

---

# 고분자 안정화 블루상 액정셀의 전기광학특성 향상을 위한 지그재그 형태 전극 설계

강완석\* · 문병준\* · 이기동\*\*

Zig-zag electrode pattern for improvement of electro-optic characteristic in polymer stabilized blue phase liquid crystal cell

Wan-Seok Kang\* · Byung-June Mun\* · Gi-Dong Lee\*\*

---

이 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2010-0017005)

---

## 요 약

고분자 안정화 블루상 액정셀(Polymer-stabilized blue phase liquid crystal cell)은  $\mu s$  단위의 응답속도와 광시야각 및 액정의 배향을 위한 문지름 과정이 필요 없는 장점이 있다. 그러나 높은 구동전압과 낮은 Kerr 상수값으로 인해 유도되는 복굴절의 값이 낮아 고분자 안정화 블루상 액정셀의 전기광학특성을 저해하는 요인이 되었다. 본 논문에서는 지그재그 형태의 전극 구조를 제안하고 시뮬레이션을 통하여 제안된 전극 구조를 가지는 액정셀의 투과율 손실 없이 구동전압을 25% 이상 낮출 수 있음을 확인하였다.

## ABSTRACT

The polymer-stabilized blue phase liquid crystal (BPLC) cell has advantages such as sub-millisecond response time, wide viewing angle and no rubbing process for the alignment of liquid crystals. However, high operating voltage and low Kerr constant of the polymer-stabilized blue phase liquid crystal deteriorate the electro-optical characteristic of the polymer-stabilized BPLC cell. In this paper, we proposed novel zig-zag electrode in cell layout and confirmed that proposed electrode shape could reduce an over 25 percent of operating voltage for BPLC cell without degradation of transmittance by using Kerr constant simulation.

## 키워드

고분자 안정화 블루상 액정, 전극 구조, 시뮬레이션,

## Key word

Polymer-stabilized blue phase, Electrode shape, Simulation

---

\* 준회원 : 동아대학교 전자공학과 석사과정

\*\* 정회원 : 동아대학교 전자공학과 부교수 (교신저자, gdlee@dau.ac.kr)

접수일자 : 2010. 11. 08

심사완료일자 : 2010. 12. 02

## I. 서 론

오늘날의 액정 디스플레이소자는 정보화 사회의 다양한 곳에서 널리 사용되어지고 있다. 그 중에서 가정으로 확산되고 있는 LCD TV는 기존의 CRT TV에 비해 경량, 박형 및 저전력 등의 장점이 있고 단점으로 지적되어 왔던 협소한 시야각의 문제도 in-plane switching (IPS) [1], multi-domain vertical alignment (MVA) [2], patterned vertical alignment (PVA) [3], fringe-field switching (FFS) [4] 등의 다양한 액정모드를 이용하여 고품질의 영상을 폭넓은 시야에서 감상할 수 있다.

그러나 빠르게 움직이는 영상이나 3D LCD TV와 같이 빠른 응답속도를 요구하는 장치에서 광시야각 액정모드는 하강시간이 물질의 특성에 많은 부분을 의존하고 있으며, 이는 잔상 등의 문제를 유발하고 있다 [5]. 이러한 문제를 해결하기 위해 액정 소자가 아닌 액정구동의 방법과 이미지처리 부분에서 해결 방안을 연구하고 있다 [6]-[8].

차세대 액정소자의 하나인 고분자 안정화 블루상 액정은 전압의 off 상태에서는 광학적으로 등방성이며  $\mu\text{s}$  단위의 고속응답과 광시야각 및 액정배향을 위한 문지름 과정이 필요하지 않아서 제작공정의 관점에서 큰 장점을 가지고 있다 [9].

