

광학적 자기 보상 스플레이 구조를 갖는 새로운 액정 소자

A Novel LC Device Associated with Optically Compensated Splay Structure

김승재¹, 이종문¹, 이승희^{1,a}
(S. J. Kim¹, J. M. Rhee¹, and S. H. Lee^{1,a})

Abstract

A novel nematic liquid crystal (LC) cell with splay structure exhibiting wide viewing angle, fast response time and high transmittance at the same time has been developed. With rubbed homeotropic alignment in parallel directions, the device shows bend alignment in the absence of vertical electric field. However, with applied high voltage in a pulse form, the LC shows a optically compensated splay (OCS) orientation such that the mid-director is parallel to a substrate and at both surfaces the LCs are aligned vertically in parallel direction. In the device, the birefringence of the cell becomes tunable with applying voltage, i.e., the amount of light passed through the cell can be controlled by controlling the orientation of the LC. Since the OCS cell has a self-compensation structure such that the LC has a mirror symmetry along the mid-director, the device shows a wide viewing angle with only a single domain and a fast response time.

Key Words : Optically compensated splay(OCS), Wide viewing angle, Self-compensation, Fast response time

1. 서 론

최근 액정 디스플레이 시장의 크기가 확대됨에 따라 디스플레이의 화질을 높이고, 동영상을 완벽하게 표현할 수 있는 액정 모드의 개발이 더욱 중요시되고 있다[1]. 액정 디스플레이의 화질과 응답 시간은 주로 액정 모드에 의존한다. 액정 디스플레이의 응답시간은 rise time의 경우 일반적으로 셀에 인가되는 전압, 액정 방향자의 동적 안정성, 액정의 점도 등에 의존하고, decay time의 경우 액정의 탄성상수, 셀 갭, 점도 등에 의존한다. 여러 가지 액정 모드 중 수직 배향 (Vertical Alignment) 모드는 점도가 상대적으로 큰 유전율 이방성이 음인 액정을 사용해도 decay time이 빠른 것으로 알

려져 있다[2]. 하지만 단일 도메인 VA로는 전압 인가시 액정 방향자가 한 방향으로만 눕게 되어 시야각 의존성이 크다. 그러나 이러한 문제를 해결하기 위해 다중 도메인 VA (Multi-domain VA : MVA) 모드가 제안되었다[3-5]. MVA 모드는 전압 인가시 액정 분자가 여러 방향으로 눕기 때문에 분자간에 충돌이 발생할 가능성이 있어 제조별 응답시간이 느려지는 문제가 있다. 또 다른 모드로는 단일 도메인으로 적당한 시야각과 네마틱 액정을 사용한 액정 디스플레이 중에서 가장 빠른 응답시간을 보여주는 OCB (Optically Compensated Bend) 모드가 있다[6-8]. OCB 모드는 상하판 같은 방향으로 러빙된 수평 배향 셀에 특정 전압 이상을 인가하면 액정 분자의 배열이 bend 구조로 변형된다. 기판 근처의 액정들은 기판에 평행하게 배열하고 셀의 가운데 액정은 기판에 수직으로 서 있으며 그 분자를 중심으로 양쪽에 있는 액정 분자들은 대칭적으로 배열하고 있는 구조이다. 이 모드는 셀 중앙을 중심으로 전압 인가 전후 액정 분

1. 전북대학교 신소재공학부
(전북 전주시 덕진동 1가 664-14)
a. Corresponding author : lsh1@chonbuk.ac.kr
접수일자 : 2004. 1. 9
심사완료 : 2004. 3. 15

자에 의한 유체 흐름 방향이 같아 고속응답을 보여주는 장점이 있음에도 불구하고, 디스플레이의 중요한 요건중의 하나인 높은 명암 대비비를 보여주지 못하는 단점이 있다. 또한 좋은 흑 상태를 얻기 위해서는 여러 층의 광보상 필름을 사용해야 하는 단점이 존재한다.

