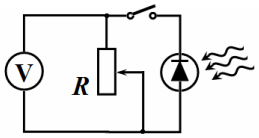
실험 시험 문제 풀이

빛의 흡수 (15,0점)

1부. 광검출기 조사하기

1.1 실제 측정 회로를 오른쪽 그림에 나타내었다. 스위치를 닫으면 멀티미터를 전압 측정 모드로 바꾸어야 한다. 즉 저항 양단의 전압을 잰다. 스위치를 열면 멀티미터를 저항계 모드로 바꾸어야 하며, 이때 저항값을 잰다.



1.2 – 1.5 저항값에 따른 저항 양단의 전압의 측정 결과를 표 1에 나타내었다. 표에는 다음 식으로 계산한 전류도 함께 나타내었다.

$$I = \frac{U}{R} \tag{1}$$

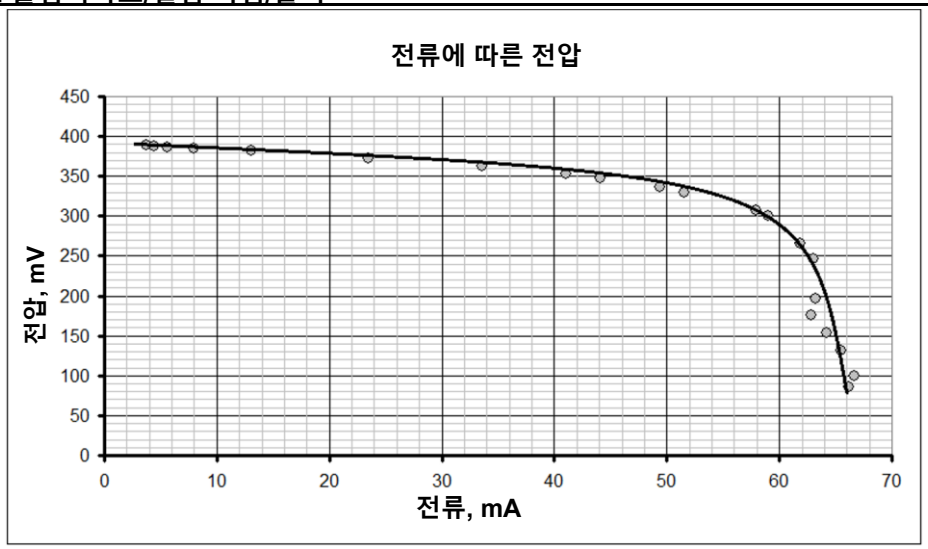
그리고 다음 식으로 계산한, 저항에서 발생하는 열의 일률도 나타내었다.

