

# 액정 전계 렌즈 기반의 시청구간 전환가능 디스플레이의 광학적 해석

정신용, 박우상<sup>a</sup>

인하대학교 전자공학과

## An Optical Analysis of Viewing-angle Switchable Display Using ELC Lens

Shin-Yong Jeong and Woo-Sang Park<sup>a</sup>

School of Electronics Engineering, Inha University, Incheon 22212, Korea

(Received December 27, 2016; Revised January 15, 2017; Accepted February 20, 2017)

**Abstract:** This paper proposes a private display that can adjust viewing angles by using an electric-field-driven (EFD) LC Lens. The EFD LC Lens design and simulation were analyzed by using the Extended Jones Matrix Method. The conventional method for attaching a private film to the display was difficult. In order to solve this problem, in this study, by using the EFD LC Lens, we devised a method that can view images more conveniently. We analyzed the luminance and illumination of the optical viewing distance by using the Extended Jones Matrix Method. We also measured the intensity of the viewing angles. The simulation attached the EFD LC Lens to the 14" Full HD RGB stripe wide panel. We calculated the relative luminance distribution and the luminance distribution on the viewing angle of the image at the optimum viewing distance of 60 cm, using the EFD LC Lens and the lenticular lens. The proposed method could be used to design private displays that can adjust the viewing angle of the EFD LC Lens.

**Keywords:** Private display, ELC lens, Viewing-angle

### 1. 서론

1990년대 말 이래 현재에 이르기까지 디스플레이 기술은 비약적으로 발달하여 지금은 노트북, TV, 스마트폰에 이르기까지 다양한 분야에 사용되고 있다. 더불어 디스플레이를 사용하는 기기가 늘어날수록 개인의 사생활을 침해받는 사례가 많이 늘고 있으며 그로 인한 피해도 상당하다. 이제는 더 이상 편리함만을 생각하기보다는 개인의 정보보안에까지 신경을 써야하는

시대가 온 것이다.

현재 시중에 판매되는 디스플레이의 경우 시야각이 넓으면 넓을수록 더 좋은 디스플레이로 인정받고 있다. 이러한 디스플레이를 공공장소에서 사용할 경우 프라이버시를 침해받을 수 있다. 특히, 노트북의 경우 개개인인 소지해가며 어디서든지 펼쳐서 사용하는 기기이므로 프라이버시 보호의 중요도가 높다고 판단하였다. 이 경우 기존의 광 시야각 모드에서 협 시야각 모드로 변환해야 하는 필요성이 있다.

기존의 광 시야각과 협 시야각의 모드 전환이 가능한 액정장치의 경우 임의의 액정 셀과 상하 두 개의 편광판과 꼬이지 않고 분자 간에 평행한 액정이 투명 기관 사이에서 삽입된 보조 평행 배향 셀을 상하의 편광판 사이에 추가로 삽입하는 구성을 하고 있다.

a. Corresponding author; [wspark@inha.ac.kr](mailto:wspark@inha.ac.kr)

Copyright ©2017 KIEEME. All rights reserved.  
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

또한, 3M에서 개발한 private film은 베리어를 이용하여 영상을 차단하고 시야각  $\pm 30^\circ$  밖에서 휘도 5% 미만으로 설정되는 필름이 기존에 존재해왔다.

본 연구는 3D 디스플레이에 주로 사용되었던 액정 전계 렌즈를 이용하여 프라이버시 디바이스를 구현하고자 한다. 액정 전계 렌즈의 액정 분자 배열 상태를 고려하여 3개의 전극을 가진 패널을 설계하였고 수치 해석적으로 적용이 쉬운 유한차분법을 적용하였다. 액정의 분포를 이용하여 액정 전계 렌즈를 통과한 후의 광학적 특성을 알아보기 위해 절대 위상 지연 값을 계산할 수 있는 extended jones matrix method를 이용하여 해석하였다. 복굴절 특성을 가진 액정으로 서로 다른 굴절률을 겪는 두 전자기파의 상대적 위상차를 이용하여 최적시청거리에서 양안간격보다 약간 더 넓은 범위인 10 cm에서만 상이 맞히도록 설정하고  $\pm 30^\circ$  밖에서 휘도 5% 미만으로 구현되는지 확인하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 ELC 렌즈 설계

