

IPS-LCD에서의 면내 결합에너지와 응답특성과의 관계

논문
12-3-14

The relationship between the azimuthal anchoring energy and the response characteristics in in-plane-switching LCD

서대식*, 최재학*

(Dae-Shik Seo*, Jae-Hak Choi*)

Abstract

The relationship between the azimuthal anchoring energy and the response characteristics in in-plane switching (IPS) liquid crystal display (LCD) were investigated. The response time of photo-aligned IPS-LCD is fast compared with rubbing-aligned IPS-LCD on polyimide (PI) surface. The decay time τ_d is decreased with increasing the azimuthal anchoring energy A_ϕ due to the steric interaction between the LC molecules and side chain of polymer. The viewing angle of IPS-LCD is increased by using photo-depolymerization method; about $\pm 70^\circ$ at all direction.

Key Words(중요용어) : Polyimide(폴리이미드), Photo-aligned(광배향), In-Plane Switching(IPS), Liquid Crystal Display(LCD), Wide Viewing Angle(광시야각), Response Time(응답특성)

1. 서 론

멀티미디어시代之에서의 정보표시소자의 역할은 매우 중요하다. 특히 휴대화, 저소비전력, 풀칼라화가 가능한 액정디스플레이(liquid crystal display : LCD)가 주목을 받고 있다. 그리고 비틀린 네마틱 TN(twisted nematic)-LCD방식을 이용한 TFT(thin-film transistor)-LCD는 시야각 특성이 협소하다는 단점을 가지고 있으며 이를 해결하기 위한 방법으로 IPS(in-plane switching)-LCD¹⁾와 MVA(multi vertical alignment)-LCD²⁾ 등이 제안되고 있다. 최근, IPS-LCD를 이용한 광시야각의 구현 및 응답특성, 기구의 규명 등이 연구 보고되었다³⁻⁶⁾.

M.Oh-e 등은 IPS-LCD를 이용하여 상하좌우 방향에서 160° 이상의 광시야각을 구현하였다^{3, 4)}.

그리고 M.Oh-e 등은 IPS-LCD의 응답특성에 관하여 이론적으로 설명하였으며 인가전압이 증가함과 함께 하강시간 τ_d 의 응답속도가 감소하는 경향을 보고하였다^{5, 6)}. 최근, X.T.Li 등은 한쪽기판면은 러빙처리된 폴리이미드표면을 다른 한쪽기판면은 PVC(poly(vinyl)cinnamate) 표면을 사용한 IPS-LCD에서의 면내에서의 결합에너지 A_ϕ 와 응답속도와의 관계에 관하여 보고하였다⁷⁾. 본 연구에서는 면내 결합에너지가 IPS-LCD의 응답특성에 미치는 영향과 광시야각특성에 관하여 연구 검토하였다.

2. 실험

배향막은 측쇄기를 가진 폴리머(SE-150, Nissan Chemical Industries Co., Ltd. 제공)를 사용하였으며 분자구조를 그림 1에 나타내었다. 프리커서는 ITO(indium-tin-oxide) 전극이 코팅된 유리기판위에 스펀코팅법을 이용하여 균일하게 도포한후 250°C 에서 1시간동안 열처리하여 폴리이미드막을 형성하였다. 러빙처리한 IPS-LCD를 제작하기 위하여 중간정도의 러빙강도를 이용하였다. 일반적으로 러빙의 강약을 나타내는 경우 러

* : 숭실대학교 전기공학과
(서울시 동작구 상도 5동 1-1, Fax : 02-817-7961 E-mail : dsseo@elec.pwr.soongsil.ac.kr)
1999년 1월 4일 접수, 1999년 2월 22일 심사완료

빙강도(rubbing strength : RS)를 사용하지만 본 실험에서는 러빙친의 표면과 기판표면과의 접촉 거리 M을 변화시켜 러빙의 강약을 조절하였다. 러빙강도(RS)에 관하여서는 본 저자들에 의하여 보고되었다^{8,9)}. 그리고 광배향처리된 IPS-LCD를 제작하기 위하여 폴리이미드 표면에 직선 편광된 UV광을 75°로 경사 조사하였다. 그리고 사용한 IPS-LCD의 전극구조와 초기배향을 그림 2에 나타내었다. 그리고 실험에 사용한 IPS-LCD의 종류를 표 1에 나타내었다. IPS-LCD-1 및 IPS-LCD-2는 양쪽기판 모두 러빙처리를 사용하였으며, IPS-LCD-3은 한쪽기판면은 러빙처리를 다른 한쪽 기판면은 광배향처리를 사용하였다. 그리고 IPS-LCD-4는 양쪽 기판면 모두 광배향처리를 사용하였다. 셀 두께는 5μm로 조절하였으며 전극간격은 20μm을 사용하였다. 셀(cell) 조합후 유전율

