

Fringe-Field 구동형 새로운 반투과형 수평 배향 액정 디스플레이

A Novel Transflective Homogeneously Aligned Liquid Crystal Display Driven by Fringe-Field

정태봉, 이승희*

(Tae Bong Jung and Seung Hee Lee)

Abstract

We have designed transflective liquid crystal display(LCD) associated with in-plane switching of a LC director driven by fringe-field, unlike other LCD mode. Reflective area consists of a $\lambda/2$ compensation film and a LC cell with retardation value($d\Delta n$) of $\lambda/4$ with their optic axes making an angle of 15° and 75° against polarizer, respectively. In the transmissive area, top and bottom polarizers are parallel each other, an LC has a $d\Delta n$ of $\lambda/2$, and another $\lambda/2$ compensation film is inserted between the LC cell and bottom polarizer. With the configuration, both devices show dark state initially. When an incident light is 550nm, the device shows wide-viewing-angle characteristics such that in the reflective area the contrast ratio larger than 5 exists up to 55° of polar angle in all directions and in transmissive area it exists about 100° in vertical direction and 110° in horizontal direction.

Key Words : Transflective liquid crystal display, In-plane switching, Fringe-field, Wide-viewing-angle

1. 서론

액정 디스플레이는 일반적으로 두 가지 종류로 분류된다. 내부 광원을 이용하는 투과형 모드와 외부 광원을 이용한 반사형 모드로 나눌 수 있다. 투과형 액정 디스플레이는 내부 광원을 사용하기 때문에 소비 전력이 높아서 이동식 정보 디스플레이의 적용이 어려운 반면에 반사형 액정 디스플레이는 외부 광원을 사용하기 때문에 소비전력이 매우 적고, 뿐만 아니라 얇고 가벼우며 옥외 시인성이 매우 뛰어나다[1]. 하지만 반사형 모드의 단점은 옥내에서는 주변 광원의 세기가 약해지기 때문에 디스플레이 이미지가 현저하게 떨어진다. 그래서 옥외에서나 옥내에서 시인성을 개선하기 위해서 여러 가

지 반투과형 액정 디스플레이 모드가 제안되어졌다 [2-5].

일반적인 액정 모드는 기판에 대해서 수평 혹은 수직으로 배열된 액정이 수직 전기장이 인가하면 수직 혹은 수평으로 액정들이 재배열한다. 이와는 달리 기판에 대해서 수평 배열된 액정이 전계 인가 시 기판에 대해서 거의 평행을 유지하면서 한 방향으로 구동되어 광시야각과 높은 투과율을 보이는 fringe-field switching (FFS)모드가 제안되었다. 이러한 FFS 모드를 응용한 투과형 액정 디스플레이의 전기광학 특성에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험적 결과들에 대해서 많은 보고가 있었다[6-9]. 또한 본 연구실에서는 투과형 FFS 모드를 응용한 반사형 FFS 모드에 대해서 연구하였다[10,11]. 본 논문에서는 FFS 모드를 이용해서 반사 영역과 투과 영역에서 전기광학 특성이 매우 우수한 반투과형 액정 디스플레이 모드의 광학적 셀구조를 제안하였으며, 또한 그 소자에 대해서 전기광학 특성에 대해서 연구하였다.

* : 전북대학교 신소재공학부

(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)

Fax: 063-270-2341

Corresponding Author : lsh1@moak.chonbuk.ac.kr)

2003년 1월 20일 접수, 2003년 2월 17일 1차 심사완료,
2003년 3월 13일 최종 심사완료

2. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서는 FFS 모드를 이용한 반투과형 액정 디스플레이의 전기 광학 특성에 대해서 2 X 2 Jones extended matrix 방법에 의해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다[12]. 그림 1은 반투과형 모드의 광학 셀구조를 나타낸 것으로서 θ 는 x축에 대해서 시계 반대 방향으로의 각을 의미한다. 그림 1(a)는 반사 영역으로 편광판과 $\lambda/2$ 보상필름 1매, 액정셀 그리고 반사판으로 구성 되어졌으며, 편광판의 투과축에 대해서 $\lambda/2$ 보상필름이 15° , 액정셀과는 75° 틀어져 있다 그림 1(b)는 투과 영역으로 편광판과 $\lambda/2$ 보상필름 1매, 액정셀, $\lambda/2$ 보상필름 1매 그리고 편광판으로 이루어졌으며, 상판의 편광판 투과축 방향에 대해서 $\lambda/2$ 보상필름이 15° , 액정셀과는 75° , 아래쪽 $\lambda/2$ 보상필름과는 15° 틀어져 있으며, 상하 편광판은 평행하게 배열되어져 있다. 그래서 투과 영역과 반사 영역에서 전압 무인가시 어둡 상태를 보이는 normally black(NB) 모드를 채택하였다. 사용되어진 편광판 한 장과 두 장의 투과율은 각각 41%, 35%이고, $\lambda/2$ 보상필름들의 투과율은 약 90%이다.

