DBpia

논문 13-38C-10-11

한국통신학회논문지(J-KICS) '13-10 Vol.38C No.10
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38C.10.911

# 방사 왜곡을 포함하는 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원

박 지 용◆°,강 훈 종*,홍 성 희*,정 광 모*,이 승 현**

# Numerical Reconstruction of Holographic Stereogram with Radial Distortion

Jiyong Park◆°, Hoonjong Kang*, Sunghee Hong*, Kwangmo Jung*, Seunghyun Lee**

요 약

방사 왜곡이 홀로그래픽 스테레오그램에 미치는 영향을 알아보기 위해, 가상의 3차원 객체를 렌더링하고, 이 객체로부터 원근 투영 이미지를 획득하였다. 획득된 원근 투영 이미지를 재배열 하여 hogel 이미지를 만들고 복원되는 영상을 확인하기 위해 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원 알고리즘을 제안하였다. 광학 엔진에 의해 발생 할 수 있는 방사 왜곡을 포함하는 hogel 이미지를 왜곡 정도를 달리하여 만들고, 수학적 복원 알고리즘을 이용하여 복원 하였고, 복원된 영상을 PSNR을 이용하여 비교 하였다.

**Key Words** : digital holography, radial distortion, holographic stereogram, numerical reconstruction, holographic element

ABSTRACT

Evaluation of the effect of radial distortion for a holographic stereogram demands conducting an experiment which comprises rendering of a 3D obejc, acquisition of perspective images, rearrangement of the acquired images for hogel images and quality assessment of the observing image reconstructed from the holographic stereogram. We propose numerical implementation of this evaluation by a specially developed algorithm for modeling of all required steps. The modeling is done by using a numerical model of an optical engine for generation of radially distorted hogel images at various degrees of distortion. The distorted images are used to form the holographic stereogram and to make the numerically reconstructed images from the holographic stereogram which are observed by an observer at desired location. The reconstructed images are compared by using PSNR.

## Ⅰ. 서 론

1948년 Dennis Gabor에 의해 개발된 홀로그래피 기술[1]은, 홀로그래픽 현미경 및 디스플레이를 비롯한 다양한 응용시스템으로 발전해 나갔다. 이 중 홀로그래픽 프린터는 상용화에 도달한 대표적인 홀로그래픽 응용시스템이며, 대표적인 방식 홀로그래픽 스테레오그램은 MIT의 S.Benton의 연구 그룹에 의

※ 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI001810039169, 디지털 홀로그래픽 3D 디스플레이 및 기록 시스템 원천 기술 개발]

◆° First Author and Corresponding Author : 광운대학교 전자공학과 박사과정, huntercn@kw.ac.kr, 정회원
* 전자부품연구원 실감미디어본부, shhong@keti.re.kr, jungkm@keti.re.kr
** 광운대학교 정보콘텐츠대학원, shlee@kw.ac.kr

논문번호 : KICS2013-07-314, 접수일자 : 2013년 7월 31일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 11일



www.dbpia.co.kr

해 처음 개발되고[2], Tokyo Institute of Technology 의 Masahiro Yamaguchi에 의해 홀로그래픽 스테레오그램에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다[3]. 1990년 컴퓨터를 이용하여 3차원 객체를 생성하고 이를 통해 다시점 원근 투영 이미지를 이용하여 홀로그램을 기록하는 연구[4,5]부터, 최근에는 고해상도 full-color full-parallax stereogram[6] 연구를 진행하였다. 이는 다시점 원근 투영 이미지를 홀로그래픽 광굴절 매질에 기록하는 방법으로써, 초 다시점 디스플레이와 같이 관찰자가 다양한 각도에서 입체 영상을 관찰 할 수 있는 방법이다. 홀로그래픽 광굴절 매질은 고해상도를 요구하는 초 다시점 디스플레이의 패널로 사용함으로써 자연스러운 3차원 입체 영상을 관찰 할 수 있다. 하지만 홀로그래픽 스테레오그램은 홀로그래픽 광굴절 매질에 기록 후에 확인이 가능하기 때문에, 원하는 결과물을 얻을 때까지 몇 번씩 기록 후 확인하는 과정을 거쳐야 한다. 그 기록 과정은 많은 시간을 필요로 하며, 또한 고가이기 때문에 비용적인 낭비가 발생한다. 본 연구에서는 홀로그래픽 스테레오그램을 기록하면서 생기는 문제점이나 비용적인 문제를 해결하기 위한 방법의 일환으로, 컴퓨터를 이용한 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원 방법을 제안하고, 광학 소자에 의해 발생하는 왜곡에 대해 분석하였다.

## Ⅱ. 홀로그래픽 스테레오그램

홀로그래픽 스테레오그램은 수평 시차만을 갖는 수평시차 홀로그래픽 스테레오그램(HPO)[7] 과 수평 및 수직 시차를 갖는 완전 시차 홀로그래픽 스테레오그램으로 구분 될 수 있으며, 본 논문에서는 완전 시차 홀로그래픽 스테레오그램만을 다룬다.

