คู่มือปฏิบัติงาน
การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ
โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

นภารัตน์ ขนันทัย
คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

คำนำ

คู่มือปฏิบัติงานการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จัดทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานอย่างถูกต้องและเหมาะสมตามหลักวิธีการของเครื่องคณะ ยี่ห้อ PARR รุ่น 6200 EF สำหรับเนื้อหาสาระของคู่มือปฏิบัติงานการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ แบ่งออกเป็น หลักการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของขยะ หลักการวิเคราะห์หาค่าความร้อน หลักการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ โดยวิธีการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับเครื่องมือของคณะ ซึ่งจะช่วยปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ สามารถใช้สนับสนุนการเรียนการสอน และงานวิจัย

คู่มือเล่มนี้ได้อธิบายเทคนิคและการใช้งานเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ตามหลักวิธีวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสามารถปฏิบัติงานได้จริง สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย ที่แนะนำเนื้อหา และข้อมูลต่าง ๆ ในคู่มือ และขอขอบคุณ นางจิรวีฐ์ แสงทอง นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการพิเศษ ที่แนะนำเทคนิคการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์อย่างละเอียด เพื่อทำให้การจัดทำคู่มือเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนหวังว่าคู่มือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการ นักศึกษา และผู้ที่สนใจ ในการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เป็นอย่างดี

นภารัตน์ ขนันทัย

สิงหาคม 2562

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
สารบัญ	
สารบัญตาราง	
สารบัญรูป	
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตคู่มือปฏิบัติงาน	2
1.4 คำกำจัดความ	3
บทที่ 2 บทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบ	
2.1 บทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่ง	5
2.2 ลักษณะงานที่ปฏิบัติ	5
2.3 โครงสร้างการบริหารงาน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	6
2.3.1 โครงสร้างการบริหารงาน	7
2.3.2 บทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของงานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล	8
บทที่ 3 หลักการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของขยะ	
3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับขยะมูลฝอย	11
3.1.1 แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย	11
3.1.2 ประเภทของขยะมูลฝอย	13
3.1.3 วิธีการกำจัดขยะมูลฝอย	14
3.1.4 การจัดการมูลฝอยแบบผสมผสาน	16

หน้า

3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงขยะ 17
3.2.1 ประเภทของเชื้อเพลิงขยะ 17
3.2.2 การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง 19
3.2.3 คุณลักษณะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงขยะ 20
3.2.4 ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ 21
3.3 การเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะเพื่อการวิเคราะห์ 22
3.3.1 การสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะ 24
3.3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี 25
3.3.3 การเตรียมตัวอย่างจากขยะพลาสติก 26
3.4 หลักการวิเคราะห์หาค่าความร้อน 29
3.5 หลักการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 30
บทที่ 4 ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
4.1 ขั้นตอนการขอใช้บริการ 35
4.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน 39
4.3 อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 41
4.4 ขั้นตอนการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 42
4.4.1 การวัดค่าพลังงานความร้อนของสารมาตรฐาน 42
4.4.1.1 การเตรียมสารมาตรฐาน 43
4.4.1.2 การเปิดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 45
4.4.1.3 การลบค่ามาตรฐานเดิมออกจากเครื่อง และการปลดล็อคค่าเดิมของลูกบอมบ์ 47
4.4.1.4 การเข้าสู่โปรแกรมในการในการทดสอบค่ามาตรฐาน 51
4.4.1.5 การคำนวณผลของสารมาตรฐาน 53
4.4.1.6 การล็อคค่าสารมาตรฐานหลังจากวัดค่าพลังงาน ความร้อนของสารมาตรฐาน 56

หน้า

4.4.2 การวัดค่าพลังงานความร้อนของตัวอย่าง 57

4.4.2.1 การเปิดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 58

4.4.2.2 การเตรียมตัวอย่างใส่ในลูกบอมบ์ 61

4.4.2.3 การแทนที่อากาศภายในลูกบอมบ์ โดยใช้ออกซิเจน 64

4.4.2.4 การเปิดน้ำจากโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร ลงใน Bucket 65

4.4.2.5 การนำลูกบอมบ์ใส่ลงในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 68

4.4.2.6 การทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 72

4.4.2.7 การสิ้นสุดการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 75

4.4.2.8 การคำนวณตัวอย่าง 80

4.5 ข้อควรปฏิบัติ และข้อควรระวังในการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ 87

บทที่ 5 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

5.1 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไข 89

5.2 ข้อเสนอแนะ 91

บรรณานุกรม 93

ภาคผนวก 95

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ประเภทของเชื้อเพลิงขยะ RDF	18
3.2	ค่าความร้อนของขยะประเภทต่าง ๆ	20
3.3	คุณลักษณะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงขยะ	21
4.1	แสดงแบบบันทึกสำหรับการควบคุมดูแลเครื่องมือ	40

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2 – 1	โครงสร้างการบริหารงาน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	7
3 – 1	แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน	16
3 – 2	การเตรียมตัวอย่างจากขยะประเภทพลาสติก	27
3 – 3	เครื่องอัดเม็ดตัวอย่างเชื้อเพลิง	28
3 – 4	ลูกบอมบ์ที่อยู่ภายในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	30
4 – 1	ขั้นตอนการใช้บริการ	37
4 – 2	ส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์	41
4 – 3	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของลูกบอมบ์	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประชากรเพิ่มมากขึ้น การขยายตัวทางเศรษฐกิจและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การเข้าถึงการอุปโภคบริโภคสะดวกมากขึ้น และวิถีชีวิตของคนไทยมีแนวโน้มเลียนแบบวัฒนธรรมตะวันตก โดยมีการบริโภคที่ใช้วัตถุดิบในการผลิตรวมทั้งใช้พลังงานมากและยังเป็นการบริโภคที่มีการใช้ทรัพยากรอย่างฟุ่มเฟือยไม่รู้คุณค่า ก่อให้เกิดปริมาณขยะมูลฝอยที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งขยะมูลฝอย หมายถึง สิ่งของเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตและอุปโภคซึ่งเสื่อมสภาพ ใช้การไม่ได้หรือไม่ต้องการใช้แล้ว บางชนิดเป็นของแข็งหรือกากของเสีย มีผลเสียต่อสุขภาพทั้งทางกายและจิตใจเนื่องจากความสกปรกเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคทำให้เกิดมลพิษ จึงมีการกำจัดขยะในหลายรูปแบบ เช่น การฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล การเผาในเตาเผา การทำปุ๋ยหมัก รวมถึงการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงาน โดยการนำขยะมาทำเป็นการแปรรูปเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนทั้งในครัวเรือนและอุตสาหกรรม ซึ่งกระบวนการแปรรูปต้องผ่านกระบวนการทางกายภาพ ได้แก่ การสับย่อย อัดและทำให้แห้ง ส่วนกระบวนการทางความร้อนและเคมี เช่น การทำให้เป็นของเหลว การแปรสภาพเป็นแก๊ส การแยกสลายด้วยความร้อน และกระบวนการทางชีวภาพ แต่การจะนำขยะมูลฝอยมาผลิตเป็นแท่งเชื้อเพลิง จะต้องมีการประเมินคุณสมบัติทางเชื้อเพลิงอันได้แก่ ค่าพลังงานความร้อน เถ้า ความชื้น เป็นต้น ซึ่งการหาค่าพลังงานความร้อน สามารถหาได้โดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เป็นเครื่องที่ใช้สำหรับการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกริยาเคมี ซึ่งการวัดค่าพลังงานภายในนี้จะเกี่ยวข้องกับพลังงานอิเลคตรอนโดยตรง สารเคมีที่มีพลังงานอิเลคตรอนในระดับสูงย่อมมีพลังงานภายในสูงตามไปด้วย

จากรายละเอียดดังกล่าวข้างต้น นักศึกษา คณาจารย์ และนักวิจัยของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ จึงให้ความสนใจในการศึกษาวิจัยเรื่อง การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ ซึ่งการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการหาค่าพลังงานความร้อน จำเป็นต้องมีการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รวมถึงวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง แม่นยำ

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ สำหรับห้องปฏิบัติการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

2) เพื่อให้การวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์เป็นไปด้วยความถูกต้อง การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพ แม่นยำ เชื่อถือได้

3) เพื่อใช้เป็นคู่มือปฏิบัติงานของนักวิทยาศาสตร์ ในการวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ และสามารถทำงานทดแทนกันได้กรณีผู้ปฏิบัติงานหลักไม่สามารถปฏิบัติงานได้ รวมทั้งนักศึกษาที่สนใจในการทำวิจัย เกี่ยวกับการหาค่าพลังงานความร้อน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) นักศึกษา คณาจารย์ นักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ และบุคลทั่วไปที่สนใจสามารถใช้ เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ได้อย่างถูกต้อง

2) เพื่อให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดจากการใช้งานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รวมถึงวิธีการเตรียมตัวอย่างในเบื้องต้น

1.4 ขอบเขตคู่มือปฏิบัติงาน

1) คู่มือปฏิบัติงานนี้จะอธิบายถึงวิธีการวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงขยะ

2) เครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในคู่มือนี้ คือเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ยี่ห้อ PARR รุ่น 6200 EF

1.5 คำจำกัดความ

1) Bomb Calorimeter หมายถึง เครื่องมือที่ใช้วัดค่าพลังงานความร้อน

2) Gross sample หมายถึง ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของทั้งกอง ซึ่งได้มาจากการสุ่มตัวอย่างหลายๆ จุด ในกองมาผสมกัน แล้วทำการแบ่งส่วนหลายๆ ครั้ง โดยใช้ quartering technique เพื่อให้ได้ตัวแทน

3) Laboratory sample หมายถึง ตัวแทนของ gross sample ที่ใช้ในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

4) Analysis sample หมายถึง ส่วนหนึ่งของตัวอย่างที่เตรียมได้จากการบดย่อย air-dried laboratory Sample ให้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 0.5 มิลลิเมตร หรือเล็กกว่า

บทที่ 2

บทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบ

2.1 บทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ทำหน้าที่ในการสนับสนุนการเรียนการสอน การวิจัย และบริการวิชาการ โดยจัดเตรียมเครื่องแก้ว สารเคมี เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์สำหรับการเรียนการสอน อีกทั้งยังให้บริการในการตรวจวิเคราะห์ดิน น้ำ อากาศ ในโครงการตรวจวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม และต้องทำการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เข้าสู่ระบบมาตรฐานสากล ISO/IEC 17025

2.2 ลักษณะงานที่ปฏิบัติ

1) เป็นผู้ช่วยสอนในปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมด้านดิน และน้ำ

2) ให้คำแนะนำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ และการเลือกใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์สำหรับโครงงานทางวิทยาศาสตร์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษาที่ทำวิทยานิพนธ์

3) ให้คำแนะนำปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สำหรับนักศึกษาที่ออกฝึกภาคสนาม

4) ให้การสนับสนุนงานวิจัยของคณะ

5) วิเคราะห์ตัวอย่างในโครงการตรวจวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ด้านน้ำ การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี การนำไฟฟ้า ของแข็งตกตะกอน ความเป็นกรด-ด่าง ซัลเฟต ซัลไฟด์ คลอรีน คลอไรด์ ความกระด้าง ความเป็นด่าง แอมโมเนียไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน ด้านดิน การวิเคราะห์หาขนาดอนุภาคดิน อินทรียวัตถุในดิน ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เป็นต้น

6) บริหารการจัดการเอกสารในระบบ ISO/IEC 17025

7) จัดฝึกอบรมความปลอดภัยและการกำจัดของเสียในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี บัณฑิตศึกษา ก่อนเข้าใช้ห้องปฏิบัติการ

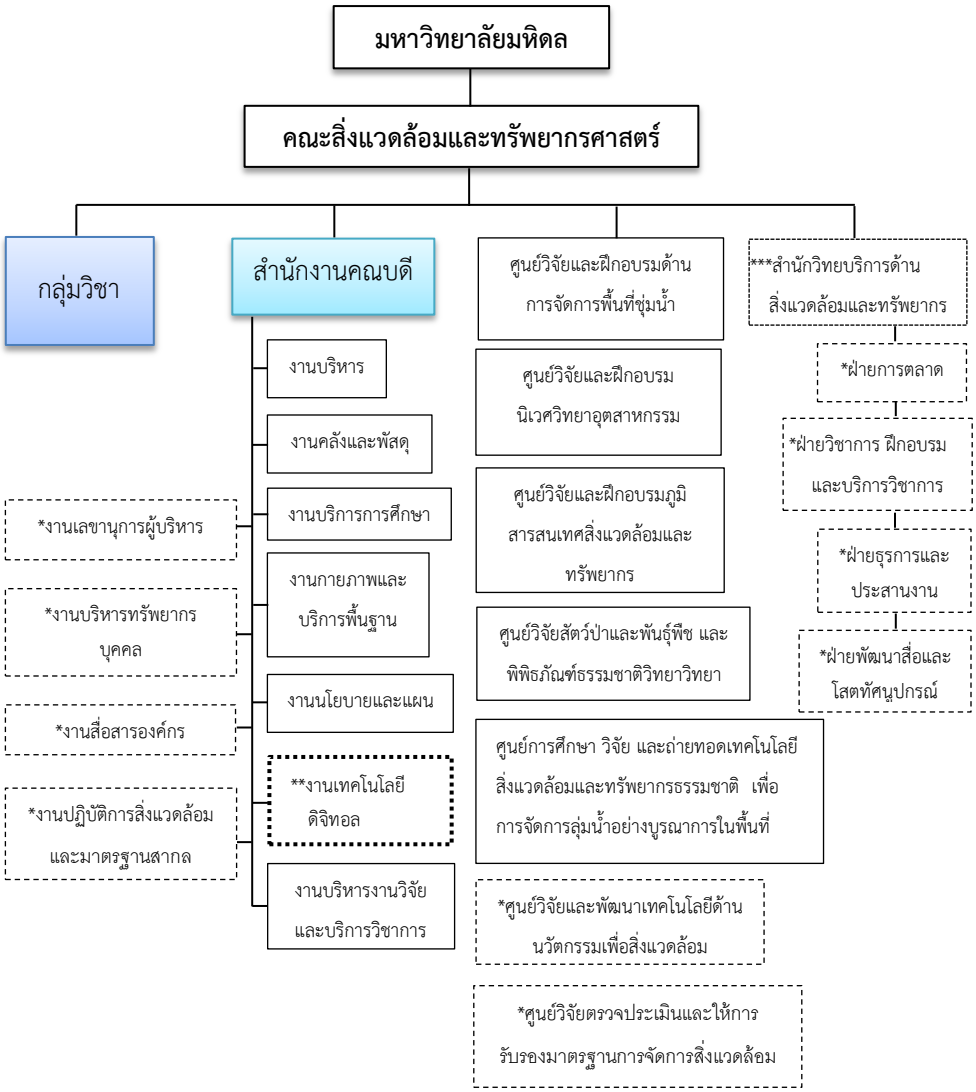
8) ดูแลเครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ได้แก่ เครื่องวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อน (Bomb Calorimeter) เครื่อง GC (Gas Chromatograph) เครื่องผลิตน้ำกลั่น ตู้อบ ตู้ดูดควัน เครื่องชั่ง ตู้ควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น ให้พร้อมในการใช้งานอยู่เสมอ

9) สามารถแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเมื่อเครื่องมือเกิดขัดข้อง และประสานงานกับบริษัทที่เกี่ยวข้องเข้ามาตรวจเช็คและซ่อมบำรุง

2.3 โครงสร้างการบริหารงาน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

งานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล มีฐานะเป็นงานหนึ่งของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อยู่ภายใต้การกำกับของรองคณบดีและคณบดีตามลำดับ

2.3.1 โครงสร้างการบริหารงาน



*** คือ หน่วยงานที่เสนอขอปรับเข้าโครงสร้างคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

** คือ หน่วยงานที่ขอเปลี่ยนชื่อจาก “งานสารสนเทศ” เป็น “งานเทคโนโลยีดิจิทอล”

* คือ หน่วยงานภายในที่ผ่านการรับรองโดยคณะกรรมการประจำส่วนงาน

รูปที่ 2 – 1 โครงสร้างการบริหารงาน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

โครงสร้างและระบบกำกับดูแล

ส่วนงานมีโครงสร้างการบริหารตามแผนผังข้างต้น โดยมีผู้บังคับบัญชาสูงสุด คือ คณบดี ที่กำกับดูแลบุคลากรรวมทั้งหน่วยงานทั้งหมดที่ตั้งขึ้นภายใต้การดำเนินงานของส่วนงาน ทั้งนี้ส่วนงานไม่มีการแบ่งเป็นภาควิชา จึงทำให้บริหารจัดการโดยมีการมอบหมายหน้าที่ตามลำดับสายงานแก่รองคณบดี ผู้ช่วยคณบดี หัวหน้างาน หัวหน้าหน่วย และบุคลากรอื่น ๆ ตามลำดับ และตามความเหมาะสมโดยรองคณบดี และคณาจารย์จะปฏิบัติงานขึ้นตรงต่อคณบดี ส่วนรองคณบดีมีอำนาจหน้าที่กำกับดูแลงานที่ได้รับมอบหมายจากคณบดี โดยมีหัวหน้างานช่วยกำกับดูแลการดำเนินงานของผู้ใต้บังคับบัญชาในงานนั้น ๆ ให้ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผู้เกี่ยวข้องจะรายงานต่อหัวหน้าหน่วย หัวหน้างาน รองคณบดี และคณบดีตามลำดับ

2.3.2 บทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของงานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล

งานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากลทำหน้าที่สนับสนุนการเรียนการสอน และบริการวิชาการ โดยแบ่งออกเป็น 3 หน่วย และมีภาระหน้าที่ความรับผิดชอบดังนี้

1) หน่วยสนับสนุนการเรียนการสอนและวิจัย

นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ มีหน้าที่ในการจัดเตรียมเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องแก้ว อุปกรณ์ วัสดุ สารเคมี และอาหารเลี้ยงเชื้อ ให้พร้อมสำหรับงานปฏิบัติการการเรียนการสอน ให้คำแนะนำในการปฏิบัติการด้านงานวิจัยสำหรับบัณฑิตศึกษา และโครงงานทางวิทยาศาสตร์สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี

2) หน่วยคลินิคสิ่งแวดล้อม

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นอกจากการให้บริการงานการเรียนการสอน การวิจัย และการฝึกอบรมแล้ว ยังให้บริการวิชาการภายใต้หน่วยคลินิคสิ่งแวดล้อม เป็นผู้ให้บริการโครงการตรวจวัดและวิเคราะห์พารามิเตอร์ด้านสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ดังนี้

ด้านน้ำ

สามารถให้บริการตรวจวิเคราะห์หาค่าสี การนำไฟฟ้า ความขุ่นของน้ำ ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ของแข็งทั้งหมด ออกซิเจนที่ละลายน้ำ บีโอดี ความเค็ม ความเป็นกรด-ด่าง ความเป็นด่าง ความกระด้าง ฟอสเฟต ซัลเฟต ซัลไฟด์ แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน คลอรีน คลอไรด์ โคลิฟอร์มแบคทีเรีย ฟีคัลโคลิฟอร์ม และโลหะหนักที่อยู่ในน้ำ เป็นต้น

ด้านดิน

สามารถให้บริการตรวจวิเคราะห์หา ค่าการนำไฟฟ้า อินทรียวัตถุ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไนโตรเจนทั้งหมด ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ความจุในการแลกเปลี่ยนแคทไอออน และโลหะหนักที่อยู่ในดิน เป็นต้น

ด้านอากาศ แสง และเสียง

สามารถให้บริการในการตรวจวัดคุณภาพอากาศ แสง และเสียง

3) หน่วยพัฒนาศักยภาพและประเมินความเสี่ยง

งานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากลมีบทบาทหน้าที่สำคัญเพื่อยกระดับห้องปฏิบัติการให้เป็นระดับสากล จึงมีการพัฒนาศักยภาพของหน่วยงานในการจัดทำระบบ ISO 17025 ซึ่งห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมของคณะได้รับรองความสามารถห้องปฏิบัติการทดสอบตามมาตรฐานเลขที่ มอก.17025-2548

(ISO/IEC 17025 : 2005) หมายเลขการรับรองที่ ทดสอบ 0367 ณ วันที่ 23 ธันวาคม 2556 และจะเพิ่มขอบข่ายของการทดสอบให้มากขึ้น

นอกจากนี้ยังให้บริการในการจัดฝึกอบรมความปลอดภัยและการจัดการของเสียในห้องปฏิบัติการให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษา ก่อนเข้าใช้ห้องปฏิบัติการเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ

โครงสร้างของงานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล

รูปที่ 2 – 2 โครงสร้างของงานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล

บทที่ 3

หลักการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของขยะ

3.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยโดยทั่วไปจะหมายถึงเศษสิ่งของหรือวัสดุที่ไม่ต้องการทั้งที่เป็นขยะที่เผาไหม้ได้ (Combustible material) เช่น เศษอาหาร สิ่งของเครื่องใช้ที่ชำรุด เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ซากพืชซากสัตว์ต่าง ๆ เสื้อผ้าเก่า พลาสติกเก่า และเศษขยะ ผสมปนไปกับขยะที่เผาไหม้ไม่ได้ (Non-combustible material) ซึ่งได้แก่ ขยะเศษแก้ว รวมทั้งโลหะต่าง ๆ

ขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ กัน จะทำให้องค์ประกอบของขยะมูลฝอยแตกต่างกันออกไปด้วย ดังต่อไปนี้ (อัจฉรา, 2562)

3.1.1 แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย

1) **แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยจากชุมชน**

ขยะมูลฝอยจากชุมชน ได้แก่ ที่อยู่อาศัย อาคารสำนักงาน สถาบันการศึกษา ร้านค้า สถานบริการของชุมชน เป็นต้น ขยะมูลฝอยจากชุมชนจากแหล่งต่าง ๆ มีองค์ประกอบไม่แตกต่างกันมากนัก โดยส่วนใหญ่จะเป็นขยะที่ไม่อันตราย เช่น ขยะเศษอาหารจากห้องครัว ขยะเศษใบไม้จากการตกแต่งส่วน ขยะเศษกระดาษจากสำนักงาน หีบห่อบรรจุภัณฑ์จากร้านค้า ขวดแก้ว ขวดพลาสติก กล่องบรรจุเครื่องดื่ม นอกจากนี้ยังมีประเภทของขยะอันตรายที่เกิดขึ้นจากชุมชนด้วย เช่น น้ำยาทำความสะอาดห้องน้ำ น้ำยาเช็ดกระจก เครื่องสำอางค์ ยาทาเล็บ น้ำยาล้างเล็บ น้ำมันเครื่องใช้แล้ว สี ยาหมดอายุ แบตเตอร์รี่ เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

2) **แหล่งกำเนิดของเสียจากอุตสาหกรรม**

ของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมมาจากหลายส่วนด้วยกัน จากเศษวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิต ของเสียจากกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ รวมทั้งขยะมูลฝอยที่เกิดจากพนักงานในโรงงานอุตสากรรมซึ่งจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับขยะชุมชน และควรแยกขยะจากส่วนของโรงงานกับขยะที่เกิดจากพนักงานเพื่อแยกในการกำจัดคนละส่วนกัน ของเสียจากอุตสาหกรรมมีทั้งส่วนที่เป็นของเสียอันตรายและของเสียที่ไม่อันตราย องค์ประกอบและคุณสมบัติของขยะอุตสาหกรรมแต่ละประเภทนั้นจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับประเภทของอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหาร ของเสียส่วนใหญ่จะเป็นของเสียอันตราย เป็นต้น

3) **แหล่งกำเนิดของเสียจากสถานพยาบาล**

ขยะมูลฝอยจากสถานพยาบาล โรงพยาบาล คลินิก และโรงพยาบาลสัตว์ จัดเป็นของเสียอันตราย ประกอบด้วย ขยะมูลฝอยติดเชื้อที่สามารถแพร่เชื้อโรคได้รวมทั้งของเสียที่ปนเปื้อนด้วยสารกัมมันตรังสี ยาเสื่อมสภาพ สารเคมีอันตราย ของมีคม ซากสัตว์ทดลอง ฯลฯ สถานพยาบาลส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการเก็บรวบรวมและกำจัดให้ถูกต้อง มูลฝอยติดเชื้อจากสถานพยาบาลดังกล่าวถูกทิ้งปะปนร่วมกับมูลฝอยชุมชนทำให้เสี่ยงต่อการแพร่กระจายของเชื้อดรคซึ่งอาจมีผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

4) **แหล่งกำเนิดของเสียจากการเกษตร**

ขยะมูลฝอยที่เกิดจากการเกษตร เกิดจากซากพืชที่เหลือหลังการเก็บเกี่ยวมูลสัตว์ ภาชนะและบรรจุภัณฑ์ของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยเคมี ยาฆ่าแมลงและยากำจัดศัตรูพืช ซึ่งประกอบไปด้วย ของเสียอันตรายและของเสียไม่อันตราย

5) **แหล่งกำเนิดของเสียจากการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารและสิ่งปลูกสร้าง**

ขยะมูลฝอยจากการก่อสร้างและรื้อถอนอาคารและสิ่งปลูกสร้างรวมทั้งการซ่อมแซมและการปรับปรุงอาคารและสิ่งปลูกสร้าง ประกอบด้วย ขยะที่ไม่ย่อยสลายเป็นส่วนใหญ่ เช่น เศษปูนซีเมนต์ เศษไม้ เศษกระเบื้อง เศษดิน หิน เศษเหล็ก นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารอันตราย เช่น แร่ใยหิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของวัสดุก่อสร้าง

หรือสารโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว และสารระเหยง่ายที่ผสมอยู่ในสีทาบ้าน ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการจัดการเก็บรวบรวมและกำจัดให้ถูกต้อง ขยะดังกล่าวถูกทิ้งปะปนร่วมกับมูลฝอยชุมชน หรือถูกทิ้งในที่รกร้างว่างเปล่า ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาด้านทัศนียภาพและการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม

3.1.2 ประเภทของขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอย กรมควบคุมมลพิษ (2557) ได้แบ่งตามลักษณะทางกายภาพเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) **ขยะย่อยสลาย (Compostable waste) หรือ มูลฝอยย่อยสลาย** คือ ขยะที่เน่าเสียและย่อยสลายได้เร็ว สามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ เช่น เศษผัก เปลือกผลไม้ เปลือกผลไม้ เศษอาหาร ใบไม้ เศษเนื้อสัตว์ เป็นต้น แต่จะไม่รวมถึงซากหรือเศษของพืช ผัก ผลไม้ หรือสัตว์ที่เกิดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการโดยที่ขยะย่อยสลายนี้เป็นขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากที่สุด คือ พบมากถึง 64 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด

2) **ขยะรีไซเคิล (Recyclable waste) หรือ มูลฝอยที่ยังใช้ได้** คือ ของเสียบรรจุภัณฑ์ หรือวัสดุเหลือใช้ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ เช่น แก้ว กระดาษ เศษพลาสติก กล่องเครื่องดื่มแบบ UHT กระป๋องเครื่องดื่ม เศษโลหะ เหล็ก อะลูมิเนียม ยางรถยนต์ใช้แล้ว เป็นต้น สำหรับขยะรีไซเคิลนี้เป็นขยะมูลฝอยที่มีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 2 ในกองขยะ กล่าวคือ พบประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด

3) **ขยะอันตราย (Hazardous waste) หรือ มูลฝอยอันตราย** คือ ขยะที่มีองค์ประกอบหรือปนเปื้อนวัตถุอันตรายชนิดต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์ วัตถุมีพิษ วัตถุที่ทำให้เกิดโรค วัตถุกัมมันตรังสี วัตถุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์ หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์ พืช ทรัพย์สินหรือ

สิ่งแวดล้อม เช่น ถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์ แบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาชนะบรรจุสารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์บรรจุสีหรือสารเคมี เป็นต้น ขยะอันตรายนี้เป็นขยะมูลฝอยที่มีปริมาณน้อยที่สุด กล่าวคือ พบประมาณเพียง 3 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมด

4) **ขยะทั่วไป (General waste) หรือ มูลฝอยทั่วไป** คือ ขยะมูลฝอยประเภทอื่นนอกเหนือจากขยะย่อยสลาย ขยะรีไซเคิล และขยะอันตราย มีลักษณะที่ย่อยสลายยากและไม่คุ้มค่าสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ห่อพลาสติกใส่ขนม ถุงพลาสติกบรรจุผงซักฟอก พลาสติกห่อลูกอม ซองบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ถุงพลาสติกเปื้อนเศษอาหาร โฟม เปื้อนอาหาร ฟอยล์เปื้อนอาหาร เป็นต้น สำหรับขยะทั่วไปนี้เป็นขยะมูลฝอยที่มีปริมาณใกล้เคียงกับขยะอันตราย กล่าวคือ จะพบประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดในกองขยะ

3.1.3 วิธีการกำจัดขยะมูลฝอย

วิธีการกำจัดขยะมูลฝอยมีหลายรูปแบบ แต่ละวิธีมีข้อดี ข้อเสีย และการดำเนินการที่แตกต่างกันไปการกำจัดขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับหนึ่งอาจจะไม่เหมาะสมกับอีกท้องถิ่นหนึ่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางเศรษฐกิจสังคม ความพร้อมด้านองค์กรและบุคลากร ตลอดจนสภาพของพื้นที่ ดังนั้นก่อนจะเลือกใช้วิธีใด จึงต้องศึกษารูปแบบที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

การกำจัดขยะมูลฝอยอาจจะนำเทคโนโลยีมาช่วยเพื่อให้มีระบบการจัดการที่ดีขึ้น ซึ่งเทคโนโลยีในการกำจัดมูลฝอย สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบใหญ่ ๆ คือ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1) <u>ระบบหมักทำปุ๋ย</u> (Composting) เป็นการย่อยสลายอินทรีย์สารโดยขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์เป็นตัวการย่อยสลายให้แปรสภาพเป็นแร่ธาตุที่มีลักษณะค่อนข้างคงรูป มีสีดำค่อนข้างแห้ง และสามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน

ขบวนการหมักทำปุ๋ยสามารถแบ่งเป็น 2 ขบวนการ คือขบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Decomposition) ซึ่งเป็นการสร้างสภาวะที่จุลินทรีย์ชนิดที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจนย่อยสารอาหารแล้วเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และกลายสภาพเป็นแร่ธาตุ เป็นขบวนการที่ไม่เกิดก๊าซกลิ่นเหม็น ส่วนอีกขบวนการเป็นขบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) เป็นการสร้างสภาวะให้เกิดจุลินทรีย์ชนิดที่ดำรงชีพโดยใช้ออกซิเจน เป็นตัวช่วยย่อยสารอาหาร และแปรสภาพกลายเป็นแร่ธาตุ ขบวนการนี้มักจะเกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น เช่น ก๊าซไข่เน่า (Hydrogen Sulfide: H_2S) แต่ขบวนการนี้จะมีผลดีที่เกิดก๊าซมีเทน (Methane gas) ซึ่งเป็นก๊าซที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงได้

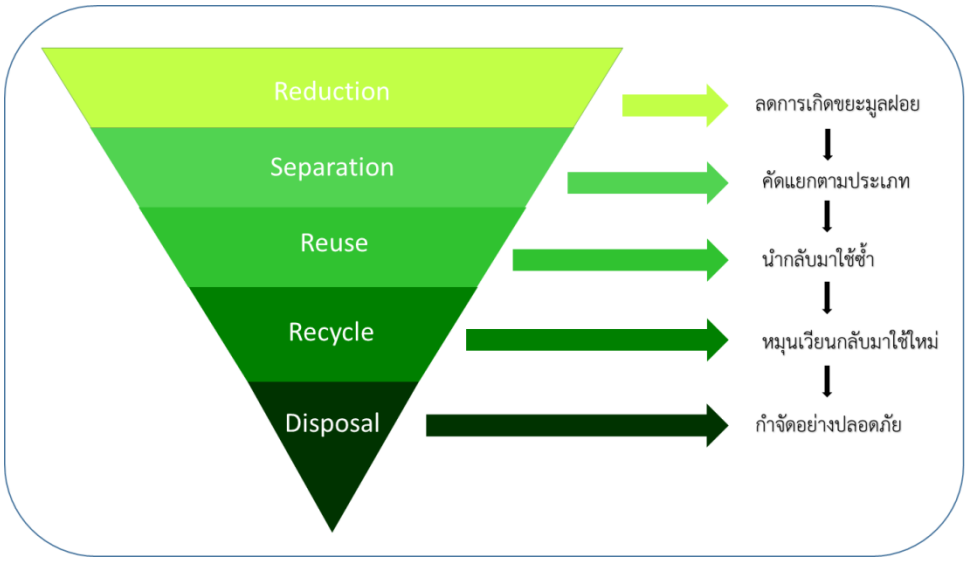
2) <u>ระบบฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล</u> (Sanitary Landfill) เป็นการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการนำไปฝังกลบในพื้นที่ที่ได้จัดเตรียมไว้ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับการคัดเลือกตามหลักวิชาการทั้งทางด้าน เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม วิศวกรรม สถาปัตยกรรม และการยินยอมจากประชาชน จากนั้นจึงทำการออกแบบและก่อสร้าง โดยมีการวางมาตรการป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เช่น การปนเปื้อนของน้ำเสียจากกองขยะมูลฝอยที่เรียกว่า น้ำชะขยะมูลฝอย (Leachate) ซึ่งถือว่าเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูงไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ทำให้คุณภาพน้ำใต้ดินเสื่อมสภาพลงจนส่งผลกระทบต่อประชาชนที่ใช้น้ำเพื่อการอุปโภค และบริโภค นอกจากนี้ยังต้องยังต้องมีมาตรการป้องกันน้ำท่วม กลิ่นเหม็น และผลกระทบต่อสภาพ ภูมิทัศน์ รูปแบบการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล อาจใช้วิธีขุดลึกลงไปในชั้นดินหรือการถมให้สูงขึ้นจากระดับพื้นดิน หรืออาจใช้ผสมสองวิธี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ

3) <u>ระบบการเผาในเตาเผา</u> (Incineration) เป็นการทำลายขยะมูลฝอยด้วยวิธีการเผาทำลายในเตาเผาที่ได้รับการออกแบบก่อสร้างที่ถูกต้องและเหมาะสม โดยต้องให้มีอุณหภูมิในการเผาที่ 850 - 1,200 องศาเซลเซียส เพื่อให้การทำลายที่สมบูรณ์ที่สุด แต่ในการเผามักก่อให้เกิดมลพิษด้านอากาศได้แก่ ฝุ่นขนาดเล็ก ก๊าซพิษต่าง ๆ เช่น

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide: SO_2) เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังอาจเกิดไดออกซิน (Dioxins) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและเป็นสารที่กำลังอยู่ในความสนใจของประชาชน ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีระบบควบคุมมลพิษทางอากาศและดักมิให้อากาศที่ผ่านปล่องออกสู่บรรยากาศมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศจากเตาเผาที่กำหนด

3.1.4 การจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

การจัดการมูลฝอยแบบผสมผสาน หมายถึงการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมกับลักษณะสมบัติของขยะมูลฝอยด้วยการคำนึงถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและพลังงาน รวมทั้งการป้องกันรักษาสิ่งแวดล้อมให้มีคุณภาพที่ดีอย่างยั่งยืน ทั้งนี้ต้องประกอบด้วยแนวคิดการจัดการที่เริ่มต้นตั้งแต่การลดการเกิดขยะมูลฝอย (Reduction) การคัดแยก (Separation) การใช้ซ้ำ (Reues) การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ในรูปแบบต่าง ๆ และการกำจัดที่ปลอดภัย (Disposal) ดังรูป



รูปที่ 3 – 1 แนวทางการจัดการขยะมูลฝอยแบบผสมผสาน
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2554

การจัดการขยะมูลฝอยที่เหมาะสมโดยเฉพาะการกำจัดของบางท้องถิ่นอาจไม่จำเป็นต้องใช้เพียงวิธีการเดียว ท้องถิ่นอาจใช้วิธีการผสมผสานโดยเริ่มจากการรวมตัวของท้องถิ่นใกล้เคียง จะทำให้มีปริมาณขยะมูลฝอยมากขึ้นและมีความคุ้มทุนในการก่อสร้างระบบ จากนั้นทำการคัดแยะขยะมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น เศษอาหารนำไปหมักทำปุ๋ย หรือคัดแยกพลาสติกไปจำหน่าย ส่วนที่เหลือจึงนำไปกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสม เช่น นำไปฝังกลบ หรือนำไปเผา ตามแต่เทคโนโลยีที่เหมาะสมของแต่ละท้องถิ่นและปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

การจัดการขยะมูลฝอยที่ดีที่สุดนั้น คือ การคัดแยกขยะมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด (Separation at Source) ไม่ใช่การคัดแยก ณ สถานที่กำจัด (Separation at Site) เนื่องจากจะได้ขยะมูลฝอยที่สะอาด เหมาะแก่การหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่มากขึ้นและมีราคาในการจำหน่ายที่สูงกว่าขยะมูลฝอยที่คัดแยกได้จากสถานที่กำจัด

3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับเชื้อเพลิงขยะ

3.2.1 ประเภทของเชื้อเพลิงขยะ

เชื้อเพลิงขยะ (Refuse Derived Fuel – RDF) หมายความว่า ขยะมูลฝอยชุมชนที่ผ่านกระบวนขบวนการทางกายภาพ อาทิ การคัดแยะ ร่อน การลดขนาดและการลดความชื้น เป็นต้น เพื่อให้ได้วัสดุที่สามารถเผาได้ที่มีขนาดและคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมหรือชุมชน หรือเชื้อเพลิงในเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชน หรือโรงงานไฟฟ้าจากขยะมูลฝอยชุมชน (ประกาศกรมควบคุมมลพิษ, 2561)

การจำแนกชนิดของเชื้อเพลิงขยะ โดย American Society for Testing and Materials (ASTM) สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท ตามมาตรฐาน ASTM E-75 ซึ่งแบ่งตามลักษณะของขยะเชื้อเพลิงและกระบวนการที่ใช้ในการจัดการขยะดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 ประเภทของเชื้อเพลิงขยะ RDF

ชนิด	กระบวนการจัดการ	ระบบการเผาไหม้
RDF 1 MSW	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ได้ออกด้วยมือ รวมทั้งขยะที่มีขนาดใหญ่	Stoker
RDF 2 Coarse RDF	มีการบดหรือตัดขยะมูลฝอยอย่างหยาบ ๆ ขนาดไม่เกิน 6 นิ้ว และอาจแยกโลหะออก	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF 3 Fluff RDF	คัดแยกส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ออก เช่น โลหะ แก้ว และอื่นๆมีการบดหรือตัดจนทำให้ 95 เปอร์เซ็นต์ของขยะมูลฝอยที่คัดแยกแล้ว มีขนาดเล็กกว่า 2 นิ้ว	Stoker
RDF 4 Dust RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการทำให้อยู่ในรูปของผงฝุ่น โดยทั่วไปมีขนาดเล็กกว่า 0.035 นิ้ว	Fluidized Bed Combustor, Pulverized Fuel Combustor
RDF 5 Densified RDF	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการอัดแท่งโดยให้มีความหนาแน่นมากกว่า 600 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	Fluidized Bed Combustor, Multi fuel Combustor
RDF 6 RDF Slurry	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการให้อยู่ในรูปของเชื้อเพลิงเหลว	Swirl Burner
RDF 7 RDF Syn-gas	นำขยะมูลฝอยส่วนที่เผาไหม้ได้มาผ่านกระบวนการ Gasification เพื่อผลิต Syn-gas ที่ใช้เป็นแก๊สเชื้อเพลิงได้	Burner, Integrated Gasification-Combined Cycle (IGCC)

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554

3.2.1 การแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง

ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิง จำเป็นต้องมีขบวนการจัดการไม่ว่าจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ต้องการ กระบวนการจัดการทั่วไปมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

1) การคัดแยกแหล่งกำเนิด
2) การคัดแยกด้วยมือหรือเครื่องจักร
3) การลดขนาด
4) การแยกขนาด
5) การผสม
6) การทำให้แห้งและการอัดแท่ง
7) การบรรจุและการจัดเก็บ

ขั้นตอนต่าง ๆ ในการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงนั้นขึ้นอยู่กับว่ามีการจัดการขยะอย่างไร ตัวอย่างเช่น ถ้าขยะได้มีการคัดแยกส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้จากแหล่งกำเนิดก่อนอยู่แล้ว ดังนั้นในขบวนการแปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงก็ไม่จำเป็นที่ต้องมีการคัดแยกโลหะหรือแก้วก็ได้ โดยทั่วไปขยะจะถูกนำมาคัดแยกส่วนที่นำกลับใช้ซ้ำได้ (เช่น โลหะและแก้ว) และอินทรีย์สาร (เช่น เศษอาหาร) ที่ซึ่งมีความชื้นสูง ส่วนประกอบนี้สามารถนำกลับไปใช้กับขบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biomass) หรือสารปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Conditioner) ส่วนประกอบที่เหลือจะนำไปถูกลดขนาด ส่วนใหญ่ประกอบด้วย กระดาษ เศษไม้ พลาสติก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในขบวนการเผาไหม้โดยตรงในรูปของ Coarse RDF หรือนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งและอัดแท่งเพื่อผลิตเป็น Densified RDF การเลือกพิจารณาว่าจะใช้เชื้อเพลิงขยะในแบบชนิดใดขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของระบบการเผาไหม้ สถานที่ที่ตั้งระหว่างที่ผลิตเชื้อเพลิงขยะและสถานที่ใช้

งาน โดยค่าความร้อนของขยะยังใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเตาเผาและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอีกด้วย ซึ่งค่าความร้อนของขยะประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าความร้อนของขยะประเภทต่าง ๆ

ประเภทขยะ	ค่าความร้อนของขยะ (เมกกะจูล/กิโลกรัม)
กระดาษ	16
ขยะอินทรีย์	4
พลาสติก	35
แก้ว	0
โลหะ	0
เศษผ้า (Textile)	19
อื่น ๆ	11

ที่มา: World Energy Council, 2016

3.2.2 คุณลักษณะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงขยะ (ประกาศกรมควบคุมมลพิษ, 2561)

คุณลักษณะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงขยะพิจารณาจากคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีดังนี้

1) คุณลักษณะทางกายภาพ เป็นคุณลักษณะที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและสิ่งแวดล้อมเมื่อมีการประโยชน์เชื้อเพลิงขยะ ได้แก่ ค่าความร้อนสุทธิ ค่าความชื้น และค่าความหนาแน่นรวม

