

극각 방향의 결합강도에 관한 네마틱

논문
9-3-5

액정의 분자구조 변화의 효과

Effect of Conjugation of Mesogenic Core of Nematic Liquid Crystals for Polar Anchoring Strength on Rubbed Polyimide Surfaces

서대식*
(Dae-Shik Seo)

Abstract

We have studied the effect of the mesogenic core of nematic liquid crystals (NLCs) for polar (out-of-plane tilt) anchoring strength and surface order parameter on rubbed polyimide (PI) surfaces. The order of polar anchoring strength for NLCs on rubbed PI surfaces is 5CB > PCH5 > CCH5. From the above results, we suggest that the polar anchoring strength depends on the polarizability of the NLCs. The surface order parameter for NLCs is 5CB > PCH5 > CCH5 on rubbed PI surfaces. We conclude that the polar anchoring strength is strongly related to the surface order parameter on rubbed PI surfaces.

Key Words(중요용어): Nematic Liquid Crystal(네마틱액정), Polyimide Film(폴리이미드막), Rubbing(러빙), Anchoring Strength(결합강도)

1. 서론

액정 디스플레이(Liquid Crystal Display(LCD))는 경량, 평면형, 저소비전력, full color화가 가능, 고화질 등의 장점을 가지고 있어 큰 각광을 받고 있다. 특히 최근 들어 22인치 급의 고화질 TFT (Thin Film Transistor)-LCD가 개발되는 등 대형 화면에의 응용도 활기를 띠고 있다. LCD의 기초 및 응용 기술에 있어서 고체 기관위에서의 표면액정 배향은 LCD의 성질을 좌우하며 특성을 논하는데 있어서 대단히 중요한 역할을 한다.

많은 LCD소자들은 경사진 수평 액정배향으로 이루어지며 액정배향 기술로서는 러빙(기관표면 위를 섬유질 등을 이용하여 한쪽 방향으로 문지르는 것)처리된 폴리이미드(polyimide(PI))막,¹⁻⁵⁾ 진공증착된 SiO,⁶⁾ PI-Langmuir-Blodgett(LB)막,^{7,8)} 러빙처리된 폴리스타이렌(polystyrene)막,⁹⁾ 그리고 러빙처리된 폴리피롤(polypyrrole)막¹⁰⁾ 등을 이용하고 있다. 현재 일반화된 액정배향 기술은 러빙처리된 폴리이미드막이며 가장 안정된 배향상태를 나타내고 있다. 많은 연구자들에 의해서 한쪽 방향으로

러빙하는 방법에 의한 액정 배향효과가 연구 발표되었다.

액정 분자배열에 관하여 러빙처리된 고분자막은 폭넓게 사용되고 있으나 러빙 프로세스에 의한 구체적인 액정배향의 메카니즘에 관하여는 아직도 해명되고 있지 않다. 액정분자와 표면배향층 사이의 결합강도(에너지)는 액정배향의 메카니즘을 이해하는데 있어서 대단히 중요하다. 결합강도에는 극각방향(polar deformation)의 결합강도와 면내방향(azimuthal deformation)의 결합강도의 2종류가 있으며 그 개념을 그림 1에 나타내었다. 극각방향의 결합강도는 기관위에서 액정분자들이 액정셀 두께 방향(θ)으로 변형하는 것을 말하며, 면내방향의 결합강도는 기관위에서 액정분자들이 기관면 내(ψ)에서 변형하는 것을 의미한다.

최근 우리들은 여러 종류의 배향막에 있어서 네마틱액정인 4-cyano-4'-n-pentylbiphenyl (5CB)의 극각 방향의 결합강도 및 표면질서도에 관하여 연구 보고하였다.^{2,5,9,13)} 본 연구에서는, 러빙처리된 폴리이미드막에 있어서의 분자구조가 다른 3 종류의 네마틱액정의 극각방향의 결합강도와 표면질서도에 관하여 연구하였다.

* : 숭실대학교 공대 전기공학과
접수일자 : 1995년 11월 29일
심사완료 : 1996년 1월 6일

2. 실험

그림 2에 본 실험에서 사용한 폴리머의 분자구

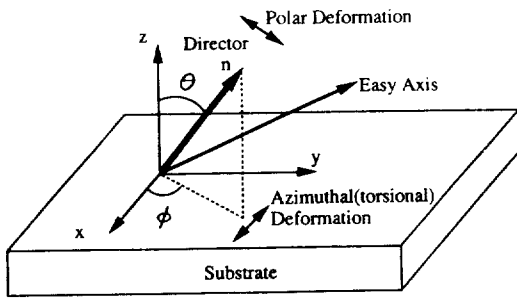


그림 1. 표면에 있어서의 액정의 극각방향과 면내방향의 변형

Fig. 1. Polar and azimuthal deformation of LCs in a surface area

조(Japan Synthetic Rubber Co., Ltd. 제공)를 나타내었다. 이 폴리머는 벤젠링 사이에 황(S)을 포함한 구조로 되어 있다.

