

위상판을 써서 BTN 액정표시소자의 시야각 특성을 개선하는 방법

양병관 · 김진승

전북대학교 물리기술학부, 광 · 전자 · 정보기술연구소

노봉규

아사달 디스플레이

(1999년 10월 7일 받음, 2000년 1월 26일 수정본 받음)

액정표시소자에 쓰이는 위상판의 시야각특성을 확장된 존즈행렬과, 이것의 뽀앙카레공(Poincaré sphere)에서의 기하학적 회전변환으로 해석하였다. 위상판의 회전변환 특성은 시야각이 바뀌면 회전축은 적도선 위에 있고, 회전각이 시야각에 따라 크게 변한다. 광축의 방향이 다른 두 장의 위상판을 겹쳐 쓰면 이런 특성을 보정할 수 있고, 이 방법을 써서 BTN 셀의 시야각 특성을 개선할 수 있었음을 보였다.

I. 서 론

액정표시소자(LCD: Liquid Crsytal Display)¹⁾는 얇고, 가벼우며, 전력소모가 적어 휴대전화기와 노트북 컴퓨터 등 휴대형 정보기기의 핵심표시장치로 쓰인다. 최근에는 공간활용도가 높고 전력소모가 적은 장점 때문에 음극선관을 대치하여 대면적의 탁상용 화면장치로도 쓰이기 시작하고 있다. 그러나 액정표시소자는 음극선관과는 달리 보는 방향에 따라 화면의 밝기와 색상이 달라지는 시야각 특성의 단점이 있다.

시야각 특성의 개선방법으로 화소분할법^{2,3)}과 보상법⁴⁾ 등 여러 방법이 개발되었다. 화소분할법은 단위화소를 둘 이상의 영역으로 나누어, 각 영역에서의 액정분자의 배향이 달라지게 하는데, 이를 위해서 각 영역에서 기관의 러빙방향을 달리하거나 전극배치를 바꾸어 전기장을 불균일하게 만든다. 이 경우 영역의 경계에서의 액정분자의 배향이 불연속적으로 바뀌는 전경이 생겨 동작특성이 나쁘고 화면이 상대적으로 어둡다. 보상법에서는 액정판과 편광판 또는 검광판 사이에 광학적 비등방성을 지닌 투명 위상판을 덧붙인다. 그런데 위상판의 특성도 시야각에 따라 달라지므로 실험적으로 최적 위상판을 찾아내는 것이 지극히 어렵다. 따라서 전산시뮬을 통해 최적 위상판의 규격을 찾아내는데, 효과적인 탐색방법이 아직 정립되지 못한 상태이다. 그 까닭은 액정의 시야각 특성을 분석할 때 액정판만이 아니라 편광판과 검광판까지 함께 고려하여 최종적인 투과도의 변화를 계산하여 최적조건을 찾지 못하기 때문이다. 따라서 위상판을 써서 액정표시소자의 시야각 특성을 개선하는 방법을 체계적으로 분석하려면 장치를 구성하는 각 부분의 시야각 특성을 개별적으로 분석하고, 이들을 결합할 때 종합적인 시야각 특성의 변화를 살펴 보는 것이 바람직하다.

액정표시소자의 편광투과특성은 존즈행렬을 써서 분석할 수 있다. 존즈연산에서는 경계면에서의 빛의 반사를 무시하기 때

문에 투명한 매질의 편광투과특성을 나타내는 존즈행렬은 유니타리인데, 유니타리 행렬은 기하학적으로 해석하면 뽀앙카레공^{5,6)}에서의 회전변환이 된다. 이 때 회전축은 유니타리 행렬의 고유벡터에 대응되는 스토크스 벡터이고, 회전각은 고유값의 위상의 2배이다. 액정셀의 최적화 조건은 유효회전변환^{5,7)}의 회전각이 180도인 조건으로부터 찾는다. 수직입사가 아닌 경우 경계면에서의 반사를 무시하지 않고 엄밀하게 분석하려면 베레만(Berreman)의 4×4 행렬방식^{8,9)}을 쓰는데, 이 방법은 계산이 복잡하고 Fabry-Perot 효과가 생겨 투과특성을 분석하는데 어려움이 많다. 반면에 확장된 존즈행렬방식^{10,11,12)}은 공기에서 액정 셀로 들어갈 때와 나갈 때의 Fresnel 반사 손실은 고려하고 그 사이의 매질을 지날 때 생기는 사소한 반사는 무시한다. 이 방법은 Fabry-Perot 효과가 나타나지 않고, 계산 속도가 빠르다.

