실험 문제 풀이

부분 A: 레이저 다이오드의 광학적 성질

문제 A-(1) (모두 1.5점)
J 대 I 곡선을 재고, 표로 만들고, 그리시오.

a. 데이터 (0.3점): 변수와 단위를 적은 알맞은 데이터 표.
표 A-(1): J 대 I 데이터.

I (mA)	9.2	15.2	19.5	21.6	22.2	22.7	23.0	23.4	23.8
$\mathcal{J}$ (V)	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06	0.09	0.12	0.30
I (mA)	24.2	24.6	25.0	25.4	25.8	26.2	26.6	27.0	27.4
$\mathcal{J}$ (V)	0.66	1.02	1.41	1.88	2.23	2.64	3.04	3.36	3.78
I (mA)	27.8	28.2	28.6	29.0	29.4	29.8	30.2	30.5	31.0
$\mathcal{J}$ (V)	4.12	4.48	4.79	5.13	5.44	5.72	6.05	6.25	6.55
I (mA)	31.4	31.8	32.2	32.6	33.0	33.4	33.8	34.2	34.6
$\mathcal{J}$ (V)	6.75	6.99	7.22	7.40	7.60	7.78	7.93	8.07	8.14
I (mA)	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.6	38.0	38.6	
$\mathcal{J}$ (V)	8.18	8.20	8.22	8.24	8.24	8.25	8.26	8.27	

전류 오차: ±0.1 mA, 전압 오차: ±0.01 V

b. 그래프 (0.3점): 실험의 정확도와 범위에 맞는 가로축·세로축의 알맞은 눈금 크기와 단위.

c. 곡선 (0.9점): 알맞은 데이터와 적절한 곡선 모양
• 그림 A-1과 같다. 시작 ~0 → 문턱 → 선형 → 포화.

