

수직전기장을 이용한 수평배향 단일갭 반투과형 액정 디스플레이

Homogeneous Aligned a Single Gap Transflective Liquid Crystal Display Driven by Vertical Electric Field

임영진¹, 송제훈¹, 이승희^{1,a}
(Young Jin Lim¹, Je Hoon Song¹, and Seung Hee Lee^{1,a})

Abstract

We have designed a novel single cell gap transflective display associated with dual orientation of the liquid crystal. Owing to hybrid alignment in reflective part, the effective cell retardation value becomes half of cell retardation value in transmissive part where the LCs are homogeneously aligned. This study shows the possibility to manufacture the transflective display with a single gamma curve for reflective and transmissive region. The new device shows a high image quality with relatively easy fabrication.

Key Words : Transflective liquid crystal display, Vertical field, Single gap

1. 서론

최근 액정 디스플레이(LCD)에 대한 연구가 활발해지면서 일상생활에 LCD가 차지하는 비율이 크게 증가하는 추세이다. 이런 LCD에는 크게 내부광원을 이용하는 투과형 LCD와 외부광원을 이용하는 반사형 LCD로 나눌 수 있다. 투과형 LCD는 광효율이 좋으며 높은 명암 대비비를 갖지만 내부광원을 사용하기 때문에 소비전력이 상대적으로 높아 이동형 디스플레이에의 적용이 어렵고 외부광원이 강한 환경에서는 디스플레이의 시인성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 반면, 반사형 LCD는 외부광원을 사용하기 때문에 소비전력이 매우 낮을 뿐만 아니라 얇고 가벼우며 옥외 시인성이 매우 뛰어나기 때문에 이동형 디스플레이에 많이 적용되고 있다[1-3]. 하지만 내부광원이 약한 환경에서는 디스플레이의 시인성이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

그래서 옥외나 옥내에서의 시인성을 개선하기 위하여 내부광원이 약한 환경에서는 투과형, 외부광원이 설외에서는 반사형 LCD의 역할을 하는 반투과형 LCD에 대해 많이 연구되어졌다[4-7]. 또한 본 연구실에서는 초기 전압 인가전에 액정 방향자들이 기판에 대해서 거의 수평 배열되어 있고 전압 인가시 fringe 전기장이 가해져서 액정 방향자가 기판에 평행하게 회전하기 때문에 시야각에 따른 위상지연의 변화가 적어서 넓은 시야각 특성을 보여주는 fringe-field switching (FFS)를 이용한 반투과형 LCD를 제안하였다[8].

일반적으로 반투과형 LCD에서 반사 영역의 광경로와 투과 영역의 광경로가 상이하기 때문에 투과 영역의 액정 셀의 위상 지연값이 반사 영역의 위상 지연값의 두 배이어야 한다. 그래서 투과 영역과 반사 영역의 셀갭에 단차를 두어야만 한다. 하지만 투과 영역과 반사 영역에 단차를 주어야 하므로 제조 공정이 복잡해지며 두 영역이 인접한 도메인 사이에서 액정의 배향성이 떨어져 명암대비가 감소하는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 반사 영역에서는 액정이 hybrid 형태로 배향 되어 있고 투과 영역에서는 수평 배향 되어 있어서 두 영역의 셀갭

1. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14)
a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2004. 11. 11
1차 심사 : 2005. 1. 3
심사완료 : 2005. 1. 7

이 동일하며 수직 전기장에 의해 구동되는 새로운 형태의 반투과형 LCD를 제안하였고 이 반투과형 LCD의 전기-광학 특성에 대해 연구하였다.

