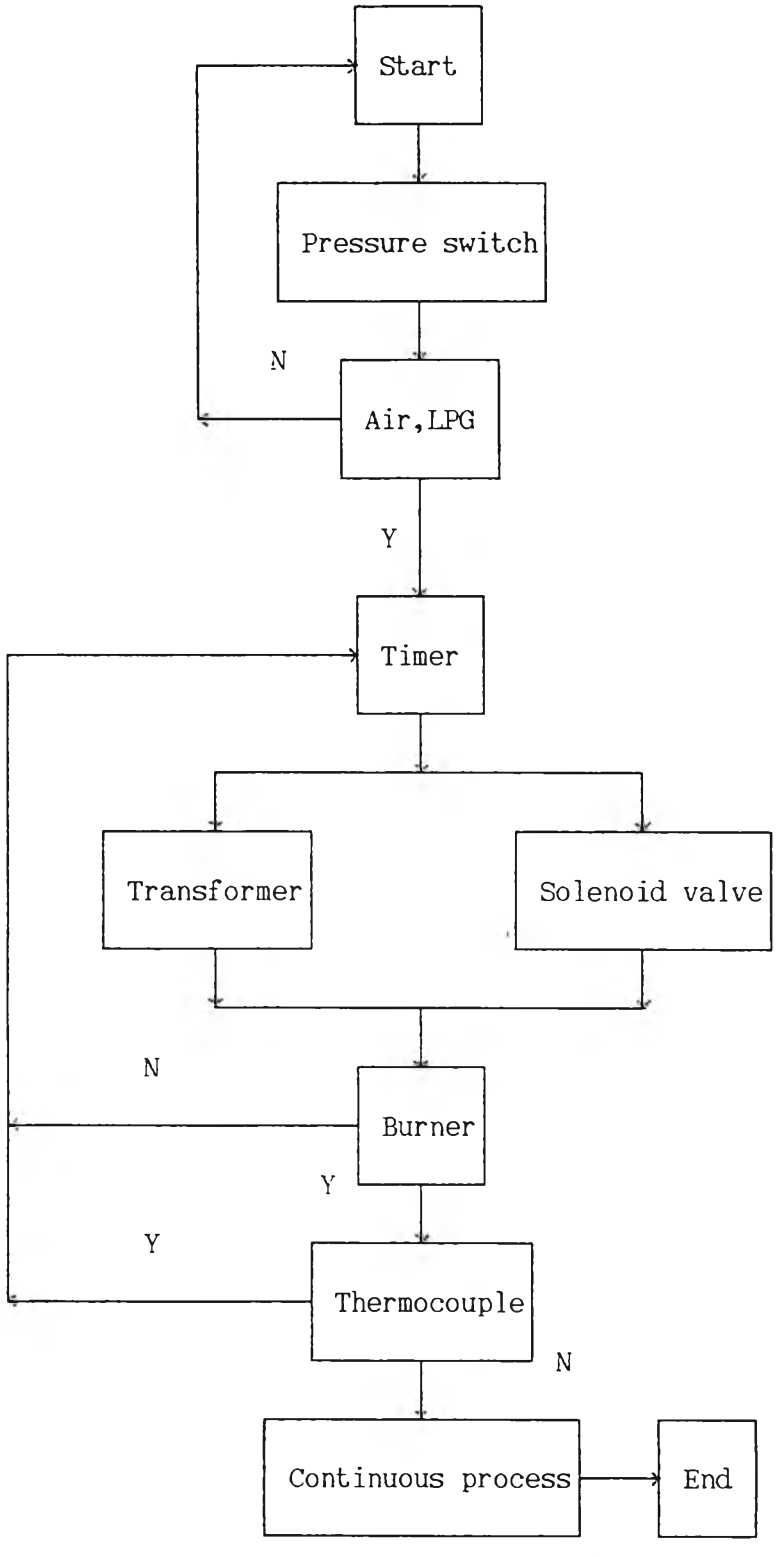
บทที่ 4

วิธีการทดลอง

4.1 การปรับปรุงเครื่องมือวิจัย

จากการทดลองจุดเตาเผาขยะ พบว่าเกิดปัญหาต่าง ๆ ขึ้น จึงได้ทำการแก้ไขและติดตั้งอุปกรณ์บางส่วนเพิ่มเติมเพื่อให้เครื่องมือวิจัยทำงานได้ดีขึ้นดังนี้

