

---

# 전방향 커브형 집적 영상에서의 요소 영상의 제작 방법

신동학\* · 조병철\*\* · 김은수\*

Generation scheme of elemental images for full-direction-curved integral imaging

Dong-Hak Shin\* · Byung-Chul Cho\*\* · Eun-Soo Kim\*

---

본 연구는 정보통신부 ITRC 사업(IIITA-2005-C1090-0502-0038)에 의해 수행되었음

---

## 요 약

최근 시야각 개선을 위한 다양한 커브형 집적 영상 시스템이 연구되어 왔지만, 광학적 구현에 있어서 한축으로만 제한되었다. 본 논문에서는 기존의 집적 영상 시스템에서 큰 구경의 렌즈를 추가적으로 사용하여 구현되는 전방향 커브형 집적영상 시스템을 제안하고, 제안하는 시스템에서의 요소영상을 제작하는 방법을 설명한다. 제안한 시스템은 모든 방향에 대해서 커브 효과를 제공할 수 있고, 단순한 시스템의 구조를 가지는 것을 특징으로 한다. 전방향 커브형 집적 영상 시스템에 대해서 John 행렬을 도입한 기하광학적 분석을 수행하고, 이를 이용하여 새로운 요소영상을 제작하였다. 제작한 요소영상의 성능을 확인하기 위해서 기초적인 광학적 실험을 수행하고, 그 실험 결과를 보고한다.

## ABSTRACT

Recently various types of curved integral imaging system have been reported for improvement of viewing angle. However, the optical implementation has been limited to only unidirectional system. In this paper, we propose a curved integral imaging (CII) system with additional use of a large-aperture lens in conventional II system and explain a generation scheme of elemental images in the proposed system. The proposed system provides full-directional curvature effect and has simple structure due to the use of well-fabricated flat devices. For the full-directional-curved II system, we perform ray analysis based on Johns matrix and synthesize novel elemental images. To show the usefulness of synthesized elemental images, preliminary experiments were performed and some experimental results were presented.

## 키워드

3차원 디스플레이, 커브형 집적 영상, 렌즈배열, 요소 영상

## I. 서 론

최근 3차원 영상과 디스플레이 기술에 관한 연구들이 많이 발표되고 전 세계적으로 많은 관심을 얻고 있다. 영

상 기술이 첨단화 되어 고도의 기술 집적이 이루어지면서 2차원 영상 보다 실감 있고 자연스러우며 보다 인간에 가까운 3차원 영상에 대한 수요가 증가하고 있다.

3차원 디스플레이 기술은 관측자에게 기존의 일반적

---

\* 광운대학교 전자공학과 차세대 3D 디스플레이 연구센터  
\*\* 동아방송대학 영상제작계열

인 디스플레이 장치가 제공하는 평면 이미지가 아니라 입체감있고 실감 있는 3차원 입체영상을 느낄 수 있도록 입체로 표시하는 기술을 말한다. 현재 3차원 입체영상을 디스플레이하기 위한 방법에는 스테레오스코피(stereoscopy), 홀로그래피(holography), 집적영상(integral imaging) 기법 등 여러 가지 기술이 연구 개발되고 있다[1].

이중 스테레오스코피 방식은 인간시각 시스템(human visual system)을 모방한 방식으로 좌·우 양쪽 눈에 대응되는 영상을 구분하여 각각 입력시킴으로써 스테레오 시차(stereo disparity)를 통해 입체감을 느끼게 하는 가장 단순한 구조의 방식이다. 그러나 이 방식은 일반적으로 수평시차로 제한될 뿐만 아니라, 양안에 들어오는 두 영상의 시차와 인간의 초점 기능 사이의 차이에 의해 어지러움 및 눈의 피로감을 느끼게 한다. 따라서 스테레오 방식은 장시간의 입체영상 디스플레이 장치로써 사용이 크게 제한되고 있다.

한편 홀로그래피 방식은 인간이 피로감이 없이 3차원 영상을 느끼는 가장 이상적인 방식이라고 알려져 있지만, 암실에서 레이저를 이용하여 홀로그래프를 합성해야 할 뿐만 아니라 사용하는 광원이 제한적이고 먼 거리의 물체를 표현하는데 문제점을 가지고 있다. 또한, 기존 방식의 과도한 정보량으로 인하여 실시간 전송 및 디스플레이가 어려워 실질적인 응용이 크게 제한되고 있다.

