

경사 전기장 구동에 의한 수평배열 액정 디스플레이의 전기광학특성 연구

Electro-optic characteristic of homogeneously aligned LCD driven by an oblique field

박상현, 이지연, 이승희

(Sang Hyun Park, Ji Youn Lee, Seung Hee Lee)

Abstract

We have studied electrode-optic characteristics of IPS (in-plane switching) mode with electrode on top substrate. Because the IPS mode does not have electrode on top substrate, it shows not only slow response time due to weak electric field but also slow discharging problem when electrostatic field is generated after fabricating the cell. To solve these problems, we have formed additional electrode including dielectric layer in the inner part of the cell and studied electrode-optic characteristics of new IPS cell by changing thickness of dielectric layer.

Key Words : Transmissive liquid crystal display, Oblique field, dielectric layer.

1. 서론

최근 들어 액정 디스플레이 시장의 급격한 성장에 힘입어 액정 디스플레이의 고질적인 문제점인 시야각 특성과 실제 칼라 재현성 및 응답속도를 개선하기 위한 연구가 활발해지면서 in-plane switching (IPS)¹, multi-domain vertical alignment (MVA)², and fringe-field switching (FFS)³ 모드 등이 개발되어 상용화 되고 있다.

하지만 시야각이나 실제 칼라 재현성은 어느 정도 그 특성이 CRT의 성능에 뒤쳐지지 않으나 응답속도는 아직 움직이는 동영상을 구현하기에는 충분하지 못하다. LCD-TV에서 동영상을 표현하기 위해 필요로 하는 응답속도는 15ms이하이다.⁴ 액정 디스플레이의 응답시간은 일반적으로 인가되

는 전압의 세기, 액정 방향자의 동역학적 안정성, 탄성상수, 셀 갭 등에 직접적으로 의존한다. 그래서 이러한 요인들을 이용하여 액정의 응답속도를 개선하고자 하는 연구가 계속되고 있으며, over voltage driving⁵이나 VA에서에서의 초기 틸트 형성⁶, OCB⁷, OCS⁸ 기술 등이 개발 되어졌다. 하지만 이러한 응답속도를 제어하는 방법들은 추가 공정이 필요하여 공정상 생산 가격을 높이고 그 공정 또한 까다로우며, OCB 와OCS는 액정 전이 시간이 필요하다는 문제점이 있다. 현재 상용화 되고 있는 액정 모드들은 일반적으로 네마틱 액정을 사용하고 있고, 네마틱 액정의 분자 특성에 의해 빠른 응답속도를 표현한다는 것은 어려운 일이다. 광시야각 특성을 갖는 액정 모드들 중 IPS나 FFS는 twist 변형 특성과 상반에 전극이 없는 특성을 갖

고 있기 때문에 응답속도 측면에서 다른 모드들에 비해 불리하다. 상판에 전극이 없기 때문에 셀 상부 쪽의 액정층은 전기장의 세기가 약해져 rise time이 느려지며, 탄성상수중 제일 작은 탄성력 특성을 보여주는 트위스트 변형을 하기 때문에 decay time 또한 느리다. 그래서 기존의 IPS, FFS의 광시야각 특성을 가지면서도 응답속도 또한 빠르게 하기 위하여 상판에도 전극을 두어 액정을 수직배향하므로, 전기장이 액정층 상부 쪽에도 충분히 영향을 주고 액정들이 bend 변형을 할 수 있게 만드는 VA-IPS⁹, VA-FFS¹⁰ 모드등이 개발 되어졌다.

기존의 IPS나 FFS는 상판에 전극이 없기 때문에 편광판 부착공정시 일어나는 정전기 방출용이 하지 못하다. 따라서 본 논문에서 우리는 기존의 IPS의 상판에 전극을 두어 응답속도를 개선 시켰으며, 수직전기장에 의한 투과율 저하를 방지하기 위하여 상판 전극에 유전층을 두어 형성되어진 경사 전기장을 이용하여 액정 방향자를 제어 하였다.