ก ปรับปรุงการจุดติดของหัวเผาเป็นแบบจุดติดอัตโนมัติ โดยมีตัวจุดติดประกอบด้วยหัวเทียนกับเครื่องแปลงความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าและเพิ่มระบบการตรวจสอบก๊าซแอลพีจีกับอากาศที่ป้อนเข้าเตาเผา กระบวนการทำงานของระบบจุดติดโดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นระบบการควบคุมแบบป้อนกลับ (feedback control) มีดังนี้ เริ่มต้นเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ระบบจะทำการตรวจสอบก๊าซแอลพีจีและอากาศที่ป้อนเข้าหัวเผาว่ามีหรือไม่ ถ้ามีเพียงตัวใดตัวหนึ่งหรือไม่มี การทำงานจะสิ้นสุดและให้กลับไปเริ่มต้นใหม่ หลังจากตรวจสอบก๊าซแอลพีจีและอากาศเรียบร้อยแล้วการทำงานต่อไปจะเริ่มที่ตัวจุดติดไฟ การทำงานของตัวจุดติดไฟ เริ่มจากเครื่องแปลงความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า แปลงความต่างศักย์จาก 220 โวลท์ให้เป็น 16 กิโลโวลท์ เพื่อจุดหัวเทียนให้ติดประกายไฟ จากนั้นวาล์วไฟฟ้าจะปล่อยก๊าซแอลพีจีเข้ามาผสมกับอากาศ และติดไฟขึ้น เมื่อไฟที่หัวเผาติดแล้ว ระบบจะทำงานต่อโดยควบคุมอุณหภูมิภายในเตาเผาให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิวัดอุณหภูมิจากเตาเผา เมื่ออุณหภูมิภายในเตาเผาสูงเกินค่าที่กำหนดไว้ เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะตัดไฟฟ้าของวาล์วก๊าซไฟฟ้า ไม่ปล่อยให้ก๊าซแอลพีจีออกมา มีผลให้ไฟที่หัวเผาดับ และเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนดไว้วาล์วก๊าซไฟฟ้าจะทำงานต่อปล่อยให้ก๊าซแอลพีจีเข้ามา ทำให้หัวเผาติดไฟอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 กระบวนการทำงานของระบบจุดติดหัวเผาโดยอัตโนมัติ

ข เนื่องจากทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง มีผลให้ส่วนของหัวเผาที่ทำมาจากเหล็กเกิดการสึกกร่อนได้ง่ายดังนั้นเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานจึงเปลี่ยนหัวเผามาใช้หัวเผาที่ทำจากวัสดุเซรามิกส์แทน ส่วนประกอบของหัวเผาที่ทำจากเซรามิกส์ประกอบด้วย คอมเปาน์เคลย์ (compound clay) 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับคอร์เดียไรท์ (cordierite) 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อผสมส่วนประกอบทั้งสองเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นรูปตามแบบของหัวเผาที่เตรียมไว้ หลังจากขึ้นรูปได้ชิ้นงานที่ต้องการแล้วนำชิ้นงานที่ได้เข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้นออก เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามกำหนดนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส ก็จะได้หัวเผาเซรามิกส์ ดังรูปที่ 4-2 และ 4-3

ค เปลี่ยนทิศทางการติดตั้งหัวเผาเข้าเตาเผา โดยเปลี่ยนจากการนำหัวเผาเข้าทางด้านข้างมาเข้าทางด้านล่างของเตาเผา ปรากฏว่าเวลาที่ใช้ในการอุ่นเตาเผาก่อนเริ่มทำการทดลองลดลง และสามารถป้อนเม็ดทรายเข้าสู่เตาเผาได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกันระหว่างเม็ดทรายกับขยะ ทำให้ปริมาณการเผาขยะได้มากขึ้น ดังรูปที่ 3-1 และ 3-2

