

석사학위논문

운동 능력 향상을 위한 가상현실  
시스템 설계 및 효과 연구

2021년

한 성 대 학 교 대 학 원

I T 융 합 학 과

I T 융 합 공 학 전 공

박 우 희



석사학위논문  
지도교수 이지은

운동 능력 향상을 위한 가상현실  
시스템 설계 및 효과 연구

Virtual reality system design and effect research  
for improvement in exercise ability

2021년 6월 일

한성대학교 대학원

IT 융합 학과

IT 융합 공학 전공

박 우 희

석사학위논문  
지도교수 이지은

운동 능력 향상을 위한 가상현실  
시스템 설계 및 효과 연구

Virtual reality system design and effect research  
for improvement in exercise ability

위 논문을 공학 석사학위 논문으로 제출함

2021년 6월 일

한 성 대 학 교 대 학 원

I T 융 합 학 과

I T 융 합 공 학 전 공

박 우 희

박우희의 공학 석사학위 논문을 인준함

2021년 6월 일

심사위원장 \_\_\_\_\_(인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_(인)

심 사 위 원 \_\_\_\_\_(인)

# 국 문 초 록

## 운동 능력 향상을 위한 가상현실 시스템 설계 및 효과 연구

한 성 대 학 교 대 학 원  
I T 융 합 학 과  
I T 융 합 공 학 전 공  
박 우 희

현대인의 운동 능력의 향상을 위해서는 정확한 자세로 운동하는 것과 지루함 없이 지속적인 운동을 하는 것이 중요하다. 본 논문은 코어 운동으로 운동을 하는 사용자가 정확한 자세로 운동을 할 수 있도록 두 가지의 피드백을 제공하는 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템과 사용자의 민첩성을 트레이닝하기 위해 구현한 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템을 소개한다. 가상현실 운동 트레이닝 시스템은 총 3가지 코어 운동 자세인 스쿼트, 런지, 브릿지의 총 3가지를 대상으로 구현하였으며 시각 피드백과 촉각 피드백을 통해 사용자가 정확한 자세로 운동을 할 수 있도록 한다. 코어 운동의 정확한 자세를 사용자의 신체 길이에 맞게 기준이 되는 자세를 생성하고 사용자가 취하는 자세와 기준 자세를 비교하여 사용자의 운동 자세의 정확도를 계산한다. 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템은 사용자의 민첩성을 높이는 것을 목적으로 사용자의 민첩성이 부족한 부분을 훈련하기 위해 실시간으로 변

하는 적응형 타겟 생성방법을 제시하고 지루함을 줄이기 위해 리듬 게임형식으로 구현하였다. 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템은 사용자 실험을 통해 피드백의 효과로 정확한 운동자세로 운동을 하게 됨을 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템은 사용자의 민첩성 향상을 위한 적응형 타겟 생성 결과를 확인하였다.

【주요어】 가상현실, 피드백, 시각피드백, 촉각피드백, 코어운동, 민첩성

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	1
제 1 절 연구배경 .....	1
제 2 절 연구내용 .....	2
제 2 장 관련연구 .....	4
제 1 절 가상현실 및 게임 기반 피트니스 .....	4
제 2 절 사용자 자세측정 기술 .....	7
제 3 절 시각 피드백 생성 .....	8
제 4 절 촉각 피드백 생성 .....	9
제 5 절 자세 교정 피드백 .....	10
제 6 절 가상현실 운동시스템 .....	12
제 7 절 리듬게임 .....	14
제 3 장 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템 .....	16
제 1 절 개요 .....	16
제 2 절 자세 측정을 위한 가상현실 디바이스 설정 .....	18
제 3 절 전문가 자세 획득 및 사용자 맞춤 기준 자세 생성 .....	19
제 4 절 사용자 자세의 정확도 측정 .....	19
제 5 절 자세 교정을 위한 피드백 설계 .....	20
제 6 절 촉각 피드백을 위한 하드웨어 구현 .....	21
제 4 장 운동 자세 트레이닝 시스템 실험 .....	23
제 1 절 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템 실험 방법 .....	23

제 2 절 실험 결과 .....	24
<b>제 5 장 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템 .....</b>	<b>26</b>
제 1 절 개요 .....	26
제 2 절 타겟 타격 방법 및 구역설정 .....	27
제 3 절 적응형 타겟 생성 및 실패율 계산 방법 .....	28
제 4 절 사용자 인터페이스 .....	31
<b>제 6 장 적응형 민첩성 트레이닝 시스템 실험 .....</b>	<b>32</b>
제 1 절 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템 실험 방법 .....	32
제 2 절 실험 결과 .....	32
<b>제 7 장 결론 .....</b>	<b>36</b>
제 1 절 결론 및 향후 계획 .....	36
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>37</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>41</b>

## 표 목 차

[표 4-1] 평균 오차 거리 및 오차 감소율 .....	25
---------------------------------	----

## 그림 목 차

[그림 2-1] Wii Fit .....	4
[그림 2-2] Kinect & Nike+ Kinect Training .....	5
[그림 2-3] Ring Fit Adventure & 링콘과 레그스트랩 착용 모습 .....	5
[그림 2-4] BoxVR .....	6
[그림 2-5] Black box .....	7
[그림 3-1] 코어 운동 자세 .....	16
[그림 3-2] 사용되는 캐릭터 종류 .....	17
[그림 3-3] 스쿼트를 자세로 운동하는 가상환경 씬모습 .....	17
[그림 3-4] 가상현실 디바이스를 착용한 모습 .....	18
[그림 3-5] 각자세의 정확도를 판단하는 부분 .....	20
[그림 3-6] 스쿼트 자세의 시각 피드백 .....	20
[그림 3-7] 진동 피드백을 위한 하드웨어 설계도 .....	21
[그림 3-8] 아두이노 및 진동 센서 착용 모습 .....	22
[그림 4-1] 런지 자세를 취하고 있는 모습 .....	23
[그림 4-2] 실험자의 각 자세별 오차 거리 평균 .....	25
[그림 5-1] BMS Editor .....	26
[그림 5-2] 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템 .....	27
[그림 5-3] 전체 구역을 비율에 맞게 6구역으로 나눈 모습 .....	28
[그림 5-4] 타겟 생성 순서도 .....	30
[그림 5-5] 사용자 인터페이스 .....	31
[그림 6-1] 실험 시작시 생성 및 실패율 .....	33
[그림 6-2] 1, 5, 6번 구역 실패율 증가 .....	33
[그림 6-3] 4번 구역 실패율 증가 .....	34
[그림 6-4] 1, 3, 4, 6번 구역 실패율 증가 .....	34

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구 배경

가상현실은 인공적인 기술로 실체가 아닌 특정 환경을 만드는 기술로 사용자의 시각, 청각, 촉각 등의 감각 정보를 생성하고 감지하는 정교한 기술을 통해 사용자는 마치 실제 주변 상황과 상호작용하는 것과 같은 몰입감을 느낀다.

가상현실은 많은 분야에서 활용되고 있다. 영상이나 게임 등 엔터테인먼트 분야가 높게 활용 중이며 교육 및 훈련 분야도 각종 시도를 하고 있다. 최근 스포츠 분야의 활용 또한 많아지고 있다. 특허청의 통계에 따르면 2016~2018년 가상현실 특허 출원 수가 가장 많이 증가한 스포츠 분야로, 2013~2015년보다 약 69% 정도 상승한 것을 확인할 수 있다.

국내 성인 3명 중 1명은 운동량이 부족하며, 이러한 성인들의 운동 부족 현상은 심장질환이나 치매 등 각종 질병의 원인이 된다. 이에 따라 사람들은 자신의 건강을 위해 운동의 필요성을 느끼지만 공간적, 비용적 등의 문제로 운동을 하지 못하는 현대인들에게 홈트레이닝이 대안으로 떠오르고 있다.

홈트레이닝은 집에서 컴퓨터나 스마트폰 등의 기기로 영상을 보고 운동을 따라하는 경우가 일반적인데 이러한 방식은 정확한 자세를 취하는 것이 쉽지 않다. 정확하지 않은 자세로 반복적인 운동을 하게 되면, 제대로 된 운동 효과를 얻기가 어려우며, 부상의 위험도 초래한다. 홈트레이닝의 또 다른 단점은 운동을 지도하는 트레이너나 함께 운동하는 동반자가 없기 때문에 지루함을 쉽게 느낀다는 것으로, 꾸준한 운동을 원하는 사람들에게는 제약이 된다.

가상현실에서는 신체의 움직임을 추적하는 트래킹 기술을 통해 사용자의 운동 자세에 대한 평가가 가능하며, 부정확한 자세를 교정하기 위해 사용자에게 제공하는 피드백도 시각, 청각, 촉각의 다양한 양식을 취할 수 있기 때문에 운동 형태에 적합한 피드백을 사용자에게 제공하여 운동의 효과를 높일 수 있다. 또한 게임적 요소를 도입하여 지루함을 감소시킬 수 있고 사용자의 운동 능력에 따라 운동 강도를 조절할 수 있다. 이러한 장점들을 살려 가상현

실기반의 운동 시스템의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

## 제 2 절 연구 내용

본 논문에서는 기존 홈트레이닝의 단점들을 보완하여 두 가지 가상현실 운동 시스템을 제안한다. 첫 번째로 사용자가 정확한 자세로 운동을 할 수 있도록 피드백을 제공하는 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템을 제안한다. 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템은 스쿼트, 런지, 브릿지 등 3가지의 코어 강화 운동을 대상으로 하였으며, 사용자 자세의 정확성을 평가하기 위하여 머리, 허리, 발목의 위치를 트래킹하였다. 사용자가 부정확한 자세를 취할 때 자세를 교정할 수 있도록 다양한 방식의 피드백을 제공하였다. 피드백은 사용자가 쉽게 확인이 가능한 시각 피드백과 운동 자세에 따라 시각 피드백을 확인하기가 어려운 경우가 있기 때문에, 진동을 이용한 촉각 피드백을 구현하였으며, 시각과 촉각을 단일 양식 피드백으로 제공하는 경우와 시각과 촉각을 결합한 다중 양식 피드백을 제공하는 경우를 비교하여, 피드백의 효과를 분석하였다.

두 번째로 사용자의 민첩성 향상과 지루함을 낮추기 위해 사용자의 능력에 따라 난이도가 변하는 기능을 추가한 민첩성 트레이닝 시스템을 제안하였다. 민첩성이란 운동의 목적에 따라 자신의 신체를 신속하게 조작할 수 있는 능력으로써 신경과 감각 및 근육이 기능을 얼마나 효과적으로 동원하느냐에 따라 민첩성의 정도가 결정된다. 동작을 민첩하게 수행하기 위해서는 시각적 정보를 얻어 신속히 판단을 내리고 손과 발을 정확하게 움직이는 능력을 향상하여야 한다. 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템은 민첩성을 향상하기 위해 일정 박자에 맞추어 무작위로 생성되는 타겟을 빠르게 타격해야 하며 사용자가 시스템 사용 도중 타겟을 놓치는 범위를 파악하여 민첩성이 부족한 구역을 실시간으로 강화할 수 있게 설계하였다. 또한 사용자의 지루함을 줄일 수 있도록 리듬 게임 요소를 추가하여 구현하였다.

