

# 렌즈어레이 기반의 실감 3D 집적 영상 디스플레이와 콘텐츠 생성기술

오용석, 신동학, 이병국  
동서대학교

## 요약

렌즈어레이 기반의 3D 집적 영상 디스플레이 기술은 비교적 간단한 시스템 구조에서 무안경 방식의 완전시차(full parallax)를 가지는 3D 영상 표시가 가능하기 때문에 차세대 디스플레이 기술 중에 하나로 여겨지고 있다. 본 고에서는 이러한 렌즈어레이 기반의 3D 집적 영상 디스플레이에 대해서 소개하고, 최근에 성능 향상을 위하여 개발이 진행 중인 시간다중화 3D 집적 영상 디스플레이 기술과 콘텐츠 생성 기술에 대해서 설명한다.

## I. 서론

차세대 디스플레이 기술로서 3D 디스플레이에 대한 연구들이 활발히 진행되어 왔다[1]-[4]. 이러한 3D 디스플레이 기술들 중에서 가장 상업적인 기술은 물체에 대한 두 눈의 시각 차이를 이용하는 스테레오스코피(stereoscopy)이다. 이 기술은 시스템구조가 간단하면서도, 고해상도와 큰 입체감을 가지는 3D 영상을 제공한다[4]. 그러나 수직방향의 시차 부재, 필터안경의 착용 및 어지러움과 눈의 피로 등과 같은 단점들이 존재한다. 이론적으로 가장 이상적인 3D 디스플레이로 알려진 홀로그래피(Holography) 방식은 이러한 제약들을 극복할 수 있기 때문에 최근에 많은 연구들이 진행되고 있다[1][5][6]. 그러나 홀로그래피 디스플레이의 경우, 레이저라는 간섭성(coherent) 광원의 사용, 복잡한 시스템, 과도한 정보량 및 컬러 구현의 어려움 등의 제약들이 존재한다. 그래서 상업적이고 실용적인 홀로그래피(holographic) 디스플레이 제품들이 단시일 내에 나오기가 쉽지 않다.

한편, 원리적으로 홀로그래피와 흡사한 3D 영상을 만들 수 있는 방법으로, 집적 영상(integral imaging) 기술이 최근까지 활발하게 연구되어 왔다[7]-[13]. 1908년에 Lippman 교수에 의하여 처음으로 제안된 이 기술은 2D FPD(flat panel display)에 2차원적인 렌즈어레이(lens array) 또는 핀홀어레이

(pinhole array)를 적용하여 3D 영상을 생성시킨다. 집적 영상 기술은 무안경식, 비교적 간단한 시스템 구조, 완전시차 제공 및 컬러 구현 등의 장점들이 있다. 이러한 장점들이 있는 반면에 작은 시야각, 낮은 해상도, 작은 시점 수, 깊이감의 제한 및 화질 저하 등의 단점들이 존재한다. 그래서 이러한 단점들을 개선하기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다[14][15].

Lippman 교수가 처음으로 제안했던 집적 영상 기술은 물체를 바라보는 방향이 픽업부와 디스플레이부에서 서로 반대이므로 재생되는 영상의 깊이역전(pseudoscopic) 문제를 가지고 있었다. 이 문제의 해결책으로 1931년 Ives는 렌즈어레이 2개를 연결하는 2단 구조의 IP(integral photography)를 제안하였으나, 렌즈의 수차에 의한 왜곡이라는 심한 문제가 존재하였다. 또한 요소 영상의 저장 및 재생 매체로서 필름을 사용함으로써 동영상의 저장 및 재생이 불가능하였다. 이러한 요인들 때문에 이후에 큰 관심을 끌지 못하였다. 그러나 1980년대에 CCD와 같은 고해상도 촬영 소자와 LCD 등의 고해상도 디스플레이 장치가 급속히 발달하면서 집적 영상 기술이 널리 연구되기 시작하였다.

집적 영상을 중점적으로 연구하고 있는 연구 그룹은 국제적으로는 NHK(일본), De Montfort 대학(영국), Connecticut 대학(미국), Valencia 대학(스페인) 등이 있다. 국내에서 집적 영상을 활발하게 연구하는 그룹으로는 서울대, 광운대, 부경대, 동서대 등이 있다[4].

본 고에서는 렌즈어레이 기반의 실감 3D 집적 영상 디스플레이에 대한 기술적 개요를 설명하고, 최근에 저자들이 연구 중인 집적 영상의 매우 낮은 해상도를 개선하기 위하여 시간다중화된 동적 마스크어레이(dynamic mask array)를 이용한 실감 3D 집적 영상 디스플레이 시스템을 설명한다. 이 방식에서는 일련의 마스크 패턴들을 렌즈어레이와 밀착된 마스크 패널에 시간에 따라 순차적으로 표시함으로써 간단하게 3D 영상의 해상도를 증가시킨다. 그리고 제안하는 방식에 적합한 요소영상들을 CG(computer graphics) 기법으로 생성하는 원리를 설명한다. 제안하는 기술의 유용성과 생성된 요소영상들의 적합성을 증명하기 위하여 광학적인 디스플레이 실험을 수행하고, 그 실험결과를 확인한다.

