

## 광분해 반응을 이용한 액정배향 및 프리틸트각 발생에 대한 어닐링 효과

논문  
12-5-13

### Annealing effect on the generation of pretilt angle and LC alignment using the photo-depolymerization reaction

서대식\*, 유문상\*, 황정연\*, 김형규\*

(Dae-Shik Seo\*, Mun-Sang Yu\*, Jeoung-Yeon Hwang\*, Hyung-Kyu Kim\*)

#### Abstract

We investigated the annealing effect on generating pretilt angle and aligning liquid crystal (LC) using the photo-depolymerization reaction in this study. In case of rubbing polyimide (PI) surface with the side chain, pretilt angle tends to increase with increasing the annealing time. It is considered because the steric interaction is increased by annealing which cause the side chain to come back to original position. For obliquely irradiating ultraviolet (UV) light on PI surface, pretilt angle shows to 0° and is increased by annealing. The pretilt angle in rubbed PI surface is much higher than in photo-aligned PI surface. It is attributed to the steric interaction and the number of LC molecular arrangement on azimuthal direction. In addition, in case of obliquely irradiating UV light on PI surface, it showed LC alignment to increase by annealing. It can be regarded due to the fact that the re-alignment of LC molecule is improved to residual polymer direction by annealing.

**Key Words(중요용어)** : Annealing effect(어닐링 효과), Pretilt angle(프리틸트각), Photo-depolymerization(광분해), Polyimide(폴리이미드), Steric interaction(배제체적 효과)

#### 1. 서 론

오늘날 정보표시소자는 정보통신의 발달과 더불어 급속한 발전을 이루고 있다. 이 중에서도 액정 디스플레이(LCD : Liquid Crystal Display)는 평판, 휴대화 가능성, 저소비전력, 고화질 등의 장점을 지니고 있으며, 현재 노트북 컴퓨터 등에 많이 사용되고 있다. 이러한 LCD를 실현시키기 위해서는 기판 표면 위에서 액정분자의 균일한 배향과 안정한 프리틸트각(pretilt angle)의 제어 등이 요구된다<sup>1-3)</sup>. 프리틸트각은 비틀린 네마틱(TN : Twisted Nematic) LCD의 역틸트된 디스클리네이션(reversetilted disclination)을 방지하는 데 중요

한 역할을 한다. 프리틸트를 가진 균일한 액정배향을 이용한 LCD는 현재까지 러빙처리한 폴리이미드(PI : polyimide) 표면이 많이 사용되고 있다<sup>1-3)</sup>. 그러나, 이 방법은 러빙시에 발생하는 정전기 및 오물 등이 문제가 되고 있다. 최근, 고정세 LCD를 실현시키기 위하여 액정배향법으로 너리빙처리법으로서 광배향법이 기대되고 있다. 광배향법으로는 광분해법<sup>4-6)</sup>, 광중합<sup>7)</sup>, 광이성화법<sup>8)</sup> 등이 알려져 있다. 최근 PI 표면에 편광된 자외선(UV : ultraviolet light) 조사를 이용한 액정배향이 여러 연구자들에 의하여 보고되었다<sup>4-6)</sup>. Yamamoto 등은 최근 PI 표면에 비편광된 UV 광을 경사 조사시킨 셀에서의 액정배향 및 프리틸트각 발생에 대하여 보고하였다<sup>6)</sup>. 이 보고에 의하면, 측쇄기를 가진 PI 표면에서 약 0.8°의 프리틸트각이 발생하였다. 그러나, 이 크기의 프리틸트는 TN-LCD에 있어서 역틸트된 디스클리네이션을 방지하는데 불충분하다. 본 저자 그룹은 최근 비편광된 UV 광을 PI 표면에 경사 조사하여 약 3°의 프리틸트각을 실현하였다<sup>9)</sup>. 그리고 PI 표면에 비편광된 UV 광 조사시 조사각도와 조사시간과의 상

\* : 송실대학교 전기공학과  
(서울시 동작구 상도 5동 1-1, Fax : 02-817-7961 E-mail : dsseo@elec.pwr.soongsil.ac.kr)  
1999년 2월 1일 접수, 1999년 4월 21일 심사완료

호관계에 관하여 보고하였다<sup>10, 11)</sup>. 그러나 이러한 액정배향과 프리틸트각 발생에 관하여 많은 보고가 이루어지고 있지만 어닐링효과가 이러한 결과에 미치는 영향에 관하여는 아직 보고되지 않았다. 본 연구에서는 광분해 반응을 이용한 액정배향과 프리틸트각 발생에 대한 어닐링 효과에 대하여 검토하였다.

## 2. 실험

본 실험에서는 다음과 같은 3종류의 폴리머를 사용하였다.

