

論文2002-39SD-12-9

3차원 유한요소법을 이용한 TN 모드 액정 셀 특성 분석 연구

(A Study on the Characteristic of Twisted Nematic Liquid Crystal Cell by Three Dimensional Finite Element Method)

鄭柱滉*, 尹相鎬*, 李喆洙*, 尹錫仁*, 元太映*

(Jusick Jung, Sang-Ho Yoon, Cheolsoo Lee, Sukin Yoon, and Taeyoung Won)

요 약

본 논문에서는 액정 셀에서 전압에 따른 액정 거동을 수치 해석적으로 계산하는 방법과 그 적용 예를 보고한다. 액정 거동을 해석하기 위해 복잡한 구조에 적용이 용이한 3차원 유한요소법을 사용하여 액정 셀 내부의 전압 분포를 계산하였다. 액정 셀 내부에 대한 자유에너지 밀도를 고려하였으며, 에릭슨-레슬리(Ericksen-Leslie) 방정식과 라플라스(Laplace) 방정식을 해석함으로써 액정 셀의 스위칭 특성을 계산하였다. 액정 방향자 분포를 이용하여 액정 셀의 광투과 특성을 Berreman's 4×4 방법으로 계산하였고, 문턱 전압과 응답 속도를 확인하였다.

Abstract

This paper reports a methodology and application for calculating distribution of the director in a liquid crystal cell by a numerical technique. To calculate distribution of the director, we applied a three dimensional finite element method (FEM) and calculated the distributions of electric potential and director in the liquid crystal cell. We have considered the free-energy density in the bulk of liquid crystal cell and calculated the switching property by the Ericksen-Leslie equation and the Laplace equation. We have calculated the optical transmission with distribution of the director by Berreman's method and confirmed the threshold voltage and the response time.

Keyword : finite element method, liquid crystal, optical transmission, Ericksen-Leslie equation

I. 서 론

액정을 이용하는 디스플레이 소자는 초박형, 경량, 저 소비전력의 장점을 가지고 있어 휴대성이 요구되는 장치에 사용되어지고 있다. 기존의 CRT(cathod ray tube)를 사용하는 디스플레이 장치에 비하여 상대적으로 시야각이 작고 응답특성이 느려 동영상 구현이 어렵다는 단점이 있다. 액정 디스플레이 소자는 인가되는

전압과 시간에 따른 액정의 스위칭 특성에 따라 빛의 투과 정도와 구현 가능한 콘트라스트, 색재현성이 결정되므로 시간에 대한 액정 방향자의 분포를 정확히 분석하는 것이 중요하다.

액정의 스위칭 특성과 시야각 특성을 향상시키기 위해 MVA(multi-domain vertical alignment), SIPS(super in-plane switching) 모드와 같이 점차 복잡한 구조를 가지는 액정 셀을 사용한 디스플레이 패널에 대한 연구가 진행되고 있다.^[1-3] 지금까지는 액정 거동 해석을 위한 수치해석 방법으로 유한차분법 또는 2차원 유한요소법을 사용하였다. 유한차분법은 복잡한 구조의 액정 셀에 적용이 어렵고, 많은 그리드의 개수가

* 正會員, 仁荷大學校 電子·電氣工學部

(School of Electrical Engineering, Inha University)

接受日字:2001年9月4日, 수정완료일:2002年11月29日

요구되므로 계산 량이 많아지는 단점이 있고^[4] 2차원 유한요소법은 액정 셀 구조와 전극형태로 인해 나타나는 액정분자간의 영향을 정확히 예측하는데 어려움이 있다.^[6]

본 논문에서는 복잡한 구조에 적용이 용이한 3차원 유한요소법을 사용하여 액정 셀에서 전압에 따른 액정 거동을 수치해석적으로 계산하였다. 액정 셀의 픽셀 전극 및 공통 전극에 인가된 전압에 의한 전압 분포를 계산하였고, 전계 분포를 해석하였다. 또한, 액정 분자의 방향자 단위 벡터 \vec{n} 을 이용하여 \vec{n} 의 x, y, z성분으로 액정 분자의 거동을 나타내는 방법을 사용하여 네마틱(nematic) 액정에 대한 자유에너지 밀도를 고려하였고, 라플라스 방정식을 해석하여 전위 분포를 얻었고, 에릭슨-레슬리 방정식을 해석함으로써 액정 셀의 스위칭 특성을 확인하였다. 시간 과도해석을 위해서 양함수법(explicit scheme)을 사용하였고, Berreman's 4×4방법^[7]을 사용하여 광투과 특성을 확인하였다.

II장에서는 본 연구에서 개발된 시뮬레이터에서 적용된 액정 거동 방정식에 대한 모델과 유한요소법을 적용하기 위한 수치 해석 방법을 설명한다. III장에서는 본 해석기를 이용한 시뮬레이션 결과를 논의한다.

