풀이

과제 1

1.

1.1. $T_0 = 25 \pm 1\ ^{o}\mathrm{C}$

$$V_{\mathrm{samp}}\left(T_0\right) = 573.9\ \mathrm{mV}$$

실험 세트에 따라 V_{samp}는 위 값과 ±40 mV 안에서 다를 수 있다.

오차 어림에 대한 주:
δV 와 δV는 멀티미터 사양(읽음값의 ±0.5% + 마지막 자리 2)으로 계산한다.
예: V = 500 mV이면 오차는 δV = 500×0.5% + 0.2 = 2.7 mV ≈ 3 mV.

따라서 $V_{samp}\left(T_0\right) = 574 \pm 3\ \mathrm{mV}$.

모든 값 $V_{samp}\left(T_0\right)$가 505÷585 mV 안에 있으면 인정한다.

1.2. 온도 계산 공식:

식 (1)에서: $V_{\mathrm{samp}} = V_{\mathrm{samp}}(T_0) - \alpha(T - T_0)$

$$V_{\mathrm{samp}}\left(50^{o}\mathrm{C}\right) = 523.9\ \mathrm{mV}$$

$$V_{\mathrm{samp}}\left(70^{o}\mathrm{C}\right) = 483.9\ \mathrm{mV}$$

$$V_{\mathrm{samp}}\left(80^{o}\mathrm{C}\right) = 463.9\ \mathrm{mV}$$

오차 계산: $\delta V_{\mathrm{samp}} = \delta V_{\mathrm{samp}}\left(T_0\right) + \left(T - T_0\right)\delta\alpha$

예: V_{samp} = 495.2 mV이면 $\delta V_{\mathrm{samp}} = 2.7 + 0.03 \times (50 - 25) = 3.45\ \mathrm{mV} \approx 3.5\ \mathrm{mV}$

따라서:

$$V_{\mathrm{samp}}\left(50^{o}\mathrm{C}\right) = 524 \pm 4\ \mathrm{mV}$$

$$V_{\mathrm{samp}}\left(70^{o}\mathrm{C}\right) = 484 \pm 4\ \mathrm{mV}$$

$$V_{\text{samp}}\left(80^{\circ}\text{C}\right) = 464 \pm 5 \text{ mV}$$

인정 범위에는 1.1과 같은 규칙을 V_{samp}에 적용한다.

2.

2.1. 시료 없이 식는 과정의 데이터:

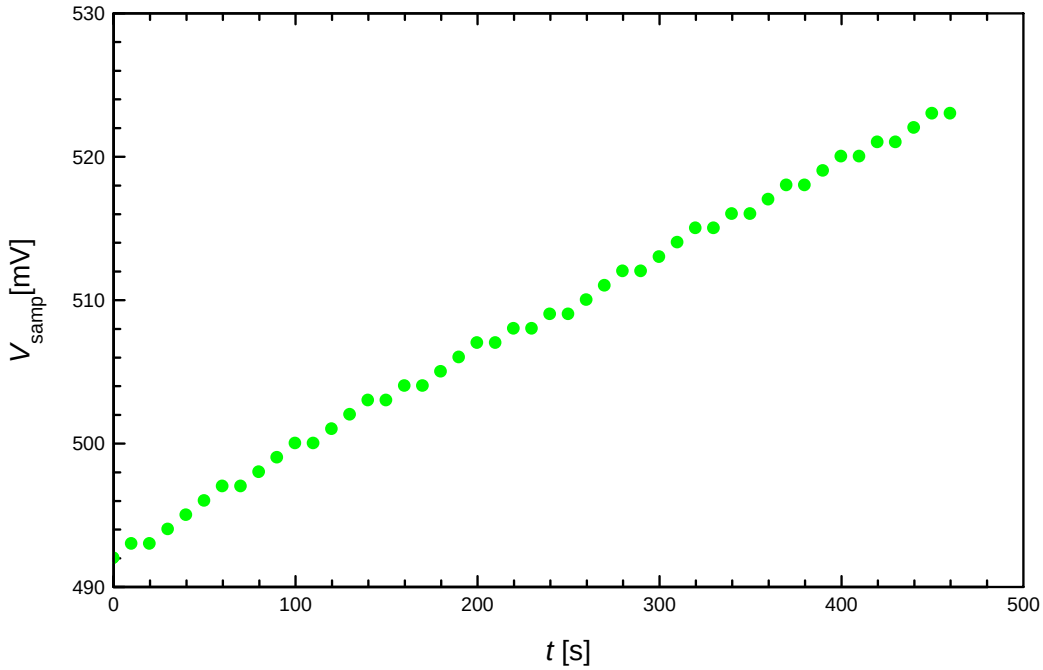
t (s)	V_{samp} (mV) (±3mV)	ΔV (mV) (±0.2mV)
0	492	-0.4
10	493	-0.5
20	493	-0.5
30	494	-0.6
40	495	-0.7
50	496	-0.7
60	497	-0.8
70	497	-0.8
80	498	-0.9
90	499	-1.0
100	500	-1.0
110	500	-1.1
120	501	-1.1
130	502	-1.2
140	503	-1.2
150	503	-1.3
160	504	-1.3
170	504	-1.4
180	505	-1.5
190	506	-1.6
200	507	-1.6
210	507	-1.7
220	508	-1.7
230	508	-1.8
240	509	-1.8
250	509	-1.8
260	510	-1.9
270	511	-1.9

