

## 가상현실 환경에서 3D 가상객체 조작을 위한 인터페이스와 인터랙션 비교 연구

박경범 · 이재열<sup>†</sup>  
전남대학교 산업공학과

### Comparative Study on the Interface and Interaction for Manipulating 3D Virtual Objects in a Virtual Reality Environment

Kyeong-Beom Park and Jae Yeol Lee<sup>†</sup>  
Dept. of Industrial Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

Received 22 September 2015; received in revised form 3 December 2015; accepted 16 December 2015

#### ABSTRACT

Recently immersive virtual reality (VR) becomes popular due to the advanced development of I/O interfaces and related SWs for effectively constructing VR environments. In particular, natural and intuitive manipulation of 3D virtual objects is still considered as one of the most important user interaction issues. This paper presents a comparative study on the manipulation and interaction of 3D virtual objects using different interfaces and interactions in three VR environments. The comparative study includes both quantitative and qualitative aspects. Three different experimental setups are 1) typical desktop-based VR using mouse and keyboard, 2) hand gesture-supported desktop VR using a Leap Motion sensor, and 3) immersive VR by wearing an HMD with hand gesture interaction using a Leap Motion sensor. In the desktop VR with hand gestures, the Leap Motion sensor is put on the desk. On the other hand, in the immersive VR, the sensor is mounted on the HMD so that the user can manipulate virtual objects in the front of the HMD. For the quantitative analysis, a task completion time and success rate were measured. Experimental tasks require complex 3D transformation such as simultaneous 3D translation and 3D rotation. For the qualitative analysis, various factors relating to user experience such as ease of use, natural interaction, and stressfulness were evaluated. The qualitative and quantitative analyses show that the immersive VR with the natural hand gesture provides more intuitive and natural interactions, supports fast and effective performance on task completion, but causes stressful condition.

**Key Words:** Virtual reality, Interface and interaction, User experience, Hand gesture, Leap Motion

## 1. 서 론

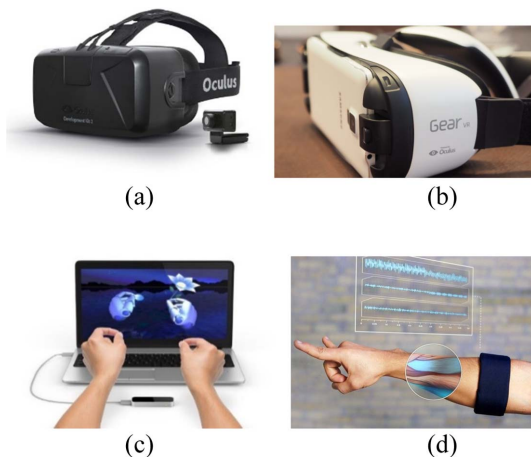
가상현실(virtual reality, VR)이란 컴퓨터를 이용

하여 특정한 가상의 환경이나 상황을 만들어 사용자에게 현실의 주변 환경과 상호작용을 하고 있는 것처럼 느끼게 해주는 인간과 컴퓨터 사이의 가상적 인터페이스다<sup>[1]</sup>. 초창기 가상현실은 마우스와 키보드를 이용하여 상호작용을 하였고 2D 디스플레이에 가상환경을 보여주었지만, 실제 환경과 비

<sup>†</sup>Corresponding Author, jaeyeol@jnu.ac.kr  
©2016 Society of CAD/CAM Engineers

교했을 때 몰입감이 떨어지는 데스크톱 가상현실이 대다수를 차지하였다. 하지만 최근에 들어 다양한 센서와 정보처리의 발달로 관절이나 손동작의 제스처 인식 센서와 디스플레이를 머리에 장착하여 실제 환경에 있는 것처럼 사용자에게 몰입감을 제공해주는 헤드 마운티드 디스플레이(head mounted display, HMD) 장비의 발전으로 가상환경에서 보다 더 자연스럽게 직관적인 가시화 및 인터랙션이 가능해졌다.

상호작용 인터페이스를 지원할 목적으로 개발되었으며 무엇보다도 데이터 글러브(data glove)를 사용하지 않고도 몸짓이나 손짓 등의 제스처를 인식할 수 있는 장비로는 키넥트(Kinect)<sup>[8]</sup>, 립모션(Leap Motion)<sup>[9]</sup>, 그리고 MYO<sup>[14]</sup> 등이 있다(Fig. 1). 키넥트는 RGB(red-green-blue) 영상뿐만 아니라 깊이 정보도 함께 제공하기 때문에 다양한 동작인식이 가능하여 게임 등에 폭넓게 활용되고 있다. 특히, 몸 관절(body skeleton) 추적에 효과적으로 사용될 수 있으며 최근에는 동시에 여러 명의 몸 관절도 추적할 수 있다. 반면에, 립모션의 작동 원리는 키넥트와 유사하나 주로 사용자의 손 제스처 인식에 특화되어 있다. 따라서, 립모션은 손의 위치, 손가락 관절정보 등 사용자의 손 제스처를 인식하는데 특화된 소형 키넥트라고 할 수 있다. MYO(gesture control armband)는 착용자의 팔목에 장착하여 근육 안에 흐르는 전기 신호를 측정하여 손을 흔들거나 손가락을 움직이고 팔을 돌리는 등의 움직임 정보를 제공한다.



**Fig. 1** Multi-modal input and output interfaces for VR: (a) Oculus Rift DK2<sup>[16]</sup>, (b) Gear VR<sup>[5]</sup>, (c) Leap Motion<sup>[9]</sup>, (d) MYO<sup>[14]</sup>

또한, 몰입형 가상현실을 체험할 수 있도록 도와주는 대표적인 HMD 장비로는 데스크톱에서 활용이 가능한 Oculus VR사의 Oculus Rift DK2<sup>[15]</sup>와 스마트폰과 연동할 수 있는 삼성전자의 Gear VR<sup>[4]</sup> 등이 있다. Oculus Rift DK2는 HMD의 입체 영상 기술과 머리추적 기술(head tracking)을 결합하여 가상현실 가시화 정보의 출력뿐만 아니라 정보의 입력 또한 가능하도록 지원한다. Gear VR은 스마트폰 화면이 가상현실 디스플레이 역할을 하도록 고안되어 이용자가 보다 손쉽게 사용할 수 있고 이동성을 높일 수 있다.

