

논문 20-3-11

3차원적 시뮬레이션에 의한 TFT-LCD의 Gray Scale 성능 분석

Analysis on the Gray Scale Capability of TFT-LCD using Three-dimensional Simulation

김선우¹, 박우상^{1,a}
(Sun-Woo Kim¹ and Woo-Sang Park^{1,a})

Abstract

We analyzed the effect of a pixel and all the inter-electrode capacitances in a unit pixel of TFT-LCDs on the gray scale capability. The pixel and all the inter-electrode parasitic capacitances were obtained from the three dimensional profiles of potential distribution and molecular director considering lateral fields generated at the edge of the pixel. To obtain the RMS and kickback voltages of the pixel, we constructed an equivalent circuit of the panel containing all the parasitic capacitances. The calculation was performed through H-SPICE. As results, we confirmed that the pixel becomes smaller, the effect of parasitic capacitances on the gray scale capability becomes larger.

Key Words : TFT-LCD, Three-dimension simulation, Pixel capacitance, Inter-electrode capacitance

1. 서론

표시 장치로서의 표시 품질 향상을 위한 기술로 정확한 계조표시를 통한 풀 컬러(full color) 구현은 매우 중요한 일이라 할 수 있다. 특히 단위 화소 용량은 유효전압(V_{RMS})값의 변화를 가져오고, 유효전압의 차이는 정확한 계조 표시를 어렵게 하기 때문에 단위 화소 용량은 화소 인가전압의 충전 및 방전에 중요한 변수가 된다.

이러한 관점에서 각 해상도별 최적 패널을 설계 하기 위해서는 매우 엄정한 방법으로 단위 화소 용량을 예측할 뿐만 아니라, 각종 기생용량 등을 고려한 정확한 화소의 충전 및 방전의 특성 예측이 반드시 이루어져야 한다. 높은 표시품질을 위해 고해상도가 요구되는 지금 1차원적인 관점에서 단위 화소 용량의 예측은 단위화소의 크기가 점차 작아 지면서 유한전극에 의한 측면 전장으로 disclination

line이 발생하고, 결과적으로 빛의 누설현상이 발생 하여 명암 대비비를 떨어뜨려 패널 전체적으로 밝기를 떨어뜨리게 되고, 밝기의 차이는 계조 표시 성능에 심각한 영향을 주게 된다.

본 연구에서는 3차원적 분자배열 분포를 통해 단위 화소 용량 및 전극 간 기생 용량을 엄정하게 계산하고, 이것을 19 인치 TFT-LCD 패널에 따른 단위화소에 적용하여 단위 화소 용량이 표시품질, 특히 gray scale에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 시뮬레이션

TFT-LCD 패널의 gray scale capability를 알아보기 위해서는 먼저 단위 화소에 인가되는 유효전압을 계산해야 한다. 이를 위해 회로 시뮬레이션을 수행하려면 3차원적으로 계산된 화소 용량과 기생 용량 값이 필요하다. 이 계산을 위해 액정의 방향자 및 전위 분포의 해석이 선행되어야 한다.

2.1 액정의 방향자 및 전위 분포 해석

분자 액정 셀의 분자배열 해석방법으로 오신-프랑크(Oseen-Frank)의 탄성체 이론으로부터 정립된

1. 인하대학교 전자공학과
(인천시 남구 용현동 253)
a. Corresponding Author : wspark@inha.ac.kr
접수일자 : 2007. 1. 16
1차 심사 : 2007. 2. 5
심사완료 : 2007. 2. 23

액정의 strain energy는 액정 분자의 방향을 표현하기 위한 단위 방향 vector n 을 이용하여 정의된다. \vec{n} 은 단위 벡터로써 시간과 공간의 함수이다. 액정의 운동과 방향자의 분포를 해석하기 위하여, 여기에 적용된 이론 모델은 액정의 내부 관성(inertial momentum)을 무시한 에릭슨-레슬리 이론(Ericksen-Leslie theory)에 기초한다[1]. 액정 매질 내부의 깁스 자유 에너지 밀도 f_g 를 에릭슨-레슬리 방정식에 적용하면 다음과 같은 운동 방정식을 얻을 수 있다.