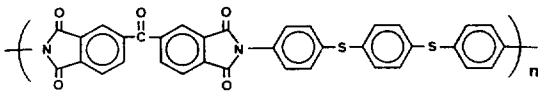


그림 2. 폴리머의 분자구조

Fig. 2. The polymer molecular structure

프리커서는 ITO(indium-tin-oxide)가 코팅된 유리판 위에 코팅하였고, 2종류의 다른 온도(300[°C]와 250[°C], 1시간)에서 이미드화하여 폴리이미드막을 제작하였다. 이 폴리이미드막은 나일론(Yo-15-N, Yoshikawa Chemical Industries Co., Ltd.)이 감긴 회전기를 이용하여 표면을 한쪽 방향으로 러빙처리하였다. 본 연구에서 사용한 러빙기의 구조를 그림3에 나타내었다. 러빙롤러에 섬유를 감아 기관위를 한쪽 방향으로 문지르면서 폴리머를 재배열시켰다.

러빙의 강약을 나타내는 러빙강도(RS)의 정의는 앞의 논문에 기술하였다.^{1,3)}

$$RS = NM(2\pi r/v - 1) \dots \dots \dots (1)$$

여기서, N 은 러빙한 회수(여기서는 N = 1로), M 은 섬유표면과 기관과의 접촉거리, n은 러빙롤러의 회전수(1000/60(s⁻¹)), v 는 기관의 이동속도(7.0(mm/s)), r 은 러빙롤러의 반경을 나타낸다. 여기서는 러빙강도에 가장 큰 기여를 하는 섬유표면과 기관과의 접촉 거리인 M을 변화시켜서 러빙강도를 변화시켰다. 실제로, 단위면적당의 러빙에 의한 일의 양 W는 W = a · RS 이며, RS 에 비례한

다. 여기서 a 는 마찰계수를 나타낸다. 즉, 러빙강도인 RS 를 변화시켜 줌으로서 실제의 일 W 를 변화시킬 수 있다.

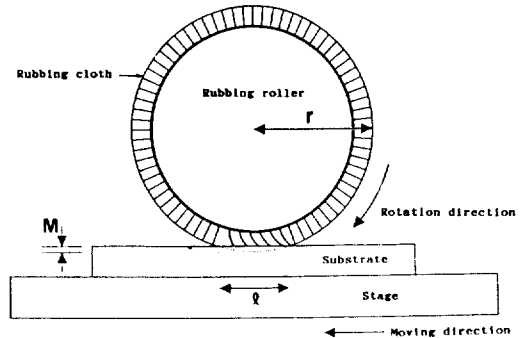


그림 3. 사용한 러빙장치의 구조

Fig. 3. A schematic drawing of the rubbing machine

그림 4에 본 실험에서 사용한 3종류의 네마틱액정의 분자구조를 나타내었다. 사용한 액정의 종류로는 5CB, PCH5 그리고 CCH5 등인데 이것들의 복굴절(굴절율의 차이인 Δn을 의미)은 각각 5CB 가 0.19(25[°C]), PCH5 가 0.11(35[°C]) 그리고 CCH5가 0.05(65[°C]) 등이다. 특징으로는 5CB는 벤젠링 수가 2개, PCH5는 벤젠링 수가 1개이고, CCH5는 벤젠링대신 시크로hex산을 2개 가지고 있다. 즉 3종류의 네마틱액정을 사용하므로써 벤젠링의 수에 대한 배향효과를 볼 수 있다. 액정셀은 2장의 유리판이 반대방향으로 러빙된 면을 이용하여 제작되었다. 모든 샌드위치형의 액정셀은 액정층이 약 60±0.5μm 의 두께로 균일하게 제작되었다.