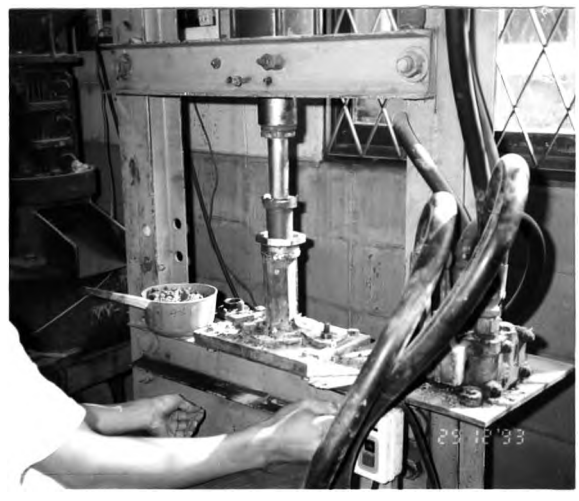
ง จากการทดลองเผาขยะ พบว่าขยะบางส่วนเกิดลุกติดไฟในบริเวณทางออกของขยะที่จะเข้าเตาเผาของเครื่องป้อนขยะแบบสกรู ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ขึ้นในส่วนนี้ ดังนั้นจึงเพิ่มอากาศเข้าสู่เตาเผา โดยอากาศจะเข้าในบริเวณระหว่างเครื่องป้อนขยะแบบสกรูกับส่วนที่เกิดการเผาไหม้ขยะโดยเม็ดทราย

จ ปรับปรุงเครื่องป้อนขยะแบบสกรู ดังนี้

1 เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อให้มีขนาดเพิ่มขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณขยะที่จะป้อนเข้าเตาเผา โดยเปลี่ยนขนาดท่อจาก 7.5 เซนติเมตรเป็น 21 เซนติเมตร พบว่าปริมาณของขยะที่เข้าเตาเผามากเกินไปทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2 เปลี่ยนแปลงบริเวณทางออกของขยะให้มีขนาดเล็กลง โดยให้ส่วนที่รับขยะยังมีขนาดท่อเท่าเดิมคือ 21 เซนติเมตร แต่บริเวณทางออกลดขนาดของท่อลงเหลือเพียง 10 เซนติเมตร พบว่าขยะที่ป้อนเข้าไปจะอัดตัวกันแน่นก่อนเข้าเตาเผา ทำให้การเผาไหม้ขยะโดยสมบูรณ์ไม่สามารถทำต่อเนื่องได้ เพราะขยะที่เผาจะใช้เวลาในการเผานานกว่าปกติ เนื่องจากการอัดแน่นของขยะ เป็นการเพิ่มปริมาตรขยะ

3 ใช้ขนาดคงเดิมดามข้อ 2 แต่เพิ่มความกว้างของเกลียวสกรูให้มากกว่าเดิมเพื่อต้องการจะลดการอัดตัวของขยะ พบว่ายังมีการอัดแน่นของขยะเช่นเดิม



รูปที่ 4-2 วิธีการขึ้นรูปหัวเผา

รูปที่ 4-3 หัวเผาเซรามิกส์

4 ลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อให้เหลือ 12.5 เซนติเมตร พบว่าการป้อนขยะเข้าเตาเผาอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ที่สมบูรณ์

ฉ เนื่องจากการป้อนถุงพลาสติกเข้าเตาเผาไม่สามารถป้อนได้ เพราะพลาสติกมีความยืดหยุ่นสูงจึงเกิดการพันรอบแกนสกรูและหมุนอยู่ที่เดิม นอกจากนั้นขยะที่มีขนาดใหญ่ก็ไม่สามารถป้อนเข้าเตาเผาได้ทันทีเช่นเดียวกัน ดังนั้นจำเป็นจะต้องมีการลดขนาดของขยะก่อนที่จะนำไปป้อนเข้าเครื่องป้อนขยะแบบสกรู จึงมีการติดตั้งเครื่องลดขนาดของขยะ

