บทที่ 4

วิธีการทดลอง

4.1 การปรับปรุงเครื่องมือวิจัย

จากการทดลองจุดเตาเพื่อเผาไหม้ถ่านลิกไนท์พบว่าเกิดปัญหาต่าง ๆ ขึ้น จึงได้ทำการแก้ไขและติดตั้งอุปกรณ์บางส่วนเพิ่มเติมเพื่อให้เครื่องมือวิจัยทำงานได้ดีขึ้นดังนี้

ก. เนื่องจากในตอนแรกใช้โรตามิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลของอากาศ พบว่าโรตามิเตอร์ที่ใช้มีขนาดเล็ก ขีดความสามารถสูงสุดของโรตามิเตอร์ที่วัดได้ไม่เพียงพอที่จะให้ปริมาณอากาศที่ไหลผ่านเข้าไปในคอลัมน์ทำให้ถ่านลิกไนท์เกิดฟลูอิไดเซชัน นอกจากนี้ขนาดของท่ออากาศซึ่งต่อจากเครื่องอัดอากาศมีขนาดเล็ก หลังจากต่อท่อเข้าโรตามิเตอร์แล้วจะต้องขยายขนาดของท่อเป็น 80 มิลลิเมตร การลดและเพิ่มขนาดของท่ออากาศทำให้ความดันลดเกิดขึ้นมาก ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงใหม่โดยใช้ท่ออากาศขนาด 80 มิลลิเมตร ยาวเป็นเส้นตรงโดยตลอด ใช้บอลล์วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และติดตั้งออริฟิตขนาดใหญ่เพื่อวัดอัตราการไหลของอากาศแทนโรตามิเตอร์ พร้อมกับทดลองเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศที่ผ่านออริฟิตมิเตอร์กับอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่ได้มาตราฐาน

ข. เนื่องจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง เครื่องมืออาจเกิดการชำรุดเสียหายได้ง่าย ดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายระหว่างการใช้งานจึงได้มีการเชื่อมรอยรั่วต่าง ๆ ที่ผนังด้านในและด้านนอกของคอลัมน์

ค. เนื่องจากฉนวนที่หุ้มคอลัมน์มีความสำคัญต่ออุณหภูมิภายในเบดมาก จึงได้เปลี่ยนฉนวนหุ้มคอลัมน์จากใยแก้วเป็นเซอร์รามิคไฟเบอร์ รุ่น อาร์ที่-8 หนา 25 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชั้น ซึ่งทนความร้อนได้สูงประมาณ 1,300 องศาเซลเซียส

ง. ติดตั้งปล่องควันโดยต่อท่อจากไซโคลนเพื่อระบายควันและก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ออกไป โดยเฉพาะในช่วงแรก ๆ ของการเผาไหม้จะเกิดควันและกลิ่นซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

จ. ติดตั้งมู่เล่ย์ทดรอบขนาดต่าง ๆ เพื่อปรับอัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ให้ได้ตามความเหมาะสม โดยติดตั้งระบบทดรอบแบบ 2 ขั้น เพื่อความเหมาะสมในการใช้มู่เล่ย์ทดรอบขนาดเล็ก

ฉ. ในการทดลองจุดเตาเพื่อเผาไหม้ถ่านลิกไนท์และทดสอบการทำงานของคอลัมน์นั้น พบว่า เมื่อหยุดการทดลองจะเกิดสะแลครูปกรวยอยู่บริเวณแผ่นกระจายลม ลักษณะดังกล่าวเกิดจากการมีน้ำจำนวนหนึ่งผ่านเข้ามาในคอลัมน์พร้อมกับอากาศที่ช่วยในการเผาไหม้ น้ำจำนวนดังกล่าวทำให้ถ่านลิกไนท์ที่อยู่รอบ ๆ ตะแกรงบริเวณแผ่นกระจายลมเปียกและรวมตัวกันเป็นก้อน ทำให้ถ่านลิกไนท์บริเวณดังกล่าวไม่เกิดฟลูอิไดเซชันและเกิดเป็นสะแลคในที่สุด จึงได้ทำการปรับปรุงใหม่โดยทำระบบดูดซับน้ำเพื่อลดปริมาณน้ำที่มีมาจากเครื่องอัดอากาศ ซึ่งจะพบมากในช่วงแรกที่เปิดเครื่องอัดอากาศ ขณะที่เริ่มจุดเตาก็จะมีการอุ่นอากาศภายในท่ออากาศให้ร้อนขึ้นด้วย ทำให้ถ่านลิกไนท์ติดไฟได้ดีขึ้น หลังจากที่ถ่านลิกไนท์ลุกติดไฟดีแล้วก็จะไม่อุ่นอากาศภายในท่ออากาศ