위와 같은 장점에도 불구하고 고분자 안정화 블루상 액정셀은 광시야각 액정모드보다 높은 구동전압과 낮은 광학특성이 극복되어야 할 문제이다. 고분자 안정화 블루상 액정셀의 전기광학특성을 개선하기 위해서는 현재 개발된 물질보다 훨씬 큰 kerr 상수값을 가지는 물질의 개발 및 최적화된 전극 구조로 낮은 구동전압에서 큰 유도 복굴절 값을 가지도록 전극 구조의 설계와 최적화된 구동 파형이 필요하다.

본 논문에서는 'TechWiz LCD' (사나이시스템, 한국) 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션 방법을 사용하여 새로운 형태의 전극 구조를 설계하여 고분자 안정화 블루상 액정셀의 광학특성과 구동전압을 연구 하였다.

## II. 고분자 안정화 블루상 액정셀의 스위칭 원리

고분자 안정화 블루상 액정셀을 투과축이 교차된 편광판과 검광판 사이에 두고 전압의 off 상태에서 액정셀은 광학적인 등방성으로 인하여 dark 상태가 된다. 전압을 인가하여 전계가 형성되면 액정셀 내부의 Kerr 효과에 의해 유도되는 복굴절의 표현식은 다음과 같다.

$$\Delta n_i = \lambda K E^2 \quad (1)$$

$E$ 는 인가된 전계이고  $\lambda$ 와  $K$ 는 각각 파장과 물질의 Kerr 상수이다. 위 수식에서 인가되는  $E$ 의 크기와 Kerr 상수가 커지게 되면 유도되는 복굴절의 값이 커지는 것을 쉽게 유추할 수 있다. 정규화 된 투과율의 방정식은 아래와 같다.

$$T = \sin^2 2\psi \times \sin^2 \left( \frac{\pi d \Delta n_i (V)}{\lambda} \right) \quad (2)$$

$\psi$ 는 편광판의 투과축과 액정디렉터 사이의 각도이고  $d$ 는 액정셀의 두께,  $\Delta n_i$ 는 전압에 크기에 따라 유도된 복굴절의 값이다. 위 식에서 최대 투과율을 얻으려면  $\psi = 45^\circ$ 와  $d \Delta n_i = \lambda/2$ 의 값을 가져야 한다.

## III. 고분자 안정화 블루상 액정셀의 구조 및 광학특성

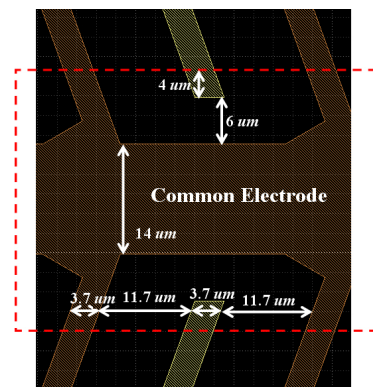


그림 1. S-IPS 액정셀의 모서리 전극 구조  
Fig. 1. Edge electrode structure of S-IPS liquid crystal cell

그림 1은 Super-IPS (S-IPS) 액정셀에서 사용되는 기본적인 전극 구조의 모서리 부분이다. 액정셀의 하판에 있는 pixel 전극과 common 전극은 투명 전극인 ITO(indium tin oxide)로 만들어져 있다. Pixel 전극과 common 전극의 폭은  $3.7\mu\text{m}$ 이며 좌·우 및 상부의 전극사이 간격은 각각  $11.7\mu\text{m}$ 와  $6\mu\text{m}$ 이다. 일반적으로 S-IPS 모서리 전극 구조 영역에서는 불균일한 전계에 의해 disclination이 발생되고 이는 액정셀의 투과율 손실을 초래하게 된다. 이를 제거하기 위해 BM (black mask)를 사용하여 투과율의 손실을 방지할 수 있지만 개구율 감소로 인한 투과율의 손실이 발생한다.

