

## TFT-LCD 공통 전극 전압 분포에 따른 화소 특성 시뮬레이션

## Simulations of Effects of Common Electrode Voltage Distributions on Pixel Characteristics in TFT-LCD

김태형, 박재우, 김진홍, 최종선  
 홍익대학교 전자전기공학부

Tae Hyung Kim, Jae Woo Park, Jin Hong Kim, Jong Sun Choi  
 School of Electronics and Electrical Eng., Hongik Univ.

## Abstract

An active-matrix LCD using thin film transistors (TFT) has been widely recognized as having potential for high-quality color flat-panel displays. Pixel-Design Array Simulation Tool (PDAST) was used to profoundly understand the gate signal distortion and pixel charging capability, which are the most critical limiting factors for high-quality TFT-LCDs. In addition, PDAST can estimate voltage distributions in common electrode which can affect pixel voltage and feed-through voltage. Since PDAST can simulate the gate, data and the pixel voltages of a certain pixel on TFT array at any time and at any location on an array, the effect of common electrode voltage can be effectively analyzed. The information obtained from this study could be utilized to design the larger area and finer image quality panel.

Key Words(중요용어) : TFT-LCD, Simulation, Common Electrode, Feed-Through Voltage

## 1. 서론

최근 정보화시대가 되어감에 따라 고화질과 대화면적의 평판 디스플레이에 대한 요구가 점점 증가하고 있고, 그 결과 여러 가지 평판 디스플레이 기술에 대한 연구와 개발이 활발히 진행되고 있다. 이들 중 가장 우수하고 널리 사용되고 있는 것은 비정질 실리콘 박막트랜지스터(TFT)를 스위칭소자로 사용하는 액정 표시 장치(TFT-LCD)이다. 본 연구에서는 TFT-LCD의 동작 특성에 중요한 영향을 끼치는 요소 중의 하나인 공통 전극에 대하여 연구하였다. data 전압이 화소에 인가된 후 TFT가 off된 직후부터 발생하는 feed-through 전압은 실제적인 화상을 구현하는데 있어서 문제시되는 요소이고, 이를 보상해 주기 위해 외부에서 인가해주는 전압이 공통 전극 전압이다.<sup>5</sup> 공통 전극 전압의 분포는 전압을 어떤 위치에서 인가해 주는지에 따라 달라질 수 있고, 이는

화소전압에 직접적인 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 이러한 불균일한 전압분포를 시뮬레이션함으로써 공통 전극상의 임의의 위치에 인가되는 전압을 구할 수 있었다. 이렇게 구한 공통 전극 전압을 이용해서 TFT 어레이의 어떤 위치, 어떤 시간에서도 게이트, 데이터 및 화소의 전압을 정확하게 계산할 수 있었다. 이는 대화면적 고화질 TFT-LCD의 설계와 제작에 일반적인 방향을 제시해 줄 수 있을 것이다.

## 2. Simulation 방법

TFT-LCD에서의 공통 전극은 저항의 행렬 형태로 근사화될 수 있다. 그림 1은 공통 전극에 전압이 인가되는 부분을 나타내고 있다. 그림 1과 같이 공통 전극을 여러 개의 작은 사각형으로 나누면, 각 사각형의 중앙에 위치한 node의 전압을 구하여 공통

## 디스플레이 광소자분야

전극의 위치에 따른 전압을 얻을 수 있다.<sup>1</sup>

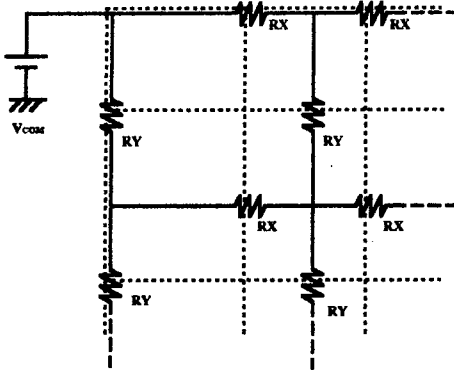


그림 1. 공통 전극의 부분적인 등가회로

행렬 형태의 저항을 일반화시키면 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 이 때, X, Y축 상에 존재하는 저항 RX, RY는 전하량 보존의 법칙을 나타내는 다음의 두 식으로부터 구할 수 있다. j는 전류 밀도, ρ는 전하 밀도, R□는 공통 전극의 면저항을 의미한다.<sup>2</sup>

$$-\nabla \cdot j = \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$-j = \frac{1}{R_{\square}}$$

