

L-Visor: 닌텐도 라보를 응용한 바이저 형태 HMD 입력장치

L-Visor: Visor Input Device Applied with LABO Head-Mounted Display

박상민
Sangmin Park
zeratulted@hanyang.ac.kr

김현규
Hyeonkyu Kim
khk569@gmail.com

김지문
Jimoon Kim
wlansdl@gmail.com

장윤호
Yoonho Jang
otter3274@hanyang.ac.kr

한상선
Sangsun Han
hanss1@hanyang.ac.kr

안호준
Hojun, Ann
anan7940@naver.com

김기범
Kibum Kim
kibum@hanyang.ac.kr

한양대학교 소프트웨어융합대학
College of Computing, Hanyang University

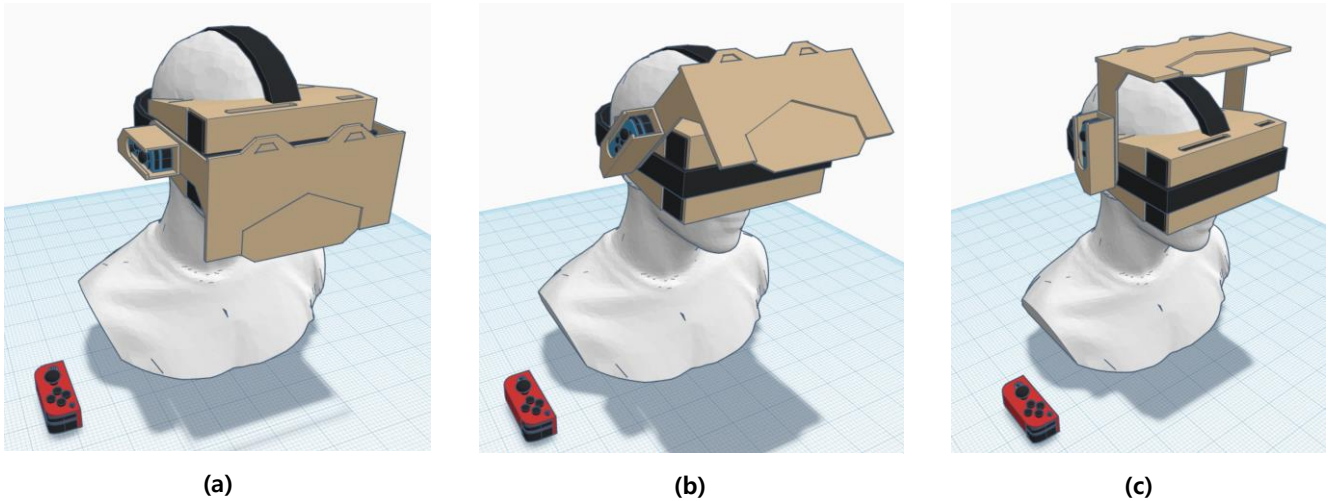


그림 1 L-Visor의 3D 모델링 및 조작 방법. L-Visor는 바이저 부분의 회전으로 조작된다. (a)는 특수능력이 활성화된 상태이며, (b)는 특수능력을 활성화/비활성화 중인 상태이고, (c)는 특수능력이 비활성화된 상태이다.

요약문

시중에 나온 VR 기기들 중에서도, ‘Nintendo LABO VR Kit’(이하 라보)는 골판지로 이루어진 DIY 하드웨어와 이를 이용한 특유의 다양한 상호작용을 가지고 있다. 하지만 라보를 사용하는 동안 사용자는 두 손으로 HMD 혹은 골판지 하드웨어를 잡고 있어야 하며 이로 인해 다른 입력장치를 동시에 사용할 수 없다. 이러한 한계를 극복하고자, 우리는 라보의 하드웨어를 모방하여 사용자의 손을 자유롭게 해서 더 폭넓은 가상현실 체험을 할 수 있도록 도와주는 새로운 바이저 형태 입력장치인 L-Visor를 개발하였다. L-Visor는 레이저 커팅을 거친 골판지로 만들어졌으며, 이 장치를 착용한 사용자는 사용 중에 Nintendo Switch의 입력장치인 Joy-Con을 손으로 잡고 가상현실을 체험할 수 있다. 또한, 우리는 L-Visor와 사용자의

상호작용을 실험하기 위해 비주얼 프로그래밍 툴인 Toy-Con Garage VR을 이용하여 4가지의 프로토타입 게임을 구현하였다.