2. 셀 구조

그림 1은 우리가 제안한 반투과형 LCD의 반사 영역과 투과 영역에서의 액정 방향자의 배열을 나타낸 그림이다. 상부 기판 위의 액정은 두 영역 모두 수평 배향 되어있으며 하부 기판 위의 액정은 반사 영역과 투과 영역에서 이중 배향 되어 있다. 이러한 형태의 액정 배열을 만들기 위해서 하부 기판에 먼저 액정을 수직 배향 시킨 후 배향된 막에 UV[9]나 ion beam[10]을 노출시킴으로서 수평 배향을 만들 수 있다고 보고되었다. 하지만 본 논문에서는 하부 기판에 먼저 수평 배향 한 다음 배향막 보호필름을 사용해 반사 영역에 수직 배향 하였다. 그러므로써 투과 영역의 유효 위상지연값이 반사 영역의 유효 위상지연값의 2배와 같게 된다. 이러한 특징을 이용하면 반사 영역과 투과 영역에서의 셀 갭이 동일한 반투과형 LCD를 구현할 수 있다.

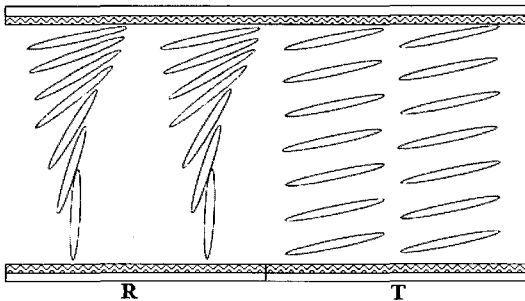


그림 1. 제안한 반투과형 액정디스플레이의 액정 방향자 배열.

Fig. 1. The LC director profile of the proposed transfective LCD.

3. 결과 및 토의

3.1 시뮬레이션 조건

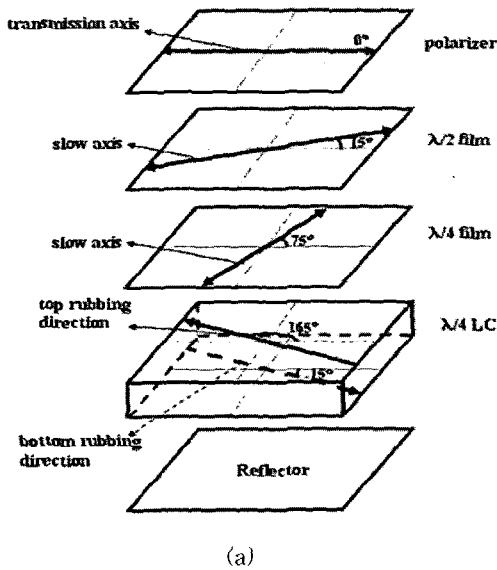
본 논문에서 우리가 제안한 반투과형 LCD의 전기 광학특성에 대해서 2 X 2 Jones extended matrix 방법에 의해서 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다[11]. 시뮬레이션에 사용된 액정은 입사광원의

파장 (λ)이 550 nm일 때 액정의 굴절률 이방성 (Δn)이 0.0895이고 유전율 이방성 ($\Delta \epsilon$)이 7.4, 탄성 계수가 $K1 = 11.7$ pN, $K2 = 5.1$ pN, $K3 = 16.1$ pN인 액정을 사용하였으며, 투과 영역과 반사 영역에서의 하판의 프리틸트각은 두 영역 모두 2°로 하였으며 상판의 프리틸트각은 반사 영역은 90°, 투과 영역은 2°로 하였다. 그리고 투과 영역과 반사 영역에서의 하판의 러빙 방향은 수평축에 대해서 -15°로 하였으며, 상판의 러빙 방향은 165°로 하였다. 두 영역에서의 최적 위상지연값은 액정의 Δn 을 고정시켜 놓고 셀 갭을 변화 시켜 최적 위상지연값 ($d\Delta n$)을 구했다.