이 연구는 보상법을 쓴 액정표시장치의 시야각 특성 개선과 관련하여, 확장된 존즈연산과 존즈행렬의 기학적 해석방법을 써서 위상판의 시야각 특성을 분석한다. 이 결과를 바탕으로 위상판의 시야각 특성을 개선하는 방법을 밝혀냈고, 이를 써서 쌍안정 TN셀의 시야각 특성을 최적화 하였다.

II. 본 론

2.1. 확장된 존즈연산

이 부분에서는 확장된 존즈연산에 관한 주요 내용을 요약한다. 확장된 존즈연산에서는 빛이 공기에서 액정 셀로 들어갈 때와 나갈 때의 Fresnel 반사에 의한 손실만 고려하고 액정셀 속의 진행에서는 반사를 무시한다. 액정셀을 액정분자의 배향이 균일한 여러개의 얇은 액정층이 겹쳐진 것으로 보면, 각 층에 대한 확장된 존즈행렬¹³⁾은 아래와 같은 꼴이 된다:

$$J = R(\Psi) P R(-\Psi)$$

P 는 고유좌표계(그림 1의 평면 Π 위에 있는 단위벡터 \hat{b} 와

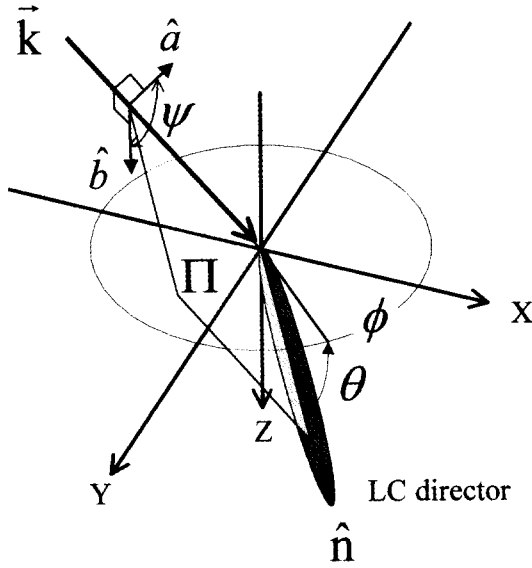


그림 1. 고유좌표계와 광좌표계.

파수벡터 \vec{k} 를 기준으로 하는 직교좌표계에서의 확장된 존즈행렬로서, 행렬요소는 이상광과 상광의 위상지연값이다.

$$P = \begin{pmatrix} e^{ik_{ze}d} & 0 \\ 0 & e^{ik_{zo}d} \end{pmatrix}$$

$$\frac{k_{zo}}{k_o} = \sqrt{n_o^2 - \left(\frac{k_x}{k_o}\right)^2}$$

$$\frac{k_{ze}}{k_o} = -\frac{\epsilon_{xz}}{\epsilon_{zz}} \frac{k_x}{k_o} + \sqrt{\frac{n_o^2 n_e^2 \epsilon_{xx} \epsilon_{zz} - \epsilon_{xz}^2}{\epsilon_{zz}^2} \left(\frac{k_x}{k_o}\right)^2}$$
(2)

여기서 n_o, n_e 는 각각 상광과 이상광의 굴절률이고, k_o 는 진공에서의 파수벡터, k_x 는 파수벡터의 x 축 성분이다. $\epsilon_{ij}(i, j = x, y, z)$ 는 이 액정층의 유전률텐서이고, d 는 액정층의 두께이다. $R(\Psi)$ 는 좌표계의 변환에 대응되는 회전변환행렬로 아래와 같다:

$$R(\Psi) = \begin{pmatrix} \cos(\Psi) & -\sin(\Psi) \\ \sin(\Psi) & \cos(\Psi) \end{pmatrix}$$

$$\tan(\Psi) = \frac{\cos(\theta)\sin(\phi)}{\cos(A')\cos(\theta)\cos(\phi) - \sin(A')\sin(\theta)}$$
(3)

θ 는 액정분자의 기울기(tilt angle)이고, ϕ 는 꼬임각(twist angle)이다. A' 은 입사각이 A 일 때의 굴절각이다.

$$A' = \sin^{-1}(\sin(A)/n_o)$$
(4)

Ψ 는 파수벡터 \vec{k} 와 방향자 \hat{n} 이 만드는 평면 Π 과 입사면 (\vec{k} 와 \hat{z} 이 만드는 평면)사이의 각이다. 확장된 존즈연산에서는 입사면과 경계면이 만나는 직선을 x 축으로 하고, 경계면에 수직인 방향을 z 축으로 하는 직교좌표계(실험실 좌표계)를 쓴다. 또 전기장 벡터는 \vec{k} 와 벡터 \hat{a} 를 기준으로 하는 직교좌표계(광좌표계)를 써서 나타낸다.

그래서 확장된 존즈연산에서는 광좌표계와 고유좌표계 사이

의 유사변환을 한다. 액정 층을 n 등분했을 경우 액정 패널 전체의 확장된 존즈행렬은 아래와 같다:

$$J = T' J_A J_n \dots J_2 J_1 J_P T$$
(5)

여기서 T 와 T' 은 TM, TE 파의 Fresnel 투과계수에 의해서 결정되는데 T 는 공기에서 액정 패널로 들어갈 때, T' 는 패널에서 공기로 나갈 때의 투과계수행렬인데 각각 아래와 같다:

$$T' = \begin{pmatrix} t_p' & 0 \\ 0 & t_s' \end{pmatrix}$$

$$T = \begin{pmatrix} t_p & 0 \\ 0 & t_s \end{pmatrix}$$
(6)

첨자 p 와 s 가 붙은 것은 각각 TM파와 TE파의 투과계수이다. J_n, \dots, J_2, J_1 는 각 액정 층에서의 존즈행렬인데 식 (1)에 따라 모두 유니타리 행렬이다. J_P 와 J_A 는 각각 편광판과 검광판의 존즈행렬이다. 편광판의 경우에는 이상광과 상광의 고유값이 0보다 크고 1보다 작은 실수이고 기움각이 0인 경우와 같다.

2.2. 회전변환

이 부분에서는 유니타리 존즈행렬의 기하학적 해석을 요약한다. 위상판과 같이 투명한 매질에 대한 식 (1)의 존즈행렬은 유니타리(unitary)이다. 빛이 투명한 매질을 지나갈 때의 편광상태의 변화를 기술하는 유니타리 존즈행렬은 뽀앙카레공 위에서 회전변환으로 해석할 수 있다. (판별식이 1인) 유니타리 행렬 U 을 뽀앙카레공에서 회전변환¹⁵⁻¹⁷으로 나타낼 때, 행렬요소와 회전각 Ω_{rot} , 회전축 $r(r_1, r_2, r_3)$ 사이의 관계는 아래와 같다:

$$U = \begin{pmatrix} U_{11} & U_{12} \\ -U_{12}^* & U_{11}^* \end{pmatrix}$$

$$\cos\left(\frac{\Omega_{rot}}{2}\right) = \text{Re}(U_{11})$$

$$r_1 \sin\left(\frac{\Omega_{rot}}{2}\right) = \text{Im}(U_{11})$$

$$r_2 \sin\left(\frac{\Omega_{rot}}{2}\right) = \text{Im}(U_{12})$$

$$r_3 \sin\left(\frac{\Omega_{rot}}{2}\right) = -\text{Re}(U_{12})$$
(7)

2.3. 위상판의 회전변환 특성

식 (7)로부터 선형위상판의 회전변환 특성은 아래와 같다:

$$\Omega_{rot} = (k_{ze} - k_{zo})d$$

$$r = (\cos(2\Psi) \sin(2\Psi) \ 0)$$
(8)

이 회전변환의 회전각은 위상판의 위상지연값이고, 회전축은 뽀앙카레 공의 적도선 위에 있는데 방위각은 광좌표계와 고유좌표계 사이각 Ψ 의 2배이다. 확장된 존즈연산 방식에서 일반적으로 쓰는 실험실 좌표계는 입사평면을 기준으로 하므로 입사각을 고정시킨 채 입사평면의 방위각을 바꾸면 마치 매질의 광축이 회전하는 것과 같은 효과가 생긴다. (즉, $\Psi = \Psi(\theta, \phi)$)

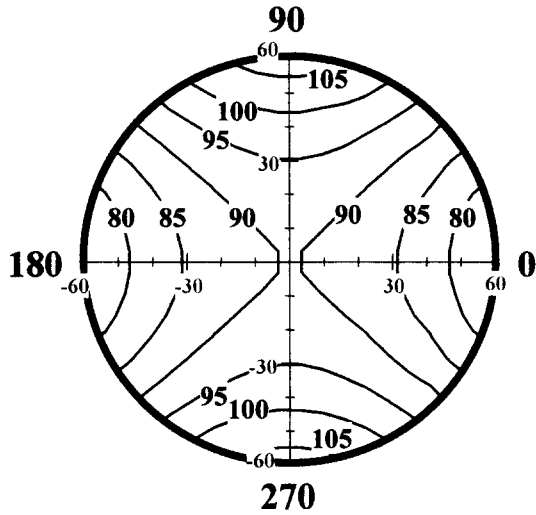


그림 2. 사반파장판의 회전각의 시야각 특성. 느린 광축이 수평방향인 사반파장판의 회전각의 등고선 그림이다. 상굴절률, 이상굴절률은 각각 1.583, 1.587이고, 두께는 34 μm로 모형을 잡았다. 파장은 0.5435 μm이다.

이다), 그 결과 뿔앙카레공에서의 회전축의 방위각이 입사평면의 방위각의 두배만큼 돌아가는데, 이것은 길보기 변화일 뿐 위상판 특성이 참으로 변하는 것은 아니다. 그래서 본 연구에서는 위상판의 편광투과 특성에 대응되는 뿔앙카레 공에서의 회전축의 방향이 입사평면의 방위각에 일정하게 유지되는 고유좌표계를 잡아, 이것을 기준으로 빛의 편광 투과특성을 분석하였다. 그림 2는 사반파장판의 시야각에 따른 회전각의 변화를 (느린) 광축을 기준축으로 하는 좌표계(이 경우 고유좌표계)에서 나타내었다. 식 (1)과 같이 Fresnel 반사특성은 고려하지 않았다.

회전축은 뿔앙카레공의 s1축에 고정되어 있다. 시야각에 따른 위상판의 편광투과특성의 변화가 없다면 회전각의 변화가 없어야 한다. 광축방향(0도 방향)에서는 입사각이 커질수록 복굴절성이 줄어들어서 회전각이 작아지고, 90도 방향(광축에 수직한 방향)에서는 그 반대가 된다. 이 두 방향에서는 시야각이 60도까지 변할 때 회전각은 80도에서 105도까지 크게 변한다. 광축의 45도 방향에서는 입사각에 상관없이 회전각이 거의 일정하다.

그림 3은 느린 광축의 방향이 각각 45도, 135도인 직교한 사반파장판의 시야각 특성을 나타내었다. 기준축을 x축으로 했다. 그림 3(1)에서 수직입사한 경우 복굴절성이 없으므로 회전각이 0이지만 입사각이 증가할수록 회전각이 커지는 것을 알 수 있다. 회전축은 방위각이 360도 변할 때 뿔앙카레공 위를 2번 회전하지만, 입사각의 변화에 대해서 크게 변하지 않는다. $n_x = n_y > n_z$ 인 음의 위상판의 경우도 이와 같이 회전각은 입사각이 증가할수록 커지고, 회전축도 2번 회전하는데 다만 회전축이 적도선 위에 있는 것이 서로 다르다.

위상판의 시야각 특성은 그림 4와 같이 광축이 위상판에 대해 수직인 VA 필름을 써서 개선할 수 있다. 방위각이 0도방향인 위상판의 광축방향에서는 입사각이 커지면 위상판의 회

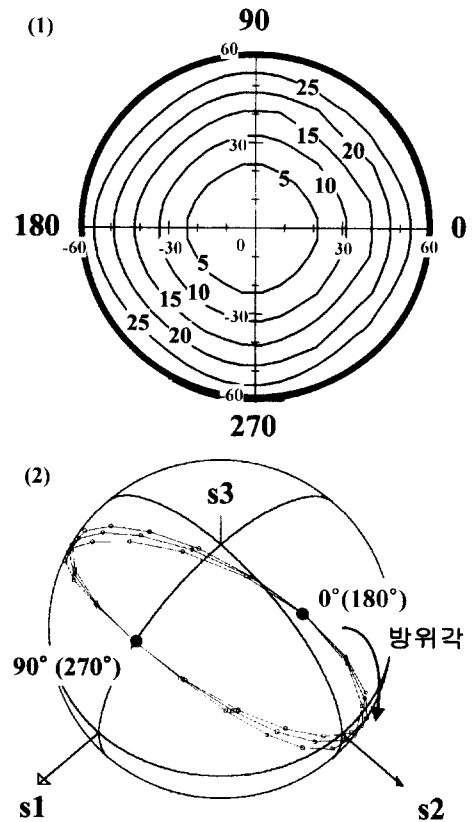


그림 3. 두 직교한 사반파장판의 시야각 특성. (1)은 회전각의 등고선 그림이고, (2)은 뿔앙카레공에서 회전축의 변화 모습이다. 방위각이 0도(180도)일 때 회전축은 공의 뒷면에 있고, 이것이 방위각의 변화에 따라 연속적으로 변한다.

전각이 작아지지만 VA 필름의 회전각이 커진다. 방위각이 90도 방향에서는 두 필름의 회전각이 커지는데 회전축이 서로 직교한다. 그래서 적당한 VA 필름을 선택하면 위상판의 회전각의 변화를 줄일 수 있다. VA 필름을 선택하는 조건은 이 두 필름의 위상차에 대한 입사각의 도함수가 0이 되는 조건으로부터 아래와 같다:

방위각 0도 :

$$d_{VA} = \frac{\frac{(n_e - n_o)}{n_o} \frac{1}{\sqrt{n_o^2 - \sin^2(A)}}}{\frac{1}{\sqrt{n_{oVA}^2 - \sin^2(A)}} \left(\frac{n_{oVA}}{n_{eVA}} \right) \frac{1}{\sqrt{n_{oVA}^2 - \sin^2(A)}}}$$

방위각 90도 :

$$d_{VA} = \frac{\frac{1}{\sqrt{n_e^2 - \sin^2(A)}} - \frac{1}{\sqrt{n_o^2 - \sin^2(A)}}}{\frac{1}{\sqrt{n_{oVA}^2 - \sin^2(A)}} \left(\frac{n_{oVA}}{n_{eVA}} \right) \frac{1}{\sqrt{n_{oVA}^2 - \sin^2(A)}}} \quad (9)$$

여기서 A는 입사각의 입사각이다. 첨자 VA가 붙은 변수는 VA 필름의 변수이다.

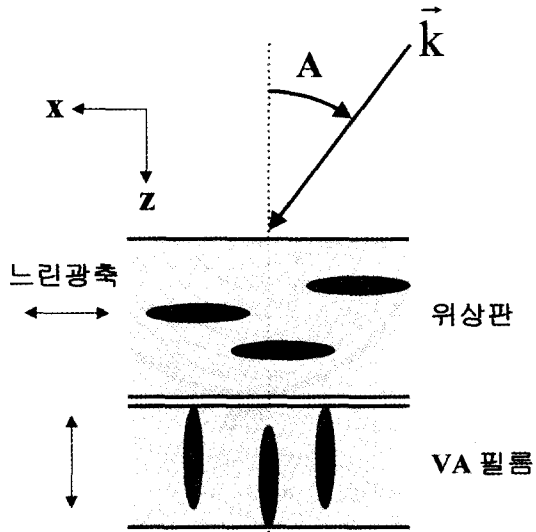


그림 4. VA 필름을 쓴 위상판의 시야각 특성 보정. VA 필름은 광축이 경계면에 수직인 양성의 단축결정인 매질이다. 적절한 VA 필름을 선택하면 위상판의 시야각 특성을 개선할 수 있다.

그림 5는 식 (9)에 따라 얻은 위상판과 VA 필름의 두께의 비를 나타내었다. 두 필름의 굴절률이 서로 같다고 가정하였는데, 평균값은 0.5로서 VA 필름의 두께가 위상판 두께의 절반일 때 위상판의 시야각 특성이 잘 보정된다.

그림 6은 두 필름이 겹쳐있을 때의 투과특성이다. 회전축은 s1축 주위에서 사선모양으로 변한다. 하지만 회전각은 전시야각 범위에서 90도에서 92도까지 비교적 변화가 적다.

