



---

## **A Haptic Controller Based on Smart Actuators for Mobile Virtual Environment**

**Seok-Han Lee, Dong-Soo Choi, Hye-Sun Lee, Sang-Youn Kim\***

*Interdisciplinary Program in Creative Engineering, Interaction Laboratory of Advanced Technology Research Center, Korea University of Technology and Education*

---

### **ABSTRACT**

In this paper, we propose a handheld haptic controller that conveys kinesthetic sensation to users. The haptic controller consists of two haptic buttons based on the smart actuators and thin pressure sensors. The smart actuator is composed of an electromagnet and a soft magnetorheological elastomer whose stiffness can be changed by the external magnetic strength and flux. If voltage input is applied to the electromagnet, the magnet generates the magnetic fields to make the magnetorheological elastomer stiff. The amount of stiffness depends on the amplitude of the voltage input. Therefore, the smart actuator can simulate the stiffness of a target object. Furthermore, when the AC signal is provided to the electromagnet, the magnetorheological elastomer generates mechanical vibration. We construct a mobile virtual application whose goal is to move a bird to another place without colliding obstacles. Two buttons in the haptic controller are mapped as the soaring and the shooting an item, respectively. If a user does not push the soaring button, the bird falls toward the ground because it is affected by gravity. In case of pressing the soaring button, the bird that is in the application soars up. At that time, we can control the stiffness of the haptic button according to simulate various virtual environments (Blue sky, Snowstorm, and Underwater). Furthermore, when the user press shooting button, the haptic button generate vibration to make user feel shooting an item. We conducted the user study to evaluate the proposed haptic system. The result of the user study shows that the proposed haptic controller can improve the user's enjoyment, immersion, and operability in the mobile virtual environment than the general controller without haptic feedback. We expect that the proposed haptic system is widely applied to various virtual reality applications such as virtual education/training and military or medical simulators.

© 2019 KKITS All rights reserved

---

**KEYWORDS:** Haptic controllers, Virtual environments, Smart actuators, Magnetorheological elastomer, Kinesthetic feedback

---

**ARTICLE INFO:** Received 19 March 2019, Revised 4 July 2019, Accepted 9 August 2019.

---

---

\*Corresponding author is with Interaction Laboratory, Advanced Research Technology Center, Korea University of Technology and Education, 1600 Chungjeol-ro,

Byeongcheon-myeon, Dongnam-gu, Cheonan, ChungNam 31253, Korea.

*E-mail address:* sykim@koreatech.ac.kr

## 1. 서론

최근 가상현실이 교육 및 훈련, 엔터테인먼트, 게임을 포함한 다양한 분야에서 활용되고 있다 [1-3]. 현실감 있게 구현된 가상 환경이나 상황이 학습자나 사용자에게 실제와 같은 인식을 주어, 높은 만족도나 교육적 효과를 주기 때문이다[4]. 이러한 효과를 극대화하기 위해 직관적인 인터페이스를 가지는 컨트롤러의 개발이 요구되었다. 이에 따라 최근에는 사용자와 가상 환경의 직관적인 상호작용을 지원하기 위한 컨트롤러의 개발 및 상용화에 대한 연구가 진행되고 있다[5-7].

기존에 개발된 컨트롤러들은 사용자들이 가상현실 속 물체를 제어할 수 있게 할 뿐만 아니라 촉각적인 피드백을 주어 사용자가 가상현실에 몰입할 수 있도록 도와준다. 촉각 피드백은 피부와 물체의 직접적인 접촉을 통해 물체의 거칠기나 온도 등을 느끼는 촉감과 근육, 관절, 또는 인대 등을 통해 강성이나 무게 등을 느낄 수 있는 근감각을 포함한다[8, 9]. 따라서 앞서 기술한 두 가지 유형의 촉각 피드백을 사용자에게 제공한다면 사용자는 가상현실을 경험할 때 더욱 향상된 몰입감을 느낄 수 있을 것이다. 그러나 기존의 컨트롤러들은 단순 진동만으로 사용자에게 촉각 피드백을 전달해왔다. 단순 진동은 물체들 간의 충돌 또는 물체의 재질감 등을 표현하는데 사용될 수 있지만[10], 이러한 단순 진동만으로는 충돌 이외의 가상 속 물체의 단단한 정도나 무게와 같은 촉각 정보를 사용자에게 전달하는 데 한계가 있다. 백규열 외 2명이 2015년에 연구한 근감각을 생성할 수 있는 액추에이터는 사용자들에게 충분한 촉각을 제공하지만 크기가 크고 무거워서 작은 사이즈의 컨트롤러에 탑재하는 것이 쉽지 않다[11]. 이러한 맥락에서 현재 출시된 모바일용 컨트롤러들은 사용자들에게 근감각을 전달하기 어렵다. 따라서 사용자와

가상 환경과의 다양한 상호작용을 지원하기 위해 단순 진동뿐만 아니라 근감각까지 생성할 수 있는 컨트롤러의 개발이 요구된다[12]. 가상 환경과 사용자 사이의 상호작용을 담당하는 컨트롤러가 촉감뿐만 아니라 근감각까지 제공할 경우, 사용자의 가상 환경에 대한 몰입감과 조작감을 증진시키는 데 기여할 것으로 예상된다[13].