본 연구에서는 초기 수직 배열된 액정 분자들이 특정 전압 인가시 mid-director가 기판에 평행하게 누워 splay 형태로 변하는 새로운 VA 모드를 연구하였다. 이 구조는 셀 중앙을 중심으로 상하쪽에 대칭적인 구조를 갖기 때문에 자체 보상효과가 존재해 이 셀의 구조를 OCS (Optically Compensated Splay) 모드라 명명하였다[9]. 본 연구에서는 전압 인가에 따라 초기 수직 배열된 액정이 어떻게 변형되는가를 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 알아보았다.

2. 액정 셀 구조 및 특성

액정 셀은 ITO(Indium Tin Oxide)가 코팅된 투명 유리 기판 위에 JALS-696이라는 수직 배향막을 800 Å 정도의 두께로 코팅하고 상하 유리 기판을 서로 같은 방향으로 러빙한 후 셀 갭이 5.3 μm가 되게 합착하였다. 사용한 액정은 유전율 이방성이 -4 (20 °C, 1 kHz)이고, 복굴절 값이 0.077 (20 °C, 589.3 nm)을 갖는 재료를 사용하였다.

그림 1은 OCS 셀의 초기 액정 배열과 전압 인가에 따라 변형 가능한 액정 분자들의 배열을 보여주고 있다. 초기 수직 배열된 액정들은 전압 인가시 상하판에 180° 꼬이면서 누울 수도 있고, 또한 특정 전압 인가시에는 그림 1(c)처럼 셀 중앙의 액정 분자를 중심으로 상하 대칭 구조를 갖는 splay 형태의 배열로 진이할 수도 있다. 초기 수직 배열된 상태에서는 그림 2(a)와 같이 셀의 러빙축과 직교된 편광판의 투과축 중의 하나와 일치할 경우 흑(off) 상태를 보인다. 액정 셀에 60Hz, 사인 함수의 전압을 인가하면 직교된 편광판 사이에서 명(on) 상태를 보인다(그림 2(b) 참조). 이때 명 상태의 액정 셀을 회전시키면 빛이 소멸되는 각도 없이 모든 각도에서 빛이 투과되는 것을 알 수 있다. 이로부터 유전율 이방성이 음인 액정 분자들이 전기장 방향에 대해 한쪽 방향으로 눕지 않고 180° 꼬이면서 눕는다는 것을 알 수 있다. 즉, 하부 편광판을 투과한 선편광된 빛이 액정 층을 지나면서 위상 지연이 발생해 타원편광되어 빛이 투

과됨을 알 수 있다. 실험결과로부터 twist 액정 배열 상태 여부를 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다.

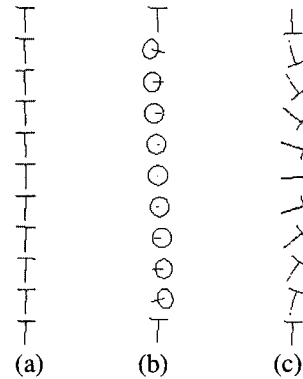


그림 1. 전압인가에 따른 OCS 셀의 액정 배열 : (a) 전압 인가전 수직 배열, 전압 인가후 twist (b) 및 splay (c) 배열.

Fig. 1. LC configuration in the OCS cell : (a) VA without bias voltage, (b) twist and (c) spaly after applying voltage.

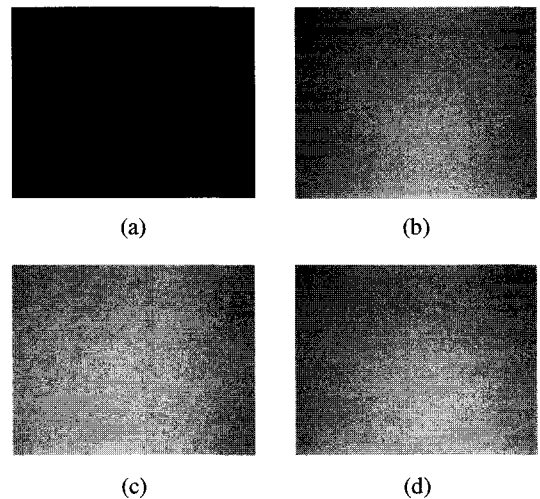


그림 2. OCS 셀 관찰 사진 : (a) 흑 상태, (b) 명 상태, (c)와 (d)는 (b)를 45°와 90°로 회전.
Fig. 2. Optical microphotographs of the OCS cell : (a) off state, (b) on state, and rotation of (b) by 45° (c) and 90° (d).