구동 전극은 일반적인 투과형 FFS 모드와 동일하게 구성하였고, 공통 전극은 평면 전극으로 되어 있으며, 두께 2500\AA 와 유전 상수 6.5를 가진 절연체를 사이에 두고 화소 전극이 배치되어있다. 화소 전극의 폭은 $3\mu\text{m}$ 이고, 화소 전극간 거리는 $4.5\mu\text{m}$ 이다. 사용된 액정의 유전율 이방성($\Delta\epsilon$)은 -4.5이고, 탄성계수가 $K_{11} = 13.5\text{pN}$, $K_{22} = 6.0\text{pN}$, $K_{33} = 15.1\text{pN}$ 인 액정을 사용하였으며, 액정의 초기 러빙 방향은 전기장의 수평 성분 방향에 대하여 12° 로 두었다. 상하판의 러빙 방향은 서로 반대 방향으로 수평 배열된 셀구조로 액정의 초기 프리틸트각은 2° 를 형성한다. 반사 영역의 셀갭을 $2\mu\text{m}$ 으로 하였으며 투과 영역의 셀갭은 반사 영역의 두 배인 $4\mu\text{m}$ 로 하였다. 액정셀의 위상지연값($d\Delta n$)은 입사 파장이 550nm 일 경우, 반사영역에서는 $0.1375\mu\text{m}$ 이고 투과 영역은 $0.275\mu\text{m}$ 로 설정하였다.

그림 1과 같은 셀구조에서 빛의 편광 상태를 살펴보면, 먼저 반사 영역에서는 편광판에 의해서 선편광된 빛이 편광판과 15° 틀어진 $\lambda/2$ 보상필름을 통과하면 57° 로 진동하는 선편광된 빛이 된다. 선편광된 빛과 45° 틀어진 $d\Delta n$ 이 $\lambda/4$ 인 액정셀을 통과하면 타원편광 되어지고, 이 빛은 반사판에 의해서 반사되어 액정셀과 $\lambda/2$ 보상필름을 다시 통과하면 처음 들어온 선편광된 빛의 진동 방향에 대

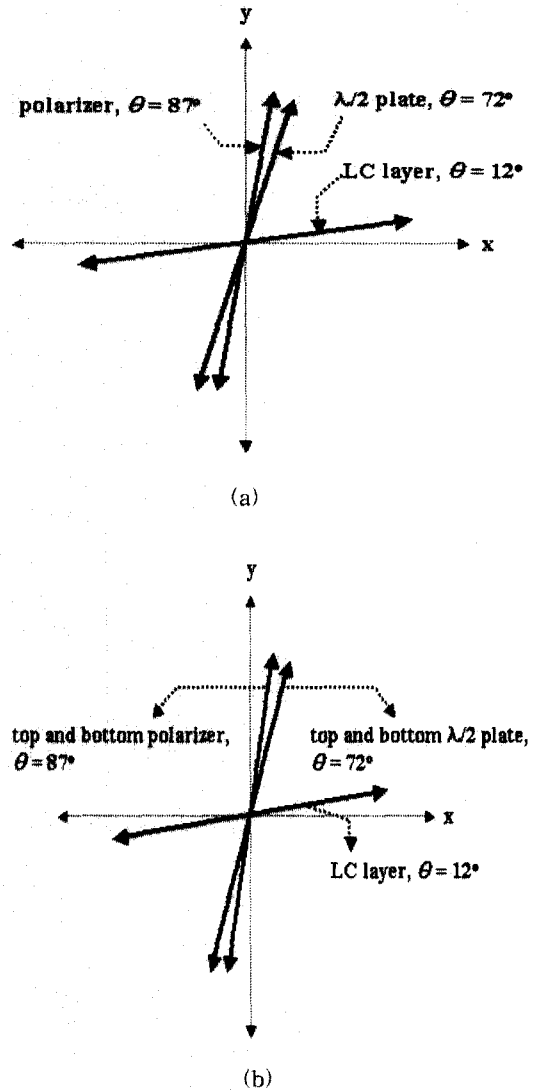


그림 1. 반투과형 디스플레이의 셀구조: (a) 반사 영역, (b) 투과 영역.

Fig. 1. Cell structure of the transfective display: (a) reflective area, (b) transmissive area.

해서 90° 회전된 선편광된 빛이 되기 때문에 편광판 흡수축에 흡수되어 어둡 상태를 나타낸다. 전압을 인가하면, 액정 방향자가 전계에 대해서 평균적으로 45° 회전하기 때문에 편광판과 $\lambda/2$ 보상필름을 통과한 57° 로 진동하는 선편광된 빛은 액정 방향자와 일치하기 때문에 편광 상태를 변화시키지

않는다. 액정셀을 통과한 빛은 반사판에 의해서 반사되어지고, 다시 액정층과 $\lambda/2$ 보상필름을 통과하여 처음 들어온 선편광된 빛의 진동 방향과 일치하기 때문에 밝음 상태를 가진다. 투과 영역에서는 편광판에 의해서 선편광된 빛이 편광판과 15° 틀어진 $\lambda/2$ 보상필름을 통과하면 57° 로 진동하는 선편광된 빛이 된다. 45° 틀어진 $d\Delta n$ 이 $\lambda/2$ 인 액정셀을 통과하면 -33° 로 진동하는 선편광된 빛이 되고, 105° 틀어진 $\lambda/2$ 보상필름을 통과하면 177° 로 진동하는 선편광된 빛이 된다. 이 빛은 상판의 편광판 투과축에 대해서 90° 회전된 방향으로 진동하므로 편광판 흡수축에 의해서 흡수되어 어둡게 상태를 나타낸다. 전압 인가시 액정셀은 반사 영역과 마찬가지로 편광 상태를 변화시키지 않는다. 편광판과 $\lambda/2$ 보상필름을 통과한 57° 로 진동하는 선편광된 빛은 액정셀은 그냥 통과하고, 다시 15° 틀어진 $\lambda/2$ 보상필름을 통과하면 편광판 투과축과 일치하는 방향으로 진동하는 선편광된 빛이 되어서 밝음 상태를 가진다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 전압에 따른 반투과형 모드에서의 입사 파장이 550nm일 때 인가 전압에 따른 반사율 및 투과율을 나타낸 것이다. 반사 및 투과 영역의 광효율이 98%인 구동 전압은 반사 영역에서는 5.9V이며 투과 영역에서는 4.7V이다. 또한 광효율