본 연구에서 제안한 운동 자세에 대한 피드백 제공과 운동 능력에 따라 강도를 조절하는 적응적 트레이닝을 가상현실 운동 시스템에 활용한다면, 동

일 시간 대비 운동 효과를 높이고 지속적인 운동이 가능하도록 하여, 현대인의 건강증진에 도움이 될 것으로 기대한다.

이후 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존 피트니스 시스템과 자세 측정 기술 및 그 외 관련 연구를 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템을 소개하고 자세 측정 방법과 부정확한 자세에 대한 피드백 생성 방법을 설명한다. 4장에서는 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템의 사용자가 본 시스템을 활용하여 운동 자세의 정확성 및 운동 능력이 얼마나 향상되었는지를 실험한 결과를 제시한다. 5장에서는 본 논문에서 제안하는 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템을 소개하고 6장에서는 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템의 실험을 통해 활용 효과를 제시한다. 7장에서는 결론과 향후 연구 계획에 대해 논의한다.

## 제 2 장 관련연구

### 제 1 절 가상현실 및 게임 기반 피트니스

가상현실 및 게임을 이용한 여러가지 피트니스 제품들이 출시되었다. 가장 대표적인 닌텐도 사의 위 피트(Wii Fit)는 위 밸런스 보드(Wii Balance Board)를 이용하여 사용자의 균형 중심점을 추적하고 다양한 운동 게임을 제공한다. 사용자는 에어로빅, 근력 운동 등의 집에서 가능한 운동 콘텐츠를 게임을 통해 지루하지 않게 사용할 수 있다. 특히 위 핏은 물리 치료에도 사용되기도 하였으며, 현재 헬스클럽에서도 활용되고 있다.



[그림 2-1] Wii Fit

마이크로소프트는 2009년에 Xbox 360용 음성 및 동작 인식 하드웨어인 키넥트(Kinect)를 발표하였다. Kinect는 RGB카메라는 컬러 정보, 적외선 카메라는 깊이 정보를 수집하고 그 정보들을 통해 사용자의 골격 정보를 계산한다. 신체에 아무것도 부착하지 않고 대상자의 모션을 인식할 수 있어서 홈 트레이닝에 적합한 장치이다. Xbox 360용으로 출시되었지만, PC에서 개발 및 사용을 할 수 있도록 Kinect for Windows SDK를 기본적으로 제공하고

있다. 현재 키넥트를 이용한 Xbox 운동 게임인 키넥트 어드벤처(Kinect Adventures), 셰이프 업(Shape Up), 줘바 휘트니스 러쉬(Zumba Fitness Rush) 마이크로 소프트와 나이키가 합작으로 만든(Nike+ Kinect Training)등 많은 게임이 활용되고 있다.



[그림 2-2] Kinect(좌)와 -Nike+ Kinect Training(우)

2019년 닌텐도는 링 피트 어드벤처(Ring Fit Adventure)라는 새로운 피트니스 게임을 출시하였다. 힘 센서를 내장하여 조이거나 당기는 움직임은 인식할 수 있는 링 모양의 컨트롤러를 양손으로 사용하고 속도 센서와 자이로센서를 사용하여 제자리걸음이나 무릎을 히거나 펴는 등의 하반신 움직임의 인식이 가능한 레그스트랩을 다리에 부착한다. 기본적으로 닌텐도 스위치와 함께 사용하는 단독 게임이며 링콘과 레그스트랩으로 사용자의 운동 시간 및 소비 칼로리 등 운동 결과를 얻을 수 있다.



[그림 2-3] Ring Fit Adventure(좌)와 -링콘과 레그스트랩 착용 모습(우)

BOXVR은 Steam에서 등록된 가상현실 운동 게임 중 하나로 가상현실의 장점을 이용하여 3차원으로 날아오는 타겟을 맞추며 복싱을 하는 게임이다. 전문 피트니스 강사들의 안무들을 음악에 맞추어 타겟을 격파하며 즐기는 게임이다. 난이도 조절을 통해 상당한 상체 운동을 이끌어 실제 사용자 중 몸의 변화를 크게 느끼는 사용자가 많이 있다. 또한 기존의 운동 보다 신나는 음악을 사용하여 사용자의 흥미를 유발하고 지루함을 없앤 운동 게임이다.



[그림 2-4] BoxVR

가상현실 기반의 운동 시스템은 해외에서도 현재 상용화되어 출시된 경우가 있다. Black box라는 기업은 실제 오프라인의 휘트니스 클럽과 VR을 접목하여 근력운동 장비와 VR장비 두 가지를 모두 이용하였다. 게임을 각각의 근력운동 장비에 맞게 개발하였으며 손을 자유롭게 사용하기 위해 손발의 센서 인식이 가능한 동적 저항 기계(Dynamic Resistance Machine)와 추적 가능한 센서를 탑재한 Hands free VR을 자체적으로 개발하였다.

사용자는 기존의 하던 방법으로 운동을 하지만 허공만 보며 운동을 하는 방식과 다르게 VR기기를 통해 가상현실 게임을 하며 점수를 획득하고 목표에 도달하는 것에 집중하게 되어 지루함을 잊고 지속적인 운동 경험을 하게 된다.



[그림 2-5] Black box

## 제 2 절 사용자 자세 측정 기술

사용자의 동작을 추적하는 기술은 크게 세 가지가 있다. 마커(marker)를 카메라로 인식하여 추적하는 방식과 사용자에게 몸에 센서(sensor)를 부착하고 센서를 인식하여 추적하는 방식, 마커나 센서를 사용하지 않고 인식하는 방식인 마커리스(markerless)가 있다.

마커를 이용한 동작 인식은 많은 카메라를 사용하여 영상을 분석하고 사용자의 몸에 부착된 마커의 위치를 추적해 동작을 인식하는 기술이다. 다른 방식보다 동작 인식 정확도가 가장 높은 방식이지만, 시스템을 사용하는데 비용이 가장 많이 들며 매번 마커를 부착하는 번거로움 때문에 일상생활에서의 운동에 사용하기에는 적합하지 않다. 센서 기반 동작 인식은 카메라를 이용하지 않고 센서를 몸에 부착하여 관절의 회전 및 위치 정보를 획득하고 신체의 동작을 계산 방식이다. 마커 및 센서를 사용하여 동작을 인식하는 방식은 정확도가 높다는 장점이 있지만, 동작을 얻기 위한 준비 시간이 오래 걸리므로 개인보다 전문가 동작을 얻고자 할 때 사용된다. 마지막 방식인 마커리스 방식은 신체 영역의 컬러 정보 및 깊이 정보를 통해 모션을 획득한다. 2장 1절에 소개된 Kinect는 콘솔 게임 사용자에게 많은 보급이 되어 홈 트레이닝의 용도에 적합하나, 컴퓨터 비전(computer vision) 방식이기 때문에 카메라의

시선 방향에서 구별할 수 없는 운동 자세는 인식하기 어려워서 정확한 자세를 잡는 것을 목표로 하는 사용자들에게는 적합하지 않다.

HTC Vive는 HTC와 Valve가 함께 개발한 가상현실 장비이다. Vive는 3차원 공간을 설정하고 사용자가 지정된 공간 안에서 자유롭게 움직이며 가상 환경과 상호작용을 할 수 있게 해준다. Vive의 룸스케일(Roomscale)은 라이트하우스(Lighthouse)라는 추적 센서가 베이스 스테이션(Base station)에서 나오는 적외선 레이저를 인식하여 헤드셋과 컨트롤러의 위치를 실시간으로 추적하는 것이 가능한 기술이다.

헤드셋과 컨트롤러 이외에 신체나 각종 사물에 부착이 가능한 트래커를 별도로 제공한다. 트래커를 PC와 연결한다면 헤드셋과 컨트롤러와 같이 베이스 스테이션에서 트래킹 할 수 있다. 최근 Vive의 헤드셋과 컨트롤러 및 발목에 부착한 트래커를 이용하여 사용자의 전신을 추적해 동작을 인식하는 풀 바디 트래킹(full-body tracking)이 많이 활용된다. VR Chat과 같은 가상현실 소셜 네트워크 서비스에서는 사용자들이 풀 바디 트래킹으로 춤을 즐기는 사용자를 쉽게 볼 수 있다. 본 논문의 첫 번째 시스템에서는 자세의 정확성을 알아보기 위해 Vive를 이용한 풀 바디 트래킹 기술을 자세 측정 기술로 채택하였고 두 번째 시스템에서는 날아오는 타겟을 맞추기 위해 양손에는 컨트롤러를 쥐고 양발에는 트래커를 부착하여 손과 발의 위치 정보를 트래킹 하였다.

### 제 3 절 시각 피드백 생성

시각 피드백은 일반적으로 많이 사용되는 사용자 피드백 방법이다. Wierinck, E.는 가상 치과 교육 시뮬레이션 시스템에서 증강된 시각 피드백이 치과 학생들을 대상으로 했을 때 교육에 얼마나 도움이 될지를 조사했다. 증강된 시각 피드백 시스템의 유, 무 두 가지 조건으로 실험을 진행하였으며 각 그룹은 5일 동안 실습을 진행하였다. 실험을 마무리하고 치아의 윤곽 모양, 깊이, 절삭면의 매끄러움, 치아 벽의 경사, 치아 펄프 노출 및 인접한 치아 손상 등 총 6가지 평가 기준으로 점수를 매겼다. 두 그룹 모두 전반적인

실력 향상을 보였지만 시각 피드백 그룹이 첫날에 비해 빠른 쪽으로 평가 기준 총점을 올리는 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 실험 기간이 뒤로 갈수록 증가 폭이 감소하였고 최종적으로 마지막 날 실험 후 측정된 성과점수는 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 단기적인 교육 면에서 실력향상을 보이거나 실력 보존에서는 시각 피드백의 효과가 부족하다고 평가하였다.

Zhang, Y.는 가상 조립 시뮬레이션으로 훈련을 할 때 작업성능에 미치는 시각과 3D 청각의 영향을 평가하기 위해 시각 및 3D 청각 피드백이 통합된 시스템을 개발하였다. 16명의 참가자는 평가 실험을 위해 시너 전자 박스(sen er electronic box) 조립 작업을 하였다. 결과는 청각과 시각 피드백을 통합한 시스템이 가장 조립작업 성능이 각각 따로 피드백을 주는 것보다 좋은 결과를 나타냈고 피드백이 없는 조건이 조립에 있어 가장 낮은 성능 결과를 보였다.

