

FFS모드 LCD의 투과율 향상을 위한 전극 구조 개선

김봉식¹, 오현민¹, 박우상^{1,a}

¹ 인하대학교 전자공학부

Improvement of Electrode Structure of FFS Mode LCD for Obtaining High Transmittance

Bong-Sik Kim¹, Hyun-Min Oh¹, and Woo-Sang Park^{1,a}

¹ Department of Electronics Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received February 28, 2011; Revised March 22, 2011; Accepted March 28, 2011)

Abstract: In this study, we proposed a novel electrode structure for the fringe field switching (FFS) mode LCD and performed a three-dimensional computer simulation to calculate the optical transmittance for the new structure. In the simulation Erickson-leslie equation and Berreman 4×4 matrix were used for obtaining the director distribution profiles of liquid crystal molecules and the electro-optical characteristics, respectively. Considering the complexity of the motional equation of the liquid crystal molecules, FDM (finite difference method) was used as a numerical method. From the results, We revealed that the light transmission of the newly designed pixel structure is expended to the edge of the pixel electrode. We also confirmed that the light transmittance increased more than 13% compared to that of the conventional electrode structure.

Keywords: Fringe field switching, FFS, Liquid crystal display, LCD, Pixel, Common

1. 서 론

액정디스플레이 장치는 CRT (cathode ray tube)를 대체하여 컴퓨터 모니터 및 TV에 본격적으로 적용되면서 성능 향상을 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 1972년 Schadt가 제안한 TN (twisted nematic) 모드 액정디스플레이는 현재까지 가장 널리 사용되고 있으나 시각 방향에 따라 흑백의 반전 혹은 대조비 저하가 발생하는 문제를 보이고 있다. 이러한 TN-LCD (TN-liquid crystal display)의 좁은 시야각 문제를 해결하기 위하여 VA (vertically aligned)모드와 IPS (in-plane switching) 모드가 제안되었다 [1,2]. VA 모드는 IPS 모드에 비하여 상대적으로 빠른 응답속도를 갖지만, 액

정의 거동 특성상 높은 투과율을 얻기가 힘들며 이를 보완하기 위하여 백라이트 부분에 높은 전압이 인가되어 전력 소모가 크다는 단점이 존재한다. IPS 모드는 액정 분자가 수평전장에 의해 거동하도록 설계되었으며 액정분자의 거동 특성상 기존의 TN 모드에 비해 시야각이 매우 뛰어난 장점을 가지고 있다. 그러나 IPS 모드의 문제점으로 지적되고 있는 상대적으로 느린 응답속도, 낮은 개구율 등과 같은 문제는 해결해야 할 과제로 남아 있다.

1998년 제안된 FFS (fringe field switching)모드는 IPS 모드에서의 이러한 단점들을 상당 부분 개선함으로써 TN 모드에 버금가는 높은 투과율과 IPS 모드에 필적하는 넓은 시야각을 확보하는 등 전반적인 측면에서 상당히 우수한 특성을 보이는 것으로 알려져 있다 [3,4]. 그러나 FFS모드 역시

a. Corresponding author; wspark@inha.ac.kr

화소전극 가장자리 부위의 투과율이 정상동작영역에 비하여 매우 낮으며, 액정의 동작 또한 안정되지 않은 특성을 보인다. 이러한 부위는 투과율 제어가 불가능하므로 일반적으로 이 영역을 black matrix로 차단하고 있으나 결과적으로 이는 개구율 감소로 인한 투과율 저하를 유발하고 있다. 따라서 이러한 화소전극 가장자리부의 투과율 개선은 FFS 모드의 특성개선에 필수적 사항이라 할 수 있다 [5-8].

본 연구에서는 FFS 모드에서의 화소전극 가장자리 부위의 투과율 감소 문제를 개선하고, 동작 특성을 향상시키기 위하여, 새로운 형태의 전극 구조를 제안한다. 또한 3차원적 시뮬레이션을 통하여 새로운 전극 구조 하에서의 FFS 모드의 광학적 특성 향상에 대해 정량적 평가를 시도하였다.

