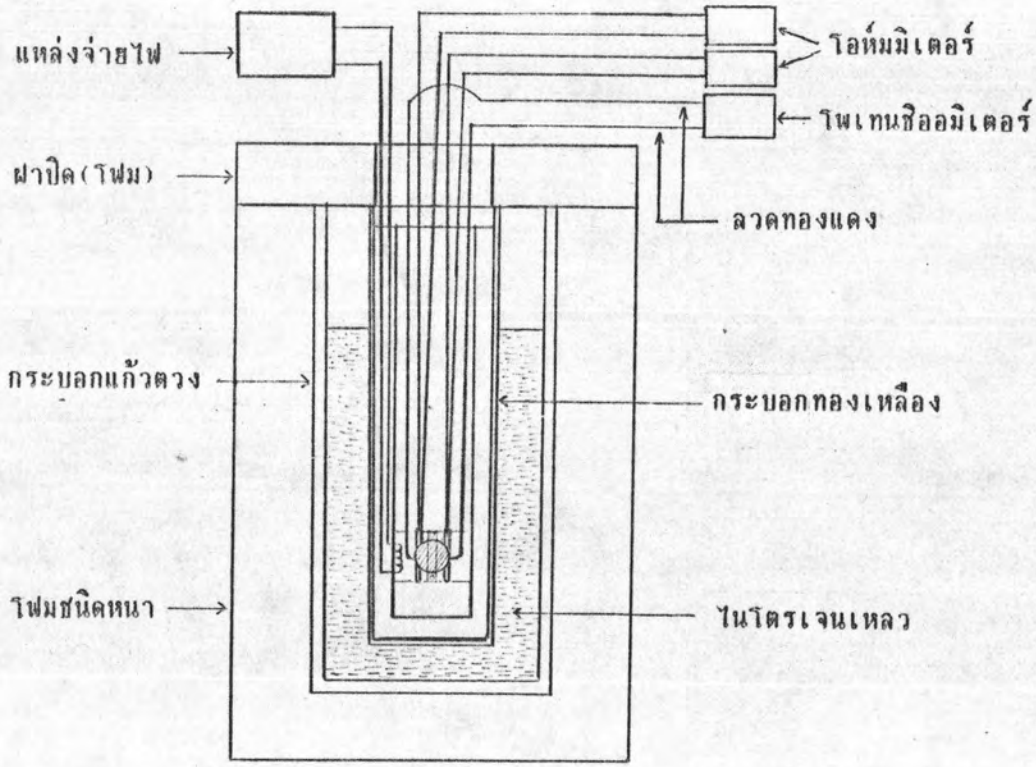
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองและผลการทดลองของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของพอลิพิรโรล์ ที่สังเคราะห์โดยวิธีทางเคมีในสารละลายที่อุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 77 เคลวินจนถึงอุณหภูมิห้องประมาณ 300 เคลวิน

4.1 ขั้นตอนและวิธีการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

เมื่อนำสารตัวอย่างมาจัดวางบนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.3 และ 3.4 ซึ่งสามารถแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดวางอุปกรณ์การทดลองสำหรับวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ

เริ่มต้นทำการทดลองด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ที่อุณหภูมิห้องก่อนเพื่อทดสอบการวัด โดยการให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 1.6 โวลต์ ทางด้านตัวให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ เพื่อให้ขอบทั้งสองด้านของสารตัวอย่างมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน พบว่าขอบสารตัวอย่างทางด้านตัวให้ความร้อนจะค่อยๆ มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างช้าๆ สูงกว่าด้านตัวระบายความร้อน ในตอนนี้ เริ่มบันทึกค่า R_1 และ R_2 ของพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ที่ทำการวัดอุณหภูมิของขอบทั้งสองด้านของสารตัวอย่าง พร้อมทั้งใช้โพเทนชิออมิเตอร์ บันทึกค่าความต่างศักย์ความร้อน-ไฟฟ้า(ΔV) ระหว่างขอบทั้งสองของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ซึ่งมีอุณหภูมิต่างกันนี้

จากการทดลองกับสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 1 มีผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ทดลองครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิห้อง($27^{\circ}C$)

ค่าความต้านทาน ด้านตัวระบายความร้อน R_1(Ω)	ค่าความต้านทาน ด้านตัวให้ความร้อน R_2(Ω)	ΔV (μV)	ΔR (Ω)
110.2	111.9	15.9	1.7
110.2	112.2	19.1	2.0
110.3	112.5	22.1	2.2
110.4	112.7	23.0	2.3
110.4	112.8	23.9	2.4
110.5	113.0	24.9	2.5
110.5	113.1	25.4	2.6

จากการทดลอง ตารางที่ 4.1 สามารถหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของสาร ในการทดลองนี้ ได้โดยพิจารณาจากค่าความต้านทานที่อ่านจากพลาตินัมเทอร์โมมิเตอร์ จากค่าต่ำสุดด้านตัวระบายความร้อน จากค่ามากสุดด้านตัวให้ความร้อน

ค่าเฉลี่ยของค่าความต้านทานหาได้จาก $\frac{1}{2}$ (110.2 + 113.1) จะได้เท่ากับ 111.65 โอห์ม