2.4. 쌍안정 TN 액정표시소자의 시야각 특성 보정

쌍안정 TN 액정표시소자는 액정분자의 꼬임각이 0도와 360

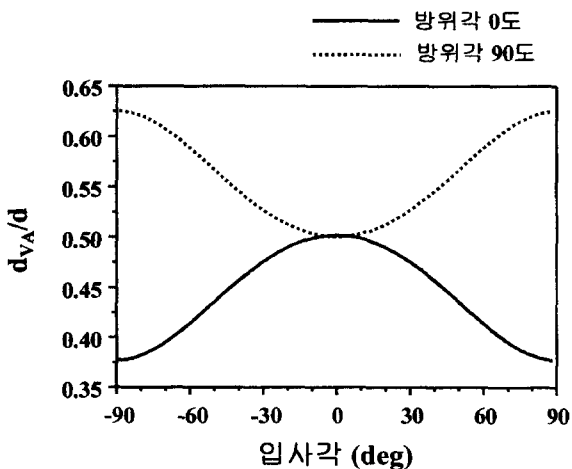


그림 5. 축방향의 위상판과 VA 필름의 두께의 비. 위상판의 시야각 특성을 개선시키는 조건을 만족시키는 VA 필름의 두께와 위상판의 두께의 비이다. 두 광축에서 요구되는 두께가 서로 다른데 굴절률이 서로 같을 경우 평균값은 0.5이다.

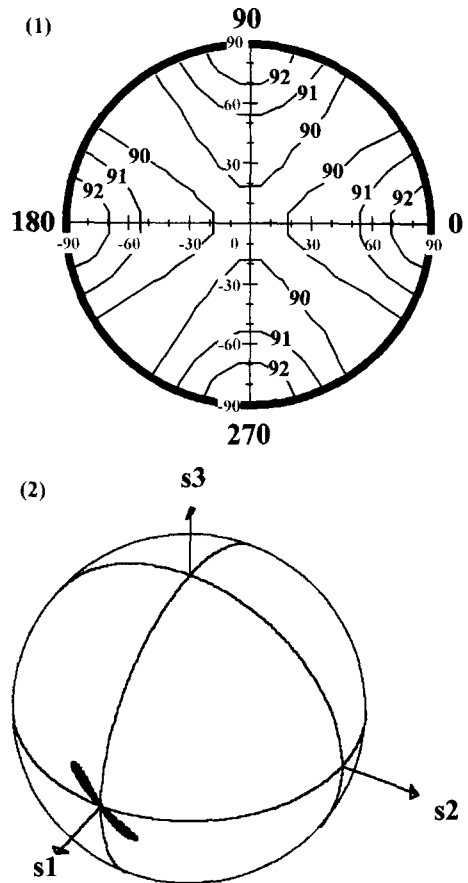


그림 6. VA필름을 써서 보정한 위상판의 시야각 특성. 사반과장판의 시야각 특성을 VA 필름을 써서 보정한 경우이다. (1)의 회전각의 변화를 나타내었는데 전 시야각 범위내에서 변화가 거의 없다. (2)는 회전축을 뺀앙카레 공에 나타내었다.

도에서 준안정상태를 갖는 성질을 이용해서 수동구동법으로 능동구동법과 같은 효과를 낸다. 계조는 보통의 TN과 달리 이 두 상태의 지속시간비로 조절한다. 꼬임각이 0이면 액정셀은 선형 위상판과 같은 특성을 가지므로 앞에서 설명한 방법으로 규격을 정한 위상판을 붙여 시야각 특성을 개선할 수 있다. 또한 360도 꼬인 경우는 액정셀의 시야각 특성이 음의 위상판의 특성과 유사하므로 VA 필름을 쓰면 시야각 특성이 보정된다.

그림 7과 8은 준안정상태가 360도 꼬인 쌍안정 TN 셀의 회전축과 회전각의 시야각에 대한 변화를 VA 필름을 쓴 경우와 비교하였다. 그림 7은 입사각이 10도 단위로 변할 때의 방위각에 대한 회전축의 변화이다. 입사각이 커지면 그림 7(1)과 같이 방위각에 대한 회전축의 방향이 크게 변한다. 그림 7(2)는 VA 필름을 써서 보정한 결과인데 회전축의 이동범위가 크게 줄어든 것을 알 수 있다. 그림 8은 회전각의 등고선 그림인데 VA 필름을 쓰지 않은 경우 음성 위상판과 같이 입사각이 커지면 회전각도 증가한다. 수직입사한 경우 회전각이 0은 아니다. VA 필름을 쓴 경우를 보면 시야각이 있는 경우에도 회전각이 크게 변하지 않았다. 결과적으로 VA 필름은 0도와