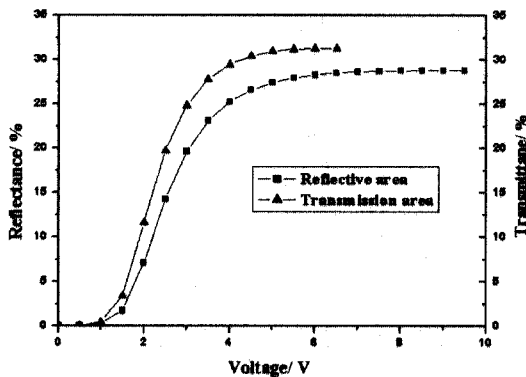


그림 2. 입사 파장이 550nm일 때, 전압에 따른 반사율 및 투과율.

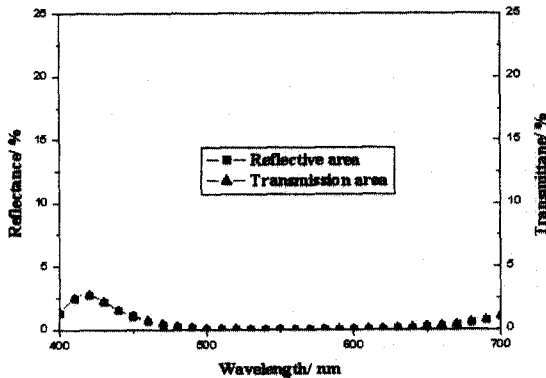
Fig. 2. Voltage-dependent reflectance and transmittance when the wavelength of an incident light is 550nm.

이 50%인 전압은 반사 영역(R_{50})에서는 2.5V이며 투과 영역(T_{50})에서 2.2V이다. 그림에서 보는 것과 같이 전압에 따른 반사율 및 투과율이 상이한 곡선을 나타내는데, 반투과형 모드에서는 투과 영역의 셀갭이 반사 영역의 셀갭의 두 배이기 때문이다. 또한 액정이 수평 배열된 FFS 모드에서는 셀갭이 $2\mu m$ 이하에서는 광효율이 저하되는 것을 볼 수 있다[13].

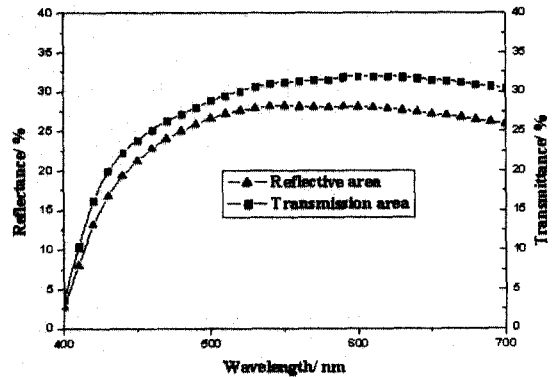
그림 3은 입사 파장에 따른 반사 영역과 투과 영역에서 전압을 인가 할 때와 전압을 인가하지 않았을 때 반사율과 투과율을 보여주는 것이다. 그림 3(a)는 전압 무인가시 투과 영역과 반사 영역에서 빛샘 정도를 보여주고 있다. 반사 영역에서 거의 모든 파장 대에서 어둡게 상태가 잘 유지되고 있다. 그 이유는 편광판의 투과축과 $\lambda/2$ 보상필름 그리고 $d\Delta n$ 이 $\lambda/2$ 액정셀이 특정각을 이룸으로써 전파장에 대해서 광대역 $\lambda/4$ 필름이 되어서 완벽한 어둡게 상태를 가진다. 또한 투과 영역에서도 거울 효과에 의한 반사 영역과 동일한 셀구조를 형성함으로 완벽한 어둡게 상태를 가진다. 그러나 액정만 사용한 반사형 셀구조에서는 파장 의존성이 매우 심하여 입사 파장에 따른 빛샘 정도가 매우 크게 나타나서 디스플레이 이미지를 저하시키는 원인이 된다[11]. 그림 3(b)는 전압 인가 후 입사 파장에 따른 투과율과 반사율을 나타내는 것이다. 낮은 입사 파장 영역을 제외하고는 균일한 투과율과 반사율을 보이고 있다. 이는 액정이 기판에 대해서 수평 배향된 셀이 전계 인가시 한 방향으로 회전하기 때문에 전계에 대해서 수직이나 수평으로 회전하는 액정 모드에 비해서 밝음 상태에서 파장 의존성이 매우 낮음을 알 수 있다.