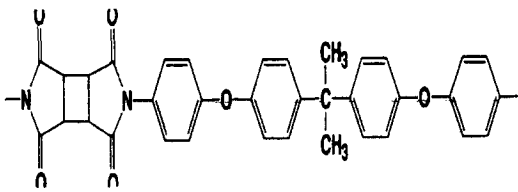


그림 1. 사용한 배향막의 분자구조.
Fig. 1. The molecular structure of the used alignment layer.

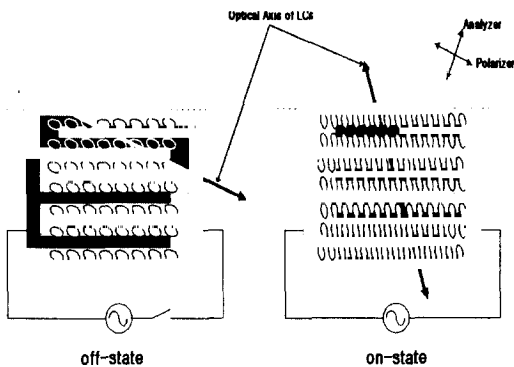


그림 2. IPS-LCD의 전극구조와 초기배향.
Fig. 2. Electrode pattern and initial LC alignment in IPS-LCD.

이방성이 정(+)인 네마틱 액정의 혼합물(MJ951160, $\Delta n = 0.0880$, $\Delta \epsilon = 7.4$)를 주입하였다. 전기광학특성을 평가하기 위하여 전압-투과율(V-T)특성, 응답특성 그리고 시야각특성등을 측정하였다.

표 1. 실험에 사용한 4종류의 IPS-LCD
Table 1. Four kinds of IPS-LCDs used in this experiment

Sample	IPS 기판	반대편 기판
IPS-LCD-1	M=0.5(mm)	M=0.5(mm)
IPS-LCD-2	M=0.7(mm)	M=0.7(mm)
IPS-LCD-3	M=0.7(mm)	경사 UV 조사 (P파사용, $\theta_1=75^\circ$)
IPS-LCD-4	경사 UV 조사 (P파사용, $\theta_1=75^\circ$)	경사 UV 조사 (P파사용, $\theta_1=75^\circ$)

3. 결과 및 고찰

그림 3에 4 종류의 IPS-LCD의 구동전압에 대한 투과율 특성을 나타내었다. IPS-LCD-1과 IPS-LCD-2는 거의 동등한 수준의 특성을 나타내고 있다. 그러나 IPD-LCD-4에서는 다른 IPS-LCD보다 임계치 전압이 높은 경향을 나타내고 있다. 4종류의 IPS-LCD의 임계치 전압을 표 2에 나타내었다. IPS-LCD-4의 V_{th} 가 4.24 (V)로 가장 큰 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 임계치 전압 V_{th} 는 연속체 이론을 사용하여 풀면

$$V_{th} = \frac{\pi l}{d} \sqrt{\frac{k_2}{\epsilon_0 \cdot \Delta \epsilon}} \quad (1)$$

로 표현된다⁹⁾. 여기서 l, d는 각각 전극간격, 액정 층의 두께, k_2 는 액정의 탄성계수를 나타내며, ϵ_0 , $\Delta \epsilon$ 은 유전율과 유전율 이방성을 나타낸다. 위식으로부터 임계치전압 V_{th} 는 전극간격 l, 셀 두께 d에 크게 영향을 받음을 알 수 있다. 본 실험에서는 배향처리에 전극간격 l, 셀 두께 d는 일정하므로 액정 배향처리에 따른 표면 효과가 탄성 에너지에 기여함으로써 V_{th} 의 증가에 기여하는 것으로 생각할 수 있다. Sugiyama 등에 의하면 측쇄기를 가지는 폴리이미드 표면에서 프리틸트각이 클수록 배제체

적상호작용(steric interaction)가 증가함으로써 면내결합에너지 A_p 가 증가하는 것을 보고하였다¹⁰⁾. IPS-LCD-1과 IPS-LCD-2는 러빙처리를 하였으므로 폴리머표면의 측쇄기가 균일하게 표면에서 낮은 각도로 경사져 있으며 IPS-LCD-4에서는 러빙처리를 하지 않았으므로 구조적으로는 측쇄기가 기관 표면에 대하여서 있는 구조를 생각할 수 있다^{11, 12)}.