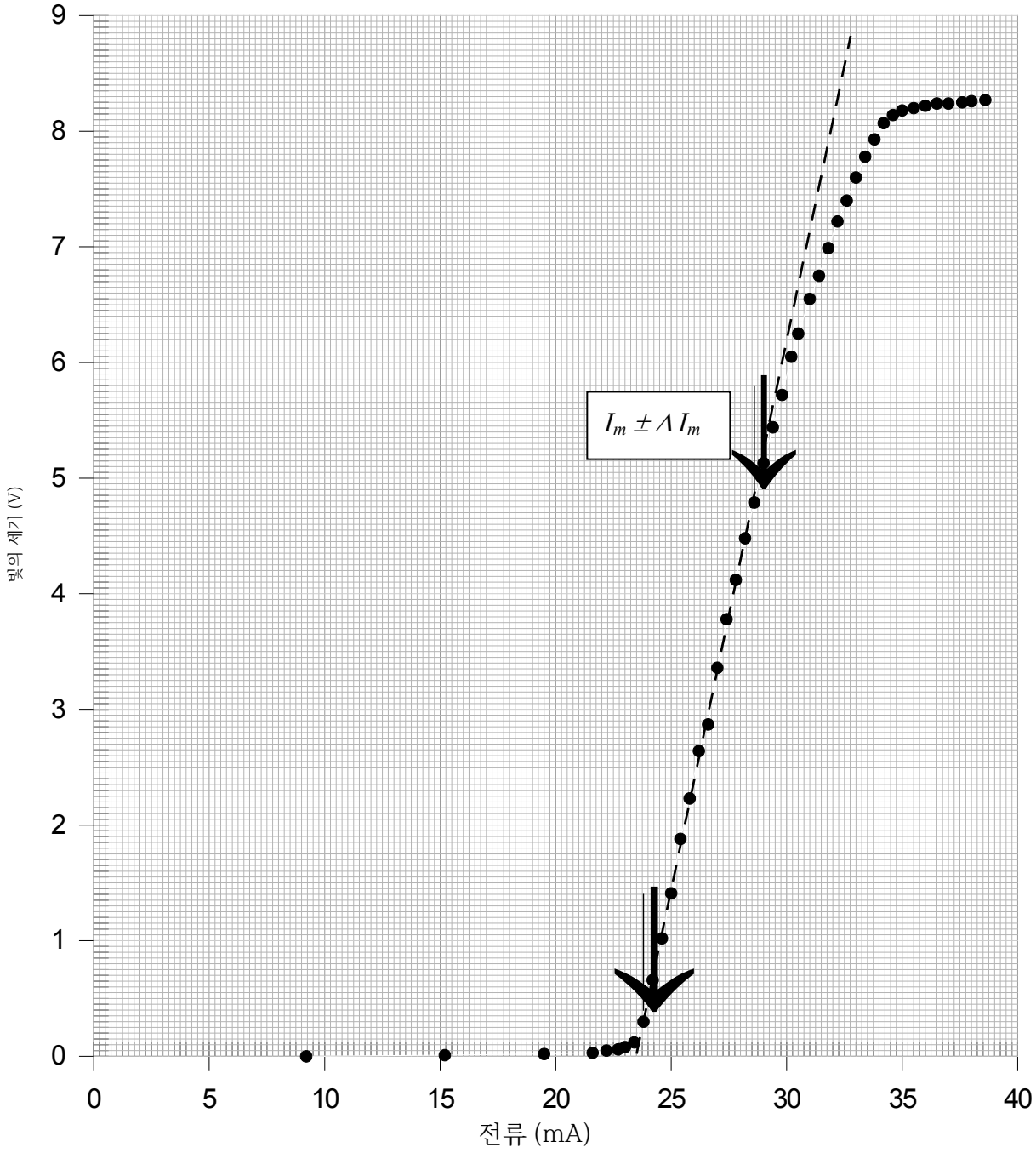


그림 A-1 전류 I에 대한 빛의 세기 J의 그래프

문제 A-(2) (모두 3.5점)
J-I 곡선의 선형 영역에서 최대 전류 I_m을 불확도와 함께 어림하시오. J-I 곡선 그림에 화살표(↓)로 선형 영역을 표시하고, 자세한 오차 분석과 함께 문턱 전류 I_{th}를 정하시오.

a. 그림 A-1에 선형 영역 표시 (0.5점)

b. 최소 제곱법 또는 자로 눈대중 그리기, 그리고 오차 분석 (1.5점)

최소 제곱 맞춤	자로 눈대중 그리기
그래프의 오차 막대 0.0x mA (0.5점)	그래프의 오차 막대 0.x mA (0.5점)
최소 제곱법 (0.5점)	눈금을 확대한 그래프 (0.5점)
오차 분석 (0.5점)	오차 분석용 직선 세 개 긋기 (0.5점)

c. $I_m \pm \triangle I_m$ (0.5점): J-I 곡선의 선형 영역에서 얻은 I_m의 알맞은 값 (0.3점)과 오차($\pm \triangle I_m$) (0.2점).

d. 오차와 함께 구한 I_{th}의 알맞은 값 (1.0점)

I_{th} = (21~26) ± (0.01, 값이 하나뿐이면 0.2) mA

I_{th}의 알맞은 값 (0.5점)과 오차($\pm \triangle I_{th}$) (0.5점)

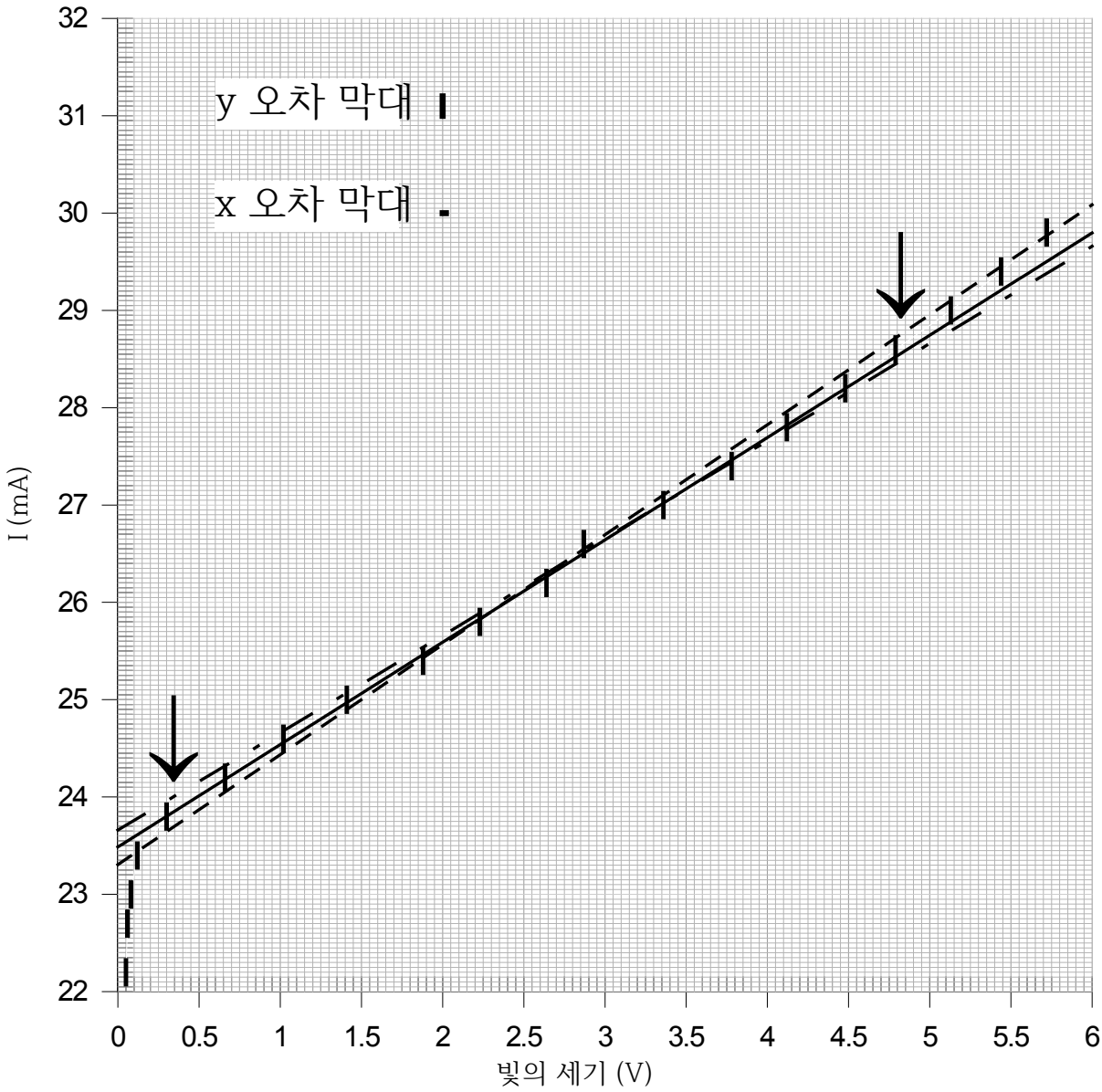

y 오차 막대
x 오차 막대
I (mA)
32
31
30
29
28
27
26
25
24
23
22
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4
4.5
5
5.5
6
빛의 세기 (V)