비록 이러한 장비들이 최근에 출시되어 몰입형 가상현실에서 다양한 인터페이스를 지원하기 위한 초석은 마련되었지만, 가상객체와의 효과적인 인터랙션을 제공할 수 있는 방법에 관한 연구는 여전히 필요하며 현재 진행형이다<sup>[18,19]</sup>. 그 이유는 가상객체와의 인터랙션은 가상객체의 선택이나 이동, 회전 등의 조작이 요구될 뿐만 아니라, 사용자의 위치 추적이나 손 동작 등의 제스처 인식도 필수적이기 때문이다<sup>[17,21]</sup>. 더욱이, 다양한 상호작용 인터페이스가 활용이 되고 있기 때문에 사용성이나 사용자 경험에 미치는 영향에 대한 분석도 반드시 필요하다.

가상객체의 선택 및 조작과 관련된 기존 연구로는 Go-Go 방법<sup>[17]</sup>, HOMER<sup>[3]</sup>, 팔의 움직임 영역 범위 내에서 가상객체 조작성<sup>[13]</sup> 등이 있다. 특히, Go-Go 방법과 HOMER 방법은 원거리의 가상객체를 선택하고 조작할 수 있는 방법이다. 하지만, 이들 연구에서는 자연스러운 손 제스처 인식 및 활용에 대한 구체적인 방법은 제시되지 않았다.

손이나 몸짓 제스처를 인식하기 위해서 컴퓨터 비전<sup>[23]</sup>, 데이터 글러브<sup>[11]</sup>, 그리고 깊이 센서<sup>[7,12]</sup> 등을 활용한 연구결과도 발표되었다. 각각 장단점을 내포하고 있기 때문에 가상현실 환경이나 상호작용 범위에 따라 효과적으로 활용되어야 한다. 관련연구를 살펴보면, 가상현실 환경에서 어셈블리 작업<sup>[19]</sup>이나 제품유효성 확인<sup>[6]</sup>이나 CAD 작업<sup>[23]</sup>에 활용된 연구가 제시되었다. 또한, 립모션과 같은 센서를 이용하여 3차원 가상 환경에서 손 제스처를 인식하고 이를 활용하여 객체를 효과적으로 조작성하는 방법에 관한 연구도 시도되었다<sup>[4,24]</sup>. Oren 등은 실제현실과 가상현실 상에서 3차원 조각퍼즐 실험을 비교하였고<sup>[15]</sup>, Boud 등은 인식과 연상 그리고 결합의 세 가지 인지발달과정을 인용하여

일반 도면과 가상현실 그리고 증강현실의 가상모델을 비교분석 하였다<sup>[2]</sup>. 하지만 가상환경 하에서 다양한 인터페이스를 활용한 인터랙션에 대한 사용성(usability)이나 사용자경험(user experience, UX) 평가에 관한 비교연구는 드물었다.

한편, 상호작용 인터페이스와 HMD 장비는 3차원 가상 환경을 더욱 실감나게 만들어주는 장점도 있지만 인식을 저하와 멀미증상 야기와 같은 단점도 동반한다. Lee 등은 HMD의 멀미증상 완화를 위해서 머리 추적을 이용한 조작방법을 제시하였다<sup>[10]</sup>. 이러한 단점에도 불구하고 현재 몰입형 가상현실이 각광받고 있기 때문에 상호작용을 효과적으로 지원할 수 있는 인터페이스와 이를 활용한 가상객체 인터랙션에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 3차원 가상현실 환경에서 다양한 인터페이스를 활용한 가상객체와의 인터랙션에 대한 사용성과 사용자 경험에 대한 평가를 정성적이고 정량적으로 분석하고자 한다. HMD 기반의 몰입형 가상현실을 지원하고자 착용이 가능한 소형 깊이 센서를 활용한 연구에 초점을 맞추었다. 키넥트와 같은 깊이 센서<sup>[6,8,12]</sup>도 몸과 손의 제스처 인식에 활용이 어느 정도 가능하지만 HMD를 착용한 상황에서는 효과적인 사용이 어렵다. 따라서, 본 연구에서는 데스크톱 가상현실뿐만 아니라 몰입형 가상현실에도 효과적으로 활용될 수 있는 립모션을 사용하였다.

가상객체와 상호작용을 지원하는 인터페이스와 이를 활용한 인터랙션을 비교평가하기 위해서 다음과 같은 3가지 가상현실 환경을 구축하였다: 1) 키보드와 마우스 중심의 데스크톱 가상현실(VR1), 2) 립모션을 활용한 손 제스처 기반 데스크톱 가상현실(VR2), 3) HMD와 손 제스처 기반의 몰입형 가상현실(VR3). 우선 제스처 기반의 인터랙션과 마우스와 키보드 기반의 인터랙션 간의 사용성 평가를 실시하였다. 또한, 제스처뿐만 아니라 몰입감을 제공할 수 있는 HMD를 착용한 후 사용성 및 사용자 경험에 대한 정량적·정성적 비교분석을 실시하였다. 이를 통해서 일반적으로 활용되는 인터페이스와 인터랙션에 대한 장단점을 알아보고자 한다. 또한, HMD를 쓰면 앞이 보이지 않기 때문에 키보드와 마우스 조작이 힘들다는 단점과 립모션의 좁은 시점 제공의 단점을 하나의 장치로 결합함으로써 각각의 단점을 보완할 수 있

는지를 실험하였다. 이를 위해 총 12명의 참여자들은 각각 다른 조합의 인터페이스를 이용하여 동일한 과업을 수행하였다. 현실성이 높은 과업을 수행하도록 가상객체의 선택과 6 자유도(degree-of-freedom, DOF)가 요구되는 3차원 이동 및 회전이 함께 필요한 과업을 테스트 하였다. 비교평가는 완료시간과 성공률과 같은 정량적 평가와 편의성 및 피로감과 같은 정성적 평가를 동시에 진행하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장은 비교평가를 위한 실험환경을 설명한다. 제 3장은 정량적·정성적 실험결과를 분석한다. 마지막으로 제 4장은 결과에 대한 토의 및 추후연구 방향을 언급한다.

