บทที่ 3

การสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ จะทำการศึกษากระบวนการขนส่งทางไฟฟ้าของพอลิพิรโรล์ ที่สังเคราะห์โดยวิธีทางเคมีในสารละลาย โดยการศึกษาจากค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน ในอุณหภูมิต่างๆ ได้ทำการสร้างเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับวัดค่าไฟฟ้าความร้อน ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

3.1 คุณสมบัติของพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

เทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิในการทดลอง เป็นชนิดพลาตินัม ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -260°C ถึง 750°C ค่าที่อ่านได้จากพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์จะเป็นค่าความต้านทาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังตารางที่ 3.1 ในการทดลองอุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง -200°C ถึงอุณหภูมิห้องประมาณ 30°C จากข้อมูลในตาราง เขียนกราฟแสดงคุณลักษณะของพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ได้ดังรูปที่ 3.1

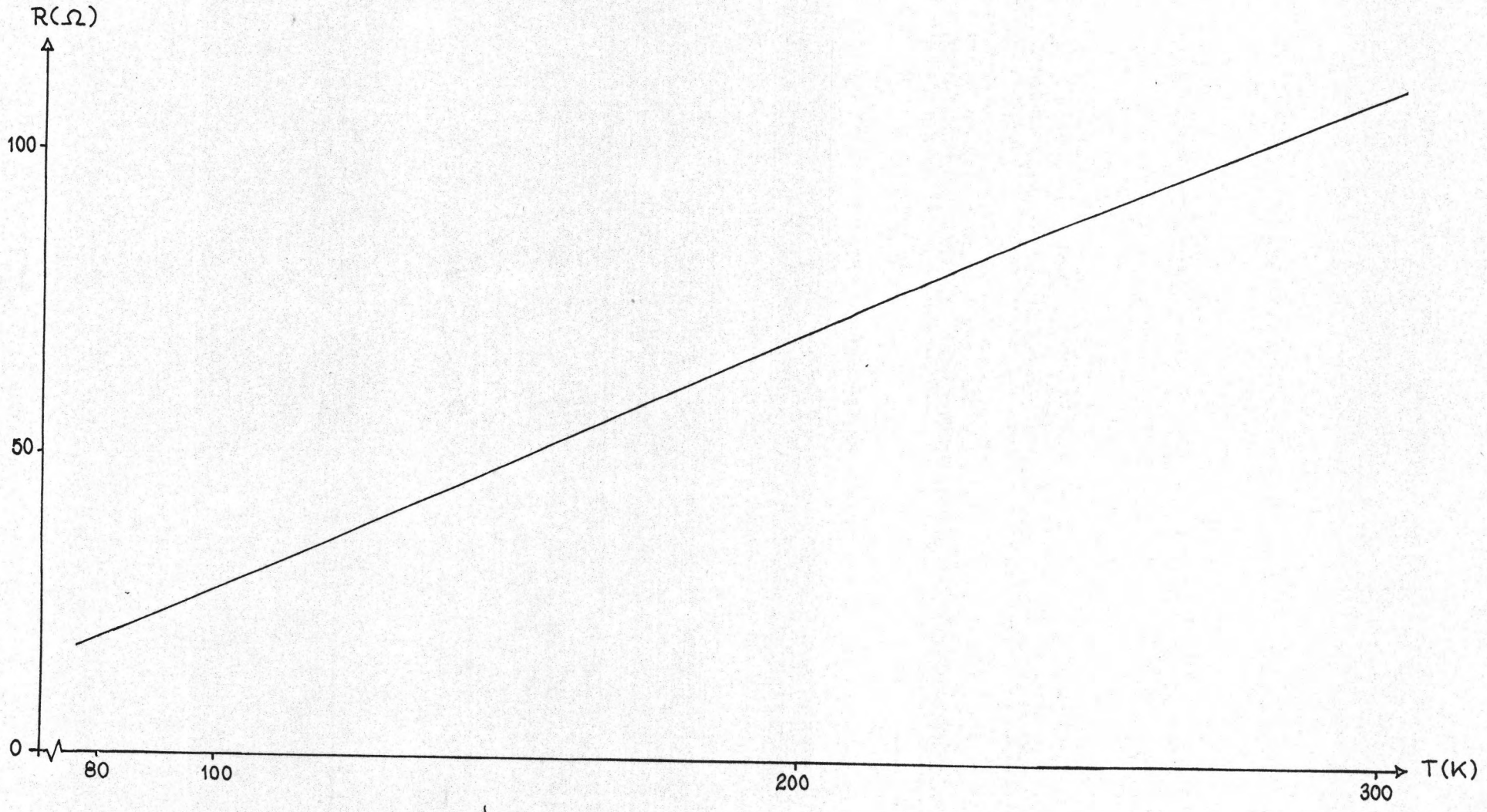
จากกราฟในรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานที่อ่านได้จากพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ จะแปรผันเกือบจะโดยตรงกับอุณหภูมิที่วัด ดังนั้นในการทดลองเพื่อความสะดวกในการอ่านค่าอุณหภูมิ โดยการเปรียบเทียบจากค่าความต้านทานนั้น เราสามารถแทนด้วยสมการคณิตศาสตร์โดยการใช้วิธี polynomial least square อันดับที่สอง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ เป็นดังสมการ