그림 3은 상하판 180° 꼬여서 누운 상태의 액정 배열에서 러빙축과 교차된 편광판과의 각을 변화시켜 가면서 투과율을 계산한 결과이다. 어떤 조건에서도 광 소멸이 발생하지 않고 투과율이 발생하는 것을 알 수 있고 이는 실험 결과와 잘 일치한다. 위의 결과를 토대로 셀에 전압 인가시 액정 분자들이 2차원 평면이 아닌 3차원 공간에서 꼬이면서 기판에 평행하게 눕기 때문에 액정 셀을 직교된 편광판 사이에서 회전시켜도 투과율이 발생하는 것을 알 수 있다.

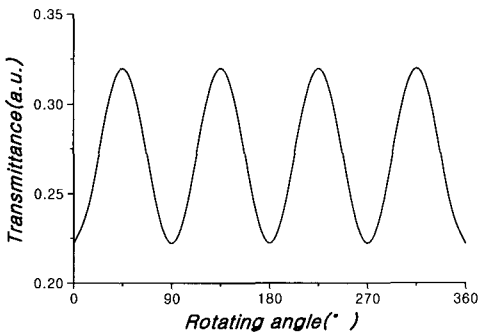


그림 3. Twist 배열된 액정 셀을 직교된 편광판 사이에서 회전시켰을 때의 투과율 변화.

Fig. 3. Calculated transmittance as a function of the angle between the rubbing direction and the polarizer axis in a twist LC orientation.

특이한 현상은 전압 인가시 꼬이면서 기판에 평행하게 눕던 액정 분자들이 특정 전압 인가시에는 상하판에 액정들이 꼬이지 않고 눕기만 하는 그림 1(c)와 같은 splay 상태로 전이된다. 셀에 50 V 전압을 펄스 형태로 인가시 그림 4(a)에서 보이는 것처럼 흑 상태의 domain이 발생하고 전압을 약 3 V로 낮추면 3분 후에 domain이 그림 4(b)와 같이 셀 전체에 확산되었다. 또한 셀을 45° 회전시키면 흑 상태가 명 상태로 변함을 알 수 있다(그림 4(c) 및 4(d) 참조). 이러한 결과는 액정의 광축이 특정 평면에 존재하는 것을 의미한다. 즉, 액정 분자들의 변형이 3차원이 아닌 2차원 평면상에서 발생하기 때문에 직교한 편광판 사이에서 하부 편광판을 통과하여 선편광된 빛이 액정 셀을 통과시 위상 지연이 발생하지 않고 빛의 진행 방향이 상부 편광판의 투과축과 90° 교차되어 있기 때문에 빛은 상부 편광판에 흡수되어 흑 상태를 보인다. 하지만

셀을 45° 회전시키는 러빙축과 편광판축이 45° 각을 이루게 되고 선편광이 액정 장단축을 통과하게 되면서 타원편광 또는 90° 회전된 선편광으로 바뀌어 상부 편광판을 통과하게 되어 명 상태를 보여준다. 2차원 평면에서만 변형이 일어나는 그림 1(c) 상태를 가정하고 러빙축과 편광판축사이의 각에 따라 투과율이 어떻게 변하는지를 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 그림 5에 나타난 둘 사이에 이루는 각이 45°, 135°, 225°, 315°일 때 투과율이 최대이고, 직교된 편광판의 투과축 중의 하나와 러빙축이 일치할 경우 흑 상태를 보여주고 있다. 이 또한 실험 결과와 컴퓨터 시뮬레이션 결과가 일치함을 보여준다.