- PI-A : AL-3046, with side chain(from Japan Synthetic Rubber Co., Ltd.)
- PI-B : SE-150, with side chain(from Nissan Chemical Industries Co., Ltd.)
- PI-C : RN-305, without side chain(from Nissan Chemical Industries Co., Ltd.)

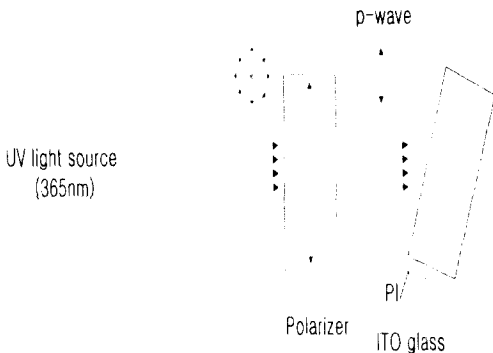


그림 1. UV 광조사 시스템.  
Fig. 1. UV light irradiation system.

폴리머는 스펀코팅법을 사용하여 ITO(indium-tin-oxide) 전극 위에 균일하게 도포 하였으며, PI-A는 180℃에서, PI-B와 PI-C는 250℃에서 1시간 동안 각각 소성하여 PI를 형성하였다. PI막의 두께는 약 500Å로 조절하였다. 러빙처리에 사용한 러빙강도(RS : rubbing strength)의 정의는 이전의 논문에서 저자그룹에 의하여 정의되었다<sup>1-3)</sup>. 편광된

UV 광조사의 시스템을 그림 1에 나타내었다. 기판에는 파장이 365nm인 UV 광이 경사 조사되었다. 프리틸트각을 측정하기 위하여 액정 셀은 샌드위치 형태로 제작하였다. 셀 두께는 60μm를 사용하였다. 셀 제작 후 네마틱 액정의 혼합형(TC = 87℃)을 네마틱상(nematic phase) 및 등방상(isotropic phase)에서 각각 주입하였다. 액정배향특성은 편광현미경의 관찰 및 프리틸트각의 발생 등을 이용하였다. 프리틸트각은 결정회전법을 사용하였으며 실온에서 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

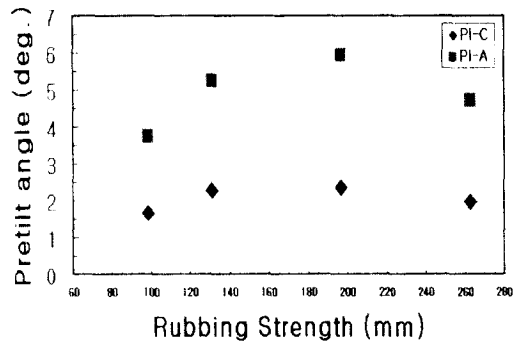


그림 2. 2종류의 PI 표면에서의 네마틱 액정의 프리틸트 각의 러빙강도 의존성.  
Fig. 2. Dependence of rubbing strength of NLC pretilt angle on two kinds of PI surfaces.

그림 2에 2 종류의 PI 표면에서의 네마틱 액정의 프리틸트각의 러빙강도 의존성을 나타내었다. 측쇄기가 있는 PI-A를 러빙처리한 경우 러빙강도가 증가할수록 프리틸트각이 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 러빙강도가 중간 정도일 때 약 6°의 프리틸트각이 발생하였다. 그리고 넓은 러빙영역에서 고프리틸트각이 안정하게 발생함을 알 수 있다. 일반적으로 러빙처리는 PI 표면의 비대칭 삼각구조와 네마틱 액정의 균일 배향에 기여한다<sup>12, 13)</sup>. 이러한 측쇄기를 가진 PI 표면에서의 네마틱 액정의 프리틸트각 발생에는 액정분자와 폴리머표면과의 배제체적 상호작용이 크게 기여함을 알 수 있다<sup>1, 12, 13)</sup>. 또한, 측쇄기가 없는 PI-C표면에서의 네마틱 액정의 프리틸트각은 러빙강도 RS가 증가함에

따라 증가하는 경향을 나타내었다. 이전의 논문에서 측쇄기가 없는 PI 표면에서 러빙강도가 증가할수록 네마틱 액정(5CB)의 프리틸트각이 증가하는 경향을 보고하였다<sup>12)</sup>. 즉, 그림 2의 결과는 이전의 논문과 비교하여 액정의 종류가 다르지만 프리틸트의 경향이 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 이전의 논문에서 사용한 액정은 5CB(4-n-pentyl-4'-cyanobiphenyl)이며 본 연구에서 사용한 액정은 혼합물의 네마틱 액정이다.

