

# 바이너리 프레넬 렌즈를 이용한 LCD 멀티미디어 스크린의 갭 최소화

(Minimization of Gap in LCD Multimedia Screen Using Binary Fresnel Lens)

정만호\*

(Man-Ho Jeong)

## 요 약

액정 멀티미디어 스크린은 효과적인 영상 정보를 표시하고 전달하는데 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 이러한 시스템은 여러개의 액정 스크린을 사용하므로 이들 액정 스크린 사이에 갭이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 바이너리 프레넬 렌즈를 사용하는 방법을 제시하였다. 바이너리 프레넬 렌즈를 사용하면 각각의 영상을 확대시키게 되며 결과적으로 갭을 최소화 할 수 있다. 바이너리 프레넬 렌즈의 설계 파라미터의 최적화 결과를 제시하였다.

## Abstract

LCD multimedia system is necessary to display and transfer the effective image informations. However, this system uses several LCD screens, so the problem of gap between the LCD screens occurs. In order to solve this problem, this paper presents a method of using binary Fresnel lens. This kind of binary Fresnel lens makes each screen enlarge and minimize the gap. The optimization of design parameters of binary Fresnel lens is presented.

Key Words : Binary Fresnel Lens, Lcd Screen

## 1. 서 론

영상정보의 효과적인 전달 및 표시를 위하여 새로운 형태의 디스플레이 장치의 개발이 필요하게 되었다. 공공장소에서의 광고 시스템 혹은 각종 회의 장

소에서 시연회 등에서 대형 디스플레이 시스템을 사용하는 경향이 많이 증대하고 있는데, 대형 LCD 프로젝트 시스템 혹은 플라즈마 디스플레이 시스템 또는 대형 LCD 스크린은 가격이 고가이고 다양한 광고 및 정보 전달이라는 측면에서 한계가 있다. 그러나 최근에 여러 개의 LCD 스크린을 이용한 멀티비전 시스템이 개발되면서 효과적인 영상정보의 전달이 가능해 졌는데, 저전력인면서 대형으로 가능하다는 이점으로 옥외 광고, 가상현실, 멀티테스킹 [1-2] 등 많은 분야에서 이용되고 있다.

\* 주저자 : 청주대학교 IT학부 레이저광정보공학과 교수  
Tel : 043-229-8504, Fax : 043-229-8432  
E-mail : manho@cju.ac.kr  
접수일자 : 2007년 10월 26일  
1차심사 : 2007년 11월 19일, 2차심사 : 2008년 1월 23일  
심사완료 : 2008년 2월 18일

그러나 LCD 멀비전 시스템에서 문제가 되는 것은 각각의 LCD가 갖고 있는 테두리에 의한 갭(Gap)이 발생하여 멀비전에 한 개의 대형 영상을 구현할 경우 갭에 의해 효과가 반감된다는 점이다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 영국의 Seamless Display Ltd에서 2002년도에 2개 혹은 3개의 모니터 스크린으로 이루어진 멀비전 시스템을 개발하였는데 이곳에서는 각각의 LCD 화면이 이어지는 테두리 부분을 프리즘 형태로 가공한 투명한 필름판을 멀비전 위에 덮는 방법을 사용하였다. 이 방법은 테두리 부분의 프리즘을 knife edge 형태로 가공하였기 때문에 자연스럽게 화면과 화면 사이의 갭이 최소화되어 큰 멀비전을 구현할 수 있는 장점이 있으나 화면 부분의 영상은 원래대로 하고 테두리 부분의 영상만 인위적으로 굴절시켜 갭을 덮도록 하였기 때문에 전체 영상이 자연스럽게 연결되지 못하는 점과 2차원적으로  $m \times n$ 형 멀비전에는 사용할 수 없는 근본적인 단점을 지니고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 렌즈의 굴절 특성을 이용하여 전체 영상을 확대하는 방법을 사용할 수 있는데, 이때 각각의 LCD화면이 확대되면서 갭을 덮어버리는 효과가 있어 시청자가 보았을 때 갭이 최소화되므로 LCD 멀비전의 효과를 극대화시킬 수 있다. 대체적으로 가능한 방법으로는 일반적으로 많이 사용하는 재래식 렌즈 또는 프레넬 렌즈(Fresnel lens)를 사용하는 방법이 있는데[3-4], 이들의 단점은 부피와 무게가 매우 크고 이중상이 생기는 문제점, 그리고 모아레 간섭무늬가 생기는 등의 많은 문제점이 있다. 따라서 이들과 동일한 특성을 가지면서 부피가 작고 특히 두께가 얇은 프레넬 렌즈를 만드는 방법으로는 blazed-type의 프레넬 렌즈를 계단 모양의 다단계 형태로 가공하면 되는데 이러한 렌즈를 바이너리 프레넬 렌즈(binary Fresnel lens)라고 한다[5-6].