2) คุณลักษณะทางเคมี เป็นคุณลักษณะที่สำคัญที่ใช้กำหนดคุณภาพหรือข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ของเชื้อเพลิงขยะ ได้แก่ ปริมาณคลอรีน ปริมาณเถ้าและปริมาณโลหะหนัก

ตารางที่ 3.3 คุณลักษณะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงขยะ

จำแนกตามคุณลักษณะ	ค่า/ปริมาณ	หน่วย
คุณลักษณะทางกายภาพ		
1. ปริมาณความร้อนสุทธิ (Net Calorific Value)	ไม่น้อยกว่า 6.5	เมกะจูล/กิโลกรัม (ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิงขยะรวมขณะส่งมอบและรับมอบ)
2. ค่าความชื้น (Moisture Content)	ไม่เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก	(ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิงขยะรวมขณะส่งมอบและรับมอบ)
3. ค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density)	ไม่น้อยกว่า 100	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิงขยะรวมขณะส่งมอบและรับมอบ)
คุณลักษณะทางเคมี		
4. ปริมาณคลอรีน (Cl_2)	ไม่เกินร้อยละ 0.8 โดยน้ำหนักแห้ง	(ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิงขยะรวมขณะส่งมอบและรับมอบ)
5. ปริมาณเถ้า (Ash)	ไม่เกินร้อยละ 50 โดยน้ำหนักแห้ง	(ค่าเฉลี่ยของปริมาณเชื้อเพลิงขยะรวมขณะส่งมอบและรับมอบ)
6. ความเข้มข้น/ปริมาณของปรอท (Hg)	ไม่เกิน 0.06	มิลลิกรัม/เมกะจูล (ค่ามัธยฐาน)
	ไม่เกิน 0.12	มิลลิกรัม/เมกะจูล (ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ร้อยละ 80)
7. ความเข้มข้น/ปริมาณของแคดเมียม (Cd)	ไม่เกิน 7.5	มิลลิกรัม/เมกะจูล (ค่ามัธยฐาน)
	ไม่เกิน 15	มิลลิกรัม/เมกะจูล (ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ร้อยละ 80)
8. ความเข้มข้น/ปริมาณของโลหะ (Heavy Metals) อื่น ๆ รวมพลวง (Sb) สารหนู(As) ตะกั่ว(Pb) โครเมียม(Cr) โคบอลต์(Co) ทองแดง(Cu) แมงกานีส(Mn) นิเกิล(Ni) และ วานาเดียม(V)	ไม่เกิน 190	มิลลิกรัม/เมกะจูล (ค่ามัธยฐาน)
	ไม่เกิน 380	มิลลิกรัม/เมกะจูล (ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ร้อยละ 80)

ที่มา : ประกาศกรมควบคุมมลพิษ, 2561

3.2.3 ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะ

การใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงขยะในรูปของพลังงาน มีดังนี้ (กระทรวงพลังงาน, 2554)

1) ใช้ในสถานที่แปรรูปขยะเป็นเชื้อเพลิงขยะ (On-site) โดยร่วมกับอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบต หรือ Gasification หรือ Pyrolysis

2) ใช้ในสถานที่อื่นที่ต้องมีการขนส่ง (Off-site) โดยมีอุปกรณ์การที่ใช้เปลี่ยนเป็นพลังงาน เช่น เตาเผาแบบตะกรับ หรือเตาเผาแบบฟลูอิไดซ์เบต หรือ Gasification หรือ Pyrolysis

3) เผาไหม้ร่วมกับเชื้อเพลิงอื่น เช่น ถ่านหิน หรือชีวมวล

4) เผาไหม้ในเตาผลิตปูนซีเมนต์

5) ใช้ร่วมกับถ่านหินหรือชีวมวลในกระบวนการ Gasification

3.3 การเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะเพื่อการวิเคราะห์

การเตรียมตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะเพื่อการวิเคราะห์หาคุณลักษณะเบื้องต้น จะต้องทำการสุ่มตัวอย่างจากเชื้อเพลิงขยะ โดยคำนึงถึงหลักการที่สำคัญ ดังนี้ (ประกาศกรมควบคุมมลพิษ, 2561)

1) การสุ่มเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะต้องสามารถเข้าถึงกองตัวอย่างขยะได้อย่างทั่วถึง

2) อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะสามารถรองรับขนาดของตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะในกองที่มีขนาดใหญ่ที่สุดได้

3) การสุ่มเก็บตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะจากกองตัวอย่างจะต้องดำเนินการดึงตัวอย่างหลาย ๆ จุด ให้ครอบคลุมทั่วกองตัวอย่างขยะที่สุ่มมาได้มารวมกันเพื่อให้เป็นตัวแทนของกองตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะ

4) สำหรับปริมาณน้ำหนักของตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะที่สุ่มเก็บต้องมีปริมาณที่เหมาะสมหรือเพียงพอต่อการวิเคราะห์คุณลักษณะตามมาตรฐานของการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นที่ยอมรับทั้งในระดับสากล

ในการสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้น ให้ดำเนินการสุ่มเก็บตัวอย่างในแต่ละซับล็อต (Sub-lot) ในปริมาณไม่น้อยกว่า 10 กิโลกรัม หรือเพียงพอต่อการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นของเชื้อเพลิงขยะได้ครอบคลุมทุกตัวแปร รวมทั้งการควบคุมคุณภาพและการรับประกันคุณภาพ (Quality Assurance/Quality Control; QA/QC) ทั้งนี้ให้นำผลการวิเคราะห์คุณลักษณะเบื้องต้นในแต่ละซับ-ล็อต มาคำนวณหาคุณลักษณะเบื้องต้นที่เหมาะสมของแต่ละล็อคต่อไป

3.3.1 การสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะ

ในการสุ่มตัวอย่างเชื้อเพลิงขยะ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D 5115 – 90 (reapproved 2004) จะต้องคำนึงถึง จุดเก็บตัวอย่าง จำนวนและน้ำหนักของตัวอย่าง ตลอดจนภาชนะที่ใช้ใส่ตัวอย่าง ดังนี้

1) จุดเก็บตัวอย่าง ในการสุ่มตัวอย่าง gross sample อาจสุ่มตัวอย่างมาจากสายพานลำเลียงเชื้อเพลิงขยะ หรือกองเชื้อเพลิงขยะ ในกรณีที่สุ่มตัวอย่างมาจากสายลำเลียงเชื้อเพลิงขยะ ให้หยุดการเดินของสายพานและเก็บตัวอย่างวัสดุทุกชนิด ให้ทั่วความกว้างของสายพาน และในกรณีที่สุ่มตัวอย่างจากกองเชื้อเพลิงขยะ ให้เก็บตัวอย่างจากใต้ผิวกอง 1 ฟุต เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ยังคงมีความชื้นตามปกติ

2) จำนวนและน้ำหนักของตัวอย่าง ควรเก็บตัวอย่างวันละ 1 ตัวอย่างที่เวลาต่างกัน จำนวน 20 ตัวอย่าง ใน 1 เดือน เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยทั้งเดือนของผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติทางด้านความร้อนเชื้อเพลิง มาใช้ประโยชน์ในการกำหนดราคาซื้อขายเชื้อเพลิงขยะ และน้ำหนักของตัวอย่าง gross sample ที่เก็บ ควรอยู่ในช่วง 5 – 10 ปอนด์ (2 – 4 กิโลกรัม)

3) ภาชะใส่ตัวอย่าง เมื่อเก็บตัวอย่างได้แล้วต้องรีบใส่ตัวอย่างในภาชนะหรือถุงที่ได้ปิดสนิทและอากาศไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ทันที

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี

Gross sample ที่ส่งเข้ามาที่ห้องปฏิบัติการ ให้ทำการแบ่งส่วนตัวอย่าง และนำมาเตรียมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ตามวิธีมาตรฐาน ASTM E 829 – 94 ดังนี้

1) ทำการแบ่งส่วนตัวอย่าง เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีของ gross sample มาไม่เกิน 2 กิโลกรัม เรียกตัวอย่างนี้ว่า laboratory sample

2) ชั่งน้ำหนักของ laboratory sample ก่อนทำการอบและใส่ลงในถาดที่จะใช้อบ ที่ทราบน้ำหนักโดยให้ความสูงของตัวอย่างในถาดไม่เกิน 10 เซนติเมตร ถ้าตัวอย่างเกาะกันเป็นก้อนให้ทำให้แตกออกจากกัน อาจใช้ถาดมากกว่า 1 ใบก็ได้

3) ทำการอบ (air-dry) ตัวอย่างที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศ 10 – 15 องศาเซลเซียส แต่ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (สังเกตจากน้ำหนักที่หายไปน้อยกว่า 0.1 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง โดยทั่วไปจะตั้งเวลาอบข้ามคืนหรือ 24 ชั่วโมง) และเพื่อให้ตัวอย่างแห้งเร็วขึ้นสามารถทำการพลิกกลับตัวอย่างได้ แต่ต้องระวังไม่ให้ตัวอย่างหกหล่นสูญหายไป

4) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ เพื่อใช้คำนวณหา air-dry moisture

5) บด air-dry laboratory sample และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร หรือเล็กกว่า

6) ผสม air-dry laboratory sample ที่บดจนมีขนาดไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ให้เข้ากันดี แล้วแบ่งส่วนโดยใช้ quartering technique เพื่อให้ได้ตัวแทนที่ดีมา 50 กรัม ซึ่งเรียกว่า analysis sample แล้วปั่นด้วยเครื่องปั่นตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่ในภาชนะที่ปิดได้สนิทและอากาศเข้าออกไม่ได้ และนำไปอัดเม็ดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความร้อนต่อไป

3.3.3 การเตรียมตัวอย่างจากขยะพลาสติก

การนำขยะพลาสติกมาเป็นเชื้อเพลิงต้องคัดแยกเอาพลาสติกประเภทพีวีซี (PVC; Poly vinyl chloride) ออก เพราะมีส่วนผสมขององค์ประกอบคลอรีนทำให้เกิดสารก่อมะเร็งที่เรียกว่า ไดออกซิน ได้แก่ พลาสติกประเภทผ้าร่ม สลากใสของขวดน้ำ เป็นต้น ดังนั้นขยะเชื้อเพลิง RDF ที่ปลอดภัยต้องคัดแยกโดยไม่มีสารพีวีซีเจือปน

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างมาแล้วจึงนำมาล้างทำความสะอาดถุงขยะพลาสติก การล้างถุงขยะพลาสติกเป็นวิธีการหนึ่งในการเตรียมตัวอย่างของขยะถุงพลาสติกเพื่อให้มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์หรือการทดลองอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีการนี้ไม่ได้มีจุดประสงค์สำหรับใช้ในการล้างถุงขยะพลาสติกในระดับอุตสาหกรรมการรีไซเคิลพลาสติก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) แยกขยะถุงพลาสติกตามประเภทและชนิด โดยแบ่งเป็นส่วนๆ ให้เท่ากัน เช่น ขยะถุงพลาสติกชนิด LDPE ปริมาณ 500 กรัม และขยะถุงพลาสติกชนิด PP ปริมาณ 500 กรัม

2) ตัดขยะถุงพลาสติกให้มีขนาดเล็ก เพื่อสะดวกในการล้าง และใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลิลิตร ในอัตราส่วนน้ำหนักที่เท่ากันทั้งหมด

3) ผสมน้ำยาล้างขยะพลาสติกโดยประกอบด้วย น้ำกลั่น 1 ลิตร สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 3 กรัม และผงซักฟอกแบบไร้ฟอง 10 กรัม ผสมรวมกันในบีกเกอร์และคนให้เข้ากัน แล้วเทใส่บีกเกอร์ที่มีตัวอย่างขยะถุงพลาสติกแต่ละชนิด

4) ปิดฝาบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟรอยด์ และนำเข้าเครื่องกวนสารที่ความเร็ว 250 รอบ/นาที และปรับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที

5) เมื่อครบ 15 นาทีแล้วจึงปิดเครื่องกวนสาร และรออีก 5 นาทีจนชิ้นเศษขยะถุงพลาสติกลอยขึ้นมาบนผิวน้ำยาล้าง ส่วนที่เป็นดินกับโลหะหนักจะจมลงก้นบีกเกอร์

6) นำบีกเกอร์มาเทผ่านตะแกรงสำหรับกรองที่วางบนถังน้ำที่เตรียมไว้เพื่อแยกขยะถุงพลาสติกออกจากน้ำยาล้าง โดยระวังอย่าให้ส่วนที่นอนก้นในบีกเกอร์สัมผัสกับขยะถุงพลาสติกบนตะแกรงกรอง เพราะอาจทำให้เกิดการปนเปื้อน เทจนกระทั่งน้ำยาล้างหมดจากบีกเกอร์ ล้างขยะถุงพลาสติกบนตะแกรงกรองด้วยน้ำเย็นอีกครั้งเป็นเวลา 2 นาที

7) นำตัวอย่างขยะถุงพลาสติกที่ผ่านการล้างเรียบร้อยแล้ว ใส่ในภาชนะทนความร้อน แล้วทำการอบ (air-dry) โดยนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

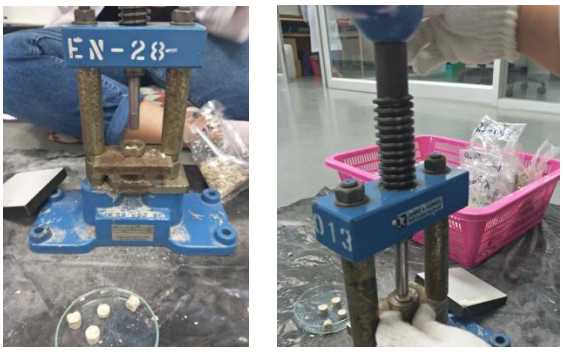
วิธีการอัดเม็ด

1) นำขยะพลาสติกที่แห้งและมีขนาด 1 – 2 มิลลิเมตร ชั่งน้ำหนักขยะประมาณ 0.20 กรัม (เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง)

2) นำตัวอย่างไปอัดเม็ดด้วยเครื่องอัดเม็ดตัวอย่างเชื้อเพลิงเพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

รูปที่ 3 – 2 การเตรียมตัวอย่างจากขยะประเภทพลาสติก

ที่มา: วศิน เจริญสุข พลินี พุทธรักษา และเอกอนงค์ รัตนภาณุมงคล, 2554



รูปที่ 3 – 3 เครื่องอัดเม็ดตัวอย่างเชื้อเพลิง

ที่มา: นภารัตน์, 2562

3.4 หลักการวิเคราะห์หาค่าความร้อน

การหาค่าปริมาณพลังงานขององค์ประกอบอินทรีย์ของขยะสามารถหาได้หลายวิธี ดังนี้ (John, 2014)

1) การนำขยะไปเผาให้ความร้อนกับหม้อไอน้ำ และวัดปริมาณของไอน้ำที่เกิดขึ้น

2) การวัดโดยใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

3) การหาค่าโดยวิธีคำนวณจากธาตุที่เป็นองค์ประกอบของขยะซึ่งธาตุที่เป็นองค์ประกอบของขยะสามารถหาได้จากวิธีการวิเคราะห์ Ultimate Analysis

โดยทั่วไปแล้วข้อมูลส่วนใหญ่ของพลังงานจากขยะจะได้มาจากการวัดด้วยการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งเป็นการวัดพลังงานความร้อนจากกาเผาไหม้สารตัวอย่างในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ โดยใช้หลักการที่ว่าพลังงานที่สะสมอยู่ในพันธะเคมีของสารจะถูกปลดปล่อยออกมาเมื่อสารนั้นถูกเผาไหม้หรือที่เราเรียกว่า Heat of Combustion ซึ่งการเผาไหม้ของสารตัวอย่างในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์จะทำการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ดังสมการ

$$H = W \Delta T/m$$

เมื่อ H = ค่าความร้อนของตัวอย่าง (แคลอรี/กรัม)

T = การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

m = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

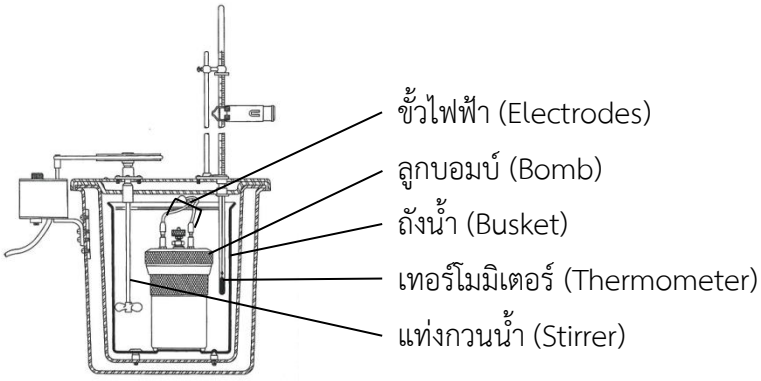
W = ความจุความร้อนของตัวอย่าง (แคลอรี/องศาเซลเซียส)

ค่าความร้อนเป็นตัววัดพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง สามารถวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM E 711 – 87 (reapproved 2004) โดยทำการเผาตัวอย่างที่ทราบน้ำหนัก ใน oxygen bomb calorimeter ภายใต้สภาวะที่ควบคุม และทำการ standardize calorimeter โดยการเผากรดเบนโซอิกที่ทราบค่าความร้อน ค่าความร้อนของตัวอย่างจะคำนวณจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงระหว่างก่อน และหลังการเผาไหม้ และทำการปรับแก้ค่าความร้อนที่เกิดจากกระบวนการอื่น ๆ ด้วย ได้แก่ ค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก และค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ firing wire

3.5 หลักการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

การหาค่าความร้อนด้วย Oxygen Bomb Calorimeter สามารถหาได้ด้วย Isothermal Calorimeter หรือ Adiabatic Calorimeter หรือ Isoperibol Bomb Calorimeter สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นแบบใดจะต้องทำการปรับค่าเครื่องด้วยสารมาตรฐานก่อนโดยการวัดอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากการเผาไหม้ของสารมาตรฐานเพื่อหาค่าความจุความร้อนของอุปกรณ์

Parr Instrument Company (2009) ได้เป็นผู้ผลิตเครื่องที่ใช้ในการวิเคราะห์หาพลังงานความร้อน ยี่ห้อ Parr รุ่น 6200 ซึ่งเป็นแบบ Isoperibol Calorimeter มีหลักการทำงาน คือ จะมีการควบคุมอุณหภูมิของ Calorimeter jacket ให้คงที่ตลอดเวลา ในขณะที่ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ตัวอย่างจะทำให้อุณหภูมิของ Combution Bomb สูงขึ้น และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังน้ำ (Bucket) ส่งผลให้อุณหภูมิน้ำเปลี่ยนแปลง โดยมีการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ในการควบคุมอุณหภูมิของ Calorimeter Jacket จะมี Microprocessor-based Controller ตรวจวัดอุณหภูมิของ Bucket และ Jacket เพื่อทำการปรับแก้ค่า Heat leak ที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองตลอดเวลา



รูปที่ 3 – 4 ลูกบอมบ์ที่อยู่ภายในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
ที่มา: Parr Instrument Company, 2009

การนำตัวอย่างมาหาค่าพลังงานความร้อน จะต้องมีการทำค่ามาตรฐานให้กับเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ก่อน ซึ่งเป็นการหาค่า Energy Equivalent (EE) ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ค่านี้เป็นผลรวมของความจุความร้อนของส่วนประกอบในเครื่องบอมบ์ ถังน้ำ และน้ำในถังน้ำ ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ค่า Energy Equivalent จึงเป็นค่าที่กำหนดโดยการเผาสารมาตรฐานภายใต้สภาวะการทำงานที่ควบคุมและการทำซ้ำ กรดเบนโซอิกจึงถูกใช้เป็นวัสดุอ้างอิงสำหรับเชื้อเพลิงความร้อนเพราะเนื่องจากเผาไหม้ออกซิเจนอย่างสมบูรณ์ ไม่ดูดความชื้นและพร้อมใช้งานในรูปสารบริสุทธิ์

ยกตัวอย่างในการทดสอบสารมาตรฐานกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) 1.165 กรัม (ความร้อนจากการเผาไหม้ 6318 แคลอรี/กรัม) ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น 3.047 องศาเซลเซียส ค่า Energy Equivalent (W) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$W = \frac{(1.165)(6318)}{3.047} = 2416 \text{ cal/°C}$$

การทำค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ก็คือ "การสร้างมาตรฐาน" ซึ่งในที่นี้หมายถึงการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ที่มีตัวอย่างมาตรฐานซึ่งสามารถกำหนดพลังงานที่เทียบเท่าหรือความจุความร้อนที่มีประสิทธิภาพของระบบ พลังงานที่เทียบเท่า W หรือ EE (Energy Equivalent) ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ คือพลังงานที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิหนึ่งองศามีหน่วยเป็นแคลอรีต่อองศาเซลเซียส (cal/°C) การทดสอบค่ามาตรฐานควรทำหลังจากเปลี่ยนส่วนใด ๆ ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ และบางครั้งเป็นการตรวจสอบเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์และเทคนิคการใช้งานตามขั้นตอนการทดสอบสารมาตรฐานเหมือนขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง โดยใช้สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ซึ่งชั่งสารมาตรฐานให้มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.9 – 1.1 กรัม (โดยชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง) นำไปเผาไหม้ในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (วิธีการเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง) หาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และหาค่า Correction สำหรับกรดไนตริก (HNO_3) และลวดที่เผาไหม้ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่า Calorimeter energy equivalent โดยแทนค่าในสมการต่อไปนี้ (Parr Instrument Company, 2010)

$$W = \frac{Hm+e_1+e_2+e_3}{T}$$

เมื่อ

W = Energy Equivalent ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (แคลอรี/องศาเซลเซียส)