$$\gamma \frac{\partial n_i}{\partial t} = -[f_g]_{n_i} + \lambda n_i, \quad i \in x, y, z \quad (1)$$

여기서, γ 는 회전 점성계수를, n_i 는 방향자의 직교성분을, λ 는 $|m|=1$, 즉 방향자가 단위벡터임을 내포하는 라그랑지 승수를, 그리고 $[f_g]_{n_i}$ 는 오일러-라그랑지 방정식으로써, 다음과 같다[2].

$$[f_g]_{n_i} = \frac{\partial f_g}{\partial n_i} - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f_g}{\partial n_{i,x}} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f_g}{\partial n_{i,y}} \right) - \frac{d}{dx} \left(\frac{\partial f_g}{\partial n_{i,z}} \right) \quad (2)$$

이때, 깁스 자유 에너지 밀도 f_g 는 탄성 에너지 밀도 f_s 와 전기 에너지 밀도 f_e 에 대하여, $f_g = f_s - f_e$ 로 표현된다. 액정의 탄성 에너지밀도는 방향자의 네마틱 대칭성을 고려하여 order 텐서 Q_{ij} 를 이용한 텐서접근법으로 다음과 같이 주어진다[1].

$$f_s = \left(-\frac{K_{11}}{12} + \frac{K_{22}}{4} + \frac{K_{33}}{12} \right) G_1^{(2)} + \left(\frac{K_{11} - K_{22}}{2} \right) G_2^{(2)} + \left(\frac{K_{33} - K_{11}}{4} \right) G_6^{(3)} + q_0 K_{22} G_4^{(2)} \quad (3)$$

여기서, K_{11} , K_{22} 그리고 K_{33} 는 각각 펼침(splay), 꼬임(twist), 그리고 굽음(bend) 변형에 관련된 탄성계수, q_0 는 액정의 자연 꼬임을 유발하는 카이럴성(chirality)을 의미하고, G는 각각 다음과 같이 표현된다.

$$G_1^{(2)} = Q_{ij,k} Q_{ij,k}, \quad G_2^{(2)} = Q_{ij,j} Q_{ik,k}, \\ G_4^{(2)} = e_{ijk} Q_{il} Q_{jk}, \quad G_6^{(3)} = Q_{ij} Q_{kl,i} Q_{kl,j} \quad (4)$$

여기서, 아래첨자의 반복되는 index는 Einstein의 표기법에 따른 것이다. Q_{ij} 는 order tensor로써 방향자 \vec{n} 에 대해 $Q_{ij} = n_i n_j - \delta_{ij}/3$ 로 정의되며, e_{ijk} 는 순열 기호(permutation symbol)를 나타낸다[3].

한편, 주어진 화소내의 전극에 인가되는 전압에 의하여 형성되는 전기에너지밀도는 다음과 같이 표현된다[4].

$$f_e = \frac{1}{2} \epsilon_0 \phi_i \epsilon_{im} \phi_{,m} \quad (5)$$

이 때, $\phi(x, y, z)$ 는 액정의 화소 및 각종 전극에 인가된 전압에 의해 형성된 전위분포를 나타내고, ϵ_0 는 자유공간에서의 유전율을 의미한다. ϵ_{im} 은 비유전율 텐서로써, 액정의 방향자 \vec{n} 에 대하여 $\epsilon_{im} = \epsilon_{\perp} \delta_{im} + (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}) n_i n_m$ 으로 표현된다. ϵ_{\parallel} 과 ϵ_{\perp} 는 각각 액정의 장축 및 단축 방향의 비유전율을 의미한다. 여기서, 전위분포함수 $\phi(x, y, z)$ 는 맥스웰 방정식으로부터 유도되는 다음의 Laplace 방정식에 적절한 경계조건을 적용하여 시뮬레이션 함으로써 얻을 수 있다.

$$[\epsilon_{ij}(x, y, z) \phi_{,j}(x, y, z)]_{,i} = 0 \quad (6)$$

이로부터, 식 (3)과 (5)를 식 (1)에 대입함으로써, 벡터 접근법에 기초한 액정 방향자의 운동방정식을 얻을 수 있다. 텐서 접근법으로부터 유도되는 액정 방향자의 운동 방정식은 이방 탄성계수 모델에 대하여, 텐서 표기법으로 나타낼 수 있기 때문에 다음과 같이 복잡한 형태로 표현된다.

