

---

# 스테레오 증강현실 홀로그래피에서의 삼차원 공간감 비교

## Comparison of 3D Space Perception for the Stereoscopic AR Holography

김민주, Minju Kim\*, 원광연, Kwangyun Wohn\*\*

---

**요약** 최근 플로팅 방식의 홀로그램이 전시, 교육, 광고 등에 많이 활용되고 있다. 그중에 하프 미러 방식은 플로팅 홀로그램 중 가장 널리 쓰이는 방식 중 하나이다. 하지만 하프 미러 방식은 완벽한 3차원 홀로그램의 경험을 주지는 못한다. 이미지가 공중에 떠 있는 것처럼 보이는 하나, 홀로그램의 궁극적 목표인 공간상에 가상 이미지를 표현하지는 못한다. 더욱이 하프 미러 후면에 실제 오브젝트를 두고 가상의 이미지와 결합하여 함께 보여주려고 할 때, 두 객체가 공간상에서 불일치되는 현상이 발생한다.

본 논문에서는 스테레오 증강현실 홀로그래피에서의 삼차원 공간감 비교를 위한 연구를 진행하였다. 3차원 공간에서의 정확하고 효율적인 증강현실 구현을 위하여 하프 미러 기반 홀로그래픽 시스템에 입체 영상기법을 적용하였다. 이는 하프 미러 필름 후면에 위치한 실제 오브젝트와 하프 미러를 통해 반사된 가상 이미지가 같은 공간상에 함께 어우러져 있는 것처럼 표현할 수 있다. 또한, 맵스 카메라를 사용하여 사용자의 움직임에 맞게 가상 카메라를 조절함으로써 자연스러운 페러릭스 표현이 가능하도록 하였다. 본 연구에서 제안하는 방법은 별도의 추가 장치 없이, 단지 하프 미러 필름을 통해서 비교적 간단하고 정확하게 실제 객체의 위치와 같은 공간상에 증강된 시각 정보를 표현한다. 제안한 증강현실 홀로그래피에서의 삼차원 공간감에 대해 비교 실험을 한 결과, 2D 이미지를 적용한 경우 보다 3D 이미지 혹은, 3D 이미지와 사용자 인터랙션을 함께 적용한 경우, 사용자에게 3차원 공간감, 현실감(realism)을 더 정확하고 효과적으로 제공할 수 있음을 확인하였다.

**Abstract** Recently, the use of floating hologram has increased in many different aspects, such as exhibitions, education, advertisements, and so on. Especially, the floating hologram that makes use of half-mirror is widely used. Nevertheless, half-mirror, unfortunately, cannot lead users to the perfect three dimensional hologram experience. Even though it can make the vision look to be up on the air, it does not have the capacity to display itself up on the air, which is the ultimate goal of hologram. In addition, it looks inconsistent when a real object is located behind the half-mirror in order to show the convergence of the two (object and the half-mirror).

In this paper, we did the study on comparison of 3D space perception for the stereoscopic AR holography. At first, we applied stereoscopic technology to the half-mirror hologram system for the accurate and realistic AR environment. Then, the users can feel as if the real 3D object behind half-mirror and the reflected virtual image are converged much better in the 3D space. Furthermore, by using depth camera, the location and direction of graphics can be controlled to change depending on the user's point of view. This is the effective way to produce augmented stereoscopic images simply and accurately through half-mirror film without any additional devices. What we saw from the user test were applying 3D images and user interaction leads the users to have 3D spatial awareness and realism more effectively and accurately.

**핵심어:** *floating hologram, half-mirror projection, 3D stereoscopic, augmented reality, interaction*

---

\*주저자 : 한국과학기술원 문화기술대학원 석사과정

\*\*공동저자 : 한국과학기술원 문화기술대학원 교수

■ 접수일 : 2013년 7월 15일 / 심사일 : 2013년 8월 6일 / 게재확정일 : 2013년 9월 12일

## 1. 서론

최근 플로팅 방식의 홀로그램이 전시, 교육, 광고 등에 많이 활용되고 있다. 플로팅 방식의 홀로그램은 기존의 스크린을 통해 보여주는 방식 보다 사용자에게 더 몰입감 있는 경험을 제공해왔다. 그중에 하프 미러 방식은 플로팅 홀로그램 중 가장 널리 쓰이는 방식 중에 하나이다. 이는 기존의 프로젝터나 모니터 디스플레이 장비를 사용하여 간단한 구성으로 손쉽게 투명 디스플레이의 효과를 재현하는 것을 가능하게 한다.

그럼에도 불구하고 하프 미러 방식은 완벽한 3차원 홀로그램의 경험을 주지는 못한다. 이미지가 공중에 떠 있는 것처럼 보이기 는 하나, 홀로그램의 목표인 공간상에 위치시키지는 못한다. 즉 이미지는 실제 세계에 놓인 제한된 하프 미러 필름 크기에 해당하는 영역에만 평평하게 디스플레이 된다. 결과적으로 사용자는 허공에 떠 있는 평평한 스크린을 보는 것 이상의 경험을 하지 못한다. 또 하프 미러 뒤에 실제 오브젝트를 위치시켜 가상의 이미지와 결합하여 함께 보여주고자 할 때, 공간상 불일치되는 현상이 발생한다.