본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해서 사용자가 진동 촉감뿐만 아니라 근감각의 변화까지 함께 느낄 수 있는 모바일 가상환경을 위한 스마트 액추에이터 기반 햅틱 컨트롤러를 제안한다. 본 연구의 2장에서는 가상 환경 시스템의 구성과 신호 흐름을 기술하였고 2.1장에서 햅틱 컨트롤러의 구조와 구동 원리와, 2.2장에서 사용자가 햅틱 컨트롤러를 사용하여 모바일 가상 환경과 어떤 방식으로 상호작용하는지 설명하였다. 3장에서는 개발된 시스템의 효과를 실증적으로 확인하기 위해 사용자 평가를 진행하였다. 4장에서는 햅틱 컨트롤러를 이용한 모바일 가상현실 시스템의 적용 가능 분야 및 가능성에 대하여 서술하였다.

## 2. 시스템 구성

<표 1>과 같이 기존에 개발된 모바일용 햅틱 컨트롤러들은 진동과 같은 단순한 촉각 피드백밖에 제공할 수 없다. 이에 따라, 본 연구에서는 진동과 같은 촉감뿐만 아니라 근감각도 전달할 수 있고 작은 컨트롤러에 탑재 가능한 소형 스마트 액추에이터를 개발하고, 이를 이용하여 햅틱 버튼을 개발하였다. 더 나아가, 본 논문에서는 사용자가 모바일 가상 환경 속 상황에 따라 다른 저항감 및 촉감을 전달받을 수 있는 햅틱 컨트롤러를 제안한다.

본 논문에서 제안하는 햅틱 컨트롤러는 사용자의 조작에 따른 입력 정보를 모바일 가상 환경에 전달하고, 가상 환경의 상황 정보나 사용자의 조작

표 1. 출시된 모바일용 컨트롤러  
Table 1. Released mobile controller

제조사, 제품명	특징	장점	단점
픽스, 픽스 올인원 게임패드[14]	- PC 까지 호환 가능	- 듀얼 진동 모터 탑재 - 미디어 활성화 기능	- 한정적 햅틱 피드백(진동) 제공
조이트론, ANDIOS[15]	- 스마트 폰 홀더 일체형	- 안드로이드/IOS 호환 - 30 시간 연속사용 가능	- 한정적 햅틱 피드백(진동) 제공 - PC 기반 게임에서만 진동 제공
iPega, 9083s Red Bat Game Controller[16]	- 게임패드 사이에 스마트폰 장착	- 태블릿에도 장착 가능	- 햅틱 피드백 없음 - 압력 감지 기술의 부재

에 맞춰 사용자에게 근감각과 진동 촉감을 제공하면서 사용자와 모바일 가상 환경 사이의 상호작용에 직접적으로 관여한다. 모바일 가상 환경은 햅틱 컨트롤러로부터 사용자의 조작 정보를 받아들여 사용자에게 시각적인 피드백을 준다. 또한, 가상 환경에서 캐릭터의 상황 정보가 햅틱 컨트롤러에 전달되어 사용자는 캐릭터가 처한 환경에 대한 촉각적인 피드백을 받을 수 있다.

전달된다. 마이크로 컨트롤러는 이 압력을 처리하여 눌렀다는 신호를 블루투스를 통해 가상 환경에 전달한다. 가상 환경은 마이크로 컨트롤러가 전달해 준 신호를 바탕으로 캐릭터를 제어한다.

이때 가상 환경은 캐릭터가 위치해 있는 배경 정보를 마이크로 컨트롤러에 보내준다. 마이크로 컨트롤러는 전달받은 배경 정보를 바탕으로 촉각 생성부를 구동시켜 사용자가 배경에 따라 다른 햅틱 감각을 느낄 수 있게 해준다.