280	512	-1.9
290	512	-2.0
300	513	-2.0
310	514	-2.1
320	515	-2.1
330	515	-2.1
340	516	-2.1
350	516	-2.2
360	517	-2.2
370	518	-2.3
380	518	-2.3
390	519	-2.3
400	520	-2.4
410	520	-2.4
420	521	-2.5
430	521	-2.5
440	522	-2.5
450	523	-2.6
460	523	-2.6

ΔV의 인정 범위는 ±40 mV이다. T에 따른 ΔV의 변화에는 정해진 규칙이 없다 T (접시가 판 위에 놓인 위치 등에 달려 있다.)

2.2.

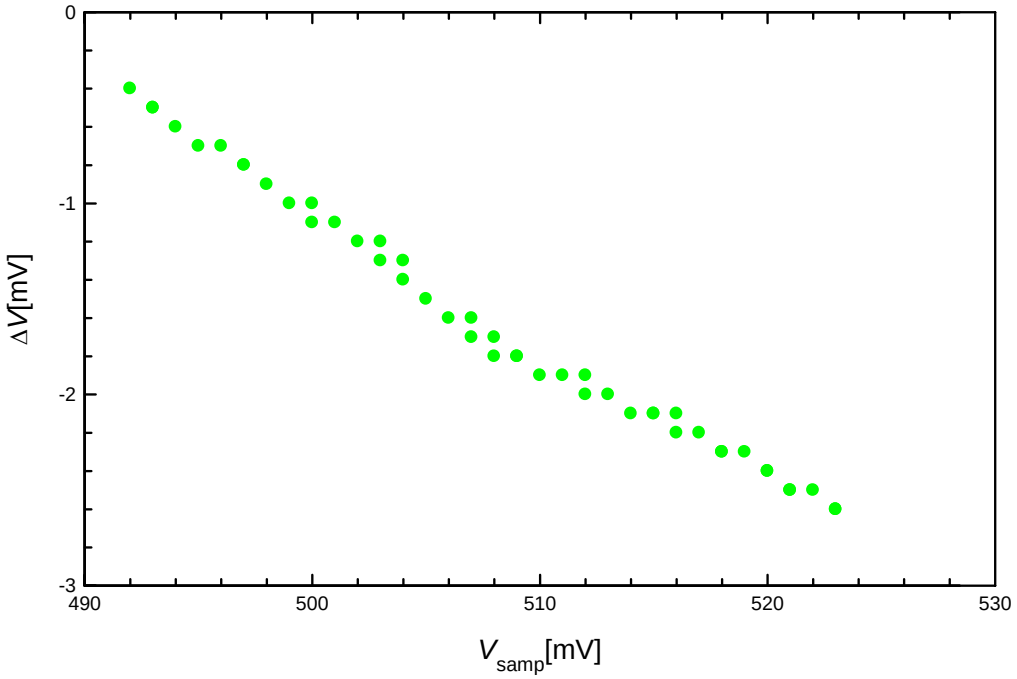
그래프 1



올바른 그래프에는 기울기의 급격한 변화가 없어야 한다.

