

## VR 프로토타이핑 시스템을 위한 햅틱 컨트롤러 외형 디자인

### A Haptic Controller Exterior Design for VR Prototyping System

고기남<sup>1</sup>, 류세민<sup>2</sup>, 서규원<sup>3</sup>, 남상훈<sup>4\*</sup>

Gi-Nam Go<sup>1</sup>, Se-Min Ryu<sup>2</sup>, Kyoo-Won Suh<sup>3</sup>, Sang-Hun Nam<sup>4\*</sup>

#### 요약

VR 프로토타이핑은 제품 설계과정에서 가상의 3D 모델을 생성하고 사용자는 가상의 공간에서 모델을 확인하는 과정이다. 프로토타이핑을 사용자 평가에 사용하면 실제 목업(Mockup)을 만드는 과정을 생략함으로써 생산 비용과 개발 일정을 단축시킬 수 있다. 본 논문에서는 연구하고 있는 가상현실 프로토타이핑 시스템을 바탕으로 하여, 가상현실 프로토타이핑에 최적화 된 가상현실 컨트롤러의 외형을 디자인하는 과정을 설명하였다. 현재는 범용 컨트롤러를 사용하여 제품을 확인하는 방법을 사용하며 손 단위의 인터랙션이 가능하다. 각각의 손가락마다 햅틱 인터랙션이 가능한 컨트롤러를 사용하게 되면 가상환경 내에서 물체를 잡고 확인하는 가상현실 프로토타입 과정을 더 실제와 유사하게 표현할 수 있다. 햅틱 컨트롤러의 외형 디자인을 위하여 유사한 핸드헬드형 제품들을 분석하고 디자인하는 과정을 설명하였으며, 컨트롤러 제작을 위한 외형 디자인을 제시하였다.

핵심어 : 햅틱 컨트롤러, 프로토타이핑, 가상현실, 외형 디자인

#### Abstract

VR prototyping is a process of creating a virtual 3D model in product design process and checking the model in virtual space. Using prototyping in user evaluation can shorten production costs and development schedules by eliminating the process of creating real mockups. In this paper, we describe the process of designing the outline of a controller optimized for virtual reality prototyping based on the virtual reality prototyping system. At present, using a general-purpose controller to identify the product, it is possible to interact with the hand unit. Using a controller capable of haptic interaction for each finger, virtual reality prototyping process of holding objects in a virtual environment can be expressed in a more realistic manner. We describe the process of analyzing and designing similar handheld products for the external design of the haptic controller, and presented the external design for the controller manufacture.

Keyword : Haptic Controller, Prototyping, Virtual Reality, Exterior Design

1 placeB Inc., Seoul, Korea. [Researcher]

e-mail: gnko@placeb.com

2 School of Future Convergence, Hallym University, Chuncheon, Korea [Professor]

e-mail: sr@hallym.ac.kr

3 Industry Academic Cooperation Foundation, Hallym University, Chuncheon, Korea [Professor]

e-mail: suh7164@hallym.ac.kr

4 Department of New Media, Seoul Media Institute of Technology, Seoul, Korea [Professor]

e-mail: shnam@smit.ac.kr (Corresponding author)

\* 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2018-0-01239, VR 프로토타이핑을 위한 햅틱 컨트롤러 개발)

Received(June 13, 2018), Review Result(1st: July 10, 2018), Accepted(December 04, 2018), Published(December 31, 2018)

## 1. 서론

가상현실 기술은 사용자에게 다양한 가상의 환경과 상황을 경험할 수 있도록 한다. HTC Vive, Oculus Rift와 같은 HMD(Head Mounted Display)는 외부의 센서들과 연동하여 사용자의 위치와 시선의 방향을 추적할 수 있기 때문에 사용자의 움직임에 따라 시각과 청각을 변화시킬 수 있다. HMD와 함께 제공되는 컨트롤러를 사용함으로써 사용자의 손의 위치를 추적할 수 있으며, 컨트롤러에 장착된 조이스틱, 터치패드, 버튼 등의 입·출력 센서들을 사용하여 양손 상호작용이 가능하게 되었다. 가상현실 기술은 입체 영상기술과 다양한 컨트롤러의 개발로 여러 산업분야들과 융합하여 새로운 서비스와 미래형 콘텐츠를 만들어 내고 있다.

