

## TFT-LCD 의 3차원 영상출력을 위한 렌티큘러 렌즈 최적설계

### Optimal Design of Lenticular Lens Sheet for the 3D Display on TFT-LCDs

김일주<sup>1</sup>, 박우상<sup>1,a</sup>

(Il-Joo Kim<sup>1</sup> and Woo-Sang Park<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

In this study, we have researched the optimum design method of the lenticular lens sheet for 3D displays on a TFT-LCD panel, to offer a more stable stereoscopic image, improved 3D quality, and a wider viewing zone. Especially, we have defined the viewing zone width (a parameter denoted as  $Z$ ) to apply it to the optimum design. The results of this new design method have been compared with the existing design method. As a result, it is revealed that the proposed design method improves the stereoscopic image quality by reducing the black matrix zone width.

**Key Words** : Lenticular lens, 3D display, Banding, Black matrix zone

#### 1. 서론

1990년대 말 이래 현재에 이르기까지 평판 디스플레이 기술은 급속도로 발달하여 최근에는 핸드폰이나 TV, 노트북 등의 매체에 3차원 영상을 표현하기에 이르렀다. 3차원 디스플레이는 2차원 영상에서는 불가능하던 입체감을 표현하여 시청자로 하여금 보다 사실적이고 정확한 영상을 관람할 수 있게 하는데, 특히 인체의 내부에 관한 보다 정확한 정보가 필요한 의학 분야나 입체감이 필요한 각종 디자인, 설계분야에 대한 적용에 관심이 집중되고 있다. 3차원 영상표현이 가능한 제품들은 이미 일부 응용분야에서 생산되고 있으며, 기술적 측면에서 이 제품들은 안경방식, parallax barrier 방식, lenticular lens 방식 등으로 나눌 수 있다[1-5]. 이 중 렌티큘러 렌즈 방식은 입체 인쇄분야나 입체 투사분야에서 종래에 많이 활용되던 기술을 응용한 것으로, 평판 디스플레이를 이용한 3차원 영상 표현에 가장 일반적으로 적용되고 있는 방식이며, 렌티큘러 렌즈의 최적화 설계는 보다 안정적이고, 고화질의 3차원 영상을 얻기 위한 필수 요소라 할 수 있다.

본 연구에서는 인쇄물과는 달리 black-matrix 를 pixel들 사이에 포함하고 있는 TFT-LCD 를 이용한 3차원 영상에서 나타날 수 있는 blurring 현상[6], banding 현상 등을 줄일 수 있는 방법을 강구하기 위하여 렌티큘러 렌즈의 최적화 설계를 시도하였다.

#### 2. 렌티큘러렌즈 설계

기존의 렌티큘러 렌즈 설계에 있어서 핵심이 되는 기하광학적 관계는 아래 그림 1에 나와있는 것처럼 렌즈의 광학적 중심과 LCD 패널의 픽셀 위치, 최적 시청거리로 정의되어진다. 패널의 픽셀 위치는 설계에 사용하는 패널의 종류에 따라 결정되어있는 고정값이고 최적 시청거리는 설정값이므로, 렌즈의 광학적 중심인 t-r 값을 가장 유효한 값으로, 효과적으로 결정하여야 보다 안정된 3차원 영상의 화질을 얻을 수 있다[7]. 이들 변수들 간의 수학적 관계는 다음과 같다.

$$p_{photo} = \left( \frac{D_0 + (t-r)}{D_0} \right) \times p_{lens}$$

$$K = \frac{D_0}{(t-r)} \times p_{pixel}$$

1. 인하대학교 전자공학부

(인천시 남구 용현4동 253)

a. Corresponding Author : wspark@inha.ac.kr

접수일자 : 2008. 12. 19

심사완료 : 2009. 2. 20

여기서 화상의 피치는 픽셀의 피치와 화상의 개수인  $N$ 의 곱으로 나타나고,  $K$ 는 시청자의 눈간거리를 의미하며, 이는 평균적으로 65 mm 로 알려져 있다. 렌즈는 기본적으로 양안시차[8]를 활용하므로, 눈간거리  $K$  만큼 각각의 화상을 굴절시켜, 시청자의 좌안과 우안으로 보게되는 영상을 다르게 하도록 설계한다. 각각 다른 위치에서 촬영된 좌안과 우안의 영상은 시청자의 대뇌에서 합성되어 3차원 영상으로 인식되게 된다.