II. 지배 방정식 및 수치 해석 방법

전압이 인가됨에 따라 변화하는 액정 방향자의 분포를 계산하기 위해서 에릭슨-레슬리 방정식을 3차원 유한요소법을 사용하여 해석하였다. 에릭슨과 레슬리의 연속체 이론에 의하면 네마틱 액정의 동작 특성은 다음과 같이 표현된다.^[5]

$$\gamma_1 \dot{n}_i = \gamma n_i - \frac{\partial F}{\partial n_i} + \left(\frac{\partial F}{\partial n_{i,j}} \right)_{,j} \quad (1)$$

식 (1)에서 n_i 는 액정의 방향자로 $|\vec{n}| = 1$ 인 단위 벡터이고, F 는 액정분자의 자유에너지 밀도이며, γ 는 라그랑지 승수(Lagrange multiplier), γ_1 은 회전점성계수이다. 라그랑지 승수는 단위 벡터인 n_i 의 크기를 항상 1로 만족 시켜주기 위해 사용된다. 그리고, 비압축성 조건과 유동속도 변화율은 없는 것으로 가정하였다.

액정 분자의 자유에너지 밀도는 액정 분자의 변형에 의한 탄성 에너지와 인가되는 전압에 의한 전기장 에너지로 구성되는데, 액정 분자의 탄성에너지는 프랭크-

오신(Frank-Ossen)에 의해

$$F = \frac{1}{2} k_{11} (\nabla \cdot \vec{n})^2 + \frac{1}{2} k_{22} (\vec{n} \cdot \nabla \times \vec{n})^2 + \frac{1}{2} k_{33} (\vec{n} \times \nabla \times \vec{n})^2 + \frac{2\pi}{p_0} k_{22} (\vec{n} \cdot \nabla \times \vec{n}) - \frac{1}{2} \epsilon_0 \nabla V \cdot \epsilon \cdot \nabla V \quad (2)$$

으로 표현된다.^[4] 식 (2)의 k_{11}, k_{22}, k_{33} 는 프랭크 탄성계수이고, p_0 는 자연 피치(natural pitch), ϵ 은 액정 분자의 유전율 텐서, V 는 액정 셀 내부의 전위 값이다. 전위 분포는 다음과 같은 라플라스 방정식을 사용하여 계산한다.

$$\nabla \cdot (\epsilon(x, y, z) \nabla \phi(x, y, z)) = 0 \quad (3)$$

액정 거동을 해석하기 위해서는 식 (1)과 식 (3)으로 구성되는 커플링 방정식을 해석해야 한다. 에릭슨-레슬리 방정식은 비선형 편미분 방정식으로 수치해석을 수행하기 위한 방법으로 초기 액정 분포에 의한 전위 분포를 해석하고, 전위 분포를 이용하여 다시 액정 분자의 분포를 구하는 순차적인 방법^[6]을 사용하였다.

액정 분자의 스위칭 특성을 지배하는 식 (1)을 3차원 유한요소법으로 해석하기 위한 정식화 방법으로 갤러킨 방법(Galerkin method)을 사용하였다. 갤러킨 방법은 가중 잔여법의 하나로서 가중함수로 절점의 값을 내삽(interpolation)하기 위한 기저함수를 사용한다. 식 (1)의 잔여치 γ' 는

$$\gamma' = \gamma n_i - \frac{\partial F}{\partial n_i} + \left(\frac{\partial F}{\partial n_{i,j}} \right)_{,j} - \gamma_1 \dot{n}_i \quad (4)$$

로 표현되며, 가중함수로 기저함수를 곱한 가중 잔여치는

$$R_i^e = \int_V N_i^e \gamma' dV, \quad i=1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

으로 표현된다. 식 (4)를 식 (5)에 대입하면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$R_i^e = \int_V N_i^e \left[\gamma n_i - \frac{\partial F}{\partial n_i} + \left(\frac{\partial F}{\partial n_{i,j}} \right)_{,j} - \gamma_1 \dot{n}_i \right] dV \quad (6)$$

식 (6)을 행렬 방정식으로 변환하면,

$$[R_i^e] = [K^e][n_i^e] - [M^e][\dot{n}_i^e] \quad (7)$$

으로 정리되고, 식 (7)의 우변을 구성하는 항들은

$$[K^e][n_i^e] = \int_V N_i^e \left[\gamma n_i - \frac{\partial F}{\partial n_i} + \left(\frac{\partial F}{\partial n_{i,j}} \right)_{,j} \right] dV \quad (8)$$

$$[M^e][\dot{n}_i^e] = \int_V N_i^e \gamma_i \dot{n}_i dV \quad (9)$$

으로 표현된다. 기중함수를 곱한 식 (7)의 좌변이 0이 되도록 하는 n_i 가 액정 방향자의 해이므로 식 (1)은 식 (10)으로 정리되어 진다.

$$[R_i] = [K][n_i] - [M][\dot{n}_i] = [0] \quad (10)$$

시간과도 해석을 위해서 시간에 대한 이산화를 오일러 방법으로 수행하였다. 식 (10)에서 시간에 대한 방향자의 변화율 \dot{n}_i 는

$$\dot{n}_i = \frac{n_i^m - n_i^{m-1}}{\Delta t} \quad (11)$$

으로 표현되는데, 위첨자 m은 현재 구하고자 하는 시간 단계를 나타내고, m-1은 이미 구하여 알고 있는 전 시간 단계를 의미하고, Δt 는 시간 간격을 나타낸다. 식 (10)에 식 (11)을 대입하고, 양변에 Δt 를 곱하여 정리하면

$$[M][n_i^m] = [M][n_i^{m-1}] - \Delta t [K^e][n_i^{m-1}] \quad (12)$$

으로 재구성 할 수 있다. 식 (12)를 계산함으로써 시간에 따른 액정 방향자의 분포를 해석하였는데, 해의 안정성을 위하여 $|\vec{n}| = 1$ 을 만족시켜 주기 위한 라그랑지 승수 γ 대신 매 시간 단계에서 $|\vec{n}| = 1$ 로 정규화 해주는 방법을 사용하였다. 경계조건으로 액정 분자는 러빙에 의해 표면에서 움직일 수 없다고 가정하였다.