### 2.1. 원근투영 이미지의 획득

홀로그래픽 스테레오그램을 만들기 위해 3차원 객체로부터 다시점 원근 투영 이미지를 획득해야 한다. 다시점 원근 투영 이미지를 획득하는 방식은 simple camera 방식과 recentering camera 방식으로 나눌 수 있다[7]. Recentering camera 방식은 simple camera 에서 발생 할 수 있는 비네팅 현상이 나타나지 않는 장점이 있기에, 본 연구에서는 recentering camera 방식의 다시점 원근 투영 이미지 획득 방식을 사용하였다. 다시점 원근 투영 이미지의 획득을 위해 3D 객체를 중심으로 홀로그램 평면을 설정하고, 거리 $D$ 만큼 떨어진 곳에 카메라가 수직 및 수평 방향으로 이동하는 카메라 트랙을 설정 하였다. 카메라 트랙을 이동하는 카메라는 평행 카메라 구조[8]를 가지며, 카메라의 광축은 항상 홀로그램 평면에 위치한 3D 객체의 중심을 향한다. 이러한 recentering camera 구조를 수평 방향의 2차원 형태로 그림 1에 나타내었다. 수직 방향도 같은 구조를 갖는다. 거리 $D$ 에서 카메라 위치 $C_1$, $C_2$, $C_3$ ,$C_4$ 에서 획득된 이미지를 그림 2에 나타내었다. 일정한 시차를 갖는 원근투영 이미지를 확인 할 수 있다.

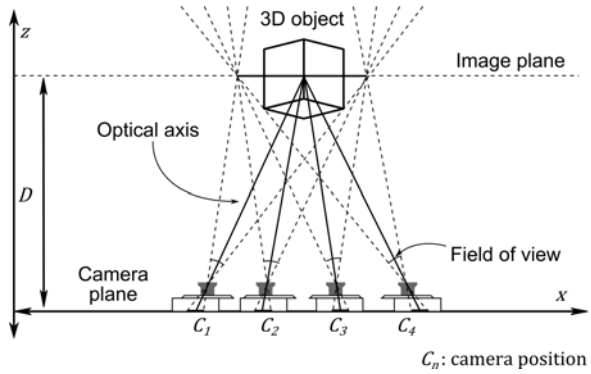



그림 1. Recentering camera 방식의 원근 투영 이미지 획득.
Fig. 1. Acquiring perspective images by using recentering camera method.

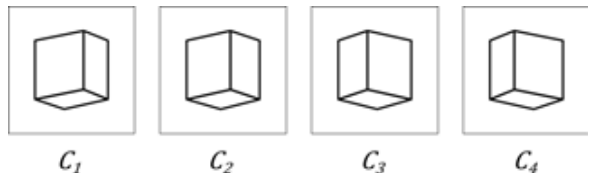



그림 2. 카메라로부터 획득된 원근 투영 이미지
Fig 2. Acquired perspective images by the camera

### 2.2. 원근투영 이미지의 재배열

홀로그래픽 스테레오그램을 만들기 위해서는 홀로그래픽 광굴절 매질 위에 홀로그래픽 요소를 일정 간격으로 기록한다. 이러한 홀로그래픽 요소를 hogel[8]이라고 부르며, hogel에 기록되는 홀로그래픽 요소 이미지를 hogel 이미지라고 한다. 재배열 과정을 거치지 않은 원근 투영 이미지를 hogel에 기록했을 때의 관찰자와 홀로그래픽 스테레오그램의 기하 구조는 그림 3과 같으며, 카메라 트랙과 일치하는 관찰자 위치는 홀로그램 평면과 일치하게 되어, 관찰자에게 홀로그램을 관찰하기 위한 적합한 환경을 제공하지 못한다. 따라서 재배열과정을 거쳐 그림 4와 같이 홀로그램 평면으로부터 분리시켜 관찰자에게 홀로그램을 관찰하기 위한 적합한 환경을



www.dbpia.co.kr

제공한다.

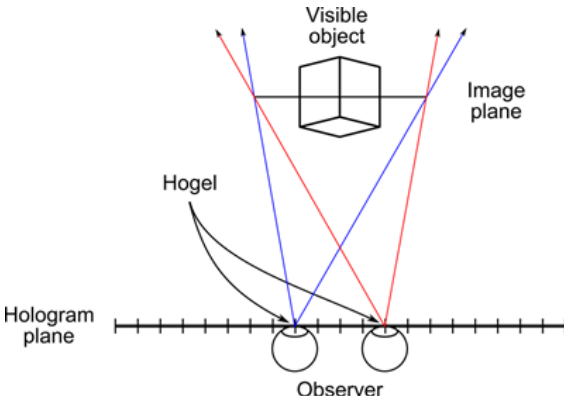



그림 3. 원근 투영 이미지를 그대로 기록했을 때의 관찰자의 위치
Fig. 3. An observer position, when perspective images are recorded on holographic emulsion.

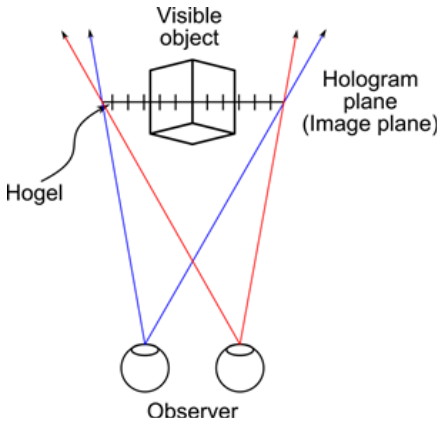



그림 4. 재배열된 원근 투영이미지를 기록했을 때의 관찰자의 위치
Fig. 4. An observer position, when rearranged images of perspective images are recorded on holographic emulsion.