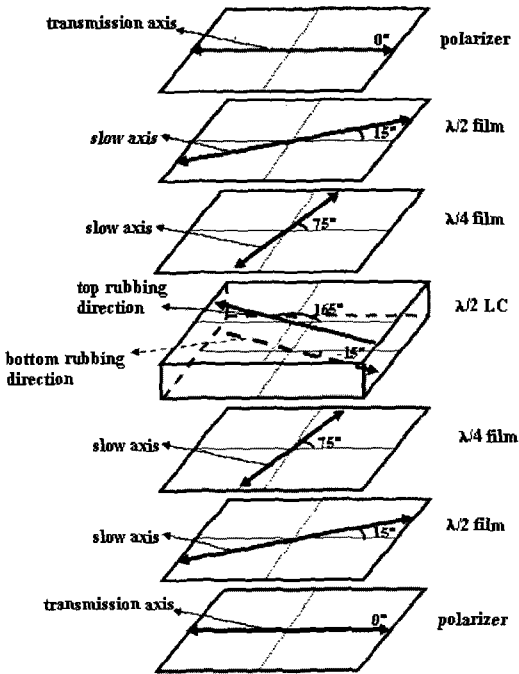
그림 2의 (a)와 (b)는 각각 반사 영역과 투과 영역의 셀 구조를 나타낸 그림이다. 반사 영역에서의 셀 구조는 종래에 발표되었던 셀 구조와 동일하다[1]. 또한 셀 하부에 광대역 $\lambda/4$ 필름을 위치시켜서 투과 영역의 셀 구조도 최적화하였다.

먼저 반사영역의 빛의 경로를 살펴보면, 전압이 인가되지 않았을 때는 상부편광판에 의해서 선편광된 빛이 편광판과 15° 틀어진 $\lambda/2$ 필름을 통과하면 30°로 진동하는 선편광된 빛이 되고 이 빛이 $\lambda/4$ 필름을 지나면 좌원편광된 빛이 된다. 이 좌원편광된 빛이 유효 $d\Delta n$ 이 $(n \pm 1/4)\lambda$ 인 액정 층을 지나면서 210° 틀어진 선편광된 빛이 되고 이 선편광된 빛은 반사판에 의해 반사되어 다시 액정 층을 지나 우원편광된 빛이 된다. 여기에서 n 은 정수이다. 이 우원편광된 빛이 $\lambda/4$ 필름을 지나면 30°로 진동하는 선편광된 빛이 되어 이 빛이 15° 틀어진 $\lambda/2$ 필름을 통과하면 0°로 진동하는 선편광된 빛이 되어 상판의 편광판 투과축과 일치하는 방향으로 진동을 해서 빛이 투과되므로 밝음 상태가 된다. 전압이 인가되면, 액정 방향자가 전기장의 방향에 대해서 평행하게 배열하고 특정 전압에서 액정셀의 유효 $d\Delta n$ 이 0이 되어서 위상지연을 일으키지 않으므로 좌원편광된 빛이 편광상태의 변화 없이 액정셀을 통과하고 반사판에 의해 반사되어 다시 액정층을 통과하고 $\lambda/4$ 보상필름을 지나면 120°로 진동하는 선편광이 된다. 이 빛이 15° 틀어진 $\lambda/2$ 필름을 지나면 90°로 진동하는 선편광된 빛이 나오게 되어 상판의 편광판에 의해서 빛이 차단되므로 어둠 상태가 구현된다.

다음으로 투과 영역에서 빛의 경로를 살펴보면, 전압 인가전에는 하부 편광판에 의해서 선편광된 빛이 편광판과 15° 틀어진 $\lambda/2$ 필름을 통과하면 30°로 진동하는 선편광된 빛이 되고 이 빛이 $\lambda/4$ 필름을 지나면 좌원편광된 빛이 된다.



(a)



(b)

그림 2. 시뮬레이션에 사용된 반투과형 디스플레이의 셀구조: (a) 투과 영역, (b) 반사 영역.

Fig. 2. Cell configuration used for simulation: (a) transmissive area, (b) reflective area.

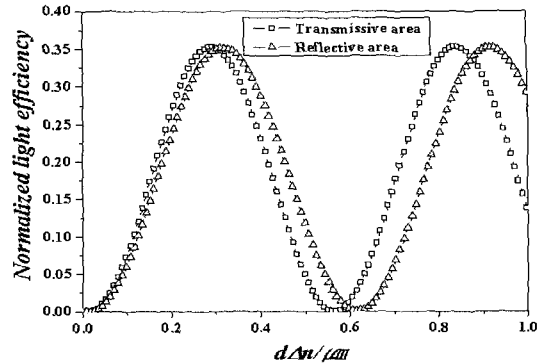


그림 3. 입사파장이 550 nm일 때에 $d\Delta n$ 에 따른 반사율 및 투과율.