S-IPS 모서리 전극 구조 영역의 투과율을 계산하기 위해 고분자 안정화 블루상 액정층 (Kerr 상수 =  $5.5 \text{ m/V}^2$ ,  $\Delta\epsilon = 4.5$ ,  $\Delta n = 0.15$ )을  $3.4\mu\text{m}$ 의 두께로 설정하고, 전압은 0 ~ 210V까지 3V씩 인가전압의 크기를 다르게 하여 계산하였다. 붉은색 파선으로 표시한 BM영역의 크기는 모서리 전극 구조에 의해 발생된 disclination이 완전히 제거될 수 있는  $34\mu\text{m}$ 로 설정하였고 시뮬레이션을 통하여 계산된 투과율은 그림 2와 같다.

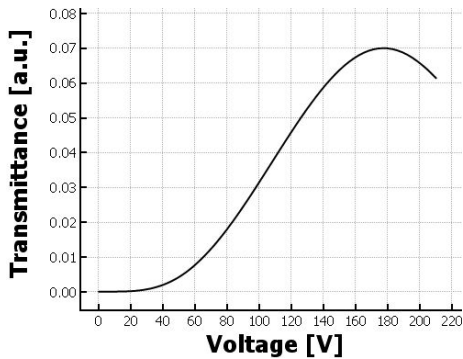


그림 2. S-IPS 모서리 전극 구조의 투과율  
Fig. 2. Transmittance for edge electrode structure of S-IPS

S-IPS 전극 구조를 사용한 고분자 안정화 블루상 액정셀의 최대 투과율은 180V에서 0.07의 값을 보여주고 있고 S-IPS 모서리 전극 구조 영역의 투과율이 다소 낮은 이유는 시뮬레이션 영역에서 BM의 영역이 많은 부분을 차지하고 있으며 시뮬레이션에 사용한 물질의 낮은 Kerr 상수값으로 인해 유도된 복굴절의 값이 작은 것으로 추측된다.

#### IV. 전기광학특성 향상을 위한 전극 구조 제안

S-IPS 전극 구조에서 투과율 향상을 위해 사용된 BM은 액정셀의 개구율을 감소시켜 투과율이 떨어지게 되는 원인이었다. 따라서 모서리 전극 구조에서 발생하는 disclination을 BM영역 내에 위치시키면서 BM영역을 줄일 수 있는 지그재그 형태의 전극 구조의 모양은 아래의 그림 3과 같다 [10].

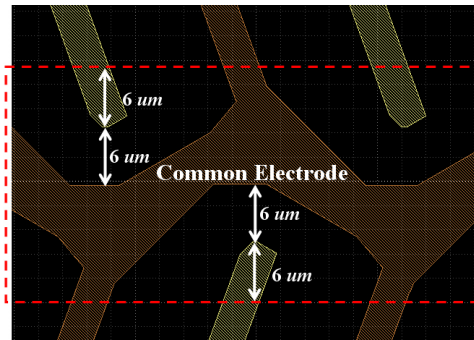


그림 3. 지그재그 형태의 제안된 전극 구조  
Fig. 3. The proposed zig-zag electrode structure

제안된 구조의 pixel 전극과 common 전극의 폭과 전극 사이 간격은 S-IPS 전극 구조와 동일하다. 하지만 제안된 전극 구조에 사용된 BM의 크기는  $24\mu\text{m}$ 이며 기존 전극 구조의 BM보다 약 30%정도 감소된 크기이다. 줄어든 BM의 크기가 모서리 전극 구조 영역의 투과율에 주는 영향을 조사하기 위해 기존과 동일한 고분자 안정화 블루상 액정 파라미터와 두께로 설정한 후 BM의 폭만  $24\mu\text{m}$ 로 설정하였다. 지그재그 형태의 제안된 전극 구조의 액정셀 투과율은 그림 4와 같다.

지그재그 형태의 제안된 전극 구조를 사용하여 고분자 안정화 블루상 액정셀의 모서리 전극 구조 영역의 투과율을 계산한 결과, 기존의 모서리 전극 구조 대비 약 30%의 투과율 향상 및 약 10V의 구동전압이 낮아짐을 확인할 수 있다.

