E: 조명의 물리

백열전구는 텅스텐 필라멘트를 가시광 영역에서 흑체 복사를 낼 만큼 높은 온도로 가열하여 빛을 만들지만, 많은 에너지가 적외선 영역에서 낭비된다.

사람의 시각으로 느끼는 빛을 정량화하기 위해, 파장에 따른 사람 눈의 감도를 고려하는 측광 단위를 쓴다. 광원이 모든 방향으로 방출하는 가시광의 총량을 **광선속**(luminous flux)이라 하며 루멘 [lm] 단위로 잰다. 면이 단위 넓이당 받는 가시광의 양을 **조도**(illuminance)라 하며 럭스 [lx $= \mathrm{lm/m^2}$] 단위로 나타내고, 조도계로 잴 수 있다.

빛이 실어 나르는 에너지만을 기준으로 양을 측정할 때는 일반적인 일률 단위로 나타내는 복사 단위를 쓴다. 광선속에 대응하는 복사 단위는 와트 [W]로 잰 **복사선속**(radiant flux)이고, **복사 조도**(irradiance) [$\mathrm{W/m^2}$]는 조도에 대응하는 양이다.

오늘은 광원의 열적 성질과 조명 성질을 연구한다. 세 과제는 대체로 서로 독립적이다. 과제마다 장치 구성을 그리시오. 과제 1과 2에서는 오차 분석이 필요하지 않다.

장비 (그림 1도 참고)

A 두께 3 mm인 검은색과 흰색 플라스틱 판과 받침대. 두 판 모두 적외선을 잘 흡수한다.

B 받침대에 꽂힌 조도계. 조도계는 6분이 지나면 자동으로 꺼진다 – 켜기/끄기 버튼을 길게 누르면 다시 켜진다. 단위(fc가 아닌 lx)에 주의하라. 표시값을 고정하려면 HOLD 버튼을 쓸 수 있다.

C 둥근 받침과 안정용 추가 달린 광원 스탠드, 그리고 바꿔 끼울 수 있는 광원 모듈 두 개: 백열전구(**최대 전압** 12 V)와 LED(**최대 전압** 3.0 V, 400 mA **전류를 넘지 말 것**). 모듈을 제자리에 고정하는 데 이쑤시개를 써도 된다. 계기를 읽을 때 눈을 가릴 검은 종이가 있다.

D 적외선 온도계. 측정값은 방아쇠를 놓은 뒤 잠시 후에 고정된다. 측정값에는 크지만 일정한 계통 오차가 있을 수 있다.

E 각도와 거리 격자가 그려진 종이 작업 매트.

F 각도기.

G 봉투에 든 빨강, 초록, 파랑 필터. 색을 구별하기 어려우면 도움 카드를 들어 도움을 요청하라.

필터는 열에 약하다. 광원에서 멀리 두시오.

H 전원 공급 장치. 전압/전류 손잡이를 여러 번 눌러 조정할 자릿수를 고르고(그 자릿수 아래의 불빛이 깜박임), 손잡이를 돌려 그 자릿수를 바꾼다. 몇 초가 지나면 불빛이 깜박임을 멈추고 화면에 실제 전압/전류가 나타난다. 전류를 바꾸어 광원을 조절하라. 최대 전압을 넘지 않고는 원하는 전류에 도달할 수 없으면, 전원 장치는 정전압 모드로 바뀌어 전류를 제한한다. 전선을 전원 장치의 맞는 음극(검은색)과 양극(빨간색) 단자에 꽂으시오. 초록색 단자는 쓰지 마시오.

광원이 손상되지 않도록, 전선을 꽂기 전에 전압을 허용 최대값으로, 전류를 0으로 맞추시오!
광원이 타 버리면 교체를 요청할 수 있다. 여분의 광원은 수가 한정되어 있다는 점에 유의하라.

과제 1 - 색과 온도 (4점)

흑체 복사의 색은 온도에 따라 달라진다. 천문학에서는 별의 온도를 색지수, 즉 서로 다른 두 색 필터를 통해 잰 조도의 비로부터 정한다.

(a) 표 1은 온도를 아는 표준 백열 광원에 대해 빨강, 초록, 파랑 필터를 통해 잰 조도이다. 알맞은 필터를 골라, 선택한 색지수와 온도를 잇는 보정 곡선을 만드시오.

(b) 입력 전력과 텅스텐 필라멘트 온도 사이의 관계를 측정하시오. 적절한 범위에서 결과를 그래프로 그리시오.

