문제 2: 열변형된 표면에 의한 간섭 (열변형)

파트 A [0.8점]

얻어지는 무늬는 어떤 전력 값까지는 가역적이며 다시 줄어든다. 항복 강도로 알려진, 열탄성 영역에 대응하는 위쪽 경계값을 결정해야 한다.

A.1	이 항복 강도에 해당하는 전력(p_{max})을 결정하라.	0.3pt
	350–400 mW이면 0.3점 300–350 mW이면 0.2점 400–450 mW이면 0.1점	

I, mA	V, V	P, mW	P_{avg}, mW
97.3	3.74	363.90	363.6
98.3	3.75	368.63	
97.6	3.74	365.02	
96.5	3.73	359.95	
96.7	3.73	360.69	

A.2	레이저 전력을 항복 강도에 해당하는 값으로 맞추었을 때 가장 바깥쪽 밝은 무늬의 지름을 결정하라.	0.5pt
	가장 바깥쪽 지름은 스크린을 표적에서 더 멀리 놓아 다음과 같이 결정하였다: 지름 값을 결정하면 0.3점 표적과 스크린 사이의 거리 0.2점	

$$L = 49.2\ \text{cm}$$

D_{out}, cm	$\langle D_{out} \rangle$, cm
27.0	27.5
26.0	
28.0	
28.5	
28.0	

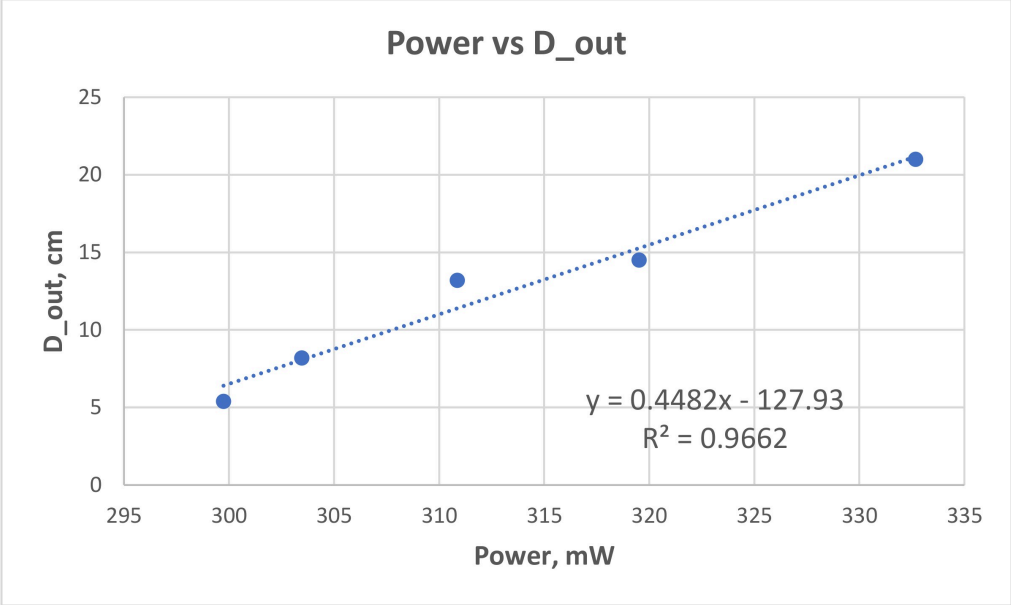
L, cm	49.2	45	40	35	30	25	20	15	10	5
D, cm	27.5	25.6	22.8	19.9	17.1	14.2	11.4	8.5	5.7	2.8

파트 B [3.5점]