그림 4, 5, 6, 7은 입사 파장에 따른 반사 영역에서 시야각 특성을 보여주고 있다. 그림 4는 반사율이 최저(R_0)일 때 입사 파장에 따른 등 반사율 곡선으로 반사율이 7%, 3%, 1%인 영역을 표시한 것이다. 그림 4(a)에서 대각선 방향으로 빛샘이 적음을 알 수 있고, 입사 파장별 빛샘이 크게 발생하는 영역은 대략 액정 러빙 방향에 대해서 $-20^\circ \sim 10^\circ$ 와 $160^\circ \sim 190^\circ$ 방향이다. 하지만 전 방향에 대해서 극각 30° 까지는 어둡게 상태가 완벽하고, 대각선 방향에서 보다 넓은 어둡게 상태를 가진다.

그림 5는 최대 반사율(R_{100})에 대해서 50% 반사율(R_{50})이 일어날 때의 등 반사율 곡선이다. 입사 파장이 550nm일 때, 정면에서 최대 반사율 70%, 50%, 30%인 영역을 나타낸 것으로, 그때의 반사율 값은 각각 9%, 7%, 4%이다. 그림 5(b)는 정면에서 최대 반사율의 50%인 영역이 상, 하, 좌, 우



(a)



(b)

그림 3. 입사 파장에 따른 빛샘 정도: (a) 전압 무인가시, (b) 전압 인가시.

Fig. 3. Wavelength dependent-light leakage: (a) off-state, (b) on-state.

80° 정도이고, 대각선 방향으로 서로 대칭적인 반사율을 보인다. 그림 5(c)에서 45° 방향에서 반사율이 저하됨을 알 수 있다.

그림 6은 구동 전압 인가시 입사 파장에 따른 등 반사율 곡선을 나타낸 것이다. 입사 파장이 550nm일 때, 정면에서의 최대 반사율의 70%, 50%, 30%인 영역을 나타낸 것이다. 입사 파장별 반사율이 방위각에 따라 균일함을 알 수 있고, 이는 다른 반투과형 액정 모드와는 달리 밝음 상태에서는 파장 의존성이 매우 적음을 알 수 있다.

그림 7은 입사 파장에 따른 등 명암 대비율 곡선이다. 그림 7(a)는 그림 4(a)에서 본 것과 같이 어둡 상태가 좋은 영역인 대각선 방향으로 CR이 우수하고, 그림 7(b)에서 CR이 100 이상인 영역은 정면에서부터 극각 55° 정도이며, 특정 방향인 120° ~ 150° 와 300° ~ 330° 사이에서는 매우 우수한 시야각 특성을 보인다.

그림 8, 9, 10, 11은 입사 파장에 따른 투과 영역에서 시야각 특성을 보여주고 있다. 그림 8은 투과율이 최저(T_0)일 때 입사 파장에 따른 등 투과율 곡선으로 투과율이 7%, 3%, 1%인 영역을 표시한 것이다. 그림 8(a)에서 빛샘이 적은 영역은 그림 4(a)와 마찬가지로 대각선 방향이며, 입사 파장별 빛샘이 발생하는 영역은 액정 러빙 방향인 12°와 러빙 방향에 대해서 180° 회전된 방향에서 크게 발생한다. 하지만 전 방향에 대해서 극각 30°까지는 어둡 상태가 완벽한 것을 볼 수 있다.

그림 9는 550nm의 입사 파장의 최대 투과율(T_{100})에 대해서 50% 투과율(T_{50})이 일어날 때의 등 투과율 곡선이다. 정면에서 최대 투과율의 70%, 50%, 30%인 영역을 나타낸 것이다. 그림 5와 마찬가지로 입사 파장에 따른 50%인 반사율 영역이 상, 하, 좌, 우 80° 정도이고, 대각선 방향으로 대칭적인 반사율을 보인다.

그림 10은 입사 파장에 따른 등 투과율 곡선을 나타낸 것이다. 550nm의 입사 파장의 T_{100} 에서 정면 최대 투과율의 70%, 50%, 30%인 영역을 나타낸 것이다. 그림 6과 마찬가지로 방위각에 따른 투과율이 입사 파장에 대해서 균일하게 발생한다.

그림 11은 입사 파장에 대한 등 명암 대비율 곡선이다. 입사 파장별 CR이 5이상인 영역은 정면에서부터 수직 방향은 100° 정도이며, 수평 방향으로 110° 정도이다. 또한 반사형 모드와 마찬가지로 특정 방향인 120° ~ 170° 와 300° ~ 330° 방향에서는 매우 우수한 시야각 특성을 보인다.

프린지 전기장을 이용한 FFS 모드와 시야각 특성을 비교하기 위해 수직 전기장만을 이용해서 수평 배열된 액정을 놓게 하거나 세우는 electrically controlled birefringence(ECB) 모드를 살펴보고 있으며, 그 때의 광학 셀구조는 종래의 연구를 참조하였다[14]. 그림 12는 입사 파장이 550nm일 때, T_{100} , T_{50} , T_0 의 등 투과율 곡선과 등 명암 대비율을 나타낸 것이다. 그림 12(a)는 T_0 일 때 등 투과율 곡선으로 방위각에 따른 빛샘 정도를 보여준다.