다수의 원근 투영 영상을 재배열 하여 hogel 이미지를 만드는 과정을 그림 5에 나타내었다. $P_{kl}$은 카메라 위치 $(k,l)$에서 획득된 $K\times L$ 개수의 원근 투영이미지이고, 이는 수직 및 수평축에서의 샘플링된 카메라의 개수와 같으며, 획득된 $P_{kl}$ 이미지의 해상도는 $I\times J$ 이다. Hogel 이미지 $H_{ij}$ 는 카메라의 개수와 같은 $K\times L$ 의 픽셀 개수로 이루어져있다. $H_{ij}$ 를 이루는 각각의 픽셀은 모든 원근 투영이미지 $P_{kl}$의 $(i,j)$ 좌표의 픽셀들로 구성되어 있다. 따라서 $H_{ij}(k,l)=P_{kl}(i,j)$ 이다. 이를 수식 (1)에 나타내었다.

$$H_{ij}=P_{kl}(i,j);i=1\ldots I,j=1\ldots J,k=1\ldots K,l=1\ldots L \quad (1)$$

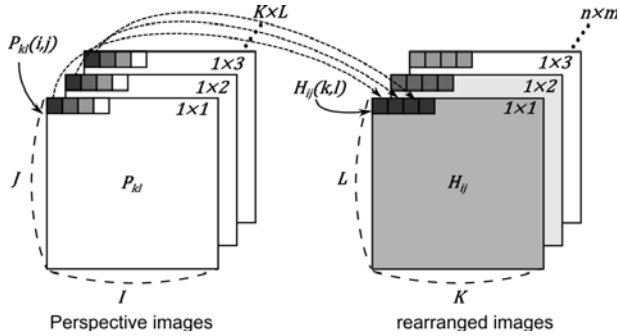



그림 5. 원근 투영 영상의 재배열
Fig. 5. rearrangement of perspective images

## Ⅲ. 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원

재배열된 hogel 이미지를 이용한 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원을 위해, 관찰자와 홀로그래픽 스테레오그램의 관계를 도식화 하고, 알고리즘을 제안하였다. 그림 6은 관찰자와 홀로그래픽 스테레오그램의 관계를 나타낸다. Hogel 이미지는 기록 광학계의 FOV에 의해 hogel에 균일한 각도강도분포로 기록이 된다. 관찰자가 홀로그래픽 스테레오그램을 관찰하는 과정은 다음과 같다. 관찰자가 거리 $D$ 의 임의의 위치에서 홀로그래픽 스테레오그램을 관찰 한다. 관찰자의 위치에 따라 하나의 hogel과 이루는 관찰 각도가 만들어지고, hogel을 통해 이 관찰 각도에 해당하는 hogel 이미지의 각도강도분포 중 하나의 강도를 관찰 하게 된다. 이 강도는 기록된 hogel 이미지의 픽셀 중 하나이다. 관찰자는 거리 $D$의 임의의 위치에서 모든 hogel을 바라보게 된다. 모든 hogel은 수직 및 수평 방향으로 일정 간격으로 홀로그래픽 광굴절 매질에 기록되어있으며, 관찰자는 모든 hogel과 서로 다른 관찰 각도를 갖게 되어 서로 다른 강도를 관찰 하게 됨으로써, 하나의 원근 투영 이미지를 관찰하게 된다. 그림 6의 왼쪽 눈은 각각의 hogel을 통해 'O' 를 구성하는 강도를 바라보게 되고, 오른쪽 눈은 같은 hogel을 통해서 'Δ' 를 구성하는 강도를 바라보게 된다. 따라서 관찰자는 하나의 홀로그래픽 평면을 통해서 서로 다른 원근 투영 이미지를 관찰하게 되고, 양눈으로 관찰되는 원근 투영 이미지의 시차를 통해서 깊이감을 가지는 홀로그래픽 스테레오그램을 관찰하게 된다. 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원 알고리즘 제안을 위해, 홀로그래픽 스테레오그램과 관찰자의 관계를 그림 7과 같이 도식화 하였다. 관찰자의



www.dbpia.co.kr

눈은 홀로그램 평면으로부터 거리 $D$, $z$축으로부터 수평으로 이동한 위치 $\xi_p$ 에 있다고 가정한다. 홀로그램 평면 위의 hogel과 직각을 이루는 $z$축과 관찰자 위치 $E(x,z)$ 에서 점선으로 이어진 hogel이 이루는 관찰 각도는 $\theta$ 이다. 이때 관찰자는 hogel에 기록되어 있는 각도강도분포의 hogel 이미지 에서 관찰각도에 해당하는 강도만을 관찰하게 된다. 관찰되는 해당 강도를 찾기 위해 hogel에 기록되어있는 hogel 이미지의 각도강도분포를 관찰자가 바라보는 홀로그램 평면 반대쪽에 나타내었다. Hogel 이미지는 $\xi$ 축에 위치하며 홀로그램 평면과 $\xi$ 축의 거리는 관찰자간의 거리 $D$ 와 동일하다. hogel은 각도 $\varphi$ 에 각도강도분포를 갖으며 거리 $D$ 에서의 hogel 이미지의 폭 $W$ 는 $W=2D \cdot \tan(\varphi/2)$ 에 의해 산출된다. Hogel 이미지의 각 픽셀은 $\triangle\xi$ 값을 갖는다. 이와 같이 홀로그램 평면을 중심으로 hogel 이미지 평면을 대칭적으로 위치시킴으로써, 관찰자가 각 hogel을 통해 관찰되는 hogel 이미지에서의 해당 픽셀값 $P$ 를 산출 할 수 있다.