2. 시뮬레이션 조건

일반 적으로 IPS모드는 액정층 하부의 기판에 형성되어진 화소 전극과 공통전극에서 발생하는 inplane field에 의해서 액정을 제어하는 방식이다. 본 연구에서의 상판에 전극이 있는 IPS모드의 셀은 그림 1과 같이 일반적인 IPS 모드 셀에 액정층 상부 기판에 추가로 전극을 둔 것이며, 상판의 전극은 슬릿 형이 아닌 평면 전극을 사용하였다. 본 연구에서는 전극의 폭을 3 μm 으로 전극과 전극사이의 거리는 4.5 μm 로 두었으며 또한 상판의 전극에 의해 야기되는 수직 전기장을 변형시키기 위하여 전극에 다시 유전상수가 5인 유전층을 형성 시켰으며, 그 유전층의 두께는 각각 0.8 1.6, 2.4, 3.2(μm)로 형성 되어졌다. 초기 어둡상태를 구현하기 위하여 수평 배향면의 액정 러빙 방향이 전극과 10°를 이루도록 하였으며, 하부 편광판의 투과축 방향이 액정의 러빙 방향과 0°를 이루도록 하였고 상부편광판의 투과축은 하부 편광판과 90°를 이루고 있다. 액정셀은 수평 배향으로 두었고, 2°의 초기틸트각 (Θ_0)을 형성하였다. 액정의 ϵ_{\parallel} 은 12 ϵ_{\perp} 은 3으로 전기적이방성($\Delta\epsilon$)은 +9가 되며,

탄성 상수 K_{11} , K_{22} , K_{33} 값은 각각 13.2, 7.5, 15.1(pN) 으로 두었다. 셀의 투과율을 최

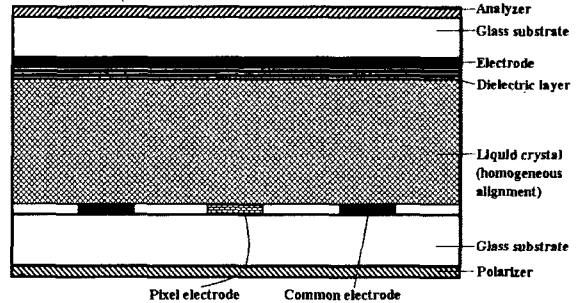


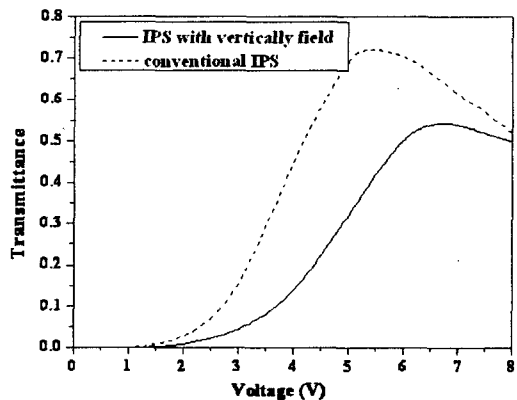
그림 1. 상판에 전극이 있는 IPS의 셀 구조.

Fig 1. The Structure of IPS cell with upper electrode.

대로 하기위하여 셀갯은 4 액정의 굴절율 이방성 (Δn)은 0.09로 위상지연값($d\Delta n$)은 0.36nm가 된다. 컴퓨터 시뮬레이션은 2x2 Jones extended matrix¹¹ 방법으로 계산하였다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림2는 $d\Delta n$ 이 0.32nm이 유전율 이방성이 양인



액정을 사용한 기존의 IPS와 상판에 전극을 둔 IPS 모드의 전압에 따른 투과율 곡선이다. 기존의 유전율 이방성이 양인 액정을 사용하는 IPS는 액정이 전장의 방향으로 방향자를 가지므로, 전극 윗부분에서의 약한 수평전기장에 의해 액정의 twist

가 적기 때문에 유전을 이방성이 음인액정을 사용하는 것에 비해 상대적으로 투과율이 좋지 못하다.

그림 2. 기존 IPS와 상판에 유전층 없이 전극만 존재하는 IPS 모드의 V-T curve.

Fig 2. Voltage-dependent transmittance characteristics of conventional IPS mode and IPS mode including only upper electrode without dielectric layer.

그림 2에서와 같이 기존의 IPS에 비해 상판에 전극만을 둔 IPS의 구동전압은 올라가며 투과율 또한 떨어지게 된다. 이것은 전극 윗부분에서 야기되는 수직전기장에 의해 투과율이 떨어진 것이며, 전체적으로 수평전기장이 약해지므로 구동전압 역시 올라가게 된 것이다.

그림 3은 상판에 유전층 없이 전극만을 형성시킨 IPS 모드의 구동전압에서의 투과율과 액정 방향자를 보여준다. 그림에서 보는 것과 같이 전극 윗부분에서의 액정들은 상하판 사이의 전위차에 의해 형성되어진 수직전기장에 의해 완전히 서 있게 되고 이로 인해 전극 윗부분은 투과율이 발생되지 않으며 어둡은 상태를 보여준다. 전극 edge 근처에서도 수평 전기장이 약하기 때문에 액정들이 twist 되지 못해 투과율은 떨어진다. 그림 2와 3에서 우리는 수직전기장에 의해 투과율 저하를 볼 수 있었으며, 수평전기장의 형성이 투과율과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