그림 A-2 직선과 외삽

부록:

◎A1-1

● 최소 제곱법:

$I = m\mathcal{J} + b \quad \rightarrow \quad b = I_{\text{th}}$

For $y = mx + b$

	y: I(mA)	x: $\mathcal{J}$	xy	x^2	$y(x) = mx+b$	$(y\text{-}y(x))^2$
1	23.8	0.30	7.14	0.090	23.7937	3.969E-05
2	24.2	0.66	15.972	0.4356	24.17134	0.000821
3	24.6	1.02	25.092	1.0404	24.54898	0.00260
4	25.0	1.41	35.25	1.9881	24.95809	0.00176
5	25.4	1.88	47.752	3.5344	25.45112	0.00261
6	25.8	2.23	57.534	4.9729	25.81827	0.000334
7	26.2	2.64	69.168	6.9696	26.24836	0.00234
8	26.6	3.04	80.864	9.2416	26.66796	0.00462
9	27.0	3.36	90.72	11.2896	27.00364	1.325E-05
10	27.4	3.78	103.572	14.2884	27.44422	0.00196
11	27.8	4.12	114.536	16.9744	27.80088	7.744E-07
12	28.2	4.48	126.336	20.0704	28.17852	0.000461
13	28.6	4.79	136.994	22.9441	28.50371	0.00927
	Σy = 340.6	Σx = 33.71	Σxy = 910.93	Σx^2 = 113.840		$\Sigma\,(y\text{-}y(x))^2$ = 0.0268

$$\Delta = N\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2 = 13(113.840) - (33.71)^2 = 343.556$$

$$m = \frac{1}{\Delta}\left(N\Sigma xy - \Sigma x\Sigma y\right) = \frac{13(910.93) - (33.71)(340.6)}{343.556} = 1.049$$

$$b = \frac{1}{\Delta}\left(\Sigma x^2\Sigma y - \Sigma x\Sigma xy\right) = \frac{(113.840)(340.6) - (33.71)(910.93)}{343.556} = 23.479$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\Sigma\left(y - y(x)\right)^2}{N-2}} = \sqrt{\frac{0.0268}{13-2}} = 0.049$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_y)^2 + \left(\frac{dy}{dx}\sigma_x\right)^2} = \sqrt{(0.049)^2 + \left(1.049 \times 0.005\right)^2} = 0.049$$

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{N\sigma^2}{\Delta}} = \sqrt{\frac{13 \times 0.049^2}{343.556}} = 0.0095$$

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\Delta}\Sigma x^2} = 0.049 \times \sqrt{\frac{113.840}{343.556}} = 0.028$$

$I_{th} = 23.48 \pm 0.03$ mA

◎A1-2

● 눈대중 방법:

$I = mJ + b \quad \rightarrow \quad b = I_{\text{th}}$

For $y = mx + b$

Line 1: $y = 1.00\,x + 23.66$

Line 2: $y = 1.05\,x + 23.48$

Line3: $y = 1.13\,x + 23.31$

I_{th}(av.) = 23.48

I_{th}(std.) = 0.18

$I_{th} = 23.5 \pm 0.2$ mA

부분 B: 네마틱 액정의 광학적 성질

90° TN 액정 셀의 전기 광학 스위칭 특성

문제 B-(1) (5.0점)

NB 90° TN 액정의 전기 광학 스위칭 곡선(J 대 V_{rms} 곡선)을 재고, 표로 만들고, 그리고, 스위칭 기울기 γ를 구하시오. 여기서 γ는 $(V_{90} - V_{10})/V_{10}$으로 정의한다.