그런데 최근에 입체영상 기술이 많이 발전하면서 입체 디스플레이 환경을 구축하고 그 효과를 확인한 사례가 많다. 특히 게임에 입체 효과를 적용했을 때, 사용자에게 몰입감뿐만 아니라 Spatial Presence를 제공한다[1]. 또 사용자들에게 3D 입체로 제작된 콘텐츠를 제공하였을 때, 그들은 콘텐츠와 더 정확하고 빠르게 인터랙션 하였다고 한다[2].

본 연구는 효과적인 증강현실 환경을 위해서 하프 미러 홀로그램 시스템에 입체 영상 기법을 적용하는 새로운 방법을 제시한다. 또한 사용자의 움직임에 맞게 콘텐츠의 위치와 방향을 자연스럽게 조절하는 인터랙션을 적용한다. 본 연구의 목적은 효과적인 증강현실 환경을 위한 새로운 시스템을 디자인하고 이를 통해 사용자가 느끼는 3차원 공간감, 현실감, 그리고 콘텐츠에 대한 만족감을 평가한 뒤 유의미한 결과를 도출하는데 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 투명 디스플레이를 활용한 플로팅 홀로그램이 활용되고 있는 사례 및 연구의 특징과 최근 동향을 살펴보고 입체 영상 기술의 실감성에 관한 연구에 대해서 알아본다. 3장에서는 본 연구에서 제안한 홀로그램 그래픽 디스플레이의 시스템 구성에 대해서 논한다. 그리고 4장에서는 본 연구에서 제안한 시스템의 효과에 대한 사용자 실험 설계와 평가를 수행한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 논의되어야 할 내용을 다룬다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 투명디스플레이를 활용한 플로팅 홀로그램

기존의 플로팅 방식 홀로그램은 투명하고 보이지 않는 스크

린을 사용해서 사용자의 시야를 방해하지 않고 그들을 가상세계로 몰입시킨다는 목적으로 비디오 컨퍼런싱[3], [4], 패션 쇼[5] 및 3D 작업환경 등에 많이 활용되었다[6]. Optical see-through 디스플레이와 하프 미러 필름을 활용한 경우 이를 통해 사람들이 실세계와 가상세계를 자연스럽게 즉각적으로 볼 수 있게 하고, 더 풍부한 작업 공간 또한 제공 가능하다[7], [8], [12]. 이와 관련하여 반투명 하프 미러 필름을 사용해서 환자의 실제 몸에 가상의 수술 가이드라인을 제공하는 등 의료 분야에서 새로운 방식을 제시한 사례가 있다[9], [10]. 또한 Obeysekare와 Wiegand는 프로젝터와 거울을 활용하여 여러 사람이 거울을 통해 반사되어 공중에 떠 있는 듯 한 정보를 보며 함께 작업하고 인터랙션 할 수 있는 워크벤치 시스템을 제안하였다[10], [11].

### 2.2 증강현실 표현에 투명디스플레이를 활용한 사례

실제 오브젝트를 두고 그 위에 플로팅 홀로그램 방식으로 이미지를 매핑 시키는 전시 사례가 많다. Hilliges는 하프 미러 필름을 활용하여 하프 미러 뒤에 있는 실제 오브젝트와 하프 미러를 통해 반사된 가상의 오브젝트가 텐저블 게임, 텔레 프레젠테이션 등으로 인터랙션 하는 방법을 제안하였다[2]. Blackwell과 Krger는 반투명 디스플레이를 통해 증강된 의료 정보를 표현하는 방법을 제시하였고, 수술 중의 가이드 역할, 외과 수술 교육, 그리고 의료 계획 등에 활용될 수 있는 가능성에 대해 언급하였다[13], [14]. Mulder 역시 하프 미러를 활용하여 별도의 추가 장치 없이 적은 비용으로 효과적인 증강현실을 표현하는 방법과 실제 오브젝트와 가상의 이미지가 정합 되었을 때의 사실적인 오클루전 표현 방법에 대하여 언급하였다[15]. 뿐만 아니라 자연사 박물관과 같은 전시환경이나 코카콜라, 시계 등 광고에서도 플로팅 홀로그램 방식의 증강현실을 적용시켰다. 하지만 뒤에 실제 오브젝트가 있음에도 불구하고 가상 이미지는 실제 오브젝트 보다 앞에 위치한 스크린에 맺히기 때문에 이는 오브젝트 보다 항상 앞에 있는 것으로 밖에 표현이 안 된다. 본 연구에서는 기존의 홀로그램 그래픽 디스플레이에 입체 영상을 적용하여 가상 이미지와 실제 오브젝트가 공간상에서 정합 된 것처럼 표현하려고 한다.

