

1매의 편광판으로 구성된 반사형 Fringe Field Switching

Mode의 전기광학 특성

박지혁¹, 정태봉², 김향울³, 고재완⁴, 이승희⁵

Abstract

부과형 광 시야각 모드의 하나인 Fringe Field Switching (FFS) mode를 반사형 액정 디스플레이 소자로 응용하여 전기 광학적 특성을 컴퓨터 시뮬레이션 하였다. FFS mode는 액정이 수평으로 균일하게 유지되면서 구동하므로, 시야각에 따른 굴절률 변화 역시 균일하게 유지된다. 이러한 특성 때문에 반사형 FFS mode는 부가적인 위상필름을 쓰지 않고, 액정층과 편광판 1매 만으로도 일정한 수준의 반사형 디스플레이 특성을 얻을 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 1매 편광판과 액정층, 반사판으로 구성된 Normally Black모드의 셀 구조를 취하고, 셀 간격을 일정하게 유지하면서 액정의 Δn 을 변화시켜 특성을 구하는 방식으로 수행하여, 입사광의 파장이 550nm일때 최적의 셀 위상차값으로 $d\Delta n$ 인 $0.1365\mu\text{m}$ 를 얻었다. 입사광원을 0° 로 하고 편광판 투과율이 41%였을 때 정면 반사율은 on시 33.6%, off시 0.14%로 명암대비가 233:1이었다. 특히 시야각은 극각 60° 이내의 전 방향에서 명암 대비가 5이상의 특성을 보였다.

Key Words : 반사형 액정 디스플레이, Fringe Field Switching mode, 시야각

1.서론

반사형 액정 디스플레이는 얇고 가벼우며, 소비 전력이 적으면서도 고정세 디스플레이가 가능하다는 장점 때문에 모바일 디스플레이 소자로 각광받고 있다. 지금까지 소개된 반사형 액정 디스플레이는 STN과 TN모드는 물론, ECB모드, HAN모드 등 액정의 굴절률 이방성을 이용하는 종류와 PDLC, G-H모드 등 액정이나 액정상 물질의 빛에 대한 산란, 흡수 성질을 이용하는 종류 등 그 종류가 매우 다양하다[1]. 이처럼 반사형 액정 디스플레이로 많은 모드가 제안되고 시도되는 이유는 그만큼 반사형 액정 디스플레이에 있어서 독점적인 지위를 누릴 수 있을 만큼의 만족스러운 모드가 아직 나타나지 않았기 때문이기도 하다. 반사형 디스플레이의 성능을 좌우하는 요소로 가장 중요한 것은 반사율(휘도)과 명암대비(Contrast Ratio : C/R)이다. 그런데 이 두 가지 요소는 서로 trade-off관계에 있다. 일반적으로 액정의 굴절률 이방성을 이용하는 종류는 명암대비가 높은 반면 반사율이 낮고, 액정의 광 산란, 흡수를 이용하는 종류

는 그 반대인 경우가 많다. 액정의 굴절률 이방성을 이용하는 반사형 디스플레이는 액정층의 on과 off 특성이 중요시 되는 부과형과 달리 액정층이 일종의 동적 광 위상필름으로서의 역할을 해야 한다. 이것이 반사율과 명암대비를 결정한다. 그러나 이러한 모드의 대부분은 구동에 따른 액정방향자의 배열이 수직-수평의 3차원적인 거동을 하므로 균일한 동적 광 위상필름의 동작을 하지 못한다. 이를 보완하기 위해 굴절률 보상필름이 필요하고 따라서, 반사율의 저하되고 공정이 복잡해지는 등의 내재적인 문제를 가지게 된다.

본 연구에서는 부과형 광 시야각 모드의 하나인 FFS mode를 반사형 디스플레이 소자로 응용하여 전기-광학적 특성을 얻기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다[2-4]. FFS mode는 액정이 수평으로 균일하게 유지되면서 구동하므로, 구동에 따른 액정 셀의 굴절률 변화 역시 균일하게 변화된다. 이는 동적 광 위상필름으로서의 이상적인 조건이므로 반사형 액정 디스플레이에서 좋은 특성을 기대할 수 있다. 이러한 장점으로 반사형 FFS mode가 부가적인 위상필름을 쓰지 않고, 액정층과 편광판 1매 만으로

도 일정한 수준의 디스플레이 특성을 얻을 수 있다. 본 연구팀은 이러한 구조로 이루어진 셀 구조를 구상하고 컴퓨터 시뮬을 하였다.