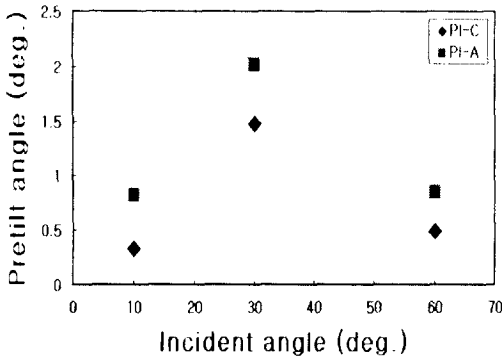


그림 3. 2 종류의 PI 표면에 P편광된 UV 광을 20분간 경사 조사시의 프리틸트각의 입사각도의 의존성.

Fig. 3. Dependence of incident angle of pretilt angle when obliquely irradiating p-polarized UV light for 20 min. on two kinds of PI surfaces.

2 종류의 PI 표면에 P편광된 UV 광을 20분간 경사 조사시의 프리틸트각의 입사각도 의존성을 그림 3에 나타내었다. 네마틱 액정의 프리틸트각은 입사각도가 30°까지 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 30°에서 피크치가 얻어짐을 알 수 있었다. 그리고 입사각도가 30° 이상에서는 프리틸트가 감소하는 경향을 나타내었다. 즉, 20분간 30°의 경사로 UV 광조사시 고프리틸트가 얻어짐을 알 수 있다. 이것은 이 입사각도에서 프리틸트를 발생시키기 위한 적당한 UV 에너지가 입사되기 때문이라고 생각할 수 있다<sup>9, 10)</sup>. 따라서, UV 광의 경사조사시 프리틸트각의 발생은 입사각도에 따라 조사되는 UV 광의 에너지 밀도가 크게 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다.

그림 4에 2 종류의 PI 표면에 P편광의 UV 광을

30°경사 조사시의 프리틸트각의 조사시간 의존성을 나타내었다. 30°의 입사각도에서 네마틱 액정의 프리틸트각은 조사시간이 20분까지 조사시간의 증가와 함께 증가하였다. 그러나 20분 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 프리틸트는 20분까지 광분해 반응의 증가로 인하여 증가하였으며, 20분 이상에서는 과도한 광분해 반응으로 인하여 감소한 것으로 생각할 수 있다. 이와 유사한 결과가 많은 연구자들에 의하여 보고되었다<sup>4, 5)</sup>. 최근 K.-W. Lee 등에 의하여 PI 표면에서 알킬기가 짧거나 극성이 강한 경우, 프리틸트각은 감소하는 경향을 나타낸다고 보고하고 있다<sup>15)</sup>. 이러한 결과로부터, 네마틱 액정의 프리틸트각은 PI 표면에 UV 광조사가 증가할수록 극성이 약한 알킬기가 많이 분해되어 극성이 강해지기 때문에 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 결과로부터 광분해반응을 이용한 액정배향에는 이방성 분산력이 크게 기여함을 알 수 있다.

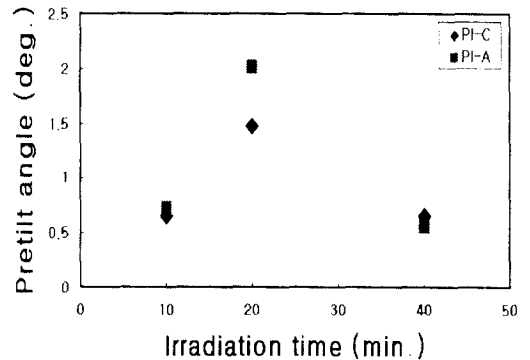


그림 4. 2 종류의 PI 표면에 P편광된 UV 광을 30°경사 조사시의 프리틸트각의 조사시간 의존성.

Fig. 4. Dependence of irradiation time of pretilt angle when obliquely irradiating p-polarized UV light to 30° on two kinds of PI surfaces.

그림 5 (a)와 (b)에 2 종류의 PI 표면에서의 러빙 처리한 PI 표면과 광배향처리한 PI 표면에서의 프리틸트각의 어닐링 시간 의존성을 나타내었다. 그림 5 (a)에서, 중간정도로 러빙처리한 PI-A 표면에서의 프리틸트각은 어닐링을 하지 않은 경우 약 4° 정도 발생하였으며 어닐링 시간이 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. 이것은 측쇄기를 가진 PI 표면에 러