## II. 렌즈어레이 기반의 3D 집적 영상 디스플레이의 개요

### 1. 집적 영상 기술의 개요

3D 집적 영상 기술은 렌즈어레이를 기반으로 구현된다. <그림 1>은 집적 영상의 기본원리를 나타내며, 픽업과 디스플레이라는 2개의 과정으로 나누어진다. <그림 1(a)>는 픽업 과정을 나타내는데, 피사체인 3D 물체와 영상센서 사이에 렌즈어레이가 놓여진다. 렌즈어레이 내부의 각 기초렌즈(elemental lens)는 3D 물체 표면의 한 물체점에 대한 점영상을 영상센서에 형성한다. 3D 물체상의 모든 물체점들에 대하여 이러한 절차를 반복하여 적용하면, 디스플레이에 필요한 요소영상들(elemental images)을 획득할 수 있다. <그림 1(b)>는 디스플레이 과정을 보여주는데, 픽업 과정을 역방향으로 진행시키면 디스플레이 과정은 쉽게 이해된다. <그림 1(a)>에서 획득된 요소영상들이 FPD에 표시되면, 렌즈어레이를 통하여 3D 영상이 형성된다. 자세히 설명하면, 공통된 근원(물체점)을 가지는(요소영상들 내부의) 여러 픽셀들은 렌즈어레이를 통하여 원래의 물체 위치에 하나의 점영상으로 결상된다. 이러한 절차를 모든 근원들에 대하여 반복하면, 3D 물체에 대한 3D 영상이 디스플레이된다.

집적 영상 기술의 주요한 특징들은 다음과 같다[14]. 첫째, 무안경 방식으로 리얼 3D 영상을 공간에 표시한다. 둘째, 시야각

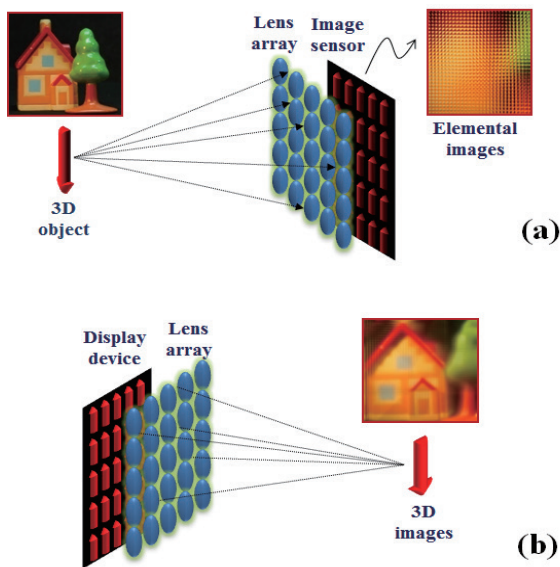


그림 1. 집적영상의 기본 구조 (a) 픽업과정 (b) 디스플레이과정

(viewing angle) 안에서 연속적인 시점을 제공한다. 셋째, 수평 시차와 수직시차를 동시에 즉, 완전시차(full parallax)를 제공한다. 넷째, 실시간 컬러영상의 구현이 가능하다. 다섯째, 기존의 2D 디스플레이와의 호환성이 좋다. 여섯째, 시스템의 기본 구조가 무척 간단하다.

따라서 이러한 장점들을 기반으로 렌즈어레이가 장착된 2D 디스플레이 장치와 고해상도 카메라를 통한 요소영상들의 실시간 전송이 가능해진다면, 3D TV방송 등으로의 응용에 적합할 것으로 기대된다[14]. 이러한 장점들에도 불구하고, 상용화를 위해서는 여러 가지 개선점들이 존재한다. 첫째, 시야각이 작다. 둘째, 3D 영상을 표현할 수 있는 깊이감이 제한된다. 셋째, 3D 해상도가 낮다. 넷째, 요소영상들의 과도한 정보량이다. 이러한 문제점들을 개선하기 위해서 많은 연구들이 진행되고 있다.

### 2. 집적 영상 디스플레이의 분류

3D 집적 영상 디스플레이 기술은 FPD와 렌즈어레이 사이의 거리( $g$ )를 기준으로, 크게 2가지 방식으로 분류될 수 있으며, <그림 2>에서 잘 보여준다[28][29]. <그림 2(a)>와 <그림 2(b)>는 해상도우선 집적 영상(resolution-priority integral imaging, RPI)이라 불리는데,  $g \neq f$ 인 구조를 가진다. 여기서  $f$ 는 기초렌즈의 초점거리이다. <그림 2(a)>와 같이 동일한 물체