### 2.3 입체 영상 기술의 활용

입체 영상 기술을 활용하여 공간상에 이미지가 입체로 재현하였을 때 그것이 실감적이라는 연구들이 많다. 기존의 2D 환경에 깊이 정보가 추가되었을 때, 사용자들에게 그 깊이와 공간에 대한 이해를 확장시킨다고 한다[4]. Hilliges는 2D 환경과 3D 입체 환경에서 각각 3D 오브젝트를 선택할 때의 속도, 정확성에 대해 실험하였다[2]. 그 결과로, 입체 환경일 때 모노스코

픽 환경에서 보다 사용자들은 더 빠르게 태스크를 수행하였고 실제로 그 오브젝트를 만지는 듯 한 느낌을 더 받았다고 하였다. 또 게임 환경이 스테레오일 때 사용자가 경험, 몰입하는 정도를 평가하는 연구에서는 입체 3D 그래픽 요소들이 사용자들의 게임 경험을 더 확장시킨다고 언급하였다[1]. Cruz-Neira 역시 가상현실 환경인 CAVE 시스템에 스테레오 영상을 적용하여 사용자에게 더 풍부하고 효과적인 가상 경험을 제공하였다[16]. 입체 효과가 몰입감과 공간감을 제공하는데 있어서의 가능성을 증강현실 홀로그래픽과 같은 환경에도 적용해 볼 수 있다.

### 3. 시스템 구조

#### 3.1 시스템 디자인

사용자와의 인터랙션 공간인 앞부분을 제외한 모든 부분은 사용자의 사용성(Usability)을 높이기 위해 빛을 차단하는 검은 색 천으로 둘러싸여져 있다. 시스템 내의 투명 스크린을 통해, 사용자는 공중에 떠 있는 듯 한 가상 이미지를 볼 수 있다. 시스템의 앞쪽 상단에는 톱스 카메라(Kinect)가 있고 이것은 사용자의 움직임을 실시간으로 파악한다. 이를 통해, 사용자는 투명 스크린 앞에 서서 자신의 시선에 맞게 위, 아래, 옆으로 움직이는 이미지를 볼 수 있다. 우리는 가상 이미지가 공중에 떠 있는 것처럼 표현하기 위해서 반투명 거울과 하프미러 필름을 사용하였고 시스템의 전체 크기는  $100 \times 200 \times 100 \text{cm}^3$ 이다(그림1).

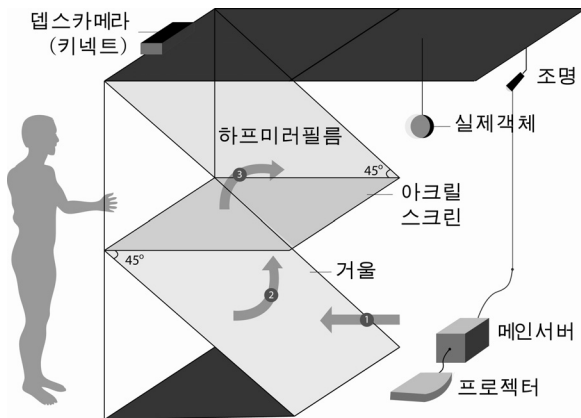


그림 1. 홀로그래픽 디스플레이 시스템 구조

시스템의 아래와 위쪽에 거울과 하프 미러 필름이 각각 45도의 각도로 평행하게 놓여있고 그 중간에 아크릴 스크린을 두었다. 시스템 아래에서 프로젝터로 쏜 입체 이미지가 일단 거울에 반사되어 아크릴 스크린에 맺힌다. 그리고 나서 그 이미지가 하프 미러 필름에 다시 반사되어 사용자에게 보이는 방식이다. 프로젝터의 해상도는  $1,024 \times 768$  Pixel이고 밝기는 4,000 ANSI LUMEN이다. 뮤전 아이라이너(MUSION EYELINER) 시스템의 42인치 크기의 투명 하프 미러 필름을 사용하였고 이 필름

은 육안으로 확인할 때 약 50%의 빛을 반사시키고 약 50% 빛을 투과시킨다. 하프 미러 필름 후면에는 실제 오브젝트를 공중에 둘 수 있는 공간이 있다. 오브젝트가 공중에 떠있어 보이도록 하기 위해 투명한 줄로 오브젝트를 매달았다. 또 오브젝트가 어두운 홀로그래픽 시스템 내부에서도 잘 보이도록 시스템 내부에 컨트롤 가능한 조명을 설치하였다.

#### 3.2 3D 입체 표현

하프 미러 필름에 2D 이미지를 프로젝션 시키면 실제 오브젝트와 스크린 사이의 거리가 있어서 깊이감 사이에서 괴리감이 생긴다[17]. 하지만 기존의 평면 이미지에 깊이 정보를 추가하면 공간상에서의 입체 홀로그래픽을 구현할 수 있다. 이것은 사용자로 하여금 디스플레이 화면이 하프 미러 필름 뒤에 있는 실제 오브젝트와 만나는 것처럼 착각하도록 만든다. 즉 실제 3D 오브젝트와 하프 미러를 통해 반사된 가상의 이미지가 함께 어우러진 것 같은 느낌을 전달할 수 있다(그림2).