## 2. 인터랙션 가상현실 환경 구축

가상현실 환경에서 가상객체 조작을 위한 인터페이스와 인터랙션 간의 비교연구를 위해서 공통으로 활용할 수 있는 가상현실 시스템을 구현하였다. 공통으로 활용한 가상현실 공간은 Fig. 2에 도시되어 있다. 사용자는 가상의 집에(Fig. 2(a)) 들



(a)



(b)

**Fig. 2** Experimental VR environment for the comparison of various VR tasks: (a) overall VR environment<sup>[20]</sup>, (b) test environment for usability analysis

어간 후 거실에서(Fig. 2(b)) 가상 객체와의 인터랙션을 테스트 할 수 있다.

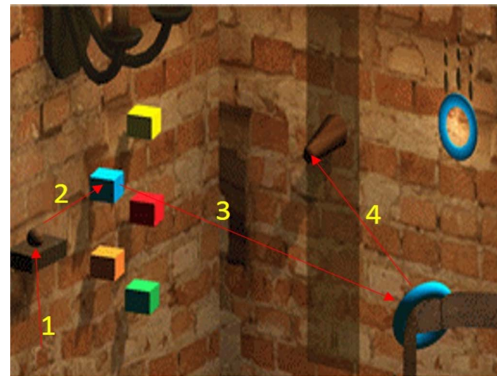
사용성 및 사용자 경험 비교분석을 위한 인터페이스와 인터랙션의 의미는 다음과 같다. 인터페이스는 사용자가 가상현실을 경험하기 위해서 접촉하는 디지털 시스템의 입출력 장치를 의미한다. 따라서, 본 연구에서 정의된 인터페이스는 가상객체와의 효과적인 상호작용을 위해서 필요한 하나 이상의 입출력 장치를 의미한다. 그리고 인터랙션은 입출력 장치를 매개로 가상현실 환경이나 객체와 사용자가 주고 받는 일련의 의사소통 과정이다. 즉, 가상현실 환경을 둘러보기 위한 가시화 방법이나 가상객체를 조작하기 위한 방법이 이에 해당된다. 따라서, 본 연구에서는 키보드, 마우스, 터치패드, HMD 등이 상호작용에 활용되는 인터페이스에 해당되며, 이를 이용하여 가상객체 조작에 (제스처 인식, 이동, 회전 등) 이용되는 방법이 인터랙션에 해당된다.

**2.1 시스템 구현**

본 연구에서는 3D 가상환경 제작에 특화되어 있는 Unity3D 엔진을 사용하여 가상현실 시스템을 구축하였다<sup>[20]</sup>. Unity3D는 주로 3D 게임을 제작할 때 사용하는 엔진으로 C#, JavaScript 등의 프로그래밍 언어를 제공한다. 전반적인 가상현실 배경은 Oculus사에서 제공하는 예제 모델을 활용하였고 가상 객체와 상호작용을 위한 모델은 새롭게 구축하였으며 이들간의 상호작용 방법은 C# 기반의 스크립트를 이용하여 구현하였다.

크립트를 이용하여 구현하였다.

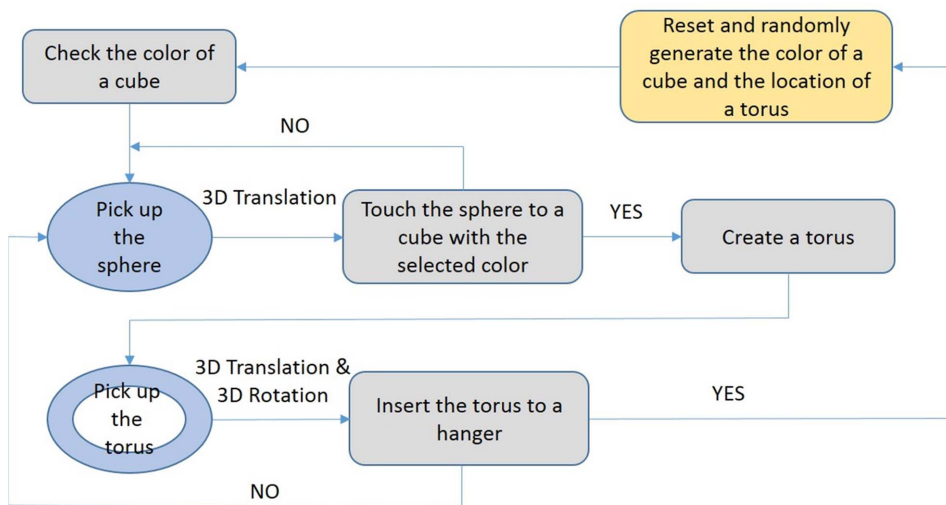
객관적인 실험평가를 위해서 현실에서 일어나는 상황과 유사하도록 두 가지 과업을 설정하였다 (Fig. 3). 첫 번째 과업은 구슬형태의 구 물체를 집어서 제시된 색깔과 동일한 색깔의 큐브에 집어넣는 행위이며, 두 번째 과업은 가운데 구멍이 뚫린



**Fig. 3** Task sequence



**Fig. 4** Randomly generated tori with different sizes and hangers in different locations



**Fig. 5** A diagram for manipulating virtual objects in each virtual environment

도넛 형태의 토러스 객체를 집어서 임의의 위치에 걸려있는 행거(hanger, 갈고리)에 거는 행위이다. 이때 사용자의 학습효과를 없애기 위해서 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 토러스의 크기와 행거의 위치가 무작위로 변화도록 설정하였다. 특히, 토러스를 거는 행거의 위치뿐만 아니라 각도도 매 활동마다 변경되도록 설정하였다. 두 가지 과업에서 구물체는 이동 조작만 필요한 간단한 상호작용에 해당되지만 토러스 물체는 3차원 이동뿐만 아니라 3차원 회전까지 요구하기 때문에 복잡한 조작에 해당된다. 즉, 이 과업은 6 자유도를 요구하는데, 3자유도는 3차원 이동 (translation)에 필요하고 나머지 3자유도는 3차원 회전(rotation)에 필요하다. Fig. 5는 사용자가 가상현실 환경하에서 행하는 과업에 대한 시퀀스를 도시하고 있다.