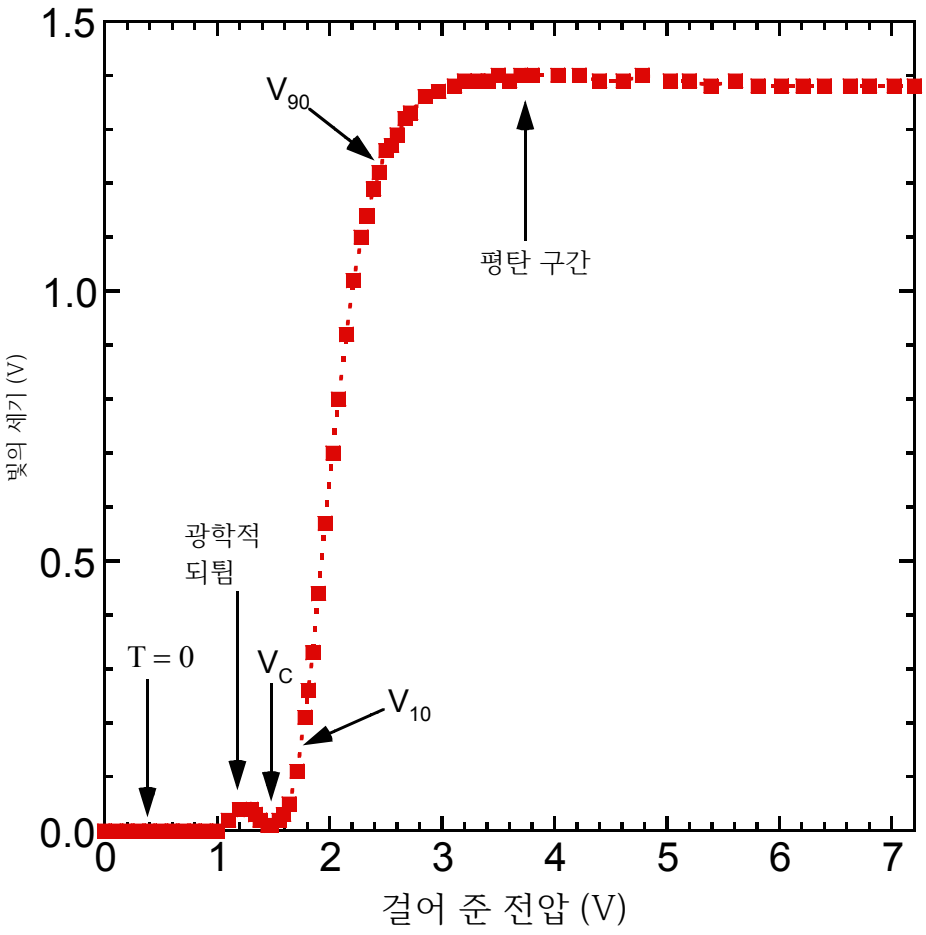
a. 변수와 단위를 적은 알맞은 데이터 표 (0.3점)

걸어 준 전압 (Volts)	빛의 세기 (Volts)	걸어 준 전압 (Volts)	빛의 세기 (Volts)
0.00	0.00	2.44	1.22
0.10	0.00	2.50	1.26
0.20	0.00	2.55	1.27
0.30	0.00	2.60	1.29
0.40	0.00	2.67	1.32
0.50	0.00	2.72	1.33
0.60	0.00	2.85	1.36
0.70	0.00	2.97	1.37
0.80	0.00	3.11	1.38
0.90	0.00	3.20	1.39
1.00	0.00	3.32	1.39
1.10	0.02	3.41	1.39
1.20	0.04	3.50	1.40
1.24	0.04	3.60	1.39
1.30	0.04	3.70	1.40
1.34	0.03	3.80	1.40
1.38	0.02	4.03	1.40
1.45	0.01	4.22	1.40
1.48	0.01	4.40	1.39
1.55	0.02	4.61	1.39
1.59	0.03	4.78	1.40
1.64	0.05	5.03	1.39
1.71	0.11	5.20	1.39
1.78	0.21	5.39	1.38
1.81	0.26	5.61	1.39
1.85	0.33	5.81	1.38
1.90	0.44	6.02	1.38
1.96	0.57	6.21	1.38
2.03	0.70	6.40	1.38
2.08	0.80	6.63	1.38
2.15	0.92	6.80	1.38
2.21	1.02	7.02	1.38
2.28	1.10	7.20	1.38
2.33	1.14		
2.39	1.19		

b. 실험의 정확도와 범위에 맞게 가로축·세로축의 눈금 크기와 단위를 알맞게 고른다. (0.3점)

c. 걸어 준 전압(V_{rms})의 함수로 빛의 세기(J)를 올바르게 재고
J-V_{rms} 곡선을 알맞게 그린다.

- 정상 흑색 방식에서 투과광의 세기는 0.05 V보다 작다. (0.4점)
- 걸어 준 외부 전압이 임계 전압에 이르기 전에 작은 광학적 되튐이 있다. (0.8점)
- 걸어 준 외부 전압이 임계 전압을 넘으면 투과광의 세기가 빠르고 갑작스럽게 커진다. (0.4점)
- 걸어 준 외부 전압이 3.0 V를 넘으면 투과광의 세기가 평탄해진다. (0.4점)