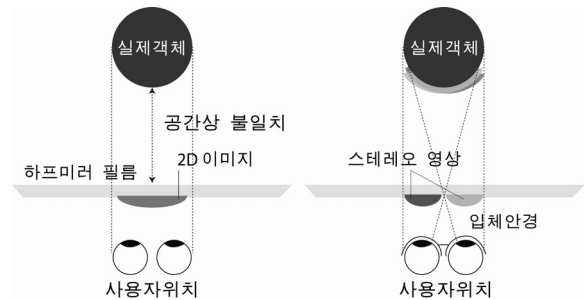


그림 2. 2D 이미지(좌), 스테레오 영상(우)을 각각 적용

입체를 표현하는 방법에는 적청(Anaglyph) 방식, 패시브(Passive) 방식, 그리고 액티브(Active) 방식이 있다. 패시브 방식은 하프 미러 필름의 난반사 현상으로 인해 빛을 분산시켜서, 편광을 유지하지 못 해서 본 시스템에는 활용하기 어렵다. 따라서 적청, 액티브 방식이 본 시스템에 적합하다. 실제 사용자 테스트에서는 구현의 단순함을 위해서 적청 방식을 적용하여 콘텐츠를 제작하였다. 적청 방식은 색상 차이를 이용해 양안으로 보는 이미지를 각각 추출하고 다시 특수 안경을 끼고 두 이미지를 통합해서 보는 방식이다. 구현이 비교적 단순하면서도 입체 효과가 좋다. 실제로 프로세싱 내부에 가상 카메라 두 대를 설치하고 각 눈으로 보는 이미지에 색상 차이를 만들고 추출하여 콘텐츠를 만들었다. 입체 이미지를 본 시스템에 적용시키고 관찰한 결과 이는 사용자에게 두 객체 간에 일치된 공간감을 제공하기는 하나, 사용자가 위치를 옮겨가며 객체를 관찰하는 경우에 위치상에서의 일치감을 전달해주지는 못한다는 한계점을 발견하였다.

### 3.3 인터랙션: 헤드 트래킹

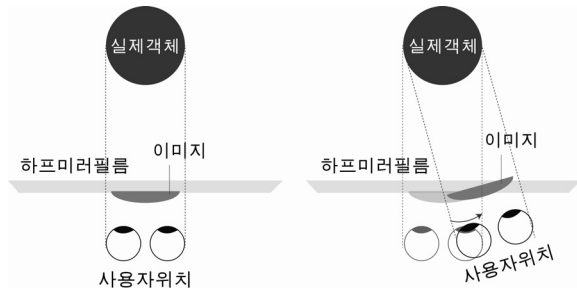


그림 3. 인터랙션: 헤드 트래킹

시스템 앞에 있는 웹스 카메라는 모션 패러릭스를 가능하게 하기 위해서 사용자의 머리를 실시간으로 트래킹 한다(그림4). 이것은 사용자가 어느 위치에서 보아도 일관되게 실제 오브젝트와 가상의 입체 이미지가 공간상에서 결합된 것처럼 보이게 한다[12]. 우선 사용자의 위치를 실시간으로 파악하고, 파악된 사용자의 위치와 가상의 삼차원 공간에서 그래픽을 렌더링 시킬 두 대의 카메라를 연동시켰다(그림3). 이는 사용자의 움직임에 맞게 가상 카메라를 조절함으로써 자연스러운 오클루전을 표현할 수 있다[18]. 이를 통해 사용자와 콘텐츠 간의 상호작용(interactivity)을 더 높일 수 있다.

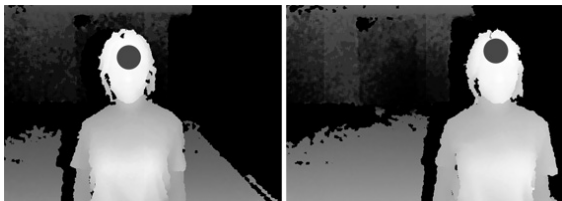


그림 4. 실시간 사용자 머리 인식을 위한 웹스 맵

3장에서는 적청 방식의 3D 입체 표현과 실시간 헤드 트래킹을 통한 인터랙션을 적용한 하프 미러 홀로그래픽 시스템을 제시하였다. 본 시스템을 바탕으로 그림 1의 실제 객체 위치에 구 모형의 객체를 공중에 매달고, 실험을 위한 2D, 3D 입체 가상 이미지를 만들어 본 연구의 목적인 스테레오 증강현실 홀로그래피에서의 삼차원 공간감 비교를 위한 실험 환경을 구축하였다.

## 4. 사용자 평가

본 연구에서 제안한 효과적인 증강현실 환경 구축을 위한 입체 효과와 사용자 인터랙션 적용에 대한 사용자 평가를 하기 위하여 정량적 평가를 수행하였다. 2D 이미지, 3D 이미지, 그리고 3D 이미지와 사용자 인터랙션이 있을 때의 효과를 각각 비교하기 위한 실험으로 진행되었다.