2. 실험 방법

2.1 설계 개념 및 시뮬레이션 방법

표 1은 시뮬레이션에 적용된 FFS 모드의 조건이다. 계산에 사용된 액정의 주요 물성치는 $K_{11}=13.2$ pN, $K_{22}=6.09$ pN, $K_{33}=13.4$ pN, $\varepsilon_{\parallel}=7.1$, $\varepsilon_{\perp}=2.9$, $n_e=1.5905$, $n_o=1.487$ 이다.

그림 1은 본 연구에서 제안하는 전극의 구조를 나타내고 있다. 전극간의 슬릿간격 (electrode distance)은 $5 \mu\text{m}$, 전극의 폭 (electrode width)은 $3 \mu\text{m}$ 로 설계하며, 슬릿의 경사각 (slit angle)은 11° 로 설계한다. 액정의 초기 경사각 (pre-tilt)은 2° , 편광자의 투과축은 0° , 검광자의 투과축은 90° 로 설정함으로써 normally black 모드로 동작하도록 설계한다.

그림 2에 나타낸 기존의 FFS 모드의 전극 구조는 화소전극과 데이터 라인 사이에 절연에 필요한 간격이 필요하기 때문에 투과율 특성을 향상시키기에 큰 약점을 가지고 있었다. 새로운 전극 구조에서는 이러한 단점을 개선하기 위하여 화소전극 하단에 위치하던 공통전극을 화소전극상단에 위치하게 하고, 공통전극의 슬릿을 최대한 화소 가장자리까지 확장함으로써 기존의 전극 구조보다 가장자리부에서 최대한의 투과율을 얻을 수 있도록 설계한다.

한편, 액정의 광학적 특성을 계산하기 위하여 화소에 대한 3차원적 시뮬레이션을 수행하였으며 이를 통하여 화소 전면에서의 투과 상태를 구하였다. 액정의

Table 1. Values of the material and design parameters used in the simulation.

Parameters	Values
Electrode width, $w(\mu\text{m})$	3
Electrode distance, $l(\mu\text{m})$	5
Cell gap(μm)	3.6
Pretilt angle($^\circ$)	2
slit angle, $\theta(^\circ)$	11
LC properties	
$K_{11}(\text{pN})$	13.2
$K_{22}(\text{pN})$	6.09
$K_{33}(\text{pN})$	13.4
Δn at 550nm	0.1035
$\Delta\varepsilon$	4.2

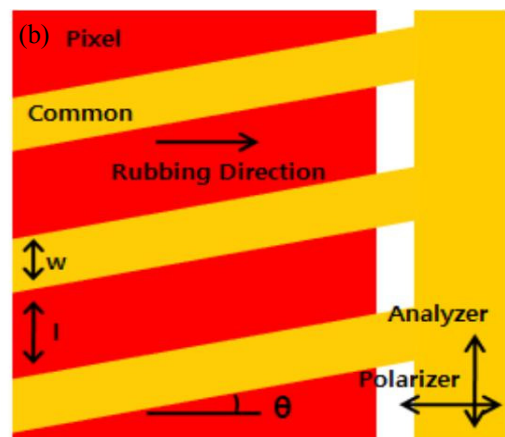
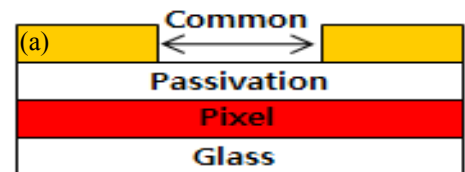


Fig. 1. (a) Cross-sectional and (b) top view of the newly proposed electrode structure for the FFS mode. The common electrode is located on the pixel electrode.