$$T = GR^2 + UR + N \qquad (3.1.1)$$

Temp. °C	R_T Ohms	Tolerances ±Ohms	±°C	Temp. °C	R_T Ohms	Tolerances ±Ohms	±°C	Temp. °C	R_T Ohms	Tolerances ±Ohms	±°C
−260	0·15	0·028	1·2	80	131·42			420	256·60		
−250	0·75	0·039	0·36	90	135·30			430	260·08		
−240	2·46	0·052	0·23	100	139·16	0·20	0·50	440	263·55		
−230	5·29	0·070	0·22	110	143·01			450	267·00	0·55	1·60
−220	8·89	0·090	0·23	120	146·85			460	270·44		
−210	12·93	0·11	0·26	130	150·68			470	273·87		
−200	17·19	0·12	0·30	140	154·50			480	277·29		
−190	21·51			150	158·30	0·25	0·65	490	280·70		
−180	25·86			160	162·09			500	284·09	0·61	1·80
−170	30·17			170	165·88			510	287·47		
−160	34·45			180	169·64			520	290·85		
−150	38·70	0·13	0·31	190	173·40			530	294·21		
−140	42·93			200	177·15	0·30	0·80	540	297·55		
−130	47·12			210	180·88			550	300·93	1·0	2·4
−120	51·30			220	184·61			560	304·22		
−110	55·45			230	188·32			570	307·52		
−100	59·58	0·10	0·24	240	192·02			580	310·83		
−90	63·70			250	195·70	0·35	0·95	590	314·11		
−80	67·79			260	199·38			600	317·40	1·3	4·0
−70	71·87			270	203·04			610	320·65		
−60	75·93			280	206·70			620	323·92		
−50	79·97	0·10	0·24	290	210·34			630	327·20		
−40	84·00			300	213·97	0·40	1·10	640	330·39		
−30	88·02			310	217·58			650	333·60	1·55	4·5
−20	92·03			320	221·19			660	336·82		
−10	96·02			330	224·78			670	340·00		
0	100·00	0·10	0·24	340	228·37			680	343·20		
10	103·97			350	231·94	0·45	1·25	690	346·36		
20	107·93			360	235·50			700	349·53	1·8	5·0
30	111·87			370	239·04			710	352·67		
40	115·80			380	242·58			720	355·82		
50	119·73	0·14	0·35	390	246·10			730	358·89		
60	123·64			400	249·61	0·49	1·40	740	362·06		
70	127·53			410	253·12			750	365·16	2·0	6·0

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทาน

กับอุณหภูมิของพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงคุณลักษณะของพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์

โดยที่ G , U และ N เป็นค่าคงที่ ซึ่งมีค่าดังนี้

$$G = 1.308966 \times 10^{-3}$$

$$U = 2.2603049 \qquad (3.1.2)$$

$$N = 33.9586$$

เราสามารถตรวจสอบค่าความถูกต้องของอุณหภูมิโดยการแทนค่าความต้านทานที่ทราบค่าจากตารางที่ 3.1 และเปรียบเทียบกับค่าอุณหภูมิ ในตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณกับอุณหภูมิในตารางที่ 3.1

ค่าความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ (°C)		ค่าความผิดพลาด (°C)
	ตาราง	คำนวณ	
17.19	-200	-200	0
21.51	-190	-190	0
25.86	-180	-179.9	0.1
30.17	-170	-169.9	0.1
34.45	-160	-159.8	0.2
38.70	-150	-149.8	0.2
42.93	-140	-139.8	0.2
47.12	-130	-129.8	0.2
51.30	-120	-119.8	0.2
55.45	-110	-109.9	0.1

ตารางที่ 3.2(ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณกับอุณหภูมิในตารางที่ 3.1

ค่าความต้านทาน (Ω)	อุณหภูมิ(°C)		ค่าความผิดพลาด (°C)
	ตาราง	คำนวณ	
59.58	-100	-99.9	0.1
63.70	-90	-89.9	0.1
67.79	-80	-80.0	0.0
71.87	-70	-70.0	0.0
75.93	-60	-60.1	0.1
79.97	-50	-50.1	0.1
84.00	-40	-40.1	0.1
88.02	-30	-30.1	0.1
92.03	-20	-20.1	0.1
96.02	-10	-10.1	0.1
100.00	0	-0.1	0.1
103.97	10	9.9	0.1
107.93	20	20.0	0.0
111.87	30	30.0	0.0