2. 본론

- 셀 구조와 컴퓨터 시뮬

컴퓨터 시뮬은 먼저 셀 구조를 선정하고, 최적의 셀 위상지연 값을 도출한 후, 도출된 $d\Delta n$ 에서의 전기-광학적 특성을 실험하는 순서로 진행하였다. 셀 구조는 1매의 편광판과 액정셀, 그리고 반사판으로 이루어지고 Normally Black(NB) 모드로 구성하였다. 그림 1에서 보는 것과 같이 편광판 1매를 사용해서 NB모드를 구현하기 위해서는 액정셀이 1/4 파장판으로서의 역할을 해야 하며, 가시광선 영역을 대표할 수 있는 파장인 550nm를 기준으로 하면 액정 셀의 두께와 굴절률 이방성의 곱 $d\Delta n$ 은 137.5nm가 되어야 한다. 이때의 편광판의 투과축과 액정 방향자의 장축방향과는 45° 각도를 이룬다. On 상태에서는 액정층이 전기장에 의해 수평으로 회전하여 편광판의 투과축과 액정 방향자의 장축과 일치한다. On-Off때의 편광변화는 아래 그림 1과 같다. 중간계조를 표시하기 위해서 액정의 방향자를 22.5° 만 회전시킨다면 액정층을 두 번 통과한 빛은 원편광이 되어 50%만 투과된다.

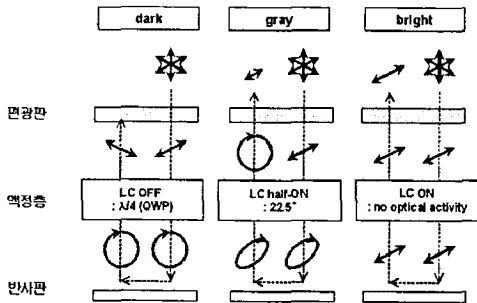
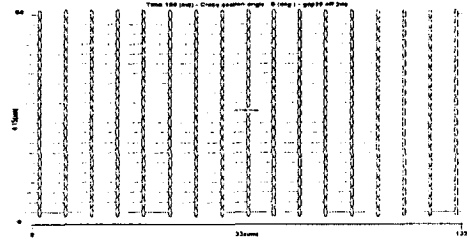


그림 1. 액정 셀에서의 빛의 편광변화

컴퓨터 시뮬은 셀의 최적 $d\Delta n$ 을 얻기 위해 액정층의 두께를 $3.9\mu\text{m}$ 로 일정하게 유지하고 액정의 Δn 을 변화시켜 최적의 위상지연 값을 구했다. 액정의 구동전극은 일반적인 투과형 FFS와 동일하게 구성하였다. 가장 아래쪽의 전극은 집지전극으로 평면 전극으로 되어 있고, 두께 2500Å 와 유전상수 6.5를 가진 유전체를 사이에 두고 화소 전극이 적

자형태로 배치되어 있다. 화소 전극의 폭은 $3\mu\text{m}$ 이고, 화소 전극 간 간격은 $5\mu\text{m}$ 이다. 액정은 유전율 이방성 $\Delta\epsilon$ 이 -4.0인 일반적인 액정을 기준으로 하여 Δn 을 0.02에서 0.05까지 0.003간격으로 계산하였다. 액정의 초기 배열은 프리즈장의 수평성분의 방향에 대하여 $+12^\circ$ 각도로 두고, pre-tilt각은 2° 로 두었다. 컴퓨터 시뮬결과 구동전압은 약 5.5V로 그림 2에서 나타난바와 같이 액정이 충분히 틀어져 있는 것을 볼 수 있다.