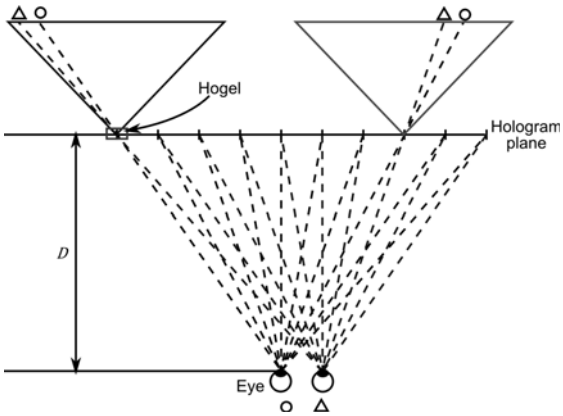
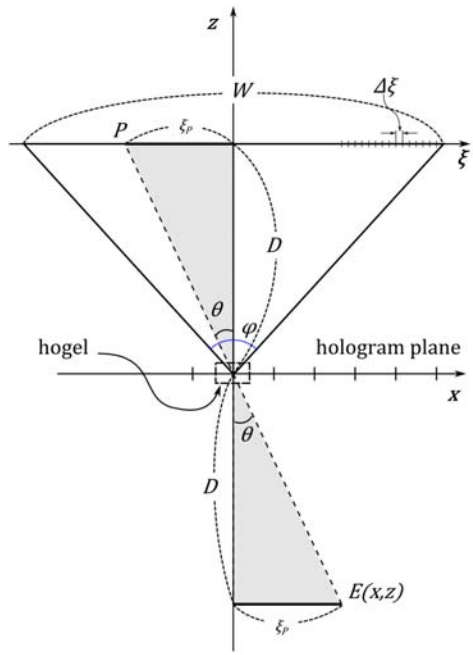



그림 6. 홀로그래픽 스테레오그램과 관찰자와의 관계
Fig. 6. relation between holographic stereogram and an observer

## Ⅳ. 반경 수차가 포함된 hogel 이미지

hogel 이미지는 SLM과 다양한 광학 소자들을 통해서 홀로그래픽 광굴절 매질에 기록 된다. 이때 광학 소자들에 의해 hogel 이미지에 왜곡이 발생할 수 있다. 반경 수차는 그림 8과 같이 배럴 왜곡(barrel distortion)과 핀 쿠션 왜곡(pincushion distortion)으로 나눌 수 있다[9]. Hogel에 반경수차를 적용하기 위해 다음과 같은 수식을 이용하였다.




$P$: observed pixel on hogel image through the corresponding hogel
$\xi_P$: distance between vertical axis and observed pixel
$D$: distance between hologram plane and obsever plane
$\varphi$: angle of FOV of hogel
$\theta$: angle between z-axis of hogel and observer location
$\xi$: hogel image plane
$E(x,D)$: observer location

그림 7. 관찰자와 hogel 관계
Fig. 7. relation between a hogel and an observer

$$X_d = \frac{X_u}{1+kr_d^{\,2}} \tag{1}$$

$$Y_d = \frac{Y_u}{1+kr_d^{\,2}} \tag{2}$$

$$r_d = \sqrt{X_d^{\,2}+Y_d^{\,2}} \tag{3}$$

수식 (2) 는 왜곡되지 않은 픽셀의 x축 좌표 $X_u$ 를 왜곡된 위치의 x축 $X_d$좌표 로 이동 시키는 수식으로써 왜곡 계수 $\kappa$ 와 반지름 $r_d$ 를 이용하여 산출한다. 수식 (3) 역시 왜곡되지 않은 픽셀의 y축 좌표 $Y_u$ 를 왜곡된 위치의 y축 좌표 $Y_d$ 로 이동 시키는 수식으로써 왜곡 계수 $\kappa$ 와 반지름 $r_d$ 를 이용하여 산출한다. 수식 (4)은 반지름 $r_d$ 를 산출하기 위한 수식이다. $(X_u, Y_u)$는 왜곡되지 않은 픽셀의 좌표이며, $(X_d, Y_d)$ 는 왜곡되어 이동된 픽셀의 좌표이다. 왜곡 계수 $\kappa$ 를 이용하여 배럴 왜곡 또는 핀 쿠션 왜곡을 hogel 이미지에 적용 시킬 수 있다.