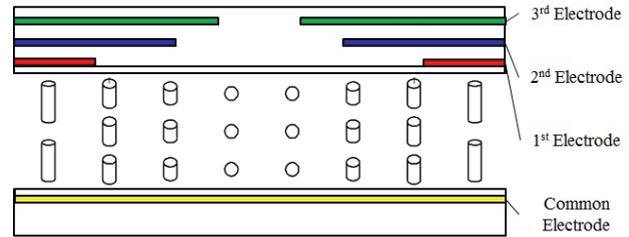
ELC (electric field driven liquid crystal)렌즈 해석을 위한 LCD의 패널과 시뮬레이션에 사용되는 수치들을 표 1에 기재하였다. 표 1에 표기된 렌즈의 물성값들은 최적시청거리에서 영상들이 일정 거리안에 도달하여 험 시야각을 설정할 수 있도록 기하광학적으로 계산하여 설정한 값들이다. 초점거리 0.55 mm, 화상의 크기  $53.8 \mu\text{m}$ , 렌즈의 크기  $162 \mu\text{m}$ 로 설계하였으며 시뮬레이션에서는  $-15^\circ$ 에서  $15^\circ$ 로 입사광을 적용하여 사용하였다.

그림 1에서는 본 연구에 사용된 ELC렌즈의 구조와 전압에 인가된 액정 분자들의 거동 모습을 간략하게 나타낸 그림이다. 액정이 거동하는 방식에는 오신-프랑크(Oseen-Frank)의 탄성체 이론을 이용하여 계산된 탄성에너지와 액정 내부의 전장에너지로 통해 자유 에너지의 밀도를 구할 뿐 아니라 자유에너지를 최소화하는 액정의 분포를 계산하였다.

이상적인 ELC렌즈의 경우 액정의 회전성분을 고려하지 않고 중앙에서 가장자리로 갈수록 액정들이 최대한 일어서게 되는 형태로 존재해야 하지만 설계한 ELC렌즈에서는 각각 다른 전압이 인가된 세 개의 화

**Table 1.** Specifications of the LCD panel and design parameters of the ELC lens.

Panel size	14(309.9×174.3) mm
Resolution	FHD (1920×1080)
Pixel structure	RGB stripe
Number of view	3
Optimum viewing distance	60 cm
Focal length	0.55 mm
Image distance	10 cm
Pixel pitch	$53.8 \mu\text{m}$
Lens pitch	$162 \mu\text{m}$
Incident angle	$-15^\circ$ to $15^\circ$



**Fig. 1.** Structure of ELC lens.

소전극과 하나의 공통 전극으로 구성되어 가장자리 부분에 약간의 왜곡이 발생하게 되었다. 액정을 이용한 ELC렌즈의 특성상 왜곡이 발생할 수 있다는 점을 고려하여 시뮬레이션을 진행하였다.

식 (1)은 ELC렌즈의 액정분자들을 지나는 빛의 진행 방향과 방향자의 방향을 나열한 것이다.

$$\begin{aligned} \hat{s}_i &= (\sin\theta_i, 0, \cos\theta_i), \quad i = 1, 2, \dots \\ \hat{d}_i &= (\sin\theta_{id}\cos\phi_{id}, \sin\theta_{id}\sin\phi_{id}, \cos\phi_{id}), \quad i = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (1)$$

액정 내부에서의 빛의 진행방향은 스넬의 법칙을 이용하였다.

$$n_{air}\sin\theta_{air} = n_1\sin\theta_1 \quad (2)$$

### 2.2 이상적인 OPD와 비교

그림 2는 액정의 왜곡을 고려한 EJMM으로 나타낸 결과이다. 액정의 왜곡이 ELC렌즈의 성능에 미치는 영

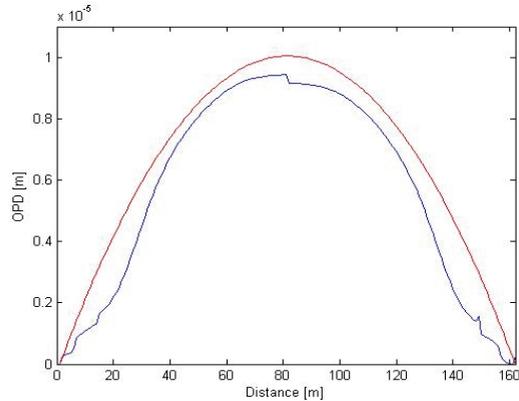


Fig. 2. Optical path difference of ELC and parabolic lens.