Fig. 3. The reflectance and transmittance of a function of $d\Delta n$ for incident light of 550 nm.

이 좌원편광된 빛이 유효 $d\Delta n$ 이 $(n \pm 1/2)\lambda$ 인 액정층을 지나면서 우원편광된 빛이 되고 이 빛이 $\lambda/4$ 필름을 지나면 30° 로 진동하는 선편광된 빛이 된다. 이 빛이 15° 틀어진 $\lambda/2$ 필름을 통과하면 0° 로 진동하는 선편광된 빛이 되어 상판의 편광판 투과축과 일치하는 방향으로 진동을 해서 빛이 투과되므로 밝음 상태가 된다. 전압이 인가되면, 액정 방향자가 전기장의 방향에 대해서 평행하게 배열하고 특정 전압에서 액정셀의 유효 $d\Delta n$ 이 0이 되어서 위상지연을 일으키지 않으므로 좌원편광된 빛이 편광상태의 변화 없이 액정셀을 통과하고 $\lambda/4$ 보상필름을 지나면 120° 로 진동하는 선편광이 된다. 이 빛이 15° 틀어진 $\lambda/2$ 필름을 지나면 90° 로 진동하는 선편광된 빛이 나오게 되어 상판의 편광판에 의해서 빛이 차단되므로 어둠 상태가 구현된다.

그림 3은 그림 2와 같은 셀구조에서 초기 전압 인가전의 상태에서 반사 영역과 투과 영역에서의 $d\Delta n$ 에 따른 반사율과 투과율을 나타낸 그림이다. 반사 영역과 투과 영역 모두 $d\Delta n$ 이 약 $0.30 \mu\text{m}^{-1}$ 근처에서 높은 광효율을 보여준다. 그래서 반사 영역과 투과 영역에서의 셀갭(d)을 모두 $3.4 \mu\text{m}$ 로 하였다.

3.2 시뮬레이션 결과

그림 4는 입사파장이 550 nm일 때 반사 영역과 투과영역에서의 전압에 따른 반사율 및 투과율 곡선이다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 영역 모두에서

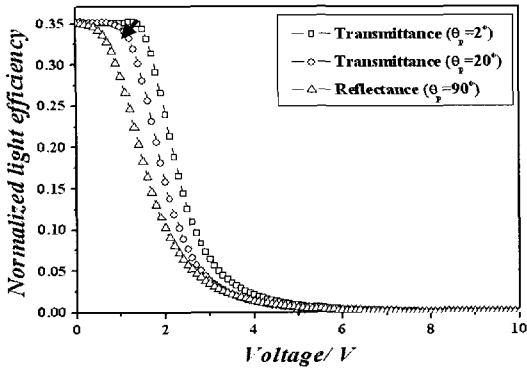


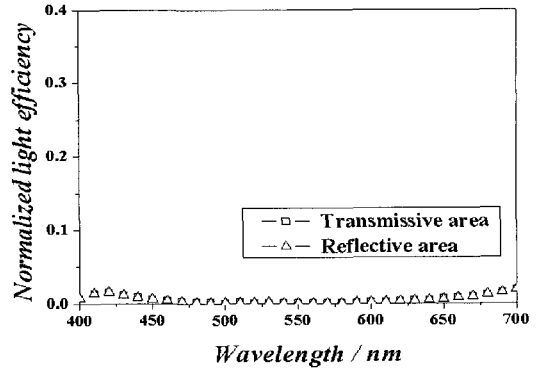
그림 4. 입사파장이 550 nm일 때, 전압에 따른 반사율 및 투과율.

Fig. 4. Voltage-dependent reflectance and transmittance when the wavelength of an incident light is 550 nm.

