

# TN-LCD 광학보상을 위한 Biaxial Film의 이론적 해석

김봉식<sup>1</sup>, 강춘기<sup>1</sup>, 박우상<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 인하대학교 전자공학과

## Theoretical Analysis of Biaxial Films for the Optical Compensation of TN-LCDs

Bong-Sik Kim<sup>1</sup>, Choon-Ky Kang<sup>1</sup>, and Woo-Sang Park<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> School of Electronics Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received December 7, 2011; Revised February 8, 2012; Accepted February 14, 2012)

**Abstract:** In this paper, we have studied on the optimal design of the optical compensation film for the TN-LCDs. To have wide viewing angle panels, several methods such as multi-domain method, optical path method, and phase compensation method have been proposed. Among these methods, this paper focused on the phase compensation method. In the phase compensation method, the phase retardation generated from the optical birefringence for the off-axis incident is compensated by using optical films with refractive anisotropy. To compensate the phase retardation of the TN-LCDs, we have proposed design concept for the biaxial optical films and analyzed the optical performance for the proposed structures. The calculation of the dynamic motion of the liquid crystals was based on the Ericksen-Leslie theory and the optical performance of the TN-LCD was calculated from the Extended Jones Matrix Method. From the results, we have confirmed that the optical characteristics of the TN-LCDs with the biaxial films have been improved considerably compared with the TN-LCDs compensated by the combination of the uniaxial films.

**Keywords:** Liquid crystal display, Biaxial film, Wide angle performance, Optical compensation

### 1. 서론

액정디스플레이 장치는 CRT (cathode ray tube) 를 대체하여 컴퓨터 모니터 및 TV에 본격적으로 적용되면서 성능 향상을 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 상용되는 액정 디스플레이 장치의 평가에 관해서 많은 기준이 있지만, 사용자의 입장에서 흑백대조비와 시야각은 직접적으로 느껴지는 부분이다. 1972년 Schadt가 TN-LCD를 제안한 이후로, 대

조비와 시야각 향상을 위한 많은 개선 방안이 제시되었다. 개선 방안을 크게 두 가지로 분류하면 VA (vertically aligned) 모드와 IPS (in-plane switching) 모드와 같이 새로운 액정거동 모드를 제안하는 것과 시야각 보정을 위한 보상 방법을 제안하는 것이다. 본 연구에서는 대조비와 시야각 향상을 위해 광학보상 필름을 적용하는 것에 대해 논하고자 한다. 초창기 광학보상 필름은 광축 (optical axis)이 하나인 uniaxial film을 위상 지연만큼을 보상하기 위하여 여러 장 조합하는 형태였다. Uniaxial film 조합을 통한 광학보상의 형태는 수치해석적 계산이 비교적

평이한 반면에, 다수의 필름 제작에 관련된 공정상의 단점과 수평각에 대한 광학보상이 미미한 경향이 있었다. 이를 보완하기 위해 필름 매질 내에 광축(optical axis)이 2개인 biaxial film이 제안되었다. 본 논문에서는 제안된 biaxial film에 대한 전기광학적인 해석을 하여, biaxial film의 설계에 대한 최적 설계 파라미터를 찾는 것을 목표로 하여 진행한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 TN-Cell을 통과하는 빛에 대한 광학 해석

액정의 광학 투과율 계산에 있어서는 불균일한 비등방 액정 셀을 이산화된 다층으로 나누어, 각 부층(sub-layer)을 균일한 비등방 매질로 간주한 뒤, 각 층에 대한 전파 행렬을 계산하여 전체 투과 행렬로부터, 투과율을 계산하는 방법이 적용되고 있다. 한편, 액정에 있어서 가장 중요한 특성으로 인식되고 있는 시야각 및 방위각 특성을 분석하기 위해서 수직 입사에만 적용 가능한 기본적인 Jones Matrix Method 대신, 이를 보완할 수 있는 방법인 Extended Jones Matrix Method가 소개되었으며, 이로부터 액정의 시야각 및 방위각에 대한 투과 특성 해석이 가능해졌다 [1-3].