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \tag{2}$$

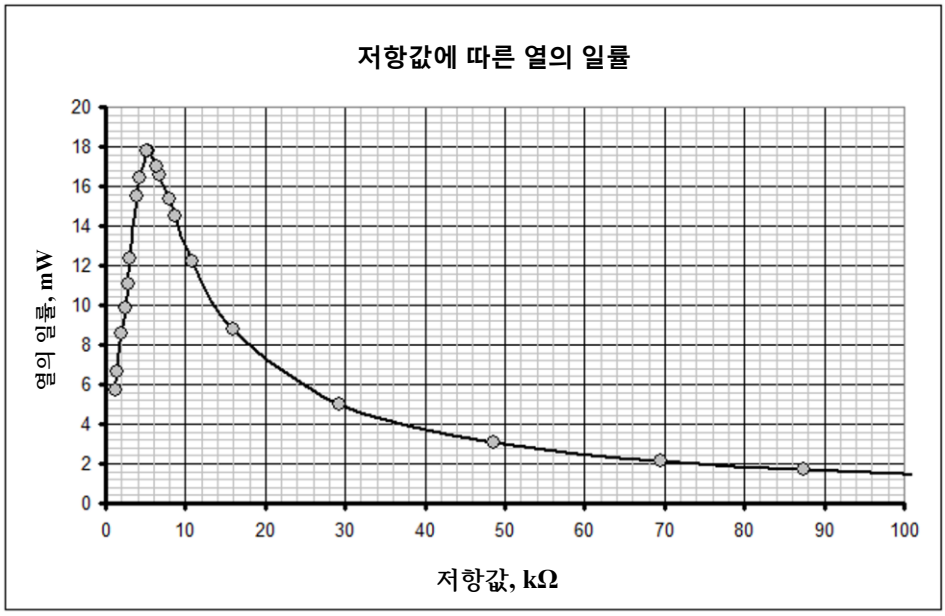
표 1

$R, k\Omega$	U, mV	$I, \mu A$	$P, \mu W$
104	389	3,74	1,46
87,4	388	4,44	1,72
69,5	387	5,57	2,15
48,5	385	7,94	3,06
29,3	382	13,04	4,98
15,9	373	23,46	8,75
10,8	363	33,61	12,20
8,6	353	41,05	14,49
7,9	348	44,05	15,33
6,8	336	49,41	16,60
6,4	330	51,56	17,02
5,3	307	57,92	17,78
5,1	301	59,02	17,76
4,3	266	61,86	16,45
3,9	246	63,08	15,52
3,1	196	63,23	12,39
2,8	176	62,86	11,06
2,4	154	64,17	9,88
2	131	65,50	8,58
1,5	100	66,67	6,67
1,3	86	66,15	5,69

저항에 흐르는 전류에 따른 저항 양단의 전압의 그래프를 아래 그림에 나타내었다.



저항값에 따른 저항에서 발생하는 열의 일률의 그래프를 아래 그림에 나타내었다.



최댓값의 위치를 정하려면 0~10 kΩ 범위에서 추가로 측정해야 한다. 측정 결과에 따르면, 저항에서 발생하는 열의 일률은 다음에서 최대가 된다.

$$R = 5,4k\Omega\,. \qquad (3)$$

2부. 레이저 빛의 흡수

2.1 같은 종류의 필터들은 투과율이 같고 레이저 빛은 단색광이므로, 필터의 수에 따른 투과한 빛의 세기는 다음과 같은 등비수열의 꼴이다.

$$I_n = k^n I_0\,. \qquad (4)$$

2.2 필터의 수에 따른 빛의 세기의 측정 결과를 표 2에 나타내었다. 측정은 저항값 3.3 kΩ에서 하였다.

표 2

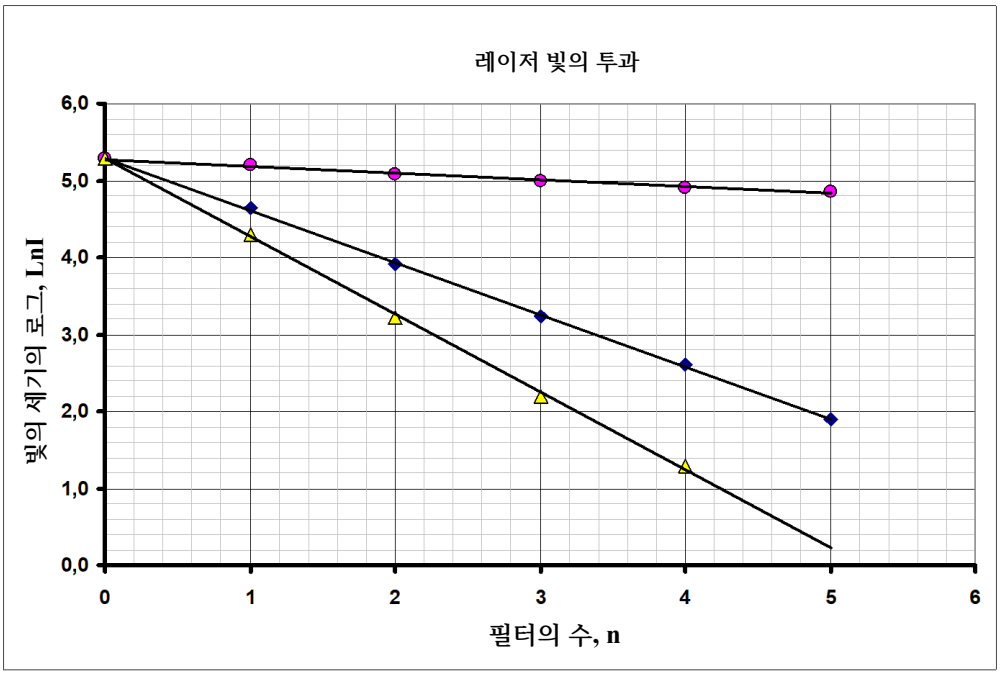
	회색 필터	노란색 필터	파란색 필터		회색 필터	노란색 필터	파란색 필터
n	*U, mV*	*U, mV*	*U, mV*	*n*	*Ln U*	*Ln U*	*Ln U*
0	196	197	197	0	5,28	5,28	5,28
1	104	180	74	1	4,64	5,19	4,30
2	50	161	24,9	2	3,91	5,08	3,21

