2.0 서론

이 실험에 쓰는 장비를 그림 2.1에 나타내었다.

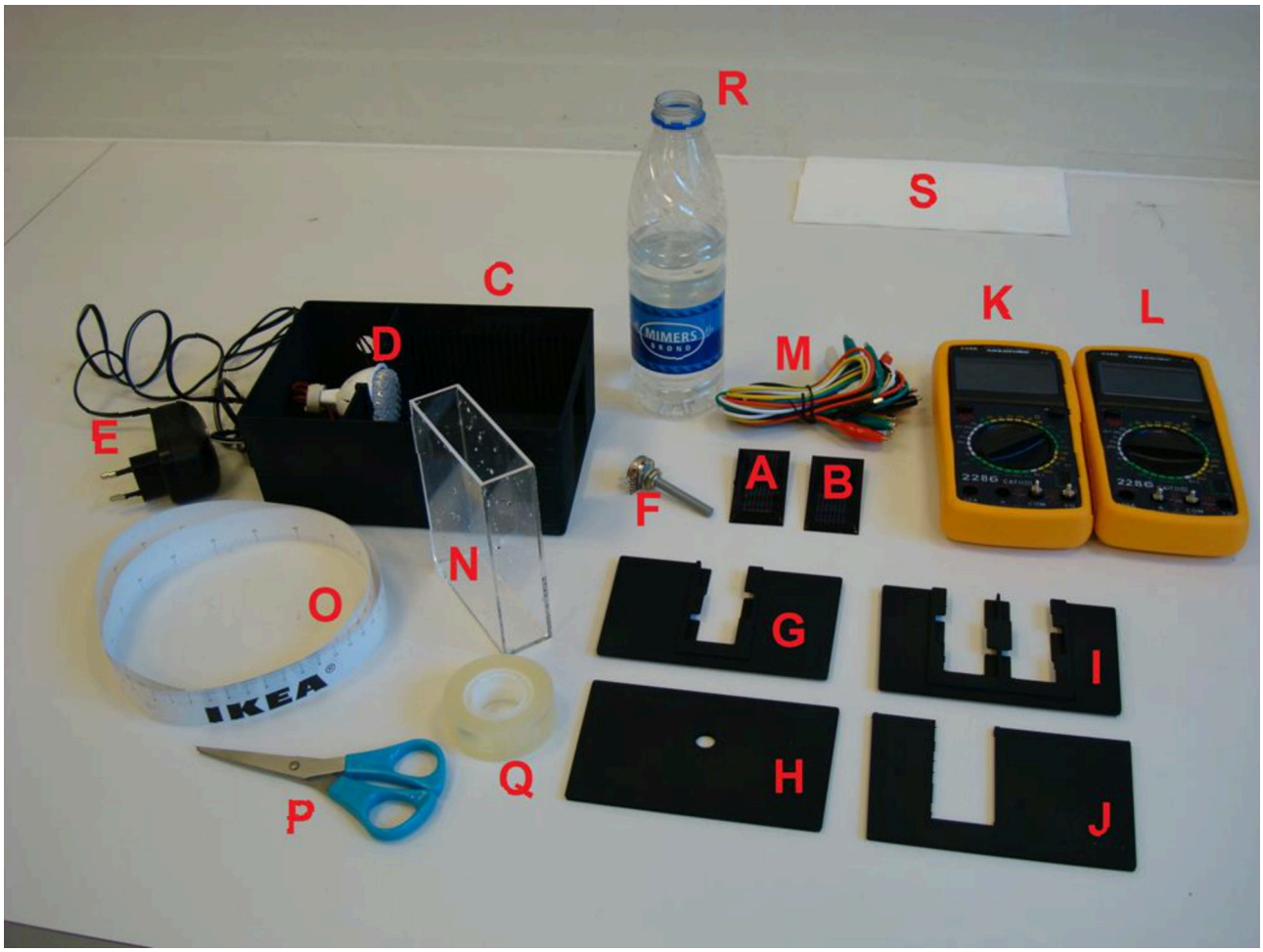


그림 2.1 실험 E2에 쓰는 장비.