Sato, k.는 환각지 환자의 통증 치료를 위해 가상환경에서 거울 시각 피드백 시스템을 개발하여 실험하였다. 팔을 다쳐 환각지 현상을 겪는 실험자들을 대상으로 실험하였으며 운동 순서는 가상 물체를 손을 뺄고, 잡고, 옮기고, 배치하는 움직임으로 구성되었다. 다친 쪽의 팔을 가상현실에 시각 피드백으로 보여주고 다치지 않은 쪽의 팔로 움직임을 제어하여 다친 팔의 감각이 있는 것 같은 착각을 준다. 5명의 환자는 일주일에 한 번씩 가상현실 거울 시각 피드백을 체험하였으며 5명의 환자 중 4명은 통증 강도의 50%의 감소를 나타냈다. 가상현실 거울 시각 피드백 치료로 환각지 환자들의 통증을 진통해주는 효과를 확인했다.

#### 제 4 절 촉각 피드백 생성

본 연구에서는 각 자세의 특성에 따라 시각 피드백으로는 부족한 부분을 보완하기 위해 추가적인 피드백 방법으로 촉각 피드백을 활용하였다. 다양한 방식으로 촉감 정보를 활용한 관련 연구들을 소개한다.

Jiang, L.은 가상현실 기반 교육 시스템에서 저렴한 촉각 피드백 장치를 사용하여 어두운 건물에서 생존자를 구출하는 게임을 개발하였다. 실험은 생

존자를 구출할 때 벽과의 충돌을 감지하여 진동이나 힘으로 촉각 피드백을 제공하였다. 피드백이 제공하지 않을 때보다 비해 피드백이 있는 경우 구출 시간이 감소하였으며 실수가 적어졌다. 이 결과를 통해 가상환경에서 촉각 피드백이 절차를 배우는 교육 시스템에서 피험자의 오류의 수를 효과적으로 줄인다고 평가했다.

Ström, P.는 촉각 피드백을 제공하는 외과용 시뮬레이터를 사용한 수술 시뮬레이션을 개발하여 훈련 초기 단계에 촉각 피드백과 함께 사용하면 훈련 효과가 향상되는지에 대한 분석을 하였다. 실험은 외과 레지던트를 대상으로 촉각 피드백이 제공되는 훈련을 먼저 받고 촉각 피드백이 제공되지 않는 훈련을 그 후에 받은 그룹과 반대로 촉각 피드백이 제공되지 않는 훈련을 먼저 받고 촉각 피드백이 제공되는 훈련을 나중에 받은 그룹으로 나누어 실험 후 비교하였다. 결과로 촉각 피드백이 제공되는 훈련을 먼저 받은 그룹이 훈련 효과가 더 높은 결과를 보였다. 이는 수술시뮬레이터를 사용한 훈련에서 기술을 습득하는데 초기 단계에 촉각 피드백을 통해 훈련하는 것이 효과가 있다는 것을 보였다.

이상욱 외 1명은 가상현실 햅틱 피드백 개체의 수에 따라 사용자의 상호작용성과 신체소유감에 대해 연구하였다. 가상현실에서 햅틱 피드백의 유형을 한 손과 두 손으로 나누어 사용자가 느끼는 상호작용성과 신체소유감에 미치는 영향을 실험으로 분석했다. 실험은 가상현실에서 공 오브젝트를 피격하는 것으로 한 손과 두 손의 햅틱 피드백을 사용하면서 수행했다. 결과로 사용자들은 한 손보다 두 손 햅틱 피드백을 사용할 때 더 높은 상호작용감이 나타났지만, 신체소유감에 있어서는 한 손과 두 손 양쪽 실험에 차이가 없는 것으로 나타났다.

VR 밴드를 만들어 여럿이 즐길 수 있는 시스템을 구현한 연구에서는 가상 피아노, 가상 드럼, 가상 기타를 사용하여 다수의 사용자가 함께 합주할 수 있다. 실제 악기를 다룰 때의 느낌을 주기 위해 악기마다 촉각 장치를 부착하여 실험하였다. 실험자들은 곡을 합주하고 느낀 만족도를 설문으로 응답하였다. 설문조사 결과 실험자들은 촉각 피드백에 대해 긍정적인 반응을 보였으며, 촉각 피드백이 가상 악기를 연주할 때 악기 연주에 대한 입력 확신을

사용자에게 제공하는 것을 확인하였다.

유왕윤은 진동에 의한 타격감, 시각 효과와 플레이 연출을 구현하여 가상 현실 야구 게임을 구현하고 사용자가 게임에 대한 몰입도에 대해 평가하였다. 실험 결과 위의 세 가지 요소는 몰입감과 현실감을 높이는데 기여한 것으로 평가되었고 특히 촉각 피드백을 제공하는 것은 가상현실 콘텐츠의 필수 요소를 확인하였다.

김민규외 3명은 아두이노와 진동 센서를 사용한 촉감 장치를 만들고 신체에 부착한 후 사용자가 가상환경 안에서 물체를 만지면 촉감을 느낄 수 있도록 진동을 발생시켰다. 몰입감과 현실감을 평가하기 위한 설문 결과, 간단한 촉감 장치로도 기존의 가상현실 콘텐츠의 상호작용보다 높은 몰입감과 현실감을 제공할 수 있다고 평가했다.

## 제 5 절 자세 교정 피드백

김현경외 5명은 9축 센서를 이용한 웨어러블 밴드를 사용하였다. 각 운동 자세에 맞추어 필요한 신체 부위에 밴드를 부착 후 각 부위의 각속도 값을 측정하여 현재 자세의 정확도를 판단하고 휴대폰 애플리케이션으로 음성 피드백을 출력하여 사용자가 자세를 교정하도록 안내한다. 웨어러블 밴드는 각도 측정이 정확하다는 장점이 있지만, 다른 운동을 할 때마다 밴드 착용을 하는 점과 휴대폰의 소리 피드백만 이용하기 때문에 사용자의 자세 교정이 정확하기 힘들다는 단점이 있다.

서재식외 3명은 Kinect를 사용해 사용자의 동작을 인식 후 신체 구부림 각도를 계산하여 올바른 자세를 위한 정보를 사용자에게 거울 인터페이스로 제공해 주는 스마트 거울을 제안하였다. 영상을 보며 사용자가 운동을 학습할 때 스마트거울 앞에서 운동 자세를 취하며 스마트 거울에 사용자의 골격 정보가 표시된다. 올바른 각도면 초록색으로 표시되는 시각 피드백을 제공한다. 스마트 거울은 시각 피드백을 간편하게 사용자가 볼 수 있지만, 얼굴을 지속적으로 스마트 거울을 향해야 하기 때문에 정면 자세의 운동만 가능하다.

김정진 외 4명은 Kinect를 이용하여 운동 동작 분석한다. 시상축, 관상축,

수직축에서 일어나는 동작을 평가할 수 있고 시각적 피드백의 유, 무에 따라 동작 오차가 감소하는지 평가하였다. 실험 결과 시상축과 관상축 운동은 시각적 피드백을 제시하였을 때 움직임의 오차가 감소하였으며 수직축의 운동은 오차가 감소하지 않았다.

## 제 6 절 가상현실 운동시스템

가상환경에서 원하는 목적에 따라 운동 시스템을 직접 구현하거나 상용되는 있는 시스템들을 다양하게 사용한 연구들을 소개한다.

본 연구의 대상인 하는 코어 운동을 위한 가상현실 시스템을 개발한 사례도 있다. 신재우 외 1명은 사용자에게 운동에 대한 거부감을 최소화하면서 재미와 목표의식을 주어 꾸준히 운동을 할 수 있도록 가상현실 수상 레포트 시스템을 구현하였고 코어 근육을 단련하는 것으로 사용자의 건강관리를 할 수 있도록 하였다.

Don, D. 외 4명은 지적 발달 장애가 있는 개인이 일반 개인보다 높은 비중으로 비만의 위험이 크다는 이전 연구를 토대로 지적 발달 장애가 있는 사람의 신체활동개입을 늘려 비만을 낮추기 위해 가상현실 운동 게임(VR Exergaming)을 구현하였다. 실험을 통해 참가자들의 운동 기간개선과 기능적 관계를 입증하고자 가상현실 자전거를 활용하였으며 일반 자전거와 비교한 운동 시간의 증가와 총 칼로리 소모량을 측정하였다. 참가자 모두 가상현실 자전거로 운동할 때 운동 시간과 총 칼로리 소모가 증가하였고 이는 가상현실 운동 게임의 신체활동 개입과 운동 기간 증가 사이의 관계를 입증했다. 기본조건에서의 운동보다 가상현실이 개입된 운동은 물리적 활동에 참여하는 시간을 총 3배 이상 늘렸다.

Ijaz, K.외 3명은 몰입형 가상현실 운동 플랫폼을 설계하고 플랫폼에서 사용자의 요구 만족도 경험(Player Experience of Needs Satisfaction)을 측정했다. 실험은 가상현실 라이딩 운동 플랫폼을 사용하였으며 두 가지 조건으로 진행하였는데, 첫 번째 조건은 사용자 인터페이스에 시간, 심박 수, 소모된 칼로리 정보를 시각적으로 표시하여 참가자에게 제공하였고, 두 번째 조건은 사

용자 인터페이스에서 제공하는 데이터 외에 구글 스트리트 뷰(Google street view)의 시각 정보를 보여주어 오픈 월드 형태로 운동을 할 수 있게 하였다. 측정은 사전테스트 설문지와 사후테스트 설문지를 통해 평가하였으며 사후테스트 설문지에는 인지능력, 자율성, 몰입도 등을 평가하였다. 결과 두 가지 조건에서 즐거움, 자율성, 몰입도에서 유의한 차이를 보였고 오픈 월드 형태의 운동 조건이 더 나은 환경을 제공하는 것을 확인하였다.

닌텐도 Wii Fit을 이용하여 가상현실 운동이 정상 성인의 근육 활동에 미치는 영향을 조사한 예도 있다. 닌텐도 Wii Fit을 이용하여 가상현실 운동 그룹(Virtual reality exercise group)과 안정적인 표면 운동 그룹(Stable surface exercise group)으로 나누어 성인의 전체적인 상체 및 하체의 근육 활동량에 대해 측정하였다. 사용자들은 주 3회 6주간 Wii Fit을 가지고 가상현실 운동을 하였고 그 결과 가상현실 운동 그룹은 전위 경골근과 내위근의 활동량에서 유의미한 차이를 보였고 안정적인 표면 운동그룹은 내위근의 활동량만이 유의미한 향상을 보였다. 이 결과로 닌텐도 Wii Fit을 이용한 가상현실 운동은 일반 성인의 근육 운동에 효과가 있다는 결과를 보였다.

현재 상업적으로 이용 가능한 가상현실 운동 시스템은 사람들의 많은 건강 영역에서 사용되고 있는데 이러한 콘텐츠가 건강한 성인을 대상으로 기술의 효용성이 확인된 경우는 드물다. 가상현실 운동 시스템의 효과를 확인하기 위해서 Nan, Z.는 가상현실 운동용 자전거 VirZoom을 이용하여 기존 고정형 자전거로 운동하는 방법과 운동 후 생리적 및 심리적 반응을 비교하였다. 건강한 대학생 12명을 대상으로 실험한 결과 가상현실 자전거 운동이 기존 자전거 운동 비해 운동 중 즐거움과 자기효능이 월등히 높다는 결과를 얻었다. 즉, 가상현실 운동용 자전거 VirZoom은 즐거운 운동 동기를 부여할 수 있다는 것을 증명하였다.