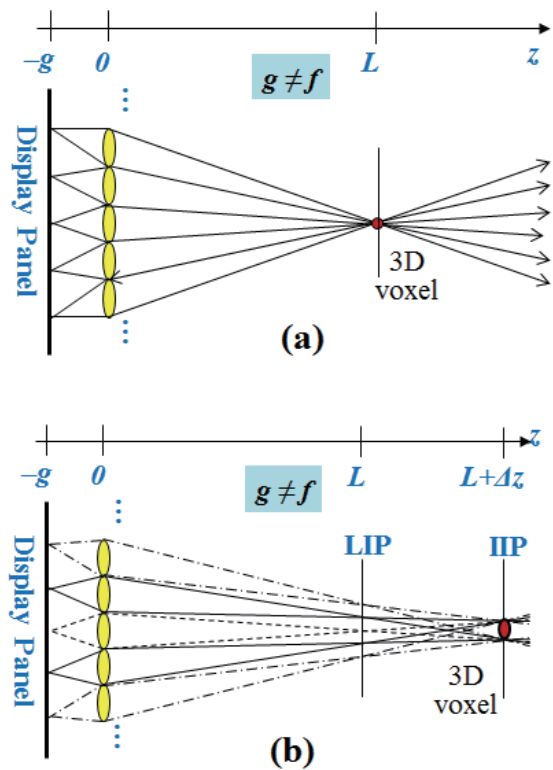


그림 2. 해상도우선 집적영상 디스플레이 (a) RPI( $\Delta z = 0$ ) (b) RPI( $\Delta z \neq 0$ )

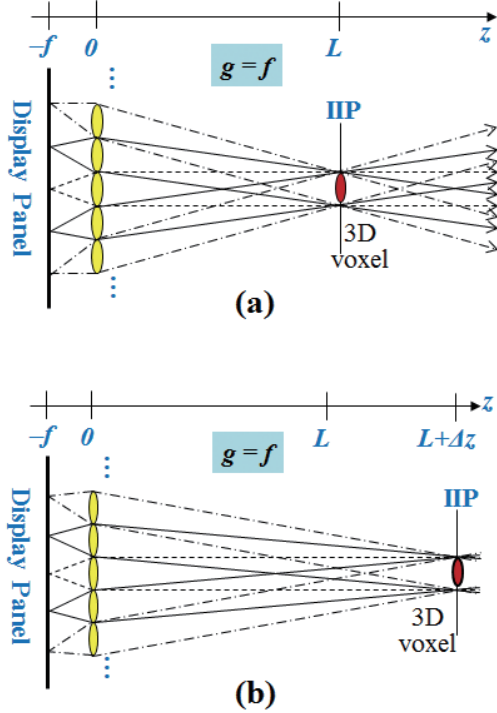


그림 3. 깊이우선 집적영상 디스플레이(a) DPII( $\Delta z = 0$ ) (b) DPII( $\Delta z \neq 0$ )

점에서 픽업된 요소영상들 내의 여러 점들이 렌즈공식에 의하여 동일한 지점( $z=L$ )에 중복 또는 집적해서 결상된다. 그 결과, 복셀(voxel)이 형성된다. IIP(integral image plane)와 기초렌즈의 LIP(lens image plane) 사이의 거리( $\Delta z$ )가 0이기 때문에 복셀 크기는 매우 작으며, 그 결과로 3D 영상의 해상도는 높다. <그림 2(b)>처럼  $\Delta z \neq 0$ (LIP  $\neq$  IIP)인 경우,  $\Delta z$ 가 커질수록 복셀 크기도 증가하며, 해상도는 복셀 크기의 제곱에 반비례하여 나빠진다. 이 때문에 IIP를 LIP 근처로 한정할 수밖에 없다. 즉, 해상도우선 집적 영상은 고해상도의 3D 영상을 디스플레이할 수 있지만, 표현가능한 3D 깊이감이 매우 제한적이다.

<그림 3(a)>와 <그림 3(b)>는  $g=f$ 의 구조가 특징인 깊이우선 집적 영상(depth-priority integral imaging, DPII)을 나타낸다. 렌즈의 초점거리에 위치한 광원에서 나오는 광선들은 회절에 의하여 무한히 평행하게 진행할 수는 없지만, 어느 정도의 거리까지는 충분히 평행을 유지한다고 볼 수 있다. 따라서 깊이우선 집적 영상에서는 해상도우선 집적 영상과는 달리 결상이 발생하지 않는다. 대신에 <그림 3(a)>에서 보이는 것처럼 여러 평행 광들이  $z=L$ 에서 집적된 결과로 복셀이 형성된다. 즉, 깊이우선 집적 영상 디스플레이는 결상은 없지만, 집적에 의하여 복셀이 생성되는 방식이다. 이렇게 생성된 복셀은 기초렌즈의 크기와 같기 때문에 3D 영상의 해상도는 <그림 2(a)>의 경우보다 훨씬 낮다. 반면에 <그림 3(b)>에서 보이는 것처럼  $\Delta z \neq 0$ 인 경우에도 복셀의 크기는 <그림 3(a)>의 경우와 동일하다. 따라

서 IIP는 이론적으로  $z > 0$ 을 만족하는 어떠한 위치라도 가능하다. 단, 이때의 최대 깊이는 회절이론에 의하여 결정된다. 이것은 3D 영상을 표현할 수 있는 깊이 범위가 상당히 넓다는 것을 의미한다. 게다가 실상영역( $z > 0$ ) 뿐만 아니라 허상영역( $z < 0$ )에도 동일한 깊이 범위만큼 표현할 수 있다. 정리하면, 깊이우선 방식은 3D 복셀의 크기로 인해서 3D 해상도는 낮지만, 실상영역과 허상영역을 통합하는 매우 큰 깊이감을 가지는 3D 영상을 디스플레이할 수 있다. 깊이우선 집적 영상의 단점인 해상도를 개선할 수 있다면, 간단한 구조에 큰 깊이감을 제공할 수 있기 때문에 공간영상 3D 디스플레이의 대표적인 기술이 될 것으로 기대된다.