2.3.

그래프 2



올바른 그래프에는 기울기의 급격한 변화가 없어야 한다.

3.

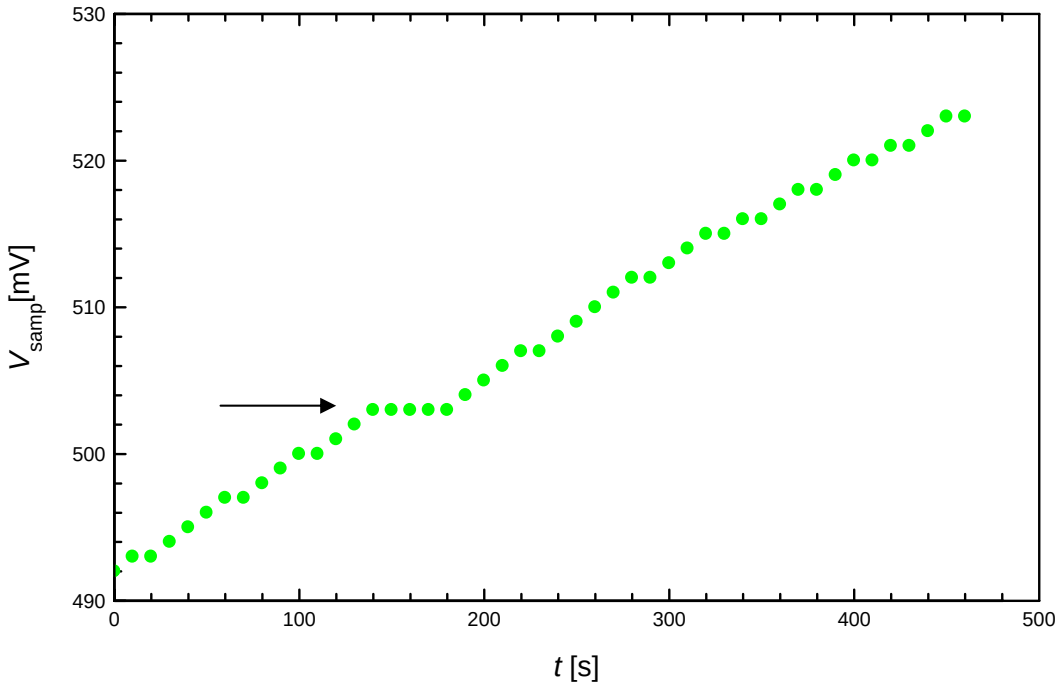
3.1. 물질을 담은 접시

t (s)	V_{samp} (mV) (±3mV)	ΔV (mV) (±0.2mV)
0	492	-4.6
10	493	-4.6
20	493	-4.6
30	494	-4.6
40	495	-4.6
50	496	-4.6
60	497	-4.6
70	497	-4.5
80	498	-4.5
90	499	-4.5
100	500	-4.5
110	500	-4.5
120	501	-4.5

130	502	-4.6
140	503	-4.6
150	503	-5.1
160	503	-5.6
170	503	-6.2
180	503	-6.5
190	504	-6.6
200	505	-6.5
210	506	-6.4
220	507	-6.3
230	507	-6.1
240	508	-5.9
250	509	-5.7
260	510	-5.5
270	511	-5.3
280	512	-5.1
290	512	-5.0
300	513	-4.9
310	514	-4.8
320	515	-4.7
330	515	-4.7
340	516	-4.6
350	516	-4.6
360	517	-4.5
370	518	-4.5
380	518	-4.4
390	519	-4.4
400	520	-4.4
410	520	-4.4
420	521	-4.4
430	521	-4.3
440	522	-4.3
450	523	-4.3
460	523	-4.3

3.2.