ช. ติดตั้งก้านกวาดเถ้าขึ้นภายในคอลัมน์ ก้านกวาดเถ้าดังกล่าวทำด้วยเหล็กเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. วางอยู่ในแนวตั้งฉากจากส่วนล่างสุดของคอลัมน์ถึงบริเวณเหนือแผ่นกระจายลมเล็กน้อย (รูปที่ 3-2) ใช้กวนเบดเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดสะแลคซึ่งอาจจะเกิดขึ้นมากในช่วงแรกของการจุดเตา นอกจากนี้ยังช่วยให้ถ่านลิกไนท์มีการเคลื่อนไหวและไม่อุดรูของตะแกรง

ญ. ติดตั้งเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของการเผาไหม้ โดยการล่อเทอร์โมคอบเปิลไว้ที่ช่องล่อดเหนือช่องล่อดหัวเผา (รูปที่ 3-1) การควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยการปิดเปิดการทำงานของมอเตอร์ที่จะไปหมุนลิกรูเพื่อป้อนถ่านลิกไนท์เข้าสู่คอลัมน์

ฏ. ติดตั้งท่อนำน้ำเข้าสู่คอลัมน์ (รูปที่ 3-1) เพื่อทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงขณะเกิดการเผาไหม้ การบังคับอัตราการไหลของน้ำใช้บอลวาล์วเป็นตัวควบคุม

4.2 การหาคุณสมบัติทางกายภาพของเบด

ก. การหาขนาดของถ่านลิกไนท์

นำถ่านลิกไนท์มาบดให้มีขนาดเล็กลงแล้วนำไปร่อนเพื่อคัดขนาด 1-2 มม. โดยการใช้ตะแกรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 และ 2 มม. ถ่านลิกไนท์ที่สามารถลอดผ่านตะแกรง

ขนาด 2 มม. แต่ไม่สามารถผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. จะเป็นขนาดของถ่านลิกไนท์ที่ใช้ในการทดลอง

ข. สัดส่วนช่องว่าง

บรรจุถ่านลิกไนท์ลงในกระบอกตวงแล้วจดปริมาตรที่อ่านได้ เติมน้ำจำนวนหนึ่งซึ่งทราบปริมาตรลงไปจนถึงระดับผิวหน้าของถ่านลิกไนท์ นำค่าที่วัดไปคำนวณหาสัดส่วนช่องว่าง (ภาคผนวกที่ 1) เพื่อนำไปคำนวณหาความเร็วต่ำสุด ในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน

ค. การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่า (d_p)

นำถ่านลิกไนท์จำนวนหนึ่งที่ทราบปริมาตรแน่นอนมานับจำนวนอนุภาค นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลมที่มีปริมาตรเทียบเท่าถ่านลิกไนท์ (ภาคผนวกที่ 1) เพื่อใช้ในการคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน

ง. ความหนาแน่นของอนุภาค

นำถ่านลิกไนท์จำนวนหนึ่งมาชั่งหาน้ำหนักและวัดปริมาตรโดยไม่รวมปริมาตรของช่องว่างระหว่างอนุภาค นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความหนาแน่น (ภาคผนวกที่ 1)

จ. ความชื้น

ชั่งถ่านลิกไนท์ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นานประมาณ 4 ชั่วโมง นำออกมาชั่งแล้วอบใหม่จนได้น้ำหนักคงที่ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเป็นร้อยละของปริมาณความชื้น (ภาคผนวกที่ 1)

ฉ. สารระเหย

ชั่งถ่านลิกไนท์ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นนำไปอบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที แล้วนำไปชั่งอีกครั้ง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณสารระเหย (ภาคผนวกที่ 1)