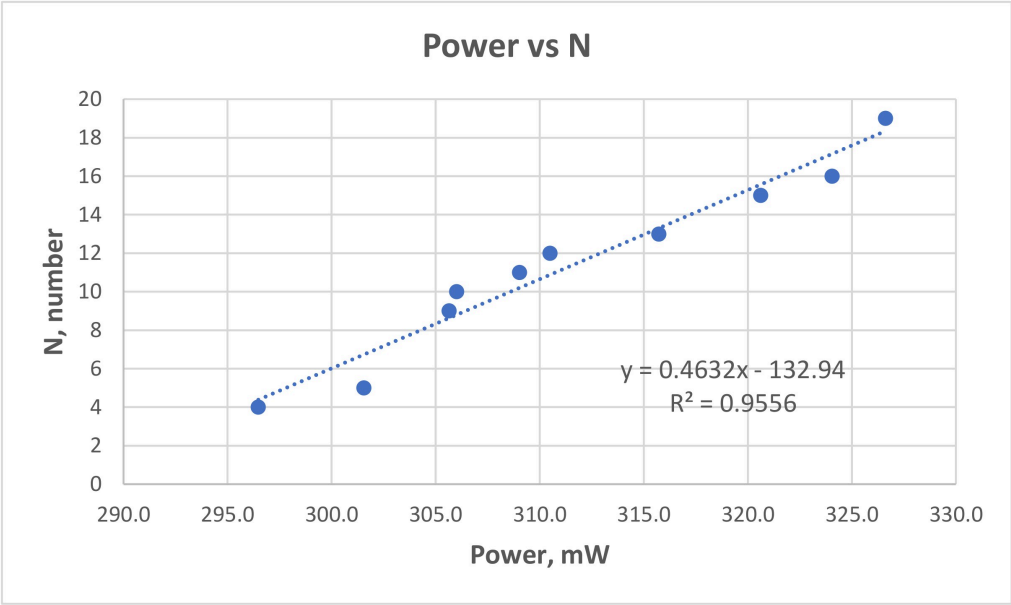
B.1	이 실험에서 만들어지는 가장 바깥쪽 밝은 무늬의 지름과 무늬의 개수를 전력에 따라 측정하고, 그 결과를 답안지의 표에 기록하라.	1.5pt
	• 측정점이 10개 이상이면 0.3점 7–9개이면 0.2점 5–6개이면 0.1점 150–300 mW이면 0.3점 100–150 mW이면 0.2점 • 표의 모든 행에 전압을 측정했으면 0.2점 7–9개이면 0.1점 • 표의 모든 행에 전류를 측정했으면 0.2점 7–9개이면 0.1점 • 표의 모든 행에 전력을 계산했으면 0.2점 7–9개이면 0.1점 • 유효숫자가 모두 같은 자릿수이면 0.3점	

№	I, mA	U, V	P, mW	N
1	81.9	3.62	296.5	4
2	83.3	3.62	301.5	5
3	84.2	3.63	305.6	9
4	84.3	3.63	306.0	10
5	84.9	3.64	309.0	11
6	85.3	3.64	310.5	12
7	86.5	3.65	315.7	13
8	87.6	3.66	320.6	15
9	88.3	3.67	324.1	16
10	89.0	3.67	326.6	19
11	92.1	3.70	340.8	20
12	94.3	3.72	350.8	21

B.2	스크린 위 가장 바깥쪽 밝은 간섭무늬의 지름과 그에 대응하는 전력 값 사이의 관계를 나타내는 그래프를 그려라.	1.0pt
	측정점이 그래프에 10개 이상 나타나면 0.4점 자료가 각 좌표축 길이의 75% 이상을 차지하면 0.4점 각 축에 이름이 있으면 0.2점	



B.3	스크린 위 간섭무늬의 개수를 전력의 함수로 측정하여 그려라.	1.0pt
	측정점이 그래프에 10개 이상 나타나면 0.4점 자료가 각 좌표축 길이의 75% 이상을 차지하면 0.4점 각 축에 이름이 있으면 0.2점	



