
	0.810	45.76
700	0.365	20.62
	0.470	26.55
	0.580	32.77
	0.700	39.55
	0.810	45.76
800	0.365	20.62
	0.470	26.55
	0.580	32.77

จากการทดลองได้ข้อมูลของการทดลองแสดงในภาคผนวกที่ 3