$$\gamma \frac{\partial n_i}{\partial t} = \frac{1}{3} (-K_{11} + 3K_{22} + K_{33})(n_j Q_{ji}) + (K_{11} - K_{22})(Q_{il,lj} + Q_{jl,li}) + \frac{1}{2}(K_{33} - K_{11}) \times n_j (2Q_{lm,m} Q_{ji,l} + 2Q_{lm} Q_{ji,lm} - Q_{lm,i} Q_{lm,j}) + 2q_0 K_{22} n_j (e_{iml} Q_{ij,m} + e_{jml} Q_{li,m}) + \epsilon_0 (\epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}) n_j \phi_{,j} \phi_{,i} + \lambda n_i \quad (7)$$

2.2 화소 용량 및 전극 간 정전용량의 계산

기존의 1차원적 방법에 대한 화소 용량의 계산은 다음과 같다. 일반적으로 일정량의 전하를 축적할 수 있는 양 즉, 정전용량을 capacitance라 하고 다음과 같이 표현된다.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_R \frac{A}{d} \quad (8)$$

어떤 물질의 유전율을 표시할 때는 공기 또는 진공의 유전율을 기준으로 하는데, 진공의 유전율은 ϵ_0 라 표시하고 그 값은 8.854 pF/m 가 되며, 상대 유전율(ϵ_R)을 곱해 그 물질의 고유 유전율을 나타낸다. 액정 또한 유전체로서 식 (8)로 나타낼 수 있으나 전압에 따른 서로 다른 유전율을 갖는 전기적 특성을 나타낸다. 그러므로 액정의 capacitance는 식 (8)에 의해서 알 수 있듯이 상대 유전율(ϵ_R)과 전극의 면적(A), 전극 사이의 거리(d)로 결정된다. 실제 구동에서는 액정의 반응시간이 수 msec로 작기 때문에 인가전압에 의한 capacitance 변화는 무시할 수 있다. 그러나 액정 capacitance 값은 전기적 특성을 결정하기 때문에 그 정확한 계산은 필수적이다. 특히 측면 전장 때문에 야기되는 disclination line에 의한 액정 capacitance의 변화는 전기적 해석을 어렵게 하는 요인이 될 뿐만 아니라 실제 화상의 화질에도 나쁜 영향을 미친다. 1차원적인 기존의 화소 용량의 계산 값은 화소전극의 측면 전장을 전혀 고려하지 못하기 때문에 TFT-LCD의 전기적 특성 해석에 많은 오차가 생길 것으로 생각된다.

이제 보다 엄정한 방법으로 3차원적 분자배열 분포를 이용하여, TFT-LCD의 단위 화소에 존재하는 모든 정전용량을 얻어내기 위한 방법을 지금부터 기술하고자 한다. 계산 영역 내의 모든 전극에 임의의 가상의 전압들을 인가하고, 그 가상의 인가전압과는 상관없이 분자배열 분포가 영향을 받지 않고 고정되어 있다고 가정하면, 가상의 전압과 분자배열 분포에 의해 결정된 임시의 전위분포 $\phi(x, y, z)$ 로부터, 계산 영역 내에 저장된 총 정전기 에너지를 다음과 같이 계산할 수 있다[5].

$$W_E = \frac{1}{2} \int_{Vol} (\phi_i \epsilon_{im} \phi_{,m}) dv - \frac{1}{2} \int_S \phi (\epsilon_{im} \phi_{,m}) ds_i \quad (9)$$

여기서, Vol 과 표면 S 는 계산 영역 전체의 체적과 그를 감싸고 있는 전체 표면을 각각 의미한다. 식 (9)에서 우변의 두 번째 항은 계산 영역이 무한 영역이 아닌 화소 영역으로 제한되어 있기 때문에 발생하는 표면 항을 뜻한다. 임시의 전위분포 $\phi(x, y, z)$ 는 각종 전극에 인가된 가상의 전압과 분자배열 분포에 대해, 라플라스 방정식을 시뮬레이션 함으로써 얻을 수 있다.