본 논문에서는 blazed-type의 프레넬 렌즈를 다단계 바이너리 홀로그래프의 개념으로 확대하여 바이너리 프레넬 렌즈를 연구하였으며 주어진 사양을 얻기 위하여 렌즈의 초점거리, 렌즈의 직경, 렌즈의 최소 가능한 zone의 간격을 구할 수 있는 식을 통하여 적절한 값을 구하였으며, 특히 다단계 방식으로 바이

너리 홀로그래프를 제작함으로써 렌즈의 전체 두께를 200[ $\mu$ m] 이내로 줄일 수 있었다.

이렇게 제작된 바이너리 프레넬 렌즈를 사용하여 갭을 최소화시킬 수 있는 멀비전에 응용하였으며 실험 결과 단일 렌즈로 매우 짧은 초점거리를 유지할 수 있어 렌즈를 LCD 스크린에 거의 부착할 수 있었으며 이중상과 모아레 간섭무늬를 제거할 수 있었다.

## 2. 바이너리 프레넬 렌즈의 기본 원리 및 설계

일반적으로 프레넬 렌즈는 재래식 렌즈의 부피를 줄이는 방법으로 사용된다. 프레넬 렌즈는 그림 1과 같이 조각난 형태의 구면 또는 구면 형상의 단일 렌즈가 각각 다른 굴절능을 갖는 것으로 생각하면 된다. 따라서 이러한 형태의 프레넬 렌즈는 재래식 렌즈를 평면화한 것으로 생각할 수 있다. 렌즈를 지나가는 각각의 광선에 위상차를 줌으로써 원하는 평면에 광을 집속 시킨다. 렌즈의 초점까지 광 경로차가 각각 반파장의 정수배가 되도록 부피가 큰 재래식 렌즈를 잘라서 평면에 붙인 것으로 이해할 수 있다.

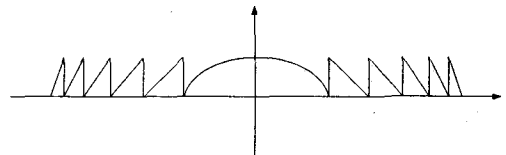


그림 1. Blazed-type 프레넬 렌즈의 측면도  
Fig. 1. Side view of blazed-type Fresnel lens

파장  $\lambda$ 에서 초점거리  $f$ 를 갖는 렌즈를 생각해 보자. 광축을 따라 입사한 평면파는 일정한 위상을 갖고 개구를 통과하고, 수렴파의 위상 지연은[5-7]

$$\psi(r) = x_0(f - \sqrt{f^2 - r^2}) \quad (1)$$

이다[8]. 여기서  $r$ 은 광축에서 반경이고,  $x_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$  이다. blazed-type 프레넬 렌즈로 발전시켜 전개하기로 한다. Blazed-type 프레넬 렌즈는 위상 변위 함수가  $2\pi$ 인 구조를 갖는다. 그림 2(a)에 blazed-type 프레넬 렌즈의 위상함수를 나타내었으며, blazed-type

프레넬 렌즈의 위상 변위 함수를  $\phi_F(r)$ 로 표기하면 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$\phi_F(r) = \phi(r) + 2m\pi, \quad r_m < r < r_{m+1} \quad (2)$$