ช. เถ้า

นำถ่านลิกไนท์ที่ทราบน้ำหนักใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง จากนั้นนำไปเผาด้วยตะเกียงบุนเซนจนหมดควัน แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส นานประมาณ 4 ชั่วโมง

นำออกมาชั่งแล้วไปเผาใหม่จนได้น้ำหนักคงที่ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณเถ้า

ฌ. คาร์บอนคงตัว

นำค่าที่ได้จากการคำนวณหาปริมาณความชื้น สารระเหยและเถ้ามาคำนวณหาปริมาณคาร์บอนคงตัว

ญ. คุณค่าทางความร้อน (Heating value)

ทำการทดลองหาคุณค่าทางความร้อนโดยใช้บอมบ์แคลอริมิเตอร์ ซึ่งจะหา

1) ปริมาณความร้อนเทียบเท่า (energy equivalent) ของบอมบ์แคลอริมิเตอร์ จากการทดลองหาปริมาณความร้อนของกรดเบนโซอิคที่ทราบค่าแน่นอน

2) คุณค่าทางความร้อนของถ่านลิกไนท์ที่ใช้ในการทดลอง

3) คุณค่าทางความร้อนของเถ้าที่ออกจากคอลัมน์และจากไซโคลนในแต่ละการทดลอง

ฎ. ความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน (Minimum fluidization velocity)

ก่อนทำการทดลองต้องเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศจากออริฟิตที่สร้างขึ้นใหม่กับอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่ได้มาตราฐาน

ในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน อาศัยการวัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้น เนื่องจากอากาศไหลผ่านเบดโดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1) ให้อากาศไหลผ่านคอลัมน์เปล่าด้วยอัตราเร็วตั้งแต่ 0.06 $ม^3$/นาที ถึง 0.36 $ม^3$/นาที ตามลำดับ พร้อมกับวัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นกระจายของไหลกับบริเวณเหนือเบดในแต่ละช่วงด้วยมาโนมิเตอร์ ค่าความดันลดที่วัดได้จะเป็นความดันลดที่เกิดขึ้นจากอากาศไหลผ่านคอลัมน์ (ภาคผนวกที่ 1)

2) บรรจุถ่านหินลิกไนท์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.5 มม. ลงในคอลัมน์สูง 10 ซม. แล้วให้อากาศไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราเร็ว 0.06 $ม^3$/นาที ถึง 0.36 $ม^3$/นาที พร้อมกับวัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงด้วยมาโนมิเตอร์

3) นำค่าความดันลดที่วัดได้ในข้อ 2 และ ข้อ 1 ในแต่ละช่วงมาลบกันจะได้ค่าความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านเบด

4) ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2 แต่ให้บรรจุถ่านลิกไนท์ลงในคอลัมน์ให้มีความสูง 13 และ 16 ซม. ตามลำดับ วัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้นแล้วนำมาคำนวณหาค่าความดันลดที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านเบดที่ระดับความสูงต่าง ๆ

4.3 การเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ในฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

ก. การเตรียมการก่อนการเผาไหม้

1) วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature, Tw) และกระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature, Td) ของอากาศที่ใช้ในการทดลอง

2) บรรจุถ่านลิกไนท์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.5 มม. ลงในคอลัมน์จนเต็มถึงช่องล่อดหัวเผาแล้วจุดไฟเพื่ออุ่นเตาและเผาผิวหน้าของเบดโดยใช้ก๊าซหุงต้ม (L.P.G.) ในขณะเดียวกันก็เปิดวาล์วให้อากาศไหลผ่านเบดเพียงเล็กน้อย รอจนกระทั่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 700 องศาเซลเซียส จึงดับไฟที่หัวเผาและนำหัวเผาออกจากคอลัมน์พร้อมกับปิดช่องล่อดหัวเผาด้วยแผ่นไมก้า

ข. วิธีการทดลองเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ในฟลูอิไดซ์เบด