H = ค่าความร้อนของสารมาตรฐานกรดเบนโซอิก (แคลอรี/กรัม)

m = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

T = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

e_1 = Correction สำหรับค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี)

e_2 = Correction สำหรับค่าความร้อนของซัลเฟอร์ซึ่งปกติมีค่าเท่ากับ 0

e_3 = Correction สำหรับค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ firing wire (แคลอรี)

ASTM แนะนำให้ใช้ค่าพลังงานเทียบเท่าโดยการทดสอบ 10 ซ้ำ เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์รุ่นนี้จะกำหนดและใช้การทดสอบได้ถึง 10 ซ้ำในหน่วยความจำ และจะมีการอัพเดตค่า EE เมื่อมีการทดสอบใหม่ การทดสอบครั้งสุดท้ายเท่านั้นที่จะนำมาใช้ในการกำหนดและปรับปรุงค่า EE ซึ่งจำนวนการทดสอบและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) สำหรับการทดสอบที่ใช้ในการกำหนดค่า EE คือเก็บไว้ในหน้าข้อมูลการสอบเทียบภายใต้ค่า EE สำหรับเผาไหม้แต่ละครั้ง ผู้ใช้สามารถเลือกค่าเพื่อนำมาเฉลี่ยซึ่งจะมีการอัปเดตอัตโนมัติ และป้องกันค่า EE โดยจะต้องลบค่ามาตรฐานเดิมในการทดสอบออกจากหน่วยความจำทั้งหมดก่อนทำการทดสอบค่ามาตรฐานใหม่ การทดสอบสามารถพิมพ์ได้จากเครื่องพิมพ์ ผู้ใช้สามารถเลือกมาตรฐานเก็บไว้จำนวนเท่าใดก็ได้ในการกำหนดค่า EE โดยการป้อนข้อมูลที่ต้องการ และดำเนินการปรับเทียบค่ามาตรฐานใหม่เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องและจำนวนข้อมูลที่เหมาะสม โดยค่าการยอมรับความร้อนจากการเผาไหม้เป็น 6318 แคลอรี/กรัม (cal/g) หรือ 26,454 จูล/กรัม (J/g) หรือ 11,373 บีทียู/ปอนด์ (Btu/lb.) มีค่าความแม่นยำ (precision) อยู่ที่ 0.10% (Parr Instrument Company, 2010)

บทที่ 4
ขั้นตอนการปฏิบัติงานและการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ในการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ หรือเศษวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรกรรม ซึ่งในการปฏิบัติงานของผู้ใช้งานจะต้องทราบถึงขั้นตอนการขอใช้บริการ ขั้นตอนการปฏิบัติงานอุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ขั้นตอนการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ และข้อควรปฏิบัติและข้อควรระวังในการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ขั้นตอนการขอใช้บริการ

การขอใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งเป็นเครื่องมือวิทยาศาสตร์เฉพาะทางมีขั้นตอนการขอใช้บริการ (รูปที่ 4 – 1) ดังนี้

1) ผู้ขอใช้บริการติดต่อขอใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์

2) นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแลเครื่องมือให้คำแนะนำ และให้ผู้ใช้บริการกรอกแบบการขอใช้เครื่องมือ “ใบยืมครุภัณฑ์ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ภายในคณะ” (ภาคผนวก ก)

3) ผู้ขอใช้บริการเครื่องมือยื่นแบบใบยืมครุภัณฑ์ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ภายในคณะ ล่วงหน้าอย่างน้อย 3 วันทำการ ให้หัวหน้างานปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากลเป็นผู้อนุญาตในการใช้เครื่องมือ

4) หัวหน้างานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล พิจารณาข้อมูลแล้วลงความเห็นในใบยืมครุภัณฑ์ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ภายในคณะ หากผู้ใช้บริการกรอกข้อมูลไม่ครบถ้วนหรือไม่ถูกต้อง จะไม่เห็นสมควรให้ยืมใช้เครื่องมือ

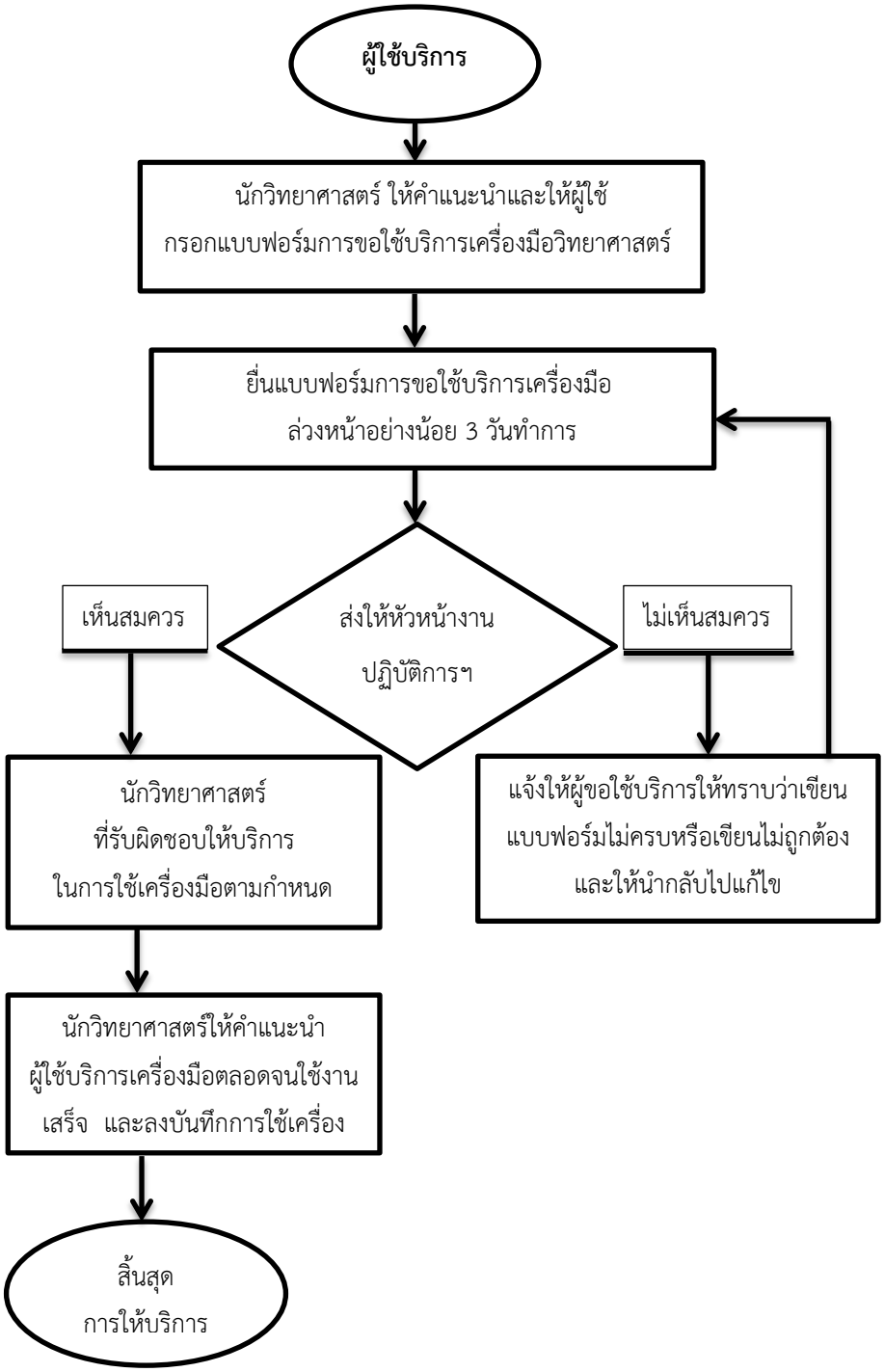
5) นักวิทยาศาสตร์ แจ้งข้อมูลให้ผู้ขอใช้บริการทราบว่าเขียนแบบในใบยืมครุภัณฑ์ไม่ครบหรือเขียนไม่ถูกต้อง ให้นำกลับไปแก้ไข และเริ่มขั้นตอนการยื่นใหม่

6) หัวหน้างานห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล พิจารณาข้อมูลแล้วลงความเห็นในใบยืมครุภัณฑ์ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ภายในคณะ หากผู้ใช้บริการกรอกข้อมูลครบถ้วนและถูกต้อง จะเห็นสมควรอนุญาตให้ยืมใช้เครื่องมือได้

7) นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแล ให้บริการกับผู้ขอใช้เครื่องมือตามวันเวลาที่กำหนด

8) นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแล สอนการใช้เครื่อง ให้คำแนะนำผู้ใช้บริการเครื่องมือตลอดจนใช้งานเสร็จ และผู้ใช้บริการลงบันทึกการใช้เครื่องมือ (ภาคผนวก ก)

9) สิ้นสุดการให้บริการ



รูปที่ 4 – 1 ขั้นตอนการขอใช้บริการเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

4.2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

การควบคุมดูแลเครื่องมือ การซ่อมบำรุง และการใช้งานเครื่องมืออย่างถูกต้อง เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งต่อคุณภาพของผลการวัด เครื่องมือที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลการวัด ต้องได้รับการดูแลรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดี ให้ผลการวัดที่มีค่าความแม่นยำตามที่ต้องการตลอดอายุการใช้งาน ดังนั้นเครื่องมือจึงต้องได้รับการตรวจสอบ มีการบำรุงรักษาตามแผนที่ห้องปฏิบัติการได้กำหนดขึ้น ตามประเภทและลักษณะการใช้งานของเครื่องมือนั้น ๆ เพื่อยืนยันความพร้อมของการใช้งานเครื่องมือ มีวิธีการบำรุงรักษา และข้อควรระวังในการใช้งานรวมถึงคู่มือที่เกี่ยวข้องใด ๆ ที่จัดทำโดยผู้ผลิตที่ทันสมัยของเครื่องมือแต่ละประเภท ควรจัดให้มีพร้อมใช้งานเหมาะสมกับเครื่องมือนั้น ๆ เครื่องมือของห้องปฏิบัติการต้องถูกใช้งานโดยนักวิทยาศาสตร์ที่ได้รับหมอบหมาย ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติงานดังนี้

1) การเลือกใช้เครื่องมือ

นักวิทยาศาสตร์ผู้รับผิดชอบดูแลเครื่องหรือผู้ที่ได้รับมอบหมายจัดทำบัญชีรายชื่อเครื่องมือ ที่มีผลต่อการทดสอบลงในแบบบันทึก FM-505-01 (ภาคผนวก ก) โดยผู้ที่ได้รับมอบหมายทำการทบทวนข้อกำหนดทางวิชาการของเครื่องมือเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม

2) การชี้บ่งเครื่องมือ มีป้าย/ฉลากชี้บ่งเฉพาะเครื่องมือและสถานะ

3) การทำประวัติเครื่องมือ

นักวิทยาศาสตร์ผู้รับผิดชอบดูแลเครื่องจัดทำประวัติอุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทั้งหมดที่แสดงในบัญชีรายชื่อเครื่องมือ โดยประวัติเครื่องมือประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

(3.1) การชี้บ่งเฉพาะของเครื่องมือ คือ ชื่อเครื่องมือ ผู้ผลิต รุ่นและหมายเลขเครื่องมือหรือการชี้บ่งอื่น ๆ สถานที่ตั้งปัจจุบัน ตามความเหมาะสม เอกสาร

แนะนำการใช้งาน (ถ้ามี) และข้อมูลประกอบอื่นๆที่จำเป็น ลงในแบบบันทึก FM-505-02 (ภาคผนวก ก)

(3.2) การบันทึกการตรวจสอบว่าเครื่องมือเป็นไปตามเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดโดยห้องปฏิบัติการลงในแบบบันทึก FM-505-02

(3.3) บันทึกการบำรุงรักษาเครื่องมือตามความเหมาะสมลงในแบบบันทึกประวัติเครื่องมือ

(3.4) บันทึกประวัติความผิดปกติของเครื่องมือ ความชำรุดเสียหาย ความบกพร่อง และการแก้ไขซ่อมแซม หรือดัดแปลงที่กระทำต่อเครื่องมือ ลงในแบบบันทึก FM-505-03 (ภาคผนวก ก)

4) การจัดทำแผนการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือ

นักวิทยาศาสตร์ผู้รับผิดชอบดูแลเครื่องอุปกรณ์ประกอบการต้องจัดทำแผนการดำเนินการตรวจสอบเครื่องมือเพื่อให้เครื่องมือสามารถให้ผลการวัดที่ถูกต้องแม่นยำตามที่ต้องการ และเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดที่เกี่ยวข้องในการสอบเทียบ

(4.1) แผนการบำรุงรักษาเครื่องมือ ลงในแบบบันทึก FM-505-04 (ภาคผนวก ก)

(4.2) การตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือ ลงในแบบบันทึก FM-505-05 (ภาคผนวก ก)

การเก็บรักษาเครื่องมือจะต้องจัดเก็บในที่ ๆ กำหนดของแต่ละขอบข่ายงานนั้น ๆ ในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนด (Specification) ของแต่ละเครื่องมือ

การขนย้ายเครื่องมือให้ทำอย่างระมัดระวังตามคำแนะนำของผู้ผลิตหรือตามความเหมาะสมเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือยังทำงานได้ถูกต้อง

ตารางที่ 4.1 แสดงแบบบันทึกสำหรับการควบคุมดูแลเครื่องมือ

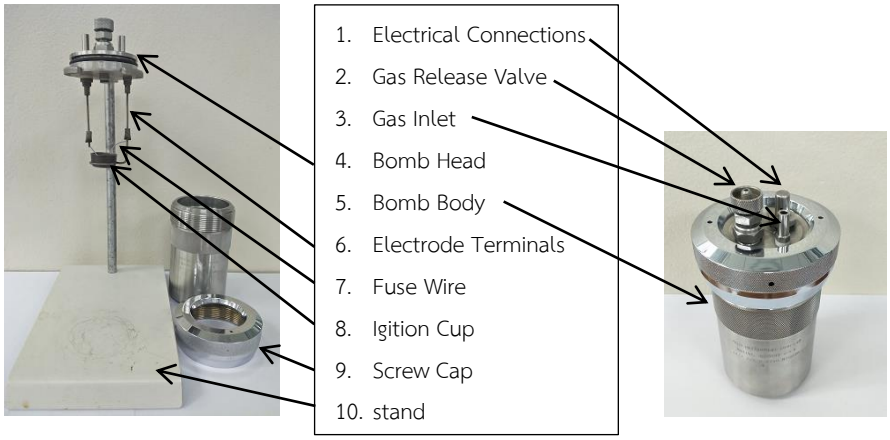
ลำดับที่	บันทึก	สถานที่	ระยะเวลาเก็บ	ผู้รับผิดชอบ
1	บัญชีรายชื่อเครื่องมือ (FM-505-01)	ห้องเก็บเอกสารของห้องปฏิบัติการ	ตลอดอายุการใช้งาน	นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแล
2	ประวัติเครื่องมือ (FM-505-02)	ห้องเก็บเอกสารของห้องปฏิบัติการ	ตลอดอายุการใช้งาน	นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแล
3	ความผิดปกติของเครื่องมือ (FM-505-03)	ห้องเก็บเอกสารของห้องปฏิบัติการ	ตลอดอายุการใช้งาน	นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแล
4	แผนการบำรุงรักษาเครื่องมือ (FM-505-04)	ห้องเก็บเอกสารของห้องปฏิบัติการ	ตลอดอายุการใช้งาน	นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแล
5	การตรวจสอบระหว่างการใช้งาน (FM-505-05)	ห้องเก็บเอกสารของห้องปฏิบัติการ	ตลอดอายุการใช้งาน	นักวิทยาศาสตร์ที่รับผิดชอบดูแล

4.3 อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ มีอุปกรณ์และส่วนประกอบสำคัญในการใช้งาน ดังนี้

1. เครื่องสำรองไฟฟ้า
2. เครื่อง Bomb Calorimeter
3. เครื่อง Water Handling
4. เครื่องพิมพ์ผล (Printer)
5. ถังออกซิเจน

รูปที่ 4 – 2 ส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
ที่มา: นภารัตน์, 2561



รูปที่ 4 – 2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของลูกบอมบ์ (Bomb)
ที่มา: นภารัตน์, 2561

4.4 การทำงานเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

นักวิทยาศาสตร์ที่มีหน้าที่ดูแลเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ จะต้องเรียนรู้การใช้งานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รวมไปถึงการเรียนรู้เครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการใช้งาน และสอบถามเทคนิคในการใช้งานเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์จากวิศวกรประจำของบริษัทตัวแทนจำหน่ายโดยตรงจนสามารถที่จะใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดความคล่องตัวในการให้บริการในการใช้เครื่อง โดยขั้นตอนการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ที่สำคัญมี 2 ข้อหลัก ดังนี้

4.4.1. การวัดค่าพลังงานความร้อนของสารมาตรฐาน

การวัดค่าพลังงานความร้อนของสารมาตรฐานเป็นการทำค่ามาตรฐานให้กับเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ซึ่งจะต้องทำก่อนนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ โดยใช้สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก ซึ่งมีค่าน้ำหนักในช่วง 0.9000 – 1.1000 กรัม เป็นสารที่ให้ค่าพลังงานความร้อน 6318 แคลอรี/กรัม ควรทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้งขึ้นไป และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน $\leq$ 0.10% อาจจะต้องทำการทดสอบเดือนละครั้งและมีการวิเคราะห์ตัวอย่าง หรือมีการเปลี่ยนถังออกซิเจนใหม่ โดยมีขั้นตอน 4 ขั้นตอนดังนี้

4.4.1.1 การเตรียมสารมาตรฐาน

4.4.1.2 การเปิดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

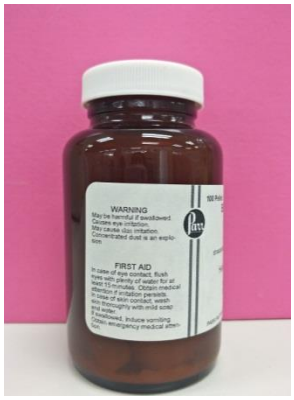
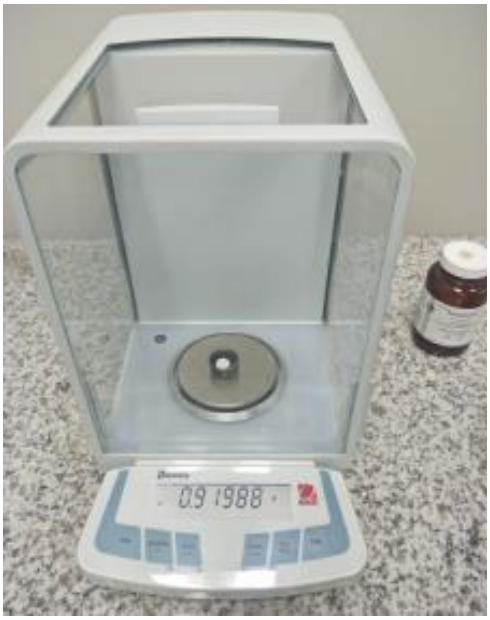
4.4.1.3 การลบค่ามาตรฐานเดิมออกจากเครื่องและการปลดล็อคค่าเดิมของลูกบอมบ์

4.4.1.4 การเข้าสู่โปรแกรมในการในการทดสอบค่ามาตรฐาน

4.4.1.5 การคำนวณผลของสารมาตรฐาน

4.4.1.6 การล็อคค่าสารมาตรฐานหลังจากวัดค่าพลังงานความร้อนของสารมาตรฐาน

4.4.1.1 การเตรียมสารมาตรฐาน

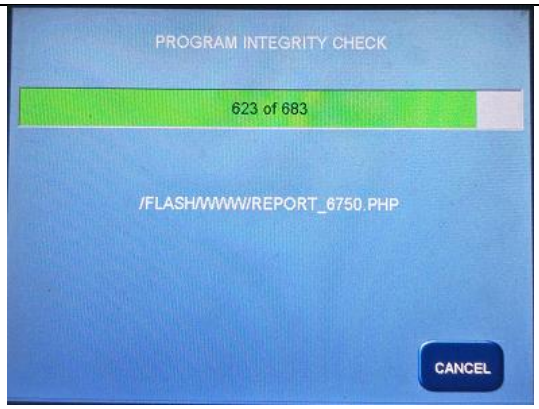
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		สารมาตรฐานกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) สำหรับในการเตรียมทำค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
2		- ชั่งน้ำหนักของสารมาตรฐานกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) ด้วยเครื่องชั่งทศนิยมตั้งแต่ 4 ตำแหน่งขึ้นไป

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
		- ตัดลวดยาว 10 เซนติเมตร - นำถ้วยตัวอย่างที่ใส่สารมาตรฐานซึ่งชั่งน้ำหนักแล้ว วางบนที่ใส่ถ้วยตัวอย่าง - เสียบปลายลวดที่ขาบอมบ์ทั้ง 2 ข้าง แล้วล็อค - จับลวดขดเป็นรูปตัวยู โดยให้ลวดสัมผัสกับสารมาตรฐานเท่านั้น (**ห้าม!** ให้ลวดสัมผัสกับลูกบอมบ์) ซึ่งรายละเอียดการเตรียมลูกบอมบ์จะกล่าวในการเตรียมตัวอย่าง