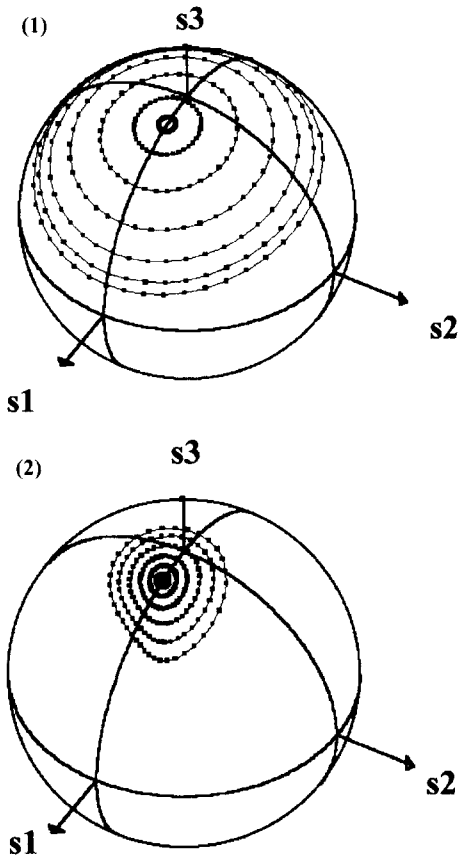


그림 7. 360도 쏘인 준안정상태인 BTN 셀의 회전축의 시야각 특성. (1)은 360도 쏘인 쌍안정 TN 셀의 회전축의 시야각 특성이고, (2)는 VA 필름을 써서 보정한 경우이다. 회전축의 변화가 크게 줄었다.

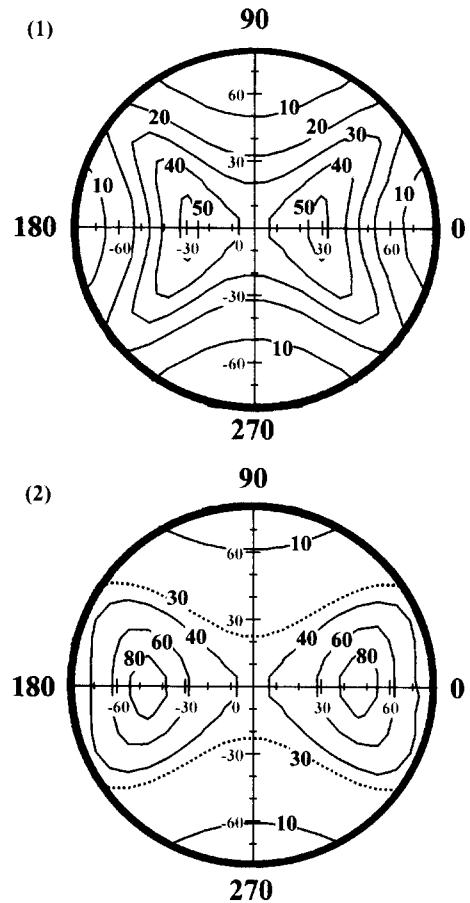


그림 9. BTN 셀의 명암대비비의 시야각 특성.

360도의 두 준안정상태의 시야각 특성을 동시에 보정해준다.
그림 9는 명암대비비의 등고선 그림이다.그림 9(2)은 VA 필

름을 써서 보정한 경우인데 시야각 특성이 개선된 것을 알 수 있다. 입사각이 80도까지 계산한 결과인데 상하의 일부영역을 제외한 모든 영역에서 명암대비비 10이상이다. 특히 좌우의 시