만약 원하는 최적 시청거리에 시청자가 위치해 있을 경우에는 정상적으로 입체영상을 볼 수 있지만, 최적 시청거리에서 앞, 뒤, 혹은 좌, 우로 시청자가 이동할 경우 정상적인 입체영상이 아닌 역입체, 혹은 비입체 영상을 경험하게 된다[9]. 따라서 3차원 영상을 위한 렌즈 설계에 있어서 시청자가 안정된 화질의 3차원 영상을 시청할 수 있는 영역인 입체시 영역의 넓이를 결정하는 것 또한 매우 중요한 요소가 된다.

기존의 설계에서, 시청자의 좌우 방향의 이동자유도를 결정하는 입체시 영역의 가로길이,  $Z$ 는 눈간거리  $K$ 와 화상의 개수  $N$ 의 곱으로 나타난다. 아래의 그림 2는 화상의 개수가 4인 경우에 대하여 최적 시청거리, 입체시 가능 최근거리 및 최원거리와 이들에 의한 입체시 영역을 나타낸다. 그림에 각 영역에 표시된 숫자는 시청자가 그 영역에 위치해 있을때 보게되는 화상의 번호를 의미하며 단일 화상을 보게 되는 각각의 마름모꼴 영역의 가로길이는 눈간거리  $K$ 와 같다.

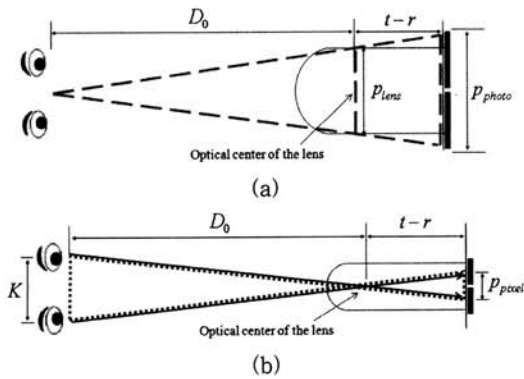


그림 1. 렌티큘러 렌즈의 기하광학적 관계.

- (a) 렌즈피치와 화상피치
- (b) 픽셀피치와 눈간거리

Fig. 1. Geometrical relations of lenticular lens.

- (a) lens pitch and photo pitch
- (b) pixel pitch and eye-distance

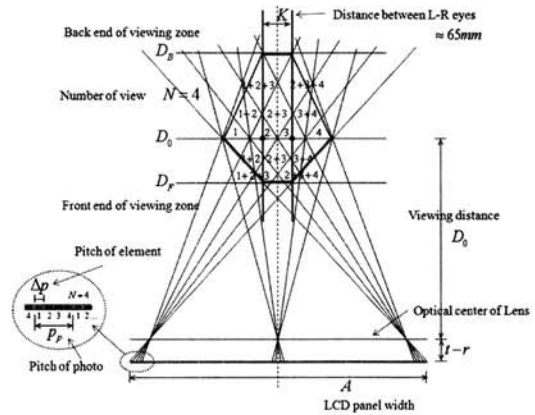


그림 2. 입체시 영역 (N=4 인 경우).

Fig. 2. Viewing zone (N=4 case).