Eun-Cho, P.는 위 피트 밸런스(Wii Fit Balance)를 이용한 가상현실 운동 게임과 공 운동을 통해 가상현실 운동 게임이 노인들의 균형 능력에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 가상현실 운동 게임 그룹과 공 운동 그룹으로 나뉜 두 그룹은 주 3회 30분씩 8주간 운동실험을 하였으며 모든 실험을 마친 뒤 흔들림 길이와 평균 흔들림 속도를 측정하여 실험자의 정적 균형 능력을

측정하였고 TUG(Timed Up and Go) 테스트로 실험자의 동적 균형 능력을 판단하였다. 실험 결과 두 그룹 모두 현저하게 흔들림의 정도 및 속도가 감소하였고 정적 균형 능력이 이전보다 향상된 것을 확인하였다. 특히 가상현실 운동 게임 그룹은 공 운동을 한 그룹에 비해 더 큰 폭으로 향상된 결과를 얻었으며, 이는 동적 균형 운동이 정적 균형 능력에도 영향을 미칠 수 있음을 보이는 것이다.

박경신은 운동 자세 인식모델을 설계하고 키넥트를 이용하여 구현한 연구를 하였다. 10명의 사용자가 총 12가지의 운동 자세를 5가지의 거리별로 5번씩 같은 자세를 취해 실험한 결과 20~40대의 사용자는 운동 자세 일치율이 98%인 것에 비해 고령자는 운동 자세 일치율이 모든 거리에서 낮게 측정되었다. 또한 옆으로 다리들기나 스쿼트 같은 운동 자세는 고령자의 대부분이 힘들하는 것을 확인하다. 이에 따라 운동 자세 인식모델을 한 가지로 정해 두지 말고 연령 대상에 맞게 조정해야 한다는 것을 확인하였다.

## 제 7 절 리듬 게임

본 논문에서 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템은 운동 시스템에 리듬 게임이 결합된 형태로 구현하여 실험하였다. 본 절에서는 리듬 게임의 설계 방법에 따라 지루함 감소 외에 사용자들에게 어떤 긍정적인 효과가 있었는지 설명 하고자 한다.

길태숙 외 1명은 교육과 치료를 목적으로 리듬 게임을 구현하고 초등학생이나 노인환자들을 대상으로 음악 감상 수업과 음악치료를 하였다. 그 결과 리듬 게임을 활용한 음악 감상 수업에서는 학생들이 수업참여를 자발적으로 행동하였고 시각과 청각에만 의존하는 기존의 음악수업에 비해 음악에 맞추어 촉각 자극이 주어지므로 확장된 수업 환경을 학생들에게 제공할 수 있었다. 노인환자를 대상으로 한 음악 게임도 노인들의 우울증 감소와 자아 존중감에 향상에 긍정적인 결과를 나타내었다. 청각적 요소만 있던 음악에 시각 및 촉각적 요소를 추가하고 사용자들이 다중 감각을 통한 체험에 몰입할 수 있었기 때문이다.

윤태진 외 4명은 가상현실 드럼 리듬 게임을 모션 트래커를 이용하여 구현하였다. 모션 트래커를 발에 부착하고 컨트롤러로 드럼을 연주한다. 기존의 손만 활용하여 즐기는 리듬 게임과는 달리 발도 함께 사용하여 드럼 리듬 게임으로써 조금 더 현실감 있는 드럼 게임을 즐길 수 있다.

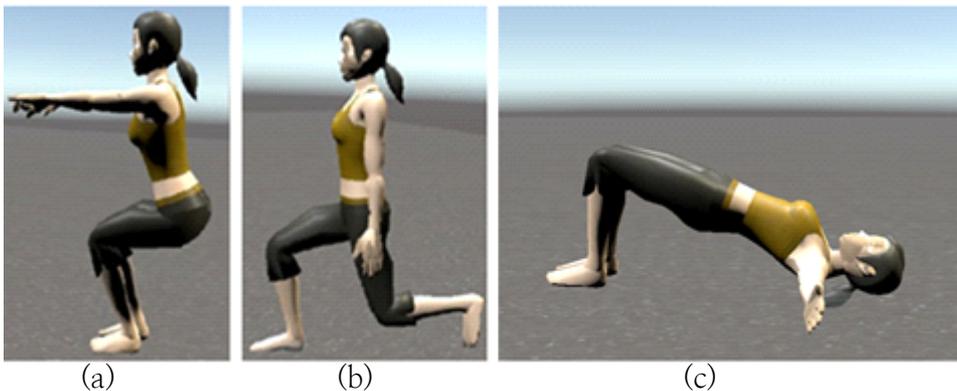
컨트롤러를 사용하지 않고 리듬 게임에 맞는 디바이스를 활용하여 가상현실 리듬 게임을 구현한 예도 있다. Georgiou, O. 외 7명은 손 제스처를 컴퓨터 비전기술로 인식하는 립모션 장치와 진동 기반 햅틱 신호를 생성하는 UH DK5 장치를 이용하여 사용자는 손이 자유로운 상태에서 리듬 게임을 즐길 수 있으며 실시간으로 다양한 햅틱 효과를 체험하고 음향을 조작할 수 있었다.

김철민 외 2명은 브레인-컴퓨터 인터페이스(Brain Computer Interface) 기술을 이용하여 뇌파 리듬에 따라 연주가 가능한 리듬 게임을 구현하였다. 음악 리듬을 시각화하고 시각화한 노트를 청각으로 표현할 수 있는 요소를 새롭게 생성하여 BCI 리듬 게임을 조작하였다. 노트의 속도와 불투명도를 피드백으로 사용자에게 제공하여 노트 연주에 유효한 뇌파를 유도하였고, 숙련도 평가 방법을 제안했다. 실험 결과 단순히 뇌파에 따라 연주하는 시뮬레이션이 아닌 사용자의 습득 능력에 맞추어 점수를 향상할 수 있음을 보였고 뇌파도 리듬 게임의 조작 도구 중 하나로 활용 가능성을 보였다.

## 제 3 장 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템

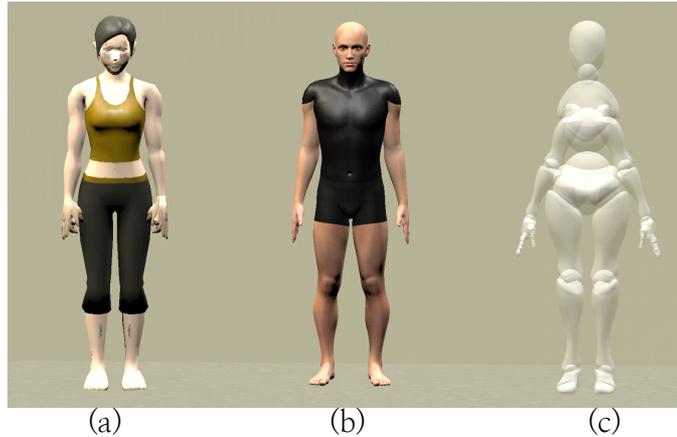
### 제 1 절 개요

가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템은 가상현실 환경에서 운동하는 사용자에게 정확한 자세를 취할 수 있도록 도움을 주는 방법 중 피드백을 사용자에게 주는 방법을 선택하였다. [그림 3-1]과 같이 코어 운동 자세인 스쿼트, 런지, 브릿지의 총 3가지를 대상으로 하였으며, 피드백의 종류는 시각 피드백과 촉각(진동) 피드백 총 두 가지의 방식으로 사용자에게 제공한다.

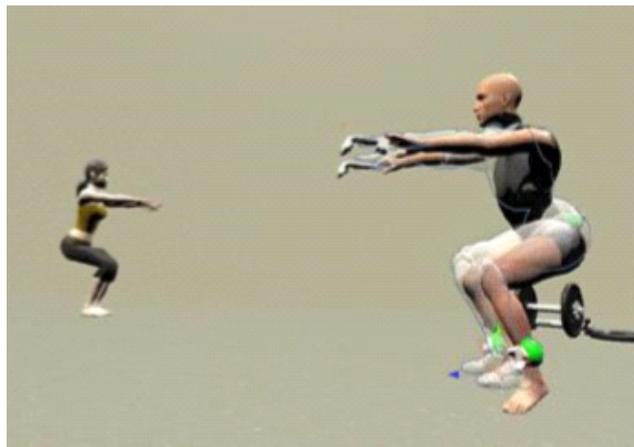


[그림 3-1] 코어 운동 자세 (a) 스쿼트 (b) 런지 (c) 브릿지

가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템에서는 운동 자세를 보여주는 강사 캐릭터가 있으며, 체험자의 신체를 보여주는 아바타가 있다. 또한 1인칭 시점에서 올바른 운동 자세를 관찰할 수 있도록 사용자 및 아바타와 같은 위치에 표시되는 가이드 캐릭터가 있다.



[그림 3-2] 사용되는 캐릭터 종류 (a) 강사 캐릭터 (b) 사용자 아바타  
(c) 가이드 캐릭터



[그림 3-3] 스쿼트를 자세로 운동하는 가상환경 실행 모습

사용자가 가상현실 장비를 착용 후 준비 자세를 취하면, 사용자 아바타가 사용자의 신체 크기에 맞게 보정된다. 강사 캐릭터의 운동 자세에 따라서 사용자가 운동 자세를 취하면, 가이드가 정확한 기준 자세를 보여주며 사용자는 강사의 움직임과 가이드의 운동 자세를 참고하여 [그림 3-3]처럼 운동을 할 수 있다. 정확한 동작의 기준이 되는 지점에서 사용자의 아바타 위치와 기준 자세 위치 사이의 오차를 측정하여 피드백을 제공한다. 사용한 피드백은 시각 피드백과 촉각(진동) 피드백을 제공한다. 피드백의 유, 무 및 피드백 형태에

다른 효과를 평가하기 위해 피드백이 제공되지 않는 경우, 시각 피드백이 제공되는 경우, 촉각 피드백이 제공되는 경우, 시각과 촉각의 다중 양식 피드백이 제공되는 경우로 나누고 각 상황에 따라 사용자는 스쿼트, 런지, 브릿지 운동을 수행한다.

## 제 2 절 가상현실 디바이스 설정

본 시스템은 HTC Vive Pro 가상현실 장비를 사용하였다. 가상현실 장비에 기본적으로 포함되는 헤드마운티드 디스플레이(Head-mounted display; HMD)와 양손에 쥐는 핸드 헬드 컨트롤러(Hand-held controller) 이외에도 신체나 사물에 부착하여 트래킹이 가능한 Vive 트래커(Vive tracker)를 허리와 양발에 부착하였다. 이와 같이 머리와 손, 발, 허리의 위치를 트래킹하고, 역기구학(inverse kinematics)을 통해 사용자의 신체를 추적한다.