จากตารางนี้พบว่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณมีไม่เกิน 0.2°C ในช่วงอุณหภูมิที่จะทำการทดลอง แสดงว่าสมการ (3.1.1) ในงานได้ดี ซึ่งจะเป็นการสะดวกอย่างยิ่งในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.2 การตรวจสอบเวลาตอบสนองของพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์

ในการวิจัยครั้งนี้จะต้องทำการทดลองขณะที่อุณหภูมิกำลังเปลี่ยนแปลงไปช้าๆ ปัญหาที่จะต้องพิจารณาก็คือพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์จะอ่านอุณหภูมิที่กำลังเปลี่ยนแปลงนี้ได้ถูกต้องเพียงไร สมมติว่าขณะหนึ่งอุณหภูมิที่บริเวณพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์เท่ากับ 20°C ถ้าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงไปเป็น 10°C อย่างกระทันหัน นานเท่าใดที่เทอร์โมมิเตอร์นี้จะอ่านอุณหภูมิถูกต้องเท่ากับ 10°C ได้ ถ้าเวลาของการตอบสนองนี้ช้ามาก เช่นเท่ากับ 5 นาที เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ก็จะทำงานได้ไม่แม่นยำ และไม่เหมาะกับการทดลองนี้

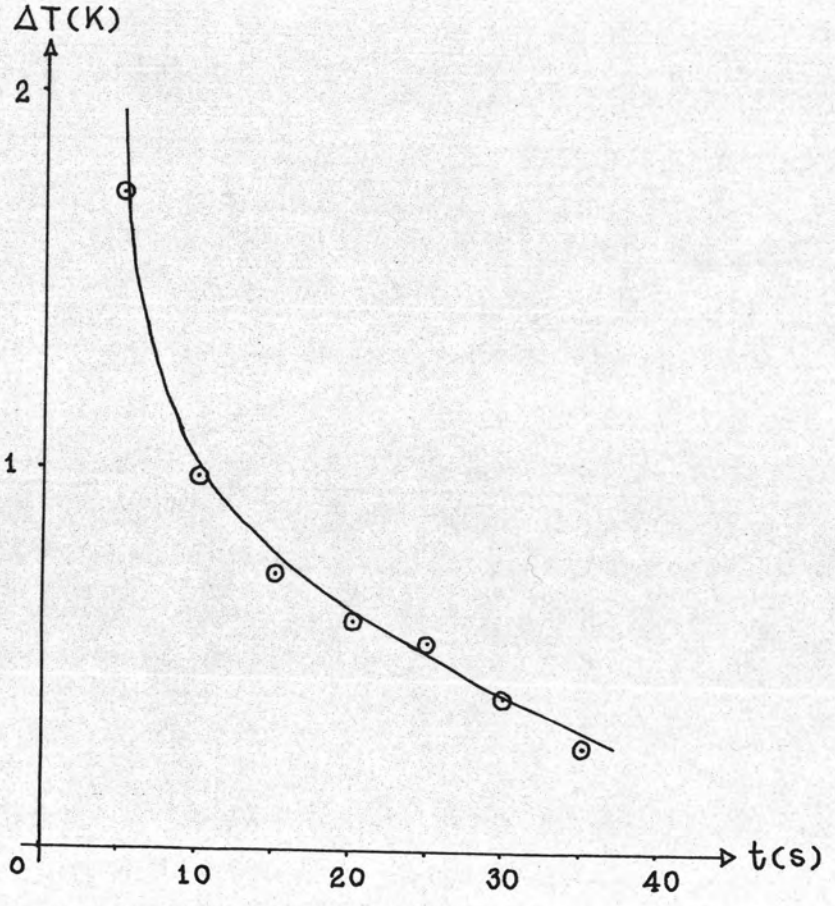
เพื่อศึกษาเวลาตอบสนองดังกล่าว ได้ทดลองจุ่มพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ลงในน้ำแข็งแห้ง(dry ice) ทำให้อุณหภูมิรอบๆพลาตินัมลดลงจาก 27°C ลงไปเป็น -78.5°C อย่างกระทันหัน (thermal shock) แบบนี้อาจทำให้พลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์เสียไปได้ ควรอ่าน specification ของพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ก่อนทำการทดลองนี้) จากนั้นอ่านอุณหภูมิที่เวลาต่อมา ผลต่างของอุณหภูมิที่อ่านได้และอุณหภูมิของน้ำแข็งแห้ง(T_o)

$$\Delta T = T(\text{read}) - T_o \qquad (3.1.3)$$

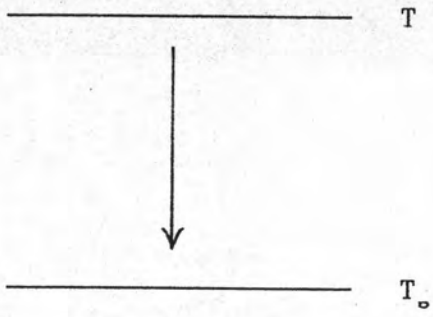
ที่เวลาต่างๆแสดงในตารางที่ 3.3 และในรูป 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่อ่านได้ที่เวลาต่างๆ