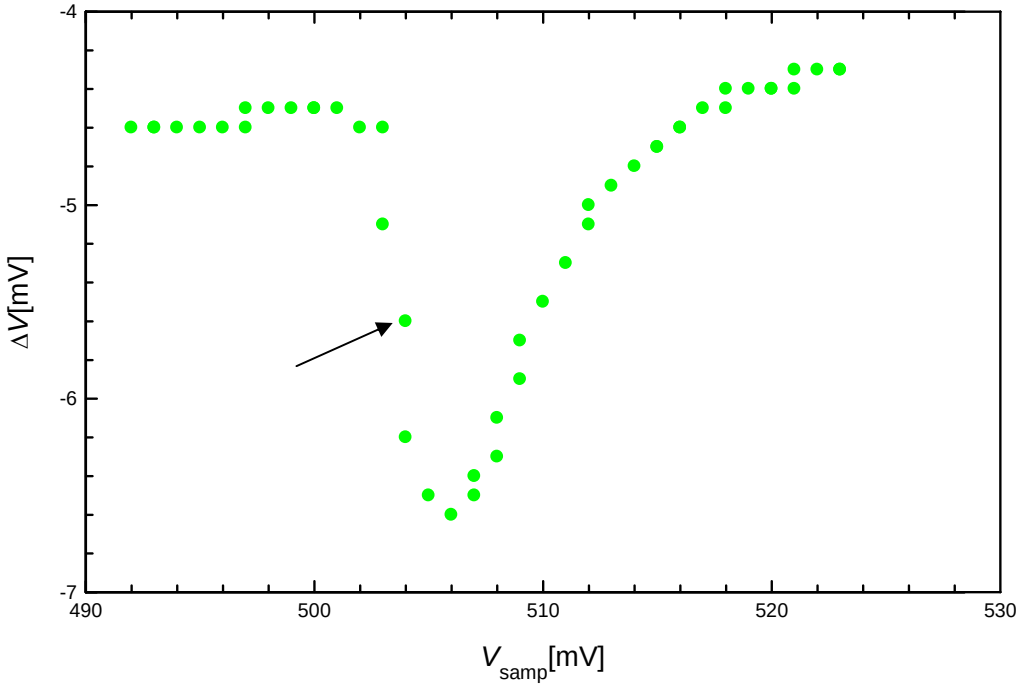
그래프 3



올바른 그래프 3에는 위 그림에 화살표로 표시한 것처럼 짧은 평평한 구간이 있어야 한다.

3.3.

그래프 4



올바른 그래프 4에는 위 그림에 화살표로 표시한 것처럼 ΔV의 급격한 변화가 있어야 한다.
주: 접시에 물질이 들어 있으면, ΔV 값이 물질이 없을 때와 비교해 달라질 수 있다.

4.

4.1. V_s는 그래프 3에 나타나 있다. 값 V_s = (503±3) mV. 이로부터 $T_s = 60.5$ ℃를 얻는다.

4.2. V_s는 그래프 4에 나타나 있다. 값 V_s = (503±3) mV. 이로부터 $T_s = 60.5$ ℃를 얻는다.

4.3. 제곱평균제곱근 방법을 쓴 오차 계산:

오차: T_s : $T_s = T_0 + \dfrac{V(T_0) - V(T_s)}{\alpha} = T_0 + A$, 여기서 A는 중간 변수이다.

따라서 T_s의 오차는 다음과 같다: $\delta T_s = \sqrt{(\delta T_0)^2 + (\delta A)^2}$. 여기서 δ…는 오차이다.