## 4.1 사용자 실험 설계

우선 정량적 평가를 진행하기에 앞서 사용자가 하프 미러 기반 입체 홀로그래픽 시스템에 익숙해질 수 있도록 하기 위한 시간을 가졌다(그림5). 사용자에게 각각 다른 위치에 놓여있는 실제 오브젝트, 가상 오브젝트를 보여주었고 사용자는 각각의 위치를 조절해보면서 깊이감 차이를 체험할 수 있다.

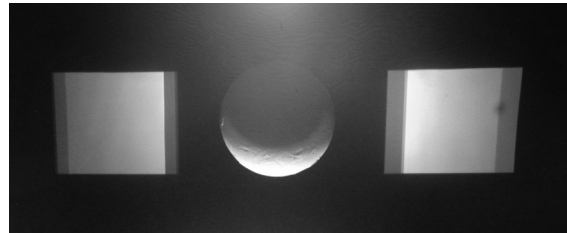


그림 5. 정량적 평가를 진행하기 전, 사용자가 시스템에 익숙해질 수 있도록 제공한 한 입체 이미지 (왼쪽부터 상대적 깊이감이 -100인 가상 큐브 모형, 상대적 깊이감이 0인 실제 구 모형, 상대적 깊이감이 +100인 가상 큐브 모형)

정량적 평가는 본 논문에서 제안한 기존의 하프 미러 기반 홀로그래픽 시스템에 입체감(공간감)과 사용자 인터랙션을 적용하였을 때의 효과를 검증하기 위한 실험으로, 하프 미러 필름에 2D 이미지, 3D 이미지, 그리고 3D 이미지와 사용자 인터랙션을 적용한 이미지를 각각 적용하였다. 처음에는 사용자에게 실제 구 모형과 이와 같은 크기와 색상의 가상 구 모형 이미지를 동시에 보여주고, 두 오브젝트가 같은 공간상에 위치하도록 가상의 구 모형 이미지의 위치를 이동시키는 태스크를 수행하도록 하였다. 하지만 사용자 8명을 대상으로 파일럿 테스트를 진행한 결과, 사용자가 깊이감 보다는 가상의 구 모형의 크기에 의존하는 경향을 보였다. 그리하여 가상 이미지의 크기에 상관없이 깊이감(Z값)에만 의존하여 수행할 수 있는 태스크를 재설계 하였다. 이는 실제 구 모형과 가상의 고리 모형 이미지가 공간상에서 서로 가운데에 위치하도록 가상의 고리 모형의 위치를 조절하는 것이다.

첫 번째 실험인 2D 이미지를 적용하는 방식은 기존의 전시, 광고 등에서 사용되는 방법으로 본 논문에서 제안한 방법과의 비교를 통해 3D 입체 이미지 적용의 효과성을 검증할 수 있다. 두 번째 및 세 번째 실험은 본 논문에서 제안한 하프 미러 필름에 3D 이미지와 3D 이미지, 사용자 인터랙션을 각각 적용한 경우이다. 이 경우에는 사용자에게 입체 안정을 착용하도록 한 뒤 첫 번째 실험과 같은 방법으로 태스크를 수행하도록 하였다. 세 번째 실험인 3D 이미지와 사용자 인터랙션이 적용된 경우에는 시스템의 앞쪽 상단에 있는 웹스 카메라에 자신의 위치를 인식시킨 후 시선을 좌, 우로 자유롭게 움직이면서 태스크를 수행하였다. 이는 사용자가 실제 구 모형과 가상의 고리 모형의 정면 뿐만 아니라 좌우 측면도 동시에 관찰할 수 있도록 한다. 사용

자가 실험을 완료하는 과정까지의 시간, 키보드를 조작하면서 가상 이미지의 위치를 이동시킨 횟수, 그리고 공간상 두 모형의 위치 차이를 측정하도록 하였다. 실험을 위한 프로그램은 Processing으로 구현되었다. 그림 6과 그림7은 실제 실험에 사용된 2D, 3D 이미지이다.