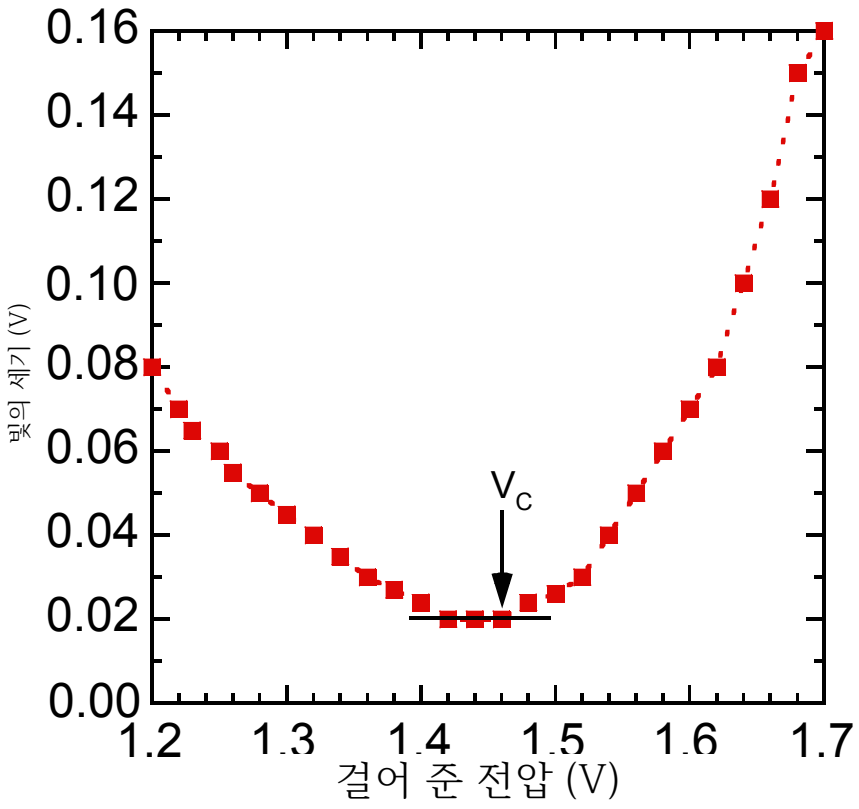
d. 오차와 함께 구한 γ의 값.

- 걸어 준 전압이 3.0 V와 7.2 V 사이인 영역에서 빛의 세기의 최댓값을 찾는다. (0.6점)
- 최대 빛 세기의 90 % 값을 정한다. 보간으로 걸어 준 전압 V_{90}의 값을 얻는다. (0.6점)

- 최대 빛 세기의 10 % 값을 정한다. 보간으로 걸어 준 전압 V_{10}의 값을 얻는다. (0.6점)
- 올바른 $\gamma \pm \triangle\gamma$ 값, (0.42 ~ 0.44) ± 0.02. (0.4+0.2점)

문제 B-(2) (모두 2.5점)
이 NB 90° TN 액정 셀의 임계 전압 V_c를 정하시오. V_c 값을 어떻게 정했는지 그래프로 분명히 보이시오.

a. 오차와 함께 구한 V_C의 값, $V_C \pm \triangle V_C$.
   - V_C 부근을 확대한 그래프를 그리고 그 영역에서 데이터 점을 더 얻는다. (0.8점)
   - 투과광의 세기가 빠르고 갑작스럽게 커지는 V_C 값을 정한다. (0.7점)
   - 올바른 $V_C \pm \triangle V_C$ 값, (1.20 ~ 1.50) ± 0.01 V. (0.8+0.2점)



(이 그래프의 데이터는 앞쪽에 보인 데이터와 대응하지 않는다. 이 그래프는 V_c를 얻는 방법만 보여 준다.)

부분 C: 네마틱 액정의 광학적 성질:

평행 배향 액정 셀의 전기 광학 스위칭 특성

문제 C-(1) (2.5점)

레이저 빛의 파장 650 nm, 액정 층 두께 7.7 μm, Δn의 근삿값 ≈ 0.25가 알려져 있다고 하자. 위에서 얻은 실험 데이터 T⊥와 T∥로부터 V = 0에서 이 액정 셀의 위상 지연 δ의 정확한 값과 겹굴절 Δn의 정확한 값을 계산하시오.

a. 오차와 함께 구한 δ와 △n의 알맞은 값.

- T∥ 값들을 얻어 평균한다. (0.3점)
- T⊥ 값들을 얻어 평균한다. (0.3점)
- 차수 m의 값을 정한다. (0.9점)
- 올바른 δ 값, 15.7 ~ 18.2. (0.5점)
- 올바른 △n 값, 0.20 ~ 0.24 (0.5점)

$$T_{//} = \frac{0.31+0.31+0.31}{3} = 0.31 \pm 0.01 \quad \text{Volts}$$

$$T_{\perp} = \frac{1.04+1.03+1.04}{3} = 1.04 \pm 0.01 \quad \text{Volts}$$

$$\tan\frac{\delta}{2} = \pm\frac{\sqrt{T_{\perp}}}{\sqrt{T_{//}}} = -1.83^{*} \qquad \therefore \delta = 4.14 + 2m\pi \qquad (\text{또는} 2.14 + 2m\pi)$$

$$\delta = \frac{2\pi d\Delta n}{\lambda} = \frac{2\pi \times 7.7 \times 0.25}{0.65} = 18.61$$

취하면 $m = 2$ (또는 3) $\therefore \delta = 16.70(5.32\pi)$

에서 $\delta = \frac{2\pi d\Delta n}{\lambda}$ $\therefore \Delta n = \frac{\delta\lambda}{2\pi d} = 0.22$

받아들일 값: $\therefore \Delta n = (0.20 \sim 0.24)$

*만약 $\tan\frac{\delta}{2} = 1.83$ 이면 δ 값은 4.68π 또는 6.68π 이 되어

문제 C-(2)의 데이터 그림과 맞지 않는다.

문제 C-(2) (모두 3.0점)

θ = 45° 배치에서 이 평행 배향 액정 셀의 T∥에 대한 전기 광학 스위칭 곡선을 재고, 표로 만들고, 그리시오.