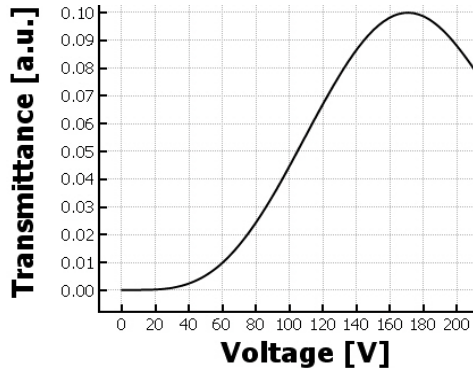


그림 4. 제안된 전극 구조의 투과율  
Fig. 4. Transmittance of the proposed electrode structure

위 결과는 제안된 전극 구조에 사용된 BM 영역이 감소하여 모서리 전극 구조의 활성영역이 증가하여서 액정셀의 투과율이 증가될 것이라는 예측과 일치한다.

### V. 제안된 전극 구조의 투과율과 구동전압 관계

고분자 안정화 블루상 액정셀은 높은 구동전압으로 인해 소비전력이 큰 단점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 Kerr 상수가 현재보다 큰 물질을 합성하거나 혹은 전계의 세기를 높이는 방법으로 더 큰 유도 복굴절을 얻을 수 있다. 전계는 전압의 크기에 비례하고 전극 사이의 간격에 반비례하므로 제안된 전극 구조의 pixel 전극의 폭을 증가시키며 액정셀의 투과율과 구동전압의 관계를 조사하였다. 그림 5는 pixel 전극 구조의 폭을 각각 2 $\mu\text{m}$ , 4 $\mu\text{m}$ , 5 $\mu\text{m}$ 씩 증가시키며 계산한 투과율 그래프이다.

Pixel 전극의 폭을 4 $\mu\text{m}$  증가시킨 후 구동전압 및 투과율을 계산한 결과 135V에서 0.0861의 최대 투과율 값이 계산되었다.

비록 pixel 전극의 폭이 증가함으로 인해 활성영역의 폭이 줄어 투과율은 감소하였지만 두 전극 사이의 전계의 세기가 증가하게 되어 약 35V 가량의 구동전압이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

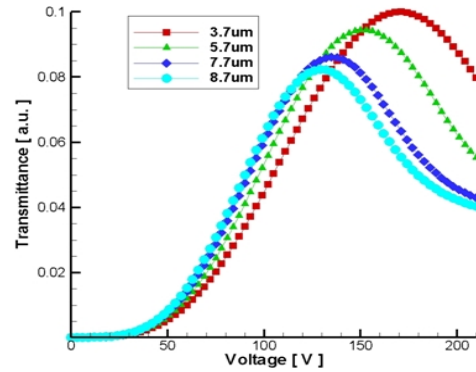


그림 5. Pixel 전극 폭의 증가에 따른 투과율  
Fig. 5. Transmittance in accordance with the increasement of the pixel electrode width

이는 3.7 $\mu\text{m}$ 의 pixel 전극 폭을 가진 제안된 전극 구조와 비교하였을 경우, 구동전압은 약 21% 감소시킬 수 있고 투과율은 약 14% 가량 감소되지만 기존의 S-IPS 모서리 전극 구조에 비해 여전히 높은 투과율 값을 보여준다.

### VI. 결론

기존의 S-IPS 모서리 전극 구조에서 발생하는 disclination에 의한 투과율 저하를 방지하기 위해서 사용되는 BM은 액정셀의 개구율을 저하시켜 투과율을 감소시키는 원인이었다.