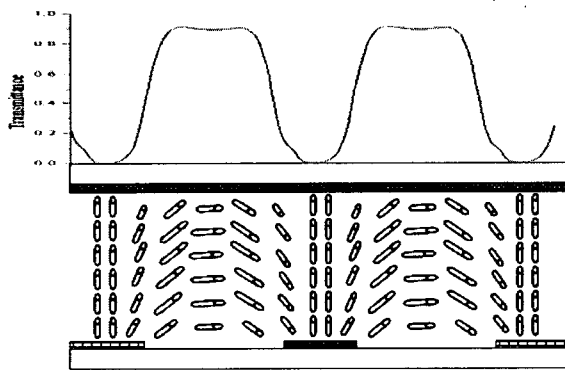


그림 3. 상판에 유전층 없이 전극만 존재하는 IPS 모드의 구동전압(6.5v)에서 다른 투과율 및 액정

방향자 분포.

Fig 3. Transmittance distribution at driving voltage(6.5v) and LC director distribution at maximum transmission of IPS mode including only upper electrode without dielectric.

그래서 위와 같은 문제점을 해결하고자, 상판의 전극 위에 유전층을 두께를 달리 형성시켰으며, 그림 4는 형성되어진 유전층의 두께 변화에 따른 전압 대비 투과율 곡선이다. 그림에서와 같이 유전층의

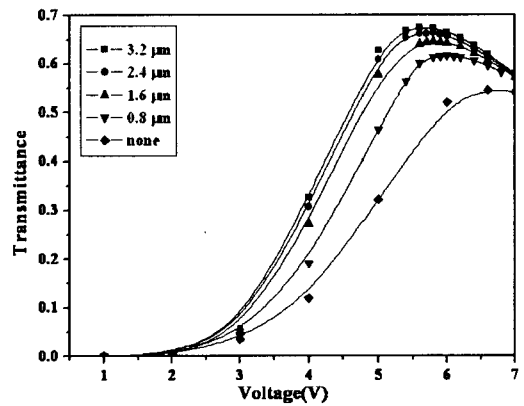


그림 4. 상판의 전극이 있는 IPS 모드의 유전층 두께 변화에 따른 V-T curve.

Fig 4. Voltage-dependent transmittance characteristics of IPS mode including upper electrode by changed thickness of dielectric layer.

두께가 커질수록 투과율과 구동전압이 기존의 IPS 모드의 투과율과 구동전압에 가까워지는 것을 알 수 있다. 또한 유전층이 형성되지 않았을 때의 투과율보다 3.2 μ m의 유전층이 형성되었을 시에는 투과율이 23% 증가된다. 그림 5는 유전층의 두께가 3.2 μ m 일 때 구동전압(5.5v)에서 투과율과 액정들의 방향자를 보여준다. 전극만 형성되어진 것과는 달리 유전층이 존재함으로써 전극 윗부분의 액정들이 트위스트 되는 것을 볼 수 있으며, 그로 인해 투과율이 발생되어진다. 또한 이것은 수직전기장이 유전층에 의해 서 경사져서 발생하는 것을 알 수 있다. 전극 edge 윗부분의 액정 방향자 또한 트위스트 되어서 투과율 곡선의 골짜기의 폭이 좁아졌고, 이는 투과율

이 상승된 것을 의미한다.

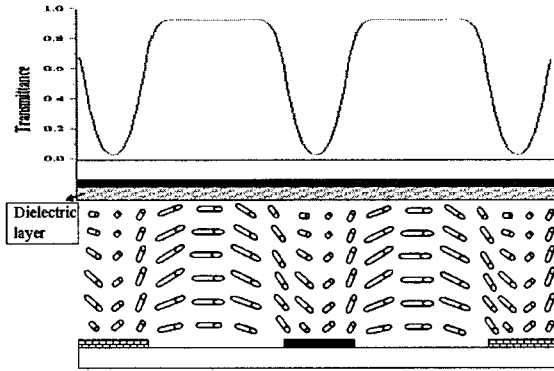


그림 5. 상판의 전극위에 유전층(3.2 μm)이 형성되어진 IPS 모드의 구동전압(6.5v)액정에서의 방향자 분포와 투과율 곡선.

Fig 5. Transmittance distribution at driving voltage(6.5v) and LC director distribution at maximum transmission of new IPS mode including upper electrode with dielectric(3.2 μm).