최근에는 제품 제작 과정에서 가상현실 기술이 제품의 디자인, 설계, 검토, 교육 등 모든 단계에 적용되고 있다[1]. 다쏘시스템(Dassault Systems)은 제품의 디자인 설계과정에서 3D 모델링 과정에서 가상 프로토타이핑 기술을 사용하여 설계 부품들의 조립 및 운동학(kinematics)과 같은 시뮬레이션이 가능하며, 최근에는 HMD를 사용하여 가상현실 공간에서 확인할 수도 있다[2]. 엔비디아(Nvidia)의 홀로덱(Holodeck)는 가상현실에서 실사와 같은 그래픽을 빠르게 처리할 수 있으며, 전 세계의 디자이너, 개발자, 고객들이 함께 제품을 디자인, 설계와 검토할 수 있는 플랫폼을 제공하고 있다[3]. 다쏘 에비에이션(Dassault Aviation)은 비행기 모델링 데이터들을 바탕으로 항공기 구조, 부품, 정비 방법을 학습하는 기능을 가지고 있으며, 폭스바겐 그룹은 Innoactive Hub를 사용하여 가상현실 공간에서 자동차 생산 조립공정 작업을 연습할 수 있다. 기존의 프로토타이핑 과정이 제품의 모형을 실제로 만들어서 사용자가 직접 사용하며 기능을 확인하고 제품을 개선시켜나가는 과정이었다면, 최근에는 가상 프로토타이핑(Virtual Prototyping) 기술을 통하여 실제로 모형을 만들지 않고 가상의 모델을 생성하여 설계단계에서 제품에 대한 기능을 확인하고 품질을 검증함으로써 제품의 개발 기간을 단축하고, 원가를 절감할 수 있으며, 품질을 향상시킬 수 있게 되었다[4]. 프로토타이핑 과정에서 가상현실 기술을 적용함으로써, 실제로 모형을 만들지 않고 가상의 모델을 생성하여 가상환경 내에서 사용자가 제품에 대한 기능을 확인하고 품질을 검증할 수 있는 VR 프로토타이핑이 연구되고 있다.

본 연구는 저자의 VR 프로토타이핑 시스템 연구를 바탕으로 하여 햅틱 기능을 갖는 VR 컨트롤러의 외형 디자인에 대한 연구를 진행하였다. HMD 회사에서 제공되는 컨트롤러는 범용적으로 다양한 분야에 사용이 가능하고 진동으로써 손 단위의 햅틱 감각을 제공한다. 프로토타이핑 단계에서 사람이 손으로 제품을 만질 때는 손가락을 사용하여 물체의 형태를 감각적으로 인지하게 되므로, 다섯 손가락에 햅틱감각을 제공할 수 있는 햅틱 VR 컨트롤러의 외형 디자인을 디자인하였다.

## 2. VR 프로토타이핑 시스템

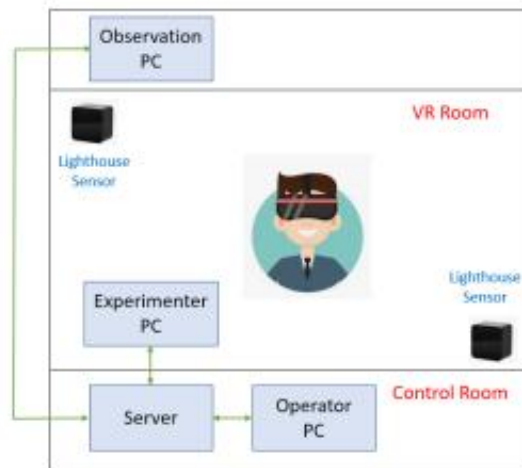
VR 프로토타이핑은 제품 설계과정에서 사용된 3D 모델 데이터를 이용하여 가상의 모델을 생성하고 사용자는 가상현실 장치를 사용하여 가상의 공간에서 모델을 확인하는 과정이다. VR 프로토타이핑을 사용하면 실제 목업(Mockup)을 만드는 과정을 생략함으로써 생산 비용과 개발 일정을 단축시킬 수 있다는 장점이 있다. [그림 1]과 같이 가상현실 속에서는 제품이 작동하는 모습을 소프트웨어를 통하여 시뮬레이션 할 수 있고, 제품의 외관의 색상 및 재질을 자유롭게 변경이 가능하기 때문에 제품의 디자인 측면과 기능적인 측면에서의 사용자 테스트를 진행할 수 있다. 모션캡처와 같은 장치를 사용함으로써 사용자의 움직임을 측정하여 제품을 사용하는 과정에서의 행동의 특성 및 패턴을 정밀하게 분석할 수 있으며, HMD 내의 동공 추적기(Eye Tracker)를 사용하면 사용자의 시선을 측정함으로써 사용자가 제품의 어떤 부분을 응시하며 집중하는 지도 측정이 가능하다. 가상현실 내에서 실험자가 피실험자의 설문을 측정함으로써 실험 직후의 반응을 설문으로 연결시킬 수 있으며, 실험자의 의도에 따라 인터랙티브한 설문이 가능하다.