이때,  $r_m$ 은  $m$ 차 zone의 안쪽 반경이다. 식 (1)을 식 (2)에 대입하여  $r_m$ 을 나타내면

$$\frac{2\pi}{\lambda}(\sqrt{r_m^2 + f^2} - f) = 2\pi m \quad (3)$$

$$r_m = \sqrt{2mf + (m\lambda)^2} \quad (4)$$

식 (4)로부터 초점거리  $f$ 는 다음 식으로 쓸 수 있다.

$$f = \frac{r_m^2 - (m\lambda)^2}{2m\lambda} \quad (5)$$

위상 변위의 결과는 상대굴절률  $\Delta n$ 과 매질의 상대 두께  $T/\lambda$ 의 곱으로 나타낼 수 있다. 즉  $\frac{\Delta n T}{\lambda}$ 이다. 프레넬 렌즈는 굴절률의 변화 또는 두께의 변화로 변조됨으로써 만들어진다. 광학물질의 굴절률이 한계가 있으므로 두께 변조 형태를 고려해야 한다. 그 결과 gradient-thickness 구조의 두께는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$T(r) = T_{opt} \cdot \left[ \frac{\phi_F(r)}{2\pi} + 1 \right] \quad (6)$$

식 (6)과 같이 표현되는 blazed-type 프레넬 렌즈의 형태를 그림 2 (b)에 나타내었다[8].

위상 변위  $2\pi$ 의 최적조건을 갖기 위한 최적의 두께  $T$ 는 식 (7)과 같이 표현된다.

$$T_{opt} = \frac{\lambda}{\Delta n} \quad (7)$$

렌즈의 반경을  $R$ , 그리고  $f$ -number를  $F$ 로 나타낼 때 이들 변수로 표현되는 함수으로써 zone의 전체 수는 식 (8)로부터 구할 수 있다. 이때, Zone의 최소주기  $\Lambda_{min}$ 는 또한 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \frac{R}{\lambda} (\sqrt{1 + 4F^2} - 2F) \quad (8)$$

$$\Lambda_{min} = R \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2\lambda f + (2M-1)\lambda^2}{2M\lambda f + (M\lambda)^2}} \right) \quad (9)$$

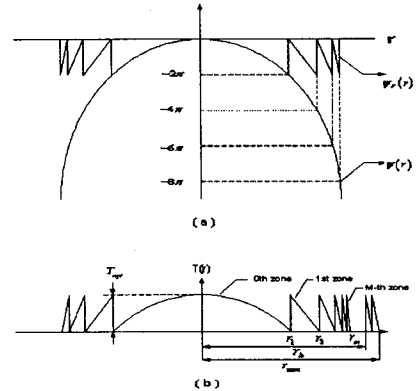


그림 2. (a) Blazed-type 프레넬 렌즈의 위상함수  
(b) 두께 분포

Fig. 2. (a) Phase function of blazed-type Fresnel lens  
(b) Thickness distribution

그런데 그림 2 (b)와 같은 blazed-type 프레넬 렌즈는 제작하기가 매우 어렵기 때문에 본 논문에서는 blazed-type 프레넬 렌즈가 갖고있는 위상값을 계단형 모양의 바이너리 형태로 코딩한 프레넬 렌즈를 도입하였다. 그러나 이러한 바이너리 프레넬 렌즈는 단순한 구조이므로 제작이 용이한 반면 위상을 코딩하는 과정에서 위상값을 단순화하기 때문에 효율이 저하되므로 이러한 점을 극복하기 위해서 본 논문에서는 다단계 바이너리 프레넬 렌즈 개념을 도입하였다. 다단계 바이너리 프레넬 렌즈 개념을 도입하면 원래 blazed-type 프레넬 렌즈가 갖고있는 위상 값을 상당 부분 회복할 수 있으며 따라서 blazed-type 프레넬 렌즈와 거의 같은 정도로 효율을 얻을 수 있다. 여기서 말하는 효율은 렌즈에 입사된 빛의 세기에 대한 투과된 빛의 세기의 비를 의미하며 결과적으로 효율이 높다는 말은 렌즈를 통해 얻어진 영상의 밝기가 크다는 것을 뜻한다. 본 논문에서는 높은 효율을 갖도록 하기 위해서 8-level 바이너리 프레넬 렌즈를 설계하였다.