3	25,4	148	9	3	3,23	5,00	2,20
4	13,6	135	3,6	4	2,61	4,91	1,28
5	6,6	128		5	1,89	4,85	

식 (4)를 확인하려면 다음과 같이 반로그 눈금으로 나타내는 것이 편리하다.

$$\ln I_n = \ln I_0 - n \ln k \,. \qquad (5)$$

이런 눈금에서는 필터의 수 n에 따른 $\ln I_n$의 관계가 선형이어야 한다. 측정과 계산은 이 결론을 확인해 준다. 즉 식 (4)는 투과한 빛의 세기를 올바르게 나타낸다. 아래 그림은 얻은 결과를 보여 준다.



2.3 식 (5)에서 알 수 있듯이, 관계의 기울기는 투과율의 로그와 같다.

$$a = \ln k \,, \qquad (6)$$

따라서 투과율은 다음 식으로 계산한다.

$$k = \exp(a) \,, \qquad (7)$$

그리고 그 오차는 다음 식으로 정해진다.

$$\Delta k = \exp(a) \cdot \Delta a \,, \qquad (8)$$

표 3에 세 종류의 필터 모두에 대해 (최소 제곱법으로) 계산한 기울기 a, 그 오차 Δa, 투과율 k와 그 오차 Δk를 나타내었다.

표 3

	회색 필터	노란색 필터	파란색 필터
a	-0,678	-0,089	-1,011
Δa	0,014	0,008	0,032
k	0,508	0,915	0,364
Δk	0,007	0,007	0,012

2.4 단색 레이저 빛에 대한 필터 쌍의 투과율은 각 필터의 투과율의 곱과 같다.

$$k_{1,2} = k_1 \cdot k_2 \qquad (9)$$

표 4에 모든 쌍에 대해 측정한 투과율과 계산한 투과율을 나타내었다. 나타낸 데이터에서 알 수 있듯이 두 결과는 잘 일치한다. 즉 식 (9)가 실험으로 확인되었다.

표 4

필터 쌍		측정값		계산값
파란색 + 노란색		0,342		0,333
파란색 + 회색		0,187		0,185
노란색 + 회색		0,460		0,464

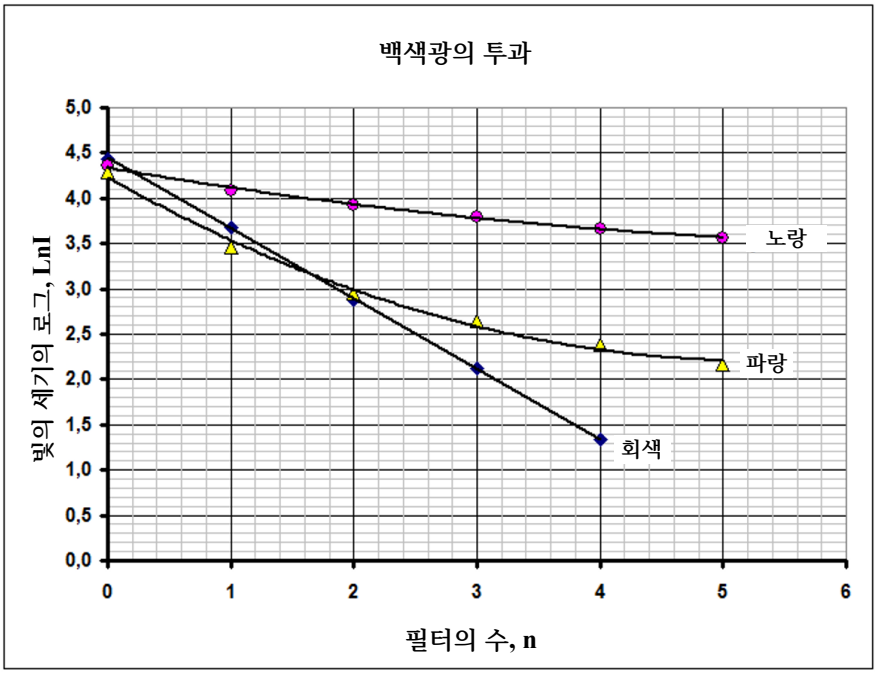
3부. 백색광의 흡수

3.1 필터를 통과한 빛의 세기의 측정 결과를 표 5에 나타내었다(측정은 저항값 10.1 kΩ에서 하였다).

