1. บทนำ ไม้เป็นแหล่งพลังงานที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวันของคนไทยมาตั้งแต่อดีตกาล ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการพัฒนาแหล่งกำเนิดพลังงานด้านต่าง ๆ ตลอดจนการนำเอาเชื้อเพลิงอื่น ๆ มาทดแทนไม้ฟืน เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม พลังงานน้ำและความร้อนจากใต้พิภพ แต่พลังงานจากไม้ก็มิได้มีความสำคัญด้อยลงไปเลย โดยเฉพาะในประเทศที่กำลังพัฒนาและประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมมาก เนื่องจากเชื้อเพลิงจากไม้และวัตถุการเกษตร เช่น แกลบ ซังข้าวโพด กะลามะพร้าว ชานอ้อย กาบปาล์ม ทางตาล และทางมะพร้าว ฯลฯ เป็นเชื้อเพลิงที่หาได้ง่าย ราคาถูกและเป็นพลังงานที่สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้ เรียกว่าเป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy)

การนำไม้ ถ่าน และวัสดุชีวมวลมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้มีประสิทธิภาพ ต้องคำนึงถึงชนิดและค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิง การหาค่าความร้อนของไม้ ถ่าน และเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นการวัดค่าพลังงานอย่างหนึ่ง โดยทั่วไปเป้าหมายของการวัดค่าพลังงาน มีอยู่ 4 ประการ คือ

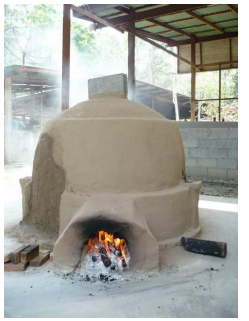
1. เพื่อต้องการทราบว่าพลังงานที่ใช้มีเท่าไหร่ ได้แก่ พลังงานจากไม้ ถ่าน และชีวมวล พลังงานไฟฟ้า และน้ำมัน
2. เพื่อหาปริมาณพลังงานสูญเสียที่เกิดขึ้น การสูญเสียพลังงานแบ่งออกเป็นด้านเชื้อเพลิง ความร้อน และไฟฟ้า
3. เพื่อหาวิธีการหรือดำเนินการลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นกลับคืนมา โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานหรือก่อให้เกิดพลังงาน
4. เพื่อให้รู้จักอุปกรณ์ต่าง ๆที่ใช้ในการตรวจวัดพลังงาน

เป้าหมายของการวัดค่าพลังงานในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะพลังงานจากไม้ ถ่าน และเชื้อเพลิงชีวมวล เป็นการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้รับจากเชื้อเพลิงต่างชนิดกัน เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงแต่ละชนิดว่าเหมาะสมกับการใช้งานประเภทใดและใช้กับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่แตกต่างกันอย่างไร เพื่อจะได้ลดการสูญเสียพลังงานให้มากที่สุด โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานดังกล่าว คือ เครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์

เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

เตาหุงต้มประสิทธิภาพสูง

การอัดเชื้อเพลิงอัดแท่ง



การเผาถ่าน

2. การแปรรูปพลังงานจากไม้และชีวมวล (Energy conversion process from wood and biomass)

2.1 ทฤษฎีการแปรรูป

การแปรรูปไม้และชีวมวลให้เป็นพลังงานมีหลายวิธี การจะเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับสภาวะของวัตถุดิบและวัตถุประสงค์การใช้งาน ตามหลักทฤษฎี คือ การแปรรูปเซลลูโลสให้เป็นพลังงานโดยวิธีเคมีผสมความร้อน ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 วิธี ดังนี้

2.1.1 การแตกตัว (Dissociation) คือ การแตกตัวของเซลลูโลสออกเป็นธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยเซลลูโลส 1 กรัม แตกตัวเป็นธาตุทั้งสามชนิดต้องใช้พลังงาน 5.94 kj

2.1.2 การกลายเป็นถ่าน (Charring or carbonization) คือ การทำให้เซลลูโลสกลายเป็นถ่านร้อยละ 44 ที่เหลือเป็นน้ำ เซลลูโลส 1 กรัม กลายเป็นถ่านจะให้ความร้อนออกมา 2.86 kj

2.1.3 ไพโรไลซิส (Pyrolysis) เป็นการกลั่นเอาน้ำมันไพโรไลซิสจากการเกิดปฏิกิริยาของเซลลูโลส 1 กรัม ให้น้ำมันไพโรไลซิส 47% และค่าความร้อน 2.07 kj

2.1.4 แก๊สซิฟิเคชั่น (Gasification) การสังเคราะห์แก๊สจากเซลลูโลสจากปฏิกิริยาแก๊สซิฟิเคชั่นเพื่อให้ได้แก๊สติดไฟคือคาร์บอนมอนนอกไซด์และไฮโดรเจน ต้องใช้ออกซิเจนและความร้อนเข้าไปช่วย เพื่อทำให้สมการของปฏิกิริยาสมดุล จะได้ความร้อนออกมา 17.5 kj ต่อเซลลูโลส 1 กรัม

2.1.5 ไฮโดรจิเนชั่น (Hydrogenation) ในการสังเคราะห์ไฮโดรคาร์บอน($-CH_2-$)จากเซลลูโลส 1 กรัม จะได้ความร้อนจากปฏิกิริยา 4.86 kj

2.1.6 การสันดาป (Combustion) การสันดาปเซลลูโลส 1 กรัมในบรรยากาศของออกซิเจนจะให้ความร้อนออกมาถึง 17.5 kj แต่จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งไม่สามารถนำไปทำเชื้อเพลิงได้อีกเหมือนวิธีอื่น ๆที่กล่าวมา

2.1.7 การสังเคราะห์โอเลฟิน (Olefins) เป็นการทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสแบบทันใด (Fast Pyrolysis) เซลลูโลส 1 กรัม ทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสทันใดที่อุณหภูมิสูง ๆอย่างรวดเร็ว ต้องใช้พลังงานความร้อน 0.24 kj และจะได้ผลิตภัณฑ์เอทิลีน 34.6%

โดยสรุปทั้ง 7 วิธี สามารถจำแนกเป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

1. ปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนออกมา (Exothermic) ได้แก่ การกลายเป็นถ่าน ไพโรไลซิส ไฮโดรจิเนชั่นและการสันดาป
2. ปฏิกิริยาที่ต้องการความร้อน (Endothermic) ได้แก่ การแตกตัวเป็นธาตุ การสังเคราะห์แก๊สและการสังเคราะห์โอเลฟิน
3. ปฏิกิริยาที่ต้องการออกซิเจน เช่น การสันดาป และการสังเคราะห์แก๊ส
4. ปฏิกิริยาที่ต้องการไฮโดรเจน คือ ไฮโดรจิเนชั่น

2.2 วิธีการแปรรูปไม้และชีวมวลให้เป็นพลังงาน

ผลผลิตที่ได้จากการแปรรูปเซลลูโลสให้เป็นพลังงานมีอยู่ 3 สถานะ คือ ของแข็ง ได้แก่ ถ่าน ของเหลว ได้แก่ โอเลฟิน และแก๊ส เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์ การแบ่งกรรมวิธีการแปรรูป ปรีชา (2529) ได้สรุปไว้ 3 วิธีคือ

1. การแปรรูปโดยวิธีกลผสมความร้อน โดยใช้พลังงานไฟฟ้าเข้าช่วยเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของเชื้อเพลิง เช่น การทำถ่านอัดแท่ง (Charcoal briquette) การทำขี้เลื่อยอัด (Saw dust briquette) การทำแท่งชีวมวลหรือพีช (Peat)

2. การแปรรูปโดยวิธีเคมีผสมความร้อน ใช้การเกิดปฏิกิริยาไพโรไลซิส ผลิตภัณฑ์ที่ได้ถ้าเป็นของแข็งจะเป็นถ่าน(carbonization) นิยมทำที่อุณหภูมิ 400-600 องศาเซลเซียส การทำให้เป็นของเหลว(Liquidification) จะได้น้ำมันไพโรไลติก หรือโอเลฟิน อุณหภูมิที่ใช้อาจต่ำหรือสูงกว่าการทำให้เป็นถ่านก็ได้ และการทำให้เป็นแก๊ส (Gasification) จะต้องทำที่อุณหภูมิสูงระหว่าง 800-1100 องศาเซลเซียส

3. การใช้จุลชีวแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิง วิธีนี้เหมาะกับการแปรรูปขยะเศษปฏิกูล และชีวมวลอื่น ๆนอกจากไม้ ของเหลวที่ได้จากการแปรรูป คือ แอลกอฮอล์ ส่วนแก๊สจะได้มีเทน 65% ที่เหลือเป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน

3. การวิเคราะห์คุณภาพของถ่านไม้และเชื้อเพลิงอัดแท่ง

เนื้อไม้ใบกว้างประกอบด้วยธาตุ 3 ชนิดเป็นองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอน 50-55% ออกซิเจน 40-45% และไฮโดรเจน 6-7% ส่วนที่เหลืออีกไม่ถึง 2% จะเป็นธาตุไนโตเจนและสารอนินทรีย์ ถ้านำไม้ไปประเมินค่าทางเคมี (Proximate analysis) จะพบว่าเนื้อไม้ประกอบด้วยคาร์บอนเสถียร (Fixed carbon) 20-24% สารระเหย (Volatile matter) 75-80% และขี้เถ้าประมาณ 2% และถ้านำไม้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีจะพบว่าเนื้อไม้ประกอบด้วยเซลลูโลส 33-49% เฮมิเซลลูโลส 23-38% ลิกนิน 19-31% และสารแทรก 1-10% ซึ่งปริมาณความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้จะเป็นผลทำให้ค่าความร้อนของสันดาปของไม้มีค่าแตกต่างกันไป สำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุการเกษตรหรือเชื้อเพลิงเขียวขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงและขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการอัดแท่ง ในการเปรียบเทียบค่าความร้อนของเชื้อเพลิงจะต้องเปรียบเทียบในกลุ่มประเภทเดียวกัน คือ กลุ่มของไม้ กลุ่มถ่าน และกลุ่มเชื้อเพลิงชีวมวล เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีและกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงแตกต่างกัน กลุ่มของถ่านจะมีค่าความร้อนของสันดาปสูงเนื่องจากผ่านกระบวนการเผาทำให้ถ่านมีค่าคาร์บอนเสถียรสูง