이와 같은 기존 방식의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 방식으로 최근 집적영상(integral imaging) 방식이 활발하게 연구되고 있다[2-8]. 이 방식은 이미 1908년에 처음 제안되었으나 그동안 별 주목을 받지 못하다가 최근 LCD와 같은 평면 디스플레이 장치 및 CCD와 같은 고해상도 영상검출 장치의 개발로 다시 큰 주목을 받고 있다. 집적영상 방식의 주요한 특징은 입체 영상을 관측하는데 안경이나 기타 도구가 필요하지 않고, 시점이 아니라 일정한 시야각 내에서 연속적인 수직, 수평 시차를 제공할 뿐만 아니라 총 천연색 실시간 디스플레이가 가능하며, 기존의 평면 디스플레이와 호환성이 뛰어나다는 점 등을 가지고 있다. 그러나 집적영상 방식은 많은 장점에도 불구하고 완전한 상용화를 이루기 위해서는 시야각, 깊이감, 해상도 면에서 많은 개선이 요구되고 있다.

이런 개선 연구들 중에서 시야각을 향상시키는 한가지 방법으로 다양한 커브형 집적영상 기술이 최근 연구되고 있다[9-11]. 커브형 렌즈배열과 프로젝터를 이용하여 구현한 시스템에서 큰 시야각 개선이 확인되는 것이 보고되

었다. 하지만, 커브형 장치의 사용 때문에 한 축으로만의 커브형 효과를 얻었다[9,10].

본 논문에서는 기존의 집적영상 시스템에서 큰 구경의 렌즈를 추가적으로 사용하는 전방향 커브형 집적영상 방식을 제안한다. 추가적으로 사용된 큰 렌즈는 모든 방향으로 커브 효과를 제공한다. 제안하는 방식은 기존의 커브형 장치들(렌즈배열이나 디스플레이 패널)을 사용하지 않고, 평면 장치들을 사용하기 때문에 구조적으로 간단하다는 장점이 있다. 그리고 전방향 커브형 집적영상 시스템에 대해서 John 행렬을 도입한 기하광학적 분석을 수행하고, 이를 이용하여 전방향 커브형 집적영상 방식의 새로운 요소영상을 제작하였다. 제작한 요소영상의 성능을 확인하기 위해서 기초적인 광학적 실험을 수행하고, 그 실험 결과를 보고한다.

## II. 전방향 커브형 집적영상 시스템

### 2.1 시스템 구조

그림 1은 본 논문에서 제안하는 전방향 커브형 집적영상 시스템의 개략도를 보여준다. 일반적으로 커브형 렌즈배열과 커브형 디스플레이 패널을 그림 1(a)와 같이 사용하게 되면 큰 시야각을 얻게 된다[9]. 그러나 이런 커브형 렌즈배열이나 디스플레이 패널을 직접적으로 제작하는 것은 쉬운 일이 아니다. 그러므로 본 논문에서는 잘 만들어진 평면 렌즈배열과 디스플레이 패널, 그리고 추가적인 큰 구경(Large aperture) 렌즈를 사용하는 등가적인 방법을 제안한다. 여기서 평면 렌즈배열과 큰 구경 렌즈는 서로 그림 1(b)와 같이 접촉되어 있다. 커브형 집적영상 시스템에서 커브정도(curvature)는 큰 구경 렌즈의 초점거리에 의해서 쉽게 조정될 수 있다.

### 2.2 커브형 요소영상의 제작

그림 1(b)의 제안하는 시스템에서 요소영상은 기존 집적영상 시스템의 요소영상의 크기와 동일하게 구해진다. 이것이 기존의 보고되었던 커브형 집적영상 시스템과 다른 점이다. 커브형 시스템의 요소영상을 얻기 위해서는 컴퓨터 픽업 방법을 사용할 수 있다. 컴퓨터 픽업 방법은 요소영상을 컴퓨터적으로 계산하여 얻는 방식으로 3차원 물체의 모든 점들에 대해서 기하광학적 역 매핑(inverse mapping) 과정을 통하여 얻어진다. 기존의 컴퓨터