เมื่อเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิจากตารางที่ 3.1 จะได้อุณหภูมิเฉลี่ยจากการทดลองครั้งนี้คือ

$$T = 302.6 \text{ เคลวิน} \qquad (4.1)$$

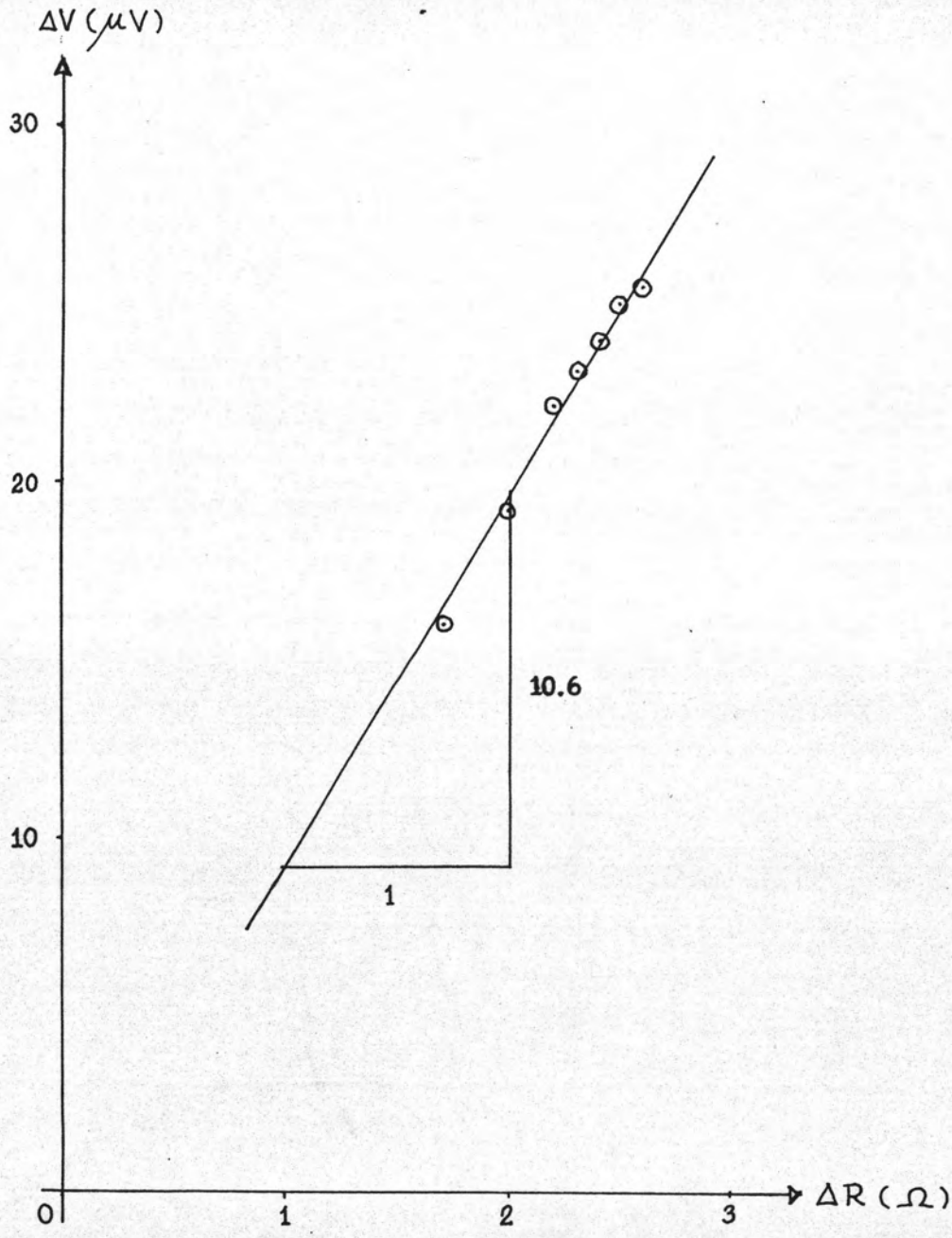
นำผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 มาเขียนกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์(ΔV) กับค่าผลต่างของค่าความต้านทาน(ΔR) จะได้ ดังรูปที่ 4.2

ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน(S) ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ คำนวณได้จาก

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \qquad (4.2)$$

จากกราฟในรูปที่ 4.2 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน(S) โดยการหาค่าความชันของกราฟ โดยการเปลี่ยนค่าผลต่างของค่าความต้านทาน(ΔR) เป็นค่าผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) ก่อนอาศัยตารางที่ 3.1 และความสัมพันธ์

$$\Delta T = \Delta R \times \left\{ \begin{array}{l} \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ} \\ \text{ไปกับความต้านทานของพลาตินัม} \end{array} \right\} \qquad (4.3)$$



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์($\triangle V$) กับค่าผลต่างของค่าความต้านทาน($\triangle R$) ของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ทดลองครั้งที่ 1 ที่อุณหภูมิห้อง($27^{\circ}C$)

เมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 4.2 ค่าผลต่างของอุณหภูมิ(ΔT) จะได้

$$\Delta T = 1 \times \frac{10}{3.96}$$

และค่าผลต่างของความต่างศักย์(ΔV) คือ

$$\Delta V = 19.8 - 9.2$$

$$= 10.6$$

ดังนั้น คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน ได้

$$S = \frac{10.6}{1} \times \frac{3.96}{10}$$

$$= 4.2 \quad \mu V/K$$

ซึ่งถือเป็นค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของพอลิพิรโรล์ที่ 302.6 K