www.dbpia.co.kr

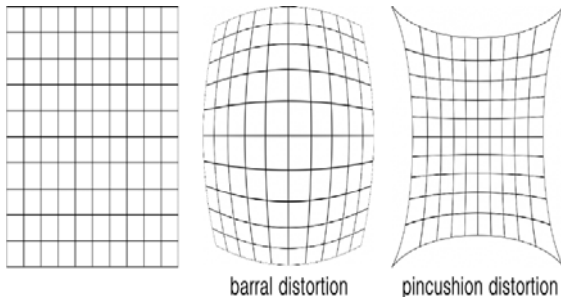



그림 8. 반경 수차
Fig. 8. radial distortions

Hogel 이미지가 반경 수차를 포함한다는 것은 hogel에 기록되는 hogel 이미지의 각도강도분포가 균일한 상태에서 비 균일 상태로 변화 되는 것을 의미한다. <그림 9>에 핀 쿠션 왜곡을 포함하는 hogel 이미지의 각도강도분포가 관찰자에게 어떠한 영향을 주는지 나타내었다. <그림 9> (a) 는 왜곡이 없는 각도강도분포 이고, 관찰자는 눈의 위치 $E_L$과 $E_R$ 에서 hogel 이미지의 픽셀 $P_L$ 과 $P_R$ 이 관찰 가능 하다. <그림9> (b) 는 핀 쿠션 왜곡에 의해 왜곡 된 각도강도분포 이다. 핀 쿠션 왜곡에 의해 픽셀 $P_L$ 과 $P_R$은 좀 더 안쪽의 중심 축방향으로 이동하고, $P_L$ 과 $P_R$ 있던 위치에 $P_L'$ 과 $P_R'$ 위치하게 된다. 결국 관찰자는 눈을 통해서 이동된 다른 픽셀을 보게 된다. 이러한 왜곡은 운동 시차 (motion parallax) 에 영향을 끼친다. 방사 왜곡을 포함하는 hogel 이미지로 구성된 홀로그래픽 스테레오그램을 관찰하는 모습을 그림 10 에 나타내었다. 정상적인 hogel 이미지로 구성된 홀로그래픽 스테레오 그램을 관찰하는 관찰자의 관찰 시점은 그림 10 (a) 와 같다. 균일한 관찰 시점의 간격을 가지고 있기 때문에 관찰자가 양옆으로 이동 할 때 자연스럽게 시점이 변화한다. 그림 10 (b),(c) 와 같이 배럴 왜곡과 핀쿠션 왜곡에 의해 홀로그래픽 스테레오그램의 관찰 시점의 간격이 왜곡 되면, 관찰자는 수평 방향으로 이동시 왜곡된 운동 시차를 느끼게 된다.

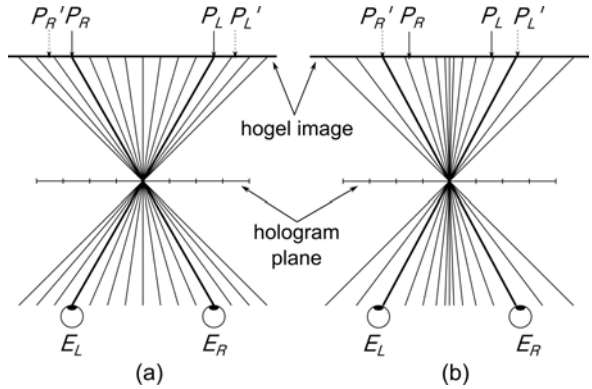



그림 9. 핀 쿠션 왜곡에 의한 픽셀 이동 (a) 정상적인 각도강도분포 (b) 핀 쿠션 왜곡을 포함하는 각도강도분포
Fig. 9. shifting of pixel. (a) normal angular intensity distribution. (b) pincushion distortion.

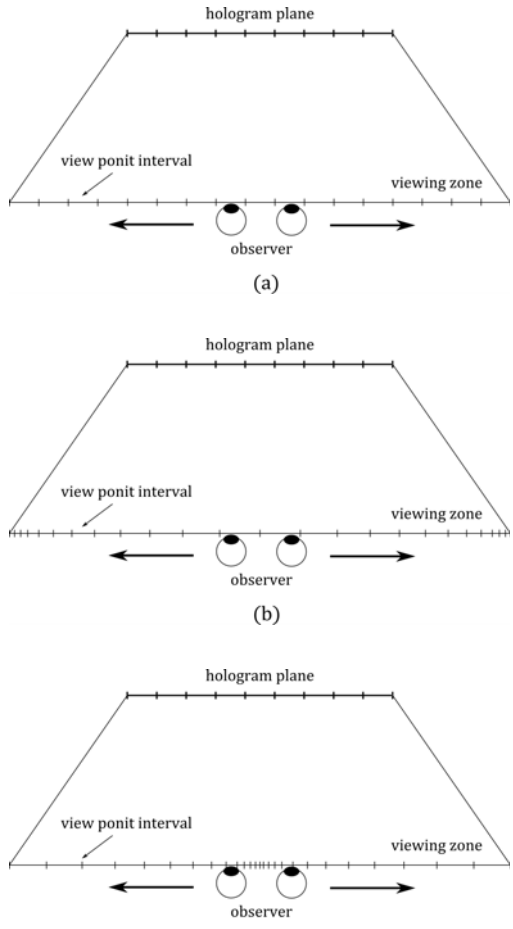



그림 10. 방사 왜곡에 의해 변화된 관찰 시점과 운동 시차의 관계 (a) 균일한 간격의 관찰시점 (b) 배럴 왜곡의해 왜곡된 관찰시점 (c) 핀 쿠션 왜곡의해 왜곡된 관찰시점
Fig. 10. Relation between distorted viewing positions by radial distortion and motion parallax (a) viewing position of equal interval (b) distorted viewing positions by barrel distortion (c) distorted viewing positions by pincushion distortion

