

# VR자전거를 위한 노면 질감 햅틱 피드백

## 요약

현재 전세계적으로 유행하는 COVID-19 바이러스로 인해 외부 활동보다 안전한 실내에서 여가 욕구를 충족하려는 사람이 더 많아지는 추세이다. 따라서 본 문서는 대표적인 여가활동 중의 하나인 자전거 타기를 선정하여 자전거에 부착하는 노면 질감 햅틱 디바이스의 구조 및 동작 방식, VR 자전거 체험 콘텐츠 구현 방법을 제시한다. 그 결과 사용자가 자전거를 타는 노면의 질감 및 자전거를 타고 가며 보이는 경관을 사실적으로 느끼으로써 현실과 유사한 가상환경 경험을 마련하고자 한다.

## 1. 서론

현재 전세계적으로 유행하는 COVID-19 바이러스로 인한 사회적 거리두기가 장기화되고 있다. 그로 인해 외부에서 많은 사람들과의 접촉을 꺼려하고 집, 작업실, 공방 등 소규모 공간에서 최소한의 사람들과 시간을 보낼 수 있는 여가 활동을 선호하는 양상을 띠게 되었다. 코로나 시국 이전 즐기던 실외 여가활동을 원활히 유지할 수 없는 사람들도 늘고 있다. 이런 현상을 해결하기 위해 대중적인 실외 활동 중 하나인 자전거 타기를 떠올렸고, 실내에서 라이딩을 실감나게 체험하기 위한 방안을 기획하게 되었다.

현실감 부여를 강화하기 위해 HMD를 이용한 기존 VR시스템에 두가지 요소를 덧붙였다. 첫번째로 진동자와 우퍼를 이용하여 자전거의 핸들과 안장으로 느껴지는 노면의 질감을 생성한다. 두번째로 VR 콘텐츠를 통해 몰입도를 높인 사용자 경험을 제공하려 한다.

본 연구의 최종 목표는 가상현실 속에서 실제로 자전거를 타는 듯한 느낌을 주는 HMD콘텐츠와 햅틱스 장치 구현이다. 해당 시스템 구현을 통해 COVID-19 사태로 자전거 여가 활동을 하지 못했던 사람들에게 실내에서도 충분히 현실적인 야외 라이딩이 가능하다는 점을 입증한다. 가상현실과 햅틱스를 활용하여 사용자에게 사실감 넘치는 시각 및 촉각 자극을 줌으로써 몰입감을 극대화할 수 있다. 연구 산출물의 타겟 사용자 층은 실내에서 보다 안전하고 현실적인 자전거 라이딩을 즐기고 싶은 사람들이다.

## 2. 관련연구

### 2.1 실내 자전거 운동기구 및 서비스

#### 2.1.1 즈위프트(Zwift)

즈위프트(Zwift)는 실내에서 가상으로 라이딩을 할 수 있는 게임이다. 실제 자전거에 자체적으로 판매하는 고정로라나 ANT+ 혹은 블루투스를 지원하는 속도계 센서를 이용하여 컴퓨터나 스마트폰 등 각종 기기와 연결해 사용한다. 유료 구독형으로 다양한 워크아웃을 제공하며 다른 플레이어들과 함께 즐길 수 있다는 특징이 있다.

즈위프트와 호환이 되는 실내 자전거나 액세서리를 사용한다면 보다 현실적인 라이딩을 가능하다. 스마트 로라는 게임 내에서의 경사도와 노면을 반영하여 페달링의 강도를 구현하고 킥커클라임과 킥커헤드윈드는 각각 게임내 경사와 같은 경사도를 구현하고 속도에 따른 바람을 구현한다. 또한, 스티어링 블록을 이용한다면 자전거의 핸들을 이용하여 게임 내에서 방향을 조종할 수 있다.



그림 1 즈위프트에서 판매하고 있는 스마트로라, 킥커클라임, 킥커헤드윈드

#### 2.1.2 얼티레이서

얼티레이서는 실내에서 실제 자전거를 안전하고 편리하게 탈 수 있게 해주는 자전거 운동기구다. 실제 자전거를 클램프를 이용해 얼티레이서에 장착하여 사용하며 사용자의 제어에 따른 실제 방향전환을 지원한다. 주행정보 통합 센서 시스템으로 자체개발한 게임을 통해 주행속도, 주행거리 등을 확인할 수 있다.

