

บทที่ 13

การหาค่าพลังงานสะสมในผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเครื่อง Bomb Calorimeter

วัตถุประสงค์

เพื่อเรียนรู้วิธีการหาค่าพลังงานสะสมในอาหารและวิธีการใช้งานเครื่อง Bomb Calorimeter

การหาค่าพลังงานในอาหาร

อาหารมีพลังงานสะสมอยู่ในรูปของพลังงานเคมีซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ แต่สามารถหาค่าพลังงานในอาหารในรูปของพลังงานความร้อนได้โดยนำอาหารมาเป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำ พลังงานที่สะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน แล้วถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับน้ำ น้ำจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นจึงคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นแทน

พลังงานความร้อนมีหน่วยวัดเป็น จูล แต่สำหรับพลังงานความร้อนในอาหารนิยมวัดในหน่วยของ แคลอรี โดย 1 แคลอรี หมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 กรัมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C

kcal บางครั้งเขียนเป็น Calorie โดยใช้ C ตัวใหญ่

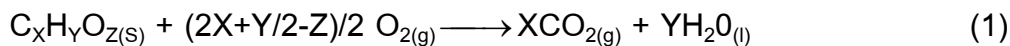
Kilocalorie (Kcal) – 1 Kcal = 1,000 cal

Megacalorie (Mcal) – 1 Mcal = 1,000Kcal = 10^6 cal

Joules – 1 joule = 0.239 cal หรือ 1cal = 4.184 Joules

การวัดพลังงานความร้อนนี้ทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า bomb calorimeter ซึ่งเป็นการวัดพลังงานที่สะสมอยู่ในอาหารภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

Bomb calorimeter เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาพลังงานที่ใช้ในการเผาไหม้ (enthalpy of combustion) สมการที่ (1) เป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้สารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน



เนื่องจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ (combustion reaction) ส่วนใหญ่จะเป็นการให้พลังงาน ดังนั้นค่าพลังงานต่อหน่วยมวลที่เกิดจากการเผาไหม้ (enthalpy of combustion) จึงมีค่าเป็นลบ

หลักการการทำงานของ Bomb Calorimeter

การทำงานของ bomb calorimeter จะใช้หลักการของ direct calorimetry ซึ่งเป็นการวัดปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อการเผาผลาญอาหารเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ อาหารจะถูกบรรจุใน chamber และ charged ด้วยออกซิเจนภายใต้ความดันสูง (high pressure) จากนั้นให้กระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน fuse และทำให้เกิดการจุดระเบิด (ignites) เชื้อเพลิงซึ่งได้แก่ส่วนผสมของอาหารและออกซิเจน (food-oxygen mixture) เนื่องจาก calorimeter จะถูกหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนถ่ายเทออกไปสู่สภาวะแวดล้อม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของน้ำทำให้ทราบปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากสารอาหารแต่ละชนิดเช่น คาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีนจะปลดปล่อยปริมาณพลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ (heat of combustion) ออกมาในปริมาณที่แตกต่างกัน

Heat of combustion หมายถึงพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาโดยการออกซิไดซ์ specific food ซึ่งเป็นค่าพลังงานสะสมที่มีอยู่ในอาหาร ตารางที่ 13.1 แสดงค่าพลังงานต่อหน่วยมวลของคาร์โบไฮเดรต (glucose) ไขมัน (palmitic acid) และ โปรตีน (alanine) ที่ปลดปล่อยออกมาหลังจากการเผาไหม้

Respiration Quotient (R.Q)

Respiration Quotient เป็นอัตราส่วนของ CO_2 ที่ผลิตขึ้น / โมลของออกซิเจนที่ใช้ ซึ่งค่า R.Q. สำหรับ substrate ชนิดต่างๆดังแสดงในตารางที่ 13.2

ตารางที่ 13.1 พลังงานต่อหน่วยมวลที่ปลดปล่อยออกมาหลังจากการเผาไหม้ คาร์โบไฮเดรต (glucose), ไขมัน (palmitic acid) และ โปรตีน (alanine)

Substrate	Reaction	Energy released Per mole	Energy released Per gram (McArdle, 110)
Carbohydrate (Glucose)	$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \Rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$	686 Kcal	4.15 Kcal
Fat (palmitic acid)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH + 23 O_2 \Rightarrow 16 CO_2 + 16 H_2O$	2300 Kcal	9.40 Kcal
Protein (alanine)	$2 C_3H_7O_2N + 6 O_2 \Rightarrow (NH_2)_2CO + 5 CO_2 + 5 H_2O$	503 Kcal	5.65 Kcal

ตารางที่ 13.2 Respiration Quotient ของการเผาไหม้ glucose, palmitic acid และ alanine

Substrate	Reaction	R.Q.
Glucose	$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \Rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$	1.0
Fat (palmitic acid)	$CH_3(CH_2)_{14}COOH + 23 O_2 \Rightarrow 16 CO_2 + 16 H_2O$	0.70
Protein (alanine)	$2 C_3H_7O_2N + 6 O_2 \Rightarrow (NH_2)_2CO + 5 CO_2 + 5 H_2O$	0.82

ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ปลดปล่อยออกมาต่อปริมาณออกซิเจน 1 ลิตร (K value) จะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง ซึ่งค่า K values จะมีความสัมพันธ์กับการเผาผลาญที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการ metabolism ของ substrate ตารางที่ 13.3 แสดง Oxygen equivalents (K)ที่ใช้ในการเผาไหม้ glucose, palmitic acid, alanine

ตารางที่ 13.3 Oxygen equivalents (K)ที่ใช้ในการเผาไหม้ glucose, palmitic acid, alanine (ที่สภาวะมาตรฐาน ,STP; 1mole O₂ = 22.4 LO₂)

Substrate	Energy released	Moles of O ₂ consumed	K Energy released per liter O ₂
Glucose	686 Kcal/mol	6	5.104 Kcal / L O ₂
Fat (palmitic acid)	2340 Kcal/mol	23	4.7 Kcal / L O ₂
Protein (alanine)	503 Kcal/mol	6	4.6 Kcal / L O ₂
Mixed diet			4.82 Kcal/L O ₂

พลังงานที่ recovered ในรูป ATP หารด้วยพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญ substrate เป็นพลังงานที่ให้กับร่างกาย ประสิทธิภาพของการออกซิเดชันคาร์โบไฮเดรตและไขมันจะประมาณ 40% ส่วนใหญ่ประสิทธิภาพของการออกซิเดชันจะบอกในรูปของพลังงานที่ให้ต่อ substrate 1 กรัม ซึ่งไขมันจะให้พลังงานต่อ หน่วยมวลสูงที่สุด

วิธีหาค่าพลังงานที่สะสมในอาหารมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 ชั่งมวลของอาหารที่ต้องการหาค่าพลังงานในหน่วยของกรัม

ขั้นที่ 2 นำอาหารนั้นมาเป็นเชื้อเพลิงในการต้ม น้ำ โดยก่อนต้มจะต้องทราบมวลของน้ำ (น้ำ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีมวล 1 กรัม) พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนต้มด้วย

ขั้นที่ 3 เมื่ออาหารที่ใช้ต้มเผาไหม้หมดแล้ว วัดอุณหภูมิของน้ำหลังต้ม

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่าปริมาณความร้อนในหน่วยของแคลอรี

ตารางที่ 13.4 พลังงานต่อหน่วยมวลที่ได้จากการเผาผลาญ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และ โปรตีน

Substrate	Energy available per gram of substrate
Carbohydrate	4 Kcal/gram
Fat (palmitic acid)	9 Kcal/gram
Protein (alanine)	~ 4 Kcal/gram (range is 2.12 Kcal/gram (glycine) to 5.9 Kcal/gram (leucine))

การคำนวณหาปริมาณความร้อนโดยใช้สูตร

$$Q = mC_p \Delta t$$

$$Q = \text{ปริมาณความร้อนมีหน่วยเป็นแคลอรี(Cal)}$$

$$m = \text{มวลของสารมีหน่วยเป็นกรัม(g)}$$

$$C_p = \text{ความร้อนจำเพาะของสาร มีหน่วยเป็น แคลอรี/กรัม-องศาเซลเซียส (Cal/g}^\circ\text{C)}$$

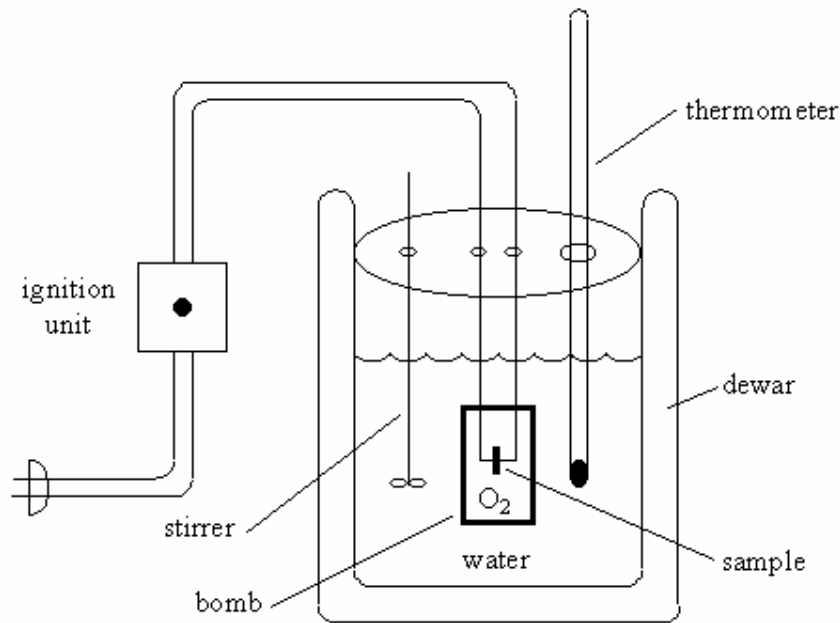
$$\Delta t = \text{อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส}$$

เนื่องจากการคำนวณปริมาณความร้อนนี้เป็นปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ และค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเป็น $1 \text{ Cal / g}^\circ\text{C}$ ดังนั้นในการคำนวณอาจใช้สูตร

$$Q=m \Delta t$$

ขั้นที่ 5 คำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่สะสมในอาหารในหน่วย Cal/g จากปริมาณความร้อนที่สะสมในอาหาร=ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับต่อมวลของอาหารที่ใช้ เป็นเชื้อเพลิง

โครงสร้างของ Bomb calorimeter



ภาพที่ 13.1 โครงสร้างภายในของ Bomb calorimeter

โครงสร้างภายในของ Bomb calorimeter ประกอบด้วย stainless steel bomb (ภายในบรรจุตัวอย่าง (sample) ที่ต้องการหาค่าพลังงาน และ ออกซิเจน) น้ำ เทอร์โมมิเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในการกวน (stirrer) โดย bomb calorimeter จะถูกหุ้มด้วย ฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนจาก bomb calorimeter ถ่ายเทไปยังสภาวะแวดล้อม

$$q_{\text{calorimeter}} = 0$$

เนื่องจาก โครงสร้างของ Bomb calorimeter ทำจาก stainless steel ปฏิิกิริยาการเผาไหม้จะเกิดภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร (constant volume) จึงไม่เกิดงานขึ้น

$$W_{\text{calorimeter}} = -\int PdV = 0$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลง internal energy, ΔU , สำหรับ calorimeter = 0

$$\Delta U_{\text{calorimeter}} = q_{\text{calorimeter}} + W_{\text{calorimeter}}$$

การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน (ΔU) และ พลังงานต่อหน่วยมวล (ΔH) ที่เกิดขึ้น ใน Bomb calorimeter

การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน ΔU

เนื่องจาก bomb calorimeter ถูกออกแบบให้ไม่มีความร้อนเคลื่อนที่เข้าและออกจากระบบโดยการหุ้มด้วยฉนวนจึงสามารถกล่าวได้ว่า reactant (ตัวอย่าง และ ออกซิเจน) จัดเป็นระบบ (system) และส่วนที่เหลือของ calorimeter (bomb และ น้ำ) จัดเป็นสภาวะแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของ reactants จากปฏิกิริยาการเผาไหม้สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} dU_{\text{tot}} &= dU_{\text{sys}} + dU_{\text{surr}} = 0 \\ dU_{\text{sys}} &= -dU_{\text{surr}} \\ &= \left[\left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T dV \right] \end{aligned}$$

เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร, $dV = 0$

$$dU_{\text{sys}} = -C_V dT$$

C_V = ค่าความจุความร้อน (heat capacity) ของ surrounding คือน้ำและ bomb

การเปลี่ยนแปลงพลังงานต่อหน่วยมวล (Enthalpy, ΔH)

จากคำนิยามของพลังงานต่อหน่วยมวล

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV)$$

Expansion work ($\Delta(pV)$) ใน กรณีของเหลวและของแข็ง ~ 0

ดังนั้น

$$\Delta H = \Delta U$$

ในกรณีของ ideal gas

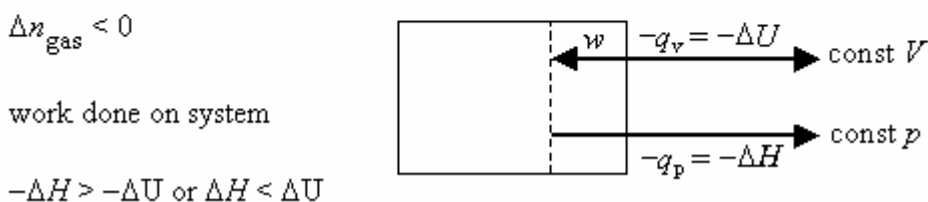
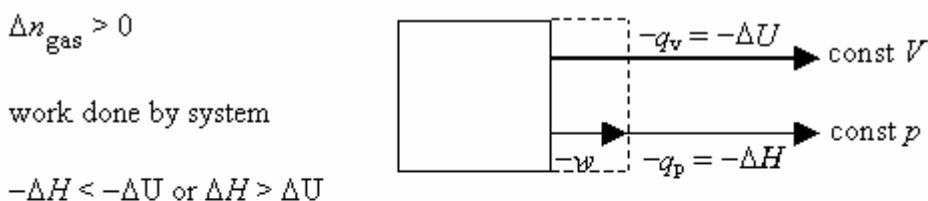
$$\Delta H = \Delta U + RT \Delta n_{\text{gas}}$$

ความแตกต่างระหว่าง ΔU และ ΔH

$\Delta U = q_v$ เป็นความร้อนที่ถ่ายเทภายใต้สภาวะที่มีปริมาตรคงที่ (constant volume)

$\Delta H = q_p$ เป็นความร้อนที่ถ่ายเทภายใต้สภาวะที่มีความดันคงที่ (constant pressure)

ดังนั้นความแตกต่างระหว่าง ΔU และ ΔH จึงอยู่ที่ pV work สามารถเกิดภายใต้สภาวะที่มีปริมาตรคงที่ (constant volume condition)