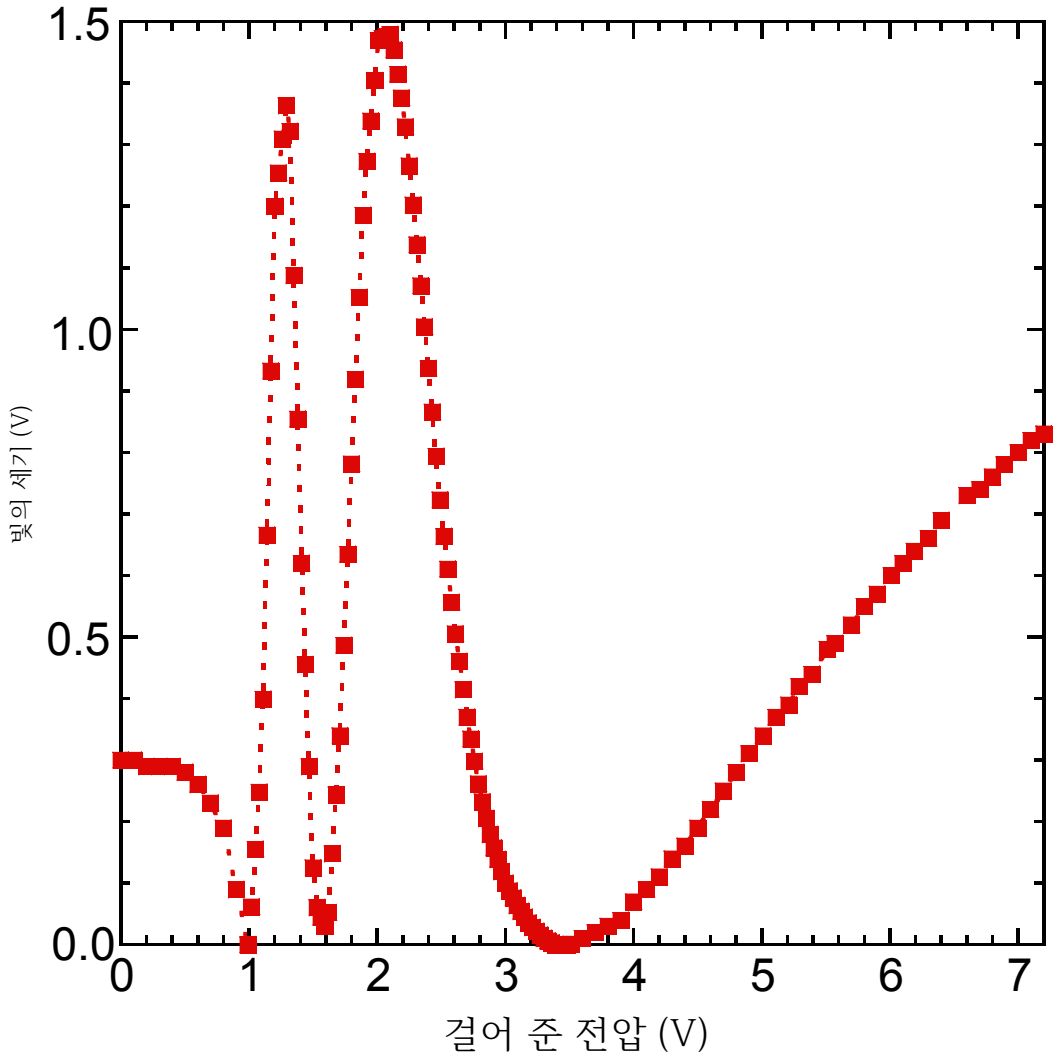
a. 변수와 단위를 적은 알맞은 데이터 표 (0.3점)

걸어 준 전압 (Volts)	빛의 세기 (Volts)	걸어 준 전압 (Volts)	빛의 세기 (Volts)	걸어 준 전압 (Volts)	빛의 세기 (Volts)
0.00	0.30	2.01	1.47	3.33	0.00
0.10	0.30	2.04	1.48	3.36	0.00
0.20	0.29	2.07	1.48	3.39	0.00
0.30	0.29	2.10	1.48	3.42	0.00
0.40	0.29	2.13	1.45	3.45	0.00
0.50	0.28	2.16	1.42	3.48	0.00
0.60	0.26	2.19	1.38	3.51	0.00
0.70	0.23	2.22	1.33	3.60	0.01
0.80	0.19	2.25	1.27	3.70	0.02
0.90	0.09	2.28	1.20	3.80	0.03
0.99	0.00	2.31	1.14	3.90	0.04
1.02	0.06	2.34	1.07	4.00	0.07
1.05	0.16	2.37	1.00	4.10	0.09
1.08	0.25	2.40	0.94	4.20	0.11
1.11	0.40	2.43	0.87	4.30	0.14
1.14	0.67	2.46	0.79	4.40	0.16
1.17	0.93	2.49	0.72	4.50	0.19
1.20	1.25	2.52	0.66	4.60	0.22
1.26	1.31	2.55	0.61	4.70	0.25
1.29	1.36	2.58	0.56	4.80	0.28
1.32	1.32	2.61	0.51	4.90	0.31
1.35	1.09	2.64	0.46	5.01	0.34
1.38	0.85	2.67	0.42	5.11	0.37
1.41	0.62	2.70	0.37	5.21	0.39
1.44	0.46	2.73	0.33	5.29	0.42
1.47	0.29	2.76	0.30	5.39	0.44
1.50	0.13	2.79	0.26	5.51	0.48
1.53	0.06	2.82	0.23	5.57	0.49
1.59	0.03	2.85	0.21	5.70	0.52
1.62	0.05	2.88	0.18	5.80	0.55
1.65	0.15	2.91	0.16	5.90	0.57
1.68	0.24	2.94	0.14	6.01	0.60
1.71	0.34	2.97	0.12	6.10	0.62
1.74	0.49	3.00	0.09	6.19	0.64
1.77	0.63	3.06	0.08	6.30	0.66
1.80	0.78	3.09	0.06	6.40	0.69
1.83	0.92	3.12	0.05	6.60	0.73
1.86	1.05	3.18	0.04	6.70	0.74
1.89	1.19	3.21	0.03	6.80	0.76
1.92	1.27	3.24	0.02	7.00	0.80
1.95	1.34	3.27	0.02	7.20	0.83
1.98	1.40	3.30	0.01		

