

# 액정분자의 배열방법에 대한 고찰

김 두 철\*

## Study on alignment of molecules of liquid crystal

Kim Doo chul

### Abstract

Sample cells that the molecules of liquid crystal were able to be uniformly aligned were made. The method of producing them was a surface defomation of substrate, which was rubbed with grinding papers and alumina powder and used with relief grating. The two substrates were assembled into a sandwich type with teflon spacers holding them apart.

After nematic liquid crystal (PAA) was injected in the cell, the order of alignment of molecules was measured from the degree of partial polization of the light propagated the cell. As the producing method changed, the degree of alignment was maximum 94% in rubbing with grinding paper(320 grit) and average 87% in using with the relief grating.

### I. 서 론

액정의 일반적인 정의는 이방성 액체(anisotropic liquid) 또는 상변화에 기준을 두면 액체와 고체결정의 중간상태로 mesophase로 정의한다. 액정을 이루는 분자는 유기물질 분자로서 길이가 수십 Å이고 축비율은 4 이상이다. 그리고 액정은 액정상태를 나타내는 물리 화학적 조건에 따라서 어떤 특정 온도 범위에서 액정상태를 나타내는 열방성 액정(thermotropic liquid crystal)과 적당량의 유기용매가 첨가되었을때 액정상을 나타내는 유방성 액정(lyotropic liquid crystal)로 구별한다. 또한 액정의 분자배열 상태에 따라

---

\* 이공대학 물리학과

smectic, nematic, cholesteric 의 세가지 기본형으로 분류한다. 열방성 액정인 경우는 온도의 변화에 따라서 고체결정에서 액정상을 거쳐 액체로 되는데, 액정상에서는 물질에 따라 nematic, smectic 등 상 사이의 전이가 있게 된다.<sup>1,2)</sup>

이러한 액정상들 사이의 상전이 현상 연구 등 액정의 물리, 화학적 연구 및 액정 소자를 이용한 표시기 등 공학적 응용에 있어서 균일하고 안정한 액정분자의 배열이 첫번째 과제가 된다. 따라서 액정의 분자배열 방법에 대한 연구가 많이 이루어 지고 있으며<sup>3,4,5)</sup>, 본 실험에서는 광산란 실험을 이용하여 액정의 상전이 현상을 연구하기 위한 액정분자가 균일하고 일정한 분자배열을 하는 시료 cell 을 제작하였다. 즉, 여러가지 방법으로 제작된 cell 에 액정을 주입하고 레이저광을 입사시켜 입사광의 편광방향에 따른 투과광의 세기를 측정함으로써 액정분자 배열의 최적 조건을 찾으려 시도하였다.

## II. 실험

### I. 액정분자의 배열방법

액정을 이용하는 물리, 화학적 실험에서는 특정하고 균일하게 액정분자를 배열하여 director  $\mathbf{n}$  의 방향을 결정하여야 한다. 액정분자의 배열방법은 여러 형태가 있으나 실험실에서는 크게 두 가지 방법으로 배열하여 실험에 사용한다.<sup>6)</sup>

첫번째 방법은 액정분자의 장축 방향이 기판면에 대해 수직으로 배열되는 homeotropic alignment 이고 두번째는 장축 방향이 기판면에 대해 평행으로 배열되는 homogeneous alignment 이다. 이러한 분자 배열은 액정 분자가 일정한 방향으로 배열되도록 배향처리된 2 개의 기판을 sandwich 형으로 조합하여 액정을 주입함으로써 얻을 수 있으며, 표면활성제를 이용하여 기판면을 직, 간접으로 배향처리하는 방법과 기판면을 변형시키는 방법이 있다.

기판면을 배향처리하는 방법은 액정분자에 따라서 hometropic, homogeneous alignment 할 수 있는 표면활성제를 직접 또는 간접적인 방법으로 기판면에 coating 하여 박막층을 형성하게 하는 방법이며, 여기에서는 박막층을 형성한 표면활성제와 액정분자와의 van der Waals 힘, 쌍극자간 인력, 수소결합력 등 물리, 화학적 작용력이 액정분자의 배향력이 된다. 이 방법은 주로 homeotropic alignment 에 사용한다.