장비 목록(그림 2.1 참조):

A: 태양 전지

B: 태양 전지

C: 광원, 태양 전지 등을 끼우는 홈이 있는 상자

D: 받침에 끼운 LED 광원

E: 광원 D용 전원 장치

F: 가변 저항기

G: 상자 C에 태양 전지 하나를 끼우는 받침

H: 상자 C에 쓰는 원형 조리개

I: 상자 C에 태양 전지 두 개를 끼우는 받침

J: 상자 C에 쓰는 가림판
K: 디지털 멀티미터
L: 디지털 멀티미터
M: 작은 악어 클립이 달린 도선
N: 광학 용기(큰 큐벳)
O: 줄자
P: 가위
Q: 테이프
R: 광학 용기 N을 채울 물
S: 남은 물기를 닦는 종이 냅킨
T: 광학 용기 N의 물을 담는 플라스틱 컵(그림 2.1에는 없음)
U: 플라스틱 스포이트(그림 2.1에는 없음)
V: 상자 C의 뚜껑(그림 2.1에는 없음)

자료표: 기본 상수표

진공에서 빛의 속력	$c = 2.998 \times 10^{8}\ \mathrm{m\,s^{-1}}$
기본 전하	$e = 1.602 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}$
볼츠만 상수	$k_{\mathrm{B}} = 1.381 \times 10^{-23}\ \mathrm{J\,K^{-1}}$

태양 전지는 입사하는 빛의 전자기 에너지 일부를 태양 전지 안의 전하를 분리하여 전기 에너지로 바꾼다. 이렇게 하여 전류를 만들어 낼 수 있다. 실험 E2에서는 주어진 장비로 태양 전지를 조사한다. 이 장비는 광원과 태양 전지를 끼우는 받침이 있는 상자와 여러 판, 뚜껑으로 이루어져 있다. 가변 저항기는 상자에 달아야 한다. 그림 2.2를 보라. 저항기의 세 단자 가운데 하나는 떼어 냈는데, 남은 두 단자만 쓰기 때문이다. 또한 작은 악어 클립이 달린 도선과, 뒷면에 단자가 있는 태양 전지 두 개(일련번호와 글자 A 또는 B가 붙어 있다)가 주어진다. 두 태양 전지는 비슷하지만 조금 다를 수 있다. 두 멀티미터에는 각각 전류계와 전압계로 쓰도록 단자가 달려 있다. 그림 2.3을 보라. 마지막으로 이 실험에서는 광학 용기와 병에 든 마시는 물을 쓴다.