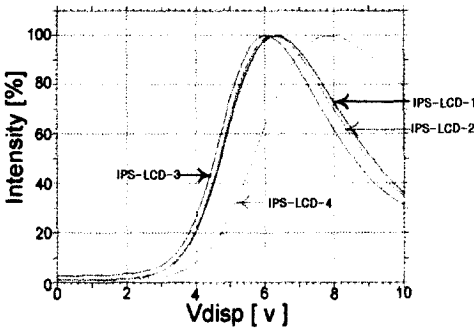


그림 3. 4 종류의 IPS-LCD의 전압-투과율 특성.
Fig. 3. The voltage-transmittance characteristics in four kinds of IPS-LCDs.

표 2. 사용한 4종류 IPS-LCD에서의 인가전압에 대한 투과율
Table 2. The transmittance versus the applied voltage in used four kinds of IPS-LCDs

Voltage Sample	V_{10}	V_{90}	V_{op}
IPS-LCD-1	3.56	5.63	6.4
IPS-LCD-2	3.55	5.57	6.2
IPS-LCD-3	3.46	5.40	6.0
IPS-LCD-4	4.24	6.88	7.8

(* V_{10} = Voltage at the transmittance of 10%
* V_{90} = Voltage at the transmittance of 90%
* V_{op} = Voltage at the transmittance of 100%)

그림 4에 사용한 4 종류의 IPS-LCD의 6(V)의 전압인가시의 응답특성의 측정 결과를 나타 내었

다. 이 측정결과의 응답속도를 표 3에 나타낸다. IPS-LCD-1과 IPS-LCD-2는 상승시간 τ_r 이 거의 비슷한 경향을 보이고 있으며, 하강시간 τ_d 은 거의 IPS-LCD-2가 감소하는 경향을 보이고 있다. 그리고 IPS-LCD-3은 IPS-LCD-2와 거의 유사한 경향을 나타내고 있으며 이는 러빙강도를 나타내는 접촉거리 M이 IPS기판면에서 같기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 그리고 IPS-LCD-4에서는 상승시간 τ_r 은 매우 증가하고, 하강시간 τ_d 가 매우 감소하는 경향을 나타내고 있다. IPS-LCD의 응답속도는 액정의 탄성계수, 점성계수, 전계 등을 고려한 평형식을 풀면 다음과 같이 표현할 수 있다⁶⁾.

$$\tau_r = \frac{r_1}{\epsilon_0 \cdot \Delta \epsilon (E^2 - E_{th}^2)} \quad (2)$$

$$\tau_d = \frac{r_1 \cdot d^2}{\pi_1 \cdot k^2} \quad (3)$$

여기서, r_1 은 액정의 점성계수이며, 응답속도 τ 은 상승시간 τ_r 과 하강시간 τ_d 의 합으로 표시된다. 위 식에서 τ_r 은 전기에너지의 영향이, τ_d 는 탄성에너지의 영향에 크게 의존하는 것을 알 수 있다. 즉, 하강시간 τ_d 는 (3)식에서 보는 바와 같이 탄성에너지가 크게 기여하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 임계치 전압 V_{th} 의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다. 즉, IPS-LCD-4는 러빙처리를 하지 않았으므로 폴리머의 측쇄기에 의한 배체체적상호작용이 증가하며 큰 면내 결합에너지 A_p 의 기여로 하강시간 τ_d 가 크게 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 즉, 하강시간 τ_d 는 면내 결합에너지 A_p 의 증가와 함께 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 최근, X.T.Li 등에 의하면 IPS-LCD에서 한쪽 기판면을 강한 폴리이미드 표면을, 다른 한쪽 기판면은 약한 PVC 표면을 사용한 경우 응답속도는 상승시간 τ_r 은 면내 결합에너지 A_p 가 증가함과 함께 증가하며 하강시간 τ_d 는 감소하는 경향을 보여주었다⁷⁾. 이러한 결과로부터 IPS-LCD에서의 하강시간 τ_d 는 면내 결합에너지 A_p 에 크게 의존함을 알 수 있으며, 이러한 면내 결합에너지 A_p 는 폴리이미드 표면의 측쇄기와 액정분자와의 배체체적상호작용이 크게 기여한 것으로 생각할 수 있다.