다음 기판면을 변형시키는 방법으로는 기판면을 연마제 등으로 rubbing 하는 방법<sup>8)</sup>, Jannig 가 개발한 기판면에 SiO 나 Al, Pt 등을 기판면에 일정한 경사각으로 박막을 증착하는 방법<sup>9)</sup>과 기판면에 광학적 방법으로 grating 을 제작하고,<sup>9,10)</sup> ion beam 으로 etching

하여 기판면에 relief grating 을 형성하도록 하는 방법 등이 있다.<sup>3,4)</sup> 이 방법들에 있어서는 기판면에 형성된 groove 와 액정분자의 탄성력과의 상호작용을 통하여 액정분자들이 일정한 방향으로 배향된다고 볼 수 있다. 이 방법에서는 액정분자가 groove 의 방향으로 배열되어 결과적으로 homogeneous 한 배열을 하게 된다.

## 2. cell 제작

본 실험에서는 위에서 기술한 방법들중 rubbing 방법과 relief grating 방법에 의해 기판면에 변형을 가하였으며, rubbing 하는 경우는 입자의 크기가 고른 연마제 alumina powder ( $D=0.3\mu\text{m}$ ,  $5\mu\text{m}$ )와 grinding paper (1200, 600, 400, 320 grit)로 slide glass 를 1, 2, 3회씩 가볍게 rubbing 하였다. 또한 slide glass 에 Al 을  $0.2\mu\text{m}$ ,  $\text{SiO}_2$  를  $0.5\mu\text{m}$  정도 coating 한 후 역시 1, 2, 3회씩 rubbing 하였다. 그리고 기판면에 relief grating 을 형성하는 방법에서는 한국표준연구소에서 기판면에 holography 방법으로 제작한<sup>11)</sup> grating 을 RF sputtering 으로 ion beam etching 하여 기판면에 relief grating 을 형성하였다. 이때 RF power 는 1.5 Kv, Ar pressure 는  $4 \times 10^{-2}$  Torr 로 2분30초간 sputtering 하여 groove 의 깊이가 300~400 Å 정도 되도록 하였다.

cell 의 제작시 위 방법에 의해서 변형을 가한 두개의 기판으로 sandwich 형의 cell 을 형성하였으며, 이때 cell 의 두께는 테프론을 사용하여 조절하였는데 실험에 사용한 두께는  $50\mu\text{m}$  이었다.

그리고, 실험에 사용한 액정은  $119.5 \sim 136.5^\circ\text{C}$  에서 nematic 영역을 갖는 PAA (pAzoxyanisole)이다.<sup>12)</sup> 시료를 주입하기 전에 cell 의 세척방법은 1) 세척제로 세척한 후 2) 2% cleanic solution 에 넣어 대략  $80^\circ\text{C}$  를 유지하여 1시간 이상 담근 다음 3)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  에 1시간 이상 담그고 나서 4) 대략  $80^\circ\text{C}$   $\text{H}_2\text{O}_2$  에서 1시간 정도 끓인후 아세톤으로 처리하여 dry oven 에서 건조시킨 후 사용하였다.

## 3. 편광실험

제작한 시료 cell 을 전기 oven 에서  $T_c$  (N-I 전이온도) 이상까지 온도를 올린 다음 서서히 온도를 내리면 균일한 homogeneous 한 배열을 얻게 된다. 이 균일하게 배열된 정도는 시료에 레이저빔을 입사시켜 투과되는 빛의 편광도를 측정하므로써 확인하였다. 이 편광도를 측정하기 위한 실험 개략도는 그림 1 과 같으며 온도 조절기를 이용하여 시료가 액정상을 나타내는 온도 영역까지 서서히 온도를 올리며, 시료의 온도는 시료 cell 에 CA 열전대를 부착하여 digital 표시기로 읽었다. 광원은 비편광인 spectra physics 사의 HeNe

레이저를 사용하였으며, 편광자를 사용하여 시료에 입사되는 빛의 편광방향을 정하였다. 즉 편광자의 방향을 10 °씩 변화시키면서 시료에서 투과된 빛의 세기를 측정하였으며, 검출기는 photo diode 에 20 kΩ 의 저항을 붙착하여 digital multimeter 로 양단간의 전압을 읽었다.