ช จากการทดลองในตอนที่ 3 มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์อย่างมาก ดังนั้นจึงทำการสร้างเตาเผาใหม่ขึ้น รายละเอียดของเตาเผาได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.2 ก

4.2 <u>การหาความเร็วของอากาศโดยเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ของโรตามิเตอร์</u>

ก วัดความเร็วของอากาศบริเวณส่วนพักอากาศของเตาเผา ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร

ข เปิดเครื่องเป่าอากาศ วัดความเร็วอากาศด้วยเครื่องวัดลมแอนีโมมิเตอร์ (anemometer) เปรียบเทียบกับอัตราการไหลของอากาศที่อ่านได้จากโรตามิเตอร์ ที่ต่อไว้อยู่ระหว่างเครื่องเป่าลมกับเตาเผา แต่ละค่า บันทึกผล

ค วัดค่าความเร็วอากาศอีกครั้ง เพื่อนำไปหาค่าเฉลี่ยของความเร็วอากาศ

4.3 <u>การหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน</u> (Minimum fluidization velocity)

ก่อนทำการทดลองต้องเทียบค่าอัตราการไหลของอากาศจากโรตามิเตอร์กับอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศที่ได้มาตราฐาน ซึ่งทำการทดลองแล้วจากข้อ 4.2

ในการทดลองหาค่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดเซชัน อาศัยการวัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้น เนื่องจากอากาศไหลผ่านเบด โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก ให้อากาศไหลผ่านคอลัมน์เปล่า ด้วยอัตราเร็วตั้งแต่ 30.15 ถึง 148.27 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พร้อมกับวัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นกระจายของไหลกับบริเวณเหนือเบดในแต่ละช่วงด้วยมาโนมิเตอร์ ค่าความดันลดที่วัดได้จะเป็นความดันลดที่

เกิดขึ้นจากอากาศไหลผ่านคอลัมน์

ข บรรจุเม็ดทรายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1.0 ถึง 1.4 มิลลิเมตร ลงในคอลัมน์สูงประมาณ 5 เซนติเมตร แล้วให้อากาศไหลผ่านคอลัมน์ด้วยอัตราเร็ว 30.15 ถึง 148.27 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ พร้อมกับวัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงด้วยมาโนมิเตอร์

ค นำค่าความดันลดที่วัดได้จากข้อ ข และข้อ ก ในแต่ละช่วงมาลบกันจะได้ค่าความดันที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไหลของอากาศผ่านเบด

ง ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ ข แต่ให้บรรจุเม็ดทรายลงในคอลัมน์ ให้มีความสูง 7 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ วัดค่าความดันลดที่เกิดขึ้นแล้วนำมาคำนวณหาค่าความดันลดที่เกิดจากการไหลของอากาศผ่านเบดที่ระดับความสูงต่าง ๆ

จ เขียนกราฟในสเกล log-log โดยมีแกนตั้งเป็นความดันลด ส่วนแกนนอนเป็นความเร็วของอากาศ

4.4 การหาอัตราการป้อนขยะของเครื่องป้อนขยะแบบสกรู

ก นำขยะที่ลดขนาดลงแล้ว ใส่ในเครื่องป้อนขยะแบบสกรู โดยชั่งน้ำหนักของขยะเริ่มต้นประมาณ 2 กิโลกรัม

ข เปิดเครื่องป้อนขยะ โดยเริ่มจากค่าความเร็วรอบต่ำ ๆ ก่อน แล้วค่อยเพิ่มขึ้น

ค เริ่มจับเวลาเมื่อขยะเข้าเตาเผา จนขยะหมดจากเครื่องป้อนขยะ

ง ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนค่าความเร็วรอบของเครื่องป้อนขยะค่าใหม่