그리고 표 3의 일반 러빙처리한 TN-LCD보다 IPS-LCD쪽의 응답속도가 매우 큰 이유는 IPS기판의 전극간격이 20 μ m로 매우 넓기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 이와 관련하여 타 연구내용과 본 연구에서 사용한 cell parameter를 표 4에 나타

내었다. 본 연구에서의 응답속도는 약 200ms로 M.Oh-e등이 보고한 80ms 보다 큰 이유는 전극간격이 5 μ m 정도 더 크기 때문인 것으로 생각 할 수 있다. 이는 식 (3)에서 보는 바와 같이 전극간격이 크면 상승시간 τ_r 이 증가하기 때문인 것으로 생각할 수 있다. 이밖에 네마틱액정의 $\Delta\epsilon$ 과 셀 두께 d의 영향도 생각할 수 있다.

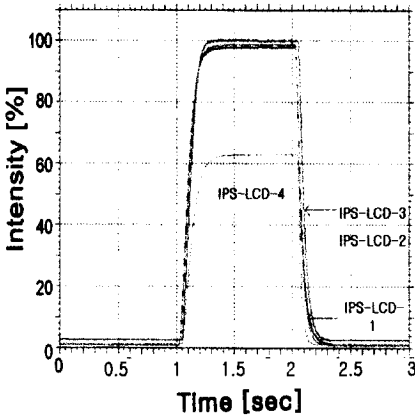


그림 4. 6(V)의 전압인가시의 4종류의 IPS-LCD의 응답속도 특성.
Fig. 4. The response time characteristics in four kinds of IPS-LCDs when 6(V) is applied.

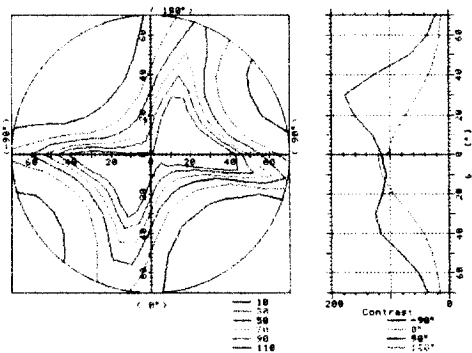
표 3. 사용한 4종류의 IPS-LCD와 러빙처리한 TN-LCD의 응답속도
Table 3. The response time of four kinds of IPS-LCDs and rubbing-aligned TN-LCD

Responsetime	τ_r	τ_d	τ
Sample	(ms)	(ms)	(ms)
IPS-LCD-1	132.3	102.0	234.0
IPS-LCD-2	132.5	89.9	222.4
IPS-LCD-3	121.6	96.1	217.7
IPS-LCD-4	154.2	52.3	206.5
Rubbing-aligned TN-LCD	8.4	26	34.4

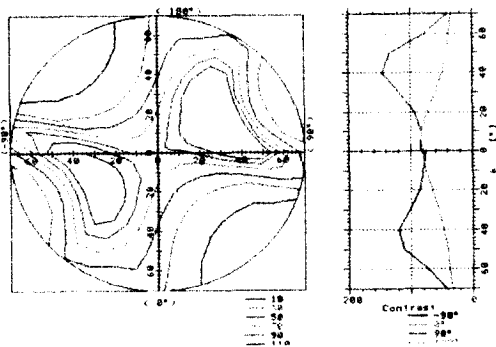
표 4. IPS-LCD 제작에 사용한 셀 파라메터
Table 4. The cell parameter used in fabrication of IPS-LCD

	this experiment	M.Oh-eetal ⁶⁾	X.T.Lieta ⁷⁾
Electrode distance	20 μ m	15 μ m	
Electrode width	20 μ m	10 μ m	37 μ m
Δn	0.0880	0.0437	0.0744
$\Delta\epsilon$	7.4	-4.8	-3.3
Cell gap	5 μ m	4.7, 5, 6.7 μ m	3.7 μ m
Response time	~200ms	70, 80, 120 ms	~70ms

그림 5에 2종류의 IPS-LCD의 시야각의 측정결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 IPS-LCD-1보다 IPS-LCD-4쪽이 매우 양호한 시야각 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나 IPS-LCD-4에서는 contrast ratio가 90이상에서 gray-scale inversion이 발생하며 이것은 광배향 처리에서의 tilt의 불균일에 의한 것으로 생각할 수 있다. 그림 5의 측정결과로부터의 시야각을 표 5에 나타내었다. IPS-LCD-1은 상하좌우 방향에서 $\pm 70^\circ$ 이상을 나타내고 있다. IPS-LCD-4에서는 상하좌우에서 $\pm 70^\circ$ 의 광시야각을 나타내고 있다. 이에 비해 일반 러빙처리한 TN-LCD는 상하 방향에서 $35^\circ, 18^\circ$ 를, 좌우방향에서 $\pm 40^\circ$ 의 좁은 시야각 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉, IPS-LCD는 이러한 상하좌우 방향에서 $\pm 70^\circ$ 이상의 광시야각특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



(a) IPS-LCD-1



(b) IPS-LCD-4

그림 5. 2종류의 IPS-LCD의 시야각특성.
Fig. 5. The viewing angle characteristics for two kinds of IPS-LCDs.

