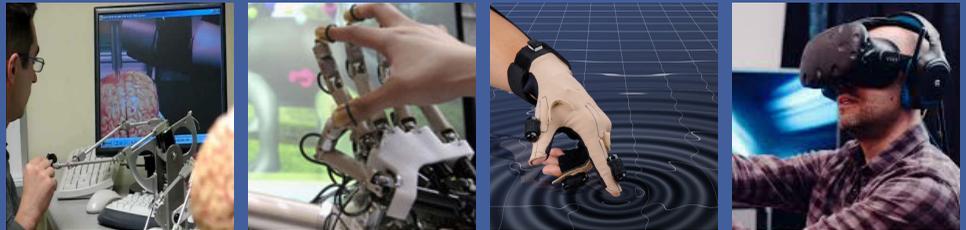


# 융합연구리뷰

## Convergence Research Review

2018 September | vol. 4 | no. 9

ISSN. 2465-8456



**Part. 1** 5G 이동통신 시대와 실감미디어

**Part. 2** 가상 햅틱 장치를 통한 몰입형 VR/AR 시스템 현황 및 발전 방향

## Contents

- 01 편집자 주
- 04 5G 이동통신 시대와 실감미디어
- 44 가상 햅틱 장치를 통한  
몰입형 VR/AR 시스템 현황 및 발전 방향



융합연구리뷰 | Convergence Research Review  
2018 September vol.4 no.9

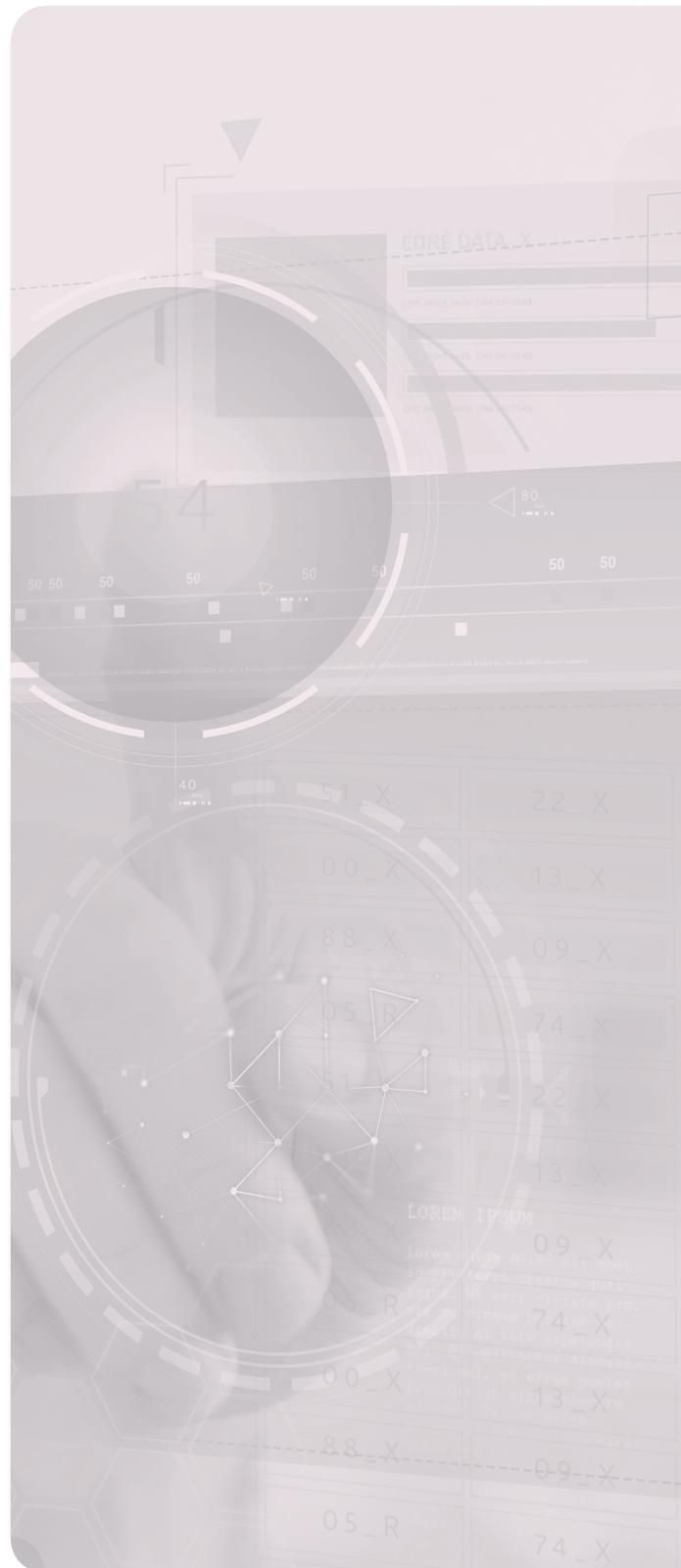
**발행일** 2018년 09월 04일

**발행인** 김주선

**편집인** 최수영 · 권민지

**발행처** 한국과학기술연구원 융합연구정책센터  
02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
Tel. 02-958-4984 | <http://crpc.kist.re.kr>

**펴낸곳** 승일미디어그룹 주식회사 Tel. 1800-3673



## | 5G 이동통신 시대와 실감미디어

최근 성장 저하를 겪고 있는 ICT 산업에서 실감미디어 산업은 새로운 돌파구로 신시장을 창출할 것으로 기대된다. 실감미디어 기술은 현실과 가상을 결합하는 방식에 따라 VR(Virtual Reality, 가상현실), AR(Augmented Reality, 증강현실), MR(Mixed Reality, 혼합현실) 등으로 나누어지며 현실과 같은 콘텐츠를 제공하는 실재감과 사용자와의 상호작용을 강화하는 방향으로 발전해오고 있다. 이에 실감미디어 시장 성장의 기반이 될 5G 네트워크 기술은 빠른 데이터 전송 속도, 빠른 데이터 응답 속도, 수많은 기기와 연결할 수 있는 초연결의 특징을 가진다.

본 호 1부에서는 ICT 산업의 중심이 될 실감미디어 기술과 5G 네트워크의 특성 및 유형을 소개하고자 한다. 또한 다양한 산업 영역에서의 실감미디어 시장 현황을 살펴보고 5G 네트워크 시대에서 실감미디어 기술의 전망 및 과제를 제시하고자 한다.

본 호로 실감미디어와 5G 네트워크 기술 동향을 이해하고 이를 기반으로 다양한 산업 간의 융합을 통한 기술 및 서비스 제공 가능성을 재고할 수 있기를 기대해 본다.

## | 가상 햅틱 장치를 통한 몰입형 VR/AR 시스템 현황 및 발전 방향

학계에서의 꾸준한 연구와 산업계에서의 다양한 기술 및 제품 개발로 가상현실(Virtual Reality, VR)과 증강현실(Augmented Reality, AR)에 대한 관심이 뜨겁다. 현재까지 가상현실과 증강현실은 시각과 청각에 대해 많은 발전을 이루어왔는데 사용자의 몰입감을 증대시키기 위해서는 촉각 연구인 햅틱스(Haptics) 기술에 대한 연구가 필요하다.

이에, 본 호 2부에서는 가상현실과 증강현실에 적용될 수 있는 햅틱 장치와 햅틱 장치를 사용하기 위해 필요한 소프트웨어 및 알고리즘에 대해 소개하고자 한다. 또한 다중 감각의 입력 또는 출력/피드백을 기반으로 하는 햅틱 기술이 적용된 다중 감각 입출력에 대해서 논의하고자 한다.

본 호를 통해 가상현실과 증강현실의 기반 기술인 햅틱스 기술 및 연구동향을 이해하고 기술의 미래 발전 가능성에 대해 살펴볼 수 있는 기회가 되기를 기대해 본다.

# 융합연구리뷰

Convergence Research Review 2018 September vol.4 no.9

---

<http://cipc.kist.re.kr>

# 01

## 5G 이동통신 시대와 실감미디어



KT 미래융합사업추진실 미래사업개발단  
고윤전 단장 (yoonjeon.koh@kt.com)

## 01' 서론

최근 ICT 분야는 글로벌 스마트폰 산업의 성장 저하와 하드웨어 산업의 성숙 등으로 시장 성장이 둔화되고 있다. 이에 따라 성장세 저하라는 ICT 산업의 위기를 극복하고 지속 성장을 위해 세계적으로 VR(Virtual Reality, 가상현실)·AR(Augmented Reality, 증강현실) 등의 실감미디어(Immersive Media) 산업에 주목하고 있는 상황이다.<sup>1)</sup> 실감미디어는 새로운 단말과 콘텐츠를 기반으로, 기존 미디어 시장과는 구분되는 새로운 시장을 창출할 것으로 전망된다. 이에 따라 시장 정체를 맞이한 통신과 미디어 시장의 성장 동력이 될 가능성이 크다. 특히 원활한 실감미디어 서비스를 위해 필요한 5세대(5G) 이동통신이 상용화되면, 시장의 성장 가능성은 더욱 커질 전망이다.

실감미디어 기술은 1950~60년대부터 연구가 시작되었으나, 실험형 디바이스 개발 수준에 머물렀으며, 본격적으로 시장의 관심을 받기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다. 2014년 페이스북이 VR 헤드셋 제조사인 오쿨러스를 2.5조 원에 인수하면서, 전 세계가 VR에 주목하기 시작했다. 2016년부터는 시장에 본격적으로 VR 헤드셋인 HMD(Head Mounted Display)가 출시되기 시작하며 시장이 성장하기 시작했다. 특히 게임 중심의 엔터테인먼트 사업을 중심으로 VR 시장이 성장하기 시작했다.

VR에 집중되어 있던 대중의 관심은, 2016년 AR 기술을 활용한 게임인 '포켓몬고(Pokemon Go)'가 선풍적인 인기를 끌며 AR로 이동하기 시작했다. AR은 현실 세계에 가상 사물이나 정보를 합성하여 우수한 정보 전달력을 제공하며, 다양한 산업 분야와 융합이 가능하다는 점에서 VR보다 더 큰 시장 성장이 가능할 것으로 많은 전문가들이 예측하고 있다. 또한 최근에는 VR의 몰입감과 AR의 정보 전달력이 결합된 MR(Mixed Reality, 혼합현실)에 대한 관심도 높아지고 있는 추세다.

1) 한국VRAR산업협회(2018), VR·AR산업 실태조사 보고서

VR·AR 등의 실감미디어는 대용량의 데이터 전송과 실시간 상호 교류가 필수적인 서비스로, 네트워크 환경이 특히 중요한 미디어 영역이다. 현재의 LTE 네트워크 환경 속에서는 실감미디어 본연의 특성을 살린 서비스 제공에 한계가 있어, 향후 상용화 예정인 5G 네트워크를 통해 실감미디어가 더 큰 성장을 할 것으로 보고 있다. 5G는 초고속, 초저지연, 초연결 특성을 통해, 원활한 실감미디어 서비스를 가능하게 해주어, 본격적인 시장 성장의 밑바탕이 될 것으로 전망된다.

또한 5G 네트워크는 ICT 영역을 넘어서 다양한 산업과 융합되어 산업 전반의 발전을 가능하게 해줄 것이며, 이 가운데 실감미디어는 핵심 역할을 담당할 것으로 기대된다. 이에 따라 ICT 시장 성장의 중심이 될 실감미디어와 5G 네트워크의 특성을 살펴보고, 실감미디어의 시장 현황과 5G 이후 성장할 미래 모습 그리고, 이를 위해 필요한 산업 활성화 방안 등을 살펴보고자 한다.

## 02' 실감미디어 특성 및 유형

### 2.1 실감미디어 정의

실감미디어(Immersive media)는 가상의 환경에서 공간과 시간의 제약을 극복하면서 현존감(Presence)과 몰입감(Immersion)을 제공할 수 있는 다양한 형태의 요소 미디어 정보들이 통합된 표현으로 정의할 수 있다.<sup>2)</sup> 실감미디어의 가장 큰 특징은 '현존감'으로, 이는 특정 매개체를 통해 제시되는 환경 속에서, 그 매개체의 존재에 대한 인식을 하지 못한 채로, 해당 환경 속 사물 자체에 대해 개인이 주관적으로 느끼는 인지적 감각이다.<sup>3)</sup>

2) 경태원(2013), 실감미디어 산업의 동향 및 발전방향, 『한국콘텐츠학회지』, 11(2), 14-17P

3) 한국기업교육학회(2010), HRD 용어 사전

즉, 미디어에 의해 만들어진 가상 환경임에도 불구하고, 자신이 실제로 그 곳에 있다고 느끼는 심리적 감정이다. 실감미디어 서비스는 이러한 현존감을 제공하기 위해, 시각, 청각, 촉감 등 인간의 다양한 감각을 활용한 실감 콘텐츠를 제작하고, 실시간 상호작용을 통해 콘텐츠를 사용자 현재 상황에 최적화시켜, 사용자 눈앞에 재현하는 일련의 과정을 통해 이뤄진다. 이러한 실감미디어에는 VR, AR, MR 등이 있다.

그림 1

영화 속 실감미디어

영화 '레디플레이어원'의 가상세계



영화 '발레리안:천개행성의 도시'의 가상장터



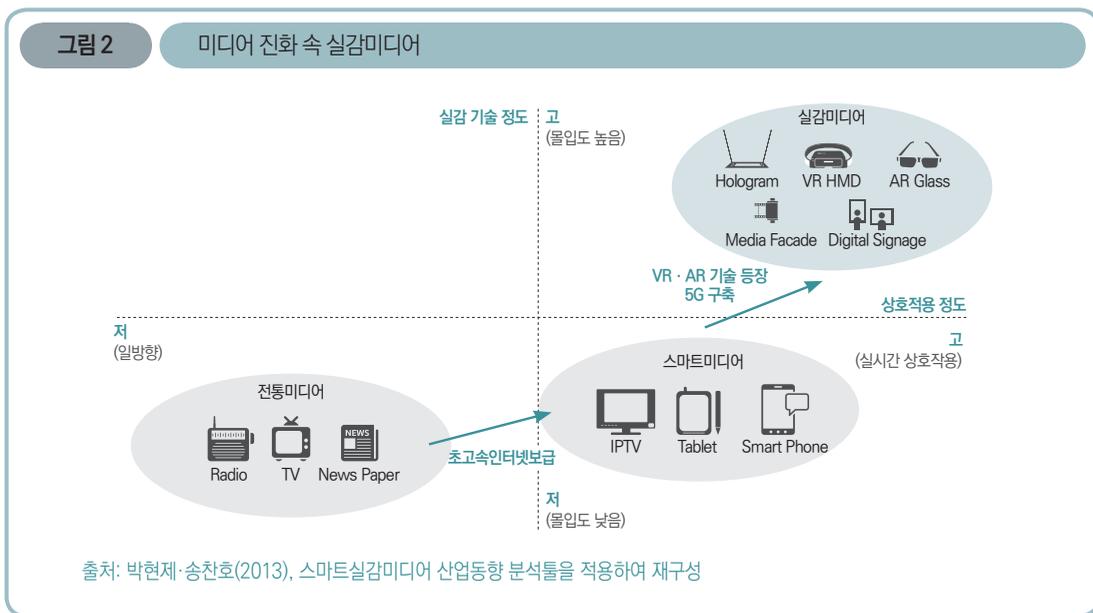
출처: 네이버 영화

## 2.2 실감미디어 특성

실감미디어는 미디어의 발전 속에서 등장한, 현재로서는 가장 진화된 형태의 차세대 미디어라 볼 수 있다. 미디어는 크게 실재감과 상호작용이라는 두 개의 축으로 발전해왔으며, 실감미디어는 이 두 개의 속성이 모두 가장 발전된 미디어이다. 실감미디어는 이 두 개의 속성을 기반으로 하여, '현존감'을 확보할 수 있다.

### 2.2.1. 실감미디어의 실재감

미디어는 콘텐츠 제작 기술을 중심으로 현실을 보다 사실감 있게 표현할 수 있는 형태로 발전해 왔다. 이를 위해 영상 디스플레이는 해상도를 높이며, 실제의 색상과 느낌을 있는 그대로 표현할 수 있는 초고선명·초고화질로 발전했다. 현재 많은 방송사들이 4K UHD를 지원하기 시작했고, 올 하반기에 많은 TV 제조사들이 기존 Full HD보다 해상도가 8배 높은 8K TV를 출시할 계획이다.



또한 3차원 입체영상은 양안 시차를 이용하여, 사람의 눈을 통해 바라보는 세상과 동일하게 표현하려는 방법이다. 사람들은 두 눈의 간격으로 발생하는 양안 시차로 3D 입체감을 느끼는데, 이 논리를 영상 투사 방식에 적용하여 미디어를 통해서도 3D 입체 영상을 볼 수 있게끔 만들었다. 이 과정에서 속에서 등장한 것이 3D TV, 홀로그램 등의 미디어이다.

VR, AR 및 MR 등의 실감미디어는 보다 더 고도화된 실감미디어 기술을 통해 더욱 현실 같은 콘텐츠를 제공한다. VR은 사용자 주변을 360°로 둘러싼 3D의 초고화질 화면을 통해 완벽한 또 다른 세상을 제공하며, AR과 MR은 실제 현실 위에 융합된 3D의 가상 콘텐츠를 통해 현실 속에 자연스럽게 녹아든 가상 세계를 제공한다. 이에 따라 사람들은 실감미디어를 통해 기존의 미디어를 통해 접하기 어려웠던 실재감과 현실감이 가득한 콘텐츠를 경험할 수 있다.

### 2.2.2. 실감미디어의 상호작용성

미디어 진화의 또 다른 축은 상호작용성이다. 미디어는 통신 인프라의 발전과 함께 사용자와의 상호작용이 강화되는 방향으로 발전했다. 이를 풀어 다시 표현하면, 미디어와 사용자 간 상호작용성이 늘어남에 따라 대중 대상의 매스 미디어에서 특정 사용자를 위한 개인형 미디어로 발전해 왔다.

전파와 종이를 매개로 하던 TV, 라디오, 신문 등의 전통 미디어는 단지 완성된 콘텐츠를 소비자들에게 일방적으로 전달하는 역할에 머물렀다. 콘텐츠에 대한 소비자의 의견과 반응은 간혹 엽서 혹은 전화로 전달되었으나, 이 내용이 콘텐츠에 반영되기는 어려웠다. 그렇기 때문에 전통 미디어의 타겟은 대중이었다.