향을 판단하기 위해 이상적인 ELC렌즈를 설계했다. 본 논문에서 제시한 ELC렌즈와 이상적인 ELC렌즈의 시뮬레이션 결과 그림 2의 두 OPD (optical path difference)가 서로 유사하게 나타났음을 알 수 있다. 그러나 실제로 ELC렌즈의 가장자리 부분에서 액정의 왜곡이 존재했기 때문에 OPD의 가장자리 부분에서 이상적인 렌즈와 ELC렌즈의 OPD가 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구는 ELC렌즈를 통과하는 빛을 기하광학적인 방법을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 또한, 광경로 추적에 있어서는 이미 검증된 EJMM방식을 사용하여 적용하였다. 시뮬레이션에 사용된 디스플레이는 14" (309.9×174.3 mm) FHD LCD패널에 3-view 영상을 사용하였다. 렌티큘러 렌즈의 시뮬레이션 결과와 ELC 렌즈의 시뮬레이션을 해석하여 두 결과를 비교하였다.

그림 3은 액정의 왜곡을 고려한 실제적인 OPD의 결과를 이용하여 광선추적을 수행한 결과이다. 렌즈의 가장자리 부분에서 빛들이 분산되는 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있다. EJMM을 이용하여 액정의 왜곡부분이 고려된 ELC렌즈의 광경로 추적을 통해 기존에 형성된 초점거리에 빛이 모이는 것을 확인할 수 있다.

시뮬레이션에 있어서 적용된 픽셀 구조인 RGB Stripe를 사용하여 시청구간에서의 영상을 기존의 3D영상에 사용되었던 3view 입체 영상 형태로 출력하였다.

그림 4와 그림 5는 렌티큘러 렌즈와 앞서 설계한 ELC

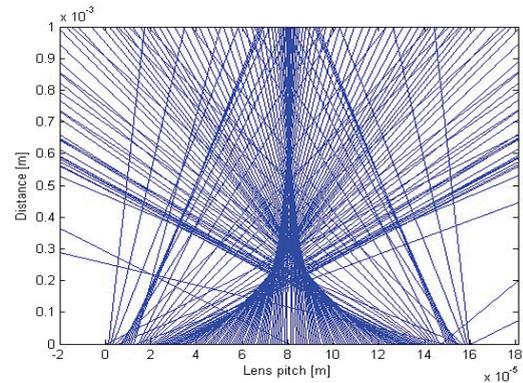


Fig. 3. Ray tracing of Extend Jones Matrix.

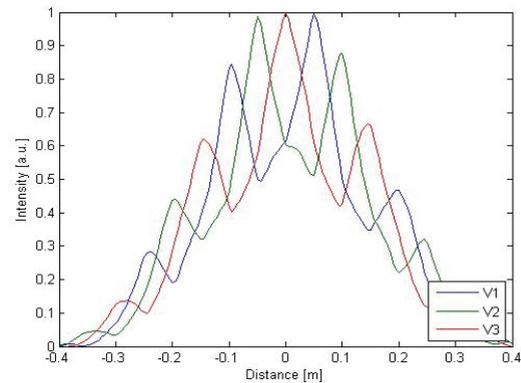


Fig. 4. Intensity of lenticular lens at focal length (60 cm).