본 논문에서는 지그재그 형태의 제안된 전극 구조를 사용하여 BM의 크기를 약 30% 줄일 수 있었고 활성영역의 개구율 향상을 통하여 모서리 전극 구조 영역에서 투과율을 약 40% 향상시켰다. 더불어 고분자 안정화 블루상 액정셀의 문제점 중의 하나인 높은 구동전압을 낮추기 위하여 pixel 전극 구조의 폭을 증가시키면서 구동전압을 조사하였고, 그 결과로써 제안된 전극 구조는 기존의 모서리 전극 구조 영역의 투과율보다 높은 투과율을 유지하면서 구동전압을 25% 이상 낮출 수 있었다.

참고문헌

- [ 1 ] M. Oh-e and K. Kondo, "Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode," Appl. Phys. Lett., Vol. 67, pp. 3895-3897, 1995.
- [ 2 ] A. Takeda, S. Kataoka, T. Sasaki, H. Chida, H. Tsuda, K. Ohmuro, T. Sasabayashi, Y. Koike and K. Okamoto, "A super-high-image-quality multi-domain vertical alignment LCD by new rubbing-less technology," SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 37, pp. 1077-1080, 1998.
- [ 3 ] K. H. Kim, K. Lee, S. B. Park, J. K. Song, S. N. Kim and J. H. Souk, "Domain divided vertical alignment mode with optimized fringe field effect," Proc. Asia Display, pp. 383-386, 1998.
- [ 4 ] S. H. Lee, S. L. Lee and H. Y. Kim, "Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching," Appl. Phys. Lett., Vol. 73, pp. 2881-2883, 1998.
- [ 5 ] P. Yeh and C. Gu, Optics of Liquid Crystal Displays, New York, U.S.: John Wiley & Sons Inc, 1999.
- [ 6 ] S. S. Kim, B. H. Berkeley and T. S. Kim, "Advancements for highest performance LCD-TV," SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 37, pp. 1938-1941, 2006.
- [ 7 ] S. S. Kim, "The world's largest (82-in.) TFT-LCD," SID Int. Symp. Digest Tech. Papers 36, pp. 1842-1847, 2005
- [ 8 ] S. S. Kim, B. H. You, N. D. Kim and B. H. Berkeley, "Novel 120-Hz TFT-LCD motion-blur-reduction technology with integrated motion-compensated frame-interpolation timing controller," Journal of SID 16/3, pp. 403-413. 2008.
- [ 9 ] H. Kikuchi, M. Yokota, Y. Hisakado, H. Yang and T. Kajiyama, "Polymer-stabilized liquid crystal blue phases," Nat. Mater., Vol. 1, pp. 64-68, 2002.
- [10] J. S. Yang, S. W. Choi, K. M. Kim, W. R. Lee, J. H. Son, J. H. Lee, T. W. Ko, H. C. Choi and G. D. Lee, "Novel electrode structure in the Super-IPS LC cell for high-aperture ratio," SID'07 Dig., pp 752-759, 2007.

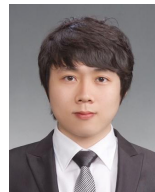
저자소개



**강완석(Wan-Seok Kang)**

2009년 2월 동아대학교  
전자공학과(공학사)  
2009년 3월~현재 동아대학교  
전자공학과 석·박사통합  
과정

※ 관심분야 : Liquid crystal device



**문병준(Byung-June Mun)**

2010년 2월 동아대학교  
전자공학과(공학사)  
2010년 3월~현재 동아대학교  
전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : Optical compensation design



**이기동(Gi-dong Lee)**

1989년 부산대학교 전자공학과  
(공학사)  
1991년 부산대학교 전자공학과  
(공학석사)

2001년 부산대학교 전자공학과(공학박사)  
1991년~1997년 삼성SDI LCD R&D 연구원  
2001년~2003년 Kent State University Research Fellow  
2003년~2004년 LG Display 사외 위촉 교수  
2004년~현재 동아대학교 전자공학과 부교수  
※ 관심분야 : Liquid crystal device