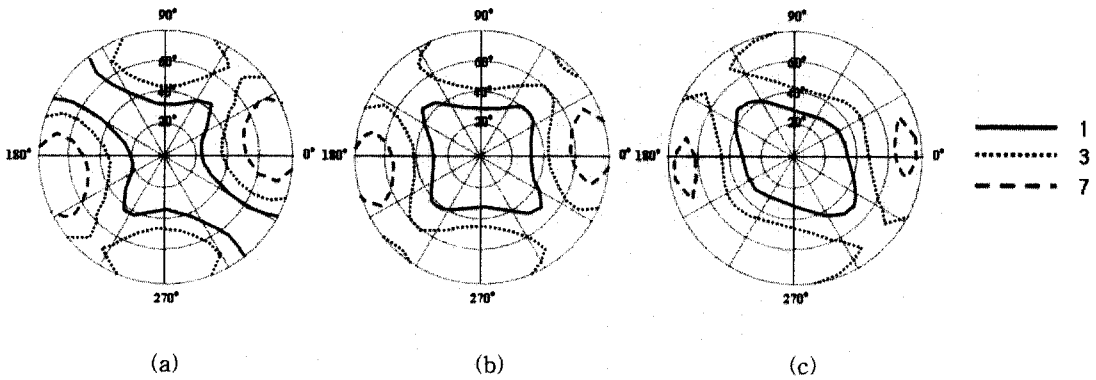


그림 4. R_0 일 때 등 반사율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

Fig. 4. Iso-reflectance contour at R_0 : (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

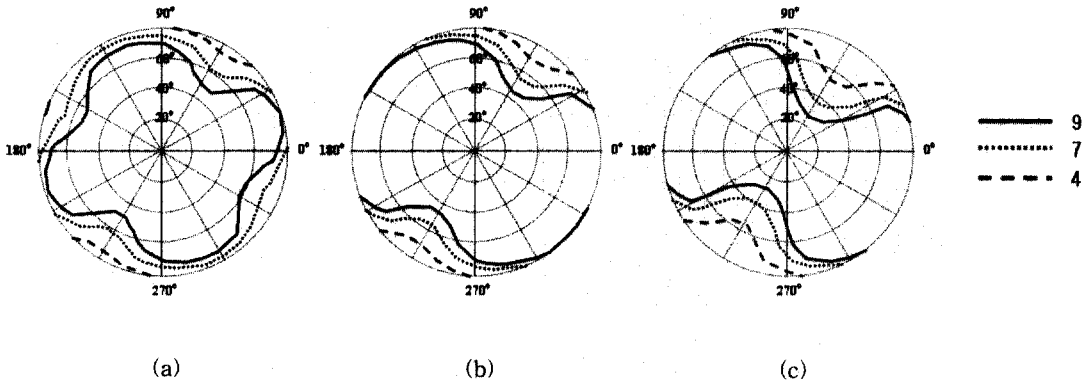


그림 5. R_{50} 일 때 등 반사율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

Fig. 5. Iso-reflectance contour at R_{50} : (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

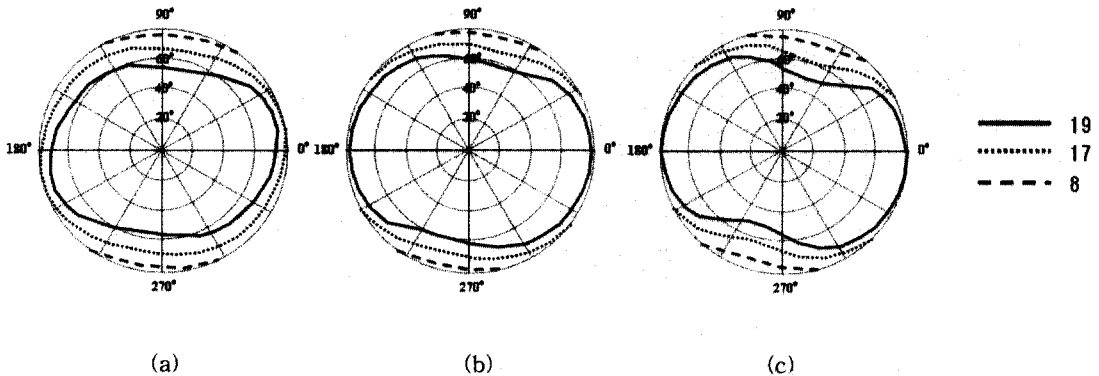


그림 6. R_{100} 일 때 등 반사율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

Fig. 6. Iso-reflectance contour at R_{100} : (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

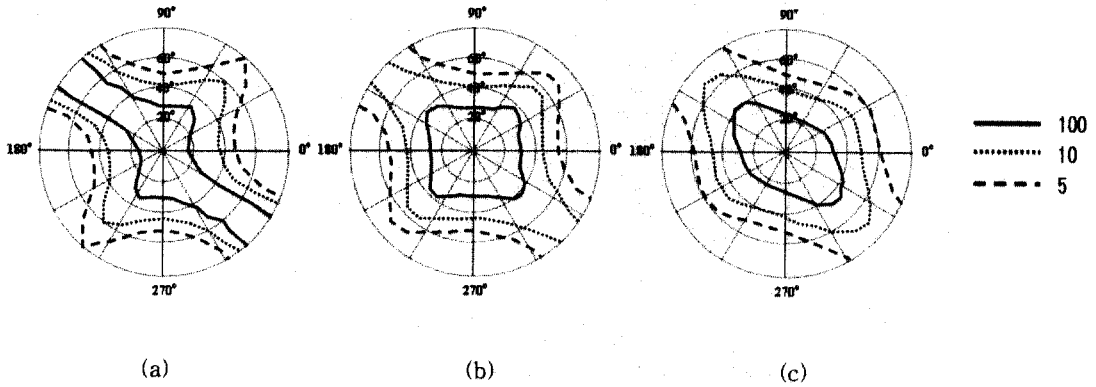


그림 7. 반사 영역에서 등 명암 대비율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

Fig. 7. Iso-contrast contour in reflective area: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