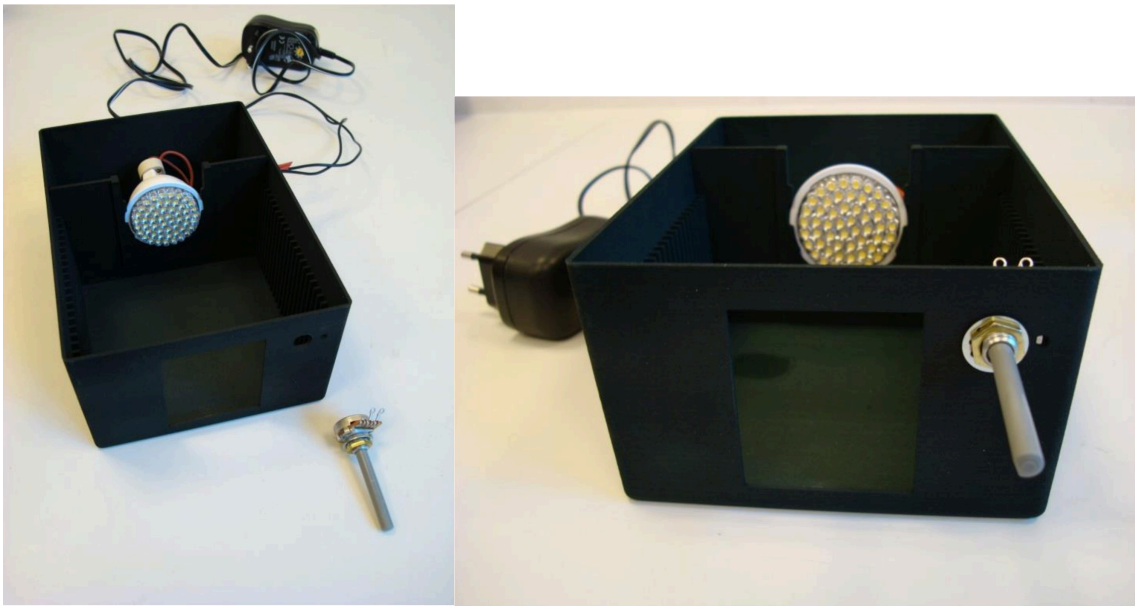


그림 2.2 (a) 광원이 든 상자와 달아야 할 저항기. **(b)** 상자에 단 저항기. 저항기의 작은 핀이 축 오른쪽 구멍에 맞게 들어간다는 점에 주의하라.



그림 2.3 각각 전류계**(왼쪽)**와 전압계**(오른쪽)**로 쓰도록 단자를 단 멀티미터. 왼쪽 위의 “POWER”를 누르면 측정기가 켜진다. 측정기는 한동안 쓰지 않으면 저절로 꺼진다. 직류 전류와 전압(=)뿐 아니라 교류 전류와 전압(~)도 잴 수 있다. 전압계의 내부 저항은 측정 범위와 상관없이 10 MΩ이다. 전류계 양단의 전위차는 측정 범위와 상관없이 눈금 끝에서 200 mV이다. 범위를 넘으면 화면에 “1”이 나타나며, 더 높은 측정 범위를 골라야 한다. “HOLD” 단추(오른쪽 위)는 측정값을 고정하려는 경우가 아니면 누르지 말아야 한다.

경고: *측정 전류가 태양 전지를 망가뜨릴 수 있으니 태양 전지에 멀티미터를 저항계로 쓰지 마시오. 멀티미터의 측정 범위를 바꿀 때에는 다이얼을 조심스럽게 돌리시오. 다이얼이 불안정해 부러질 수 있다. 측정할 때 소수점 아래에 숫자가 있는지 확인하시오 – 다이얼이 제자리에 완전히 들어가지 않으면 화면에 숫자가 있어도 멀티미터가 재지 않는다.*

주의: 전원 장치의 전압을 바꾸지 마시오. 실험 내내 12 V여야 한다. (광원용 전원 장치는 탁자의 콘센트(230 V ~)에 꽂아야 한다.)

주의: 불확도에 대한 고려는 명시적으로 언급한 경우에만 요구한다.

주의: 모든 측정값과 계산값은 SI 단위로 나타내야 한다.

주의: 이 실험에서 전류와 전압을 잴 때에는 언제나 LED 광원이 켜져 있어야 한다.

2.1 태양 전지 전류가 광원까지의 거리에 따라 달라지는 모습

이 문제에서는 태양 전지를 전류계와 함께 회로에 넣었을 때 태양 전지가 만드는 전류 I를 측정하여, 그것이 광원까지의 거리 r에 따라 어떻게 달라지는지 구한다. 빛은 각 발광 다이오드 *안쪽*에서 만들어지므로 r는 그림 2.4처럼 재야 한다.