그림 3 (b)는 그림 2에 나타난 blazed-type 프레넬 렌즈의 위상 함수에 대응하는 계단형 바이너리 프레넬 렌즈를 나타낸 것으로 각 단계별로 코딩한 형태를 보여주고 있다. 이를 기초로 하여 그림 3 (b)와 같은 계단형 바이너리 프레넬 렌즈를 제작하였으며 98[%]의 효율을 갖도록 8 level로 제작하였다. 렌즈

바이너리 프레넬 렌즈를 이용한 LCD 멀티미디어 스크린의 갭 최소화

의 초점거리는 20[mm], 직경은 34[mm], 두께는 0.2[mm]로 하였다.

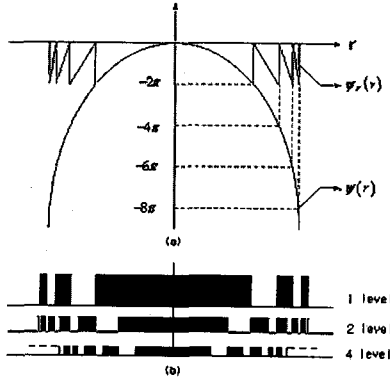


그림 3. (a) 다단계 바이너리 프레넬 렌즈의 위상함수  
(b) 두께 분포  
Fig. 3. (a) Phase function of multi-level binary Fresnel lens (b) Thickness distribution

### 3. 실험 결과

본 논문에서는 8-level 바이너리 프레넬 렌즈를 제작하기 위하여 컴퓨터로 위상함수로부터 바이너리 형태로 코딩한 후에 이를 통하여 zone-plate를 얻은 후 정밀한 카메라 축소 과정을 거쳐 마스터 필름을 얻었다. 다음 과정으로 유리 기판에 포토레지스트를 스핀 코팅하여 도포한 후 마스터 필름의 zone-plate 패턴을 포토레지스트에 노광하고 현상하여 포토레지스트에 바이너리 프레넬 렌즈를 기록하였다. 이후 포토레지스트에 니켈 도금을 하여 니켈 마스터를 얻은 후에 이를 PVC 필름에 엠보싱하여 최종적인 8-level 바이너리 프레넬 렌즈를 제작하였다. 그림 4는 실험을 위하여 제작된 8-level 바이너리 프레넬 렌즈를 나타내고 있다.

본 논문에서 제시하려고하는 멀티미디어 스크린의 갭 줄이는 실험을 하기 위하여 앞에 기술된 방법으로 제작하여 그림 4에 나타난 원형의 바이너리 프레넬 렌즈를 사용하여 렌즈의 중앙 부분을 각각 똑같이 사각형 모양으로 잘라서 바이너리 프레넬 렌즈 4개로 이루어진 렌즈 셋트를 만들었다. 그림 5는 이러한 방법으로 직사각형 프레넬 렌즈 4개를 조합한 바이너리 프레넬 렌즈 셋트를 나타내고 있다.

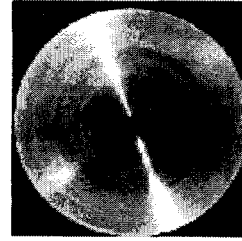


그림 4. 제작된 8-level 바이너리 프레넬 렌즈  
Fig. 4. Fabricated binary Fresnel lens of 8-level