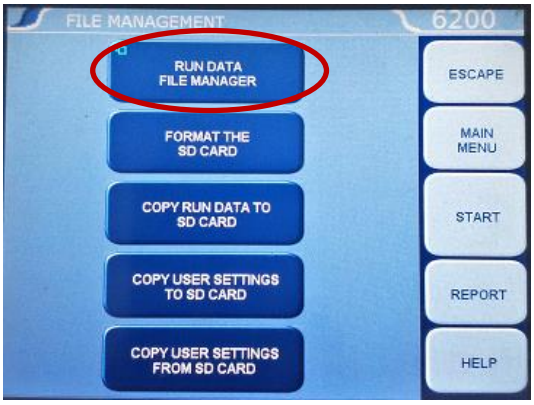
หมายเหตุ: ตัวบอมบ์และถ้วยตัวอย่างที่ใส่สารมาตรฐาน ต้องเป็นอันเดียวกันตลอดในการทำค่ามาตรฐานเพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนแปลงค่ามากนัก โดยเช็ดให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูก่อนทุกครั้ง

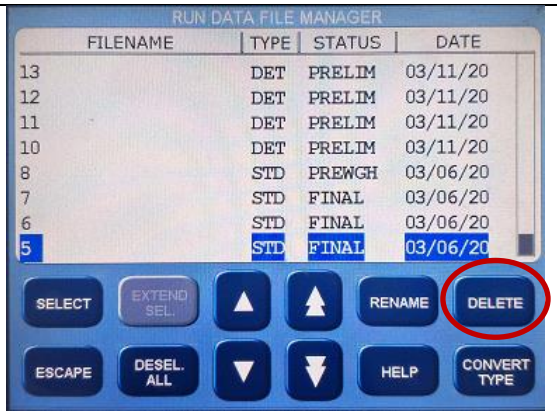
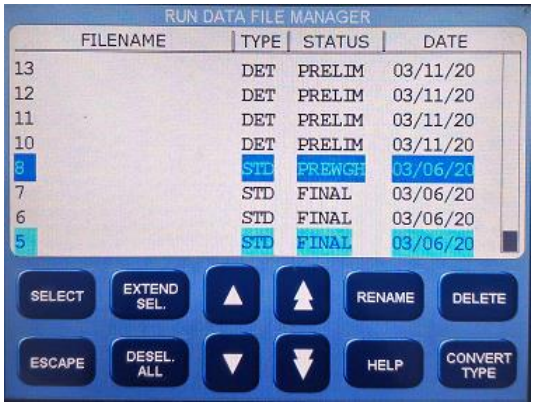
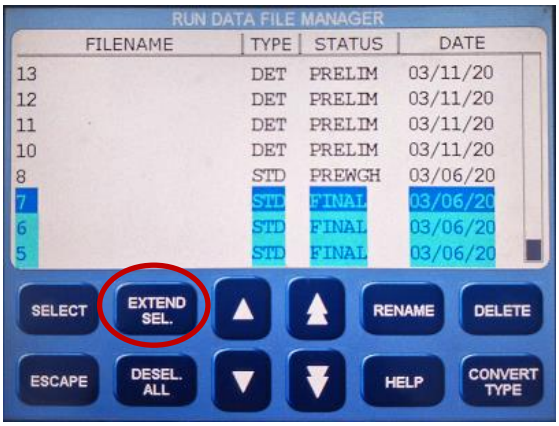
4.4.1.2 การเปิดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

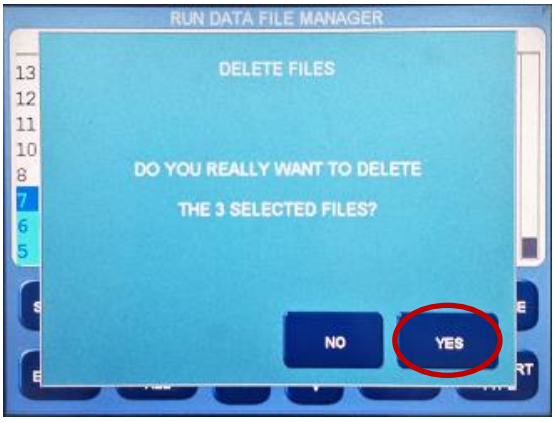
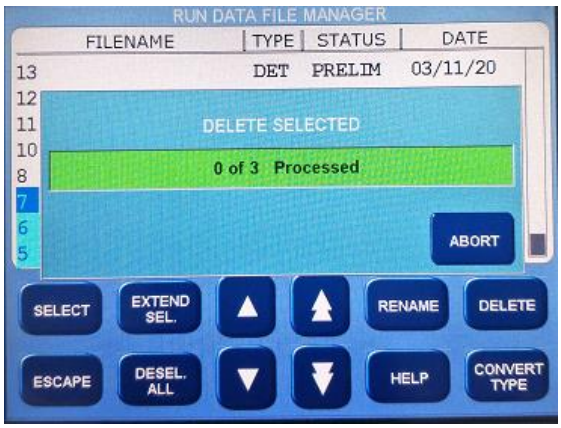
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		เปิดสวิตซ์เครื่องตามลำดับดังนี้ 1) เครื่องสำรองไฟฟ้า 2) เครื่อง Bomb Calorimeter 3) เครื่อง Water Handling 4) เครื่อง Printer หลังจากนั้นให้เปิดวาล์วถังออกซิเจน
2		- เติมน้ำกลั่น ลงใน Water Handling และตั้งอุณหภูมิของเครื่องเป็น 25 องศาเซลเซียส - เปิดน้ำกลั่นใส่ในโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร ให้อุณหภูมิของน้ำเป็น 25 องศาเซลเซียส

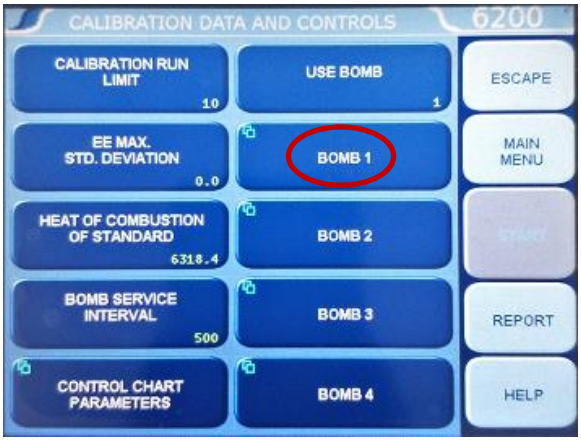
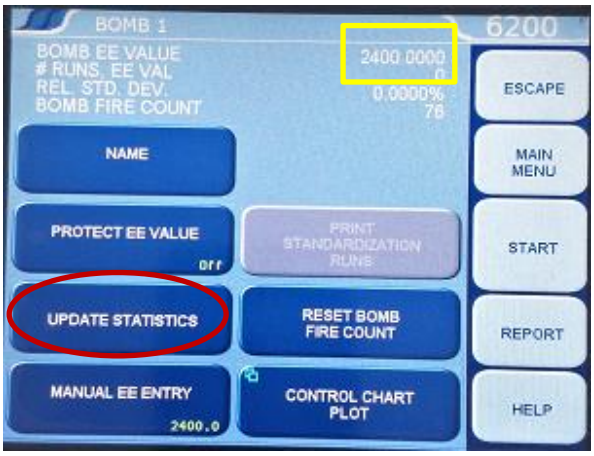
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
3	 	- เมื่อทำการเปิดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์จะปรากฏดังรูป และอยู่หน้า Main Manu

4.4.1.3 การลบค่ามาตรฐานเดิมออกจากเครื่องและการปลดล็อคลูกบอมบ์

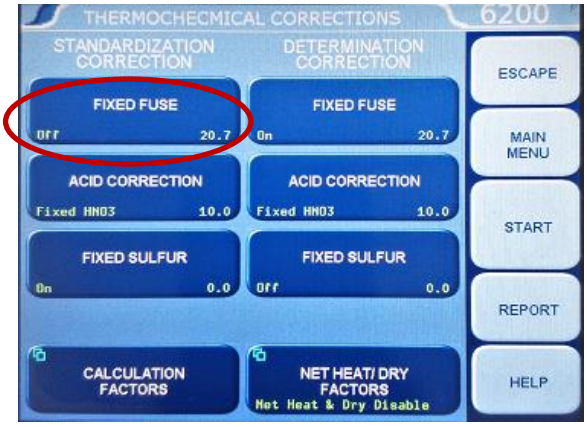
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1	 	- ก่อนทำการทดสอบค่ามาตรฐานให้ทำการลบค่ามาตรฐานเดิมออกจากเครื่อง โดยไปปุ่ม MAIN MENU แล้วกด FILE MANAGEMENT - กดปุ่ม RUNDATA FILE MANAGER

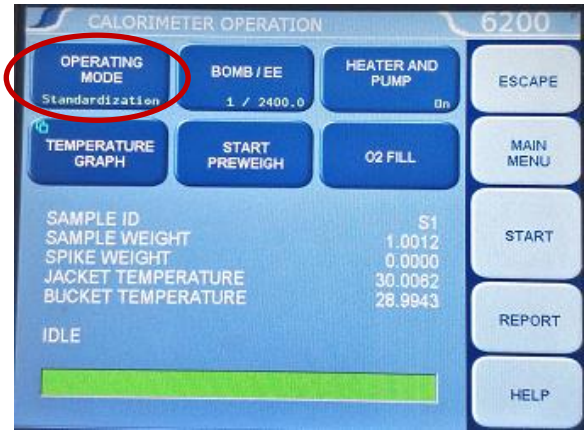
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
2	  	- เลื่อนลูกศรขึ้นหรือลงไปที่ค่า STD เดิมเพื่อให้เป็นแถบสีน้ำเงินแล้วกด DELETE (ลบทีละข้อมูล) -หากต้องการลบหลายข้อมูล ให้เลื่อนลูกศรไปแถบบรรทัดแรกแล้วกด SELECT เลื่อนลูกศรไปบรรทัดสุดท้ายแล้วกด EXTEND SEL. (สังเกตจากปุ่มจากสีเทาเป็นสีน้ำเงิน) แล้วกด DELETE ** ควรทำการลบ STD ตัวเดิมทิ้งไปทั้งหมด เพื่อเป็นการทำค่ามาตรฐานให้กับเครื่องใหม่

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
2		- เครื่องจะถามว่าต้องการลบข้อมูลที่เลือกหรือไม่ กด Yes เพื่อลบข้อมูล
		- เครื่องจะทำการลบข้อมูลที่เลือก

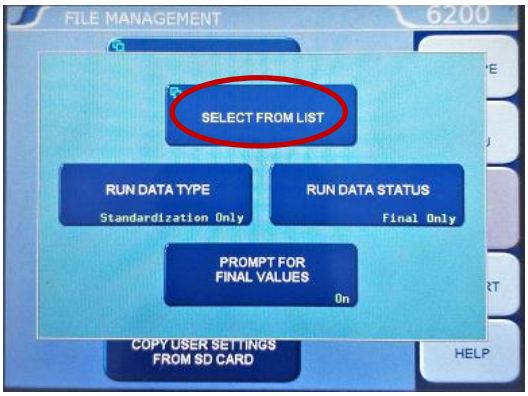
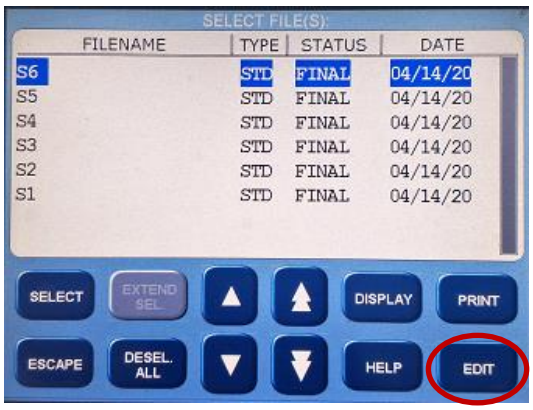
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
3	 	- กดปุ่ม MAIN MENU เป็นการกลับมาหน้าจอ แล้วกดปุ่ม CALIBRATION DATA AND CONTROL - กดปุ่ม BOMB1 - กดปุ่ม PROTECT EE VALUE จาก On จะเปลี่ยนเป็น Off - เมื่อ PROTECT EE VALUE ถูกปลดล็อคให้กดปุ่ม UPDATE STATISTICS เพื่อให้ค่า BOMB EE VALUE คืนกลับเป็นค่าโรงงานคือ 2400.0000

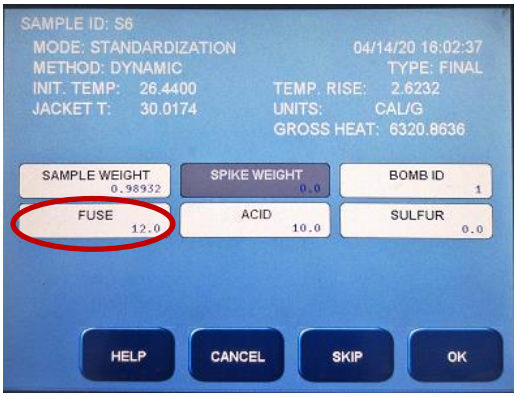
4.4.1.4 การเข้าสู่โปรแกรมในการในการทดสอบค่ามาตรฐาน

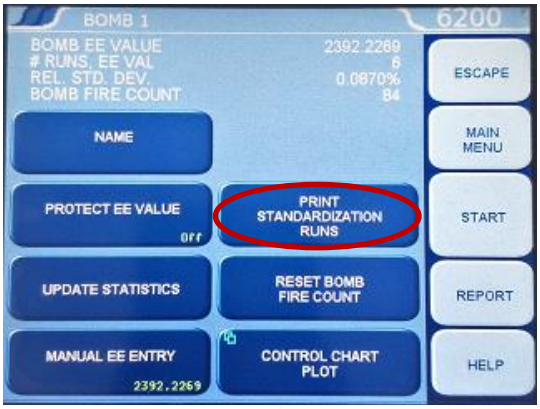
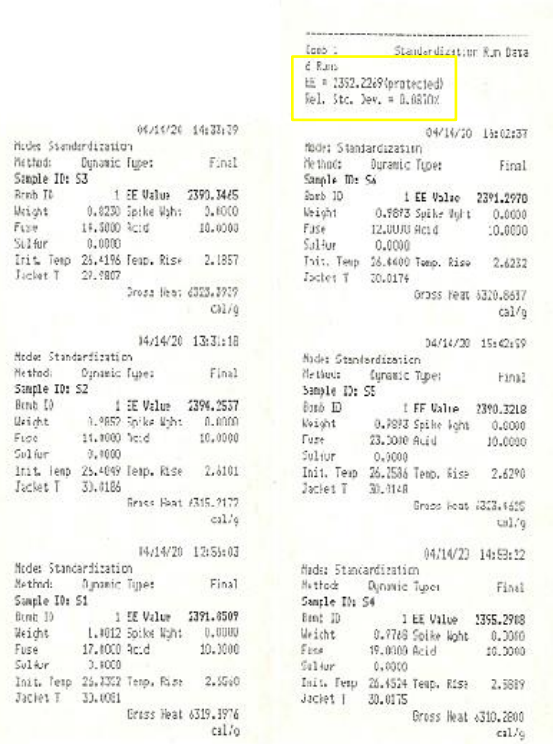
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1	 	- กดปุ่ม MAIN MENU - กดปุ่ม THERMOCHEMICAL CORRECTIONS เพื่อกำหนดให้ค่า FIXED FUSE เป็น Off ก่อนหลังจากทดสอบให้นำขดลวดมาวัดและหักลบออกจากค่าพลังงานเริ่มต้น (1 เซนติเมตร เท่ากับ 23 แคลอรี)

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
2	 	- กดปุ่ม MAIN MENU แล้วไปกดปุ่ม CALORIMETER ORERATION - กดปุ่ม OPERATION MODE เปลี่ยนจาก Detremination เป็น Standardization (สังเกตปุ่ม BOME/EE จะมีค่าคือ 1/2400.0) - เมื่อใส่ลูกบอม์ที่มีสารมาตรฐานที่ทราบน้ำหนัก และทำการเติมออกซิเจนแล้ว ให้กดปุ่ม START ตั้งชื่อสารมาตรฐาน เช่น S1 และใส่น้ำหนัก เช่น 1.0012 กรัม

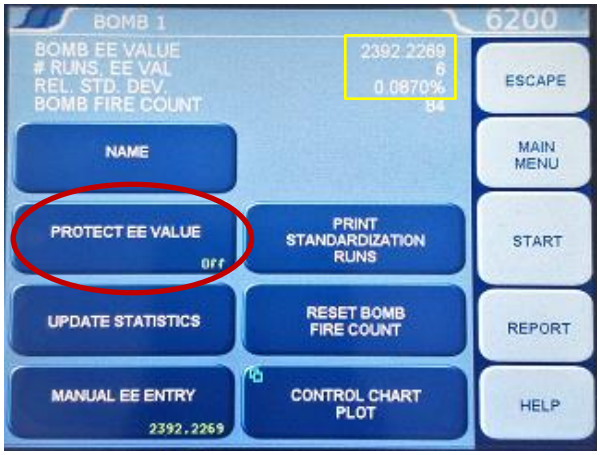
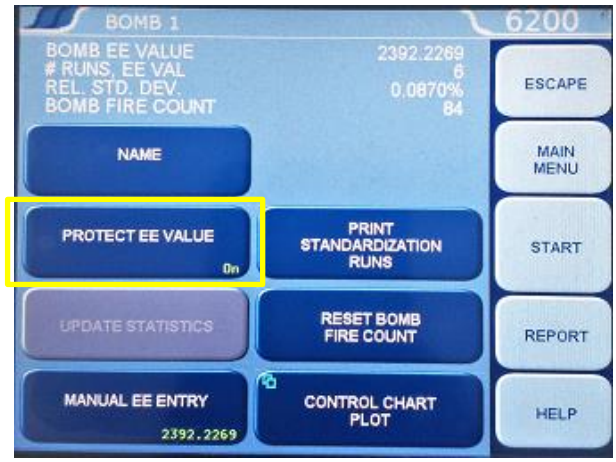
4.4.1.5 การคำนวณผลของสารมาตรฐาน

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1	  	- เมื่อทดสอบได้จำนวนซ้ำที่ต้องการให้ไปใส่ค่า Fuse แต่ละการทดสอบเพื่อให้คำนวณค่า EE ที่แท้จริง โดยเข้า MAIN MENU ไปที่ FILE MANAGENTER - กดปุ่ม REPORT เพื่อเลือก SELECT FROM LIST คลิกข้อมูลที่ต้องแก้ไขค่า FUSE โดยกดปุ่ม EDIT

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1	 	- กดที่ปุ่ม FUSE ทำการป้อนค่าที่แท้จริง เช่น ขดลวดที่เหลือหลังจากการบอมบ์ได้ค่า 11 แคลอรี ดังนั้นใส่ค่าไป = 23 – 11 = 12 แคลอรี - ให้ใส่ค่า FUSE 12 แล้วกด ENTER เครื่องจะคำนวณค่า EE ให้ใหม่ ให้ทำการ EDIT ทุกค่าของ Standard

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
2	  Bomb : Standardization Run Data 6 Runs EE = 2392.2269(protected) Rel. Std. Dev. = 0.0870% 04/14/20 14:33:39 Mode: Standardization Method: Dynamic Type: Final Sample ID: S3 Bomb ID 1 EE Value 2390.3445 Weight 0.8230 Spike Wgt: 0.0000 Fuse 14.3000 Acid 10.0000 Sulfur 0.0000 Init. Temp 26.4196 Temp. Rise 2.1857 Jacket T 29.9807 Gross Heat 6323.3929 cal/g 04/14/20 13:31:18 Mode: Standardization Method: Dynamic Type: Final Sample ID: S2 Bomb ID 1 EE Value 2394.2537 Weight 0.9857 Spike Wgt: 0.0000 Fuse 11.9000 Acid 10.0000 Sulfur 0.0000 Init. Temp 26.4049 Temp. Rise 2.6101 Jacket T 30.0186 Gross Heat 6315.2177 cal/g 04/14/20 12:51:03 Mode: Standardization Method: Dynamic Type: Final Sample ID: S1 Bomb ID 1 EE Value 2391.8509 Weight 1.0012 Spike Wgt: 0.0000 Fuse 17.0000 Acid 10.0000 Sulfur 0.0000 Init. Temp 26.3352 Temp. Rise 2.5940 Jacket T 30.0081 Gross Heat 6319.3976 cal/g 04/14/20 16:02:37 Mode: Standardization Method: Dynamic Type: Final Sample ID: S5 Bomb ID 1 EE Value 2391.2970 Weight 0.9873 Spike Wgt: 0.0000 Fuse 12.0000 Acid 10.0000 Sulfur 0.0000 Init. Temp 26.4400 Temp. Rise 2.6232 Jacket T 30.0174 Gross Heat 6320.8637 cal/g 04/14/20 15:42:59 Mode: Standardization Method: Dynamic Type: Final Sample ID: S5 Bomb ID 1 EE Value 2390.3218 Weight 0.9873 Spike Wgt: 0.0000 Fuse 23.0000 Acid 10.0000 Sulfur 0.0000 Init. Temp 26.3586 Temp. Rise 2.6290 Jacket T 30.0148 Gross Heat 6323.4429 cal/g 04/14/20 14:59:12 Mode: Standardization Method: Dynamic Type: Final Sample ID: S4 Bomb ID 1 EE Value 2395.2908 Weight 0.9768 Spike Wgt: 0.0000 Fuse 19.0000 Acid 10.0000 Sulfur 0.0000 Init. Temp 26.4524 Temp. Rise 2.5889 Jacket T 30.0175 Gross Heat 6310.2800 cal/g	- พิมพ์ผลทดสอบที่ได้โดยกดปุ่ม PRINT STANDARDIZATION RUNS ซึ่งได้ค่า EE ดังนี้ 1. 2391.8509 2. 2394.2537 3. 2390.3465 4. 2395.2908 5. 2390.3218 6. 2391.2978 ค่า Std.Dev. = 0.0870%