빙처리한 경우 러빙처리에 의해 측쇄기가 본래의 각도보다 낮아지며 이로 인해 작은 프리틸트가 발생한다. 이러한 상태에 어닐링을 하게 되면 측쇄기가 러빙하지 않은 원래의 각도로 돌아오려는 성질을 가지고 있어 이 때문에 프리틸트가 증가하는 것으로 생각할 수 있다<sup>14)</sup>. 이러한 PI 표면에서의 어닐링 효과에 의하여 프리틸트각이 증가하는 결과가 K.-W. Lee 등에 의하여도 보고되었다<sup>15)</sup>. 그리고 측쇄기를 가진 PI 표면에 P편광 UV 광을 20분간 30°경사 조사하여 액정을 네마틱상에서 주입하고 어닐링을 하지 않은 경우 프리틸트는 0을 나타내었다. 어닐링 시간이

15분 이상일 경우 약 2.0° 정도로 향상되는 경향을 나타내었으며 안정된 프리틸트를 나타내었다. 액정을 isotropic 상에서 주입한 경우 어닐링 시간이 증가할수록 프리틸트가 증가하는 경향을 나타내었다. 그림 5 (b)에서 측쇄기를 가진 PI-B표면에 러빙처리한 경우와 광배향처리한 경우의 프리틸트각의 어닐링 시간 의존성을 나타내었다. 러빙처리한 PI-B 표면에서 어닐링 시간이 증가함과 함께 프리틸트각이 증가하는 경향을 나타내었다. 이 결과는 그림 5 (a)의 PI-A의 결과와 잘 일치하고 있다. 그러나 어닐링 시간의 증가에 따른 프리틸트각의 증가가 PI-A가 PI-B

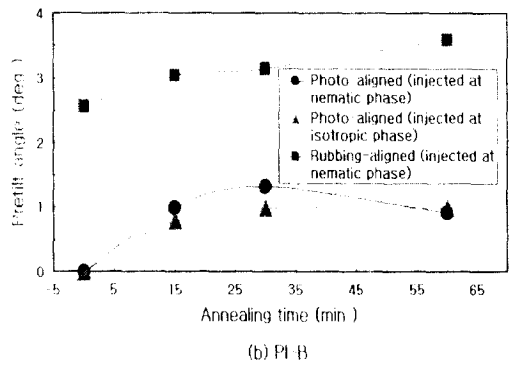
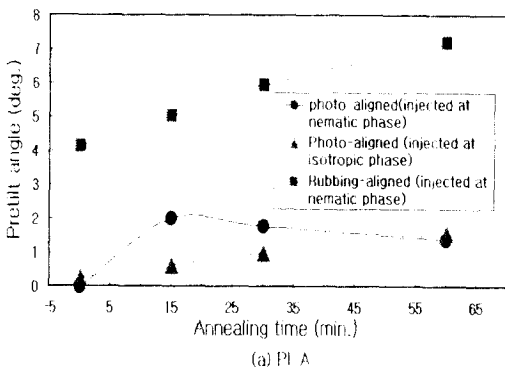


그림 5. 2 종류의 PI 표면에서의 프리틸트각의 어닐링 시간 의존성.

Fig. 5. Dependence of annealing time of pretilt angle on two kinds of PI surfaces.

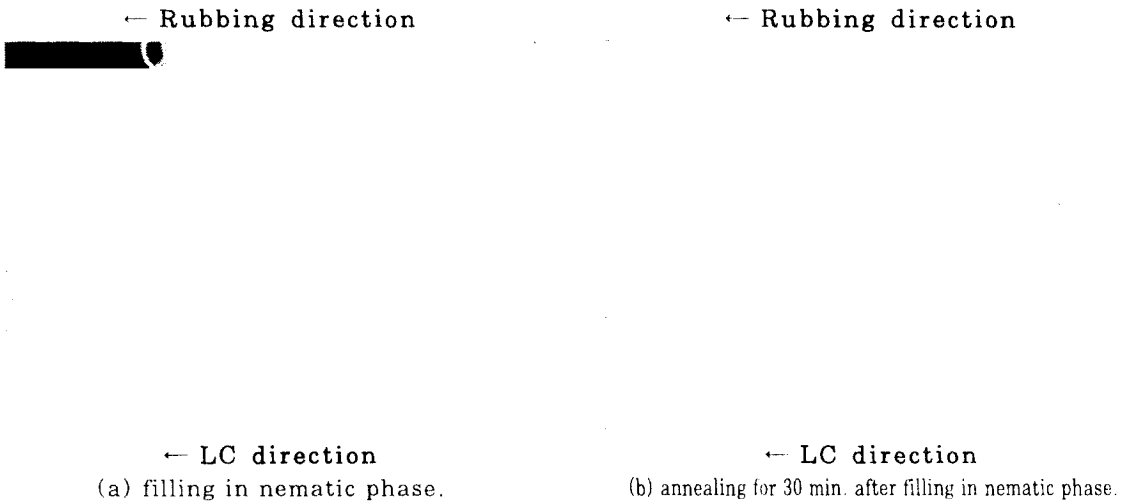


그림 6. 러빙처리한 PI-A 표면에서의 네마틱 액정의 편광현미경 관찰.