[그림 1] VR 프로토타이핑

[Fig. 1] VR Prototyping

관련 진행 연구에서의 VR 프로토타이핑 시스템은 [그림 2]와 같이 4개의 컴퓨터로 구성되어 있다. 관찰자 컴퓨터(Observation PC)에서는 피실험자가 실험하는 공간을 제 3자의 시점에서 볼 수 있도록 하여 사용자의 움직임과, 사용자가 프로토타이핑 모델을 조작하는 과정을 확인할 수 있다. 운영자 컴퓨터(Operator PC)는 관리자(실험자)가 피실험자가 실험하게 될 제품, 배경, 재질 색상을 등을 선택할 수 있으며, 실험 중간에도 실험자의 의도에 따라 관리자가 실험 내용을 피실험자를 간섭하지 않고 변경할 수 있다. 실험자 컴퓨터(Experimenter PC)는 실험자가 착용하는 HMD와 실험 장치가 연결되어 있으며, 서버(Server)에서는 네트워크를 통하여 컴퓨터들의 실험 데이터가 공유될 수 있도록 릴레이 서버(Relay Server) 기능을 수행한다.



[그림 2] 가상현실 서비스 디자인 VR 프로토타이핑 시스템

[Fig. 2] Virtual reality service design prototyping system

### 3. 가상현실 햅틱 컨트롤러 디자인

가상현실 프로토타이핑을 위한 컨트롤러는 물체를 손으로 잡는 효과가 가장 중요한 요구사항이다. 설계 요구사항을 만족시키기 위하여 사용자가 손가락으로 컨트롤러를 누르는 상태를 측정할 수 있어야 하며 각각의 손가락 위치마다 서로 다른 햅틱 감각을 적용할 수 있는 컨트롤러의 설계를 목표로 하였다. 손가락마다 서로 다른 역감을 주기 위해서는 [그림 3]과 같이 외골격 구조(exoskeleton) 방식의 햅틱 장치들이 주로 사용되고 있다. 외골격 햅틱 장치들은 손가락의 위치를 측정할 수 있고, 사용자가 공간에서 물체를 만지는 가상의 감각을 제공할 수 있으나, 장치가 상대적으로 무겁고 사용자가 혼자서 착용이 어려운 단점을 갖고 있다. 본 연구에서는 HMD를 착용하고 사용이 가능한 가상현실 디바이스로서 사용자가 혼자서 착용하여 사용할 수 있는 핸드헬드(Handheld)형 컨트롤러로 하드웨어를 디자인하였다.

VR 햅틱 컨트롤러의 기본적인 기구학적 설계 개념은 [그림 4]와 같이 손가락 악력기와 같은 물리적 구조를 갖는다. 사용자가 햅틱 컨트롤러를 쥐는 과정에서 5개의 손가락이 서로 다른 물리적인 변형을 발생시킬 수 있으며, 각각의 손가락에 서로 다른 역감을 제공할 수 있는 구조를 갖는다. 컨트롤러는 손가락의 압력을 측정 가능한 센서를 포함하고 있으며, 역감 피드백을 요구하지 않을 경우에는 사용자의 조작에 따라 컨트롤러에 물리적 변형이 일어나지 않는 구조를 필요로 한다. 물리적 변형이 일어나지 않기 위해서는 물리적인 잠금 구조를 갖고 있거나 구동부에서 움직임을 저지할 수 있는 힘을 유지하도록 설계하였다.