การนำไม้หรือเชื้อเพลิงอัดแท่งจากเศษวัสดุการเกษตรมาเผาเป็นถ่านเป็นการให้ความร้อนแก่เชื้อเพลิงโดยจำกัดอากาศที่อุณหภูมิสูงกว่า 300 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อเพลิงเปลี่ยนสภาพไปเป็นสารชนิดอื่นทำให้ปริมาณธาตุคาร์บอนสูงขึ้น ธาตุออกซิเจนลดลง และธาตุไฮโดรเจนเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย อุณหภูมิที่ใช้เผาและการจำกัดอากาศในเวลาที่เหมาะสมมีส่วนทำให้การเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงสภาพสารแตกต่างกัน ทำให้ค่าความร้อนที่ได้แตกต่างกันแม้ว่าชนิดเชื้อเพลิงที่ใช้เผาถ่านจะเป็นชนิดเดียวกัน

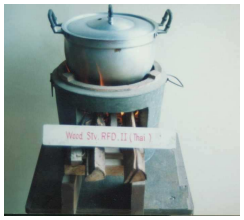
เมื่อไม้หรือเชื้อเพลิงอัดแท่งแปรสภาพเป็นถ่านจะมีการสูญเสียมวลไปตามระดับของอุณหภูมิในการเผาถ่าน ในช่วงอุณหภูมิ 200-400 องศาเซลเซียส จะสูญเสียมวลไปประมาณ 50% โดยจะสูญเสียมากในช่วง 300-350 องศาเซลเซียส และจะทำให้ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยความหนาแน่นของถ่านจะลดลงในขณะที่อุณหภูมิในการเผาถ่านเพิ่มขึ้น ถ่านที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะมีความหนาแน่น 0.311 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส มีความหนาแน่น 0.252 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และที่อุณหภูมิ 350-600 องศาเซลเซียส จะได้ถ่านที่มีความหนาแน่น 0.19 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนี้ไม้ยังมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเมื่อทำปฏิกิริยาไพโรไลซิสจนกลายเป็นถ่าน โดยจะหดตัวทางด้านรัศมีและด้านสัมผัสมากกว่าไม้ธรรมดาประมาณ 2 เท่าและหดตัวทางด้านความยาวมากที่สุด การเปลี่ยนแปลงขนาดของไม้จะเกิดขึ้นหลังการสูญเสียมวล

4. การวิเคราะห์ค่าความร้อน

ค่าความร้อนของสันดาป (Heat Content or Combustion Value) ของชีวมวลหรือสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบเบื้องต้น ธาตุที่ให้ความร้อนในเนื้อไม้และชีวมวล ได้แก่ คาร์บอนและไฮโดรเจน เมื่อธาตุทั้งสองเกิดการสันดาปอย่างสมบูรณ์จะให้ค่าความร้อน 7,900 แคลอรี/กรัม และ 34,000 แคลอรี/กรัม ตามลำดับ ส่วนคาร์บอนที่เกิดการสันดาปไม่สมบูรณ์จะให้ค่าความร้อนเพียง 2,100 แคลอรี/กรัม และเนื่องจากไม้ประกอบด้วยคาร์บอน 50-55% ไฮโดรเจน 6-7% และออกซิเจน 40-45% จึงทำให้ค่าความร้อนของไม้ชนิดต่าง ๆแตกต่างกันไม่มากนัก ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความร้อนได้แก่

1. ปริมาณความชื้นในเนื้อไม้ ไม้ที่มีปริมาณความชื้นสูง ค่าคาร์บอนของสันดาปก็จะต่ำ
2. ความหนาแน่นของไม้ ไม้ที่มีความหนาแน่นมากจะให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงกว่าไม้ที่มีความหนาแน่นต่ำ
3. ขนาดและรูปร่างของไม้ ไม้ที่มีชิ้นเล็กและมีรูปร่างสม่ำเสมอจะเผาไหม้ได้ดีกว่าไม้ชิ้นขนาดใหญ่ เพราะพื้นที่ผิวสัมผัสอากาศในขณะลุกไหม้มีมากกว่า
4. ค่าความร้อนของถ่านขึ้นกับวิธีการเผาและชนิดของเตาเผาถ่าน

ถ่านที่มีค่าความร้อนของการสันดาปสูงถือว่าเป็นถ่านที่มีคุณภาพดี แต่สำหรับการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้มอาหารในครัวเรือน ไม่จำเป็นต้องใช้ถ่านที่มีค่าความร้อนของสันดาปสูงสุดตัวอย่างเช่นถ่านไม้โกงกางที่นิยมใช้ในการหุงต้มอาหารมีค่าความร้อนของสันดาปเพียง 6,000-6,500 แคลอรี/กรัม ในขณะที่ถ่านไม้ยางพาราและไม้ยูคาลิปตัสมีค่าความร้อนของสันดาปสูงถึง 7,200-7,500 แคลอรี/กรัม แต่ไม่เป็นที่นิยมแม้ว่าราคาจะถูกกว่าถ่านไม้โกงกางมาก การเผาถ่านให้มีค่าความร้อนของสันดาปสูงจึงไม่จำเป็นในกรณีที่ต้องการใช้ถ่านเพื่อการหุงต้ม เพราะการเผาถ่านให้ได้ค่าความร้อนสูง ๆจะทำให้ได้ผลผลิตถ่านต่ำ



มลภาวะจากการสันดาปของไม้ ถ่าน และชีวมวล ได้แก่ เศษผง แก๊สคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรเจนและแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ มลภาวะทางอากาศจากสองประการแรกเกิดจากการสันดาปไม่สมบูรณ์ ส่วนประการหลังเกิดจากอุณหภูมิของเปลวไฟที่สูงเกินไป การแก้ไขมลภาวะเหล่านี้ทำได้โดยการปรับปรุงระบบการสันดาป อัตราการใส่เชื้อเพลิง กระแสอากาศและการกระจายของอากาศในช่องเผาไหม้

5. วิธีการหาค่าความร้อนของสันดาป

ความร้อนของสันดาป เป็นความร้อนของปฏิกิริยาอย่างหนึ่งที่มีค่าจากปฏิกิริยาสันดาปโดยเฉพาะ หน่วยของความร้อนของปฏิกิริยาสำหรับสารบริสุทธิ์ที่ทราบสูตรแน่นอนนิยมกำหนดเป็นแคลอรีต่อโมล ส่วนสารอินทรีย์ที่ไม่บริสุทธิ์นิยมกำหนดเป็นแคลอรีต่อกรัมหรืออจูลต่อกรัม การหาค่าความร้อนของสันดาปสามารถทำได้โดยใช้เครื่องคาลอริมิเตอร์ (Calorimeter) สารประกอบใดที่มีปริมาณคาร์บอนและไฮโดรเจนสูงจะให้ค่าความร้อนของสันดาปต่อหน่วยน้ำหนักสูง และสารประกอบที่มีปริมาณออกซิเจนสูงก็จะมีค่าความร้อนของสันดาปลดลง

วิธีการวัดค่าความร้อนของสันดาปของสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งโดยเฉพาะถ่านไม้และเชื้อเพลิงชีวมวลทำได้โดยใช้เครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ ซึ่งมีผนังที่ไม่ยอมให้มวลหรือความร้อนเข้าสู่หรือออกจากระบบได้ (Adiabatic-Jacket) สารที่จะนำมาหาค่าความร้อนของ

สันดาปจะถูกจุดระเบิดในบรรยากาศของออกซิเจนที่มีความดันประมาณ 25-30 บรรยากาศ เครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์มีหลายรูปแบบ วิธีการใช้งานก็แตกต่างกัน แต่ใช้หลักการเดียวกัน

ค่าความร้อนต่ำ หรือ Lower Heating Value (LHV) หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนต่ำ (LHV) ต่อกิโลกรัม

ค่าความร้อนสูง หรือ Higher Heating Value (HHV)หมายถึงการนำชีวมวลหนัก 1 กิโลกรัม มาลดความชื้นหรือกำจัดน้ำออกให้หมด จากนั้นนำมาหาค่าความร้อน ค่าที่วัดได้คือ ค่าความร้อนสูง (HHV) ต่อกิโลกรัม และมีความสัมพันธ์กับค่าความร้อนต่ำดังนี้

HHV = LHV + 5.72(9H + M) kcal/kg หรือ HHV = LHV + 23.95(9H + M) kJ/kg

เมื่อ H เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของธาตุไฮโดรเจนในชีวมวล และ

เมื่อ M เท่ากับปริมาณเปอร์เซ็นต์ของความชื้นในชีวมวล

เนื่องจากงานพัฒนาพลังงานจากไม้ มีเครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์ 2 รูปแบบ ในที่นี้จึงขอกล่าวถึงวิธีการใช้งานของเครื่องบอมบ์ทั้งสองชนิด เพื่อความสะดวกแก่นักวิจัยของกรมป่าไม้ที่จะมาวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่องมือดังกล่าว

5.1 การหาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์รุ่น Parr 1241

<u>หลักการ</u> การหาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter 1241 โดยควบคุมด้วยเครื่อง Calorimeter Controller 1720 นี้ มีหลักการอยู่ 2 ประการ คือ

1. การควบคุมอุณหภูมิภายในระบบไม่ให้รั่วไหล อุณหภูมิภายใน bucket จะเข้าคู่กันใน jacket ของเครื่อง Bomb ตลอดเวลาโดยการอาศัยการไหลเวียนของน้ำร้อนน้ำเย็นเข้าออกใน jacket ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะได้จากผลต่างของอุณหภูมิสุดท้ายที่ผ่านการสันดาปกับอุณหภูมิเริ่มทำการ วิธีนี้มีชื่อเรียกว่า “ Adiabatic Operation ”

2. การควบคุมอุณหภูมิใน jacket ให้คงที่ ผลต่างของอุณหภูมิภายใน bucket และ jacket จะนำมาคำนวณหาความร้อนที่รั่วไหล วิธีนี้มีชื่อว่า “ Isoperibol Operation ” เครื่อง 1720 Controller มีโปรแกรมที่จะแก้ไขและคำนวณค่าความร้อนที่รั่วไหล นำมาหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในแต่ละการทดลองได้

<u>วิธีการใช้เครื่อง 1241 Oxygen Bomb Calorimeter ควบคู่ไปกับเครื่อง 1720 Calorimeter Controller</u>

1241 Oxygen Bomb Calorimeter

Calorimeter Controller

ขั้นตอนแรก

1. ชั่ง capsule , sample ที่จะหาค่าความร้อนขนาดไม่ควรเกิน 1 กรัม (sample นี้ถ้าเป็นของแข็งจะต้องนำมาบดแล้วอัดเป็นเม็ดด้วยเครื่อง pellet press) และชั่ง fuse wire ความยาว 10 ซม. ให้ความละเอียดถึง 0.1 mg. (.001 g.)