추가로, 우리는 L-Visor와 Joy-Con, 페달 Toy-Con의 3가지 입력장치를 비교하는 사용성 평가를 실시했다. 실험 결과는 참가자들이 게임 내용과 직관적으로 일치하는 L-Visor의 입력 형태를 다른 입력장치보다 더 선호한다는 것을 보여주었다. 전체적으로, 본 연구는 VR 사용자와 가상 환경이 더 가까이 상호작용할 수 있는 새로운 하드웨어를 제작하여, DIY의 VR에서의 가치를 탐구하는 연구로의 확장을 지향한다.

주제어

가상현실, 닌텐도 라보(Nintendo LABO), DIY, 바이저

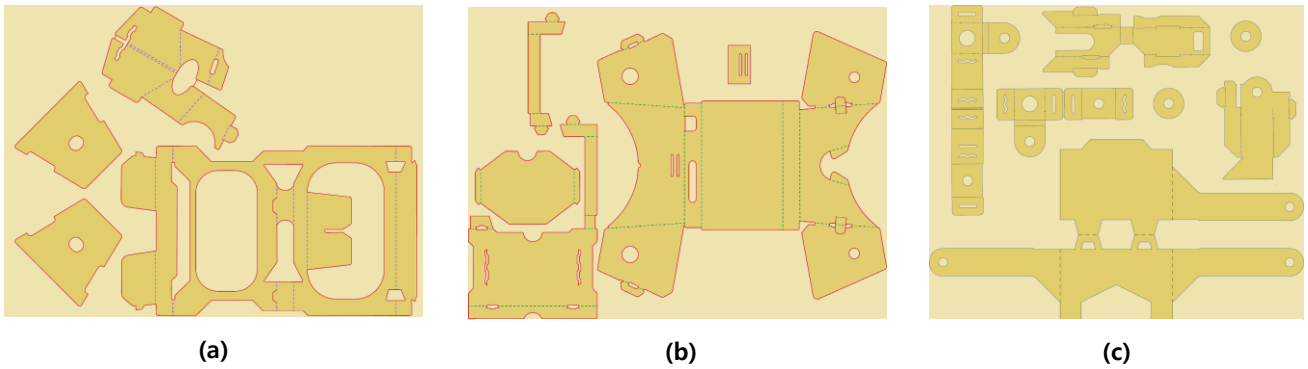


그림 2 L-Visor의 도면도. (a)와 (b)는 HMD 부품의 도면도이며, (c)는 바이저 부품의 도면도이다.

1. 서론

사용자가 가상 환경과 상호작용하기 위해서는 입력 장치가 필요하다. 많은 연구들은 손과 발을 이용한 유형의 입력 장치를 사용하는 것을 제안하였다. Virtuix™나[4] Ultraleap™처럼 손이나 발에 추가적인 입력장치를 장착하고[1, 2, 3] 새로운 모션을 사용하여 가상 환경과 상호작용할 수 있는 연구들이 대표적이다. 하지만 HMD 를 착용하는 머리 부분에 컨트롤러를 직접 장착하는 연구는 거의 수행되지 않았다. Ultraleap™은 이러한 선행 연구들 중 하나이다. Ultraleap™은 Leap motion 과 같은 HMD 에 직접 장착하는 컨트롤러가 있다[5]. 이 Leap Motion 은 HMD 의 정면에 부착되며 신호를 생성하는데, 사용자의 손과 손가락의 모션을 인식하고 추적하여 가상 환경과 상호작용할 수 있도록 해준다.

본 연구는 이와 같이 HMD 에 부착할 수 있는 새로운 입력장치를 만드는 것을 목표로 하고 있다. 우리는 가상현실 콘텐츠와 사용자의 동작이 일치되는 유형의 입력장치와 VR HMD 를 연결하고자 하였다. 그래서 우리는 ‘Nintendo’ 사의 ‘Nintendo LABO’(이하 라보)에 주목했다. 라보는 ‘골판지로 만든 컨트롤러인 Toy-Con 과 ‘Nintendo Switch’(이하 닌텐도 스위치) 기기, 그리고 그것의 게임 소프트웨어를 조합하여 게임을 플레이할 때 다양한 제스처를 이용한 상호작용을 지원해주는 제품’이다[9]. 사용자는 Toy-Con 의 도면에서 부품을 떼어내 직접 조립하고 여기에 Joy-Con 을 넣어 낚시대나 자동차 같은 현실의 물체나 도구와 비슷한 모양의 컨트롤러를 제작할 수 있으며, 컨트롤러 각자 고유의 제스처를 이용하여 게임의 오브젝트들과 상호작용할 수 있다. 예시로 든 낚시대 Toy-Con 의 경우 릴을 감아 올리는 제스처로 물고기 오브젝트를 낚아올리는 활동을 할 수 있다[21].