① off조건에서의 액정 방향자 분포



② on조건에서의 액정 방향자 분포

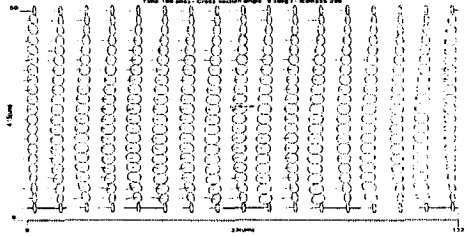


그림 2. 전압 무인가(off)시와 인가(on)시의 액정 방향자.

- 최적 $d\Delta n$

그림 3은 $d\Delta n$ 에 따른 파장별 반사율 및 명암대비를 나타낸 것으로써 컴퓨터 시뮬 결과 C/R값이 가장 좋은 최적 $d\Delta n$ 은 예상대로 입사파장이 550nm일 경우 $0.1365\mu\text{m}$ 이고 이때 액정의 Δn 은 0.035이다. 이는 액정 셀을 1/4 파장판으로 두고 계산한 값과 크게 차이가 나지 않는다. 셀 구조를 NB모드로 두었기 때문이다. 이 조건은 반사율이 최대가 되는 값은 아니다. 액정 방향자의 분포에서 볼 수 있듯이 FFS 모드의 전극 구조에서도 액정층의 모든 액정이 전계에 반응하여 회전하는 것이 아니다. 따라서 액정층의 실제 $d\Delta n$ 은 d 에 따라 분

포된 액정 방향자의 적분값에 따른다. 따라서, 반사율이 최대가 되는 실제의 $d\Delta n$ 값은 좀 더 큰 값이 되어야 한다. 그러나 반사율이 최대가 되는 $d\Delta n$ 값은 액정 셀이 1/4 파장판이 되지 못하여 C/R값이 매우 낮아진다. 이러한 구조에서 액정셀의 단점은 그림 3에서 나타난바와 같이 off 상태에서의 광누설 정도는 액정셀의 위상차 값뿐만 아니라 파장에도 의존성이 큰 것을 볼 수 있다. On 상태는 상대적으로 off 상태의 위상차 값 및 파장 의존성보다는 적음을 보 수 있다. 이러한 특성은 셀의 위상 지연 값에 따른 C/R값에서 보여준 것처럼 최대 C/R값을 갖는 셀의 위상지연 값이 파장마다 다르다. 이러한 이유는 액정의 굴절률 이방성이 근본적으로 파장에 따라 다르기 때문에 발생하는데 실제 액정 셀 제작시는 칼라필터의 R, G, B투계를 달리 하여 이러한 문제를 극복할 수 있다.

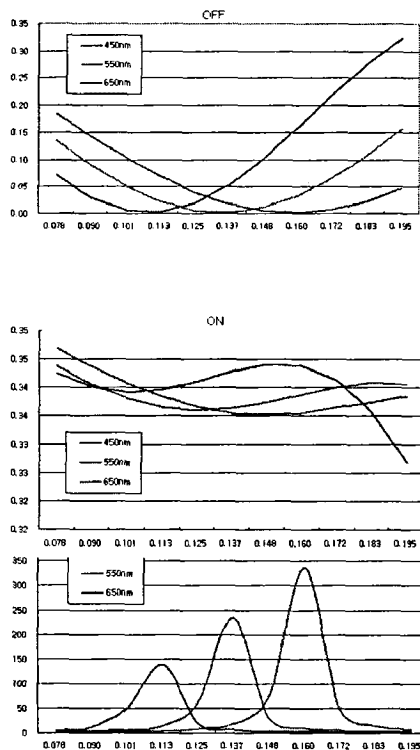


그림 3. 450nm, 550nm, 650nm에서의 $d\Delta n$ 별 반사율과 명암대비비 (x축은 $d\Delta n(\mu m)$, y축은 각각 반사

율과 명암대비비)