พิจารณาในกรณีที่ $\Delta n_{\text{gas}} > 0$ ตัวอย่างเช่นระบบมีการขยายตัวระหว่างการเกิดปฏิกิริยา พลังงานบางส่วนจะถูกปลดปล่อยในรูปของงานภายใต้สภาวะความดันคงที่ (constant pressure) ดังนั้นความร้อนที่ถูกปลดปล่อยจะน้อยกว่าที่ constant volume

Heat released < energy released

$$-\Delta H < -\Delta U$$

$$\Delta H > \Delta U$$

ในกรณีที่ $\Delta n_{\text{gas}} < 0$ เช่น ระบบมีการหดตัว (system contracts) ระหว่างการเกิดปฏิกิริยา ในกรณีนี้ สิ่งแวดล้อมทำงานให้ระบบ

Heat released > energy released

$$-\Delta H > -\Delta U$$

$$\Delta H < \Delta U$$

การ calibrate calorimeter

การวัดค่า C_v ของ calorimeter

การวัดค่า C_v ของ calorimeter ทำได้โดยการเผาไหม้สารมาตรฐานที่ทราบค่า ΔU เช่น benzoic acid

$$m_{\text{benzoic acid}} \Delta U_{\text{benzoic acid}} = m_{\text{benzoic acid}} \times 6318 \text{ cal/g.K} = -C_v \Delta T$$

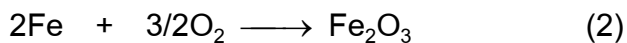
Correction ใน bomb calorimeter

1. การเผาไหม้ fuse (combustion of fuse)

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ Nickel และ iron fuse เป็นไปตามสมการที่ 1 และ 2



หรือ



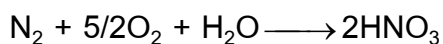
ปริมาณความร้อนที่ปลดปล่อยจากการเผาไหม้ fuse หาได้จาก

$$\Delta U = \Delta U_{\text{sample}} \cdot m_{\text{sample}} + \Delta U_{\text{burn fuse}} \cdot m_{\text{burn fuse}} = -C_v \Delta T$$

โดยน้ำหนักของ fuse หาโดยการชั่งน้ำหนัก fuse ก่อนและหลังการเผาไหม้ ใน bomb

2. Nitric acid formation

การเผาไหม้ที่ใช้อุณหภูมิสูง nitrogen สามารถเปลี่ยนเป็น nitric acid ในสภาวะที่มี ออกซิเจนและน้ำ



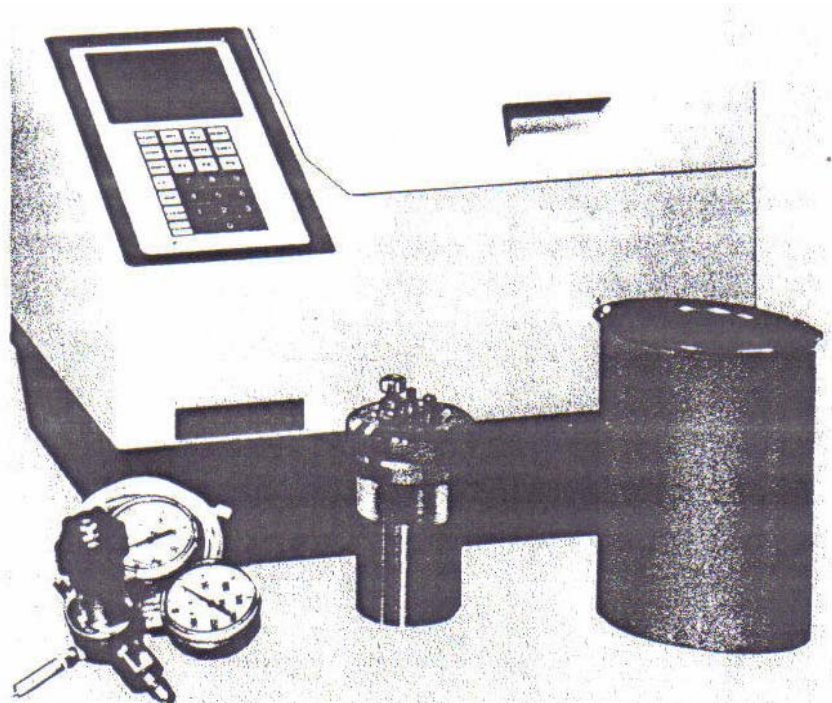
ดังนั้นการ flushing bomb โดยใช้ ออกซิเจนก่อนการเผาไหม้จะสามารถไล่ nitrogen และกำจัดกาเกิด nitric acid

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

เพื่อหาค่าพลังงานที่สะสมอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหาร

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1261 Isoperibol bomb calorimeter (Parr instrument company, USA)



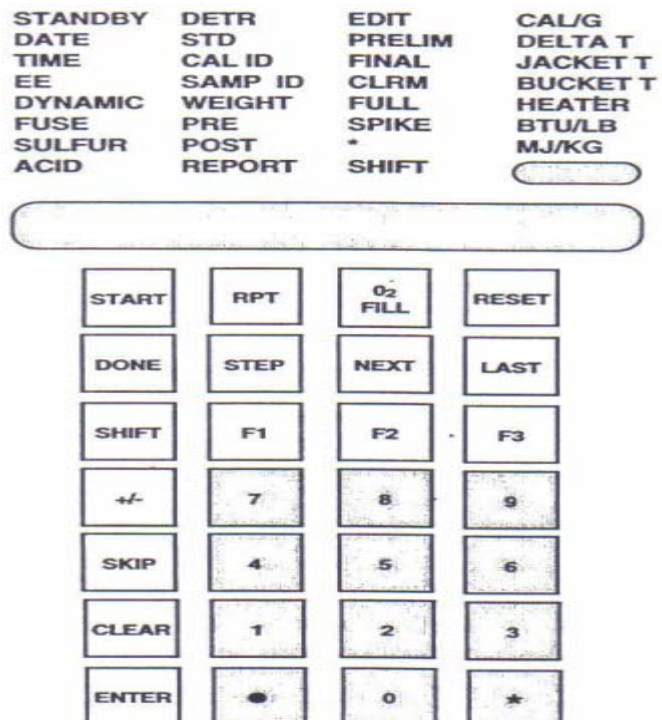
ภาพที่ 13.2 เครื่อง bomb calorimeter model 1261

วิธีการใช้เครื่อง Bomb calorimeter (model 1261)

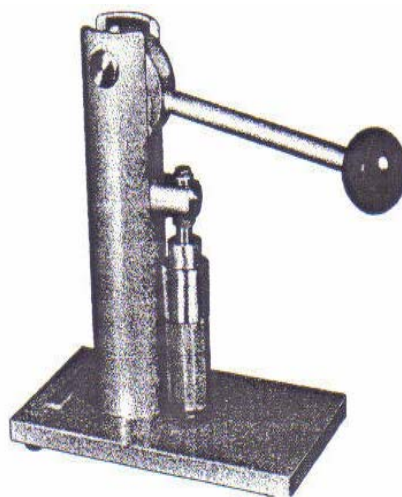
1. เปิดสวิตช์หลังเครื่องไฟจะติดตาม data entry ต่างๆและจะดับไป คงเหลือแต่ส่วนที่จะใช้งานซึ่งถ้าไฟไม่ขึ้นแสดงว่า circuit board อาจหลวม
2. กด F1 เพื่อให้ปั๊ม, heater และ น้ำเย็น flow เข้าเครื่อง โดยให้ทำการ warm เครื่องประมาณ 20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ เมื่ออุณหภูมิ ของ jacket คงที่ตามที่ตั้งค่าไว้ ไฟ standby จะติดซึ่งเมื่อกด start ทุกครั้งจะต้องมีไฟขึ้นที่ standby ทุกครั้งมิฉะนั้นเครื่องจะไม่พร้อมทำงาน
3. ตรวจสอบ main menu โดยกด *50 เครื่องจะ print main menu ออกมาให้ดูซึ่งถ้าแก้ไขข้อไหนก็กดข้อนั้น และ enter ข้อที่ต้องการเข้าเครื่องอีกครั้ง เครื่องจะพิมพ์ข้อที่เลือกออกมาให้ดูเมื่อไม่ต้องแก้ไขแล้วให้กด clear เครื่องจะกลับสู่หน้าจอปกติ
4. ตรวจสอบหมายเลข sample ID ที่ memory หน่วยความจำอยู่ในเครื่องว่ามีอยู่หรือไม่ ซึ่งหมายเลขอาจซ้ำกับในการทดลองในครั้งต่อไป ถ้าเข้าเครื่องอาจบอกว่า error กรณีนี้ให้กด *4 และกด step key ดูว่ามีกี่หมายเลข และถ้าต้องการลบทิ้งทั้งหมดให้กด *20 แล้ว enter หมายเลข sample ID นั้น เช่น ถ้าต้องการลบหมายเลข 1-100 ให้ป้อน 1.100 enter หรือจะใช้ Shift F1

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

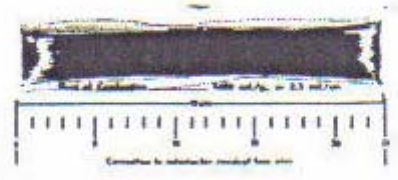
1. ชั่งตัวอย่างอาหารให้มีน้ำหนักแน่นอนประมาณ 1 กรัม ถ้าอาหารชิ้นใหญ่ต้องผ่านการบดก่อน จากนั้นอัดให้เป็น pellet โดยใช้เครื่อง pellet press
2. นำตัวอย่างอาหารที่จะบรรจุในลูกบอมบ์มาวางในที่วางของ bomb head ตัด lead wire ยาว 10 เซนติเมตร นำไปสอดใน eyelet โดยเลื่อน cap ขึ้นเมื่อสอดเสร็จแล้วทั้งสองข้างให้ดึง cap ลง ขั้นตอนนี้ต้องระวังอย่าให้ลวดตะโโดนขอบของลูกบอมบ์แต่ต้องให้ลวดตะโตะบนตัวอย่าง



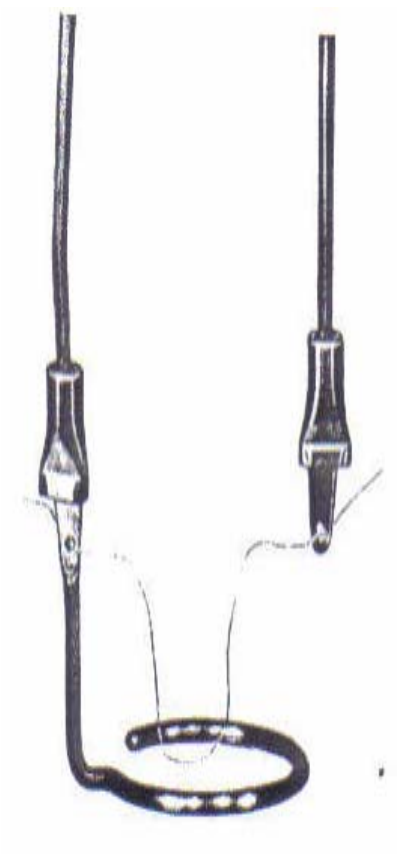
ภาพที่ 13.3 keyboard และ display ที่หน้าปัดของเครื่อง bomb calorimeter



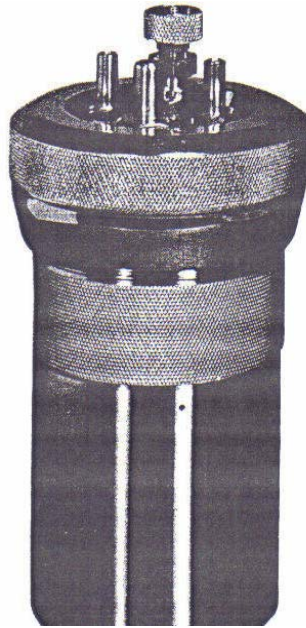
ภาพที่ 13.4 Pellet Press



ภาพที่ 13.5 Fuse Wire



ภาพที่ 13.6 การต่อ fuse wire ใน bomb head



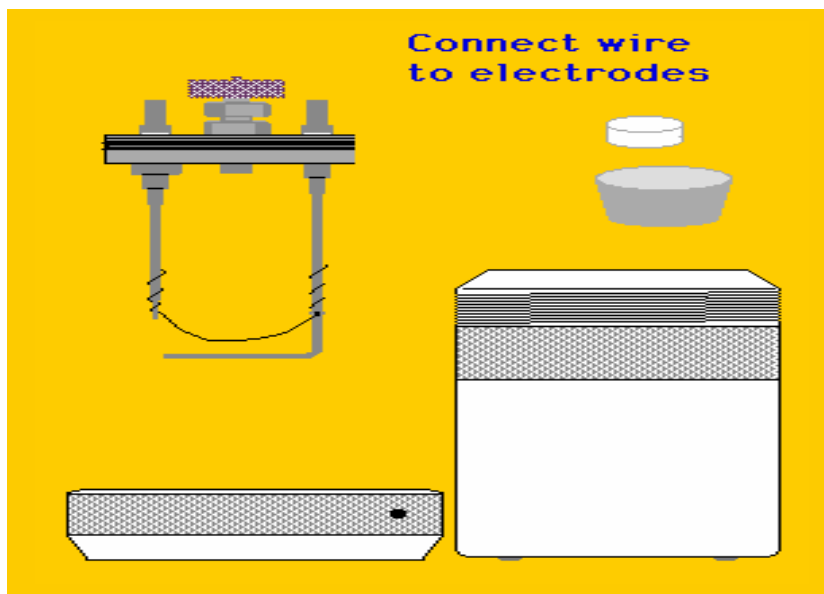
ภาพที่ 13.7 Oxygen bomb

3. นำ bomb head ใส่ใน oxygen bomb ปิดฝา
4. เติมออกซิเจนใน bomb โดยการเปิดวาล์วของถังแก๊สออกซิเจน ตั้ง pressure gauge ไว้ที่ 450 psi จากนั้นกด O₂ Fill Key เครื่องจะทำการเติมออกซิเจนให้อัตโนมัติโดยใช้เวลาประมาณ 60 วินาที
5. เติมน้ำลงในกระบะบอกลสแตนเลส (bucket) ประมาณ 2000 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่อง bomb กด start ไฟที่ Cal. ID, Sample ID, weight จะติด ให้ใส่หมายเลข Cal ID., Sample ID, weight (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ตามลำดับจนครบ กด start เครื่องจะเริ่มทำงานโดยเครื่องจะทำการ test run หาอุณหภูมิที่คงที่ จากนั้นเครื่องจะ alarm เริ่มการจุด และหลังการจุด 3-4 นาที เครื่องจะ alarm อีกครั้ง ซึ่งค่า EE จะปรากฏขึ้น
6. เมื่อเครื่องทำงานเสร็จ ให้เปิดฝา นำ oxygen bomb ออกมา ใส่ก๊าซออกเปิดฝานำ bomb head วางบนขาตั้ง วัดความยาวของหลอดที่เหลือจากการเผาไหม้

