

편광법을 이용한 LCD 편광판과 보상판의 광축 정렬오차 측정

안성혁[†]

아주대학교 자연과학부

Ⓢ 442-749 경기도 수원시 영통구 원천동

김상준 · 김상열

아주대학교 분자과학과

Ⓢ 442-749 경기도 수원시 영통구 원천동

(2004년 7월 27일 받음, 2004년 10월 4일 수정본 받음)

회전검광자방식 편광분석방법을 이용하여 LCD (liquid crystal display) 편광판에 부착되어 있는 보상판의 느린축이 편광판의 투과축 대비 틀어진 각도를 0.1도 이내로 정밀하게 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 본 방법을 이용하면 보상판을 LCD 편광판과 접합하는 공정에서 발생하는 광축정렬의 오차를 줄일 수 있고 궁극적으로 LCD의 화질을 일정하게 유지, 관리하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

주제어 : LCD, polarization, optical axis, compensator, polarimetry.

I. 서 론

평판형 영상표시소자로서 최근 그 사용이 크게 증가하고 있는 액정표시소자(LCD)의 화질특성을 개선하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다.^[1,2] 특히 LCD 편광판에 위상지연판(보상판)을 추가하는 방법을 사용하여 시야각을 확대하거나^[3-5] 액정 자체의 위상지연을 조절하고 광대역 사분파장판을 한 장 또는 2-3장 사용하여 밝기와 다색광의 명암대비특성 및 응답특성을 향상시킨 투과형/반사형 LCD 등에 대한 연구가 많이 진행되고 있고^[6-8] 또한 산업계에 이 방법이 적용되고 있다. 하지만 편광판에 보상판을 부착하는 접합공정에서 발생하는 보상판의 느린축(slow axis)이 편광판의 투과축 대비 틀어져 있는 광축 정렬의 부정확성으로 인하여 발생하는 LCD 영상화질의 저하는 시급히 극복하여야 할 당면과제로 부각되고 있다. LCD의 품질개선을 위해서는 궁극적으로 이와 같은 광축 정렬 공정오차를 줄이기 위한 개선된 접합공정이 필요하며 이러한 방법을 개발하기 위해서는 아주 작은 광축 틀어짐을 정밀하게 측정하는 방법이 먼저 확보되어야 하지만 편광판과 보상판이 접합된 상태에서 광축 틀어짐의 정도를 측정하는 방법은 현재 생산 공정상 요구되는 정밀도인 0.1도의 측정정밀도를 만족시키지 못하고 있다.^[9]

편광상태를 이용하여 물성을 분석하는 방법으로는 편광법(polarimetry) 또는 타원법(ellipsometry)이 있으며 이 방법은 박막의 두께 정밀 측정 등에 널리 사용되고 있다.^[10] 본 연구에서는 회전검광자방식 타원계와 유사한 편광상태 측정기법을

을 사용하여 평판형 영상 표시방법에 널리 사용되고 있는 LCD의 핵심소자인 편광판과 보상판의 광축 틀어짐을 0.1도 이내의 정밀도로 측정하고 분석할 수 있는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

그림 1(a)는 시료의 편광판과 보상판이 접합된 시료에서 편광판의 투과축이 보상판의 느린축에 대해 틀어진 정도를 측정할 수 있는 가장 간단한 장비(PSA 시스템)의 개략도이다. 그림에서 P는 편광자, S는 시료, A는 검광자를 나타내고 시료(S)는 편광판과 보상판의 광축을 나란하게 접합시킨 접합판이다. 이 시스템에서 검광자를 고정시키고 편광자를 회전시키면서 투과한 빛의 세기를 분석하면 편광판의 방위각을 알아낼 수 있고, 편광자를 고정시키고 검광자를 회전시키면서 투과한 빛의 세기를 분석하면 보상판의 방위각을 알아낼 수 있다.^[9] 그러나 PSA 시스템은 보상판의 방위각 변화에 따른 측정되는 광량 변화 민감도가 떨어지기 때문에 광축 틀어짐의 측정 정밀도가 나빠져 따라서 산업 현장에서 요구되는 0.1도 이내의 정밀도를 확보할 수 없다. 본 연구에서는 그림 1(b)에서처럼 보정기 C를 시료와 검광자 사이에 첨가한 PSCA 시스템을 제시하고 보정기의 방위각과 위상지연각을 조절하며 위에 언급한 회전편광자 또는 회전검광자 측정방법을 이용하면 보다 정밀하게 광축 정렬오차를 측정할 수 있음을 보이고자 한다. 먼저 존스행렬을 이용하여 PSCA 시스템을 투과한 빛의 편광상태를 분석할 수 있는 기본 이론을 설명하고, 이 이론을 사용하여 시료 편광판과 보상판의 광축 틀어짐을 정밀하게 측정할 수 있는 구체적이며 실용적인 방법을 제안한다.

[†] E-mail: shan@ajou.ac.kr

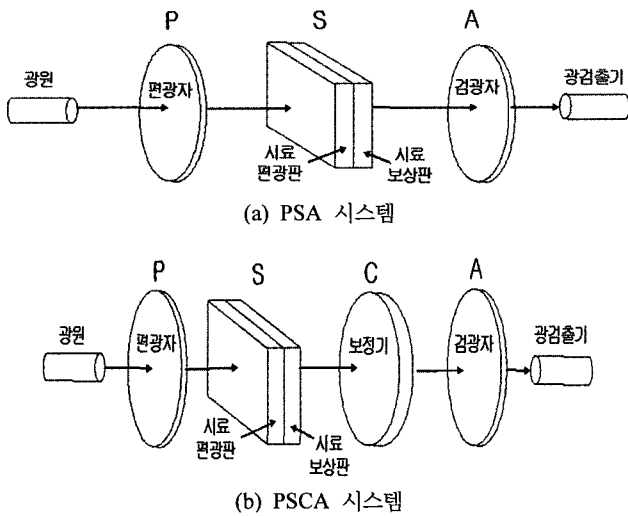


그림 1. 시료의 편광판과 보상판의 광축이 틀어진 정도를 측정할 수 있는 장비의 개략도. (a) PSA 시스템. (b) PSCA 시스템.

II. 이 론

PSCA 시스템에서 존스벡터와 존스행렬을 사용하여 P, S, C, A를 순차적으로 통과한 빛의 편광상태를 나타내면 다음과 같다.^[10]

$$E_A^e = T_A^e R(A-C) T_C^e R(C-C_S) T_{C_S}^e R(C_S-P_S) T_{P_S}^e R(P_S-P) E_P^e \quad (1)$$

여기서 $E_P^e = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ 는 편광자를 통과한 빛의 전기장 벡터이고 R은 좌표축 회전행렬, T는 위상지연판의 존스행렬로서 그 구체적인 표현은 다음과 같이 주어진다.

$$R(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$T_{P_S}^e = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & i\epsilon \end{pmatrix}, \quad T_{C_S}^e = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & T_S e^{i\delta_S} \end{pmatrix}, \quad T_C^e = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & T_C e^{i\delta} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$T_A^e = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

단 여기서 θ 는 좌표축의 회전각도이고 P, P_S, C_S, C, A는 각각 편광자, 시료 편광판, 시료 보상판, 보정기, 검광자의 방위각을 나타내며 δ_S 와 δ 는 각각 시료 보상판과 보정기의 위상지연각을 나타낸다. T_S와 T는 각각 시료 보상판과 보정기의 느린축 대 빠른축의 전기장 투과비를 나타내고, ϵ 은 시료 편광판의 누수(leakage)를 나타낸다.