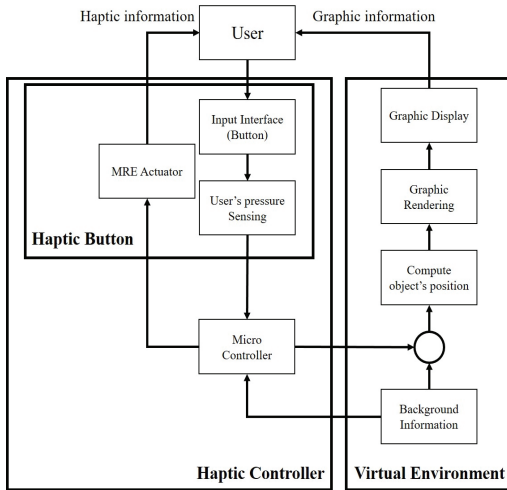


그림 1. 시스템 신호 흐름도  
Figure 1. Signal flow diagram of entire system

<그림 1>은 구축된 시스템의 신호 흐름도를 보여주고 있다. 사용자가 컨트롤러의 버튼을 누르면 버튼에서 압력이 측정되어 마이크로 컨트롤러로

## 2.1 햅틱 컨트롤러

햅틱 컨트롤러는 <그림 2>와 같이 두 개의 햅틱 버튼, 마이크로 컨트롤러 그리고 블루투스 모듈, 하우징으로 구성된다. 두 개의 햅틱 버튼은 사용자의 버튼 조작 정보를 가상 환경에 전달하고, 가상 환경에서 계산된 촉각 정보를 사용자에게 되돌려 준다. 마이크로 컨트롤러는 이러한 햅틱 버튼을 제어하고, 블루투스 모듈을 사용하여 모바일 가상 환경과 통신한다. 햅틱 컨트롤러의 하우징 내에 자석을 부착하고 모바일 기기의 케이스에 자성물질로 만들어진 스티커를 붙였으며, 이를 통해 햅틱 컨트롤러 위에 모바일 기기를 고정시켰다. <그림 2(a)>는 햅틱 컨트롤러의 내부 구조를 보여주고, <그림 2(b)>는 완성된 햅틱 컨트롤러와 모바일 기기에서 실행된 어플리케이션을 보여준다.

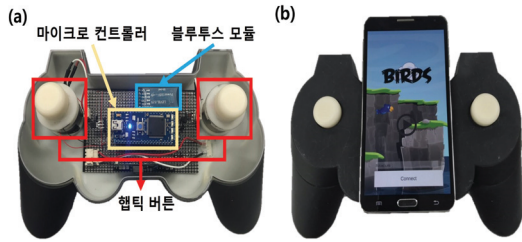


그림 2. (a) 햅틱 컨트롤러의 내부, (b) 햅틱 컨트롤러의 외형과 모바일 어플리케이션  
Figure 2. (a) Inside structure of the haptic controller, (b) Shape of the haptic controller and mobile application

본 연구에서 개발된 햅틱 버튼에는 소형 스마트 액추에이터가 탑재되어있다. 소형 스마트 액추에이터는 지름 30 mm, 높이 22 mm이며, 무게는 86.8 g 이다. 이는 백규열 외 2명에 의해 개발되었던 근감각 액추에이터(크기 : 280 mm × 350 mm × 140 mm, 무게 : 1.5 kg)보다 현저히 작고 가볍다. 또한, 기존에 개발된 근감각 액추에이터는 진동 촉감을 사용자에게 제공하지 못하지만, 본 논문에서 제안하는 스마트 액추에이터는 근감각 뿐만 아니라 진동 촉감까지 제공할 수 있다.

본 연구에서 개발된 햅틱 버튼의 구조적 특성을 보다 자세히 살펴보면, <그림 3>과 같이 압력 센싱부와 촉각 생성부(스마트 액추에이터)로 이루어진다. 압력 센싱 부는 사용자의 버튼 입력을 받아들이는 역할을 하며, 사용자의 손가락과 접촉이 이루어지는 버튼 커버와 사용자의 버튼 입력 여부나 인가되는 압력의 세기 등을 측정하는 박막형 힘 센서로 구성되어있다.

촉각 생성부는 액추에이터 커버, 강성가변소재, 스프링, 솔레노이드 그리고 하우징으로 구성되며, 사용자가 버튼을 누를 때 사용자가 느끼는 근감각을 변화시킨다. 사용자에게 근감각의 변화를 제공하기 위해 외부 에너지원에 따라 강성이 가변될 수 있는 소재가 필요하다. 본 연구에서는 솔레노이드에서 생성하는 자기장에 의해 물질의 강성이 변

화되는 자기유변탄성체를 강성가변소재로 활용하였다. 스프링은 버튼에 인가되는 외부 압력이 사라졌을 때, 버튼을 초기 상태로 복원시키는 역할을 한다. 솔레노이드에서 생성된 자기장의 세기를 극대화하기 위해 하우징과 액추에이터 커버를 자성체로 제작하여 자기장을 폐자기 회로로 유도하였다.

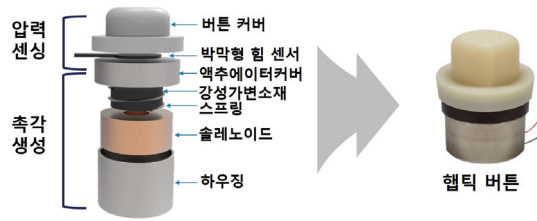


그림 3. 햅틱 버튼 구조도  
Figure 3. Structure of haptic button

햅틱 버튼에 사용된 자기유변탄성체는 탄성 고분자와 카르보닐 철 입자(Carbonyl Iron Particle; CIP)로 이루어져 있어 자기장의 유무 또는 세기에 따라 강성이 달라지는 특성이 있다[17]. 자기유변탄성체에서 탄성 고분자는 카르보닐 철 입자를 균일하게 분산시키는 역할을 하고, 카르보닐 철 입자는 외부에서 인가되는 자기장에 민감하게 반응하는 강자성체 역할을 한다. 이 입자에 인가되는 외부 자기장의 상태에 따라 입자가 이동하면서, 자기유변탄성체의 기계적인 물성 변화가 이루어진다.