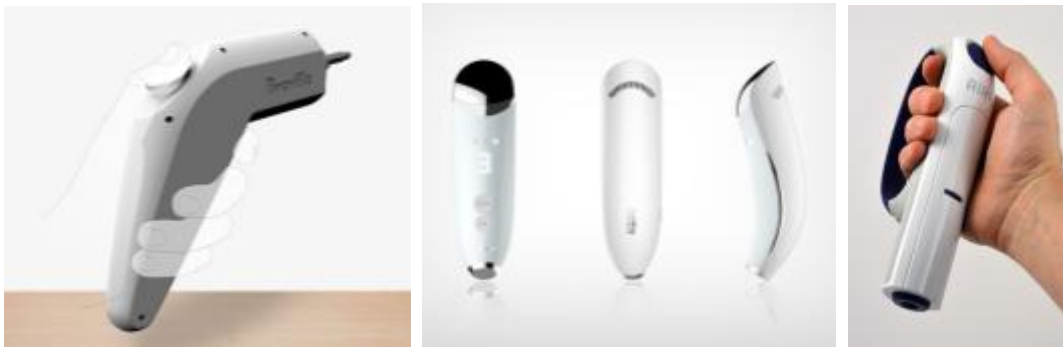
[그림 3] 외골격 구조의 글로브  
[Fig. 3] Exoskeleton Glove



[그림 4] 악력기  
[Fig. 4] Handgrip

사용자가 손으로 자연스럽게 질 수 있는 인체공학적 형태를 고려하기 위하여 하드웨어 제작 시 포함되어야 할 햅틱 컨트롤러의 구동부와 센서부가 내장된다는 가정으로 핸드헬드형 제품들의 디자인 및 사용자 인터페이스를 분석하고 아이디어를 추가하는 과정을 진행하였다. [그림 5]의 좌측 이미지에서 보는 바와 같이 Breville Electric Screwdriver의 디자인은 엄지손가락으로 다이얼을 조작하는 방식으로 설계되어 있으나, 여러 방향으로 움직임이 가능하도록 플레이스테이션과 Oculus Rift의 컨트롤러와 같이 조이스틱과 같은 버튼을 장착하게 되면 범용성 있는 작업이 가능하고, 인체공학적으로는 엄지손가락을 편하게 올릴 수 있는 홈이 파인 형태의 버튼 디자인으로 발전시킬 수 있다[5]. 스크루드라이버 부분은 여러 모형에 부착할 수 있는 결합부의 인터페이스를 갖게 됨으로써 총, 청소기, 우산 등의 손잡이와 같은 기능을 수행함으로써 컨트롤러의 사용성을 넓힐 수 있다. [그림 5]의 가운데 이미지의 Premium Total Beauty Solution는 버튼과 같은 인터페이스를 최소화하고 외부에 LED를 사용함으로써 사용자에게 정보를 나타낼 수 있는 디스플레이를 갖고 있다[6]. 손가락 잡는 부분이 휘어진 형태를 갖게 되면 컨트롤러를 잡는 기본자세에서 편안하게 주먹을 질 수 효과를 줄 수 있는 장점을 가지고 있다. 손가락이 눌리는 부분이 고무재질로 덮여 있도록 하면

구동부가 외부로 나타나지 않고 부드러운 형태를 갖는 컨트롤러 디자인이 가능할 수 있다. 심플하고 단순한 형태의 컨트롤러가 심미성을 가질 수 있으나, 컨트롤러의 구동, 센서, 통신, 배터리 등의 부품들이 내부에 장착되면 컨트롤러의 크기가 커지게 되면서 한손으로 잡기 부담스러운 크기로 변경될 수 있다. [그림 5]의 우측 이미지의 Cambridge Consultants의 Biologic Drugs for Injection는 사용자가 손으로 자연스럽게 짚 수 있는 형태를 가지고 있으며, 손가락 방향으로 핸들이 위치하고 있다[7]. 컨트롤러가 핸들을 갖고 있게 되면 센서, 배터리 등의 부품들을 핸들에 장착함으로써 사용자가 손가락으로 잡는 핸드그립의 디자인을 최대한 작게 설계가 가능하여 디자인을 심플하게 유지할 수 있다는 장점을 갖고 있다.



