

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การคาลิเบรทเทอร์โมมิเตอร์

สำหรับเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ใช้ Platinum Resistance thermometer ของบริษัท Matthey Printed Products Limited โดยทั่วไปการคาลิเบรทเทอร์โมมิเตอร์ อาจทำได้โดยการคาลิเบรทเทียบกับเทอร์โมมิเตอร์มาตรฐาน หรืออาจจะใช้วิธีที่เรียกว่า fixed-point Calibration ในการทดลองครั้งนี้ใช้การคาลิเบรทเทอร์โมมิเตอร์แบบ fixed-point Calibration เทียบกับอุณหภูมิมาตรฐานของสารบางอย่างที่ทราบค่าแน่นอนเช่นจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวที่บริสุทธิ์ จุดน้ำแข็งของน้ำ เป็นต้น

เมื่อคาลิเบรทอุณหภูมิที่จุดมาตรฐานเหล่านี้ได้แล้ว นำผลที่ได้มาเทียบกับอุณหภูมิที่วัดจาก Standard Germanium and Rhodium-Iron Thermometer (2)

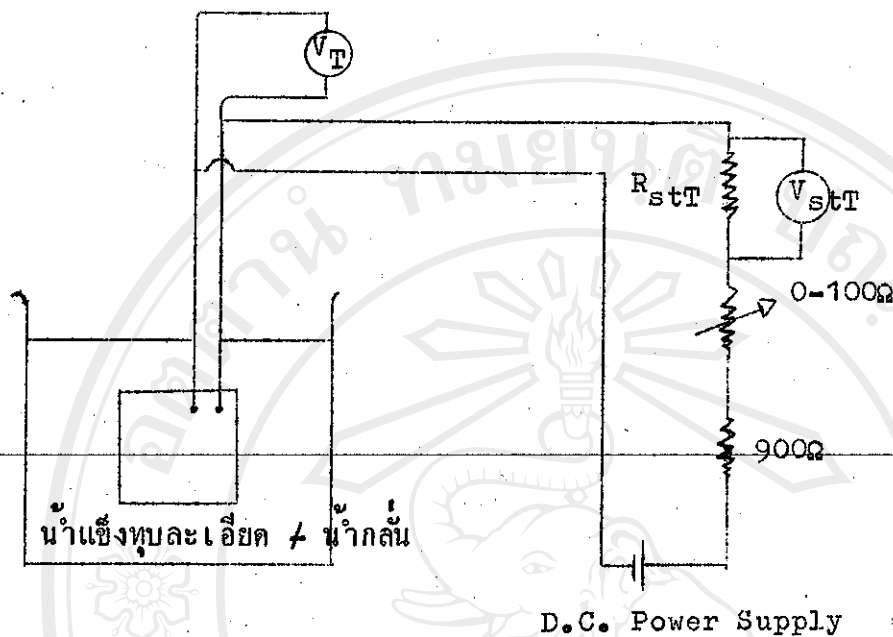
4.1.1 การคาลิเบรทเทียบกับจุดน้ำแข็ง

บรรจุน้ำแข็งที่หุบละเอียดลงในปิกลักษณะใหญ่ประมาณ $2/3$ ของความสูง แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป นำเพลตที่หุ้มเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงไป แล้วเติมน้ำแข็งที่หุบละเอียดจนเต็มปิกลักษณะจระไฟฟ้างรูป บันทึกค่าความต่างศักย์คร่อมเทอร์โมมิเตอร์ (V_T) ความต่างศักย์คร่อม $R_{stT}(V_{stT})$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