한편, TFT-LCD의 화소와 화소 사이에 위치하는 black-matrix 또한 렌티큘러 렌즈에 의해 마름모꼴 영역의 가로길이  $K$ 에 비례하여 확대되게 된다. 다시 말해, 한 개의 마름모꼴 영역 속에서 각각의 RGB 서브픽셀들과 사이의 black-matrix 들의 영역이 생기게 된다. 그림 3은 자체 제작한 프

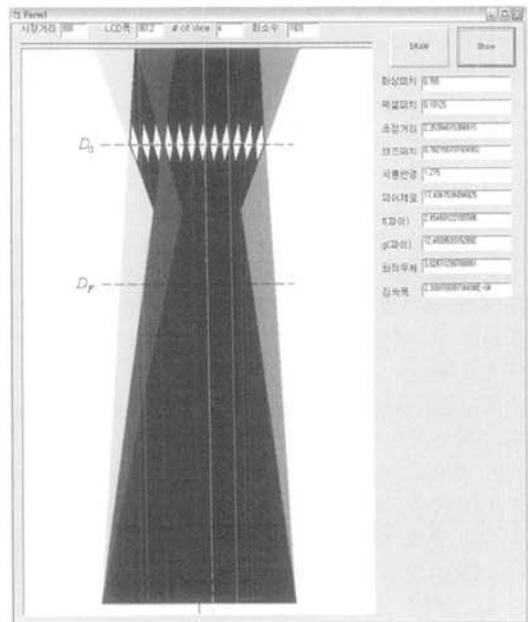


그림 3. 최적시청거리에 투사된 black matrix 및 서브픽셀.

Fig. 3. Black matrix and sub-pixel zone at the optimal viewing distance.

로그래프의 출력화면으로, 큰 마름모꼴 영역 속에 검은 색 선들은 LCD 패널 전체의 black-matrix에서 나온 빛이 렌즈에 의해 굴절되어 최적 시청거리에 모이는 것을 나타내고, 작은 흰색의 3개의 마름모꼴들은 각각 한 화상에 대한 RGB 서브픽셀들의 영역을 나타낸다. 이 영역들은 넓어지면 넓어질 수록 색깔 인식에 대하여 3차원 영상의 화질을 떨어뜨리게 되는 요인, 혹은 blurring 현상의 원인이 될 수 있으며, 또한 확대된 black-matrix 영역은 3차원 영상출력 시 검은 색의 띠가 화면에 어긋나게 되는 banding 현상의 원인이 될 수 있다.

### 3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 연구에서는 blurring 및 banding 현상을 개선하기 위하여 렌즈를 설계하면서, 입체시 영역의 가로길이를 눈간거리의 정수배가 아닌, 적절한 값으로 설정하고, 이를 기존의 방식과 비교해 보았다.

$$Z = \frac{N}{\alpha} K$$

여기서  $\alpha$  는 비례계수이고,  $\alpha$  값에 따라서 렌즈의 각부 수치가 다르게 설계되며, 또한 정입체시 혹은 역입체시 영역의 위치 및 크기가 변한다.

표 1. LCD 패널 특징.

Table 1. Specification of LCD panel.

패널의 크기	17.1" (367.2×229.5 mm)
해상도	WUXGA (1920×1200)
픽셀 구조	RGB stripe
화상의 개수	4
최적 시청거리	80 cm
눈간거리	65 mm

표 2. 렌티큘러 렌즈 각부 수치.

Table 2. Designed parameters of lenticular lens.

픽셀피치	191.25 $\mu\text{m}$
화상피치	765 $\mu\text{m}$
광학적 중심	2.354 mm
렌즈피치	0.763 mm
곡률반경	1.276 mm
최대 입사각	17.39°
두께	3.629 mm

표 1은 기존의 설계 방식과 제안된 설계 방식을 비교하기 위해 사용한 3차원 영상출력 장치의 특징을 나타낸 것으로 표에 제시된 조건에 맞도록 렌티큘러 렌즈를 설계하였다. 기존의 설계 방식에 따라 설계된 렌즈의 각부 수치는 표 2에 나타났다.