### Ⅲ. 시간다중화 기술을 적용한 3D 집적 영상 디스플레이 및 요소영상 콘텐츠 제작 기술

#### 1. 시스템 기술

본 고에서는 앞서 2장에서 설명한 방법 중에서 깊이감을 충분히 표현하는 깊이우선 집적 영상의 해상도를 향상시키기 위하여 저자 그룹에서 연구 중인 동적 마스크어레이와 이에 대응하는 요소영상들을 함께 디스플레이하는 새로운 광학적인 방법을 설명한다[16]. <그림 4>는 제안하는 시스템의 작동 원리 및 구조를 나타내는데, 동적 마스크가 각 기초렌즈에 부착되어 있다는 것이 특징이다. 마스크 패널에 표시되는 동적 마스크는 각 기초렌즈의 구경(aperture)을 부분적으로 차단한다. 이 때문에 기초렌즈 크기(복셀 크기)가 줄어든다. 그 결과, 집적된 3D 영상은 보다 작은 복셀들로 구성된다. 그런데 복셀의 크기는 감소되지만, 복셀들의 수는 변하지 않는다. 따라서 <그림 4(a)>와 같은 하나의 순서(sequence)만으로는 3D 해상도를 충분히 증가시킬 수 없기 때문에 <그림 4(b)>와 같은 순서가 반드시 필요하다. 그림 4에서 동적 마스크는 수직방향으로 각 기초렌즈의 절반을 차단하기 때문에 3D 영상의 절반만이 그것을 통하여 보여진다. 그러므로 <그림 4(a)>와 <그림 4(b)>로 이루어지는 시간다중화 동작을 행하면, 수직방향으로 2배의 복셀 수를 가지는 완전한 3D 영상이 디스플레이될 수 있다. <그림 4>의 원리를 수평방향에도 적용하면, 3D 영상의 전체 해상도를 4( $=2 \times 2$ )배로 향상시킬 수 있다.

일반적으로 깊이우선 집적 영상에서 기초렌즈의 크기를 작게 하면, 복셀 크기를 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 하지만 이 경우

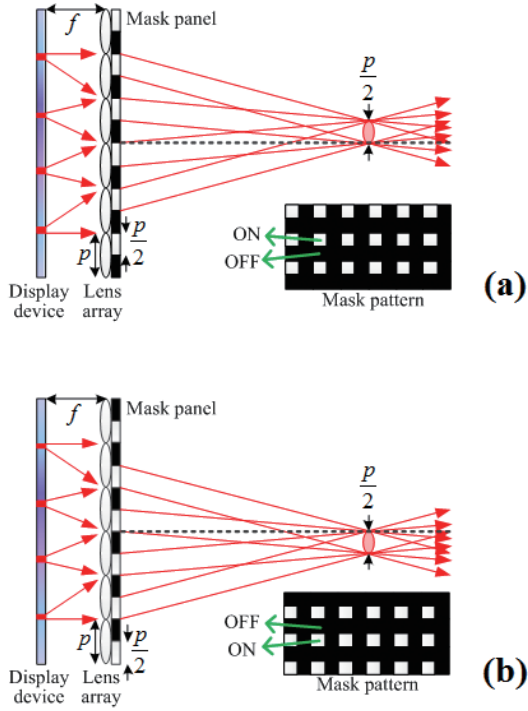


그림 4. 시간다중화 깊이우선 집적영상의 원리 (a) t1일 때. (b) t2일 때.

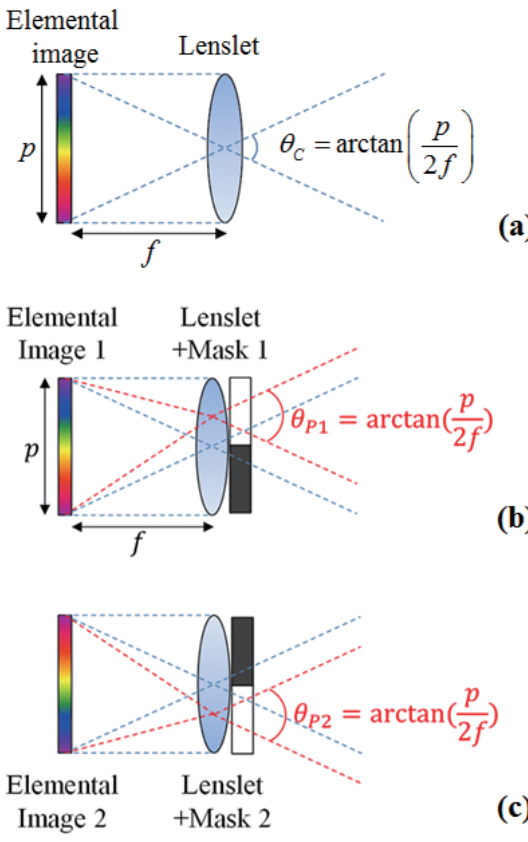


그림 5. 시야각 계산  
(a) 기존 방식 (b) t1일 때의 제안 방식의 시야각 (c) t2일 때의 제안 방식의 시야각

에 요소영상의 크기도 함께 작아지므로 3D 영상의 시야각이 감소하게 된다. 이에 기존 방식과 제안하는 방식의 시야각을 살펴볼 필요가 있다. <그림 5>에서  $\theta_c = \theta_{p1} = \theta_{p2}$  임을 확인할 수 있다. 즉, 제안하는 방식의 경우, 3D 영상의 해상도를 향상시키면서도 시야각은 변동이 없다는 것을 의미한다.