เวลา (วินาที)	ΔT (K)	$\ln \Delta T$
5	1.73	0.55
10	0.98	-0.02
15	0.78	-0.31
20	0.60	-0.51
25	0.55	-0.60
30	0.40	-0.92
35	0.27	-1.31



รูปที่ 3.2 แสดงกราฟระหว่างผลต่างอุณหภูมิ(ΔT) กับเวลา t(s)



รูปที่ 3.3 แสดงการลดของอุณหภูมิที่อ่านได้เข้าสู่อุณหภูมิจริงๆ

ถ้าเราสมมติว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อ่านได้ T ไปกับเวลา ขึ้นกับ $T - T_o$ โดย T_o เป็นอุณหภูมิจริงๆ ดังสมการ

$$-\frac{dT}{dt} = \frac{T - T_o}{\tau} \qquad (3.1.4)$$

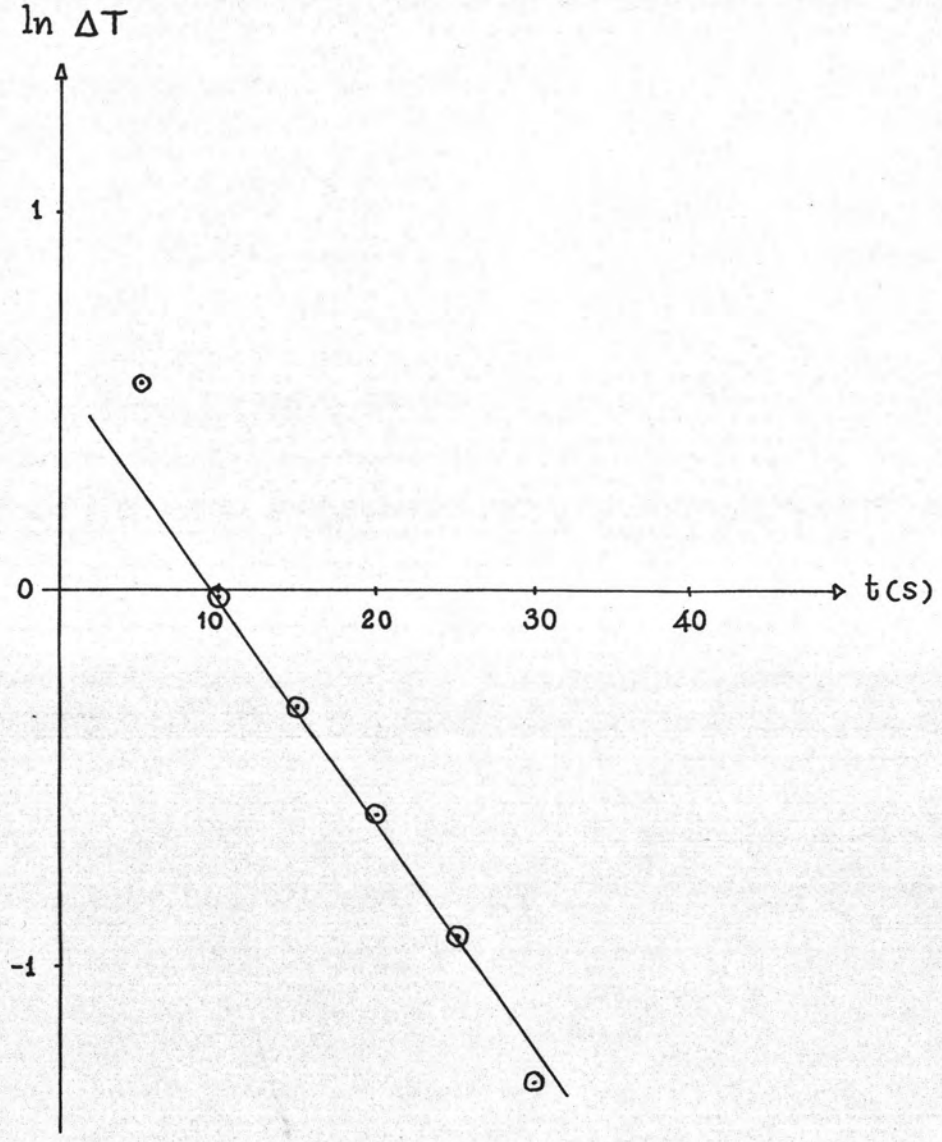
โดย τ เป็นค่าเวลาผ่อนคลาย โดยเขียน $\Delta T = T - T_o$ จะได้