หลังจากที่ทำการทดลอง วัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิห้องแล้วก็ค่อยๆ บรรจุไนโตรเจนเหลวทีละน้อย ลงไปในกระบอกแก้วตวงเพื่อให้อุณหภูมิของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์เปลี่ยนแปลงลงอย่างช้าๆ รอให้อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง แล้วจึงทำการทดลองวัดค่าความต่างศักย์(ΔV) และค่าผลต่างของความต้านทาน(ΔR) แล้วคิดคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน โดยวิธีการเดิมจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ ที่อุณหภูมิคงที่อีกค่าหนึ่ง ทำการทดลองเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยให้อุณหภูมิลดลงช่วงละประมาณ 10 องศา

จะยกตัวอย่างการทดลอง 3 ตัวอย่างที่ 3 อุณหภูมิ ดังแสดงในตาราง 4.2 - 4.4 และรูปที่ 4.3 - 4.5

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 228.0 เคลวิน

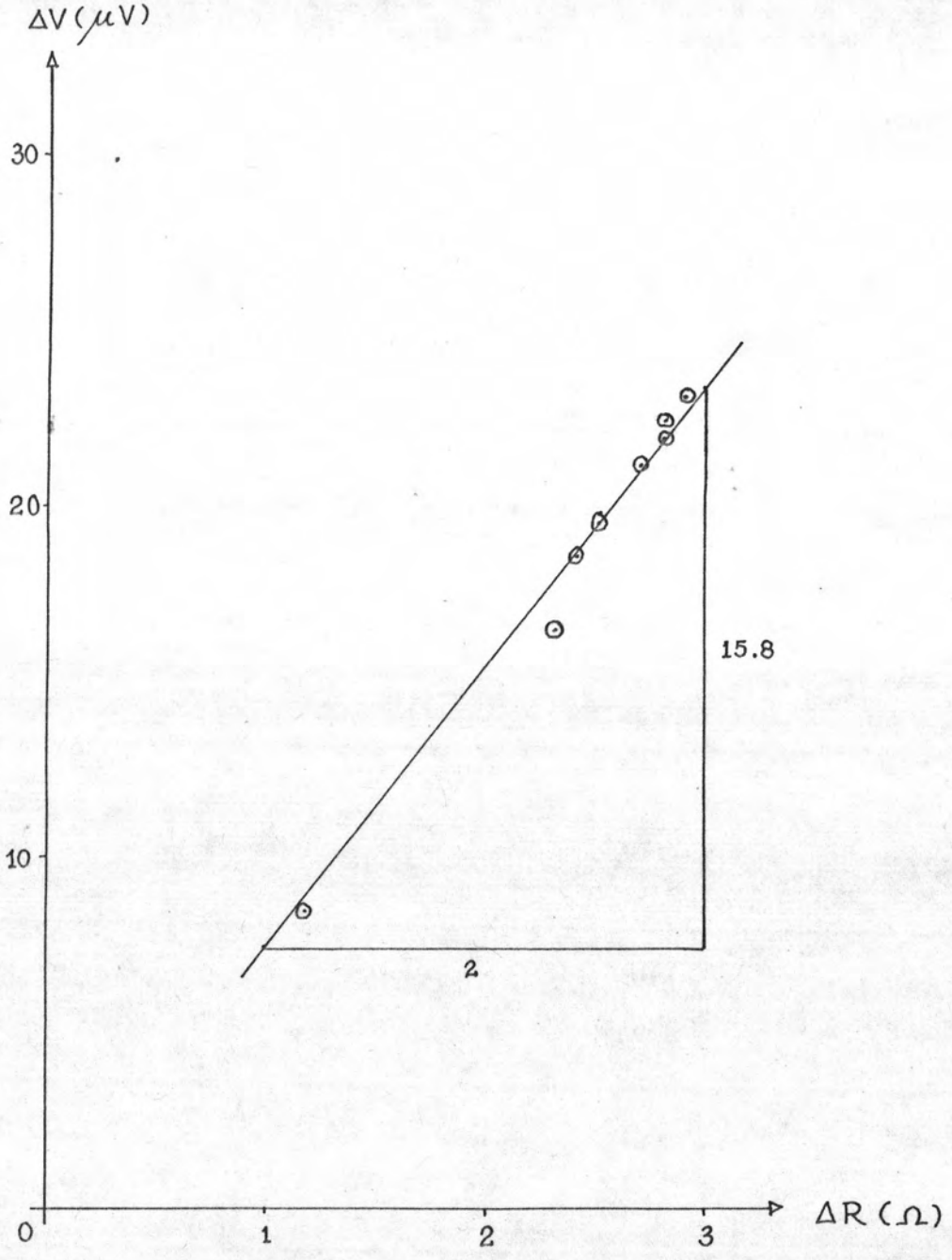
ค่าความต้านทาน ด้านตัวระบายความร้อน R_1 (Ω)	ค่าความต้านทาน ด้านตัวให้ความร้อน R_2 (Ω)	ΔV (μV)	ΔR (Ω)
80.3	81.5	7.9	1.2
80.2	82.5	16.6	2.3
80.3	82.7	18.7	2.4
80.3	82.8	19.7	2.5
80.4	83.1	21.3	2.7
80.5	83.3	22.0	2.8
80.6	83.4	22.5	2.8
80.7	83.6	23.2	2.9

จากผลการทดลองสามารถคำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ย สำหรับการทดลองครั้งนี้มีค่าเท่ากับ 228.0 เคลวิน และเขียนกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์และผลต่างของค่าความต้านทาน ดังรูปที่ 4.3

คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน(S) โดยการหาค่าความชันจากกราฟในรูปที่ 4.3 ได้ดังนี้

$$S = \frac{15.8}{2} \times \frac{4.13}{10}$$

$$= 3.3\ \mu V/K$$

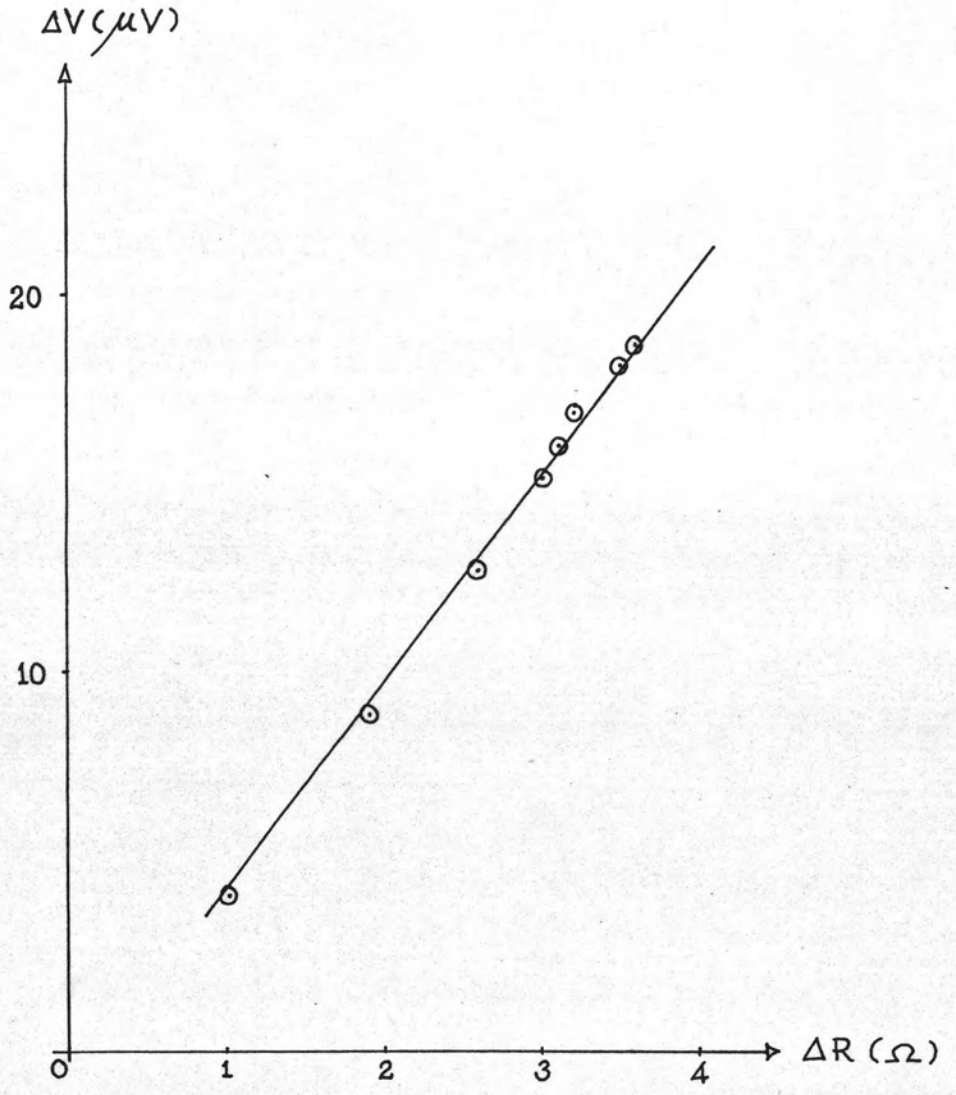


รูปที่ 4.3 แสดงกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์(△V) กับค่าผลต่าง ของค่าความต้านทาน(△R) ของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 228.0 เคลวิน

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 158.8 เคลวิน

ค่าความต้านทาน ด้านตัวระบายความร้อน R_1 (Ω)	ค่าความต้านทาน ด้านตัวให้ความร้อน R_2 (Ω)	ΔV (μV)	ΔR (Ω)
51.3	52.3	4.1	1.0
51.3	53.2	8.9	1.9
51.4	54.0	12.7	2.6
51.6	54.6	15.2	3.0
51.7	54.8	16.1	3.1
51.9	55.1	17.0	3.2
52.0	55.5	18.2	3.5
52.2	55.8	18.7	3.6

จากตารางผลการทดลองเขียนกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์และผลต่างของค่าความต้านทาน ดังรูปที่ 4.4 คำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ย สำหรับการทดลองครั้งนี้เท่ากับ 158.8 เคลวิน และ คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนได้ค่าเท่ากับ 2.2 $\mu V/K$