액정 셀 내의 전위 분포를 계산하기 위한 식 (3)을 3차원 유한요소방법으로 해석하기 위하여 리츠 방법(Ritz method)을 사용하여 정식화하였다. 식 (3)에 변분 원리를 적용하면 라플라스 방정식의 범함수 f^e 는 식 (13)으로 표현된다.

$$\frac{\partial f^e}{\partial \phi_i^e} = \sum_j^4 \phi_j^e \int_V \left(\frac{\partial N_i^e}{\partial x} \epsilon \frac{\partial N_j^e}{\partial x} + \frac{\partial N_i^e}{\partial y} \epsilon \frac{\partial N_j^e}{\partial y} + \frac{\partial N_i^e}{\partial z} \epsilon \frac{\partial N_j^e}{\partial z} \right) dV \quad (13)$$

여기서, N_i, N_j 는 내삽을 위한 기저함수이다. 식 (13)을 행렬 방정식으로 구성하면 범함수 f^e 는 최소가 되어야 하므로,

$$\left[\frac{\partial f^e}{\partial \phi^e} \right] = [K^e][\phi^e] = 0 \quad (14)$$

으로 표현된다. 식 (14)를 만족하는 ϕ 을 계산함으로써 전위 분포를 구할 수 있다. 요소의 강성 행렬 $[K^e]$ 는

$$K_{ij}^e = \int_V \left(\frac{\partial N_i^e}{\partial x} \epsilon \frac{\partial N_j^e}{\partial x} + \frac{\partial N_i^e}{\partial y} \epsilon \frac{\partial N_j^e}{\partial y} + \frac{\partial N_i^e}{\partial z} \epsilon \frac{\partial N_j^e}{\partial z} \right) dV \quad (15)$$

으로 표현된다. 경계조건으로는 도체 내부에는 전기장이 존재하지 않고, 전위가 일정하다고 가정하여 도전체 표면에서 디리클리트 경계조건(Dirichlet boundary condition)을 적용하였다.

III. 시뮬레이션 결과 및 논의

TN 모드 액정 셀에서의 방향자 분포 해석을 위한 시뮬레이션을 수행하였고, 3차원 액정거동 해석기의 결과를 검증하기 위해 J. B. Davies의 결과⁽⁶⁾와 비교하였다. Davies는 2차원 유한요소법을 사용하여 액정 거동을 해석하였는데, 동일한 계산조건에서 수행하기 위해 얇은 3차원 구조를 구성하였고, 액정의 물질 특성 값은 $k_{11} = 11pN, k_{22} = 15pN, k_{33} = 17pN, \epsilon_l = 5, \Delta\epsilon = 14$ 을 사용하였다. 이 때, 강한 앵커링(strong anchoring)을 가정하였으며, 액정 영역 표면에서 정의되는 선경사각(pretilt angle)은 2° 를 사용하였고, 선꼬임각(pretwist angle)는 $0^\circ, 90^\circ$ 를 사용하여 TN(twisted nematic) 모드 액정 셀에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다. $z=5.0\mu m$ 인 상부기판의 중앙에 $20\mu m$ 의 길이로 구성된 픽셀 전극에는 2.5V의 전압이 인가되었고, $z=0.0\mu m$ 인 하부기판의 전 영역에 존재하는 공통전극에는 0V가 인가되었다. Davies의 결과는 2차원으로 전위 분포에 의한 방향자의 운동은 잘 표현하였지만, 액정 분자간의 상호 작용에 의한 탄성에너지를 표현하는 데는 한계가 있어 전경선(disclination line)의 발생 위치와 액정분자의 거동을 정확히 예측하지 못하였다.

<그림 1>은 선꼬임각 0° , 선경사각 2° 의 액정 초기

배열에 2.5V의 인가한 시뮬레이션 결과이다. $x=31\mu\text{m}$ 에서 전경선이 발생함을 확인할 수 있는데, 선꼬임각이 없으므로 액정 방향자의 회전 성분에 의한 상호작용보다는 전계의 방향과 크기에 의한 영향이 큰 것을 확인할 수 있다. z축에 대칭적인 전극 구조임에도 전경선이 전극의 중간 부분에 존재하지 않고, 좌측으로 치우치는 것을 확인할 수 있는데 선경사각에 의해 상대적으로 쉽게 움직일 수 있는 우측영역의 액정 방향자들이 더 빨리 이동하였기 때문으로 판단된다.