<그림 4>는 촉각 생성부에서 자기유변탄성체의 강성이 변화하는 원리를 설명한다. <그림 4>의 (a)는 자기유변탄성체의 초기 상태를 나타낸다. 초기 상태에서 카르보닐 철 입자는 자기유변탄성체 내부에 무작위로 배열되어 있다. 솔레노이드에 전류를 인가하게 되면 자기장이 발생하고, 발생한 자기장에 의해 자기유변탄성체 내부의 카르보닐 철 입자들이 자화되면서 입자 간에 인력이 발생한다. 이러한 인력에 의해 <그림 4>의 (b)와 같이 카르보닐 철 입자들 간의 간격이 줄어들게 되어 사슬을 형

성하게 되며[18], 이로 인해 자기유변탄성체의 두께가 약간 수축하고 너비 방향으로 약간 늘어나게 되며 자기유변탄성체의 강성이 높아진다. 이와 같은 원리로 햅틱 버튼은 자기장의 유무 및 세기에 따라 자기유변탄성체의 강성이 달라지며 사용자에게 근감각의 변화를 제공한다.

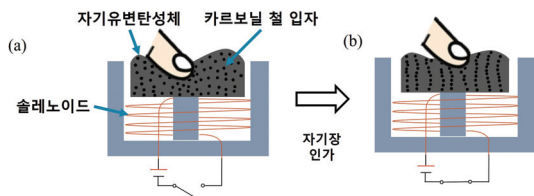


그림 4. 촉각 생성부 구동원리  
Figure 4. Operation principle of tactile generator

<그림 5>는 햅틱 컨트롤러에 사용된 촉각 생성부의 힘-거리 곡선을 보여준다. 촉각 생성부를 누르는 힘에 대한 반력이 측정됐으며, 거리는 촉각 생성부가 압축된 깊이를 의미한다. 실험 결과, 사용자가 촉각 생성부를 깊이 누를수록 촉각 생성부에서 생성되는 반력 또한 증가하며, 촉각 생성부에서 인가되는 전압이 클수록 사용자에게 전달되는 힘이 커짐을 확인했다.

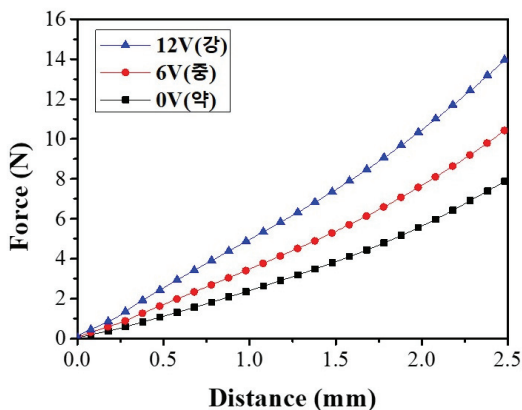


그림 5. 촉각 생성부의 힘-거리 곡선  
Figure 5. Force-Distance curve of tactile generator

햅틱 컨트롤러의 왼쪽 버튼(도약 버튼)은 가상 환경의 배경에 따라 자기유변탄성체가 다른 강성을 갖도록 하여, 사용자는 가상환경의 캐릭터를 도약시킬 때 근감각의 변화를 느낄 수 있게 된다. 또한, 자기유변탄성체에 교류 신호를 인가하면 입력 주파수에 따라 수축과 팽창을 반복한다. 이로 인해 오른쪽 버튼(아이템 버튼)에 교류 신호를 인가하면 사용자는 진동 촉감을 느낄 수 있다.

## 2.2 모바일 가상 환경

본 연구에서 모바일 가상 환경은 Unity 2017 2D 와 Visual studio 2017로 개발되었으며, C# 언어가 사용되었다. <그림 6>와 같이 개발된 모바일 가상 환경은 캐릭터(적색 원)가 도약 또는 하강하며 장애물(청색 사각형)을 피해 날아가는 횡 스크롤 2D 게임이다. 캐릭터가 통과하는 장애물의 수에 따라 점수가 매겨지며, 캐릭터가 장애물에 부딪히거나 바닥에 떨어지게 되면 게임은 종료된다. 장애물의 역할을 하는 파이프는 일정한 시간마다 생성되고, 캐릭터가 통과해야 하는 파이프 사이의 폭은 무작위로 결정된다.