### III. 결과 및 고찰

시료에서 투과된 빛은 액정분자의 배열에 의해 편광된 빛과 편광되지 않은 빛이 섞여 있다고 볼 수 있다. 이때 부분 편광도 P 는

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (1)$$

로 주어지며, 또한 투과된 빛의 세기는

$$I_{\theta} = I_{max} \cos^2 \theta \quad (2)$$

인 Malus 법칙으로 주어진다.<sup>3)</sup> 여기서  $I_{max}$ ,  $I_{min}$  는 편광자를 회전할 때 투과된 빛의 최대, 최소값이며,  $\theta$  는 최대값과 이루는 각도를 말한다. 따라서 편광자를 회전시키면서 얻은 실험 data 에서 부분편광도 P 값을 계산하므로써 액정분자들이 어느정도 균일하게 배열되었는가를 정량적으로 알 수 있으며, Malus 공식과 비교함으로써 실험치의 신뢰성을 알 수 있다.

실험결과로서 그림 2 는 grinding paper (320 grit) 로 1 회 rubbing 한 결과이다. 시료에서 투과된 빛의 세기(I)를 편광자의 편광각도( $\theta$ )의 함수로 표시한 것이다.  $\theta = 140^\circ$ 에서  $I_{max} = 186.6 \text{ mv}$  로 정하여 Malus 법칙인 (2)식과 비교하였는데, 실험치와 이론치가 잘 부합되고 있으며 이때 부분 편광도는 91.5%이다. 다른 시료 cell 에 대해서도 실험결과는 sin 곡선형이며 Malus 공식과 비교한 결과 그림 2 와 유사한 형태를 보였다. 그리고 각각의 시료 cell 에 시료를 주입하기 전, 기판면에 의한 편광도는 10%미만으로 확인하였다. 따라서 제작된 시료 cell 에서 액정분자들이 일정한 방향으로 배열됨에 따라 편광현상을 보이며, 각 경우에 대한 투과광의 최대, 최소치 및 부분 편광도는 표(1)~(4)이며, 각 경우 가장 높은 부분 편광도는 그림 3 과 4 에 나타내었다.

Alumina powder 로 rubbing 한 경우는 입자의 크기가 큰  $5 \mu \text{ m}$  인 경우가 대체로 80% 이상의 편광도를 보였으며 rubbing 횟수에서는  $0.3 \mu \text{ m}$  로 2 회 rubbing 한 경우를 제외하고는 실험오차 범위내에서 비슷한 값을 보였다 (표 1). 그리고 유전체( $\text{SiO}_2$ )와 금속(Al)

을 coating 한 후 rubbing 한 경우는 두 경우 모두 coating 하지 않은 경우보다 나은 효과는 없었으며, 3회 rubbing 한 경우가 coating 하지 않은 기판을 rubbing 한 경우와 비슷한 88% 정도의 편광도를 보였다 (표 2).

또한 grinding paper 로 rubbing 한 경우는 표 3 과 그림 4 에 나타낸것 처럼 대체로 높은 편광도를 나타냈으며, 입자의 크기가 클수록 90% 이상의 높은 편광도를 보였다. 그러나 이 경우는 기판자체에서 10% 정도의 편광도를 보였으며, 기판에 큰 groove 형성으로 인해 기판 자체에서 산란되는 빛의 많고 회절회상이 나타나므로 광산란용 시료 cell 로서는 부적합하다.