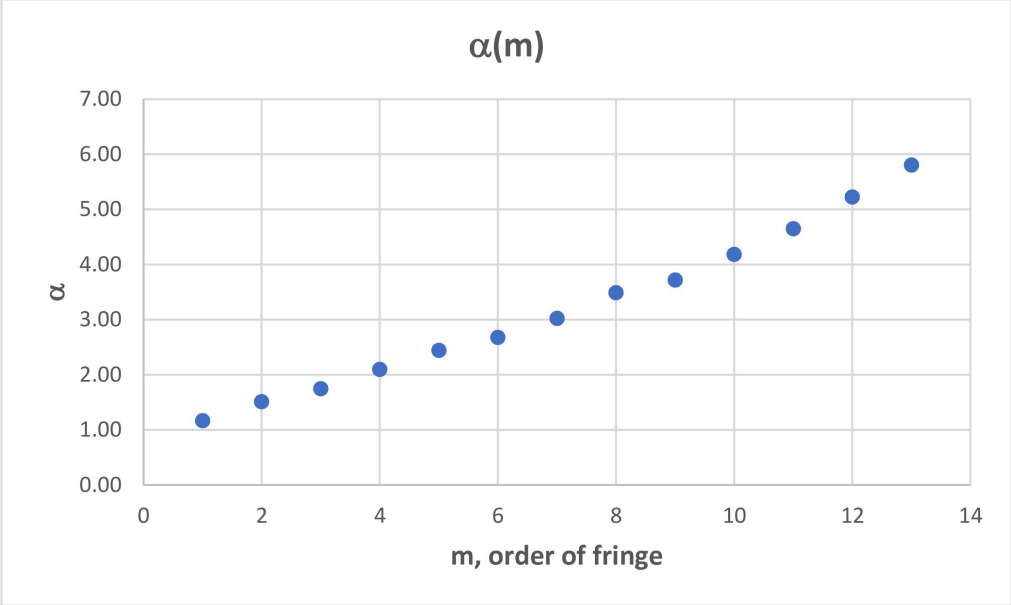
파트 C [3.7점]

C.1	일정한 전력에서 어두운 무늬의 각폭(n차 무늬의 광선과 $n+1$차 무늬의 광선 사이의 각)과 보이는 각(n차 무늬의 광선과 x축 사이의 각)을 무늬의 차수에 따라 측정하고, 그 결과를 답안지의 표에 기록하라.	1.2pt
	측정점이 10개 이상이면 0.4점 7–9개이면 0.2점 5–6개이면 0.1점 전력을 결정했으면 0.1점 보이는 각의 값을 결정했으면 0.2점 각폭의 값을 결정했으면 0.3점 유효숫자가 모두 같은 자릿수이면 0.2점	

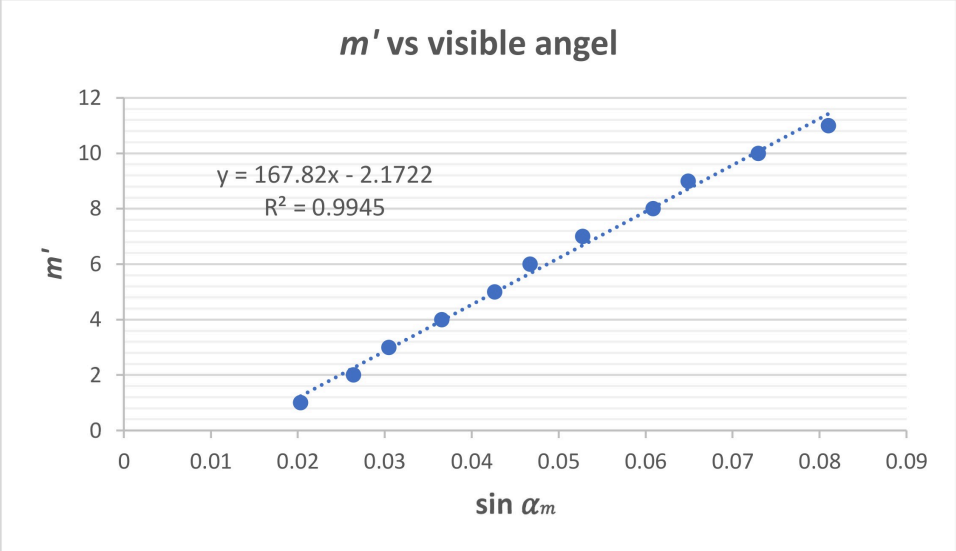
m	R, cm	L, cm	$\tan(\alpha_m)$	α_m, °	α_m, mrad	$\Delta\alpha_m$, °	$\Delta\alpha_m$, mrad
1	1.0	49.2	0.020	1.16	20.3	0.35	6.1
2	1.3		0.026	1.51	26.4	0.23	4.0
3	1.5		0.030	1.75	30.6	0.35	6.1
4	1.8		0.037	2.10	36.7	0.35	6.1
5	2.1		0.043	2.44	42.6	0.23	4.0
6	2.3		0.047	2.68	46.8	0.35	6.1
7	2.6		0.053	3.03	52.9	0.46	8.0
8	3.0		0.061	3.49	60.9	0.23	4.0
9	3.2		0.065	3.72	65.0	0.46	8.0
10	3.6		0.073	4.18	73.0	0.46	8.0
11	4.0		0.081	4.65	81.2	1.04	18.2
12	4.5		0.100	5.69	99.3	1.04	18.2
13	5.0		0.118	6.72	117.3		

