

## 반사형 Optically Compensated Splay 셀의 전기-광학 특성

### Electro-optic Characteristics of Reflective Optically Compensated Splay Cell

송제훈<sup>1</sup>, 오상민<sup>1</sup>, 이종문<sup>1</sup>, 이승희<sup>1,a</sup>

(Je Hoon Song<sup>1</sup>, Sang Min Oh<sup>1</sup>, Jong Moon Rhee<sup>1</sup>, and Seung Hee Lee<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

We have studied electro-optic characteristics of reflective optically compensated splay (R-OCS) cell. The initial configuration of this cell is in splay form such that a mid director lies parallel to the substrate and around it hybrid structure is formed symmetrically, so the optically compensation effect exists. Optimized optical configurations could be achieved by using a single polarizer, a quarter-wave film and a cell with quarter-wave retardation. The optimal cell retardation is 0.34  $\mu\text{m}$ , allowing to have large cell gap. The cell provides high contrast ratio of 80:1 at normal direction and the region with contrast ratio over 5:1 covers up to 160° horizontally and vertically at all wavelength range.

**Key Words** : Reflective OCS cell, Optically compensated effect, Viewing angle.

#### 1. 서론

최근 이동형 디스플레이나 personal digital assistants (PDA) 등에 대한 수요가 증가함에 따라서 백라이트를 사용하지 않고 외부의 광원을 사용하기 때문에 소비전력이 낮고 디스플레이가 얇고 가벼우며 옥외 시인성이 뛰어난 반사형 액정 디스플레이(LCD)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1,2].

반사형 LCD는 외부의 광원을 이용하기 때문에 휘도가 중요하다. 종래의 투과형 LCD에 사용된 두 장의 편광판을 사용한 구조를 반사형 LCD에 이용하면 높은 명암 대비비를 갖지만 휘도가 많이 떨어지고 하부의 편광판이 액정층과 반사판 사이에 놓여져서 시차가 생기는 단점이 있다. 그래서 높은 휘도를 보여주는 한 장의 편광판을 사용하는 구조

가 반사형 LCD에 적당한 구조로 고려되었었다[3]. 그러나 한 장의 편광판을 사용한 반사형 LCD는 시차 문제는 해결할 수 있지만 어둡상태에서의 빛샘 때문에 낮은 명암 대비비를 가진다. 이를 극복하기 위해서 보상필름을 사용한 반사형 LCD가 제안되어 졌다[4].

반사형 LCD 모드에는 twisted nematic (TN) 모드와 고속 응답성을 가지는 optically compensated bend (OCB) 모드, vertical aligned (VA) 모드, 그리고 편광판이 없는 guest-host (GH) 모드 등이 제안되어 졌다[1,5]. 그리고 배향막에 수평 배열된 액정이 전계 인가시 기판에 거의 평형을 유지하면서 구동되는 Fringe-Field Switching (FFS) 모드를 이용한 반사형 FFS 모드도 발표되었었다[6,7]. 이 중에서 광학 위상 필름을 최적화한 반사형 TN 모드가 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 반사형 TN 모드는 시야각이 좁으며 수직 방향에서 계조 반전이 발생하는 단점을 가지고 있다.

근래에 들어 이동형 디스플레이에서도 점점 넓은 시야각 특성이 요구되어 지고 있는 추세이다.

1. 전북대학교 신소재공학부

(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)

a. Corresponding Author : lsh1@chonbuk.ac.kr

접수일자 : 2004. 6. 10

1차 심사 : 2004. 7. 5

심사완료 : 2004. 7. 26

그래서 우리는 액정 분자들이 셀 중앙을 중심으로 splay 형태로 변하여서 셀 자체에 두 개의 hybrid 형태의 구조를 갖게 되어서 자체 구조에 의한 자기 보상효과가 있어서 넓은 시야각 특성을 보여주는 optically compensated splay (OCS) 모드[8,9]를 이용한 반사형 디스플레이를 제안하였다.

## 2. 셀 구조 및 시뮬레이션 결과

### 2.1 OCS 셀

그림 1은 OCS 셀의 초기 상태와 전압을 인가한 상태의 액정분자들의 배열을 나타낸 그림이다. OCS 셀은 초기 수직 배열된 액정 분자들이 특정 전압 인가시 mid-director가 기판에 평행하게 누워 splay 형태를 갖는다. 이 구조는 셀 중앙을 중심으로 대칭적인 구조를 가지고 있어서 셀 자체 구조에 의한 자기보상효과를 가지게 되어 좋은 시야각 특성을 가질 수 있다. 그리고 전압을 인가할 경우 액정분자들의 유체흐름이 한 방향으로 향하기 때문에 빠른 응답시간을 갖는다[10].