액정의 rise time은 전기장의 세기에 밀접한 관련이 있다. 하지만, 기존의 IPS 모드는 전극이 하판에만 형성되므로 액정층 상부쪽의 전기장이 약하게 되어 액정에 강한 유전 토크(torque)를 주지 못하게 되므로 rise time은 느려지게 된다. decay time 또한 액정의 탄성상수에 선형적으로 반비례하게 되는데, 그 중 twist 변형하는 IPS 모드는 탄성력 K_{22} 가 가장 작은 관계로 다른 변형 보다 decay time이 느려진다. 이렇게 기존의 IPS 모드는 응답속도 측면에서 불리한 조건을 갖고 있다. 표 1은 기존의 IPS모드와 상판에 전극을 둔 IPS모드의 유전층 두께에 따른 응답속도를 변화를 보여준다. 여기서 응답속도는 각각 구동 전압에서 90% 투과율 변화까지 정의 하였다. 그림 6에서와 같이 상판에 전극을 형성 시킨 IPS 모드는 기존의 IPS 모드에 비해 rise, decay time 모두 빨라지는 것을 알 수 있다. 또한 형성되어진 상판 전극 위의 유전층의 두께가 얇아질수록 응답속도가 빨라지는 것을 볼 수 있다. 유전층의 두께가 얇아질수록 구동 전압이 증가 하고, 액정층 상부 쪽의 전기장의 세기가 강해지기 때문에 rise time이 빨라진 것이고, 같은 셀 갭과 액정의 회전 점도(rotational viscosity) 조건에서 decay time이 빨라진 것은 액정에 전압인

가시 전기장 방향으로 틸트 되었고, 전압 무인가시 초기상태로 돌아올 때는 bend변형에 의한 K_{33} 탄성력의 영향을 받은 것이다.

	τ_{on} (ms)	τ_{off} (ms)
IPS	30	30
3.2 μm	30	27
2.4 μm	27	27
1.6 μm	27	27
0.8 μm	26	26

표 1. 상판의 전극이 있는 IPS 모드의 유전층 두께에 따른 응답속도 특성.

Table 1. Response characteristics depend on the thickness of the dielectric layer IPS mode including upper electrode.

4. 결론

본 논문에서 우리는 기존의 IPS 모드의 상판에 전극과 전극 위에 유전층을 형성시킴으로써 그에 따른 IPS 모드의 전기광학 특성 변화를 알아 보았다. 상판에 전극을 형성 시킴으로써 셀 공정상 야기 되었던 정전기의 방전 문제점을 용이하게 할 수 있게 하였고, 액정의 틸트를 이용하여 기존의 IPS모드보다 빠른 응답속도 특성을 보였으며, 전극위에 유전층을 형성시킴으로써 형성되는 경사 전기장을 이용한 액정의 제어로 수직전기장에 의한 투과율 저하를 감소 시켰다. 이와 같이 기존의 IPS 모드에 상판에 전극을 둠으로 상판의 무전극으로 인해 발생하는 여러 문제점을 보완 할 수 있었다.

5. 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업 연구결과로 수행되었음.

참고 문헌

[1] M. Oh-E. and K. Kondo, "Quantitative

- Analysis of Cell Gap Margin for Uniform Optical Properties Using In-Plane Switching of Liquid Crystals", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 36, p. 6798, 1997.
- [2] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, K. Ohmuro, Y. Koike, "A Super-High-Image-Quality Multi-Domain Vertical Alignment LCD by New Rubbing-Less Technology" *SID'98 Digest*, p. 1077, 1998.
- [3] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, "High-transmittance, wide-viewing-angle liquid crystal display controlled by fringe-field switching", *Asia Display'98*, p. 371, 1998.
- [4] Hiroshi Take, "Technology Trends on Large Area LC-TVs", *IDW'03, Digest*, p. 227, 2003.
- [5] B. W. Lee, C. W. Park, S. G. Kim, M. B. Jeon, J. Heo, D. S. Sagong, J. S. Kim, and J. H. Souk, "TFT-LCD with sub-10ms of all gray response time", *IDW'00, Digest*, p. 1153, 2000.
- [6] K. Hanaoka, Y. NaKanishi, Y. Inoue, S. Tanuma, Y. Koike, "A New MVA-LCD by polymer sustained alignment technology", *SID '04 Digest*, p. 1200, 2004.
- [7] P. J. Bos, P. A. Johnson, and R. Koehler/Beran, "A liquid crystal optical switching device(p -cell)", *SID '83 digest paper*, p. 30, 1983.
- [8] 김승재, 이종문, 이승희, "광학적 자기 보상 스플레이 구조를 갖는 새로운 액정 소자", *전기전자재료학회논문지*, 17권, 5호, p. 536, 2004.
- [9] S. H. Lee, H. Y. Kim, I. C. Park, B. G. Rho, J. S. Park, H. S. Park, and C. H. LEE, "Rubbing-free, vertically aligned nematic liquid crystal display controlled by in-plane field", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 71, p. 2851 (1997).
- [10] K. H. CHOI, S. H. Hong, H. Y. Kim, J. W. Koh and S. H. Lee, "A Novel vertical alignment display", *Mol. Cryst. and Liq. Cryst.*, Vol. 367, p. 793, 2001.
- [11] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 57, P. 2767, 19.