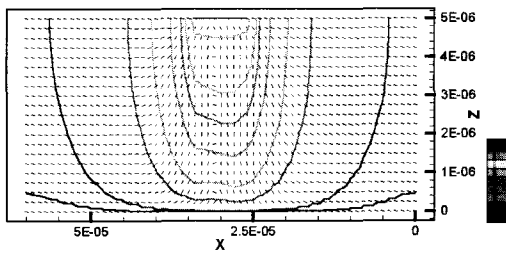


그림 1. 네마틱 액정 셀에서의 방향자와 전위 분포
Fig. 1. Schematic diagrams illustrating director orientation and electric potential distribution of nematic liquid crystal cell.

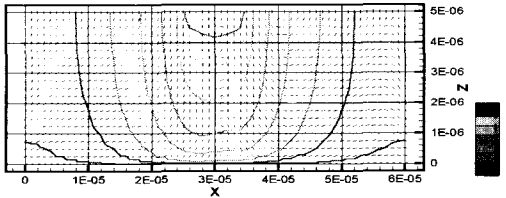
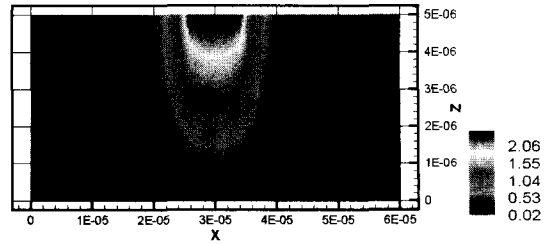
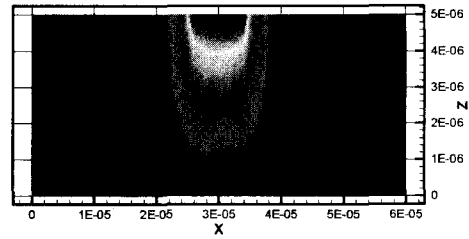


그림 2. TN 액정 셀에서의 방향자와 전위 분포
Fig. 2. Schematic diagrams illustrating director orientation and electric potential distribution of twisted nematic liquid crystal cell.

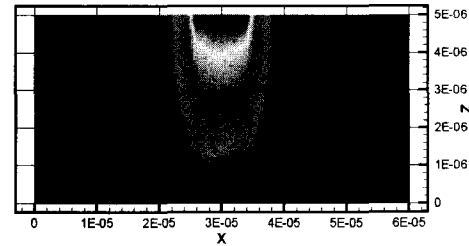
<그림 2>는 선꼬임각 90° , 선경사각 2° 의 액정 초기 배열 구조에 2.5V를 인가하였을 때의 시뮬레이션 결과이다. <그림 1>과 비교해 보면 선꼬임각이 존재하는 액정 셀의 경우는 회전 점성도와 탄성에너지에 의한 방향자의 상호 작용이 크게 발생함을 알 수 있다. 전극이 존재하여 전압이 인가되었던 영역 뿐 아니라 직접 전극에 접하지 않은 영역의 방향자들도 주변의 방향자들을 따라 이동하였음을 확인할 수 있다. 공통 전극에 0V로 인가된 하판 전극영역 보다 픽셀 전극에 2.5V가 인가된 상판 영역에서의 방향자 값이 크게 변화하였음을 알 수 있는데 하판영역에 비해 상대적으로



(a)



(b)



(c)

그림 3. TN 액정 셀의 전위 분포 (a)초기 액정 구조의 전위 분포, (b) $t=12\text{msec}$ 에서의 전위 분포, (c) $t=25\text{msec}$ 에서의 전위 분포

Fig. 3. Schematic diagrams illustrating electric potential distribution of (a) liquid crystal cell at initial condition, (b) liquid crystal cell at $t=12\text{msec}$, (c) liquid crystal cell at $t=25\text{msec}$.

전계의 크기가 크고, 변화가 심하기 때문이다.

<그림 3>은 시간과도 해석에서 초기 조건 ($t=0\text{sec}$), $t=12\text{msec}$, 포화상태($t=25\text{msec}$)에서의 액정 셀 내부의 전위 분포를 나타낸 것이다. <그림 3(a)>를 보면 초기 액정 셀 구조에서의 전위 분포는 좌우대칭임을 알 수 있는데, <그림 3(b)>에서는 시간이 지나면서 액정 방향자가 거동하기 시작하고 방향자의 방향성 유전 특성에 의해 전위 분포가 변화하는 것을 알 수 있다. <그림 3(c)>는 방향자의 움직임이 더 이상 없는 액정 셀의 전위 분포인데, 초기 액정 배열의 전압 분포와는 다르게 전압의 기울기가 존재함에도 더 이상 방향자의 변화는 관찰 할 수 없었다. 이는 전압에 의한 전기적 에

너지와 액정 분자간의 탄성에너지가 평형을 이루는 형태로 방향자가 분포하였기 때문이다.