Fig. 6. Microphotographs of NLC on rubbed PI-A surface.

보다 더 급격한 것을 알 수 있다. 이것은 측쇄기가 PI-A쪽이 길기 때문에 프리틸트의 복귀가 큰 것으로 생각할 수 있다. 그리고 PI-B표면에 P편광 UV 광을 20분간 30° 조사하여 네마틱 및 isotropic 상에서 주입하고 어닐링 시간이 0인 경우 프리틸트는 0을 나타내었다. 그리고 어닐링 시간이 15분 이상에서 프리틸트가 약 1° 정도로 향상됨을 알 수 있다.

이 결과는 PI-A 표면에서의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 그리고 러빙처리한 PI 표면보다 광배향처리를 이용한 PI 표면에서 프리틸트각이 작은 경향을 나타내었다. 이것은 액정배향에서의 한쪽 방향으로의 액정분자 배열의 수(order)와 밀접한 관계

가 있는 것으로 생각할 수 있다<sup>17)</sup>. 즉, 러빙처리한 PI 표면은 러빙처리에 의하여 한쪽방향으로의 액정분자의 수가 증가함으로써 큰 프리틸트를 발생시키는 것으로 생각할 수 있다. 반면, 광분해반응을 이용한 액정배향은 한쪽방향으로의 액정분자의 배열이 적고 고분자의 부분절단으로 인한 측쇄기에 의한 배제체적 상호작용(steric interaction)이 작게 기여하는 것으로 생각할 수 있다.

그림 6 (a)와 (b)에 러빙처리한 PI-A표면에서의 네마틱상에서 액정 주입한 경우와 이 셀을 30분간 어닐링한 경우의 액정배향 관찰을 나타내었다. 양쪽 모두 균일한 배향을 나타내고 있다. 이것은 러빙처

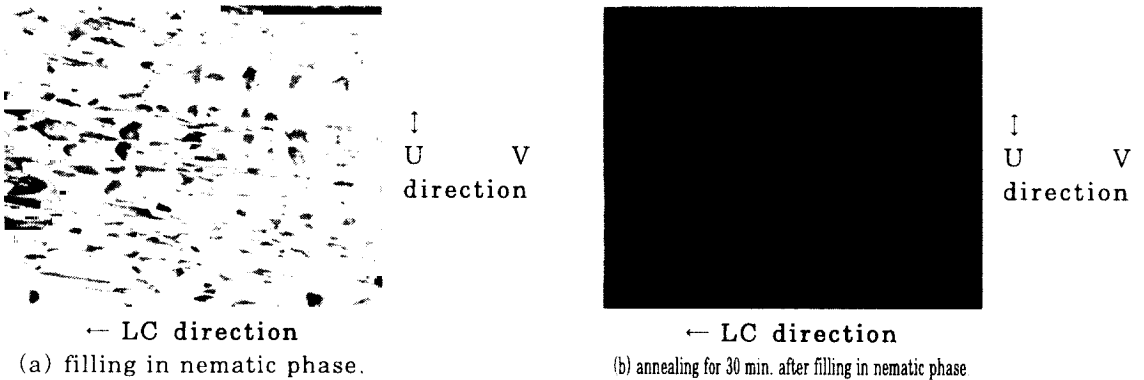


그림 7. PI-A 표면에 p 편광된 UV 광을 20분간 30° 경사 조사시의 네마틱 액정의 편광현미경 관찰.

Fig. 7. Microphotographs of NLC when irradiating p-polarized UV light to 30° oblique for 20 min. on PI surface.

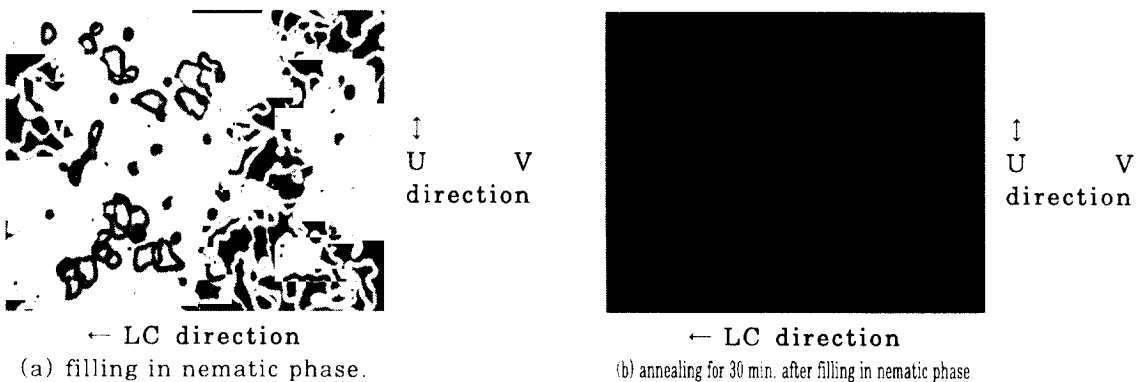


그림 8. PI-A 표면에 p 편광된 UV 광을 20분간 30° 경사 조사시의 네마틱 액정의 현미경 관찰.