다음 relief grating 이용한 결과는 표 4 와 그림 4 의 뒷 부분에 표시하였다. 여기에서는 비교적 기판에 고른 groove 를 형성하므로 높은 편광도를 기대하였으나  $5\mu\text{m}$  로 rubbing 한 경우와 비슷한 정도의 편광도를 보였다.

## IV. 결 론

레이저 광산란 실험을 이용하여 액정의 상정이 현상을 연구하기 위한 액정분자가 균일하고 일정한 방향으로 배열되는 시료 cell 을 제작하였다.

제작방법은 연마제 등으로 rubbing 하는 방법과 relief grating 방법으로 기판면에 변형을 가하여 액정분자가 homogeneous 하게 배열되도록 하였으며 시료 cell 에서 투과된 빛의 편광도를 측정하므로써 분자 배열 정도를 정량화 하였다.

그 결과는 rubbing 방법을 이용할 때 rubbing 물질이 grinding paper 인 경우 평균 87.1%,  $5\mu\text{m}$  alumina powder 인 경우 87.4%,  $0.3\mu\text{m}$  alumina powder 인 경우는 81.1%였다.  $\text{SiO}_2$ 와 Al 을 얇게 중착한 후  $0.3\mu\text{m}$  alumina paper 로 rubbing 한 경우는 78.3%와 79.0%의 편광도를 보였으며, relief grating 을 이용한 경우는 86.9%의 편광도를 보였다. 시료 cell 에서 이러한 편광 현상은 액정 분자들이 일정한 방향으로 배열된 결과로 볼 수 있다. 또한 cell 의 제작시 중요한 것은 기판의 세척 문제이며 이 문제를 보다 더 효율적으로 개선하여 나가면 rubbing 방법에 의해서 제작된 시료 cell 을 광산란 실험에 이용할 수 있음을 확인 하였다.

감사의 말

grating 을 제작하여 주신 한국표준연구소 광학실의 정만호 선생님께 감사의 뜻을 포함합니다.

< 표 1 > Alumina Powder 로 기판을 rubbing 한 경우

a) 0.3 $\mu$  m alumina poeder 를 사용

제작횟수 rubbing횟수	1			2		
	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)
1	11.7	73.9	72.7	36.1	254.5	81.5
2	45.4	336.1	76.2	42.0	324.9	77.1
3	5.7	62.4	83.7	27.5	333.7	84.8

b) 5 $\mu$  m alumina powder 를 사용

제작횟수 rubbing횟수	1			2		
	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)
1	7.1	37.1	67.9	20.7	303.3	86.9
2	21.4	336.4	88.8	21.2	314.7	87.4
3	10.5	84.9	78.0	24.2	375.3	87.9

< 표2-1 > Al 을 기판에 coating 한 후 0.3 $\mu$  m Alumina 로 rubbing 한 경우

제작횟수 rubbing횟수	1			2		
	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)
1	44.5	326.2	75.7	44.5	317.6	75.4
2	44.4	321.5	78.4	47.4	346.7	75.9
3	33.8	285.4	82.9	36.7	316.9	79.2

< 표2-2 > SiO<sub>2</sub> 을 기판에 coating 후 0.3 $\mu$  m Alumina 로 rubbing 한 경우

제작횟수 rubbing횟수	1			2		
	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)
1	53.8	312.2	70.6	12.4	310.7	69.7
2	40.0	355.9	76.7	48.8	339.6	74.8
3	22.2	343.4	87.8	24.8	351.2	86.8