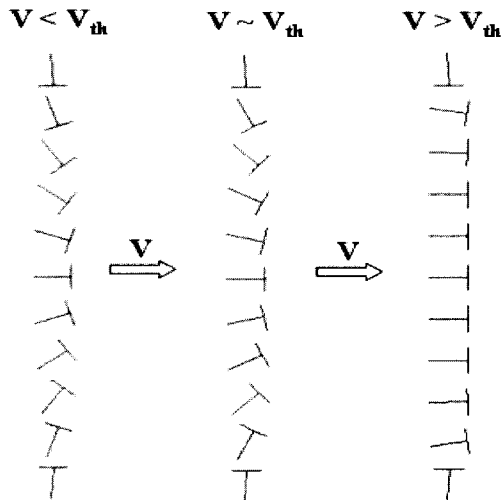


그림 1. OCS 셀의 액정 방향자의 분포.  
Fig. 1. LC director profile of the OCS cell.

### 2.2 시뮬레이션 조건

반사형 OCS 셀의 전기-광학 특성을 최적화하기 위해서 광학적 계산은  $2 \times 2$  Jones extended matrix 방법[11]을 이용하였고 시뮬레이션은 LCD Master/1D(Shintech, Japan)로 행하였다. 시뮬레이

션에 사용된 액정은 굴절률 이방성 ( $\Delta n$ )이 입사파장이 550 nm에서 0.08이고 유전율 이방성 ( $\Delta \epsilon$ )이 -4이고  $K_1=13.5$  pN,  $K_2=6.5$  pN,  $K_3=15.1$  pN인 액정을 사용하였다. 상·하판의 러빙 방향을 일치시키고 초기 프리틸트각은  $88^\circ$  로 하였다.

### 2.3 반사형 OCS셀 구조 및 동작 원리

반사형 OCS 셀은 한 장의 편광판,  $\lambda/4$  필름, 액정층 그리고 반사판으로 구성되어 있다. 최적의 셀 구조를 찾기 위해서 액정의 위상 지연값 ( $d\Delta n$ ), 액정의 러빙 방향 ( $\beta$ ),  $\lambda/4$  필름의 위상 지연축 방향 ( $\alpha$ )과 같은 광학 매개변수를 조사하였다. 여기에서  $d$ 는 액정셀의 셀길을 나타낸다. 이때 나타낸 모든 각들은 편광판의 투과축 방향에 대한 각으로 정의하였다. 그림 2는 반사형 OCS 셀 구조를 나타낸 그림이다. 한 장의 편광판과  $\lambda/4$  필름을 이용해서 초기상태가 밝음 상태인 NW 모드를 구현하기 위해서는 액정의  $d\Delta n$ 이  $(n \pm 1/4)\lambda$ 인 액정을 사용하여야 한다. 즉, 액정 셀이  $\lambda/4$  필름으로서의 역할을 해야한다. 이때  $n$ 은 정수, 그리고  $\lambda$ 는 입사광원의 파장이다. 또한 선편광된 빛을 원편광된 빛으로 변환시켜주기 위해서는  $\alpha$ 는  $45^\circ$  또는  $135^\circ$  이어야 하며  $\beta$ 는 셀의 파장의존성 및 시야각 특성을 고려했을 때  $\alpha$ 에 대해서 수직인 방향일 때 가장 좋은 특성을 보여준다.

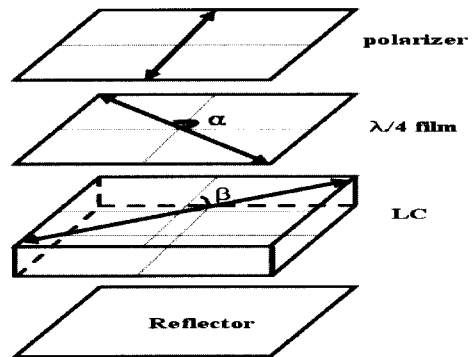


그림 2. 반사형 OCS 셀의 광학 셀구조.  
Fig. 2. Optical cell structure of the reflective OCS cell.

