2.1 태양 전지 전류가 광원까지의 거리에 따라 달라지는 모습

$$I(r) = \frac{I_a}{1 + \frac{r^2}{a^2}}$$

2.1a	I를 r의 함수로 측정하고, 측정값으로 표를 만드시오.	1.0
2.1b	알맞은 그래프 방법으로 I_a와 a의 값을 구하시오.	1.0

측정 번호	r	I	1/I	r^2
	mm	mA	1/mA	mm^2
3	9.0	5.440	0.184	81
4	14.5	5.290	0.189	210
5	20.0	5.010	0.200	400
6	25.5	4.540	0.220	650
7	31.0	3.840	0.260	961
8	36.5	3.230	0.310	1332
9	42.0	2.730	0.366	1764
10	47.5	2.305	0.434	2256
11	53.0	1.985	0.504	2809
12	58.5	1.730	0.578	3422
13	64.0	1.485	0.673	4096
14	69.5	1.305	0.766	4830
15	75.0	1.140	0.877	5625
16	80.5	1.045	0.957	6480
17	86.0	0.930	1.075	7396
18	91.5	0.840	1.190	8372
19	97.0	0.755	1.325	9409
20	102.5	0.690	1.449	10506

$$I\left(1 + \frac{r^2}{a^2}\right) = I_a$$

$$r^2 = I_a a^2 \cdot \frac{1}{I} - a^2$$

$a^2 = 1200\ \text{mm}^2 \pm 100\ \text{mm}^2$,

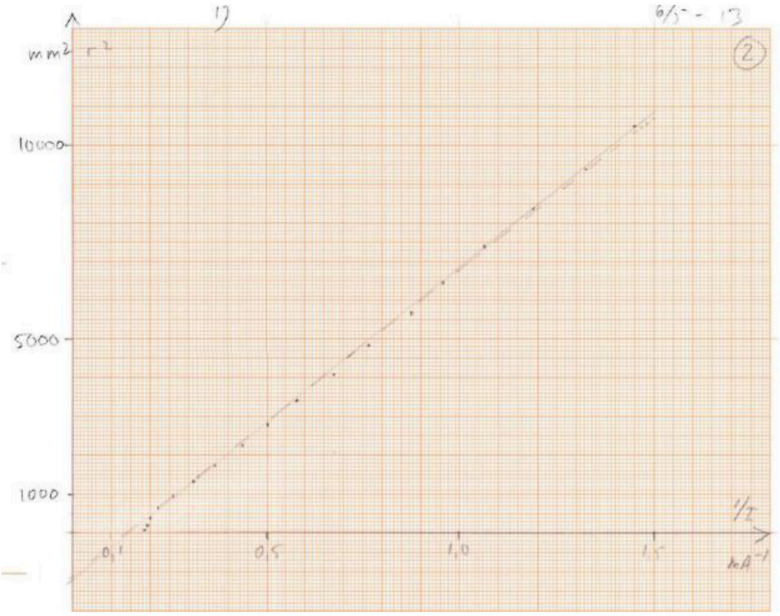
$a = 35\ \text{mm} \pm \pm 2\ \text{mm}$

$I_a a^2 = \frac{10870-0}{1.50-0.15} \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{mA}^{-1}} = 8051.85\ldots\ \text{mm}^2\text{mA}$

$$I_a = \frac{8051.85\ \frac{\text{mm}^2}{\text{mA}^{-1}}}{1200\ \text{mm}^2} = 6.7\ \text{mA} \pm 0.5\ \text{mA}$$

$(I_a a^2)_{\min} = \frac{10700-0}{1.50-0.14} \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{mA}^{-1}} = 7867.6\ldots\ \text{mm}^2\text{mA}$