과제 2 - 광효율 (8점)

광원의 성능은 **광효율**(luminous efficacy)로 정량화하며, 광선속과 소비 전력의 비로서 와트당 루멘 단위로 잰다. 참고로 태양의 광효율은 93 lm/W이다.

두 광원 모두에 대해, 빛이 검출되는 범위 전체에서 광효율이 입력 전력에 어떻게 의존하는지 측정하시오. 광원마다 그래프를 하나씩 그리시오. 계산 과정의 모든 단계를 적고 측정한 데이터를 모두 제시하시오.

과제 3 - 복사 가열 (8점)

다음 과제는 시간이 많이 걸릴 수 있으니 계획을 세워 진행하시오.

빛이 물체에 닿으면 일부가 흡수된다. 물체와 주위의 온도 차가 크지 않으면, 주위로 빠져나가는 열을 **열전달 계수** h를 써서 $P/A = h(T - T_0)$ 꼴로 모형화할 수 있다. 여기서 T는 면의 온도, T_0는 주위의 온도이고, P/A는 소산으로 단위 넓이당 주위에 잃는 일률이다.

(a) 검은 플라스틱의 열전달 계수 h와 열전도도 λ를 구하고 오차를 분석하시오. 재료는 받은 빛을 모두 흡수하고 백열전구는 모든 일률을 전자기 복사의 형태로 내보낸다고 가정하시오.

(b) 흰 플라스틱의 알베도(복사 조도 가운데 흡수되지 않고 반사되는 비율)를 추정하고 오차를 분석하시오.

유용한 관계: 반지름 r인 구에서 극각 θ_1과 θ_2($0 \le \theta_1 \le \theta_2 \le \pi$) 사이 띠의 넓이는 $\Delta A = 2\pi r^2(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$이다.

장비 사진

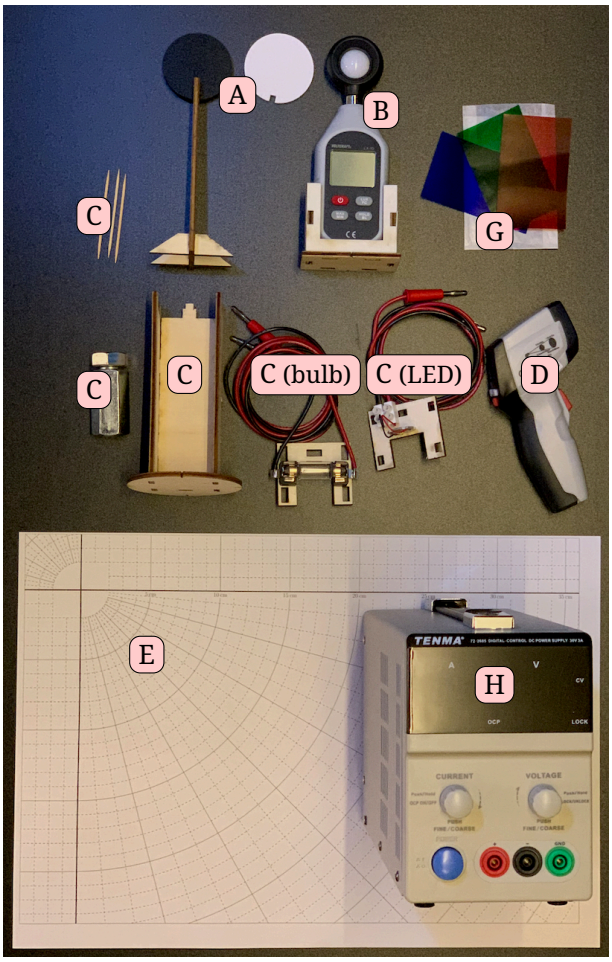


그림 1: 실험 문제의 장비 사진(각도기와 검은 종이 가리개는 보이지 않음).

조도 표

T [K]	빨강 [lx]	초록 [lx]	파랑 [lx]
1570	2	0	0
1600	4	0	0
1610	5	1	0
1620	6	2	0
1630	8	3	0
1640	10	4	0
1660	12	5	0
1670	14	6	0
1700	18	9	1
1730	24	14	3
1780	37	23	7
1820	51	34	11
1880	80	57	21
1940	120	91	36
2000	165	130	53
2060	230	194	80
2120	310	274	118
2160	379	348	155
2220	484	460	210
2260	586	570	264
2310	753	748	348
2350	888	929	440
2390	1032	1107	527
2460	1292	1452	697
2500	1577	1826	879
2540	1811	2198	1078

표 1: 온도를 아는 백열 광원에 대해, 광원과 조도계의 위치를 고정하고 세 색 필터를 통해 잰 조도. 측정의 정확도는 $\pm 2\,\mathrm{lx}$ 이다.