그림 3은 반사형 OCS 셀의 밝음 상태에서의 빛의 편광상태의 변화를 빔양카레공 표현법[12]으로 나타낸 그림이다. 편광판의 투과축은 P1지점에 위치해 있고  $\alpha$ 는 P2지점에 위치해 있다. 그리고  $\beta$

는 P3지점에 위치해 있다. 선편광된 빛이  $\lambda/4$ 필름을 지나서 원편광된 빛이 되고 다시 이 빛이  $\lambda/4$ 액정을 지나면서  $90^\circ$  회전된 선편광된 빛이 된다.  $90^\circ$  회전된 선편광된 빛이 반사되어 액정층과  $\lambda/4$ 필름을 다시 한번 지나게 되고 결국 마지막에 반사된 빛의 편광상태는 편광판의 투과축과 일치하는 선편광된 빛이 나오게 된다. 따라서 밝음 상태가 얻어진다.

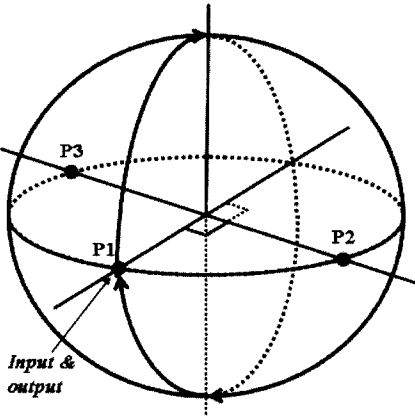


그림 3. 반사형 OCS 셀의 밝음 상태에서의 편광 경로의 뽀앙카레공 표현법.

Fig. 3. Poincaré sphere representation of the polarization path of the white state in the reflective OCS cell.

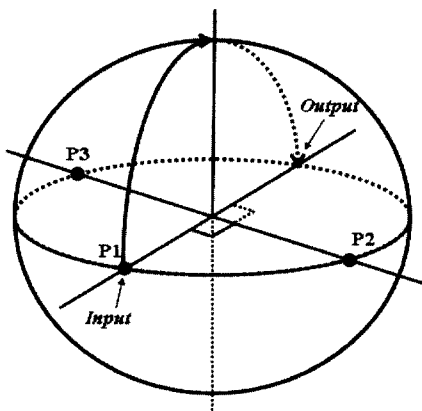


그림 4. 반사형 OCS 셀의 어둠 상태에서의 편광 경로의 뽀앙카레공 표현법.

Fig. 4. Poincaré sphere representation of the polarization path of the black state in the reflective OCS cell.

어둠상태에서는 셀에 적당한 전압을 인가해주어서 액정의 유효  $d\Delta n$ 이  $\lambda/2$ 가 되게 한다. 그림 4는 반사형 OCS 셀의 어둠상태를 뽀앙카레공에 나타낸 그림이다. 여기에서 P1, P2 그리고 P3는 각각 편광판의 투과축,  $\alpha$ , 그리고  $\beta$ 를 나타낸다. 선편광된 빛이  $\lambda/4$ 필름과  $\lambda/2$ 액정을 지나면서 원편광된 빛이 된다. 이 빛이 반사되어 액정층과  $\lambda/4$ 필름을 다시 지나면서 초기 선편광된 빛에 대해  $90^\circ$  회전된 선편광된 빛이 나온다. 결국 편광판의 투과축에 수직인 방향의 선편광된 빛이므로 편광판에 의해 빛이 차단되어 결과적으로 어둠상태가 구현된다.

### 2.4 시뮬레이션 결과

그림 5는 반사형 OCS 셀에서 액정의  $d\Delta n$ 에 따른 최대 반사율과 구동 전압을 나타낸 그림이다. 1매의 편광판의 투과율은 대략 0.35 %정도이며 이를 광효율 100 %로 설정하였다. 구동 전압이 6V 이하이며 반사율이 90 %이상일 때의 액정의  $d\Delta n$ 은  $0.34 \mu\text{m}$ 이었고 이를 반사형 OCS 셀의 최적  $d\Delta n$ 으로 설정하였다. 또한 한 장의 편광판과 보상필름을 이용한 반사형 구조에서 어둠상태를 최적화해서 정면에서의 명암 대비비가 3000:1이상으로 좋은 명암대비를 나타낸다. 그리고  $d\Delta n$ 이  $0.34 \mu\text{m}$ 이므로 큰 셀갭을 가져갈 수 있으므로 셀 제조 공정상 이점이 있을 수 있다.