[그림 5] 브레빌 전동 드라이버(좌), MGMC 디자인 프리미엄 토탈 뷰티 솔루션(중), 캠브리지 컨설턴트 생체학적 주사 치료제(우)

[Fig. 5] Breville Electric Screwdriver(Left), MGMC Design Premium Total Beauty Solution(Center), Cambridge Consultants Biologic Drugs for Injection(Right)

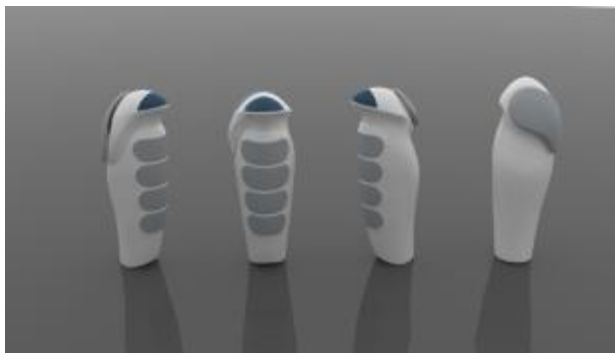
기존의 3개의 제품 디자인을 분석하고 최종 디자인 개념을 정리하였다. 컨트롤러는 5개의 손가락에 모두 햅틱감을 전달할 수 있는 구동 장치를 내장하고 있으며, 컴퓨터와 무선 통신을 위한 통신부가 포함되어 있다. 컨트롤러 내부에는 IMU(Inertial Measurement Unit)를 사용하여 컨트롤러의 방향의 측정이 가능하며 진동모듈도 포함되고, 전력을 제공할 수 있는 배터리가 포함된다. 손의 크기가 다른 여러 명의 사용자들이 인체공학적으로 사용가능한 크기를 설정하기 위해서 [그림 6]과 같이 찰흙을 사용하여 컨트롤러의 디자인 작업을 수행하였다. 버튼이 내장되어질 위치를 청록색과 파란색 찰흙을 사용하고, 손을 끼우는 핸들은 노란색 찰흙을 사용하여 컨트롤러의 크기와 형태를 자유롭게 변형하며 디자인을 과정을 진행하였다. 컨트롤러가 다수의 장치들을 내장하게 되면 사용자가 한 손에 짚 수 있는 컨트롤러의 크기가 증가하게 되면 컨트롤러를 편하게 짚 수 없게 되고 햅틱 모듈에 힘을 적용하고 전달 받기 어려운 구조를 갖게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 손등 방향으로 핸들을 추가하여 배터리 및 통신 모듈을 탑재함으로써 컨트롤러의 크기가 5개의 햅틱 모듈을 내장하며 최적화 된 핸드그립 컨트롤러의 디자인을 도출하였다.



[그림 6] 컨트롤러 디자인 및 크기 도출 과정

[Fig. 6] Controller design and size derivation process

전문가들의 디자인 평가에 따라 [그림 7]과 같이 햅틱 컨트롤러의 외형 디자인을 도출하고 3D 모델링을 설계를 진행하였다. 컨트롤러 목업 제작을 위해서 핸들이 포함되지 않은 외형 디자인 모델을 사용하여 [그림 8]과 같이 컨트롤러의 목업을 제작하였다. 1단계로 설계 데이터를 바탕으로 컨트롤러를 좌·우측 모델로 분리하고, 3D 프린터를 사용하여 좌·우측 컨트롤러 모델을 출력하였다. 2단계로 3D 프린터 출력물을 확인하고 선별하는 과정을 수행하였으며, 3단계로 출력물을 결합하여 햅틱 컨트롤러의 외형 목업을 제작하였다.