Fig. 8. Microphotographs of NLC when irradiating p-polarized UV light to 30° oblique for 20 min. on PI-A surface.

리에 의하여 고분자의 재배열이 일어나 그 방향으로 액정분자가 잘 배열되기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

그림 7 (a)와 (b)에 PI-A 표면에 P편광 UV 광을 20분간 30° 경사 조사하여 네마틱상에서 주입한 경우와 이 셀을 30분간 어닐링한 경우의 액정배향 관찰을 나타낸다. 그림 7 (a)는 편광성분과 직교방향으로 유동배향과 유사한 경향이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것을 30분간 isotropic 상에서 어닐링을 하게 되면 그림 7 (b)와 같이 균일한 배향이 얻어짐을 알 수 있다. 즉, 네마틱상에서 액정을 주입하면 유동배향과 유사한 효과가 일어나며, 이것은 절단된 고분자

에 의하여 표면질서도가 감소하기 때문인 것을 생각할 수 있다. 그리고 어닐링에 의하여 잔존한 고분자의 방향으로 재배열되며 본래의 상태로 되돌아오려는 성질에 의하여 배향이 향상되는 것으로 생각할 수 있다.

그림 8 (a)와 (b)에 PI-A 표면에 P편광 UV 광을 20분간 30° 경사 조사하여 액정을 isotropic 상에서 액정을 주입한 경우와 이 셀을 30분간 어닐링한 경우의 액정배향 관찰을 나타내었다. 그림 8 (a)는 isotropic 상에서 액정을 주입한 결과로 디스클리네이션이 무수히 발생하고 있지만 유동배향과 유사한 효과가 없는 것을 알 수 있다. 이것을 30분간 어닐링

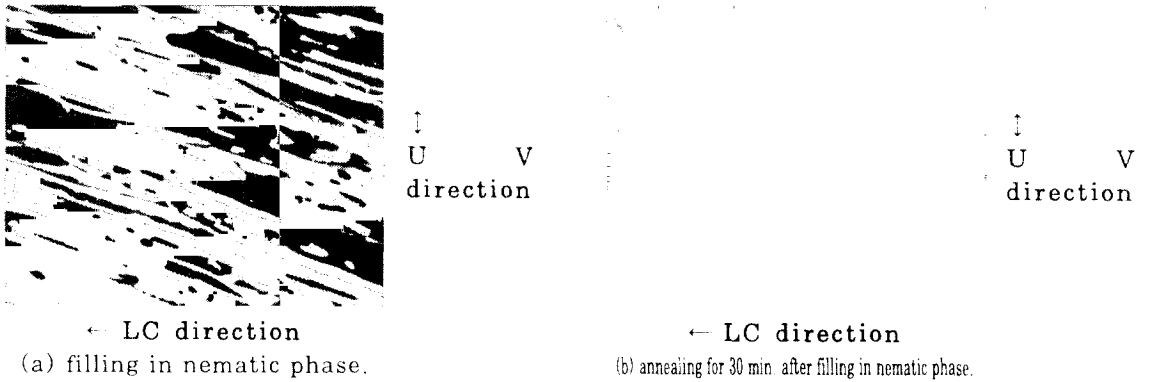


그림 9. PI-B 표면에 p 편광된 UV 광을 20분간 30° 경사 조사시의 네마틱 액정의 편광현미경 관찰.

Fig. 9. Micrographs of NLC when irradiating p-polarized UV light to 30° oblique for 20 min. on PI-B surface.