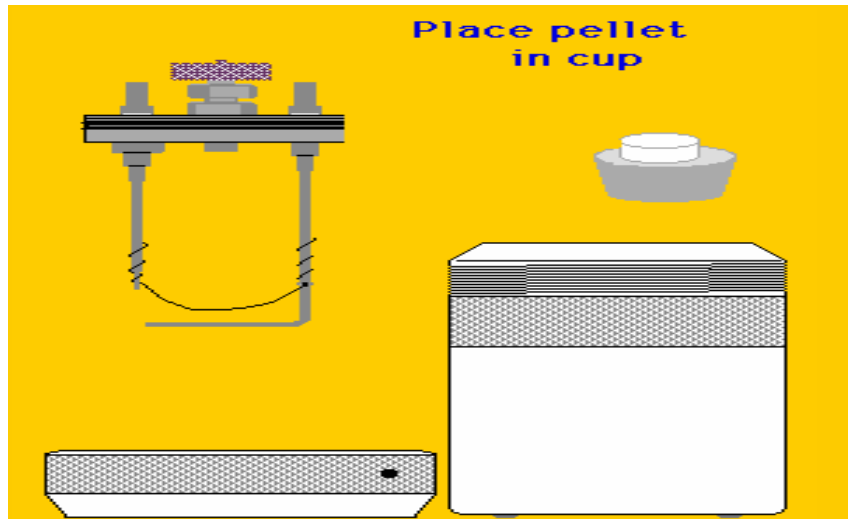
7. ล้างผนังภายในของ bomb ด้วยน้ำกลั่น นำน้ำล้างไปหาปริมาณกรด และ ปริมาณซัลเฟอร์ในตัวอย่าง
 8. ใส่ค่า fuse correction, acid correction และ sulfur correction
 9. กด Skip Key เครื่องจะถามค่าฟิวส์ที่ใช้ไป ค่ากรด ค่าซัลเฟอร์ให้ป้อนค่าที่ใช้ ไปตามลำดับเมื่อครบแล้วเครื่องจะพิมพ์ผลค่าพลังงานออกมาให้ ถ้าต้องการ จะให้เครื่องบันทึกไว้ในหน่วยความจำให้กด Done Key
 10. กด Start หรือ Shift Start เพื่อทำงานครั้งต่อไป
- *Standard คือ benzoic acid ให้พลังงาน 6318 cal/g

ขั้นตอนการ operate เครื่อง bomb calorimeter

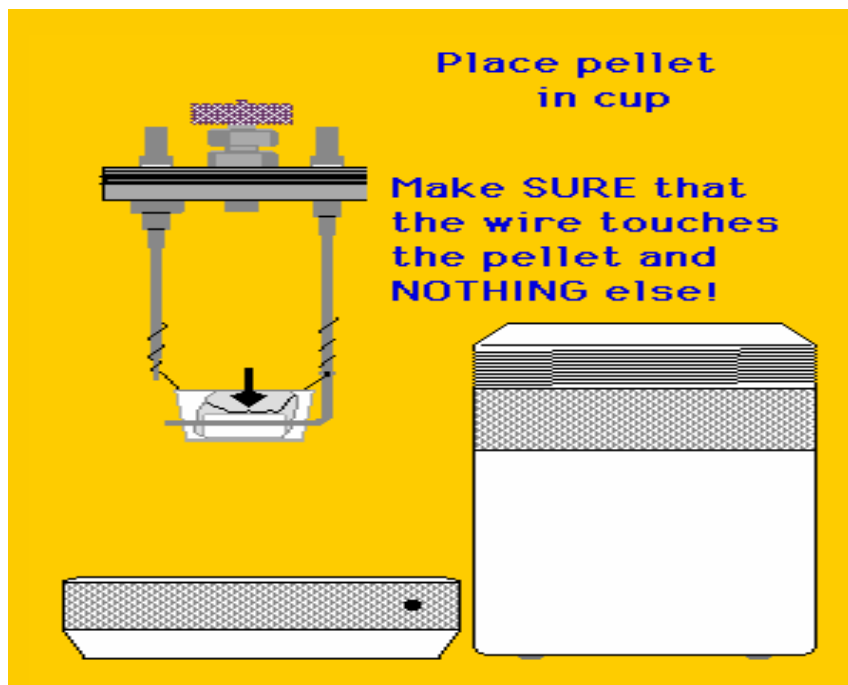
1. ต่อขดลวด (wire) กับ electrode



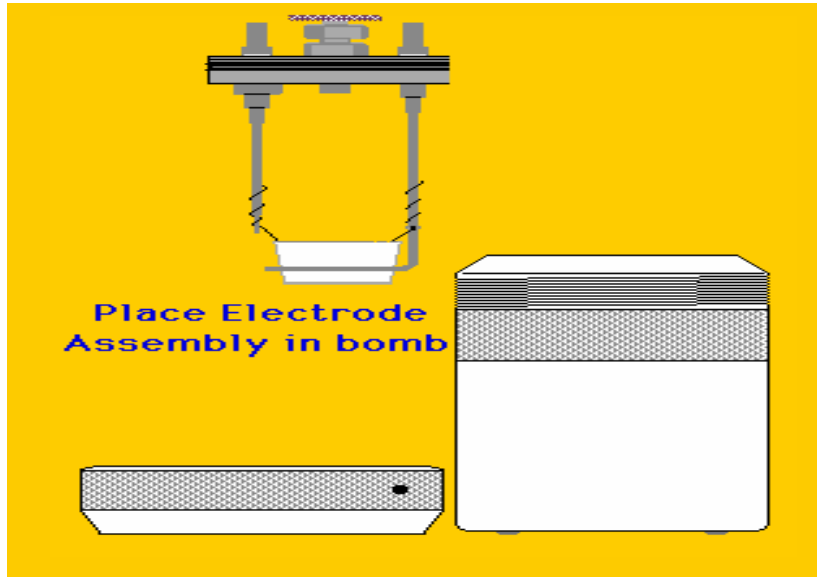
2. ชั่งตัวอย่างโดยทำให้อยู่ในรูป pellet จากนั้นบรรจุตัวอย่างลงในถ้วยใส่ตัวอย่าง (cup)



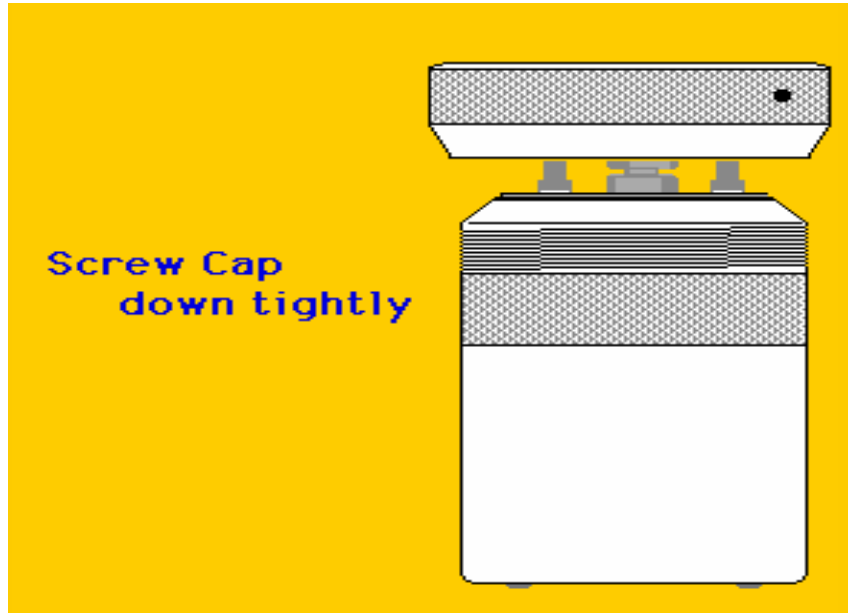
3. จัดขดลวด (wire) ให้สัมผัสกับตัวอย่าง (pellet)



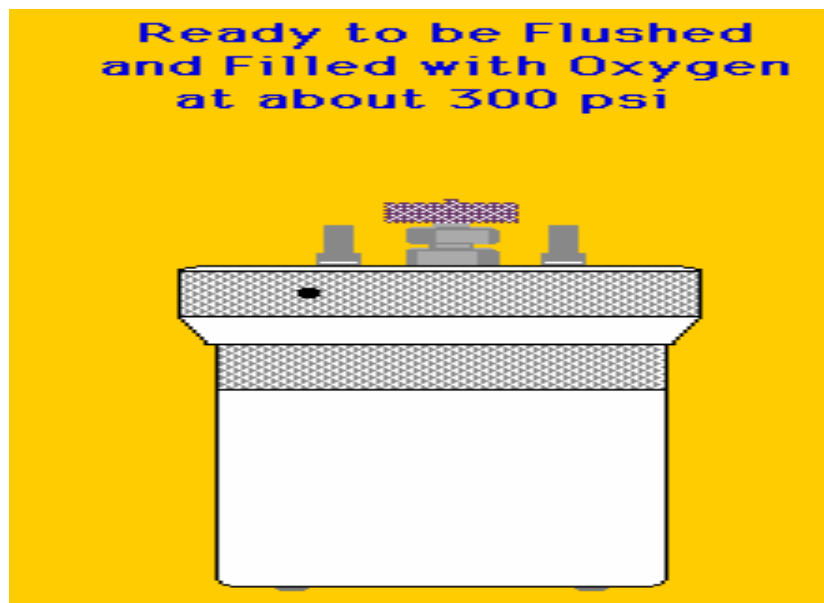
4.บรรจุ electrode assembly ใน bomb



5. ปิดฝา bomb โดยขัน screw cap ให้แน่น



6. ทำการแทนที่อากาศภายใน bomb โดยใช้ ออกซิเจนภายใต้ความดัน 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)



โครงสร้างของ bomb calorimeter ประกอบด้วย

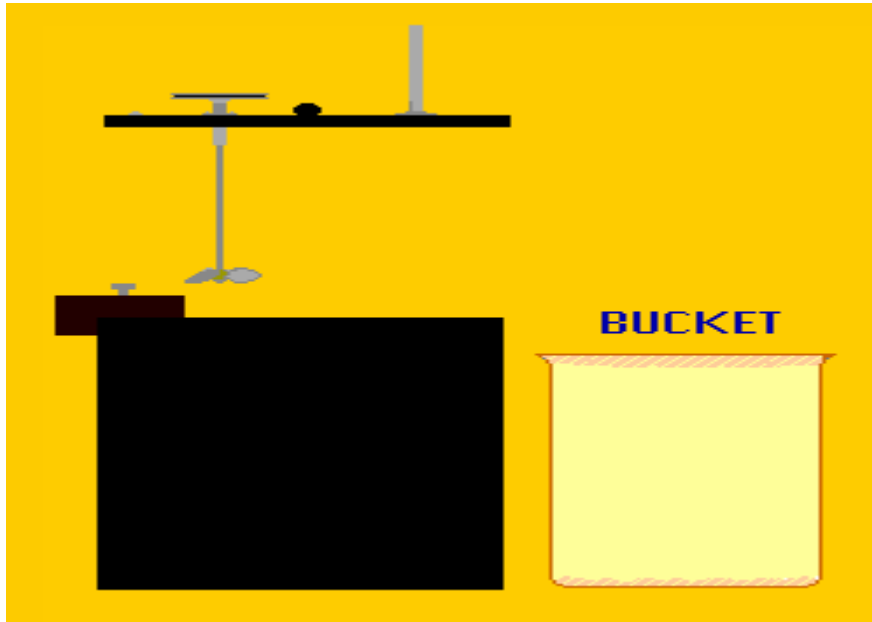
1. ตัวเครื่อง (shell)



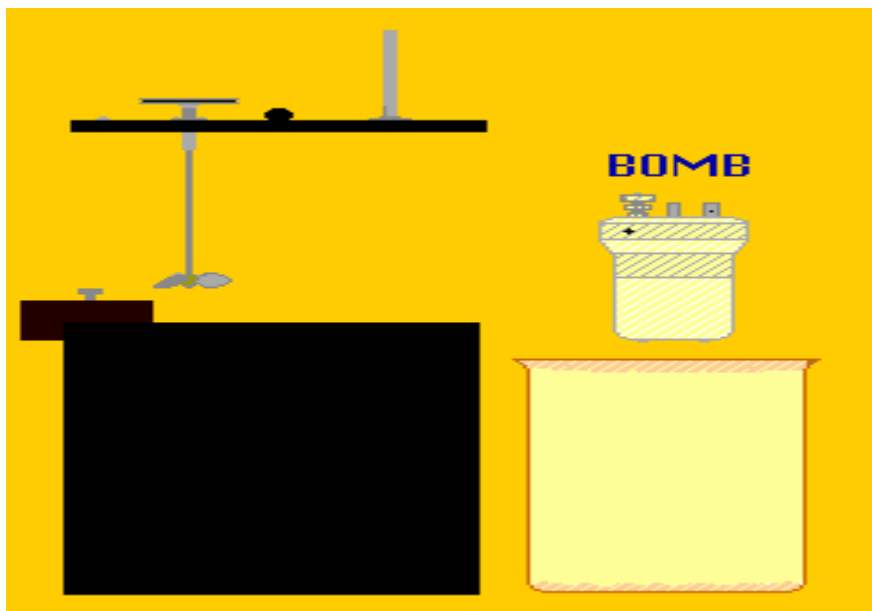
2. ส่วนฝา (lid assembly) ซึ่งต่อกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการกวน และ ส่วนที่เสียบเทอร์โมมิเตอร์