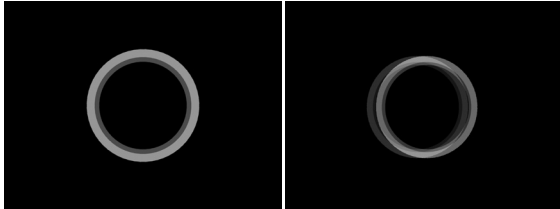


그림 6. 사용자 평가를 위한 2D(좌), 3D(우) 고리 이미지

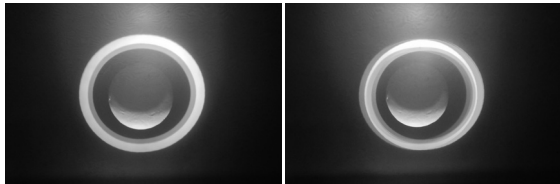


그림 7. 실제 구 모형과 가상 고리 모형의 2D(좌), 3D(우) 이미지가 각각 동시에 보이는 실험 환경

#### 4.2 사용자 평가 및 논의

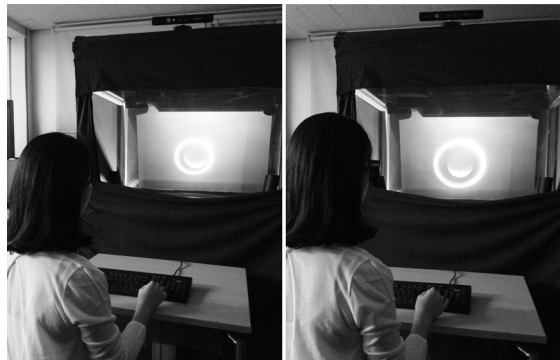


그림 8. 실험과정. 2D 이미지(좌), 3D 이미지(우)

본 논문에서 제안한 시스템의 효과를 검증하기 위해서 대학생 20명(남 14명, 여 6명, 평균연령 25.9세)을 대상으로 2D 이미지를 적용하였을 때, 3D 이미지를 적용하였을 때, 그리고 3D 이미지와 사용자 인터랙션을 적용하였을 때 순서로 비교 실험을 수행하였다. 그림8은 실험 과정을 보여준다.

그림 9는 사용자가 조작한 가상의 고리 이미지와 실제 구 모형의 위치 차이를 측정한 결과를 보여준다. 우선 2D 이미지를 적용시킨 첫 번째 실험의 경우, 평균 위치 차이 값은 445.63pixel(편차 182.65pixel)로, 대부분 사용자의 실험 결과 값은 기준 값과 상당히 큰 차이를 나타냈다. 반면 두 번째 및 세

번째 실험의 경우, 결과 값이 각각 78.125pixel(편차 62.74pixel), 56.87pixel(편차 55.58pixel)로, 앞선 첫 번째 실험 결과 보다 상대적으로 위치 차이 값이 적었다. 즉, 2D 이미지를 적용한 경우, 가상의 이미지가 실제 오브젝트 보다 항상 앞에 위치한 것처럼 보이기 때문에 사용자들이 공간상의 깊이감을 느낄 수가 없어서 결과 값의 에러율이 컸고 표준편차도 컸다. 반면, 3D 이미지를 적용한 경우 사용자들은 2D 이미지를 적용한 경우 보다 실제 구 모형의 중심과 더 가까운 곳에 고리를 위치시켰다. 편차 역시 비교적 낮아서 3D 이미지가 적용되었을 때 사용자들은 보다 일반적으로 유사한 깊이감을 느낀다는 점을 알 수 있다. 특히 인터랙션이 적용된 세 번째 실험의 경우 사용자들은 여러 각도에서 이미지를 관찰하며 실험을 수행하였고 그 결과 에러율이 가장 낮았다. 이는 본 논문에서 제안한 3D 입체 이미지를 적용시킨 경우 사용자가 더 빠르고 정확하게 공간감을 형성한다는 점을 의미한다.

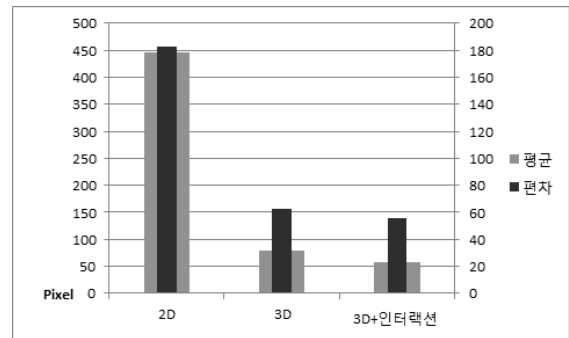


그림 9. 공간상 두 모형의 위치 차이를 측정된 결과

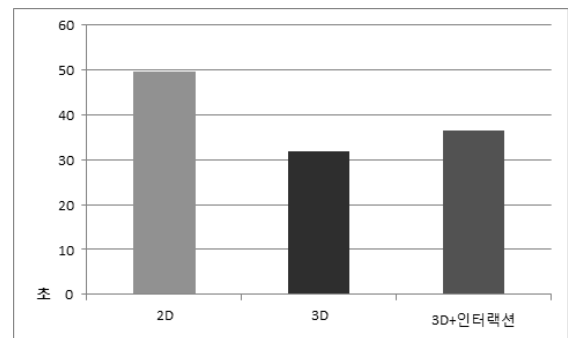


그림 10. 실험을 완료하기까지의 시간을 측정된 결과

사용자들의 실험 완료 시점까지의 시간을 측정된 결과에 대한 그래프는 다음의 그림10과 같다. 2D 이미지를 적용시킨 첫 번째 실험의 경우, 사용자는 실제 구 모형보다 항상 앞부분에 위치한 가상 이미지를 조작하면서 깊이감을 일치 시켜야했기 때문에 평균 49.68초의 다소 긴 시간 동안 태스크를 수행하였고, 대부분이 혼란스러워하였다. 3D 이미지를 적용시킨 두 번째 실험의 경우, 그 결과 값은 31.81초로, 사용자들은 가장 빠르고 비교적 쉽게 태스크를 수행하였다. 한편, 3D이미지와 사용

자 인터랙션이 동시에 적용된 경우에는 사용자가 좌우로 시야를 옮기면서 다양한 각도에서 모형을 관찰하고 태스크를 수행하여서, 그 결과 평균 36.44초로, 3D 이미지만 적용한 경우보다 많은 시간을 소모하였다.

표 1. 세 가지 실험의 테스트 수행 시간 대한 Oneway ANOVA 테스트 결과

제곱합	제곱평균	F비	P-값	F기각치
2754,5	1377,25	4,844236	0,012434	3,204317

해당 결과가 통계적으로 유의미한지를 검증하기 위해서 ANOVA 테스트를 수행하였으며 다음의 표1과 같은 결과를 얻었다. p-값이  $0,012434 < 0,05$ 이므로 통계적으로 유의미함을 알 수 있다.

사용자들의 실험 과정에서 키보드를 조작한 횟수를 측정된 결과에 대한 그래프는 다음의 그림11과 같다. 조작 횟수 역시 본 논문에서 제안한 방법인 3D 이미지를 적용시켰을 때, 특히 실시간 사용자 인터랙션이 적용된 경우에 사용자들이 공간감 인지를 더 빨리할 수 있다는 결과를 얻었다. ANOVA 테스트 결과 다음의 표2와 같이 p-값이  $0,000474 < 0,05$ 이므로 통계적으로 유의미함을 알 수 있다 (표2).

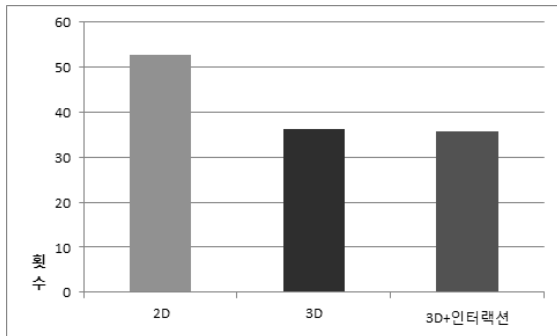


그림 11. 사용자의 객체 조작 횟수를 측정된 결과

표 2. 세 가지 실험의 키보드 조작 횟수에 대한 Oneway ANOVA 테스트 결과

제곱합	제곱평균	F비	P-값	F기각치
3016,16	1508,08	9,117412	0,000474	3,204317

실험이 끝난 후, 실험에 참여한 사용자를 대상으로 인터뷰를 진행하였다. 그 결과 대부분의 사용자들은 2D 이미지가 적용되었을 때, 두 모형이 계속 일치되지 않는 것처럼 보여서 어려웠다는 의견을 주었다. 또한 깊이감을 맞춘다는 느낌보다는 상대

적으로 앞에 위치한 평면 스크린에서 이미지 크기를 조절하는 느낌이라 두 모형을 같은 공간상에 위치시키기 힘들었다고 하였다. 한편, 3D 이미지를 적용한 실험의 경우, 사용자는 모형의 깊이감을 조절하는 것이 직관적이고 쉽다는 의견을 주었다. 더욱이 실시간 사용자 인터랙션이 적용된 경우 모형을 관찰할 수 있는 시야가 넓어지고 그만큼 얻는 정보가 많아지기 때문에 태스크를 수행하기 수월하였다고 하였다. 하지만 입체 안경의 착용감이 불편하여 실험 도중 방해로 받았고 자신의 움직임과 실제 가상 이미지의 움직임이 완벽하게 잘 매치되는 않았다는 지적을 받았다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 효과적인 증강현실 환경을 위해서 하프 미러 홀로그래프 시스템에 입체 영상 기법을 적용하는 새로운 접근 방법을 제시하였다. 이는 사용자가 하프 미러 필름 뒤에 위치한 오브젝트와 하프 미러 위에 프로젝션 된 가상 이미지가 마치 잘 어우러진 것처럼 볼 수 있도록 하였다. 더욱이, 웹캠 카메라를 사용하여 사용자의 머리 위치에 맞게 가상 카메라를 조절함으로써 자연스러운 패러럭스 표현이 가능하도록 하였다. 이는 사용자의 움직임에 맞게 실시간으로 이미지가 렌더링 되어 보이도록 한다. 본 연구에서 제안한 방법은 별도의 추가 장치 없이, 하프 미러 필름을 통해서 비교적 쉽고 간단하게 공중에 증강된 입체 영상을 재현하는 효과적인 방법이다. 사용자 테스트 결과 3D 입체 이미지를 적용한 경우 2D 이미지를 적용한 것보다 더 효과적으로 3차원 공간감, 현실감(realism)을 제공할 수 있음을 확인하였다. 더욱이 실시간 사용자 인터랙션이 더해진 경우에 사용자의 시점에 맞게 보다 일관적으로 콘텐츠를 전달할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 제시한 증강현실 홀로그래픽 디스플레이 시스템이 앞으로, 1) 실제 오브젝트와 가상 이미지 모두 정적인 상황, 2) 본 논문에서 제시한 방식인, 실제 오브젝트는 정적이지만 가상이미지가 사용자의 인풋에 따라 인터랙티브한 상황, 그리고 3) 실제 오브젝트와 가상 이미지가 모두 인터랙티브한 상황의 유형으로 분류되어 교육, 전시/광고, 게임 등에 신선하게 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