### 2.1.3 일반 실내 자전거

일반적인 실내 자전거는 주로 바퀴가 존재하지 않고 기구의 본체에 연결된 크랭크와 페달만 존재하는 모습을 보인다. 핸들은 고정되어 있고 핸들 사이에 있는 LCD 액정을 통해 속도, 운동시간, 거리, 칼로리 등을 확인할 수 있다. 레버를 돌려 강도조절이 가능하다.



그림 2 얼티레이서와 일반 실내 자전거

## 2.2 가상현실 및 진동 제작

시각적 피드백이 가능한 실내 자전거를 제작하기 위해 가상현실을 만들어야 한다. 게임 엔진은 게임 개발에 필요한 구성 요소들을 가지는 개발 소프트웨어이다. 그래픽 엔진, 물리 엔진, 오디오 엔진 등의 기능이 포함되며 그 기능을 사용하기 위한 툴이 포함된다. 게임엔진을 이용하여 그래픽을 제작해야하는데 이때 현실감 있는 구현을 위해 360도 카메라를 이용할 것이다. 또한, 촉각적 피드백인 진동을 구현하기 위해 실제 자전거를 타며 진동 데이터를 수집해야한다. 이를 위해 아두이노의 가속도 센서를 이용할 것이다.

### 2.2.1 Unity

Unity는 3D 및 2D 게임의 개발 환경을 제공하는 게임 엔진이다. 또한, 3D 애니메이션과 건축 시각화, 가상현실(VR) 등 인터랙티브 콘텐츠 제작을 위한 통합 제작 도구로 사용되기도 한다. 멀티플랫폼 빌드를 지원하고 비교적 쉬운 제작환경을 가졌으며 엔진 자체의 요구사항이 높지 않아 비교적 저사양 PC에서도 개발할 수 있다.

Unity는 객체지향적이며 데이터 주도적 설계를 추구한다. 즉, Unity 엔진은 모든 물체를 객체로 표현하며 객체에 포함되는 데이터에 집중하여 객체 간의 상호작용을 처리한다. 스크립트 언어는 C#과 자바스크립트가 사용되며 런타임에는 C++이 사용된다.

## 2.2.2 360도 카메라

360도 카메라는 일반적인 카메라와 달리 시야각이 전방위로 확장되어 상하좌우 모든 방향을 촬영할 수 있는 카메라를 뜻한다. 두 개 이상의 카메라를 사용하여 촬영한 뒤 사진을 스티칭하여 출력한다. 최근에는 카메라 한 개를 제자리에서 전방위를 촬영하여 합성하는 어플리케이션도 등장했다. 360도로 전방위를 볼 수 있다는 점에서 VR기기를 통해 사진이나 영상을 확인하는 경우가 많다.

## 2.2.3 아두이노 가속도 센서

아두이노는 마이크로컨트롤러와 그를 사용하기 위한 개발도구 및 환경을 뜻한다. 아두이노는 다양한 센서와 스위치로부터 데이터를 입력받고 LED나 모터와 같은 모듈들을 컨트롤하여 환경과 상호작용이 가능한 전자기기를 만드는데 사용된다. 아두이노 Uno, Nano, micro, Leonardo 등이 있다.

가속도 센서는 가속도를 측정하는 센서이다. 가속도 센서는 내부에 있는 압전소자가 힘을받아 방출하는 전류를 통해 가속도를 측정합니다. 센서를 통해 측정한 가속도를 이용하여 물체의 속도를 예측하고 변위를 예측함으로써 진동을 측정한다. 대표적인 가속도 센서로는 SW-420, MPU-6050, ADXL345등이 있다.



그림 3 아두이노 Uno(좌), 아두이노 Micro(중), MPU-6050(우)

## 2.3 피드백 구현

### 2.3.1 HMD

HMD는 Head Mounted Display로 머리에 착용하는 고글형 디스플레이 장치를 뜻한다. 3D 디스플레이 기술인 가상현실과 증강현실 구현을 위해 사용된다. 다른 어떤 디스플레이보다 수준 높은 입체감과 넓은 시야각으로 몰입감이 증대되며 머리의 움직임을 트래킹하여 시점을 조정하기 때문에 현장감이 증대된다. 대표적으로 Oculus사의 Rift, Go, Quest, HTC의 Vive가 있다.