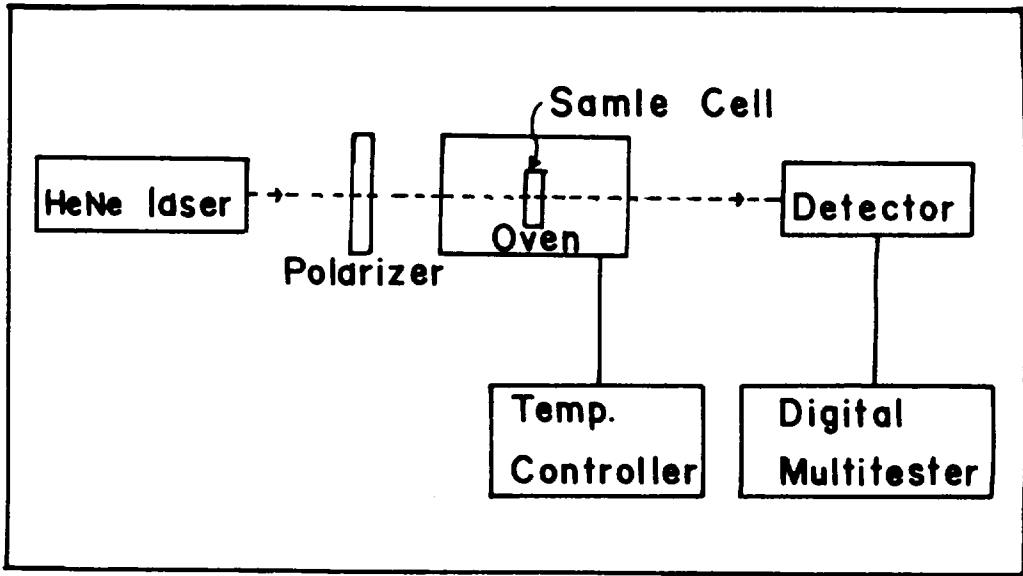
< 표 3 > grinding paper 로 기판을 rubbing 한 경우

제작횟수 grit*	1			2		
	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)
320	8.7	196.0	91.5	10.0	346.6	94.3
400	16.1	315.0	90.2	23.8	355.6	87.4
600	16.8	205.8	84.9	11.7	182.2	87.7
1,200	14.3	107.7	76.6	38.7	322.1	79.1