사용자는 게임 속 캐릭터를 도약 버튼과 아이템 버튼을 이용하여 조작할 수 있다. 캐릭터는 도약하지 않을 시 설정된 중력에 의해 하강하여 바닥에 떨어지게 되면 게임이 종료되기 때문에 사용자는 가상 환경 속 장애물의 위치에 따라 캐릭터를 도약하면서 장애물을 피해야 한다.

사용자가 햅틱 컨트롤러의 도약 버튼을 누를 때 압력 센싱 부에 있는 박막형 힘 센서의 저항값이 변화하고, 이 정보는 마이크로 컨트롤러를 통해 가상 환경으로 전달된다. 사용자가 버튼을 누르고 있으면 박막형 힘 센서의 저항값이 작아져 가상 환경의 캐릭터는 도약한다.



그림 6. 횡 스크롤 2D 게임  
Figure 6. Side scroll 2D game

사용자가 도약 버튼을 누를 때, 사용자는 가상 환경 속 캐릭터가 위치해 있는 서로 다른 배경(하늘, 설산, 바닷속)에 따라 다른 근감각을 느낄 수 있다(<그림 7> 참조). 하늘 배경에서 캐릭터는 공기 이외의 저항을 받지 않도록 개발되었기 때문에, 사용자가 도약 버튼을 조작할 때 가장 약한 근감각을 느낄 수 있도록 하였다. 설산 배경은 캐릭터가 공기뿐만 아니라 눈보라와 같은 저항을 받도록 개발되었으므로, 도약 버튼에 전압을 인가하여 버튼의 강성을 높였다. 그러므로 가상 환경의 배경이 설산인 경우, 사용자는 하늘 배경일 때보다 도약 버튼의 조작에서 조금 더 큰 저항감을 받게 된다. 마지막으로, 바닷속 배경은 캐릭터가 물속에서 움직이고 있는 상황으로, 버튼에 설산일 때보다 더 큰 전압을 인가하였다. 이와 동시에 햅틱 버튼의 강성을 최대화되며, 가장 큰 저항력을 사용자가 경험하도록 하였다.

아이템 기능은 가상 환경의 캐릭터가 장애물을 피하기 어려운 상황에서 사용될 수 있다. 사용자가 아이템 버튼을 누르면, 압력 센싱 부는 버튼 입력 여부를 인식하고 가상 환경에서는 캐릭터가 장애

물을 격파할 수 있는 아이템을 발사한다. 이때 가상 환경은 마이크로 컨트롤러에 아이템 사용 정보를 전달하며, 마이크로 컨트롤러는 촉각 생성부에 교류 신호를 인가한다. 인가된 교류 신호의 전압 레벨에 따라 자기유변탄성체가 수축 및 팽창하게 되는데, 반복적인 수축 팽창을 통해 사용자에게 진동 촉감을 준다.

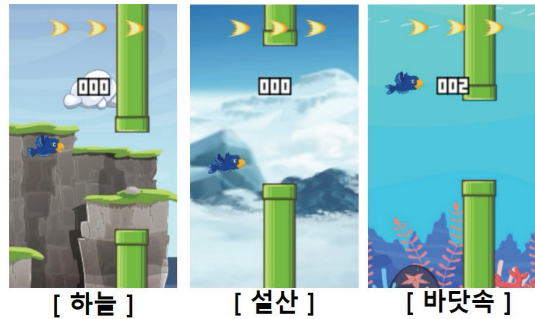


그림 7. 가상 환경 속 세 가지 배경  
Figure 7. Three backgrounds in the virtual environment

### 3. 사용자 평가

본 연구의 햅틱 컨트롤러는 모바일 가상 환경에 맞춰 햅틱 피드백을 제공한다. 이에 햅틱 피드백의 효과를 실증적으로 확인하고자 두 가지 목적의 사용자 평가를 수행하였다.

첫째, 사용자는 햅틱 컨트롤러의 근감각 피드백(저항력) 차이를 명확히 변별하는가?

둘째, 햅틱 피드백(진동 촉감 및 저항력)의 제공 여부에 따라 모바일 가상현실 시스템에 대한 사용자의 만족도에는 차이가 있는가?

사용자 평가에는 총 10명(남 9명, 여 1명, 평균 29.3세(SD=4.73))의 피 실험자가 참여하였으며, 모든 피 실험자는 모바일 화면과 컨트롤러에서 제시되는 시각 및 촉각 자극들을 지각하는 데 문제가 없는 일반적인 지각능력을 가지고 있었다.