4.4.1.6 การล็อคค่าสารมาตรฐานหลังจากวัดค่าพลังงานความร้อน

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1	 	- เมื่อทำการทดสอบสารมาตรฐานเสร็จแล้วและได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน < 0.10% ต้องทำการ Protect ค่า - โดยกดปุ่ม MAIN MENU แล้วกดปุ่ม CALIBRATION DATA AND CONTROL หลังจากนั้นกดปุ่ม BOMB1 แล้วกดปุ่ม PROTECT EE VALUE จาก Off เป็น On (เป็นการล็อคค่ามาตรฐานของเครื่องบอมบ์) เพื่อใช้เป็นค่าเทียบกับตัวอย่าง

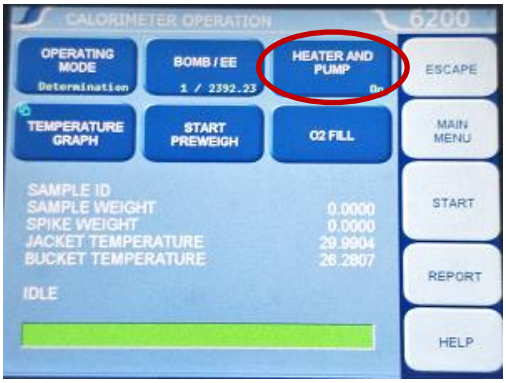
4.4.2 การวัดค่าพลังงานความร้อนของตัวอย่าง

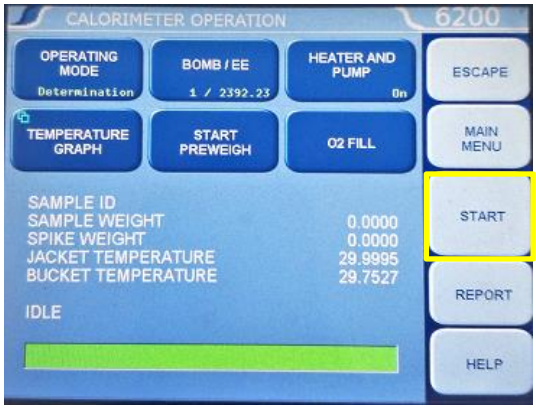
การวัดค่าพลังงานความร้อนของตัวอย่าง จะต้องทำการศึกษาเบื้องต้นก่อนว่ามีค่าพลังงานความร้อนอยู่เท่าไรเพื่อจะชั่งตัวอย่างให้เหมาะสมกับการวัดค่าพลังงานความร้อนซึ่งจะต้องไม่เกิน 8,000 แคลอรี โดยมีขั้นตอนในการวัดค่าพลังงานความร้อนของตัวอย่างมี 7 ขั้นตอนดังนี้

4.4.2.1 การเปิดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
4.4.2.2 การเตรียมตัวอย่างใส่ในลูกบอมบ์
4.4.2.3 การแทนที่อากาศภายในลูกบอมบ์ โดยใช้ออกซิเจน
4.4.2.4 การเปิดน้ำจากโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร ลงใน Bucket
4.4.2.5 การนำลูกบอมบ์ใส่ลงในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
4.4.2.6 การทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์
4.4.2.7 การสิ้นสุดการทำงานเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

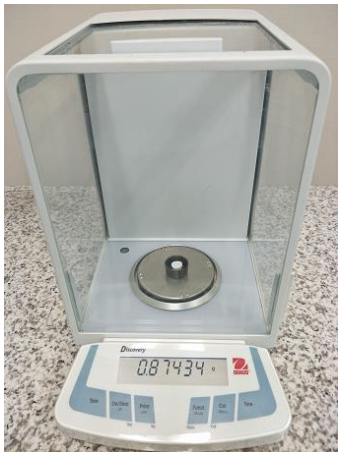
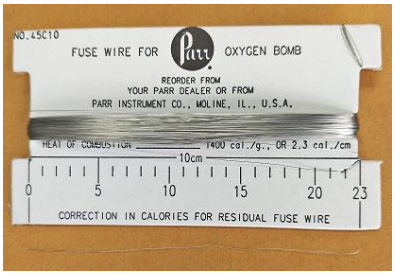
4.4.2.1 การเปดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

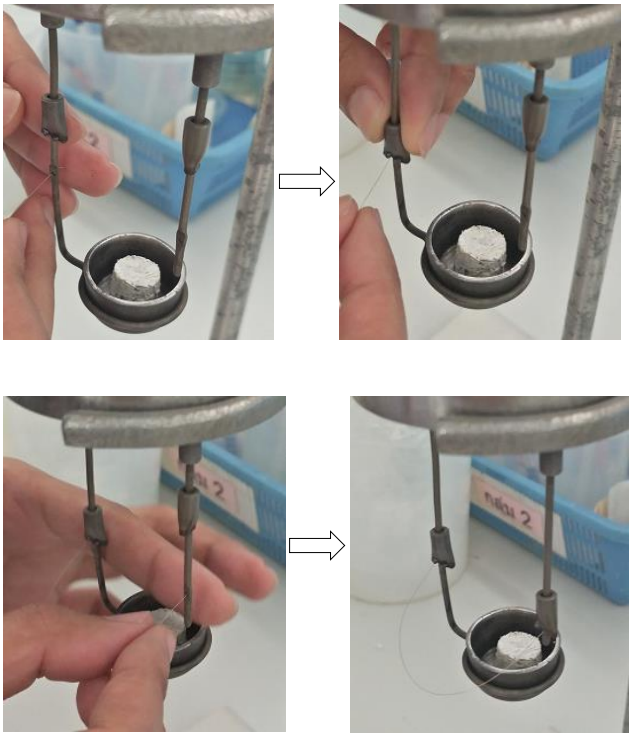
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		ก่อนการเปิดเครื่อง ให้เปิด เครื่องปรับอากาศ ภายในห้องแล้ว เปิดสวิตซ์เครื่อง ตามลำดับดังนี้ 1) เครื่องสำรอง ไฟฟ้า 2) เครื่อง Bomb Calorimeter 3) เครื่อง Water Handling 4) เครื่อง Printer 5) ถังออกซิเจน
2		- เติมน้ำกลั่น ลง ใน Water Handling และตั้ง อุณหภูมิของเครื่อง เป็น 25 องศา เซลเซียส

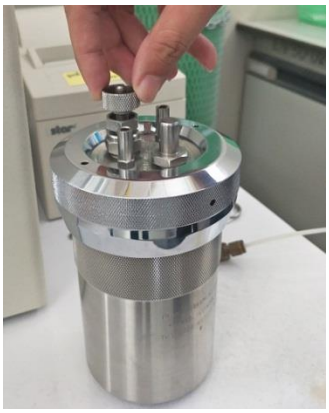
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
3		- เปิดน้ำกลั่นใส่ในโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร ให้อุณหภูมิของน้ำเป็น 25 องศาเซลเซียส
4		- เปิดสวิตซ์ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์แล้วจะปรากฏหน้าจอหลัก - แล้วกดปุ่ม CALORIMETER OPERATION
5		- กดปุ่ม HEATER AND PUMP เพื่อเปลี่ยนจาก Off เป็น On สังเกตจากปุ่ม STARTจะเป็นสีเทา แสดงว่าเครื่องยังไม่พร้อมใช้งาน

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
6		- รอให้เครื่องปรับ Bucket Temp เป็น 30 องศาเซลเซียส - ใช้เวลาประมาณ 20 นาที สังเกตจากปุ่ม START ไฟจะสว่างจากสีเทาจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า ซึ่งเครื่องพร้อมใช้งาน

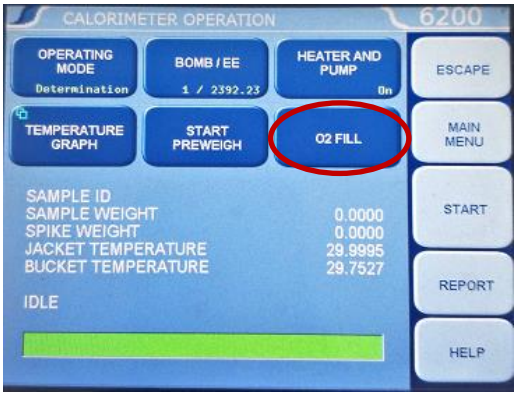
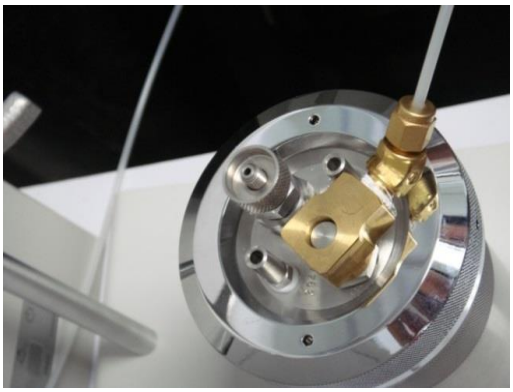
4.4.2.2 การเตรียมตัวอย่างใส่ในลูกบอมบ์

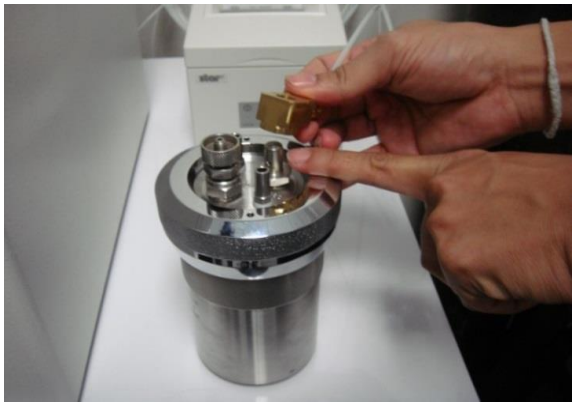
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		- ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อัดเม็ดแล้วโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยมตั้งแต่ 4 ตำแหน่ง ขึ้นไป ใส่ในถ้วยใส่ตัวอย่าง
2		- ตัดลวดยาว 10 เซนติเมตร
3		- นำถ้วยตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักตัวอย่างแล้ว วางบนที่ใส่ถ้วยตัวอย่าง ให้ตัวอย่างอยู่ตรงกลางถ้วย

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
4		- เสียบปลายลวดที่รูขาบอมบ์เพียงเล็กน้อยแล้วเลื่อนที่ล็อคลงมาล็อคทับปลายลวด ให้ทำทั้งสองข้างให้แน่น
5		- จับลวดขดเป็นรูปตัวยู โดยให้ลวดสัมผัสกับตัวอย่างเท่านั้น (**ห้าม!** ให้ลวดสัมผัสกับลูกบอมบ์)

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
6		- ปิเปตน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตรใส่ในลูกบอมบ์ - นำหัวบอมบ์วางลงในลูกบอมบ์ กดปิดให้สนิท
7		- ปิดฝาครอบโดยขัน Screw cap ให้แน่น (หมุนให้ตรงเกลียวของฝา หากหมุนไม่ได้ให้เปิดแล้วทำใหม่)
8		- หมุนปิดวาล์วที่ใช้ปล่อยออกซิเจนให้สนิท

4.4.2.3 การแทนที่อากาศภายในลูกบอมบ์โดยใช้ออกซิเจน

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		- นำหัวต่อที่เติมออกซิเจนเสียบเข้าที่ช่องเติมออกซิเจน
2		- กดปุ่ม O2 FILL เพื่อเติมออกซิเจน
3		- เครื่องจะเติมออกซิเจนเข้าไปไปในลูกบอมบ์ ที่แรงดัน 450 PSI เป็นเวลา 1 นาที แล้วเครื่องจะตัดออกซิเจนโดยอัตโนมัติ

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
4		- เมื่อมีเสียงดังเกิดขึ้นแสดงว่าเติมออกซิเจนเสร็จแล้ว ให้ทำการดึงหัวต่อที่เติมออกซิเจนออก

4.4.2.4 การเปิดน้ำจากโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร ลงใน Bucket

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		- การเปิดน้ำจากโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร ลงใน Bucket ให้สังเกตว่ามีรู 2 รู สำหรับปล่อยน้ำเข้าโถแก้ว และปล่อยน้ำออกลงใน Bucket

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
2		- หมุนวาล์วให้รูตรงกับท่อน้ำ (สังเกตจะเห็นรูตรงลูกศรสีแดง)
		- น้ำจะไหลจากโถแก้วปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ลงใน Bucket (ให้เปิดน้ำพร้อมกับการอัดออกซิเจนในลูกบอมบ์ เพื่อความรวดเร็วในการทำงาน)

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
3		- เมื่อน้ำไหลออกจากโถแก้วลงใน Bucket หมดแล้ว ให้หมุนวาล์วขึ้นกลับไปให้น้ำไหลเข้าโถแก้วปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร ต่อไป (สังเกตลูกศรสีแดงจะไม่เห็นรูแสดงว่าน้ำไหลเข้าโถแก้วแล้ว)

4.4.2.5 การนำลูกบอมบ์ใส่ลงในเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

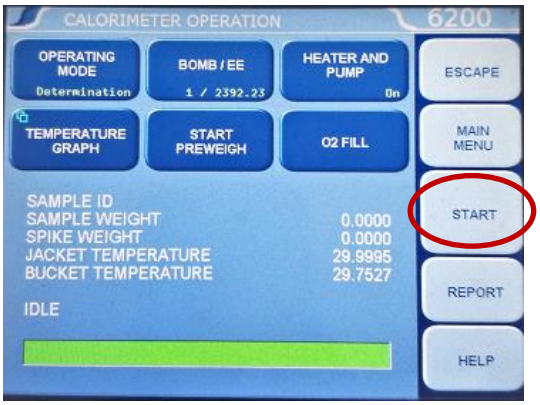
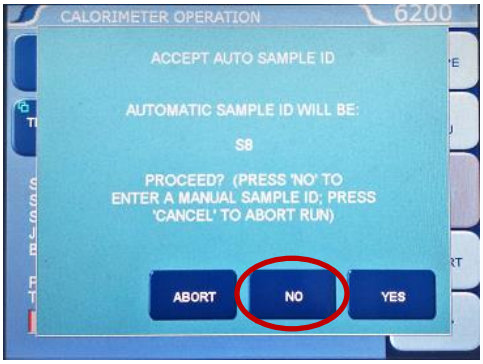
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		- มีจุดล็อค Bucket 3 จุด สำหรับวาง Bucket เช็ดให้แห้งอย่าให้เปียกน้ำ
2		- นำ Bucket ที่บรรจุน้ำ 2,000 มิลลิลิตร มาวางให้ตรงตำแหน่งทั้ง 3 จุดให้ตรงล็อค

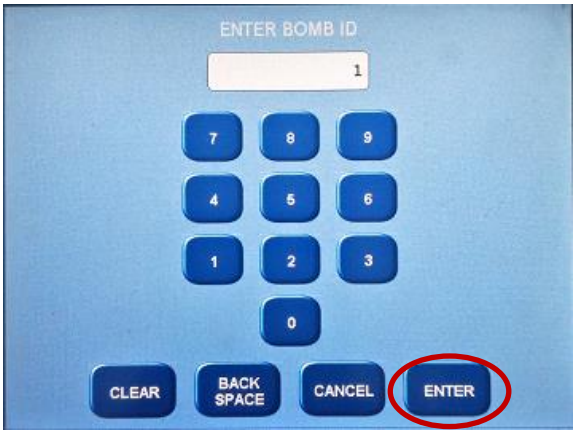
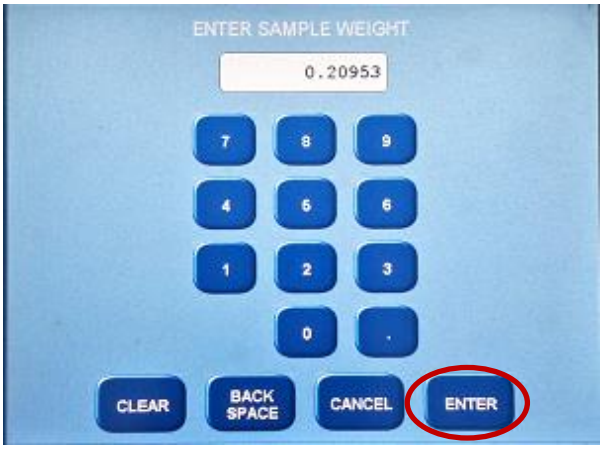
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
3	 	- คีบลูกบอมบ์ใส่ใน Bucket ในแนวที่คีบตั้งฉาก **ระวังอย่าให้เอียงหรือหล่น - ถ้ามีฟองอากาศออกจากลูกบอมบ์ดังรูปตลอดเวลาไม่หาย **ห้าม!** ทำการบอมบ์

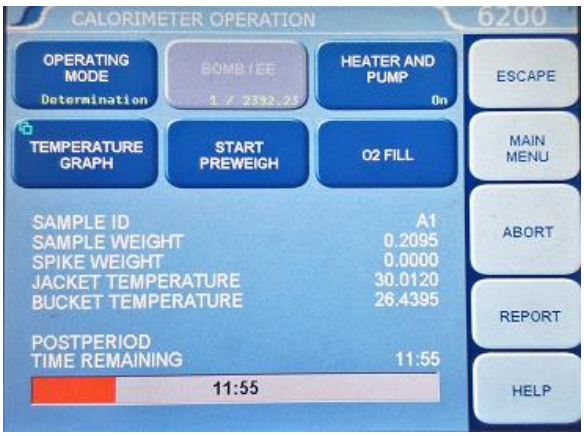
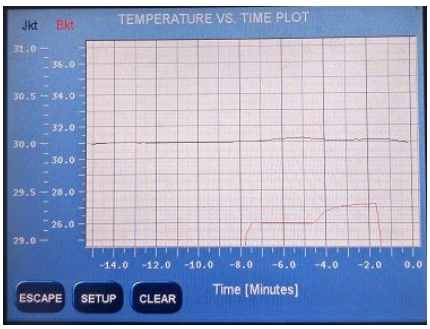
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
4		- เสียบสายจุดระเบิดที่ขั้ว Electrode ทั้ง 2 ขั้ว - อย่าให้มือเปียกน้ำ เพราะจะทำให้ปริมาตรน้ำเปลี่ยน หากมือเปียกน้ำก็สะบัดน้ำลง Bucket
		- เมื่อเสียบสายจุดระเบิดที่ขั้ว Electrode ทั้ง 2 ขั้วเสร็จแล้ว สังเกตว่ามีฟองอากาศรั่วหรือไม่ ถ้าไม่มีให้ดำเนินการต่อไป

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
5	 	- ทำการปิดฝาเครื่อง

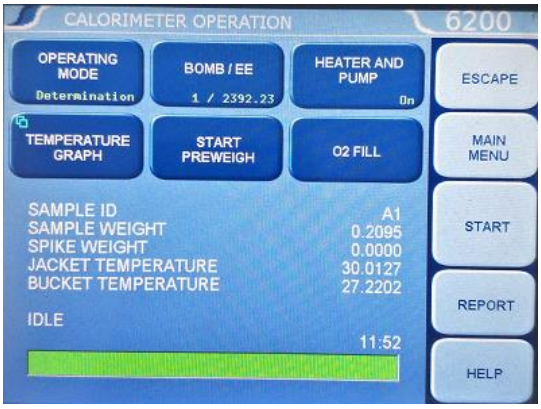
4.4.2.6 การทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

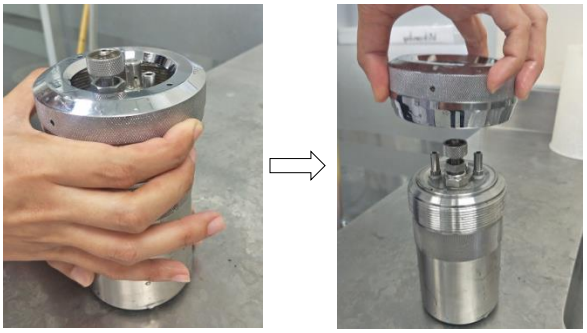
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1		- เมื่อปิดฝาเครื่องเรียบร้อยแล้วให้กดปุ่ม Start
2		- จะขึ้นคำถามในการใส่ชื่อตัวอย่าง กด Yes หรือ No
3		- ถ้ากด **No** ให้ป้อนชื่อตัวอย่างใหม่แล้วกด Enter เช่น ใส่ชื่อ A1 แล้วกดEnter

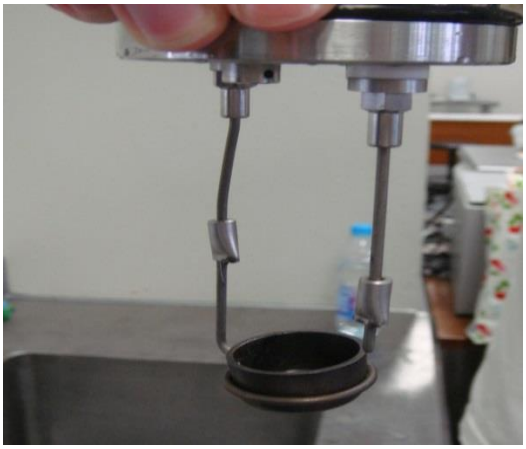
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
4		- ถ้ากด **Yes** จะเรียงลำดับชื่อต่อจากตัวอย่างชุดเก่า และเครื่องจะถาม Bomb ID ให้ใส่เลข 1 แล้วกด Enter (เมื่อมีการทดสอบค่ามาตรฐานไว้ที่ BOMB 1)
5		- เครื่องจะถามน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการ Bomb (Enter Sample Weight) ให้ใส่น้ำหนักทศนิยมอย่างน้อย 4 ตำแหน่ง แล้วกด Enter (เครื่องจะปัดเป็นทศนิยม 4 ตำแหน่งโดยอัตโนมัติ)