본 연구에서는 극각방향의 결합강도를 평가하기 위하여 우리들은 여기서는 강전장법(high electric-field technique)^{11,12)}을 이용하였다. 강전장법을 이용하여 극각방향의 결합강도를 측정하기 위하여 인가된 전압(V)에 대한 캐패시턴스(C)와 광학적위상차(R)를 측정하였다. 그림5에 극각방향의 결합강도의 측정계를 나타내었다.¹³⁾

광원은 He-Ne레이저의 2-mW를 사용하였다. 이 광은 10 kHz 로 광탄성 변조기(photo elastic modulator)와 함께 편광변조 되었다. 이 광이 액정셀(cell)을 통과한 것을 검출기와 2대의 lock-in-amp를 통하여 검출하였으며 이것들은 컴퓨터에 의해 자동 제어되었다. 전기용량은 액정셀에 인가된 전압에 대하여 액정셀에 흐르는 전류를 I-V 변환기를 사용하여 전압으로 변환하여 다른 한대의 lock-in-amp 를

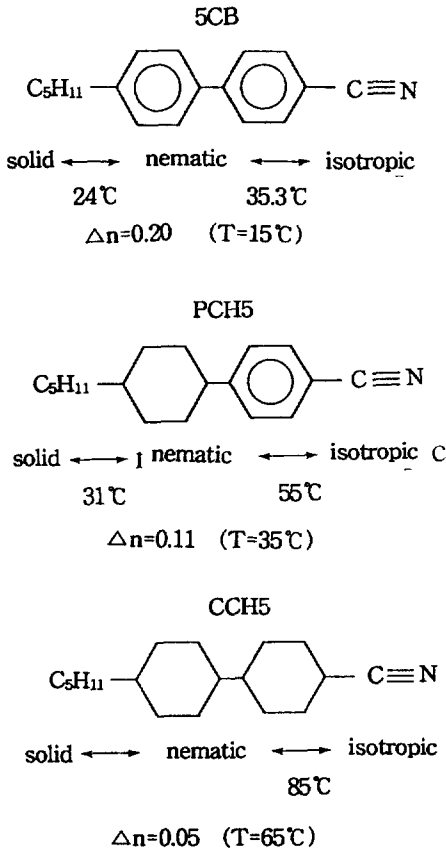


그림 4. 사용한 3종류의 네마틱 액정의 분자구조
 Fig. 4. The molecular structure of three kinds of nematic liquid crystal used

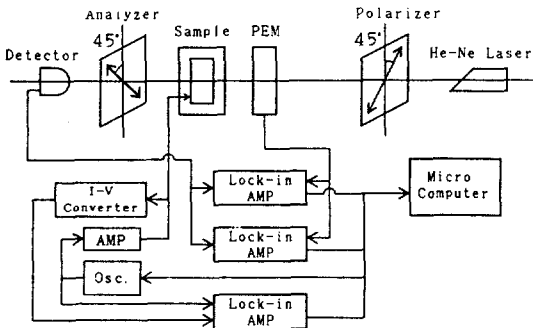


그림 5. 극각 방향의 결합강도의 측정계
 Fig. 5. Measurement system of polar anchoring strength

이용하여 검출하였다. 강전장법에 의하면 $V \gg 6V_{th}$ 의 조건에 있어서 extrapolation length(d_e)는 다음과 같이 정의되었다.

$$\frac{R}{R_0} = \frac{I_0}{CV} - \frac{2de}{d}, V \gg 6V_{th} \text{ 일 때} \dots \dots \dots (2)$$

여기서, I_0 는 액정재료에 의존하는 비례상수이며, V 와 d 는 각각 인가된 전압과 액정층의 두께를 나타낸다. 우리들은 다음 식으로부터 극각방향의 결합에너지 A (강도)를 결정하였다.

$$A = \frac{K}{d_e} \dots \dots \dots (3)$$

여기서 K 는 탄성계수($K=K_1 \cos^2 \theta_0 + K_3 \sin^2 \theta_0$)이며 K_1, K_3 그리고 θ_0 는 각각 splay 와 bend 변형의 탄성계수를, 그리고 프리틸트각을 나타낸다)이다.

본 실험에 있어서 탄성계수는 직접 측정된 탄성계수를 사용하였다. 또, 상전이온도(clearing temperature, T_c)로부터 각각 5~10[°C] 이하에서 극각방향의 결합강도를 측정하였다. 러빙처리한 폴리이미드막에서의 네마틱액정의 표면질서도는 상전이온도 이상의 온도에서 광학적 위상차의 온도의존성을 측정함으로써 평가하였다.¹⁴⁾

3. 실험결과 및 고찰

그림 6(a)는 이미드된 온도가 300[°C]의 폴리이미드막에 있어서 3종류의 네마틱액정의 극각방향의 결합에너지(A)와 러빙강도(RS)와의 관계를 나타낸다. 러빙처리된 폴리이미드막에 있어서 네마틱액정인 5CB의 극각방향의 결합에너지(A)는 모든 러빙강도에 대해 상당히 큰 (약 $\gg 1 \times 10^{-3}$ (J/m²)) 수치를 나타내었다. 그러나 CCH5의 극각방향의 결합에너지(A)는 모든 러빙강도에 있어서 대단히 작은 수치를 보여주었다. 앞의 논문에 의하면 네마틱액정의 극성률(polarizability)은 네마틱액정의 벤젠링의 수가 증가함과 동시에 증가하는 것이 알려져 있다.¹⁵⁾ 결과적으로 러빙처리된 폴리이미드막에 있어서 네마틱액정에 관한 극각방향의 결합에너지는 네마틱액정의 극성률이 증가함과 동시에 증가하는 것을 알 수 있다.