위 수식으로부터, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\frac{1}{R_{\square}} \nabla^2 j = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$$

여기서, ∇V는

$$\nabla V = a_x \frac{\partial V}{\partial x} + a_y \frac{\partial V}{\partial y}$$

이고, 이를 미분한 ∇<sup>2</sup>V를 위의 수식에 대입하면 다음과 같은 수식을 유도할 수 있다.

$$\frac{2(-V_{i,j} + V_{i-1,j})}{h_i(h_i + h_{i+1})R_{\square}} - \frac{2(-V_{i+1,j} + V_{i,j})}{h_{i+1}(h_i + h_{i+1})R_{\square}} + \frac{2(-V_{i,j} + V_{i,j-1})}{k_j(k_j + k_{j+1})R_{\square}} - \frac{2(-V_{i,j+1} + V_{i,j})}{k_{j+1}(k_j + k_{j+1})R_{\square}} = \frac{\partial \rho_{i,j}}{\partial t}$$

여기서, V<sub>ij</sub>와 ρ<sub>ij</sub>는 각각 점 P<sub>ij</sub>에 대한 전압과 전하 밀도를 나타낸다. 점 P<sub>ij</sub>에서 키르히호프의 전

압 법칙을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{-V_{i+1,j} + V_{i,j}}{RX_{(i+1,j)}} + \frac{-V_{i-1,j} + V_{i,j}}{RX_{(i+1,j)}} + \frac{V_{i,j+1} - V_{i,j}}{RY_{(i,j+1)}} - \frac{V_{i,j-1} + V_{i,j}}{RY_{(i,j)}} = \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial \rho_{i,j}}{\partial t} \times \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \times \frac{k_j + k_{j+1}}{2}$$

RX<sub>(i,j)</sub>는 점 P<sub>ij</sub>와 P<sub>i+1,j</sub> 사이의 저항이고, 마찬가지로 RY<sub>(i,j)</sub>는 점 P<sub>ij</sub>와 P<sub>i,j+1</sub> 사이의 저항이다. 위의 두 식은 모두 같은 현상을 표시하고 있으므로, 다음과 같이 계수비교를 통해 RX, RY에 관한 식으로 나타낼 수 있다.

$$RX_{(i,j)} = \frac{2 \times R_{\square} \times h_i}{k_j + k_{j+1}}$$

$$RY_{(i,j)} = \frac{2 \times R_{\square} \times k_j}{h_i + h_{i+1}}$$

전체 공통 전극을 N개로 동등하게 나눈다고 가정할 때, 전극의 x축 길이가 LX, y축 길이가 LY라고 하면, 이 때 mesh회로의 x축, y축 길이는 각각 h<sub>i</sub>=LX/N, k<sub>j</sub>=LY/N이다.<sup>1</sup>

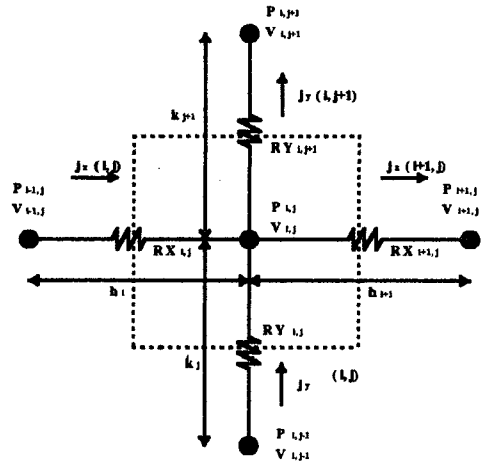


그림 2. 공통 전극의 좁은 영역에서의 등가회로

시뮬레이션에 사용되어진 주요 파라메타의 종류와 그 값은 표 1에 보여주고 있다. 15인치 XGA급(1024×768) TFT-LCD를 기준으로 하여 0.5 cm<sup>2</sup>/V·s의 전체 효과 이동도와 채널의 폭/길이가 25/5 μm인 TFT를 가지고 (500, 500) 화소에서 시뮬레이션 하였다. 공통 전극 분할 수가 N일 때, 공통전극에 전압