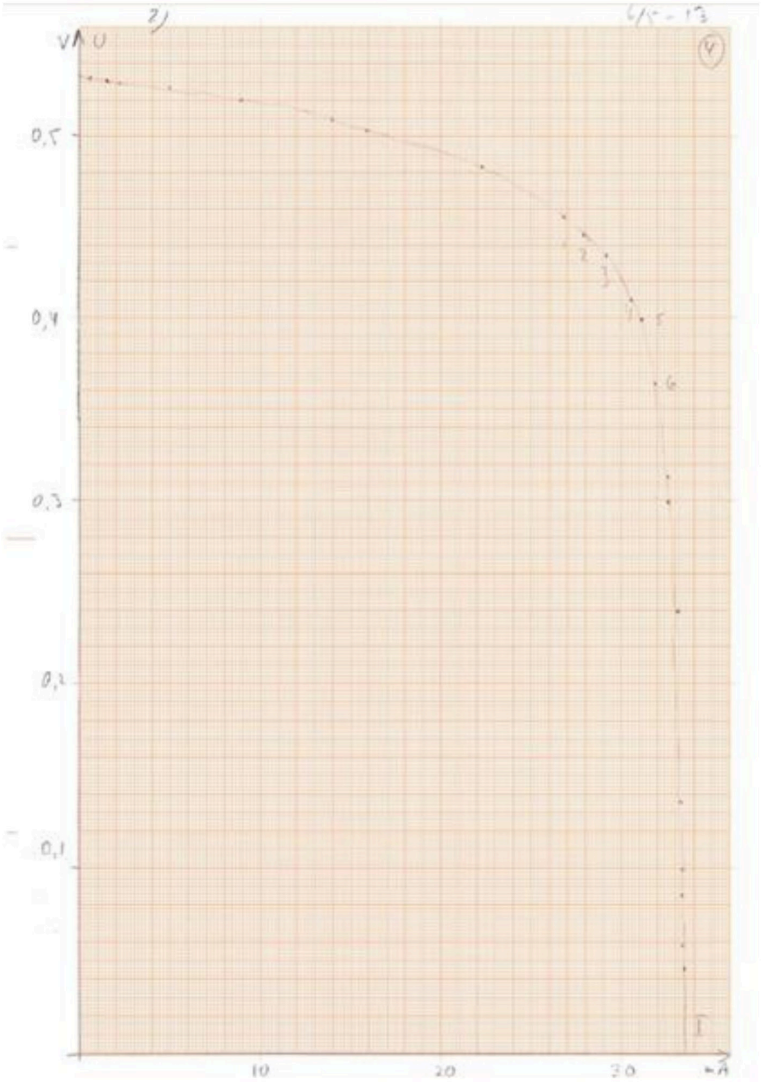
$\rightarrow I_{a,\max} = \frac{(I_a a^2)_{\min}}{a^2_{\min}} = \frac{7867.6\ \text{mm}^2\text{mA}}{1100\ \text{mm}^2} = 7.2\ \text{mA}$



2.2 태양 전지의 특성

2.2a	U와 I의 대응하는 측정값으로 표를 만드시오.	0.6
2.2b	전압을 전류의 함수로 그래프로 그리시오.	0.8

I mA	U V
0.496	0.532
1.451	0.531
5.05	0.526
8.88	0.52
14.05	0.509
31.1	0.395
25.3	0.471
21.6	0.488
30.6	0.41
31.9	0.364
32.6	0.299
32.6	0.313
33.1	0.239
33.4	0.085
33.3	0.138
33.4	0.096
33.4	0.058
33.5	0.046
33.5	0.045
1.05	0.529
27.8	0.454
15.9	0.503
22.3	0.483
26.8	0.458
29.2	0.435



2.3 태양 전지의 이론적 특성

2.3a	문제 2.2b의 그래프로 $I_{\max}$를 구하시오.	0.4
2.3b	이 근사가 잘 맞는 U 값의 범위를 어림하시오. 그래프로 여러분의 태양 전지에 대한 I_0와 η의 값을 구하시오.	1.2

$U = 0$에서 $I = I_{\max} \;\rightarrow\; I_{\max} = 33.5\ \mathrm{mA}$

$\eta k_B T < 4 \cdot 1.381 \cdot 10^{-23}\ \mathrm{J/K} \cdot 300\ \mathrm{K} = 0.103\ \mathrm{eV}$

$I = I_{\max} - I_0 \left(\exp\left(\frac{eU}{\eta k_B T}\right) - 1\right) \approx I_{\max} - I_0 \exp\left(\frac{eU}{\eta k_B T}\right)$

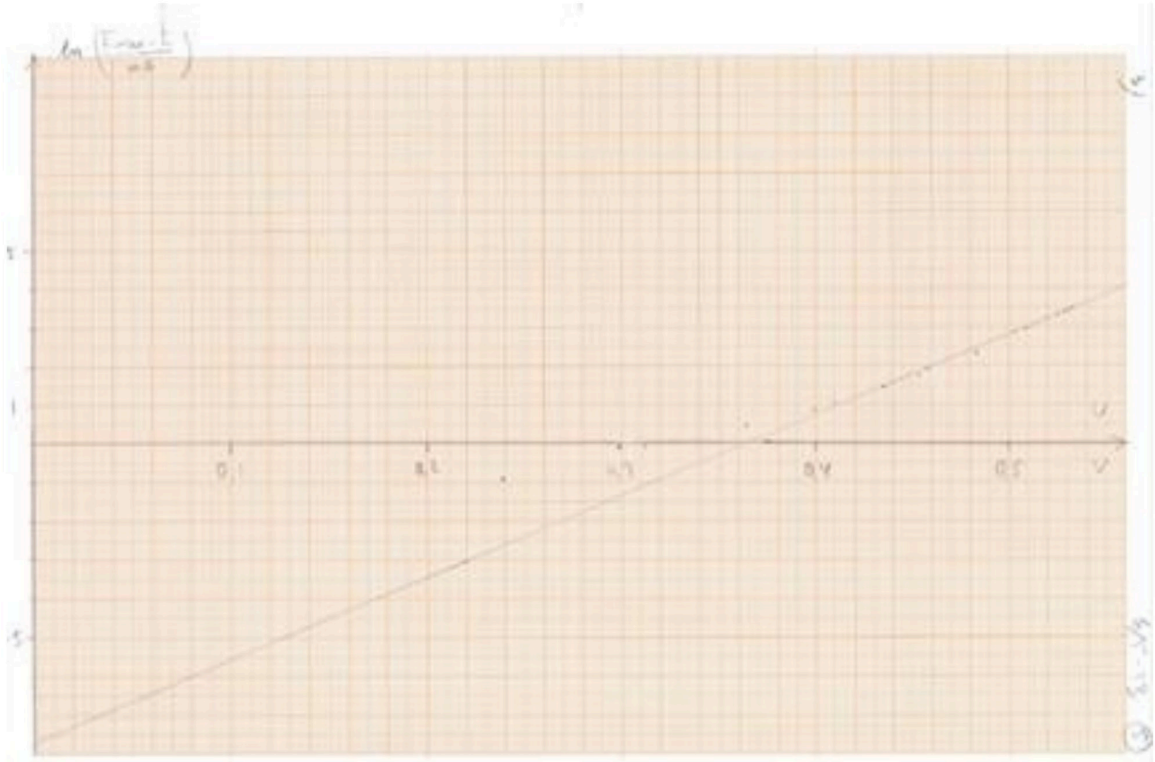
$U > 0.4\ V$일 때. 이때 $\exp\left(\frac{eU}{\eta k_B T}\right) > \exp(4) \gg 1$