그림 4(a)에서 보듯이 화상의 개수가 2인 경우에는 비례계수를 변화시킬 필요가 없으나, 그림 4(b), (c)에서처럼 화상의 개수가 많을 때에는 비례계수를 적절히 설계하게 되면 원하는 입체시 영역의 가로길이를 얻을 수 있게 되는 것을 알 수 있다. 또한 비례계수 값을 1보다 작은 값으로 했을 경우에는 한 개의 영상에 대한 영역의 가로길이가 눈간거리 보다 길어지게 되어 그 영역 안에서는

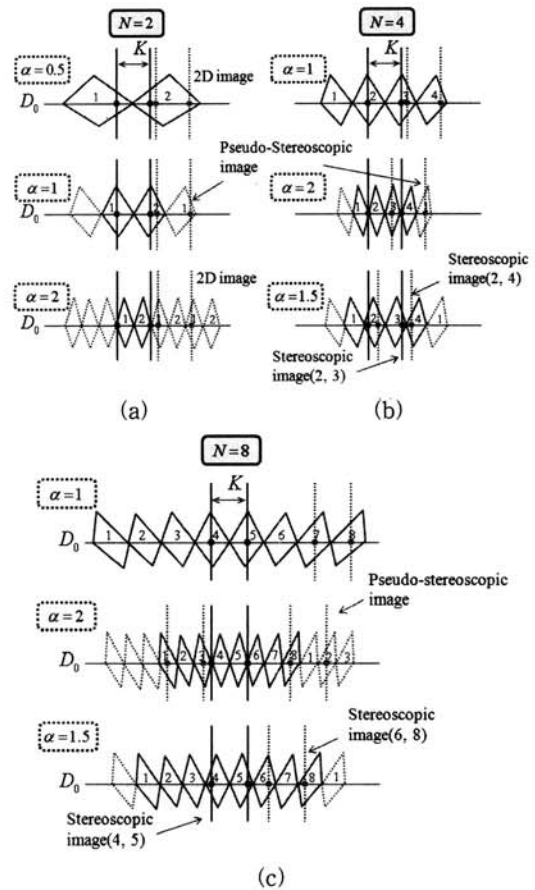


그림 4. 입체시 영역의 가로길이 변화.

- (a) N=2 인 경우
- (b) N=4 인 경우
- (c) N=8 인 경우

Fig. 4. Variation of viewing zone width.

- (a) N=2 case
- (b) N=4 case
- (c) N=8 case

시청자가 양안시차를 느끼지 않고 하나의 2차원 영상을 보게 되므로, 비례계수 값은 항상 1보다 커야한다. 또한, 그림에서 볼 수 있듯이 1보다 크고 2보다 작은 경우에는 우안으로 2번 영상을 보고 있는 동안 좌안으로는 3번 영상이나 4번 영상 들 중에 하나를 보게 되는 경우가 발생하는데, 이 경우에 있어서 입체감은 그대로 유지되지만, 관찰자가 3차원 영상을 인식하는데 혼란을 느끼거나 피로감을 느끼는 원인이 될 수 있다. 그러므로 3차원 영상을 준비할 때,  $\alpha$  값에 따른 입체시 영역을 고려하여 그에 맞는 화상을 준비해야 한다.

표 3 에는  $\alpha$  값에 따른 입체시 영역의 가로길이의 변화를 나타냈다. 이때 정입체시 영역의 길이는 변화하지만 역입체시 영역의 길이는  $\alpha$  값에 따라 변하지 않는다.  $\alpha$  값이 1일 때, 즉 기존의 방식대로 설계하였을 때, N=8 인 경우 입체시 영역의 가로길이는 520 mm 가 되고,  $\alpha=1.5$  로 설계하였을 때 가로길이는 346.6 mm 가 된다. 또 그에 따른 black-matrix 영역 가로길이의 변화는 LCD 패널의 design-rule인  $0.4 \mu\text{m}$ 를 고려한 최소값  $0.12 \mu\text{m}$  로 계산하였을 때, 기존의 4.08 mm에서 2.72 mm로 줄어드는 것을 확인하였다.

표 3. 입체시 영역의 가로길이 변화.  
Table 3. Variation of viewing zone width.

$\alpha$	N=4			N=8		
	1	2	1.5	1	2	1.5
입체시 영역 가로길이	4K	2K	(8/3)K	8K	4K	(16/3)K
역입체시 영역 가로길이	2K	2K	2K	2K	2K	2K

표 4.  $\alpha$  값에 따른 렌즈 설계값 변화.  
Table 4. Variation of design parameters with  $\alpha$ .