C.2	보이는 각과 무늬의 차수 사이의 관계를 나타내는 선형 그래프를 그려라.	1.0pt
	측정점이 그래프에 10개 이상 나타나면 0.4점 자료가 각 좌표축 길이의 75% 이상을 차지하면 0.4점 각 축에 이름이 있으면 0.2점	

1. 비선형 그래프 (0.2점)



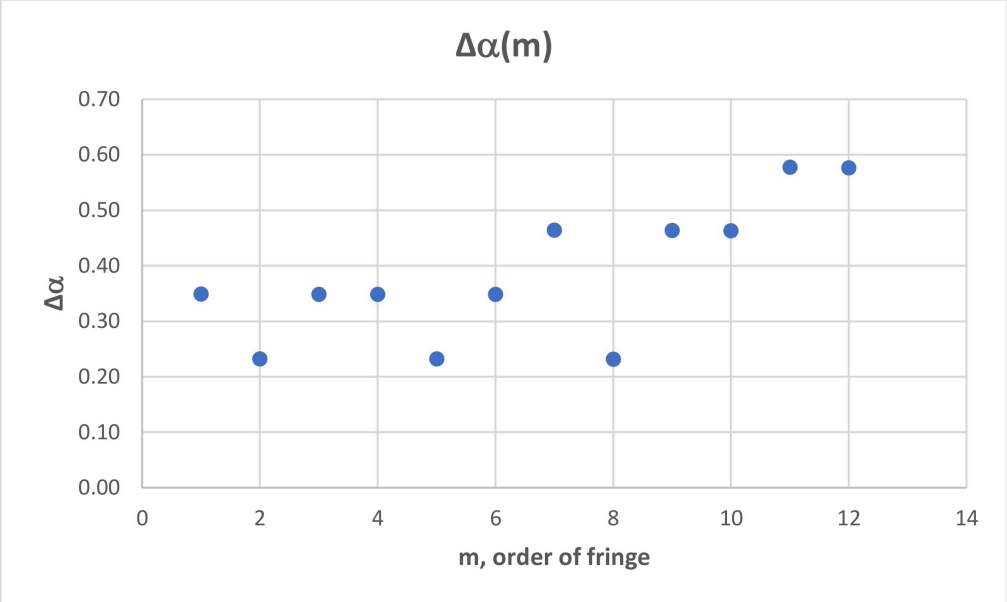
2. 선형화한 그래프 (0.8점)