2. วาง capsule ซึ่งมีเม็ด sample ลงใน bomb head ซึ่งวางอยู่บน bomb head support stand เชื่อม fuse wire เข้ากับ electrode ทั้งสอง โดยให้ fuse wire แตะอยู่บนเม็ด sample เท่านั้น อย่าให้โดน capsule เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจร

3. เมื่อจัดลวดเสร็จแล้ว ยกส่วนนี้ไปใส่ใน parr bomb calorimeter อย่างระมัดระวังปิดฝา bomb ให้แน่นอย่าให้รั่วไหลได้ และต้องไม่ให้กระทบกระเทือนเพราะจะทำให้เม็ด sample เลื่อนไปไม่แตะกับขดลวด หรือขดลวดอาจไปแตะกับ capsule

4. นำ parr bomb ไปอัดก๊าซออกซิเจน (ดูขั้นตอนที่สอง)

ขั้นตอนที่สองการบรรจุก๊าซ

1. นำ parr bomb วางลงบนเหล็กติดอยู่กับโต๊ะเพื่อป้องกันการเลื่อนและอุบัติเหตุอันอาจจะเกิดขึ้นขณะบรรจุก๊าซ หมุนเกลียวน๊อตที่ติดอยู่กับวงเหล็กเพื่อรัด bomb ให้แน่น นำปลายสายก๊าซ (oxygen filling connection) ต่อเข้ากับทางเข้าของก๊าซของ bomb หมุนเกลียวปิดให้แน่น

2. ปล่อยก๊าซออกจากตัวถัง (oxygen tank) โดยหมุนก๊อกใหญ่ที่ติดกับตัวถังไปทางทิศทวนเข้มนาฬิกา สังเกตที่หน้าปัดบอกความดันของก๊าซในถัง เปิดก๊อกทิ้งไว้

3. ค่อย ๆ หมุนก๊อกก๊าซเล็กด้านนอกไปทางทิศทวนเข็มเช่นกัน ก๊าซจะออกอย่างช้า ๆ สังเกตความดันบนหน้าปัด ให้มีความดันประมาณ 5 บรรยากาศ ปิดก๊อกก๊าซ

4. ปล่อยก๊าซเพื่อไล่อากาศที่มีอยู่ใน bomb ออก โดยหมุนน๊อตที่สวมอยู่บนหัว bomb ไปทางทวนเข็ม เมื่อจวนหมด (สังเกตจากหน้าปัดและฟังเสียง) รีบปิดทันทีอย่าให้อากาศภายนอกทันเข้าไปใน bomb ได้

5. อัดก๊าซจากถังเข้า bomb ใหม่อย่างช้า ๆ จนได้ความดัน 20 - 30 บรรยากาศ ปิดก๊อกก๊าซเล็ก และก๊อกก๊าซใหญ่ที่ติดตัวถังนั้น (หมุนตามเข็มนาฬิกา)

6. กดก๊อกที่อยู่ด้านล่างของหน้าปัดใหญ่ให้ลงอยู่ในแนวตั้ง เพื่อปล่อยก๊าซที่ค้างอยู่ในสายยางออกให้หมด จะเห็นเข็มบอกความดันลดลงมาอยู่ที่ขีดศูนย์ ยกก๊อกกลับคืนให้อยู่แนวระดับตามเดิม

7. ปลดสายนำก๊าซออกจาก bomb คลายวงเหล็กที่รัดอยู่ออก ยก bomb ออก

ขั้นตอนที่สาม

1. ใส่น้ำกลั่นจำนวน 2000 ml (± 5ml) อุณหภูมิของน้ำใน bucket ควรต่ำว่าใน jacket เล็กน้อย ประมาณ $1^{\circ}C - 2^{\circ}C$ นำ bucket นี้ใส่ลงใน jacket ตามตำแหน่งที่ทำไว้ที่ก้นของ jacket

2. ใช้ bomb holder ยก bomb ใส่ลงใน bucket แล้วปิดฝา jacket ให้สนิท

3. เสียบสายไฟ ซึ่งมีอยู่ 4 วงจร คือ - สาย Heater ใช้ไฟ 220 V.

- สาย Cooling ใช้ไฟ 220 V.
- สายจากเครื่อง bomb 1241 ต่อเข้ากับ Transformer แปลงไฟจาก 220 V. เป็น 110 V.

4. เปิดสวิทซ์ power on จะทำให้ stirrer ทำงาน ปล่อยให้ stirrer หมุนประมาณ 4 – 5 นาที เพื่อให้อุณหภูมิของน้ำใน jacket เท่ากันทุกส่วน

5. เปิด purge switch ไปที่ run เพื่อให้ Controller รับคำสั่ง bomb 1241

6. เปิดเครื่อง Controller 1720 โดยกดสวิทซ์ที่อยู่ด้านหลังของเครื่อง

7. อ่านอุณหภูมิจากเครื่อง Controller บนหน้าปัด ซึ่งจะเป็น อุณหภูมิภายใน bucket และอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งเลนส์ส่อง (Magnifying Eyepiece) อ่านค่าได้ 1 ใน 100 เป็นอุณหภูมิภายใน jacket อุณหภูมิที่อ่านได้สองค่านี้ไม่ควรต่างกันเกินไป (เครื่องนี้ต่างกันประมาณ 0.2 – 0.4 °C คือใน bucket ต่ำกว่าใน jacket)

8. การ ignition และการควบคุมการทำงานของระบบด้วยเครื่อง Controller 1720 ดูขั้นตอนที่สี่

ขั้นตอนที่สี่ การควบคุมเครื่อง 1720 calorimeter controller ในขั้นเริ่มต้น

1. เปิดปุ่ม power switch ที่อยู่ทางด้านหลังเครื่อง ถ้าทุกอย่างถูกต้องจะมีสัญญาณดังขึ้น พร้อมกับไฟกระพริบ(prompt lights) พร้อมกับตัวพิมพ์ว่า "self test"

2. ไฟบนจอจะขึ้นเป็นตัวอักษรว่า date ก็กด เดือน วันที่ พ.ศ. โดยให้ตัวเลข 6 หลักเช่น วันที่ 24 ก.พ. 1982 ก็กดว่า 022482 แล้วจึงกด enter

3. เมื่อไฟขึ้นคำว่า time ก็กดตัวเลข 4 หลัก เช่นเวลา 9:15 am ก็กด 0915 ถ้า 2:15 กด 1415 แล้วกด enter

4. C.C.F ใส่ค่านี้เข้าไปโดยใช้เลข 3 หลัก กับ 1จุด ค่า C.C.F นี้ในขั้นแรกเป็นค่าโดยประมาณของปริมาณกรด, กำมะถันและลวด ที่มีหรือใช้ในแต่ละการทดลอง ซึ่งในขั้นสุดท้านของรายงานจะต้องปรับและคำนวณค่าที่แท้จริงแล้วป้อนเข้าเครื่อง Controller ใหม่ เพื่อใช้ในการคำนวณใน Final Report ตัวอย่างของสาร มาตรฐาน benzoic acid ค่า C.C.F จะเป็น 25.5 Calories ซึ่งมาจาก Acid 15.5 Sulfur 0 Fuse 10.0

5. ค่า CAL ID จะขึ้นเพื่อให้เราใส่ค่า identification number และค่าพลังงานสมมูล (Energy Equivalent) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า E Value หรือ EE ซึ่งจะใช้เลข 6 หลัก เมื่อไฟของค่า ID สว่างขึ้น ก็กดเลข 1241 ซึ่งเป็นเลขของเครื่อง Bomb เข้าไปต่อจากนั้นไฟของค่า EE จะสว่างขึ้น ก็กดค่า 2408 ซึ่งเป็นค่าที่ห้องแล็ป ได้คำนวณออกมา

จากการทดสอบหลาย ๆ ครั้งแล้วถ้าไฟ EE ยังสว่างต่อ ให้กด reset แล้วดำเนินการอื่น ๆ ต่อไป (บางครั้งเครื่อง Controller 1 เครื่องใช้กับเครื่อง bomb หลายเครื่อง เพราะฉะนั้นค่า ID Number ของแต่ละเครื่องจึงต้องมาสัมพันธ์กับค่า E Value หลายค่า ไฟ EE จึงสว่างขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าเราไม่กด reset)

6. โปรแกรมต่าง ๆ ที่ตั้งไว้ในเครื่อง จะเปลี่ยนแปลงได้ในตอนนี้ โดยการใช้ star code เช่น เครื่อง Controller 1720 นี้ตั้งโปรแกรมการทำงานเป็นแบบ Isoperibol operation ถ้าเราต้องการทำแบบ Adiabatic operation กดดาว แล้วกดหมายเลข 18 แล้วกด Enter (prompt light จะเปลี่ยนจาก Isoperibol เป็น Adiabatic Rapid)

ขั้นตอนที่ห้า การควบคุมเครื่อง 1720 calorimeter controller ในขั้นการทดสอบเบื้องต้น

ในขั้นแรก ถ้าค่า C.C.F ไม่พอเหมาะหรือเข้ากับ sample ในการทดลองนั้นไม่ได้ จะต้องแก้ไขโดยการกดเลข 31 แล้วกดดาว เพื่อให้เครื่องสามารถรับคำสั่งที่จะเปลี่ยนแปลงค่า C.C.F ในภายหลังสิ้นสุดการทดลอง **การกด 31* นี่จะต้องทำก่อนการเริ่มทดสอบ**

1. กดปุ่ม start

2. ไฟ CAL ID จะสว่างขึ้น กดค่า 1241

3. เครื่อง controller 1720 จะตรวจสอบว่าค่า CAL ID ที่ใส่เข้าไปเข้าได้กับค่า E Value หรือไม่ ถ้าเข้าไม่ได้ ตัวอักษร no match found จะขึ้น ต้องกด star code 30 แล้วกดค่า E Value ใหม่

4. ไฟ SAM ID สว่างขึ้น กดตัวเลข 1 ⟶ ... เข้าไปตามลำดับของ sample ที่เราทดสอบ

5. ไฟ SAM ID สว่างขึ้น กดตัวเลขซึ่งเป็นน้ำหนักของ sample ที่ชั่งมาแล้วใช้ตัวเลขไม่เกิน 6 หลัก (นับจุดด้วย) เช่น .89376 ห้ามใช้ 1.05324 หรือ .99876 g เพราะความละเอียดเที่ยงตรงของเครื่องจะไม่เกินกว่า .01 mg. ซึ่งโดยปกติจะใช้ เพียง 5 หลักรวมจุด

6. เมื่อใส่ข้อมูลจาก 1 – 5 แล้ว ก็รอสักพักหนึ่งเพื่อให้เครื่อง controller และเครื่อง bomb ทำงานประสานกัน ในระหว่างนี้อุณหภูมิจาก bucket จะขึ้นที่จอของเครื่อง controller และ prompt light ก็จะสว่างเป็นไฟ 'pre' เมื่อใดก็ตาม (~5 นาที) ที่ อุณหภูมิของระบบสมดุลหรือ equilibrium เครื่อง controller ก็จะจุดระเบิดหรือขึ้นอักษรว่า 'fire' อุณหภูมิที่เครื่อง bomb จะขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงจุดคงที่ เครื่อง controller ก็จะพิมพ์ preliminary report ออกมาเป็นค่าเริ่มต้นก่อน ignition ของ อุณหภูมิ ค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและค่า gross heat ซึ่งมีหน่วยเป็น btu / lb ตามโปรแกรมของเครื่องที่ตั้งไว้ ซึ่งถ้าต้องการจะเปลี่ยนหน่วยจาก btu / lb เป็น cal / g จะต้องกด star code 23 ในข้อมูลสุดท้ายของขั้นเริ่มต้นตอนที่สี่ ต่อจากการแก้ระบบ isoperibol เป็น adiabatic