b. 실험의 정확도와 범위에 맞게 가로축·세로축의 눈금 크기와 단위를 알맞게 고른다. (0.3점)

c. 걸어 준 전압(V_{rms})의 함수로 $T_{Ⅱ}$를 올바르게 재고 $T_{Ⅱ}$-V_{rms} 곡선을 알맞게 그린다.

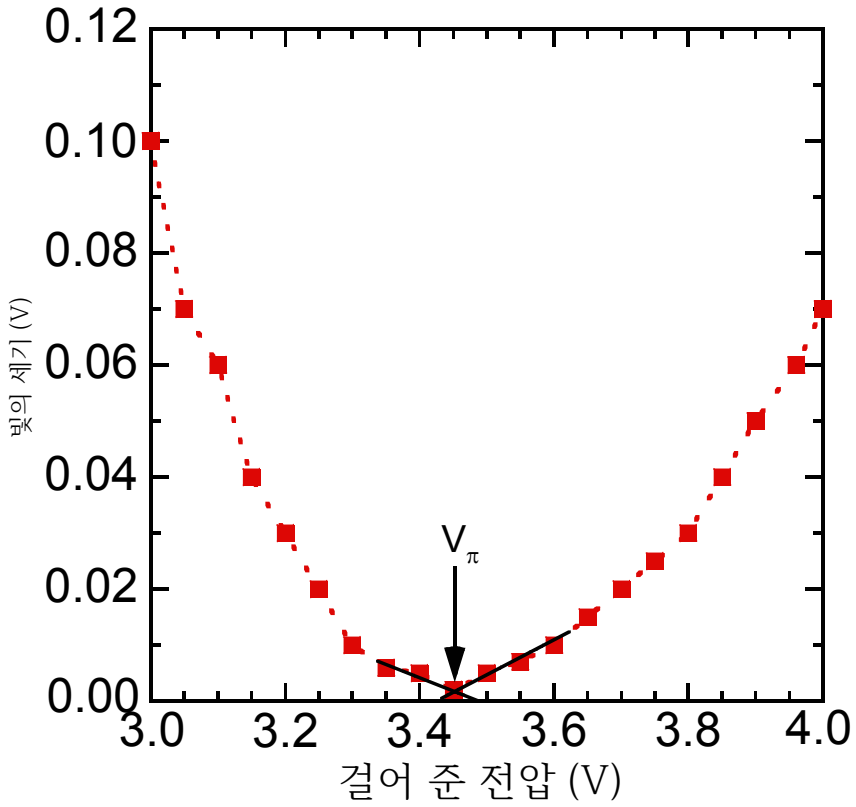
- 극소 셋과 날카로운 극대 둘. (1.5점)
- 극댓값들이 서로 15% 안에 있다. (0.5점)
- 극솟값들이 0.1 V보다 작다. (0.4점)



문제 C-(3) (모두 2.0점)
전기 광학 스위칭 데이터로부터 외부에서 걸어 준 전압 V_π의 값을 구하시오.

a. 오차와 함께 구한 V_π의 알맞은 값.

- V_π 부근을 확대한 그래프를 그리고 그 영역에서 데이터 점을 더 얻는다. (0.3점)
- V_π의 올바른 극소를 짚는다. (0.8점)
- 보간이나 반올림으로 V_π의 값을 얻는다. (0.5점)
- 올바른 V_π 값: (3.2 ~ 3.5)± 0.01V. (0.2+0.2점)



채점 기준

부분 A: 레이저 다이오드의 광학적 성질

번호	내용	부분 점수	총점
A(1) J 대 I 곡선을 재고, 표로 만들고, 그리시오.			1.5점
a	변수와 단위를 적은 알맞은 데이터 표.	0.3	
b	실험의 정확도와 범위에 맞는 가로축·세로축의 알맞은 눈금 크기와 단위.	0.3	
c	알맞은 데이터와 적절한 곡선 그리기 (그림 A-1)	0.9	
A(2) J 대 I 곡선의 선형 영역에서 최대 전류 I_m을 불확도와 함께 어림하시오. J-I 곡선 그림에 화살표(↓)로 선형 영역을 표시하고, 불확도와 함께 문턱 전류 I_{th}를 정하시오.			3.5점
a	선형 영역 표시.	0.5	
b	최소 제곱 맞춤 또는 자로 눈대중 그리기와 오차 분석	1.5	
c	$I_m \pm \triangle I_m$을 알맞게 얻기	0.5	
d	$I_{th} \pm \triangle I_{th}$의 알맞은 값	1.0	