그림 1(c)와 같은 splay 배열 상태에서 전압을 인가하면 유전율 이방성이 음인 액정들은 기판에 더욱 평행하게 눕게 된다. 즉 액정 셀의 위상 지연 값을 전압 인가에 따라 조절할 수 있어 디스플레이로의 응용이 가능하다. 특히 셀 중앙을 중심으로 대칭적인 액정 배열을 하고 있어 광시야각을 보여줄 수 있고, 전압 인가시 셀의 위아래에서 액정의 변형에 의한 유체 흐름 방향이 같아 고속응답을 보여줄 가능성이 있다.

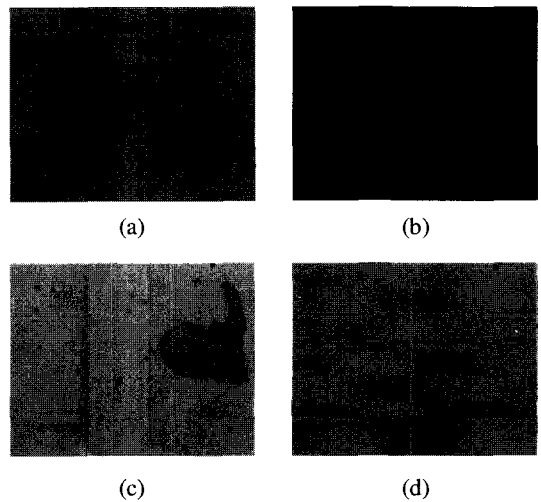


그림 4. Splay 상태의 셀 관찰 사진 : (a) domain 형성, (b) domain 확산, (c) (a)를 45° 회전, (d) (b)를 45° 회전시킨 사진.

Fig. 4. Optical microphotograph at the splay state : (a) domain generation, (b) domain diffusion and (c), (d) rotating (a) and (b) by 45°.

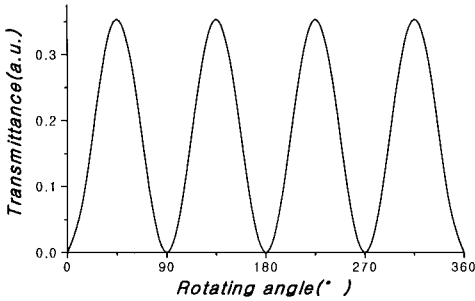


그림 5. Splay 배열에서 액정 셀을 직교된 편광판 사이에서 회전시켰을 때의 투과율 변화.

Fig. 5. Calculated transmittance as a function of the angle between the rubbing direction and the polarizer axis in a splay LC orientation.

특정 전압 인가시 그림 4(a)처럼 twist 상태와 splay 상태가 공존하지만 전압을 낮추면 그림 4(b)처럼 splay 상태가 셀 전체에 확산된다. 그러나 전압을 3 V 이하로 낮추면 액정 분자들의 배열은 splay 상태가 아닌 twist 상태로 전이되는 것을 실험을 통해 알 수 있었다. 실험 결과를 토대로 두 가지 액정 배열에 대한 Gibbs free energy를 비교해 보았다. 계산 결과 초기에는 twist 배열, 3 V 이상에서는 splay 배열의 에너지가 낮다는 것을 알 수 있다(그림 6 참조). 에너지가 낮은 상태가 더 안정한 상태이기 때문에 전압에 따라 액정 분자들은 에너지가 낮은 상태로 배열하려고 한다. 그래서 3 V 이상에서는 twist 와 splay 상태가 공존하지만 시간이 지나면 에너지가 더 낮은 splay 상태가 셀 전체에 확산되는 것을 알 수 있다.