7. เมื่อทุกอย่างสมบูรณ์และเครื่อง controller พิมพ์ค่า gross heat ออกมาแล้วเปิดฝาครอบเครื่อง bomb ออก นำลวดที่เหลือจากการสันดาปมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณลวดที่

ใช้ไปจริง โดยการหมุนเกลียวของ parr bomb ให้ก๊าซที่เหลือออกไปก่อนจึงเปิด head bomb ในกรณีที่ sample มีส่วนผสมของกำมะถัน จะต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณตามวิธี ASTM D 129 (รายละเอียดอยู่ใน manual 1241 หน้า 19, 20) แต่ก่อนอื่นให้ใช้น้ำกลั่นล้างภายในทุก ๆ ส่วนของ bomb เพื่อนำไปไตรเตรทให้เป็นกลางด้วย Na_2CO_3 โดยใช้ Methyl Orange หรือ Methyl Red เป็น indicator ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน Na_2CO_3 ที่ใช้ไตเตรทกับน้ำล้างบอมบ์แล้วได้เป็นกลางคือค่า c_1 จากนั้นจึงนำ parr bomb ไปใส่สารและบรรจุก๊าซ เพื่อทำการทดลองครั้งต่อไป

<u>ขั้นตอนที่หก</u> การควบคุมเครื่อง 1720 calorimeter controller <u>ในขั้นตอนทดสอบสุดท้าย</u>

1. เมื่อการสันดาปเกิดขึ้นแล้วเครื่อง controller พิมพ์ค่า gross heat ออกมา ก็จะสามารถเปิดเครื่อง bomb 1241 เพื่อนำ parr bomb ออกมาทำการวิเคราะห์หาค่า C.C.F ต่อไป ในระหว่างนั้นถ้ามีชุด parr bomb อีกชุดหนึ่ง ก็สามารถ operate ต่อไปได้เลย สำหรับการทดสอบแบบ Isoperibol แต่ถ้าเป็น Adiabatic ต้องรอสักครู่เพื่อให้อุณหภูมิภายใน jacket กลับมาอยู่ในอุณหภูมิเริ่มต้น (starting temperature) และถ้าไม่มีชุด bomb อีกชุดหนึ่งก็ต้องรอจนกว่าจะทำการล้างภายใน parr bomb เพื่อจะวิเคราะห์หาปริมาณ C.C.F ให้ได้เสียก่อนเพื่อนำค่า C.C.F มาป้อนเข้าเครื่อง controller และจะได้ค่า Gross heat of combustion ที่เป็น Final report

2. เพื่อไม่ให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก ในระหว่างที่เครื่อง bomb 1241 ไม่ได้ใช้งานอยู่ (ในช่วงที่เราล้าง parr bomb หรือวิเคราะห์ C.C.F) ก็ควรจะกดปุ่ม stand by ที่อยู่ในเครื่อง controller เพื่อให้การทำงานในระบบลดลง และเมื่อจะเริ่มทำการทดสอบจึงกดปุ่ม stand by อีกครั้งหนึ่ง

3. หลังจากที่ทำการล้างภายใน parr bomb เรียบร้อยแล้ว น้ำที่ได้จากการล้างซึ่งจะนำไปวิเคราะห์หาค่าC.C.F อาจเก็บไว้ก่อนโดยติดหมายเลข sample number ไว้ที่ข้าง ๆ ภาชนะแล้วทำการทดสอบ sample ต่อไปได้เลย เมื่อต้องการจะหา Final report ของ sample ใดก็กดปุ่ม sample id แล้วใส่เลข sample number เข้าไป ใส่ค่า C.C.F ของ sample นั้น ก็จะได้ค่า final report ออกมาการกระทำดังนั้นเป็น การย่นเวลาในการทดสอบลงได้บ้างแต่ต้องจำไว้ว่าเครื่อง controller สามารถเก็บข้อมูลได้เพียง 50 ครั้ง (test) ถ้าจำนวน sample number เกิน 50 โดยที่ยังไม่มีการเรียก Final report ข้อมูลในตอนต้น ๆ ก็จะถูกลบไปเครื่องจะพิมพ์คำว่า free run area เว้นเสียแต่จะกดปุ่มรหัส *60 เครื่อง controller ก็จะรักษาค่าของ sample number ในตอนต้นไว้เว้นเสียแต่ว่าค่า protected preliminary นี้จะมากเกินไป เครื่องจะพิมพ์ no free run area จนกว่าจะมีการเรียก final report ของบาง test ออกมา เพื่อให้เกิดที่ว่าง จึงจะใส่ข้อมูลใหม่ได้ นอกจากนี้ปุ่ม *60 ยังใช้ได้ดี ในกรณีที่เราต้องการคำนวณ Final report เอง โดยไม่ใช้เครื่อง controller ค่าที่ได้ออกมาก็จะเป็น Preliminary report เรื่อย ๆ (ประมาณไม่เกิน 100 test)

<u>การวิเคราะห์หาปริมาณ C.C.F</u> (Composite Correction Factor)

คือค่า c_1 , c_2 และ c_3 ที่จะนำไปคำนวณค่า e_1 , e_2 และ e_3 ในสูตรการหา Hg

เมื่อ $$Hg = \frac{tw - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

โดย c_1 = จำนวนมิลลิเมตรของสารระลายด่างมาตรฐาน ที่ใช้ในการไตเตรทกรด (ในที่นี้ใช้ Na_2CO_3)

c_2 = เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ในสารทดสอบ (sample)

c_3 = ความยาวลวดที่ใช้ในการสันดาป วัดเป็น cm.

e_1 = heat of formation ของกรดไนตริก (HNO_3) เป็น calories = c_1 ถ้าด่างที่ใช้มีความเข้มข้น .0725 N

e_2 = heat of formation ของกรดซัลฟุริค (H_2SO_4) เป็น calories = (13.17) (c_2)(m) สำหรับถ่านและเชื้อเพลิงแข็ง = (14) (c_2)(m) สำหรับเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนเหลว

e_3 = heat of combustion ของลวด = (2.3)(c_3) ถ้าลวดที่ใช้เป็นนิเกิล – โครเมี่ยม

m = น้ำหนักของสารทดสอบ

w = น้ำสมมูลของแคลอริเมอร์ ในที่นี้ = 2408 cal / °c

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเป็น °C

Hg = Gross heat of combustion = Cal / gm หรือ btu / lb

ขั้นตอนการหาค่า C.C.F

1. ล้างภายใน parr bomb , แคปซูล และส่วนที่เป็นอิเลคโตรด ให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นซึ่งฉีดจากกระบอกฉีดน้ำ แล้วเก็บน้ำล้างนี้ไว้ในบีกเกอร์

2. นำชิ้นส่วนของลวดที่สันดาปไม่หมดออกมาเหยียดให้เป็นเส้นตรงทำการวัดความยาวค่าที่ได้นี้ นำไปหักออกจากความยาวลวดที่ใช้ครั้งแรก จะได้ค่า c_3 *

3. ทำการไตเตรทน้ำล้าง bomb ในข้อ 1 ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.0725 N (เตรียมได้จากการชั่งสาร Na_2CO_3 3.84 gm ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร) ใช้เมทธิลออเรนจ์ (methyl orange) หรือ เมทธิลเรด (methyl red) เป็นอินดิเคเตอร์ (NaOH หรือ KOH ที่มี normality เท่ากันก็ใช้แทน Na_2CO_3 ได้) จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายมาตรฐาน Na_2CO_3ที่ใช้ติเตรทกับน้ำล้าง bomb แล้วทำให้เป็นกลางได้พอดีคือ ค่า c_1 * และเท่ากับค่า e_1 * ด้วยถ้าสารละลายมาตรฐานนั้นมีความเข้มข้น .0725 N

4. หลังจากทำให้น้ำล้าง bomb เป็นกลางแล้ว หยด 1 มล.ของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ลงไป (NH_3OH) นำไปต้มให้เดือดแล้วกรองผ่านกระดาษกรอง (rapid qualitat paper) ล้างส่วนที่เหลือและกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นร้อน ๆ แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปอีกให้ได้ปริมาตรประมาณ 250 มล. เติม HCl เข้มข้นลงไปจนเป็นกลาง แล้วหยดให้เกินไปอีก 2 มล. เติม 10 มล. ของน้ำโบรมีนที่อิ่มตัว (saturated bromine water) แล้วนำไปทำให้ระเหยบน hot plate หรือวัตถุให้ความร้อนอะไรก็ได้ จนปริมาตรเหลือ 200 มล.จากนั้นก็หรี่ความร้อนให้เดือดเพียงเบา ๆ (พร้อมทั้งเขย่าหรือกวนอย่างสม่ำเสมอ) ในระหว่างนั้นก็เติม 10 มล. ของ 10% แบเรียมคลอไรด์ซึ่งต้องเตรียมจาก pipette เขย่าต่อไปอีก 2 นาที ใช้กระจกนาฬิกา เปิดด้านบนและอุ่นร้อนอยู่เสมอ (แต่ไม่ต้องเดือด) บน steam bath หรือ hot plate จนปริมาตรเหลือ 75 มล. จากนั้นก็ปล่อยให้เย็นและตกตะกอนประมาณ 1 นาทีแล้วกรองผ่านกระดาษกรองอย่างละเอียด (ashless filter paper) และล้างด้วยน้ำอุ่นจนหมดคลอไรด์ (until free from chloride) นำกระดาษกรองและตะกอนไปใส่ในครูซิเบิล (crucible) ที่ชั่งแล้วทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำ ๆ จนกระดาษถูกเผาไปโดยไม่ให้เกิดเปลวไฟ จากนั้นก็เพิ่มอุณหภูมิจนสูงประมาณ 925°C เผาจนน้ำหนักคงที่ (ถ้าใช้ electric muffle furnace เผา crucible ขั้นตอนการทำให้แห้ง การเผาและการสันดาป จะเกิดขึ้นตามโปรแกรมตั้งไว้ในเครื่อง) หลังจากที่การสันดาปเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว ปล่อยให้ crucible เย็นที่อุณหภูมิห้อง ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณน้ำหนักที่แท้จริงของตะกอน แบเรียมซัลเฟต และเปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ใน sample ตามสูตร

$$\% \text{ ซัลเฟอร์} = \frac{\text{นน.ของแบเรียมซัลเฟต}}{\text{นน. sample}} \times 13.734$$

เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์นี้ คือค่า c_2 นั่นเอง *

การคำนวณหาค่าความร้อน

1. ทดสอบโดยวิธี Isoperibol

1.1 ใช้สูตรหาค่า t ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างถูกต้อง โดยแทนค่าลงในสูตร

$$t = t_c - t_a - r_1 (b - a) - r_2 (c - b) \quad \text{----------(1)}$$

โดย a = เวลาที่ใช้ในการ ignite (นาที)

b = ช่วงเวลาที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 60% จากอุณหภูมิเริ่มต้น

c = เวลาเริ่มต้นของช่วงเวลาที่อุณหภูมิกลับมาคงที่อีกภายหลังการสันดาป (นาที)

t_a = อุณหภูมิขณะเริ่ม ignite

t_c = Correction Temperature ที่ c

r_1 = อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิในช่วง 5 นาที ก่อนการ ignite

r_2 = อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่าง 5 นาที หลังจากเวลา c

ถ้าอุณหภูมิลดลง r_2 เป็นลบ ค่า $[- r_2 (c - b)]$ จะเป็นบวก

2. ทดสอบโดยวิธี Adiabatic

2.1 ใช้สูตรหาค่า t ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยค่าในสูตร

$$t = t_f - t_a \quad \text{----------(2)}$$

โดย t_f = อุณหภูมิสุดท้ายที่คงที่หลังจากการ ignite

t_a = อุณหภูมิที่เริ่มทำการ ignite

อย่างไรก็ตาม ทั้งสองวิธีนี้อาจหาค่า t ซึ่งเป็น Temperature Risingได้โดยการผ่านเครื่อง Controller 1720 ค่า t จะถูกพิมพ์ออกมาในกระดาษ ภายหลังจากการ

สันดาปแล้ว ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ในตอนแรกว่าเป็นการทดสอบแบบ isoperibol หรือ adiabatic operation

3. <u>การคำนวณแบบ Normal หาค่า Gross heat of combustion ใช้สูตร</u>

$$Hg = \frac{tw - e_1 - e_2 - e_3}{m} \quad \text{----------(3)}$$

โดย Hg = Gross heat of combustion

t = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามหัวข้อ 1.1 หรือ 1.2

w = น้ำสมมูลของแคลอริเมอร์ (Energy Equivalent คิดเป็น cal / °c)

(1 cal / °c = 4.1868 J/C)

e_1 = Heat of formation ของ NHO_3

จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายด่างที่ใช้ในการไตเตรท

(ความเข้มข้น .0725 N)

e_2 = Heat of formation H_2SO_4

13.17%* กำมะถัน sample x นน. Sample

เปอร์เซ็นต์กำมะถันใน sample ต้องหาหลังจากการไตเตรทหาค่า e_1 แล้ว โดยดูรายละเอียดจากคู่มือ Manual No. 160 หน้า 19

e_3 = ปริมาณความร้อนที่ได้จากลวด (Heat of combustion of fuse wire)

= 2.3 x ความยาวของลวดที่ใช้ (ลวดที่ใช้เป็น nichel – chromium)

m = น้ำหนักของ sample (ไม่ควรเกิน 1 กรัม)

สำหรับค่า W หาได้จากสูตร

$$W = \frac{Hm + e_1 + e_2}{t} \quad \text{----------(4)}$$

โดย H = Heat of combustion ของ standard benzoic acid per gram (~ 6318)

m = นน. ของ benzoic acid (gm.)

e_1 = Heat of formation of NHO_3 (cal)

e_2 = Heat of formation of wire (cal)

t = Net corrected Temperature rise (°C)

อย่างไรก็ตามค่า W นี้ ทางบริษัทที่จำหน่ายเครื่อง bomb calorimeter มักทำการหาค่าให้แล้วในห้องโดยการทดสอบหลายซ้ำแล้วเฉลี่ยค่า W ออกมา ในที่นี้ค่า W สำหรับเครื่อง bomb 1241 นี้เท่ากัน <u>2408 cal / °c</u> (ล่าสุดใช้ 2431)

4. <u>การคำนวณโดยใช้เครื่อง Controller 1720 เพื่อหา Gross Heat of Combustion</u>

จากขั้นตอนที่ห้า เครื่อง Controller จะพิมพ์ค่า gross heat ออกมา ซึ่งค่านี้ยังไม่ได้ผลทีเดียว ต้องนำมาปรับหาค่า final report เสียก่อน โดยการ

1. กดปุ่ม sample id แล้วใส่ค่า sample number เข้าไป ปุ่มแสงของเครื่อง controller จะสว่างเรียกค่าต่อไป คือค่า

Acid ใส่ค่า e_1

Sulfer ใส่ค่า e_2 เมื่อใส่ค่าทั้งสามแล้วเครื่องจะพิมพ์ final report ออกมา

Fuse ใส่ค่า e_3

2. ถ้าค่า C.C.F ในข้อ 1 ยังไม่ทราบแน่ชัด ผู้ทดสอบก็กดปุ่ม skip เพื่อข้ามข้อมูลหนึ่งข้อมูลใดทั้งสามค่าไปได้ แต่ Final report จะยังไม่พิมพ์ออกมาจนกว่าจะหาค่าทั้งสามได้การใส่ค่าใดลงไปก่อนแล้วต้องการใช้ค่านั้นภายหลัง ให้กดค่านั้นเข้าไปแล้วกด star code ตามเข้าไป ซึ่งอาจเป็น *34 *35 *36 ก็แล้วแต่ค่าที่ทราบ (ดูจาก Manual No.165 หน้า 18)

5. <u>หน่วยที่ใช้ในการคำนวณ</u>

5.1 1 cal มีค่าเท่ากับ 4.1868 J

5.2 1 btu มีค่าเท่ากับ 251.996 cal เท่ากับ 1055.06 J

5.3 gross heat of combustion พลังงานความร้อนคิดเป็น cal / g หรือ btu / lb หมายถึงพลังงานความร้อนที่เกิดจากเชื้อเพลิง 1 หน่วย นน. ถูกเผาไหม้ในบรรยากาศของออกซิเจนที่ปริมาตรคงที่ โดยน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาอยู่ในสภาพของเหลว

5.4 Net heat of combustion พลังงานความร้อนที่คิดเป็น cal / g หรือ btu / lb

หมายถึง พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในบรรยากาศของออกซิเจนที่ความดันคงที่ 1 atm. (0.1 Mpa) โดยน้ำที่เกิดจากปฏิกิริยาอยู่ในสภาวะไอน้ำ

*5.5 การแปลงหน่วย cal / g เป็น btu / lb

1 cal / g = (1)(1.8) btu / lb

$$1 \text{ btu / lb} = \frac{1}{1.8} \text{ cal/g}$$

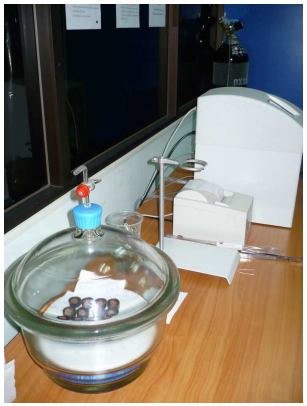
5.6 Energy Equivalent ความจุความร้อน หรือน้ำสมมูลของแคลอริมิเตอร์ หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้แคลอริมิเตอร์ร้อนขึ้น 1 องศา วัดเป็น cal /°C

5.7 อุณหภูมิ วัดเป็นองศาเซลเซียส

5.8 เวลา คิดเป็น นาที หรือ วินาที

5.9 น้ำหนัก คิดเป็น กรัม

5.2 การหาค่าความร้อนด้วยเครื่องบอมบ์คาลอริมิเตอร์รุ่น Parr 6300



เครื่องบอมบ์รุ่นนี้เป็นเครื่องสำหรับวิเคราะห์ปริมาณความร้อนตัวอย่างที่เป็นของแข็งและของเหลวด้วยระบบ True Isoperibol Calorimeter ระบบควบคุมการทำงานและประมวลผลโดยไมโครโปรเซสเซอร์ แสดงผลบนหน้าจอขนาดใหญ่แบบสัมผัส สามารถแก้ไขชดเชยค่าลวดจุดไฟ กรดไนตริก ซัลเฟอร์และความร้อนสุทธิได้ ตัวเครื่องออกแบบเพื่อการรับน้ำโดยตรงจากก๊อกน้ำเข้าสู่ Bucket และ Jacket ของตัวเครื่อง มีระบบเติมแก๊สออกซิเจน ระบบลดระดับความดัน ระบบเติมน้ำและควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ เทอร์โมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความละเอียดถึง 0.0001 องศาเซลเซียส ความผิดพลาดไม่เกิน 0.1% สามารถวัดค่าพลังงานได้สูงสุด 8000 แคลอรี่ โดยบันทึกผลการทดสอบไว้ในเครื่องได้ 1000 ตัวอย่าง รายละเอียดการใช้งานเป็นดังนี้

ขั้นตอนการใช้เครื่องบอมบ์แคลอรี่มิเตอร์รุ่น Parr 6300

6300 Automatic Isoperibol Calorimeter

1136 Oxygen Combustion Bomb

1. เสียบปลั๊กไฟแล้วเปิดสวิทช์ด้านหลังเครื่อง Bomb Calorimeter เครื่อง Printer และเครื่อง Water Circulation

2. เปิดวาล์วถังแก๊สโดยหมุนทวนเข็มนาฬิกา

3. กดปุ่ม CALORIMETER OPERATION

4. กด Heater and Pump จากเดิมที่เป็น off ให้เป็น on

5. รอให้ปุ่ม Start Pretest เปลี่ยนจากสีน้ำตาลหรือเทา (แล้วแต่มุมที่มอง) ให้เป็นสีน้ำเงิน ใช้เวลาประมาณ 20 นาที

6. กดปุ่ม Start Pretest หน้าจอจะขึ้นคำว่า **FILL** ที่แถบด้านล่าง แสดงว่าเครื่องกำลังวอร์มและกำลังล้างเครื่องอยู่

7. รอจนกว่าเครื่องวอร์มเสร็จแล้ว หน้าจอจะขึ้นคำว่า **I del** แสดงว่าเครื่องวอร์มและล้างเรียบร้อยพร้อมที่จะใช้งานได้

8. เปิดฝาเครื่องเพื่อเริ่มทำการทดลอง โดยการนำหัวปั๊มออกจากตัวเครื่องแล้วเอาผ้าหรือสำลีทำการเช็ดที่หัวปั๊มให้แห้งแล้วนำไปวางที่ขาตั้ง