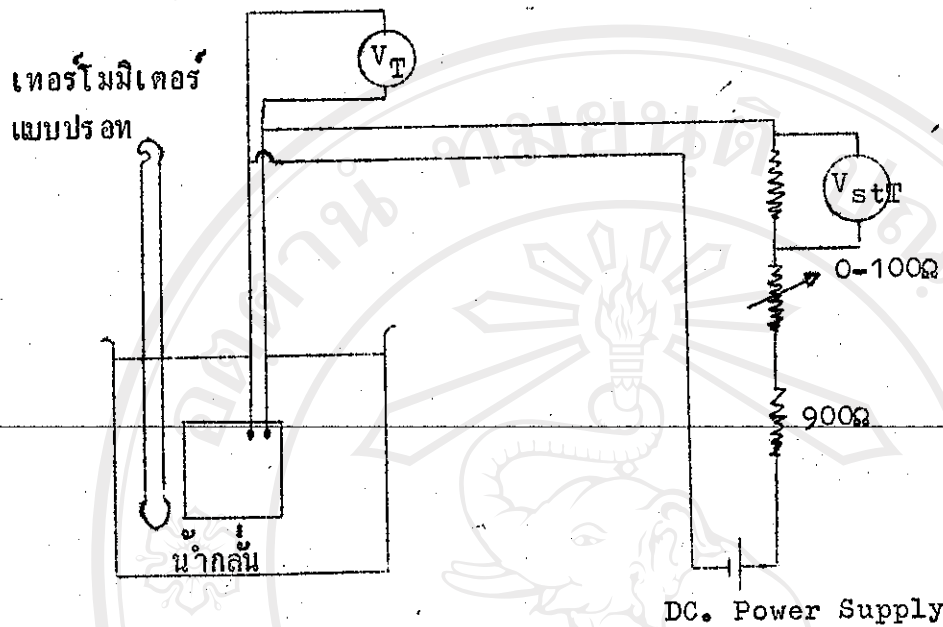


รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการต่อวงจรไฟฟ้าในการคาลิเบรทเทอร์โมมิเตอร์
เทียบกับอุณหภูมิของจุดน้ำแข็ง

4.1.2 การคาลิเบรทเทียบกับอุณหภูมิของน้ำ

แช่แพลตตินัมเทอร์โมมิเตอร์ลงในน้ำกลั่น ซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง โดยมีเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทบอกอุณหภูมิของน้ำกลั่น ต่อวงจรไฟฟ้าดังรูป บันทึกค่าความต่างศักย์คร่อมเทอร์โมมิเตอร์ (V_T) ความต่างศักย์คร่อม R_{stT} (V_{stT})

Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะการต่อวงจรไฟฟ้าในการคาลิเบรเทอร์มิสเตอร์เทียบกับอุณหภูมิน้ำ

4.1.3 การคาลิเบรเทอร์มิสเตอร์เทียบกับจุดเดือดของไนโตรเจนเหลวอุณหภูมิ 77.4 เคลวิน

นำผลที่คาลิเบรตได้ไปเขียนกราฟเทียบกับอุณหภูมิที่อ่านได้จาก Standard Germanium and Rhodium-Iron Thermometer (2) ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการคาไลเบรท แพลตทินัมเทอร์โมมิเตอร์เทียบกับจุดน้ำแข็งอุณหภูมิ
273.15 เคลวิน

V_{stT} (V)	V_T (V)	I_T (mA)	R_T (Ω)
0.49	0.05	0.50	98.58
0.98	0.10	1.01	98.61
1.47	0.15	1.52	98.61
1.97	0.20	2.03	98.08
2.46	0.25	2.54	98.19
2.95	0.30	3.05	98.26
3.45	0.35	3.57	98.01
3.95	0.40	4.07	98.08
4.43	0.45	4.58	98.14
4.92	0.50	5.09	98.73
5.46	0.55	5.65	97.31
5.94	0.60	6.14	97.57
6.40	0.65	6.62	98.11
6.92	0.70	7.16	97.72
7.41	0.75	7.67	97.78