4.5 การเตรียมวัตถุดิบในการวิจัย

ก การเตรียมขยะ

1 นำขยะที่จัดเตรียมไว้ แยกเศษโลหะ, เซรามิกส์, แก้ว และสิ่งอื่น ๆ ที่ไม่สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 700 ถึง 800 องศาเซลเซียส ออกก่อนการเผาไหม้

2 ลดขนาดของขยะ โดยใช้เครื่องตัดลดขนาดของขยะให้มีขนาดลดลงเล็กที่สุดเท่าที่ทำได้ และมีขนาดใกล้เคียงกัน เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ของขยะในการเผาไหม้ และทำให้การป้อนขยะโดยใช้เครื่องป้อนขยะแบบสกรูสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยขนาดของขยะอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 เซนติเมตร

ข การจัดเตรียมทรายที่ใช้เป็นเบด

1 แยกขนาดของทรายที่จะใช้เป็นเบดให้มีขนาดอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.4 มิลลิเมตร

โดยใช้ตะแกรงร่อนมาตรฐาน

2 ทรายที่ร่อนแล้ว ทำการแยกสารประกอบอื่น ๆ ที่ปะปนมาออก โดยการเผาทรายที่อุณหภูมิประมาณ 500 ถึง 600 องศาเซลเซียส

3 นำทรายที่เผาแล้วแยกขนาดอีกครั้ง โดยใช้ตะแกรงร่อนมาตราฐาน ให้มีขนาดอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 1.4 มิลลิเมตร

4.6 การเผาชยะอย่างต่อเนื่องในฟลูอิไดซ์เบด

ก การเตรียมการก่อนการเผาไหม้

1 วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature, Tw) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature, Td) ของอากาศที่ใช้ในการทดลอง

2 เตรียมเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซร้อนที่ออกมาจากเตาเผา โดยเปิดสวิทช์เพื่อให้เครื่องเริ่มทำงานเป็นการอุ่นเครื่องประมาณ 15 นาทีก่อนทำการวัด

3 เปิดน้ำเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและเปิดเครื่องดูดอากาศที่ออกจากไซโคลนเข้าสู่เครื่องกำจัดฝุ่นและก๊าซดูดซึม

4 เริ่มทำการอุ่นเตาเผา โดยใช้หัวเผาสอดเข้าช่องสอดหัวเผา ใช้ก๊าซแอลพีจีเป็นเชื้อเพลิงจุดอุ่นเตา และเป็นเชื้อเพลิงตลอดการเผาไหม้ ปรับอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีให้อยู่ในสภาวะที่ใช้ทดลอง ขณะเดียวกันก็เปิดวาล์วอากาศให้ไหลผ่านเข้าสู่เบดเล็กน้อย พร้อม ๆ กันนั้นก็ป้อนเม็ดทรายเข้าคอลัมน์ จนกระทั่งอุณหภูมิประมาณ 700 องศาเซลเซียส

ข วิธีการทดลองเผาชยะในฟลูอิไดซ์เบด

1 หลังจากอุ่นเตาเผาชยะจนถึงอุณหภูมิที่กำหนดแล้ว ค่อย ๆ เปิดวาล์วให้อากาศไหลผ่านเบดมากขึ้นทีละน้อย จนกระทั่งถึงความเร็วอากาศที่ต้องการ

2 เริ่มป้อนชยะเข้าเตาเผา โดยทำการปรับอัตราเร็วของมอเตอร์เครื่องป้อนชยะจนได้อัตราการป้อนชยะตามที่ต้องการ เมื่อชยะเกิดการเผาไหม้ จับเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ชยะ บันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของเตาเผา และบันทึกอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุก ๆ 2 นาที

3 วัดส่วนผสมของก๊าซร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซที่จัดเตรียมไว้