### 2.1.1 립모션

본 연구에서 사용한 립모션 센서는 적외선 카메라를 이용하여 15°의 시야 각도(field of view, FOV) 범위 내에서 3차원 스캔이 가능하며 사용자의 손바닥과 손가락의 정보를 인식할 수 있다(Fig. 6). 또한 역삼각형 인식범위에서는 0.01 mm × 0.01 mm를 인식할 수 있을 정도의 정밀함을 제공한다. 본 연구에서는 이를 바탕으로 다양한 형태의 손 제스처를 활용하였다.

### 2.1.2 Oculus Rift DK2

Oculus Rift DK2는 Table 1과 같이 5.7인치 LCD 패널을 2개로 분할하여 좌우 영상을 가시화시킨다. 이를 어안 렌즈로 확대하여 대각선 기준으로 100°의 시야 각도를 제공하며 머리추적 기능이 제공되어 머리의 움직임에 따라서 360° 전체를 둘러볼 수 있기 때문에 마치 가상현실 세계에 직접 들어온 것과 같은 몰입감을 제공한다. Oculus Rift



Fig. 6 Detection range of Leap Motion controller<sup>[9]</sup>

Table 1 Specification of Oculus Rift DK2<sup>[16]</sup>

Screen Resolution	1920 × 1080
OLED	Yes
Screen Size	5.7"
Low Persistence	Yes
Refresh Rate	75Hz
Orientation & Position Tracking	Yes
Gyroscope, Accelerometer, Magnetometer	Yes
Field Of View	100
3D	Stereoscopic



Fig. 7 Stereoscopic view in Oculus Rift DK2

DK2는 3축 자이로스코프와 가속도계 그리고 자력계가 내장되어 있어 3자유도의 피치(pitch), 요(yaw), 롤(roll) 방향의 회전에 대한 피드백을 제공한다. 또한, 머리추적뿐만 아니라 위치추적(position tracking)이 가능하여 상대적인 위치에 따른 가상현실을 체험할 수 있다. 3D 몰입감을 제공하기 위해서 스테레오 영상(stereoscopic scene)을 생성한다(Fig. 7).

## 2.2 가상현실 비교 실험환경

3차원 가상객체 조작을 지원하기 위한 인터페이스와 인터랙션에 대한 사용성과 UX 비교분석을 위해서 다음과 같은 세 가지 가상환경 시스템을 구축하였다. 단, 참여자는 같은 가상현실 환경에서 동일한 과업을 수행하였다.

### 2.2.1 데스크톱 가상현실

첫 번째 가상환경에서는 키보드와 마우스를 이용하여 3차원 환경을 체험하므로 기본적인 구조는 일반적인 1인칭 슈터(first person shooter, FPS) 게임 구조와 동일하다. 사용자의 기본적인 이동은 W, A, S, D 키를 이용하여 이동하도록 설정하였고, 마우스를 앞뒤, 좌우로 움직임으로써 시선이

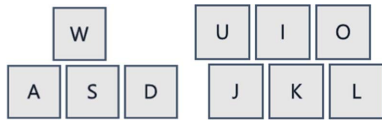


Fig. 8 Keys layout for manipulating virtual objects



Fig. 9 Desktop-based virtual reality environment

위아래, 좌우로 변경되도록 설정하였다. 객체를 조작하는 방법은 먼저 마우스 왼쪽버튼을 클릭하면 화면 가운데 사각형의 마커가 나타나고 마커는 I, K 키를 이용하여 앞, 뒤로 이동할 수 있으며 이동한 마커가 객체에 근접할 때 객체의 색이 변하게 되고 선택이 된다. 선택된 객체는 마커의 이동과 동일한 키를 이용하여 앞, 뒤로 이동할 수 있으며 U, O 키를 이용하여 X 축으로 회전을 J, L 키를 이용하여 Z축으로 회전을 할 수 있도록 설정하였다(Fig. 8). Y 축으로의 회전은 토러스가 제자리에 서만 회전하기 때문에 생략하였다. 사용된 키는 일반적인 게임 등에서 폭넓게 활용이 되고 있지만 참여자가 실험 전에 어느 정도 익숙해 질 때까지 반복연습을 수행하였다. Fig. 9은 참여자가 실험에 참여하여 가상환경하에서 과업을 수행하는 과정을 보여준다.

### 2.2.2 제스처 기반 데스크톱 가상현실

두 번째 가상환경에서는 데스크톱 가상현실에 새로운 인터페이스인 립모션 센서를 추가함으로써 사용자가 손 제스처를 활용하여 가상의 객체를 인터랙션 할 수 있게 하였다. 립모션에서 제공하는 오픈 스크립트를 이용하여 Fig. 10에서 볼 수 있듯이 손을 펴는 제스처(open gesture)와 손을 쥐는 제스처(grab gesture) 두 가지 인터랙션을 구현하였다.

손을 편 상태에서 손바닥이 토러스에 근접하면 토러스의 색이 짙은 갈색으로 변하고 색상이 변경

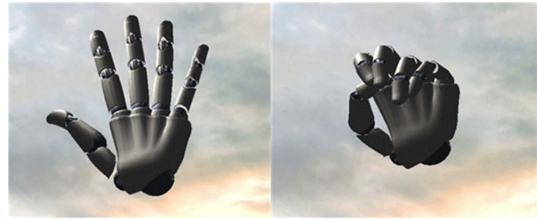


Fig. 10 Open gesture and grab gesture



Fig. 11 Grab gesture for manipulating a sphere object and a torus object



Fig. 12 Gesture-based interactions in a desktop-based virtual reality environment

됨과 동시에 손을 쥐는 제스처를 하면 토러스가 손바닥의 앞에 놓이게 된다. 토러스의 위치는 손바닥의 위치와 방향에 따라 변경되도록 설정하였다. 구와 토러스 객체를 잡는 모습은 Fig. 11에 도시되어 있다. 이 과업의 최종 목표는 토러스를 집어서 벽에 걸려있는 행거에 빠르고 정확하게 넣는 것이다. 제스처 기반 가상현실의 경우 립모션을 이용한 손 제스처로 물체를 잡고 마우스를 이용하여 시점을 회전하는 방식으로 진행하였다. 추가적으로 사용자의 시점을 앞, 뒤, 좌, 우로 움직일 수 있도록 키보드 또한 사용할 수 있다.