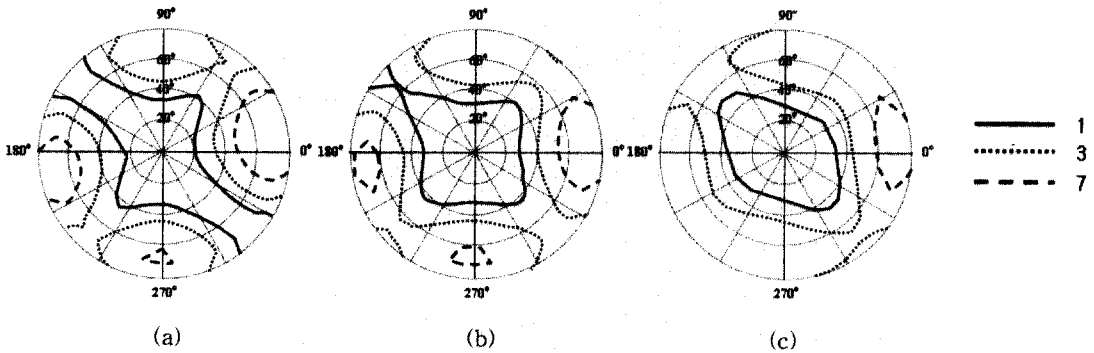


그림 8. T_0 일 때 등 투과율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

Fig. 8. Iso-transmittance contour at T_0 : (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

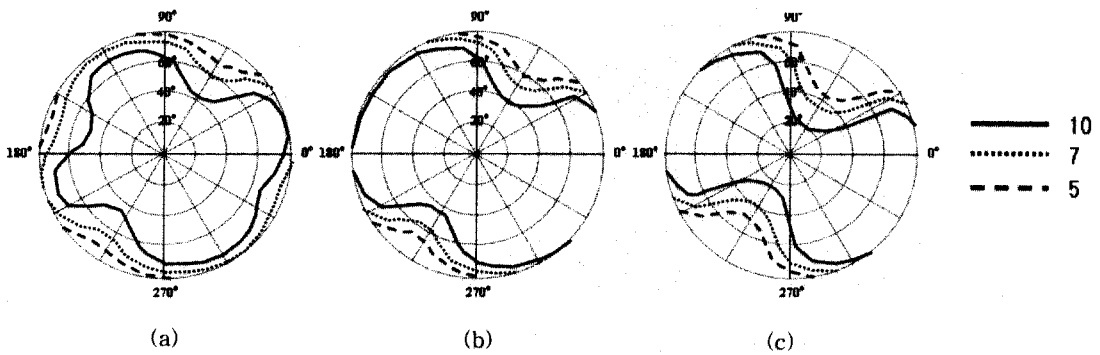


그림 9. T_{50} 일 때 등 투과율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

Fig. 9. Iso-transmittance contour at T_{50} : (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

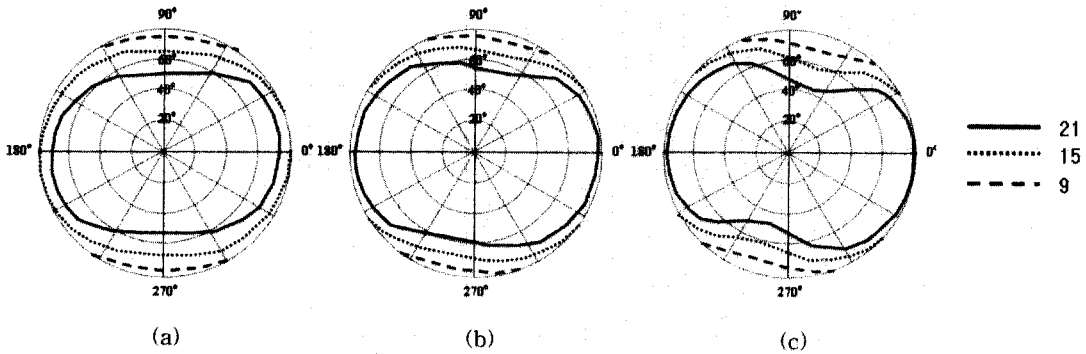


그림 10. T_{100} 일 때 등 투과율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.
 Fig. 10. Iso-transmittance contour at T_{100} : (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

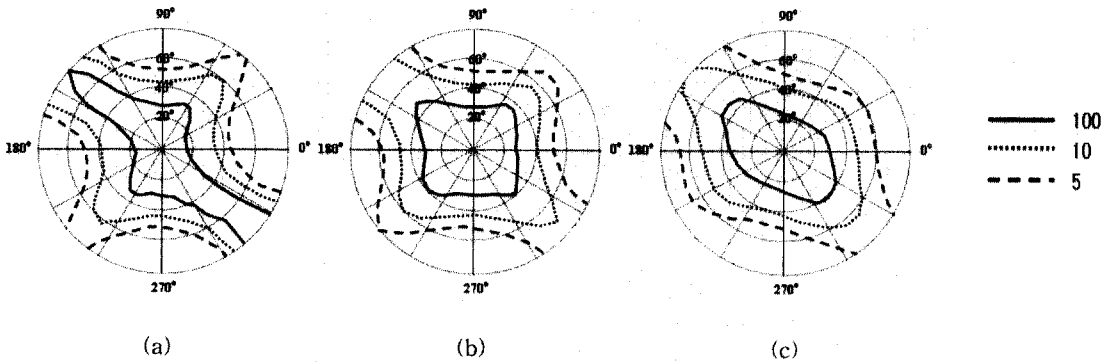


그림 11. 투과 영역에서 등 명암 대비율 곡선: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.
 Fig. 11. Iso-contrast contour in transmissive area: (a) $\lambda=480\text{nm}$, (b) $\lambda=550\text{nm}$, (c) $\lambda=630\text{nm}$.