Simulation에 사용한 액정과 편광자의 대표적인 물성 값은 표 1에 나타내었다.

그림 1은 앞의 설명과 같이 액정 cell의 각 층을 균일한 비등방성 매질로 간주하고 전파 행렬 계산으로 적용하기 위해 도식화하여 나타냈다. 식 1, 2에 나타낸 Extended Jones Matrix Method를 이용하여 액정 cell을 지나는 빛의 특성에 대해 계산하였다.

$$\begin{bmatrix} A_s' \\ A_p' \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} A_s \\ A_p \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$M = D_o P_{N+1} D_{N,N+1} P_N D_{N-1,N} \cdots D_{1,2} P_1 D_{0,1} P_0 D_i \quad (2)$$

식 1은 빛이 두께  $d$ 의 비등방성 매질을 통과할 때, 입사광과 투과광 사이의 관계를 나타내며, 식 1의  $M$  행렬은 매질을 통과하면서 겪는 액정분자의 광 투과 특성을 나타내는 행렬이며 식 2에 나타내었다.  $M$  행렬의 구성 요소를 보면  $D$ 행렬과  $P$ 행렬로 이루어져 있으며,  $D$  (dynamic)행렬은 액정 cell의 각 층을 지나

는 E-wave와 O-wave가 광축에 대해 겪는 성분을 나타내고,  $P$  (propagation) 행렬은 각 층에서 빛의 진행을 나타내는 행렬이다. 즉,  $M$ 행렬은 TN 액정이라는 비등방성 매질을 통과하는 빛의 투과특성을 나타내는 것임을 알 수 있다.

### 2.2 광 보상필름 설계 개념 및 시뮬레이션 방법

앞의 2.1절의 언급과 같이 비등방 TN-cell을 통과하는 빛으로 인해 복굴절이 발생하고, 이러한 복굴절은 대조비 감소와 시야각 제한을 유발하게 되어 광 보상 필름 도입의 필요성을 가지게 된다 [4].

Table 1. Simulation parameter of LC and polarizer.

	Liquid Crystal	Polarizer	Unit
Elastic Constant	$K_{11}$	$2.91 \times 10^{-12}$	$N$
	$K_{22}$	$2.03 \times 10^{-12}$	
	$K_{33}$	$3.70 \times 10^{-12}$	
Permittivity	$\epsilon_{\parallel}/\epsilon_0$	5.61	$F/m$
	$\epsilon_{\perp}/\epsilon_0$	5.33	
Refractive Index	$n_e$	1.567	$1.5 + i1.50 \times 10^{-3}$
	$n_o$	1.476	$1.5 + i2.50 \times 10^{-5}$
Cell gap	$d$	$5.0 \times 10^{-6}$	$210 \times 10^{-9}$ nm
Wavelength	$\lambda$	550	nm

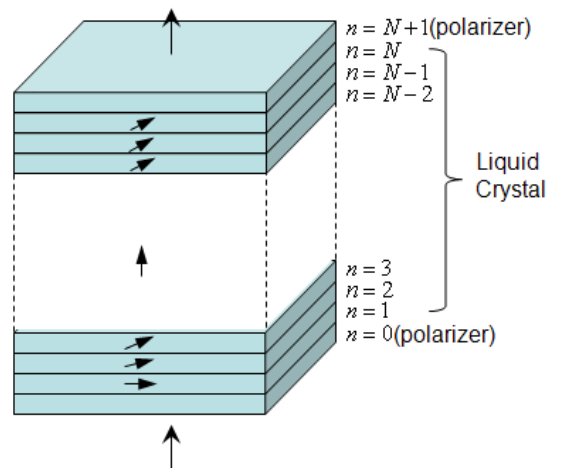


Fig. 1. Configuration of the TN-cell divided to  $N$ 'th sub-layer with polarizers.