C.3	과제 C.2에서 그린 그래프의 기울기와 Y절편을 구하라.	0.5pt
	회귀 직선을 그리고 기울기를 계산했으면 0.3점 기울기 값 0.2점	

$$m' = 167.82 \sin \alpha_m - 2.1722$$

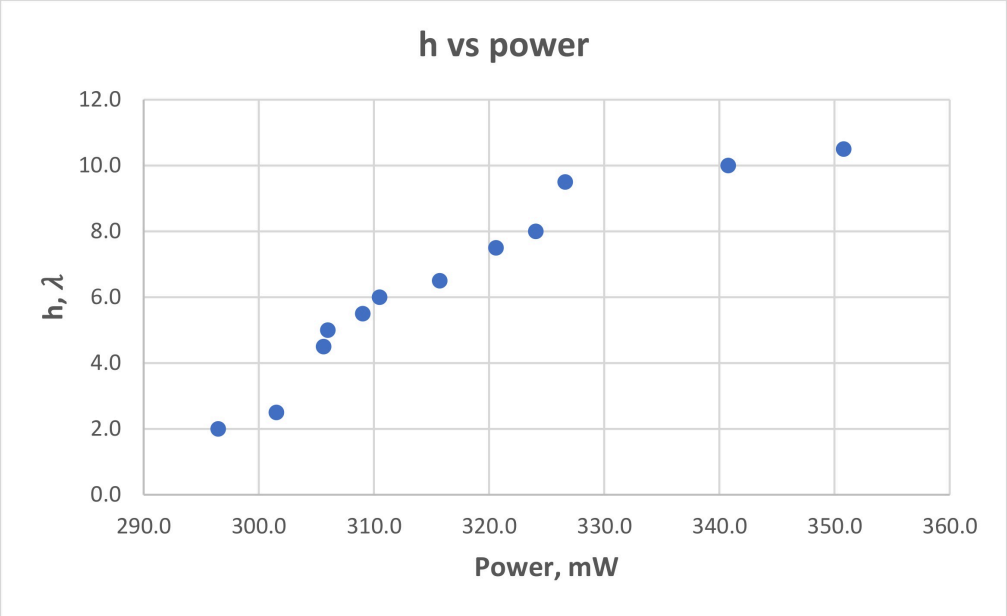
C.4	각폭을 무늬 차수의 함수로 하는 그래프를 그려라.	1.0pt
	측정점이 그래프에 10개 이상 나타나면 0.2점 자료가 각 좌표축 길이의 75% 이상을 차지하면 0.2점 각 축에 이름이 있으면 0.2점 회귀 직선을 그리고 기울기를 계산했으면 0.2점 기울기 값 0.2점	



파트 D [2.0점]

D.1	무늬의 개수를 세어 무늬의 최고 차수를 결정하라. 열변형의 높이를 레이저 파장 단위로, 레이저 전력의 함수로 결정하라. 측정 자료를 그래프로 그려라. 힌트: 자료에 $200\,\mathrm{mW}$에서 $400\,\mathrm{mW}$까지의 범위가 들어가도록 하라.	1.4pt
	자료 하나마다 0.1점 (자료 10개) 측정점이 그래프에 8개 이상 나타나면 0.2점 각 축에 이름이 있으면 0.2점	

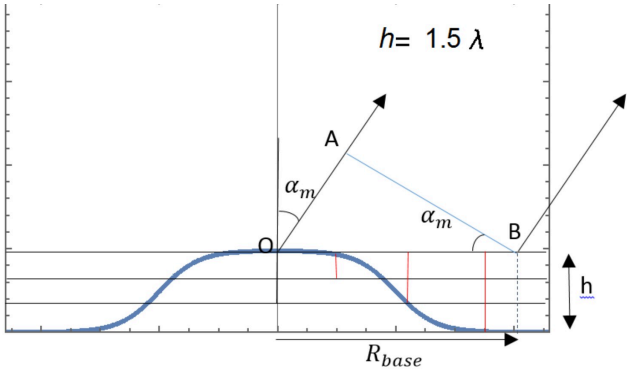
№	m_{max}	P, mW	h, λ
1	4	296.5	2.0
2	5	301.5	2.5
3	9	305.6	4.5
4	10	306.0	5.0
5	11	309.0	5.5
6	12	310.5	6.0
7	13	315.7	6.5
8	15	320.6	7.5
9	16	324.1	8.0
10	19	326.6	9.5
11	20	340.8	10.0
12	21	350.8	10.5



D.2	다음의 입력 레이저 전력에 대해 열변형의 높이는 얼마인가? 답은 레이저 파장의 개수 단위로 쓰라. • 200 mW • 300 mW • 400 mW	0.6pt
	200 mW에 대해 0.2점 300 mW에 대해 0.2점 400 mW에 대해 0.2점	

P, mW	h, λ
200	−12.6
300	3.6
400	19.8

부록



중앙 극대에 대해 광선의 최대 광로차는 $2h$이다.