ความต้านทานเฉลี่ยของเทอร์โมมิเตอร์เท่ากับ 98.31 โอห์ม

ตารางที่ 4.2 ผลการคาลิเบรท แพลตทินัมเทอร์โมมิเตอร์เทียบกับอุณหภูมิของน้ำ

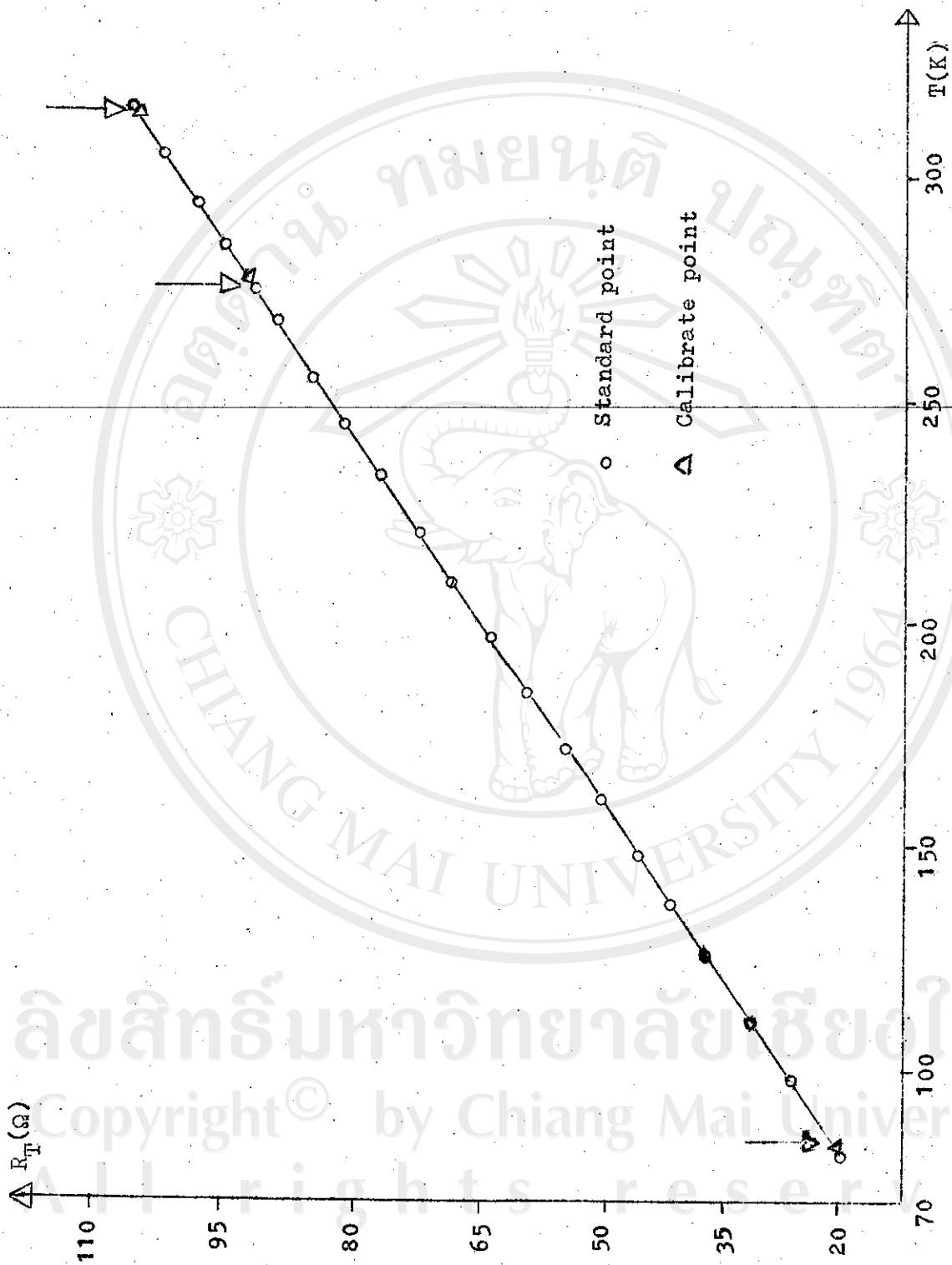
V_{stT} (V)	V_T (V)	I_A (mA)	R_T (Ω)
0.45	0.05	0.46	107.34
0.90	0.10	0.93	107.32
1.35	0.15	1.39	107.37
1.80	0.20	1.86	107.35
2.24	0.25	2.31	107.85
2.70	0.30	2.79	107.33
3.15	0.35	3.26	107.36
3.60	0.40	3.72	107.36
4.05	0.45	4.19	107.34
4.50	0.50	4.65	107.34
4.92	0.55	5.09	107.99
5.41	0.60	5.60	107.14
5.85	0.65	6.05	107.34
6.30	0.70	6.52	107.34
6.76	0.75	6.99	107.18
7.22	0.80	7.47	107.03
7.66	0.85	7.92	107.20
8.10	0.90	8.38	107.33
8.50	0.95	8.79	107.96
9.00	1.00	9.31	107.34