라보는 다른 연구들에서 아날로그와 디지털을 합친 “Analog on Digital”(AoD)의 주목할만한 예시나[19] 사용자를 상호작용의 창조나 개인화의 결과를

가져오는 합동 제작 과정으로 유도하는 유형과 디지털 플레이가 혼합된 예시로서[20] 여러 번 정의가 되었지만, 라보를 직간접적으로 적용하거나 실험하는 연구는 거의 진행되지 않았다. 우리의 선행 연구는 라보를 직간접적으로 적용한 예시 중 하나이다[9]. 우리는 선행 연구에서 라보의 특징을 응용한 병 모양과 그릇 모양의 골판지 컨트롤러를 만들어 사용자들의 주체적이고 역동적인 게임 경험과 상호작용을 기대하였다.

시중에 판매되는 라보 키트들 중에서 ‘VR Kit’의 경우 골판지 HMD 를 DIY 로 제작할 수 있게 해주며 사용자들의 가상현실 체험을 가능하게 해준다. 하지만 라보 VR HMD 는 사용하는 동안 사용자가 두 손으로 HMD 나 이와 연결된 다른 골판지 하드웨어를 잡고 있어야 하는데, 그 동안 사용자는 다른 입력장치를 사용할 수 없다는 단점이 있다.

우리는 라보의 장점을 살리는 동시에 이러한 단점을 해결하고자 새로운 바이저 형태의 HMD 입력 장치인 L-Visor 를 제안한다. 그리고 L-Visor 가 정말 게임 경험에 개선이 있는지 실험하기 위해, 우리는 라보에서 기본적으로 제공하는 비주얼 프로그래밍 툴인 ‘Toy-Con Garage VR’을 이용하여[6] L-Visor 의 작동 방식과 상호작용하는 4 가지의 프로토타입 게임을 구현하였다.

2. 본문

2.1 제작 및 디자인

우리는 라보 VR 키트의 HMD 와 라보 로봇 키트의 바이저 모양 Toy-Con 을 모방하고 결합해 헬멧의 바이저처럼 조작할 수 있는 새로운 HMD 를 만들었다. 본래 Toy-Con 의 느낌을 유지하기 위해 레이저 절단기로 골판지를 가공하였고, 본래 설계 및 구조에 따라 L-Visor 를 조립했다. 우리는 바이저의 상승과 하강이 원활하게 진행되도록 L-Visor 의 바이저 다리 부분이 원래의 바이저 모양 Toy-Con 보다 조금 길도록 설계하였다. 또한 HMD 를 머리에 착용할 수 있도록