### 3.1 근감각 피드백에 대한 지각정확성

이 실험에서는 제안하는 햅틱 컨트롤러 왼쪽 버튼(도약 버튼)의 저항력 차이를 사용자가 변별하여 지각하는지를 확인하였다. 본 연구에서 근감각 피드백은 모바일 가상 환경의 세 가지 배경에 맞춰 연속하여 제공되므로, 이에 맞춰 세 가지 근감각 피드백(약, 중, 강) 중에서 무작위로 두 개의 근감각 피드백을 제시하여 사용자가 변별하도록 하였다. 즉, 피 실험자는 햅틱 버튼을 손가락으로 반복하여 눌러보면서 제시된 두 가지의 근감각 피드백을 충분히 경험한 후 상대적으로 저항력이 크다고 느끼는 자극을 선택하였다. 피 실험자에게는 자극의 제시 순서를 고려하여 두 가지의 자극이 5초 간격으로 6회씩(약중, 약강, 중약, 중강, 강약, 강중) 3차례 반복(총 18회) 제시되었고, 햅틱 버튼의 물리적 변화로 인한 시각 정보가 피 실험자의 선택에 영향을 미치지 않도록 안내를 착용하도록 하였다.

햅틱 컨트롤러의 근감각 피드백에 대한 지각정확도는 평균 85.56%(SD=0.09)였다. 즉, 피 실험자들은 두 가지 근감각 피드백 사이의 저항력 차이를 명확히 구별하여 지각하는 것으로 나타났다. <표 2>는 근감각 피드백의 유형 및 제시 순서에 따른 지각정확도 결과이다. 제시된 근감각 피드백의 순서에 따른 큰 차이는 없었지만, 두 가지 근감각 피드백의 차이가 클 때(약강, 강약) 피 실험자들은 저항력이 큰 자극을 보다 명확하게 지각하였다.

표 2. 근감각 피드백 유형 및 순서에 따른 지각정확도 결과(%)  
Table 2. Result of perceptual accuracy according to type and sequence of kinesthetic feedback(%)

1 <sup>st</sup> \ 2 <sup>nd</sup>	약	중	강
약		90.00	93.33
중	80.00		76.67
강	96.67	76.67	

### 3.2 햅틱 피드백에 따른 만족도 차이

이 실험에서는 햅틱 피드백(진동 촉감 및 저항력)이 모바일 가상 환경과 햅틱 컨트롤러로 이루어진 모바일 가상현실 시스템에 대한 사용자의 만족도를 향상시키는지를 확인하였다. 실험에 앞서 피 실험자에게 모바일 가상 환경의 특성과 햅틱 컨트롤러의 조작방법을 충분히 이해하도록 안내하였다. 이후 피 실험자는 각각 3분 이상 무작위로 햅틱 피드백이 제공되는 햅틱 컨트롤러(HC)와 햅틱 피드백이 제공되지 않는 컨트롤러(NHC)를 사용하여 모바일 가상 환경을 체험한 후 설문지에 응답하였다. 피 실험자는 즐거움, 몰입감, 실재감, 조작 용이성, 재참여의도, 타인추천의도의 6개 문항으로 구성된 만족도 설문에 6점 척도(1점: 전혀 그렇지 않다, 6점: 매우 그렇다)로 응답하였다. 햅틱 피드백의 제공 여부에 따른 사용자의 만족도 결과는 IBM SPSS 22.0을 사용하여 대응표본 t검정으로 분석하였다.

<그림 8>은 컨트롤러의 햅틱 피드백 제공 여부에 따른 사용자의 만족도 결과이다. 햅틱 피드백을 제공하지 않는 컨트롤러(NHC) 보다 햅틱 컨트롤러(HC)를 사용하였을 때, 피 실험자들의 만족도 평균이 모든 문항에서 높았다. 특히 햅틱 피드백이 제공될 때, 모바일 가상현실 시스템에 대한 피 실험자의 즐거움( $t=2.714, p=.024$ ), 몰입감( $t=2.905, p=.017$ ), 조작 용이성( $t=3.042, p=.014$ ), 재참여의도( $t=3.074, p=.013$ ), 타인추천의도( $t=3.308, p=.009$ )는 햅틱 피드백을 제공하지 않을 때보다 통계적으로 유의미하게 높았다( $p<.05$ ). 햅틱 피드백이 모바일 가상현실 시스템에 대한 사용자의 만족감을 전반적으로 향상시킨 반면, 햅틱 피드백의 제공 여부에 따른 실재감( $t=1.633, p=.137$ )의 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다. 이는 햅틱 피드백의 제공 여부와 관계없이 실재감의 평균 점수가 가장 낮았다는 점에서, 햅틱 피드백보다는 제한된 화면 크기와 그

래픽 수준 내에서 모바일 환경에 구현된 가상 환경으로 인해 피 실험자에게 ‘마치 가상현실 내에 존재하는 것 같은’실재감을 주는 데는 한계가 있었던 것으로 해석할 수 있다.

연구의 햅틱 컨트롤러와 모바일 가상 환경은 교육 훈련 또는 군사적, 의학적 시뮬레이터와 같은 다양한 분야에 적용되어 실제감 있고 효과적인 가상 환경을 제공해 줄 수 있을 것으로 예상된다.