1) หลังจากที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 700 องศาเซลเซียสแล้ว ค่อย ๆ เปิดวาล์วให้อากาศไหลผ่านเบดมากขึ้นทีละน้อย จนกระทั่งถึงความเร็วของอากาศที่ต้องการ (1.55 - 2.0 เท่า ของความเร็วที่ต่ำสุดในการทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน) ขณะเดียวกันก็เปิดช่องนำเถ้าออกจากคอลัมน์

2) หลังป้อนถ่านลิกไนท์เข้าไปในคอลัมน์โดยเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และตั้งอุณหภูมิของการเผาไหม้ตามที่ต้องการ เปิดช่องนำเถ้าออกจากคอลัมน์เป็นครั้งคราว ขณะทำการทดลอง อาจจะกวนเบดด้วยก้านกวาดเถ้าได้บ้างเพื่อให้เบดมีการเคลื่อนไหวไม่เกาะรวมตัวกัน จากนั้นก็ค่อย ๆ เปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าสู่คอลัมน์ทีละน้อย เพื่อไม่ให้อุณหภูมิของการเผาไหม้ลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว รอจนกระทั่งอุณหภูมิของการเผาไหม้คงที่และการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงค่อย ๆ เปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าสู่คอลัมน์อีกจนถึงค่าที่ต้องการ ถ้าหากเปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้า

สู่คอลัมน์เร็วเกินไป น้ำจะดูดกลืนความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว และอาจจะทำให้ไฟดับได้ ขณะที่ป้อนถ่านลิกไนท์เข้าไปทำให้เกิดการเผาไหม้อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงค่าที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิก็จะตัดกระแสไฟทำให้มอเตอร์หยุดทำงาน จึงไม่มีการป้อนถ่านลิกไนท์เข้าสู่คอลัมน์และอุณหภูมิของการเผาไหม้ก็จะไม่สูงขึ้นอีก เมื่อปล่อยทิ้งไว้สักครู่อุณหภูมิของการเผาไหม้จะลดต่ำลงกว่าค่าที่ตั้งไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิก็จะบังคับให้มอเตอร์ทำงานขึ้นใหม่อีกจนกระทั่งถึงอุณหภูมิของการเผาไหม้ที่ตั้งไว้ มอเตอร์ก็จะหยุดทำงานอีกเป็นเช่นนี้เรื่อยไป การควบคุมอุณหภูมิจึงอาศัยการบังคับการทำงานหรือการปิดเปิดมอเตอร์ที่จะไปหมุนระบบลำรูที่จะป้อนถ่านลิกไนท์เข้าสู่คอลัมน์โดยผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ในการทดลองจะต้องรอจนการเผาไหม้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิของการเผาไหม้และอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ

3) เริ่มจับเวลาที่ทำการทดลองเผาไหม้อย่างต่อเนื่อง พร้อมกับวัดอุณหภูมิของไอน้ำที่ออกจากคอลัมน์ อุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ พร้อมกับวัดส่วนผสมของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ด้วยเครื่องมือออแล็ท

4) เมื่อการเผาไหม้สิ้นสุดลงก็นำเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ที่ออกจากคอลัมน์และไซโคลนไปชั่งน้ำหนัก พร้อมกับนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนและคุณค่าทางความร้อนและคำนวณหาอัตราการป้อนถ่านลิกไนท์ที่ใช้

4.4 สภาวะในการเผาไหม้

ในแต่ละการทดลองจะมีตัวแปรที่พิจารณาคือ อุณหภูมิของการเผาไหม้และอัตราการไหลของอากาศหรือความเร็วของอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 แสดงสภาวะที่กำหนดขึ้นในการทดลองเผาไหม้ถ่านลิกไนท์ในฟลูอิไดซ์เบด

อุณหภูมิของการเผาไหม้ (องศาเซลเซียส)	อัตราการไหลของอากาศ ($ม.^3$/นาที)	ความเร็วของอากาศ (ซม./วินาที)
800	1.4333	76.08
	1.5733	83.16
	1.7167	91.16
	1.8500	98.20
850	1.4333	76.08
	1.5733	83.16
	1.7167	91.12
	1.8500	98.20
900	1.4333	76.08
	1.5733	83.16
	1.7167	91.12
	1.8500	98.20
950	1.4333	76.08
	1.5733	83.16
	1.7167	91.12
	1.8500	98.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย