บทที่ 4

การทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 แคลอรีมิเตอร์ ชนิดที่ใช้หลักการถ่ายโอนความร้อน (Heat flow) และมีกราไฟต์เป็นสารตัวอย่างที่ใช้ดูดกลืนรังสี (ดังรูปที่ 4.1)

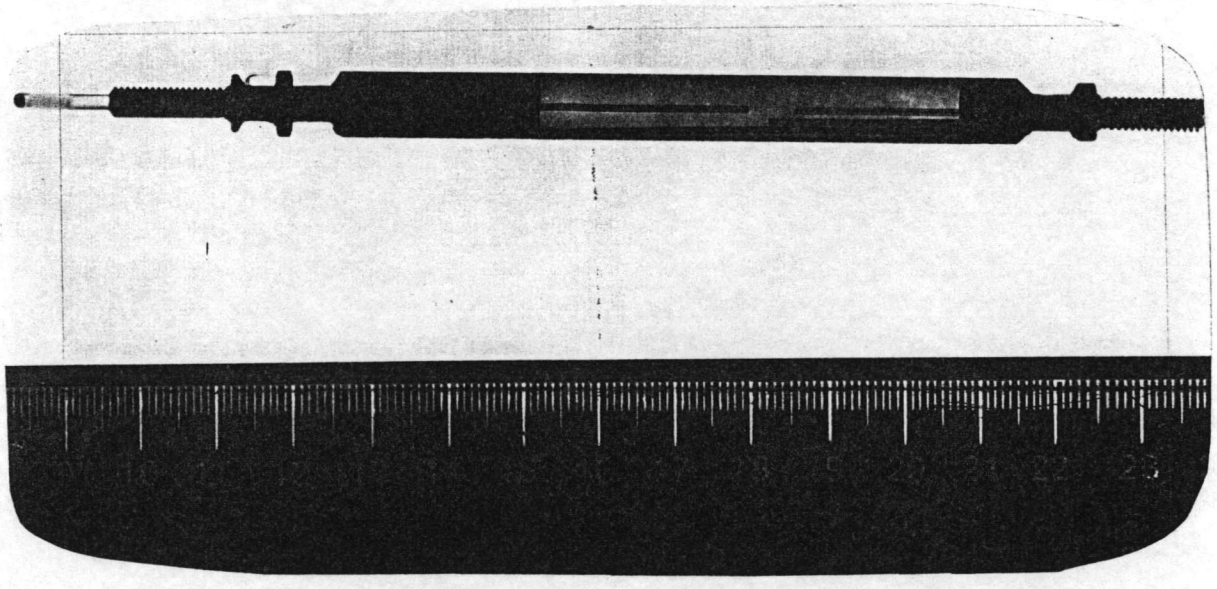
4.1.2 เทอร์มอมิเตอร์เชิงตัวเลข (Digital thermometer) (ดังรูปที่ 4.2)

4.1.3 เครื่องอังน้ำ (Water bath) (ดังรูปที่ 4.3)

4.1.4 เครื่องปฏิกรณ์ปรมาณูวิจัย ปปว-1/1(ดังรายละเอียดที่แนบในภาคผนวก ก.)

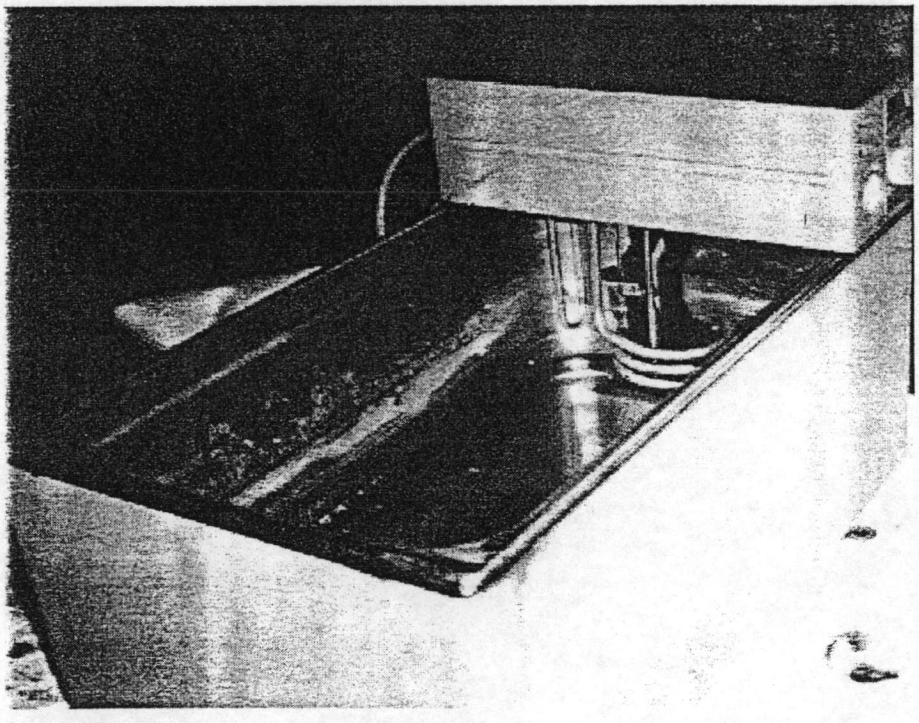
4.1.4.1 ท่ออาบรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์ (ดังรูปที่ 4.4)

4.1.4.2 ท่ออาบรังสีนอกแกนเครื่องปฏิกรณ์ (ดังรูปที่ 4.5)

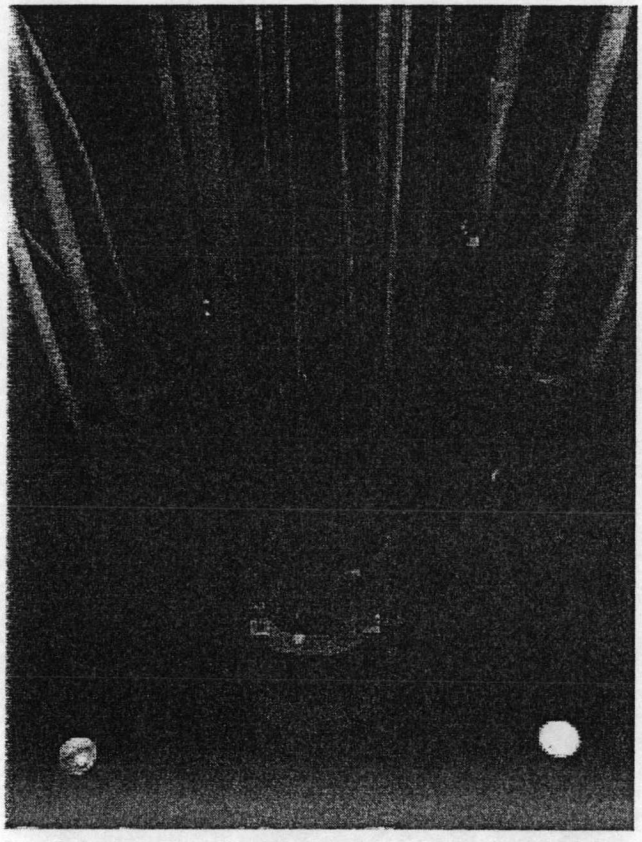


รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างภายในของ แคลอรีมิเตอร์ชนิดที่ใช้หลักการถ่ายโอนความร้อน (ภาพถ่ายโดยวิธีเรดิโอกราฟฟี)

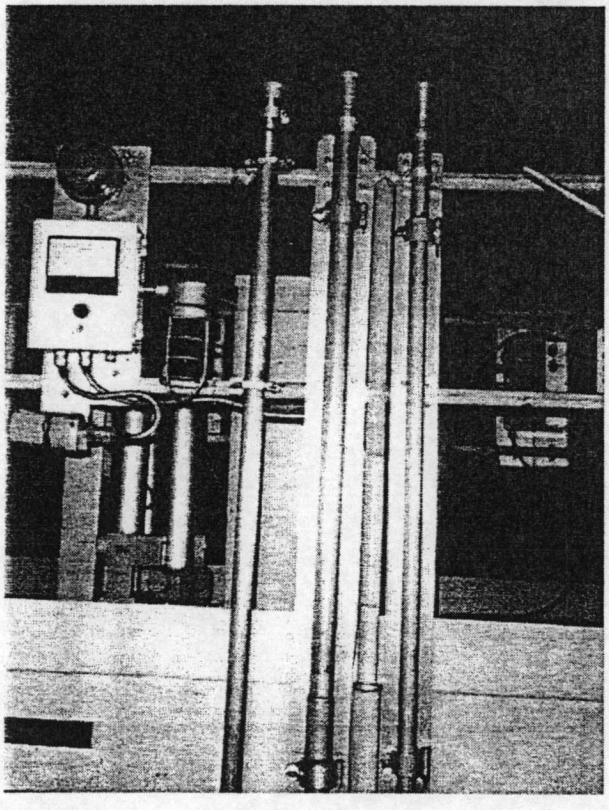
รูปที่ 4.2 เทอร์มอมิเตอร์เชิงตัวเลข



รูปที่ 4.3 เครื่องอังน้ำ



รูปที่ 4.4 ท่ออาบรังสีในแกนเครื่องปฏิกรณ์



รูปที่ 4.5 ท่ออาบรังสีนอกแกนเครื่องปฏิกรณ์

4.2 การดำเนินการทดลอง

4.2.1 การปรับเทียบเพื่อหาค่า Time constant ของแคลอรีมิเตอร์

สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบแคลอรีมิเตอร์ก่อนที่จะนำไปใช้งานจริงนั้น สิ่งหนึ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกก็คือ ค่าความต้านทานของลวดเทอร์มอคัปเปิ้ล ส่วนที่สองก็คือการตรวจสอบค่า Time constant ว่ามีค่าถูกต้องตามใบรับรองการปรับเทียบที่มาพร้อมกับแคลอรีมิเตอร์ ในการทดสอบเบื้องต้นได้ทำการทดสอบค่าความต้านทานที่อยู่ในสายเทอร์มอคัปเปิ้ล พบว่ามีค่าตรงตามที่ได้แสดงในใบรับรอง(ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค) สำหรับการทดสอบขั้นต่อไปที่ได้ทำนั้นคือ การทดสอบเพื่อหาค่า Time constant โดยได้เลือกใช้วิธีการปรับเทียบแบบ Hot and cold bath วิธีการตรวจสอบเพื่อหาค่า Time constant ของแคลอรีมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ

4.2.1.1 Electrical heating method

ทำโดยการผ่านกระแสเข้าไปยังขดลวดความร้อน (Heating element) จนทำให้สารตัวอย่างซึ่งก็คือกราไฟต์ในแคลอรีมิเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น นำค่าของความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างเทอร์มอคัปเปิ้ลที่อยู่ภายในและเทอร์มอคัปเปิ้ลที่อยู่ภายนอกกับค่าของเวลา มาพลอตลงบนกระดาษกราฟแบบกึ่งล็อก (semi-log)โดยให้ค่าของความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นค่าในแกน Y และค่าของเวลาเป็นค่าในแกน X ซึ่งจะได้รูปกราฟออกมาเป็นเส้นตรง และการหาค่า time constant สามารถหาได้จากช่วงเวลาที่ค่า Log ของความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าลดลงจากค่าสูงสุดไปเป็น 1/e

4.2.1.2 Hot and Cold bath method

เป็นอีกวิธีหนึ่งที่นำมาใช้วัดค่า time constant ของแคลอรีมิเตอร์ วิธีนี้ทำได้โดย นำแคลอรีมิเตอร์วางลงในเครื่องอังน้ำร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิเข้าสู่สภาวะสมดุล จึงนำไปวางลงในเครื่องอังน้ำเย็น จากนั้นจึงหาค่า time constant โดยใช้วิธีพลอตกราฟเช่นเดียวกับที่ใช้ในหัวข้อที่ 4.2.1.1

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเทอร์มอมิเตอร์เชิงตัวเลข ไปต่อเข้ากับแคลอรีมิเตอร์ รอจนกระทั่งอุณหภูมิของแคลอรีมิเตอร์ทั้งภายในและภายนอกคงที่

2. นำแคลอรีมิเตอร์เข้าไปวางในเครื่องอังน้ำร้อน ในการทดลองใช้ 50°C เริ่มบันทึกค่าของอุณหภูมิเมื่อเริ่มนำเข้าไปวางในเครื่องอังน้ำร้อน

3. รอจนกระทั่งอุณหภูมิของแคลอรีมิเตอร์เข้าสู่สภาวะสมดุล

4. จากนั้นนำแคลอรีมิเตอร์ไปไว้ในเครื่องอังน้ำร้อน ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องอังน้ำร้อนอันแรก ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ 100°C โดยในการทดลองนำแคลอรีมิเตอร์จุ่มลงในเครื่องอังน้ำร้อน 100°C ที่เวลาต่างกัน

5. จากนั้นนำกลับมาวางไว้ในเครื่องอังน้ำเย็น ที่อุณหภูมิ 50°C รอจนกระทั่งอุณหภูมิคงที่

6. นำค่าที่บันทึกในช่วงที่เริ่มนำเอาแคลอรีมิเตอร์ไปวางในเครื่องอังน้ำเย็น มาพล็อตบนกราฟกึ่งล็อก (semi-log) โดยให้แกน Y เป็นค่าของผลต่างของอุณหภูมิ และแกน X เป็นค่าของเวลา จะสามารถหาค่า time constant ในช่วงที่ค่าของ Log มีค่าลดลงจากค่าสูงสุดไปเป็น 1/e

4.2.2 การทดลองหาค่าความร้อนสะสมในท่ออาบรังสีของเครื่อง ปปว-1/1

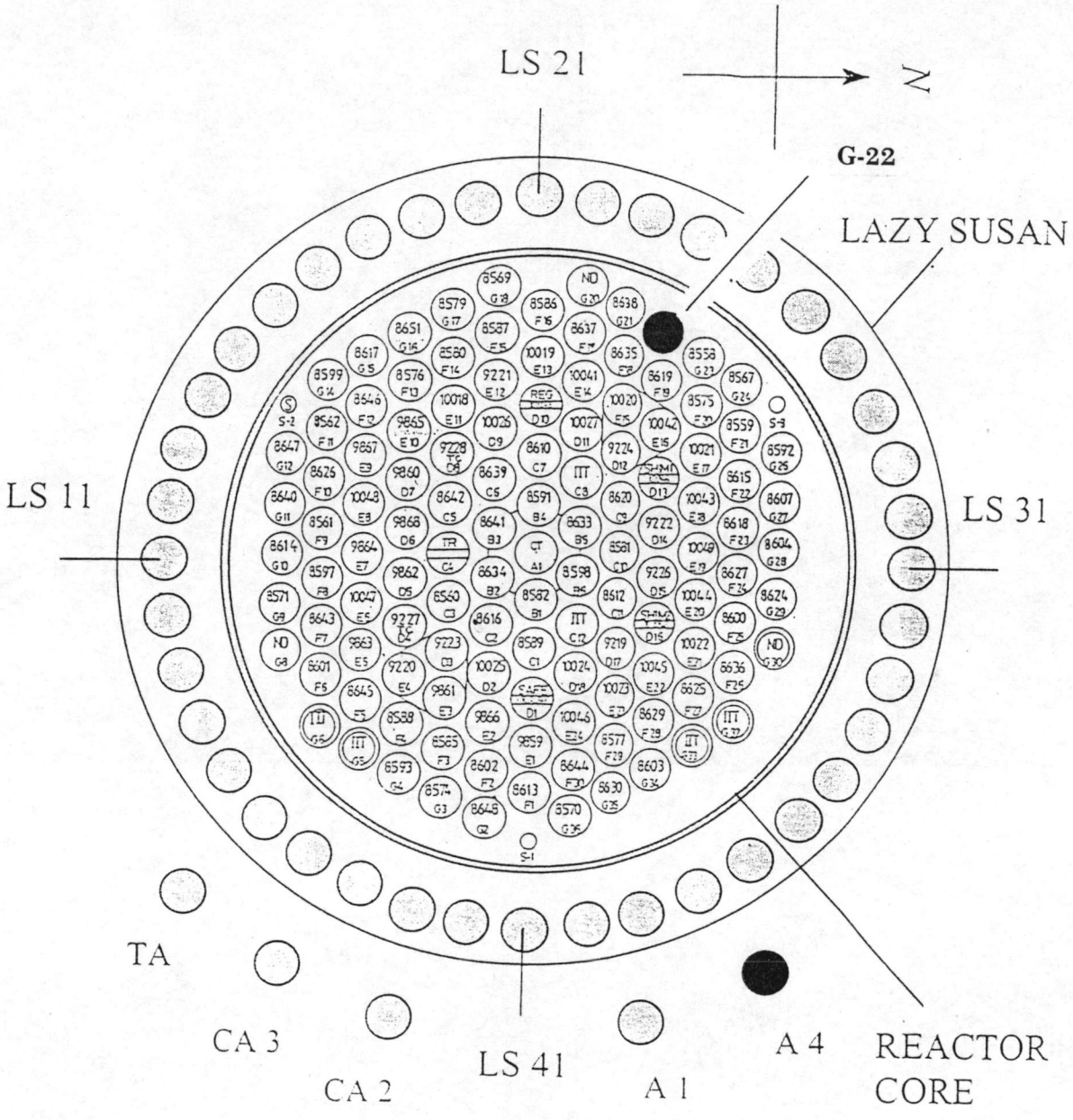
การดำเนินงานวิจัยนี้คือ นำแคลอรีมิเตอร์หย่อนลงไปในท่ออาบรังสีที่ใช้ลม (G-22) ซึ่งเป็นท่อที่อยู่ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์ฯ และเป็นท่อแห้ง (Dry tube) ภายในท่อไม่มีน้ำเป็นตัวระบายความร้อน แต่ภายนอกมีน้ำล้อมรอบ อันเป็นผลทำให้แคลอรีมิเตอร์ได้รับความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาของรังสีสูง นอกจากท่อ G-22 ยังได้นำแคลอรีมิเตอร์เข้าไปวัดความร้อนในท่อ A-4 ซึ่งเป็นท่อที่มีลักษณะเช่นเดียวกับท่อ G-22 แต่อยู่ภายนอกแกนเครื่องปฏิกรณ์ แสดงดังรูปที่ 4.6 ส่วนรายละเอียดพอสังเขปสำหรับท่อทั้งสองมีดังต่อไปนี้

1. ท่ออาบรังสีที่ใช้ระบบลม (G-22)

เป็นท่ออาบรังสีที่อยู่ภายในแกนเครื่อง ปปว-1/1ที่มีการนำระบบอัดอากาศมาใช้ในการส่งสารตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะพิเศษซึ่งทำจากพลาสติก เพื่อนำเข้าอาบรังสีและนำออกเมื่อสิ้นสุดการอาบรังสี ภายในท่อนี้ได้รับการปรับระดับเพื่อให้ตำแหน่งของตัวอย่างที่นำมาอาบรังสีตรงกับตำแหน่งกึ่งกลางของแท่งเชื้อเพลิง หรือตำแหน่งที่มีค่านิวตรอนฟลักซ์สูงสุด