표 5

	회색 필터	노란색 필터	파란색 필터		회색 필터	노란색 필터	파란색 필터
n	*U, mV*	*U, mV*	*U, mV*	*n*	*Ln U*	*Ln U*	*Ln U*
0	84,8	77,8	72,6	0	4,44	4,35	4,28
1	39,4	59,4	31,7	1	3,67	4,08	3,46
2	17,9	50,8	19,2	2	2,88	3,93	2,95
3	8,4	44,5	14	3	2,13	3,80	2,64
4	3,8	39,2	10,8	4	1,34	3,67	2,38
5		35	8,7	5		3,56	2,16

이 관계들의 그래프를 아래 그림에 나타내었다.



3.2 그래프에서 식 (5)가 회색 필터에서는 성립하지만 파란색 필터에서는 성립하지 않음을 알 수 있다. 얻은 법칙이 성립하지 않는 주된 원인은 투과율이 입사하는 빛의 파장에 크게 의존한다는 것이다. 회색 필터의 경우 가시광선의 파장 범위에서 투과율이 거의 변하지 않으므로, 식 (5)를 실험 오차 범위 안에서 적용할 수 있다. 그러나 파란색 필터의 경우 투과율이 눈에 띄게 변하므로 식 (5)를 적용할 수 없게 된다.

3.3 제공된 세 필터에 대해 측정한 투과율을 표 6에 나타내었다.

표 6

회색 필터	0,450
파란색 필터	0,431
노란색 필터	0,759

표 7에 필터 쌍에 대해 측정한 투과율과 계산한 투과율을 나타내었다. 백색 광원에서는 필터 쌍의 투과율이 각 필터의 투과율의 곱과 같지 않음을 알 수 있는데, 이는 투과율이 파장에 의존하기 때문이다.

표 7

필터 쌍		측정값		계산값
파란색 + 노란색		0,271		0,327
파란색 + 회색		0,188		0,194
노란색 + 회색		0,362		0,342

채점 기준

부분	내용	부분별 총점	배점
1부. 광검출기 조사하기		**6,0**	
1.1	스위치를 올바른 곳에 연결함	**0,2**	0,2
1.2	측정 $U(R)$: ***공식 풀이에 주어진 값과 50% 이내로 일치할 때에만 채점한다:*** - 최대 전압이 350 mV 이하; - 최대 저항값이 90 kΩ 이하; - 최소 저항값이 2 kΩ 미만; - 점의 개수가 15개 이상 *(10–14개, 7–9개, 그보다 적음)*; - 0–10 kΩ 범위에 점이 5개 이상; - 단조 감소하는 관계; - 단위를 올바르게 씀 (kΩ. mV);	**3,5**	 0,2 0,2 0,2 2(*1;0,5;0*) 0,5 0,2 0,1+0,1
1.3	부하 특성: (***1.2에 점수를 받았을 때에만 채점한다***) - 전류를 계산하는 식; - 모든 실험점에 대해 전류를 계산함; - 전류의 단위를 씀 (μA); - 올바른 정성적 경향 (천천히 줄다가 급격히 떨어짐); 그래프 그리기: - 축의 이름과 눈금을 표시함; - 모든 점을 올바르게 그림; - 매끄러운 곡선을 그림;	**0,9**	 0,1 0,2 0,1 0,2 0,1 0,1 0.1
1.4	저항값에 따른 열의 일률: (***1.2에 점수를 받았을 때에만 채점한다***) - 열의 일률을 계산하는 식; - 모든 실험점에 대해 열의 일률을 계산함; - 열의 일률의 단위를 올바르게 씀 (μW); - 올바른 정성적 경향 (0–10 kΩ 범위에서 최대가 된 뒤 천천히 줄어듦); 그래프 그리기: - 축의 이름과 눈금을 표시함; - 모든 점을 올바르게 그림; - 매끄러운 곡선을 그림;	**0,9**	 0,1 0,2 0,1 0.2 0,1 0,1 0,1
1.5	최댓값을 5–6 kΩ 범위에서 찾음 (*4–7 kΩ, 범위 밖*)	**0,5**	0,5*(0,3;0)*
2부. 레이저 빛의 흡수		**5,5**	
2.1	식 $I_n = k^n I_0$	**0,2**	0,2
2.2	투과율 측정	**2,6**	