9. ใช้ปากคีบเขี่ยอุปกรณ์ที่อยู่ข้างในให้ตรง

10. ทำการชั่งตัวอย่างที่จะทำการทดลอง โดยน้ำหนักสารตัวอย่างไม่ควรเกิน 1 กรัมแล้วนำมาใส่ถ้วยเล็กที่ใช้เป็นอุปกรณ์ของเครื่องบอมบ์ จากนั้นนำมาวางไว้ที่หัวบอมบ์พร้อมกับพันด้ายที่เตรียมไว้ที่หัวบอมบ์ โดยให้ปลายติ่งด้ายแตะที่ตัวอย่างสารแต่อย่าให้ด้ายเปียกชื้นเพราะจะทำให้เกิดการผิดพลาด (Error) เครื่องจะไม่ทำการจุดระเบิด

การนำตัวอย่างสารใส่ในเครื่องบอมบ์

เครื่องบอมบ์กำลังทำงาน

11. นำหัวบอมบ์ที่ประกอบเสร็จแล้วใส่ไว้ที่ตัวบอมบ์ในช่องเดิมที่เอาออกมาแล้วกดลงเบ้าให้เข้าล็อก จากนั้นบิดมาทางซ้ายมือเพื่อให้หัวบอมบ์แน่นติดกับเบ้า

12. ปิดฝาเครื่องบอมบ์ แล้วกดคำว่า Start

13. หน้าจอจะขึ้นคำว่า No กับ Yes ถ้าเรากดคำว่า No นั่นหมายถึงให้เราป้อนรหัสอะไรก็ได้ของตัวอย่างที่จะทำการทดลอง แต่ถ้าเรากดคำว่า Yes เครื่องจะตั้งค่าต่อจากตัวอย่างที่แล้วโดยอัตโนมัติ

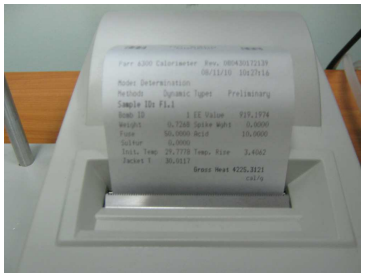
14. จากนั้นกดคำว่า Enter แล้วใส่ค่าน้ำหนักของตัวอย่างสารที่ชั่งเอาไว้แล้ว จากนั้นกด Enter อีกครั้ง เริ่มการทำงานของเครื่อง

15. รอจนกว่าเครื่องจะขึ้นคำว่า **I del** ที่บรรทัดสุดท้าย แสดงว่าการทำทดลองเสร็จสิ้นแล้ว ช่วงเวลาที่เครื่องกำลังทำงานจะมีการดูดน้ำ และปล่อยน้ำออกทางสายยาง ซึ่งจะเกิดเสียงดังเล็กน้อย ไม่ต้องตกใจเป็นเสียงการทำงานของเครื่อง

16. เมื่อเครื่องแสดงค่า **I del** แล้ว ให้เปิดฝาเครื่องบอมบ์ออกแล้วนำเอาหัวบอมบ์ออกมา นำน้ำที่อยู่ในถ้วยทิ้งไป หรือหากต้องการหาค่าปริมาณกรดหรือซัลเฟอร์ก็นำน้ำล้างบอมบ์ไปทำการหาค่าต่อด้วยวิธีการไตเตรทสำหรับการหากรด และการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Analyzer สำหรับการหาซัลเฟอร์ จากนั้นทำการเช็ดหัวบอมบ์ให้แห้งสนิท แล้วนำไปวางบนขาตั้งที่เดิมเพื่อรอทำตัวอย่างต่อไป

17. เริ่มตัวอย่างที่ 2 โดยทำตามขั้นตอนตั้งแต่ขั้นตอนที่ 8-16 โดยกดคำว่า Start (เราไม่ต้องวอร์มเครื่องอีก จะทำการวอร์มเครื่องครั้งเดียวตอนเปิดเครื่องของแต่ละวัน)

หน้าจอเครื่องบอมบ์



เครื่อง printer

ขั้นตอนการปิดเครื่องบอมบ์

1. กดคำว่า Menu
2. กดคำว่า CALORIMETER OPERATION
3. จากนั้นกดคำว่า Heater and Pump จากเดิม On ให้เป็น Off
4. ปิดสวิทช์ทั้ง 3 เครื่อง พร้อมทั้งปิดวาล์วแก๊สให้สนิท
5. ถอดปลั๊กไฟออกให้เรียบร้อย เป็นอันเสร็จสิ้นการทดลอง

ในการคำนวณหาค่าความร้อนขั้นสุดท้ายซึ่งต้องใช้ค่าแก้ไขของฟิวส์ กรด และซัลเฟอร์ สามารถทำได้โดยการแก้ไขด้วยตนเองหรือใช้การแก้ไขโดยเครื่อง โดยทั่วไปถ้าตัวอย่างเป็นไม้ ถ่านหุงต้ม หรือเชื้อเพลิงชีวมวล การใช้ค่าคงที่ของฟิวส์และกรด (Fixed Corretions) ทำได้โดยไม่ก่อให้เกิดความผิดพลาด เนื่องจากการแก้ไขดังกล่าวมีปริมาณไม่มากและค่อนข้างคงที่ สำหรับซัลเฟอร์ก็สามารถหาได้โดยใช้น้ำล้างบอมบ์ไปไตเตรทตามวิธีการเช่นเดียวกับเครื่องบอมบ์รุ่น 1241 หรืออาจใช้เครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Analyzer) ตรวจวัดจากน้ำล้างบอมบ์ก็ได้ แต่ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเครื่องวิเคราะห์ก๊าซมีราคาแพง ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณของซัลเฟอร์ในสารตัวอย่างที่เป็นไม้ ถ่าน และเชื้อเพลิง ชีวมวลก็ค่อนข้างคงที่และมีปริมาณไม่มาก และเครื่องบอมบ์รุ่น 6300 ได้ทำการปรับค่าดังกล่าวโดยอัตโนมัติให้แล้ว

ข้อควรคำนึงในการใช้เครื่องบอมบ์รุ่น 6300

1. การใช้ตัวอย่างที่ประกอบด้วยอนุภาคหยาบเกินไปหรือมีน้ำหนักเกิน 1 กรัม จะไม่เหมาะสำหรับการเผาไหม้ เพราะจะทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์
2. ความชื้นที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดขี้เถ้าและวัตถุที่เผาไหม้ไม่หมด ซึ่งแม้ว่าจะใช้ค่าแก้ไขโดยอัตโนมัติได้ แต่ก็ทำให้ค่าที่คำนวณได้ไม่เที่ยงตรง
3. แคปซูล Stainless Steel จะต้องขัดเงาหลังจากที่มีการใช้งานใน Oxygen Bomb ทั้งนี้เนื่องจากอาจมีการก่อตัวของ Oxide Film ได้ การขัดเงาหรือการนำแคปซูลไปเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 480 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อทำให้ผิวหน้าได้รับการเคลือบสม่ำเสมอ และเป็นการขจัดขี้เถ้าหรือสิ่งสะสมที่อยู่ผิวหน้าแคปซูลออกจะเป็นการช่วยเร่งการเผาไหม้ของสารในการทดลองครั้งต่อไป

5.3 เครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์แบบต่าง ๆ

รุ่น 6100 EF Compensated Jacket Calorimeter

รุ่น 1341 Plain Jacket Calorimeter

รุ่น 6200 EF Isoperibol Calorimet

6. ตารางแสดงค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลว เชื้อเพลิงก๊าซ และเชื้อเพลิงแข็ง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลว

ชื่อ	ชื่อเฉพาะ	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม	ที่มา
น้ำมันเบนซิน		8,246	http://mte.kmutt.ac.th
น้ำมันดีเซล		8,697	"
น้ำมันเตาเอ		9,858	"
น้ำมันเตาซี		9,117	"

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงก๊าซ

ชื่อ	ชื่อเฉพาะ	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม	ที่มา
ก๊าซธรรมชาติ	NGV, CNG	8,764	http://mte.kmutt.ac.th
ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	LPG	11,992	"

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง

ชื่อ	ชื่อเฉพาะ	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม	ที่มา
แอนทราไซต์	Anthracite	7,500	www.kmutt.ac.th
ถ่านหินบิทูมินัส	Bituminous	6,297	"
ถ่านหินลิกไนท์	Lignite	2,500	"

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง(ถ่านไม้)