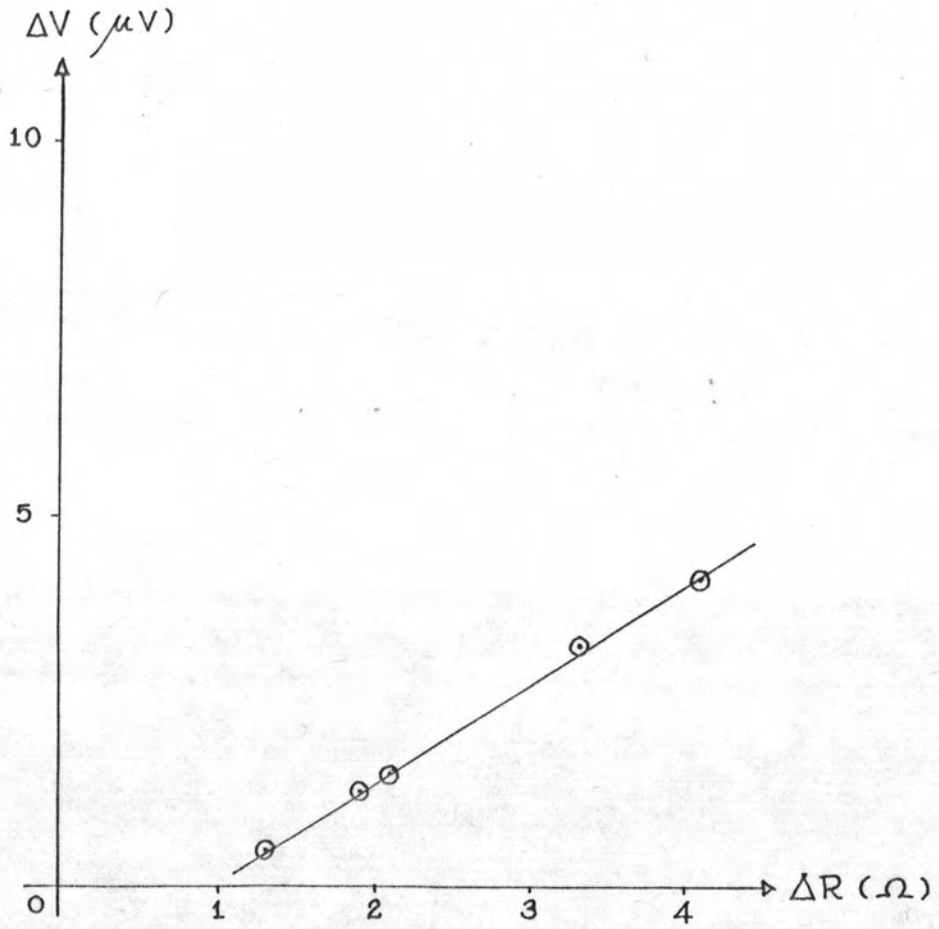


รูปที่ 4.4 แสดงกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์($\triangle V$) กับค่าผลต่างของค่าความต้านทาน($\triangle R$) ของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 158.8 เคลวิน

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 88.8 เคลวิน

ค่าความต้านทาน ด้านตัวระบายความร้อน R_1 (Ω)	ค่าความต้านทาน ด้านตัวให้ความร้อน R_2 (Ω)	ΔV (μV)	ΔR (Ω)
21.8	23.9	1.5	2.1
21.8	25.1	3.2	3.3
20.0	26.1	4.1	4.1
22.6	24.5	1.3	1.9
22.6	23.9	0.5	1.3

จากตารางผลการทดลองเขียนกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์และผลต่างของค่าความต้านทาน ดังรูปที่ 4.5 คำนวณค่าอุณหภูมิเฉลี่ย สำหรับการทดลองครั้งนี้เท่ากับ 88.8 เคลวิน และ คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนได้ค่าเท่ากับ 0.6 $\mu V/K$



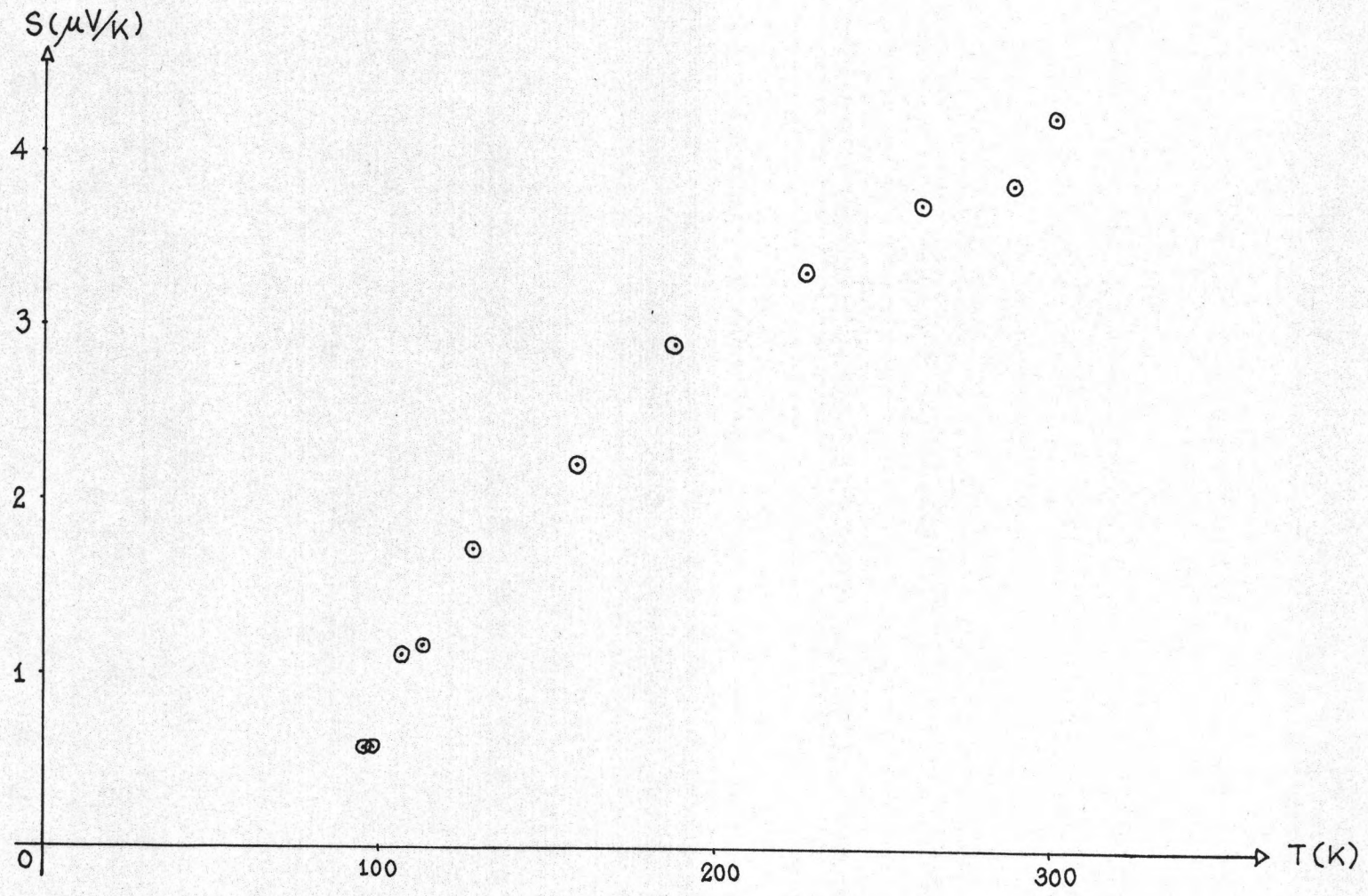
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟระหว่างค่าความต่างศักย์($\triangle V$) กับค่าผลต่างของค่าความต้านทาน($\triangle R$) ของสารตัวอย่าง หมายเลข 1 ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 88.8 เคลวิน

จากผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์หมายเลข 1 ที่อุณหภูมิต่างๆ สรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 1

อุณหภูมิเฉลี่ย (เคลวิน)	ค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน ($\mu V/K$)
302.6	4.2
288.9	3.8
262.3	3.7
228.0	3.3
187.9	2.9
158.8	2.2
126.6	1.7
112.9	1.2
107.3	1.1
90.7	0.6
88.8	0.6

สามารถเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนกับอุณหภูมิได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนกับอุณหภูมิเฉลี่ยของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์หมายเลข 1

4.2 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์หมายเลข 2 , 3 และ 4

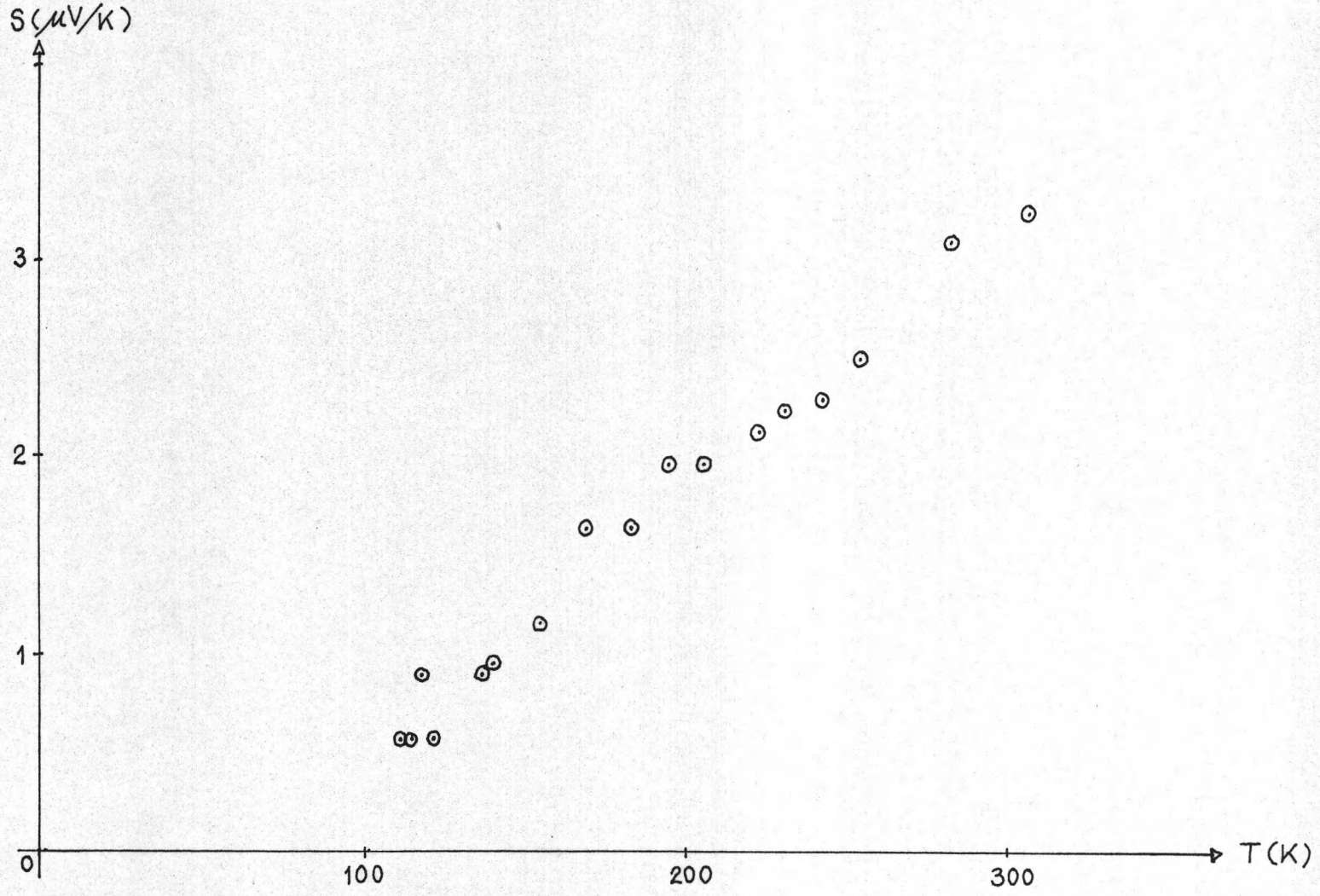
ได้ทำการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารตัวอย่างอีก 3 สารตัวอย่างคือหมายเลข 2 , 3 และ 4 โดยวิธีการและขั้นตอนในการทดลองเช่นเดียวกับสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์หมายเลข 1 ที่กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.1 ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8 นำผลการทดลองมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนกับอุณหภูมิเฉลี่ย แสดงดังรูปที่ 4.7 , 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 2