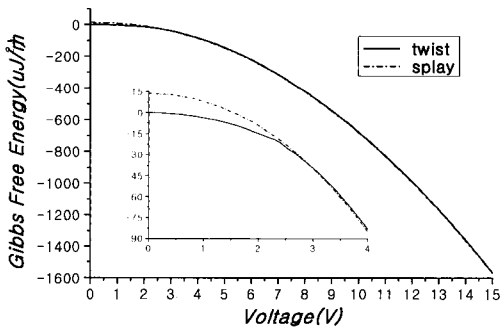


그림 6. 전압에 따른 Gibbs free energy 비교.
Fig. 6. Gibbs free energy as a function of voltage for the twist and splay state.

표 1은 OCS와 twisted nematic (TN) 모드의 응답시간을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교한 것이다. 응답시간 특성에 있어서 TN 모드에 비해 OCS 모드가 매우 빠르다는 것을 알 수 있었다. 시뮬레이션 조건에서 셀의 두께 (5.3 μm)와 탄성상수는 동일하고 액정의 회전 점도값은 OCS와 TN 모드 각각 0.136, 0.100 Pa·s이다. 일반적으로 액정의 회전 점도값과 응답시간은 선형적인 비례 관계로 점도가 크면 응답속도가 느리게 된다. 하지만 OCS 모드가 TN 모드보다 높은 회전 점도를 갖는 액정을 사용했음에도 불구하고 OCS 모드의 응답시간이 빠른 이유는 전압 인가 전후 액정 분자들에 의한 유체 흐름 방향이 같아 응답시간이 빠를 것으로 사료된다.

표 1. OCS 와 TN 모드의 응답 시간.

Table 1. Response time for OCS & TN mode.

	OCS	TN
Rise time (ms)	2.1	8.4
Decay time (ms)	10.2	31.4

3. 결 론

본 연구를 통해 새로운 액정 소자인 OCS 셀의 구조와 특징을 실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알아보았다. 초기 수직 배향된 액정 분자들이 특정 전압 인가시 mid-director를 중심으로 상하축이 대칭적인 hybrid 구조를 갖는 splay 배열로 전이된다. 이와 같은 splay 배열은 자체 구조에 의한 자기 보상 효과를 가지기 때문에 광시야각 특성을 보일 것으로 예상된다. 또한 전압 인가 전후 액정 분자들에 의한 유체 흐름 방향이 셀 중앙에 있는 액정을 중심으로 같아 고속 응답이 가능하다.

감사의 글

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

참고 문헌

[1] S. H. Lee, S. H. Hong, J. M. Kim, H. Y. Kim, and J. Y. Lee, "An overview of product

- issues in wide-viewing TFT-LCDs”, Journal of the SID Vol. 9, No.3, p. 155, 2001.
- [2] S. H. Lee and M-H. Lee, “Liquid crystal displays with high image quality and fast response time”, J. Kor. Phys. Soc. Vol. 39, p. S42, 2001.
- [3] 서대식, 이정호, “새로운 VA- π 셀 모드를 이용한 광시야각과 고속 응답에 관한 연구”, 전기전자재료학회논문지, 13권, 4호, p. 332, 2000.
- [4] 황정연, 서대식, 한은주, 김재형, “새로운 VA-1/6 π 셀 모드를 이용한 광시야각 특성”, 전기전자재료학회논문지, 13권, 10호, p. 883, 2000.
- [5] 황정연, 이경준, 이재호, 김태호, 이상극, 서대식, “수직 광폴리머 표면에 사진 식각(photo-lithograph)을 이용한 다중도메인 수직 배향셀의 광시야각 특성”, 전기전자재료학회논문지, 16권, 3호, p. 219, 2003.
- [6] P. J. Bos, P. A. Johnson, and R. Koehler/Beran, “A liquid crystal optical switching device (π -cell)”, SID '83 digest paper, p. 30, 1983.
- [7] P. J. Bos and J. A. Rahman, “An optically “self-compensating” electro-optical effect with wide angle of view”, SID '93 digest paper, p. 273, 1993.
- [8] S. H. Lee, S. H. Hong, J. D. Noh, H. Y. Kim, and D-S. Seo, “Chiral-doped optically compensated bend nematic liquid crystal cell with continuous deformation from twist to twisted bend state”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, No. 4B, p. L389, 2001.
- [9] 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.