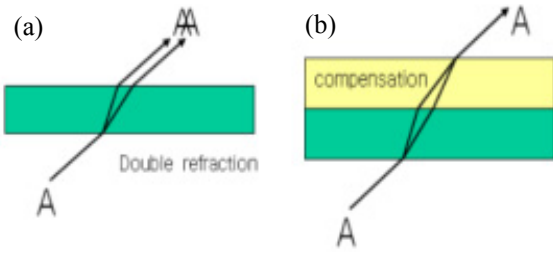


Fig. 2. (a) Birefringence due to the optical anisotropy of materials (b) and compensation method using an optical film.

### 3. 결과 및 고찰

그림 4의 (a), (b), (c)는 각각 필름이 없는 상태에서의 투과특성, uniaxial film을 조합하여 보상한 투과특성, biaxial film을 이용한 투과특성에 대한 그래프이다. 그림 4(b)에서 45, 135, 225, 315 부근의 방위각에서 빛샘 현상이 보상되고 있음을 알 수 있다.

Table 2. The optimal values of biaxial film design.

Thikness(d)	$5\mu m$
Nx	1.5739
Ny	1.5145
Nz	1.736

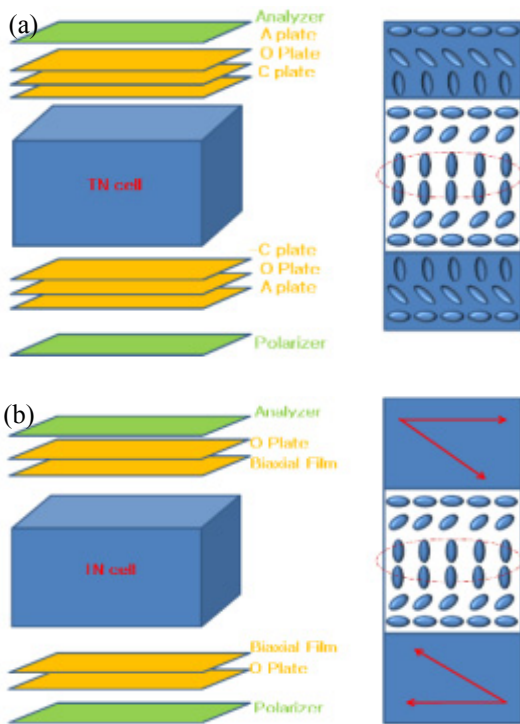


Fig. 3. (a) Configuration and structure of uniaxial films for the optical compensation of the TN-LCD, (b) biaxial film for the optical compensation of the TN-LCD.

그림 2(a)는 액정과 같은 비등방성 매질로 복굴절이 일어나 보정이 필요한 화면을 표현하고 있다. (b)는 보상 필름을 설계하여 복굴절을 최소화하는 과정을 표현하고 있다.

이러한 필름 설계에 있어서 서론에서의 언급과 같이 uniaxial film의 조합을 biaxial film으로 대체하는 과정은 그림 3에 나타내었다 [5].