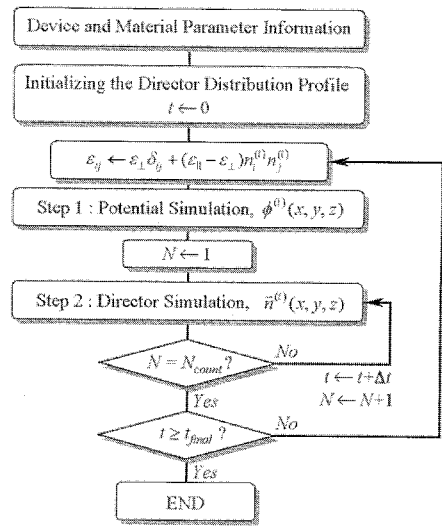


그림 1. 3차원 방향자 및 전위분포의 시뮬레이션 순서도.

Fig. 1. Simulation procedure of 3-dimensional director and potential profiles.

이와 함께 총 전기 에너지를 얻는 또 다른 접근법은 계산영역 내에서 화소 및 각종 전극 간 정전용량을 이용하는 것으로 다음과 같이 표현할 수 있다[5].

$$W_E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j>i}^N C_{ij} V_{ij}^2 \quad (10)$$

여기서, N은 계산 영역 내에 존재하는 전극의 개수를, 그리고 $V_{ij} = V_i - V_j$ 이며, V_i 와 V_j 는 i와 j 번째 전극에 인가된 가상의 전압을, C_{ij} 는 i와 j 번째 전극 간 정전용량을 의미한다. 따라서 식 (9)로부터 가상의 전압에 대한 총 전기 에너지가 계산되면, 식 (10)으로부터, 전극 간 모든 정전용량을 얻을 수 있다.

2.3 수치해석을 이용한 시뮬레이션

액정의 방향자 분포를 얻기 위하여, 방향자와 전위분포에 의해 서로 결합된 식 (6)과 (7)을 동시에 시뮬레이션 해야 한다. 방정식들이 매우 비선형적이기 때문에, 그림 1에서 묘사된 것과 같이 두 단계로 나누어 반복적인 process를 적용하였다. 즉, 정상상태가 될 때까지, 주어진 방향자 분포에 대한 전위 분포 해와 그에 따른 방향자 분포를 서로 교번하여 계산을 수행한다.

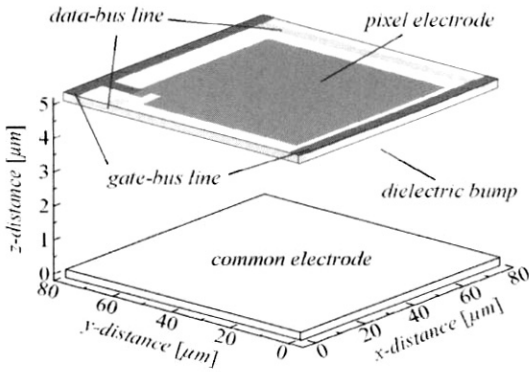


그림 2. 3차원시물레이션에 적용된 TN TFT-LCD의 구조.

Fig. 2. Basic structure of conventional TN-LCD applied in this simulation.

수치해석 방법으로는 액정의 유전을 이방성에 기인한 비선형적이고 복잡한 방정식을 풀기 적합한 유한차분법이 적용되었다. 계산에 적용된 복잡한 구조와 비선형성 때문에 본 연구에서는 균일 격자간격을 적용하였으며, 공간적으로 중앙차분화 기법이 적용되었다. 시간 적분에 있어서는, implicit한 방법의 경우 방향자 운동방정식의 비선형성이 복잡한 문제를 유발하기 때문에, 본 연구에서는 explicit한 방법이 적용되었다.

한편, 식 (6)은 비선형적 타원형 방정식이기 때문에, 이를 이용한 전위 분포의 시물레이션을 수행하기 위해서는 적절한 경계조건에 대하여 successive over relaxation (SOR) 방법이 적용되었다. 이때, 보다 정확한 계산을 위하여 전위 분포 시물레이션은 매 time step에 대하여 수행되어야 하지만, 계산에 요구되는 시간이 방대하기 때문에, 매 0.5ms 마다 전위분포를 계산함으로써, 소요되는 시물레이션 시간을 절감하였다.