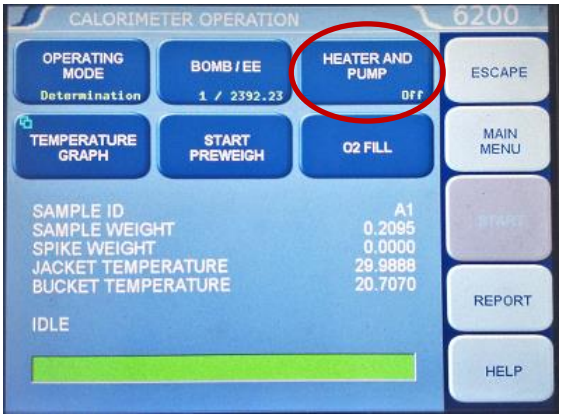
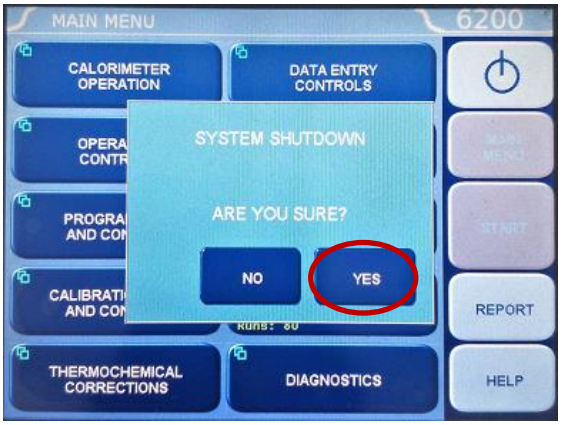
ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
6	 	- เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จเรียบร้อย เครื่องจะเริ่มทำการหาค่าความร้อน ตามขั้นตอนดังนี้ 1) Pre period จะเป็นช่วงที่เครื่องทำการปรับอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ 2) Fire เมื่อปรับอุณหภูมิได้คงที่ เครื่องจะทำการจุดไฟ โดยจะมีสัญญาณดังขึ้น 3) Post period หลังจากจุดไฟแล้ว เครื่องจะเข้าสู่ขั้นตอนวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเพื่อหาค่าความร้อน
7		- กดปุ่ม TEMPERATURE GRAPH ดูกราฟการ Bomb

4.4.2.7 การสิ้นสุดการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
1	 	- เมื่อเสร็จสิ้นการทำงานของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์จะเปลี่ยนจากแถบไฟสีแดงเป็นแทบไฟสีเขียว - เครื่องพิมพ์จะทำการพิมพ์ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ได้อัตโนมัติ [มีหน่วยเป็นแคลอรี/กรัม (cal/g)] นำค่าที่ได้ทั้งหมดไปคำนวณหาค่าความร้อนที่แท้จริง หรือป้อนค่า Fuse, Acid, Sulfur ที่ทราบค่าแล้วตามวิธีการเช่นเดียวกับการคำนวณสารมาตรฐาน แล้วจึงพิมพ์ผลออกมาใหม่

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
2		- เปิดฝาเครื่อง ดึงสายจุดระเบิดออก และคีบลูกบอมบ์ออกมาจาก Bucket ค่อย ๆ เอียงน้ำที่ค้างออกจากหัวบอมบ์
3		- หมุนวาล์วทวนเข็มนาฬิกาเพื่อทำการปล่อยความดันของลูกบอมบ์ โดยค่อย ๆ ปล่อยออกอย่างช้า ๆ หมุนเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีเสียงลม
4		- ใช้ผ้าเช็ดน้ำจากฝาครอบให้แห้ง แล้วหมุนฝาครอบออก

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
5		- ดึงหัวบอมบ์ออกจาก ลูกบอมบ์ ตรวจสอบว่าตัวอย่างเผาไหม้หมดหรือไม่ ถ้าเผาไหม้ไม่หมด ให้นำตัวอย่างใหม่มาทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรก
		- ล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ด้วยน้ำกลั่น - เช็ดทำความสะอาดเครื่องให้สะอาด - เก็บอุปกรณ์เข้าที่ให้เรียบร้อย

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
6	 	- ทำการปิดเครื่อง โดยกดปุ่ม MAIN MAMU แล้วกด CALORIMETER ORERATION หลังจากนั้นกดปุ่ม HEATER AND PUMP เปลี่ยนจาก On เป็น Off - กดปุ่มปิด เครื่องจะถามดังรูป แล้วกดปุ่ม Yes

ลำดับ	ภาพขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียด
7		- หน้าจอปรากฏดังรูปให้ปิดวาล์วถังออกซิเจนให้สนิท (ตามเข็มนาฬิกา) ปิดสวิตซ์เครื่องตามลำดับดังนี้ 1) เครื่อง Printer 2) เครื่อง Water Handling 3) เครื่อง Bomb Calorimeter 4) เครื่องสำรองไฟฟ้า ถอดปลั๊กไฟฟ้าออกให้เรียบร้อยเป็นการสิ้นสุดการทำงาน

การคำนวณตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาค่าปริมาณ CCF (Composite Correction Factor)

การหาค่า CCF คือค่า C_1, C_2 และ C_3 ที่จะนำไปคำนวณค่า E_1, E_2 และ E_3 ตามลำดับ ในสูตรการหา Gross heat of combustion

$$H_c = \frac{WT - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

โดย C_1 = มิลลิลิตรของสารละลายด่างมาตราฐานที่ใช้ในการไทเทรตกรด (ในที่นี้คือ Na_2CO_3)

C_2 = เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ในตัวอย่าง

C_3 = ความยาวของขดลวดที่ใช้ในการเผาไหม้ (เซนติเมตร)

H_c = Gross heat of combustion (แคลอรี/กรัม)

T = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส)

W = Energy Equivalent ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์จากการทดสอบสารมาตรฐานแล้วหลายซ้ำ (แคลอรี/องศาเซลเซียส)

e_1 = Correction สำหรับค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (0.34 N Na_2CO_3 ที่ใช้ในการไทเทรตกับกรด, 1 มิลลิลิตร = 20 จูล = 4.7769 แคลอรี)

e_2 = Correction สำหรับค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟิวริก (13.17) (C_2) (m)

e_3 = Correction สำหรับค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ firing wire (2.3)(C_3)

m = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb calorimeter)

2) เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง และ 4 ตำแหน่งขึ้นไป (Balance)

3) เตาเผา (Muffle furnace)

4) ตู้ดูดความชื้น (Dessicator)

5) เตาให้ความร้อน (Hot plate)

6) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

7) บีกเกอร์ (Beaker)

8) ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)

9) ปิเปต (Pipette)

10) บิวเรต และขาตั้ง (Burette and Stand)

11) ถ้วยเผาพร้อมฝาปิด (Crucible porcelain)

12) ปากคีบ (Forcep)

13) กระจกนาฬิกา (Watch glass)

14) แท่งแก้วคน (Stirring Rod)

15) ขวดใส่น้ำกลั่น (Wash bottle)

16) ช้อนตักสาร (Spatula)

สารเคมี

1) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น (conc.NH_4OH มีถพ.0.90)

2) Bromine water (saturated) เตรียมโดยเติมโบรมีนเกินพอลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร (เก็บใส่ขวดสีชาและวางไว้ในตู้ดูดควัน) (โบรมีนมี solubility 42 กรัม/ลิตร)

3) HCl (1+1) เตรียมโดยผสม กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc.HCl) กับน้ำกลั่นโดยใช้ปริมาตรเท่ากัน

4) HCl (1+9) เตรียมโดยผสมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นกับน้ำกลั่น โดยใช้ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น1 ส่วน ต่อน้ำกลั่น 9 ส่วน

5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (100 กรัม/ลิตร) เตรียมโดยละลาย NaOH 100 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6) สารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.34 N เตรียมโดยชั่ง 18.0200 กรัม ของ anhydrous sodium carbonate (Na_2CO_3) ซึ่งอบที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารมาละลายด้วยน้ำกลั่นและเจือจางเป็น 1 ลิตร

7) สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (100 กรัม/ลิตร) เตรียมโดยละลาย $BaCl_2.2H_2O$ 100 กรัมในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

8) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต – กรดไนตริก เตรียมโดยละลาย $AgNO_3$ 8.5 กรัม ในน้ำกลั่น และเติมกรดไนตริกเข้มข้น (conc.HNO_3) 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 500 มิลลิลิตร

9) อินดิเคเตอร์ผสม (Mix indicator) โบรโมครีซอลกรีน และเมทธิลเรด (Bromocresol green และ Methyl red) โดยละลาย โบรโมครีซอลกรีน 0.100 กรัม และเมทธิลเรด 0.020 กรัม ใน 95% เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) 100 มิลลิลิตร

10) Wash solution เตรียมโดยเจือจาง 1 มิลลิลิตร ของ Mix indicator (Bromocresol green และ Methyl red) ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

11) กระดาษกรองชนิด Qualitative filter paper (Whatman No. 5)

12) กระดาษกรองชนิด Ashless filter paper (Whatman No. 42)

ขั้นตอนในการวิเคราะห์หาค่า CCF

1) นำ Combustion bomb ออกจาก Bucket (เอียงน้ำออก) แล้วค่อย ๆ หมุนเปิดวาล์วให้ลมออกจนกระทั่งไม่มีเสียง (หมุนทวนเข็มนาฬิกา) ประมาณ 1 นาที ตรวจสอบภายใน Combustion bomb (ถ้าพบว่าตัวอย่างถูกเผาไหม้ไม่หมด หรือพบตะกอนเขม่าให้ทิ้ง)

2) ล้างทุกส่วนภายใน Combustion bomb และ Capsule ด้วย Wash solution จนไม่มีกรดเหลืออยู่ นำน้ำล้างนี้ใส่ในบีกเกอร์ (สังเกตจากอินดิเคเตอร์ไม่เปลี่ยนสี)

3) นำชิ้นส่วนของขดลวดที่เผาไหม้ไม่หมดออกมาเหยียดให้เป็นเส้นตรงทำการวัดความยาวที่เหลือ นำไปหักลบออกจากความยาวของขดลวดครั้งแรก (ขดลวดนิเกิล – โครเมี่ยม 10 เซนติเมตร = 23 แคลอรี) จะได้ค่า C_3

4) นำน้ำล้างในข้อ 2 ไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน 0.34 N Na_2CO_3 ใช้ (Mix indicator) ไทเทรตให้เป็นกลางจะได้ค่า (1 มิลลิลิตร ของสารละลายนี้ = 20.0 จูล = 4.7769 แคลอรี ในการไทเทรตกรดไนตริก)

5) ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 5.5 – 7.0 ด้วยสารละลายแอมโนเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เจือจาง จากนั้นต้มให้เดือดแล้วกรองด้วยกระดาษกรอง Qualitative filter paper (No.5) ล้างส่วนที่เหลือด้วยน้ำกลั่นร้อน 5 – 6 ครั้ง เก็บ filter ผสมน้ำล้าง

6) ปิเปต 1 มิลลิลิตรของสารละลายโบรมีนที่อิ่มตัว (saturated bromine water) แล้วเติมกรดไฮโดรคลอริก (1+1) ลงไปจนเป็นกรดอ่อน (สังเกตจากการได้สีส้มของ Mix indicator) แล้วนำไประเหยไล่โบรมีนส่วนเกินบน Hot plate (ทำในตู้ดูดควัน) และปล่อยให้เย็น แล้วหยด Mix indicator 5 – 6 หยดจะได้สีส้ม

7) ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลาย NaOH หรือ Na_2CO_3 (สังเกตจากสีส้มกลายเป็นสีฟ้า) จากนั้นเติม HCl (1+9) 1 มิลลิลิตร

8) นำไปต้มให้เดือดบน Hot plate พร้อมเขย่าช้า ๆ และค่อย ๆ เติมสารละลาย $BaCl_2$ 10 มิลลิลิตร หรือมากกว่า (โดยใช้ปิเปต)

9) ต้มต่อให้เดือด 15 นาที และต้มต่อที่ 80 – 90 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 2 ชั่วโมง ถ้าจะให้ดีควรต้มข้ามคืนโดยปิดกระจกนาฬิกาไว้เพื่อไม่ให้ระเหยจนแห้งและป้องกันสิ่งปนเปื้อน

10) กรองตะกอน $BaSO_4$ โดยใช้กระดาษกรอง No.42 และล้างน้ำตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน จนกระทั่งเมื่อเติมสารละลาย $AgNO_3$ 1 หยดลงใน 8 – 10 มิลลิลิตรของ Filter แล้วไม่เป็นตะกอนขุ่นขาว อย่างมากมีเพียงสีน้ำนมจาง ๆ เท่านั้น

11) พับกระดาษกรองที่บรรจุตะกอนอย่างหลวม ๆ ใส่ใน Porcelain crucible ที่เผาและชั่งน้ำหนักแล้ว จากนั้นนำ Crucible ซึ่งปิดฝาไม่สนิท (เพื่อให้มีช่องว่างพอให้ควันออกได้แต่ไม่ให้กระดาษกรองลุกไหม้เป็นเปลวไฟ) มาวางบน Hot plate เพื่อค่อย ๆ ไล่ควัน

12) นำ Crucible ซึ่งปิดฝาไม่สนิทใส่ในเตาเผา (Muffle furnace) โดยค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิให้ถึงประมาณ 925 องศาเซลเซียส เผาจนน้ำหนักคงที่

13) นำ Crucible ที่เผาแล้วใส่ในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักเมื่ออุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง

14) ทำ Reagent blank โดยใช้ปริมาณ Reagent และวิธีการเช่นเดียวกับที่ใช้กับตัวอย่าง หรือทำ Correction โดยใช้สารละลายมาตรฐานซัลเฟต มาทำการวิเคราะห์โดยใช้ Reagent และวิธีการที่ใช้กับตัวอย่าง

ซัลเฟอร์, % = (A – B) x 13.738 / m

เมื่อ A = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ (กรัม)

B = น้ำหนักตะกอน $BaSO_4$ ในการทำ Blank หรือ Correction, (กรัม)

m = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)

13.738 = %ซัลเฟอร์ ใน $BaSO_4$

การเปลี่ยนหน่วยของค่าความร้อน

1 แคลอรี (Cal)	= 4.1868 จูล
1 บีทียู (Btu)	= 1055.06 จูล
1 บีทียู (Btu)	= 251.996 แคลอรี (calories)
1 บีทียู/ปอนด์ (Btu/lb)	= 2.326 จูล/กรัม (J/g)
1.8 บีทียู/ปอนด์ (Btu/lb)	= 1.0 แคลอรี/กรัม (cal/g)

ตัวอย่างการคำนวณ

นำตัวอย่างขยะชั่งน้ำหนักได้ 0.2095 กรัม ไปเผาให้ค่าความร้อน 9,167.2777 แคลอรี/กรัม (ค่า EE = 2392.2269 จากการทดสอบสารมาตรฐาน) มีขดลวดเหลือจากการเผาไหม้ 2 เซนติเมตร อุณหภูมิที่สูงขึ้น 0.8134 องศาเซลเซียส ทำการไทเทรตหาค่ากรดไนตริกได้ 2.1 มิลลิลิตร (โดยใช้ 0.34 N Na_2CO_3) ทำการทดสอบหาค่า % ของซัลเฟอร์ได้ = 0.67 จงคำนวณหาค่า Gross heat of combustion

การคำนวณผล

การคำนวณ Gross heat of combustion

$$H_e = \frac{WT - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

เมื่อ H_e = Gross heat of combustion (แคลอรี/กรัม)

W = Energy Equivalent (EE) ของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (แคลอรี/องศาเซลเซียส) = 2392.2269

T = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น (องศาเซลเซียส) = 0.8134

e_1 = Correction สำหรับค่าความร้อนของการเกิดกรดไนตริก (แคลอรี)

= 2.1 x 4.7769 = 10.0315 (1 มิลลิลิตร = 20.0 จูล = 4.7769 แคลอรี)

e_2 = Correction สำหรับค่าความร้อนของการเกิดกรดซัลฟิวริก

= 13.17 x %ซัลเฟอร์ x น้ำหนักของตัวอย่าง

= 13.17 x 0.67 x 0.2095 = 1.8486

e_3 = Correction สำหรับค่าความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ firing wire (แคลอรี) = (10 – 2) x 2.3 = 18.4 (1 เซนติเมตร = 2.3 แคลอรี)

m = น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม) = 0.2095

แทนค่าในสูตร $H_e = \frac{(2392.2269 \times 0.8134) - 10.0315 - 1.8486 - 18.4}{0.2095}$

= 9,143 แคลอรี/กรัม

ดังนั้น Gross heat of combustion ของตัวอย่างขยะ คือ 9,143 แคลอรี/กรัม

4.5 ข้อควรปฏิบัติและข้อควรระวังในการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

การใช้เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) วิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ มีข้อควรระวังในการปฏิบัติงาน ดังนี้

1) เครื่องสามารถวัดตัวอย่างที่มีค่าความร้อนในช่วง 52 - 12,000 แคลอรี แต่ไม่ควรวัดตัวอย่างที่มีค่าความร้อนเกิน 8,000 แคลอรี ให้ลดน้ำหนักของตัวอย่างลง โดยเฉพาะขยะจากพลาสติกควรชั่งให้น้อยกว่า 0.20 กรัม ถ้าเป็นขยะทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย ให้ชั่งน้ำหนักอยู่ในช่วง 0.80 – 1.00 กรัม ก่อนทำการอัดเม็ด

2) ระมัดระวังอย่าให้อุปกรณ์ที่ใช้งานตกหรือหล่นลงพื้น

3) ห้ามวางหัวบอมบ์บนพื้นใด ๆ ทั้งสิ้น ให้วางบนแท่นสำหรับวางหัวบอมบ์เท่านั้น

4) อุปกรณ์ที่ใช้งานต้องทำความสะอาดโดยใช้ฟองน้ำถูล้างเท่านั้น และล้างด้วยน้ำกลั่นตอนสุดท้าย

5) หลังจากทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้งานเสร็จแล้ว ต้องเช็ดให้แห้งทุกครั้ง

6) เมื่อวิเคราะห์ตัวอย่างครบ 2,000 ตัวอย่าง ควรแจ้งบริษัทให้มาตรวจเช็คสภาพเครื่อง และทำการบำรุงรักษาเครื่องมือ

7) ตรวจเช็คช่องเติมน้ำด้านหลังเครื่องอย่าให้น้ำแห้ง ทุกครั้งก่อนการใช้งาน (ใช้น้ำกลั่นเติม)

8) เมื่อเครื่องทำอุณหภูมิมีปริมาณน้ำลดลง ให้ใช้น้ำกลั่นเติมเท่านั้น

9) หากจะดึงสายสำหรับจุดระเบิดออกจากขั้ว Electrode ให้จับตรงหัวเสียบ หากจับตรงสายแล้วดึงจะทำให้สายสำหรับจุดระเบิดขาดได้

10) ถ้ามีฟองอากาศออกจากลูกบอมบ์ตลอดเวลาไม่หาย ไม่ควรทำการบอบม์ ให้ตรวจดูสภาพของขอบยาง (O-ring) แต่ละจุด หากมีการรั่วซึมให้ทำการเปลี่ยน

11) หลังจากวิเคราะห์ตัวอย่างในแต่ละรอบเสร็จแล้ว ให้นำน้ำกลั่นใน Bucket กลับมาใช้ต่อได้อีกโดยเทลงในเครื่องทำอุณหภูมิน้ำ แต่หากน้ำกลั่นเริ่มขุ่นหรือมีตะกอนให้เทน้ำกลั่นใน Bucket ทิ้งได้เลย

บทที่ 5
ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

5.1 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

การระบุและแก้ไขปัญหาอุปสรรคในการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ นั้น นักวิทยาศาสตร์ควรหมั่นสังเกต จดบันทึก แล้วทบทวนสืบค้นถึงสาเหตุหลักและแนวทางการแก้ไขเบื้องต้น รวมไปถึงอุปสรรคในการปฏิบัติงาน เพื่อวิเคราะห์ปัญหาและวางแผนเพื่อแก้ไขปัญหาในระยะยาว ซึ่งสามารถรวบรวมปัญหาอุปสรรคที่สำคัญ และมักเกิดขึ้นบ่อยครั้งในการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ดังสรุปในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ปัญหาอุปสรรคและแนวทางแก้ไขในการปฏิบัติงาน