미디어의 개인화는 초고속 인터넷과 3G 및 LTE 등 통신 네트워크의 등장 이후 본격적으로 시작되었다. 통신 네트워크의 발전과 함께 소비자들은 시간 제약 없이 자신이 원하는 콘텐츠를 골라 볼 수 있게 되었으며, 콘텐츠에 대한 자신의 의견을 실시간으로 전달할 수 있게 되었다. 이에 따라 사용자의 취향에 맞는 콘텐츠를 추천해주는 기능이 특히 중요해졌다. 점차 미디어의 타겟이 소규모화되기 시작한 것이다.

실감미디어는 더 나아가 특정 개인을 위한 콘텐츠를 제공한다. 실감미디어는 사용자를 둘러싼 환경과 사용자의 행위 정보를 실시간으로 전달받아, 그 상황에 가장 잘 맞는 콘텐츠를 제공해 주기 때문이다. VR 서비스는 사용자 시선의 흐름에 따라 달라지는 스토리의 콘텐츠를 제공하며, AR 및 MR 서비스는 사용자가 처한 현 상황에 가장 잘 적합한 정보형 콘텐츠를 실시간으로 제공해 준다. 즉, 실감미디어는 매스미디어 영역을 벗어난 보다 진화된 형태의 개인형 미디어라 할 수 있다.

## 2.3 실감미디어 유형

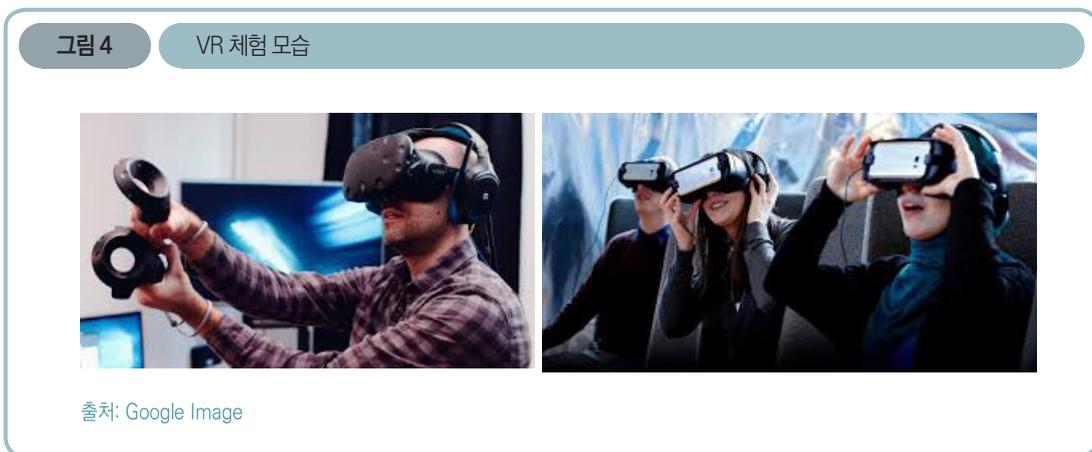
실감미디어 기술은 실제로 존재하지 않는 가상의 현실을 구현해 사람들이 이를 마치 실제 현실처럼 인지하게끔 만들어준다. 그리고 현실과 가상을 결합시키는 기술 방식에 따라 다양한 유형으로 나누어진다. 대표적인 실감미디어로, HMD 출시로 가장 먼저 시장의 이목을 집중시켰던 VR과 ‘포켓몬고’의 인기로 주목받기 시작한 AR, 그리고 VR과 AR의 장점을 결합한 MR 등이 있다.

### 2.3.1 VR(가상현실, Virtual Reality)

VR은 컴퓨터로 만들어 놓은 가상의 세계 속에서 사람들이 실제와 같은 경험을 할 수 있도록 해주는 실감미디어 유형이다. 이를 위해 VR은 가상의 현실을 구성할 때, 객체와 배경, 환경 등 모든 것을 실재감이 부여된 가상의 것으로 만든다. 따라서 사용자가 바라보는 모든 이미지와 영상, 음향은 모두 디지털로 제작된 가상의 것이다.



VR은 머리에 착용하는 디스플레이 디바이스인 HMD를 통해서 체험할 수 있다. HMD는 완벽하게 외부 환경을 차단하여 사용자의 시각 속에 가상의 세계만을 보여주도록 설계되어 있어, 사용자들로 하여금 가상 현실에 더욱 몰입할 수 있게 만든다. 특히 양안 시차를 적용한 HMD 렌즈를 통해 생생한 3D 입체 영상을 시청할 수 있으며, 360°로 제작된 콘텐츠를 통해 자신의 주변을 둘러싼 완벽한 가상 세계를 경험할 수 있다. 이러한 방식으로 사람들은 VR을 통해 현실을 잊고 새로운 가상 세계 속에 몰입하게 된다.



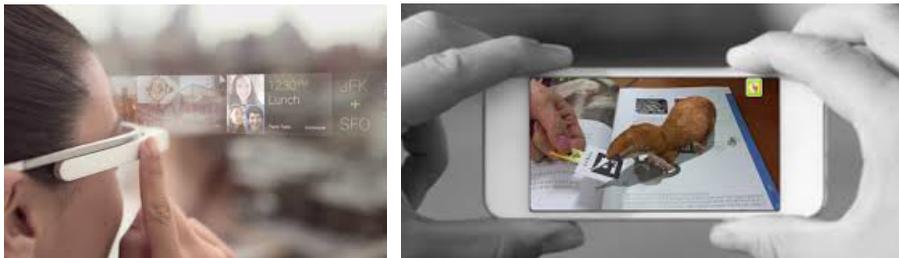
### 2.3.2 AR(증강현실, Augmented Reality)

AR은 현실의 이미지나 배경에 3차원의 가상 이미지를 겹쳐서 하나의 영상으로 보여주는 기술이다. 즉 현실세계와 가상환경을 융합한 복합형 가상현실을 보여주는 실감미디어로, 이 점에서 가상으로만 100% 구성된 VR과 구분된다. AR은 컴퓨터 그래픽을 통해 만들어진 가상 콘텐츠를 사용하지만, 현실 세계를 가상 세계로 보완해주는 개념이 강해 그 중심은 현실세계이다. 사용자가 바라보는 실사 영상에 3차원의 가상 영상을 겹침(overlay)으로써 사용자에게 필요한 정보를 추가로 제공함과 동시에 가상과 현실의 경계를 모호하게 한다. 이를 통해 정보형 콘텐츠 제공이 용이하며, VR보다 더 뛰어난 현재감을 제공할 수 있다.

AR 서비스는 현실과 가상의 융합을 위해, 시스루(See-Through) 형태로 제작된 AR 글래스를 통해 이용 가능하다. 하지만 AR 글래스는 비싼 가격과 배터리 용량 및 무게 등의 기술적 한계로 B2B 시장에서 주로 활용 중이며, 일반 소비자를 대상으로 한 대부분의 서비스들은 스마트폰 등 모바일 기기의 디스플레이를 통해서 구현되고 있다.

그림 5

AR글래스와 모바일AR



출처: Google Image

### 2.3.3 MR(혼합현실, Mixed Reality)

MR은 가상의 끝에 있는 VR과 현실을 중심으로 하는 AR의 장점을 모두 포괄하는 개념의 실감미디어로, 현실 세계와 가상 현실이 혼합되어 현실의 물리적 객체와 가상의 객체가 서로 상호작용 할 수 있는 환경을 제공하는 기술이다. 현실 위에 가상의 정보를 겹쳐서 제공한다는 점에서 AR의 특징을 가지며, 동시에 사실감이 극대화된 3D 입체 영상이 현실과 자연스럽게 혼합되어, 현실과 가상의 경계가 무너지는 몰입감을 제공한다는 점에서 VR의 특징도 동시에 가진다.

현재 개발 중인 MR 기술은 AR의 기본 기술 위에, 현실 공간과 사물을 입체적으로 인식하여 자연스럽게 3D 이미지를 매칭하는 기술과 사용자와 현실의 객체가 가상 현실 속 객체와 실시간으로 상호작용하는 기술을 엮히는 방향으로 진행 중이다. MR의 대표적인 사례로 손꼽히는 것이 매직리프의 혼합현실로, 그래핀을 소재로 한 '포토닉스 칩'을 통해 웨어러블 기기 없이도 현실 공간에 가상 콘텐츠를 보이게 만드는 기술 데모 영상을 선보인바 있으며, 최근 MR 디바이스인 매직리프원을 출시했다. 또한 마이크로소프트는 홀로렌즈2를 통해 혼합현실 서비스 제공을 준비 중이다.

그림 6

MR 서비스(매직리프 데모영상, MS 홀로렌즈)



출처: Google Image

## 03 | 5G 이동통신과 실감미디어

### 3.1 5G 네트워크 정의

5G는 현재 서비스 중인 4세대 이동통신 LTE보다 약 20배 이상 빠른 5세대 이동통신 서비스(5th generation mobile communications)<sup>4)</sup>를 의미하며, 앞으로 다가올 4차 산업혁명과 다양한 미래형 ICT 서비스의 핵심 동력이 될 것으로 평가 받고 있다. 국제전기통신연합(ITU)은 5G의 공식 기술 명칭을 ‘IMT(International Mobile Telecommunications)-2020’으로 정하며, 2020년 상용화를 목표로 삼는 모바일 국제 표준으로 정했다. 그리고 최근 국내 이동통신사들은 5G 주파수 경매를 마치고, 2019년 3월에 세계 최초로 5G를 상용화하겠다고 합의했다. 이에 따라 곧 현실로 다가올 5G와 함께 다양한 종류의 ICT 서비스들이 눈 앞에 펼쳐질 예정이며, ‘실감미디어’는 그 중 대표적인 서비스가 될 것으로 전망된다.

### 3.2 5G 네트워크 특징

5G 네트워크는 2GHz 이하의 주파수를 사용하는 4G와 달리, 초고역대 주파수를 사용하며, 초고속(eMBB<sup>5)</sup>·초저지연(URLLC<sup>6)</sup>·초연결(mMTC<sup>7)</sup>)을 그 특징으로 한다.

4) 국제전기통신연합(2018) 정의 기준

5) 초광대역 이동통신(enhanced Mobile BroadBand)

6) 초고신뢰 저지연 통신(Ultra-Reliable and Low Latency Communications)

7) 대량연결 통신(massive Machine-Type Communications)



5G는 기존 LTE 대비 데이터 응답 속도가 약 10배 이상 빠르다. LTE의 데이터 응답 시간이 0.01초(10ms) 수준이었다면, 5G는 0.001초(1ms) 이하로 그 시간이 대폭 단축되는데, 이는 사람이 데이터 지연을 거의 느낄 수 없을 정도로 그 응답 속도가 빨라진 것이다. 이러한 초저지연 특성은 사물인터넷(IoT), 자율주행차 등 많은 양의 데이터를 중앙 서버와 끊임 없이 주고 받아야 하는 서비스에 큰 도움이 된다. 실감미디어 영역에서는 사용자와 데이터를 끊임 없이 주고 받아야 하는 AR·MR 서비스 구현 시 특히 필요하다.

5G의 초저지연 특성을 구현하기 위해 통신 서비스를 이용하려는 사용자와 가까운 곳에 서버를 위치시켜 데이터를 처리하는 모바일 엣지 컴퓨팅(MEC, Mobile Edge Computing) 기술을 활용한다. 기존에는 데이터를 중앙 서버까지 전송한 후 처리하여 다시 돌아오는 방식을 사용하여, 데이터 응답 속도를 줄이는데 물리적 한계가 있었다. 하지만 MEC 방식은 사용자 근처로 서버를 위치시켜 근접한 지역에서 데이터를 주고 받으며 작업을 수행 가능하게 함으로써 응답 속도를 줄이고 초저지연 통신을 구현한다.

### 3.2.3. 5G 네트워크의 초연결

‘초연결’은 얼마나 많은 기기와 연결되어 서비스를 제공할 수 있는가의 문제로, 5G 네트워크는 1km<sup>2</sup> 반경 안의 약 100만 개의 기기와 연결되어 사물인터넷(IoT) 서비스를 제공할 수 있다. 이는 기존 4G 대비 약 10배 많아진 수치로, 이를 통해 시공간 한계를 뛰어넘어 다양한 사물과 플레이어가 실시간으로 연결되어 상호 작용하는 것이 가능해질 것으로 전망된다. 이는 특히 여러 개의 사물과 연결이 필요한 사물 인터넷 서비스에 필요하다. 실감미디어 영역에서는 다양한 플레이어들이 참여하는 가상 게임, 가상 토론, 가상 SNS 서비스 등 구현 시 필요할 것으로 예상된다.

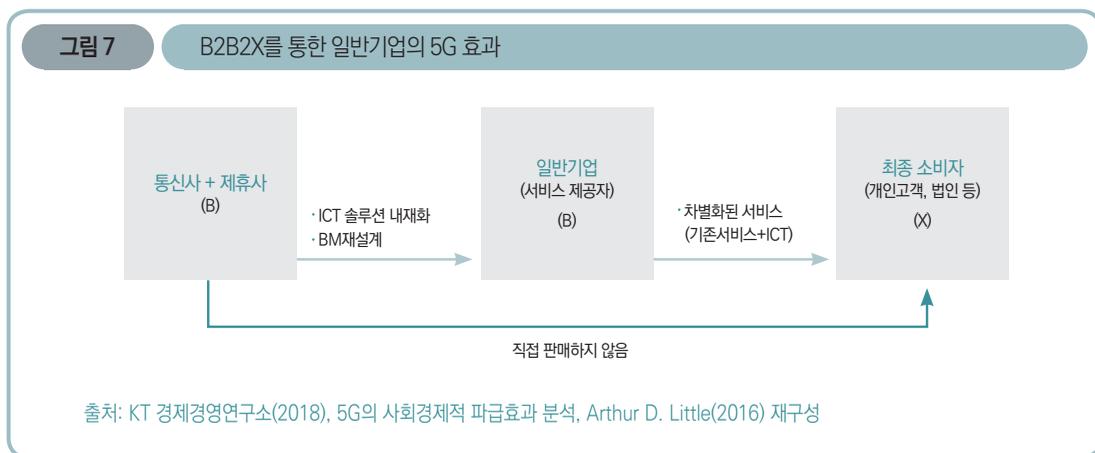
이는 5G 핵심 기술 중 하나인, 한 개의 물리적 코어 네트워크를 독립된 다수 가상 네트워크로 분리하여 서비스별 맞춤형 서비스를 제공하는 5G 네트워크 슬라이싱(5G Network Slicing) 기술과 연결된다. 5G의 상용화와 함께 성격이 다른 다양한 서비스가 본격화되면, 한 개의 망만으로 다양한 기능을 수행하기에는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 5G 네트워크를 여러 슬라이스로 분리하여 서비스별 특화된 전용 네트워크를 구축, 서비스간 영향 없이 독립적이고 안정적인 데이터 전송 및 서비스가 가능하게 한 것이다.

### 3.3 4차 산업혁명 속 5G

초고속·초저지연·초연결 특성을 지닌 5G는 단순히 차세대 이동통신의 역할에 머물지 않을 것으로 보인다. 5G의 특징들이 4차 산업혁명의 핵심이라 할 수 있는 사물인터넷(IoT), 빅데이터, 인공지능(AI) 등의 정보 통신 기술 발전을 가능하게 해줄 것이기 때문이다. 5G는 이를 통해 4차 산업혁명의 'Key Enabler'로서, 또한 사회적 변혁을 이끌어갈 기반기술인 'GPT(General Purpose Technology)'로서의 역할을 수행할 것으로 예상된다.<sup>8)</sup>

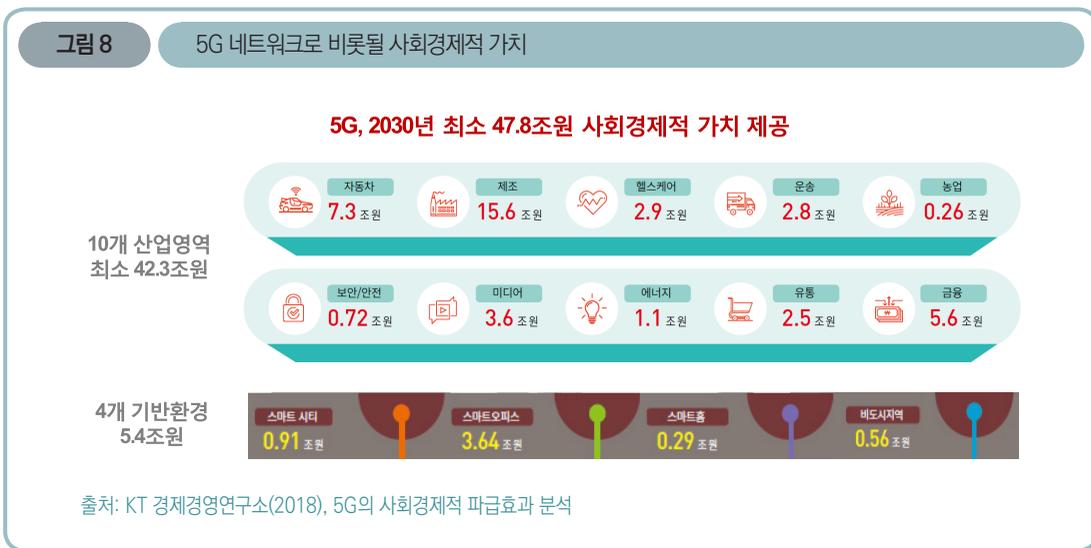
#### 3.3.1. 5G의 사회경제적 가치

5G는 4차 산업혁명의 인프라 역할을 담당하며, 기존 네트워크 사업의 영역을 넘어 산업 전반에 걸쳐 보다 큰 사회 경제적 가치를 제공할 것으로 보인다. 이는 5G 네트워크가 B2B2X 서비스 모델을 기반으로, ICT 업계를 넘어서 타 산업의 기업과 소비자에게까지 새로운 가치를 제공해 줄 수 있기 때문이다. 통신사는 5G를 통해 ICT 솔루션을 기업에게 제공하면, 기업은 기존 자사의 서비스와 ICT를 결합하여 최종 소비자에게 보다 차별화된 서비스를 제공하게 되는 것이다.