## 참고문헌

- [1] Jonas S., Joseph L. and Maic M. Understanding user experience in stereoscopic 3D games. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New York, pp. 89-98, 2012.
- [2] Otmar H., David K., Shahram I., Malte W. and Andrew W. HoloDesk: direct 3d interactions with a situated see-through display. In Proceedings of

the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. pp. 2421-2430. 2012.

- [3] Ronald A., Yohan B., Reinhold B., Steven F., Simon J. and Blair M. Recent Advances in Augmented Reality. IEEE Computer Graphics and Applications. 21(6). pp. 34-47. 2001.
- [4] Christopher S. Spatial input/display correspondence in a stereoscopic computer graphic work station. In Proceedings of the 10th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. New York: ACM, pp. 253-261. 1983.
- [5] Florian S., Moritz A., Tim J. and Sunna P. [http://www.timjockel.de/projects/project\\_eckert.html](http://www.timjockel.de/projects/project_eckert.html). 3D Holographic Fashion Show Performed in Hamburg. June 6, 2013.
- [6] Oliver B. Combining optical holograms with interactive computer graphics. Computer. 37(1). IEEE Computer Society. pp. 85-91. 2004.
- [7] Feng Z., Henry B. D. and Mark B. Trends in Augmented Reality Tracking, Interaction and Display: A Review of Ten Years of ISMAR. In Proceedings of 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. pp. 193-202. 2008.
- [8] Martin H., Benoit B., Aur 1. C. and Jean-Baptiste R. Toucheo: Multitouch and Stereo Combined in a Seamless Workspace. In Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology. New York. pp. 587-592. 2011.
- [9] Bernd S., Helmut S. and Tanja W. A Flexible Tracking Concept Applied to Medical Scenarios Using an AR Window. In Proceedings of International Symposium on Mixed and Augmented Reality. pp. 261-262. 2002.
- [10] Thomas E. W., David W. S., Ben W. L. S. Virtual Workbench: Near-Field Virtual Environment System with Applications. Presence: Teleoperators and Virtual Environments. 8(5). pp. 492-519. 1999.
- [11] Upul O., Chas W., Jim D., Larry R., Robert R., Fernando G., Ravi R., Alexandra L. and William S. Virtual workbench—a non-immersive virtual environment for visualizing and interacting with 3D objects for scientific visualization. In Proceedings of the 7th conference on Visualization. IEEE Computer Society. pp. 345-ff. 1996.
- [12] Jan F., Paweena U., Tamas U., Aaron J. F., Nathan B. C., Gabor F., Iulian I. I. and John A. C. MRI Image Overlay: Application to Arthrography Needle Insertion. Computer Aided Surgery. pp.12(1): 2-14. 2007.

- [13] Mike B., Constantinos N., Anthony M. D., and Takeo K. An Image Overlay System for Medical Data Visualization. In Proceedings of the First International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. pp. 232-240. 1998.
- [14] Wolfgang K., Christian-A. B., Bernd F., Heinrich S., Wolfgang S. and Gerold W. The Responsive Workbench: A Virtual Work Environment. Computer. 28(7). IEEE Computer Society. pp. 42-48. 1995.
- [15] Jurriaan D. M. Realistic Occlusion Effects in Mirror-Based Co-Located Augmented Reality System. In Proceedings of the 2005 IEEE Conference 2005 on Virtual Reality. IEEE Computer Society. pp. 203-208, 326. 2005.
- [16] Carolina C., Daniel J. S. and Thomas A. D. Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE. In Proceeding SIGGRAPH '93 Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. pp. 135-142. 1993.
- [17] Ramesh R. and Oliver B. Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. A K PETERS Limited. 2005.
- [18] Jinha L., Alex O., Hiroshi I. and Cati B. SpaceTop: Integrating 2D and Spatial 3D Interactions. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York. pp. 189-192. 2013.

#### 김민주



2008년 3월 ~ 2012년 2월 부산대학교 디자인학과 영상정보 전공 졸업(디자인 학사). 2012년 2월 ~ 현재 한국과학기술원 문화기술대학원 석사과정. 관심분야는 증강현실, 인간-컴퓨터 상호작용임.

#### 원광연



1984년 매릴랜드대학 전산학 박사, 1984년 ~ 1986년 하버드대학 연구원, 1986년 ~ 1991년 펜실바니아대학 조교수, 1991년 ~ 현재 KAIST 교수, 현재 KAIST 문화기술대학원 교수. 관심분야는 가상현실, 인간-컴퓨터 상호작용.