## 2. 요소영상 생성방법

다음으로 3.1절에서 제안한 시간다중화 집적 영상 디스플레이에 3D 영상을 디스플레이하기 위해서는 적절한 요소영상 콘텐츠가 필요하다. 이 요소영상 콘텐츠는 기하광학적인 분석을 통하여 생성될 수 있으며, 이를 <그림 6>에 나타내었다. 편의상, 기초렌즈를 핀홀로 대체하고, 물체는 평면물체인 것으로 가정한다. <그림 6(a)>는 기존 방식에서 요소영상 콘텐츠를 생성하는 원리를 보여준다. n번째 요소영상 내의 한 픽셀값은 대응하는 물체점의 세기와 같은데, 이에 관한 관계식은 다음 식으로 표현한다.

$$E_n(x_1) = O(z_0, x_2) \quad (1)$$

여기서 E와 O는 각각 요소영상과 물체의 세기함수를 의미한다. n번째 요소영상의 한 픽셀에 대응하는 물체점의 위치  $x_2$ 는 다음과 같다.

$$x_2 = \frac{x_1 z_0}{f} + (2n - 1) \frac{p}{2} \left(1 - \frac{z_0}{f}\right) \quad (2)$$

두 관계식 (1)과 (2)로부터 물체에 대한 n번째 요소영상을 계산할 수 있다.

<그림 6(b)>와 <그림 6(c)>는 각각 제안하는 방식의 순서 1( $t=t_1$ )과 순서 2( $t=t_2$ )에 대한 요소영상 생성원리를 나타낸다. <그림 6(b)>에서 물체에 대한 n번째 요소영상은 아래의 식 (3)과 식 (4)로부터 유도될 수 있다.

$$E_n(x_1(t_1)) = O(z_0, x_2(t_1)) \quad (3)$$

$$x_2(t_1) = \frac{x_1(t_1)z_0}{f} + np \left(1 - \frac{z_0}{f}\right) + \frac{p}{4} \left(\frac{2z_0}{f} - 1\right) \quad (4)$$

<그림 6(a)>와 <그림 6(b)>에서 생성된 두 요소영상 사이의 차이점을 알아보기 위하여, 동일한 위치에 존재하는 두 픽셀들의 값을 비교해 보자. 관계식  $x_1(t_1) = x_1$ 을 <그림 6(b)>의 결과식에 대입하면,

$$x_2(t_1) = x_2 + \frac{p}{4} \quad (5)$$

라는 결과식을 얻는다. 이것은 <그림 6(b)>에서 획득되는 물체점의 위치가 <그림 6(a)>의 경우보다  $p/4$ 만큼 높다는 것을 의미한다.

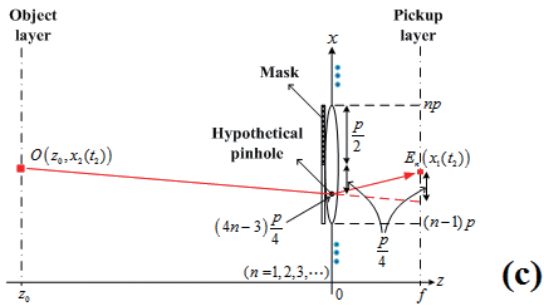
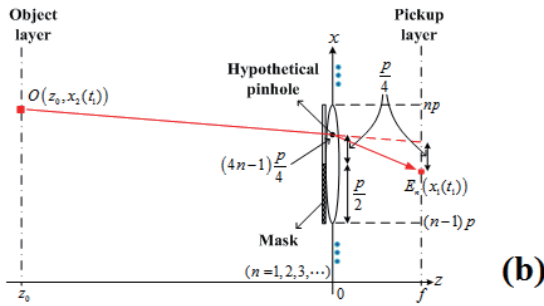
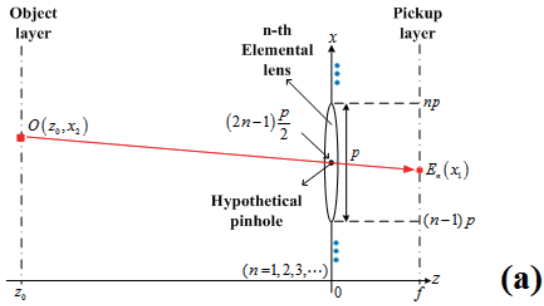


그림 6. 요소영상 생성에 대한 기하광학적 해석  
(a) 기존 방식 (b)  $t_1$ 일 때 (c)  $t_2$ 일 때

〈그림 6(b)〉와 마찬가지로 관계식  $x_1(t_2)=x_1$ 을 〈그림 6(c)〉의 결과식에 대입한 결과는 식 (6)과 같게 된다.

$$x_2(t_1) = x_2 - \frac{p}{4} \quad (6)$$

〈그림 6(b)〉의 경우와는 반대로, 〈그림 6(c)〉에서 획득되는 물체점의 위치가 〈그림 6(a)〉의 경우보다  $p/4$ 만큼 낮다는 것을 의미한다. 지금까지의 설명과정 중에서  $x$ 를  $y$ 로 대체하면,  $y$ 축 방향에 대한 기하광학적인 분석도 수행될 수 있다.

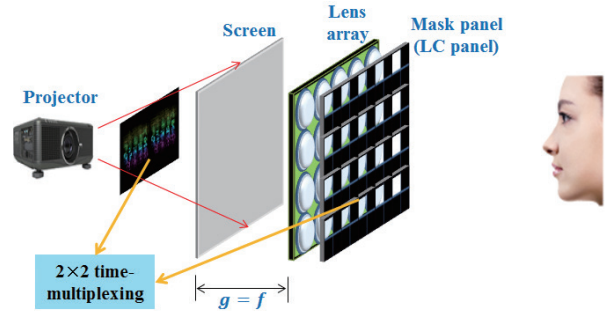


그림 7. 광학적인 디스플레이를 위한 실험구조

## IV. 실험 및 결과

본 고에서 설명한 시간다중화 3D 집적 영상 디스플레이 시스템을 광학적으로 구현하는 실험을 수행하였다. 실험구조는 〈그림 7〉과 같다. 〈그림 8〉은 실제로 구현된 실험셋업을 나타낸다. 본 실험에서는 FPD를 대체하여 1,920×1,080 해상도의 빔프로젝터와 스크린의 조합을 사용하였다. 스크린과 렌즈어레이 사이의 거리는  $f=8$  mm이고, 렌즈어레이와 마스크 패널(LC 패널)은 둘 모두 이론상으로  $z=0$ 에 위치해야 하므로, 실제로는 서로 밀착시켰다. 실험에 사용한 단일 렌즈어레이의 크기는 24인치이고, 내부의 렌즈 수는 330×185개이다. 렌즈의 크기는 약 1.6 mm이고, 초점거리는 약 8 mm이다.

구현된 디스플레이 시스템에서 3D 영상을 디스플레이 하기 위해서는 요소영상 콘텐츠를 3.2절에서 설명한 방식으로 생성하였다. 〈그림 9〉는 요소영상 생성을 위한 픽업구조를 나타낸다.