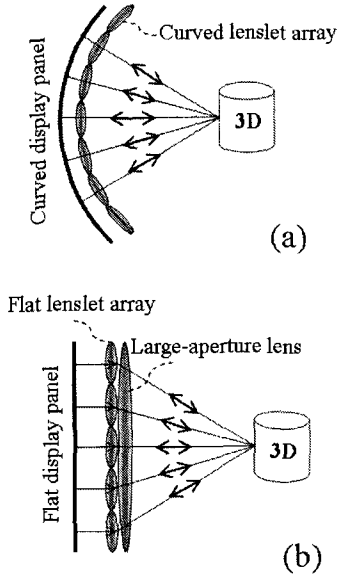


그림 1. (a) 이상적인 커브형 집적 영상 시스템  
(b) 제안하는 시스템

Fig. 1 (a) Ideal curved lens system (b) Proposed system

터 픽업 방법을 이용하여서는 커브형 시스템에 대한 요소 영상을 만들어 낼 수 없다. 따라서 기존의 커브형 집적 영상 시스템에서는 기본적인 컴퓨터 픽업을 하여 얻은 요소 영상을 복잡한 변형과정을 거쳐서 최종적인 커브형 요소 영상을 얻었다[9]. 그러나 커브형 요소 영상의 전체 화소 수의 변화에 따른 크기 변화가 있기 때문에 커브형 렌즈 배열과의 일치시키는 것이 쉬운 일이 아니다.

본 논문에서는 이런 기존의 커브형 요소영상 제작의 문제점을 가지지 않는 새로운 요소 영상을 얻는 방법을 사용한다. 먼저 그림 1(b)의 시스템에 대해서 기하광학적 해석을 수행한다. 이때 큰 구경의 렌즈가 추가적으로 사용되기 때문에 렌즈의 굴절 효과를 고려할 수 있도록 기존의 컴퓨터 픽업 방식에 Johns 행렬을 도입한다[12]. 아래의 설명에서는 해석의 편의를 위해서 1차원적 해석을 수행한다. 2차원으로 쉽게 확장될 수 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 요소영상의 제작 방법을 보여준다. 단순한 해석을 위해서 이상적인 모델을 사용한다. 즉 렌즈배열 대신에 편향배열을 사용하고 큰 구

경 렌즈는 이상적인 thin 렌즈로 가정하였다. 여기서 편향 배열과 디스플레이 패널 사이의 거리를  $g$ 라 하고, thin 렌즈의 초점거리를  $f$ 라고 하자.

본 논문에서의 컴퓨터 픽업이 유효한 조건이 되기 위해서는 그림 2에서처럼 디스플레이 패널의 각 픽셀들에서 출발하여 대응하는 편향을 통과하는 레이(ray)들에 대해서만 한정하여 생각한다. 그러면 그림 2에서의  $k$ 번째 요소영상의  $n$  번째 픽셀에서 출발하는 레이는  $k$ 번째 렌즈릿에 대해서 Johns 행렬로 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} H_n^k(z=0) \\ A_n^k(z=0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kp + nd \\ -\frac{nd}{g} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $H(z)$ 는  $z$  지점에서의 레이의 높이이고,  $A(z)$ 는 레이의 각도이다. 그리고  $P$ 는 렌즈릿의 크기이고,  $d$ 는 요소영상의 한 픽셀의 크기이다. 한편  $z=g$ 인 위치에서 레이는 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} H_n^k(z=g) \\ A_n^k(z=g) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kp \\ -\frac{nd}{g} \end{bmatrix} \quad (2)$$

대응하는 편향에서 교차한 레이들은 편향 배열 면  $z=g$ 에서 임의의 거리  $z$ 까지의 전달함수에 의해 표현될 수 있고, 이때 전달함수  $T$ 는 다음과 같다.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & z-g \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (2)와 (3)으로부터 임의의 거리  $z$ 에서의 레이들의 높이  $H$ 를 구할 수 있다. 그러면

$$H_n^k(z) = kP \left( 1 - \frac{z-g}{f} \right) - \frac{(z-g)nd}{g} \quad (4)$$

가 된다. 식 (4)에서  $H$ 는  $z$ 와  $f$ 의 함수인 것을 알 수 있다.  $f$ 가 무한한 경우 (큰 구경 렌즈를 사용하지 않은 경우)는 기존의 컴퓨터 픽업 방식이 동일함을 알 수 있다.