	공식 풀이에 주어진 값과 50% 이내로 일치할 때에만 채점한다:		
	- 0–200 mV 범위에서 측정함;		0,1
	- 필터 없이 처음 측정함;		0,1x3=0,3
	- 필터 5(4)장으로 측정함;		0,3x3=0,9
	- 감소하는 관계를 얻음;		0,1x3=0.3
	선형화		
	- 올바른 반로그 눈금;		0,2
	- 모든 점에 대해 로그를 계산함;		0,2
	그래프 그리기 (**측정에 점수를 받았을 때에만 채점한다**)::		
	- 축의 이름과 눈금을 표시함;		0,1
	- 모든 점을 올바르게 그림;		0,1
	- 직선을 그림;		0.1
	선형 관계를 얻음;		0,3
2.3	투과율의 식 $k = \exp(a)$	**1,4**	0,1
	실험 오차의 식 $\Delta k = \exp(a) \cdot \Delta a$;		0,1
	모든 점에 대한 계산 (최소 제곱법, 평균);		0,3
	(점 2개에 대해서만 계산함);		*0,1*
	구한 투과율:		
	회색: 0,45–0,55 범위 (*0,4–0,6; 범위 밖*)		0,2*(0,1;0)*
	노란색: 0,85–0,95 범위 (*0,8–0,98; 범위 밖*)		0,2*(0,1;0)*
	파란색: 0,30–0,40 범위 *(0,25–0,45; 범위 밖*)		0,2*(0,1;0)*
	실험 오차를 구함		0,1x3=0,3
2.4	투과율 측정	**1,3**	
	회색+노란색: 0,30–0,40 범위 (*0,25–0,45; 범위 밖)*		0,2*(0,1;0)*
	파란색+회색: 0,15–0,25 범위 (*0,10–0,30; 범위 밖)*		0,2*(0,1;0)*
	회색 +노란색: 0.40–0,50 범위 *(0,35 – 0,55; 범위 밖);*		0,2*(0,1;0)*
	식 $k_{1,2} = k_1 \cdot k_2$;		0,1
	곱을 구함;		0,1x3=0,3
	실험 결과가 이론과 일치함;		0.1x3=0,3
3부. 백색광의 흡수		**3,5**	
3.1	투과율 측정	**1,9**	
	공식 풀이에 주어진 값과 50% 이내로 일치할 때에만 채점한다:		
	- 0–100 mV 범위에서 측정함;		0,1
	- 필터 없이 처음 측정함;		0,1x3=0,3
	- 필터 5(4)장으로 측정함;		0,2x3=0,6
	- 모든 점에 대해 로그를 계산함;		0,3
	그래프 그리기 (**측정에 점수를 받았을 때에만 채점한다**):		
	- 축의 이름과 눈금을 표시함;		0,1
	- 모든 점을 올바르게 그림;		0,1
	- 매끄러운 곡선을 그림;		0,1
	회색 필터에서 선형 관계;		0,1
	파란색 필터에서 비선형 관계		0,2
3.2	이론식이 확인되지 않음	**0,3**	0,1
	원인: 투과율이 파장에 의존함		0,2
3.3	투과율 측정	**1,3**	
	회색 필터: 0,4–0,5 범위 (0,35–0,55; 범위 밖)		0,2*(0,1;0)*
	파란색 필터: 0,4–0,5 범위 (0,35–0,55; 범위 밖)		0,2*(0,1;0)*
	노란색 필터: 0,7 – 0,8 범위 (0,65 – 0,85; 범위 밖)		0,2*(0,1;0)*
	파란색+노란색 필터: 0,22–0,3 범위 (0,18 –3,5; 범위 밖)		0,2*(0,1;0)*
	파란색+회색 필터: 0,14–0,23 범위 (0,1 –0,27; 범위 밖)		0,2*(0,1;0)*

	노란색+회색 필터: 0,3 – 0,4 범위 (0,25 – 0,45; 범위 밖) 실험 투과율과 이론 투과율이 일치하지 않음		0,2*(0,1;0)* 0,1
	합계	**15**	