광학적 특성은 액정층에서의 전위분포 및 액정의 방향자 분포를 구한 후 이 결과로부터 Berreman의 4×4매트릭스 방법을 사용하여 계산할 수 있다. 액정분자의 방향자 분포를 계산하기 위한 운동방정식으로는 액정의 내부 관성을 무시한 에릭슨-레슬리 (Erickson-Leslie) 식을 채택하였으며 이 식은 이방 탄성계수 모델에 대하여, 텐서 표기법으로 나타낼 수 있기 때문에 최종적으로

다음과 같이 복잡한 형태로 표현된다.

$$\begin{aligned} \gamma \frac{\partial n_i}{\partial t} = & \frac{1}{3} (-K_{11} + 3K_{22} + K_{33})(n_j Q_{ji}) \\ & + (K_{11} - K_{22})(Q_{il.lj} + Q_{jl.li}) \\ & + \frac{1}{2}(K_{33} - K_{11}) \\ & \times n_j (2Q_{lm,m} Q_{ji.l} + 2Q_{lm} Q_{ji,lm} - Q_{lm,i} Q_{lm,j}) \\ & + 2q_0 K_{22} n_j (e_{iml} Q_{lj,m} + e_{jml} Q_{li,m}) \\ & + \varepsilon_0 (\varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}) n_j \Phi_{,j} \Phi_{,i} + \lambda n_i \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, γ 는 회전 점성계수를, n_i 는 방향자의 직교 성분, λ 는 $|n|=1$, 즉 방향자가 단위벡터임을 내포하는 Lagrange 승수를 나타낸다. K_{11} , K_{22} , K_{33} 는 각각 펼침 (splay), 꼬임 (twist), 굽음 (bend) 변형에 관련된 탄성계수, q_0 는 액정의 자연 꼬임을 유발하는 카이럴성 (chirality)을 의미한다. 또한, $\varepsilon_{\parallel}$ 과 $\varepsilon_{\perp}$ 는 각각 액정의 장축 및 단축 방향의 비유전율을 나타낸다. 그리고 아래첨자의 반복되는 index는 Einstein의 표기법에 따른 것이다. e_{ijk} 는 순열 기호 (permutation-symbol)를 의미하며, Q_{ij} 는 order tensor로써 방향자 $\vec{n}$ 에 대해 $Q_{ij} = n_i n_j - \delta_{ij}/3$ 로 표현되며 $\Phi(x, y, z)$ 는 전위분포함수로서 맥스웰 방정식으로부터 유도되는 Laplace 방정식에 적절한 경계조건을 적용하여 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있다 [9,10].

수치해석에는 식(1)이 복잡하고, 고차 비선형 방정식인 점을 고려하여 유한차분법 (finite difference method, FDM)을 적용하였다. 또한 유한차분법을 적용하기 위해서 공간적으로 격자는 균일 격자간격으로 하였으며 중앙차분법 (central space scheme)을 사용하였다. 상하기판에서의 방향자는 러빙 방향과 초기경사각에 의해 주어지고, 항상 고정되어 있다고 가정하여 (strong anchoring) 디리클레 (dirichlet) 경계조건을 사용하였다. 특히, 전위분포의 계산을 효율적으로 수행하기 위하여 z 축 방향의 양 끝에서 노이만 (Neumann)경계조건을 적용하였다. 또한 방향자와 전위 분포 모두에 있어, x 와 y 방향에 대해서는 주기 경계조건을 적용하였다. 시간적으로는 내삽법 (implicit method)의 경우 운동방정식의 비선형성으로 인해 많은 문제가 야기되므로, 외삽법 (explicit method)을 사용하여 시간 적분을 계산하였다 [11].

한편 전위 분포 시뮬레이션에서는 연속과도완화법 (successive over relaxation, SOR)이 적절한 경계조건에 대하여 적용되었다. 이때 정확한 계산을 위해