8) KT 경제경영연구소(2018), 5G의 사회경제적 파급효과 분석

KT 경제경영연구소(2018)는 5G 네트워크가 결합되어, 개별 산업의 방식이 단순 제품 생산에서 제품과 서비스가 결합된 차별화된 생산으로 전환되는 ‘디지털 트랜스포메이션(Digital Transformation)’<sup>9)</sup>이 나타날 10개의 산업군과 4개의 기반 환경을 선정하여, 이로 인해 발생될 사회 경제적 가치를 환산하였다. 10개의 산업군은 자동차, 제조, 헬스케어, 운송, 농업, 보안·안전, 미디어, 에너지, 유통, 금융으로, 이들 산업군은 5G와의 결합을 통해 2030년 42.3조 원의 사회경제적 편익을 제공할 것으로 예측되었다. 또한 스마트시티, 스마트오피스, 스마트홈, 비도시 지역 등 4개의 기반환경을 통해서는 5.4조 원의 편익이 창출될 것으로 보인다. 결과적으로 5G로 인해 발생할 국내의 사회경제적 가치는 2030년 47.8조 원 규모로, GDP 대비 약 2.1% 수준이 될 것으로 보인다.

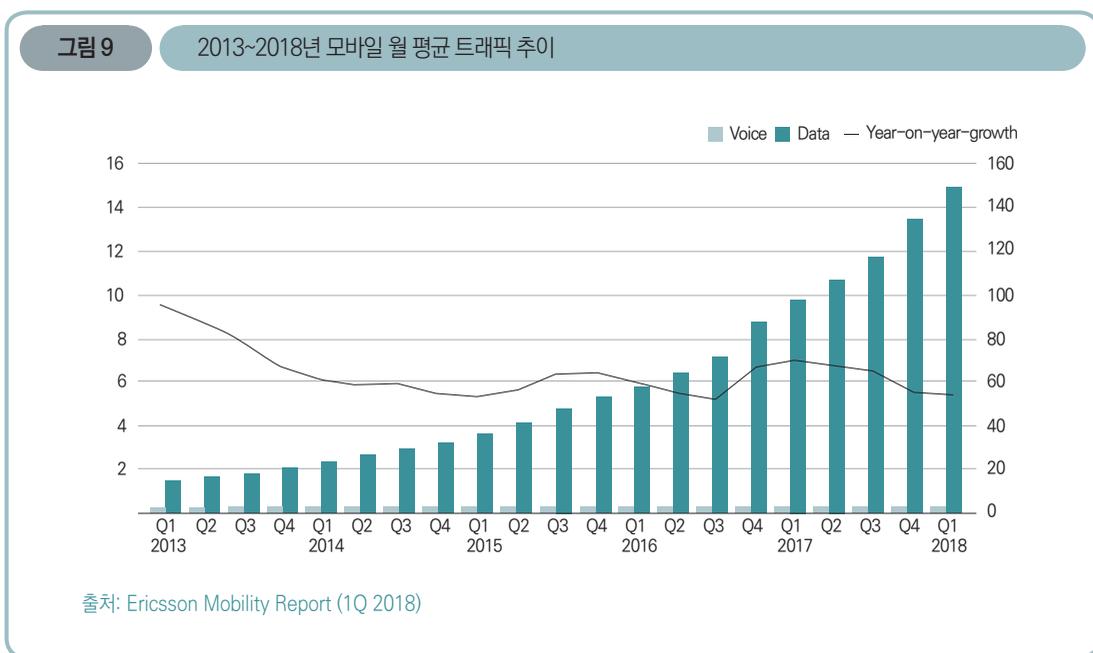


### 3.3.2. 5G와 미디어산업

미디어 산업은 이동통신의 발전에 따라 큰 변화를 겪어온 산업 중 하나이다. LTE 등장 이후, 사람들의 영상 소비 패턴이 크게 변화했기 때문이다. 기존에는 주로 TV와 PC를 통해서 영상 소비가 이뤄졌다면, 이제는 많은 사람들이 스마트폰을 통해 영상을 소비한다. 사람들은 3G 대비 데이터 전송 속도가 빨라진 LTE 망을 통해 스트리밍으로 영상을 시청하기 시작했고, 이에 따라 짧은 분량의 스낵형 영상의 소비가 빠르게 증가했다.

9) Ericsson(2017), The 5G Business Potential

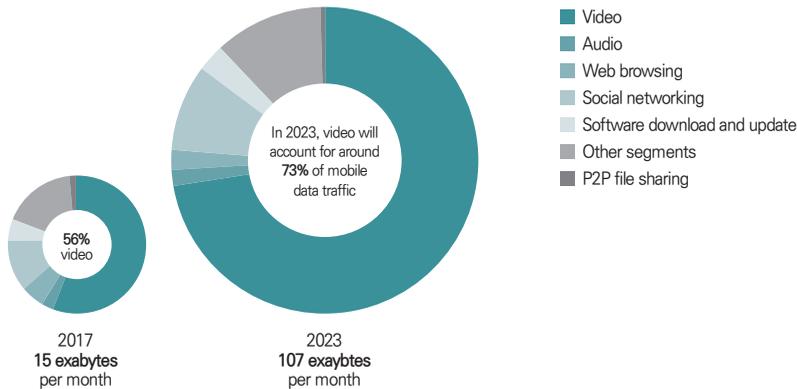
에릭슨(Ericsson, 2018)은 최근 보고서에서 모바일 데이터 사용량이 2013년 월 1.5 EB 수준에서 2018년 월 15 EB 수준으로 폭발적으로 증가했으며, 데이터 이용량의 절반 이상(약 56%)이 동영상 시청에서 비롯되었다고 밝혔다. 이동통신 네트워크를 기반으로 한 미디어 산업이 그만큼 큰 폭으로 성장한 것이다. 해당 보고서는 또한 2023년에는 월 데이터 이용량이 107 EB로 현재보다 약 7배가량 더 많아질 것이며, 그 중 동영상이 차지하는 비중이 73%로 더 커질 것으로 전망했다. 5G와 함께 미디어 산업이 더 큰 성장을 할 것으로 예측되는 부분이다.



이렇듯 5G로 인해 미디어 산업은 큰 폭으로 성장할 것으로 예상된다. KT 경제경영연구소(2018)에 따르면, 5G로 인해 발생할 국내 미디어 산업의 사회·경제적 가치는 2025년 약 2.5조 원, 2030년 약 3.6조 원이 될 전망이다. 그리고 이 전망치의 대부분은 '실감미디어'라는 새로운 미디어 시장에서 창출될 것으로 예상된다. LTE가 무선 통신망을 통해 동영상 시청을 가능하게 해주었다면, 5G는 시청자와 실시간 상호작용을 기반으로 대용량의 콘텐츠 전송이 필요한 VR, AR 등의 실감미디어를 무선으로 즐길 수 있게끔 해준다. 그리고 이를 통해 모바일 실감미디어 시장이라는 새로운 시장을 개척하여, 새로운 사회·경제적 편익을 창출할 것으로 기대된다.

그림 10

모바일 월 평균 트래픽, 어플리케이션 카테고리별 비중(2017년 vs. 2023년)



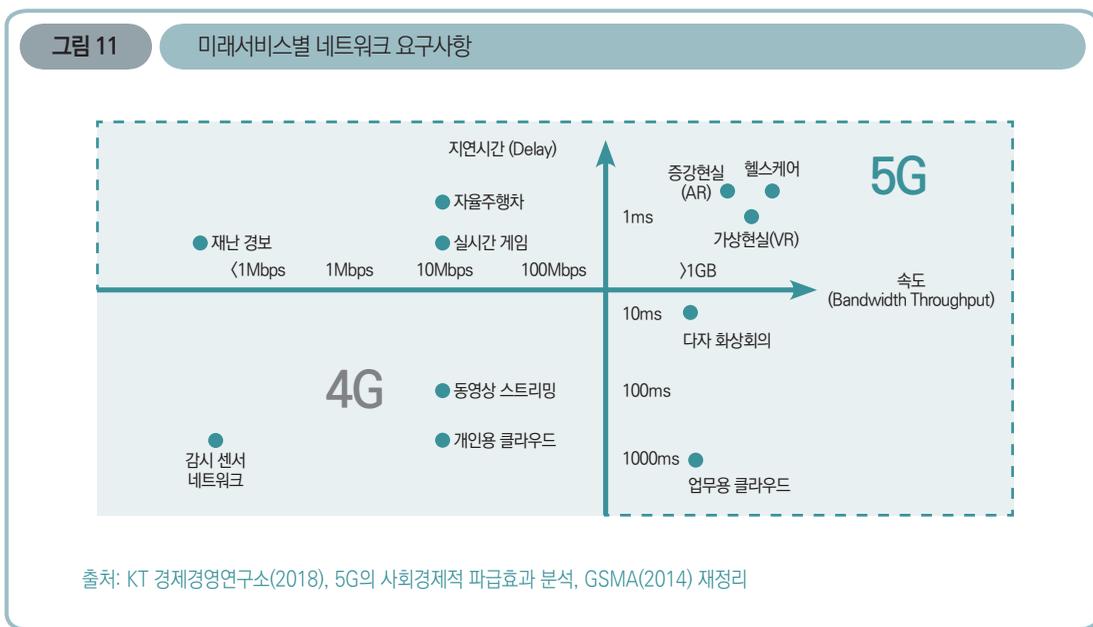
출처: Ericsson Mobility Report (1Q 2018)

### 3.3.3. 5G와 실감미디어

앞서 논의한 바와 같이, 5G로 창출된 미디어 산업의 사회·경제적 가치의 대부분은 실감미디어를 통해 비롯될 것으로 예상된다. 실감미디어는 현실감과 몰입감이 극대화되고, 소비자와의 상호작용이 보다 강화된다는 점에서 가장 진화된 형태의 미디어로 평가된다. 그렇기 때문에 5G 상용화 이전인 현 시점에도 VR, AR 등의 실감미디어 시장은 성장 중에 있다. 하지만 현재의 무선 네트워크 환경 속에서는 제대로 된 서비스 제공이 어렵다는 점에서 5G의 상용화 이후에 본격적인 성장이 기대되는 영역이기도 하다. 특히 5G의 특징이 실감미디어 서비스에 필요한 네트워크 속성과 서로 잘 부합된다는 점에서 그 성장 가능성은 더욱 크다고 할 수 있다.

시장조사기관인 스트라베이스(Strabase)에 따르면 VR은 정지화면을 기준으로 가로 약 3만 개, 세로 약 2만 4천 개로 구성된 총 7억2천만 개의 픽셀 정보를 필요로 한다. 여기에 좌우의 회전까지 고려하면 약 25억 개의 엄청난 픽셀 정보를 감당해야 한다. 또한 초당 60개에서 120개까지의 프레임을 처리해야 모션블러(Motion Blur) 현상을 막을 수 있다. 일반적으로 VR 영상은 기존 UHD급 영상 대비 약 4배 많은 데이터 용량을 소비하며, 적어도 800 Mbps 이상의 데이터 전송 속도가 필요하다. 현재 LTE 속도가 300 Mbps 인 점을 고려할 때, 원활한 서비스 제공을 위해서는 현재보다 70배 이상 빠른 20Gbps 수준의 5G 네트워크가 필요한 셈이다.

또한 AR과 MR 등과 같이 사용자와의 실시간 상호작용이 필요한 실감미디어의 경우에는, 네트워크의 응답 속도가 특히 중요하다. AR, MR 서비스를 구현하기 위해서는 사용자를 둘러싼 주변 정보와 사용자의 몸짓, 눈짓 등의 행동 반응 등의 데이터가 서버로 전송되고, 서버에서 해당 정보에 적합한 정보형 데이터와 콘텐츠를 선택하여, 사용자에게 다시 전송하는 일련의 과정이 실시간으로 끊임없이 진행되어야 하기 때문이다. 사용자의 움직임과 AR 화면의 변화 사이에 지연이 발생하면 방향 감각이 상실되어 어지럼증이 발생, 사용자의 체감 품질이 감소하게 된다. 인체는 머리의 움직임이 발생할 때 반대 방향으로 안구 운동을 일으켜, 움직이는 중에도 물체의 상이 망막에 안정적으로 머물게끔 하는 진정안반사(VOR, Vestibulo-ocular Reflex)를 하는데, 이를 위해 약 7ms가 소요된다. AR 화면 역시 사용자의 방향 감각 상실을 위해서는 이와 유사한 시간 이내에 장면 변화가 이뤄져야 한다. 그렇기 때문에 1ms의 응답 속도 제공이 가능한 초저지연의 5G 네트워크가 필요한 것이다.



## 04 | 실감미디어 시장 현황

### 4.1 VR·AR 시장 규모

실감미디어 산업은 5G 상용화와 함께 4차 산업혁명의 주요 분야로 성장할 것으로 평가 받고 있다. 특히 새로운 유형의 차세대 미디어라는 점에서 새로운 시장을 창출하며, 빠른 성장을 할 것으로 전망된다. 현재는 VR, AR 기술이 적용된 상용 서비스들이 이제 막 등장한 초기 시장이나, 향후 기술·단말·콘텐츠 측면에서의 추가 발전과 5G 등의 네트워크 기술 향상을 통해 주요 미디어 산업군으로의 성장이 예상된다. 이에 따라 많은 글로벌 시장 조사업체에서도 실감미디어 시장이 빠르게 확대될 것으로 전망하고 있다.

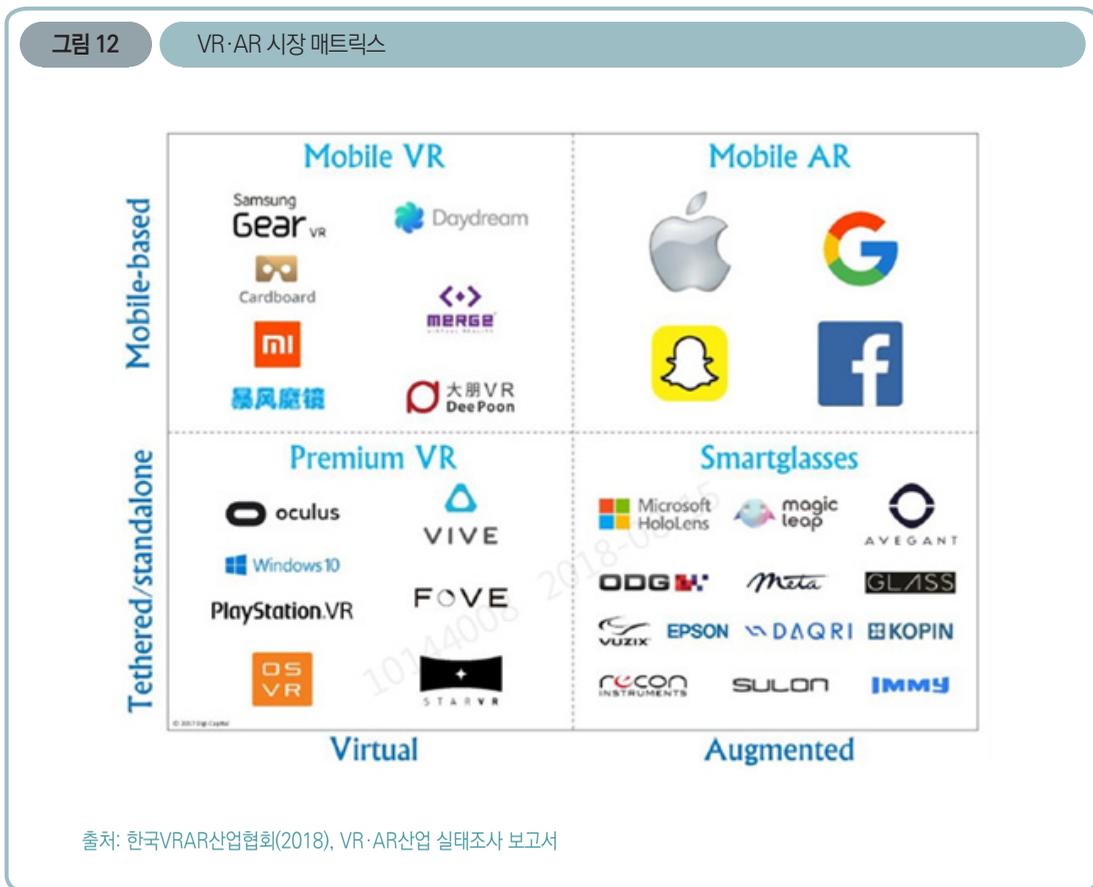
글로벌 시장 조사업체들에 따르면, 2016년 VR·AR 시장 규모는 약 30억~60억 달러로 추정되며, 2020년에는 그 규모가 약 300억~1,400억 달러로 큰 폭으로 성장할 것으로 예측된다.

표 2 글로벌 VR·AR 산업 규모

조사업체	2016년	2020년(E)
MrketsandMrkets (VR/AR)	6,180,000,000 달러	53,520,000,000 달러
Digi-Capital (VR/AR)	4,500,000,000 달러	50,180,200,000 달러
IDC (VR/AR)	6,100,000,000 달러	144,300,000,000 달러
TrandFroce (VR/AR)	6,700,000,000 달러	70,000,000,000 달러
Goldman (VR/AR)	2,200,000,000 달러	28,000,000,000 달러
Statista (VR/AR)	6,100,000,000 달러	143,300,000,000 달러
Super Data (VR)	3,016,000,000 달러	44,196,600,000 달러

출처: 한국VRAR산업협회(2018), VR·AR산업 실태조사 보고서

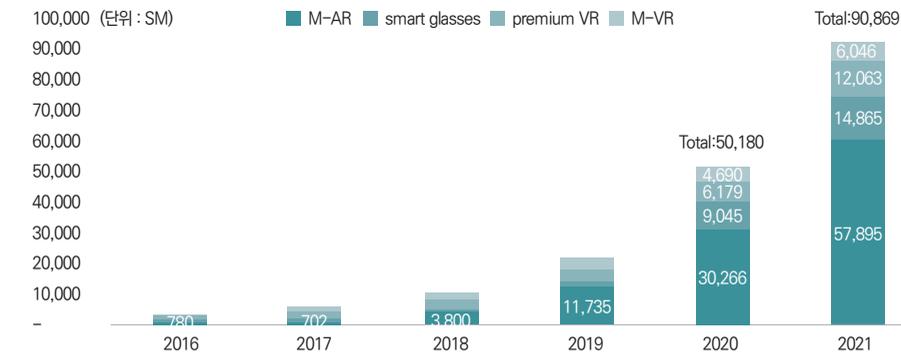
글로벌 시장 조사 업체인 디지캐피털(Digi-Capital, 2017)은 실감미디어 영역을 모바일VR, 모바일AR, 프리미엄VR, 스마트글래스 등 4개로 구분하여 시장을 전망을 하였다. 모바일VR은 스마트폰 등의 모바일 기기와 호환이 가능한 HMD 착용을 통해 가상현실을 접하는 것으로, 대표적인 단말로 삼성 기어VR, 구글 데이드림뷰 등이 있다. 모바일AR은 스마트폰 혹은 태블릿 등을 통해 증강현실을 구현하는 것으로 애플의 AR Kit와 구글의 AR Core가 대표적인 모바일 AR엔진이다. 프리미엄VR은 PC 혹은 콘솔과 연결된 고성능의 HMD를 통해 가상현실을 제공하는 것으로 HTC 바이브, 오쿨러스 리프트, 소니 플레이스테이션VR 등의 단말이 있으며, 최근에는 유선 연결 없이 사용 가능한 일체형의 고성능 HMD가 출시되고 있다. 스마트글래스는 글래스 형태의 웨어러블 기기를 통해 증강현실을 구현하는 것으로, 마이크로소프트의 홀로렌즈, ODG R7, 매직리프트의 매직리프트원 등이 대표적인 단말이다.