그림 4 HTC사의 VIVE

### 2.3.2 아두이노 진동모터

진동을 생성할 때는 주로 DC모터나 스피커를 이용한다. 시중에 판매하는 제품으로 단일 모터나 스피커를 사용할 수 있고 또는 모듈화된 제품을 사용할 수 있다. 자전거의 진동의 경우 큰 출력이 필요로 할 수 있기 때문에 앰프를 사용하여 출력신호를 증폭해야 할 수 있다.

## 2.4 기존 연구의 문제점 및 해결방안

### 2.4.1 연구의 문제점

기존의 실내 자전거 운동기구는 주로 운동을 목적으로 개발되었다. 가상현실 속에서 다른 사람과 함께 자전거를 타는 경험을 할 수 있고 경사도에 따른 패달링 강도를 조절하는 제품도 존재한다. 하지만, 기존 자전거의 노면질감을 보다 현실적으로 구현한 제품은 부족한 것으로 판단된다. 현실감 있는 실내 라이딩을 위해 노면질감에 집중하여 이를 구현할 필요가 있다.

### 2.4.2 해결방안

실제 자전거에 아두이노와 가속도 센서를 이용하여 진동 주파수를 수집하고 이를 실내 자전거에서 구현하는 방법을 고안하였다. 속도에 따른 진동이 변화하기 때문에 이에 맞게 속력에 따라 진동을 구현할 계획이다. 또한, 360도 카메라를 사용하여 그에 맞는 시각적 피드백으로 현실성을 더 할 계획이다.

### 3. 프로젝트 내용

#### 3.1. 시나리오

##### 3.1.1. 촉각적 피드백

자전거는 롤러 위에 위치하여 사용자가 바퀴를 회전시켜도 실제로 이동하지 않는다. 바퀴에는 회전속도를 측정하는 센서가 부착되어 있어 프로그램으로 신호를 전달한다. 전달된 신호를 통해 사용자가 페달을 밟는 행위에 따른 촉각적 피드백이 제공된다. 안장과 핸들에 진동모터가 부착되어 있어 사용자에게 실제 지면을 주행하는 듯한 진동을 전달한다.

프로그램에는 주행 경로의 매 구간마다 실제 측정한 진동을 바탕으로 한 값이 설정되어 있다. 바퀴의 움직임에 따라 핸들과 안장의 진동모터가 진동하여 자전거로 실제 지면을 달리는 것과 유사한 감각을 사용자에게 제공한다. 이 진동은 실제 측정한 진동을 모방하며, 바퀴의 센서로부터 프로그램이 전달받는 신호에 따라 다른 강도의 진동이 발생한다. 사용자가 브레이크를 쥐면 바퀴가 서서히 정지한다. 프로그램은 신호를 전달받아 VR자전거의 속도를 줄이고, VR 자전거를 정지시킨다.

##### 3.1.2. 시각적 피드백

사용자는 HMD를 착용하고 맵 위에서 자전거를 탈 수 있다. 바퀴의 센서로부터 전달된 신호에 따라 시각적 피드백이 제공된다.

HMD가 제공하는 시야는 3D카메라로 촬영한 실제 명소의 풍경을 바탕으로 한다. 1인칭 시점이 제공되며, 사용자의 고개 움직임에 따라 시야가 변화한다. 사용자는 디스플레이를 통해 실제 명소에서 자전거를 타는 듯한 시야를 경험할 수 있다. HMD를 통해 사용자에게 제공되는 3D 영상의 재생 속도는 페달의 센서로부터 전달받은 자전거의 진행 속도에 맞게 조절된다. 이로써 사용자는 페달을 밟는 동작에 따른 적절한 속도감을 느낄 수 있다.

#### 3.2. 요구사항

##### 3.2.1. 진동에 대한 요구사항

- 실제 진동을 레코딩하여 모방한다.
- 주행 속도별로 진동을 측정한다. 실제 주행하는 자전거에서 느껴지는 진동을 속도에 따라 10km/h 단위로 레코딩한 후 분석한다.

- 보간법을 사용해 다른 이산값의 속도에 대한 진동을 구현한다.

### 3.2.2. Map에 대한 요구사항

- Map의 구현에는 Unity와 C#을 사용한다.
- 배경이 정지상태로 보이지 않도록 구현한다.
- 사용자가 그 공간에 있다고 느낄 수 있도록 최대한 사실적으로 구현한다.
- 시야를 360도로 제공한다.