4 เมื่อการเผาชยะสิ้นสุดลง นำเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ออกทางด้านล่างของเตาเผา และจากไซโคลนไปชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งวิเคราะห์องค์ประกอบของเถ้า

4.7 สภาวะในการเผาไหม้

ในการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ตอน โดยในแต่ละการทดลองจะมีสภาวะที่พิจารณาแตกต่างกัน ดังนี้คือ

1 การทดลองตอนที่ 1 มีการสอดเข้าหัวเผาทางด้านข้างเตาเผา

เตาเผาที่ใช้เป็นเตาเผาถ่านหินซึ่งมีอยู่แล้ว ได้ทำการปรับปรุงเตาเผาต่าง ๆ และมีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

1.1 การทดลองเผาตะกอนสลัดจ์ มีตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาคือ อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี, อัตราการป้อนตะกอนสลัดจ์ และอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4-1

1.2 การทดลองเผาขยะ มีตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาคือ อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี, อัตราการป้อนขยะ และอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในตารางที่ 4-2

2 การทดลองตอนที่ 2 มีการสอดเข้าหัวเผาทางด้านล่างเตาเผา และมีอากาศช่วย (secondary air) ในการเผาไหม้ โดยมีตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาเช่นเดียวกันกับการทดลองตอนที่ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4-3

3 การทดลองตอนที่ 3 มีการสอดเข้าหัวเผาทางด้านล่างเตาเผา และมีอากาศช่วยในการเผาเช่นเดียวกับการทดลองตอนที่ 2 แต่มีสภาวะแตกต่างจากการทดลองตอนที่ 1 และตอนที่ 2 เพราะพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายของก๊าซแอลพีจี โดยแปรค่าอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ได้ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมแล้วก่อนการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-1 สภาวะการทดลองเผาไหม้ตะกอนสลัดจ์ในการทดลองตอนที่ 1.1

การทดลองที่	อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)	อัตราการป้อนตะกอนสลัดจ์ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1-4	1.07	120.33, 147.06, 187.17, 197.87	3.04
5-9	1.07	187.17	2.71, 3.04, 3.56, 3.56, 4.09, 4.56
10-15	1.40	80.22, 120.32, 147.06, 187.17, 197.87, 213.82	3.56
16-18	1.40	187.17	5.61, 6.73, 8.49
19-20	1.69	187.17	6.73, 8.49
21	1.40	187.17	6.73

ตารางที่ 4-2 สภาวะการทดลองเผาไหม้ขยะในการทดลองตอนที่ 1.2

การทดลองที่	อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)	อัตราการป้อนขยะ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1-6	1.07	80.22, 120.33, 147.06, 187.17, 197.87, 213.82	4.17
7-9	1.07	187.17	4.78, 5.29, 5.94
10-13	1.40	147.06, 187.17, 197.87	6.94
14-16	1.40	187.17	7.80, 9.69, 10.99
17-19	1.69	147.06, 187.17,	7.80
20-21	1.69	187.17	9.69, 10.99
22	1.40	187.17	10.99

ตารางที่ 4-3 สภาวะการทดลองเผาไหม้ขยะในการทดลองตอนที่ 2

การทดลองที่	อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)	อัตราการป้อนขยะ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1-3	1.07	200.97, 211.67, 227.62	5.29
4-6	1.07	211.67	5.94, 6.50, 6.94
7-9	1.40	200.97, 211.67, 227.62	7.80
10-12	1.40	211.67	9.69, 10.99, 13.06
13-15	1.69	200.97, 211.67, 227.62	7.80
16-18	1.69	211.67	9.69, 10.99, 13.06
19	1.40	211.67	10.99

ตารางที่ 4-4 สภาวะการทดลองเผาไหม้ขยะในการทดลองตอนที่ 3

การทดลองที่	อัตราการไหลของก๊าซแอลพีจี (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง)	อัตราการป้อนขยะ (กิโลกรัม/ชั่วโมง)
1-4	2.05, 2.38, 2.69, 2.38	240.03	28.00
5	2.38	240.03	28.00