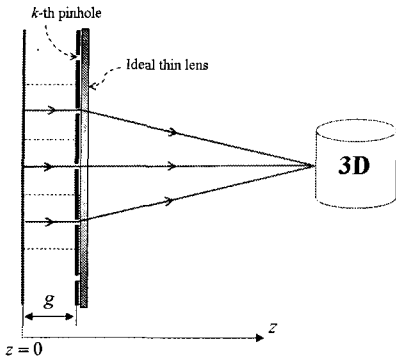


그림 2. 요소 영상의 제작을 위한 레이 분석  
Fig. 2. Ray analysis for elemental image

### III. 광학적 실험 및 결과

제안하는 전방향 커브형 집적 영상 시스템에 대해서 기초적인 광학적 실험을 수행하였다. 그림 3은 광학적 구성도를 보여준다. 평면 디스플레이 패널은 LCD 패널이며, 하나의 픽셀 크기는 36  $\mu\text{m}$ 이다. 그리고 평면 렌즈배열은 총 34×25의 렌즈릿을 가지며, 하나의 렌즈릿은 디스플레이 패널에 30×30 픽셀씩 매핑이 되도록 설계하였다. 그리고 렌즈배열의 한 렌즈릿의 초점거리는 3 mm였다. 실험에서 사용한 큰 구경 렌즈는 직경이 30mm이고, 초점거리가 150 mm인 볼록 렌즈를 사용하였다.

실험에서 구현하고자 하는 3차원 물체로는 그림 3에서 보여지는 '3'과 'D'의 두 문자 패턴이다. '3'은 렌즈배열로부터 30 mm에 위치고 'D' 글자패턴은 3 mm에 위치시켰다. 이들 두 패턴에 대해서 컴퓨터 픽업을 수행하였다. 본 논문에서 설명한 식 (4)의 컴퓨터 픽업 방식에 기초하여 만들어진 요소영상은 그림 4(a)에 보여진다. 반면에 기존의 방식으로 픽업된 요소영상은 그림 4(b)와 같다. 그림 4의 결과에서 보여지듯이 제안하는 방식의 요소영상은 기존의 방식에 비해 '3' 글자 패턴들에 대한 요소영상이 더 많이 공간적으로 흩어져서 샘플링이 되고 있음을 보여준다. 이것은 커브 효과에 의해서 더 넓게 흩어지게 된다.

다음으로 제작된 요소영상에 대한 광학적 디스플레이 특성을 실험하였다. 그림 4의 광학적 실험 구성도에서 본 논문에서 제작한 커브형 요소 영상을 디스플레이 패널에 표현하였다. 이때 디스플레이를 통해서 보여지는 결과를 CCD 카메라를 이용하여 검출하였다. 그 결과를 그림 5(a)

에 나타내었다. 비교를 위해서 그림 5(b)는 그림 4(b)에 보여진 기존 방식의 요소영상을 큰구경 렌즈없이 표현하였을 때의 결과를 보여준다. 그림 5의 두 결과는 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제작하는 커브형 집적 영상 시스템에 대한 요소영상이 제대로 구현되고 있음을 알 수 있다.