ความต้านทานเฉลี่ยของเทอร์โมมิเตอร์เท่ากับ 107.54 โอห์ม

ตารางที่ 4.3 ผลการคาไลเบรท แพลตตินัมเทอร์โมมิเตอร์เทียบกับอุณหภูมิของจุดเดือด
ของไนโตรเจนเหลวอุณหภูมิ 77.4 เคลวิน

V_{stT} (V)	V_T (V)	I_A (mA)	R_T (Ω)
0.4	0.009	0.41	21.73
0.8	0.017	0.82	20.52
1.2	0.025	1.24	20.12
1.6	0.034	1.65	20.53
2.0	0.042	2.07	20.28
2.4	0.051	2.48	20.53
2.8	0.060	2.89	20.70
3.2	0.068	3.31	20.53
3.6	0.076	3.72	20.39
4.0	0.084	4.14	20.28
4.4	0.092	4.55	20.20
4.8	0.100	4.96	20.12
5.2	0.109	5.38	20.24
5.6	0.119	5.79	20.52
6.0	1.128	6.21	20.60
6.4	0.137	6.62	20.67
6.8	0.145	7.03	20.59
7.2	0.154	7.45	20.66
7.6	0.162	7.86	20.59
8.0	0.170	8.28	20.52

ความต้านทานเฉลี่ยของเทอร์โมมิเตอร์เท่ากับ 20.49 โอห์ม ไนโตรเจนเหลวที่ใช้
ไม่บริสุทธิ์ เพราะมีออกซิเจนผสมอยู่ด้วยอุณหภูมิจึงสูงกว่า 77.4 เคลวิน

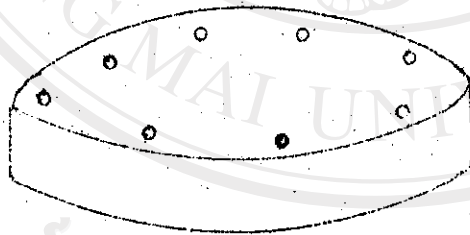


รูปที่ 4.3 แสดงผลการคาลิเบรต เทอร์มิสเตอร์

4.2 การทดสอบเครื่องมือ (3)

เพื่อเป็นการทดสอบเครื่องมือที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลองครั้งนี้ได้ทดลองวัดค่าความจุความร้อนของทองแดงในช่วงอุณหภูมิ 80–300 เคลวิน ทองแดงที่ใช้เป็นเกรตการค่าโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร หนา 0.5 เซนติเมตร หนัก 44.593 กรัม คำนที่ติดกับ Sample holder ขัดให้เรียบ เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างแคลอรีมิเตอร์กับทองแดง จะได้ดียิ่งขึ้น การที่เลือกทองแดงเป็นสาร มาตรฐานสำหรับการทดสอบการทำงานของเครื่องมือนี้เพราะว่าทองแดงเป็นสารที่หาง่าย และ Furukawa, Saba และ Seilly (1965) (3) ได้ทำการวัดค่าความจุความร้อนของทองแดงอย่างละเอียดในช่วงอุณหภูมินี้และถือเป็นค่ามาตรฐานที่มีความแน่นอนมาก ทองแดงจึงมีความเหมาะสมในการทดสอบเครื่องมือ