투과형 FFS 모드와 비슷한 빛샘을 보여주나, 액정 러빙 방향에 대해서 약 90° 틀어진 방향에서 빛샘이 크게 발생한다. 그림 12(b)는 T_{50} 인 영역에서 등 투과율 곡선을 나타낸 것이다. 액정 러빙 방향인 75° 를 중심으로 좌우에서는 대칭이지만 상하에서는 비대칭적인 투과율이 발생하였다. 이는 전계 방향으로 액정이 일어서기 때문에 특정 방향에서 휘도가 크게 감소한다. 이러한 휘도 불균일에 의해서 계조반전을 야기 시킨다. 그림 12(c)는 T_{100} 일 때 등 투과율 곡선을 나타낸다. 정면에 대해 50% 투과율을 보이는 영역은 상, 좌, 우에서는 70° 이지만, 하에서는 60° 정도이고, 대각선 방향에서 비대칭적인 투과율을 보인다. 그림 12(d)는 등 명암 대비율을 나타낸 것으로 CR이 5이상인 영역은 정면에 대해서 극각 55° 정도이다. 등 명암 대비율

곡선은 FFS 모드와 유사하나, 중간 계조에서의 투과율 비대칭은 특정 방향 및 극각에서는 계조 반전을 가져온다. 따라서 액정이 수평 배열된 구조에서 수직 전기장 방향으로 액정이 일어서는 ECB 모드는 FFS 모드보다 화질이 크게 저하된다.

4. 결론

본 연구에서는 높은 투과율과 광시야각을 가지는 FFS 모드를 이용한 반투과형 액정 디스플레이를 제안하였다. 제안된 광학 구조는 편광판과 $\lambda/2$ 보상필름을 사용하여 반사 및 투과 영역에서 각각 NB 모드를 구현하였다. 반사 및 투과 영역의 광효율이 98%인 구동 전압은 반사 영역에서는 5.9V이