[그림 3-4] 가상현실 디바이스를 착용한 모습

### 제 3 절 전문가 자세 획득 및 사용자 기준 자세 생성

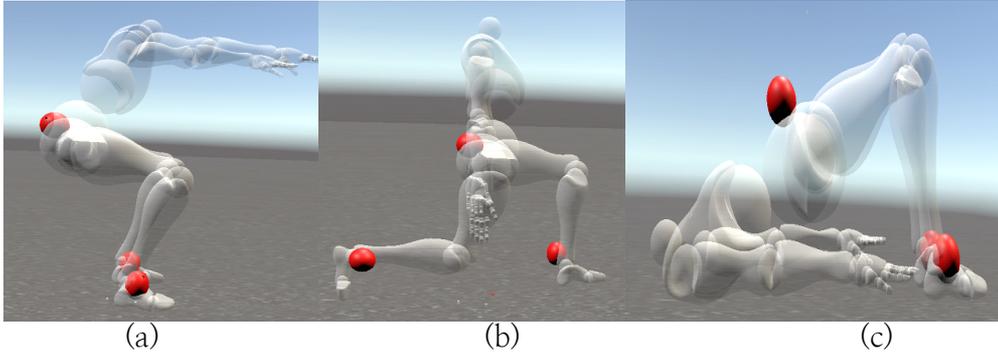
전문가는 2장 2절에 기술한 대로 가상현실 장비 착용 후 코어 운동 자세인 스쿼트, 런지, 브릿지 자세를 취한다. 역기구학을 적용하여 주요 관절의 위치 및 각도를 계산한다.

스쿼트, 런지, 브릿지의 3가지 전문가 자세는 최종자세를 정적자세로 저장하여 사용했으며 런지는 양쪽 발을 번갈아 가며 하는 운동이므로 양쪽 자세를 각각 사용하였다. 이렇게 저장된 전문가의 자세는 각 운동의 기준 자세가 되며 사용자는 이 기준 자세를 참고하여 최대한 일치하게 운동을 한다.

전문가의 자세를 사용자의 신체 조건에 따라 조정하여 사용자 맞춤형 자세를 생성하기 위해서는 사용자의 신체 길이를 측정하는 과정이 요구된다. 사용자가 머리에 HMD를 착용하고, 양손에 컨트롤러를 들고, 발목과 허리에 트래커를 부착하고 준비 자세를 취하면 가상 아바타의 스케일이 사용자의 신체 길이에 맞게 변경된다. 기준 자세를 제공하는 가이드 아바타도 사용자의 신장에 맞게 스케일을 조정한다. 스케일이 조정된 가이드 아바타에 전문가 자세의 관절 값을 적용하여 자세를 생성하면, 사용자 맞춤 기준 자세가 생성된다.

### 제 4 절 사용자 자세의 정확도 측정

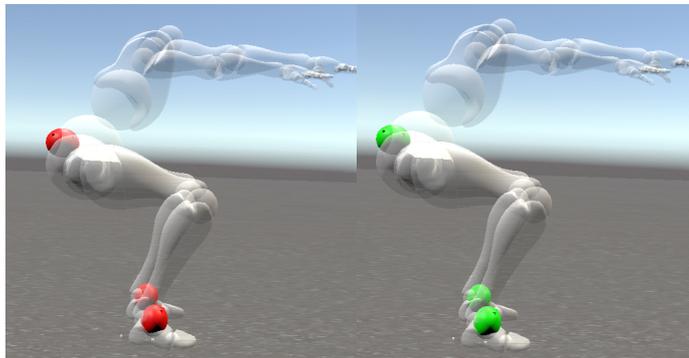
사용자가 목표 자세를 취하며, 부착한 위치 센서의 위치와 기준 자세에서 대응되는 위치의 거리 차이를 통해 자세의 정확도를 측정한다. [그림 3-5]은 스쿼트, 런지, 브릿지 운동에서 사용자에게 부착된 위치 센서와 대응되는 부분을 가이드에 표시한 것이다. 스쿼트와 런지는 발목과 허리 뒤쪽에서 위치를 측정하며, 브릿지는 발목과 배꼽 부분에서 위치를 측정한다.



[그림 3-5] 각 자세의 정확도를 판단하는 부분  
 (a) 스쿼트 (b) 런지 (c) 브릿지

### 제 5 절 자세 교정을 위한 피드백 설계

3장 4절에 기술한 방법으로 사용자 맞춤 기준 자세와 사용자 자세 사이의 거리 오차를 측정하고 불일치 여부에 따라 시각 및 촉각 피드백을 제공한다. 시각 피드백은 위치 오차를 측정하는 위치에 구를 통해 사용자에게 제공되는데, 오차가 없는 경우에는 녹색으로, 오차가 있는 경우에는 적색으로 표시한다. 또한 촉각 피드백을 위한 진동 장치를 오차를 측정하는 사용자의 신체에 부착하는데, 촉각 피드백은 시각적으로 볼 수 없는 등과 엉덩이같이 부위의 자세를 교정하는 데 시각 피드백보다 효과적으로 사용될 수 있다. 진동은 오차가 발생된 부위에서 발생하며 자세를 일치시켜 오차가 사라질 때까지 계속해서 발생하게 된다.

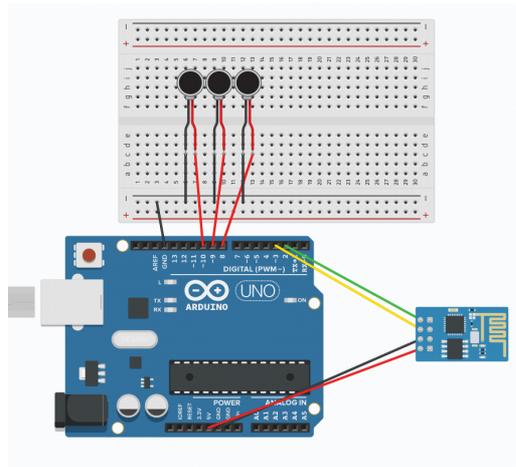


[그림 3-6] 스쿼트 자세의 시각 피드백

## 제 6 절 촉각 피드백을 위한 하드웨어 구현

가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템에서 사용된 진동 하드웨어는 아두이노 우노와 소형 코어리스 진동모터를 사용하여 제작하였다. 운동 중에 실시간으로 정보를 주고받기 위해서는 필수적으로 무선 통신, 실시간 통신이 필요하므로 블루투스 통신 모듈(HC-06 모듈)을 사용하였다.

아두이노에 설정된 코드는 진동 센서가 연결된 8, 9, 10번 포트를 작동시키기 위해 블루투스 통신을 통해 전달된 값에 따라 진동 센서를 작동시키는 스위치 역할을 한다.



[그림 3-7] 진동 피드백을 위한 하드웨어 설계도

유니티에서는 블루투스를 통해 사용자의 운동 자세가 정확하지 않는 경우 진동을 켜고 일치할 경우 끄기 위한 정보를 아두이노로 제공하게 되어있으며 이런 과정은 실시간으로 사용자의 자세에 오차가 있는 경우 즉각적으로 촉각 피드백을 제공하게 된다. [그림 3-8]은 사용자의 허리와 발목에 부착한 아두이노와 진동 센서 사진이다.



[그림 3-8] 아두이노 및 진동 센서 착용 모습

## 제 4 장 운동 자세 트레이닝 시스템 실험

### 제 1 절 가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템 실험 방법

가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템은 Unity 3D 2019.2.17f1 엔진과 SteamVR 플러그인을 사용하여 구현하였으며, 가상현실 장비는 HTC Vive Pro와 Vive Tracker를 함께 사용하였다.

가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템 실험은 총 4가지 피드백 방식으로 진행하였다. 시각 피드백과 촉각 피드백 없이 가이드의 자세만 보고 운동하는 방식, 시각 피드백이나 촉각 피드백 중 한 가지만 제공하는 방식, 마지막으로 시각 피드백과 촉각 피드백을 같이 제공하는 방식으로 진행하였다. 실험 대상자는 VR경험이 있는 20대 성인 4명을 대상으로 하였고, 코어운동인 스쿼트, 런지, 브릿지 자세를 4가지 피드백 방식을 사용하여 각 5회씩 수행하였다. 운동자세를 취할 때마다 최종 자세에서 기준 자세와의 오차 거리를 측정하고, 시작 자세에서 최종 자세까지 걸리는 시간을 기록하여 결과를 분석하였다.



[그림 4-1] 런지 자세를 취하고 있는 모습

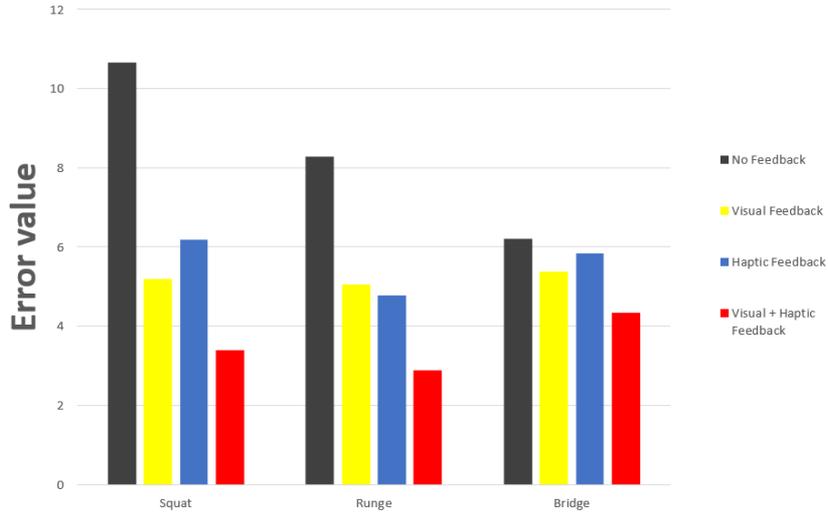
자세의 정확도를 판별하기 위해서는 사용자의 발과 허리의 위치를 측정해야 한다. 하지만 시작 시 발을 올바른 지점에 위치시키면 반복 수행할 때 발의 위치는 바뀌지 않는다. 따라서 사용자의 발에서 발생하는 오차를 측정하지 않았으며, 사용자의 허리 위치 오차를 측정하였다. 실제로도 스쿼트, 런지, 브릿지 운동은 허리의 위치를 정확하게 하는 것이 중요하다. [그림 4-1]는 런지 자세를 취하는 사용자의 모습이다.

## 제 2 장 실험 결과

가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템의 사용자 결과로 [그림 4-2]과 [표 4-1]는 스쿼트, 런지, 브릿지 운동에서의 오차 거리를 측정하여, 전체 실험자에 대한 평균값을 cm단위로 표기한 결과를 보여준다.

스쿼트의 경우, 피드백이 제공되지 않을 때 허리 위치의 오차 거리의 평균이 10.64 cm이었으나, 시각 피드백이 제공될 때는 5.19 cm, 촉각 피드백이 제공될 때는 6.17 cm로 감소하였다. 시각과 촉각의 다중 양식 피드백이 제공될 때는 3.40 cm까지 감소하여 사용자의 운동 자세 정확도가 크게 향상되었다. 피드백이 제공되지 않을 때의 오차 거리를 기준으로 비교할 때, 시각과 촉각을 모두 사용한 다중 양식 피드백에서는 31.95%까지 오차 거리가 감소하였다.