이 인가된 지점과 ground를 제외한 나머지 부분의 전압과 저항과의 관계는  $((N+1)^2-2) \times ((N+1)^2-2)$  행렬로 나타낼 수 있고, 그 역행렬을 구하여 각 지점의 전압을 구할 수 있다. 그러나, 공통 전극의 분할수가 커지면 행렬의 크기는 기하급수적으로 늘어나게 된다. 본 연구에서와 같이  $N=100$ 인 경우는  $10199 \times 10199$  행렬의 역행렬을 구하여 전압을 계산하여야 하는데 이러한 작업은 거의 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 Jacobi 반복법으로 전압을 구하였고, PSpice와 비교한 결과 오차가 0.1% 이내임을 확인하였다.<sup>3-4</sup>

표1. 시뮬레이션에 사용된 파라메타의 종류와 값

항목	값	항목	값
대각크기	15"	게이트 전압	0~10 V
해상도	1024×768	데이터 전압	0~20 V
외관비	4 : 3	문턱전압	3 V
프레임 시간	16.667	전계효과이동도	0.5 cm <sup>2</sup> /Vs
제조수	64	절연체 유전율	6.5
실리콘 두께	3000 Å	액정 유전율	9.8, 3.2
채널 폭	25 μm	채널 길이	5 μm
중첩 폭	25 μm	중첩 길이	3 μm
Inversion	Frame	Pixel의 위치	500, 500
공통 전극 분할수	100	공통 전극의 면저항	60 Ω/□

### 3. Simulation 결과

Jacobi 반복법으로 구한 공통 전극의 상의 수평방향의 전압은 그림 3과 같다. 768 line중 500번째 line에서의 전압이므로 전극의 중앙에 해당하며, 이때의 전압 강하는 약 0.05V 정도이다.

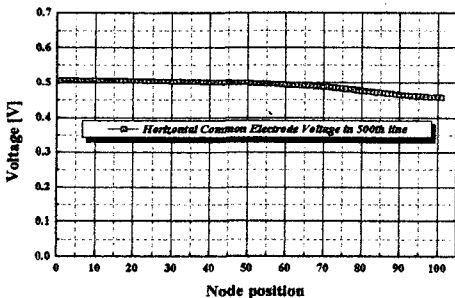


그림 3. 공통 전극상의 수평 방향의 전압

다음은 공통 전극상의 수직 방향의 전압을 그림 4

에 나타내었다. 수직 방향의 전압과 마찬가지로 500 번째 line에서 전극의 수직 방향 전압을 확인하였다.

수평 방향의 전압보다는 전압의 변화가 그다지 크지 않았다. 이는 전극의 중앙에서는 전압 강하가 크게 발생하지 않는다는 사실을 나타낸다.

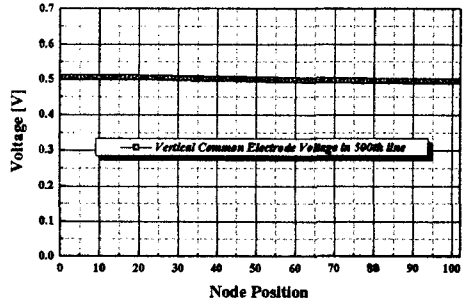


그림 4. 공통 전극 상의 수직 방향의 전압

그림 5는 공통 전극 상의 대각선 방향의 전압을 보여준다. 공통 전극에 인가되는 전압은 전극의 상단 왼쪽부분이고, ground는 하단 오른쪽 부분이다. 그림 4, 5와는 다르게 대각선 방향의 전압은 변화가 상당히 크고, 따라서 electric field가 큰 전극의 corner 부분에서는 좀 더 정확한 계산이 필요하다.

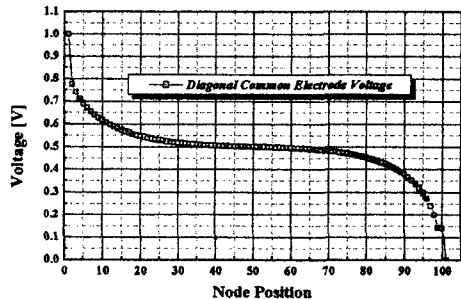


그림 5. 공통 전극 상의 대각선 방향의 전압

그림 6은 공통 전극의 총 전압 분포를 나타내고 있다. 앞서 살펴본 바와 같이 전압이 인가되는 부분과 ground가 연결된 부분에서는 강한 electric field가 발생하기 때문에 전압의 변화가 크고, 이렇게 불균일한 공통 전극의 전압은 화질에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

그림 7, 8은 500번째 line의 500번째 화소에서의 화소전압의 증·방전특성을 나타내었다. 기존의 화

## 디스플레이 광소자분야

소 충·방전 시뮬레이션에서는 단순히 data전압의 high값과 low값의 중간값을 공통 전극의 전압으로 가정하였고, 이를 본 연구에서 구한 공통 전극 전압을 적용한 화소 충전 특성과 비교하였다.