이미드된 온도가 250[°C]의 폴리이미드막에 있어서 3종류의 네마틱액정의 극각방향의 결합에너지(A)와 러빙강도(RS)와의 관계를 그림 6(b)에 나타낸다. 5CB와 PCH5의 극각방향의 결합에너지(A)는 대단히 크나, CCH5의 극각방향의 결합에너지는 모든 러빙강도에 대해 대단히 작은 수치를 나타내었다. 이 결과는 그림 6(a)의 결과와 같은 경향을 보여주었다.

그림 7에 상전이온도 이상의 온도에 있어서 분자구조가 다른 3종류의 네마틱액정에 관한 광학리타레이션의 온도의존성을 나타내었다.

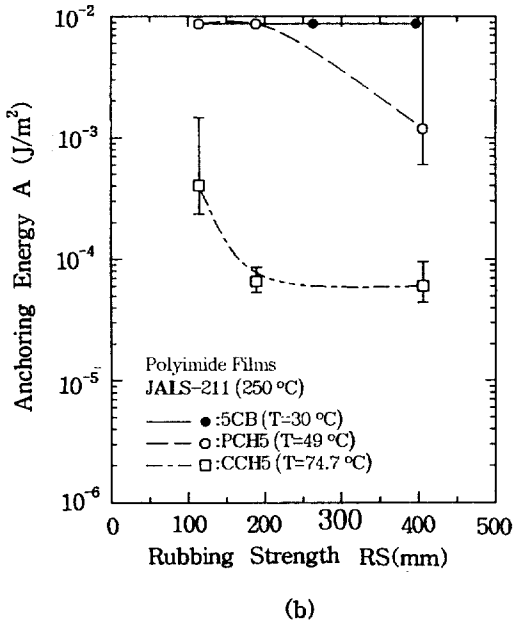
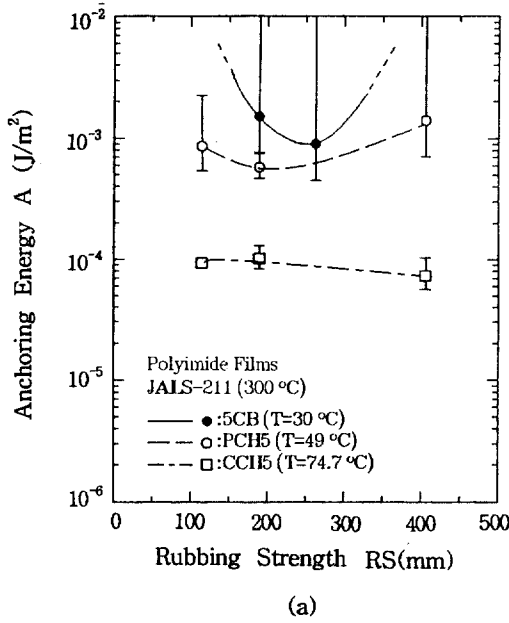


그림 6. 3종류의 네마틱 액정의 극각방향의 결합 에너지의 러빙강도 의존성 : 이미드된 온도는 a) 300[°C]; b) 250[°C].

Fig. 6. The rubbing strength dependence of polar anchoring energy for three kinds of NLCs : imidized temperature are a) 300[°C]; b) 250[°C].

사용한 폴리이미드막은 250°C에 있어서 이미드화 되었으며 한쪽 방향으로 강하게 러빙하였다.

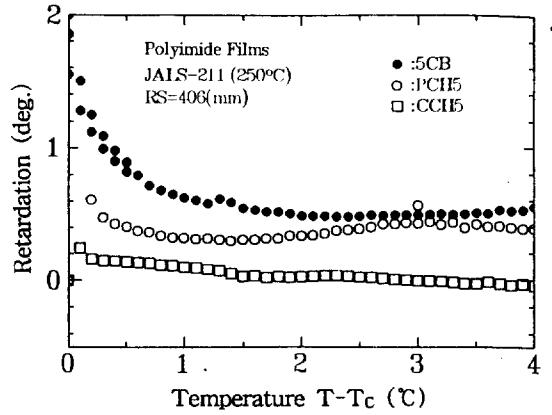


그림 7. 강하게 러빙처리된 폴리이미드막에 있어서 분자구조가 다른 3종류의 네마틱액정에 관한 상전이온도 이상의 온도영역에 있어서의 잔류광학 리타레이션의 온도의 존성.