A의 오차는 따로 계산한다:

$$\delta A = \frac{V(T_0) - V(T_s)}{\alpha} \sqrt{\left\{ \frac{\delta[V(T_0) - V(T_s)]}{V(T_0) - V(T_s)} \right\}^2 + \left(\frac{\delta\alpha}{\alpha} \right)^2}$$

여기서

$$\delta[V(T_0) - V(T_s)] = \sqrt{[\delta V(T_0)]^2 + [\delta V(T_s)]^2}$$

이 실험의 다른 변수들의 오차:

$\delta T_0 = 1^o$C

$\delta V(T_0)$ = 3 mV (멀티미터에서 읽음).

$\delta\alpha = 0.03$ mV/^{o}C

$\delta V(T_s) \approx 3$ mV

위의 구성 오차들로부터:

$$\delta[V(T_0) - V(T_s)] \approx 4.24\,mV$$

$\delta A \approx 2.1°\text{C}$

끝으로 T_s is: $\delta T_s \approx 2.5°\text{C}$

따라서 최종 결과는: $T_s = 60 \pm 2.5\ ^{o}\text{C}$

주: 학생이 다른 합리적인 오차 계산 방법을 써서 거의 같은 결과를 얻으면 그것도 인정한다.

과제 2

1.

1.1. $T_0 = 26 \pm 1^{o}\mathrm{C}$

2.

2.1. 램프를 끈 상태의 측정 데이터

t (s)	$\Delta V(T_0)$ (mV) (±0.2mV)
0	19.0
10	19.0
20	19.0
30	19.0
40	19.0
50	18.9
60	18.9
70	18.9
80	18.9
90	18.9
100	19.0
110	19.0
120	19.0

$\Delta V(T_0)$의 값은 실험 세트마다 다를 수 있다. 인정되는 값은 -40÷+40 mV 사이이다.

2.2. 램프를 켠 상태의 측정 데이터

t (s)	ΔV (mV) (±0.2mV)
0	19.5
10	21.9
20	23.8
30	25.5
40	26.9
50	28.0
60	29.0
70	29.9
80	30.7
90	31.4

100	32.0
110	32.4
120	32.9

(램프로) 빛을 비추면 ΔV 값이 처음 상태(램프 끔)와 비교해 10 ÷ 20 mV 바뀔 수 있다.

2.3. 램프를 끈 뒤의 측정 데이터

t (s)	ΔV (mV) (±0.2mV)
0	23.2
10	22.4
20	21.6
30	21.0
40	20.5
50	20.1
60	19.6
70	19.3
80	18.9
90	18.6
100	18.4
110	18.2
120	17.9

