발광 다이오드(LED)

LED의 전압-전류 특성은 두 가지 방식으로 측정해야 한다. 펄스 방식(파트 A)과 연속 방식(파트 B)이다. LED를 연속으로 구동하면 상당한 양의 열이 발생하지만, 펄스 방식으로 구동하면 자체 발열 효과를 최소화하여 무시할 수 있다.

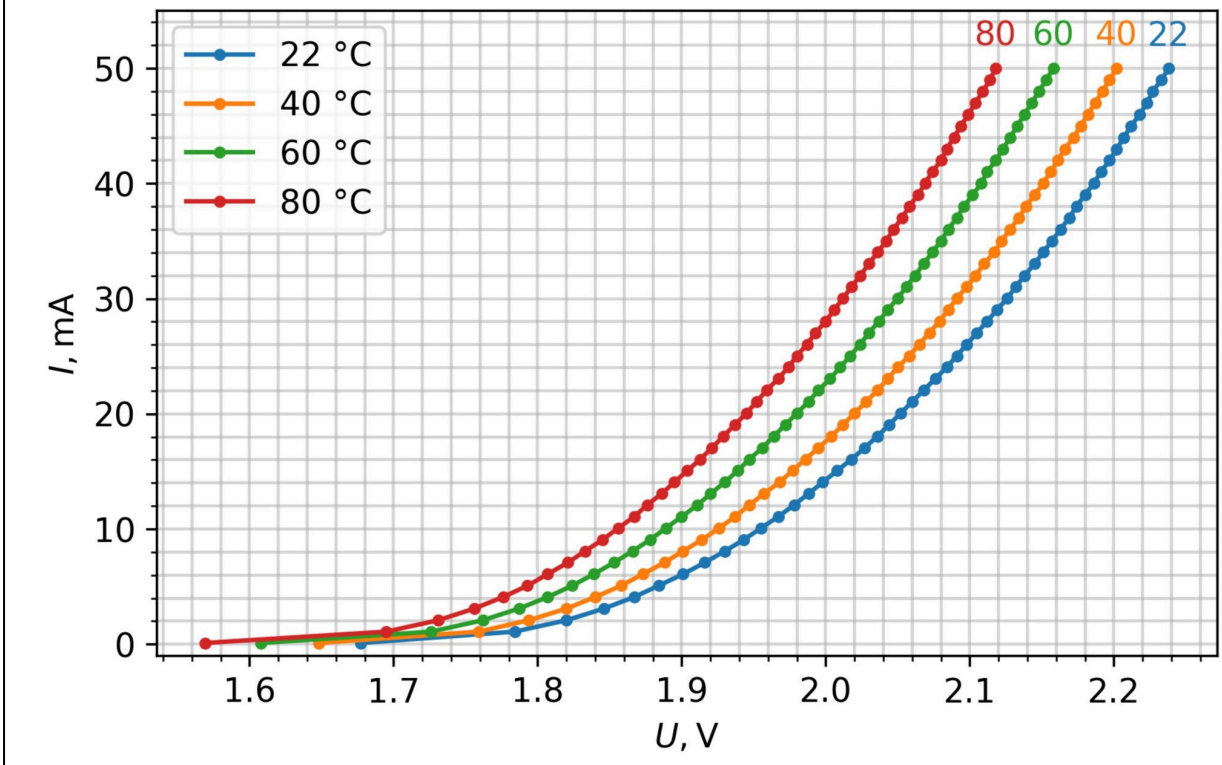
학생은 자동화된 $I_{\mathrm{LED}}(U_{\mathrm{LED}})$ 측정 절차를 수행할 수 있어야 하고, 요구되는 I_{LED} 값에 대해 데이터를 눈으로 보간하여 필요한 점을 뽑아낼 수 있어야 한다.

PCB의 온도는 가열 회로의 전류를 바꾸어 제어한다. 이 실험의 가열 및 온도 측정 부분은 실험 1과 동일하다.

파트 A: 서로 다른 온도에서의 전압-전류 특성 (5.0점)

A.1 (2.5 pt.)

그래프 $I_{\mathrm{LED}}(U_{\mathrm{LED}})$ 는 정확하고(올바른 범위에서) 매끄러워야 한다.