디지캐피털에 따르면, 초기 실감미디어 시장은 프리미엄 VR이 주도하지만, 2020년 이후 그 비중이 10% 대로 하락할 것이며, 2018년 이후부터는 AR이 다양한 산업 영역에 활용되면서 성장을 주도할 것으로 전망했다. 이에 따라 2020년 AR이 전체 시장의 70%를 차지할 것으로 예상했다. 특히 스마트글래스의 시장 보급의 한계로, 이미 널리 보급되어 있는 스마트폰 등을 활용한 모바일 기반의 AR 영역이 가장 큰 시장으로 성장할 것으로 평가했다.

그림 13

VR·AR 시장 성장 전망

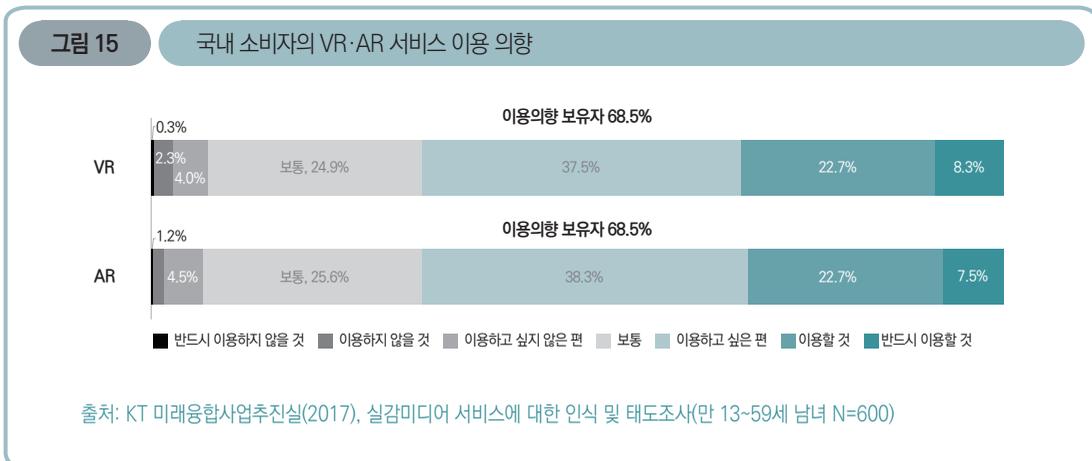
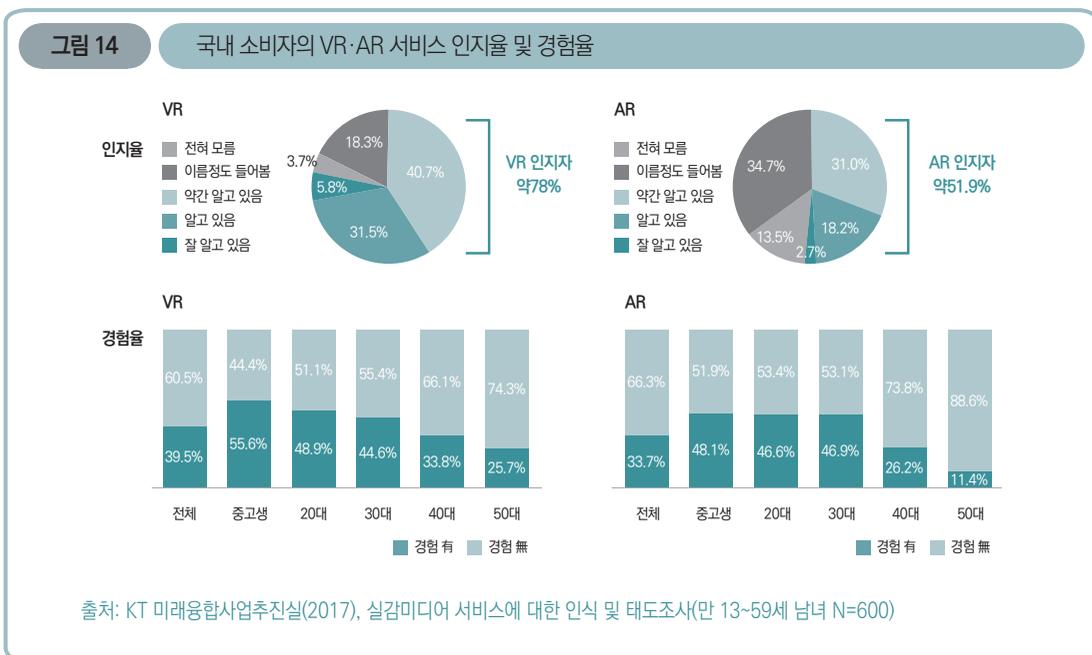


출처: Digi-Capital(Q4, 2017), Augmented/Virtual Reality Report

## 4.2 VR·AR 시장 소비자 니즈(Needs)

VR·AR 등의 실감미디어 시장은 이제 막 시장이 형성되기 시작한 초기 단계로, 많은 사람들이 관심을 가지고 있으나, 이용 경험이 있는 소비자 비중은 아직은 낮은 편이다. 국내의 10~50대 소비자를 대상으로 진행한 KT의 실감미디어 서비스에 대한 인식 및 태도조사(2017)에 따르면, VR을 인지하고 있는 소비자 비중은 약 78%, AR을 인지하고 있는 소비자 비중은 약 52%로, 초기 기술임에도 불구하고 상대적으로 높은 인지를 보여줬다. 하지만 실제 서비스 경험률은 VR은 40%, AR은 34%로, 인지자 중 많은 사람들이 실제 서비스를 경험하지 못한 것으로 조사되었다. 따라서 현 시장에서는 기업들이 소비자들에게 실감미디어 서비스를 경험할 수 있는 기회를 제공하는 것이 중요한 상황이다.

국내 소비자들의 실감미디어 서비스 경험률은 낮은 편이지만, 향후 이용 의향은 약 68.5%로, 국내 소비자의 과반수 이상이 앞으로 실감미디어 서비스를 이용할 가능성이 높은 잠재 고객군이 될 것으로 보인다. 따라서 실감미디어 서비스 경험 기회를 충분히 제공하고, 다양한 고객 니즈를 충족시켜 줄 수 있는 고 퀄리티의 실감미디어 서비스가 제공된다면, 소비자 관점에서 바라본 시장 성장 잠재력 또한 매우 클 것으로 전망된다.



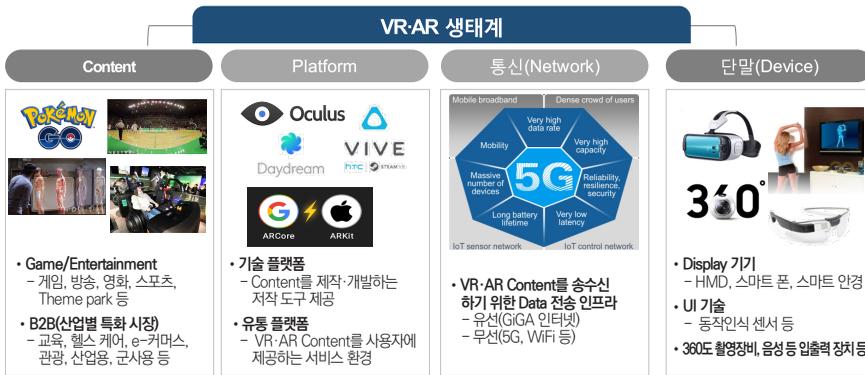
### 4.3 VR·AR 시장 현황

실감미디어는 기존 미디어 산업과 같이, 전형적인 콘텐츠-플랫폼-네트워크-디바이스(C-P-N-D)로 구성된 생태계를 기반으로 하는 산업이다. 사용자는 디바이스를 착용하고, 유무선 통신망을 통해 앱스토어 등의 플랫폼에 접속하여, 실감형 콘텐츠를 이용하는 형식이다. 따라서 실감미디어 산업의 활성화를 위해서는 콘텐츠, 플랫폼, 네트워크, 디바이스가 균형적으로 발전하는 것이 무엇보다 중요하다.

실감미디어는 2016년 다양한 종류의 VR HMD가 출시되며, 본격적으로 시장의 관심을 받기 시작했다. 이에 따라 초기 시장은 디바이스를 중심으로 성장하였으나, 양질의 콘텐츠와 서비스 부족으로 하드웨어 만으로는 시장 성장의 한계에 부딪혔으며, 점차 산업의 축이 콘텐츠와 플랫폼으로 넘어가고 있는 상황이다. 또한 현재까지 게임 등 엔터테인먼트 영역에 보다 적합한 VR을 중심으로 시장이 성장했다면, 앞으로는 정보형 콘텐츠를 기반으로 다양한 산업과의 융합이 가능한 AR 및 MR을 중심으로 빠른 시장 성장이 예상된다.

그림 16

VR·AR 생태계



#### 4.3.1. VR·AR 콘텐츠 시장

실감미디어 콘텐츠는 사용자가 디바이스를 통해 접하는 VR, AR, MR 기술로 구현된 내용물이다. 현재까지는 게임 등 엔터테인먼트 영역을 제외하고는 주목할만한 결과를 내지 못하고 있는 것이 사실이다. 하지만



그림 17

VR·AR 콘텐츠 사례



Sony PSVR, VR 게임

baobob studios, VR 애니메이션

KT-GS리테일, VRIGHT(체험존)

DHL, AR 창고 관리 시스템

IKEA, AR 가구배치 App

출처: Google Image

### 4.3.2. VR·AR 플랫폼 시장

실감미디어 플랫폼은 실감형 콘텐츠를 제작·개발하는 엔진 및 저작도구 등을 제공하는 기술플랫폼과 실감형 콘텐츠를 사용자에게 제공하는 서비스 환경인 유통 플랫폼으로 구분해서 볼 수 있다.

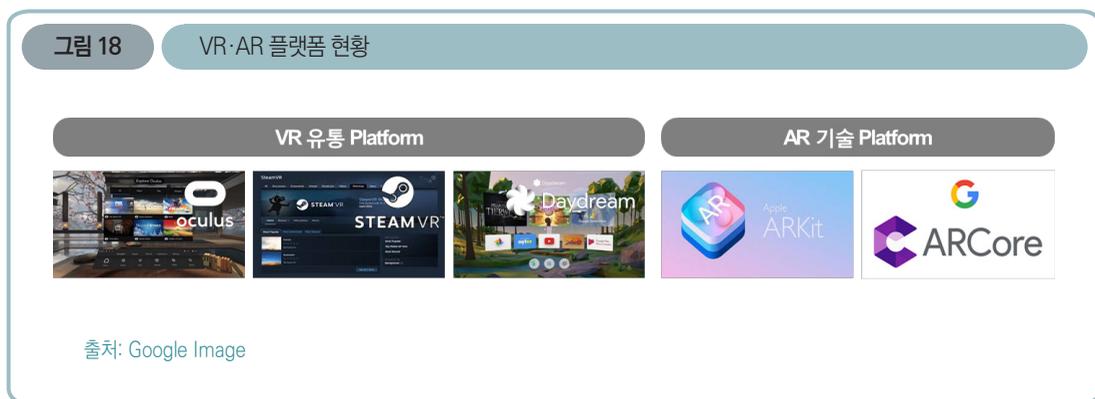
VR의 경우, HMD 등의 디바이스 제조사들이 자사의 단말을 중심으로 한 생태계 조성을 위한 유통 플랫폼 사업을 추진 중이다. 페이스북 오쿨러스는 삼성 기어VR과 오쿨러스 리프트 등을 통해 이용 가능한 오쿨러스 스토어를 운영 중으로, VR 게임 및 영상, SNS 등의 서비스를 제공 중이다. HTC와 소니는 협업 관계이거나 기존에 보유하고 있었던 게임 플랫폼(HTC는 Steam, 소니는 플레이스테이션)의 영역을 VR 게임까지 확장시켜 자사의 단말과 연동해 서비스 중이다. 구글 또한 스마트폰 기반의 VR 플랫폼인 데이드림을 운영 중으로, 데이드림이 탑재된 스마트폰과 데이드림뷰를 통해 이용이 가능하다.

이들 플랫폼들은 모두 자사 단말에 특화된 유통 플랫폼 구조를 가지고 있으며, 게임 서비스 이외에는 다양한 종류의 퀄리티 높은 콘텐츠가 아직은 부족하다는 점 또한 특징이다. 따라서 아직 시장 주도권을 가진 사업자가 없는 상황으로, 양질의 콘텐츠 Pool 확보와 디바이스 호환성 강화가 시장 주도권을 잡는 핵심 역량이 될 것으로 보인다.

AR은 사용자와의 실시간 상호작용을 기반으로 한 콘텐츠 생성 및 제공이 주요 특징인 관계로, 공간 및 객체 인식 기반의 AR 엔진과 콘텐츠 저작 툴 등의 기술 플랫폼을 중심으로 시장을 형성 중이다. 모바일 OS를 보유한 애플과 구글이 모바일 AR 서비스 개발을 지원하는 AR 엔진을 출시하며 시장을 선도하고 있다. 애플

은 iOS용 AR Kit를, 구글은 안드로이드용 AR Core를 제공 중이다. 이 엔진들은 현실 세계의 공간과 사물을 인식하여, 해당 공간 위에 3D 객체 이미지를 올려주는 기능을 담당한다. AR을 위한 3D 콘텐츠를 만드는 저작 툴의 경우, Unity, Unreal 등의 기존 게임 엔진들에서 제공 중이며, 향후에는 산업별로 특화된 AR 콘텐츠 저작 툴들이 등장할 것으로 예상된다.

국내는 이동통신사들을 중심으로 유통 플랫폼 사업이 추진되고 있다. KT는 온·오프라인 실감미디어 서비스 제공을 위한 전용 플랫폼을 구축 중에 있으며, SK텔레콤은 AR 콘텐츠 제작 및 서비스 구현이 가능한 T-Real 플랫폼을 보유 중이다.



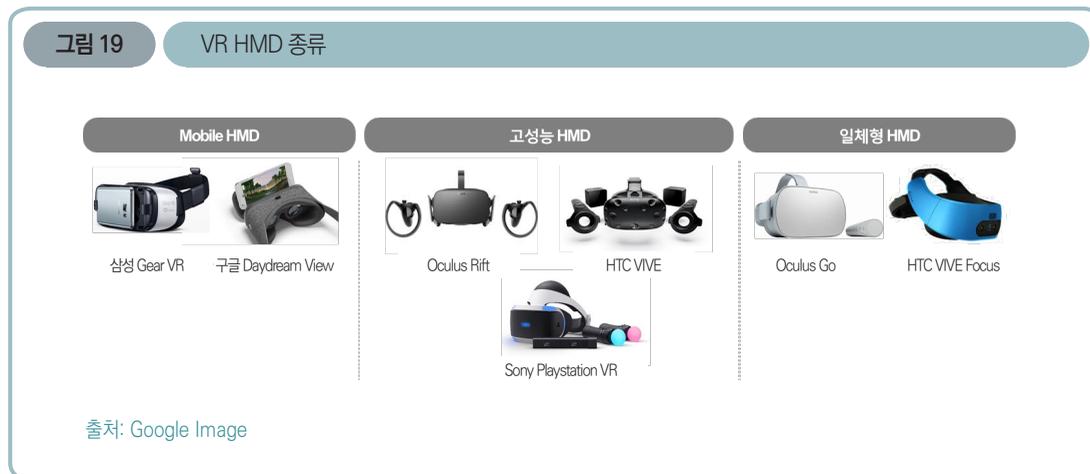
### 4.3.3. VR·AR 디바이스 시장

실감미디어 디바이스는 사용자가 VR·AR 등을 경험하기 위해 사용하는 디스플레이 기기와 사용자 인터페이스 및 영상 촬영 관련 하드웨어 등을 의미한다. 다양한 실감미디어 디바이스가 시장에 출시되며 실감미디어 산업이 시작된 만큼, 디바이스 영역은 초기 실감미디어 시장의 성장을 주도한 부문인 동시에 기술개발 경쟁이 가장 치열한 부문이기도 하다.

VR 디바이스는 현실을 차단하고 완벽한 가상세계에 몰입하게 만들어주는 밀폐형 헤드셋 디스플레이인 HMD가 대표적이다. HMD가 출시된 첫 해인 2016년 한 해에만 최소 600만대 이상이 판매된 것으로 추정된다. 즉, 디바이스 시장으로부터 VR 생태계가 시작된 것이다. HMD에는 스마트폰 탈부착 방식인 모바일

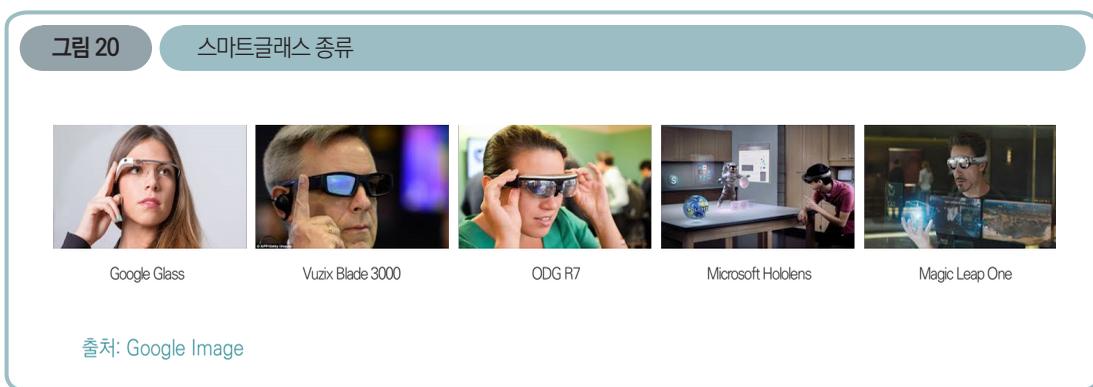
HMD와 PC·콘솔과 연결 방식인 고성능 HMD가 있으며, 최근에는 타 기기와 별도 연결 없이 단독으로 서비스 제공이 가능한 일체형 HMD가 개발·출시 중이다. 모바일 HMD는 삼성 기어VR과 구글의 데이드림뷰 등이, 고성능 HMD로는 페이스북 오쿨러스 리프트, HTC 바이브, 소니 플레이스테이션VR 등이 대표적이다.