ส่วนสารตัวอย่างที่ใช้ในการวัดค่าความจุความร้อนในการทดลองครั้งนี้ใช้ อินเดียมที่บริสุทธิ์ 99.99% ของบริษัท Oxford Instrument Ltd. มีน้ำหนัก 30.127 กรัม



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของสารตัวอย่าง

4.3 การคำนวณผลการทดลอง (3)

ค่าความจุความร้อนเมื่อความดันคงที่ (C_p) ของสารตัวอย่างหาได้จากผลต่างของค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ร่วมกับสารตัวอย่างกับค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ โดยทำการคำนวณได้ดังนี้

ถ้าให้ P_i = กำลังของแคลอรีมิเตอร์

Q_i = ปริมาณความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

t = เวลา

T = อุณหภูมิ

จะได้ว่า

$$P_i = \frac{dQ_i}{dt} (T) \quad (4.1)$$

$$P_i = I_H^2 R_H = I_H V_H \quad (4.2)$$

โดยกำหนดให้

$$\dot{T} = \frac{dT}{dt} \quad (4.3)$$

และจากนิยามของความจุความร้อนจะได้

$$C_i(T) = \frac{dQ_i(T)}{dT_i} \quad (4.4)$$

กำหนดให้ $i = 1$ ทดลองสำหรับแคลอรีมิเตอร์

$i = 2$ ทดลองสำหรับแคลอรีมิเตอร์ร่วมกับสารตัวอย่าง

จากสมการที่ (4.4) จะได้ว่า

$$C_i = \frac{dQ_i(T)}{dT_i} \cdot \frac{dt}{dt}$$

$$C_i = \frac{dQ_i(T)/dt}{dT_i/dt} \quad (4.5)$$

4.4 การทดลองวัดค่าความจุความร้อน

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือ ครั้งแรกทำการทดลองวัดค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์เปล่า ๆ และครั้งที่สองทดลองวัดค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ร่วมกับสารตัวอย่างในการทดลองวัดค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์เปล่า ๆ นั้น

ขั้นสรุปของห้องที่ใช้ยัดสารตัวอย่างติดไปด้วย ขบวนการทดลองกระทำดังนี้

จัดอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.11 จากนั้นเปิด Rotary pump ประมาณ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งความดันของอากาศภายในระบบลดลงถึง 0.005 torr แล้วจึงเติมไนโตรเจนเหลวลงไปในกระติก (Dewar) ที่ละน้อย ให้ระดับของไนโตรเจนเหลวยู้อยู่เหนือ ไครโอสแตทเล็กน้อยเปิด Scalamp Galvanometer คอยจนกระทั่งระบบอยู่ในสภาวะสมดุลทางความร้อน (Thermal equilibrium) โดยสังเกตได้จากเข็มของ Scalamp Galvanometer จะชี้ที่ศูนย์ จากนั้นจึงเปิดแหล่งจ่ายกระแสตรงของเทอร์โมมิเตอร์ ปรับปริมาณกระแสไฟฟ้าให้พอเหมาะวาง LDR ให้ตรงกับดวงไฟของ Scalamp Galvanometer ที่กำลังชี้ที่ศูนย์ และทำให้บริเวณของ LDR และหน้าปัดเข็มของ Scalamp Galvanometer นั้นมืด เพื่อไม่ให้แสงภายนอกรบกวน LDR แล้วเปิดเครื่องควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเปิดแหล่งจ่ายกระแสตรงของแคลอรีมิเตอร์หรือ Heater