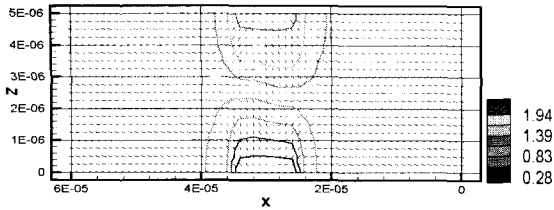
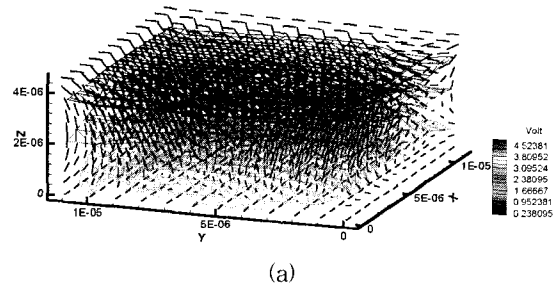


그림 4. 네마틱 액정 셀에서의 방향자와 전위 분포
Fig. 4. Schematic diagrams illustrating director orientation and electric potential distribution of nematic liquid crystal cell.

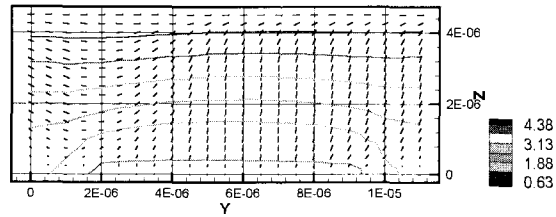
<그림 4>는 상판과 하판에 부분적으로 전극이 존재하는 경우의 시뮬레이션 결과이다. $z=0.0\mu\text{m}$, $z=5.0\mu\text{m}$ 인 영역의 중앙에 $12\mu\text{m}$ 폭을 가지는 전극이 존재하는 액정 셀 구조로서 선꼬임각 0° , 선경사각 2° 이다. 하부기판의 전극에는 $0V$, 상부기판의 전극에는 $2.5V$ 의 전압을 인가하였다. 하부기판의 전 영역에 전극이 존재하는 경우와 상당히 다른 결과를 볼 수 있는데, 선경사각의 영향으로 상부기판과 하부기판에서 전위 분포의 기울기가 서로 다르게 나타남으로써 서로 다른 위치에 전경선이 발생함을 알 수 있다.

또한, TN 모드 액정 셀의 방향자 분포 및 광투과 특성 해석 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 수행한 액정 셀의 구조는 $x=11\mu\text{m}$, $y=11\mu\text{m}$, $z=4.4\mu\text{m}$ 의 크기를 가지고 상부기판의 전 영역에 공통전극이 존재하며, 하부기판에는 픽셀 전극이 $7\times 7\mu\text{m}^2$ 의 크기로 존재한다. 시뮬레이션에 사용한 액정은 탄성계수 $k_{11} = 13.9\text{pN}$, $k_{22} = 6.5\text{pN}$, $k_{33} = 18.2\text{pN}$ 을 가지며 유전율은 $\epsilon_{\parallel} = 9.3$, $\epsilon_{\perp} = 4$ 이고 회전 점성도 $\gamma_1 = 0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 사용하였고, 강한 앵커링을 가정하였다. 공통 전극에 인가되는 전압은 $0V$ 로 고정하고, 픽셀 전극에 인가되는 전압은 $0V$ 로부터서 $7V$ 까지 $1V$ 간격으로 인가하며 시간의 변화에 따른 방향자 분포와 전위 분포를 관찰하였다.

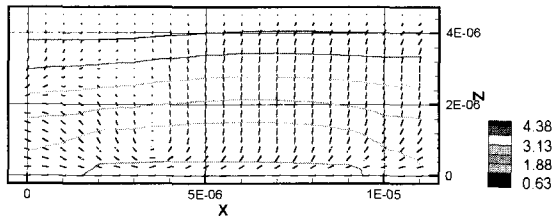
(그림 5(a))는 TN 모드 액정 셀을 3차원으로 시뮬레이션한 결과로써 픽셀 전극에 $5V$ 를 인가하고 17msec 의 시간이 지난 후의 방향자와 전위 분포를 나타낸 것이다. (그림 5(b))는 $x=5.5\mu\text{m}$ 에 자른 $y-z$ 평면의 방향자 분포와 전위 분포를 보여주는데, $y=2\mu\text{m}$ 의 영역에서는 방향자의 분포가 전위 분포의 등고선과 거의 평



(a)



(b)



(c)

그림 5. TN mode 액정 셀의 방향자 및 전위 분포 (a) 3차원 방향자 및 전위 분포, (b) $y-z$ 평면 ($X=5.5\mu\text{m}$)의 방향자 및 전위 분포, (c) $x-z$ 평면 ($Y=5.5\mu\text{m}$)의 방향자 및 전위 분포

Fig. 5. Schematic diagrams illustrating director orientation of TN-LC cell: (a) three-dimensional view of director orientation and electric potential distribution, (b) director orientation and electric potential distribution on the $y-z$ plane ($X=5.5\mu\text{m}$), (c) director orientation and electric potential distribution on the $x-z$ plane ($Y=5.5\mu\text{m}$).

행하게 분포하는 것을 관찰 할 수 있다. 선경사각의 방향과 전위 분포의 기울기에 의해 전압이 인가된 경우에도 거의 초기 배열을 유지하는 영역이 존재함을 알 수 있고, 주변의 방향자 분포를 보면 서로 반대 방향으로 이동하였음을 확인할 수 있다. <그림 5(c)>는 $y=5.5\mu\text{m}$ 에서 자른 $x-z$ 평면의 방향자 분포와 전위 분포를 나타낸 것으로 $x=4\mu\text{m}$ 영역에서 전경선을 확인할 수 있다. $x=0\sim 4\mu\text{m}$ 영역의 방향자들은 전위 분포에 따라 주어진 선경사각의 방향과 반대 방향으로 이동하였음을 알 수 있다.