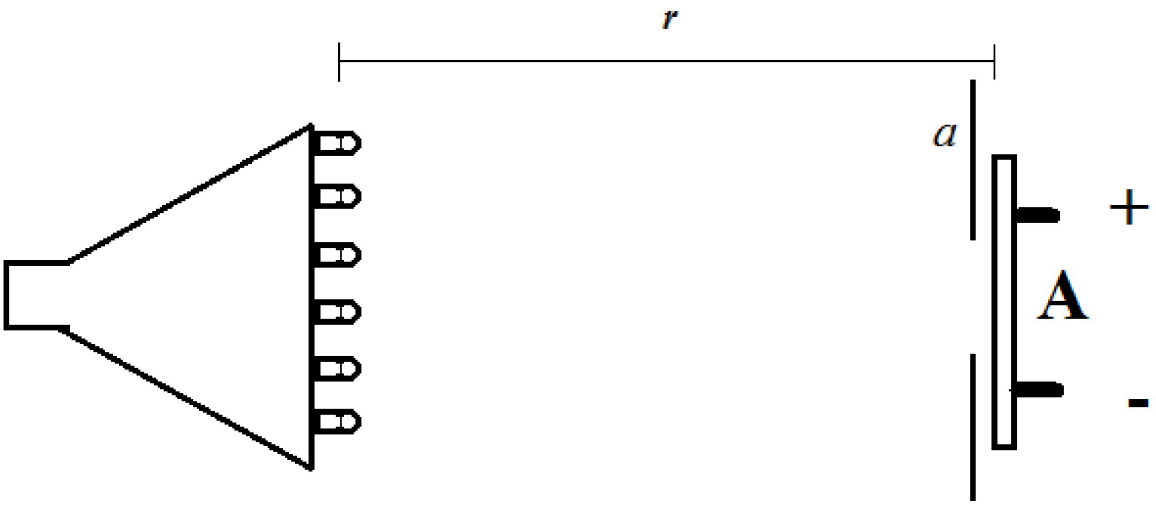


그림 2.4 문제 2.1 장치를 위에서 본 모습. 태양 전지 A 바로 앞의 조리개 a에 주의하라. 거리는 발광 다이오드 안쪽에서 태양 전지 표면까지 잰다.

이 실험에서는 전류계의 측정 범위를 바꾸지 마시오. 전류계의 내부 저항은 측정 범위에 따라 다르며, 태양 전지에서 끌어낼 수 있는 전류에 영향을 준다. 답안지에 광원과 태양 전지 A의 일련번호를 밝히시오. 광원을 U자 모양 받침에 끼우시오(광원이 받침에 꼭 끼므로 참을성 있게 끼우시오). 태양 전지 A를 단일 받침에 끼우고, 원형 조리개와 함께 태양 전지 바로 앞에 놓으시오. 광원까지의 거리 r의 함수인 전류 I는 r가 너무 작지 않을 때 다음과 같이 근사할 수 있다.

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

여기서 I_a와 a는 상수이다.

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

2.2 태양 전지의 특성

원형 조리개를 치우시오. 그림 2.2처럼 가변 저항기를 상자에 다시오. 광원을 저항기에서 가장 먼 0번 홈에 놓으시오. 태양 전지 A를 *원형 조리개 없이* 단일 받침에 끼워 10번 홈에 놓으시오. 그림 2.5처럼 회로를 꾸며, 태양 전지의 특성, 즉 태양 전지·저항기·전류계로 이루어진 회로의 전류 I의 함수로 태양 전지의 단자 전압 U를 잴 수 있게 하시오.

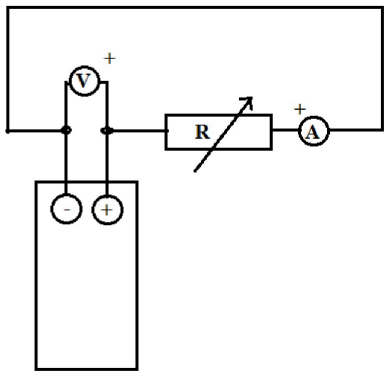


그림 2.5 문제 2.2에서 특성을 재는 회로도.

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

2.3 태양 전지의 이론적 특성

이 실험의 태양 전지에서 전압의 함수인 전류는 다음 식으로 주어진다.

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

여기서 매개변수 $I_{\max}$, I_0, η는 주어진 조명에서 상수이다. 온도는 $T = 300\ \mathrm{K}$로 둔다. 기본 상수 e와 k_{B}는 각각 기본 전하와 볼츠만 상수이다.

2.3a	문제 2.2b의 그래프로 $I_{\max}$를 구하시오.	0.4

매개변수 η는 1에서 4 사이에 있다고 볼 수 있다. 전위차 U의 어떤 값들에서는 이 공식을 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$I \approx I_{\max} - I_0 \exp\left(\frac{eU}{\eta k_{\mathrm{B}} T} \right)$$

2.3b	이 근사가 잘 맞는 U 값의 범위를 어림하시오. 그래프로 여러분의 태양 전지에 대한 I_0와 η의 값을 구하시오.	1.2

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

2.5 태양 전지 비교하기

두 태양 전지(A와 B)를 이중 받침에 끼워 15번 홈에 놓으시오. 그림 2.6을 보라.