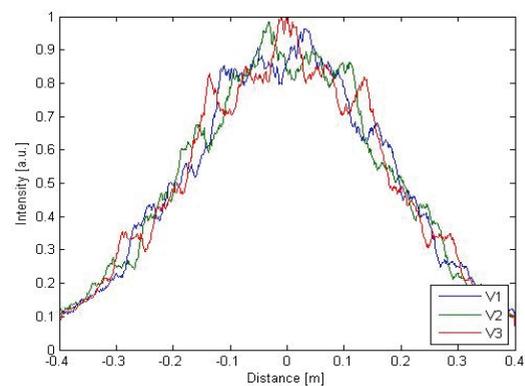


Fig. 5. Intensity of ELC lens at focal length (60 cm).

렌즈를 적용하여 최적시청거리 60 cm에서의 3개의 영상 별 상대 조도를 계산한 결과이다. 빛이 backlight에서 출발하여 최적시청거리에 도달할 때까지의 광추적결과를 이용하여 최적시청거리에서의 빛의 개수를 계산하였다.

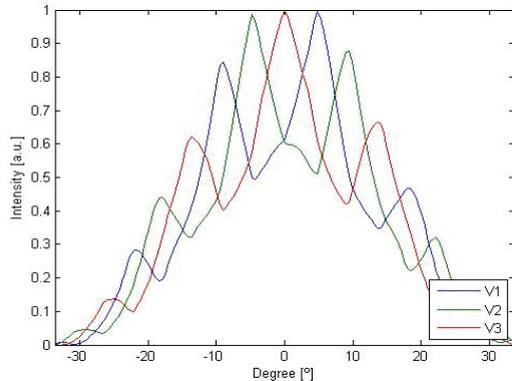


Fig. 6. Degree of lenticular lens at focal length (60 cm).

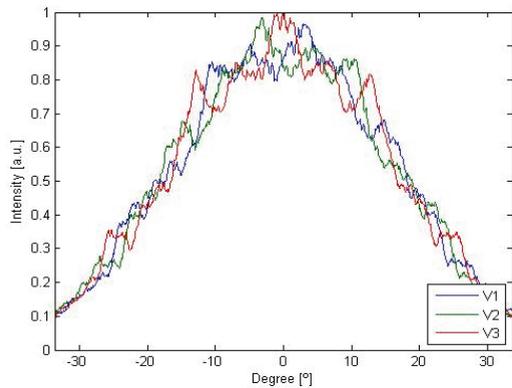


Fig. 7. Degree of ELC lens at focal length (60 cm).

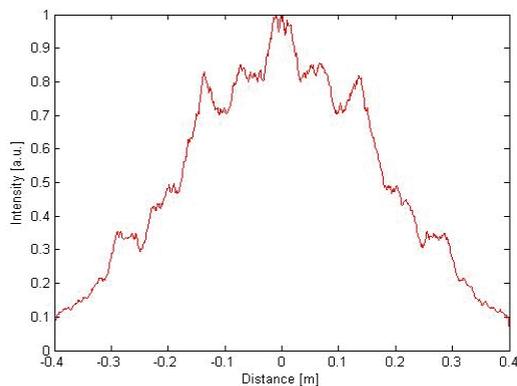


Fig. 8. 1-view Intensity of each lens at focal length (60 cm).

이때 결과 분석의 중요한 요소인 영상이 섞이지 않고 정확히 분리되는 것을 확인할 수 있다. 렌티큘러 렌즈를 사용한 그림 4의 경우 패널의 중앙부분에서 가장 강한 세

기를 보이는 반면 좌우로 거리가 증가할수록 세기가 점점 약해짐을 확인할 수 있다. 그뿐만 아니라 영상이 기존의 설계한 시청구간 10 cm에서 제대로 형성되는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 앞서 설계한 ELC렌즈를 이용한 경우이다. 앞서 렌티큘러 렌즈를 이용하여 상대 조도를 측정하였던 결과와는 다르게 영상의 약간의 노이즈가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 EJMM을 이용한 광경로 추적의 경우 광경로 차가 파면이라는 것을 명확히 규명하지 못하였기에 발생한 오차이다.