모바일 HMD는 이동 제한이 없어 편리한 사용이 가능하지만, 스마트폰의 화질 한계로 몰입감 높은 서비스를 제공하는 데는 한계가 있다. 고성능 HMD는 고화질의 콘텐츠 제공과 사용자의 행동 인식 반영이 높아 게임 등 몰입감 높은 서비스 제공이 가능한 반면, 유선으로 연결되었기 때문에 사용자 이용 편의성이 저하되었다. 이에 따라 타 기기와 연결 없이 독자적으로 구동 가능한 일체형 HMD인 페이스북의 오쿨러스고와 HTC의 바이브 포커스 등이 출시 중이다.



AR 전용 디바이스로는, See-Through 디스플레이를 통해 현실 위에 가상 이미지를 띄워서 보여주는 안경 형태로 제작된 스마트글래스가 대표적이다. 하지만 스마트글래스는 VR 시장 성장을 주도한 VR HMD와 달리, 비싼 가격과 짧은 사용 시간, 불편한 착용감 및 무게, 전용 콘텐츠 부족 등의 이유로 시장 보급에 실패하였다. 대표적인 초기 AR 웨어러블 디바이스로는 구글 글래스, ODG R8, 뷰직스 블레이드 3000 등이 있다. 이에 따라 AR은 전용 디바이스 보다는 스마트폰 혹은 태블릿 등을 활용하여 AR 서비스를 제공하는 모바일 AR을 중심으로 초기 시장이 성장 중이다.

하지만 AR 디바이스 제조사들은 실패에 머물지 않고, AR보다 현실감과 상호작용이 보다 강화된 스마트글래스를 개발 중이다. 이들은 고도화된 Vision 인식 기술 기반의 현실적인 3D 이미지 맵핑 및 현실과의 실시간 상호작용 역할이 강화된 스마트글래스를 개발 중으로, 대표적인 사업자로 마이크로소프트, 매직리프 등이 있다. MS는 AR을 차세대 PC로 보고 자체 생태계를 개발 중으로, 전용 디바이스로 ‘홀로렌즈2’를, MR 플랫폼으로 ‘Windows MR OS’를 출시할 계획이다.



#### 4.3.4 VR·AR 산업과 네트워크

VR·AR 콘텐츠를 사용자에게 송수신하기 위해서는 데이터 전송 인프라인 네트워크가 필수적이다. 실감미디어 콘텐츠가 이전 영상 콘텐츠와 다른 점은 대용량 데이터의 송수신을 요한다는 점이다. 고화질의 360°영상인 VR 콘텐츠는 기존 UHD급 영상 대비 약 4배 가량 많은 데이터를 필요로 한다. 또한 사용자의 움직임에 따라 빠른 화면 전환이 이뤄지지 않으면 어지러움증의 사이버 멀미 현상을 유발하므로, 데이터 지연 속도 또한 매우 중요하다. AR은 더 나아가 사용자의 환경을 인지하여 해당 상황에 최적화된 정보형 콘텐츠를 실시간으로 제공해야 하기 때문에 끊임없는 데이터 송수신이 원활하게 이뤄져야 한다. 이런 점 때문에 실감미디어 시장 성장을 위해 네트워크의 발전 또한 중요하다.

원활한 실감미디어 서비스를 위해서는 적어도 5G 또는 기가 와이파이 수준의 네트워크를 필요로 한다. VR의 단말인 HMD는 사용자의 편의성을 강화하기 위해 점차 무선 기반의 일체형 HMD로 발전 중이다. 현재의 고성능 HMD는 컴퓨터와 PC 연결을 통해 고화질의 VR 영상을 전달했지만, 향후에는 무선상으로 전달

이 필요하며 이에 따라 5G 이동통신 네트워크는 더욱 필수적이다. AR은 한동안 모바일 AR을 중심으로 큰 폭의 성장이 예상되며, 전용 단말인 스마트글래스 또한 현실과 가상과의 실시간 커뮤니케이션이 보다 강화된 MR 기반의 단말로 발전 중이다. 그렇기 때문에 AR 서비스 역시 5G 네트워크를 필요로 한다.

노키아, 에릭슨, 퀄컴 등의 글로벌 통신장비업체들은 2020년을 목표로 5G 통신망 관련 기술을 연구·개발 중이다. 5G에 가장 발 빠르게 움직이고 있는 사업자는 국내 이동통신사들로, 2019년 3월 5G 동시 상용화에 3사가 협의하여 준비 중에 있으며, KT의 경우 2018년 2월 평창 동계 올림픽을 통해 세계 최초로 5G 시범 서비스를 선보인 바 있다.

5G 상용화를 준비 중인 국내 이동통신사들은 5G 이후의 대표적인 킬러서비스로 실감미디어를 주목하고 있다. 이에 실감미디어 시장의 주도권을 잡고자 다양한 사업을 추진하고 있다. KT는 실감미디어 전용 플랫폼을 기반으로 온·오프라인 서비스를 제공, 2020년까지 1천억 원의 매출 달성 계획을 발표했다. 이에 따라 국내 실감미디어 고객 기반 확대를 위해 VRIGHT, K-live 등의 오프라인 사업을 추진 중이며, 올레TV 모바일 등을 통해 VR 영상 서비스도 제공 중이다. SK텔레콤과 LG유플러스 역시 모바일 IPTV 플랫폼을 통해 VR 콘텐츠를 서비스하고 있다.

5G 확산 이전을 대비하여 데이터 용량 절감 및 지연 속도 최소화 등의 데이터 처리 기술 관련 연구 개발 또한 이뤄지고 있다. KT는 엣지 클라우드를 기반으로 PC의 고화질 게임 영상을 스마트폰에 직접 전송하여 서비스하는 ‘VR Walkthrough’ 기술과 VR의 멀미감과 어지러움을 개선한 ‘Anti Juddering’ 기술을 개발하여, KT와 드래곤플라이가 공동 개발한 ‘스페셜포스 VR’ 게임에 적용하여 운영 중이다. 또한 SK텔레콤은 360° VR 콘텐츠 전송 시 일부 화면을 저화질로 전송하여, 데이터 사용량을 60% 절감하는 ‘화질 분리’ 기술을 개발했다.

## 05' 5G 시대의 실감미디어 시장 전망 및 과제

### 5.1 5G로 변화될 실감미디어 미래상

현재의 실감미디어는 네트워크 기술의 한계로 인해, 미완의 형태로 서비스를 제공 중이다. VR의 주요 특징이 몰입감임에도 불구하고, 네트워크의 한계로 낮은 화질의 VR 콘텐츠를 서비스함으로써 360°라는 특성만이 부각되고, 새로운 세상에 들어선 듯한 효과는 부족한 상황이다. AR 또한 현실과 가상의 자연스러운 오버랩을 통해 현실과 가상이 융합되어야 함에도 불구하고, 네트워크 기술의 한계로 현실 위에 단순 정보 화면만을 띄워주는 제한적인 서비스 형태로 제공되고 있다.

5G 네트워크는 이러한 미완의 실감미디어 서비스를 본연의 모습 그대로 발전시켜 줄 것이다. 또한 실감미디어가 엔터테인먼트 영역뿐만 아니라 다양한 산업군과 연계하여 서비스가 가능하다는 점을 고려해 볼 때, 실감미디어는 미디어 산업을 넘어서 우리의 일상 및 사회생활 곳곳에서의 변화를 가져다 줄 것으로 예상된다.

#### 5.1.1. 미디어·엔터테인먼트 영역

미디어·엔터테인먼트 영역은 실감미디어의 가장 대표 서비스로, 특히 가장 큰 성장이 예상되는 분야는 게임이다. 현재 게임시장은 크게 콘솔 게임, PC 게임, 모바일 게임 등의 영역으로 구분할 수 있는데, 콘솔 게임의 일정 부분은 HMD 기반의 VR 게임으로, 모바일 게임의 일정 부분은 AR 게임으로 전환될 것으로 전망된다. 게임은 몰입감을 가장 필요로 하는 장르이며, 게임 유저들은 별도 장비 구매 및 착용에 대한 거부감이 낮은 타깃층이다. 따라서 실감미디어의 특성을 가장 잘 살릴 수 있는 동시에 진입하기에도 용이한 시장으로 평가된다.

또한 실감미디어 게임은 놀이공원, 테마파크 등 오프라인 기반의 엔터테인먼트 사업에서 큰 역할을 담당할 것으로 예상된다. 이미 도심 곳곳에 소규모의 VR 체험존이 들어서고 있으며, 놀이공원 사업자들은 애타튀 VR 어트랙션을 구축하여 서비스하고 있다. 이에 따라 향후에는 테마파크 놀이 시설의 많은 부분이 VR을 활용한 형태로 전환 될 것으로 예상된다.

영상·방송 영역은 공연, 스포츠 중계 등 현장감이 필요한 장르를 중심으로 발전될 것으로 전망된다. 현재도 많은 모바일 동영상 플랫폼이 360°VR 영상 서비스를 제공하고 있으나, 네트워크와 스마트폰 디스플레이의 제약으로, 낮은 화질 및 느린 화면 이동 등의 문제를 가지고 있다. 또한 현장감에 최적화된 카메라 앵글 및 촬영, 360°영상을 위한 스토리 등이 부족하여 제대로 된 VR 영상 서비스를 제공하고 있지 못한 것이 현실이다. 5G 상용화와 VR 콘텐츠 기획 및 제작 관련 역량이 확보된다면, 현장에 가지 않아도 현장에 있는 것과 같은 느낌의 영상 서비스 제공이 가능할 것으로 보인다.

그림 21

미디어·엔터테인먼트 적용 사례



출처: Google Image

### 5.1.2. 일상 업무(Workplace) 영역

증강현실은 현실을 배경으로 정보형 콘텐츠를 띄워준다는 특성으로 인해, 공장 등의 제조 영역과 사무실 등의 일상 업무 영역에서 적극적으로 활용될 것으로 예상된다. 무엇보다 AR의 적용을 통해 업무 효율성을 높일 수 있다는 점에서 성장 가능성이 크다고 할 수 있겠다.

현재는 AR 전용 단말의 기술적 한계와 실시간 데이터 전송의 어려움 등으로 인해 AR이 현장에 대중적으로 적용되고 있지 못한 것이 현실이나, 스마트글래스가 MR 기반의 단말로 발전하고, 5G로 데이터의 실시간 교류가 가능해진다면 실감미디어를 활용한 스마트팩토리와 스마트오피스가 가능해질 것으로 전망된다.

AR이 보편화되면, 공장의 직원들은 별도 검색 과정 없이 스마트글래스를 통해 실시간으로 보여지는 매뉴얼에 맞춰 업무를 진행할 것이고, 현장에 있지 않아도 스마트글래스를 통해 전송되는 현장 모습을 통해 원격 업무 수행을 할 수 있을 것이다. 특히 안경 형태의 디바이스의 특성상 손을 자유롭게 사용할 수 있어, 정보 확인과 업무 수행을 동시에 할 수 있어 업무 정확도와 효율성을 모두 높여줄 수 있을 것으로 보인다.

또한 5G가 상용화되면, 영화 속에서만 보던 텔레프레전스(Telepresence) 회의가 가능해진다. 텔레프레전스는 통신을 통한 상호작용을 통해 신체적으로 가 있지 않은 다른 장소에 존재할 수 있게 하는 기술로, 이를 통해 서로 다른 공간에 있는 사람들이 한 공간에 자신의 모습 그대로 모여 회의를 하는 것이 가능해진다. 이로 인해 사무실에서의 공간적 제약이 사라져, 불필요한 시간 및 비용 소비가 줄어들 것으로 보인다.

그림 22

Workplace 적용 사례



출처: Google Image

### 5.1.3. 교육·훈련 영역

실감미디어로 인해 그 효과가 커질 것으로 예상되는 또 하나의 분야가 교육과 훈련 영역이다. VR은 시·공간의 제약이 사라진 새로운 가상현실을 제공하기 때문에, 실제로 가볼 수 없는 곳 또는 위험하여 직접 체험이 어려운 곳 등에 대한 경험을 가능하게 해준다. 기존 시·청각 자료를 통해 간접적으로만 경험이 가능했던 내용들을, VR을 통해서서는 보다 직접적이고 생동감 있게 경험할 수 있기 때문이다. 우주 천체 공간, 역사 속 현장, 분자 속 세상, 인체 속 장기 등을 생생한 VR 콘텐츠로 경험하게 된다면 좀더 쉬운 이해와 학습이 가능해질 것으로 보인다.

AR은 여기서 더 나아가 학습자와의 상호작용을 통해 사용자 학습 단계에 최적화된 교육용 콘텐츠를 제공해 주므로, 1:1의 교육 서비스 제공이 가능하다. 이를 통해 보다 적은 자원으로 보다 강화된 교육 효과를 확보할 수 있다.

또한 화재 진압, 군사 훈련, 비행 훈련 등 공간 및 비용 등의 이슈로 실제 현장에서 진행하기 어려운 훈련들을 진행하는데 있어, VR이 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 전망된다. 대부분의 실제 훈련에는 많은 비용과 자원이 필요하여, 그 중요성에도 불구하고 반복적으로 훈련 받기 어려운 경우가 많다. 가상현실을 기반으로 한 시뮬레이션 훈련의 경우, 이러한 자원 낭비 없이 보다 자주 그리고 효과적으로 훈련 기회를 제공할 수 있어, 실제 비상 상황 발생 시 효과적인 대처가 가능해 진다.

그림 23

교육·훈련 적용 사례



출처: Google Image

#### 5.1.4. 커머스·헬스케어 영역

실감미디어는 미디어 서비스를 넘어서, 다른 산업과의 융합을 통해서도 새로운 가치를 만들어 낼 것으로 보인다. 대표적인 분야가 커머스와 헬스케어 영역이다.

실감미디어는 3D 기반의 제품 정보 제공이 가능해, 소비자가 매장을 방문하지 않아도 실제 물건 그대로의 모습을 확인할 수 있다. 증강현실 기술을 적용하면, 상품 정보들이 실시간으로 소비자 눈 앞에 띄어져, 별도의 시청 과정 없이 한눈에 제품 정보를 파악해 손쉽게 구매를 할 수 있다. 또한 상품 구매 전 소비자의 실제 모습과 공간에 제품을 가상으로 매칭시켜 사전 시뮬레이션을 하는 것이 가능하다. 이러한 실감미디어 기능들을 통해 소비자들은 보다 편리하게 상품을 구매할 수 있고, 기업들은 향상된 고객 편의를 기반으로 매출을 확대할 수 있다.

실감미디어는 치료 등의 목적으로도 활용된다. 가장 대표적인 치료 분야가 심리치료와 통증완화 치료 등이다. 외상 후 스트레스 및 사회 공포증 등의 증상을 치료하기 위해서는 환자들을 트라우마 상황에 지속적으로 노출시켜 적응시키는 과정이 필요한데, 이 과정에 VR을 활용하면 실제와 같은 트라우마 상황 제공이 가능해 보다 높은 치료 효과를 거둘 수 있다. 또한 화상 혹은 환상통과 같은 극심한 통증을 겪는 환자들을 치료할 시, 몰입감 높은 VR 콘텐츠를 활용하면 순간적으로 고통을 망각하는 경험 제공이 가능하다. 따라서 약물 치료와 VR 치료를 병행하면 최소한의 약물만으로도 통증 치료가 가능해진다.

그림 24

커머스·헬스영역 적용 사례



VR 쇼핑물

AR 가상매칭

VR 심리치료

VR 통증치료

출처: Google Image

## 5.2 실감미디어 시장 성장 위한 과제

실감미디어는 5G 네트워크의 보급과 함께 본격적인 성장을 이룰 것이다. 하지만 현재의 콘텐츠, 플랫폼, 디바이스 환경 속에서는 네트워크의 발전에도 불구하고, 빠른 성장에 제약이 따를 수 있다. 실감미디어가 5G와 함께 발맞추어 성장하기 위해서는 각 단계별 발전이 함께 병행되어야 하기 때문이다. 특히 VR·AR 산업은 콘텐츠, 플랫폼, 디바이스 생태계가 모두 유기적으로 연결된 시장이다. 따라서 한 영역만을 기반으로 한 시장 성장에는 한계가 있으며, 여러 기업 간의 협력과 투자, 그리고 정부 차원에서의 정책적 지원이 특히 필요한 영역이다.

### 5.2.1. 기술 속성에 맞는 양질의 콘텐츠 확보

실감미디어 시장 성장을 위해 무엇보다 필요한 것은 킬러 콘텐츠와 서비스이다. 따라서 VR·AR 콘텐츠 산업의 발전이 필요하다.

VR 시장의 경우, 많은 종류의 디바이스가 출시되고 있지만, 즐길만한 콘텐츠의 양이 적어 디바이스 보급에 어려움을 겪고 있다. 비교적 많은 콘텐츠가 제작되고 있는 장르가 게임이지만, 여전히 대형 게임제작사들은 VR 게임 시장에 본격적으로 진입하지 않고 있다. 또한 게임이 아닌 영상, 방송 영역에서는 주목할만한 VR 콘텐츠가 전무한 상황이다.

AR 콘텐츠 시장은 VR보다 더 어려운 상황이다. AR 서비스를 선보인 몇몇 개의 모바일 앱들이 있지만, 장기적으로 시장을 주도하는 AR 서비스 모델은 없는 상황이다. AR은 그 특성 상, 이미 만들어진 영상 콘텐츠보다는 기존의 데이터를 3D 형태로 재가공하여, 실시간으로 조합할 수 있는 콘텐츠 저작 툴이 중요한데, 현재 시장에는 손쉬운 이용이 가능한 저작툴이 없다. AR이 다양한 영역과 융합되는 기술인 점을 고려할 때, AR 산업의 확대를 위해서는 교육 전문 저작 툴, 산업 전문 저작 툴 등 각 영역별로 특화된 콘텐츠 저작 툴이 필요한 상황이다.