$$\frac{d(\Delta T)}{dt} = -\frac{\Delta T}{\tau}$$

หรือ $$\Delta T = \Delta T_o \, e^{-t/\tau} \qquad (3.1.5)$$

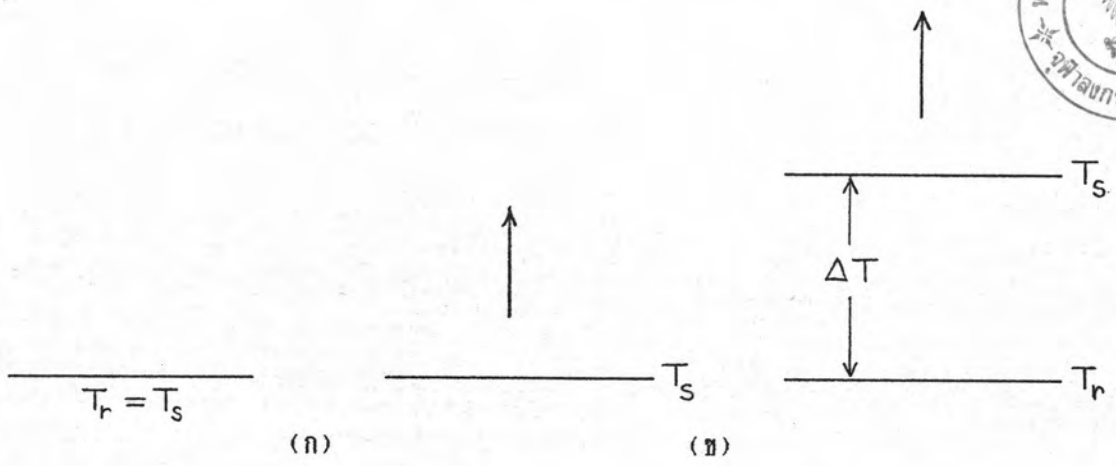
จากการพลอตระหว่าง $\ln \Delta T$ และ t ได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งจะพบว่า

$$\tau = 16.6 \text{ วินาที} \qquad (3.1.6)$$



รูปที่ 3.4 แสดงกราฟระหว่าง ln ΔT กับ t

สมการทั้งสองข้างบนใช้ได้ทั้งในกรณีที่อุณหภูมิลดหรือเพิ่มเข้าสู่อุณหภูมิสมดุล ขอให้พิจารณาในกรณีที่แสดงในรูปที่ 3.5 ในตอนแรกอุณหภูมิอยู่ในสภาพสมดุลเท่ากับ T_S



รูปที่ 3.5 แสดงการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิรอบๆ พลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์

และอุณหภูมิที่อ่านได้ $T_r = T_S$ ต่อมาถ้าอุณหภูมิรอบๆ พลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา C K/s อุณหภูมิ T จะเพิ่มตามด้วยอัตราเร็ว C K/s ด้วยแต่ค่าที่อ่านได้จะต่ำกว่า ΔT พยายามดูว่าเท่ากับเท่าใด

จากสมการที่ 3.1.4 จะได้

$$C = \frac{T_S - T_r}{\tau} = \frac{\Delta T}{\tau}$$

หรือ $$\Delta T = \tau C \qquad (3.1.7)$$

ถ้าต้องการให้พลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์นี้อ่านพลาดไม่เกิน 0.2 K , $\Delta T = 0.2$ จะได้

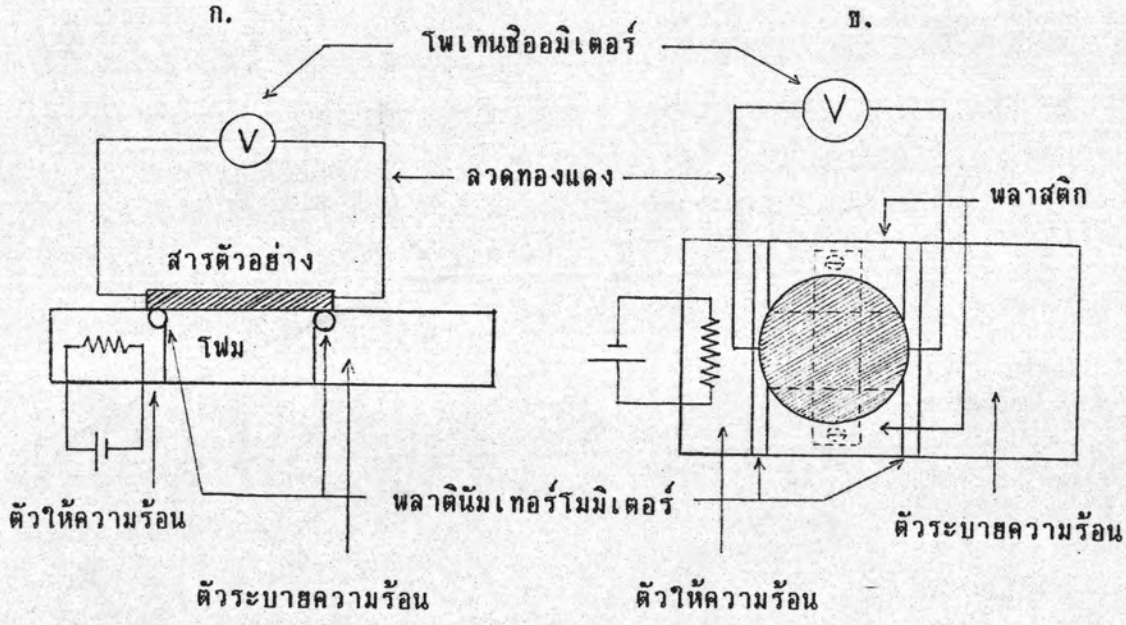
$$C = 0.2 / \tau = 0.2 / 16.6 \quad K/s$$