$$\ln\left(\frac{I_{\max} - I}{\mathrm{mA}}\right) = \frac{e}{\eta k_B T} U + \ln\left(\frac{I_0}{\mathrm{mA}}\right)$$

$$\frac{e}{\eta k_B T} = \frac{4.03 - (-7.7)}{0.56\ \mathrm{V}} = 20.95\ \mathrm{V}^{-1}$$

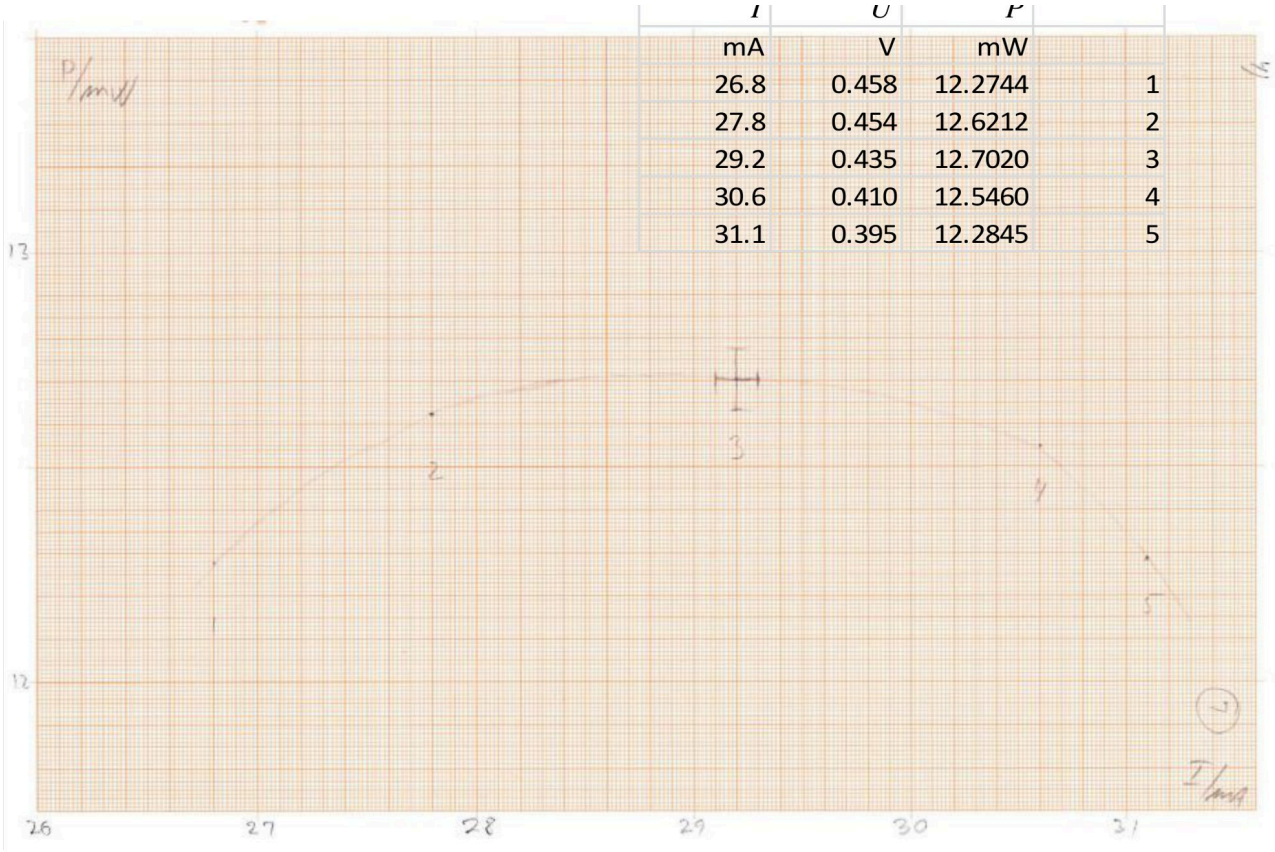
$$I_0 = e^{-7.7}\ \mathrm{mA} = 0.45\ \mu A$$

$$\rightarrow \boldsymbol{\eta} = \frac{e/(k_B T)}{20.95\ \mathrm{V}^{-1}} = 1.85$$