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
กระถินณรงค์	*A. aulacocarpa*	7,489	กรมป่าไม้
	A. auriculaeformis Cum.	7,125	"
	A. brassii	7,283	"
	A. crassicarpa	7,040	"
	A. difficilis	7,238	"
	A. flavescens	6,907	"
	A. hemignosta	6,980	"
	A. holosericea	7,139	"
	A. julifera	7,229	"
	A. mangium	6,821	"
	A. platycarpa	7,060	"
	A. polystachya	7,173	"
	A. rothii	6,889	"
	A. shirleyi	7,186	"
	A. simsii	7,033	"
	A. torulosa	6,900	"
	Acacia sp.	6,972	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
กระบก	*Irvingia malayana* Oliver	7,016	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
กว้าว	*Adina cordifolia* Hk.	7,936	"
ก่อใบเล็ก	*Quercus sp.*	6,828	"
ก่อใบใหญ่	*Lithocarpus sp.*	8,048	"
ก่อหมู	*Quercus helferiana* A. DC.	7,577	"
กะเจ๊าะ , ขะเจ๊าะ , สาธร (ไทย)	*Millettia kangensis* Craib	6,759	กรมป่าไม้
กะถิน	*Leucaena glauca* Benth	7,617	"
ก้านเหลือง	*Nauclea orientalis* Linn	7,647	"
โกงกาง	*Rhizophora* spp.	7,197	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
ขี้หนอน	*Zollingeria dongnaiensis* Pierre	6,989	"
ขี้เหล็ก	*Cassia siamea* Lamk	7,036	"
ไข่เน่า (กระมอบ)	*Gardenia obtusifolia* Roxb.	7,771	"
แคฝอย	*Jacaranda acutifolia* Humb & Bompl	7,208	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
งาใส	*Planchonella obovata* H. J. Lam	7,015	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
จังตู (จังกรู้ หรือ ค้างคาว)	*Aglaia edulis* Wall.	7,290	"
ชานอ้อย	*Saccharum officinarum* Linn	7,031	"
ซด	*Terminalia sp.*	6,839	"
ซอย	*Shorea gratissima*	7,106	"
แดง	*Xylia Kerrii* Craib & Hutch.	7,384	"
ตะคร้อ	*Schleichera trijuga* Willd.	7,765	"
ตะแบก	*Lagerstroemia calyculata* Kurz	7,524	"
ตะแบกเลือด	*Terminalia mucronata* Craib & Hutch	7,419	"
ตับเต่าต้น (มะพลับดง)	*Diospyros ehretioides* wall	7,554	"
เต็ง	*Shorea obtusa* Wall	7,390	"
เต็ง	*Shorea obtusa* Wall. ex Bl.	6,785	พึงพิศ สาณะเสน
แต้ว	*Cratoxylon formosum* Dyer	7,836	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
ถั่วขาว	*Bruguiera cylindrica* Bl.	7,595	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ถั่วดำ	*Bruguiera parviflosa* W. and A.	7,598	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
ถ่านกะลา	*Cocos nucifera* Linn.	7,727	กรมป่าไม้
ถ่านตอรากไม้ยูคา	*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.	7,033	"
ถ่านเปลือกไม้เสม็ด	*Melaleca quinquenervia* S.T. Blake	6,258.7	"
ถ่านไม้ของ ผอ.ณรงค์	–	7,187	"
ถ่านไมยราพยักษ์	*Mimosa pigra* Linn.	7,033	"
ถ่านไม้เบญจ-พรรณที่ใช้ในการทดลองก่อนจุดไฟ	–	6,732	พึงพิศ สาณะเสน
ถ่านไม้สะแกนา	*Combretum quadrangulare*	6,580	กรมป่าไม้
ถ่านโค้ก	–	7,150	"
ถ่านไผ่หมาจู	*Dendrocalamus latiflorus* Munro	6,703	"
ถ่านไผ่บง	*Bambusa nutans* Wall	6,178	"
ถ่านไผ่เลี้ยง	(ของคุณพรรณี)	7,160	กรมป่าไม้
ถ่านไผ่ป่า	(ของคุณพรรณี)	6,853	"
ถ่านอัดแท่ง	(คุณอรรถวุทธ์)	7,323	"
ทุ่มโคก	*Mitragyna hirsuta* Hav.	6,938	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
ประดู่	*Pterocarpus macrocarpus* Kurz	7,539	"
ปีก	*Mallotus floribundus* Muell. Arg.	7,295	"
ผ่าสาม	*Casearia sp.*	6,109	"
ฝาด (ขวาด)	*Lumnitzera racemosa* Willd.	7,018	"
พยุง	*Dalbergia cochinchinensis* Pierre	7,352	"
พลวง	*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb	7,392	"
พลวง	*Dipterocarpus tuburculatus* Roxb.	6,956	พึงพิศ สาณะเสน
พลา	*Grewia microcos* Linn	7,638	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
พะวาหรือวา	*Garcinia speciosa* Wall.	7,623	"
พันตัน	Schima wallichii, Korth.	7,379	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
เนียงนก	*Archidendron bubalinum* Nielsen.	7,322	〃
มะขามเทศ	*Pithecellobium ducel* Benth	7,391	กรมป่าไม้
มะขามป้อม	*Phyllanthus emblica* Linn.	8,080	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
มะค่าแต้	*Sindora siamensis* Teijsm.	7,347	〃
มะม่วงป่า	*Mangifera sp.*	7,213	〃
มะโหลง	*Pterocymbium javanicum.* R.Br.	7,358	〃
มังคะ	*Cynometra bijuga* Span	6,888	〃
เมา	*Gmelina arborea* Roxb.	7,296	〃
เมี่ยงอีอาม , จ๊าเมี่ยง	*Camellia connata* Craib	7,300	〃
ไมยราพยักษ์	*Mimosa pigra* Linn	7,019	กรมป่าไม้
ยอป่า	*Morinda corcia* Ham	7,843	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
ยางพารา	*Hevea brasiliensis* Muell – Arg.	7,220	〃
ยางพารา – ลำต้น กิ่ง	*Hevea brasiliensis* Muell– Arg.	7,582 , 7187	〃

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ยูคาลิปตัส	*Eucalyptus sp.*	7,350	กรมป่าไม้
รกฟ้า	*TerminaLia tomentosa* W.& A.	6,715	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
รัง	*Pentacme siamemsis*	6,934	"
รังหนาม	*Shorea sp.*	7,229	"
เลียงมัน	*Berrya mollis* Wall. ex. Kurz	6,881	"
เลือดควาย	*Knema erratica* Warb.	7,218	"
สนทะเล	*Casuarina erratica* Linn	7,410	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
สมอพิเภก	*TerminaLia bellerica* Roxb	7,169	"
สะแก	*Combretum quadrangulare* Kurz	7,412	"
สะด้าว	*Pterospermum grandiflorum* Craib	7,170	"
สะเดาช้าง	*Chukrasia velutina* Wight & Arn.	7,950	"
สะเดาเทียม	*Azadirachta excelsa*	7,074	กรมป่าไม้

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
สีเสียดแก่น	*Acacia catechu* Willd.	7,240	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
เสม็ดชุน (เหม็ดชุน)	*Eugenia grata* Wight Craib	7,461	"
เสลา	*Lagerstroemia tomentosa* Presl	7,185	"
เสี้ยวต้น (ส้มเสี้ยวนา)	*Pileostigma malabarica* Benth.	7,333	"
แสมบาน	*Avicennia alba* Blume.	7,362	"
แสมสาร	*Cassia garrettiana* Craib	6,477	"
แสลงใจ	*Strychnos nux-vomica* Linn.	7,463	"
หลังดำ	*Diospyros sp.*	6,506	"
หูกวาง	*Terminalia catappa* Linn.	7,070	"
เหียง	*Dipterocarpus obtusifolius* Teysm	7,503	"
เหียง	*Dipterocarpus obtusifolius* Teijsm.ex Miq	6,203	พึงพิศ สาณะเสน
เอียน (เอี้ยน)	*Neolitsea zeylanica* Merr.	6,989	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง(ไม้)

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
กระเช้า	*Holoptelea integrifolia* Planch	4,616	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
กระถินณรงค์	*Acacia auriculaeformis* Cunn.	4,572	กรมป่าไม้
กระถินยักษ์	*Leucaena leucocephala* (Lam.) deWit	4,436	"
กระทุมพราย	*Anthocephalus cadamba* Miq	4,673	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
กระเบากลัก	*Hydnocarpus ilicifolius* King	4,641	"
กระพี้	*Dalbergia lakhonensis*	4,484	"
กราด	*Dipterocarpus obtusifolius* Teysm	5,132	"
กรุดผี	*Atalantia monophylla* Dc.	4,661	"
กล้วย	*Polyalthia & Mitrephora* spp.	5,594	"
กว้าว	*Adina cordifolia* Hk. F.	5,030	"
กอหญ้า กอ - หญ้า	*Eragrostis pilosus* Beauv	4,346	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
กะถิน (พิมาย)	*Acacia siamensis*	4,792	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
กะท้อน	*Sandoricum indicum* Carr	4,911	"
กะบาก	*Anisoptera curtisii* Dyer.	5,101	"
กัดลิ้น	*Walsura Trichostemon* Miq.	4,558	"
ก้านเหลือง	*Nauelea orientalis* Linn.	4,794	"
ขานาง	*Homalium tomentosum*	4,938	"
ขี้หนอน	*Zollingeria dongnaiensis* Pierre	4,543	"
ขี้หมู	*Padbruggea pubescens* Craib	4,502	"
ขี้เหล็ก	*Cassia siamea* Lamk.	4,441	"
เขลง	*Dialium cochinchinense* Pierre	4,374	"
ไข่เขียว	*Parashorea stellata* Kurz	4,853	"
ไข่เน่า (ปลู)	*Vitex glabrata* R.Br.	4,530	"
คอแห้ง	*Carallia brachiata* Merr.	4,737	"
คะ-มะ (มังคะ)	*Cynometra bijuga* Span.	4,560	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
เคี่ยม	*Shorea sericeiflora* Fisch & Hutch	5,269	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
เคี่ยมคะนอง	*Shorea henryana* Pierre.	4,685	"
เคี่ยมทราย	*Shorea sericeiflora* Fisch & Hutch	4,407	"
แคทราย	*Stereospermum chelonoides* A.DC.	4,504	"
แคฝอย	*Jacaranda mimosifolia* D.Don exot.	4,594	"
โคน(หูกวาง)	*Terminalia catappa* L.	4,586	"
จิกนม	*Barringtonia macrostachya* Kurz	4,511	"
เจตมูลเพลิง	*Plumbago sp.*	4,611	"
เฉียงฟ้านางแอ	*Carallia brachiata* (Lour) Merr.	4519	กรมป่าไม้
ช้างไห้	*Neesia malayana* Bakh.	4,541	"
ชุมแสง	*Xanthophyllum glaucum* Wall.	4,170	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
แซะ	*Padbruggea atropurpurea* Craib	4,749	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ดอกเสม็ด	*Melaleuca quinquenervia* S.T. Blake	4958.75	กรมป่าไม้
แดง	*Xylia kerrii* Craib & Hutch.	4,620	"
แดงใต้	*Syzygium spp.* (red – barked)	4,849	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
ตะเคียน	*Hopea odorata* Roxb.	4,913	"
ตะเคียนหนู	*Anogeissus acuminata* Wall., var lanceolata	5,027	"
ตะเคียนหิน	*Hopea ferrea* Pierre	5,001	"
ตะแบก	*Lagerstroemia spp.*	4,556	"
ตะแบกแดง	*Lagerstroemia floribunda* Jack	4,664	"
ตะแบง	*Dipterocarpus obtusifolius* Teysm	4,861	"
ตังหน	*Calophyllum floribundum* Hook.f.	4,684	"
ตันหยงป่า	*Elueocarpus macrocerus* Merr.	4,296	กรมป่าไม้