อุณหภูมิเฉลี่ย (เคลวิน)	ค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน (μV/K)
305.0	3.2
280.0	3.1
253.1	2.5
241.0	2.3
228.7	2.2
220.9	2.1
204.6	2.0
190.2	2.0
179.7	1.7

ตารางที่ 4.6(ต่อ) ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 2

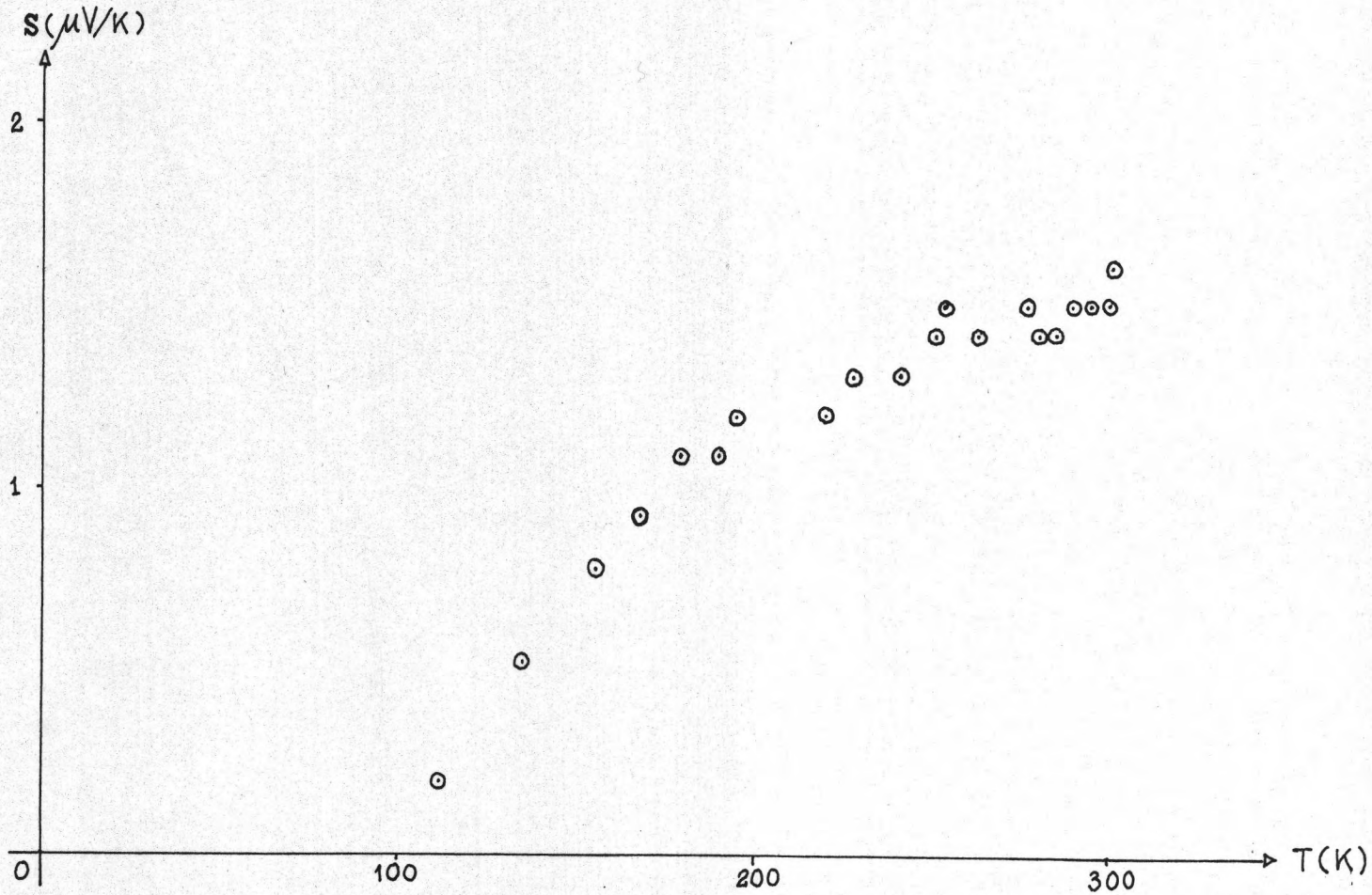
อุณหภูมิเฉลี่ย (เคลวิน)	ค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน (μV/K)
167.4	1.7
153.5	1.2
138.8	1.0
136.1	0.9
121.0	0.6
117.3	0.9
113.5	0.6
110.6	0.6