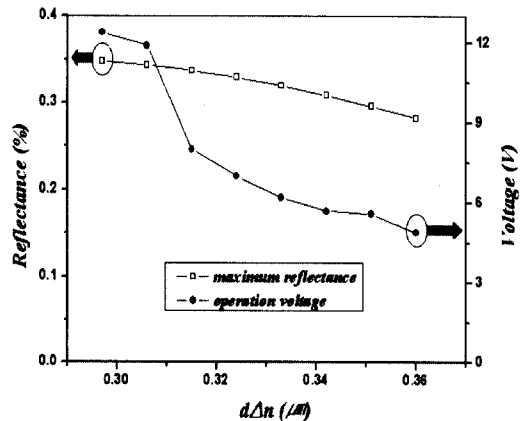


그림 5. 반사형 OCS 셀의  $d\Delta n$ 에 따른 최대 반사율과 구동 전압.

Fig. 5. Maximum reflectance and operating voltage as a function of  $d\Delta n$  for the reflective OCS cell.

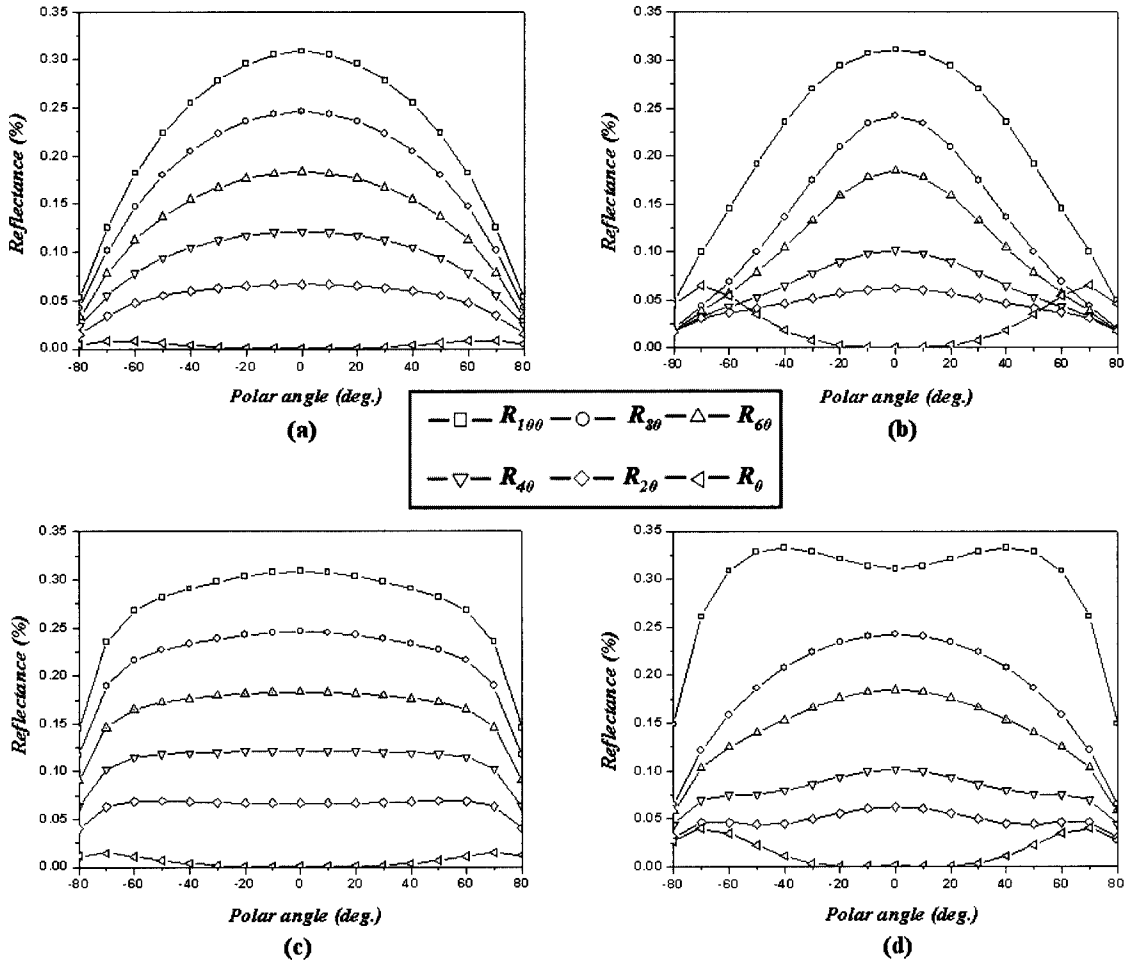


그림 6. 반사형 TN 셀의 (a)수평과 (b) 수직 방향, 반사형 OCS 셀의 (c) 수평과 (d) 수직 방향에서 polar각에 따른 계조별 반사율.