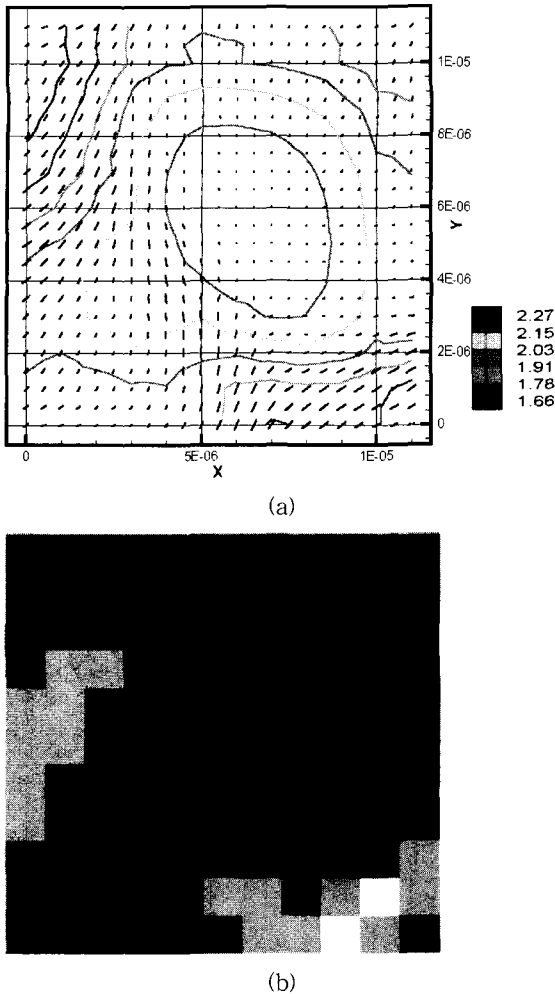


그림 6. (a) x-y평면의 방향자 및 전위 분포, (b) TN 액정 셀의 광투과 특성

Fig. 6. Schematic diagrams illustrating (a) the director orientation electric potential distribution on the x-y plane ($Z=2.2\mu\text{m}$) and (b) the transmittance of the liquid crystal cell.

<그림 6(a)>는 $z = 2.2\mu\text{m}$ 에서 자른 x-y평면으로 방향자와 전위 분포를 나타낸 것이다. <그림 5>를 관찰해보면 $z = 2.2\mu\text{m}$ 영역에서 방향자의 변화가 큰 영역임을 알 수 있다. 대칭적인 픽셀 전극을 가지는 액정 셀과는 다른 형태로 방향자가 이동하였음을 확인하였고, 선경사각과 전극 구조에 의한 것으로 분석된다. <그림 6(b)>는 Berreman's 4×4방법^[6]을 이용하여 광투과 특성을 시뮬레이션을 수행한 것으로 normally white 모드로 계산한 것이다. <그림 6(a)>와 비교해보면 방향자의 n_z 성분이 큰 영역에서 많은 빛을 차단

하는 것을 확인하였다.

<그림 6>의 해석 결과를 보면 액정 셀의 XY 평면 구조는 정사각형이고, 픽셀 전극 구조도 정사각형을 이루고 있다. 즉, 대칭적인 전극 구조를 가지고 있고, 초기 액정 배열에서 액정 분자들에 대한 선경사각과 선꼬임각이 각각 0° , 90° 이다. 픽셀 전극 영역으로부터 액정 영역을 지나 공통 전극에 이르는 전계 분포는 픽셀 전극의 모서리를 따라서 전계가 퍼져나가는 형태를 나타내게 된다. 전계 분포는 대부분이 수직 방향이지만, 픽셀 전극의 모서리를 따라서 약간의 횡방향 전계 성분이 나타나게 되므로, 액정 분자들의 초기 배열 방향이 전계와 이루는 각도는 위치에 따라서 달라지게 된다. 따라서, 단순한 대칭 구조를 가지는 TN 모드 액정 셀에 대하여도, 픽셀 전극의 모서리 부에서는 전계 분포에 따라서 다른 액정 분자 거동이 발생하게 되므로, 2차원적인 계산에서는 예측할 수 없는 비대칭적 액정 분자 거동 분포가 해석 가능하게 된다. 또한 이러한 액정 분자 거동 해석 결과를 통하여 광투과 특성 해석 결과도 XY 평면 상에서 비대칭적인 광투과 특성이 발생하게 됨을 알 수 있다.