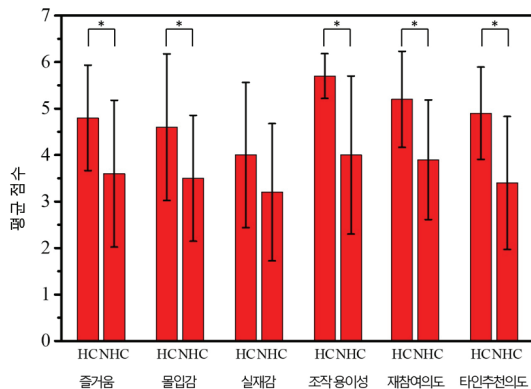


그림 8. 햅틱 피드백의 제공 여부에 따른 만족도 차이  
Figure 8. Difference of the satisfaction according to whether haptic feedback is provided

#### 4. 결론

본 연구에서는 진동 촉감뿐만 아니라 강성가변 소재의 강성 변화에 따라 근감각을 느낄 수 있는 모바일 가상 환경을 위한 스마트 액추에이터 기반 햅틱 컨트롤러를 개발하였다. 개발된 시스템은 사용자가 버튼을 조작할 때, 가상 환경의 상황에 따라 다른 근감각과 진동 촉감을 사용자에게 제공할 수 있는 햅틱 컨트롤러와 이를 이용한 모바일 가상 환경으로 이루어져 있다. 사용자 평가 결과, 진동 촉감뿐만 아니라 근감각까지 제공할 수 있는 본 연구의 햅틱 컨트롤러는 모바일 가상 환경에 대한 사용자의 즐거움과 몰입감, 조작감을 향상시키는 것으로 나타났다. 향후 모바일 외에도 VR, AR 등의 다양한 체감형 게임에서 본 연구의 햅틱 컨트롤러를 활용할 때, 게임 사용자의 몰입감과 만족감을 보다 향상시켜줄 수 있을 것이다. 또한, 본

#### References

- [1] D. Y. An, and K. P. Hyung, *Case study on the development and use of technical training contents using virtual reality*, Journal of practical engineering education, Vol. 5, No. 2, pp. 177-122, 2013.
- [2] P. Hock, S. Benedikter, J. Gugenheimer, and E. Rukzio, *CarVR: Enabling in-car virtual reality entertainment*, Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 4034-4044, 2017.
- [3] A. Cheng, L. Yang, and E. Andersen, *Teaching language and culture with a virtual reality game*, Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 541-549, 2017.
- [4] C. Nam, and C. Kim, *A study on elementary students' virtual reality content production education*, Journal of The Korean Association of Information Education, Vol. 22, No. 1, pp. 33-40, 2018.
- [5] I. Choi, E. Ofek, H. Benko, M. Sinclair, and C. Holz, *CLAW: A multifunctional handheld haptic controller for grasping, touching, and triggering in virtual reality*, Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 654, 2018.
- [6] E. Whitmire, H. Benko, C. Holz, E. Ofek, and M. Sinclair, *Demonstration of haptic revolver: touch, shear, texture, and shape rendering on a VR controller*, Extended



- Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, D108, 2018.
- [7] J-Y. Lo, D-Y. Huang, C-K. Sun, C-E. Hou, and B-Y. Chen, *RollingStone: Using single slip taxel for enhancing active finger exploration with a virtual reality controller*, The 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 839-851, 2018.
- [8] B. H. Kim, B. J. Yi, S. R. Oh, and I. H. Suh, *Independent finger and independent joint-based compliance control of multifingered robot hands*, IEEE Trans. Robotics and Automation, Vol. 19, No. 2, pp. 185-199, 2003.
- [9] H-W. Kim, and P-S. Park, *Usability evaluation of android-based smartphone soft keyboard*, Proceedings of the 12nd Spring Conference of The Korean Knowledge Information Society, pp. 1-6, 2010.
- [10] S. Jean, S. Kim, G. Park, G. Han, S. Lee, S. Choi, S. Choi, and H. Eoh, *Motion-recognizing game controller with feedback*, Proceedings of the Korea HCI Conference, pp. 1-6, 2008.
- [11] K. Y. Baek, H. Kim, and T. Seo, *Experimental study on different principles of variable stiffness actuators*, J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 32, No. 12, pp. 1049-1054, 2015.
- [12] S. Park, J. Lee, H. Kim, Y. Kim, K. Choi, and J. Ryu, *Preliminary framework of system and authoring tool for a 'Sil-Gam' book*, Proceedings of the Korea HCI Conference, pp. 2073-2075, 2009.
- [13] P. J. McKerrow, *Introduction to robotics*, Addison-Wesley, 1992.
- [14] FIX All in one Gamepad, <http://fix.co.kr>.
- [15] JOYTRON EX AiR, <http://www.joytron.co.kr/main.php3>.
- [16] iPega, 9083s Red Bat Game Controller, <http://ipega.hk/>.
- [17] X. Guan, X. Dong, and J. Oh, *Magnetostrictive effect of magnetorheological elastomer*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 320, No. 3-4, pp. 158-163, 2008.
- [18] W. H. Li, X. Z. Zhang, and H. Du, *Magnetorheological elastomers and their applications*, In: Visakh PM, Thomas S, Chandra AK, Mathew AP(Eds.), *Advances in elastomers I: blends and interpenetrating networks*. Berlin, Germany: Springer, pp. 357-374, 2013.