-시야각과 V-R

그림 4는 $d\Delta n$ 이 $0.1365\mu m$ 조건에서 0.8V에서 5.4V까지 0.2V간격으로 구동전압을 인가하는 조건으로 컴퓨터 시뮬에 의한 파장별 Voltage - Reflectance(V-R) 결과를 나타낸다. Off상태의 광누설 정도를 제외하고는 파장별 V-R 곡선은 유사함을 보여준다. 표 1은 파장별 명암대비비 및 반사율을 나타낸다. 그림 3(c)에서 예측된 것처럼 파장의존성이 커서 파장별 액정 셀값을 달리 하지 않는 한 좋은 광 특성을 얻기는 어려움을 보여주고 있다. 그림 5는 $d\Delta n$ 이 $0.1365\mu m$ 조건에서 시야각 특성, 즉 파장별 등 휘도 곡선과 등 명암대비비를 얻기 위해 컴퓨터 시뮬하였다. 나타난 바와 같이 액정 방향자가 기판에 평행하게 회전하기 때문에 on상태에서 시야각에 따른 반사율의 변화가 상대적으로 균일하고 정면대비 반사율 50%이상인 영역이 전 방향 60° 이상임을 보여준다. 또한 파장 의존성도 상대적으로 적음을 알 수 있다. 시야각에

	450nm	550nm	650nm
0.8V	0.042	0.002	0.025
5.4V	0.345	0.344	0.345
C/R	8.3	146.0	14.0