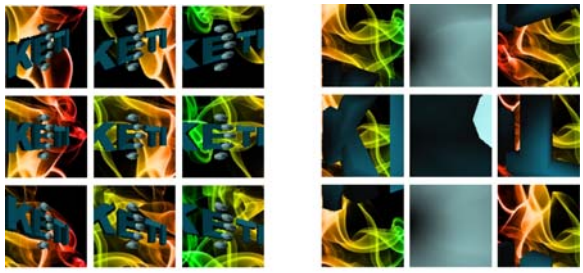


www.dbpia.co.kr

## V. 실 험

배럴 및 핀 쿠션 왜곡이 포함된 hogel 이미지가 완성된 홀로그래픽 스테레오그램에 미치는 영향을 알아보기 위해, 다양한 왜곡 계수를 갖는 hogel 이미지를 만들고 제안된 수학적 복원 알고리즘을 이용하여 복원하여 비교 하였다. 컴퓨터를 이용해 3D 객체를 생성하였고, recentering camera 방식을 이용하여 수직 및 수평 시차를 갖는 $100\times100$시점의 10000장의 원근 투영 이미지를 획득하였다. 획득된 원근 투영 이미지는 재배열 과정을 거쳐 hogel 이미지로 만들었다. 그림 11에 3D 객체를, 그림 12 (a) 에 3D 객체로부터 획득된 원근 투영 이미지의 일부를 나타내었고, 재배열된 hogel 이미지의 일부를 그림 12 (b)에 나타내었다.

그림 11. 생성된 3D 객체
Fig. 11. 3D model



(a) (b)

그림 12. (a) 원근 투영 이미지 (b) hogel 이미지
Fig. 12. (a) perspective images (b) hogel images

왜곡되지 않은 hogel 이미지를 이용하여 3개의 서로 다른 왜곡 계수 $\kappa$ 를 갖는 hogel 이미지 세트를 3개를 만들었다. 핀 쿠션 왜곡을 만들기 위해 왜곡 계수 $\kappa$ 의 값을 각각의 세트에 0.00001, 0.0001, 0.001 값을 적용 하였고, 배럴 왜곡을 만들기 위해 -0.00001, -0.0001, -0.001 값을 적용하였다. 핀 쿠션 왜곡의 경우 왜곡 계수 $\kappa$ 값이 1에 가까울수록 왜곡이 심하고, 배럴 왜곡의 경우 -1에 가까울수록 왜곡이 심해진다. 그림 13 (a) 는 왜곡되지 않은 hogel 이미지중 하나이고, 그림 13 (b)-(d)는 핀 쿠션 왜곡, 그림 13 (e)-(g)는 배럴 왜곡이 포함된 hogel 이미지중 하나이다. 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원에 사용된 관찰자 위치와 거리 등은 모두 같은 조건으로 하였고, 그림 13의 hogel 이미지를 이용하여 그림 14와 같은 결과를 얻었다.

그림 14 (a) 는 왜곡 없는 hogel 이미지를 이용하여 복원된 이미지 이고, 그림 14 (b)-(g)는 그림 13 의 각각에 왜곡 계수에 해당하는 hogel 이미지를 이용하여 복원된 이미지 이다. 대부분의 복원 영상은 심한 왜곡에도 불구하고, 눈으로는 왜곡을 확인하기 힘들다, 하지만 그림 14 (g)의 경우는 복원 영상 바깥쪽이 검게 나타났다. 이는 심한 배럴 왜곡으로 인해 hogel의 많은 픽셀 정보가 손실되었고, 수학적 복원 과정에서 바깥쪽 hogel이 갖는 관찰각도($\theta$)가 손실된 픽셀의 위치를 가리키기 때문이다. 따라서 손실된 위치의 픽셀 정보가 없기 때문에 검은색으로 나타난다. 그림 14에 나타난 것처럼 수학적으로 복원된 대부분의 이미지는 눈으로 차이를 비교하기에는 무리가 있다. 따라서 PSNR을 이용한 정량적 평가를 통해서 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원 이미지들의 왜곡 정도를 비교 하였다.

$$PSNR = 10\times\log_{10}[(255\times255)/MSE] \tag{4}$$

$$MSE = 1/N^2\times\sum_{x=1}^{N}\left[\sum_{y=1}^{N}[(f(x,y)-g(x,y))^2]\right] \tag{5}$$