III. 광축정렬오차 측정방법

3.1. 편광판 방위각 (P_S)의 결정

LCD에 사용되는 시료 편광판의 누수는 대략 $\epsilon = 0.001$

정도이고 이로 인한 편광상태 미소변화가 회전편광자 방식의 P_S 측정에 미치는 효과는 극히 작으므로 무시할 수 있다. 측정되는 빛의 세기는 전기장의 세기의 제곱에 비례하므로 시료 편광판의 누수를 무시하면 (즉, $\epsilon \approx 0$) 식 (1)의 빛의 세기는 $P = P_S$ 일 때 최대가 된다. 따라서 검광자의 방위각 A를 고정하고 편광자를 회전시켜가며 시스템을 통과한 빛의 세기를 측정하면 이 빛의 세기가 최대가 되게 하는 편광자의 방위각 P가 바로 시료 편광판의 방위각 P_S이다.

3.2. 보상판 방위각 (C_S)의 결정

편광판과 보상판을 접합시킬 때 광축을 나란하게 한다. 그러나 접합공정상 이들 방위각은 1도 내외의 정렬오차를 가지게 된다. 이 미소한 광축 틀어짐을 정밀하게 측정하기 위해서는 편광자와 보상판의 방위각을 각각 정밀하게 측정할 수 있어야 하며 편광자의 경우 3.1절에서 기술한 방법으로 P_S를 0.1도의 정밀도로 결정할 수 있다. 위상지연각이 40°~50° 정도가 되는 시료 보상판의 경우 같은 정도의 방위각 측정정밀도를 확보하기 위해서는 다음과 같이 한다. 먼저 3.1절에서 기술한 방법으로 P_S를 결정한 다음 편광자의 방위각을 $P = P_S$ 에 위치시킨다. 그 다음 보정기의 방위각을 C_S 근방에서 조금씩 바꾸어 가며 보정기의 각 방위각에서 검광자를 회전시키면서 투과한 빛의 세기를 측정한다. 만일 보정기의 방위각이 보상판의 방위각과 정확하게 일치한다면 (즉, $C = C_S$) 시스템을 투과한 빛의 세기는 식 (1)로부터 다음과 같이 유도된다.

$$I/I_0 = |E|^2 = \cos^2 A' \cos^2 C + t^2 \sin^2 A' \sin^2 C - 2t \cos A' \sin A' \cos C \sin C \cos \Delta \quad (4)$$

여기서 $t = T \cdot T_S$, $\Delta = \delta + \delta_S$ 이고, $A' = A - C$, $C' = C - P$ 로 정의하였다. 식 (4)에서 $T \approx 1$, $T_S \approx 1$ 로 근사하고 (즉, $t \approx 1$), 보정기의 보상판과 보정기의 총 위상지연각 Δ 가 180°가 되도록 위상지연각 δ 를 조절하면 식 (4)는

$$I/I_0 = \frac{1}{2} [1 + \cos 2(C' - A')] \quad (5)$$

와 같이 변환되고, 따라서 시스템을 투과한 빛의 세기는 $C' = A'$ 일 때 최대가 된다. 즉, $\Delta = 180^\circ$ 에서 빛의 세기가 최대가 될 때의 검광자의 방위각을 A_{max} 라고 하면

$$A_{max} - P = 2(C - P) \quad (6)$$

일 때 빛의 세기가 최대가 된다. 축틀어짐 각도 $C - P$ 는 측정된 A_{max} 와 P로부터 바로 구할 수 있다. 식 (6)은 $A_{max} - P$ 를 $C - P$ 에 대해 그린 그래프가 기울기가 2인 직선이 됨을 의미한다. 만약 $C \neq C_S$ 이면 $C - P$ 에 대한 $A_{max} - P$ 의 그래프는 근사적으로 직선이지만 기울기는 2보다 작아지게 된다.

그림 2는 편광판 방위각이 P_S = 30°이고 보상판과 편광판

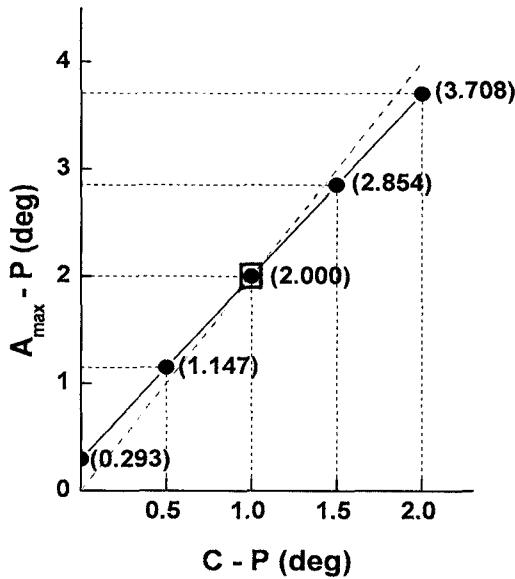


그림 2. $P_S=30^\circ$ 이고 $C_S=31^\circ$ 인 시료의 축틀어짐 각도를 측정하는 방법을 보여주는 그래프. 편광자의 방위각은 $P=P_S$ 에 고정시켰다. 시료 보상판의 위상지연각은 $\delta_S \approx \langle \delta_S \rangle = 45^\circ$ 로 근사하였다.

의 광축이 1°만큼 틀어져 있는 시료(즉, $C_S=31^\circ$)의 축틀어짐 각도를 측정하는 방법을 구체적으로 보여주는 그래프이다. 먼저 3.1절에서 기술한 방법으로 편광판의 방위각을 결정한 다음 편광자의 방위각을 편광자의 방위각에 일치시킨다($P=P_S=30^\circ$). 다음으로 시료들의 미리 측정해 놓은 보상판 위상지연각의 평균값이 $\langle \delta_S \rangle = 45^\circ$ 라고 할 때 측정하고자 하는 시료의 보상판 위상지연각은 $\delta_S \approx \langle \delta_S \rangle = 45^\circ$ 로 근사한다. $\Delta=180^\circ$ 의 조건을 만족시키기 위해 보정기의 위상지연각은 $\delta=135^\circ$ 로 조정한다. 마지막으로 보정기의 방위각을 바꾸어 가며 각 보정기의 방위각에서 검광자를 회전시키면서 투과한 빛의 세기를 측정하고 푸리에변환 분석을 하여 A_{max} 값을 알아낸 다음 $A_{max}-P$ 대 $C-P$ 의 그래프를 그린다. 그림에서 각 점들은 $C-P=0^\circ, 0.5^\circ, 1.0^\circ, 1.5^\circ, 2.0^\circ$ 에서 식 (1)을 이용하여 계산한 $A_{max}-P$ 의 값이고(실제 장비에서는 이 계산값들은 측정값들로 대체될 것이다), 실선은 이 점들을 연결한 선이며 점선은 식 (6)을 나타내는 기울기가 2인 직선이다. 이 점선과 실선의 교차점의 수평축 좌표(즉, $C-P=1^\circ$)가 바로 시료의 축틀어짐 각도를 나타내고 따라서 보상판의 방위각은 $C_S=31^\circ$ 임을 알 수 있다.

3.3. 보상판 위상지연각 (δ_S)의 결정

3.1절에서 보상판의 방위각을 결정하기 위해서 미리 측정해 놓은 시료들의 보상판 위상지연각의 평균값을 보상판 위상지연각 δ_S 의 값으로 사용하였으나 측정하는 접합판 시료의 국지적인 위상지연각이 평균값으로부터 차이가 날 수 있으며 이 차이가 접합된 시료의 보상판 방위각 측정정밀도에

미치는 영향을 확인할 필요가 있다. 측정 위치별 위상지연각이 평균값과 보이는 차이는 다음과 같이 측정한다.

$A_{max}-P$ 의 $C-P$ 에 대한 변화형태는 Δ 에 따라 다양하게 달라진다. 예를 들어 $\Delta=180^\circ$ 일 때에는 기울기가 2인 직선이지만 $\Delta=0^\circ$ 일 때에는 기울기가 0이 된다. 또한 $\Delta=90^\circ$ 이면 식 (4)는

$$I/I_0 = \frac{1}{2}[1 + \cos 2A' \cos 2C'] \quad (7)$$

와 같이 쓸 수 있고($t=1$) 따라서 주어진 C' 값에서 시스템을 투과한 빛의 세기는 $A'=0$ (즉, $A=C$)에서 최대가 된다. 즉, $\Delta=90^\circ$ 에서 빛의 세기가 최대가 될 때의 검광자의 방위각을 A_{max} 라고 하면

$$A_{max}-P = C-P \quad (8)$$

일 때 빛의 세기가 최대가 됨을 알 수 있다. 이와 같이 $A_{max}-P$ 의 $C-P$ 에 대한 변화형태는 위상각 Δ 에 따라 다양하게 변하지만 $(A_{max}-P)/(C-P)$ 의 값은 $\Delta=90^\circ$ 와 $\Delta=180^\circ$ 에서 각각 1과 2로 주어지고 이 두 측정값을 연결한 직선이 수평축과 만나는 점의 수평축 좌표가 $-\delta_S$ 값이 되므로 이를 이용하여 시료의 보상판 위상지연각(δ_S)을 측정할 수 있다.

그림 3은 그림 2에서 사용한 시료의 보상판 위상지연각(δ_S)을 측정하는 방법을 보여주는 그래프이다. 먼저 3.1절과 3.2절의 방법을 이용하여 $P_S(=30^\circ)$ 와 $C_S(=31^\circ)$ 를 결정한 다음 편광판과 보상판의 방위각은 각각 $P=P_S, C=C_S$ 에 고정시킨다. 그 다음 보정기의 여러 위상지연각 δ 에 대해 검광자를 회전시키면서 투과한 빛의 세기로부터 각각 A_{max} 값을 측정한다. 그림에서 각 점들은 각 위상지연각 δ 에 대해 식 (1)을 이용하여 계산한 $(A_{max}-P)/(C-P)$ 의 값들을 나타

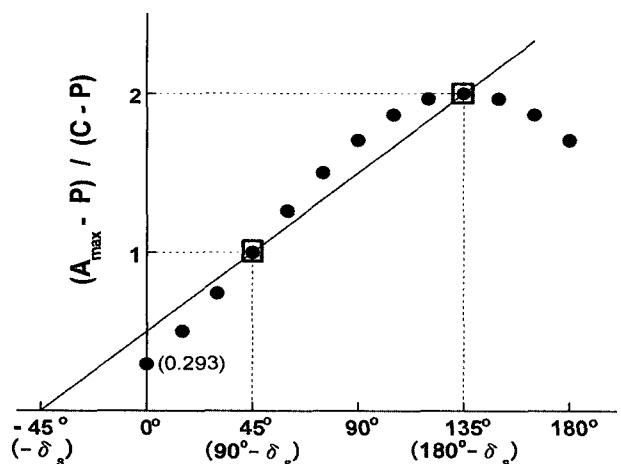


그림 3. 그림 2에서 사용한 시료 보상판의 위상지연각(δ_S)을 측정하는 방법을 보여주는 그래프. 편광판과 보상판의 방위각은 각각 $P=P_S, C=C_S$ 에 고정시켰다. $\delta=45^\circ$ 는 $\Delta=90^\circ$ 에 해당하고 $\delta=135^\circ$ 는 $\Delta=180^\circ$ 에 해당한다.

낸다(실제 장비에서는 이 계산값들은 측정값들로 대체될 것이다). 이 점들 중 ($A_{\max} - P)/(C - P)$ 의 값이 각각 1과 2로 주어지는 두 점(그림에서 이 점들은 $\delta = 45^\circ$ 와 $\delta = 90^\circ$ 에서 각각 주어진다)을 연결한 직선이 수평축과 만나는 좌표값이 $-\delta_s$ 값이 된다(즉, 그림에서 $\delta_s = 45^\circ$). 이 방법으로 구한 δ_s 값과 $\langle \delta_s \rangle$ 의 차이가 측정시료의 보상판 위상지연각 편차가 되며, 이 편차가 허용오차를 벗어나는 경우에는 이 방법으로 구한 δ_s 값을 이용하여 3.2절과 3.3절의 방법을 되풀이 하면 좀 더 정확한 보상판의 방위각과 위상지연각을 구할 수 있다.

IV. 결론 및 토의

본 논문에서는 LCD 편광판에 부착되어 있는 보상판의 느린축이 편광판의 투과축 대비 틀어진 정도를 정밀하게 측정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 보정기를 추가로 도입함으로써 편광판과 보상판이 접합되어 있는 시료에서도 편광자의 방위각과 보상판의 방위각 그리고 보상판의 위상지연각을 정밀하게 측정할 수 있다. 보정기의 위상지연각이 가변이어야 한다는 불편함이 있지만 오히려 보정기의 위상지연각을 조절함으로써 광축 틀어짐 각도 및 위상지연각을 0.1도 이내로 정밀하게 측정할 수 있다는 큰 장점을 가지고 있다. 본 방법에 기초하여 제작한 축틀어짐 측정장비를 사용하면 LCD를 구성하는 기본소자인 편광판과 보상판을 접합하는 공정에서 발생하는 광축정렬의 오차를 줄일 수 있고 궁극적으로 LCD의 화질을 일정하게 유지, 관리하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] T. Toyooka, E. Yoda, T. Yamanashi, Y. Kobori, "Viewing angle performance of TN-LCD with hybrid aligned nematic film," *Displays*, Vol. 20, pp. 221-229, 1999.
- [2] C. D. Hoke, H. Mori and P. J. Bos, "Optical compensation of liquid crystal materials using negative birefringence compensation film," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 38, pp. L642-L645, 1999.
- [3] H. Mori, "Novel optical compensators of negative birefringence for wide-viewing-angle twisted-nematic liquid crystal displays," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 36, pp. 1068-1072, 1997.
- [4] Y. Saitoh, S. Kimura, K. Kusafuka and H. Shimizu, "Optimum film compensation of viewing angle of contrast in in-plane-switching mode liquid crystal display," *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 37, pp. 4822-4828, 1998.
- [5] 양병관, 김진승, 노봉규, "위상판을 써서 BTN 액정표시소자의 시야각 특성을 개선하는 방법," *한국광학회지*, 제11권 1호, pp. 19-24, 2000.
- [6] 양병관, 김진승, 노봉규, "액정표시소자에서 화면의 명암대비와 밝기를 극대화하는 기본조건: II. 다색광의 경우," *한국광학회지*, 제14권 5호, pp. 498-503, 2003.
- [7] 김성철, 박원상, 이서현, 황용석, 이기동, 윤태훈, 김재창, "AFLC셀을 이용한 반사형 LCD의 설계 및 제작," *한국광학회지*, 제12권 3호, pp. 235-239, 2001.
- [8] 최덕운, 김성철, 강진우, 박원상, 심사용, 이서현, 윤태훈, 김재창, "AFLC Cell을 이용한 반투과 LCD 모드의 새로운 광학적 구조," *한국광학회지*, 제13권 2호, pp. 162-165, 2002.
- [9] 이마가와교우지, 나가타시니치, 사카이키요카즈, "복합층의 리터레이션 측정방법 및 장치," 등록특허 10-0351267, 2002.
- [10] 김상열, 타원법, (아주대학교 출판부, 수원시, 2000), pp. 64-100.

Technique of measuring optic axis off-alignment error for LCD polarizing and compensating plates by using a polarimetry

Sung Hyuck An[†]

Department of Physics, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

[†]*E-mail: shan@ajou.ac.kr*

Sang Jun Kim and Sang Youl Kim

Department of Molecular Science and Technology, Ajou University, Suwon 442-749, Korea

(Received July 27, 2004, Revised manuscript October 4, 2004)

Using a polarimetry based on the rotating analyzer ellipsometer, a technique of measuring off-alignment angle between the slow-axis of the LCD (Liquid Crystal Display) polarizing plate and the transmission axis of the compensating plate attached to the polarizing plate is proposed. It is anticipated that this technique will reduce the optic axis off-alignment error coming from the process of attaching the compensating plate to the LCD polarizing plate markedly, and therefore will help maintain the quality of LCD display image uniformly.

OCIS Codes : 120.2130, 120.4640, 120.5410, 120.5050, 230.5440.