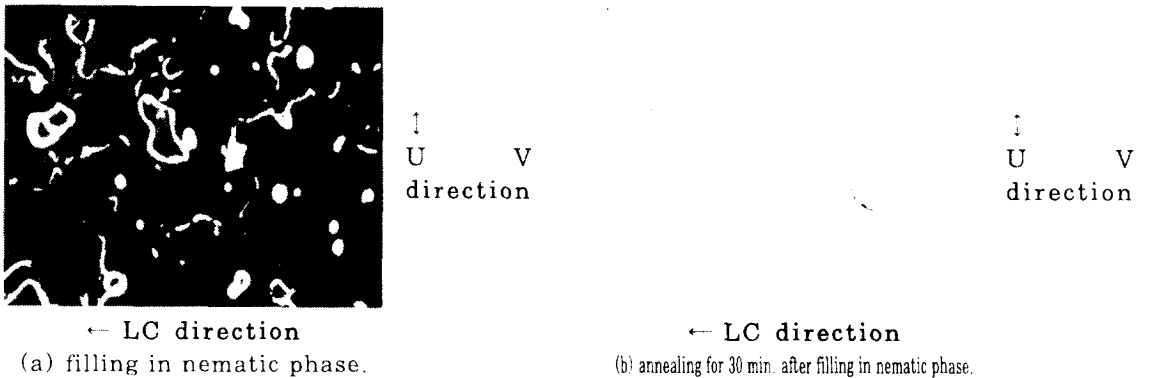


그림 10. PI-B 표면에 p 편광된 UV 광을 20분간 30° 경사 조사시의 네마틱 액정의 편광현미경 관찰.

Fig. 10. Microphoto graphs of NLC when irradiating p-polarized UV light to 30° oblique for 20 min. on PI-B surface.

하면 그림 8 (b)와 같은 균일한 배향을 하는 것을 알 수 있다. 어닐링 전에는 무수히 많은 디스클리네이션이 어닐링에 의하여 없어지는 것을 알 수 있다. 이것은 PI 표면에 경사 UV 광을 조사하여 고분자의 부분절단에 의하여 측쇄기가 PI 표면에 존재하고, 이것이 액정을 주입하면 디스클리네이션이 발생하고, 어닐링을 하면 잔존하는 측쇄기의 방향으로 액정분자가 원래의 위치로 되돌아가는 것이 증가하기 때문에 배향이 균일하게 되는 것으로 생각할 수 있다. 이전의 논문에서 Yokoyama 등은 수직방향으로 증착된 SiO 표면에에서의 유동배향에 관하여 보고하였다<sup>18)</sup>. 이 논문에 의하면 SiO 표면에에서 네마틱상에서 주입시 유동배향이 나타나며 이 표면을 isotropic 상에서 12시간 어닐링하더라도 그 상태를 유지한다고 보고하고 있다. 그리고 SiO 표면에 isotropic 상에서 액정을 주입하면 schlieren 구조가 관찰된다고 보고하였다. 이러한 결과로부터 P편광된 UV 광을 PI 표면에 경사 조사시 유동배향보다는 고분자의 부분절단으로 인한 이방성 분산력이 액정배향에 크게 기여함을 알 수 있다. 한편, 네마틱 액정의 프리틸트각은 러빙처리와 비교하여 매우 작은 값을 나타내고 있다. 이것은 UV 광조사에 의한 고분자의 부분절단을 이용한 경우, 한쪽 방향으로 배열하는 액정분자의 수가 적고, 배제체적 상호작용이 작게 일어나기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

그림 9 (a)와 (b)에 PI-B 표면에 P편광 UV 광을 20분간 30° 경사 조사하여 네마틱상에서 액정을 주입한 경우와 이 셀을 30분간 어닐링한 경우의 액정배향 관찰을 나타내었다. 그림 7 (a)와 (b)의 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

그림 10 (a)와 (b)에 PI-B 표면에 P편광 UV 광을 20분간 30° 경사 조사시의 isotropic 상에서의 액정 주입한 경우와 30분간 어닐링한 경우의 액정배향 관찰을 나타내었다. 그림 8 (a)와 (b)의 결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 즉 이러한 UV 광조사에 의한 PI의 광분해반응에 의한 액정의 배향에는 isotropic 상에서 주입하는 경우가 배향의 안정성을 높일 수 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 프리틸트각의 크기는 본 연구에서 사용한 PI에서는 네마틱상 주입시와 크게 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 UV 광조사에 의한 프리틸트각 발생은 UV 광의 조사각도와 조사시간이 크게 영향을 미치는 것으로 생각할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 광분해반응을 이용한 액정배향 및 네마틱 액정의 프리틸트각 발생에 대한 어닐링 효과에 관하여 검토하였다. 러빙처리한 PI 표면에서 어닐링에 의하여 프리틸트각이 증가하는 경향을 얻을 수 있었으며 이것은 액정분자와 측쇄기와의 배제체적 상호작용이 기여한 것으로 생각할 수 있었다. PI 표면에 UV 광을 경사조사시 프리틸트각은 0을 나타내었으며 어닐링에 의하여 증가하는 경향을 나타내었다. 즉, 어닐링에 의하여 프리틸트각이 증가함을 알 수 있었다. 러빙처리한 PI 표면이 광배향처리된 PI 표면보다 어닐링효과에 의한 프리틸트각 발생이 현저한 것을 알 수 있었다. 마지막으로 광배향처리된 PI 표면에서 어닐링에 의하여 액정배향이 증가하는 경향을 얻을 수 있었으며 이것은 어닐링에 의하여 잔존한 고분자의 방향으로 액정분자의 재배열이 향상되기 때문인 것으로 생각할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 통상산업부 및 과학기술처에서 시행한 국가선도기술개발사업(차세대 평판표시장치기반기술개발사업)의 연구비지원에 의하여 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. T. Sugiyama, S. Kuniyasu, D.-S. Seo, H. Fukuro and S. Kobayashi, "A simple model for pretilted nematic liquid crystal medium and its torsional surface coupling strength", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 29, p. 2045, 1990.
2. D.-S. Seo, K. Muroi and S. Kobayashi, "Generation of pretilt angles in nematic liquid crystal, 5CB, media aligned on polyimide films prepared by spin-coating and LB techniques : effect of rubbing", Mol. Cryst. Liq. Cryst., Vol. 213, p. 223, 1992.
3. D.-S. Seo, S. Kobayashi and M. Nishikawa, "Study of the pretilt angle for 5CB on rubbed polyimide films containing trifluoromethyl moiety and analysis of the surface atomic concentration of F/C(%) with an electro spectroscopy for chemical analysis", Appl. Phys. Lett., Vol. 61, p. 2392, 1992.
4. X. Wang and J. L. West, "The mechanism of pretilt generation on polarized ultraviolet