### 2.2.3 몰입형 가상현실

세 번째 가상환경에서는 몰입감을 부여하기 위해서 Oculus Rift DK2 HMD를 착용하였다. 또한, HMD를 착용한 상태에서 손 제스처를 이용할 수 있도록 립모션 센서를 HMD 앞에 부착하였다(Fig. 13). 객체와 인터랙션하는 방법은 두 번째 가



Fig. 13 Gesture-based interactions wearing an HMD in an immersive VR

상환경에서 언급한 것과 같다. 하지만, 주변에 책상과 같은 장애물이 있으면 립모션 센서의 손 인식률이 떨어지기 때문에 공간이 넓은 곳에서 실험을 진행하였다.

### 3. 사용성과 사용자 경험 비교분석을 위한 정성 및 정량적 실험 평가

#### 3.1 참여자 및 과업

실험평가는 총 12명의 남학생을 대상으로 실시를 하였고 참여자는 만 23세에서 26세 사이로 평균 나이는 만 23.4세이다. 실험 시간은 설문조사와 연습 시간을 포함하여 한 사람당 30~40분 정도 소요되었다. 우선 사전조사를 실시하였다. 사전조사

는 FPS 게임의 이용 빈도와 HMD를 이용한 가상 현실 체험 여부 등에 관한 질의 내용이다. 참여자 모두 FPS 게임을 경험해보았고 그 중 4명은 자주 이용한다고 언급했다. 또한, HMD를 이용하여 몰입형 가상현실을 경험한 참여자는 5명이었다. 반면에, 7명의 참여자는 HMD를 이용해본 경험이 없다고 답변하였다. HMD 경험자도 단순히 착용 후 가상환경의 가시적인 체험만을 했다고 응답하였고 가상객체와의 인터랙션을 수행한 경험은 없다고 답변하였다. 립모션의 경우에는 12명 중 2명을 제외한 10명은 이용 경험이 없다고 응답하였다. 따라서, 새로운 인터페이스 및 인터랙션에 대한 적응을 높이기 위해서 실험 전 10~15분 정도 연습을 실시하였다.

연습을 한 후에 가상객체와의 인터랙션을 통한 과업 수행 실험을 실시하였다. 제시된 구를 집어서 같은 색상의 큐브에 넣은 후 새롭게 생성된 토러스를 집어서 임의의 위치에 놓여있는 행거에 정확히 거는 일련의 과업을 총 5회 실시하였다. 구를 넣는 과정은 객체를 집어서 이동만 하는 가장 쉬운 행위로 회전의 영향을 받지 않는 간단한 조작에 해당한다. 토러스를 조작하는 과정은 객체를 잡고 회전을 통해서 알맞은 막대의 위치로 이동시키고 거는 과정으로 회전과 이동이 동시에 필요한 복잡한 과업이다. 특히, 정확한 위치에 토러스를 걸지 못할 경우 토러스가 바닥에 떨어지기 때문에 과업 수행이 실패하게 된다. 간단하고 복잡한 두 가지의 과업을 통해서 세 가지 가상현실을 비교하였다. 매 활동마다 실패횟수와 완료시간을 측정하여 정량평가 데이터로 활용하였다. 실패횟수는 구와 토러스 각각에 대해 측정하였고 완료시간은 두 가지를 합친 하나의 활동에 대해서 측정하였다 (Fig. 14). 실험이 완료되면 UX 비교평가를 위한

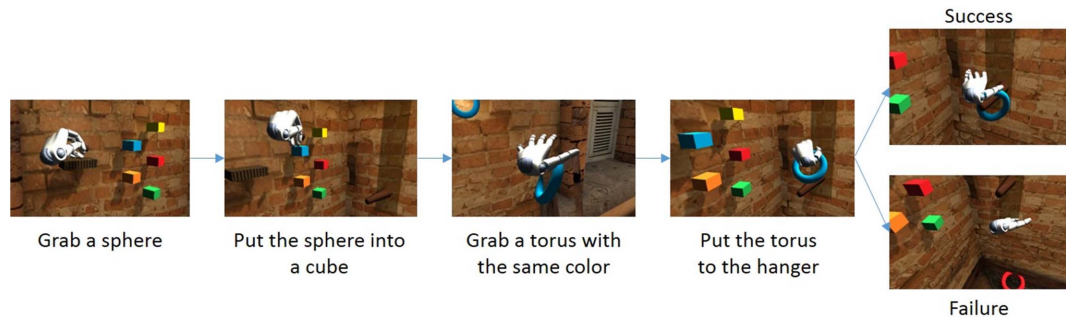


Fig. 14 Hand gesture-based task sequence for the experiment

**Table 2** Questionnaire for evaluating user experience among three different virtual reality-based interfaces and interactions

Questions for Evaluating User Experience	
Q1	Ease of Use
Q2	Easy to Learn
Q3	Stressful
Q4	Intuitive
Q5	Natural
Q6	Enjoyable

설문조사를 실시하였다(Table 2).

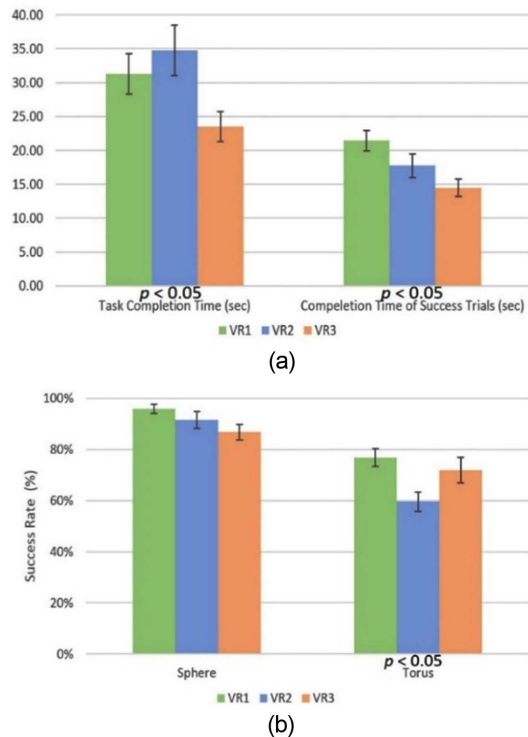
정성적 평가항목은 총 6가지로 설정하였다. 가상환경에서 인터페이스와 인터랙션에 대한 사용 용이성(*Ease of Use*, Q1)과 학습용이성(*Easy to Learn*, Q2)을 평가하였고, 실험 중 몸이나 자세의 불편한 정도를 평가하기 위한 육체적 스트레스와 어지러움과 메스꺼움 등의 정신적 스트레스를 알기 위한 스트레스 정도(*Stressful*, Q3)를 평가하였다. 또한, 인터랙션에 대한 직관성(*Intuitive*, Q4)을 평가하였고 자연스러운 인터랙션 (*Natural*, Q5)을 평가하였다. 마지막으로 가상현실에서 사용자 경험에 따른 흥미로움 (*Enjoyable*, Q6)도 평가하였다.