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนกับอุณหภูมิเฉลี่ย
ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 2

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 3

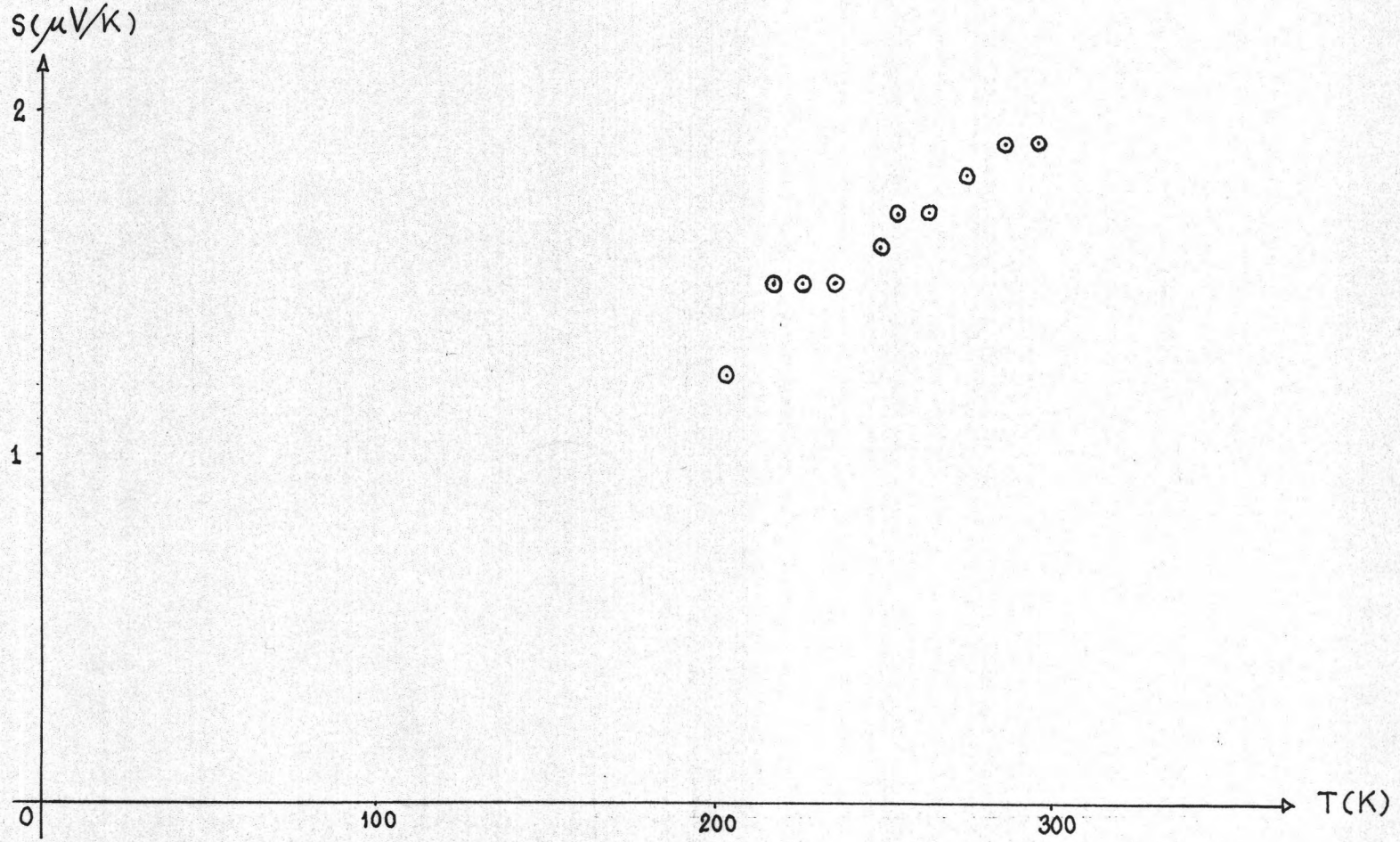
อุณหภูมิเฉลี่ย (เคลวิน)	ค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน (μV/K)
300.0	1.6
299.0	1.5
296.0	1.5
284.6	1.5
280.0	1.4
278.5	1.4
277.0	1.5
263.0	1.4
253.0	1.5
251.0	1.4
242.5	1.3
228.0	1.3
220.0	1.2
194.5	1.2
190.5	1.1
179.0	1.1
168.5	0.9
156.5	0.8
135.0	0.5
112.0	0.2



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนกับอุณหภูมิเฉลี่ย
ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 3

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองวัดค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 4

อุณหภูมิเฉลี่ย (เคลวิน)	ค่ากำลังไฟฟ้าความร้อน (μV/K)
297.0	1.9
287.1	1.9
275.7	1.8
264.6	1.7
254.7	1.7
250.5	1.6
237.1	1.5
227.3	1.5
219.6	1.5
204.0	1.2



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าความร้อนกับอุณหภูมิเฉลี่ย
ของสารตัวอย่างพอลิพิรโรล์ หมายเลข 4