2.4 태양 전지의 최대 전력

2.4a	태양 전지가 외부 회로에 줄 수 있는 최대 전력을 $P_{\max}$로 나타낸다. 알맞은 측정 몇 번으로 여러분의 태양 전지의 $P_{\max}$를 구하시오. (문제 2.2의 앞선 측정값 일부를 써도 된다.)	0.5
2.4b	최적 부하 저항 R_{opt}, 즉 태양 전지가 R_{opt}에 최대 전력을 줄 때의 전체 외부 저항을 어림하시오. 결과를 불확도와 함께 밝히고, 알맞은 계산으로 방법을 보이시오.	0.5



I	U	P	
mA	V	mW	
26.8	0.458	12.2744	1
27.8	0.454	12.6212	2
29.2	0.435	12.7020	3
30.6	0.410	12.5460	4
31.1	0.395	12.2845	5

$P_{\max} = (12.7 \pm 0.1)\text{mW}$, $I = (28.8 \pm 0.2)\text{mA}$일 때

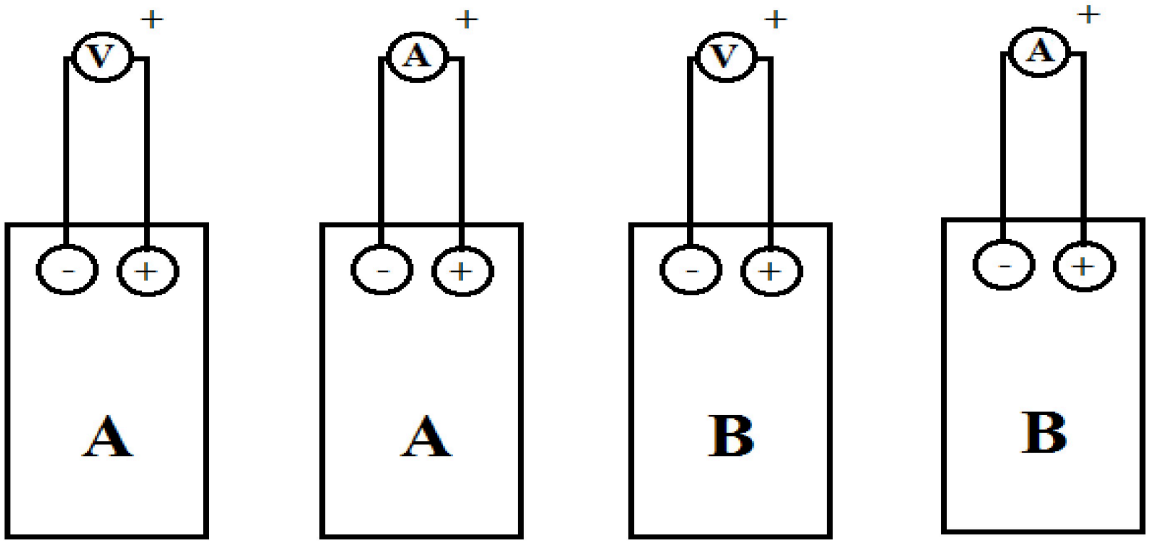
$$R_{\text{opt}} = \frac{P_{\max}}{I_{\text{opt}}^2} = \frac{12.71\text{mW}}{(28.8\text{mA})^2} = (15.3 \pm 0.3)\Omega$$

2.5 태양 전지 비교하기

2.5a	주어진 조명에서 다음을 측정하시오. - 태양 전지 A 양단에서 잴 수 있는 최대 전위차 U_A. - 태양 전지 A를 지나는, 잴 수 있는 최대 전류 I_A. 태양 전지 B에 대해서도 똑같이 하시오.	0.5
2.5b	태양 전지와 측정기의 연결을 보여 주는 회로도를 그리시오.	0.3

2.5a. U_A=0.512 V I_A=16.465 mA U_B=0.480 V I_B = 16.325 mA

2.5b.



2.6 태양 전지의 연결

2.6	태양 전지 하나를 가림판(그림 2.1의 J)으로 가렸을 때, 두 태양 전지의 네 가지 배치 가운데 어느 것이 외부 회로에서 가장 큰 전력을 낼 수 있는지 구하시오. 해당 회로도를 그리시오.	1.0

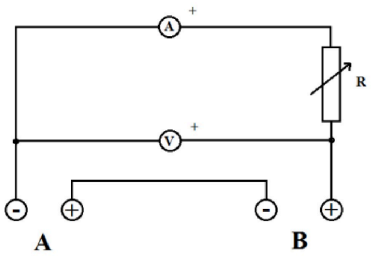
두 가지 접근법:

<u>접근법 1:</u> 가변 저항기를 일정하게 맞춰 두어 일정한 외부 부하를 흉내 낸다.