Fig. 6. Polar angle dependent-reflectance of each gray scale at (a) horizontal and (b) vertical directions for the reflective TN cell and (c) horizontal and (d) vertical directions for the reflective OCS cell .

그림 6은 반사형 TN 셀과 OCS 셀의 계조 반전을 비교한 그림이다. (a)와 (b)는 TN 셀의 수평과 수직 방향, 그리고 (c)와 (d)는 OCS 셀의 수평과 수직 방향에서 polar각에 따른 계조별 반사율을 나타내었다. 수평 방향에서는 두 셀 모두 계조 반전이 없으나 수직 방향에서는 반사형 TN 셀에서는 계조 반전이 발생하지만 반사형 OCS 셀에서는 전혀 계조 반전이 발생하지 않음을 알 수 있다. 또한 반사형 OCS 셀은 셀 자체 구조에 의한 자기보상 효과를 가지고 있으므로 수평 및 수직 방향 모두

에서 polar각 80° 영역까지 명암대비가 5:1이상을 보여준다.

### 3. 결론

우리는 한 장의 편광판과  $\lambda/4$ 필름을 사용한 반사형 구조에서 전극의 배열이나 특별한 보상필름을 이용하지 않고 단지 액정분자의 배열을 셀 중앙을 중심으로 splay 형태로 배열되게 해서 셀 자

체에 두 개의 hybrid형태의 구조를 갖게 되어서 자체 구조에 의한 자기보상효과가 있는 OCS 형태의 반사형 OCS 셀을 제안하였다. 초기 밝음 상태의 반사율과 구동전압을 고려한 액정셀의 최적  $d\Delta n$ 은  $0.34 \mu\text{m}$ 로서 반사형 TN 셀과 비교해서 좀 더 큰 셀갭을 가질 수 있기 때문에 셀 제조공정상의 유리함을 가질 수 있다. 또한 반사형 OCS 셀은 수평과 수직 방향에서 계조 반전이 일어나지 발생하지 않으며 polar각  $80^\circ$  까지 명암대비비가 5:1 이상으로 넓은 시야각 특성을 보여준다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

### 참고 문헌

[1] 서대식, “반사형 LCD의 기술현황”, 전기전자재료학회지, 12권, 2호, p. 19, 1999.

[2] R. Watanabe and O. Tomita. “Recent trends of the active matrix LCDs for mobile use”, IDW’02, p. 397, 2002.

[3] A. R. Kmetz. “A single-polariser twisted nematic display”, SID’80, p. 63, 1980.

[4] S. T. Wu, and C. S. Wu, “Mixed twisted nematic mode for reflective liquid crystal display”, Appl. Phys. Lett. 68. p. 1455, 1996.

[5] S. T. Wu, C. S. Wu, and C. L. Kuo. “Reflective direct-view and projection display using twisted nematic liquid crystal cells”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, No. 5A, p. 2721, 1997.

[6] 정태봉, 박지혁, 이종문, 김용배, 이승희, “1매의 편광판으로 구성된 반사형 fringe-field switching mode의 전기 광학 특성”, 전기전자재료학회지 16권, 2호, p. 131, 2003.

[7] 박지혁, 정태봉, 이종문, 김용배, 이승희, “1매의 편광판으로 구성된 fringe-field 구동형 반사형 hybrid aligned nematic 액정 디스플레이의 전기-광학 특성에 관한 시뮬레이션”, 전기전자재료학회논문지, 16권, 10호, p. 908, 2003.

[8] S. J. Kim, S. H. Jung, S. H. Hong, S. S.

Shin, and S. H. Lee, “A novel optically compensated splay (OCS) vertical alignment liquid crystal mode”, Proc. of the 18th of korean society for imaging science and technology, p. 99, 2002.

[9] S. H. Lee, S. J. Kim, and J. C. Kim, “Vertical alignment liquid crystal cell with optically compensated splay configuration of the liquid crystal”, Appl. Phys. Lett. 84. p. 1465, 2004.

[10] S. J. Kim, H. Y. Kim, S. H. Hong, S. Y. Kim, Y. J. Lim, and S. H. Lee, “Novel phase transition from vertical alignment to optically compensated splay”, IDW’03, p. 173, 2003.

[11] A. Lien, “Extended Jones matrix representation for twisted nematic liquid crystal display at oblique incidence”, Appl. Phys. Lett., 57. p. 2767, 1990.

[12] 노봉규, 김진승 “유니타리 존즈행렬의 기하학적 해석과 벡터표현”, 한국광학회지, 제5권, 제1호, p. 25, 1994.