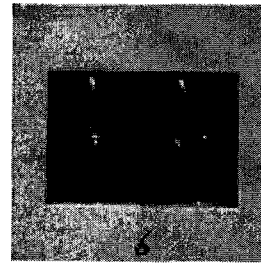


그림 5. 바이너리 프레넬 렌즈 셋트  
Fig. 5. Binary Fresnel lens set

그림 5와 같이 만들어진 바이너리 프레넬 렌즈 셋트의 성능을 실험하기 위하여 그림 6에 표시된 바와 같은 테스트 영상을 LCD 컴퓨터 스크린에 띄운 후에 바이너리 프레넬 렌즈 셋트를 컴퓨터 스크린에 부착하고 카메라를 상하 좌우 5[°]씩 이동하면서 그때 보이는 영상을 각각 촬영하였다. 그림 6에 표시된 테스트 영상을 살펴보면 문자로 이루어진 영상 부분이 4부분으로 나누어져 있으며 각각의 문자영상 사이에 검은색의 갭을 만들었다. 따라서 그림 6은 4개의 LCD로 이루어져 있으며 이들 LCD 사이에 갭을 갖고 있는 멀티미디어 스크린을 시뮬레이션하고 있다. 이제 테스트 영상위에 그림 5에 나타난 바이너리 프레넬 렌즈 셋트를 부착한 후에 렌즈 셋트를 통하여 얻어진 영상을 디지털 카메라로 촬영하였다. 그런데 사각형으로 잘라서 만든 바이너리 프레넬 렌즈 4개를 조합하여 바이너리 프레넬 렌즈 셋트를 만들었기 때문에 이들 렌즈 사이에 약 600[μm]의 간격이 발생하였으며 이 때문에 갭을 줄이는데 약간의 핸디캡이 되었다. 렌즈 셋트와 카메라 사이 간격은 30[cm]로 유지하였다.

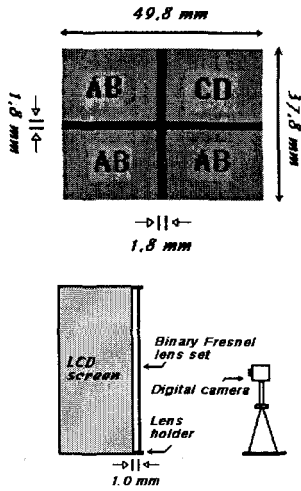


그림 6. 디지털 카메라로 찍은 액정 스크린 상의 테스트 영상  
Fig. 6. Test image on the LCD screen captured by digital camera

본 논문에서는 컴퓨터에 테스트 문자 영상을 띄우고 그 위에 바이너리 프레넬 렌즈 셋트를 부착한 후 카메라를 각각 상하 좌우측으로  $\pm 5^\circ$ 씩 이동하며 렌즈를 통하여 얻어진 영상을 촬영하였으며 그림 7은 그림 6에 나타난 테스트 영상을 정면( $0^\circ$ )에서 촬영한 결과와 좌우측으로  $\pm 5^\circ$ 씩 이동하며 촬영한 사진 중에서 각각  $\pm 10^\circ$ ,  $\pm 20^\circ$ ,  $\pm 25^\circ$ ,  $\pm 30^\circ$ 로 이동하며 촬영한 영상을 선별하여 데이터로 나타낸 것이다.

테스트 영상에 바이너리 프레넬 렌즈 셋을 부착한 후 시야각을 변화시키면서 얻어진 겹의 축소 정도를 측정한 정량적인 값을 표 1에 나타내었다. 측정시 사용된 테스트 영상의 4개의 부분 가운데 한 부분의 크기는  $80 \times 60$ [pixel]이었으며 정확한 측정을 위하여 영상을 확대하여  $320 \times 240$ [pixel] 크기로 하였다. 따라서 테스트 영상의 수평 겹과 수직 겹은 각각  $25$ [pixel]이다. 측정 결과 바이너리 프레넬 렌즈 셋을 부착하고 정면에서 보았을 때 겹은 수평과 수직 겹이 각각  $5$ [pixel]로 감소하였다. 시야각을 증가시키면서 측정한 결과  $\pm 30^\circ$ 에서는 겹이 위치에 따라 5에서 7개[pixel]의 값을 나타내어 평균  $6$ [pixel] 정도로 다소 증가하는 것을 알 수 있으며  $\pm 40^\circ$  이상의 시야각에서는 겹이 7에서  $8$ [pixel] 이상으로 증가하였다.