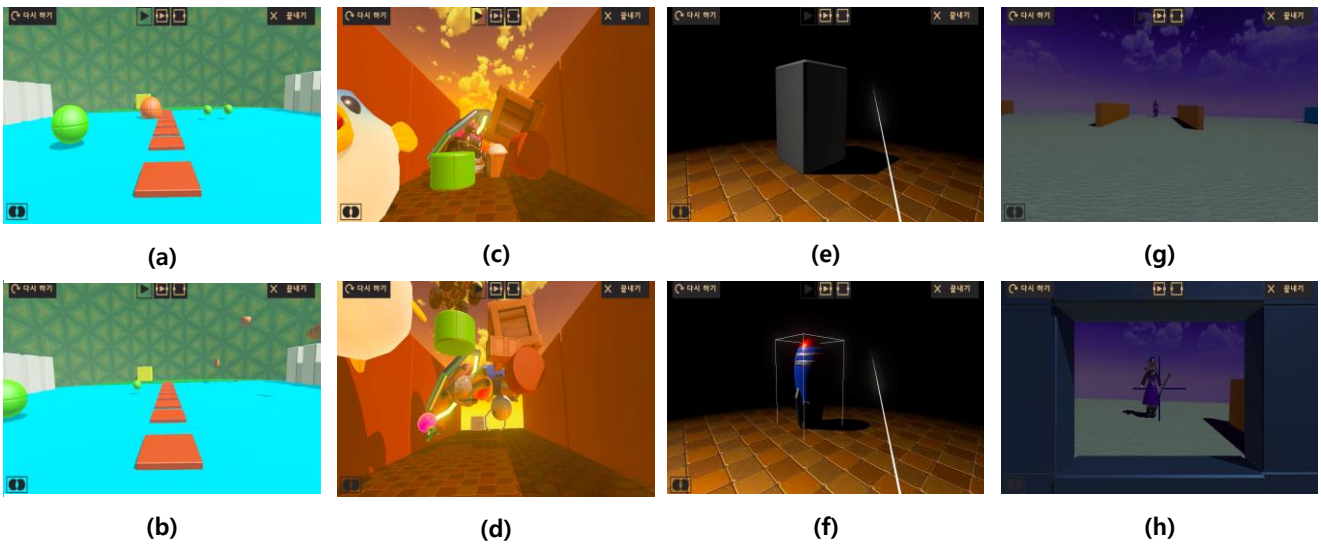


그림 3 실험에 사용된 각 게임과 특수 능력의 활성화/비활성화 비교 스크린샷. 왼쪽부터 ‘슬로우 모션’, ‘무중력’, ‘투시’, ‘확대/축소’의 순서이며, 위 사진은 능력의 비활성화 상태이고 아래 사진은 능력의 활성화 상태이다.

스트랩과 벨크로를 이용해 머리끈을 만들었다. 구글 카드보드처럼[7, 8] 사용 중 두 손으로 잡고 있어야만 하는 기존 라보 VR HMD의 단점을 해결하기 위해, 우리는 머리끈으로 HMD를 묶어 사용자가 양손을 자유롭게 사용할 수 있도록 하였다.

그리고, L-Visor는 닌텐도 스위치를 핵심 하드웨어로써 사용한다. 우리는 바이저의 오른쪽에 닌텐도 스위치의 컨트롤러인 왼쪽 Joy-Con을 장착하여 소프트웨어에서 바이저의 각도 및 방향을 알 수 있도록 하였다. 구체적으로, 바이저 부분이 전방을 바라보고 있는 경우(그림 1(a)) 입력 신호가 활성화되고, 바이저 부분이 위쪽을 바라보고 있으면(그림 1(c)) 입력 신호가 비활성화된다. 사용자는 이 바이저 부분을 손으로 잡고 위로 올리거나 아래로 내려 소프트웨어와 상호작용할 수 있다. 그들은 L-Visor의 다리를 잡고 내림으로써 VR HMD에 탑재된 구글 바이저를 내리고 있는 듯한 느낌을 받을 수 있다. 또한 사용자들은 실제 물체를 만졌을 때 가상현실에서 반응하는 모습을 보면서 가상 환경에 조금 더 몰입할 수 있게 된다. 본 연구에서 구현된 L-Visor의 도면도는 그림 2에 있다.

2.2 사용자 실험

사용자 실험 목적으로 Toy-Con Garage VR을 이용하여 개발된 4가지 단계의 게임들을 우리는 L-Visor, Joy-Con, 라보 페달 Toy-Con의 세 가지 입력 방법을 사용하여 플레이하도록 하여 비교 평가하였다.

2.2.1 사용자 실험 참가자

33명(남자 19명, 여자 14명/한국인 33명/나이 범위: 20세~26세/평균 나이 22.4세)의 참가자를 모집하여 실험을 진행하였고 참가자들에게는 소정의 실험

참가비를 지불하였다. 모든 참가자들은 대학생이라고 답변했다. 18명이 ‘1~3회’ 정도 VR 체험을 해봤다고 답하였고, 7명이 ‘4~6회’, 3명이 ‘7회 이상’이라고 답하였다. 닌텐도 스위치 사용 경험에 대해서는, 9명의 참가자가 ‘1~3회’, 3명이 ‘7회 이상’이라고 답하였다. 오직 3명의 참가자만이 라보를 ‘1~3회’ 정도 사용해보았다고 답변했다.

2.2.2 실험 환경

실험을 위해, 참가자들은 회전이 가능하여 전체 가상 환경 영역을 볼 수 있는 의자에 앉았다. 의자 근처에는 장애물이 없어 참가자들이 가상 환경을 바라보고 방향을 잡는 것이 편안하고 안전했다. 오른쪽 Joy-Con은 모든 실험 조건에서 게임 내의 물체를 가리키고 잡기 위한 공통 설정으로 사용자들에게 제공되었다. 그리고 참가자들은 실험 조건에 따라 다르게 제공된 추가 입력 장치를 사용했다. L-Visor를 사용하는 조건에서 참가자들은 왼쪽 Joy-Con이 부착된 L-Visor를 착용했다(그림 4(a)). 또한 참가자들은 Joy-Con만을 사용하는 조건에서는 왼쪽 Joy-Con을(그림 4(b)), 페달 Toy-Con을 사용하는 조건에서는 왼쪽 Joy-Con을 장착한 페달 Toy-Con을 사용하였다(그림 4(c)). Joy-Con과 페달 Toy-Con을 사용하는 조건에서 L-Visor는 디스플레이 목적으로만 착용되었다.

우리는 일원 분산 분석(one-way ANOVA) 실험 설계를 사용하였다. 개체간 요인은 세 가지의 다른 입력 장치들이었다. 33명의 참가자들은 11명의 참가자로 구성된 3개의 그룹으로 나뉘었고 각 참가자들은 세 가지의 입력 장치 중 하나를 할당 받았다. 참가자들은 각 입력 장치들로 게임 내에서 특수 능력을 사용할 수

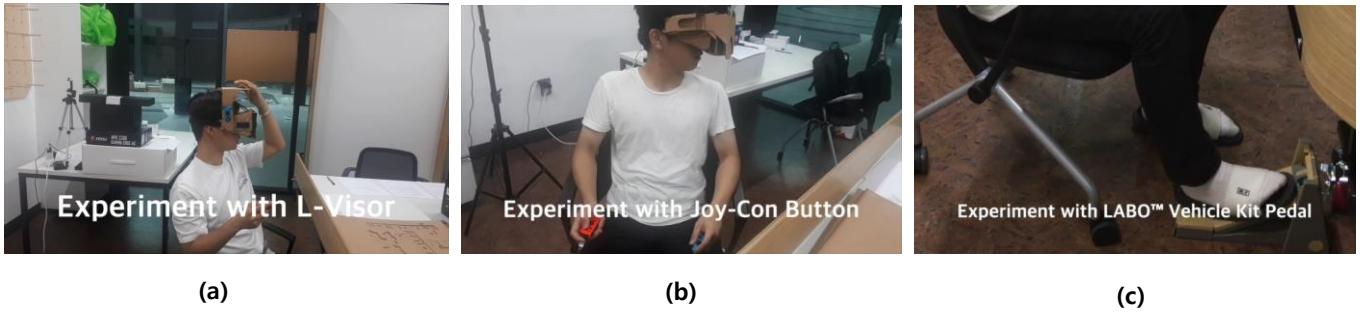


그림 4 실험 당시의 사진. (a)는 L-Visor 을 착용한 사진이다. (b)는 왼쪽 Joy-Con 을 사용하는 사진이며, (c)는 페달 Toy-Con 을 사용하는 사진이다.

있는데, 특수 능력은 ‘게임 내의 오브젝트들에게 영향을 줄 수 있는 능력들’을 지칭한다. 그림 3 에서 실험에 사용한 게임 내의 특수능력 활성화와 비활성의 차이를 확인할 수 있다. 그림 3(a), (b)는 플레이어가 지나갈 길 위를 막으려 날아다니는 공 모양 오브젝트들의 속도를 느리게 만들 수 있는 능력을 보여주며, 그림 3(c), (d)는 길을 막고 있는 오브젝트들의 중력을 제거하여 공중에 띄울 수 있는 능력을 보여준다. 그림 3(e), (f)는 큐브 오브젝트 안에 들어있는 또 다른 오브젝트를 투시하여 보여주는 능력을 보여주며, 그림 3(g), (h)는 멀리 있는 적을 소총의 망원경처럼 근접시켜 보여주는 능력을 보여준다. 실험에서 주어진 세 가지 입력 장치는 다음과 같이 게임 내 특수 능력을 활성화 및 비활성화하는 방법이 달랐다.

- L-Visor : 왼쪽 Joy-Con이 L-Visor에 부착되어 있는 동안, 바이저를 내리면 특수능력이 활성화되고 바이저를 올리면 특수능력이 비활성화된다.
- Joy-Con : 왼쪽 Joy-Con을 손에 잡고 있는 동안, 버튼을 누르고 있으면 특수능력이 활성화되고 버튼을 손에서 떼면 특수능력이 비활성화된다.
- 라보 페달 Toy-Con : 왼쪽 Joy-Con이 페달 Toy-Con에 장착되어 있는 동안, 페달을 발로 밟아 완전히 밀어내리면 특수능력이 활성화되고 페달을 밟아서 떼면 특수능력이 비활성화된다.