<그림 7>은 $x=5.5\mu\text{m}$, $y=5.5\mu\text{m}$ 인 영역에서 방향자의 n_z 성분을 z축에 대하여 그린 것이다. <그림 7(a)>는 0V~7V로 시간과도 해석을 수행한 후의 최종적인 방향자 성분을 나타낸 것이다. 전압이 2V이하인 경우에는 문턱 전압을 넘지 못하여 방향자의 변화가 거의 없고, 4V이상의 전압이 인가된 경우에는 거의 1에 가까운 n_z 성분을 가짐을 확인하였다. <그림 7(b)>는 5V를 인가한 액정 셀의 시간과도 해석에서의 n_z 성분을 나타낸 것으로 동일한 시간에서는 픽셀 전극에 전압이 직접 인가되어 있는 $z=0.0\mu\text{m}$ 영역에 가까운 방향자들이 더 빨리 반응하는 것을 알 수 있고 포화된 후에는 거의 대칭인 형태로 나타남을 확인하였다. 특히, 전체 계산 시간중 $t = 4.5\text{ms} \sim 10.5\text{ms}$ 의 시간 영역에서 방향자 성분이 가장 크게 변함을 알 수 있다.

<그림 7(c)>는 방향자의 n_z 성분을 θ 로 표현한 것으로 포화 시간이 인가 전압이 증가할수록 빨라지는 것을 알 수 있으며, 4V 이하의 전압 조건에서는 주어진 30ms의 시뮬레이션 시간 동안 포화되지 않는 경우가 존재하게 된다. 전압 값에 따라 포화된 후의 방향자 값이 다른 것을 알 수 있는데, 인가된 전압 값에 대한 전기적 에너지와 탄성에너지의 차이에 의해 방향자의 값이 동일한 분포를 보이지 않는 것을 확인하였다.

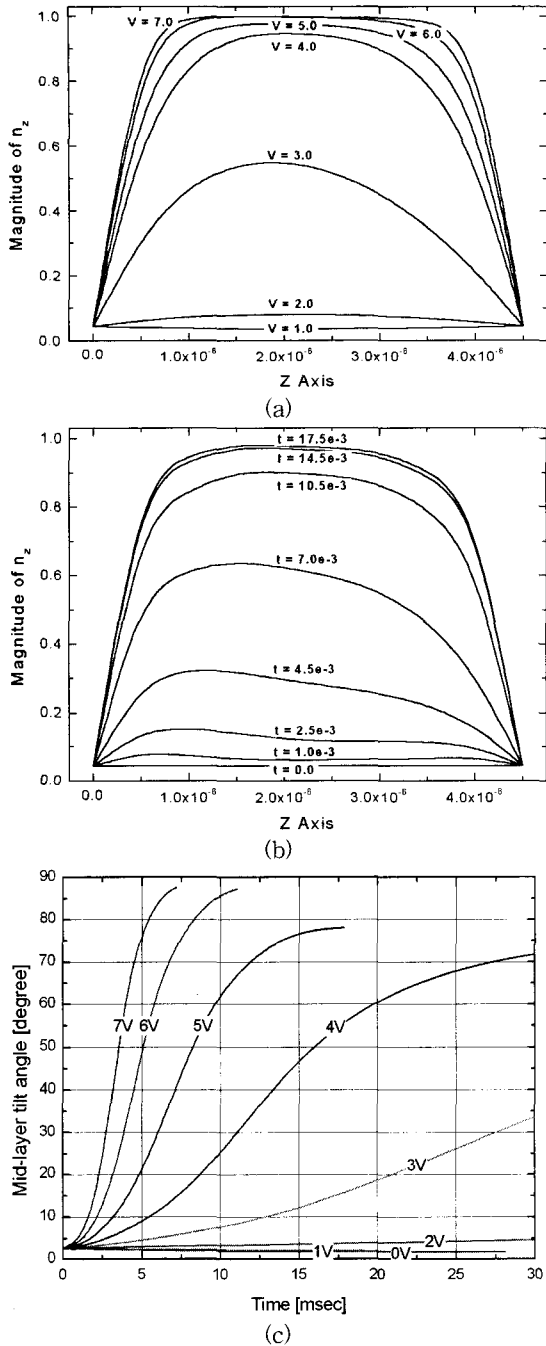


그림 7. (a) 인가 전압에 따른 z축에서의 방향자의 z성분 분포, (b) 시간 변화에 따른 z축에서의 방향자의 z성분 분포, (c) 인가 전압과 시간 변화에 따른 방향자의 z-성분 분포
 Fig. 7. Schematic diagrams illustrating results of transient simulation of (a) the director distribution several voltage conditions at z axis, (b) the time dependent director distribution at z axis, (c) the tilt angle distribution at mid-layer.

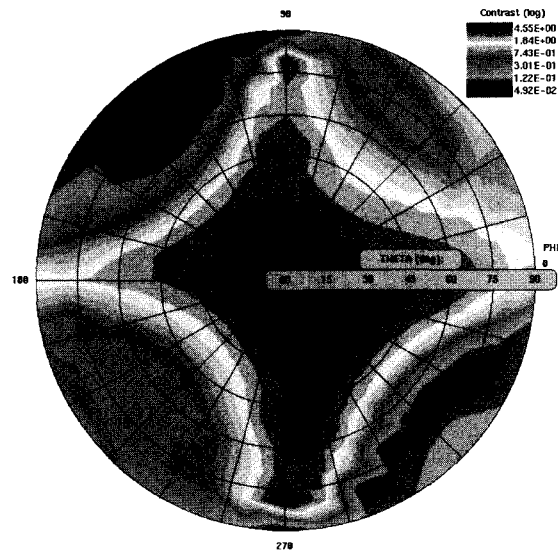


그림 8. 액정 셀의 관찰 방향에 따른 콘트라스트 비
 Fig. 8. Schematic diagram illustrating results in contrast ratio of the liquid crystal cell with viewing direction.