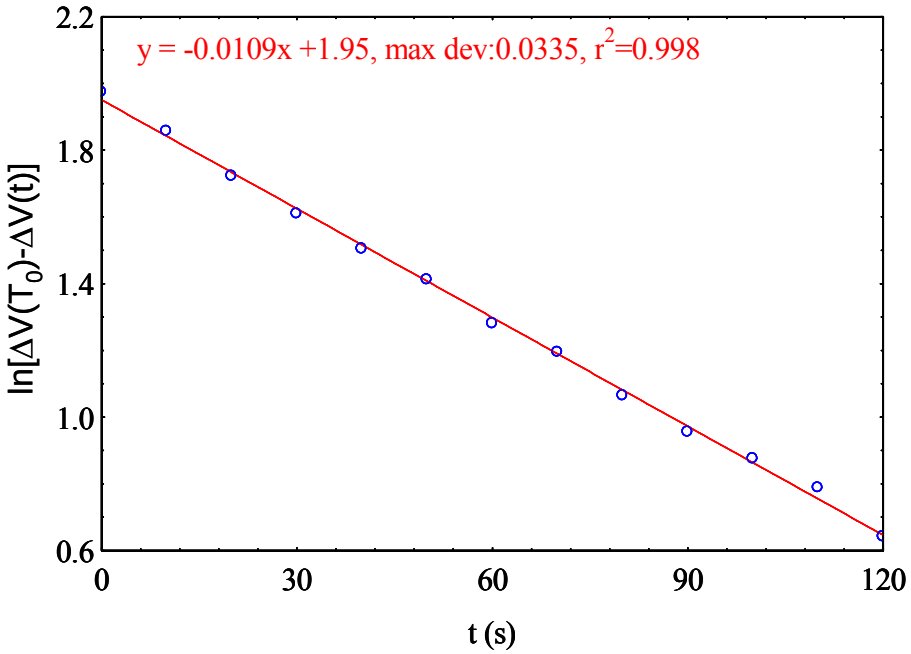
3. 그래프 5 그리기와 k 계산

3.1. $x = t$; $y = \mathbf{ln}\left[\Delta V\left(T_0\right) - \Delta V\left(t\right)\right]$

주: ln을 써서 선형 관계가 되는, x와 y의 다른 합리적인 표현도 인정한다.

3.2. 그래프 5

그래프 5



3.3. k 계산: $\frac{k}{C} = 0.0109\ \text{s}^{-1}$ and $C = 0.69$ J/K, thus $k = 7.52\times10^{-3}$ W/K

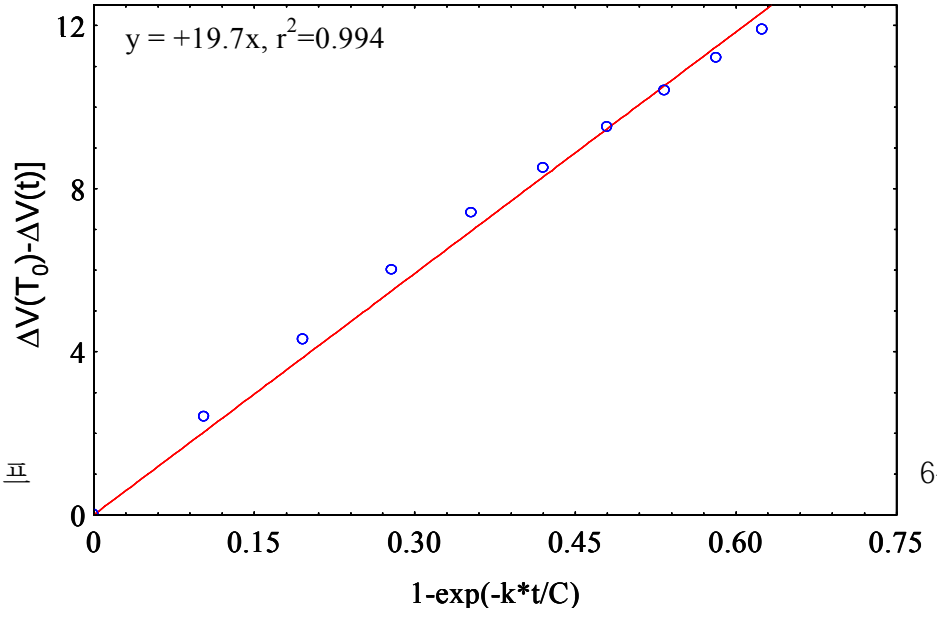
주: k의 오차는 5.5에서 계산한다. 이 단계에서는 k의 오차를 내지 않아도 된다.
k의 인정 값은 실험 세트에 따라 $6\times10^{-3} \div 9\times10^{-3}$ W/K 사이이다.

4. 그래프 6 그리기와 E 계산

4.1. $x = \left[1 - \exp\left(\frac{-kt}{C}\right)\right]$; $y = \left|\Delta V(T_0) - \Delta V(t)\right|$

4.2.

그래프 6



그래프 6은

실질적으로 선형이어야 하며, 기울기는 실험 세트에 따라 15÷25 mV 사이이다.

4.3. 그래프 6의 기울기와 검출기 입구의 넓이로부터 다음을 얻는다.