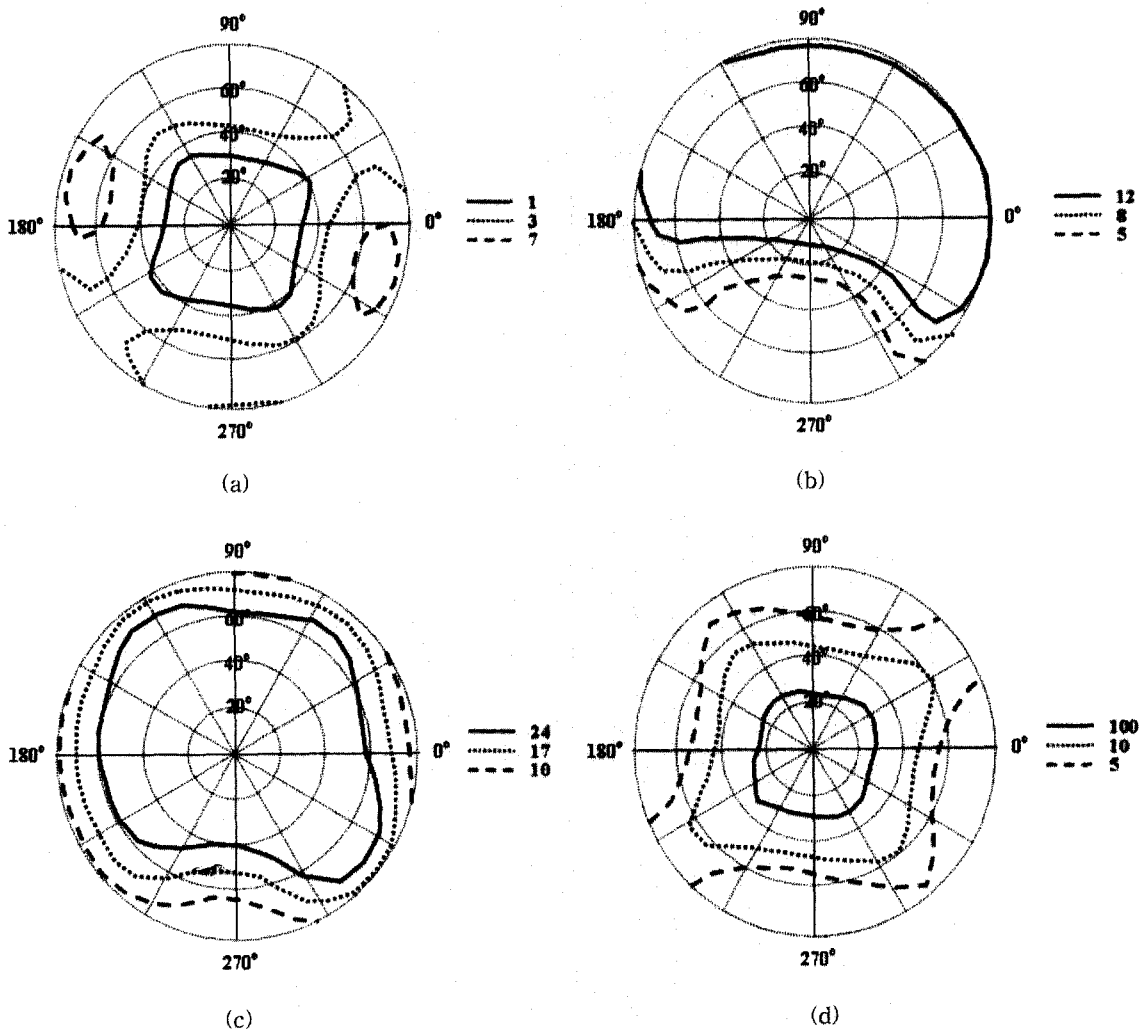


그림 12. 입사 파장이 550nm일 경우, 투과 영역에서의 시야각 특성: (a) T_0 인 지점의 등 투과율 곡선, (b) T_{50} 인 지점의 등 투과율 곡선, (c) T_{100} 인 지점의 등 투과율 곡선, (d) 등 명암 대비율 곡선.

Fig. 12. Viewing angle characteristics in transmission area when incident light is 550nm: (a) Iso-transmittance contour at T_0 , (b) Iso-transmittance contour at T_{50} , (c) Iso-transmittance contour at T_{100} , (d) Iso-contrast contour.

며, 투과 영역에서는 4.7V이다. 파장별 시야각 특성으로는 반사 및 투과 영역의 어둠 상태에서 빛샘이 발생하는 영역은 액정 러빙 방향인 12°와 러빙 방향에 대해서 180° 회전된 방향의 주변에서 발생하였으나, 전 방향에 대해서 극각 30°까지는 어둠 상태가 완벽한 것을 볼 수 있다. 또한 R_{100} , R_{50} , T_{100} 그리고 T_{50} 영역의 정면대비 50%의 투과율 및 반사율 등고선이 상하 140°, 좌우 150° 정

도까지 균일한 휘도를 보였다. 이러한 결과는 중간 계조에서 휘도 불균일을 가지는 ECB 모드보다 화질 면에서 크게 우수하다. 입사 파장이 550nm일 경우, CR이 5이상인 영역은 반사 영역에서는 정면에서부터 극각 55° 정도이고 투과 영역에서는 수직 방향으로 100°, 수평 방향으로 110°의 넓은 시야각을 가진다.

감사의 글

본 연구는 IMT-2000 지원금 기술 개발 지원 사업에 의해서 시행되었습니다.

참고 문헌

- [1] T. Ogawa, S. Fujita, Y. Iwai, and H. Koseki, "The trend on the color and gray reflective LCDs for future electronic paper", SID'98 Digest, p. 217, 1998.
- [2] H. I. Baek, Y. B. Kim, K. S. Ha, D. G. Kim, and S. B. Kwon, "New design of transreflective LCD with single retardation film", IDW'00, p. 41, 2000.
- [3] M. Jisaki and H. Yamaguchi, "Development of transreflective LCD for high contrast and wide viewing angle by using homeotropic alignment", IDW'01, p. 133, 2001.
- [4] J. S. Lim, T. Y. Jung, C. Nam, K. J. Kim, and B. C. Ahn, "A new transreflective TFT-LCD with dual color filter" Proc. of the 5th KLCC'02, p. 171, 2002.
- [5] E. Yoda, T. Uesaka, T. Ogasawara, and T. Toyooka, "Wide-viewing-angle transreflective TFT-LCDs with hybrid aligned nematic compensators", SID02 Digest, p. 762, 2002.
- [6] S. H. Lee, S. H. Lee, and H. Y. Kim, "Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, No. 20, p. 2881, 1998.
- [7] 김향울, 고재완, 노정동, 서대식, 이승희, "유전율 이방성이 음인 액정을 이용한 이중도메인 FFS 모드의 전기광학 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 8호, p. 720, 2002.
- [8] 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, and H. S. Park, "18.1" Ultra-FFS TFT-LCD with super image quality and fast response time", SID '01, p. 484, 2001.
- [9] 정연학, 김향울, 이승희, "프린지 필드에 의해 구동되는 하이브리드형 네마틱 액정 디스플레이의 전기광학 특성" 전기전자재료학회논문지, 15권, 6호, p. 524, 2002.
- [10] T. B. Jung, C. H. Park, H. Y. Kim, S. H. Hong, and S. H. Lee, "A reflective liquid crystal display with fringe-field switching mode", Proc. of the 5th KLCC'02, p. 77, 2002.
- [11] 정태봉, 박지혁, 이종문, 김용배, 이승희, "1매의 편광판으로 구성된 반사형 Fringe-Field Switching mode의 전기광학 특성, 전기전자재료학회논문지, 16권, 2호, p. 131, 2003.
- [12] A. Lien, "Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, p. 2767, 1990.
- [13] S. H. Lee, private communication.
- [14] H. I. Baek, M. S. Nam, K. S. Ha, D. G. Kim, and H. H. Shin, "Designing low cost liquid crystal mode for transreflective LCD", IMID'02 Digest, p. 556, 2002.