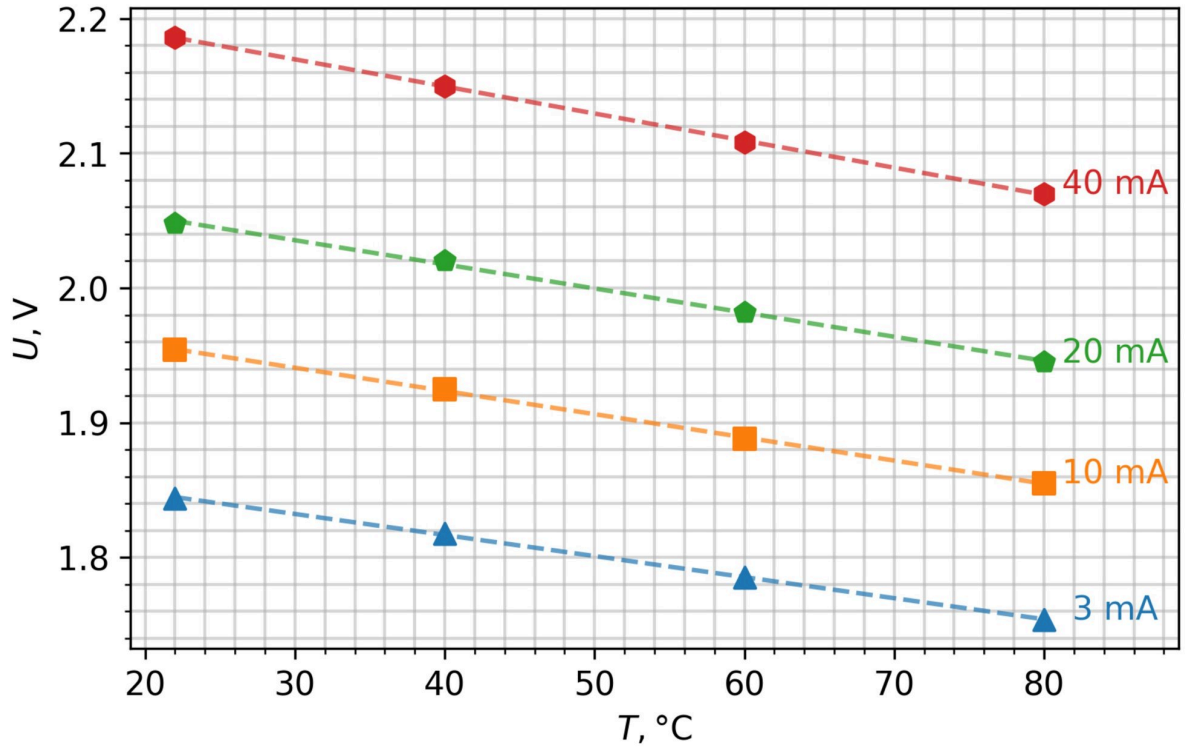
A.2 (1.0 pt.)

$U_{\mathrm{LED}}(I_{\mathrm{LED}}, T)$:

I_{LED} \ T	"실온" 22 °C	40 °C	60°C	80°C
3 mA	1.844 V	1.818	1.785	1.754
10 mA	1.954	1.925	1.888	1.855
20 mA	2.048	2.02	1.982	1.945
40 mA	2.186	2.15	2.108	2.07

A.3 (1.5 pt.)

A.2의 데이터로부터 $U_{\mathrm{LED}}(I_{\mathrm{LED}}, T)$ 를 그래프로 그렸다. $U_{\mathrm{LED}}(T)$ 는 뚜렷한 선형 경향을 보여야 하며 그래프로 근사해야 한다. 기울기 $\left(\frac{\Delta U(I,T)}{\Delta T}\right)$ 도 계산해야 한다.