2.2.3 실험 절차

참가자들은 주어진 입력 장치로 슬로우 모션, 무중력, 투시, 확대/축소와 같은 특수능력을 사용하는 동시에 오른쪽 Joy-Con으로 물체를 가리키고 옮기면서, 4가지의 게임 스테이지를 모두 클리어해야만 한다. 1스테이지는 날아다니는 공을 피해 목적지에 도착하여야 하며, 2스테이지는 길을 막고 있는 오브젝트들을 띄워 길을 통과해야 한다. 3스테이지는 큐브 모양 오브젝트 안에서 총 오브젝트를 찾아야 하며, 4스테이지는 그것으로 멀리 있는 적을 쏘 맞춰

쓰러뜨려야 한다. 각 스테이지는 앞서 설명하였던 사용자들에게 주어진 특수능력을 써야만 클리어할 수 있도록 설계되었다.

참가자들은 닌텐도 스위치 및 VR 사용 경험, 안경 착용 여부 등에 대해 질문을 받았다. 참가자들은 또한 실험 참가 동의서에 서명하도록 요청을 받았다. 실험참가자들은 게임 및 입력 장치에 대한 설명을 들은 뒤 주어진 기기에 익숙해지도록 위한 예행훈련을 하였다. 실험하는 동안, 실험 진행자들은 각 스테이지의 시작부터 끝까지의 참가자들의 플레이 시간을 기록하였다. 모든 게임을 마친 후, 참가자들은 작업 부하[10], 즐거움[11], 몰입감과 존재감[12]에 대한 설문에 응답하였다.

2.2.4 실험 데이터 수집

실험을 진행하는 동안, 우리는 게임 완료 시간과 각 단계의 게임 오버 횟수를 측정했다. 실험 후 설문지의 경우, 작업의 효율성을 평가하기 위해 인지된 작업량을 평가할 수 있는 설문인 NASA TLX 를 작업 부하 설문[10][22], 참여도, 즐거움 및 몰입감을 평가하기 위해 개발된 E²I (Engagement, Enjoyment and Immersion)척도를 즐거움 설문[11], 가상 환경 내에서 사용자의 존재감을 평가한 Barfield 의 설문조사를 몰입감 및 존재감 측정에 사용했다. 사용자는 7 점짜리 리커트 척도를 사용하여[23] 설문에 응답하였다. 또한, 게임 경험, 사용한 하드웨어와 소프트웨어의 장단점, 다른 입력 장치와의 비교에 대하여 참가자들과 최종 인터뷰를 진행했다.

3. 실험 결과 및 논의

우리는 작업 완료 시간과 오류율을 비교했다. 입력 장치 간에는 큰 차이가 없었다(표 1). 설문지에 관해서도, 모든 설문지에 대해 입력 장치 간에는 큰 차이가 없었다. 이는 L-Visor 가 작업 부하, 즐거움, 몰입감 및 존재감과 관련하여 다른 입력 장치와 크게 다르지 않음을 보여 주었다.

단위:초(s)		슬로우 모션	무중력	투시	확대/축소	총합
Joy-Con	M	40.36	49.45	208.00	55.18	353.00
	SD	24.917	26.082	153.009	26.137	
페달	M	50.64	75.18	251.64	73.27	450.73
	SD	17.784	107.528	124.770	48.773	
L-Visor	M	34.92	89.83	221.33	73.67	419.75
	SD	24.500	78.726	117.339	33.886	

표 1. 세 가지의 다른 입력 장치들의 각 게임 스테이지별 플레이 시간의 평균과 표준편차. 각 입력 장치 간 플레이 시간 평균에 큰 차이는 없었다.

하지만, 인터뷰를 하는 동안 많은 참가자들은 다른 입력 장치보다 L-Visor 를 더 선호하였다. 참가자들은 L-Visor 가 이전에 사용했던 다른 기기들보다 신선하였고, 자신들이 경험한 그래픽 변화는 L-Visor 의 상호작용과 잘 어울렸으며 특히 그림 3(g), (h)와 같은 확대/축소 기능과 잘 어울린다고 언급했다. VR 경험이 많은 참가자들도 해당 상호작용에 호의적인 반응을 보였다. 이전 연구에서 시사하는 바와 같이, 우리는 직접적이고 물리적인 입력은 GUI 를 통한 간접 입력보다 더 유용하다는 것을 찾을 수 있었다[16, 17, 18]. 그러나 부정적인 의견으로, L-Visor 를 사용한 참가자들은 자신들의 얼굴이 L-Visor 에 의해 강하게 눌러 불편함을 느꼈다고 말했다. 또한 참가자들은 L-Visor 가 잦은 조작이 필요할 때 바이저의 다리를 들어올리기가 뻘뻘하고 불편했다고 답변했다.