2. ท่อ A-4

เป็นท่ออาบรังสีที่อยู่ภายนอกแกนเครื่องปฏิกรณ์ โดยทั่วไปได้มีการนำท่อนี้ไปใช้ในงานวิจัยต่างๆ ได้แก่



รูปที่ 4.6 แสดงตำแหน่งของท่ออาบรังสีภายในและภายนอกแกนเครื่อง ปปว-1/1

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำแคลอรีมิเตอร์มาต่อเข้ากับเทอร์มอมิเตอร์เชิงตัวเลข 2 เครื่อง โดยต่อเข้ากับสายเทอร์มอคัปเปิ้ลที่อยู่ภายในและภายนอก

2. จากนั้นนำแคลอรีมิเตอร์หย่อนลงไปในท่ออาบรังสี ซึ่งในการทดลองครั้งนี้เลือกใช้ท่อ G-22 ซึ่งเป็นท่อแห้งที่อยู่ภายในแกนเครื่องปฏิกรณ์เป็นท่อแห้งและใช้ระบบลม (Pneumatic system) ช่วยในการขนส่งสารตัวอย่างเพื่ออาบรังสี และท่อ A-4 ซึ่งเป็นท่อแห้งที่อยู่ภายนอกแกนเครื่องปฏิกรณ์ เช่นเดียวกับ G-22

3. เมื่อเปิดเครื่องเทอร์มอมิเตอร์เชิงตัวเลข เรียบร้อยแล้ว ตั้งทิ้งไว้สักครู่

4. รอจนกระทั่ง กำลังของเครื่องปฏิกรณ์มีค่าคงที่ 1200 กิโลวัตต์ เริ่มสังเกตุและบันทึกค่าอุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิ้ลที่อยู่ภายในและภายนอก เมื่อเริ่มเห็นว่ามีค่าคงที่แล้ว จากนั้น บันทึกผลการทดลอง

5.จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความร้อนสะสมของกราไฟต์

4.2.3 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนสะสมหรือค่าปริมาณรังสีดูดกลืนในท่ออาบรังสีที่ใช้ลม G-22 กับการเปลี่ยนกำลังของเครื่องปฏิกรณ์

สำหรับวัตถุประสงค์ของการทดลองที่ทำในครั้งนี้ ก็เพื่อศึกษาค่าปริมาณรังสีดูดกลืนในท่อ G-22 โดยแคลอรีมิเตอร์ ขณะเมื่อมีการเปลี่ยนกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ เพื่อทำการศึกษาว่าค่า ปริมาณรังสีดูดกลืนมีการแปรผันโดยตรงตามกำลังของเครื่องปฏิกรณ์ฯ หรือไม่ โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ค่ากำลังของเครื่องปฏิกรณ์ คือ 100 , 500 และ 1000 กิโลวัตต์ ตามลำดับ

4.2.4 การทดลองหาการกระจายของค่าความร้อนสะสมหรือค่าปริมาณรังสีดูดกลืนกับระยะทางที่ปรับเปลี่ยนไปของแคลอรีมิเตอร์ในท่ออาบรังสีที่ใช้ลม G-22 ตามแนวตั้ง ในขณะที่เครื่องปฏิกรณ์เดินที่กำลัง 1200 กิโลวัตต์

สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.2.2 แต่เปลี่ยนตำแหน่งของแคลอรีมิเตอร์จากตำแหน่งที่มีค่าฟลักซ์สูงสุดโดยการดึงแคลอรีมิเตอร์ขึ้นเป็นระยะทางครั้งละประมาณ 5 ซม. ทำการบันทึกผลการทดลองจนกระทั่งค่าอุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิ้ลไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทำการทดลองเช่นนี้จนได้ระยะทาง 40 ซม.