실험 전 가정은 HMD의 몰입형 환경과 자연스러운 손 제스처를 지원할 수 있는 인터페이스를 사용하기 때문에 완료시간과 정확성 측면에서 몰입형 가상현실(VR3)이 가장 빠를 것으로 가정했으며 데스크톱 가상현실(VR1)이 가장 느릴 것으로 예상하였다. 또한 실패횟수 측면에서는 립모션과 Oculus Rift DK2 장비를 이용하는 경우가 키보드보다 비교적 간단하기 때문에 몰입형 가상현실의 실패횟수가 가장 적을 것으로 가정하고 데스크톱 가상현실이 실패가 가장 많이 있을 것으로 가정했다.

정성적 평가에서는 손 제스처를 이용하여 인터랙션을 수행하기 때문에 흥미로움과 직관적이고 자연스러운 측면에서 몰입형(VR3)과 제스처 기반 가상현실(VR2)이 높은 평가를 받을 것으로 가정하였고 이에 따라서 사용과 배움의 측면에서도 높은 만족감을 나타낼 것으로 가정하였다. 반대로 스트레스 측면에서는 어지러움과 인식을 저하와 같은 측면을 볼 때 데스크톱 가상현실이 가장 좋은 결과를 낼 것으로 가정하였다.

### 3.2 과업달성 시간과 성공률 기반의 정량적 비교평가

참여자의 실험이 끝난 후 획득된 결과를 바탕으로 정량적·정성적 평가를 실시하였다. 참여자 모두가 세 가지 가상현실을 경험하고 과업을 수행하였기 때문에 실험결과에 대한 검증에는 일원배치 분산분석(one-way analysis of variance (ANOVA)) 통계 기법을 활용하였다<sup>[1]</sup>. 즉, “다른 인터페이스와 인터랙션을 제공하는 세 가지 가상현실에 차이가 있는가?”를 알아보는 분석이다. 비교분석하기 위해서 유의수준  $\alpha$  값을 0.05로 설정하고 분석을 하였다. 따라서, 통계분석 결과  $p$  값이 0.05보다 작을 경우 유의한 것으로 판단할 수 있다(즉, 차이가 있다고 판단함)<sup>[1]</sup>. 정량적 분석결과는 Fig. 15에 도시되어 있다. 다섯 번 시도에 따른 평균 완료시간은 구 조작부터 시작하여 토러스를 행거에 거는 과정까지의 시간이고 성공한 시도의 평균 완료시간은 실패를 제외시킨 후 성공한 경우만을 대상으로 산출한 시간이다. 먼저 실패를 포함한 총 평균



**Fig. 15** Quantitative results of task completion time and success rate: (a) average task completion time of three VRs and average completion time of only success trials, (b) success rate of the sphere and torus



완료시간을 비교하면 몰입형 가상현실(VR3)에서 가장 짧은 시간이 나왔고 통계적으로도 유의한 결과를 얻을 수 있어서( $p=0.0395$ ) 과업을 수행하는데 가장 효율적일 것이라는 가설이 성립될 수 있었다. 하지만 제스처 기반 가상현실 (VR2)이 데스크톱 가상현실(VR1)보다 완료시간이 더 오래 걸린 것으로 확인되었다. 이는 처음의 가설과 차이를 보였다. 이를 또 다른 관점에서 살펴보면 제스처 기반 가상현실의 토러스 조작 성공률이 59.5%로 몰입형(71.9%)과 데스크톱(76.8%)보다 훨씬 낮기 때문에 평균 완료시간 측면에서도 가장 길게 나온 것을 알 수 있었다( $p=0.0166$ ).

다만 성공한 과업의 평균 완료시간 관점( $p=0.0099$ )에서는 가정했던 것과 동일한 결과가 나온 것으로 보아 장치 인식률의 범위를 넓히고 참여자들이 립모션 사용방법에 적응할 경우 기존의 방식보다 효율적인 인터랙션을 제공할 수 있다는 결과를 얻었다. 특히, 성공한 시도의 완료시간을 분석한 결과 객체 조작 시간에 영향을 주는 두 가지 중요한 인터랙션 기능을 확인할 수 있었다. 첫 번째는 토러스를 조작할 시 이동과 회전을 동시에 할 수 있는 지에 관한 기능이고 두 번째는 가상현실 환경에서 사용자에게 얼마나 넓은 시점과 자유로운 시점의 이동을 제공할 수 있는 지에 관한 기능이었다. 두 기능을 모두 제공하는 몰입형 가상현실에서 가장 빨리 과업을 수행하였고 자유로운 시점의 이동은 없지만 이동과 회전을 동시에 할 수 있는 제스처 기반 가상현실이 그 뒤를 이었다.

성공률 측면에서는 회전에 영향을 받지 않는 구의 조작의 경우 세 방식 모두 대략 90% 정도로 비슷하며 유의하지 않은 결과( $p=0.0807$ )가 나왔다. 반면에, 복잡한 실험인 토러스의 성공률 측면에서는 통계적으로 유의한 결과가 나왔다( $p=0.0166$ ). 즉, 데스크톱 가상현실과 몰입형 가상현실은 크게 차이가 나지 않는데 비해 제스처 기반 가상현실 같은 경우 59.5%로 15% 이상 차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 제스처 기반 가상현실의 경우 2차원 화면에서 3차원 객체를 조작하기 때문에 협소한 시점의 이동과 화면상의 공간 지각과 손 제스처상의 3차원 공간 지각의 차이로 실수를 야기시킨 것으로 판단된다. 반면에 같은 2D 화면을 이용한 데스크톱 가상현실의 경우 성공률이 가장 높았다. FPS 게임을 모두 경험해 본적이 있고 참여자 중 4명은 자주 이용한다는 것으로 보아 키보드와

마우스에 대한 학습효과가 하나의 큰 요인으로 판단된다. 몰입형 가상현실의 경우 Oculus Rift DK2의 자이로센서를 활용한 머리추적 기능과 위치추적 카메라를 활용한 위치추적 기능 때문에 보다 효과적인 가상객체 인터랙션을 가능케 한 것으로 판단된다.