런지의 경우, 피드백이 제공되지 않을 때 허리 위치의 오차 거리의 평균이 8.27 cm이었으나, 시각 피드백이 제공될 때는 5.05 cm, 촉각 피드백이 제공될 때는 4.77 cm로 감소하였다. 시각과 촉각의 다중 양식 피드백이 제공될 때는 2.87 cm까지 감소하여 사용자의 운동 자세 정확도가 향상되었다. 반면에 브릿지의 경우 피드백의 효과가 크지 않았다. 스쿼트와 런지의 운동 자세 처럼 허리의 위치가 많이 변동될 수 있는 자세에 비해 브릿지는 사용자가 허리를 상하로 움직이는 단순한 동작 구성되어 있으므로 최종 자세에서 피드백이 없이도 허리 위치를 비교적 정확하게 취할 수 있었기 때문으로 판단된다.



[그림 4-2] 실험자의 각 자세별 오차 거리 평균

	No Feedback	Visual Feedback	Haptic Feedback	Visual + Haptic Feedback
Squat error (cm)	10.64	5.19	6.17	3.4
Squat error reduction(%)	100	48%	57.98	31.95
Lunge error (cm)	8.27	5.05	4.77	2.87
Lunge error reduction(%)	100	61.06	57.67	34.7
Bridge error (cm)	6.2	5.37	5.84	4.34
Bridge error reduction(%)	100	86.61	94.19	70.32

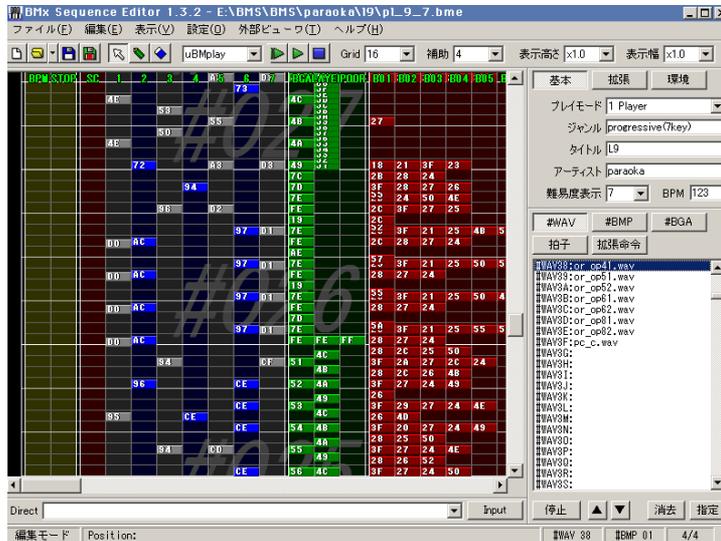
[표 4-1] 평균 오차 거리 및 오차 감소율

사용자가 피드백을 받고 시작 자세에서 최종자세까지 걸리는 시간이 단축 될 것으로 예상했으나 사용자 개인의 운동 속도에 따라 다를 뿐 의미 있는 결과는 도출되지 않았다.

# 제 5 장 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템

## 제 1 절 개요

가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템은 가상현실 리듬 게임을 추가한 운동을 하는 시스템으로 양손과 양발을 사용하여 플레이하게 된다. 기존의 리듬 게임은 BMS(Be Music script)를 이용하여 타겟을 생성하게 된다. 하지만 이러한 BMS방식은 에디터 프로그램[그림 5-1]을 이용하여 제작자가 미리 음악에 따라 정해놓은 위치에서만 나오기 때문에 본 시스템에서 가용할 사용자 적응형 게임을 만드는데 적합하지 않다. 따라서 사용자 적응형 리듬게임을 만들기 위해 기존의 미리 타겟을 구성하여서 제공하는 BMS방식이 아닌 플레이 도중 상황에 맞게 바뀌는 방법을 사용한다.

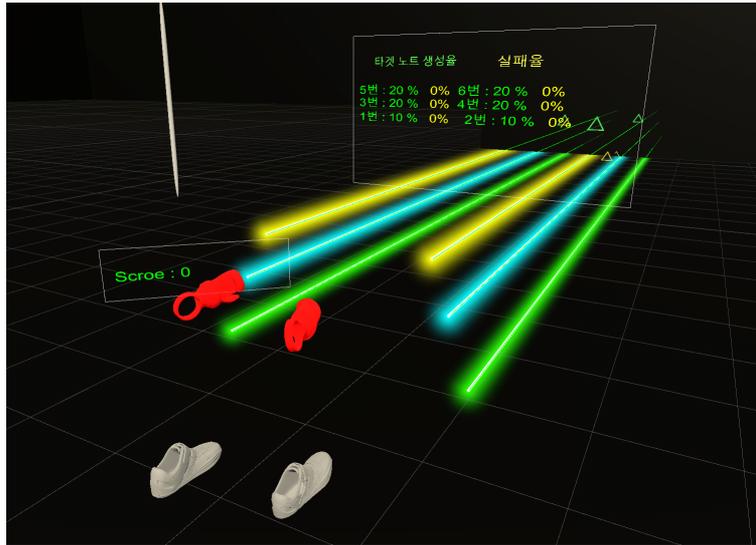


[그림 5-1] BMS Editor

이 시스템에서 선택한 노래는 only you 라는 전자 음악이며 사용자의 민첩성을 향상시키는 것이 목적이므로 다음 타겟을 예측하지 못하도록 항상 타

켓 생성 좌표는 무작위이며 일정 박자에 맞추어 설정된 구역 범위 안에서 생성 되게 된다.

사용자마다 신체의 사이즈가 다를 수 고려하여 실험자의 신장에 따라 타겟이 나오는 구역의 크기를 다르게 설정 후 시작하게 하였다. 양손은 글러브 양 발은 신발을 사용하여 자신의 신체 위치를 시각적으로 보여주었다.



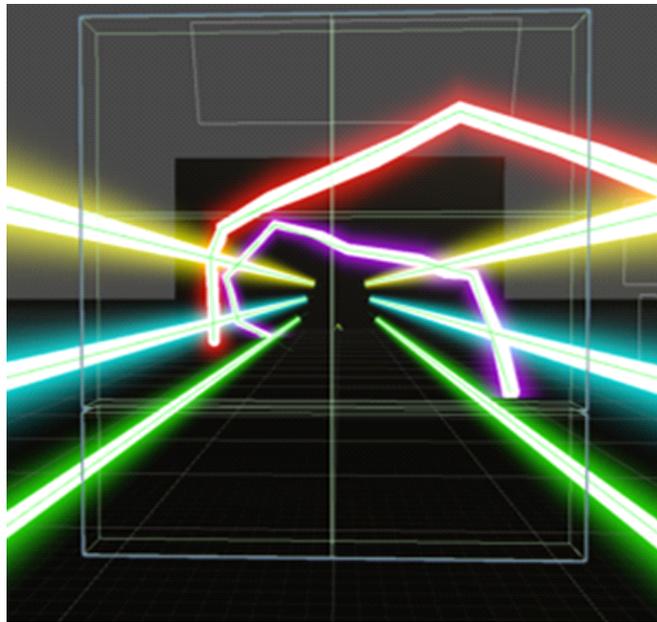
[그림 5-2] 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템

## 제 2 절 타겟 타격 방법 및 구역설정

사용자는 시스템이 시작되면 날아오는 타겟을 주어지는 음악의 박자에 맞추어 손과 발을 사용하여 타격해야 한다. 만약 사용자가 힘을 주지 않아 손과 발이 속도 없이 가만히 있으면 올바른 운동 효과를 얻을 수 없으므로 현재 프레임과 이전 프레임 사용자의 손과 발의 위치값의 차이를 이용하여 속도를 계산 후 그 속도가 정해진 기준 속도 이상을 내었을 때만 날아오는 타겟을 타격할 수 있으며 일정 속도 이하라면 타겟은 타격 되지 않고 그냥 손과 발을 지나치게 되며 그 지나친 해당 타겟은 실패한 것으로 판단되어 실패율을 상승시킨다. 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템에서 생성되는 타겟을

사용자가 타격하는 구역은 양손을 사용하여 맞춰야 하는 구역 4곳과 양발을 사용하여 맞춰야 하는 구역 2곳을 설정하여 총 6구역으로 설정하였다.

타겟 생성 및 타격 구역은 [그림 5-3]과 같이 설정되어 있으며 전체 범위는 사용자의 위치 좌표가 (0, 0)일 때 (-0.6, 0.3) ~ (0.6, 1.8)로 설정되어있다. 양발은 양손보다 비교적 자유롭지 못하기 때문에 양발의 2구역은 전체 구역 범위의 각 10%씩 비중을 차지하며 양손의 4구역은 전체 구역 범위의 각 20%씩 차지한다.



[그림 5-3] 전체 구역을 비율에 맞게 6구역으로 나눈 모습

### 제 3 절 적응형 타겟 생성 및 실패율 계산 방법

시스템 내에서 생성되는 타겟들은 각각 생성될 때 자신의 구역 정보를 가지고 생성되며 시스템 사용 시 박자에 맞추어 타겟이 사용자에게 날아오게 되는데 이때 사용자가 타격 및 타격 실패 시 각 타겟이 가지고 있는 구역 정보 및 타격 여부를 큐(queue)에 전달하여 저장하게 된다. 이러한 방식으로 게임이 시작된 처음 기본 확률에 따라 생성되는 20개의 타겟 정보를 가지고 구

역별 타겟의 타격 실패율을 계산하고 계산을 마치면 이후 생성되는 타겟은 실패율이 높은 구역에서 타겟이 생성되는 빈도가 올라간다. 타겟 20개를 기준으로 판단하기 때문에 시스템 사용 도중 한 개의 타겟이 타격 되거나 실패 될 경우 20개의 타겟 중 가장 먼저 들어온 타겟의 정보를 큐에서 삭제하고 새로 들어온 타겟을 큐에 추가하여 새롭게 20개의 타겟의 타격 실패율을 재 계산한다. 이러한 방법으로 게임이 종료될 때까지 사용자의 민첩성에 따라 6 구역 중 부족하다고 판단되는 구역에 타겟이 실시간으로 반영되어 알맞은 비율로 생성한다.