그림 6과 그림 7은 렌티큘러 렌즈와 앞서 설계한 ELC렌즈를 적용하여 최적 시청거리에서의 시야각을 계산한 결과이다. 이는 기존의 private film이 좌우 시야각 30°에서 정면 휘도의 5% 정도의 세기를 가지게 했던 것과 비교하여 일치하는 것을 확인할 수 있다. 그림 6은 렌티큘러 렌즈를 사용한 결과로 좌우 시야각이 30°보다 커지게 될 경우 영상의 세기가 존재하지 않는 것으로 보아 프라이버시 디스플레이로 활용될 수 있음을 확인하였다. 그림 7은 앞서 설계한 ELC렌즈를 이용한 결과로 그림 5와 마찬가지로 영상의 노이즈가 발생하게 된다. 이 또한 EJMM을 사용하여 렌티큘러 렌즈보다는 다소 노이즈가 발생할 수 있다.

그림 8은 3view로 형성된 영상 중 1번 view와 2번 view의 영상을 차단한 상태의 결과이다. 이 경우 앞서 3view가 모두 사용되었을 경우보다 영상이 겹쳐져 보이는 현상이 발생하지 않게 되지만 세기는 1/3로 감소하는 결과를 보여 보다 개선된 프라이버시 디바이스로 활용될 수 있을 것으로 평가된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 복굴절을 고려한 ELC렌즈를 통하여 기존에 존재하던 private film을 대체할 방법을 제시하고 렌티큘러 렌즈와의 결과와 대조하였다. 14" (309.9229.5 mm) FHD LCD 패널에 영상을 자연스럽게 시청하기 위해 RGB Stripe 패널 구조위에 ELC렌즈를 부착하였으며 시뮬레이션을 통하여 시야각에 따른 프라이버시 영상 구현 여부를 확인하였다.

이번 연구에서는 이상적인 OPD와 기존의 해석방법을 이용하여 계산된 OPD를 비교, 분석하는 방법으로 ELC렌즈를 설계하였다. 설계된 렌즈를 이용하여 액정의 분자 배열을 계산하였다. ELC를 해석할 때 EJMM

으로 ELC렌즈를 통과한 빛의 편광상태를 이용하여 광 경로 차를 구했다. 액정의 중요한 특성인 복굴절 성으로 인한 두 전자기파의 상대적 위상 차이를 고려하기 때문에 입사각에 따른 광학적 해석이 가능하였다. 최종적으로 ELC렌즈를 통과한 빛만을 이용하기 때문에 액정 층을 통과하면서 생긴 광경로 차를 구하는데 어려움이 있다. 이를 통하여 영상 출력을 해석하여 최적 시정거리 60 cm에서의 영상별 상대 조도와 시야각에 따른 조도 데이터를 얻을 수 있었다. 이후 시야각 30°에서의 휘도 5%를 유지하기 위해 3개의 영상 중 2개의 영상에 해당하는 픽셀의 전원을 차단하여 보다 부드러운 영상이 출력됨을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 기존의 3D 디스플레이에 사용되었던 ELC렌즈의 단점인 시정구간이 좁다는 점을 이용하여 ELC렌즈를 이용한 프라이버시 디스플레이의 구현을 소개하였다. 다만 영상을 3개로 나누어 일정부분의 영상을 끄는 방식을 이용하여 밝기가 기존의 영상에 비해 1/3로 감소하는 현상이 발생하였다. 향후 굴절률을 이용하여 이를 개선하는 방안을 구해볼 수 있을 것으로 생각된다.

## 감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었습니다.

## REFERENCES

- [1] G. J. Woodgate and J. Harrold, *Proc. SID 2003*, **34**, 394 (2003) [DOI: <https://doi.org/10.1889/1.1832295>]
- [2] W. L. IJzerman, S. T. de Zwart, and T. Dekker, *SID Symp. Digest Tech. Pap.*, **36**, 98 (2005) [DOI: <https://doi.org/10.1889/1.2036616>]
- [3] A. Gvozdarev, I. Yudin, and G. Nevskaya, *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol. Sect. A*, **368**, 105 (2001) [DOI: <https://doi.org/10.1080/10587250108029936>]
- [4] N. A. Dodgson, *Appl. Opt.*, **35**, 1705 (1996) [DOI: <https://doi.org/10.1364/AO.35.001705>]
- [5] C. Gu and P. Yeh, *Displays*, **20**, 237 (1999) [DOI: [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(99\)00028-1](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(99)00028-1)]