많은 참가자들은 얼굴에 HMD 가 닿은 부분이 불편했다고 말했다. 언급된 주요 요인은 닌텐도 스위치 자체의 단단하고 무거운 소재에 의해 참가자들의 얼굴이 강하게 눌렸다는 것이었다. 얼굴에 닿는 부분이 마찰력이 낮은 플라스틱으로 만들어졌기 때문에, HMD 를 얼굴에 고정시키기 위해 이를 감싸는 끈을 강하게 조여야 했다. 또한, HMD 가 아래로 미끄러지는 것을 막기 위한 추가 부품이 없다는 것이 지적되었다. 그리고 끈으로 HMD 를 계속 고정시키기엔 얼굴과의 접촉 면적이 지나치게 좁은 것 역시 단점으로 언급되었다[13, 14].

웨어러블 장치의 좁은 접촉 부위는 불필요하고 집중된 압력을 유발할 수 있다. 웨어러블 기기 설계 가이드에서 F. Gemmperle 등은 이러한 장치들의 착용 위치가 넓을수록 착용감 결과가 더 좋다고 주장했다[13]. 또한 그는 접촉면이 사람과 비슷할수록 더 좋다는 주장 역시 제기했다. 다른 이들은 HMD 의 형태와 무게가 적절하지 않을 경우 HMD 가 얼굴의 접촉면을 누를 수 있다고 지적했다[13, 15]. 이 문제를 방지하기 위해

접촉면에 쿠션을 도입한 HTC Vive 와 같이 [14, 15], L-Visor 역시 접촉면의 영역을 넓혀 무게를 분산시키면 해당 단점을 보완할 수 있을 것이라고 기대한다.

4. 결론 및 후속 연구

우리는 바이저 조작을 이용한 새로운 VR HMD 입력장치를 제작하였다. 사용자 실험 결과, 우리가 만든 L-Visor 는 다른 입력 장치와의 비교에서 작업시간과 오류율 면에서는 큰 차이를 보이지 않았지만, 우리는 인터뷰에서 L-Visor 의 조작이 실험에 쓰인 게임 중 FPS 게임과 유사한 확대/축소 기능 등을 사용자들이 좋아한다는 것을 발견할 수 있었다. 이를 통해 우리는 시각적, 촉각적인 정보가 일치하면 더 나은 게임 경험을 얻을 수 있다는 것을 추론할 수 있었다. 후속 연구로 우리는 게임의 종류를 다르게 하여 사용성 평가를 실행해 더 유의미한 결과가 있는지를 알아보려고 한다.

본 연구에서는 골판지 레이저 절단을 이용해 L-Visor 을 제작하였고, Toy-Con Garage VR 과 같은 비주얼 프로그래밍으로 소프트웨어를 제작하였다. 이와 같은 방식으로 사용자들도 개인 하드웨어를 만들 수 있으며 이에 상응하여 비주얼 프로그래밍으로 원하는 게임을 구현할 수 있을 것으로 기대한다. 우리는 후속 연구에서 L-Visor 의 이와 같은 특성인 ‘VR HMD 의 DIY’에 주목하여, 사용자들이 직접 제작 VR HMD 의 단점을 보완할 수 있는 DIY HMD 를 만들게 함으로써 DIY 가 VR HMD 에 관해 앞으로 가지게 될 의의와 VR 산업에 미칠 영향을 더 자세히 알아보려고 할 예정이다.

사사의 글

이 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 SW 중심대학지원사업의 지원 (2018-0-00192) 및 2019 년도 한국연구재단의 기초연구사업 (No. 2018R1D1A1A02085645) 지원을 받아 수행되었다.