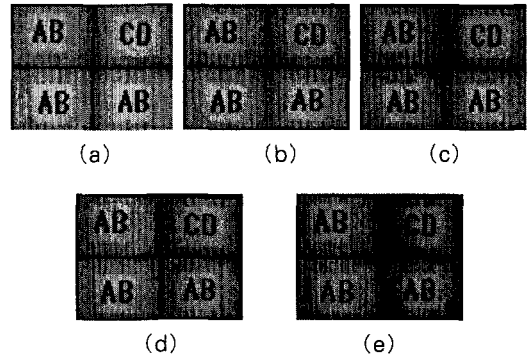


그림 7. 바이너리 프레넬 렌즈를 부착한 후 디지털 카메라로 찍은 영상 (a) 정면( $0^\circ$ ), (b)  $\pm 10^\circ$ , (c)  $\pm 20^\circ$ , (d)  $\pm 25^\circ$ , (e)  $\pm 30^\circ$   
Fig. 7. Captured images with binary Fresnel lens on LCD screen (a) front( $0^\circ$ ), (b)  $\pm 10^\circ$ , (c)  $\pm 20^\circ$ , (d)  $\pm 25^\circ$ , (e)  $\pm 30^\circ$

표 1. 시야각에 따른 겹의 측정 값  
Table 1. Measured values of gap with various viewing angles

	length (A)	width (B)	vertical gap(A')	horizontal gap(B')	A'/A	B'/B
Sample image	320	240	24	24	0.0750	0.1000
view of front( $0^\circ$ )	320	240	5	5	0.0156	0.0208
view of $\pm 10^\circ$	320	240	5	5	0.0156	0.0208
view of $\pm 20^\circ$	320	240	5	5-7	0.0156	0.0250
view of $\pm 25^\circ$	320	240	5-7	5	0.0188	0.0208
view of $\pm 30^\circ$	320	240	5-7	5	0.0188	0.0208

unit : pixel

그림 8은 바이너리 프레넬 렌즈의 시야각에 따른 효율을 측정한 값을 나타낸 것으로 시야각이  $\pm 40^\circ$ 에서는 효율이 80[%]정도로 양호한 것으로 나타났으나 시야각이 증가하여  $\pm 60^\circ$ 에 이르렀을 때에는 효율이 60[%] 정도로 떨어지는 것을 알 수 있다. 이러한 실험 결과를 종합해 볼 때 시야각 성능은  $\pm 40^\circ$  이내에서 이동할 경우 성능이 우수하였으나 그 이상 시야 각도에서는 밝기가 떨어지는 것을 알

## 바이너리 프레넬 렌즈를 이용한 LCD 멀티미디어 스크린의 갭 최소화

수 있으며 갭의 최소화에 있어서는  $\pm 30^\circ$  범위에서 움직일 경우 양호한 것으로 보이나 그 이상의 시야각에서는 갭이 크게 나타나 보이는 것으로 측정되었다. 그러나 그림 7에 나타난 바와 같이 이중상 문제와 모아레 간섭무늬 현상은 보이지 않았다.

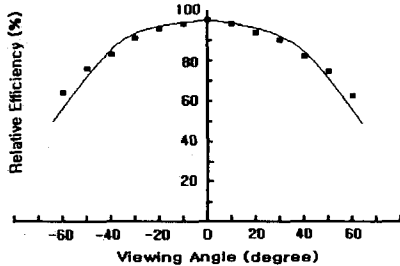


그림 8. 시야각에 따른 바이너리 프레넬 렌즈의 효율  
Fig. 8. Efficiencies of binary Fresnel lens with various viewing angles