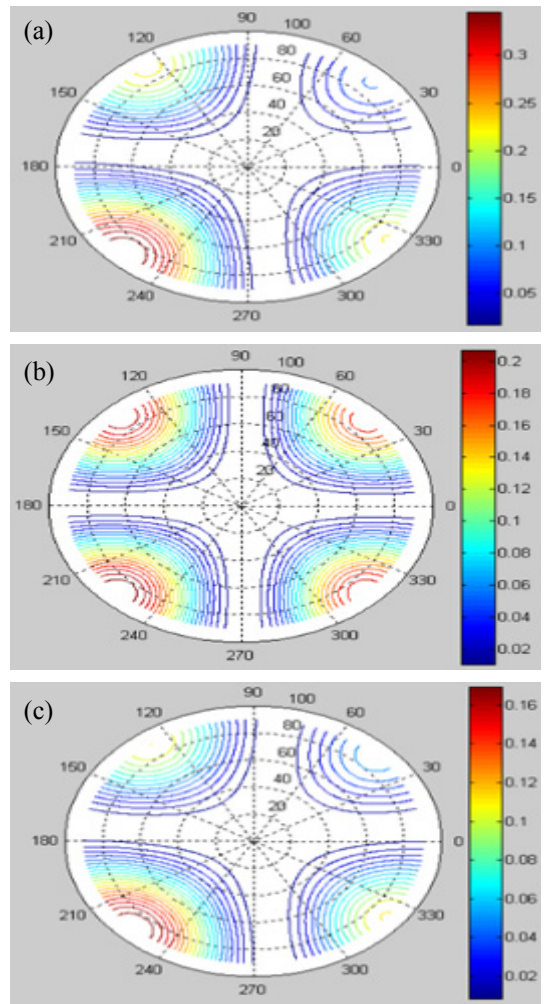


Fig. 4. Transmittance of the TN-LCD (a) without a film, (b) with A, O, C uniaxial films and (c) with O uniaxial film and biaxial films.

Biaxial film 한 장과 O-film으로 구성된 구조인 그림 4(c)는 (b)와 대조하여 동일하거나 일부 더 우수한 광 보상특성을 보임으로써, 서론에서 언급한 uniaxial film 3장의 조합을 biaxial film 한 장과 uniaxial film 한 장으로 대체한다는 애초의 목적을 달성함을 볼 수 있다 [6,7].

이 과정에서 광학보상의 정도를 결정하는 파라미터를 결정하기 위해 biaxial film의 2가지 설계조건인 필름의 두께와  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$ 의 굴절율의 최적치를 계산하여 표 2에 나타내었다.

#### 4. 결론

본 연구는 TN-LCD에 적용되는 광 보상 필름 중 위상보상 기술을 활용한 biaxial film의 최적 설계에 관한 연구이다. Off-axis로 입사한 빛이 광학적 이방성을 띄는 액정으로 인해 복굴절을 겪게 되고, 이러한 복굴절로부터 야기된 위상지연을 보상하기 위해 이전까지 광축이 하나인 C, A, O-film과 같은 uniaxial film을 여러 장 조합하여 왔었다.

그러나 이러한 uniaxial film의 조합은 그 자체가 LCD 패널의 투과율 저하를 가져오고, 공정상의 번거로움이 양립해오고 있었다.

본 연구에서는 광축이 2개인 biaxial film에 대한 광학해석을 통해 최적설계에 필요한 물성값을 계산, 공정상의 이점과 더 좋은 광학보상 성능을 구현하는 것을 목표로 하여 진행하였다.

결론적으로, 여러 장의 uniaxial film을 사용하여 광학보상을 하는 것 보다 Extended Jones Matrix

Method을 이용한 수학적 해석을 이용하여 LCD 광학 보상 biaxial film을 설계하면, 공정상의 이점은 물론이고, 비용 감소에도 큰 효과를 볼 수 있을 것이라 생각된다.

또한 TN-Cell 뿐만 아니라 패널전체에 대해서 균일한 액정분포를 얻을 수 있다면, IPS계열이나, VA계열, OCB 등의 다른 모드의 광학보상도 biaxial film으로 가능하리라 생각된다. 이러한 biaxial film에 대한 연구가 더 이루어진다면 학문적 혹은 응용적 측면에서 폭 넓게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었습니다.

#### REFERENCES

- [1] P. Yeh, *J. Opt. Soc. Am.*, **72**, 507 (1982).
- [2] S. M. Jung, S. H. Jang, H. D. Park, and W. S. Park, *J. Korean Phys. Soc.*, **44**, 190 (2004).
- [3] M. Kimura, T. Ozawa, and S. Inoue, *IEICE Trans. Electron.*, **E83-C**, 513 (2000).
- [4] X. Zhu and Z. Ge, *Journal of Display Technology*, **2**, 2 (2006).
- [5] Y. C. Yang and D. K. Yang, *J. Opt. A, Pure Appl. Opt.*, **11**, 105502 (2009).
- [6] P. Yeh, *J. Opt. Soc. Am.*, **69**, 742 (1979).
- [7] C. J. Chen, A. Lien, and M. I. Nathan, *SID'95 Digest*, 548 (1995).