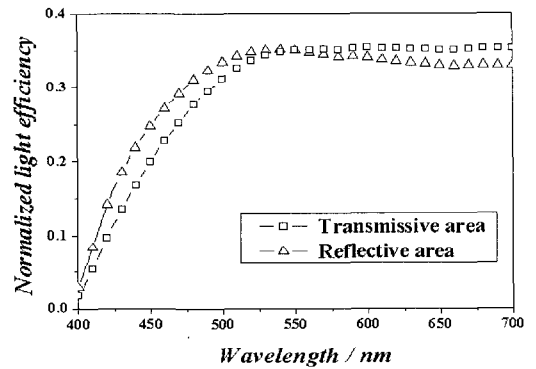
매우 높은 광효율을 보여주고 있다. 하지만 프리틸트각이 2°인 투과영역과 반사 영역의 구동전압은 거의 일치하는데 반해 문턱전압이 투과영역에서 반사영역보다 약간 높아 하나의 구동회로를 이용하기에는 약간의 문제점이 있다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위해 UV를 이용해 투과영역의 하부 프리틸트각을 조절함으로써 투과영역의 문턱전압을 낮출 수 있었다.

그림 5는 입사 파장에 따른 반사 영역과 투과 영역에서 전압을 인가 할 때와 인가하지 않았을 때 파장에 따른 반사율과 투과율을 보여주는 것이다. 그림 5(a)는 전압 무인가시 투과 영역과 반사 영역의 어두운 정도를 보여주고 있다. 반사와 투과 영역에서 거의 모든 파장대에서 어두운 상태가 잘 유지되고 있다. 이는 $\lambda/2$ 보상필름과 $\lambda/4$ 보상필름이 특정 각을 이룸으로써 전파장에 대해서 광대역 $\lambda/4$ 필름이 되어서 완벽한 어둡상태를 가진다. 그림 5(b)는 전압인가 후 입사파장에 따른 반사율과 투과율을 나타내는 것이다. 낮은 입사파장을 제외하고는 거의 균일한 투과율과 반사율을 보인다.

그림 6은 입사파장이 550 nm일 때 투과와 반사 영역에서의 어둡상태와 밝은 상태에서 시야각에 따른 등 투과율과 등반사율 그리고 등명암대비를 곡선을 보여준다. 밝은 상태에서의 휘도 차이가 투과 영역은 전영역에서 대칭적으로 발생하는데 반해 반사 영역은 방위각 -10°와 160° 방향에서 휘도가 많이 발생하는 것을 볼 수 있다. 어둡상태 또한 투과영역은 아래쪽에서만 빛샘이 발생하는데



(a)



(b)

그림 5. 입사파장에 따른 투과율 및 반사율: (a) 어두운 상태, (b) 화이트 상태.

Fig. 5. Wavelength dependence transmittance and reflectance: (a) dark state (b) white state.

반해 반사영역은 극각 40°까지 빛샘이 발생하는 것을 볼 수 있다. 따라서 어둡상태에서 빛샘 때문에 반사 영역의 등명암대비가 극각 40°를 넘지 못한다.

3.3 실험 결과

우리가 제안한 반투과형 LCD의 전기-광학 특성에 대해서 이론 값과 실험 값을 비교하기 위해서 테스트 셀을 직접 제작하였다. 액정은 시블레이션 값과 동일한 물성 값을 갖는 액정을 사용했고 배향막은 수평 배향막 AL16139와 수직배향막 AL00010을 사용했다.