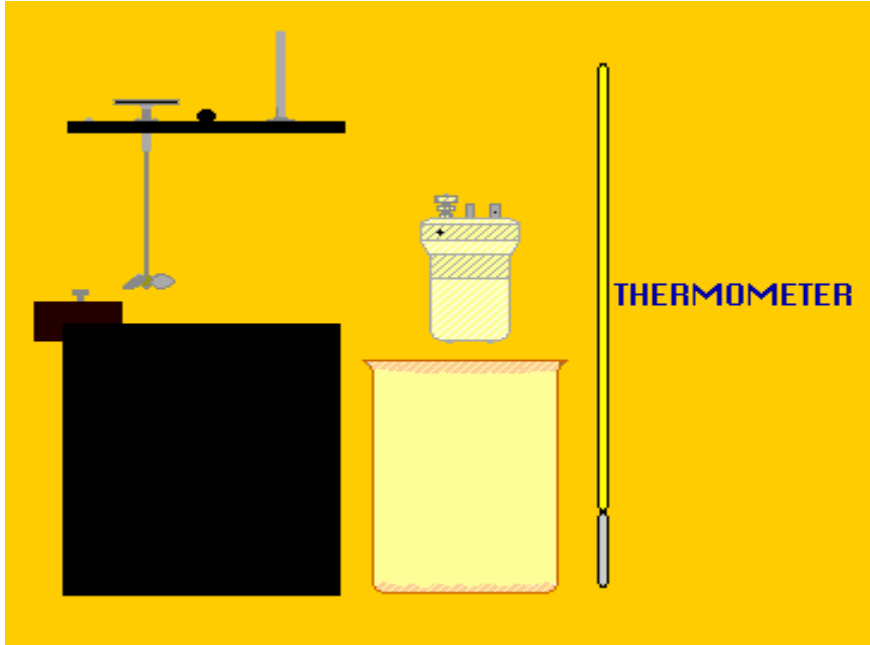
3. bucket



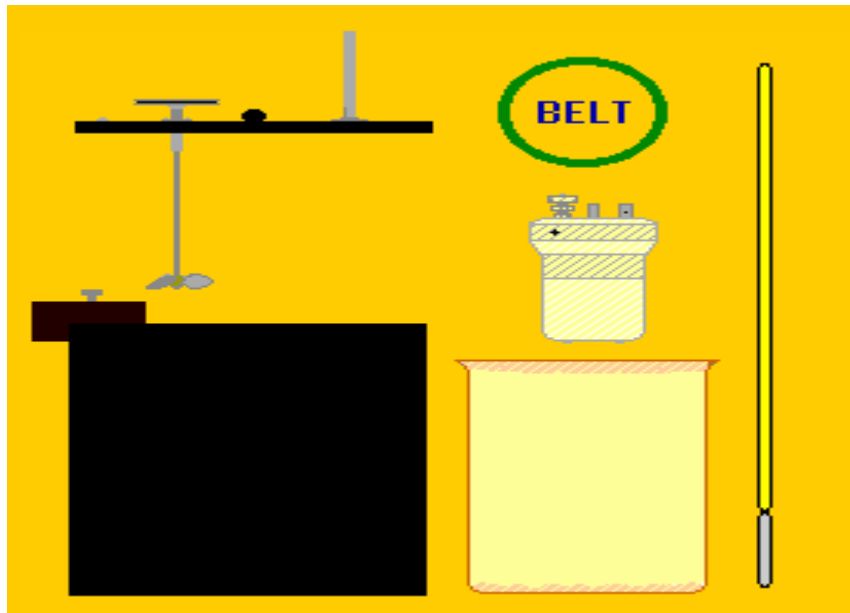
4. bomb



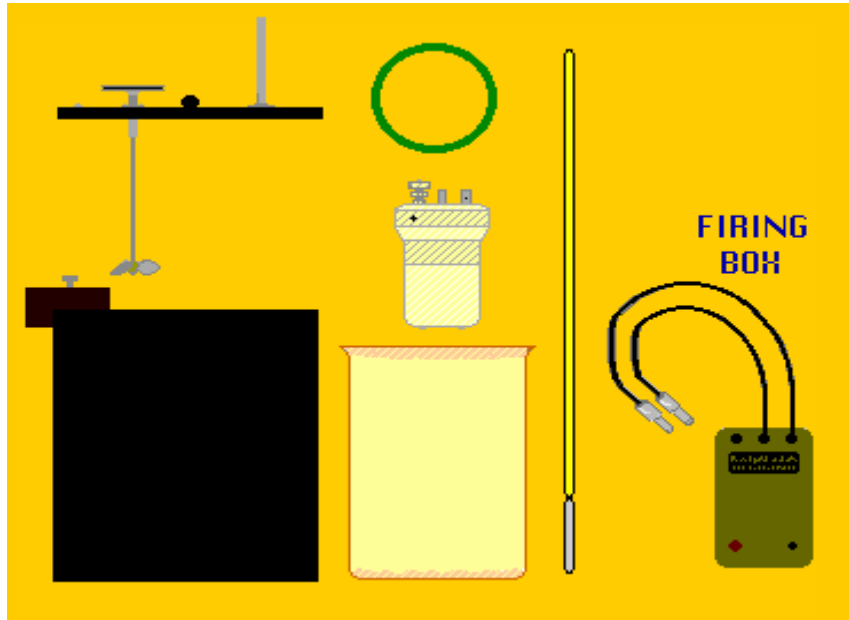
5. เทอร์โมมิเตอร์



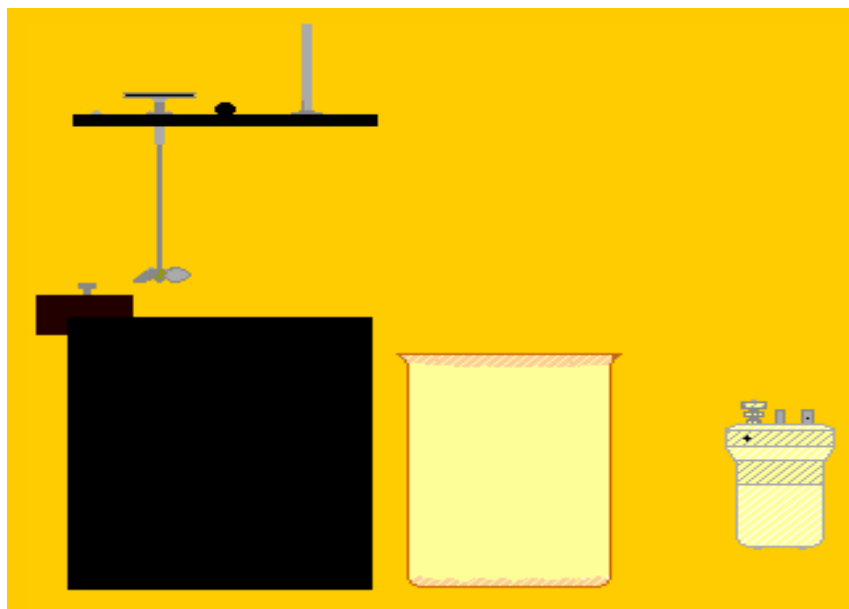
6. สายพาน (belt)



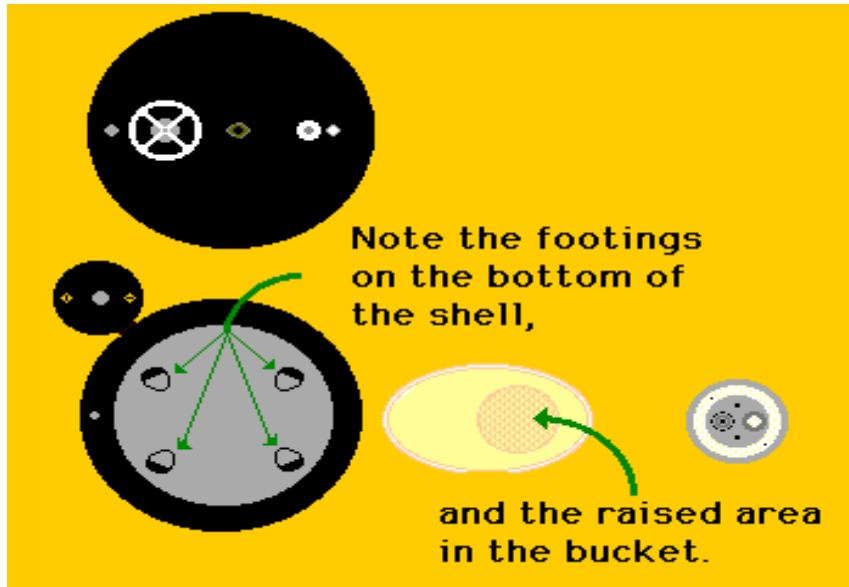
7. firing box



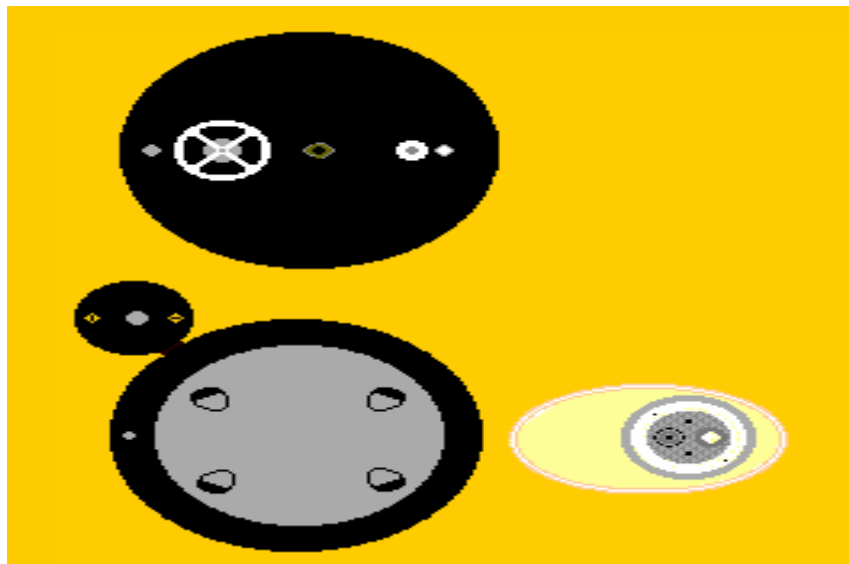
ส่วนประกอบทั้งหมดของ bomb calorimeter



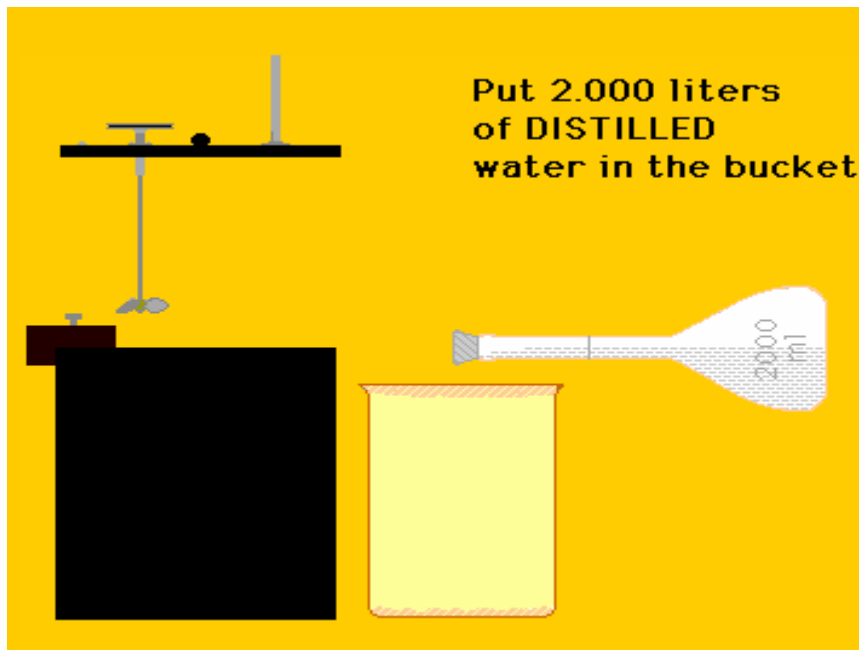
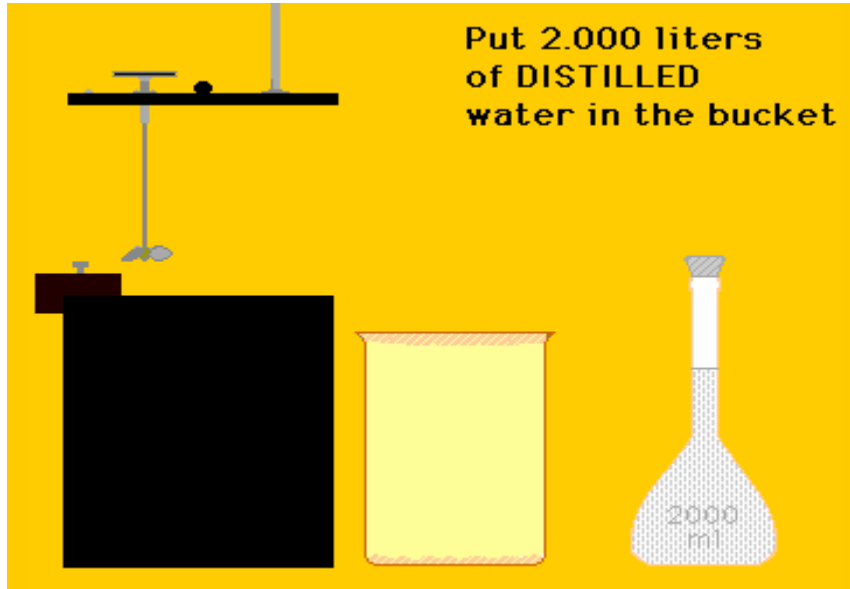
top view ของแต่ละส่วนของอุปกรณ์ของ bomb calorimeter



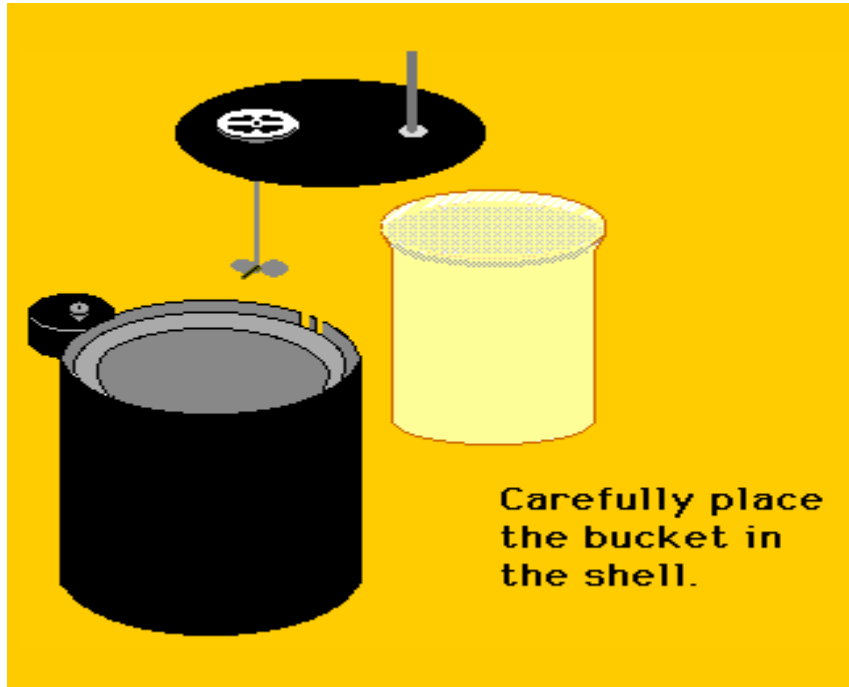
top view แสดงการบรรจุตัวอย่างลงใน bucket



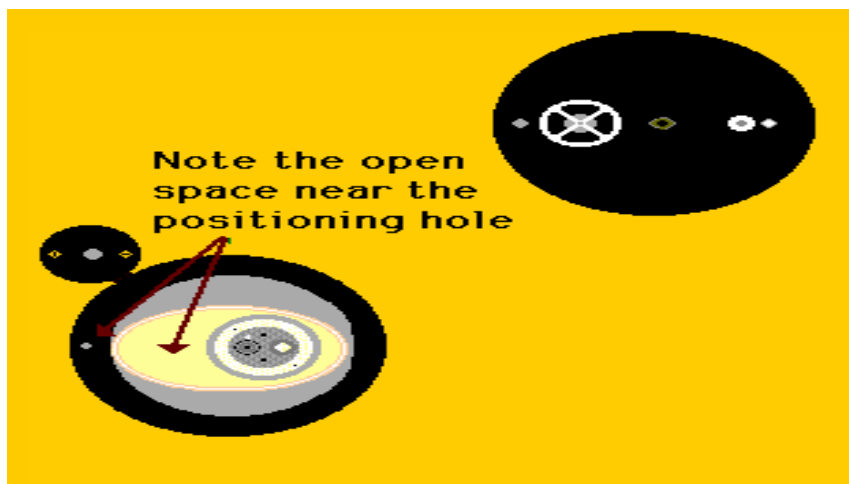
เติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 ลิตรลงไปใน bucket



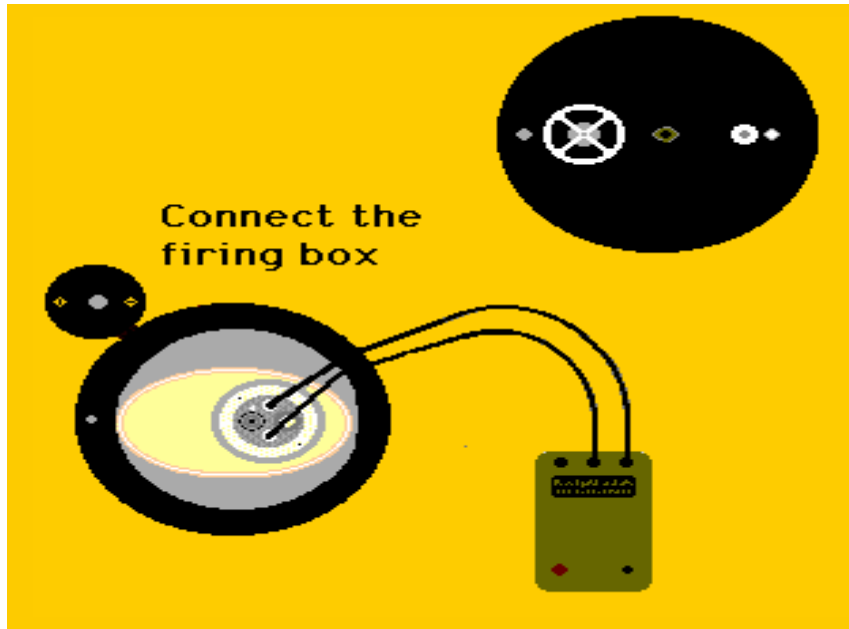
ใส่ bucket ลงใน bomb calorimeter



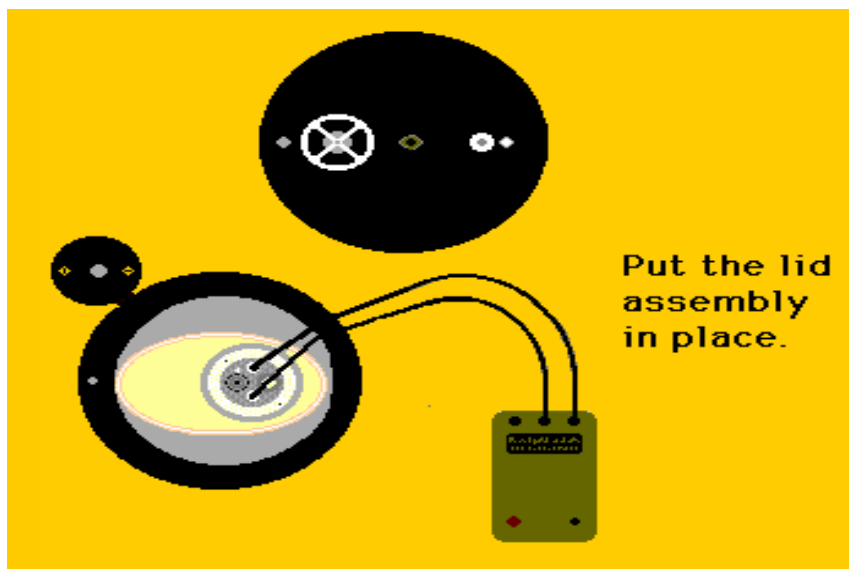
top view แสดงการบรรจุ bucket ลงใน shell
สังเกตเวลาใส่ให้ บริเวณ open space ให้ใกล้กับ positioning hole



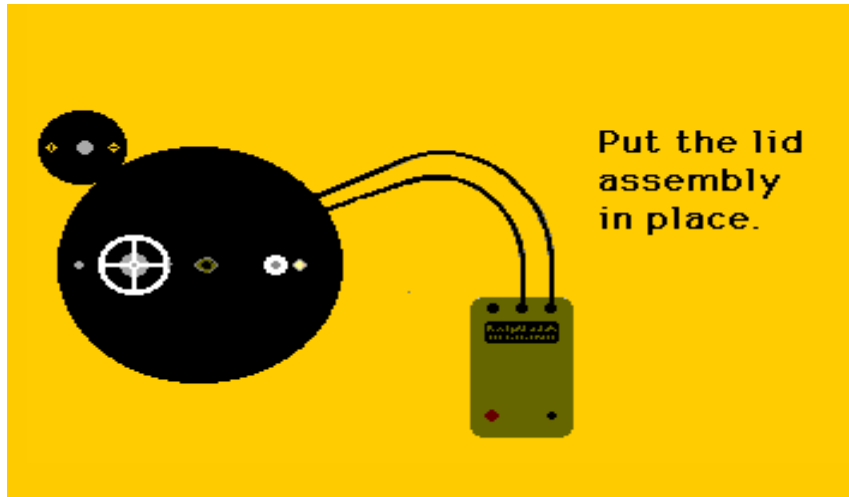
top view แสดงการต่อ firing box เข้ากับเครื่อง



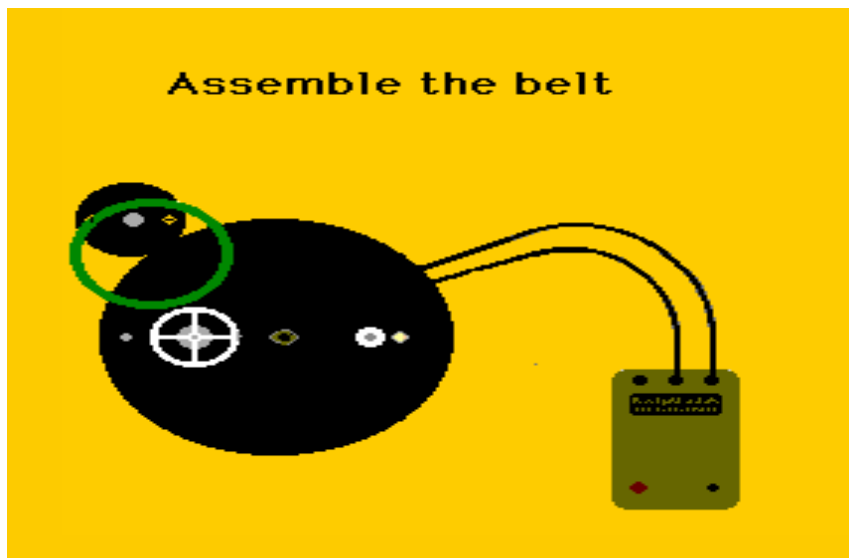
top view แสดงการต่อ lid assembly เข้าไปในเครื่อง



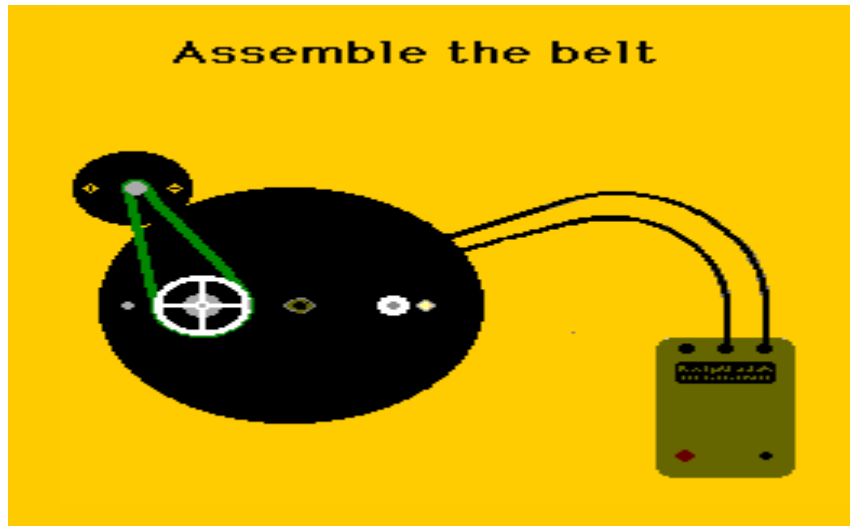
top view แสดงการต่อ lid assembly เข้าไปในเครื่อง