보이는 각 α_m으로 관찰되는 m차 무늬에 대해, 융기의 꼭대기와 바닥에서 나온 광선의 광로차는 다음과 같다.

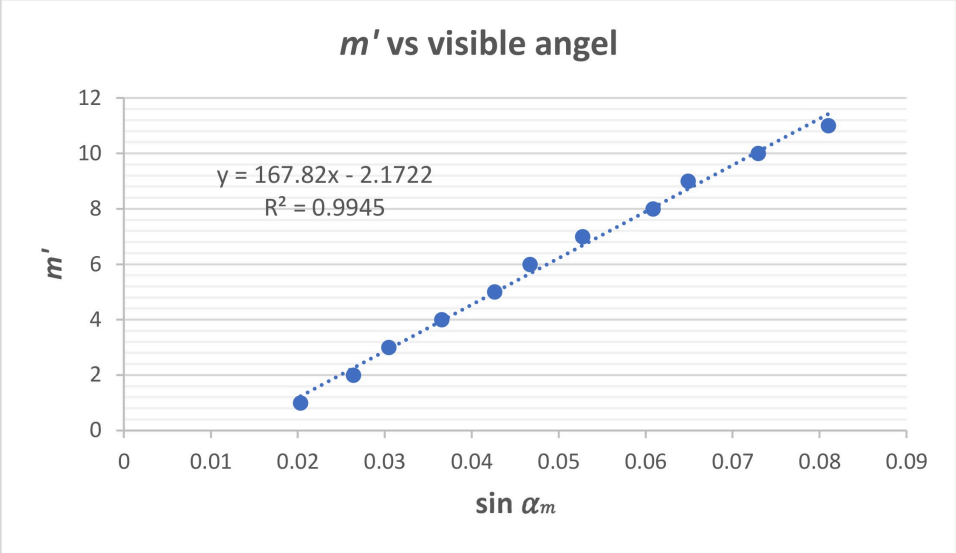
$$\Delta s_m \approx 2h - OA = n\lambda - R\sin\alpha_m = n\lambda - m\lambda$$

$$R\sin\alpha_m = m\lambda \;\Rightarrow\; R = \frac{m\lambda}{\sin\alpha_m}$$

파트 C.1에서 얻은 자료를 사용하였다.

m'	R, cm	L, cm	$\tan\alpha_m$	$\sin\alpha_m$
1	1.0		0.0203	0.0203
2	1.3		0.0264	0.0264
3	1.5		0.0305	0.0305
4	1.8		0.0366	0.0366
5	2.1		0.0427	0.0426
6	2.3		0.0467	0.0467
7	2.6	49.2	0.0528	0.0528
8	3.0		0.0610	0.0609
9	3.2		0.0650	0.0649
10	3.6		0.0732	0.0730
11	4.0		0.0813	0.0810
12	4.5		0.0915	0.0911
13	5.0		0.1016	0.1011

여기서 m'과 m은 각각 관찰된 무늬 개수와 실제 무늬 개수이다.



$$m' = 167.82 \sin \alpha_m - 2.1722$$

위 식으로부터 m'과 m의 차이가 2.17222임을 알 수 있고, 이는 중앙의 원 안에 가려진 무늬의 개수이다. 우리 자료로부터 $m = m' + 2 = 15$이다.

실험으로부터 융기의 높이는 7.5λ, 밑면 반지름은 $R_{base} \approx 167.82\lambda$로 계산된다.