VR·AR 관련 콘텐츠 산업의 육성을 위해서는 양질의 콘텐츠 개발 환경 조성이 필요하다. 현재 콘텐츠 제작과 관련된 핵심 기술을 보유한 중소 규모의 기업들을 중심으로 VR·AR 콘텐츠 제작이 이뤄지고 있기 때문에, 정부와 플랫폼·디바이스 중심의 대형 사업자들은 이러한 기업들의 콘텐츠 개발 환경 개선을 위해 정책 마련과 투자 지원 등을 진행해야 한다. 콘텐츠 개발 및 검수에 필요한 장비와 공간 제공, 혹은 기업 간 협력을 통한 연구 개발 등의 지원을 통해 보다 효율적이고 혁신적인 콘텐츠 개발을 위한 환경 조성이 이뤄져야 한다.

### 5.2.2. 실감미디어 플랫폼 역할 확대

실감미디어 생태계에 있어, 그 역할이 확대될 것으로 예상되는 분야가 플랫폼이다. 기존 미디어 플랫폼의 주요 역할은 콘텐츠 유통으로, 인기 있는 콘텐츠를 한데 모아 고객들에게 서비스하는 역할을 담당하였다. 하지만 실감미디어는 그 특성 상 소비자와의 실시간 상호작용에 기반하여 콘텐츠를 제공해야 하기 때문에, 유통의 역할에만 머물러서는 제대로 된 서비스 제공이 어렵다. 따라서 실감미디어 플랫폼은 기존 미디어 플랫폼과 달리 콘텐츠 유통뿐만 아니라 사용자 분석 및 제어까지 가능한 복합 기능의 플랫폼으로 그 역할을 확대해야 한다.

하지만 아직까지 실감미디어 플랫폼은 유통 중심 플랫폼과 기술 중심 플랫폼으로 양분되어 특정 역할만 담당하고 있는 것이 현실이다. VR 유통 플랫폼은 기존 미디어 플랫폼과 같이 콘텐츠 유통, 추천 등의 역할만

담당하고 있으며 개인형 콘텐츠 제공을 위한 실시간 상호작용과 사용자와 관련된 빅데이터 분석 등의 기능은 지원하고 있지 않다. 반면 AR 코어, AR 키트 등의 AR 플랫폼은 모바일 AR 어플리케이션 개발이 가능한 기술 Tool 중심으로 구성되어 있다. 현실 공간과 객체를 인식하여 가상 콘텐츠를 띄워주는 역할까지만 담당하고 있으며, 사용자에게 최적화된 콘텐츠를 생산하여 제공해주는 기능은 없는 상황이다.

미디어 플랫폼 사업은 대규모 자본이 필요한 영역인 관계로, 실감미디어 관련 대형 사업자들의 역할이 특히 중요하다. 실감미디어가 그 특성 상 지금까지의 미디어 플랫폼과는 달리 좀더 확장된 역할을 담당하여야 함을 인지하고, 향후 새로운 방향과 전략 하에 플랫폼 사업을 추진하여야 할 것이다. 국내 실감미디어 시장은 특히 글로벌 시장에 비해 플랫폼 사업 시도가 많지 않은 상황이다. KT와 SK텔레콤 등의 이동통신사들이 네트워크 역량을 기반으로 실감미디어 플랫폼 구축을 시도 중이나, 많은 사용자 수를 보유한 플랫폼은 없는 상황이다. 정부는 민간 주도의 실감미디어 플랫폼 사업이 원활하게 진행되게끔 그 동안 실감미디어를 고려하지 않고 제정된 많은 정책들을 완화하고, 다양한 국책과제 등을 통해 유통과 기술이 결합된 형태의 플랫폼 구축이 이뤄질 수 있도록 지원해야 할 것이다.

### 5.2.3. 실감미디어 디바이스 기능 향상

실감미디어 디바이스는 실감미디어를 초기 시장을 이끈 핵심 동력인 동시에 시장 성장을 위해 추가적인 기능 향상이 상당 부분 필요한 영역이기도 하다. VR HMD는 출시 초기, 많은 관심을 받았지만 실생활에서 자유롭게 사용하기에는 아직 많은 부분 부족한 상황이다. 모바일 HMD는 낮은 화질로 인한 어지러움, 멀미 등의 문제를 가지고 있었으며, 이후 출시된 고성능의 HMD는 약 40~60만 원대의 높은 가격과 유선 연결로 인해 특정 공간에서만 이용 가능하다는 한계가 있었다. 최근 출시된 독립형 HMD는 별도 장비와 연결 없이 서비스 제공이 가능하며, 사용자의 불편한 경험을 많은 부분 개선하였지만, 여전히 큼직하고 무거운 투구 형태의 단말이라는 점에서 일상 생활 속에서의 착용에는 한계가 있다. 체험존 등의 오프라인 공간이 아닌 사람들의 실제 생활 속으로 VR이 들어가기 위해서는 사용자 경험이 보다 더 개선된 형태의 HMD 개발이 필요하다.

AR 전용 디바이스는 약 200만 원대의 높은 가격과 좁은 시야각 및 배터리 한계로 인한 짧은 사용 시간 등의 문제로 시장 보급 자체도 이뤄지지 않고 있는 상황이다. 특히 단순한 형태의 가상 화면만을 제공한다는 점에서, 소비자가 체험할 수 있는 기능은 매우 제한적인 반면 일반인이 접근하기에는 지나치게 가격이 비싸,

시장 보급을 위해서는 많은 부분에서의 개선이 필요한 상황이다. 문제는 AR·MR 시장의 성장을 위해서는 전용 디바이스의 발전이 전제 되어야 한다는 점이다. 현재 모바일 기반의 AR 서비스를 중심으로 시장이 형성되고 있으나, 모바일 단말로는 제대로 된 AR·MR 서비스 구현이 어렵다. 그렇기 때문에 AR 전용 디바이스의 향상이 시급한 시점이다.

국내 실감미디어 디바이스 시장은 삼성 기어VR, LG 360VR 등 모바일 기반의 저사양 HMD 사업에 머물고 있는 상황이다. 국내 실감미디어 시장이 글로벌 시장에 잠식되지 않기 위해서는 다양한 기술 연구를 기반으로 한 디바이스 발전이 무엇보다 필요하다. 기능이 개선된 디바이스의 출시를 위해서는 대기업의 노력이 필요하겠지만, 디바이스의 사용자 경험 개선을 위한 개별 기술들의 발전은 핵심 기술을 보유한 중소기업들을 중심으로도 확보 가능할 것이다. 정부는 실감미디어 기술 관련 펀드 조성 및 국책과제 등을 통해 실감미디어와 관련된 다양한 영역의 핵심 기술들이 국내에서 개발되어 내재화 될 수 있게끔 지원해야 할 것이다.

## 06 | 결론

지금까지 실감미디어의 특성과 시장현황을 분석하고, 실감미디어가 어떻게 5G 이동통신 네트워크의 특성과 연결되며, 이에 따라 5G로 인해 어떤 방향으로 실감미디어가 성장할지에 대해 살펴보았다.

실감미디어의 가장 큰 특징은 사용자와의 상호작용을 기반으로 현실과 가장 가까운 형태의 콘텐츠를 제공한다는 점이다. 그렇기 때문에 대용량 콘텐츠의 실시간 송수신이 특히 중요한 산업 영역으로, 네트워크 발전과의 관련성이 높은 영역이다. 따라서 현재는 네트워크적 한계로 원활한 서비스 제공이 어려워 본격적인 시장 성장이 이뤄지고 있지 않으나, 5G 상용화 이후에는 5G 이동통신 시대를 대표하는 킬러 서비스로 큰 성장을 할 것으로 예상된다.

또한 5G 네트워크와 만난 실감미디어는 미디어 산업이라는 한정된 영역을 벗어나, 다양한 산업들과 융합된 새로운 영역의 시장을 창출할 것으로 예상된다. 기업과 소비자들 모두 실감미디어를 통해 더 많은 수익과 편익을 얻을 수 있을 것으로 전망된다. 하지만 이를 위해서는 콘텐츠, 플랫폼, 디바이스 등 각 생태계 영역별로 꾸준한 발전이 지속되어야 한다.

현재 실감미디어 시장은 충분한 성숙이 이뤄지지 않은 초기 시장으로, 네트워크적 한계뿐만 아니라 콘텐츠 부족, 핵심 플랫폼 부재, 디바이스 기술적 한계 등의 문제를 가지고 있다. 그렇기 때문에 5G 상용화를 앞둔 이 시점은 실감미디어 성장을 위해 많은 부분에서 준비가 필요한 상황이다. 특히 한국은 세계 최초로 5G 상용화를 앞두고 있기 때문에, 다른 나라들보다 먼저 실감미디어 서비스를 적용하고 결과를 확인할 수 있는 테스트베드 시장이다. 이러한 시장 장점과 많은 기업 및 정부의 노력을 바탕으로, ICT 강국인 동시에 실감미디어 시장도 주도하는 한국 시장이 되길 기대해본다.

## Yoon Jeon Koh



### 학력

펜실베이니아 주립 대학교  
Mass Communication 박사  
서강대학교 신문방송학 석사  
서강대학교 신문방송학 학사

### 경력

現) KT 미래융합사업추진실 미래사업개발단 단장  
前) KT 마케팅부문 고객분석실 실장  
前) KT Customer부문 수도권강북고객본부 광진지사 지사장  
前) KT 경제경영연구소 PEG(전문컨설팅그룹) 센터 센터장  
前) KT T&C부문 All-IP 추진담당 담당

## 참고문헌

1. 경태원(2013), 실감미디어 산업의 동향 및 발전방향, 『한국콘텐츠학회지』, 11(2), 14-17P
2. 남선숙·유홍식·신동희(2017), VR게임의 이용자 경험: 현존감이 즐거움에 미치는 영향을 중심으로, 『정보통신정책연구』, 24권, 3호, 88-125P
3. 박현재·송찬호(2013), 스마트실감미디어 산업동향, KEIT PD Issue Report, Vol 13-4
4. 이경제·정우수(2011), 실감미디어 산업의 경제적 파급효과 분석, 『한국통신학회논문지』, Vol 36, No. 7
5. 이동훈·박주원·김종원(2007), 차세대 실감미디어 서비스와 미래인터넷, 『전자공학회지』, 제34권 제4호, pp.413 ~ 422
6. 한정엽·안진근(2010), 혼합현실공간(MRS)의 미디어환경 특성 연구
7. kt 경제경영연구소(2018), 5G의 사회경제적 파급효과 분석
8. kt 미래융합사업추진실(2017), 실감미디어 서비스에 대한 인식 및 태도조사
9. 한국VRAR산업협회(2018), VR·AR 산업 실태조사 보고서
10. 현대경제연구원(2017), 국내외 AR/VR 산업현황 및 시사점
11. 한국기업교육학회(2010), HRD 용어 사전
12. 네이버 지식백과, ICT 시사상식
13. 한겨레신문 기사(2015), “5G 이동통신, 더 빨라져서 뭐할라고?”
14. Digi-Capital(Q4, 2017), Augmented/Virtual Reality Report
15. Ericsson(2018), Ericsson Mobility Report
16. Ericsson(2017), The 5G Business potential
17. GSMA Intelligence (2014), Understanding 5G
18. ITU(2018), Key feature and requirements of 5G/IMT-2020 networks

19. Arthur D Little(2016), Major strategic choices ahead of Telcos: Reconfiguring for value
20. P, Milgram and F, Keshion(1994), A taxonomy of mixed reality visual display, IEICE Transactions on Information and systems, E77-D, 1321~1329P

# 융합연구리뷰

Convergence Research Review 2018 September vol.4 no.9

---

<http://cipc.kist.re.kr>

# 02

## 가상 햅틱 장치를 통한 몰입형 VR/AR 시스템 현황 및 발전 방향

포항공과대학교 컴퓨터공학과 **최승문** 교수 (choism@postech.ac.kr)

한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 **김상연** 교수

경희대학교 컴퓨터공학과 **전석희** 교수

고려대학교 컴퓨터학과 **김정현** 교수

## 01' 서론

가상현실(Virtual Reality, VR)에 대한 연구는 1990년대 초반에 시작되어 학계에서 꾸준한 연구가 이루어져 왔다. 산업계에서는 주로 가상훈련, 데이터 가시화 등 특별한 필요가 있는 분야를 중심으로 관련 제품이 개발되고 사용되어 왔다. 그러다가 근래 2016년에 미국 오쿨러스(Oculus)사에서 Rift라는 이름의 HMD(Head Mounted Display)를 출시하면서 산업계에서 VR에 대한 관심이 가히 폭발적으로 증가하였다. 기존 HMD에 비해 성능은 매우 높지만 가격은 몇십 분의 1 수준으로 저렴한 HMD를 페이스북(Facebook), HTC, 소니(Sony), 삼성, 마이크로소프트(Microsoft) 등 다양한 대기업에서 경쟁적으로 개발, 출시하고 있다. 또한 유니티(Unity), 언리얼(Unreal) 등 VR 응용 개발을 쉽게 할 수 있도록 도와 주는 게임 엔진의 대중화에 힘입어 다양한 VR 관련 응용이 개발, 출시되고 있다. 일반 사용자가 즐길 수 있는 VR 콘텐츠에 대한 요구도 계속 높아지고 있는 상황으로, 가히 VR의 전성기가 도래했다고 이야기할 수 있을 정도이다.

하지만 VR의 현재 기술로는 사용자에게 가상환경에서 실제와 유사한 고품질의 경험을 다양한 경우에 대하여 제공하기 어렵다. 인간은 가장 중요한 감각인 시각, 청각, 촉각, 후각, 미각의 오감을 비롯해 열감각, 근감각, 운동감각, 방향감각, 균형감각, 고통, 시간감각 등 매우 다양한 감각을 가지고 있다. 이 중에서 현재 VR에서 어느 정도 사실적으로 시뮬레이션하고 재현할 수 있는 감각은 시각과 청각에 그치고 있다. 촉각에 대한 연구도 햅틱스(Haptics)란 이름으로 상당 기간 진행되어 왔으나, 아직 그 완성도가 시각이나 청각에 미치지 못하고 있다. 다른 감각을 재현하기 위한 기술과 연구는 상대적으로 발전 정도가 더 아쉬운 편이다. 또한 VR 응용에 입력으로 사용하기 위해 사용자의 음성과 동작을 인식하는 센싱과 인식 기술도 지금보다 훨씬 더 성숙되어야 한다.

이 글에서는 사용자의 몰입도를 향상시키기 위해 VR이나 증강현실(Augmented Reality, AR)에서 사용할 수 있는 햅틱스 기술에 대해 알아 보고 향후 발전 방향을 예측해 보고자 한다. 햅틱스 기술을 사용하면 사용

자가 촉감, 근감각 등을 느끼는 물리적 자극을 재현할 수 있다. 햅틱스 기술은 사용자가 피부 내의 수용체와 신체 내부의 근육, 힘줄, 관절 등에 분포한 수용체에서 느끼는 감각을 대상으로 한다. 햅틱스 기술을 잘 활용하면 사용자가 VR에서 가상 물체를 만지고 조작하거나, 걷거나 뛰면서 움직이는 등 다양한 신체 활동을 사실적으로 재현, 경험하게 하여 몰입도와 사실성을 크게 향상시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.

2장에서는 VR/AR에서 사용할 수 있는 햅틱 장치의 종류와 원리, 실제 장비의 예시 등을 소개한다. 3장에서는 햅틱 장비를 사용한 VR에서의 렌더링, 4절에서는 AR에서의 렌더링에 대한 기본적인 이론, 종류, 현황 등을 서술한다. 5장에서는 시각, 청각, 햅틱을 포함한 몰입형 VR/AR 장비 및 렌더링 기술, 설계 방법 등에 대해 설명한다. 각 장에는 해당 기술의 향후 전망에 대해 조망하는 부분도 포함되어 있다. 마지막으로 6장에서 글의 내용을 요약한 후 이 소고를 마무리하고자 한다.

## 02 | 햅틱 장치

햅틱 장치는 크게 근감각(역감)을 전달해 주는 장치와 피부감각(촉감)을 전달해 주는 장치로 나눌 수 있다. 본 장에서는 각각의 장치에 대해서 상세히 소개한다.

### 2.1 근감각 햅틱 장치

근감각을 전달해 주는 장치는 일반적으로 로봇 팔과 유사하게 구성된 기계적 장치이다. 이 장치는 컴퓨터에 의해 제어됨으로 사용자의 명령을 가상의 물체 또는 원격지에 있는 물체에 전달해 주고 상호작용을 할 때 발생하는 힘을 사용자에게 되돌려준다. 일반 입력 장치와는 다르게 힘을 발생시켜 사용자에게 전달하기 때

문에 사용자에게 몰입감이나 현장감을 더해준다. 그러므로 수술로봇, 재활훈련시스템, 비행, 의료 등의 모의 훈련 시스템, 게임 등의 엔터테인먼트 분야 등에도 폭넓게 사용될 수 있다. 이러한 다양한 분야에서 몰입감을 전달하기 이상적인 근감각 햅틱 장치는 다음과 같은 특징을 가져야 한다.

- 1) 작은 겉보기 질량/관성 (apparent mass/inertia)
- 2) 낮은 마찰, 백래시(backlash)
- 3) 높은 역구동성(backdrivability)
- 4) 높은 힘 출력 및 넓은 주파수 대역폭(bandwidth)
- 5) 적절한 작업공간의 부피

그러나 이런 특징들은 서로 상충되는 경우가 많아서 이 5가지의 조건을 모두 만족시키는 근감각 햅틱 장치를 개발하는 것은 쉽지 않다. 예를 들어 큰 작업 공간과 큰 힘을 사용자에게 제공하기 위해서는 햅틱 장치를 크게 설계해야 하나, 이 경우 햅틱 장치의 내부에서 발생하는 마찰력과 관성이 커지게 되므로 1), 2) 항목을 만족시키지 못한다. 그러므로 햅틱 장치를 어떤 목적을 위하여 사용할 것인지를 결정하고 그에 맞는 햅틱 장치를 개발/사용해야 한다. 만일 큰 동적 힘과 동작을 필요로 한다면, 생성할 수 있는 힘의 범위와 작업 공간이 가장 중요한 고려 대상이 될 것이고 힘의 대역폭은 그 다음 고려 대상이 될 것이다. 이에 반해 만일 작은 질량을 갖는 물체와 작은 움직임 통하여 사용자와 상호작용을 하기를 원한다면 힘 대역폭이 가장 중요한 척도가 될 것이다.