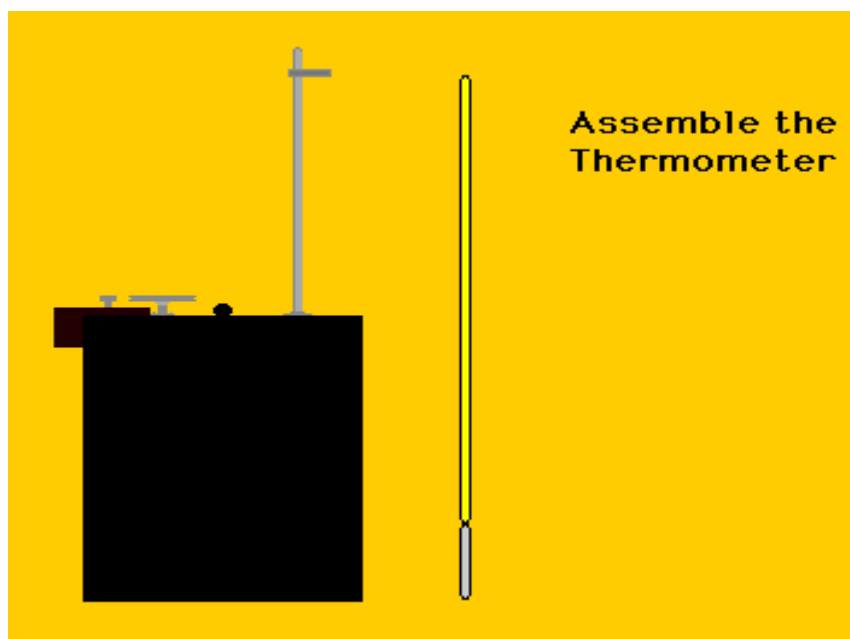
top view แสดงการต่อสายพานเข้ากับเครื่อง



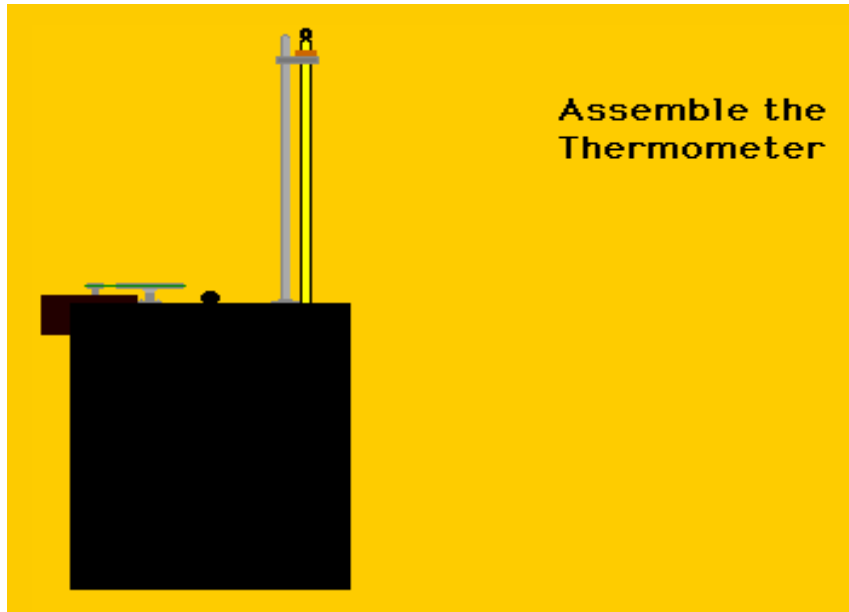
top view แสดงการต่อสายพานเข้ากับเครื่อง



การใส่เทอร์มิเตอร์ในเครื่อง



การใส่เทอร์โมมิเตอร์ในเครื่อง

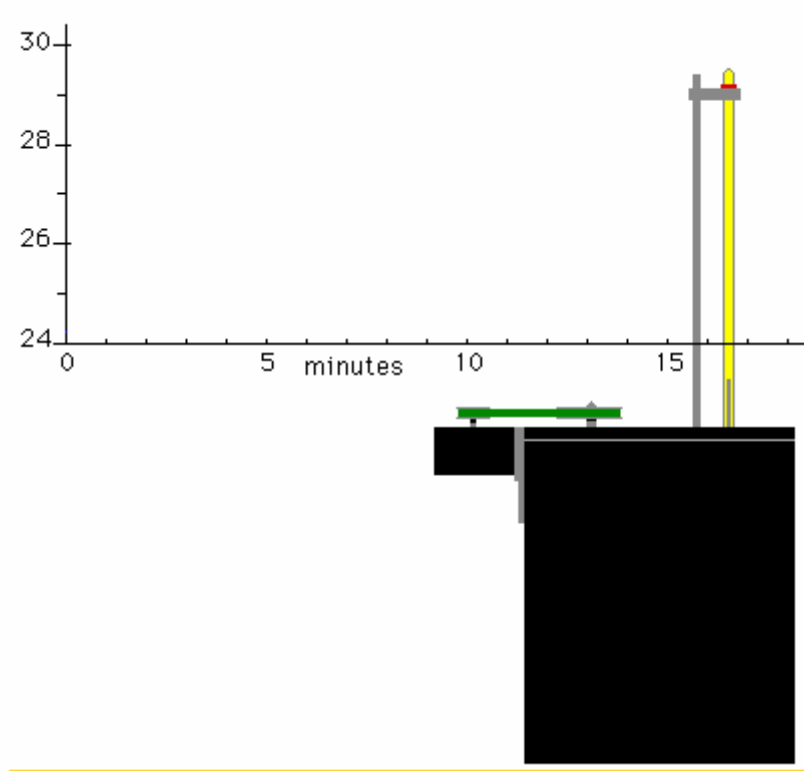


เปิดอุปกรณ์ที่ใช้ในการกวนให้ทำงาน

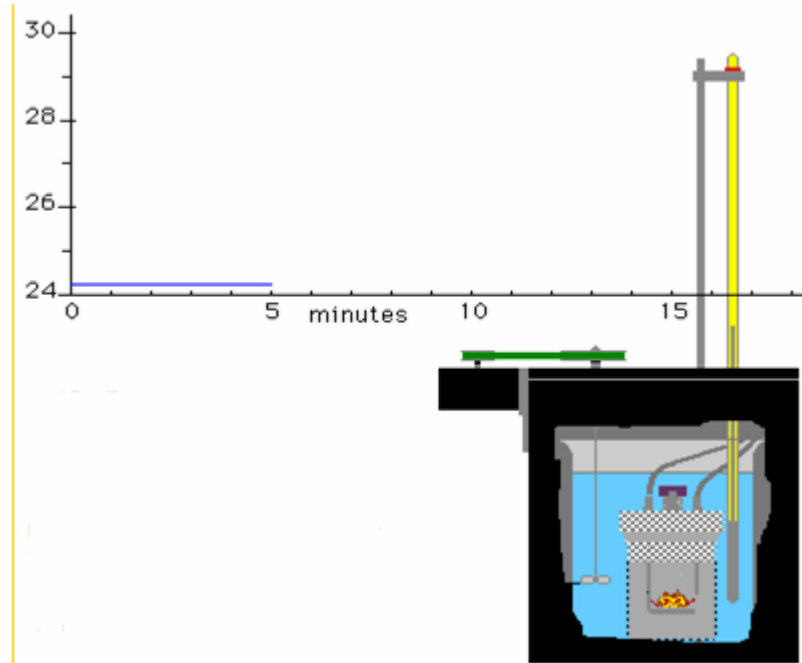


การทำงานของโปรแกรมภายในเครื่อง Bomb calorimeter

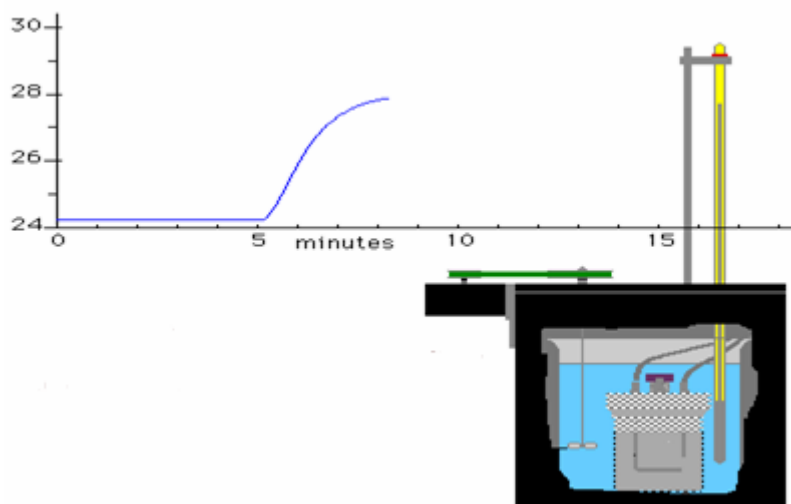
เมื่อเริ่มการทำงานของโปรแกรมภายในเครื่องจะทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
ทุกๆ 30 วินาที

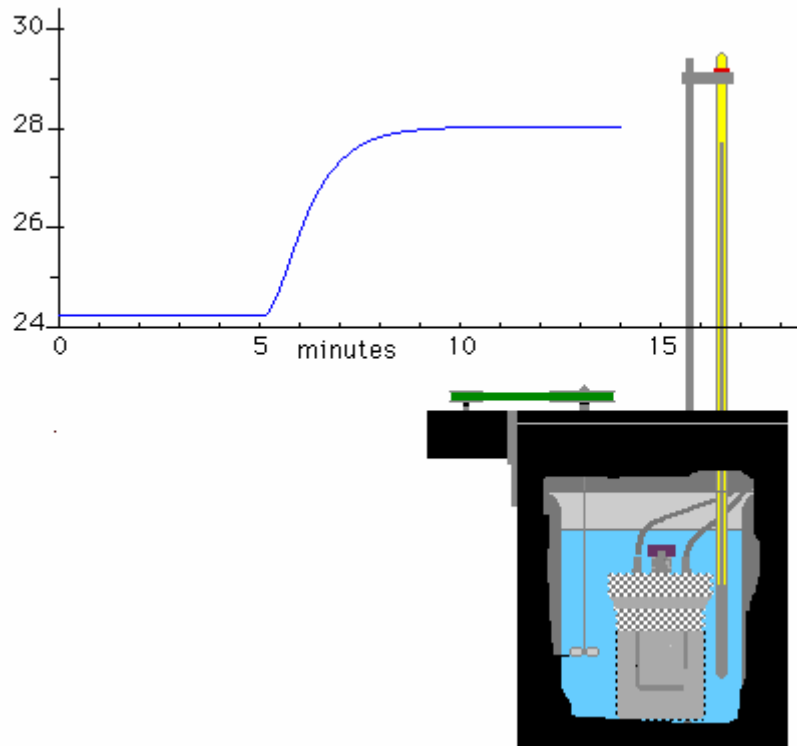


อุณหภูมิจะคงที่อย่างน้อย 5 นาที จากนั้นกดปุ่ม ignition button

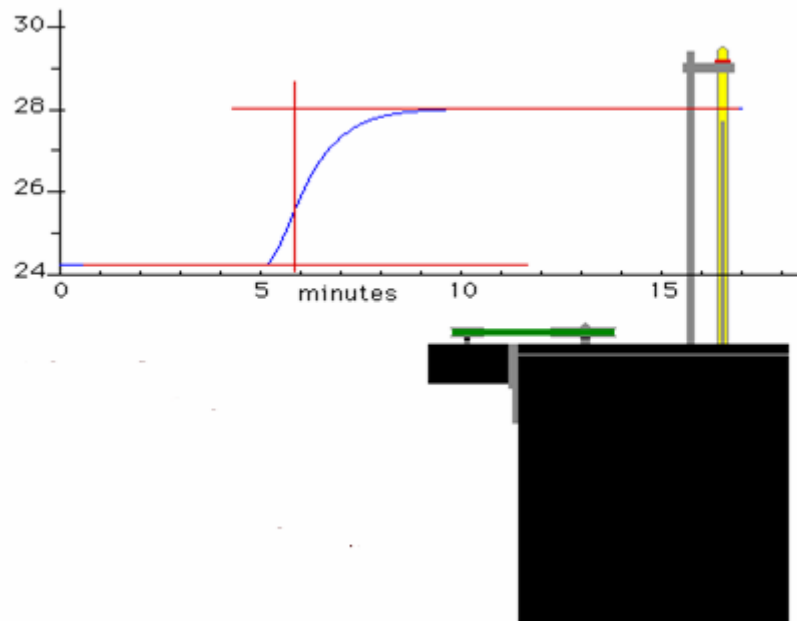


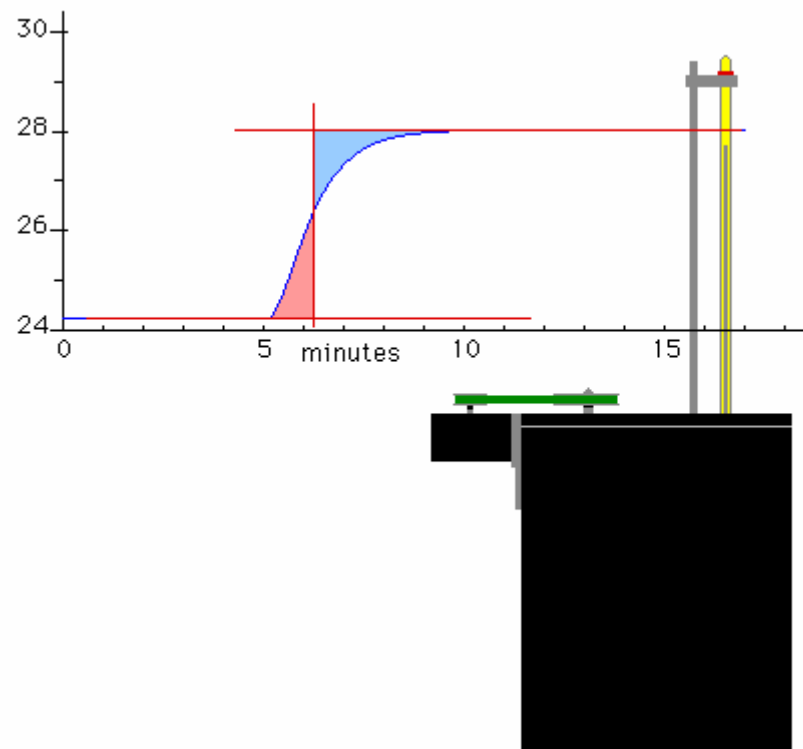
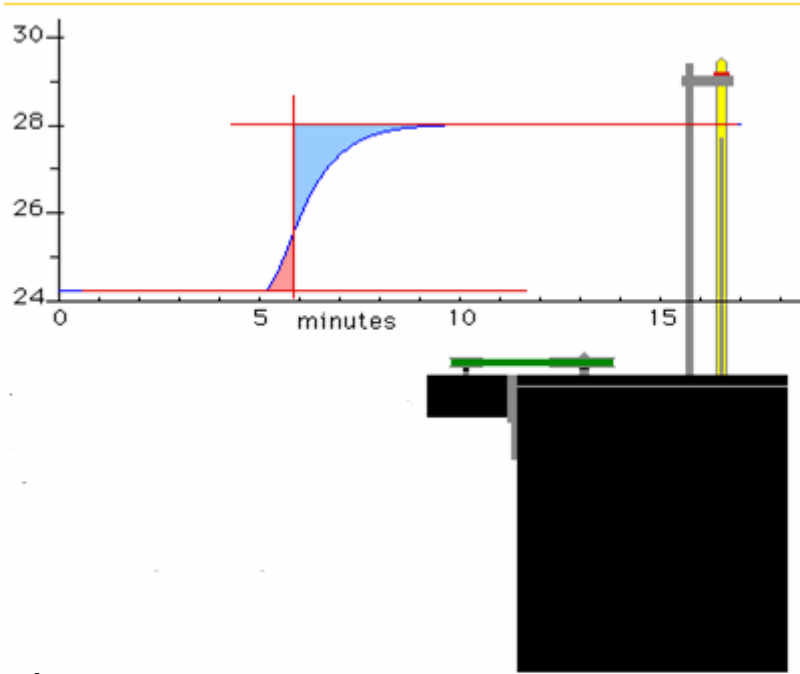
เมื่ออัตราการเพิ่มของอุณหภูมิลดลง โปรแกรมภายในเครื่องจะอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตลอดๆ 1 นาที จนกระทั่งอุณหภูมิตคงที่อย่างน้อย 5 นาที



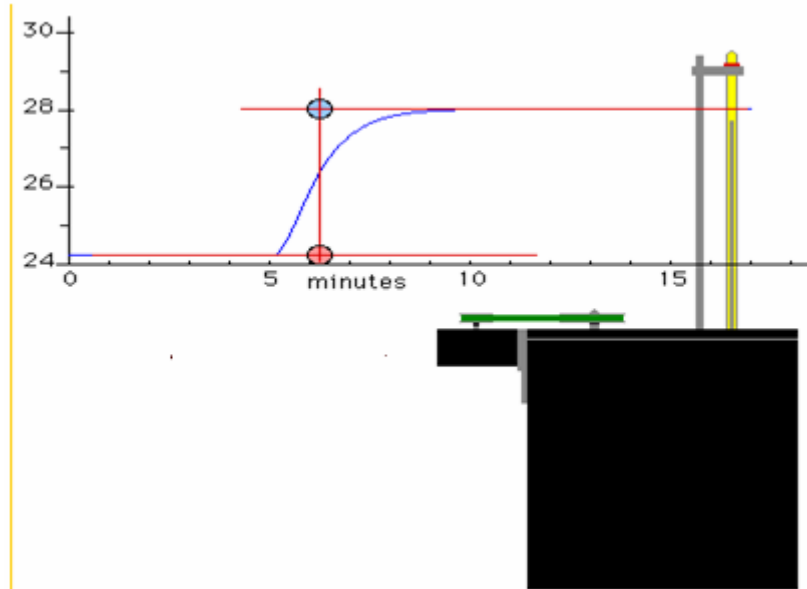


โปรแกรมในเครื่องจะทำการ extrapolated pre-fire line forward และ post-fire line backward และ หาดำแหน่ง vertical line ที่เป็นจุดแบ่งพื้นที่ทั้งสองส่วนให้เท่ากัน

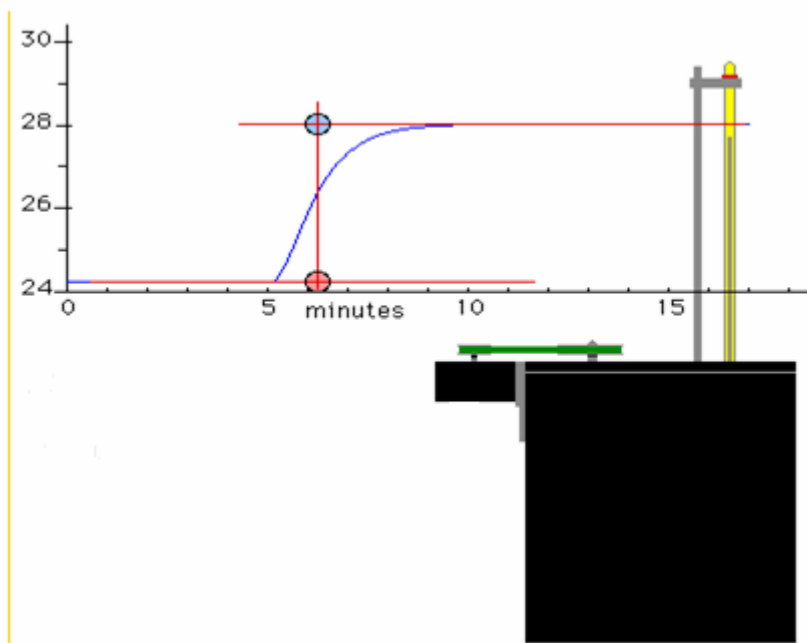




จากนั้นโปรแกรมภายในเครื่องจะทำการหาเวลาที่ใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิ (ΔT)