$$k\text{구역의 실패율} = \frac{k\text{구역에서 실패된 타겟수}}{k\text{구역에서 생성된 타겟수}}$$

$$\text{실패율의 합} = \sum_{k=1}^6 k\text{구역의 실패율}$$

$$k\text{구역의 생성률} = \frac{k\text{구역의 실패율}}{\text{실패율의 합}}$$

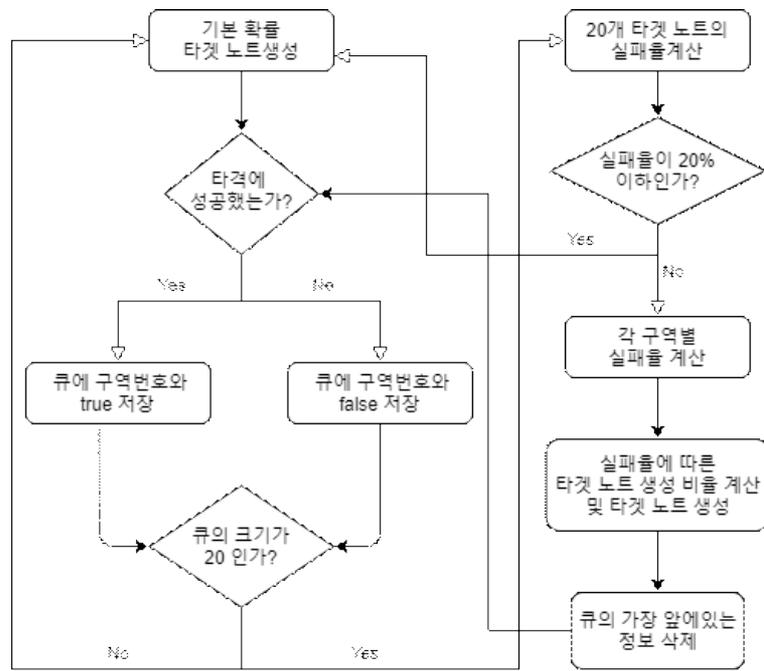
$$(1 \leq k \leq 6)$$

위 수식은 최종적으로 k구역에서의 생성률을 구하는 식이다. 적응형 타겟의 생성률의 계산은 우선 각 구역별 실패율을 구해야 한다. 각 구역별 실패율은 구역별로 생성된 타겟의 수를 실패한 타겟 수로 나누어 값을 구한다. 이렇게 구해진 각 구역별 실패율을 모두 더하여 실패율의 총합을 구하고 각 구역별 실패율을 실패율의 총합으로 나누어 각 구역별 적응형 타겟의 생성률을 계산한다. 이 생성률은 다음 타겟이 k구역에서 생성될 확률을 의미한다.

가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템에 사용된 각 구역별 타겟 생성률은 사용자가 실패한 정도를 가지고 계산을 하여 사용자의 실패가 높은 구간에서는 정확한 비율로 타겟의 생성을 보이지만 만약 사용자의 실패가 낮다면 문제점이 발생하기 때문에 이를 방지해야 한다. 사용자가 시스템 사용도중 기준이 되는 20개의 타겟을 전부 타격하거나 사용자가 1~2 개의 타격 실패 즉 매우 낮은 실패율을 기록할 시 어떠한 구역에서도 타겟이 더 생성되지 않는 문제와 1~2개 실패한 구역에서만 타겟이 생성되는 문제점이 있다. 실패율이 있어야 그것을 기반으로 타겟 생성률을 계산할 수 있는데 실패율이 0이거

나 매우 낮으므로 일어나는 현상이다. 이러한 문제점의 방지를 위해 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템에서는 사용자가 시스템 사용 도중 실패율을 판단하는 20개의 타겟의 타격 실패율이 20% 이하로 비교적 정확하게 타격하게 되면 타겟은 계속해서 초기 기본 확률을 유지하며 생성하게 되며 실패율이 20%가 넘어갈 때만 적응형 타겟 생성방법에 따라 계속해서 생성하게 된다.

가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템에 사용된 타겟 생성 순서도는 [그림 5-4]과 같다.



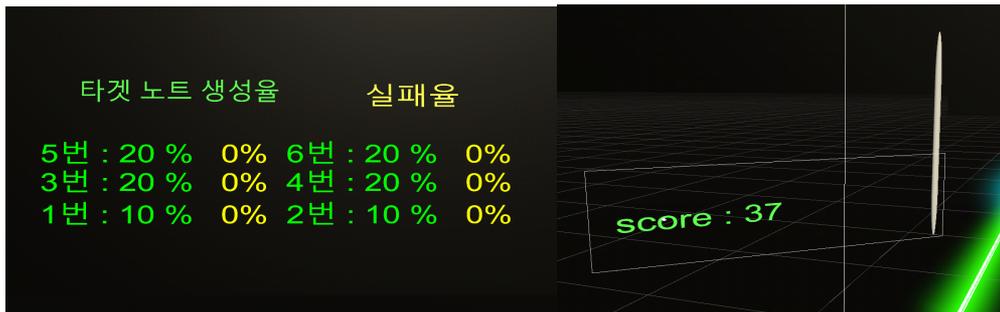
[그림 5-4] 타겟 생성 순서도

#### 제 4 절 사용자 인터페이스

가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템에서는 점수를 나타내는 Score UI와 각 구역에서의 타격 실패율을 보여주는 UI, 현재 각 구역에서 타겟의 생성률이 얼마인가를 볼 수 있는 UI로 구성되어 있다. 각 UI는 좌, 상단에 표

시되며 타겟 생성물은 타겟 20개의 판단이 종료될 때부터 표시된다. 좌단에 배치된 ScoreUI는 타겟을 정확하게 타격에 성공하였다면 점수를 1점씩 올리고 타격에 실패할 경우 점수의 변동이 없다. ScoreUI를 통해 사용자는 전체적인 타겟의 타격 횟수를 확인할 수 있다.

사용자는 각 구역이 시각적으로 보이는 것이 아니기 때문에 타겟의 시각적 차이를 두어 착오를 없애기 위해 두 가지의 타겟 오브젝트를 사용하였다. 생성되는 타겟 중 초록색 삼각형의 모양은 양손으로 타격해야 하는 타겟이며 노란색 삼각형의 모양은 양발로 타격해야 하는 타겟으로 설계하였다. 또한 타격 시 확실한 타격 여부를 사용자가 파악할 수 있도록 타겟 타격 시 빨간색 삼각형 모양 오브젝트의 파편이 떨어져 나오는 효과를 추가하였다.



[그림 5-5] 사용자 인터페이스

## 제 6 장 적응형 민첩성 트레이닝 시스템 실험

### 제 1 절 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 실험 방법

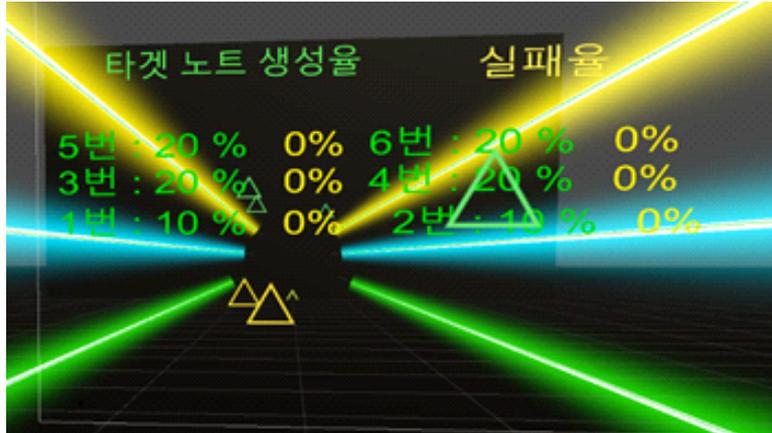
가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템은 Unity 3D 2018.3.11f1 엔진과 SteamVR 플러그인을 사용하여 구현하였으며, 가상현실 장비는 HTC Vive Pro를 사용하였다.

가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템의 실험은 5장 3절에 기술한 것과 동일하게 사용자가 실패율이 높은 구역에서 타겟의 생성률이 상승하고 낮은 구역에서는 생성률이 하락하여 타겟이 정확하게 생성이 되는지 시스템을 확인을 한다.

적응형 타겟 생성 방법이 제대로 나오는지 확인하기 위해 특정 구역의 실패율을 높여서 확인한다. 총 6개의 구역에 가독성을 높이기 위해서 왼쪽 하단부터 오른쪽 상단까지 1번부터 6번까지 번호를 부여하였다. 실험을 위한 실패율 상승 구역은 첫 번째로 1, 5, 6번 구역, 두 번째로 1, 3, 4, 6번 구역의 실패율을 높여서 측정하였다. 중간에 기본 타겟 생성률의 생성도 제대로 이루어지는지 확인하기 위해 20개의 타겟을 실패율을 20% 이하로 떨어트리도록 하였다.

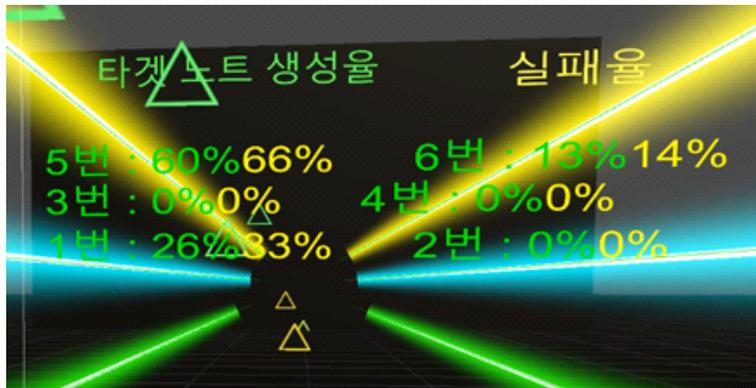
### 제 2 장 실험 결과

가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템의 실험 결과를 다음과 같이 확인할 수 있었다. 5장 4절에 기술한 UI를 통해 결과를 확인하였으며 타겟 생성률은 초록색 실패율은 노란색 글자색이며 가독성을 위해 백분율로 표기하였다.



[그림 6-1] 실험 시작시 생성 및 실패율

[그림 6-1]은 처음 시스템 시작 시의 타겟 생성률을 보여주고 있다. 타겟 생성률이 기본 확률로 생성되며 실패율은 모두 0%이다.



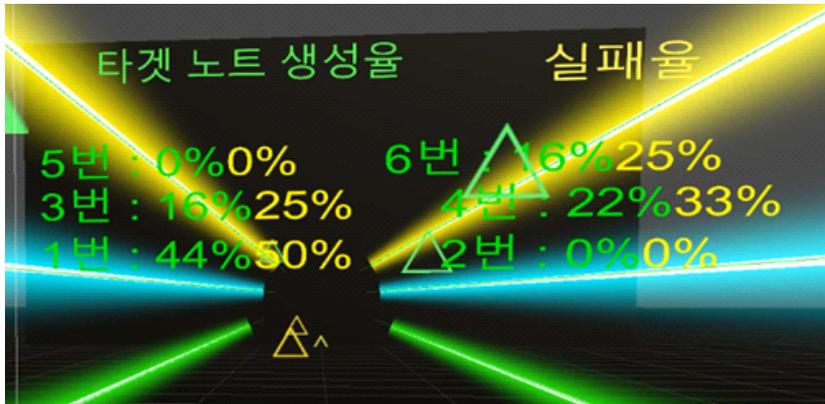
[그림 6-2] 1, 5, 6번 구역 실패율 증가

[그림 6-2]은 1, 5, 6번 구역의 실패율을 증가시켜 확인한 결과이다. 각 구역별 실패율은 33%, 66%, 14%로 증가시켰으며 생성률은 26%, 66%, 14%로 생성률의 합은 99%로 잘 계산되어 생성되는 것을 확인할 수 있었다. 이때 1%의 오차는 적응형 생성률 계산 후 백분율로 변환 전에 소수점 3번째 자리가 버려지면서 발생하는 오차이다.