<u>접근법 2:</u> 문제의 도움말대로, (가변 저항기 없이) 최대 U와 최대 I의 값을 따로 측정한다.

아래에는 접근법 1의 측정값만 나타낸다.

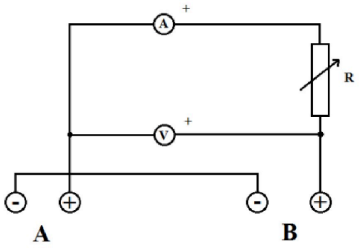
a.



(적당한 P가 되도록 R를 맞추고) 가리지 않음
13.10 mA; 0.794 V; 10.4 mW

A를 가림: 0.37 mA; 0.022 V
B를 가림: 0.83 mA; 0.049 V

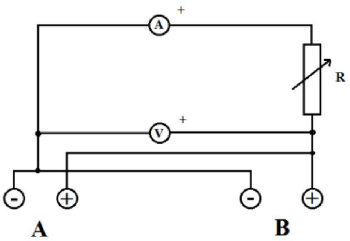
b.



R은 a와 같게.

A를 가림: 1.47 mA; 0.088 V
B를 가림: −2.82 mA; −0.170 V

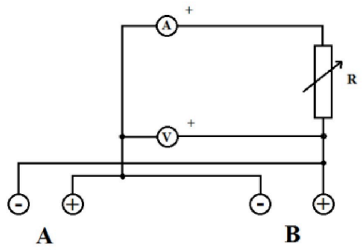
c.



R은 a와 같게.

A를 가림: 6.89 mA; 0.415 V
B를 가림: 6.905 mA; 0.4165 V

d.



*R*은 a와 같게.

A를 가림: 7.14 mA; 0.436 V
B를 가림: −7.76 mA; −0.474 V

결론: 가장 큰 전력: 배치 d에서 B를 가린 경우. (태양 전지 A가 B보다 조금 낮다.)

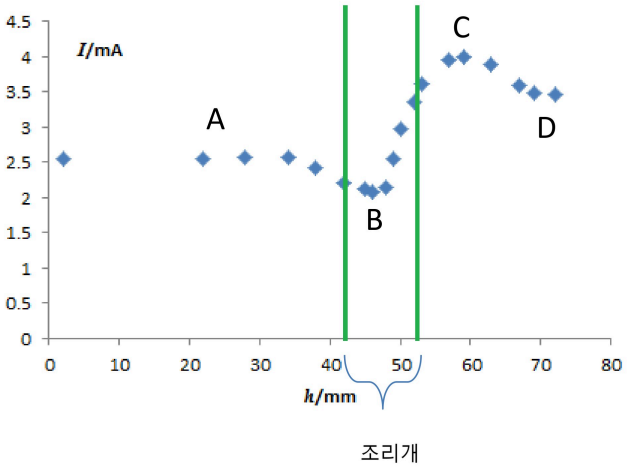
(2.7은 다음 쪽에)

2.7 광학 용기(큰 큐벳)가 태양 전지 전류에 미치는 영향

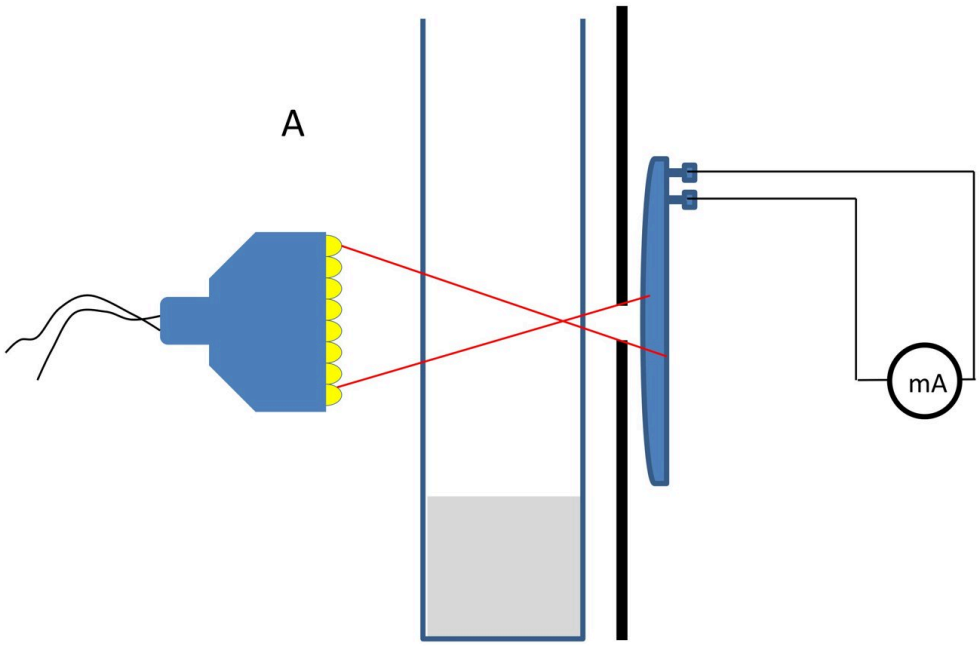
2.7a	이번에는 용기 속 물의 높이 h의 함수로 전류 I를 측정하시오. 그림 2.8을 보라. 측정값으로 표를 만들고 그래프를 그리시오.	1.0
2.7b	그래프가 왜 그런 모양인지 스케치와 기호만으로 설명하시오.	1.0
2.7c	이 장치로 다음을 하시오. - 광원과 태양 전지 사이의 거리 r_1과 전류 I_1을 측정하시오. - 빈 용기를 원형 조리개 바로 앞에 놓고 전류 I_2를 측정하시오. - 용기에 물을 거의 꼭대기까지 채우고 전류 I_3를 측정하시오.	0.6
2.7d	2.7c의 측정값으로 물의 굴절률 n_w의 값을 구하시오. 알맞은 스케치와 식으로 방법을 보이시오. 추가 측정을 해도 된다.	1.6