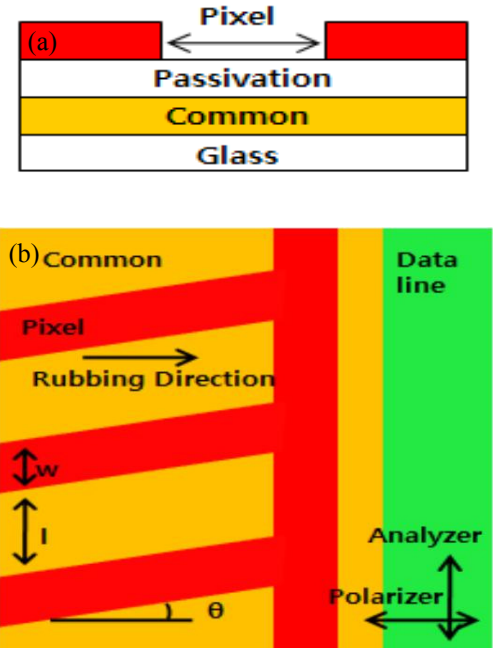


Fig. 2. (a) Cross-sectional and (b) top view of the conventional electrode structure of the FFS mode. The common electrode is located under the pixel electrode.

매 시간 단계에 대해 전위 분포 시뮬레이션이 수행되어야 하나, 많은 계산 시간이 요구되어지므로 전체 해에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 액정의 반응 속도에 따라 적절한 횟수로 줄여서 시뮬레이션 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 시뮬레이션 결과 및 토의

그림 3 (a)는 기존 전극 구조에 대한 전위 분포를 계산한 것으로 cell gap 중앙에서의 계산 결과이다. 이 계산 결과로부터 등전위선에 수직한 방향으로 형성되는 전기장에 대한 정보를 얻을 수 있으며 (그림 3 (b)), 따라서 전기장 방향으로 배열하는 액정분자의 방향자 분포를 예측할 수 있다. 전극의 가장자리 부위에서는 전기장의 왜곡으로 인하여 액정 분자의 거동을 제어하기 어렵기 때문에 데이터 라인과의 간격을 고려할 필요가 없는 공통전극을 화소전극의 윗부분에 배치함으로써 전극 중앙부분을 최대한 확장하였다.

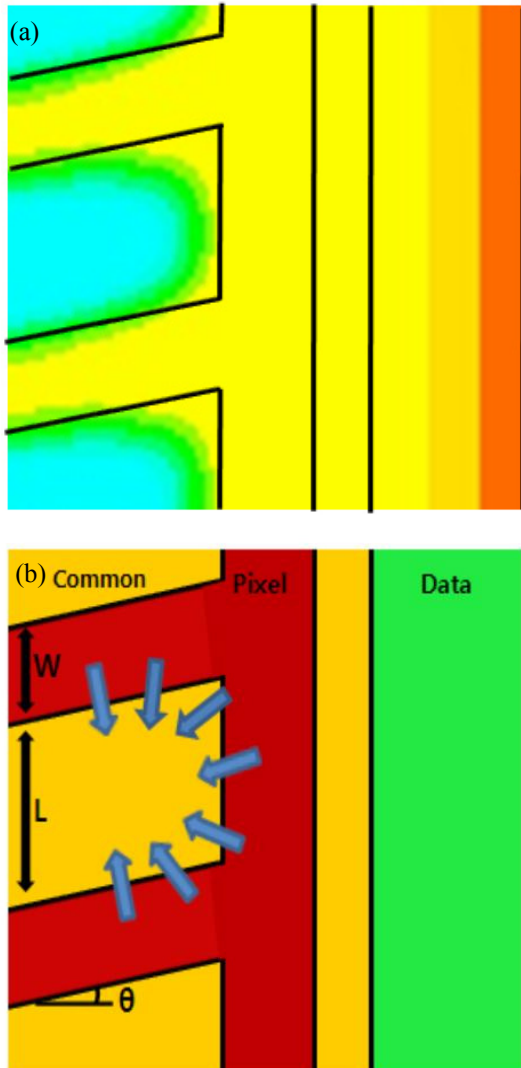


Fig. 3. Electrical simulation for the conventional electrode structure: (a) potential distribution and (b) schematic of electric field distribution in the middle layer of the cell.