[그림 6-3] 4번 구역 실패율 증가

[그림 6-3]은 4번 구역의 실패율을 25%로 증가시킨 상황이다. 실패율이 25%이지만 최근 20개의 타겟의 실패율이 20%를 넘기지 못했으므로 타겟의 생성률은 기본 생성률을 따라 생성되는 것을 확인할 수 있다.



[그림 6-4] 1, 3, 4, 6번 구역 실패율 증가

[그림 6-4]은 1, 3, 4, 6번 구역의 실패율을 증가시켜 확인한 결과이다. 각 구역별 실패율은 50%, 25%, 33%, 25%로 증가시켰으며 생성률은 44%, 16%, 22%, 16%로 생성률의 합은 98%로 잘 계산되어 생성되는 것을 확인할 수 있었다. [그림 6-2]와 마찬가지로 2%의 오차는 적응형 생성률 계산 후 백분율로 변환 전에 소수점 3번째 자리가 버려지면서 발생하는 오차이다.

실패율의 증가 정도로 인한 타겟의 생성률을 확인하고 실제로 모든 구간에서 타겟이 제시한 순서도에 따라 계산 후 생성되는 것을 확인하였다.

## 제 7 장 결론

### 제 1 절 결론 및 향후 계획

가상현실 운동 자세 트레이닝 시스템은 코어 운동을 정확한 운동 자세로 할 수 있도록 시각 피드백과 촉각 피드백을 제공하는 코어 운동 가상현실 시스템을 구현하고 피드백의 제공 방식에 따라 자세를 교정하는데 도움을 주는 효과가 있는지 분석하기 위하여 사용자 실험을 수행하였다.

스쿼트와 런지 운동의 경우 피드백이 제공할 때보다 시각 피드백이나 촉각 피드백의 단일 양식 피드백을 제공할 때가 효과적이었고 시각 피드백과 촉각 피드백을 같이 제공하는 다중 양식 피드백의 경우 더 좋은 자세 교정 효과를 보여주었다.

향후에는 사용자의 자세의 정확한 측정을 위해 모션 캡처 시스템을 활용할 계획이다. 또한 역동적이고 복잡한 운동 자세를 대상으로 더욱 정교한 방식의 다양한 피드백을 설계하여, 자세 교정 효과를 높이는 방법에 대해서 연구를 수행할 계획이다.

가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템은 사용자의 민첩성이 부족한 구역을 파악하고 훈련시키기 위해 사용자 실패율에 따른 적응형 타겟 생성 방법을 설계하고 구현하였다. 실험을 통해 실제로 사용자의 부족한 구역에 적당한 비율로 생성이 되는지 확인하였다. 이러한 적응형 타겟 생성 방법은 가상현실 적응형 민첩성 트레이닝 시스템 사용자가 민첩성이 부족한 구역을 실시간으로 파악하여 사용자의 민첩성 향상을 위한 훈련에 도움이 될 것으로 기대된다.

# 참 고 문 헌

## 1. 국내문헌

- 고인석, 조성원, 박채용, 최승문. (2018). VBand: 햅틱 피드백과 악기 메타포가 가미된 가상현실 기반 밴드 합주 시스템의 구현. 한국 『HCI학회』, 324-328.
- 길태숙, 김범중. (2013). 리듬액션게임, 청각의 공감각적 응용: 음악 게임 치료와 음악 감상 학습을 중심으로. 『한국컴퓨터게임학회』, 26(1), 69-77.
- 김민규, 전찬규, 김진모. (2017). 몰입형 가상현실 콘텐츠에 활용 가능한 휴대용 손 햅틱 시스템 개발. 『한국컴퓨터그래픽스학회』, 125-126.
- 김정진, 김유신, 김도형, 박천수, 윤범철. (2011). 가상현실에서 시각적 피드백 유, 무에 따른 고관절 운동 동작 오차 수준 비교. 『한국사회체육학회지』, 45(2), 947-953.
- 김용정, 임혜정. (2019). 『가상현실 스포츠를 진화시키는 특허기술』. 서울: 특허청
- 김철민, 강경현, 김은석. (2013). BCI 리듬게임을 위한 시청각 피드백 생성에 관한 연구, 『한국게임학회』, 13(6), 15-26.
- 김현경, 김현정, 정혜윤, 조희연, 서혁준, 이형준. (2015). 블루이노와 센서를 이용한 헬스케어 디바이스. 『한국정보통신학회』, 488-491.
- 박경신. (2016). 운동 게임을 위한 키넥트 센서 기반 운동 자세 인식 모델 개발. 『정보처리학회논문지』, 5(10), 303-310.
- 박우희, 김지은, 이지은. (2020). 가상현실 운동 자세 트레이닝을 위한 피드백 설계 및 효과 연구. 『한국컴퓨터 그래픽스 학회』, 26(3), 79-86.
- 서재식, 신민호, 문미경. (2019). 스마트거울을 활용한 실시간 자세 교정 피트

- 니스 시스템. 『한국전기전자학회』, 23(1), 74-79.
- 신재우, 김창현. (2018). 가상현실 기반의 코어 운동용 헬스케어 시스템 개발에 대한 복합적 연구. 『한국과학예술융합학회』, 35, 261-270.
- 유왕윤. (2019). VR 야구 게임의 현실감 강화 방법 연구. 『한국게임학회』, 통권(87), 23-32.
- 윤태진, 황수민, 정지훈, 최현욱, 노진영. (2020). 모션 트래커를 이용한 가상현실 드럼리듬게임. 『한국컴퓨터정보학회』, 28(1), 291-292.
- 이상욱, 정동훈. (2020). 가상현실 햅틱 피드백 개체의 증가가 상호작용성과 신체소유감에 미치는 영향. 『한국게임학회』, 20(5), 31-40.
- 이준영. (2019). 5G 시대, 『디지털 헬스케어 동향』. 서울: Nipa.

## 2. 국외문헌

- Don, D., Brenda, L. and Jonah, B. (2019). Virtual Reality Exercise Games for High School Students With Intellectual and Developmental Disabilities, *Journal of Special Education Technology*, 35(2), 87-96.
- Georgiou, O., Jeffrey, C., Chen, Z., Tong, B., Chan, S., Yang, B., Harwood, A. and Carter, T. (2018). Touchless Haptic Feedback for VR Rhythm Games, *IEEE Annual International Symposium Virtual Reality*, 1, 553-554.
- Jiang, L., Girotra, R., Mark, R. and Ullrich, C. (2005). Reducing error rates with low-cost haptic feedback in virtual reality-based training applications, *WHC '05*, 420-425.
- Ijaz, K., Ahmadpour, N., Wang, Y. and Calvo, R. (2020). Player Experience of Needs Satisfaction (PENS) in an Immersive Virtual Reality Exercise Platform Describes Motivation and Enjoyment, 36(13),

1195–1204.

- Park, E., Kim, S. and Lee, C. (2015). The effects of virtual reality game exercise on balance and gait of the elderly, *Journal of Physical Therapy Science*, 27(4), 1157–1159.
- Park, J., Lee, D. and Lee, S. (2014). Effect of Virtual Reality Exercise Using the Nintendo Wii Fit on Muscle Activities of the Trunk and Lower Extremities of Normal Adults, 26(2), 271–273.
- Regina, G., Gretchen, A., Leanne, M. and Fiona, C. (2018). Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants, 6(10), *The Lancet*, E1077–E1086.
- Sato, k., Fukumori, S., Matsusaki, T., Maruo, T., Ishikawa, S., Nishie, H., Takata, K., Mizuhara, H., Mizobuchi, S., Nakatsuka, H., Matsumi, M., Gofuku, A., Yokoyama, M. and Morita, Kiyoshi. (2010). Nonimmersive Virtual Reality Mirror Visual Feedback Therapy and Its Application for the Treatment of Complex Regional Pain Syndrome : An Open-Label Pilot Study, *Pain Medicine*, 11 (4).
- Ström, P., Hedman, L., Särnå, L., Kjellin, A., Wredmark, T. and Felländer-Tsai, L. (2006). Early exposure to haptic feedback enhances performance in surgical simulator training: a prospective randomized crossover study in surgical residents, *Surg Endosc*, 20(9), 1383–1388
- Wierinck, E., Puttemans, V., Swinnen, S. and van Steenberghe, D. (2005). Effect of augmented visual feedback from a virtual reality simulation system on manual dexterity training, *European Journal of Dental Education*, 9(1).
- Zeng, N., Pope, Z. and Gao, Z. (2017). Acute Effect of Virtual Reality Exercise Bike Games on College Students' Physiological and Psych

ological Outcomes, Cyberpsychol Behav Soc Netw, 20(7), 453–457.

Zhang, Y., Sotudeh, R. and Fernando, T. (2005). The Use of Visual and Auditory Feedback for Assembly Task Performance in a Virtual Environment, Proceedings of the 21st Spring Conference on Computer Graphics, 59–66.

### 3. 인터넷 사이트

위키피디아, 가상현실 사전적 의미. <https://ko.wikipedia.org/>

위키피디아, Wii Fit. [https://en.wikipedia.org/wiki/Wii\\_Fit](https://en.wikipedia.org/wiki/Wii_Fit)

Nintendo, Ring Fit. <https://www.nintendo.co.kr/software/switch/ring/about/index.html>

위키피디아, Kinect. <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%82%A4%EB%84%A5%ED%8A%B8>

Steam VR, BoxVR. <https://store.steampowered.com/app/641960/BOXVR/>

# ABSTRACT

## Virtual reality system design and effect research for improvement in exercise ability

Park, Woo-Hee

Major in IT Convergence Engineering

Dept. of IT Convergence Engineering

The Graduate School

Hansung University

To improve the athletic ability of modern people, it is important to exercise in an accurate position and to exercise continuously without boredom. This paper introduces the virtual reality exercise posture training system, which provides two kinds of feedback so that users who do core exercise in virtual reality environment can take the correct posture, and the virtual reality adaptive agility training system implemented to train the user's agility. The virtual reality exercise training system has been implemented for a total of three core exercise posture: squats, lunges and bridges, and through visual and tactile feedback, the user can take the correct posture. The posture of the core movement expert is adjusted to the length of the user's body to create a reference position, and the accuracy of the user's exercise posture is calculated by comparing the posture taken by the user with the reference posture. Virtual reality adaptive agility training system is a system aimed at increasing the user's agility and is implemented by adding a fun element called rhythm game to provide a way to create adaptive target notes that change in real time to train the user's lack of agility. Virtual reality exercise posture training system confirmed the effect of each feedback

through user experiment, and virtual reality adaptive agility training system checks the function of adaptive note generation method to improve user agility.

【Key words】 Virtual Reality, Feedback, Visual feedback, Haptic feedback, code exercise, Agility