---

## 모바일 가상 환경을 위한 스마트 액추에이터 기반 햅틱 컨트롤러

이석한<sup>1</sup>, 최동수<sup>2</sup>, 이해선<sup>3</sup>, 김상연<sup>4</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 Interaction Lab. 석박사 통합과정

<sup>2</sup>한국기술교육대학교 Interaction Lab. 박사과정

<sup>3</sup>한국기술교육대학교 Interaction Lab. 박사후 연구원

<sup>4</sup>한국기술교육대학교 Interaction Lab. 교수

---

### 요 약

본 논문에서 우리는 근감각을 사용자에게 전달할 수 있는 햅틱 컨트롤러를 제안한다. 햅틱 컨트롤러는 스마트 액추에이터 기반의 두 개의 햅틱 버튼과 얇은 압력센서로 구성되어 있다. 스마트 액추에이터는 전자석과 자기유변탄성체로 이루어져 있으며, 자기유변탄성체의 강성은 외부 자기장의 세기와 자기 선속에 의해 달라진다. 전자석에 전압이 인가되면 전자석은 자기장을 생성하고 자기유변탄성체를 단단해지게 만든다. 또한, 강성의 정도는 전압의 세기에 따라 달라진다.

---

다. 그러므로 스마트 액추에이터는 물체의 강성을 표현할 수 있다. 게다가, 전자석에 교류 신호가 인가되면 자기유변탄성체는 기계적인 진동을 생성하게 된다. 본 연구에서는 장애물과의 충돌 없이 새를 움직이는 모바일 가상 환경을 구성하였다. 햅틱 컨트롤러에 있는 두 개의 햅틱 버튼은 각각 도약 기능과 아이템 발사 기능을 한다. 사용자가 도약 버튼을 누르지 않으면 중력 때문에 아래로 떨어지게 된다. 사용자가 도약버튼을 누름과 동시에 가상 환경 속 캐릭터는 위로 솟아오르고, 사용자는 가상환경의 배경(하늘, 설산, 바닷속)에 따라 햅틱 버튼의 강성을 다르게 느낄 수 있다. 게다가, 사용자가 아이템 버튼을 누르면 아이템이 발사됨과 동시에 사용자는 진동을 느낄 수 있다. 본 시스템의 효용성을 확인하기 위해 사용자 평가를 수행한 결과, 제안하는 햅틱 컨트롤러는 햅틱 피드백이 없는 일반 컨트롤러 보다 모바일 가상 환경에 대한 사용자의 즐거움과 몰입감, 조작성을 향상시켰다. 제안하는 햅틱 시스템이 가상 교육/훈련과 군사 또는 의료 시뮬레이터들과 같은 다양한 가상현실 시스템에 적용 가능할 것으로 예상된다.

## 감사의 글

본 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 임[NRF-2018R1A6A1A03025526]. 또한, 이 연구는 2017년도 산업통상자원부 및 산업기술평가원(KEIT) 연구비 지원에 의하여 연구되었음[10077367].



**Seok-Han Lee** received a B.S. (2019) and is a Master's and doctorate courses student of Interdisciplinary Program in Creative Engineering at

Korea University of Technology and Education. His current research interests include Human-Computer Interaction, Haptics and Vehicle UI/UX .

*E-mail address:* snow33458@koreatech.ac.kr



**Dong-Soo Choi** received a B.S. (2013) and a M.S. (2015) in the Department of Computer Science and Engineering from the Korea University of Technology and Education. His current research interests include Haptic Rendering, Embedded System.

*E-mail address:* mycds88@koreatech.ac.kr



**Hye-Sun Lee** received a B.A. (2009), an M.A. (2013) and a Ph.D. (2018) in the Department of Education from the Sookmyung Women's University. She is currently a Post-doctoral researcher at the Computer Engineering at Korea University of Technology and Education. Her current research interests include Virtual Training, Usability Evaluation, Learners' Experience.

*E-mail address:* edumas0801@koreatech.ac.kr



**Sang-Youn Kim** received a B.S. (1994) from the Korea University, Korea and an M.S.E (1996) and a Ph.D. (2004) in mechanical engineering at Korea

Advanced institute of Science and Technology (KAIST). From 2004 to 2005, he was a researcher at Human Welfare Robot System Research Center. In 2005, he was a research staff at Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT). He is currently a professor of Computer Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Human- Computer Interaction, Virtual Reality, and Haptics.

*E-mail address:* sykim@koreatech.ac.kr