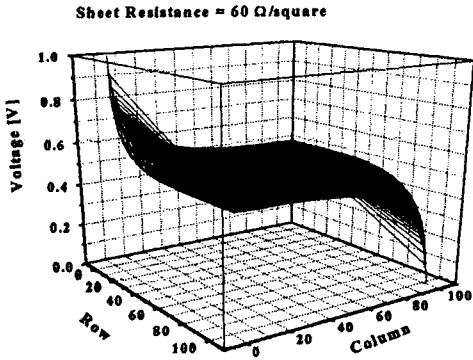


그림 6. 공통 전극의 총 전압 분포

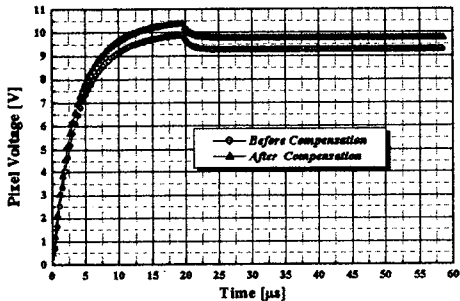


그림 7. 공통 전극 전압을 보상한 화소 충전 특성과 기존의 화소 충전 특성의 비교

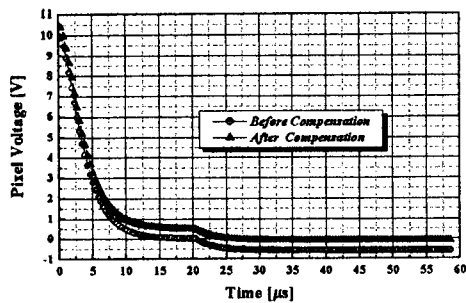


그림 8. 공통 전극 전압을 보상한 화소 충전 특성과 기존의 화소 방전 특성의 비교

## 4. 결론

본 연구에서는 화질에 직접적인 영향을 끼치는 feed-through 전압을 보상하기 위한 공통 전극 전압의 분포를 시뮬레이션 하였다. 또한, 이렇게 구한 공통 전극 전압으로 화소의 충·방전 특성을 이전의 결과와 비교함으로써 실제적인 화소 전압을 비교, 분석할 수 있었다. 불균일한 공통 전극 전압은 화질에 치명적인 영향을 주게되고, 특히 전압이 인가되는 부분과 ground 주위에서는 전압의 변화가 극명하게 나타났다. 향후 이러한 불균일한 공통 전극의 전압을 고려한 설계가 이루어져야 할 것이다.

본 논문은 통상산업부와 과학기술처에서 시행한 선도기술개발(G-7)사업의 지원으로 수행되었음

## 참고 문헌

- [1] N. Ikeda, "TFT-LCD Simulator Comprising a New Common Electrode Model", SID 95 Digest, 33.4, pp.747-750.
- [2] David K. Cheng, "Field and Wave Electromagnetics", Addison Wesley, pp.208-219, 1989.
- [3] J.Douglas Faires, "Numerical Methods", PWS, pp.336-342, 1993
- [4] Gilbert Strang, "Linear Algebra and Its Applications" Third Edition, Hartcourt Brace & Company International Edition, pp.380-386, 1988
- [5] Toshihisa Tsukada, "TFT/LCD Liquid-Crystal Displays Addressed by Thin-Film Transistors", Gordon and Bleach Publishers, 1996
- [6] M. Ohta, "Active Matrix Network Simulator Considering Nonlinear C-V Characteristics of TFT's Intrinsic Capacitances", Japan Display '92, pp.431-434
- [7] Shigeru Yachi, "An Analysis of Source-Common Coupling Effect in Large-Area TFT-LCDs", SID 91 Digest, 4.6, pp.30-33
- [8] Robert L. Wisnieff, "Modeling and Simulation of TFT-LC Arrays", Extended Abstracts of the 22nd (1990 International) Conference on Solid State Devices and Materials, pp.983-986, 1990