ตัวที่หนึ่ง และ Heater ตัวที่สอง เริ่มจับเวลาและบันทึกค่าของ V_{stT}, V_{stH}, V_T และ V_H ทุก ๆ 180 วินาที โดยจดค่าของ V_{stT}, V_{stH} และ V_H ให้งดที่ ทั้งนี้เพื่อให้ กระแสไฟฟ้าของ Heater ตัวที่หนึ่งและเทอร์โมมิเตอร์นั้นคงที่ และกระแสไฟฟ้าที่ผ่าน เทอร์โมมิเตอร์นั้นไม่ควรเกิน 10 มิลลิแอมแปร์ ทั้งนี้เพราะอาจจะมีปริมาณความร้อนจาก เทอร์โมมิเตอร์เกิดขึ้นมากเกินไป ในขณะที่ทำการทดลองนั้นต้องควบคุมให้เข็มของ Scalamp Galvanometer ชี้ที่ศูนย์ตลอดเวลา ถ้าเบนออกจากศูนย์ปรับ variac ที่ต่อกับ เครื่องควบคุมอุณหภูมิ การเบนของ Scalamp galvanometer ไปทางซ้ายหรือขวานั้น แล้วแต่ลักษณะการต่อขั้วของ thermocouple และส่วนไหนจะมีอุณหภูมิสูงกว่า อาจทดสอบ ได้ก่อนการทดลอง

ส่วน Heater ตัวที่สามนั้นเริ่มใช้เมื่ออุณหภูมิขณะทำการทดลองสูงกว่า 200 เคลวิน ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณความร้อนที่ไหลออกสู่ Brass can จะมากตาม ไปด้วย เพื่อทำการเก็บข้อมูลเสร็จไปครั้งหนึ่งเปิด Rotary pump ทิ้งไว้ จนกว่าอุณหภูมิ ของระบบเท่ากับอุณหภูมิห้องเพื่อป้องกันมิให้เกิด Thermal shock และป้องกัน Heater แต่ละตัวให้งดสภาพเดิม

จากสมการที่ (4.1) และ (4.3) จะได้

$$C_1(T) = P_1/T_1 \quad (4.5)$$

เพราะฉะนั้นความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

$$C_1(T) = P_1/T_1 \quad (4.6)$$

ความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ร่วมกับสารตัวอย่าง

$$C_2(T) = P_2/T_2 \quad (4.7)$$

ดังนั้นจะได้

$$\text{ความจุความร้อนของสารตัวอย่าง} = C = C_2(T) - C_1(T) \quad (4.8)$$

$$\text{และ ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat)} = \frac{C_2(T) - C_1(T)}{m} \quad (4.9)$$

เมื่อ m เป็นมวลของสารตัวอย่าง

4.5 การประมาณความแม่นยำของผลการทดลอง

ความแม่นยำของผลการทดลองนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการวัดค่าต่าง ๆ ในสมการ

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

$$C = \frac{V_H I_H}{dT/dt} \quad (4.10)$$

การวัดค่ากระแสไฟฟ้าใช้วัดค่าความต่างศักย์คร่อมตัวต้านทานมาตรฐานที่มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1% ความต่างศักย์วัดโดยใช้คัลลิบรอล โวลท์มิเตอร์ ที่มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 1% บอกอุณหภูมิใช้แพลตทินัมเทอร์โมมิเตอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% และการจับเวลาใช้ timer counter ฉะนั้นประมาณความคลาดเคลื่อนตามทฤษฎีได้ประมาณ 3% อย่างไรก็ตามผลการทดลองจริง ๆ ต้องมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเป็น 2-3 เท่าตัว จากทฤษฎีจึงประมาณความคลาดเคลื่อนของผลการทดลองครั้งนี้ไม่เกิน

10%

Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

4.6 ผลการทดลอง

ผลการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4.4, 4.5, 4.6(1), 4.6(2)