### 3.3 정성적 비교 평가

정성적 평가 결과 자연스러움( $p=0.0451$ )과 스트레스( $p=0.0048$ ) 측면을 제외한 나머지 항목에 대해서는 유의하지 않다는 결과가 나왔다(Fig. 16). 즉, 몰입형 가상현실이 가장 자연스러운 인터랙션 제공한다는 결과와 제스처 기반 가상현실이 가장 많은 스트레스를 야기시킨다는 결과를 얻었다. 손 동작을 취하기 위해서 오랜 시간 동안 손을 들고 있을 경우 팔의 저림과 같은 육체적인 스트레스가 유발된 것으로 판단된다. 실제로 5명의 참여자로부터 실험 중에 팔이 아프다는 피드백을 받았다.

몰입형 가상현실의 경우도 스트레스 점수가 높게 나왔는데 참여자 중 절반에 가까운 참여자가 약간의 어지러움을 호소하였으며 실제 12명 이외의 참여자 중 한 명은 HMD를 쓰고 조작연습을 하던 중 심각한 어지러움과 메스꺼움을 호소하고 중도 포기한 경우도 발생했다. 반면에, 몰입형 가상현실은 HMD가 제공하는 몰입감과 제스처 기반의 인터랙션 때문에 자연스러운 인터랙션 평가에서 가장 높은 점수를 얻었다. 또한 실제 현실에서의 조작과 같은 직관적인 조작이 가능하기 때문에 비록 통계적으로 유의하지는 않지만( $p=0.1147$ ) 흥미로움 측면에서도 가장 높은 점수를 얻었다고 판단된다.

정성적 분석과 정량적 분석 결과를 요약하면 몰입형 가상현실은 실험 전 설정했던 가정과 대부분 일치하였다. 반면에, 토러스 객체의 조작 성공률에서는 립모션을 활용한 제스처 기반의 데스크톱 가상현실이 가장 낮았다(가정과 다름). 이는 립모션기반의 데스크톱 가상현실에서는 손의 제스처 공간과 화면의 가상객체 공간에 대한 지각 차이로 말미암아 성공률이 떨어진 것으로 판단된다. 또한, 토러스 조작의 경우에서는 3차원 이동과 3차원 회전을 동시에 요구하기 때문에 립모션 센서의 손을 펴거나 집는 제스처 인식 오류가 어느 정도 발생하였다고 판단된다. 특히, 손의 움직임이 빈번할 경우 립모션 센서의 손 제스처 인식에 오류

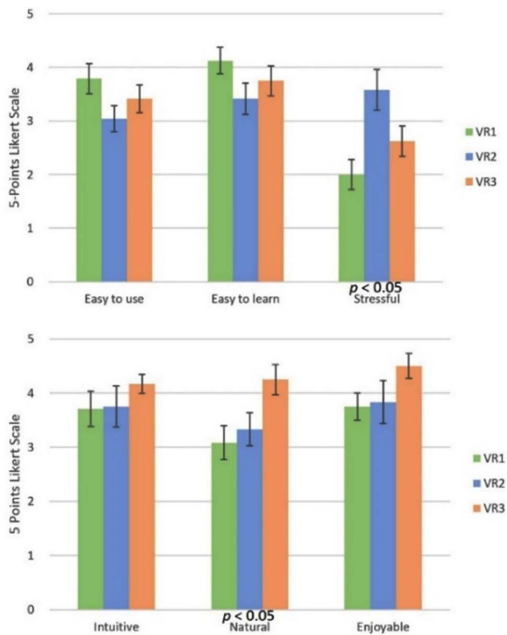


Fig. 16 Results of qualitative analysis with respect to UX

가 자주 발생하였다. 하지만 같은 립모션 센서를 활용하더라도 몰입형 가상현실의 경우 두 가지 인터페이스를 결합함으로써 서로의 단점을 어느 정도 보완하였다고 판단된다. 반면에, 립모션 센서 인식 오류와 HMD 착용에 따른 피로감 등의 부정적인 면도 확인할 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 가상환경에서 다양한 인터페이스를 통한 가상객체와의 인터랙션에 관한 정량적·정성적 비교분석 연구를 수행하였다. 중요성에 비해 가상현실 환경에서 필수적인 인터랙션에 대한 사용성과 사용자 경험에 관한 비교연구는 드물었다. 본 연구에서는 참여자가 데스크톱 가상현실, 제스처 기반 가상현실 그리고 몰입형 가상현실 세 방식의 가상현실을 경험하고 복합적인 과업을 수행한 후 이들 간의 비교평가를 실시하였다.

현실세계에서 일어나는 것과 유사한 실험계획을 세웠으며, 가상객체의 선택, 3차원 이동 및 회전 등 6 자유도를 요구하는 과업을 대상으로 실험을 실시하였다. 실험결과 가정했던 대로 몰입형 가상현실이 완료시간과 성공률 측면에서 가장 효율적이고 사용자 경험 측면에서도 자연스러움과 흥

미로움을 제공한다는 점을 알 수 있었다.

하지만 립모션의 손동작 인식 또한 거리가 멀어짐에 따라 부정확하여 인터랙션의 정확성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 인식 범위 또한 생각보다 협소하기 때문에 몰입형 가상현실의 경우에도 손 제스처를 정확히 인식하고 인터랙션을 실시하기 위해서는 HMD 앞에 붙어있는 립모션 바로 앞에서 손동작을 진행해야만 했다. 따라서, 자세의 불안정과 같은 육체적 스트레스로 인한 불편함을 야기시켰다. 몰입형 가상현실의 실험결과가 가장 좋은 것으로 나왔지만 HMD 착용에 따른 어지러움과 빠른 움직임에 따른 손 제스처 인식을 저하 측면에서 하드웨어 및 소프트웨어의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

결론적으로 본 연구의 주된 연구동기 및 응용논문으로써의 기여도는 다음과 같다.