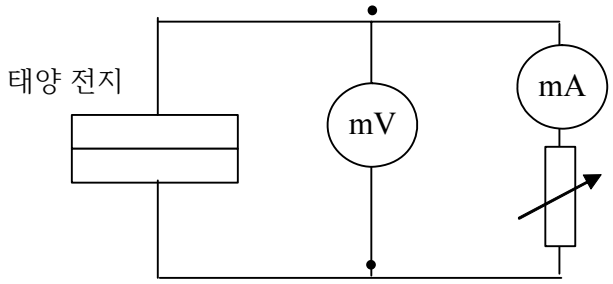
E = 140 W/m^2. 검출기 입구의 넓이는 is

$S_{\text{det}} = \pi R_{\text{det}}{}^2 = \pi \times (13\times10^{-3})^2 = 5.30\times10^{-4}$ m^2 오차: $\dfrac{\delta R_{\text{det}}}{R_{\text{det}}} = 5\%$

E의 오차는 5.5에서 계산한다. 이 단계에서는 E의 오차를 내지 않아도 된다. E의 인정 값은 실험 세트에 따라 120 ÷ 160 W/m² 사이이다.

5.

5.1. 회로도:



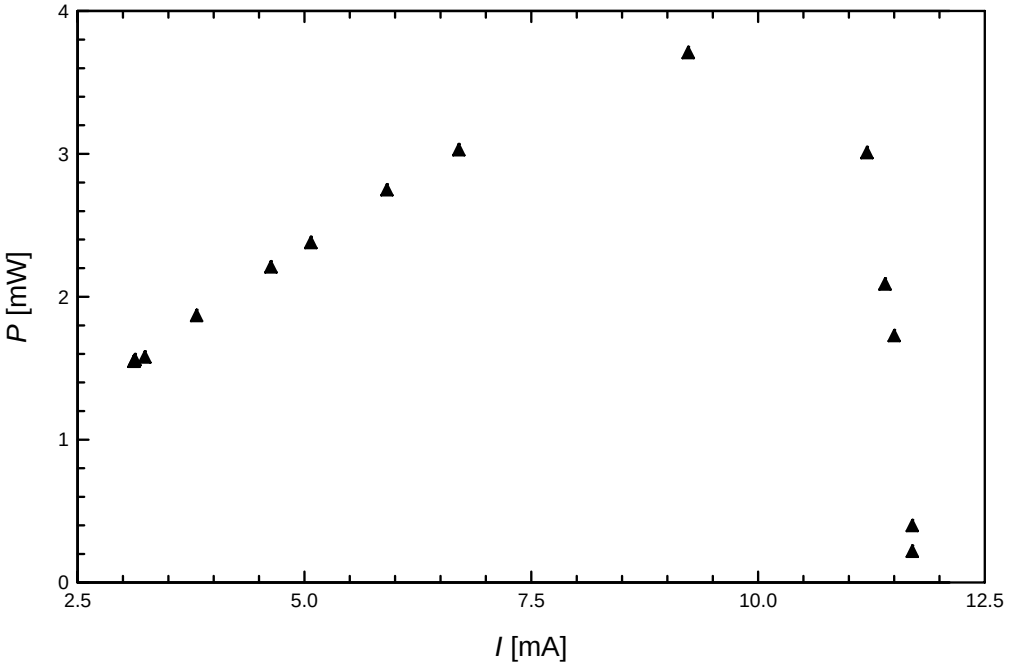
5.2. V와 I의 측정

V (mV) (±0.3÷3mV)	I (mA) (±0.05÷0.1mA)	P (mW)
18.6 ±0.3	11.7	0.21
33.5	11.7	0.39
150	11.5	1.72
157	11.6	1.82
182 ±1	11.4	2.08
267	11.2	3.00
402 ±2	9.23	3.70
448	6.70	3.02
459	5.91	2.74
468	5.07	2.37
473 ±3	4.63	2.20
480	3.81	1.86
485	3.24	1.57

487	3.12	1.54
489	3.13	1.55

5.3.

그래프 7



5.4. $P_{max} = 3.7 \pm 0.2$ mW

P_{max}의 인정 값은 실험 세트에 따라 3÷4.5 mW 사이이다.