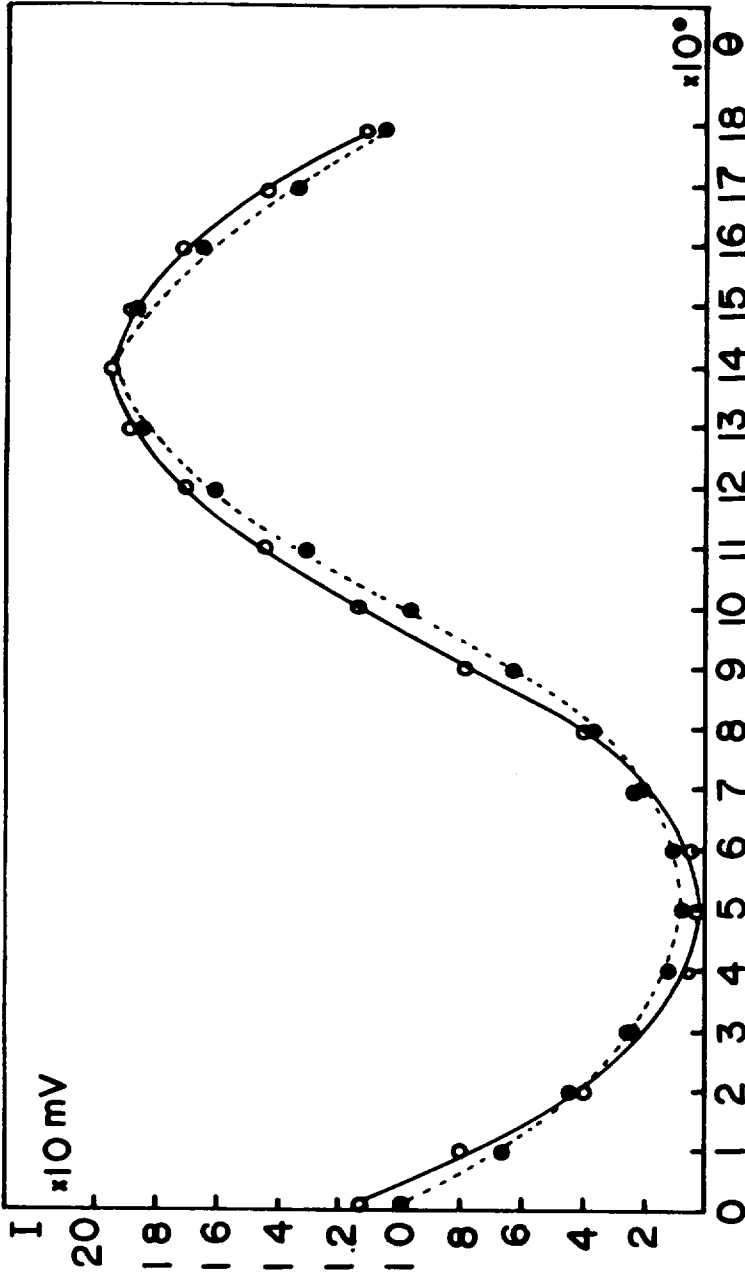
\* grit-1 $\mu$  당 입자수

< 표 4 > relief grating 을 이용한 경우

제작횟수 groove/mm	1			2		
	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)	Imin(mv)	I <sub>max</sub> (mv)	P(%)
1,200	10.2	125.5	84.9	19.4	329.9	88.9