그림 7은 셀의 러빙 방향에 45° 틀어진 방향으로 상하부 편광판을 교차되게 액정 셀에 붙여 밝은

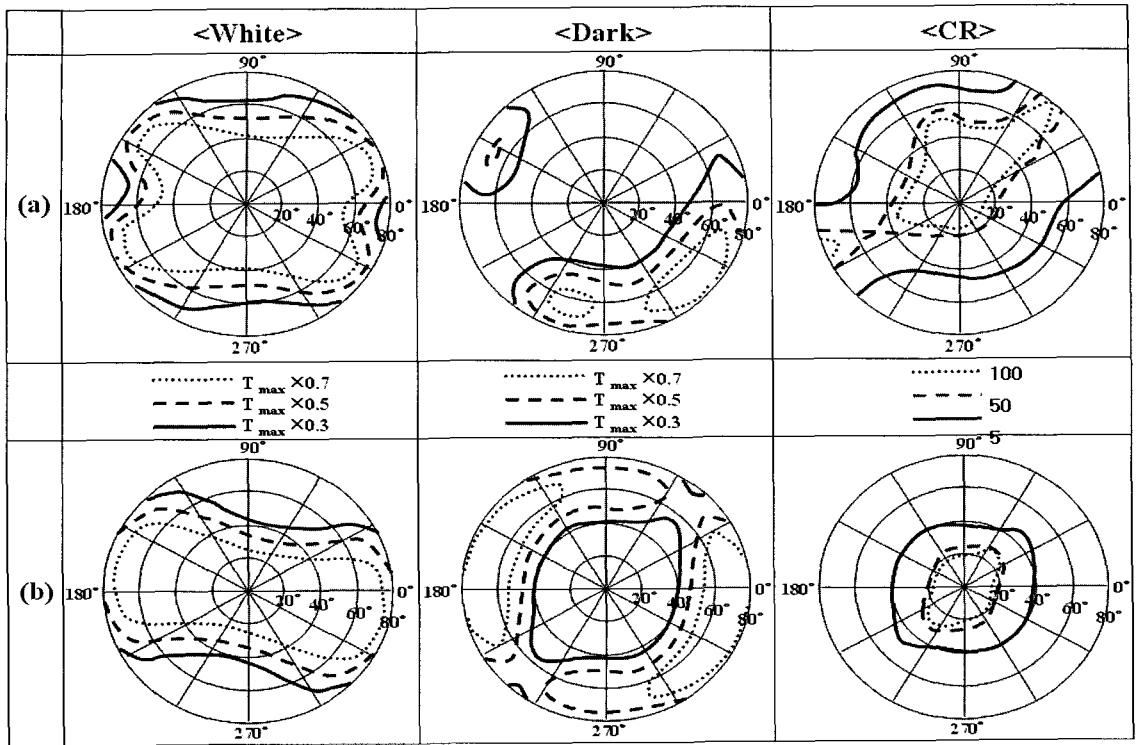


그림 6. 입사파장이 550 nm일 때, 어둡상태와 밝음 상태의 등 투과율, 반사율, 그리고 등 명암 대비율 곡선: (a) 투과 영역, (b) 반사 영역.

Fig. 6. Iso-transmittance curves and iso-reflectance curves in the dark and white state, and iso-contrast curves at an incident: (a) transmissive area, (b) reflective area.

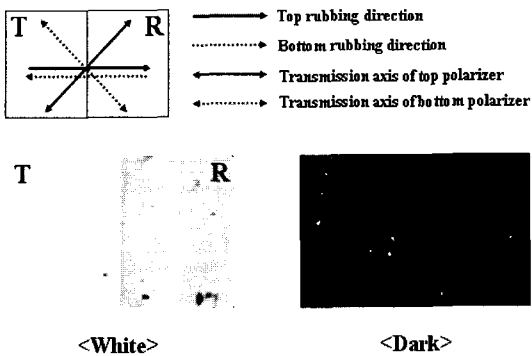


그림 7. 수직전기장에 의해 구동되는 반투과형 셀의 밝음 상태와 어둡 상태에서의 광학현미경 사진.

Fig. 7. Optical microphotographs of the vertical field driven tansflective cell in the white and dark states.

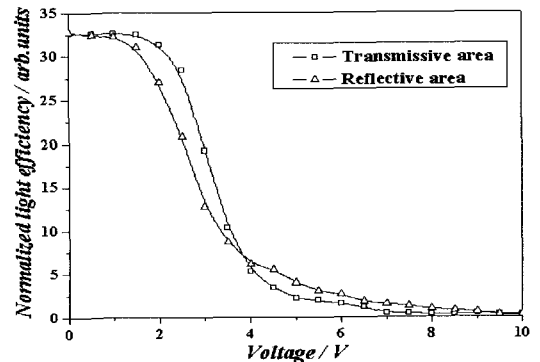


그림 8. 입사파장이 550 nm일 때, 전압에 따른 반사율 및 투과율의 실험적 결과.