$$= 0.012 \quad K/s$$

นั่นคือ เทอร์โมมิเตอร์นี้จะอ่านพลาดไม่เกิน 0.2 K ถ้าอุณหภูมิรอบๆเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 0.012 เคลวินต่อวินาที หรือ 43 เคลวินต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถทำได้ในการทดลองจริงๆ

3.3 การจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน

ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน จะอาศัยหลักการของปรากฏการณ์ไฟฟ้าความร้อน เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดสองจุดของสารตัวอย่าง จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าภายในสารตัวอย่างและเกิดความต่างศักย์ในวงจรเนื่องจากสารตัวอย่างมีลักษณะเป็นแผ่นกลมบาง มีความหนาสม่ำเสมอ จึงมีวิธีการดังนี้



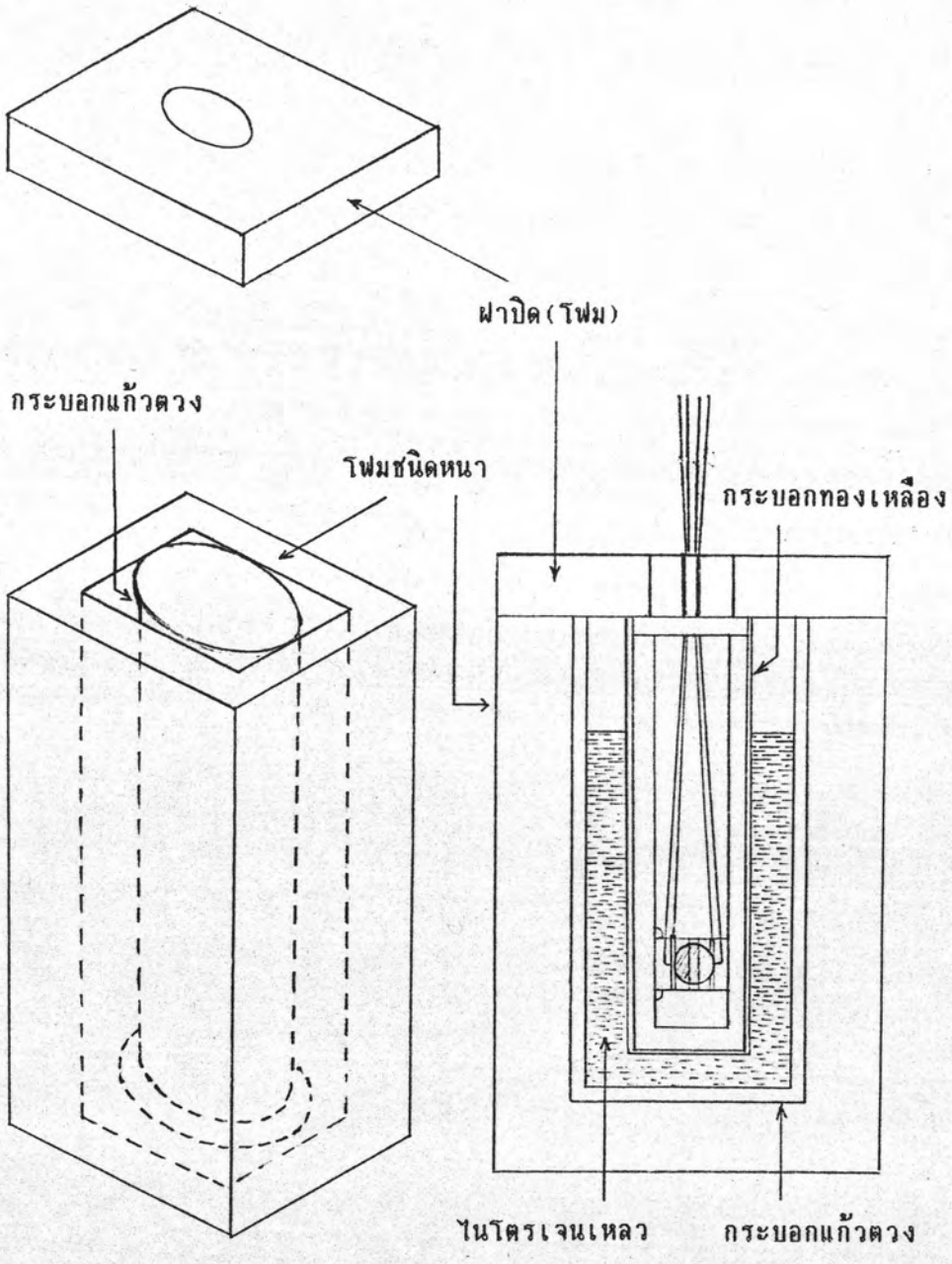
รูปที่ 3.6 แสดงการวางอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน

ก. ภาพด้านข้าง ข. ภาพด้านบน

สารตัวอย่างจะวางอยู่บนแท่นอะลูมิเนียม 2 อัน อันหนึ่งจะเป็นตัวให้ความร้อน อีกอันหนึ่งเป็นตัวระบายความร้อน ระหว่างแท่นอะลูมิเนียมทั้งสองถูกคั่นด้วยโฟมและแผ่นพลาสติกสำหรับขันนอตยึดสารตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3.6 ทั้งตัวให้ความร้อนและตัวระบายความร้อนจะมีพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ติดอยู่ โดยใช้ซิลิโคนเป็นตัวเชื่อมต่อสารตัวอย่างจะวางสัมผัสกับพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสองเพื่อในการวัดค่าความแตกต่างของอุณหภูมิของสารตัวอย่างได้ถูกต้องที่สุด ตัวให้ความร้อนใช้ลวดนิโครมฝังไว้ข้างในของแผ่นอะลูมิเนียมและต่อกับแหล่งจ่ายไฟ(power supply) ที่ขอบทั้งสองด้านของสารตัวอย่างด้านตัวให้ความร้อนกับด้านตัวระบายความร้อน มีลวดทองแดงซึ่งเชื่อมต่อกับสารตัวอย่างด้วยกาวคาร์บอน ขั้วทองแดงทั้งสองนี้จะนำไปต่อกับโพเทนชิออมิเตอร์เพื่อสำหรับวัดค่าความต่างศักย์ของสารตัวอย่าง