따른 off상태에서의 광 누설 정도는 $d\Delta n$ 이 최적화

그림 4. 450nm, 550nm, 650nm에서의 인가전압에 따른 반사율 변화 그래프

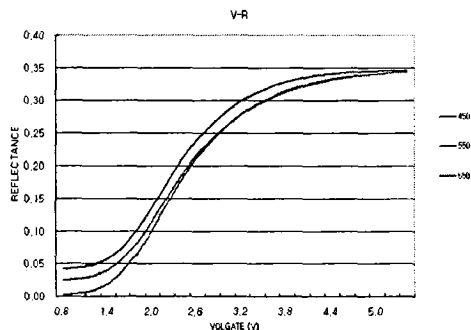


표 1. V-R 컴퓨터 시뮬 결과

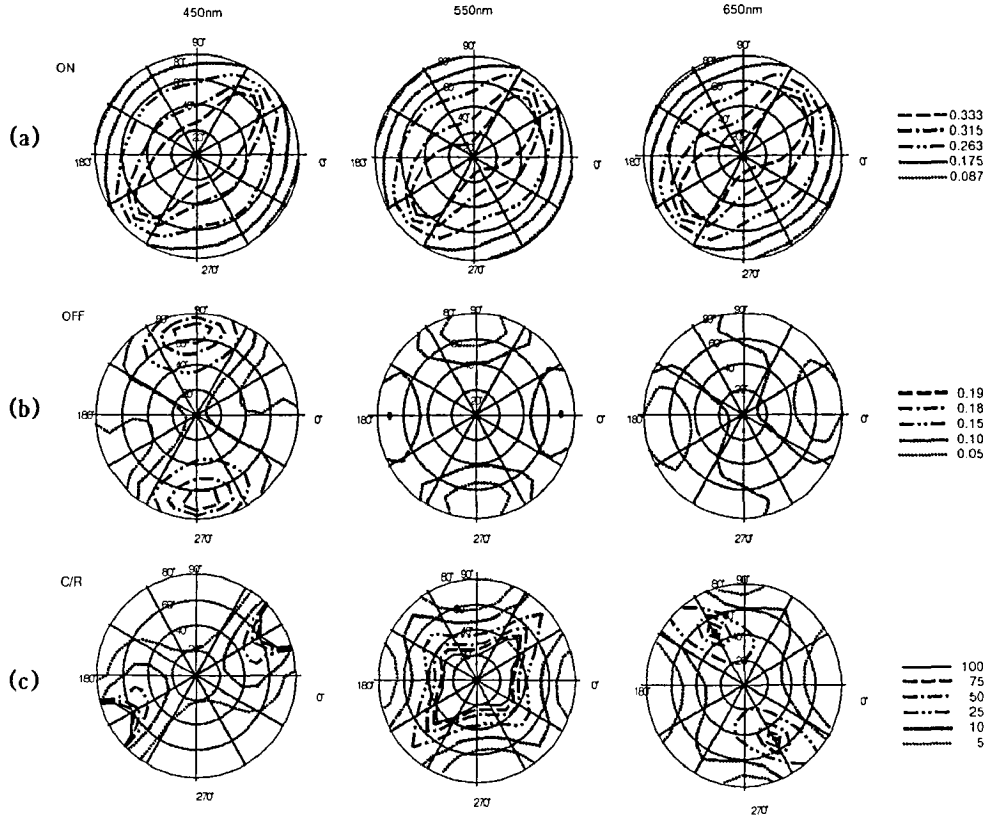


그림 6. (a) 전압 인가시 등 휘도 곡선
 (b) 전압 무인가시 등 휘도 곡선
 (c) 등 명암 대비율 곡선

된 550nm 입사광의 경우가 가장 적음을 보여주고 따라서 시야각에 따른 C/R값도 이 경우가 매우 좋다. 정면에서부터 30°까지의 시야각 반경에서는 C/R비가 100:1에 이른다. 시야각도 매우 넓어서 상하 일부분을 제외하고는 대부분의 영역에서 5:1을 넘어서고 있다. 반사율은 450nm의 낮은 파장대가 가장 좋은데 다른 파장대에 비해서 상대적인 $d\Delta n$ 값이 크기 때문이다. 반면 off 상태에서 빛샘이 커 다른 파장대에 비하여 C/R값은 떨어진다. 650nm 파장대에서도 전체적으로 고른 dark 상태를 보여주고 있어서 좋은 특성을 유지하고 있다. 따라서 가시광선 영역 전체를 고려한다면 0.1365 μm 보다 조금 낮은 $d\Delta n$ 조건에서 보다 나은 화면품위를 기대할 수 있을 것이다.

3. 결론

FFS 모드를 반사형 디스플레이 소자로 응용하여 1매의 편광판과 1층의 액정층과 반사판만으로 구성하여 컴퓨터 시능 한 결과 우수한 전기-광학적 특성을 보였다. 별도의 위상필름을 부가하지 않고도 비교적 넓은 파장에서 높은 명암대비율을 보였으며, 대부분의 파장대에서 반사율이 33%를 넘어서 높은 광효율을 보였다. 다만, 450nm 파장대의 일부 시야각에서의 빛샘이 존재하는 것은 이론적인 최적치보다 낮은 영역에서 보다 좋은 화면품위를 낼 수 있는 실제적인 최적 $d\Delta n$ 이 존재할 가능성을 보여주는 것으로, 앞으로 실제 셀을 제작, 실험할 때에 충분히 고려해야 할 점으로 생각된다. 또한 실제 셀 제작시는 칼라필터의 두께를 달리하

여 각각의 R, G, B 파장에서 1/4 파장판의 역할을 하게 설계하는 것이 좋은 광 특성을 보여주기 위한 필수 조건일 것이다.

FFS는 높고 고른 반사율과 높은 명암대비비 외에도, 넓은 시야각과 부분적인 늘림에 의한 화면왜곡현상이 거의 없는 등 장점이 있으므로, 투과형 뿐만 아니라 반사형의 응용에 있어서도 좋은 접근이 될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 IMT2000-A1-4 지원급 기술 개발 지원 사업에 의해서 시행 되었으며 컴퓨터 시뮬레이션에 도움을 주신 홍승호씨와 결과의 광학적 해석에 도움을 주신 노정동씨에게 감사드린다.

참고 문헌

- [1] T. Ogawa, S. Fujita, Y. Iwai, H. Koseki, "The Trend on the Color and Gray Reflective LCDs for future Electronic Paper", SID'98 Digest, p.217 (1998).
- [2] S. H. Lee, S. L. Lee, H. Y. Kim and T. Y. Eom, "A Novel Wide-Viewing-Angle Technology Ultra - Trans View", SID'99 Digest, p.202 (1999).
- [3] S. H. Lee, S. M. Lee, H. Y. Kim, J. M. Kim, S. H. Hong, Y. H. Jeong, C. H. Park, Y. J. Choi, J. Y. Lee, J. W. Koh, H. S. Park, "18.1" Ultra FFS TFT-LCD with Super Image Quality and Fast Response Time", SID'01 Digest, p.484 (2001).
- [4] S. H. Lee, S. H. Hong, H. Y. Kim, C. H. Park and W. G. Lee "A Reflective Liquid Crystal Display with Fringe-Field Switching mode", SID'00 Digest, p.763 (2000).