근감각 햅틱 장치를 개발하는데 있어서 또 하나 중요한 사항은 사용자의 입력을 정밀하게 측정하여 가상 환경 또는 원격환경에 전달할 수 있어야 하며, 또한 이 환경에서 발생하는 상호작용 힘을 사용자에게 높은 분해능을 가지고 제시할 수 있어야 한다. 다시 말해서, 근감각 햅틱 장치는 임의의 방향으로 사용자의 움직임을 전달하고, 임의의 방향으로 원하는 크기의 힘을 정확하게 생성할 수 있어야 한다. 이런 특징을 민첩성(dexterity)이라고 하며 햅틱 장치의 성능을 측정하는 주요한 요소로 사용된다.

근감각 햅틱 장치는 기준에 따라 여러 가지 방법으로 분류할 수 있는데, 가장 크게는 신체 부착 여부에 따라 책상 등에 올려놓고 사용하는 데스크탑 형<그림 1, 2>과 신체에 부착할 수 있는 외골격(exo-skeleton)형<그림 3>으로 나눌 수 있다. 또한 데스크탑 형 근감각 햅틱 장치는 기구 구조에 따라 직렬형<그림 1>과 병렬

형<그림 2>으로 나눌 수 있다. 직렬형 햅틱 장치는 기구 내의 링크 및 관절이 직렬로 연결된 구조로 되어 있다. 이러한 구조적인 특징으로 인하여 직렬형 햅틱 장치는 넓은 작업 공간을 갖고 기구의 정기구학(forward kinematics) 및 동역학적 해석이 쉽지만 큰 힘을 발생시키기 어렵다. 또한 기구들이 직렬로 연결되어 있기 때문에 관절의 측정 오차들이 누적되고, 누적된 오차로 인하여 정밀 위치 제어가 쉽지 않다는 단점이 있다.

그림 1

직렬형 햅틱장치



3D Systems, Phantom Premium



Haption, Virtouse 6D

기구부의 링크/관절이 병렬로 연결된 구조를 가지고 있는 병렬형 햅틱 장치는 큰 힘의 표현이 가능하고, 힘이 분산되기 때문에 내구성이 강하고 안정된 구조를 갖는다. 또한 관절에서 발생하는 오차의 누적이 크지 않으므로 정밀 위치 제어가 가능하다. 반면에 직렬형 햅틱 장치보다 작업 공간이 작고, 정기구학 해석이 매우 힘들며, 정상적인 제어가 불가능한 지점(singular point)이 존재 하므로 제어가 용이하지 않다는 단점이 있다.

그림 2

병렬형 햅틱장치



Novint, Falcon



ForceDimension, Omega.3

또한 최근 들어 착용형 장치 기술의 급속한 발전으로 인해 HMD와 같은 저가격, 경량 개인용 가상현실 기기와 함께 사용할 수 있는 신체에 부착 가능한 외골격형 근감각 햅틱장치가 다시 주목받고 있다. 외골격형 햅틱 장치 <그림 3>은 신체의 외부에 부착하는 형태이며 부피가 크고 무겁지만 인간의 움직임 그대로 반영할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이와 같은 외골격형 햅틱 장치는 전기 모터나 케이블들을 연결하여 사람 팔의 움직임을 제한하며, 손가락 또는 손 전체에 반력을 제공할 수 있다.

그림 3

외골격형 햅틱장치



DexRobotiscs, Dexmo



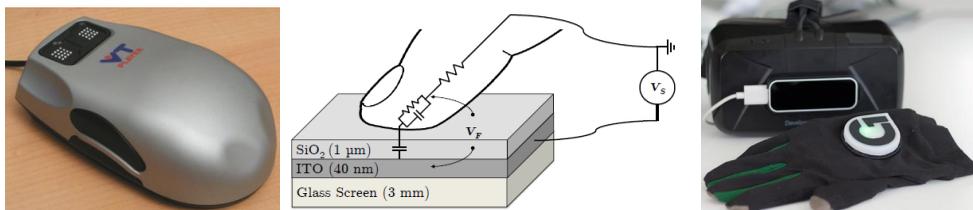
Haptx

## 2.2 피부 감각 햅틱 장치

근감각 햅틱 장치는 물체의 형태나 단단함을 표현하는데 주로 사용하는 반면, 물체의 재질감(미세한 표면 돌기, 부드러운/거친 정도 등)을 표현하기 위해 다양한 피부감각 햅틱 장치가 사용된다. 예를 들어 <그림 4>의 좌측에 있는 장치는 일반 마우스의 버튼 위 2개의 4x4의 능동식 핀을 사용한 점자 디스플레이이다[1]. 가운데 그림은 근래 많은 관심을 받고 있는 전기진동(Electrovibration) 방식의 피부 감각 장치의 원리를 설명하고 있다[2]. 피부와 장치 표면이 모두 전기적으로 절연체를 이루고, 장치 가운데의 투명 전극과 피부 내의 조직이 전기적 도체의 역할을 하여 전체적으로 축전기(Capacitor)의 구조를 가지고 있다. 이 때 교류를 걸어 주면 정전기력(Electrostatic Force)이 발생하여 사용자의 손가락이 장치 표면을 옆으로 움직이면서 만지면 기계적인 진동을 느낄 수 있다. 우측의 그림은 부드러운 장갑에 다수의 진동 모터를 장착하여 물체를 만질 때 발생하는 촉감을 묘사하는 장비이다[3].

그림 4

피부 감각 햅틱장치



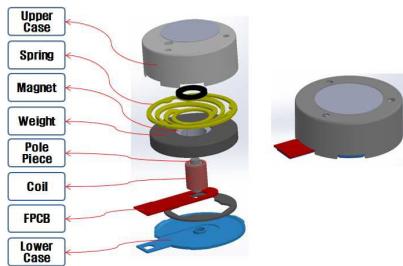
위의 예제와 같이 피부 감각 햅틱 장치는 일반적으로 전기적인 방식이나 기계적인 방식을 따른다. 전기적 자극 방법은 에너지 소비가 적고 빠른 응답과 작은 부피를 갖는다. 또한 피부와 지속적인 접촉을 유지할 수 있고, 기계적으로 움직이는 부분이 없어 오작동이 비교적 적다. 이와 같은 전기적 자극 방식을 이용한 피부 감각 장치는 정전기력을 이용하여 마찰력을 변화시켜 표면의 거칠기나 표면의 미세한 형태를 생성하거나 전극의 접촉을 통하여 자극을 생성한다.

기계적 자극 방식을 이용한 장치는 선형공진모터<그림 5a>나 피에조 모터<그림 5b>와 같은 구동이 단순하며 크기가 작은 구동기를 주로 이용한다. 선형공진모터는 일반적으로 크게 스프링, 영구자석, 진동자와 솔레노이드로 구성되어 있다. 솔레노이드에 인가되는 전압에 따라 솔레노이드와 영구자석 사이에는 척력과 인력이 발생하여 진동자가 상/하로 움직인다. 이와 같은 상하 움직임이 공진주파수와 일치하게 되면 선형공진 모터는 사람이 느낄 수 있는 강한 진동을 발생시킨다. 피에조 모터는 전기에너지를 특정 물질에 인가하면 변형이 발생하고 물질에 변형을 가하면 전기 에너지가 발생하는 피에조 물질을 이용한다. 가장 많이 사용되는 방법은 피에조 물질 두 개를 겹쳐 붙이고 한쪽 끝을 고정시킨다. 그리고 두 피에조 물질 중 어느 하나에 전압을 가하게 되면 전압이 인가된 물질은 길이 방향으로 늘어나려고 하고 다른 하나는 늘어나지 않고 그대로 있으므로 전체적으로는 아래쪽 또는 위쪽으로 휘게 되고 전압을 제거하게 되면 다시 원래대로 돌아오게 된다.

그림 5

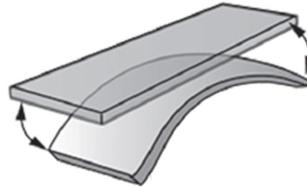
피부 감각 햅틱 장치에 사용되고 있는 소형 구동기

(a)



(a) 선형진동모터

(b)



(b) 피에조 모터

### 2.3 향후 전망 및 유연 촉감 구동기

최근 들어 사용자가 얇고 유연한 가상현실 기기(햅틱 장갑)에 관심을 보임에 따라 햅틱 구동기 및 햅틱 장치를 얇고 유연하게 개발하려는 연구가 조금씩 진행되고 있다. 얇고 유연한 햅틱 구동기는 전기활성고분자(electro-active polymer; EAP)를 기반으로 개발되고 있다[4, 5, 6, 7, 8, 9]. 유연한 구동기를 개발하는데 있어서 일반적으로 두 종류의 전기활성고분자(이온형 및 비이온형)가 이용되고 있다. 이온형 전기활성고분자(ionic EAP)에서는 이온의 이동이나 확산이 고분자를 움직이게 한다. 이온형 전기활성고분자는 저전압에서도 동작되며 변형율이 매우 크지만 동작을 위해서는 항상 젖은 상태로 존재해야 한다. 또 다른 단점으로는 이온형 전기활성고분자를 사용해서는 사람의 기계적 수용기(mechanoreceptor)를 자극시킬 만한 충분한 힘을 발생시키기 어렵다는 것이다. 동작 환경에 관계없이 언제 어느 곳에서나 강한 힘을 생성하기 위해서는 비이온형 전기활성고분자가 이용된다. 일반적으로 비이온형 전기활성고분자의 윗면과 아랫면에 전극을 연결하고 전극에 전압을 가하면 전기활성고분자는 길이 방향으로 늘어나고 두께 방향으로 압축된다. 인가되는 전압을 제거하는 순간 전기활성고분자는 원래 형상으로 되돌아오기 때문에 유연한 햅틱 모터로 사용되기에 적합하다. <표 1>은 이온형/비이온형의 전기활성고분자들의 특징 및 장단점을 보여준다. 이와 같은 전기

활성고분자는 유연한 촉감 장치의 매우 중요한 요소이므로 햅틱 장감을 비롯한 여러 햅틱 장치에 다양하게 활용될 수 있다. 그러므로 가상·증강현실에서 사용자가 가상의 물체를 조작할 때 사용자에게 몰입감을 전달해주는 중요한 요소가 될 것이다.

**표 1** 이온형/비이온형 전기활성고분자들의 특징 및 장단점

Types		Advantages	Disadvantages
Ionic polymers		Low driving voltage Large displacement	Should be wet Low response rate
Non-ionic polymers	Dielectric elastomers	Strong vibration force Large strain rate	Stretchable electrodes Relatively high input voltages (>2kV) Low durability (pre-stretching)
	Ferroelectric	Simple fabrication process	Stretchable electrodes Relatively high input voltages (>2kV) Low vibration force
	Cellulose	Eco-friendly	Stretchable electrode Low flexibility Low vibration force
	Poly(vinyl-chloride) (PVC) gels	No stretchable electrode Relatively low voltage (400~1kV) Large deformation	Small force Low Response rate

## 03<sup>1</sup> 햅틱 장치를 사용한 VR 렌더링

2장에서 설명한 다양한 햅틱 장치는 여러 용도로 사용된다. 가장 전형적인 사용의 예는 VR, AR에서 찾을 수 있으나, 근래에는 모바일 기기, 자동차 등 다양한 실제 제품에서 개선된 사용자 인터페이스를 제공하기 위해서도 활발히 사용하고 있다. 본 장에서는 이 글의 취지와 적합하도록 VR에서 햅틱 장치를 사용하기 위해서 필요한 소프트웨어 및 알고리즘에 대해서 설명하고자 한다. 이는 전통적인 분야이며, 상대적으로 새로운 분야인 햅틱스를 AR에 활용하는 것에 대해서는 4장에 설명되어 있다.

일반적으로 햅틱 장치를 사용하여 주어진 가상 환경 내의 다양한 가상 물체의 물리적 혹은 다양한 용도의 추상적 효과를 생성하기 위한 일련의 알고리즘적 과정을 햅틱 렌더링(Rendering)이라고 한다. 그래픽스에서 사용하는 렌더링과 같은 의미로 사용된다고 생각하면 큰 무리가 없다. 햅틱 렌더링을 분류하는 방법은 여러가지가 있을 수 있으나, 여기서는 2장의 햅틱 장치의 분류를 따르고자 한다. 즉 근감각 햅틱 장치를 사용하는 경우와 피부 감각 햅틱 장치를 사용하는 경우를 분리해서 생각하고자 한다. 두 장치의 물리적 특성과 용도에 따라 햅틱 렌더링의 목적과 방식이 많이 달라지기 때문이다. 마지막으로 햅틱스의 VR 응용에 대한 현재 이슈와 향후 전망에 대해 간략히 알아 본다.

### 3.1 근감각 햅틱 장치를 사용한 VR 렌더링

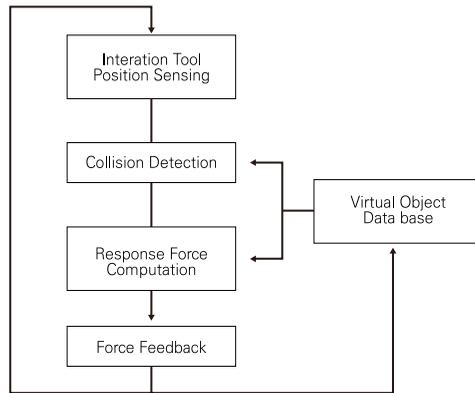
근감각 햅틱 장치는 일반적으로 소형 로봇과 그 구조 및 동작 방식에 있어서 매우 유사하다. 사용자는 데스크탑 근감각 햅틱 장치에 붙어 있는 상호작용도구(Interaction Tool; 보통 골무, 연필, 혹은 공처럼 생긴 경우가 많음)를 손에 쥐거나 <그림 1, 2> 혹은 외골격 장비를 몸에 입고 가상 환경과 상호작용을 한다. 이러한 경우 대부분 한 점에서 사용자와 가상 물체와의 상호작용이 발생한다고 가정한다(예: 손가락 끝이 접촉하는 가상 물체 위의 점).

이러한 점 접촉 상호 작용 렌더링을 위해서는 일반적으로 다음의 순서를 따른다(<그림 6> 참조).

- 1) 상호작용도구의 위치 측정: 사용자가 손에 상호작용도구를 쥐고 움직이면 이 위치를 측정한다. 일반적으로 햅틱 장비에 탑재되어 있는 각 관절의 위치/각도 센서로부터 값을 읽고 이를 햅틱 장비의 정기구학에 대입하면 상호작용도구의 위치를 구할 수 있다.
- 2) 상호작용도구와 가상물체와의 충돌 감지: 상호작용도구의 위치를 가상 공간으로 대응시킨 후 가상 물체와 접촉을 하고 있는지를 검사한다. 만약 접촉이 되어 있으면 적절한 반발력을 계산하기 위하여 다음 단계로 진행한다. 그렇지 않으면 사용자가 빈 공간을 탐색하고 있는 중이므로 힘을 발생시키지 않아야 한다. 따라서 1)의 단계로 돌아가서 같은 과정을 반복한다.
- 3) 반발력 계산: 각 가상 물체에는 일반적으로 모양에 대한 정보와 다양한 물성(경도 계수, 점성 계수, 마찰 계수 등)이 부여되어 있다. 현재 접촉이 되어 있는 가상 물체의 성질과 상호작용도구의 위치를 고려하여 적절한 반발력을 계산한다. 이 때 목표는 상호작용도구를 가상 물체 밖으로 밀어내는 것과 그 물체의 물성을 정확히 전달하는 것이며 이를 잘 조화시켜야 한다.
- 4) 반발력 생성: 반발력을 계산한 후, 실제로 근감각 햅틱 장비를 사용하여 실제로 물리적 반발력을 생성해야 한다. 이를 위해 근감각 햅틱 장비가 가지고 있는 다수의 구동기를 사용하는데, 실제로 각 구동기를 어떻게 제어하는지는 로봇 공학의 힘제어 이론과 기술을 사용한다. 구체적인 구현은 근감각 햅틱 장비에 따라 달라지므로, 일반적으로 제조사에게 관련 라이브러리를 제공한다.
- 5) 가상 물체 상태 갱신: 가상 물체는 정적이고 고정되어 있을 수도 있으나, 필요에 따라 움직이는 동적 물체일 수도 있고, 만지면 모양이 변하는 변형체일 수도 있다. 4단계에서 계산된 반발력에 따라 영향이 있는 모든 가상 물체의 상태를 적절하게 갱신하여야 한다.
- 6) 위의 모든 과정을 반복한다. 이 때 그 갱신 주기가 매우 빨라야 한다. 그렇지 않으면 근감각 햅틱 장비가 수십-수백 Hz의 주파수로 떠는 현상이 발생한다. 보통 햅틱 렌더링의 안정성(Stability)이 깨졌다고 표현한다. 안정성을 담보하기 위해 필요한 갱신 주기는 사용자 장비와 가상 물체의 물성 등에 따라 달라지나, 일반적으로 1 kHz 정도를 추천하고 있다.

그림 6

근감각 장비를 사용한 햅틱 렌더링의 일반적 순서



위의 과정은 일반적인 그래픽스의 파이프라인과 유사한 점이 있으나 다음의 두 가지 면에서 큰 차이를 보인다. 충돌 감지 및 반발력 계산에서 접촉 지점 근처의 지역적 정보만 고려해도 충분하므로 다루는 정보의 양이 그래픽스에 비해 매우 작으나 갱신 주기가 30배 이상 빨라야 한다.

상기에 설명한 햅틱 렌더링의 과정은 임피던스(Impedance) 방식의 근감각 장비에 해당된다. 임피던스 방식의 장비는 상호작용도구의 위치를 입력으로 받고 힘을 출력으로 내보낸다. 반대로 힘을 입력으로, 위치를 출력으로 내보내는 장비를 어드미턴스(Admittance) 방식이라고 한다. 주로 매우 큰 힘이 필요한 대형 근감각 장비에서 사용하는 방식으로, 힘 센서가 부가적으로 필요하다. 이 때는 위의 2-4단계가 순서가 반대로 수행된다고 생각하면 큰 무리가 없다.