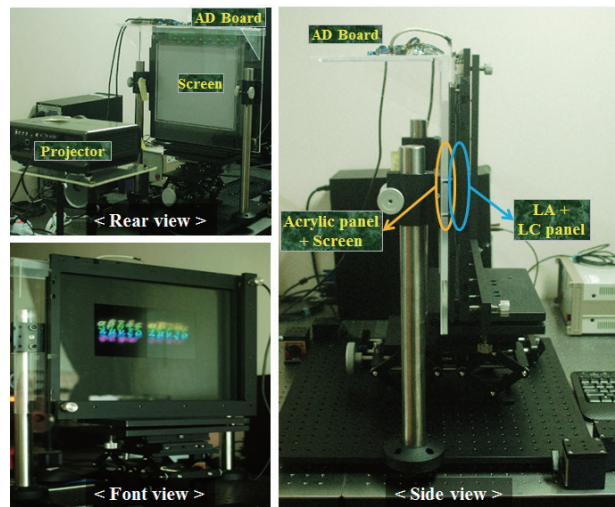


그림 8. 투사형 시스템의 실험셋업

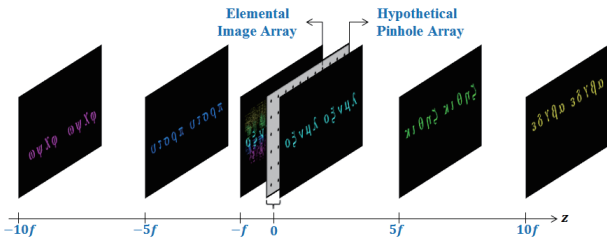


그림 9. 요소영상 생성을 위한 픽업구조

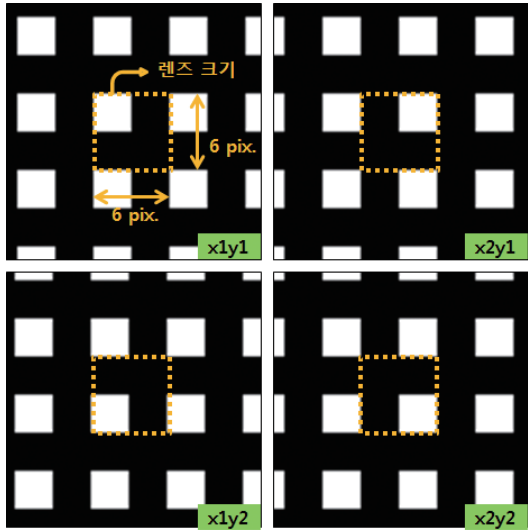


그림 10. 2×2 분할을 위한 마스크 패턴들의 확대모습

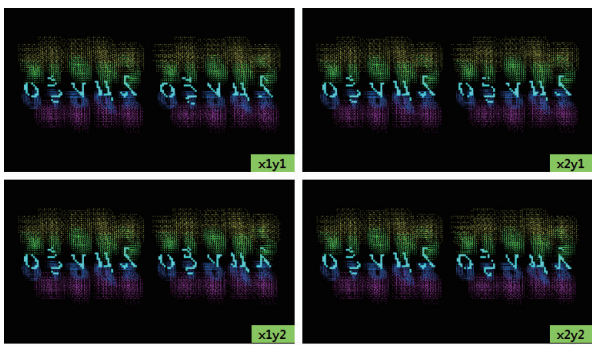
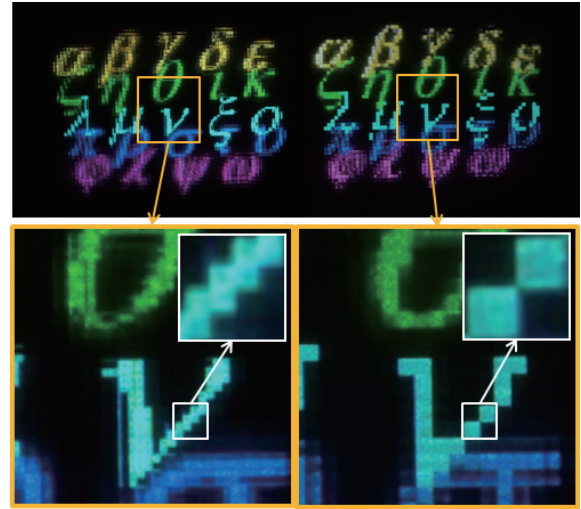


그림 11. 생성된 시간다중화 요소영상들

요소영상 콘텐츠는 CG에 의하여 생성되었다. 렌즈어레이는  $z=0$ 의 위치에 둔다고 가정한다. 그러면 요소영상의 픽업면은 거리  $z=-f$ 의 위치에 얻어지게 된다. 그리고 서로 다른 거리에 위치한 5개의 평면물체를 3D 물체로 가정한다. 각각의 물체에 대해서 3.2절에서 설명한 요소영상 생성방법을 적용하여, 시간다중화용 요소영상 콘텐츠를 획득하였다. 본 실험에서는  $4(=2 \times 2)$ 개의 순서를 가지는 시간다중화를 적용하였으며, 이를 위한 마스크 패턴들은 <그림 10>과 같다.



제안 방식

기존 방식

그림 12. 기존 방식과 제안된 방식의 3D 실험결과

이 패턴들이 마스크 패널(LC 패널)에 표시되면, 각 기초렌즈의 일부분을 선택적으로 개폐하게 된다. 또한 이 마스크 패턴들에 맞게 생성된 4개의 요소영상들은 <그림 11>에서 확인할 수 있다.

<그림 11>의 요소영상 콘텐츠들을 <그림 8>의 3D 집적 영상 디스플레이 실험셋업에서 디스플레이하였다. 요소영상들은 빔프로젝터에서 투사되어 스크린에 결상되며, <그림 10>의 마스크 패턴들은 마스크 패널(LC 패널)에 표시된다. 마스크 패널은 기계식이나 고정식이 아니라 전자식이다. 일반적인 LCD 모니터의 내부부품 중에서 2D 영상을 표시하는 LC 패널과 구동회로판이 마스크 패널로 사용되었다. 만약,  $4(=2 \times 2)$ 배의 해상도 증가를 위하여 요소영상들과 마스크 패턴들을 시간다중화 기술로 디스플레이하면, 빔프로젝터의 화면재생율이 60 Hz이기 때문에 관측자는 완전한 3D 영상을  $15(=60 \div 4)$  Hz의 속도로 관찰할 수 있다. 실제의 실험은 각 순서를 단계적으로 디스플레이하였고, 각각 촬영된 4개의 미완성된 영상들을 CG로 합성하였다. 그 결과영상은 온전한 3D 영상을 보여준다.

<그림 12>는 이러한 광학적인 디스플레이 실험의 결과를 보여준다. <그림 12>에서 왼쪽 영상은 제안하는 방식의 결과영상이고, 오른쪽은 기존 방법의 결과영상이다. <그림 12>에서 보듯이, 동적 마스크와 시간다중화가 적용되어서 디스플레이되는 3D 영상의 해상도가  $4(=2 \times 2)$ 배로 증가되었음을 실험적으로 확인할 수 있다.

## V. 결어

본 고에서는 최근 차세대 3D 디스플레이 기술로 고려되고 있는 렌즈어레이 기반의 3D 집적 영상 디스플레이 기술에 대한 개요를 설명하였고, 저자 그룹에서 개발한 3D 해상도가 향상되는 시간다중화된 동적 마스크어레이를 사용하는 깊이우선 집적 영상 방식을 설명하였다. 또한 이 방식이 적용된 디스플레이 시스템을 위한 컴퓨터적인 요소영상 생성방법도 설명하였다. 그리고 제안한 방식에 따라서 실험셋업을 구성하였고, CG로 생성된 요소영상 콘텐츠를 광학적으로 디스플레이하였다. 그 결과, 관측되는 3D 영상의 해상도가 4배로 향상됨을 실험적으로 확인하였다. 240 Hz이상의 화면 재생율을 제공하는 현재의 FPD 기술 수준을 고려하면, 제안된 방식은 3D 영상의 질을 개선시키는 데에 유용할 것으로 기대된다.