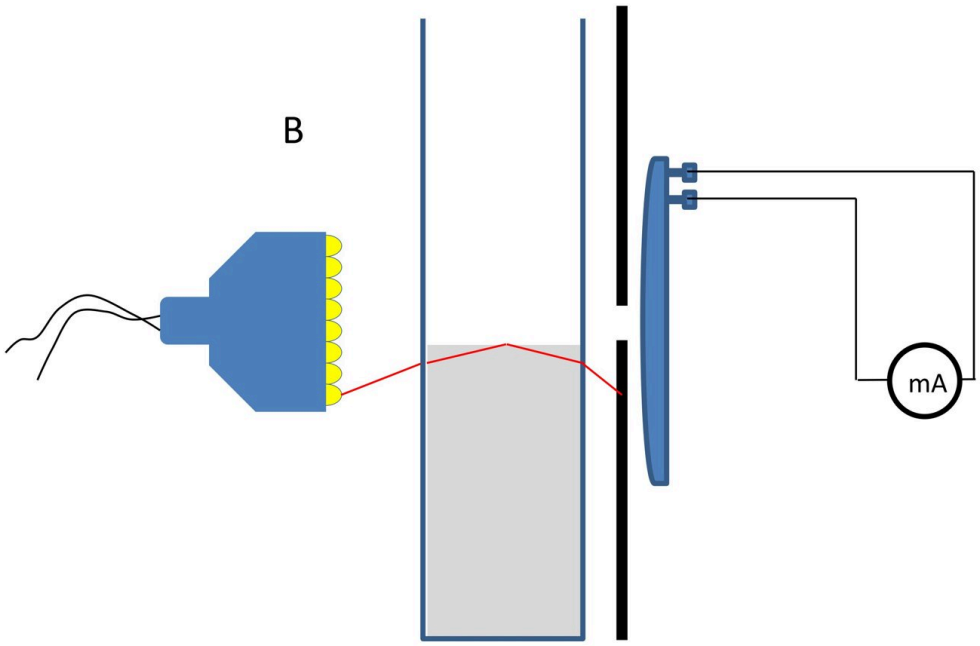
2.7a

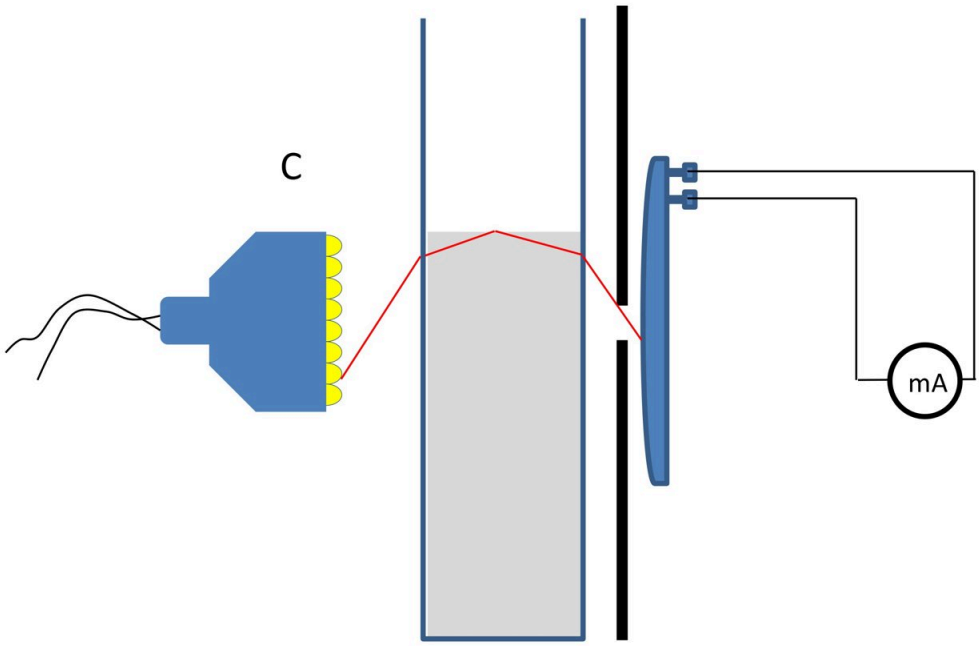
h	*I*
mm	mA
2	2.54
22	2.55
28	2.56
34	2.57
38	2.42
42	2.21
45	2.13
46	2.08
48	2.15
49	2.54
50	2.97
52	3.36
53	3.61 aperture
57	3.96
59	3.99
63	3.89
67	3.6
69	3.49
72	3.47