4.2.5 การคำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะและค่าความร้อนสะสมในกราไฟต์

4.2.5.1 สูตรที่ใช้คำนวณหาค่าความร้อนจำเพาะของกราไฟต์ [H.petitcolas,1988]

$$c(T_{\text{int}}) = 0.6 + (T_{\text{int}}) \times 3.3 \times 10^{-3} - (T_{\text{int}})^2 \times 2.9 \times 10^{-6} (J/g{\cdot}^{\circ}C) \qquad (4.1)$$

โดยที่

C = ค่าความร้อนจำเพาะของกราไฟต์ (J/g.°C)

T_{int} = เป็นค่าอุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิ้ลที่อยู่ภายในซึ่งหาได้เมื่อค่าของอุณหภูมิคงที่แล้ว

4.2.5.2 สูตรที่ใช้คำนวณหาค่าความร้อนสะสม [Institute,1972]

The thermodynamic balance equation

Deposited energy = heat rise in core + losses towards walls

$$Pdt = mcdT + \frac{T - T_o}{H} \times dt \qquad (4.2)$$

โดยที่

P = กำลังความร้อนที่สะสมในกราไฟต์(วัตต์)

m = มวลของกราไฟต์ (กรัม)

C = ความจุความร้อนจำเพาะ (จูลต่อกรัมต่อองศาเซลเซียส)

dT = อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (องศาเซลเซียส)

dt = เวลาที่ใช้ในการวัด (วินาที)

H = สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน

<u>การหาค่ากำลัง (p)</u>

1. **การให้ความร้อน (Heating)**

นำแคลอรีมิเตอร์เข้าไปวางไว้ในเครื่องปฏิกรณ์ฯ จนกระทั่งอุณหภูมิของแคลอรีมิเตอร์มีค่าเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ (T_o กลายเป็น T_e) จากสมการที่ (4.2) กลายเป็น

$$P = \frac{T_e - T_o}{H_e} \qquad (4.3)$$

2. **การทำให้เย็นลง (Cooling)**

ณ.ช่วงเวลาหนึ่งจากข้อ 1. ดึงแคลอรีมิเตอร์ออกจากตำแหน่งที่ทำการทดลอง (P=0)

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_e - T_o}{RMC} \qquad (4.4)$$

นั่นคือช่วงเวลาขณะที่แคลอรีมิเตอร์อยู่ในสภาวะสมดุลย์ เมื่อทำการดึงออก ณ.ช่วงเวลานั้นจึงถือว่าเป็นช่วงที่แคลอรีมิเตอร์อยู่ในสภาวะสมดุลย์ เมื่อทำการดึงออกสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_e = \frac{T_e - T_o}{R_e MC_e} \qquad (4.5)$$

ค่าของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปมีการเปลี่ยนแปลงแบบ exponential

$$T_e - T_o = (T_e - T_o)^{-1/T_o} \qquad (4.6)$$

$$\left(\frac{dT}{dt}\right)_e = \frac{T_e - T_o}{Time \quad cons\tan t} \qquad (4.7)$$

จากสมการ (4.4) และสมการ (4.6) จะได้

$$\text{Time constant} = R_e MC_e \qquad (4.8)$$

จากสมการ (4.2)

$$p = \frac{P}{m} = C_e \times \frac{T_e - T_o}{Time \quad cons\tan t} \qquad (4.9)$$

โดยที่ Time constant = 92.2 second เป็นค่าที่ได้จากการรับรองของผู้ผลิต (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค)

<u>ตัวอย่างที่ใช้ในการคำนวณ</u>

จากตารางที่ 5.1

อุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิ้ลภายใน = 166.05 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของเทอร์มอคัปเปิ้ลภายนอก = 150.5 องศาเซลเซียส

แทนค่าลงในสมการ (4.1)

$$C(166.05) = 0.6 + (166.05) \times 3.3 \times 10^3 - (166.05)^2 \times 2.9 \times 10^{-6}$$

$$= 1.07 \quad J/g.^{\circ}C$$

I17339497

จากนั้นนำค่าที่ได้แทนลงในสมการที่ (4.9)

$$p = \left[\frac{1.07 \times (166.05 - 150.5)}{92.2}\right]$$

$$= 648{,}445.12 \quad \text{Gy/hr}$$