현재 집적 영상 기술은 해상도, 깊이 및 시야각 등의 복합적인 성능 향상을 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 깊이우선 방식에서는 충분한 깊이를 가지기 때문에 해상도와 시야각을 증가시키려는 연구가 진행되고 있고, 해상도우선 방식에서는 높은 해상도를 바탕으로 깊이와 시야각을 향상시키려는 연구가 진행되고 있다. 향후 이 두 방식에서 충분히 높은 해상도, 시야각, 깊이 등이 구현이 가능하다면 차세대 공간 디스플레이 기술로 발전할 것으로 예상된다.

## Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신미디어산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [10041682, 집적 영상(IP) 깊이 표현 범위를 개선한 고선명 3D 영상 처리 기술]

## 참고 문헌

[1] D. Gabor, "Holography 1948?1971," Proc. IEEE vol. 60, pp. 655-668, 1972.  
 [2] S. Benton and M. Bove, Holographic Imaging (Wiley Interscience, 2008).  
 [3] Jason Geng, "Three-dimensional display technologies," Adv. Opt. Photon. vol. 5, pp. 456-535, 2013.  
 [4] 김승철, 신동학, 김은수 "3차원 입체영상 센싱, 이미징 및

디스플레이를 위한 집적 영상 및 디지털 홀로그래피 기술," 한국광학회 25권4호, 169-192쪽, 2014.

- [5] D. E. Smalley, Q. Y. Smithwick, V. M. Bove, J. Barabas, and S. Jolly, "Anisotropic leaky-mode modulator for holographic video displays," Nature vol. 498, pp. 313-317, 2013.  
 [6] C. Slinger, C. Cameron, and M. Stanley, "Computer-generated holography as a generic display technology," Computer vol. 38(8), pp. 46-53, 2005.  
 [7] G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief," J. Phys. (Paris) vol. 7, pp. 821-825, 1908.  
 [8] J.-H. Park, S. Jung, H. Choi, and B. Lee, "Viewing-angle-enhanced integral imaging by elemental image resizing and elemental lens switching," Appl. Opt. vol. 41, pp. 6875-6883, 2002.  
 [9] J.-S. Jang and B. Javidi, "Three-dimensional synthetic aperture integral imaging," Opt. Lett. vol. 27, pp. 1144-1146, 2002.  
 [10] R. Martinez-Cuenca, G. Saavedra, A. Pons, B. Javidi, and M. Martinez-Corral, "Facet braiding: A fundamental problem in integral imaging," Opt. Lett. vol. 32, pp. 1078-1080, 2007.  
 [11] D.-H. Shin, S.-H. Lee, and E.-S. Kim "Optical display of true 3D objects in depth-priority integral imaging using an active sensor," Opt. Commun. vol. 275, pp. 330-334, 2007.  
 [12] C.-W. Chen, M. Cho, Y.-P. Huang, and B. Javidi, "Improved viewing zones for projection type integral imaging 3D display using adaptive liquid crystal prism array," J. Display Technol. vol. 10, pp. 198-203, 2014.  
 [13] 박순기, 이창건, 김종현, 홍종영, 이병호 "집적 영상 기반 초다시점 디스플레이," 정보와 통신, 31권, 2호, pp.52-60, 2014.  
 [14] J. Hong, Y. Kim, H.-J. Choi, J. Hahn, J.-H. Park, H. Kim, S.-W. Min, N. Chen, and B. Lee, "Three-dimensional display technologies of recent interest: principles, status, and issues [Invited]," Appl. Opt. vol. 50, pp. H87-H115, 2011.  
 [15] B. Lee, "Three-dimensional displays, past and present," Phys. Today vol. 66(4), pp. 36-41, 2013.

- [16] Y. Oh, D. Shin, B.-G. Lee, S.-I. Jeong, and H.-J. Choi, "Resolution-enhanced integral imaging in focal mode with a time-multiplexed electrical mask array," Opt. Express vol. 22, pp. 17620-17629, 2014.

약 력



오 용 석

1998년 부경대학교 공학사  
 2002년 부경대학교 공학석사  
 2015년 부경대학교 공학박사  
 2012년~현재 동서대학교 IAI 연구소 연구원  
 관심분야: 홀로그래피, 집적영상, 3D디스플레이



신 동 학

1996년 부경대학교 공학사  
 1998년 부경대학교 공학석사  
 2001년 부경대학교 공학박사  
 2001년~2004년 일본 도요하시기술대학  
 선임연구원  
 2005년~2006년 광운대학교 3DRC 연구교수  
 2007년~현재 동서대학교 IAI연구소 연구원  
 관심분야: 3D 영상 획득, 3D 영상복원,  
 3D 디스플레이, 홀로그래피 등



이 병 국

1987년 연세대학교 이학사  
 1989년 KAIST 이학석사  
 1993년 KAIST 이학박사  
 1995년~현재 동서대학교 소프트웨어공학 교수  
 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 영상처리