참고 문헌

1. 5dtTM. Introduction page of 5DT Data Gloww Ultra. Retrieved from <http://5dt.com/5dt-data-glove-ultra/>
2. Lee,S., Park,K., Lee,J. AND Kim,K. Year. User Study of VR Basic Controller and Data Glove as Hand Gesture Inputs in VR Games. In *Proceedings of the 2017 International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR)Year*, 1-3. 10.1109/ISUVR.2017.16
3. Pereira,L.C., Aroca,R.V. AND Dantas, R.R. Year. Flexdgllove: A low cost data glove with virtual hand simulator for virtual reality applications. In *Proceedings of the 2013 XV Symposium on Virtual and Augmented RealityYear*, 260-263.
4. VirtuixTM. 2016. Omni product specs. Retrieved from <http://www.virtuix.com/wp-content/uploads/2018/01/Virtuix%20Omni%20-%20Product%20Specs.pdf>
5. MotionTM, L. Leap motion technology page. Retrieved from <https://www.leapmotion.com/technology/>
6. Petite, S. 2018. Nintendo Labo: Here's how to make your own apps in the Toy-Con Garage. Retrieved May 3, 2018. from <https://www.digitaltrends.com/gaming/nintendo-labo-toy-con-garage-guide/>
7. GoogleTM. Introduction page of Google Cardboard. Retrieved from https://vr.google.com/intl/en_us/cardboard/
8. Ripton, J. 2014. Google Cardboard: everything you need to know. Ed, Eds. 2014).
9. 박상민, 안호준, 조경빈, 서하영, 박진우, 한상선, 김기범. (2019). 라보를 응용한 골판지 게임 컨트롤러. 한국HCI학회 학술대회, (), 1328-1329.
- 10.Hart, S.G. AND Staveland, L.E. 1988. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology*. (Ed.), Eds (eds.). Elsevier, 139-183.
- 11.Lin, J.J., Duh, H.B.L., Parker, D.E., Abi-Rached, H. AND Furness, T.A. Year. Effects of field of view on presence, enjoyment, memory, and simulator sickness in a virtual environment. In *Proceedings of the Proceedings IEEE Virtual Reality 2002Year*, 164- 171. 10.1109/VR.2002.996519
- 12.Barfield, W., Baird, K.M. AND Bjorneseth, O.J. 1998. Presence in virtual environments as a function of type of input device and display update rate.*Displays*. Ed, Eds. (1998/10/15/ 1998),91-98. [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(98\)00041-9](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(98)00041-9)
- 13.Gemperle, F., Kasabach, C., Stivoric, J., Bauer, M. AND Martin, R. Year. Design for wearability. In *Proceedings of the Digest of Papers. Second International Symposium on Wearable Computers (Cat. No.98EX215)Year*, 116-122. 10.1109/ISWC.1998.729537
- 14.Knight, J.F., Deen-Williams, D., Arvanitis, T.N., Baber, C., Sotiriou, S., Anastopoulou, S. AND Gargalakos, M. Year. Assessing the Wearability of Wearable Computers. In *Proceedings of the 2006 10th IEEE International Symposium on Wearable ComputersYear*, 75-82. 10.1109/ISWC.2006.286347
- 15.Baber, C. 2001. Wearable Computers: A Human Factors Review.*International Journal of Human-Computer Interaction*. Ed, Eds. (2001/06/01 2001),123-145. 10.1207/S15327590IJHC1302_3
- 16.Guo, C. AND Sharlin, E. 2008. Exploring the use of tangible user interfaces for human-robot interaction: a comparative study.*Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Ed, Eds. 2008),121-130. 10.1145/1357054.1357076
- 17.Shaer,O.ANDHornecker,E.2009.TangibleUser Interfaces: Past, Present, and Future Directions.*Human-Computer Interaction*. Ed, Eds. 2009),1-137.
- 18.Xie, L., Antle, A.N. AND Motamedi, N. 2008. Are tangibles more fun?: comparing children's enjoyment and engagement using physical, graphical and tangible user interfaces.*Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*. Ed, Eds. 2008),191-198. 10.1145/1347390.1347433
- 19.Fujimoto, T. (2018, July). Ideology of AoD: Analog On Digital-Operating Digitized Objects and Experiences with Analog-Like Approach. In 2018 7th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI) (pp. 901-906). IEEE.
- 20.Catala, A., Sylla, C., Theune, M., Brooks, E., & Read, J. C. (2018, June). Rethinking children's co-creation processes beyond the design of TUIs. In Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children (pp. 733-740). ACM.
- 21.What is Nintendo Labo. <https://www.nintendo.co.kr/labo/whats/index.html>
- 22.<https://en.wikipedia.org/wiki/NASA-TLX>
- 23.Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. Archives of psychology.