- light aligned polyimide film", SID 97, p. 5, 1997.
5. M. Nishikawa, B. Taheri and J. L. West, "Polyimide films designed to produce high pretilt angles with a single linearly polarized UV exposure", SID 98, p. 131, 1998.
  6. T. Yamamoto, M. Hasegawa and H. Hatoh, "Liquid-crystal alignment by slantwise irradiation of non-polarized UV light on a polyimide layer", SID 96, p. 642, 1996.
  7. M. Schadt, K. Schmitt, V. Kozinkov and V. Chigrinov, "Surface-induced parallel alignment of liquid crystals by linearly polarized photopolymers", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, p. 2155, 1992.
  8. W. M. Gibbons, P. J. Shannon, S.-T. Sun and B. J. Sweln, "Surface-mediated alignment of nematic liquid crystals with polarized laser light", Nature, Vol. 351, p. 49, 1991.
  9. D.-S. Seo, L.-Y. Hwang and S. Kobayashi, "Investigation of pretilt angle generation in nematic liquid crystal with slanted non-polarized UV light irradiation on polyimide surfaces", Liquid Crystals, Vol. 23, p. 923, 1997.
  10. 시대식, 한정민, 박두석, "경사진 사외선 조사를 이용한 네마틱 액정의 프리틸트각의 발생 및 광배향 TN-LCD의 전기광학특성", 전기전자재료 학회 논문지, Vol. 11, No. 10, p. 911, 1998.
  11. D.-S. Seo and J.-M. Han, "Generation of pretilt angle in NLC and EO characteristics of photo-aligned TN-LCD with oblique non-polarized UV light irradiation on polyimide surface", Liquid crystals(in press).
  12. D.-S. Seo, K. Araya, N. Yoshida, M. Nishikawa, Y. Yabe and S. Kobayashi, "Effect of the polymer tilt angle for generation of pretilt angle in nematic liquid crystal rubbed polyimide surfaces", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, p. 1503, 1995.
  13. M. Nishikawa, B. Taheri and J. L. West, "Polyimide films designed to produce high pretilt angles with a single linearly polarized UV exposure", SID 98, p. 131, 1998.
  14. 시대식, 박두석, "폴리이미드 표면에 편광된 UV 광을 경사사의 프리틸트각의 발생과 편광 성분의 상호관계", 전기전자재료 학회 논문지, Vol. 12, No. 1, p. 75, 1999.
  15. K.-W. Lee, A. Lien, J. H. Stathis and S. H. Paek, "Control and modification of nematic liquid crystal pretilt angles on polyimides", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, p. 3592, 1997.
  16. H. Fukuro, "Polyimide alignment film for liquid crystal", 일본전자정보통신학회, EID 88-37, p. 19, 1988.
  17. N. A. J. M. Van aerle, "Anchoring of 4-n-alkyl-4-cyanobiphenyl liquid crystal molecules on rubbed polyimides", Liquid Crystals, Vol. 17, No. 4, p. 585, 1994.
  18. H. Yokoyama, S. Kobayashi and H. Kamel, "Role of surface adsorption in the surface-induced alignment of nematic liquid crystals on evaporated SiO films", J. Appl. Phys., Vol. 56, p. 2645, 1984.