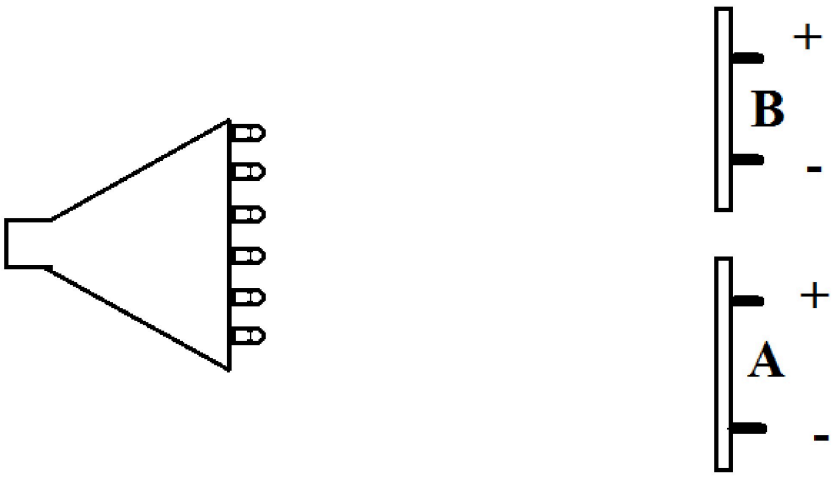


그림 2.6 문제 2.5에서 광원과 태양 전지를 위에서 본 모습.

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

2.6 태양 전지의 연결

두 태양 전지는 그림 2.7처럼 두 가지 방법으로 직렬 연결할 수 있다. 병렬 연결하는 방법도 두 가지가 있다(그림에는 없음).

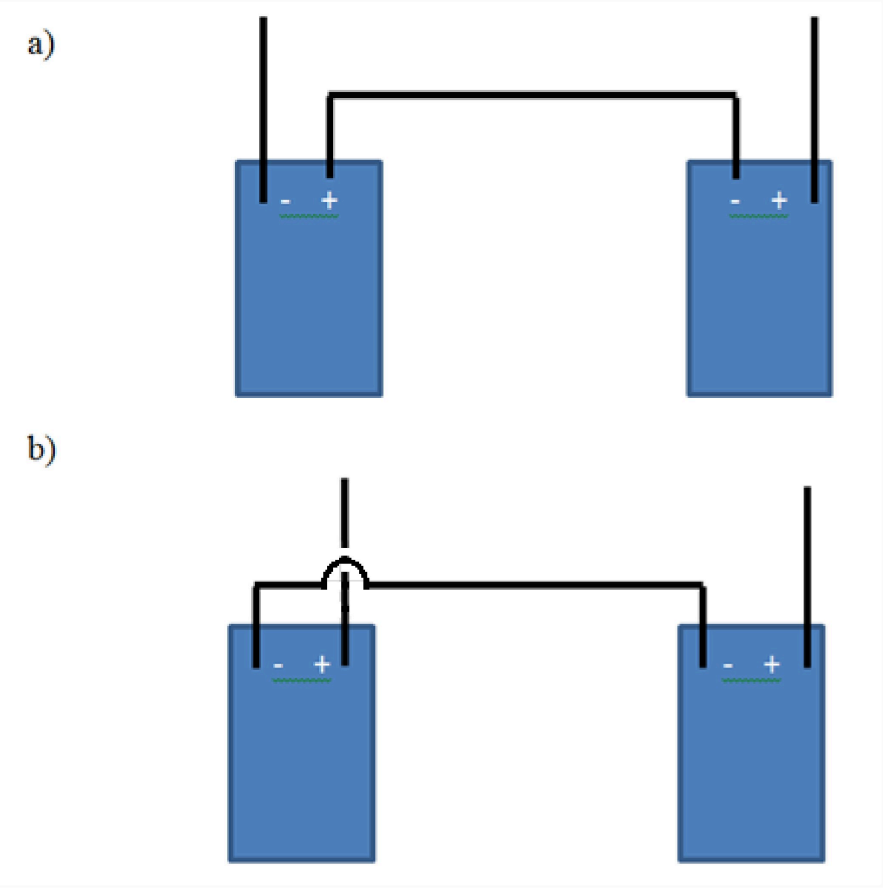


그림 2.7 문제 2.6에서 태양 전지를 직렬로 연결하는 두 가지 방법. 병렬로 연결하는 두 방법은 나타내지 않았다.