$\alpha$	N=4			N=8		
	1	2	1.5	1	2	1.5
화상피치	0.765	0.765	0.765	1.53	1.53	1.53
광학적중심	2.354	4.707	3.531	2.354	4.707	3.531
렌즈피치	0.763	0.761	0.762	1.525	1.521	1.523
곡률반경	1.276	2.509	1.89	1.348	2.552	1.947
두께	3.629	7.216	5.42	3.673	7.26	5.477

$\alpha$  값에 따른 실제 렌즈 설계값 변화는 표 4에 나타났다.  $\alpha$  값이 커짐에 따라 렌즈의 피치는 조금씩 좁아지게 되고, 곡률반경과 렌즈두께는 상대적으로 많이 커지고, 두꺼워지게 된다. 또한 화상의 개수가 증가함에 따라 렌즈의 피치는 비교적 크게 변화하지만 곡률반경과 렌즈두께는 영향을 받지 않는 것을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 최적의 렌티큘러 렌즈 설계를 위해 렌즈의 각부 수치들 사이의 기하광학적 기초에 근거하여 입체시 영역 가로거리를 변화시켜 그에 따른 3차원 영상의 화질 개선을 연구하였다. 17.1" (367.2×229.5 mm) Wide LCD 패널에 대하여 입체시 영역의 가로길이는 기존의 방식대로 설계하였을 때, N=8 인 경우 520 mm 가 되고 black-matrix 영역의 가로길이는 4.08 mm 가 된다. 이 값은 실제의 black-matrix 의 길이인 약  $0.12 \mu\text{m}$  보다 훨씬 큰 값을 알 수 있었다. 그러나 본 논문에서 제안된 것처럼 화소의 개수는 그대로 하되, 입체시 영역의 가로길이를  $\alpha=1.5$  로 설정하여 변화시켰을 경우, 입체시 영역의 가로길이는 346.6 mm 로 약간 좁아지게 되지만 여전히 사용자가 크게 불편을 느끼지 않고 움직일 수 있는 자유도를 제공하면서 동시에, black matrix 영역의 가로길이는 2.72 mm 로 비교적 크게 줄어들게 되어 blurring 및 banding 현상을 개선할 수 있음을 확인하였다. 따라서 렌티큘러 렌즈를 설계할 때 시청 환경 등의 특성에 따라 적절하게  $\alpha$  값을 조정한다면 보다 나은 화질의 3차원 영상을 구현할 수 있을 것으로 생각된다.

#### 감사의 글

본 연구는 인하대학교의 지원에 의하여 수행되었습니다.

#### 참고 문헌

[1] Oscar H. Willemsen and Siebe T. de Zwart, "Multi-view 3D displays", SID'07, p. 1154, 2007.

- [2] M. Salminaa and T. Jarvenpaa, "Objective evaluation of multi-view autostereoscopic 3D displays", SID'08, p. 267, 2008.
- [3] S. C. Chuang and C. H. Chen, "Liquid crystal panel for high efficiency autostereoscopic 3D displays", SID'08, p. 452, 2008.
- [4] C.-H. Tsai and W.-L. Chen, "The pursuit of high-definition 3D display technology", SID'08, p. 456, 2008.
- [5] D. C. Park and K. T. Kim, "Lenticular stereoscopic imaging and displaying techniques with no special glasses", IEEE ICIP, p. 137, 1995.
- [6] R. Kaptein and I. Heynderickx, "Effect of crosstalk in multi-view autostereoscopic 3D displays on perceived image quality", SID'07, p. 1220, 2007.
- [7] T. Okoshi, "Optimum design and depth resolution of lens-sheet and projection-type three-dimensional displays", APP. OPTICS, Vol. 10, No. 10, p. 2284, 1971.
- [8] S. E. Palmer, "Vision Science", MIT press, Cambridge, London, 1999.
- [9] Neil A. Dodgson, "On the number of viewing zones required for head-tracked autostereoscopic display", Proc. SPIE, p. 6055, 2006.