- 기존 연구로 특정한 인터페이스나 인터랙션에 관한 결과는 발표되었지만 다양한 인터페이스와 인터랙션에 대한 사용성 및 사용자 경험 평가에 대한 비교연구는 드물었다. 본 연구에서는 이를 정량적·정성적으로 비교분석 하였다.
- 제스처 기반의 인터페이스를 활용할 경우 가상현실 환경에서 가상객체와의 인터랙션에 어떠한 영향을 주는지 비교분석 하였다.
- 과업수행을 통한 실험분석을 통해서 인터랙션에 대한 긍정적인 측면과 부정적인 측면을 도출할 수 있었으며 이를 통계적으로 검증하였다. 또한, 실험평가를 통해서 몰입형 가상현실의 가능성과 문제점도 함께 도출하였다.

추후 연구로는 보다 다양한 과업을 설정하고 폭넓은 참여자의 평가가 추가적으로 필요하며, 현재는 한 손이지만 양손 작업에 대한 평가 또한 필요하기 때문에 이를 지원하도록 시스템을 확장 개발할 예정이다. 이를 바탕으로 사용한 인터페이스의 문제점과 사용자중심 인터랙션 개선방안을 모색하고자 한다. 또한, 실험평가의 객관성을 높이기 위한 표준 항목의 제시 및 근거와 관련된 연구도 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 사물인터넷 제조융합테스트베드사업에 의하여 지원되었습니다(B0364-15-1003).

## Refereneecs

1. ANOVA, [https://en.wikipedia.org/wiki/Analysis\\_of\\_variance](https://en.wikipedia.org/wiki/Analysis_of_variance), 2012.
2. Boud, A.C., Haniff, D.J., Baber, C., and Steiner, S.J., 1999, Virtual Reality and Augmented Reality as a Training Tool for Assembly Tasks, *Proc. IEEE International Conf. on Information Visualization*, pp.32-36.
3. Bowman, D.A. and Hodges, L.F., 1997, An Evaluation of Techniques for Grabbing and Manipulating Remote Objects in Immersive Virtual Environment, *Proc. 13D '97*, pp.33-40.
4. Fanini, B., 2014, A 3D Interface to Explore and Manipulate Multi-scale Virtual Scenes Using the Leap Motion Controller, *7<sup>th</sup> International Conf. on Advances in Computer-Human Interactions*, pp.258-263.
5. Gear VR, <http://www.samsung.com/global/microsite/gearvr/>, 2015.
6. Kim, A.-R., Park, B.-K., and Kim, J.-J., 2012, A Study of Gesture-driven Interaction for Efficient Product Validation in Virtual Environment, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*.
7. Kim, T. and Park, J., 2014, An Interface for Object Assembly in 3D Virtual Environment Using Two Hands Mid-air Interaction, *Proc. HCI'14*, pp.1069-1070.
8. Kinect for Windows, <https://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/>, 2014.
9. Leap Motion, <https://www.leap-motion.com/>, 2014.
10. Lee, H.S. and Park, W.J., 2014, A Study on Method to Manipulate to Alleviate the Simulation Sickness of 3D HMD, *Journal of Korean Society for Computer Game*, 27(4), pp.85-91.
11. Lu, G., Shark, L.-K., Hall, G., and Zeshan, U., 2012, Immersive Manipulation of Virtual Objects Through Glove-based Hand Gesture Interaction, *Virtual Reality*, 16(3), pp.243-252.
12. Melax, S., Keselman, L., and Orsten, S., 2013, Dynamics Based 3D Skeletal Hand Tracking, *Proc. GI'13*, pp.63-70.
13. Moehring, M. and Froehlich, B., 2011, Effective Manipulation of Virtual Objects Within Arm's Reach, *Proc. VR'11*, pp.131-138.
14. MYO, <https://www.thalmic.com/myo/>, 2015.
15. Oren, M., Carlson, P., Gilbert, S., and Vance, M., 2012, Puzzle Assembly Training: Real World vs. Virtual Environment, *Proc. 2012 IEEE Virtual Reality Conf.*, pp.27-30.
16. Oculus Rift DK2, <https://www.oculus.com/en-us/dk2/>, 2015.
17. Poupyrev, I., Billinghurst, M., Weghorst, S., and Ichikawa, T., 1996, The go-go Interaction Technique: Non-linear Mapping for Direct Manipulation in VR, *Proc. UIST'06*, pp.79-80.
18. Ren, G. and O'Neill, E., 2013, 3D Selection with Freehand Gesture, *Computers & Graphics*, 37(3), pp.101-120.
19. Seth, A., Vance, J.M., and Oliver, J.H., 2011, Virtual Reality for Assembly Methods Prototyping: A Review, *Virtual Reality*, 15(1), pp.5-20.
20. Unity3D, <http://unity3d.com/>, 2014.
21. Virtual Reality, <http://ko.wikipedia.org/wiki/>, 2014.
22. Wachs, J.P., Kolsch, M., Stern, H., and Edan, Y., 2011, Vision-based Hand-gesture Applications, *Communications of the ACM*, 54(2), pp.60-71.
23. Wang, R.Y., Paris, S., and Popovic, J., 2011, 6D Hands: Markerless Hand Tracking for Computer Aided Design, *Proc. UIST'11*, pp.549-558.
24. Yang, W., Lee, J.W., and Lee, S.-H., 2015, Development of Motion Recognition Dementia Prevention Program Utilizing Leap Motion, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*.



### 박 경 범

2016년 2월 전남대학교 산업공학과  
학사  
현재: 전남대학교 산업공학과 석사  
과정  
관심분야: HCI, VR/AR, Natural  
User Interaction



### 이 재 열

1992년 포항공과대학교 산업공학과  
학사  
1994년 포항공과대학교 산업공학과  
석사  
1998년 포항공과대학교 산업공학과  
박사  
1998년~2002년 한국전자통신연구  
원 선임연구원  
2003년~현재 전남대학교 조교수/  
부교수/교수  
관심분야: AR/VR-based Smart  
Factory Services, UX/HCI,  
Visualization and Interaction