부분 B: 네마틱 액정의 광학적 성질

90° TN 액정 셀의 전기 광학 스위칭 특성

번호	내용	부분 점수	총점
B-(1) NB 90° TN 액정의 전기 광학 스위칭 곡선(J 대 V_{rms} 곡선)을 재고, 표로 만들고, 그리고, 스위칭 기울기 γ를 구하시오. γ는 $(V_{90} - V_{10})/V_{10}$으로 정의한다.			5.0점
a	변수와 단위를 적은 알맞은 데이터 표.	0.3	
b	실험의 정확도와 범위에 맞게 가로축·세로축의 눈금 크기와 단위를 알맞게 고른다.	0.3	
c	걸어 준 전압(V_{rms})의 함수로 빛의 세기(J)를 올바르게 재고 J-V_{rms} 곡선을 알맞게 그린다.		
	• 정상 흑색 방식에서 투과광의 세기가 0에 이른다.	0.4	
	• 걸어 준 외부 전압이 임계 전압에 이르기 전에 작은 광학적 되튐이 있다.	0.8	
	• 걸어 준 외부 전압이 임계 전압을 넘으면 투과광의 세기가	0.4	

	빠르고 갑작스럽게 커진다.		
	• 걸어 준 외부 전압이 3.0 V를 넘으면 투과광의 세기가 평탄해진다.	0.4	
d	오차와 함께 구한 γ의 알맞은 값, γ ± △γ.		
	• 최대 빛 세기를 올바르게 분석.	0.6	
	• V_{90} 값을 올바르게 분석.	0.6	
	• V_{10} 값을 올바르게 분석.	0.6	
	• 올바른 γ ± △γ 값, (0.42 ~ 0.44) ± 0.02.	0.6	
B-(2)	이 NB 90° TN 액정 셀의 임계 전압 V_c를 정하시오. V_c 값을 어떻게 정했는지 그래프로 분명히 보이시오.		2.5 pts.
	오차와 함께 구한 V_C의 알맞은 값, V_C ± $\triangle V_C$.		
	• V_C 부근을 확대한 그래프를 그리고 그 영역에서 데이터 점을 더 얻는다.	0.8	
	• V_C 값을 올바르게 분석.	0.7	
	• 올바른 V_C ± $\triangle V_C$ 값, (1.2 ~ 1.5) ± 0.01 V.	1.0	

부분 C: 네마틱 액정의 광학적 성질:

평행 배향 액정 셀의 전기 광학 스위칭 특성

번호	내용	부분 점수	총점
C-(1)	레이저 빛의 파장 650 nm, 액정 층 두께 7.7 μm, Δn의 근삿값 ≈ 0.25가 알려져 있다고 하자. 위에서 얻은 실험 데이터 T⊥와 T∥로부터 V = 0에서 이 액정 셀의 위상 지연 δ의 정확한 값과 겹굴절 Δn의 정확한 값을 계산하시오.		2.5점
	오차와 함께 구한 δ와 △n의 알맞은 값.		
	• T∥ 값들을 올바르게 분석.	0.3	
	• T⊥ 값들을 올바르게 분석.	0.3	
	• 차수 m의 값을 올바르게 정하기.	0.9	
	• 올바른 δ 값, 17.7 ~ 18.2.	0.5	
	• 올바른 △n 값, 0.23 ~ 0.25.	0.5	
C-(2)	θ = 45° 배치에서 이 평행 배향 액정 셀의 T∥에 대한 전기 광학 스위칭 곡선을 재고, 표로 만들고, 그리시오.		3.0점
a	변수와 단위를 적은 알맞은 데이터 표.	0.3	
b	실험의 정확도와 범위에 맞게 가로축·세로축의 눈금 크기와 단위를	0.3	

	알맞게 고른다.		
c	걸어 준 전압(V_{rms})의 함수로 TⅡ를 올바르게 재고 TⅡ-V_{rms} 곡선을 알맞게 그린다.		
	• 극소 셋과 날카로운 극대 둘.	1.5	
	• 극댓값들이 서로 15 % 안에 있다.	0.5	
	• 극솟값들이 0.1 V보다 작다.	0.4	
C-(3) 전기 광학 스위칭 데이터로부터 외부에서 걸어 준 전압 V_π의 값을 구하시오.			2.0점
	오차와 함께 구한 V_π의 알맞은 값.		
	• V_π 부근을 확대한 그래프를 그리고 그 영역에서 데이터 점을 더 얻는다.	0.3	
	• V_π의 올바른 극소를 짚는다.	0.8	
	• V_π 값을 올바르게 분석.	0.5	
	• 올바른 V_π ± △V_π 값, (3.2 ~ 3.5) ± 0.1 V.	0.4	