경계조건으로 본 연구에서는 strong anchoring을 가정하였기 때문에, 경계 면에서의 방향자는 고정됨은 물론, rubbing방향과 pretilt각에 의하여 정의된다. 계산시의 메모리와 시간을 절감하기 위하여, 전위분포를 계산할 때 z방향의 끝에서는 Neumann 경계조건을 적용하였으며, 또한 x와 y 방향에 대해서는 xy-평면으로 화소들이 무한히 반복되어 있는 것으로 가정하는 주기 경계조건을 적용하였다[5]. 그림 3에 계산에 적용된 TFT-LCD의 화소 구조를 간략히 표현하였다. TN-LCD에서 일반적으로 사용되고 있는 insulator와 액정 등 물질 변수는 표 1에 정리하였다.

표 1. 액정 및 insulator의 물질 변수 목록.

Table 1. Material variable list of the liquid crystal and insulator.

Parameters	Values
Liquid Crystals	
splay elastic constant	$13.0 \times 10^{-12} [N/m]$
twist elastic constant	$7.0 \times 10^{-12} [N/m]$
bend elastic constant	$10.0 \times 10^{-12} [N/m]$
parallel dielectric constant	10.0
perpendicular dielectric constant	3.0
insulator dielectric constant	5.0

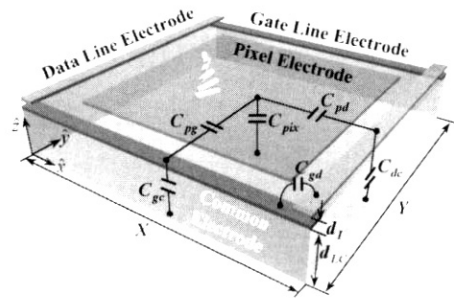


그림 3. 단위화소의 액정용량 및 기생정전용량.

Fig. 3. The pixel capacitance and inter-electrode capacitance in a unit pixel of TFT-LCD.

화소 및 각종 전극 간 정전용량을 계산함에 있어서, xy-평면을 따른 경계조건이 주기경계조건으로 정의되었기 때문에, 계산 영역 내부의 실질적인 전극이 개수는 4개로 적어지면서 그림 3에서 보여진바 같이, 6개의 전극간 정전용량이 발생한다. 따라서, 6개의 미지수인 정전용량 값들을 얻기 위하여, 식 (9)와 (10)으로부터 6개의 서로 독립적인 연립방정식을 세워야 한다.

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \sum_{j>i}^4 C_{ij} V_{ij}^2 = \frac{1}{2} \int_{Vol} (\varphi_i \epsilon_{im} \varphi_m) dv \quad (11)$$

$$- \frac{1}{2} \int_S \varphi (\epsilon_{im} \varphi_m) ds_i$$

표 2. 19 인치 TFT-LCD 패널의 화소 용량 및 기생 용량 값.

Table 2. Pixel capacitance and parasitic capacitance of 19 inch TFT-LCD panel.

one pixel size	XGA 125×375 [μm]	SXGA 92×276 [μm]	UXGA 80×240 [μm]	QXGA 63×189 [μm]
C_{pg} (pf)	0.00324	0.00224	0.00188	0.00137
C_{pd} (pf)	0.00729	0.00526	0.00453	0.00348
C_{gc} (pf)	0.01498	0.01069	0.00913	0.00692
C_{dc} (pf)	0.02312	0.01697	0.01473	0.01156
C_{gd} (pf)	0.01394	0.01393	0.01393	0.01393
C_{LC1} (pf)	0.24901	0.13489	0.10199	0.06325
C_{LC3} (pf)	0.58575	0.29387	0.21236	0.11936

식 (11)의 우변으로 표현된 총 전기에너지를 계산하기 위하여, 우선 4개의 전극에 임의의 전압을 인가한다고 가정하고 이로부터 전위 분포를 계산한다. 이러한 가상의 전압들은 6개의 미지수 C_{ij} 의 계수를 이루게 되며, 동일한 절차를 6번 반복함으로써 우리는 V_{ij} 로 구성된 6×6 계수 행렬과 6×1 에너지 행렬을 얻을 수 있다[6].