Fig. 7. The induced optical retardation for three kinds of NLCs at a temperature a above clearing temperature on rubbed PI surface in strong rubbing.

5CB의 잔류광학 리타레이션이 가장 큰 수치를 나타내었으며, CCH5에 관한 잔류광학 리타레이션은 나타나지 않았다. 즉, 러빙처리된 폴리이미드막의 잔류광학 리타레이션은 네마틱 액정의 벤젠링 수에 크게 의존하는 것을 알 수 있다. Tarzon와 Miyamo 등은 네마틱 액정의 잔류 리타레이션은 표면질서도에 연관이 있는 것으로 연구 보고하였다.¹⁴⁾ 위의 결과로부터 표면질서도는 네마틱 액정의 극성률에 크게 의존하는 것으로 생각할 수 있다. 본 연구그룹은 최근 폴리이미드(PI)-LB막에 있어서 네마틱 액정의 극각 방향의 결합강도는 표면질서도가 증가함과 함께 증가하는 것을 연구 보고 하였다.¹³⁾ 즉, 러빙처리된 폴리이미드막에 있어서 네마틱 액정의 극각방향의 결합강도는 표면질서도의 증가에 의한 것으로 생각할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 러빙처리된 폴리이미드막에 있어서 분자구조가 다른 3종류의 네마틱액정의 극각방향의 결합강도와 표면질서도에 관하여 연구 검토 하였다. 결론적으로, 러빙처리된 폴리이미드막에 있어서 네마틱 액정의 극각방향의 결합에너지(A)는 네마틱 액정의 극성이 증가함과 함께 증가하며, 표면질서도의 증가와 함께 증가하는 것을 알 수

있었다. 이러한 결과로부터 네마틱 액정의 극각방향의 결합강도는 액정물질의 성질, 배향막의 표면처리방법 등에 의하여 크게 좌우되는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. D.-S. Seo, K. Muroi, and S. Kobayashi, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 213, 223 (1992).
2. D.-S. Seo, . Iimura, and S. Kobayashi, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 61, 234 (1992).
3. D.-S. Seo, S. Kobayashi, and M. Nishikawa, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 61, 2392 (1992).
4. D.-S. Seo, K. Araya, N. Yoshida, M. Nishikawa, Y. Yabe, and S. Kobayashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 34, L503(1995).
5. D.-S. Seo and S. Kobayashi, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 66, 1202 (1995).
6. J. Janning, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 21, 173 (1972).
7. D.-S. Seo, T. Oh-ide, and S. Kobayashi, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 214, 97 (1992).
8. D.-S. Seo, H. Matsuda, T. Oh-ide, and S. Kobayashi, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 224, 13(1993).
9. D.-S. Seo, K. Muroi, T. Isogami, H. Matsuda, and S. Kobayashi, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol.31, 2165 (1992).
10. D.-S. Seo, S. Kobayashi, and A Mochizuki, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 60, 1025 (1992).
11. H. Yokohama and H. A. van Sprang, *J. Appl. Phys.*, Vol. 57, 452 (1985)
12. H. Yokohama, S. Kobayashi, and H. Kamei, *J. Appl. Phys.*, Vol. 61, 4501 (1987).
13. D.-S. Seo, S. Kobayashi, D.-Y. Kang, and H. Yokoyama, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 34, 3607 (1995)
14. J.C. Tarzon and K. Miyano, *J. Chem. Phys.*, Vol. 73, 1994(1980).
15. W. H. de Jeu, *Physical Properties of Liquid Crystalline Materials*, ed. G. Gray (Gardon and Breach, University of Hull, 1980), Chap. 3.

저자소개



서대식

1963년 12월 16일생. 1989년 동경농공대학(일본) 전자공학과 졸업. 1991년 동대학 대학원 졸업(공학수사). 1994년 동대학원 졸업(공학박). 1993년-95년 일본학술진흥회 특별연구원. 1994년- 95년 Kent State Univ. 액정연구소 연구원.

1995년 9월-현재 숭실대학교 전기공학과 전임강사. 1992년 제 5회 안도우 히로시 기념학술장려상 수상(일본). 본 학회 영문편수 위원