## 4. 결 론

본 논문은 기존의 knife-edge 형 프리즘판을 이용한 방식에서 나타나는 문제점 즉, 테두리 부분의 영상만 인위적으로 굴절시켜 갭을 덮도록 하였기 때문에 전체 영상이 자연스럽게 연결되지 못하는 점과 2차원적으로  $m \times n$ 형 멀티비전에는 사용할 수 없는 근본적인 단점을 해결하고 또한 프레넬 렌즈를 사용하여 LCD 멀티비전의 갭을 해결할 때 나타날 수 있는 문제점들, 즉 두께 및 부피가 매우 크다는 점, 이중상이 보인다는 점, 모아레 간섭무늬 등이 보인다는 점, 대량 생산이 어렵다는 점 등을 해결할 수 있도록 바이너리 프레넬 렌즈를 사용하여 갭을 해결하는 방법을 연구하고 그 시제품을 제작하였다. 측정 결과 상기의 문제점을 잘 해결한 것으로 여겨지며 향후 실제 제품에 적용할 수 있는 기반 기술을 확보하였고 할 수 있다.

제작된 홀로그래프 프레넬 렌즈를 사용하여 시험을 한 결과 갭의 최소화 측면에서는 정면을 기준으로 좌우측 및 상하측으로 전체각도 약  $\pm 40^\circ$  이내에서는 테스트용 화면의 갭이 1/5 정도 감소되었으나 약  $\pm 40^\circ$  이상에서는 갭이 다소 증가하는 것으로 나타났으며, 효율적인 측면에서는 정면을 기준으로 좌우

측 및 상하측으로 전체각도 약  $\pm 40^\circ$  이내에서는 효율이 80[%] 이상으로 우수한 것으로 나타났으나  $\pm 60^\circ$  이상에서는 효율이 80[%] 미만으로 감소하였다. 이중상, 상의 왜곡 그리고 모아레 무늬 등이 문제가 되지 않았으나, 전체적으로 종합하여 볼 때  $\pm 80^\circ$ 이상의 시야각 범위가 요구되는 대형 멀티비전 시스템용으로 사용하기 위해서는 향후 보완 연구를 하여야 하나 멀티 모니터를 사용하는 컴퓨터 시스템과 PDA 혹은 차량용 네비게이션 시스템에서는 사용이 가능하리라 판단된다.

본 논문을 위하여 많은 도움을 주신 엘포트(주)에 감사드립니다.

## References

- (1) 성운재, 허성준, 손호준, 원광연, "병렬 디스플레이 시스템과 이를 이용한 분산 이미지 모자이크 기법", Tech-memo 2000-5, 한국과학기술원, 2000.
- (2) C. Cruz-Neira, D. Sandin, T. Defanti, "Surround-screen Projection-based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE", Computer Graphics (SIGGRAPH 93), 1993.
- (3) L. Lin, Y.T. Cheng, C.J. Chiu, "Comparative Study of Hot Embossed Micro Structures Fabricated by Laboratory and Commercial Environments," Microsystem Technologies, vol. 4, no. 3, pp. 113-116, 1998.
- (4) M. C. Hutley, "Microlens Arrays," IOP Short Meetings Series, no. 30 (Institute of Physics), pp. 109-122, 1991.
- (5) H. Nishihara and T. Suhara, "Micro Fresnel Lenses," Progress in Optics, E. Wolf, ed. (North-Holland, Amsterdam), vol. XXIV, pp. 1-40, 1987.
- (6) K. Miyamoto, "The Phase Fresnel lens," J. Opt. Soc. Am., vol. 51, pp. 17-20, 1961.
- (7) Joseph W. Goodman, "Introduction to Fourier Optics," McGraw-Hill international editions, pp. 96-101, 1996.
- (8) J. S. Ryu and M. H. Jeong, "Design of Backlight Unit using Micro Fresnel Lens Array", 한국광학회지, vol.16, no.3, pp 217-224, 2005.

## ◆ 저자소개 ◆

### 정만호 (鄭滿鎬)

1957년 2월 27일생. 1979년 한국항공대학교 통신공학과 졸업. 1981년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1989년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1984년부터 1995년 한국표준과학연구원 광학연구실 선임연구원. 1995년~현재 제주대학교 IT학부 레이저광 정보공학과 교수.