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ตานกกรด	*Aporosa villosa* Baill.	4,602	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
ตำเสา	*Fagraca fragrans* Roxb.	4,791	"
ตีบ-กะ	*Protium Serratum* Engl.	4,574	"
เต็ง	*Shorea obtusa* Wall.	4,960	"
เต็งตานี	*Shorea conchinchinensis*	5,472	"
เต็งพรุ	*Shorea glauca* King	4,782	"
เตียง	*Pseudodracontium anomalum* N.E.Br.	4,545	"
แต้ว	*Cratoxylon formosum* Dyer	4,178	"
ทองทวย	*Mallotus philippinensis* Muell. Arg.	4,798	"
ทะยิง	*Diospyros oblonga* Miq	4,430	"
ทัง	*Litsea grandis* Hk. F.	4,779	"
นน	*Vitex pinnata* Linn	5,117	"
นมพระสี	*Xantolis burmanica* P. Royen.	4,585	"
นวน, เถาวัลย์ชะ	*Calycopteris floribunda* Lamk	4,683	"
นาคบุตร	*Mesua ferrea* Linn	4,981	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ใบเสม็ดแห้ง	*Melaleuca quinquenervia* S.T. Blake	5,032	กรมป่าไม้
ประดู่	*Pterocarpus macrocapus* Kurz	5,022	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ประดู่เลือด	*Pterocarpus macrocapus* Kurz	4,549	"
เปลือกทุเรียน (ไม่ระบุพันธุ์)		4,468	กรมป่าไม้
เปลือกไม้เสม็ด	*Melaleuca quinquenervia* S.T. Blake	5673	"
แปเลือด (แปงู)	*Horsfieldia crassifolia* Warb.	4,348	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
ฝรั่ง	*Psidium guajava* Linn	4,813	"
ฝาด	*Lumnitzera littorea* Voigt	5,523	"
พยุง	*Dalbergia cochinchinensis* Pierre	5,112	"
พลวง	*Dipterocarpus tuberculatus* Roxb	4,859	"
พลา	*Grewia microcos* Linn	4,590	"
พะยอม	*Shorea talura* Roxb	5,339	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
พะยอม	*Shorea talura* Roxb	5,339	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
พะวา หรือ หว้า	*Syzygium cumini* Merr & Perry.	4,794	"
พันตัน	*Schima wallichii* Korth	4,646	"
พุทรา	*Zizyphus jujuba* Lamk.	4,718	"
โพธิ์	*Ficus religiosa* Linn	5,051	"
ไพ	*Adenanthera pavonina* Linn	5,191	"
มะเกลือ (ไม้ดำ)	*Dyospyros mollis* Griff.	5,205	"
มะขามเทศ	*Pithecellobium ducel* Benth	4,721	กรมป่าไม้
มะค่าโมง	*Afzelia xylocarpa*	4,716	กรมวิทยาศาสตร์บริการ
มะปราง	*Bonea burmanica* Griff.	4,996	"
มะไฟ	*Baccaurea sapida* Muell. Arq	4,674	"
มะม่วงป่า	*Mangifera sp.*	5,855	"
มะเลื่อม	*Canarium Kerrii* Craib	4,434	"
มะหาด	*Arthocarpus lakoocha* Roxb	5,206	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
เมา	*Gmelina arborea* Roxb	5,413	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
เมี่ยงอีอาม	*Camellia connata* Craib	4,639	"
ยอป่า	*Morinda coreia* Ham.	4,509	"
ยาง	*Dipterocarpus alatus* Roxb	4,810	"
ยางพารา	*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.	4,580	กรมป่าไม้
ยูคาลิปตัส	*Eucaliptus sp.*	4,599	กรมป่าไม้
ยูง	*Dipterocarpus gracillis* BL.	4,746	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
รกฟ้า	*Terminalia tomentosa* Heyne, W. & A.	4,063	″
รัง	*Pentaeme suavis* A. DC. Var. *siamemsis* Smit	4,677	″
ลิ้นจี่	*Nephelium litchi* Comb.	4,842	″
ลุมพอ-กะหลุมพอ	*Intsia bakari* Prain	4,590	″
แลนบาน	*Canarium denticulatum* Bl.	4,530	″
วิไล	-	4,999	″

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ศรีธนนชัย	*Buchanania siamemsis* Miq.	4,760	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
สนประดิพัทธ์	*Casuarina junghuhiana* Miq.	4,520	กรมป่าไม้
สนทะเล	*Casuarina eguisetifolia* Blume.	4,987	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
สมอ	*Terminalia citrina*	4,170	"
สะแก	*Combretum Quadrangulare* Kurz	4,937	"
สะเดา	*Azairachta indica* A. Juss. var. siamensis	5,046	"
สะเตียว	*Ganua motleyana* Pierre ex Dubard.	4,372.5	กรมป่าไม้
สะท้อนนก	*Sandoricum beccarianum* Baill.	4,449	"
สะทิด	*Phoebe paniculata*	5,346	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
สัก	*Tectona grandis* Linn	5,094	"
สักน้ำ	*Vatica wallichii* Dyer	4,406	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ส้านน้ำ	*Dillenia pulchella* (Jack) Gilg.	4,440.59	กรมป่าไม้
สำเภา	*Chaetocarpus castanopsis*	4,886	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
เสม็ด	*Melaleuca Leucadendron* Linn.	4,735	กรมป่าไม้
เสม็ดขาว	*Melaleuca Leucadendron* Linn	4,474	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
เสม็ดชุน	*Eugenia grata* Wight.	5,047	"
เสม็ดแดง	*Syzygium gratum* Merr & Perry Var	4,784	"
เสลา	*Lagerstroemia tomentosa* Presl	4,240	กรมป่าไม้
แสมสาร	*Cassia garrettiana* Craib	4,418	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
หงอนไก่	*Heritiera sp.*	4,810	"
หยี	*Dialium cochinchinense* Pierre	4,622	"
หว้าหลวง	*Syzygium thumra* Merr & Perry	4,717	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
หว้าหิน	*Eugenia kunstleri* King.	4,377	กรมป่าไม้

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
หัน	*Knema sphae*	4,880	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
หางนกยูง(ฝรั่ง)	*Poincina regia* Rafin.	4,492	"
เหียง	*Dipterocarpus abtusifolius* Teysm	4,768	"
แหว่	*Syzygium ripicolum* Merr & Perry	4,647	"
อกปลาช่อน	*Engenia macrophylla* Boerl.	4,427	กรมป่าไม้
อ้อยช้าง	*Mayodendron igneum* Kurz	4,497	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
อาศัย	*Ixonanthes icosandra* Jack	4,787	"
อินทนิน	*Lagerstroemia speciosa* (L.) Pers.	4593	กรมป่าไม้
อุโลก	*Hymenodictyon excelsum* Wall	4,727	กรม วิทยาศาสตร์ บริการ
เอียน	*Neolitsea zeylanica* Merr	4,317	"

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแข็ง (เศษวัสดุทางการเกษตร)

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
แกลบดิบ	*Oryza sativa* Linn.	3,407	กรมป่าไม้
ฟาง	Gramineae	4,148	"
ซังข้าวโพด	Zea mays Linn.	4,351	"
กะลามะพร้าว	*Cocos nucifera* Linn.	4,631	"
ถ่านกะลามะพร้าว	*Cocos nucifera* Linn. (charcoal)	7,760	"
ทางมะพร้าว	*Cocos nucifera* Linn. (leaf)	4,130	"
ขุยมะพร้าว	*Cocos nucifera* Linn. (fuzz)	4,507	"
ขี้เลื่อย	Sawdust	4,461	"
ขี้กบ	Wood shavings	4,990	"
เศษไม้ยางพารา	*Hevea brasilensis* Mull. Arg.	4,580	"
ถ่านไม้ยางพารา	*Hevea brasilensis* Mull. Arg. (charcoal)	7,650	"
แกลบอัดแท่ง	*Oryza sativa* Linn.	3,740	"
มันสำปะหลัง	*Manihot esculenta* Crantz	4,005	"
เหง้ามันสำปะหลัง	*Manihot esculenta* Crantz (tuber)	4,050	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
ชานอ้อย	*Saccharum officinarum* Linn (Bagasse)	3,172	กรมป่าไม้
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (1: 1)	*Saccharum officinarum* and Coconut 1:1	3,050	"
ชานอ้อย : ขุยมะพร้าว (4: 1)	*Saccharum officinarum* and Coconut 4:1	3,152	"
ชานอ้อย : ผักตบชวา (1: 1)	Water hyacinth 1:1	2,764	"
ผักตบชวา	Water hyacinth	3,010	"
ผักตบชวา : ขุยมะพร้าว(1: 1)	Water hyacinth and coconut fluzz 1:1	2,602	"
ถ่านกาบปาล์ม	*Elaes guineenis* Jacq. (charcoal bark)	6,532	"
ถ่านใบปาล์ม	*Elaes guineenis* Jacq. (charcoal leaf)	6,650	"
ทะลายปาล์ม	Palm fruit bunch	4,500	"
เส้นใยปาล์ม	Palm fiber	4,820	"
ไมยราพยักษ์	*Mimosa pigra* L. Giant mimosa	4,460	"

ชื่อ	ชื่อทางพฤกษศาสตร์	ค่าความร้อน คาลอรี ต่อ 1 กรัม คำนวณจากตัวอย่าง (แห้ง)	ที่มา
เปลือกหวาย	Ratten peel	4,480	กรมป่าไม้
ฟืนไม้มะขาม		4,721	"
ถ่านทุเรียน	*Durio zibethinus* L. (charcoal)	5,900	"
เปลือกทุเรียน	*Durio zibethinus* L.	4,115	"
เปลือกทุเรียนชะนีอัดแท่งแบบเย็น	-	3,656	"
เปลือกทุเรียนชะนีอัดแท่งแบบร้อน	-	3,839	"
เปลือกทุเรียนหมอนทองอัดแท่งแบบเย็น	-	3,686	"
เปลือกทุเรียนหมอนทองอัดแท่งแบบร้อน	-	3,844	"
A.mangium+ขุยมะพร้าว+ถ่าน	$1:\frac{1}{2}:\frac{1}{2}$	4,620	"
A.mangium+อ้อย+ถ่าน	$1:\frac{1}{2}:\frac{1}{2}$	4,685	"

บรรณานุกรม

งานพัฒนาพลังงานจากไม้. 2550. รวมบทคัดย่องานวิจัย พ.ศ. 2525-2550. กลุ่มงานพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิจัยและพัฒนาการป่าไม้ กรมป่าไม้.

ทรรศนีย์ กิติรัตน์ตระการ. 2529. ปฏิกิริยาไพโรไลซิสของไม้ยูคาลิปตัส คามาลดูเลนซีส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 81 น.

ธีระชัย จันทรเสนา. 2528. การผลิตถ่าน และคุณภาพของถ่านจากไม้ป่าชายเลนโดยใช้เตาอิฐขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 75 น.

ประลอง ดำรงค์ไทย. 2542. การศึกษาวิจัยพลังงานเชื้อเพลิงจากเปลือกทุเรียนในรูปของเชื้อเพลิงอัดแท่ง. รายงานส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 54 น.

ประลอง ดำรงไทย. 2542. รายงานศึกษาวิจัยโครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงและส่งเสริมการใช้แท่งเชื้อเพลิงเขียว. ส่วนวิจัยและพัฒนาผลิตผลป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 122 น.

ปรีชา เกียรติกระจาย. 2529. เทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานจากไม้. ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 259 น.

มาลี ภานุนำภา. 2532. การทดสอบคุณภาพและประสิทธิภาพการใช้งานของถ่านไม้ 11 ชนิด. ในรายงานการประชุมการป่าไม้ประจำปี 2532 สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางไม้ หน้า 243-250.

Parr Instrument Company. Instruction for the 1241 Adiabatic Oxygen Bomb Calorimeter. Manual No. 160. 211 53rd Street, Moline, Illinois.61265 U.S.A.

Parr Instrument Company. Instruction for the Parr 1720 Calorimeter Controller. Manual No. 165. 211 53rd Street, Moline, Illinois. 61265 U.S.A.

Parr Instrument Company. Operating Instruction Manual No. 435M: Oxygen Bomb Calorimeter 6300. 211 53rd Street Moline, Illinois 61265 USA.