표 5. 사용한 2종류의 IPS-LCD와 러빙처리한 TN-LCD의 시야각특성
Table 5. The viewing angle characteristics of two kinds of the IPS-LCDs and rubbing-aligned TN-LCD

Direction \ Sample	Up (°)	Down (°)	Left (°)	Right (°)
IPS-LCD-1	70	70	70	70
IPS-LCD-4	70	70	70	70
Rubbing-aligned TN-LCD	35	18	40	40

(* Contrast ratio ≥ 10)

4. 결 론

본 연구에서는 IPS-LCD에서 면내 결합에너지와 응답특성과의 상호작용 및 시야각특성에 관하여 검토하였다. 임계치 전압은 러빙처리한 IPS-LCD보다 광배향처리한 IPS-LCD쪽이 높아지는 경향을 알 수 있었다. 그리고 응답특성에 있어서는 러빙처리한 IPS-LCD보다 광배향 처리한 IPS-LCD쪽이 응답속도가 감소하는 경향을 얻을 수 있었다. 이것은 폴리이미드 표면의 측쇄기와 액정분자와의 배체체적상호작용이 기인하여 면내 결합에너지 A_{\parallel} 가 증가함에 따라 하강시간 τ_d 가 감소하는 것으로 생각할 수 있었다. 그리고 러빙처리한 IPS-LCD보다 광배향처리한 IPS-LCD쪽이 시야각이 향상됨을 알 수 있었으며, 상하좌우 방향에서 $\pm 70^\circ$ 이상

의 광시야각특성을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 및 과학기술부에서 시행한 G-7 사업(차세대 평판표시장치기반기술개발사업)의 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다

참 고 문 헌

1. M. Oh-e, M. Ohta, S. Aratani and K. Kondo, "Principle and Characteristics of Electro-Optical Behaviour with In-Plane Switching Mode", Asia Display, p. 577(1995).
2. Y. Koike, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, A. Takeda, K. Kondo, T. Sasabayashi and K. Okamoto, "A vertical aligned LCD providing super-high image quality." IDW '97, p. 159(1997).
3. M. Oh-e, M. Yoneda, M. Ohta and K. Kondo, "Dependence of viewing angle characteristics on pretilt angle in the in-plane switching mode", Liquid Crystals, Vol. 22, No. 4, p. 391(1997).
4. K. Kondo, "Wide-viewing-angle displays with in-plane-switching mode of nematic LCs addressed by 13.3-in. XGA TFTs", SID digest paper, p. 81(1996).
5. M. Oh-e, K. Kondo, "Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode", Appl. Phys. Lett. Vol. 67(26), p. 3895(1995).
6. M. Oh-e, K. Kondo, "Response mechanism of nematic liquid crystals using the in-plane switching mode", Appl. Phys. Lett. Vol. 69(5), p. 623(1996).
7. X. T. Li, A. Kawakami, H. Akiyama, S. Kobayashi and Y. Iimura, "Reduction in driving voltage of in-plane switching liquid crystal displays using photo-alignment method" Jap. J. Appl. Phys. Vol. 37, p. L743(1998).

8. 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).
9. 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 electron spectroscope for chemical analysis", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 61, p. 2392(1992).
10. 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).
11. D.-S. Seo, K. Araya, N. Yoshida and M. Nishikawa, "Effect of the polymer tilt angle for generation of pretilt angle in nematic liquid crystal on rubbed polyimide surfaces", *Jpn. J. Appl. Phys.* Vol. 34, p. L503(1995).
12. M. Nishikawa, N. Bessho, T. Natsui, Y. Ohta, N. Yoshida, D.-S. Seo, Y. Iimura and S. Kobayashi, "A model of the unidirectional alignment accompanying the pretilt angle of a nematic liquid crystal(NLC), 5CB, oriented on rubbed organic-solvent-soluble polyimide film", *Mol. Cryst. Liq.*, Vol. 275, p. 15(1996).