3.4 การจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

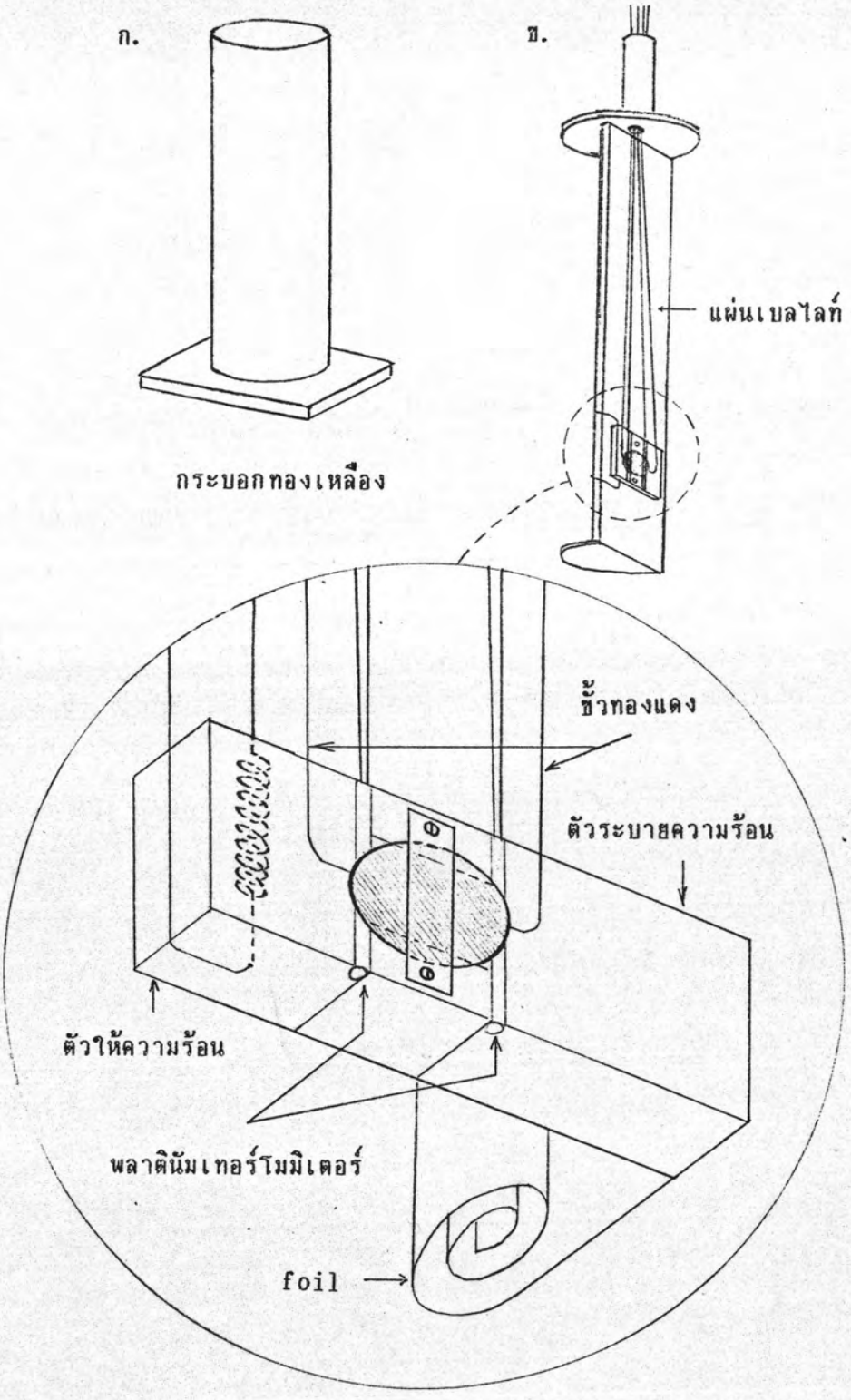
ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ จะใช้ไนโตรเจนเหลวซึ่งมีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 77 เคลวิน เป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสารตัวอย่าง ดังนั้นจะต้องสร้างภาชนะบรรจุไนโตรเจนเหลวและสารตัวอย่างจะต้องวางอยู่ในภาชนะนี้ด้วย โดยการจัดวางอุปกรณ์สำหรับวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่กล่าวรายละเอียดในหัวข้อ 3.1 จะต้องสร้างไว้บนก้านยาวๆ ซึ่งทำจากแผ่นเบลไลท์(bakelite) ป้องกันสารตัวอย่างไม่ให้ถูกไนโตรเจนเหลว โดยการสอดไว้ในกระบอกทองเหลือง และกระบอกทองเหลืองนี้จะวางลงในภาชนะบรรจุไนโตรเจนเหลว ซึ่งทำจากกระบอกแก้วตวง เส้นผ่าศูนย์กลาง 6.3 cm สูง 38.0 cm ห่อหุ้มด้วยโฟมชนิดหนา ในการทดลองไนโตรเจนเหลวจะบรรจุลงระหว่างกระบอกแก้วและกระบอกทองเหลืองนี้ดังแสดงในรูป 3.7 และการวางสารตัวอย่างลงบนหน่วยรับสาร แสดงโดยละเอียดในรูป 3.8



รูปที่ 3.7 แสดงภาชนะบรรจุไนโตรเจนเหลว

ก. รูปด้านข้าง

ข. ภาคตัดขวางตามยาว



รูปที่ 3.8 แสดง ก. กระบอกทองเหลือง

ข. ที่วางสารตัวอย่าง

จากรูปที่ 3.7 กระบอกแก้วตวง ซึ่งเป็นส่วนใช้บรรจุไนโตรเจนเหลว จะหุ้มด้วยโฟมชนิดหนา 2.5 cm โดยรอบ โฟมแต่ละชิ้นจะติดกันด้วยกาวไม่ละลายน้ำ ส่วนฝาปิดด้านบนทำจากโฟมชนิดเดียวกัน เจาะรูเพื่อให้แกนด้านบนของก้านยึดที่วางสารตัวอย่างโผล่ออกมา สำหรับการบรรจุไนโตรเจนเหลวลงไปในกระบอกแก้วตวงนั้น ทำโดยเปิดฝาปิดด้านบนขึ้นเมื่อบรรจุไนโตรเจนเหลวลงไปแล้วต้องรีบปิดทันที ก้านยึดที่วางสารตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3.8 ทำจากแผ่นเบลไลท์ ทำเป็นก้านยาวๆ สามารถสอดใส่ลงไปในกระบอกทองเหลืองได้ เพื่อป้องกันไม่ให้ไนโตรเจนเหลวถูกสารตัวอย่าง ปลายด้านหนึ่งของก้านยึดที่วางสารตัวอย่าง ซึ่งเป็นด้านตรงข้ามกับที่วางสารตัวอย่างจะเป็นแผ่นวงกลมและท่อกลวงซึ่งทำจากทองเหลือง สามารถปิดสนิทพอดีกับกระบอกทองเหลือง สำหรับขั้นตอนและวิธีการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์จะกล่าวในบทต่อไป