5.5. 효율의 식

$$S_{cell} = 19 \times 24\,\text{mm}^2 = 450 \times 10^{-6}\,\text{m}^2$$

그러면 $\eta_{max} = \dfrac{P_{max}}{E \times S_{cell}} = 0.058$

오차 계산:

$\delta\eta_{max} = \eta_{max}\sqrt{\left(\dfrac{\delta P_{max}}{P_{max}}\right)^2 + \left(\dfrac{\delta E}{E}\right)^2 + \left(\dfrac{\delta S_{cell}}{S_{cell}}\right)^2}$, 여기서 S_{cell}은 태양 전지의 넓이이다.

$\dfrac{\delta P_{max}}{P_{max}}$ 는 그래프 7에서 어림하며, 대표값은 ≈ 6 %

$\frac{\delta S_{\text{cell}}}{S_{\text{cell}}}$: (자로 잰) mm 측정에서 오는 오차, 대표값 ≈ 5 %

E는 (그래프 6을 써서) 다음 비를 평균해 계산한다:

$$B = \frac{\Delta V(T_0) - \Delta V(t)}{1 - \exp\left(-\frac{k}{C}t\right)} = \frac{E\pi {R_{\text{det}}}^2 \alpha}{k}$$

여기서 B는 중간 변수, R_{det}는 검출기 입구의 반지름이다.

$$E = \frac{kB}{\pi {R_{\text{det}}}^2 \alpha}$$

E의 오차 계산:

$$\overline{\left(\frac{\delta E}{E}\right)} = \sqrt{\left(\frac{\delta k}{k}\right)^2 + \left(\frac{\delta B}{B}\right)^2 + 4\left(\frac{\delta R_{\text{det}}}{R_{\text{det}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta \alpha}{\alpha}\right)^2}$$

k는 다음의 회귀에서 계산한다:

$\Delta T = \Delta T(0)\exp\left(-\frac{k}{C}t\right)$, 따라서 $\ln \Delta T = \ln \Delta T(0) - \frac{k}{C}t$

$k/C = m$로 두면$k = mC$

회귀로부터 m의 오차를 계산할 수 있다:

$$\frac{\delta m}{m} \approx 2(1-r) \approx 0.2\%$$

$$\frac{\delta k}{k} = \sqrt{\left(\frac{\delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\delta C}{C}\right)^2}$$

$\eta_{\max}$의 오차의 식을 유도한다:

$$\delta\eta_{\max} = \eta_{\max}\sqrt{\left(\frac{\delta P_{\max}}{P_{\max}}\right)^2 + \left(\frac{\delta S_{\text{cell}}}{S_{\text{cell}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta B}{B}\right)^2 + 4\left(\frac{\delta R_{\text{det}}}{R_{\text{det}}}\right)^2 + \left(\frac{\delta m}{m}\right)^2 + \left(\frac{\delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\delta \alpha}{\alpha}\right)^2}$$

η $\eta_{\max}$와 다른 구성 오차의 대표값:

$$\eta_{\max} \approx 0.058$$

$$\frac{\delta P_{\max}}{P_{\max}} = 5\% \;;\quad \frac{\delta B}{B} \approx 0.6\% \;;\quad \frac{\delta m}{m} \approx 0.2\% \;;\quad \frac{\delta S_{\text{cell}}}{S_{\text{cell}}} \approx 5\% \;;\quad \frac{\delta R_{\text{det}}}{R_{\text{det}}} \approx 5\% \;;$$

$$\frac{\delta C}{C} \approx 3\%; \frac{\delta k}{k} \approx 3\%; \ \frac{\delta E}{E} \approx 10.5\%; \ \frac{\delta \alpha}{\alpha} \approx 1.5\%$$

끝으로:

$$\frac{\delta \eta_{\max}}{\eta_{\max}} = 12.7\%; \ \delta \eta_{\mathbf{max}} \approx 0.0074$$

그리고

$$\eta_{\mathbf{max}} = (5.8 \pm 0.8)\%$$

주: 학생이 다른 합리적인 오차 방법을 써서 거의 같은 결과를 얻으면 그것도 인정한다.