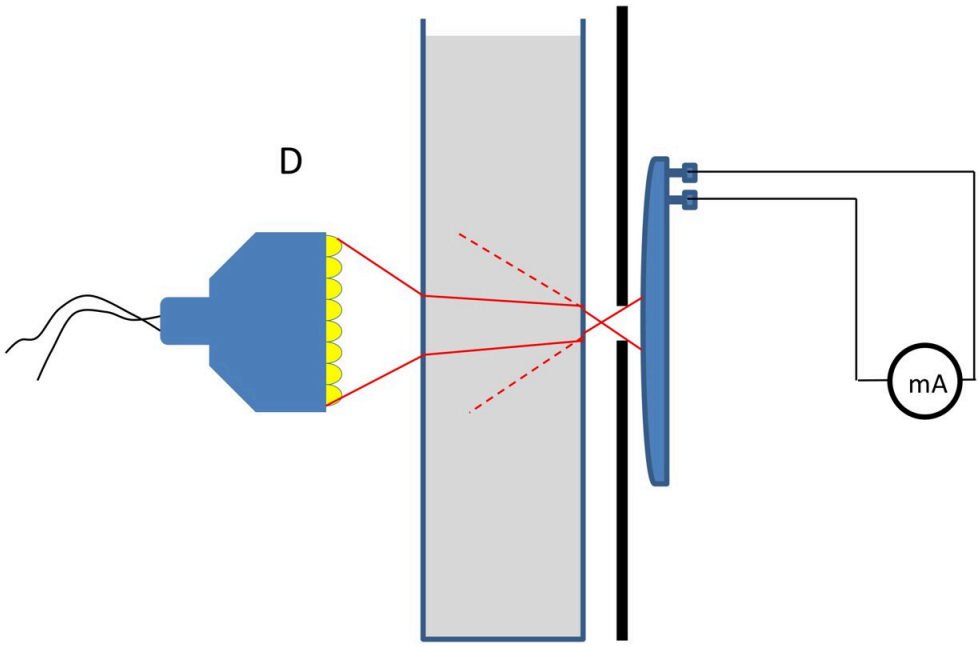


2.7b 앞 그래프의 위치 A, B, C, D에 대한 그림의 *예*:





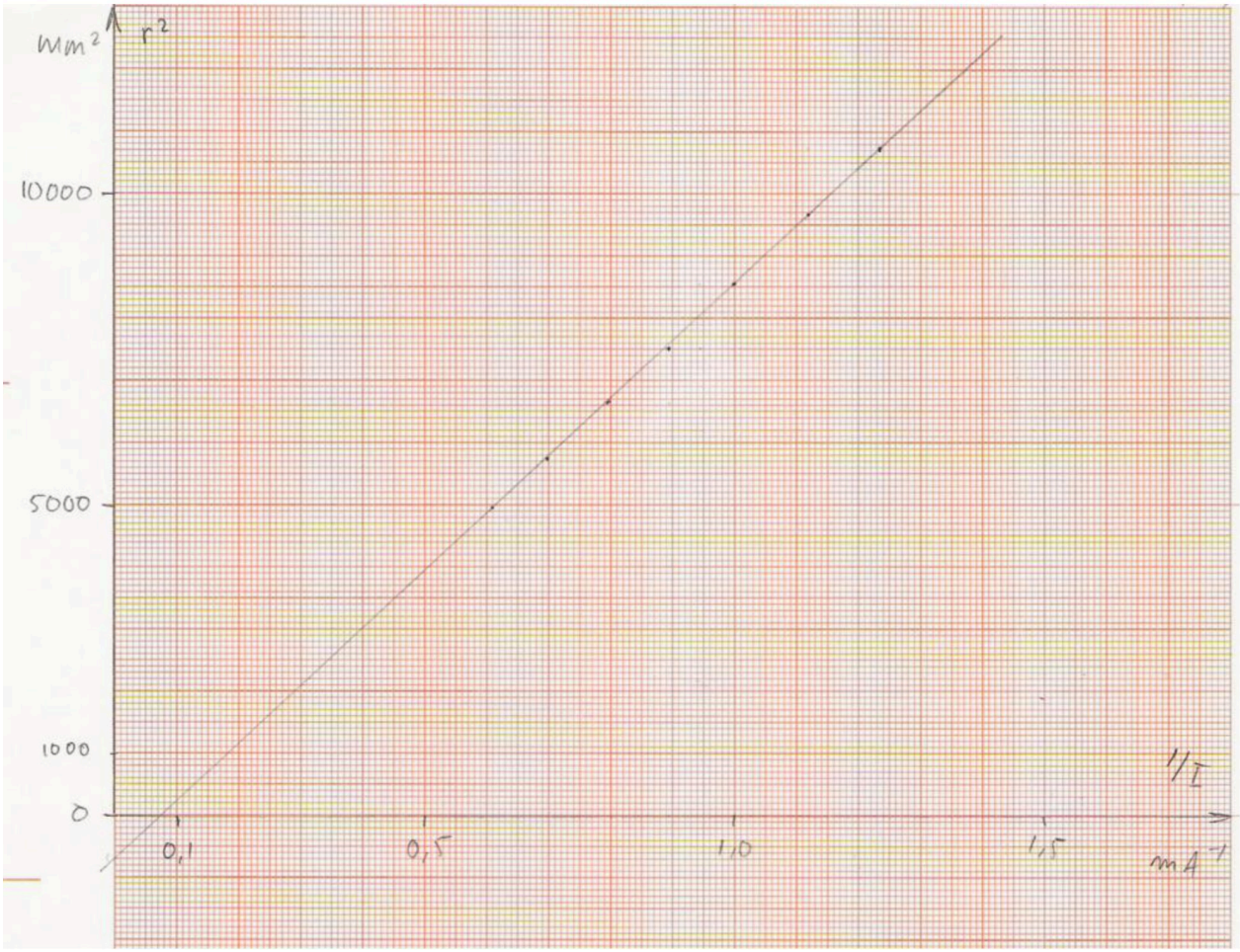

C
mA


D
mA

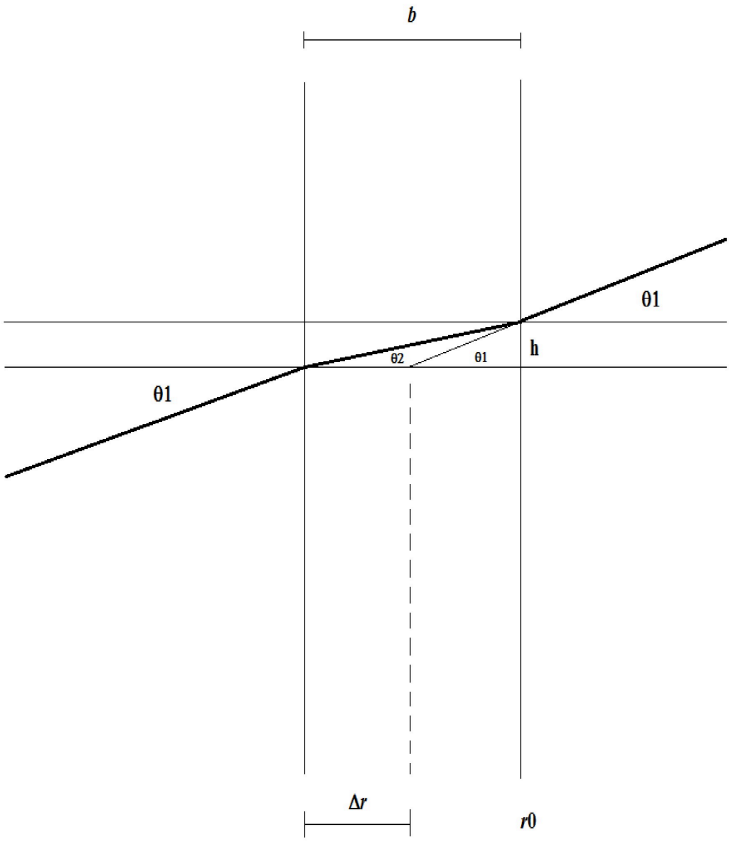
2.7c 주: 예시 측정값은 2.1과 다른 램프로 잰 것이다. 거리 그래프를 이용해 2.7d를 풀려면 아래 그래프를 참조해야 한다.

$r_1 = 103.5\ \text{mm};\ I_1 = 0.81\ \text{mA};\ I_2 = 0.705\ \text{mA};\ I_3 = 0.85\ \text{mA}$

$$\frac{1}{I_3} \cdot \frac{I_2}{I_1} = 1.024\ \text{mA}^{-1} \sim r_c^2 = 8800\ \text{mm}^2 \sim r_c = 93.8\ \text{mm}$$



2.7d



$$h = (b - \Delta r)\tan\theta_1 = b\tan\theta_2 \;\Rightarrow\; \frac{b}{b-\Delta r} = \frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} \approx \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = n,\ \theta_2 < \theta_1 \ll 1\text{이므로.}$$

$$n_w \approx \frac{b}{b-\Delta r} = \frac{b}{b-(r_1 - r_c)} = \frac{26.0\ \text{mm}}{26.0\ \text{mm} - (103.5 - 93.8)\text{mm}} = 1.6$$

주: 더 좋은 결과를 얻을 수도 있다. 이 방법은 Δr를 구할 때 큰 두 수를 빼므로 불확도가 꽤 크다. 다른 방법은 실제로 장치를 옮겨 이동량을 구하고, 직접 잰 자료에서 보간하는 것이다.