ตารางที่ 4.4 ผลการหาค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์

T (K)	C _p (J/K)	T (K)	C _p (J/K)
83.97	9.76	176.49	26.36
91.83	10.42	180.80	27.01
98.61	12.07	183.67	28.47
105.15	12.53	185.41	29.27
111.33	13.24	193.18	32.24
116.75	14.93	199.77	35.68
122.23	15.12	206.99	41.82
127.19	16.54	215.37	43.38
132.03	16.93	218.48	45.33
136.09	18.34	223.05	55.14
139.84	19.87	230.66	60.04
144.31	20.13	234.92	63.30
148.43	20.40	239.34	64.03
151.78	20.73	242.70	68.40
154.83	21.88	246.60	72.35
158.26	23.50	285.13	77.44
161.69	23.58	293.09	84.68
165.64	23.87	296.12	93.10
170.07	23.91	298.55	96.82
173.24	24.47		

ตารางที่ 4.5 ผลการหาค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ร่วมกับทองแดง

T (K)	C _p (J/K)	T (K)	C _p (J/K)
83.02	19.07	186.92	46.22
89.08	21.19	190.49	47.69
95.21	22.48	194.10	49.94
100.57	23.35	197.03	51.03
105.83	24.92	204.42	54.24
111.51	26.45	209.63	57.63
116.70	27.70	214.30	60.30
120.76	28.29	225.18	68.18
126.45	30.11	229.86	72.29
130.63	30.56	234.87	75.23
135.78	31.78	239.75	79.93
139.11	32.87	249.96	88.42
142.87	33.48	255.01	92.52
146.20	34.59	259.26	97.25
150.51	35.57	263.52	100.36
154.30	36.70	267.87	103.62
158.11	37.91	271.14	106.64
162.28	38.82	274.28	110.27
166.70	39.89	280.88	116.28
169.90	40.60	285.05	122.05
173.98	41.98	287.09	124.89
176.88	42.88	293.83	130.39
180.41	44.31	295.67	133.12
183.03	45.17	298.54	136.48

ตารางที่ 4.6(1) ผลการหาค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์ร่วมกับอินเดียม

T (K)	C_p (J/K)	T (K)	C_p (J/K)
79.88	14.46	120.54	21.63
81.07	14.51	121.50	21.74
83.41	14.60	122.43	21.77
85.91	14.92	123.41	22.16
87.52	15.02	124.79	22.25
89.77	15.30	125.74	22.53
91.76	15.53	126.70	22.68
94.46	16.31	127.68	23.02
97.17	16.54	128.63	23.24
99.02	16.60	129.31	23.33
100.25	17.50	132.12	23.50
102.39	17.52	134.51	23.70
104.27	18.31	137.68	23.90
106.15	18.56	140.11	23.92
108.04	18.86	143.58	24.38
109.00	19.01	147.75	26.02
112.20	19.69	153.45	26.93
114.44	20.03	158.07	27.08
116.36	21.18	162.89	28.18
117.66	21.45	170.22	29.25
118.62	21.54	174.37	31.07

ตารางที่ 4.6(2) ผลการหาค่าความจุความร้อนของแคลอรีมิเตอร์กับอินเดียม

T (K)	C_p (J/K)	T (K)	C_p (J/K)
178.68	33.35	247.08	78.48
183.97	35.56	249.55	79.72
189.62	38.34	252.02	80.10
195.31	40.45	254.52	80.23
201.26	43.61	257.01	80.42
203.68	45.47	259.62	80.87
206.07	47.10	261.42	81.23
208.48	48.62	263.57	81.57
210.89	50.24	265.46	81.95
213.28	52.03	268.01	82.01
215.69	54.22	270.12	82.47
218.10	56.07	273.91	82.89
220.49	58.89	275.89	83.07
222.90	61.14	278.21	83.44
225.28	62.58	280.31	83.70
227.69	64.55	283.33	83.82
230.11	66.10	285.74	84.07
234.92	69.25	288.24	87.87
237.34	69.97	290.46	89.17
239.75	70.13	293.76	91.86
242.19	74.37	295.50	101.10
244.62	76.49	298.67	103.82