[그림 7] 1차 디자인 이미지

[Fig. 7] First design image



[그림 8] 컨트롤러 목업

[Fig. 8] Controller Mock-up

햅틱 컨트롤러 목업을 사용하여 [그림 9]와 같이 1차 디자인 모델의 파지감 테스트를 진행하였다. 사용자가 파지하는 부분을 정리하였다. 컨트롤러의 크기는 적당하나, 1차 디자인에서 엄지손가락에 조이스틱형 버튼을 설치하여 엄지손가락의 여러 위치에서 움켜 질 수 있는 구조로 설계하였으나, 버튼의 역할과 역감을 함께 제공할 수 있는 기구학적인 설계가 어렵기 때문에 [그림 10]과 같이 2차 디자인에서는 엄지손가락을 위에서 누르는 작업과 옆으로 쥐는 작업을 2개의 버튼을 사용하여 구분할 수 있도록 설계하고, 최종적으로 손등으로 핸들 형태의 디자인을 갖게 함으로써 구성부품의 위치를 분리하여 배치할 수 있으며, 컨트롤러와 손을 잡아줄 수 있는 밴드를 추가하여 최종 햅틱 컨트롤러 외형 디자인을 수행하였다.



[그림 9] 컨트롤러 파지감 테스트

[Fig. 9] Controller grip test



[그림 10] 가상현실 컨트롤러 최종 외형 디자인

[Fig. 10] Final Design of Virtual Reality Controller

#### 4. 결론

본 연구에서는 가상 프로토타이핑 설계과정에 가상현실 기술을 융합함으로써 VR 프로토타이핑 서비스 시스템을 구축하는 연구를 진행함과 동시에 VR 프로토타이핑에 최적화된 컨트롤러를 제작하는 연구를 수행하였다. 가상환경 내에서 다섯 손가락을 전부 사용하여 물체를 조작하며 체험하게 되면 사용자는 범용 컨트롤러를 사용하는 것보다 실제와 더 근접한 경험을 할 수 있다. 본 논문에서는 가상현실 프로토타이핑에 최적화 된 햅틱 컨트롤러를 설계함에 있어서 컨트롤러의 외형 디자인에 대한 연구로 범위를 설정했다. 핸드헬드형 제품들의 디자인 및 사용자 인터페이스를 분석함으로써 햅틱 컨트롤러의 1차 외형 모델을 디자인하였다. 1차 외형 디자인 시안을 바탕으로 3D 프린터를 사용하여 1차 모델 목업을 출력하여 모델 확인 및 파지감 테스트를 진행하였다. 1차 모델의 사용자 평가를 통하여 물체를 쥐는 사용자 인터페이스를 지원하고 밴드 형태를 설치함으로써 내부포함 모듈들을 분리하여 배치함으로써 햅틱 모듈이 포함되는 손잡이 부분의 부피를 최소화함으로써 디자인을 단순하게 유지할 수 있는 최종 외형 모델을 디자인 하였다. 추후 연구로는 현재 연구 중인 햅틱 모듈 등의 전자장치들을 포함하여 컨트롤러를 제작할 계획이다.

## References

- [1] Boletsis, Costas, Amela Karahasanovic, Annita Fjuk. "Virtual Bodystorming: Utilizing Virtual Reality for Prototyping in Service Design." International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics. Springer, (2017)
- [2] Mejía-Gutiérrez, Ricardo, Ricardo Carvajal-Arango. "Design Verification through virtual prototyping techniques based on Systems Engineering." Research in Engineering Design (2017) (28.4), 477-494.
- [3] [https://www.nvidia.com/en-us/design-visualization/technologies/holodeck.](https://www.nvidia.com/en-us/design-visualization/technologies/holodeck/), Retrieved December 15, (2018)
- [4] Rix, Joachim, Stefan Haas, and José Teixeira, eds. "Virtual prototyping: Virtual environments and the product design process." Springer (2016)
- [5] <https://www.coroflot.com/MinaBassilious/Breville-Electric-Screwdriver>, Retrieved December 15, (2018)
- [6] <http://www.mgmc-design.co.kr/?portfolio=0091>, Retrieved December 15, (2018)
- [7] <https://www.medgadget.com/2013/10/cambridge-consultants-injection-device.html>, Retrieved December 15, (2018)