수식 (4), (5)는 PSNR 수식이며 $x$, $y$는 영상의 해상도, $N$ 은 모든 픽셀의 개수 $f(x,y)$는 비교영상의 픽셀값, $g(x,y)$는 원영상의 픽셀값이다. 그림 13 (a) 이미지를 기준으로 그림 13 (b)-(g)의 PSNR 비교 수치를 획득 하였고, 또한 그림 14 (a) 의 수학적 복원 이미지와 그림 14 (b)-(g) 복원 이미지도 PSNR 비교 수치를 획득 하였다. 그림 15에 비교 결과를 나타내었다. 30 db 를 기준으로 30 db 이하의 값이 나오면 눈으로 봤을 때 차이를 구분 할 수 있고, 20 db 이하의 값이 나오면 심각하게 잘못된 정보를 제공한다고 볼 수 있다. 이러한 기준에서 왜곡 계수 $\kappa=0.00001$과$\kappa=-0.00001$ 의 hogel 이미지의 왜곡은 30db 와 20db 사이로 심한 왜곡을 보여주는 반면에, 복원된 이미지는 모두 40db 이상으로 눈으로 봤을 때도 큰 차이가 없다. 왜곡 계수 $\kappa=0.0001$과 $\kappa=-0.0001$ 의 hogel 이미지의 왜곡은 20db 이하로 심각한 왜곡이지만, 복원 영상은 20db 이상으로 왜곡된 요소가 더 적게 나타난다. 왜곡 계



www.dbpia.co.kr

수 $\kappa = 0.001$과 $\kappa = -0.001$은 매우 심한 왜곡으로 hogel 이미지와 복원 이미지 모두 20db 이하로 심각하게 왜곡되었음을 나타낸다. PSNR 비교 결과를 통해서 hogel 이미지의 심한 왜곡에도 불구하고, 수학적으로 복원된 이미지에서는 왜곡 정도가 감쇠되는 것을 확인 할 수 있었다.

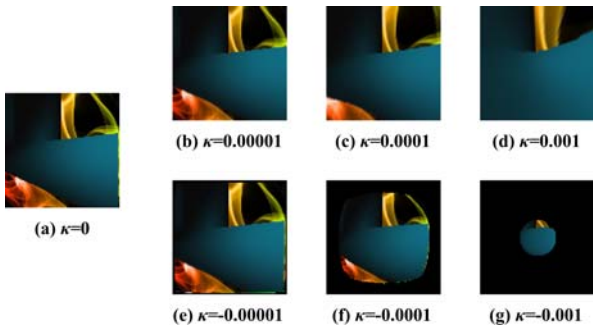



그림 13. 다양한 왜곡계수에 의해 왜곡된 hogel 이미지
Fig. 13. distorted hogel image by various coefficients

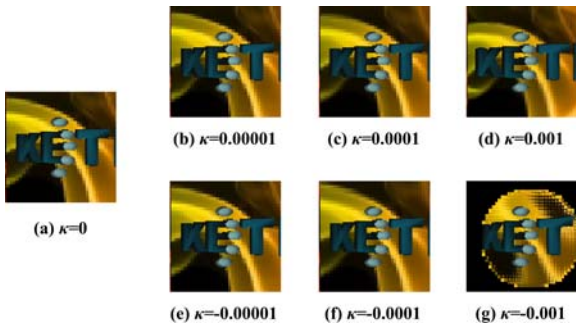
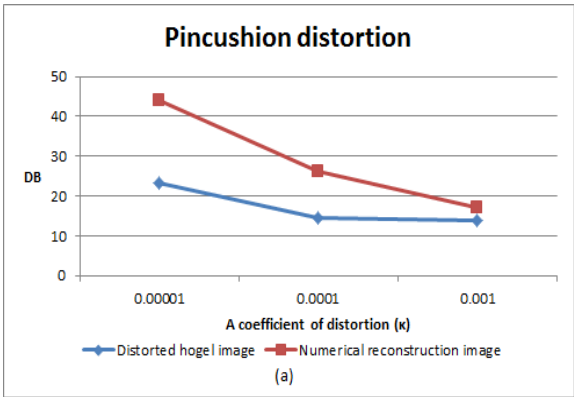



그림 14. 수학적으로 복원 이미지
Fig. 14. numerical reconstruction images



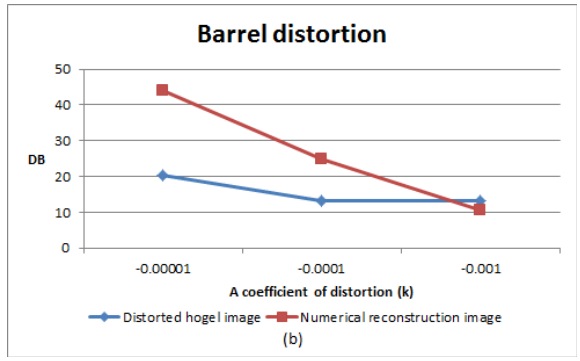




그림 15. PSNR 결과 (a) Pincushion distortion PSNR (b) Barrel distortion PSNR
Fig. 15. PSNR results (a) Pincushion distortion PSNR (b)Barrel distortion PSNR