그림 4 (a)는 이러한 전극 구조에 대한 전위 분포를 계산한 결과로써 그림 3(a)에서 보인 기존의 FFS 모드의 전위 분포와 반전된 양상을 나타낸다. 그림 4 (a)의 전위분포로부터 화소 및 전극 주변에서의 전기장 분포를 추정할 수 있으며 그 결과를 그림 4(b)에 모식적으로 나타내었다. 본 연구에서 제안한 한 전극구조에서의 결과 역시 기존과 마찬가지로 전극 가장자리 부근에서는 전기장 왜곡이 발생하였으며, 이로 인하여 화소 전 영역에 걸쳐서 액정의 방향자 분포를 균일하게 결과 역시 기존과 마찬가지로 전극

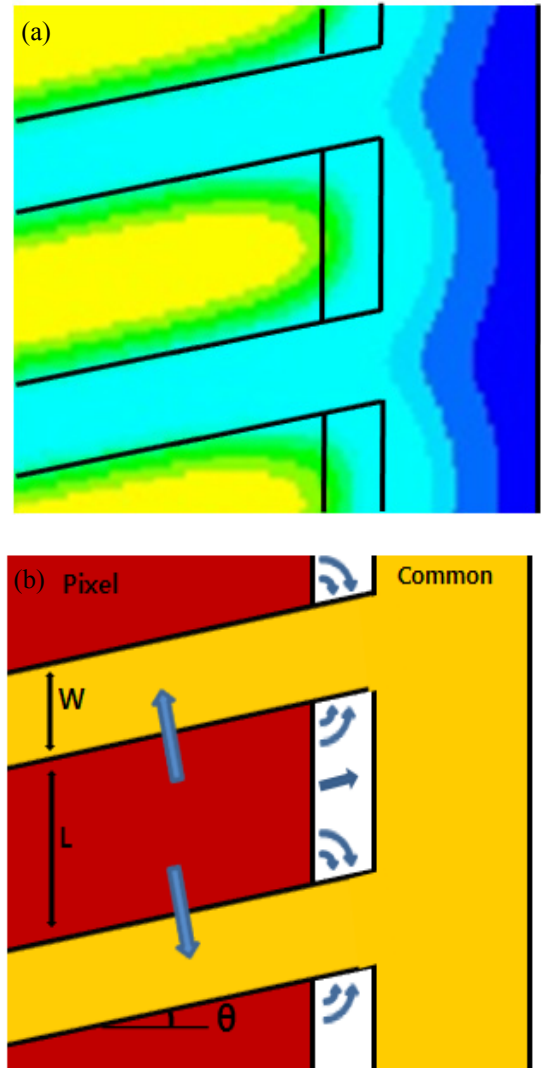


Fig. 4. Electrical simulation for the newly proposed electrode structure: (a) potential distribution and (b) schematic of electric field distribution in the middle layer of the cell.

가장자리 부근에서는 전기장 왜곡이 발생하였으며, 이로 인하여 화소 전 영역에 걸쳐서 액정의 방향자 분포를 균일하게 제어하는 것은 한계가 있다고 할 수 있다. 그러나 공통전극을 화소전극의 윗부분에 배치 함으로서 액정이 정상적으로 동작하는 전극 중앙 부분의 면적이 기존의 전극 구조에 비해 확장되었으며 그 결과 개구율 및 투과율이 크게 증가하였음을 확인 하였다.

그림 5는 본 연구에서 제안한 전극 구조와 기존 전극 구조에 대하여 투과율을 동일 조건, 동일 영역에

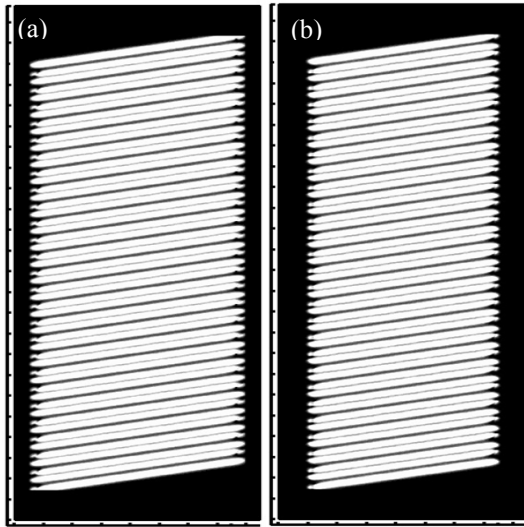


Fig. 5. Calculation results for the light transmission of (a) the newly proposed electrode structure and (b) the conventional electrode structure.