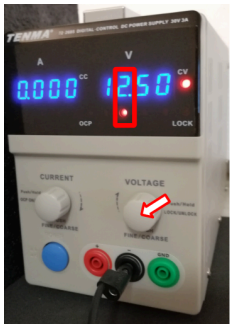
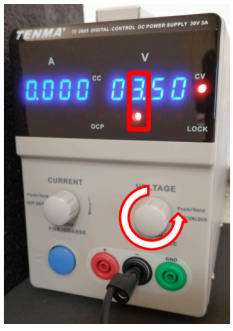
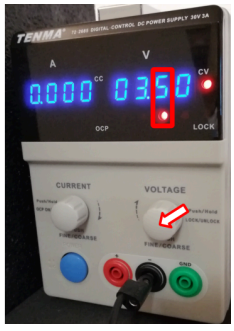
전원 공급 장치 사용법

탁상용 전원 공급 장치는 설정한 전류 제한과 전압 제한이 허용하는 최대의 전기를 내보낸다. 전류 제한에 먼저 도달하면 정전류원으로, 전압 제한에 먼저 도달하면 정전압원으로 동작하며, 이는 CC와 CV 표시등으로 알 수 있다.

전원 공급 장치를 설정하기 전에 광원을 꽂지 마시오! 그림에서 빨간 전선이 연결되어 있지 않아 회로가 끊겨 있음에 유의하라.



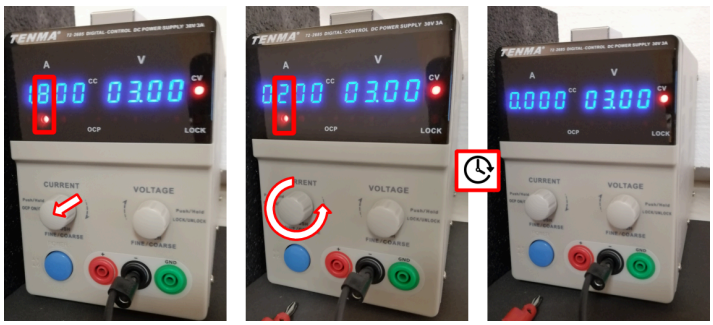

두 개의 화면이 보인다: 왼쪽은 전류 화면, 오른쪽은 전압 화면이다. 이들은 현재의 실제 전류와 전압을 보여 주므로, 전류는 0이고 전압은 선택한 전압 제한과 같을 것이다. 전압 화면 옆의 CV 표시등이 켜져 전압 제한에 도달했음을 알려 준다.

전압 손잡이를 눌러 전압 제한을 설정한다. 이제 화면에는 실제 전압 대신 전압 제한이 나타나고, 전압 자릿수 가운데 하나의 아래에 불이 켜진다. 손잡이를 돌리면 선택한 자릿수가 바뀌고, 누르면 자릿수가 차례로 바뀐다. 이것으로 전압을 광원의 허용 최대 전압(예: LED의 경우 3.00 V)으로 맞추시오.

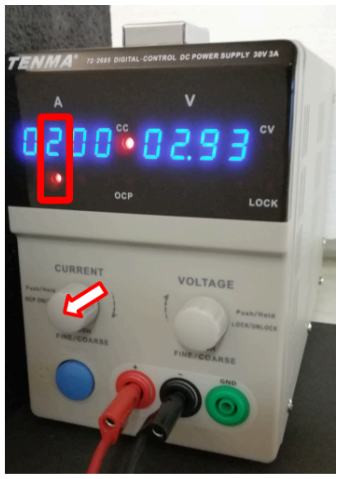
4초가 지나면 화면은 다시 실제 전압을 보여 주고 전압 자릿수 아래의 불이 꺼진다.

전류 손잡이(왼쪽)로 같은 과정을 되풀이하여 전류 제한을 설정하시오.



예에서는 제한을 0.200 A로 맞추었다. 4초가 지나면 화면은 다시 실제 전류(여전히 0)를 보여 주고, 자릿수 선택 불은 꺼진다.

두 제한을 모두 바르게 설정했으면 광원을 꽂으시오. 이제 전류 제한에 도달했으며, CC(정전류) 표시등이 이를 알려 준다. 실제 전압은 이제 설정값보다 낮다. 이 예의 광원은 여러분의 실험에 쓰는 것과 다르므로 값이 다를 것이다. 왼쪽 손잡이로 전류 제한을 높여 보시오.



전류를 너무 많이 올리면 전압 제한(CV 표시등)에 도달하여 광원이 보호된다. 광원은 전류 설정으로 조절하시오.