<그림 8>은 관찰 방향에 따른 대비비(contrast ratio)를 나타내고 있다. <그림 7>에 얻은 결과로부터 2V를 빛의 투과상태로 보았고, 7V를 빛의 차단 상태로 보아 각 전압에서의 광투과율 비로 계산하였다. 약 45°의 시야각에서 거의 일정한 대비비를 나타내는 것을 확인하였고, 수직 방향보다 수평방향의 시야각이 더 우수한 것을 확인하였다.

IV. 결 론

액정 디스플레이 패널의 시야각 특성 및 전압 응답 특성 등을 향상시키기 위하여 다양한 형태로 개발되고 있는 액정 셀에 대한 특성 예측을 위하여, 본 논문에서는 복잡한 구조에 적용할 수 있는 3차원 유한요소법을 사용하여 액정 방향자 분포를 수치 해석적으로 계산하였다. 이를 위하여, 이방성 유전체에 대한 전위 분포를 해석하였으며, 이로부터 축적된 에너지와 액정 분자의 탄성 에너지를 이용하여 시간에 따른 액정 방향자의 분포를 얻었고, 이로부터 광투과 특성을 계산하여 액정 방향자분포에 따른 광투과 특성의 관계를 확인하였다. 시간과 전압 변화에 따른 방향자를 관찰함으로써 문턱 전압과 응답 속도를 확인하였다. 기존의 2차원 시뮬레이션 모델에서 벗어나 3차원 시뮬레이터를 개발함으로

서, 액정 셀의 전극 구조에 따른 전기적, 광학적 특성을 예측할 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

[1] J. O. Kwang, K. C. Shin, J. S. Kim, and S. S. Kim, "Implementation of a New Wide Viewing Angle Mode For TFT-LCDs", Society for Information Display 2001 Digest of Technical Papers, pp. 256~259, June 2000.

[2] W. Liu and J. Kelly, "Multidimensional Modeling of Liquid Crystal Optics Using a Ray-Tracing Technique", Society for Information Display 2001 Digest of Technical Papers, pp. 847~849, June 2000.

[3] S. H. Hong, T. H. Jeong, H. Y. Kim, H. M. cho, W. G. Lee, and S. H. Lee, "Electro-optic characteristics of 4-domain vertical alignment nematic liquid crystal display with interdigital electrode", J. Appl. Phys. 87, pp. 8259~8263, 2000.

[4] M. Kitamura, "Computer Simulation of Director Profile in Three-Dimensional Electric Field", Society for Information Display 1995 Digest of Technical Papers, pp. 540~543, June 1995.

[5] S. Chandrasekhar, "Liquid Crystals", Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

[6] J.B. Davies, S. Day, F. Di Pasquale, and F.A. Fernandez, "Finite-element modeling in 2-D of nematic liquid crystal structures," Electronics Letters, Vol. 32, No. 6, pp. 582~585, 1996.

[7] D. W. Berreman, "Optics in Stratified and Anisotropic Media : 4×4 Matrix Formulation," J. Opt. Soc. Am., 62, pp. 502~510, 1972.

저 자 소 개



鄭 柱 湜(學生會員)

1975년 2월 22일생. 2000년 인하대학교 전자재료공학과(공학사). 2002년 인하대학교 전자재료공학과(공학석사). <주관심분야 : 반도체 소자 및 공정 시뮬레이션, LCD 모델링 등임>



李 喆 洙(學生會員)

1977년 7월 15일생. 2001년 인하대학교 전기공학과(공학사). 2001년~현재 인하대학교 전자재료공학과 석사과정. <주관심분야 : 반도체 소자 및 공정 시뮬레이션, LCD 모델링 등임>



尹 相 鎬(學生會員)

1969년 11월 20일생. 1995년 인하대학교 전자재료공학과(공학사). 1997년 인하대학교 전자재료공학과(공학석사). 1997년~현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. <주관심분야 : 반도체 소자 및 공정 시뮬레이션, 메쉬 generation, LCD 모델링 등임>

尹 錫 仁(學生會員) 論文 第37卷 SD編 第7號 參照

1972년 12월 30일생. 1998년 인하대학교 전자재료공학과(공학사), 2000년 인하대학교 전자재료공학과(공학석사) 2000년~현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정, <주관심분야 : 반도체 소자 및 공정에 대한 모델링 및 시뮬레이션, 인터커넥트 시뮬레이션, TCAD와 ECAD의 인터페이싱 등임>



元 太 映(正會員)

1959년 2월 21일생. 1981년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1983년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사). 1989년 미국 University of Illinois at Urbana Champaign 전자공학과(공학박사). 1989년~1990년 미국 State University of New York 조교수. 1990년~1991년 삼성전자(주) 수석 연구원. 1991년~현재 인하대학교 공과대학 전자전기컴퓨터공학부 교수. <주관 심분야 : 반도체 소자 및 공정, 시뮬레이션 등임>