3. 시뮬레이션 결과 및 해석

3.1 화소 용량 및 전극 간 정전용량 계산 결과

19 인치 TFT-LCD 패널에서 각 해상도(XGA, SXGA, UXGA, QXGA)에 따른 화소의 크기와 1차원적으로 화소 용량을 계산한 결과, 3차원적으로 화소 용량과 기생 용량을 계산한 결과를 표 2에 제시하였다.

표 2에서 보는 바와 같이 해상도가 높아져 화소의 크기가 작아짐에 따라 그에 따른 화소 용량과 기생용량이 작아지고 있음을 알 수 있었다. 또한, 화소의 크기가 감소함에 따라 화소 용량의 크기가 기생 용량보다 더욱 급격하게 감소하여 화소의 인가전압에 기생 용량에 의한 영향이 점차 커짐을 알 수 있다.

표 3. 19 인치 TFT-LCD 패널의 전압강하 및 유효전압.

Table 3. Kickback voltage and effective voltage in 19 inch TFT-LCD panel.

	XGA	SXGA	UXGA	QXGA
$1D V_{RMS}$ (V)	7.3730	7.3349	7.3314	7.2960
$3D V_{RMS}$ (V)	7.4236	7.3824	7.3611	7.3251
$ 3D V_{RMS} - 1D V_{RMS} $ (V)	0.0506	0.0475	0.0297	0.0291
$1D \Delta V_P$ (V)	0.762	0.947	0.962	1.118
$3D \Delta V_P$ (V)	0.575	0.798	0.899	1.053
$1D V_{COM}$ (V)	6.693	6.518	6.504	6.365
$3D V_{COM}$ (V)	6.884	6.664	6.567	6.425

3.2 TFT-LCD 회로 시뮬레이션 결과

19 인치 TFT-LCD 패널에서 각 해상도(XGA, SXGA, UXGA, QXGA)에 따른 화소의 gray scale에 영향을 주는 가장 중요한 요소인 전압강하와 유효전압을 예측하기 위하여 1차원적인 계산 방법과 3차원적인 계산 방법에 신호지연을 적용하여 회로 시뮬레이션을 수행하였다. 그 값을 표 3에 도시하였다. 그리고 그림 4에 전압강하의 파형을 나타내었다. 또한, 이 유효전압을 T-V 곡선을 이용하여 값을 계산한 결과를 표 4에 제시하였고, 이것을 이용하여 얻은 허용 bit 수에 따른 $\Delta V_{min}/2$ 을 그림 5에 나타내었다.

화소면적이 작아질수록 3차원적인 화소용량과 기생용량들이 전압강하와 유효전압에 미치는 영향이 증가하였다. 이는 화소면적이 감소할수록 상대적으로 TFT의 기생용량이 증가하면서 발생하는 현상으로 생각할 수 있다. 그 결과 화소의 크기가 가장 작은 QXGA에서 전압강하가 1.053 V로 가장 크게 나타났고, 따라서 유효전압도 7.3251 V로 가장 작은 값을 나타내어 미치는 영향이 가장 큼을 확인하였다. 또한, gray scale에 대한 영향을 알아보기 위하여 허용 비트 수를 확인한 결과 XGA와 SXGA는 5비트 이상의 경우, UXGA, QXGA는 6비트 이상의 경우 3차원적인 고려가 반드시 필요함을 확인하였다.

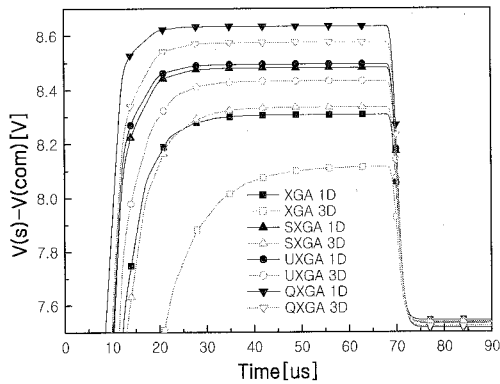


그림 4. 19 인치 TFT-LCD 패널에서의 전압강하.
Fig. 4. Kickback voltage in 19 inch TFT-LCD panel.