ปัญหาอุปสรรค	แนวทางแก้ไขปัญหา
1. การเปดเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ รอให้เครื่องปรับ Bucket Temp 30 องศาเซียลเซียส รอประมาณ 50 นาที สังเกตจากปุ่ม Start ไฟจะสว่างเป็นสีเทา ยังไม่พร้อมใช้งาน ซึ่งนานผิดปกติ จนเครื่องไม่สามารถ Start การทำงานได้	1. ตรวจเช็คสภาพห้องพบว่าไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ ทำให้ห้องที่วางเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ร้อน จนเครื่องไม่สามารถปรับ Bucket Temp 30 องศาเซียลเซียสได้ จึงต้องทำการเปิดเครื่องปรับอากาศทุกครั้งก่อนเปิดเครื่อง 20 นาที เครื่องจึงจะสามารถปรับอุณหภูมิของ Bucket Temp และสามารถ Start การทำงานได้ปกติ
2. ตัวอย่างประเภทพลาสติกก่อนนำมาอัดเม็ด หากชั่งน้ำหนักประมาณ 1 กรัม เมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะโดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ จะมีค่าความร้อนเกินจนเครื่องไม่สามารถวิเคราะห์ได้	2. เฉพาะตัวอย่างประเภทพลาสติก ก่อนนำมาอัดเม็ด ให้ชั่งน้ำหนักประมาณ 0.20 กรัม ซึ่งเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ จะสามารถวิเคราะห์ค่าความร้อนได้

3. เมื่อเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์วิเคราะห์ค่าความร้อนได้แล้ว แต่เมื่อเปิดฝาปลายลวดที่ขา Bomb ทั้ง 2 ข้างเผาไหม้ไม่หมด	3. ตรวจสอบลวดที่จะใส่ขา Bomb ทั้ง 2 ข้าง ขณะที่ใช้มือจับลวด มือห้ามเปียกต้องเช็ดให้แห้ง จึงทำให้ลวดเผาไหม้พร้อมกับตัวอย่างได้หมด
4. เมื่อเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์วิเคราะห์ค่าความร้อนได้แล้ว แต่เมื่อเปิดฝาปลายลวดที่ขา Bomb ทั้ง 2 ข้างเผาไหม้หมด แต่ตัวอย่างเผาไหม้ไม่หมด	4. เสียบปลายลวดที่ขา Bomb ทั้ง 2 ข้าง แล้วล็อคจับลวดขดเป็นรูปตัวยู โดยให้ลวดสัมผัสกับตัวอย่างเท่านั้น และห้ามให้ลวดหลุดออกจากตัวอย่าง โดยทำด้วยความเบามืออย่างระมัดระวังห้ามวางลูกบอมรุนแรง อาจเป็นเหตุให้ลวดเคลื่อนที่ออกจากตัวอย่างได้
5. อุณหภูมิน้ำกลั่นที่ต้องเติมลงใน Bucket เมื่อใช้ไปนาน ๆ อุณหภูมิน้ำจะเกิน 25 องศาเซียลเซียส	5. ต้องทำการเปลี่ยนน้ำกลั่นทุก ๆ 1 เดือน เนื่องจากพอใช้ไปหลาย ๆ ครั้ง น้ำกลั่นจะเกิดตะกอน จึงทำอุณหภูมิที่ 25 องศาเซียลเซียส ได้ช้า
6. อัตราการไหลของน้ำกลั่น ที่จะไหลกลับเข้าโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร ช้ามากจนเสียเวลาการทำงาน หากปรับอัตราการไหลให้เร็วน้ำก็จะล้นออกนอกโถแก้ว	6. ตรวจสอบสภาพสายยางสำหรับให้น้ำไหลเข้าโถแก้ว 2,000 มิลลิลิตร พบว่าสายยางเสื่อมสภาพ เกิดการบวมภายในสายยาง จึงเกิดการอุดตันน้ำไหลไม่สะดวก ต้องทำการเปลี่ยนสายยางทุก ๆ 4 – 5 ปี
7. เมื่อปฏิบัติตามขั้นตอนการแทนที่อากาศภายในลูกบอมโดยใช้ออกซิเจน แล้ววางลูกบอมใน Bucket สังเกตว่ามีฟองอากาศรั่วตลอดเวลาทั้ง ๆ ที่ทำการปิดฝาแน่นแล้ว	7. ตรวจสอบสภาพพบ O-ring ของหัว Bomb เสื่อมสภาพ ทำให้ออกซิเจนเข้าไปไปในลูกBomb รั่วออกจนหมดได้ ต้องทำการเปลี่ยน O-ring ของหัวBomb ทุก ๆ 2 ปี
8. เมื่อปฏิบัติตามขั้นตอนการแทนที่อากาศภายในลูกบอม โดยใช้ออกซิเจน สังเกตว่าไม่มีอากาศเข้าไปในลูก Bomb	8. สังเกตที่เกจวัดปริมาณแรงดันออกซิเจนหากต่ำกว่า 1,000 PSI ให้ทำการเปลี่ยนออกซิเจนถังใหม่

9. เมื่อปฏิบัติตามขั้นตอนการแทนที่อากาศภายในลูกบอม โดยใช้ออกซิเจน มีอัตราการไหลของแรงดันผิดปกติ	9. สังเกตที่เกจแสดงอัตราการไหลของแรงดันเข้าและแรงดันออกจากท่อออกซิเจน หากต่ำกว่าหรือเกิน 450 PSI ให้ปรับที่ลูกบิดสำหรับใช้ควบคุมปริมาณการไหลของออกซิเจนให้พอดีที่ 450 PSI
10. สายจุดระเบิดกับขั้ว Electrode ขาด	10. การใช้สายจุดระเบิดกับขั้ว Electrode ให้เสียบเข้าหรือดึงออกบริเวณขั้ว Electrode เท่านั้น หากจับดึงบริเวณสายจะทำให้ขาดได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ที่ควรพัฒนาและดำเนินการต่อไปนั้น มีดังนี้

1) ส่งเสริมให้มีการนำคู่มือปฏิบัติงานการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ฉบับนี้ไปเผยแพร่และใช้ในการปฏิบัติงาน

2) จัดทำสื่อความรู้ เช่น แผ่นพับและวีดีโอ เรื่อง การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ สำหรับบุคลากรและนักศึกษาที่มาใช้บริการ

3) จัดอบรมให้ความรู้เบื้องต้น เรื่อง การวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ สำหรับการเรียนการสอน การทำโครงงานวิทยาศาสตร์ และการทำวิทยานิพนธ์ โดยนักวิทยาศาสตร์ในหน่วยงานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

4) ส่งเสริมให้นักวิทยาศาสตร์ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์เข้าร่วมการอบรมเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะ โดยเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ ที่จัดขึ้นโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อเพิ่มพูนความรู้ ประสบการณ์ และนำมาใช้ในการปฏิบัติงานต่อไป

5) เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ที่ใช้อยู่ปัจจุบันนอกจากจะสามารถหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงขยะแล้ว ยังสามารถวิเคราะห์หาค่าความร้อนของชีวมวล หรือเศษวัสดุทางการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย ฟางข้าว ซังข้าวโพด เป็นต้น

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการจัดการขยะมูลฝอยและเทคโนโลยีการแปรรูปขยะมูลฝอยให้เป็นพลังงานสำหรับท้องถิ่น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2554

กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือประชาชน การคัดแยกขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธีและเพิ่มมูลค่า. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: บริษัท ฮีซ์ จำกัด; 2557

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 6 พลังงานขยะ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2554

ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง คุณลักษณะเบื้องต้นที่เหมาะสมสำหรับเชื้อเพลิงขยะจากขยะมูลฝอยชุมชน, กันยายน 2561.

วศิน เจริญสุข พสินี พุทธรักษา และเอกอนงค์ รัตนภาณุมงคล.การเปรียบเทียบพลังงานความร้อนของขยะถุงพลาสติกใหม่กับขยะถุงพลาสติกจากหลุมฝังกลบขยะเก่า[โครงงานวิทยาศาสตร์]. นครปฐม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 2554

อัจฉรา อัศวรุจิกุลชัย. การจัดการขยะมูลฝอยกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท แดเน็กซ์ อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น จำกัด; 2562

ASTM. D 5115 – 90 (reapproved 2004) Standard test method for collecting gross samples and determining the fuel quality of RDF, *Annual book of ASTM standards. (vol.11.04)*. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International. (ASTM Internation, 2006), pp. 119 – 120.

ASTM. E 711 – 87 (reapproved 2004) Standard test method for gross calorific value of refused-derived fuel by the bomb calorimeter, *Annual book of ASTM standards. (vol.11-04)*. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM Internationl. (ASTM Internation, 2006), pp. 701 – 706.

ASTM. E 829 – 94 Standard practice for preparing refused-derived fuel (RDF) laboratory samples for analysis, *Annual book of ASTM standards. (vol.11.04)*. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International. (ASTM Internation, 2002), pp. 707 – 710.

John Pichtel.Wate Management Practices, Municipal, Hazardous, and Industrial. 2nd ed. Taylor&Fracncis Group: New York; 2014

Parr Instrument Company. Introduction to Bomb Calorimetry. USA: Illinois; 2009

Parr Instrument Company. Oxygen Bomb Calorimeter 6200 Operating Instructuon Manual. USA: Illinois; 2010

World Energy Council. World Energy Resouces 2016. United Kingdom: World Energy Council; 2016.

ภาคผนวก ก
แบบฟอร์ม และแบบบันทึกต่าง ๆ

1) ใบยืมครุภัณฑ์ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ภายในคณะ

เลขที่.....

ใบยืมครุภัณฑ์ และอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ภายในคณะ

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว .....☐ อาจารย์ ☐ นักศึกษา รหัส.....สาขา/รุ่นที่.....

ที่อยู่.....,.....E:mail : .....โทรศัพท์ .....

ได้ยืมสิ่งของตามบัญชีรายการข้างล่าง จำนวน.....รายการ ไปจากห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ เพื่อ

☐ การทำโครงงานวิทยาศาสตร์ ☐ การทำวิทยานิพนธ์ ☐ การเรียนการสอน ☐ งานวิจัย ☐ อื่น ๆ

เรื่อง.....

ในระหว่างวันที่...../...../.....ถึงวันที่...../...../.....รวมระยะเวลาทั้งสิ้น.....วัน (ไม่เกิน 15 วัน/ครั้ง)

หากสิ่งของที่นำมาส่งคืน ชำรุดเสียหาย หรือใช้การไม่ได้ หรือสูญหายไป ข้าพเจ้ายินดีจัดการแก้ไขซ่อมแซมให้คงสภาพเดิมโดยเสียค่าใช้จ่ายของตนเอง หรือชดใช้เป็นพัสดุประเภท ชนิด ขนาด ลักษณะ และคุณภาพอย่างเดียวกัน

ลำดับที่	รายการ	จำนวน (หน่วย)	รหัสครุภัณฑ์	หมายเหตุ

ลงชื่อ..... ผู้ยืม (1)
( )

ลงชื่อ..... (2)
( )
อาจารย์ที่ปรึกษา / อาจารย์ที่รับผิดชอบ

วันที่...../...../.....

วันที่...../...../.....

ความเห็นของหัวหน้างานปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมและมาตรฐานสากล

☐ เห็นสมควรอนุญาตให้ยืมใช้ได้ ☐ ไม่เห็นสมควรให้ยืมเนื่องจาก.....

ลงชื่อ..... (3)
( )
หัวหน้างานห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมฯ
วันที่...../...../.....

ได้รับของตามเอกสารที่แนบแล้ว

ลงชื่อ.....ผู้รับของ (4)
( )

ลงชื่อ.....ผู้จ่ายของ (5)
( )

วันที่...../...../.....

ได้รับคืนสิ่งของตามรายการข้างต้นในสภาพที่ใช้งานได้เรียบร้อย และครบถ้วนแล้ว

ลงชื่อ.....ผู้ส่งของคืน (6)
( )

ลงชื่อ.....ผู้รับของคืน (7)
( )

วันที่...../...../.....

หมายเหตุ : 1. กรุณาเขียนใบยืมพัสดุล่วงหน้าอย่างน้อย 3 วันทำการ , เวลา ยืม – คืน 9.00 – 11.00 น. **29/8/2559**

2. หากกรอกรายละเอียดไม่ครบถ้วนจะไม่ดำเนินการต่อให้

2) แบบบันทึกการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์

หน้าที่.....

แบบฟอร์มการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ชื่อเครื่องมือ : _____ เลขที่ครุภัณฑ์ : _____

ผู้รับผิดชอบ : _____ สถานที่ตั้ง : _____

ลำดับ	ชื่อ-นามสกุล	สาขา/รุ่น	วันที่ใช้	ระยะเวลาที่ใช้	สภาพของเครื่อง		รายละเอียดการใช้งาน	ลายเซ็นต์
					ก่อน	หลัง		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

25/7/2557

3) แบบบันทึกบัญชีรายชื่อเครื่องมือเครื่องแก้ว (Master List of Equipment) (FM-505-01)

	แบบบันทึก ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	รหัสเอกสาร : FM-505-01 : หน้า : 1-1 ฉบับที่ 01 : แก้ไขครั้งที่ 00
ชื่อเรื่อง : บัญชีรายชื่อเครื่องมือ/เครื่องแก้ว (Master List of Equipment)		วันที่ออก 1 / ก.ค. / 2559

บัญชีรายชื่อเครื่องมือ/เครื่องแก้ว (Master List of Equipment) หน้า.....

ชื่อเครื่องมือ	ผู้ผลิตหรือผู้ขาย	ยี่ห้อ	รุ่น	หมายเลขเครื่อง	รหัสครุภัณฑ์	ช่วงการใช้งาน	ช่วงการสอบเทียบ

4) แบบบันทึกประวัติเครื่องมือ (FM-505-02)

	แบบบันทึก ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	รหัสเอกสาร : FM-505-02 : หน้า : 1-1 ฉบับที่ 01 : แก้ไขครั้งที่ 01
ชื่อเรื่อง : ประวัติเครื่องมือ		วันที่ออก 23 / มี.ค. / 2560

ประวัติเครื่องมือ

หน้า.....

ชื่อเครื่องมือ.....รหัสครุภัณฑ์.....

ยี่ห้อ/รุ่น .....หมายเลขเครื่อง .....

ผู้ผลิต.....

ตัวแทนจำหน่าย .....เบอร์โทร.....

ที่อยู่ .....

รับเครื่องมือวันที่.....เดือน.....พ.ศ..... นำเครื่องเข้าระบบวันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

สถานที่ตั้งปัจจุบัน.....

เอกสารประกอบ ☐ เอกสารแนะนำการใช้งาน จำนวน.....เล่ม/แผ่น ☐ ใบรับรองผลการสอบเทียบ

☐ อื่นๆ.....

ประวัติการสอบเทียบ/การบำรุงรักษา

การสอบเทียบ/การบำรุงรักษา ทุก ๆ : ครั้ง / ปี เกณฑ์การยอมรับ.....

วด/ป	หมายเลข ใบรับรอง	การตรวจสอบเครื่องมือ	กำหนดการ สอบเทียบ ครั้งต่อไป	ช่วงการ ใช้งาน	การ บำรุงรักษา	ผู้ตรวจสอบ ข้อมูล

5) แบบบันทึกความผิดปกติของเครื่องมือ (FM-505-03)

	แบบบันทึก ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	รหัสเอกสาร : FM-505-03 : หน้า : 1-1 ฉบับที่ 01 : แก้ไขครั้งที่ 00
ชื่อเรื่อง : ความผิดปกติของเครื่องมือ		วันที่ออก 1 / ก.ค. / 2559

ความผิดปกติของเครื่องมือ หน้า.....

ชื่อเครื่องมือ.....รหัสเครื่องมือ.....

ว/ด/ป	ค่าที่ตั้งไว้	ค่าที่วัดได้	รายละเอียดความผิดปกติของเครื่องมือ	การแก้ไข	ผู้ดำเนินการ

6) แบบบันทึกแผนการบำรุงรักษาเครื่องมือ ประจำปี พ.ศ..... (FM-505-04)

	แบบบันทึก ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	รหัสเอกสาร : FM-505-04 : หน้า : 1-1 ฉบับที่ 01 : แก้ไขครั้งที่ 00
ชื่อเรื่อง : แผนการบำรุงรักษาเครื่องมือ ประจำปี พ.ศ.		วันที่ออก 1 / ก.ค. / 2559

แผนการบำรุงรักษาเครื่องมือ ประจำปี พ.ศ. ..... **หน้า.....**

ชื่อเครื่องมือ	หมายเลขเครื่องมือ	ความถี่การใช้เครื่องมือ	กำหนดการบำรุงรักษา												รายชื่อผู้รับมอบหมาย
			ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	

ลงชื่อ.....ผู้เสนออนุมัติ
(.....)
วันที่...../...../.....

ลงชื่อ .....ผู้อนุมัติ
(.....)
วันที่...../...../.....

7) การตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือ (FM-505-05)

	แบบบันทึก ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์	รหัสเอกสาร : FM-505-05 : หน้า : 1-1 ฉบับที่ 01 : แก้ไขครั้งที่ 00
ชื่อเรื่อง : การตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือ		วันที่ออก 1 / ก.ย. / 2559

การตรวจสอบระหว่างการใช้งานเครื่องมือ หน้า.....

ชื่อเครื่องมือ.....เลขที่ครุภัณฑ์.....ผู้รับผิดชอบ.....

ลำดับ	ว/ด/ป	เวลา	สถานการใช้งาน		รายละเอียดตัวอย่าง	ผู้ใช้งาน	หมายเหตุ
			ใช้ได้	ใช้ไม่ได้			

ผู้ตรวจสอบ.....วันที่.....

ภาคผนวก ข

รายละเอียดคุณลักษณะของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

Bomb Calorimeter ยี่ห้อ PARR รุ่น 6200 EF ผลิตภัณฑ์ของประเทศสหรัฐอเมริกา

- เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความร้อนของวัตถุเชื้อเพลิง ทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว รวมทั้งขยะอุตสาหกรรม ที่ได้ตามมาตรฐาน ASTM, ISO, BS และ DIN ดังนี้
  ASTM D 240 – 92, ASTM D 4809 – 95, ASTM D 5468 – 95, ASTM D 5865 – 03A, ASTM E 711 – 87, ISO 1928 – 1995 (E), BS 1016 PART 5, 1997, DIN 51900
- เป็นเครื่องหาค่าความร้อนแบบ True Isoperibol Methods ซึ่งภายในตัวเครื่องประกอบไปด้วยระบบควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ระบบน้ำหมุนเวียน โดยมีเครื่องทำน้ำเย็นและฮีทเตอร์ที่ช่วยทำให้ระดับอุณหภูมิคงที่
- มีความผิดพลาด (Repeatability) ไม่เกิน 0.10 % RSD (อ้างอิงจากการวิเคราะห์ค่ากรดเบนโซอิค)
- มีเทอร์โมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความละเอียดถึง 0.0001 °C และแสดงผลอุณหภูมิได้ทั้ง Jacket และ Bucket
- Oxygen Bomb สามารถหาค่าความร้อนได้สูงถึง 8,000 แคลอรี ต่อ 1 °C และทนความดันได้ถึง 40 atm
- เป็นระบบแสดงผลแบบดิจิตอล รวมทั้งมีระบบตรวจสอบตัวเองได้แบบ Full Diagnostics
- สามารถวิเคราะห์ได้ภายในอุณหภูมิห้อง โดยมีความสามารถในการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ถึง 4 – 9 ตัวอย่างต่อชั่วโมง
- สามารถเลือกหน่วยของผลการทดสอบได้มากมาย เช่น CAL/g. BTU/LB, MJ/Kg.
- ใช้เวลาในกาทดสอบ Pre-Test ประมาณ 6 นาที
- มีระบบเติมก๊าซออกซิเจนแบบกึ่งอัตโนมัติ Semi – Automatic ภายในเครื่องโดยควบคุมการทำงานจากจอแสดงผล
- เป็นระบบควบคุมด้วยไมโครโปสเซลเซอร์ที่มี MENU สำหรับให้เลือกการทำงาน และสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขการตั้งค่าต่าง ๆ ได้ ผ่านทางหน้าจอแสดงผลที่เป็นแบบ Touch Screen Display
- มีหน่วยความจำ ที่สามารถบันทึกผลการทดลองได้ถึง 1,000 ครั้ง
- ตัวเครื่องสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งระบบ Equilibrium และ Dynamic Mode
- สามารถใส่น้ำหนักของสารตัวอย่างได้โดยตรงผ่านทางหน้าจอแสดงผลแบบ Touch Screen หรือทางเครื่องชั่งแบบดิจิตอล โดยการเชื่อมต่อผ่านสายพอร์ท RS – 232C
- มีระบบเติมน้ำลงใน Bucket โดยไม่ต้องชั่งหรือทำการตวงโดยภาชนะอื่น ๆ

ภาคผนวก ค

อุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์

1) เครื่องบอมบ์ (Bomb Calorimeter)

2) 2.1 เครื่องทำความเย็น (Water Handling)

2.2 โถแก้วขนาด 2,000 มิลลิลิตร

(Glass jar 2,000 ml)

2.3 ถังน้ำ (Bucket)

3) เครื่องพิมพ์ผล (Printer)

4) เครื่องสำรองไฟฟ้า (Stabilizer)

5) ถังออกซิเจน(Oxygen Tank)

6) ขาตั้งสำหรับวางหัวบอมบ์ (Stand and Head Bomb)

7) ลูกบอมบ์ (Bomb)

ภาคผนวก ง
เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการเตรียมตัวอย่าง

1) เครื่องอัดเม็ดตัวอย่าง (Pellet Press)

2) เครื่องปั่นตัวอย่าง (Blender)

3) เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง (Balance 5 digits)

(4) ภาชนะใส่ตัวอย่าง (Combustion Capsule)

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหิดล
999 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ตำบลศาลายา
อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
โทรศัพท์ 0 2441 5000 โทรสาร 02 441 9509 – 10
www.en.mahidol.ac.th