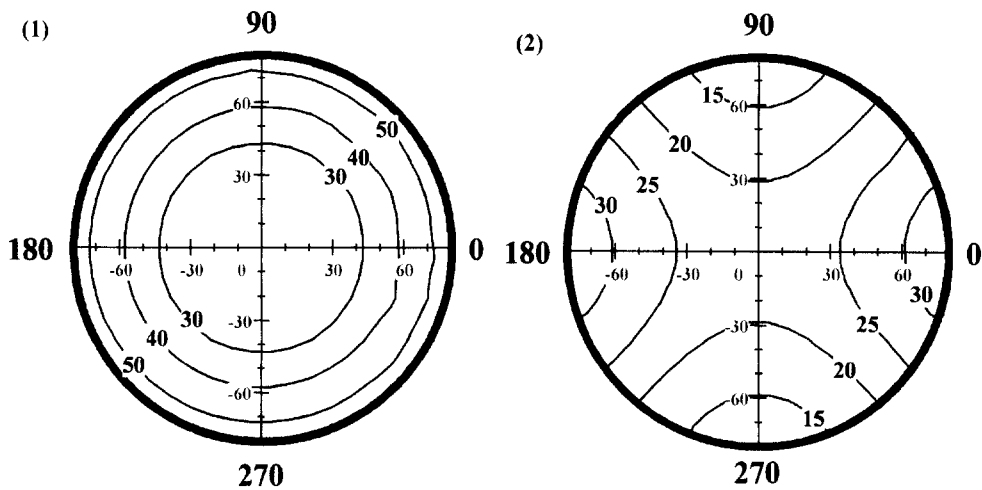


그림 8. 360도 쏘인 준안정상태인 BTN 셀의 회전각의 시야각 특성. (1)은 360도 쏘인 쌍안정 TN 셀의 회전각의 시야각 특성이다. 음의 위상관과 같이 입사각이 증가하면 회전각이 커진다. 하지만 수직입사의 경우 회전각이 0은 아니다. (2)는 VA 필름을 써서 보정한 경우인데, 회전각의 변화가 크게 줄었다.

야각 특성은 모든 범위에서 30이상이 유지된다.

2432)의 지원에 의한 것입니다.

III. 결 론

액정표시소자용 위상판의 시야각 특성을 확장된 존즈행렬을 써서 분석하고, 그것을 뽀양카레공에서 회전변환으로 바꾸어 기하학적으로 해석하였다. 광축방향에서는 입사각이 커지면 회전각이 줄어들었고, 광축에 수직인 방향에서는 회전각이 커진다. VA 필름을 써서 위상판의 시야각 특성을 개선할 수 있는데, 굴절률이 서로 같은 경우 VA 필름의 두께는 위상판 두께의 절반이다. VA 필름을 쓴 보상법은 쌍안정 TN 셀의 두 준안정상태인 꼬임각이 0도, 360도의 두 상태의 시야각 특성을 개선하여 전반적인 시야각 특성이 크게 좋아진다.

감사의 글

이 연구는 1999년도 교육부 기초과학육성연구비(BSRI-99-

참고문헌

- [1] B. Bahadur, *Liquid Crystal Applications and Uses*, Vol. 1 (World Scientific, Singapore, 1990).
- [2] K. Takatori *et al.*, JAPAN DISPLAY'92, 591 (1992).
- [3] Y. Koike *et al.*, SID'92, 798 (1992).
- [4] H. Mori *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. **36**, 143 (1997).
- [5] 노봉규, 김진승, 한국광학회지 **5**, 25 (1994).
- [6] R. Ulrich, *Opt. Lett.* **1**, 109 (1977).
- [7] 노봉규, "액정셀의 편광투과특성과 그 응용," 박사학위논문, 전북대학교 (1995).
- [8] D. W. Berreman, *J. Opt. Soc. Am.* **62**, 502 (1972).
- [9] 양병관, 김규석, 노봉규, 김진승, 박찬, 한국광학회지 **8**, 223 (1997).
- [10] P. Yeh, *J. Opt. Soc. Am.* **72**, 507 (1982).
- [11] H. L. Ong, *J. Opt. Soc. Am.* **A10**, 283 (1993).
- [12] B. W. Walker, *SID'98 Digest*, 814 (1998).

The improvement of viewing angle characteristics of BTN LCD by using a optical retardation film

Byeong Kwan Yang and Jin Seung Kim

School of Physics and Technology and Institute of Photonics, Electronics, and Information Technology, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

Bong Gyu Rho

Asadal Display Co., Suwon 440-050, Korea

(Received October 7, 1999, Revised manuscript received January 26, 2000)

Optical transmission characteristics of retardation film for obliquely incident light is calculated by using extended Jones calculus and it is geometrically interpreted on Poincaré sphere representation as rotational transformation. The characteristics of a retardation film is that while the rotation axis is fixed at a point on the Equator of the Poincaré sphere, the rotation angle varies with the direction of incidence. This property can be compensated by using a tandem arrangement of the two optical films whose optic axes do not coincident, and this method can be used for the improvement of the viewing angle characteristics of BTN cells.