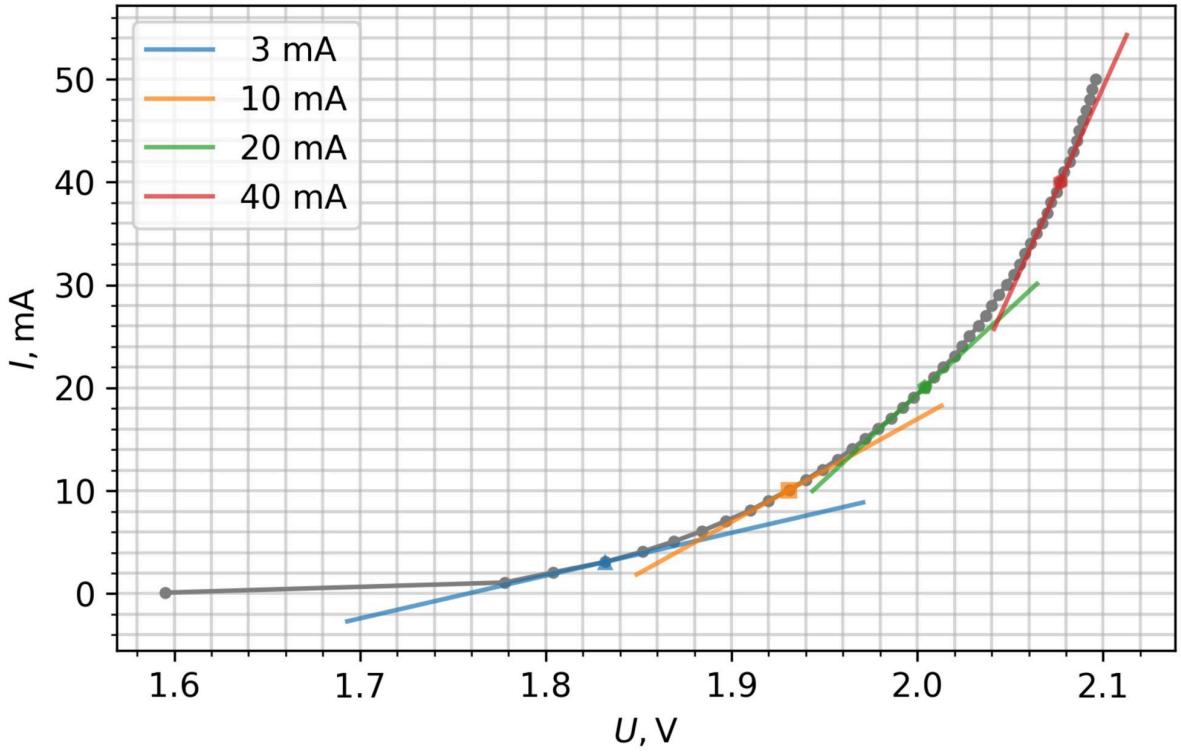


I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\left(\frac{\Delta U(I,T)}{\Delta T}\right)$	-1.55 mV/K	-1.7 mV/K	-1.8 mV/K	-2.0 mV/K

파트 B: 연속 구동 전류에서 LED 전압-전류 특성의 측정 (3.5점)

B.1 (1.5 pt.)

그래프 $I_{\mathrm{LED}}(U_{\mathrm{LED}})$ 는 정확하고(올바른 범위에서) 매끄러워야 한다.



I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
U_{LED}	1.83 V	1.93 V	2.00 V	2.08 V
ΔU	0.014 V	0.024 V	0.048 V	0.106 V
T_{J}	~ 32.3 °C	~43 °C	~49 °C	~76.5 °C
T_{PCB}	~ 25–30 °C	~ 30–35 °C	~ 33–37 °C	~ 35–40 °C

T_{J} 는 이 절에서 계산해야 할 가장 중요한 변수이다. T_{J} 는 B절의 U_{LED} 값을 특정 전류 값에서 A절의 보정 곡선과 맞추어 계산해야 한다. 이는 A.3의 가장 가까운 점들을 골라, 계산해 둔 $\left(\frac{\Delta U(I,T)}{\Delta T}\right)$ 계수를 이용해 T_{J} 를 계산(보간)함으로써 할 수 있다. 그래프를 이용한 보간도 가능하지만, 첫 번째 방법만큼 정확하지는 않다.