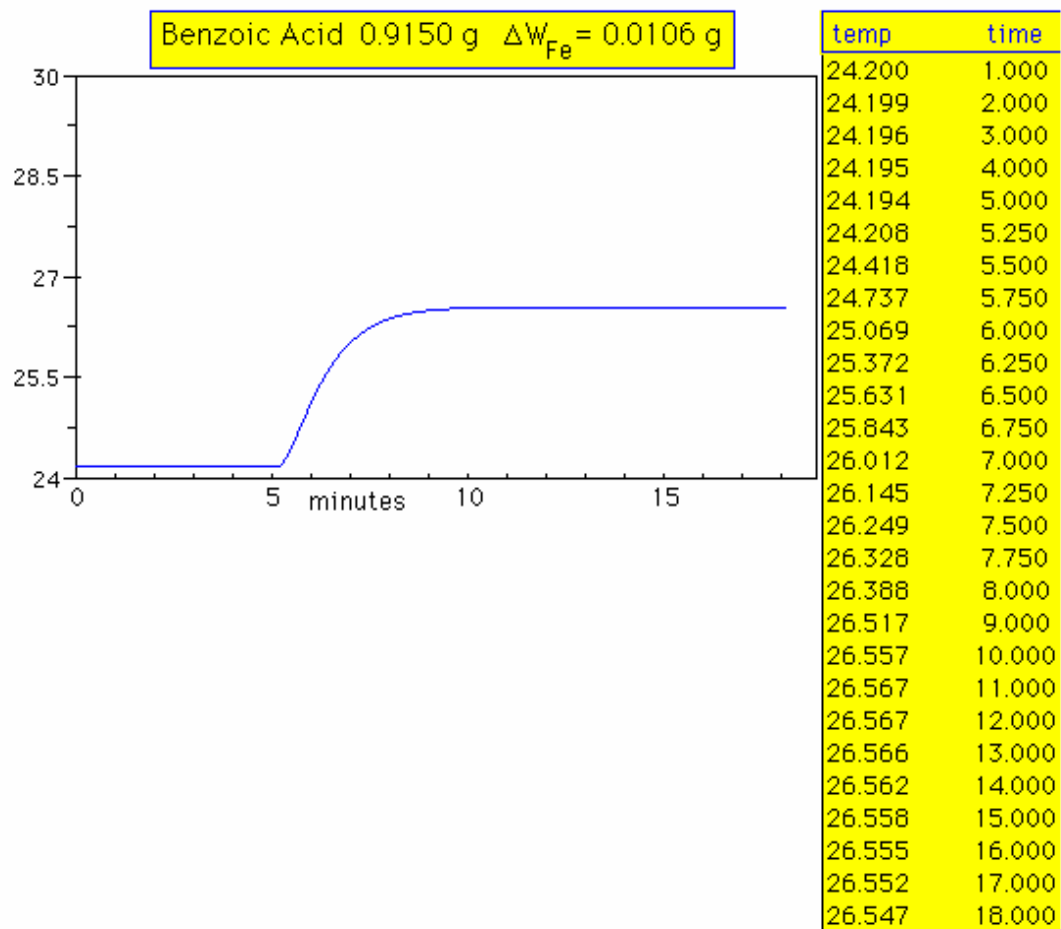
ในการหาค่าพลังงานในอาหารนั้นจะเริ่มจากการหาค่า ΔT โดยใช้ benzoic acid เป็นสารมาตรฐานเพื่อหาค่า energy equivalent ของเครื่องมือ จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่ต้องการหาค่าพลังงานมาเผาไหม้เพื่อหา heat of combustion



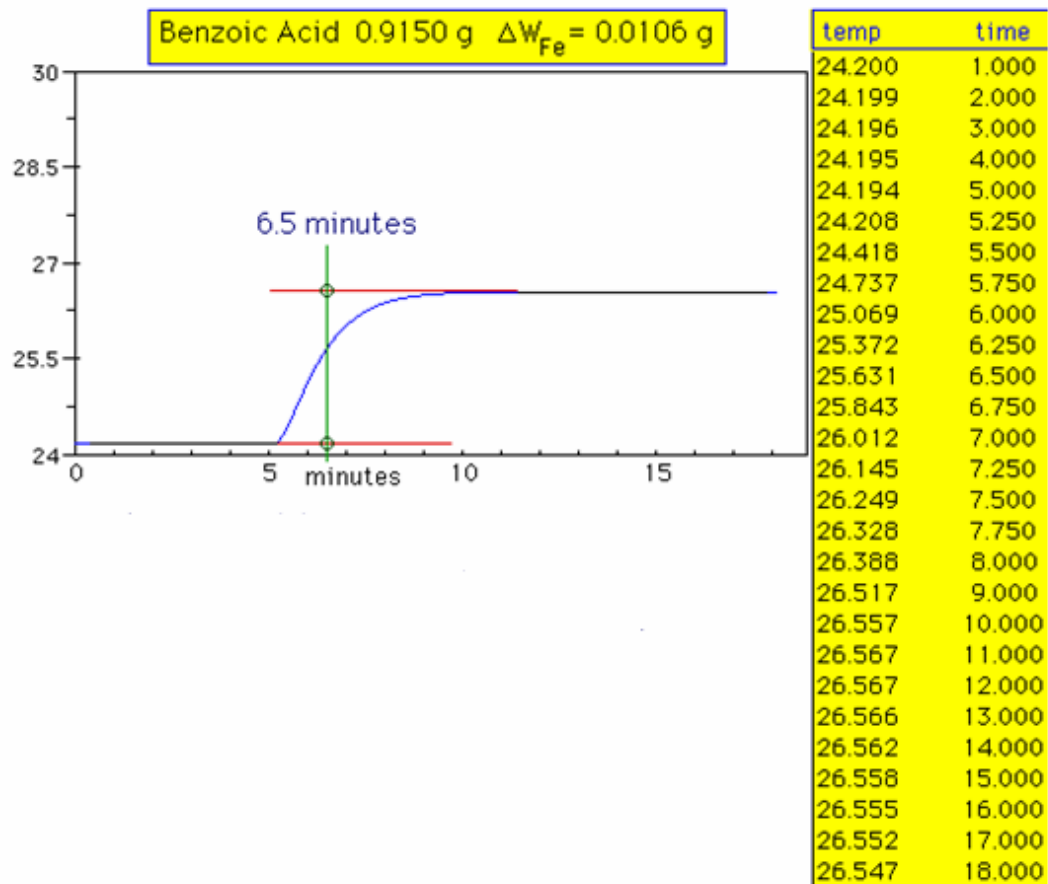
ตัวอย่างการคำนวณ

ข้อมูลที่ได้จากการใช้สารมาตรฐาน benzoic acid หนัก 0.9150 กรัม น้ำหนักของลวดก่อนการเผาไหม้และหลังการเผาไหม้เท่ากับ 0.0217 และ 0.0111 ตามลำดับ ข้อมูลของการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิและเวลาดังแสดงในคอลัมน์ด้านขวามือ

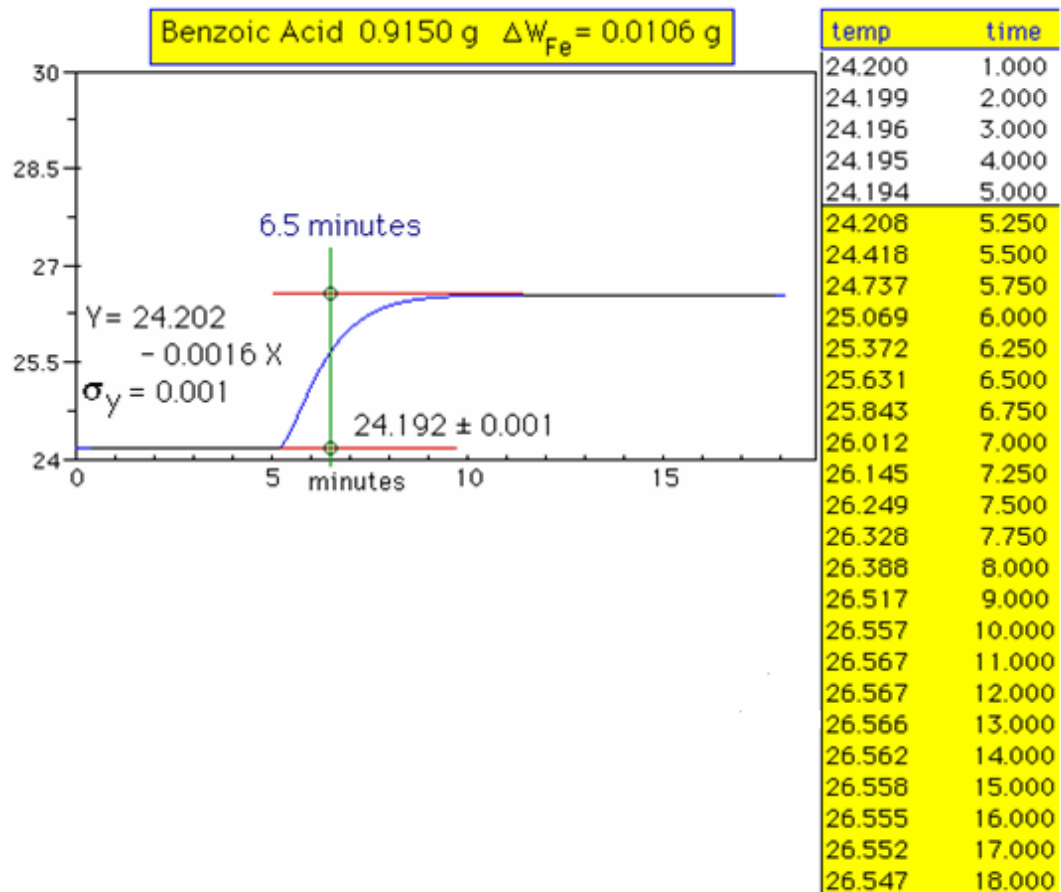
sample	temp	time
benzoic acid	24.200	1.000
	24.199	2.000
sample weight	24.196	3.000
0.9150	24.195	4.000
wire weight	24.194	5.000
0.0217	24.208	5.250
wire after	24.418	5.500
0.0111	24.737	5.750
	25.069	6.000
	25.372	6.250
	25.631	6.500
	25.843	6.750
	26.012	7.000
	26.145	7.250
	26.249	7.500
	26.328	7.750
	26.388	8.000
	26.517	9.000
	26.557	10.000
	26.567	11.000
	26.567	12.000
	26.566	13.000
	26.562	14.000
	26.558	15.000
	26.555	16.000
	26.552	17.000
	26.547	18.000



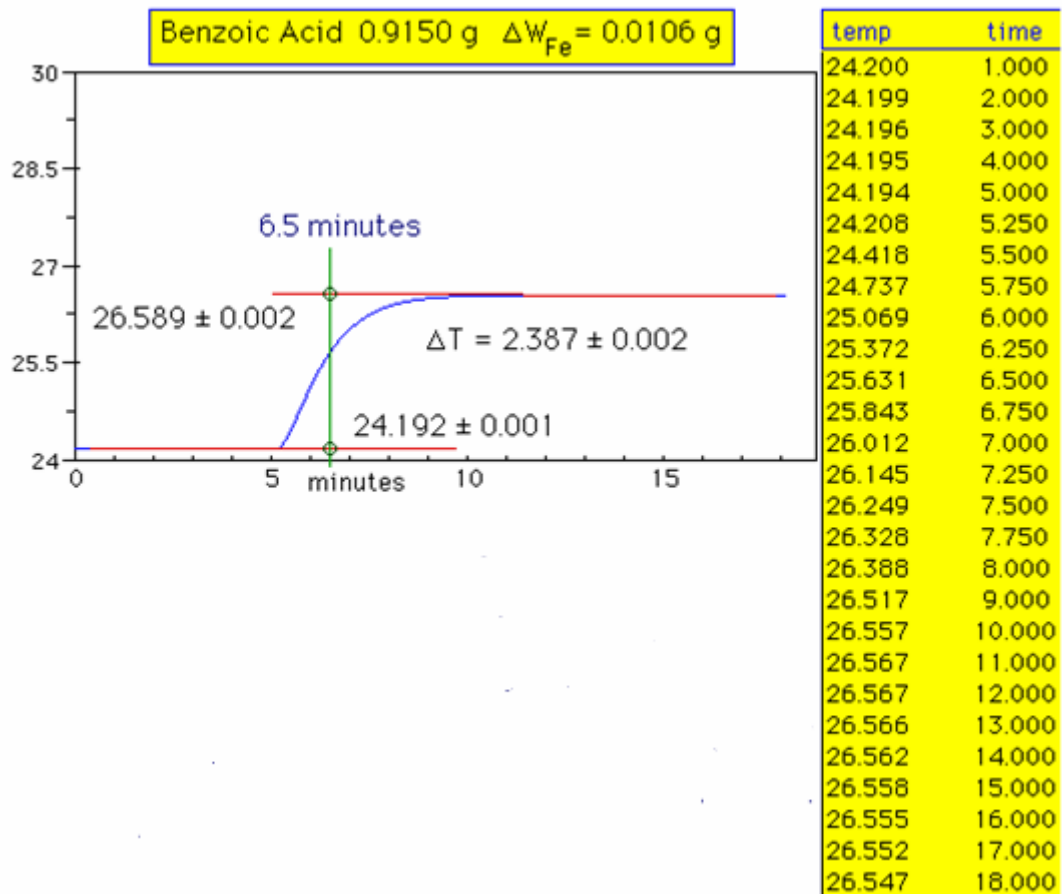
โปรแกรมในเครื่องจะทำการ extrapolate pre-fire line forward และ post-fire line backward หา cross-over ของเวลา

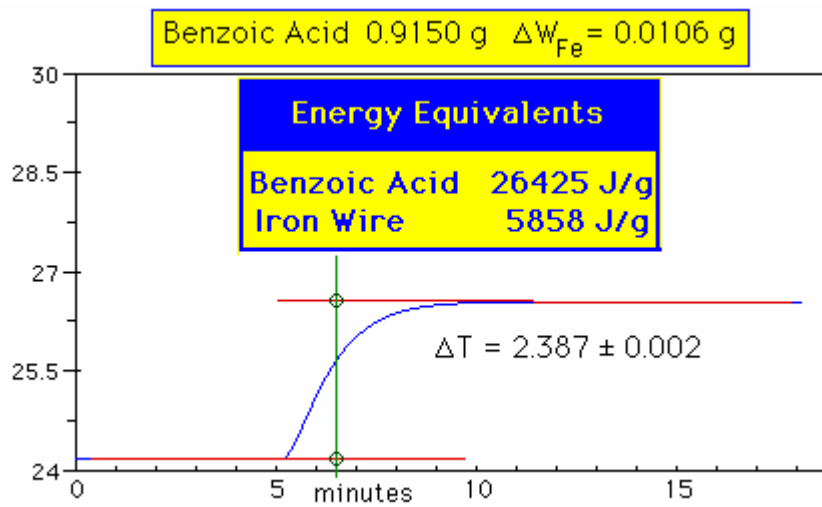


จากนั้นโปรแกรมในเครื่องจะทำการหา linear regression ของ pre-fire data เพื่อให้ได้สมการ เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิที่จุด cross-over



จากนั้นจึงหา linear regression ของ post-fire data เพื่อให้ได้สมการเพื่อ
 คำนวณหาอุณหภูมิที่จุด cross-over