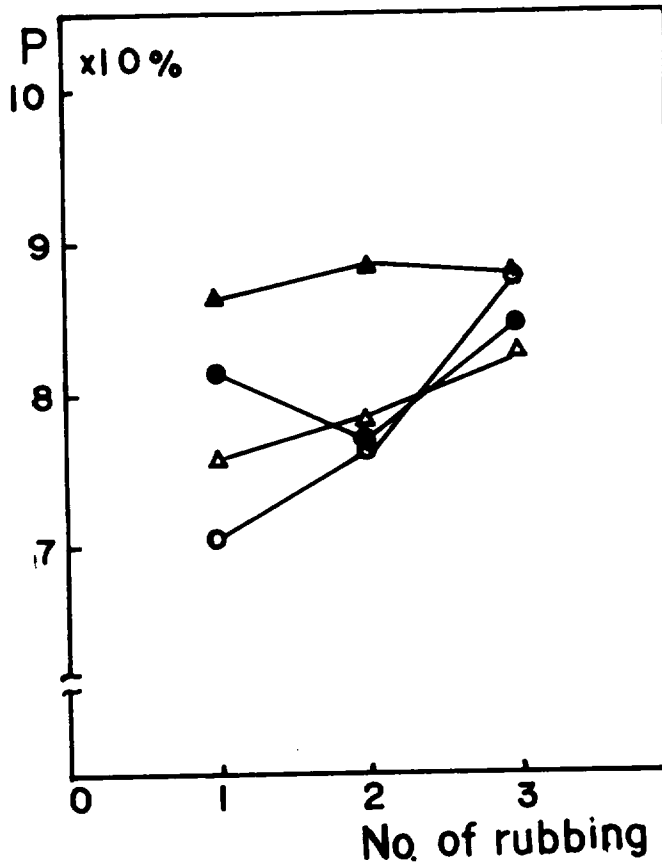


< 그림 1 > 실험 개략도



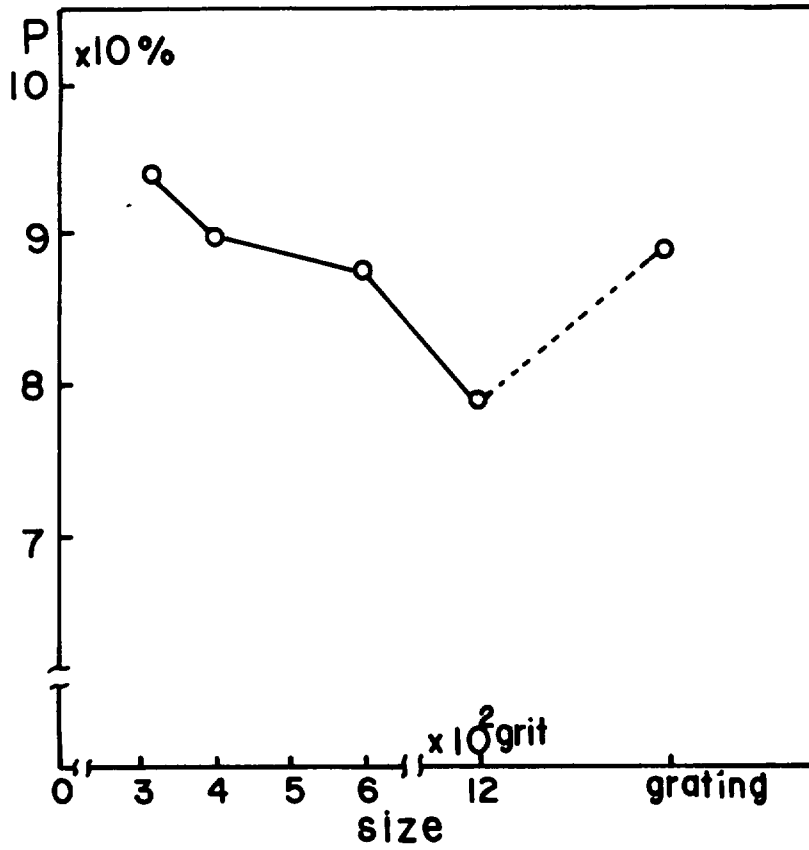
<그림 2> 편광각( $\theta$ )에 대한 투과광의 세기(I). 기판을 grinding paper(320( grit))로 1 회 rubbing 한 경우이며, 실험 data(○)와 Malus 공식에 계산치(●)의 비교.





<그림 3> rubbing 횟수에 따른 편광도(P).

- =기판을 Alumina Powder (D=0.3μm)로 rubbing 한 경우
- ▲ =기판을 Alumina Powder (D=5μm)로 rubbing 한 경우
- △ =기판에 Al을 coating 후 Alumina Powder (D=0.3μm)로 rubbing 한 경우
- =기판에 SiO<sub>2</sub>을 coating 후 Alumina Powder (D=0.3μm)로 rubbing 한 경우



< 그림 4 > grinding paper 의 입자크기에 따른 편광도(P) 및 relief grating 을 이용한 경우 편광도(P)

## 참 고 문 헌

- 1) E. B. Priestley, D. J. Wojtowicz, P. Sheng 'Introduction to liquid crystal' Plenum Press, New York & London (1975).
- 2) P. G. de Gennes 'Physics of liquid crystals', Clarendon Press, Oxford (1975).
- 3) D. C. Flauder, D. C. Shaver, H. I. Smith, Appl, phys. lett. 32, 597 (1978).
- 4) H. V. Känel, J. D. Lister, J. Melngailis, H. I. Smith, phys. rew. A24 2713 (1981).
- 5) J. L. Janning, Appl. phys, lett, 21, 173 (1972).
- 6) F. J. Kahn, Appl, phys, lett. 22. 386 (1973).
- 7) 松本正一, 角田市良, '液晶の最新技術', 工業調査會(1983).
- 8) G. Meier, E. Sackmann, J. G. Grabmaier, 'Applications of liquid crystals.' Springer verlag, New York (1975).
- 9) G. V. Shank, R. V. Schmidh, Appl, phys, lett, 23, 154 (1974).
- 10) H. I. Smith, Proc, IEEE 62, 1361 (1974).
- 11) 이인원, 김창순, 정만호, KSRI-86-25-IR
- 12) C. H. Edward, J. F. Johnson, mol cryst. cryst, 20, 177 (1973).
- 13) G. R. Fowels. 'Introduction to modern optics.' Holt, Rinehart&Winston, INC, New York, Chicago (1975).