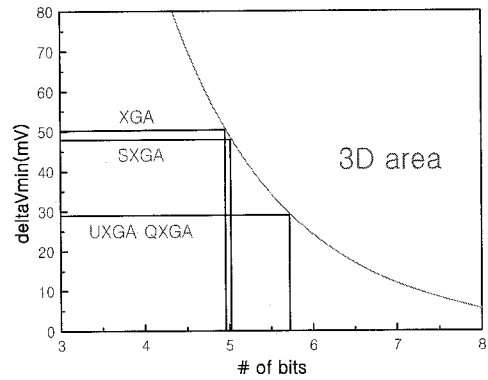


그림 5. 19 인치 TFT-LCD 패널에서의 비트수
Fig. 5. Number of bits in 19 inch TFT-LCD panel

표 4. Gray scale의 비트수에 따른 $\Delta V_{min}/2$.
Table 4. $\Delta V_{min}/2$ according to the bit number of gray scale.

bit	1	2	3	4	5	6	7	8
Number of color	8	64	512	4,096	32,768	262,144	2M	16.7M
Number of gray level	1	3	7	15	31	63	127	255
$\Delta V_{min}/2$	1.4V	0.47V	0.2V	93mV	45mV	22.2mV	11mV	5.5mV

결과로부터 단위 화소면적이 작아짐에 따라 화소용량과 각종 전극 간의 기생용량의 값이 상대적으로 커진다. 따라서 화소면적이 작아질수록 3차원적으로 계산된 각종 기생용량들이 전압강하와 유효전압에 미치는 영향이 미치는 영향이 증가하였다. 그 결과 화소의 크기가 가장 작은 QXGA에서 전압강하가 1.053 V로 가장 크게 나타났고, 따라서 유효전압도 7.3251 V로 가장 작은 값을 나타내어 미치는 영향이 가장 큼을 확인하였다. 또한, gray scale에 대한 영향을 알아보기 위하여 허용 비트 수를 확인한 결과 XGA와 SXGA는 5비트 이상의 경우, UXGA, QXGA는 6비트 이상의 경우 3차원적인 고려가 반드시 필요함을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 1차원적 계산 방법에서 고려되지 않은 부분을 3차원적인 계산 방법을 통하여 시뮬레이션 함으로서, 각각의 방법에 대한 한계 및 유효성에 대해 고찰하였다. 우선 19 인치 TFT-LCD 패널에서 각 해상도(XGA, SXGA, UXGA, QXGA)에 따른 정확한 계조 표시를 위해 유효전압에 큰 영향을 주는 단위 화소 용량과 각종 기생 용량의 정확한 값을 계산하기 위하여 1차원적인 관점에서만 수행되어 왔던 계산방법을 3차원적 분자배열 분포를 통해 단위 화소 용량 및 전극 간 기생 용량을 계산하는 방법을 보고하였다. 또한, 1차원적인 계산방법과 3차원적인 계산에 따른 전압강하와 액정 양단에 인가되는 유효전압을 비교하였으며, gray scale의 대한 영향을 알아보기 위해 허용 비트 수를 확인하였다.

감사의 글

이 결과물은 정보통신부에서 지원하는 정보처리 단말기용 영상신호 구동 및 입력 IC개발 과제로 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] S. Dickmann, J. Eshler, O. Cossalter, and D. A. Mlynski, "Simulation of LCDs including elastic anisotropy and inhomogeneous fields", SID'93 Digest, p. 638, 1993.
[2] F. M. Leslie, "Distortion twisted oriented patterns in liquid crystals by magnetic fields", Mol. Cryst. and Liq. Cryst., Vol. 12, p. 57, 1970.

- [3] P. G. de Gennes, "The physics of liquid crystals", Clarendon, Oxford, U. K., 1974.
- [4] M. Kitamura, "Computer simulation of director profiles in three dimensional elastic field", SID'95 Digest, p. 540, 1995.
- [5] S. M. Jung, S. H. Jang, H. D. Park, and W. S. Park, "Determination of all the inter-electrode resistances within the pixel of TFT-LCDs using three-dimensional simulation", J. Korean Phys. Soc., Vol. 44, No. 1, p. 190, 2004.
- [6] S. M. Jung and W. S. Park, "Improved method for electro-optical simulation of liquid crystal displays", J. Korean Phys. Soc., Vol. 34, p. S546, 1999.