서 계산한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 새로이 제시된 구조에서는 화소의 가장자리 부분까지 빛이 투과되는 것을 알 수 있다. 계산 결과 기존모델의 투과율은 2.1% 새로운 모델의 경우 2.4%로 본 연구에서 제안한 전극 구조의 경우 기존 대비 약 13.8%의 투과율 증가를 보였다.

4. 결 론

본 연구에서는 FFS모드에서 화소전극 가장자리부의 투과율 향상을 위해 전극 구조를 새로이 제시하였으며 3차원적 시뮬레이션을 통하여 투과율 향상에 대한 정량적 분석을 수행하였다. 액정층에서의 전위분포 및 액정의 방향자 분포는 액정의 내부 관성 (inertial momentum)을 무시한 에릭슨-레슬리 (Erickson-Leslie)이론으로부터 계산하였으며 광학적 계산에는 Berreman의 4×4매트릭스 방법을 사용하였다.

수치해석에는 액정의 운동방정식이 복잡하고, 고차 비선형 방정식인 점을 고려하여 유한차분법 (finite difference method, FDM)을 사용하였다. 시간 미분의 계산에는 내삽법 (implicit method)의 경우 운동방정식의 비선형성으로 인해 많은 문제가 야기되므로 외삽법 (explicit method)을 사용하였다. 또한 전위분포 시뮬레

이션에서는 적절한 경계조건에 대하여 연속과도완화법 (successive over relaxation, SOR)방법이 적용되었다.

본 연구에서는 화소 전극과 데이터 라인 사이의 간격에 의한 투과율 손실을 최소화할 수 있도록 공통전극을 화소 전극 위에 배치함으로써 유효 투과 면적을 화소의 가장자리까지 확대시켰다. 또한 3차원적 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서 제안한 전극 구조에서는 빛의 투과 영역이 화소의 가장자리 부분까지 확대되는 것을 확인할 수 있었다. 계산 결과 기존모델의 투과율은 2.1% 새로운 모델의 경우 2.4%로 본 연구에서 제안한 전극 구조의 경우 기존 대비 약 13.8%의 투과율 증가를 보였다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

- [1] R. Kiefer, B. Weber, F. Windscheid, and G. Baur, *Japan Display*, 547 (1992).
- [2] J. F. Clerc, *SID Digest*, **35**, 758 (1991).
- [3] M. S. Kim, S. M. Seen, Y. H. Jung, H. Y. Kim, S. Y. Kim, K. H. Lee, Y. J. Lim, and S. H. Lee, *Jpn J. Appl. Phys.*, **44**, 8082 (2005).
- [4] S. H. Lee, S. L. Lee, H. Y. Kim, and T. Y. Eom, *SID Digest*, **30**, 202 (1999).
- [5] S. H. Lee, S. L. Lee, and H. Y. Kim, *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 2881 (1998).
- [6] M. S. Kim, Y. H. Jung, S. M. Seen, H. Y. Kim, S. Y. Kim, Y. J. Lim, and S. H. Lee, *Jpn J. Appl. Phys.*, **44**, 3121 (2005).
- [7] M. S. Kim, S. M. Seen, Y. H. Jeong, H. Y. Kim, S. Y. Kim, Y. J. Lim, and S. H. Lee, *Jpn J. Appl. Phys.*, **45**, 883 (2006).
- [8] W. J. Lee and W. S. Park, *22nd International Liquid Crystal Conf.*, (International Convention Center, Jeju, Korea, 2008).
- [9] D. W. Berreman and S. Meiboom, *Phys. Rev. Lett.*, **30**, 1955 (1984).
- [10] M. Kitamura, *SID Digest*, 540 (1995).
- [11] S. Dickmann, J. Eschler, O. Cossalter, and D. A. Mlynski, *SID Digest*, 638 (1993).