## Ⅵ. 결 론

홀로그래픽 스테레오그램의 광학적 복원을 위해, 3차원 객체로부터 원근 투영 이미지를 획득하였다. 획득된 원근 투영 이미지를, 홀로그래픽 스테레오그램을 구성하는 요소인 hogel 이미지로 재배열 하였다. Hogel 이미지를 이용한 홀로그래픽 스테레오그램의 검증을 위해 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원 알고리즘을 제안하였다. 광학 소자에 의해 발생하는 왜곡이 홀로그래픽 스테레오그램에 줄 수 있는 영향을 알아보기 위해, 다양한 조건의 왜곡된 hogel 이미지를 만들고, 제안된 수학적 복원 알고리즘을 이용하여 복원 한 후에, 정상적인 수학적 복원 이미지와 다양한 왜곡 계수의 수학적 복원 이미지를 PSNR을 통해 분석 하였다. 분석된 결과를 통해서, 광학 엔진에 의한 hogel 이미지의 왜곡이 홀로그래픽 스테레오그램에 왜곡을 미칠 수 있음을 확인 할 수 있었다. 또한 hogel 이미지의 왜곡이 복원된 이미지에 비해 왜곡 정도가 심하지만 비슷한 왜곡 비율을 유지하고 있음을 확인 할 수 있었다. 본 연구를 통해 제안된 홀로그래픽 스테레오그램의 수학적 복원 알고리즘이 홀로그래픽 스테레오그램의 제작에 있어, 미리 결과를 예측해 봄으로써 시행착오를 줄일 수 있을 것으로 생각된다. 왜곡된 hogel 이미지와 이를 복원한 영상의 정량적 평가는 다양한 광학계의 왜곡 정도를 평가하는데 도움이 될 것으로 생각된다. 본 연구를 통해, 광학적 복원 전에 미리 문제점을 파악할 수 있음을 확인 하였고, 추후 연구를 통해 이러한 왜곡 요소를 상쇄 시킬 수 있는 왜곡 보정에 대하여 연구를 수행할 예정이다.



www.dbpia.co.kr

## References


[1] D. Gabor, "A new microscopic principle," *Nature*, vol. 161, no. 4098, pp. 777-778, May 1948.

[2] S. A. Benton, "Survey of holographic stereograms," *Proc. SPIE*, vol. 367, pp. 15-19, Aug. 1982.

[3] T. Yamaguchi, T. Fujii, and H. Yoshikawa, "Fast calculation method for computer-generated cylindrical holograms," *Applied Optics*, vol. 47, no. 19, pp. D63-D70, July, 2008.

[4] M. Yamaguchi, N. Ohyama, and T. Honda "Holographic 3-D printer," *Proc. SPIE*, vol. 1212, pp. 84-92, Jan, 1990.

[5] M. Yamaguchi, N. Ohyama, and T. Honda "Holographic three-dimensional printer: new method," *Applied Optics*, vol. 31, no. 2, pp. 217-222, Jan, 1992.

[6] S. Maruyama, Y. Ono, and M. Yamaguchi, "High-density recording of full-color full-parallax holographic stereogram," *Proc. SPIE*, vol. 6912, pp. 69120N-1-69120N-10, Jan, 2008.

[7] M. W. Halle, "The generalized holographic stereogram," *M.S. thesis*, Dept. Architecture Planning, M.I.T., Cambridge, U.S.A., Feb. 1991.

[8] M. W. Halle, "Multiple viewpoint rendering," in *Proc. ACM SIGGRAPH '98*, pp. 243-254, Orlando, U.S.A., July, 1998.

[9] A. J. Woods, T. Docherty, and R. Koch, "Image distortion in stereoscopic video systems," *Proc. SPIE*, vol 1915, pp. 36-48, Sep. 1993.



**박 지 용** (Jiyong Park)

2008년 2월 광운대학교 정보통신대학원 디지털콘텐츠 석사

2008년 3월~현재 광운대학교 일반대학원박사과정

2011년 5월~현재 전자부품연구원 실감정보플랫폼 위촉연구원

<관심분야> 홀로그래피, 컴퓨터 그래픽, 영상처리, 3D 콘텐츠, CUDA 프로그래밍

**강 훈 종** (Hoonjong Kang)

2001년 2월 광운대학교 전자공학과 석사

2008년 9월 Nihon University, 박사

2001년 11월~2002년 1월 (주) 3D 코리아, 연구원

2002년 2월~2006년 1월 한국전자통신연구원(ETRI), 연구원

2008년 9월~2010년 9월 Project researcher: The European FP7 Real3D Project, European Commission [Bilkent University]

2010년 10월~현재 전자부품연구원(KETI) 책임연구원

<관심분야> 디지털 홀로그래피, 3D 디스플레이

**홍 성 희** (Sunghee Hong)

1999년 2월 성균관대학교 전기공학과 학사

2001년 2월 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학부 석사

2001년 1월~현재 전자부품연구원(KETI) 책임연구원

<관심분야> 3D, 홀로그램, 디지털케이블TV, IPTV




www.dbpia.co.kr

**정 광 모** (Kwangmo Jung)

1990년 2월 광운대학교 전자공학과 학사
2000년 2월 광운대학교 전자공학과 석사
2006년 2월 광운대학교 전자통신공학과 박사
1994년 2월~현재 전자부품연구원(KETI) 센터장
<관심분야> 3D, 홀로그램, UI/UX, AR/VR

**이 승 현** (Seunghyun Lee)

1986년 2월 광운대학교 전자공학 석사
1993년 2월 광운대학교 전자공학 박사
2011년 2월~현재 광운대학교 정보 콘텐츠 대학원 원장
<관심분야> 3D, 홀로그램



www.dbpia.co.kr