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. 도움말: 각 배치에서 잰 최대 전압과 최대 전류로 최대 전력을 꽤 잘 어림할 수 있다. 해당 회로도를 그리시오.	1.0

2.7 광학 용기(큰 큐벳)가 태양 전지 전류에 미치는 영향

광원을 상자에 끼우고, 태양 전지 A를 단일 받침에 끼워 원형 조리개를 바로 앞에 두되 태양 전지와 광원 사이가 약 50 mm가 되게 하시오. 그림 2.8처럼 빈 광학 용기를 원형 조리개 바로 앞에 놓으시오.

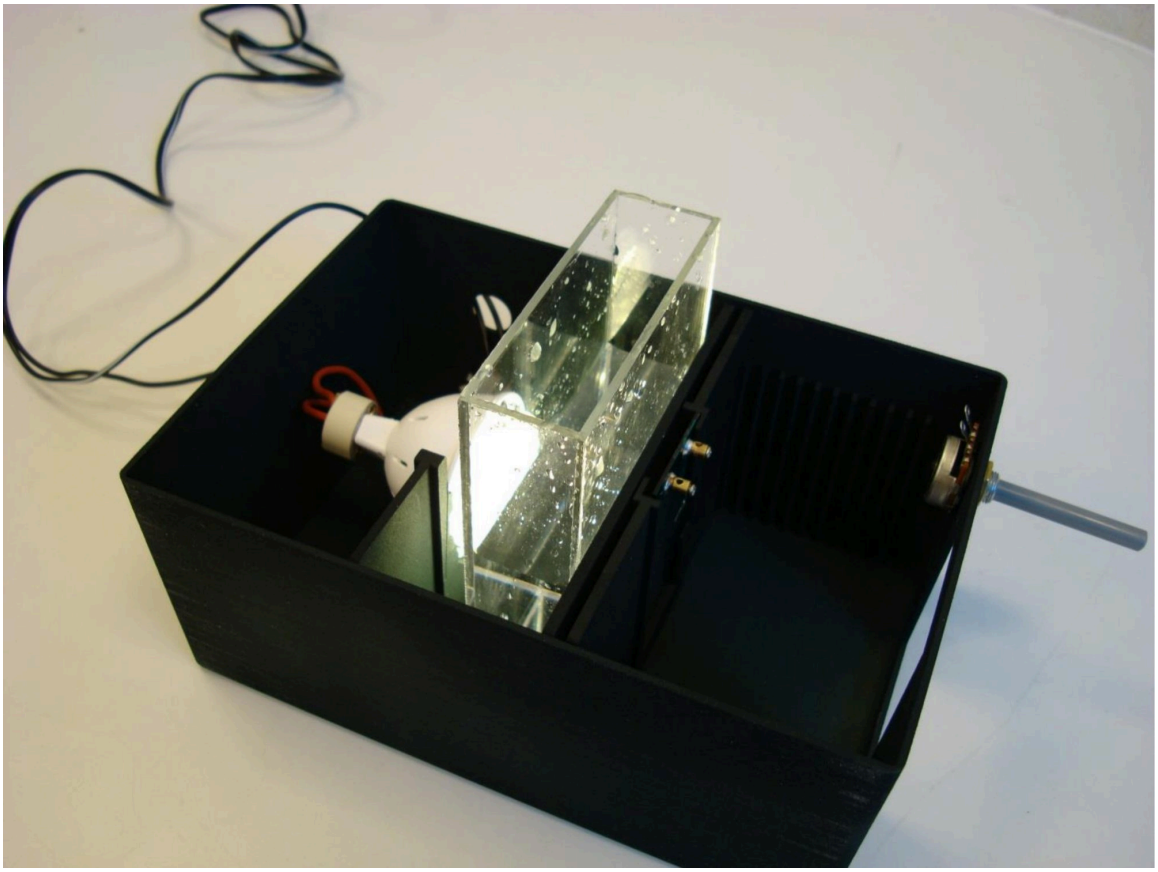


그림 2.8 문제 2.7의 실험 장치.

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

광원을 상자에 끼우고, 태양 전지 A를 단일 받침에 끼워 태양 전지와 광원 사이의 거리가 가장 크게 하시오. 원형 조리개를 태양 전지 바로 앞에 놓으시오.

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