Fig. 8. Experimental results of voltage-dependent reflectance and transmittance at an incident wavelength of 550 nm.

상태와 어둡 상태일 때의 반사와 투과 영역을 광학현미경으로 찍은 사진이다. 밝음 상태에서 반사 영역과 투과영역의 휘도 특성을 보면 둘의 위상지연값이 다름을 알 수 있다. 그러므로 반사와 투과영역을 하나의 셀갭으로 구현할 수 있었다. 또한 전압을 인가해서 어둡 상태를 관찰했을 때 반사영역에서는 매우 어두운 상태를 보이지만 투과영역에서는 반사 영역에 비해 약간의 빛샘이 발생하는 걸 볼 수 있었다. 이는 투과 영역은 ECB mode로 반사 영역의 HAN mode보다 전압인가 시 액정의 방향자가 수직으로 서있기가 더 어렵기 때문이다. 그림8은 제작된 셀의 반사와 투과 영역에서 전압에 따른 광효율 곡선이다. 이 광효율 곡선은 spectrophotometer를 통해 측정된 값이다. 두 영역 모두 초기에 높은 광효율을 보여주고 있으며 시물레이션 결과와 비슷한 결과를 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 반사 영역에서는 hybrid 배향되어 있으며 투과 영역에서는 수평 배향되어 있는 새로운 형태의 단일갭 반투과형 LCD를 제안했다. 우리가 제안한 셀은 위상지연값이 0.30 μm 로 높아 반사 영역에서 기존의 반사형 보다 높은 셀 갭을 가질 수 있다는 장점이 있다. 또한 기존의 이중 셀갭 반투과형 LCD에 비해 제조공정이 간단하고 높은 광효율을 보여준다. 본 논문에서 제안한 반투과형 디스플레이는 앞으로 작은 사이즈의 액정 디스플레이에 적용될 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-1004-0) 지원으로 수행되었음.

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] 서대식, "반사형 LCD의 기술현황", 전기전자재료학회논문지, 12권, 2호, p. 19, 1999.
 [3] 송제훈, 정태봉, 이승희, "반사형 TN mode의

Twist angle에 따른 소비전력과 시야각 특성", 전기전자재료학회논문지, 17권, 2호, p. 207, 2004.
 [4] M. Jisaki and H. Yamaguchi, "Development of transfective LCD for high contrast and wide viewing angle by using homeotropic alignment", IDW'01, p. 133, 2001.
 [5] E. Yoda, T. Uesaka, T. Ogasawara, and T. Toyooka, "Wide-viewing-angle transfective TFT-LCDs with hybrid aligned nematic compensators", SID'02 Digest, p. 762, 2002.
 [6] D. H. Suh, Y. I. Park, J. D. Noh, G. Son, and J. Y. Lee, "Optical characteristics of transfective TN mode TFT-LCDs", IDW '03 Digest, p. 149, 2003.
 [7] H. L. Baek, Y. B. Kim, K. S. Ha, D. G. Kim, and S. B. Kwon, "New design of transfective LCD with single retardation film", IDW'00 Digest, p. 41, 2000.
 [8] 정태봉, 이승희, "Fringe-Field 구동 새로운 반투과형 수평 배향 액정 디스플레이", 전기전자재료학회논문지, 16권, 6호, p. 501, 2003.
 [9] M. Schadt, H. Seiberle, A. Schuster, and M. Kelly, "Photo-induced alignment and patterning of hybrid liquid crystalline polymer films on single substrates", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, No. 6B, p. L764, 1995.
 [10] S. H. Lee, K. H. Park, J. S. Gwag, T. H. Yoon, and J. C. Kim, "A multimode-type transfective liquid crystal display using the hybrid-aligned nematic and parallel-rubbed vertically aligned modes", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 42, No. 8, p. L5127, 2003.
 [11] A. Lien, "Extended jones matrix representation for twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence", Appl. Phys. Lett., Vol. 57, No. 2, p. 2767, 1990.