### 3.2.3. 입력에 대한 요구사항

- 바퀴의 회전속도 센서에서 전달받은 신호와 알고리즘을 통해 속도를 계산한다. 속도가 빠를수록 디스플레이에서 제공되는 시야의 변화, 핸들과 안장의 진동 빈도가 증가하도록 한다. 반대로 속도가 느릴수록 시야가 천천히 변하고, 진동이 줄어들도록 한다.
- 주행 속도는 다음 신호를 전달받기 전까지 서서히 감소하도록 구현한다.
- 신호를 전달 받아 피드백을 제공하는 과정에서 생기는 딜레이를 최소로 한다.

## 4. 향후 일정 및 역할 분담

### 4.1 향후 일정

- 10월
  - 진동 데이터 수집
  - Unity VR 에셋 수집, 가상 공간 디자인
  - Background 360도 영상 수집
  - 요구사항 명세서 작성
  - 10/18 : 한국정보과학회 접수
  - 10/29 : 중간보고서 작성
- 11월
  - SW(HW 작동, VR, 통신 등) 개발 완료
  - HW(아두이노, 자전거, HMD) 결합
  - 테스트
- 12월
  - 디버깅
  - 발표 자료 및 대본 작성

- 시연 및 발표 리허설
- 시연 및 발표
- 12/19 : 최종보고서 작성

## 4.2 역할 분담

팀원	역할
김한엽	아두이노를 이용한 속도, 진동 센서 제작
나혜원	진동 분석 및 프로그램 구현
윤동주	아두이노를 이용한 진동 증폭 및 출력

## 5. 결론 및 기대효과

본 연구는 가상 자전거 체험을 위한 햅틱스 및 VR 콘텐츠 구현 방법을 제시하였다. 보다 실감나는 VR 체험을 어떻게 구현할 것인가에서 시작된 탐구 결과, 시각적 자극만을 강조한 기존의 VR 콘텐츠와는 달리 햅틱스를 통한 촉각적인 요소도 제공하여 더 현실적이고 감각적인 사용자 경험을 창출해 낼 수 있게 되었다. 또한 가상 공간 속에서 노면이 바뀔 때 나는 질감을 진동을 통해 느낄 수 있고, 사용자의 의지로 자전거를 가속하는 과정에서 변화하는 배경을 감상할 수 있으므로 시각·촉각적인 몰입도가 증가할 것이다. 그 결과 사용자는 실외에서 COVID-19 감염 위험을 감수하지 않아도 실내에서 햅틱스 장비와 HMD를 통해 언제든지 VR 라이딩을 떠날 수 있다. 이를 통해 실외 활동이 제한된 현대인들에게 내재되어 있던 야외 여가 활동에 대한 욕구를 충족시킬 수 있을 것이다.

기존의 자전거 체험 HW 및 SW와의 또다른 차별점은 일반 자전거에 센서와 진동자, 우퍼 등의 부품만 부착하면 실내에서 촉각적 자극을 받으며 실외 자전거 라이딩 체험이 가능하다는 것이다. 이를 통해 체험 비용 절감 및 자전거 기종에 구애받지 않는 범용성 확보 효과를 얻을 수 있다.

더 나은 사용자 경험 제공을 위해서는 제한된 가상 공간이 아닌 사용자가 원하는 어떠한 장소도 체험해볼 수 있도록 임의의 장소를 맵으로 구현하여 각각의 노면을 촉각화하는 기술에 대한 연구가 필요하다. 또한 이 연구로부터 발전된 방향으로 관련 연구에서 언급한 사이클링 트레이너 등이 접목된 시스템을 생각해볼 수 있다. 시각·촉각적 피드백 뿐만 아니라 경사도, 노면 질감 등에 따라 사용자가 페달을 밟는 세기에 변화를 주면 더욱 실감나는 VR 라이딩이 가능할 것이다.



결론적으로 본 시스템은 최근 감소한 야외 자전거 활동에 미래 유망 산업으로 주목받는 VR기술을 활용한 하나의 솔루션이 될 것으로 기대된다.

## 6. 참고문헌

- [1] Zwift, Indoor cycling: <https://www.zwift.com/>
- [2] Ultracer, Indoor cycling: [https://kor.realdesigntech.com/ultracer\\_2roller](https://kor.realdesigntech.com/ultracer_2roller)
- [3] Unity, video game engine: <https://unity.com/kr>
- [4] Arduino, open-source electronics platform: <https://www.arduino.cc/>
- [5] Rakhmatov, Ruslan. Virtual Reality Bicycle with Data-Driven Vibrotactile Responses from Road Surface Textures / RUSLAN RAKHMATOV 저, 2018.