คำนวณหา heat capacity equivalent ของ Bomb calorimeter

$$\text{พลังงานที่ปลดปล่อย} = (26425)(0.9150) + (5858)(0.0106)$$

$$= 24179 + 62$$

$$= 24241 \text{ J}$$

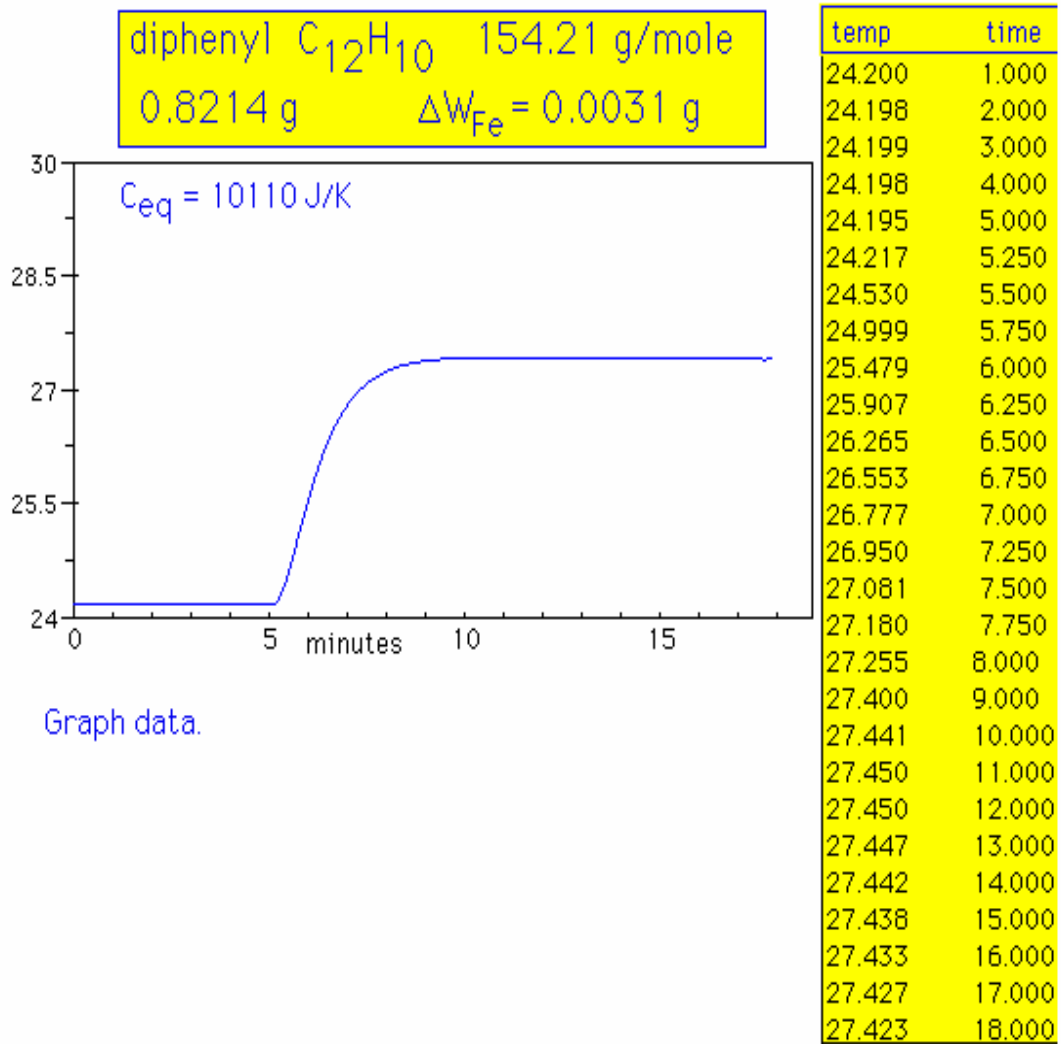
$$C_{eq} = 24241 / 2.387 = 10110 \pm 10 \text{ J/K}$$

ตัวอย่างการหาค่า heat of combustion ของ diphenyl

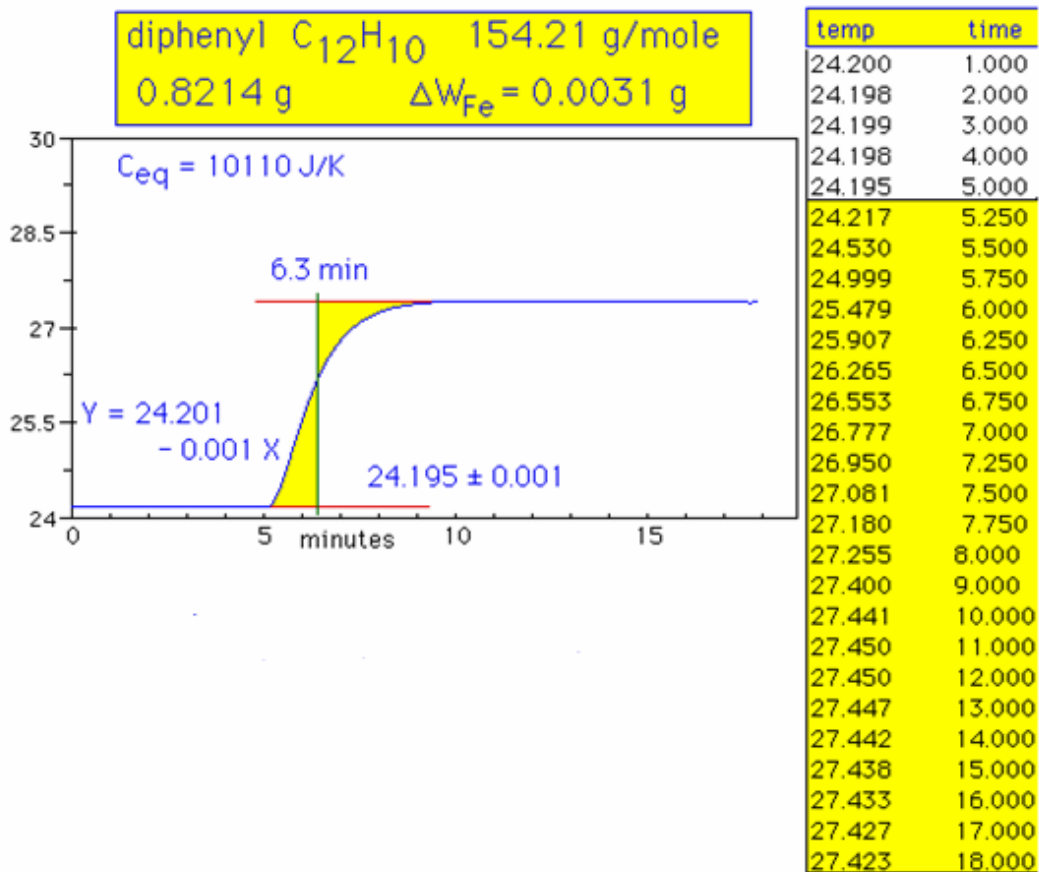
Select a Sample to Burn		
Benzoic Acid	$C_7H_6O_2$	122.11
Stearic Acid	$C_{18}H_{36}O_2$	284.47
Palmitic Acid	$C_{16}H_{32}O_2$	256.42
Myristic Acid	$C_{14}H_{28}O_2$	228.36
Lauric Acid	$C_{12}H_{24}O_2$	200.31
Capric Acid	$C_{10}H_{20}O_2$	172.26
Fumaric Acid	$C_4H_4O_4$	116.05
Maleic Acid	$C_4H_4O_4$	116.05
Maleic Anhydride	$C_4H_2O_3$	98.04
Naphthalene	$C_{10}H_8$	128.17
Benzil	$C_{14}H_{10}O_2$	210.22
Diphenyl	$C_{12}H_{10}$	154.21
Decane(liq)	$C_{10}H_{22}$	142.28
Eicosane	$C_{20}H_{42}$	282.56
α -D-Galactose	$C_6H_{12}O_6$	180.13
α -D-Glucose	$C_6H_{12}O_6$	180.13
β -D-Fructose	$C_6H_{12}O_6$	180.13
Sucrose	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342.24
Unknown		

ทำการทดลองเหมือนกรณีของ benzoic acid

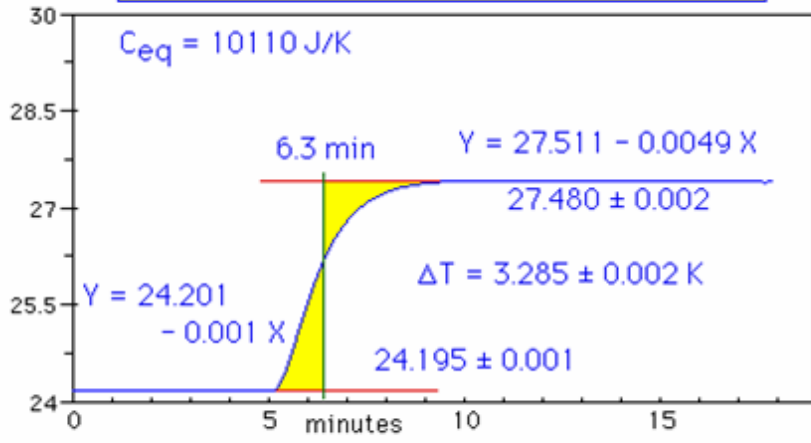
ตัวอย่างข้อมูลที่ได้



หาค่า ΔT เหมือนกรณีของ benzoic acid

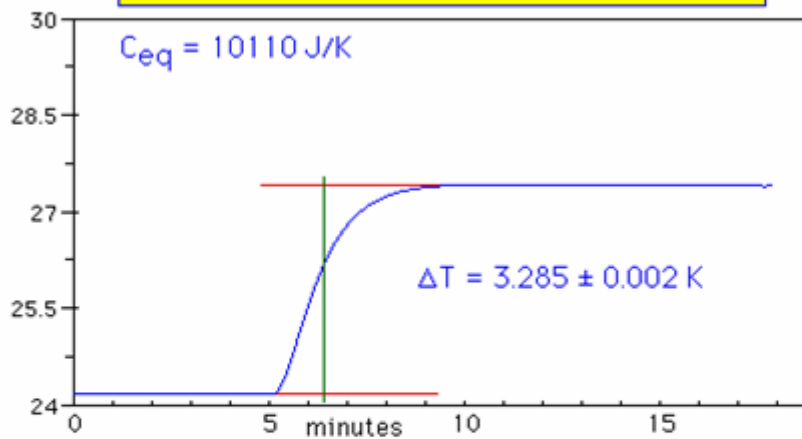


diphenyl $C_{12}H_{10}$ 154.21 g/mole
 0.8214 g $\Delta W_{Fe} = 0.0031$ g

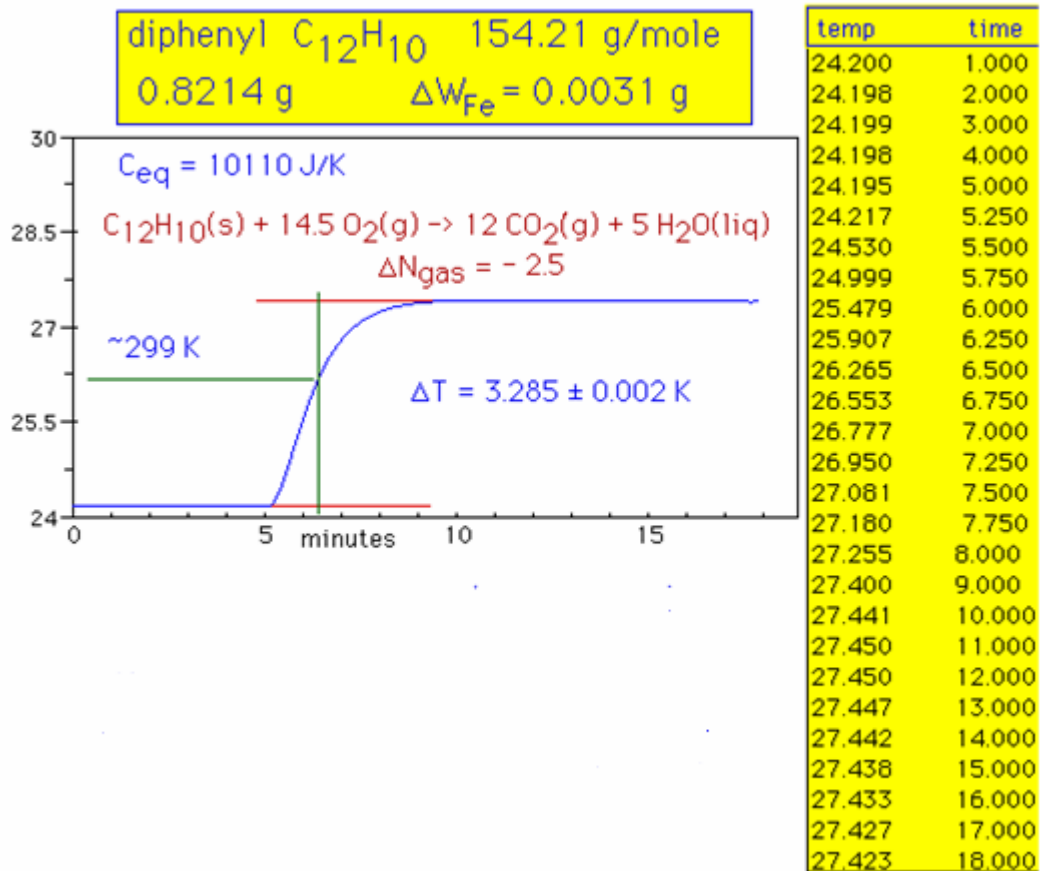


temp	time
24.200	1.000
24.198	2.000
24.199	3.000
24.198	4.000
24.195	5.000
24.217	5.250
24.530	5.500
24.999	5.750
25.479	6.000
25.907	6.250
26.265	6.500
26.553	6.750
26.777	7.000
26.950	7.250
27.081	7.500
27.180	7.750
27.255	8.000
27.400	9.000
27.441	10.000
27.450	11.000
27.450	12.000
27.447	13.000
27.442	14.000
27.438	15.000
27.433	16.000
27.427	17.000
27.423	18.000

diphenyl $C_{12}H_{10}$ 154.21 g/mole
 0.8214 g $\Delta W_{Fe} = 0.0031$ g



temp	time
24.200	1.000
24.198	2.000
24.199	3.000
24.198	4.000
24.195	5.000
24.217	5.250
24.530	5.500
24.999	5.750
25.479	6.000
25.907	6.250
26.265	6.500
26.553	6.750
26.777	7.000
26.950	7.250
27.081	7.500
27.180	7.750
27.255	8.000
27.400	9.000
27.441	10.000
27.450	11.000
27.450	12.000
27.447	13.000
27.442	14.000
27.438	15.000
27.433	16.000
27.427	17.000
27.423	18.000



พลังงานที่ปลดปล่อยออกมา = $-C_{eq}\Delta T = -(10110)(3.285)J$
 $= -33210 J$

Correction (wire) = $+(5858)(0.0031) = 18J$

$\Delta U = (-33210+18)/0.8214 = -40410 J/g$

$\Delta U = (154.21)(-40410) = -6232 kJ/mole$

$\Delta H = \Delta U + RT\Delta N_{gas} = -6232 + 8.314(299)(-2.5)10^{-3}$

ΔH (heat of combustion) = $-6238 kJ/mole$