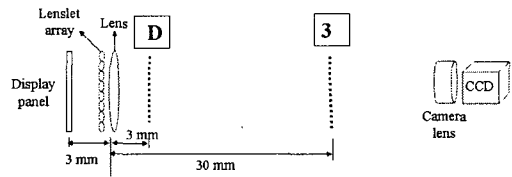


그림 3. 광학적 실험 구성도  
Fig. 3 Experimental setup

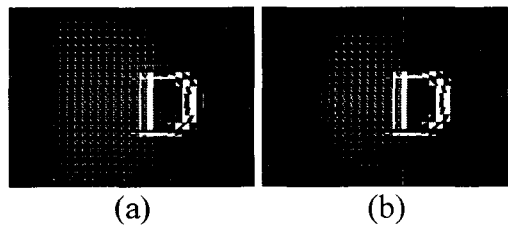


그림 4 합성된 요소 영상 (a) 제안하는 방법 (b) 기존의 방법

Fig. 4. Pickuped elemental images (a) Proposed method (b) Conventional method

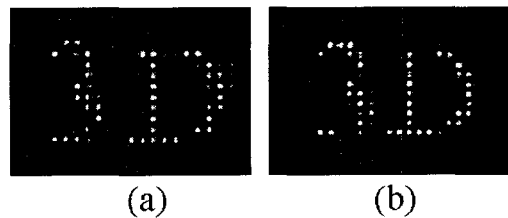


그림 5 광학적 재생 결과 (a) 제안하는 방법 (b) 기존의 방법

Fig. 5. Reconstructed 3D images (a) Proposed method (b) Conventional method

### IV. 결 론

결론적으로 본 논문에서는 기존의 집적 영상 시스템에서 큰 구경의 렌즈를 추가적으로 사용하여 구현되는 완전

커브형 집적영상 시스템을 제안하였고, 제안하는 시스템에서의 요소영상을 제작하는 방법을 설명하였다. 제안하는 전방향 커브형 집적영상 시스템은 모든 방향에 대해서 커브효과를 제공할 수 있고, 단순한 시스템의 구조를 가지는 것을 특징으로 한다. 그리고 John 행렬을 도입한 새로운 기하광학적 해석으로 요소 영상을 제작하였고, 제작한 요소영상의 성능을 확인하기 위해서 기초적인 광학적 실험을 수행하여 올바르게 요소영상이 제작됨을 확인하였다.

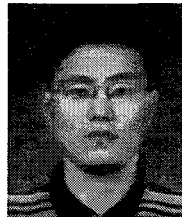
### 참고문헌

[1] 이승현, 김은수, "3차원 영상의 기초", 技多利, 1998.  
 [2] G. Lippmann, "La photographie integrale," C.R. Acad. Sci. 146, 446-451 (1908).  
 [3] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Three-dimensional video system based on integral photography," Opt. Eng. 38, 1072-1077 (1999).  
 [4] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction," Opt. Lett. 26, 157-159 (2001).  
 [5] B. Lee, S. Y. Jung, S.-W. Min, and J.-H. Park, "Three-dimensional display by use of integral photography with dynamically variable image planes," Opt. Lett. 26, 1481-1482 (2001).  
 [6] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging by use of nonstationary micro-optics," Opt. Lett. 27, 324-326 (2002).  
 [7] R. Martinez-Cuenca, G. Saavedra, M. Martinez-Corral, and B. Javidi, "Enhanced depth of field integral imaging with sensor resolution constraints," Opt. Express 12, 5237-5242 (2004).  
 [8] D.-H. Shin, M.-J. Cho and E.-S. Kim, "Computational implementation of asymmetric integral imaging by use of two crossed lenticular sheets," ETRI J. 27, 289-293 (2005).  
 [9] Y. Kim, J. Park, H. Choi, S. Jung, S. Min, and B. Lee, "Viewing-angle-enhanced integral imaging system using a curved lens array," Opt. Express 12, 421-429 (2004).  
 [10] Y. Kim, J.-H. Park, S.-W. Min, S. Jung, H. Choi, and B. Lee, "Wide-viewing-angle integral three-dimensional imaging system by curving a screen and a lens array,"

Appl. Opt., 44, 546-552 (2005).

[11] J. Jang and B. Javidi, "Depth and lateral size control of three-dimensional images in projection integral imaging," Opt. Express 12, 3778-3790 (2004).  
 [12] F. L. Pedrotti and L. S. Pedrotti, Introduction of Optics, (Prentice Hall, 1993).

### 저자소개



신 동 학(Dong-Hak Shin)

1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과 공학사  
 1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사  
 2001년 10월-2004년8월 일본 도요하시 기술대학 연구원  
 2005년 3월-현재 광운대학교 차세대 3D 디스플레이 연구센터 연구 교수  
 ※ 관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리



조 병 철(Byung-Chul Cho)

1998년 2월 관동대학교 전자공학과 학사 졸업  
 2000년 2월 광운대학교 전자공학과 석사 졸업

2004년 2월 광운대학교 전자공학과 박사 졸업  
 2002년 3월-현재 동아방송대학 영상제작계열 조교수  
 ※ 관심분야: 방송 영상제작, 3D 디스플레이, 3D 영상처리



김 은 수 (Eun-Soo Kim)

1978년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사  
 1980년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사

1984년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사  
 1987년 2월-1988년8월 California Instituted Technology 전자공학과 객원교수  
 1992년 3월-현재 광운대학교 전자공학과 교수  
 ※ 관심분야: 3D 영상, 3D 디스플레이, 3DTV, 홀로그래피