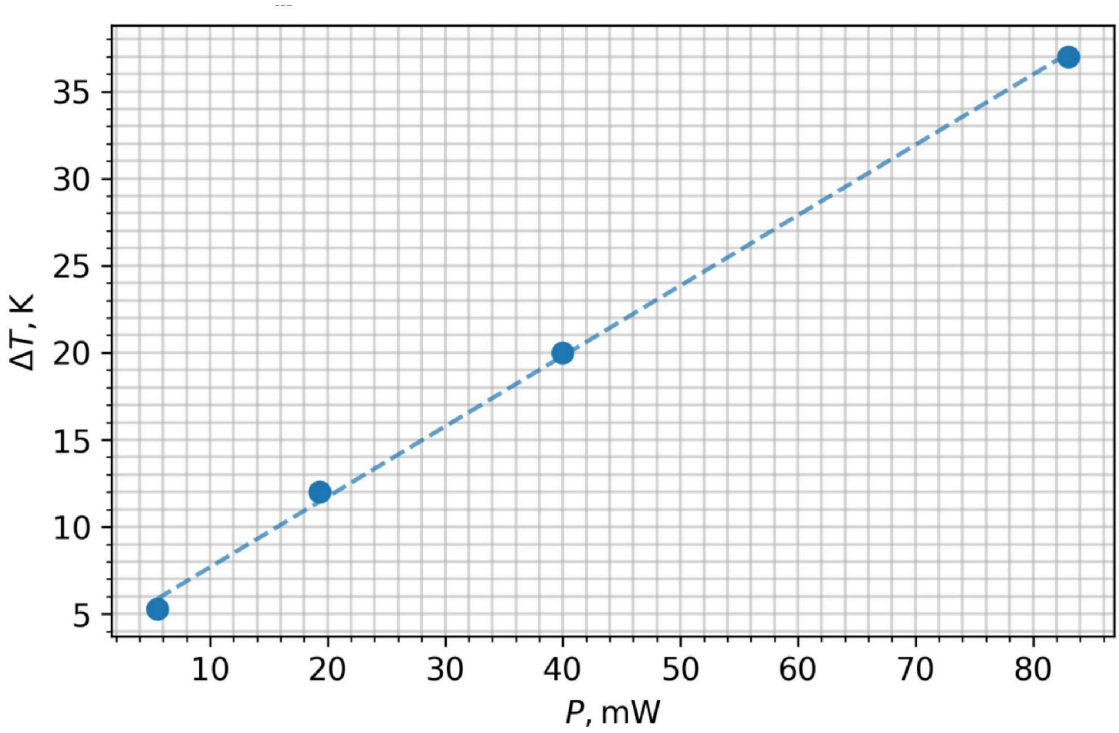
B.2 (0.5 pt.)

LED의 동적 저항은 요구된 I_{LED} 값에서의 도함수로 계산해야 한다.

I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
$\frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}U}$	41.6 mA/V	100 mA/V	166.7 mA/V	400 mA/V

B.3 (1.5 pt.)

$\Delta T(P)$ 를 그래프로 그렸다.
각 I_{LED} 에 대한 ΔT 는 B.1의 데이터로부터 $\Delta T = T_{\mathrm{J}} - T_{\mathrm{PCB}}$ 로 계산해야 한다.
주의: B.1을 측정하는 동안 PCB의 온도는 일정하지 않으며, 전류가 클 때에는 "실온"보다 ~7 °C 까지 올라간다. ΔT 를 계산할 때 이를 고려해야 한다.
발생한 열은 전기적 일률 $P = I_{\mathrm{LED}} \times U_{\mathrm{LED}}$ 로 본다. 빠져나가는 빛이 내보내는 에너지는 무시한다.
그래프는 뚜렷한 선형 경향을 보여야 하며 그래프로 근사해야 한다. 열저항은 선형 기울기 $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}P}\left(\Delta T(P)\right) \cong 400$ K/W 로 계산한다.



I_{LED}	3 mA	10 mA	20 mA	40 mA
ΔT	5.0 K	12 K	20 K	37 K

파트 C: 온도에 의한 LED 전류 편차의 계산 (1.5점).

C.1 (1.5 pt)

방법 1:

일정한 $U_{\mathrm{LED}} = U_{20\mathrm{mA}}$ 에서의 I_{LED} 를 계산(어림)한다:

$$I_{\mathrm{LED}}(U_{20\mathrm{mA}}, T) = 20\ \mathrm{mA} - (T - T_{\mathrm{PCB}}) \times \left(\frac{\Delta U(20\ \mathrm{mA}, T)}{\Delta T}\right) \times \frac{\mathrm{d}I(20\ \mathrm{mA}, U)}{\mathrm{d}U}.$$

정확히 하려면, B.1에서 얻은 $\frac{\mathrm{d}I(20\ \mathrm{mA},U)}{\mathrm{d}U}$ 에는 전류가 커짐에 따른 PCB의 온도 상승이 포함되어 있지만 PCB 온도를 일정하게 유지한 채 측정할 기술적 방법이 없다는 점을 이해해야 한다. 게다가 전류가 상당히 줄어들기 때문에 20 mA에서의 도함수를 적용하는 것은 그리 정확하지 않다.

방법 2:

필요한 값은 B.3의 ΔT 값으로 계산한 T_{J} 를 이용하여 A.3의 데이터를 보간/외삽함으로써 계산할 수 있다. 이 방법은 전기적 일률 P 가 온도에 의존하기 때문에 정확도가 다소 떨어진다.

$I_{LED}(U_{20\mathrm{mA}}, 0^{\circ}\mathrm{C}) \cong 10\text{–}15$ mA, $I_{LED}(U_{20\mathrm{mA}}, 40^{\circ}\mathrm{C}) \cong 22$ mA.