충돌 감지, 반발력 계산, 가상 물체 상태 갱신에 사용되는 구체적인 알고리즘은 상호작용도구와 가상 물체를 표현하는 방식과 그 성질에 따라 매우 달라진다. 먼저 상호작용도구의 특성에 따라 3자유도 혹은 6자유도 렌더링이 있다. 3자유도 렌더링은 상호작용도구에 전달할 힘만 구하면 되는 경우이다. 대표적인 예로써 사용자가 한 손가락으로 혹은 펜 등의 끝으로 가상 물체를 만지는 경우가 있으며, 가상 공간에서의 접촉은 한 점과 가상 물체 사이의 접촉으로 다루어진다. 사용하는 근감각 햅틱 장비는 최소한 3개 이상의 독립적인 구동기를 가지고 3차원 힘을 생성할 수 있어야 한다. 6자유도 렌더링은 상호작용도구에 힘과 회전력인 토

크가 모두 발생하는 경우이다. 이 경우 상호작용도구가 부피를 가지는 가상 물체로 모델링되며, 대부분 사용자가 다양한 도구를 손에 쥐고 가상 물체를 조작하는 경우이다. 이 때는 상호작용도구의 어떤 부분과도 가상 물체와 충돌이 발생할 수 있으며, 이 때 토크 또한 발생할 수 있다. 따라서 근감각 햅틱 장비 또한 6개 이상의 구동기를 가지고 3차원 힘과 3차원 토크를 발생시킬 수 있어야 한다. 일반적으로 6자유도 렌더링의 알고리즘이 훨씬 더 복잡한 편이다.

상호작용도구와 가상 물체의 모양과 성질을 표현하기 위해 사용하는 수학적 모델 선정도 매우 중요하다. 가장 많이 사용되는 모델은 그래픽스와 유사하게 메쉬(mesh), 볼륨(volume), 점구름(point cloud) 등이 있으며, 주로 활용되는 용도도 동일하다. 즉 햅틱 렌더링을 위해서 특별한 모델을 개발하기 보다는 그래픽스에서 사용되는 모델을 그대로 활용하는 추세라고 보면 무방하다. 이 방식을 사용하면 일반적으로 가상 물체를 보여주기 위해서 그래픽 렌더링도 같이 수행하므로 컴퓨터가 관리해야 하는 데이터의 양을 줄이고, 그래픽-햅틱 모델 사이의 데이터 동기 문제를 전혀 신경 쓰지 않아도 된다는 장점이 있다.

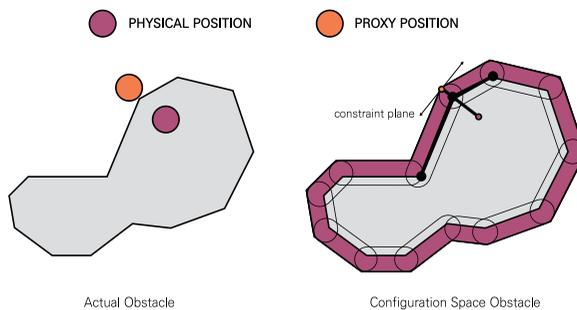
상호작용도구와 가상 물체 간의 충돌 감지는 햅틱 렌더링 전체적으로 가장 계산 부하가 많은 부분 중의 하나다. 특히 상호작용도구와 가상 물체 모두 메쉬로 표현되어 있을 때가 가장 복잡한 편이다. 이는 접촉이 부피 간의 교집합에서 발생하고 또한 여러 개의 접촉 부피가 존재할 수 있어서이다. 볼륨 표현의 경우에는 주어진 점 혹은 부피와 복셀(Voxel) 간의 중복(Overlap)만 감지하면 되므로 상대적으로 매우 간단하다. 점구름의 경우도 마찬가지다. 단 일반적인 그래픽스의 충돌감지와는 다르게 상호작용도구와 가상 물체 간의 겹친 정도를 표현하는 값을 정의하고 계산해 내야 한다. 이 겹친 정도는 다음 단계에서 반발력을 계산할 때 그 힘의 크기와 방향을 결정하는데 결정적인 정보로 사용된다.

다음 단계는 사용자가 쥐고 있는 상호작용도구에 실제로 내보낼 반발력을 계산하는 것이며, 햅틱 렌더링의 사실성을 결정하는 부분이라고 할 수 있다. 당연히 응용의 종류에 따라서 어떤 물리적 성질을 고려할 것인지가 결정되고, 그 성질을 어떤 방식으로 반발력 계산에 포함시킬 것인지는 물체의 모델에 따라 달라지는 경우가 많다. 주로 고려되는 물리적 성질로는 물체의 모양, 탄성, 점성, 마찰, 질감(texture) 등이 있다. 그림 7에 강체의 3자유도 렌더링을 위해 표준적으로 사용되는 가상 대리자(Virtual Proxy) 알고리즘의 기본적인 개념을 소개하였다. 6자유도 렌더링의 경우에는 상호작용도구의 성질도 대칭적으로 고려되어야 해서 알고리즘이 현격하게 복잡해진다. 또한 물체가 강체인 경우는 관련된 물리 법칙이 상대적으로 간단하지만, 변형

체인 경우는 물리적으로 정확한 계산이 매우 어렵다. 일반적으로 물리학에서는 변형체의 정확한 시뮬레이션을 위해서는 유한요소법(Finite Element Method) 등 물체를 작은 부피를 가지는 다수의 기본 물체로 나누고 각 기본 물체간의 움직임을 계산하여 물체의 전체 거동을 계산하는 방식을 따른다. 하지만 이런 방식은 계산량이 매우 많아 빠른 속도를 요하는 햅틱 렌더링에는 적합하지 않아, 정확도는 낮추되 계산 속도를 높이는 방식의 알고리즘이 주로 요구되고 개발되어 왔다. 따라서 변형체가 어떤 모델을 사용하여 표현되어 있는가에 따라서 반발력 계산 방식이 달라진다.

그림 7

가상 대리자 알고리즘의 기본 개념[10]



사용자가 상호작용도구를 움직임에 따라 상호작용도구의 위치는 가상 물체의 내부로 들어 올 수 있다. 이는 가상 환경이기 때문에 발생할 수 있는 경우이다. 만약 실제 환경이라면 이러한 관통이 발생할 수 없으므로, 실제 환경에서 물리적 법칙에 따라 상호작용도구가 있어야 할 위치에 가상 대리자를 가져다 놓는다. 그러면 상호작용도구의 실제 위치와 가상 대리자의 위치 사이에 차이가 발생하고, 이 차이를 사용하여 상호작용도구를 가상 대리자의 위치로 움직이도록 하는데 필요한 힘을 계산하여 이를 근감각 햅틱 장비를 사용하여 발생시킨다. 복잡한 물리 법칙과 과거 상호작용도구의 위치를 가상 대리자라는 하나의 점으로 축약시켜 표현하여 3자유도 렌더링의 목적을 훌륭하게 달성하는 알고리즘이다. 이는 현재 햅틱 렌더링 라이브러리에 기본적으로 사용되고 있으며 다른 알고리즘에도 상당한 영향을 미쳤다.

마지막으로 충돌이 발생한 가상 물체의 상태를 갱신하기 위해서 고려하는 경우는 크게 두 가지이다. 해당 물체가 동적으로 움직일 수 있는 경우에는 주로 물리 엔진(Physics engine)을 사용한다. 따로 햅틱 렌더링

용으로 물리 엔진을 개발할 필요는 없으며 그래픽을 위한 물리 엔진을 같이 사용해도 충분하다. 다만 물리 엔진의 속도가 햅틱 렌더링에서 필요한 정보보다 상당히 느리므로, 갱신 속도가 느린 물리 엔진의 결과를 적절하게 보강하거나 예측하여 사용하는 것이 필요하다. 해당 물체가 변형체인 경우에는 물체 모양의 변형을 계산해야 한다. 전술한 바와 같이 이는 계산량이 매우 많아 빠른 속도를 요하는 햅틱 렌더링에서 가장 난제 중의 하나이다. 일반적으로 물리적인 사실성과 계산 속도 간에 절충을 잘 해야 하며, 아직도 많은 부분이 풀리지 않은 상태로 남아 있다.

다양한 근감각 햅틱 장비를 지원하는 햅틱 렌더링 라이브러리의 대표적인 예로 CHAI3D([www.chai3d.org](http://www.chai3d.org))를 추천할 수 있다. 이는 스탠포드 대학의 햅틱스 연구개발자를 중심으로 2000년대 중반부터 꾸준히 개발해 온 C++ 기반 오픈 소스 라이브러리이다. 이는 다음과 같은 다양한 장점을 가지고 있다.

- 다양한 근감각 햅틱 장비의 지원
- OpenGL과 융합되어 기본적인 그래픽스 기능 제공
- OpenAL을 지원하여 물리적 사운드 렌더링 지원
- 메쉬, 볼륨, 점구름 등 다양한 모델 지원
- 가상 대리자, 볼륨 렌더링, 마찰, 진동, 다중 접촉 렌더링 지원
- 기본적인 물리 엔진, 변형체 모듈 지원

그림 8

근감각 햅틱 렌더링의 VR 응용 사례



두뇌를 눈으로 보고 손으로 만지고 있는 장면



다지 접촉 햅틱 렌더링의 예 (사용하고 있는 장비는 여러 개의 손가락에 동시에 근감각 피드백을 전달할 수 있는 특수한 장비임)

근감각 햅틱 장비를 사용하여 VR에서 의료수술 계획 및 연습, 다양한 훈련 시뮬레이터, 로봇 시뮬레이션 등 다양한 응용 사례가 개발되어 왔다(그림 8) 참조).

근감각 햅틱 장비를 사용한 렌더링은 많은 연구가 진행되어 왔음에도 불구하고 아직 해결책이 제시되지 않은 문제가 상당히 많이 남아 있는 분야이다. 보다 자세한 내용을 참고하고 싶은 독자에게 [11]를 읽어보기를 권한다.

### 3.2 피부 감각 햅틱 장치를 사용한 VR 렌더링

피부 감각 햅틱 장치는 근감각 장치에 비하여 표준적인 형태가 없다. 구동기의 종류도 다양하고 진동, 충격, 전기자극, 마찰 등을 다양한 성질의 피부 자극을 사용하기도 하며, 다수의 구동기를 사용하여 몸의 여러 곳을 동시에 혹은 순차적으로 자극하기도 한다. 따라서 VR/AR만을 위하여 독점적으로 사용된다기보다는 컴퓨터 혹은 기계 인터페이스를 위해서 폭넓게 사용된다고 볼 수 있다. 따라서 본 절에서는 VR에서 주로 사용되는 피부 감각 햅틱 장치와 그 사용 방법에 대해 서술하고자 한다.

피부 감각 햅틱 장치를 VR에서 활용하는 가장 전형적인 용도는 사용자에게 충돌감을 전달해 주기 위해서이다. 손을 움직여서 물체와 접촉을 하거나 게임 중 외부에서 물체가 날라와서 사용자 몸에 부딪치는 등, 다양한 경우에 대해서 충돌이 발생할 때 그 사건 발생에 대한 물리적 정보를 사용자에게 사실적으로 알려 주기 위해서 사용한다. 이러한 경우 실제 상황에서는 대부분의 경우 충격(impact)이 가해지나, VR에서는 보통 진동자를 사용해서 충격을 모사한다(그림 9) 참조). 이는 기계적인 충격을 충실히 생성할 수 있는 소형 구동기를 만드는 것이 기술적으로 어렵고 그 가격이 상대적으로 높기 때문이다. VR 상에서 충돌 감지만 되면 소프트웨어적인 렌더링 알고리즘은 매우 단순하다. 원하는 인지적인 효과를 내기 위해 구동기와 거거서 발생하는 물리적 자극의 설계가 오히려 더 중요한 편이다. 인지적 효과를 극대화하기 위하여 많은 경우 정신물리학(Psychophysics)적 실험을 통하여 자극을 설계한다.

피부 감각 햅틱 렌더링의 VR에서의 또 다른 중요한 용도는 추상적인 정보를 전달해 주는 것이다. 여기서 추상적인 정보란 충돌 등 물리적인 사건이 발생하지 않더라도 사용자에게 전달하면 도움이 되는 다양한 부

가적인 정보를 의미한다. 예를 들어 <그림 10>에 보여진 HMD에 여러 개의 진동자를 붙이고 진동을 통해 사용자의 시선 변화를 유도하는 경우가 있다. HMD를 착용하고 360도 영화 등을 감상할 때 사용자가 특정한 부분을 보도록 유도하고 싶으면 해당 방향에 해당되는 진동자를 구동하여 사용자의 시선 변화를 유도한다. 사람의 몸의 특정 부위를 자극하면 그 부위 방향으로 자연스럽게 그 사람의 관심이 이동하는 현상을 잘 이용한 예라고 할 수 있다. 추상적 정보전달을 위한 햅틱스의 사용은 일반 사용자 인터페이스보다는 아직 VR에서 활용도가 상당히 떨어지기는 하나, VR 환경이 점점 더 복잡해지면서 그 중요성이 부각되고 있다. 해당 주제에 대해 좀 더 폭넓은 자료를 원하는 독자는 [12]를 참고하기 바란다.

그림 9

진동자를 사용하여 충동을 모사하는 VR 장비의 예



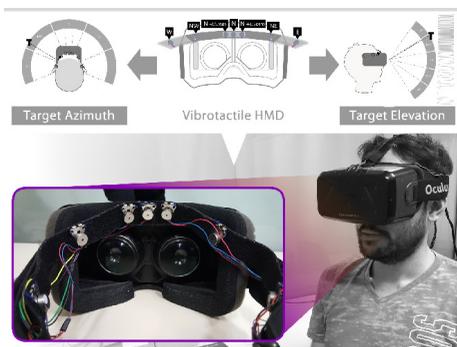
CyberGlove System사의 CyberGlove  
(데이터 글러브의 손가락 부분에 진동자가 장착되어 있고, 손가락이 가상 물체를 만지면 적절한 진동을 발생시킴)



bHaptics사의 Tactot  
(몸에 있는 조끼 형태의 장비로 다수의 진동자를 내장하고 있으며 몸에 충격이 전해져야 하는 상황이면 해당 진동자를 구동시켜 그 느낌을 재현함)

그림 10

진동자가 부착된 HMD(사용자의 시선 유도를 위하여 해당 방향에 있는 진동자를 구동시킴)



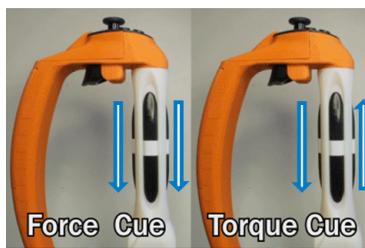
### 3.3 현 이슈 및 향후 전망

현재 VR과 관련한 햅틱 렌더링의 가장 큰 화두는 HMD와 함께 사용할 수 있는 소형, 고성능, 휴대용 햅틱 컨트롤러와 관련 렌더링 알고리즘의 개발이라고 할 수 있다. 현재 상용화된 HMD용 컨트롤러는 고성능의 위치 추적과 버튼을 사용한 사용자 입력에 초점을 맞추고 있다. 간단한 진동 피드백 정도의 기능은 포함되어 있으나 앞에서 서술한 것과 같은 고성능의 근감각 피드백 등은 포함되어 있지 않다.

<그림 11, 12>에 보면 관련 예가 제시되어 있다. <그림 11>에 있는 상용 장비는 핸들을 쥐고 있는 손바닥에 접촉되는 부분에 아래 위로 움직이는 몇 개의 구동부가 있고, 이 구동부의 상대적 움직임 방향을 조절하여 힘과 토크 등 다양한 근감각 피드백 효과를 만들어 낸다. 물론 이런 효과를 극대화하기 위하여 적절한 햅틱 렌더링 알고리즘이 필요하고 VR 응용의 콘텐츠에 적절하게 활용될 필요가 있다. <그림 12>에 있는 예는 개념적인 견본으로써, 조이스틱을 컨트롤러에 부착하여 가상 물체를 만질 때 근감각을 통하여 모양과 질감 등을 렌더링 할 수 있다는 것을 보여 주고 있다. 이처럼 HMD와 함께 사용할 수 있는 햅틱 기능이 포함된 장비는 학계 뿐만 아니라 관련 산업계에서도 큰 관심을 가지고 활발한 연구가 진행되고 있다.

그림 11

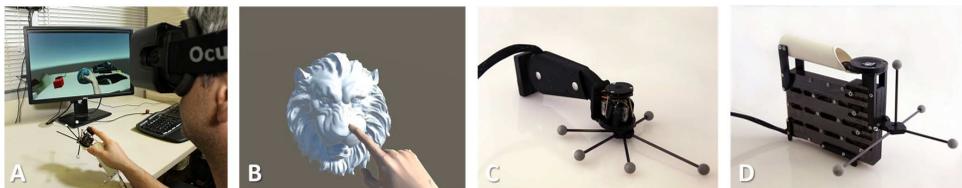
Tactical Haptics사의 Reactive Grip



VR용 컨트롤러로 개발되었으며, 우측 그림과 같이 손바닥에 접촉되는 부분의 슬라이더의 동작 방향을 조절하여 힘과 토크를 모두 발생시킬 수 있음

그림 12

HMD와 함께 사용하는 VR용 햅틱 컨트롤러[13]



소형 조이스틱을 추가하여 수직 방향의 힘과 수평 방향의 힘을 제공하여 질감 등을 렌더링 할 수 있음

다양한 햅틱 장비를 사용한 VR용 햅틱 렌더링은 햅틱스의 가장 기초적이면서 모든 응용에서 핵심적으로 사용되는 기술이다. 지난 20년 간의 꾸준한 연구에도 불구하고 아직 해결되지 않은 다양한 난제가 남아있다. 특히 근래 VR의 재부각에 힘입어 사용 편의성이 높은 햅틱 장비와 이를 활용한 햅틱 렌더링에 대한 관심이 높아지고 있어 당분간 이 분야에 대한 연구 및 개발이 각광을 받을 것으로 예상된다.

## 04' 햅틱 장치를 사용한 AR 렌더링

AR 기술은 때로는 VR 기술과 상호 보완하고, 때로는 서로 경쟁하면서 수많은 가능성을 보여주고 있는 차세대 기술 중의 하나로, 두 기술 모두 새로운 커뮤니케이션 미디어로서 자리매김 하고 있다[14]. 순수 VR 기술의 목표가 사용자의 모든 감각을 컴퓨터가 만들어 낸 인공적인 감각 정보로 덮어서 몰입을 유도하고 이를 이용해 사용자로 하여금 가상의 혹은 원격의 환경에 있는 것처럼 착각을 일으키게 하는 것이라면 AR 기술은 감각 정보의 일부만을 인공적으로 만들어내고 이를 적절히 실제에 동화되게 사용자에게 제공하여 실제 환경을 인공적인 감각 정보로 보강해 주는 역할을 한다.

VR과 비교해 AR은 큰 장점이 가지고 있는데 그것은 AR은 VR에 비해 사실적인 몰입을 위한 노력이 상대적으로 적게 든다는 점이다. 몰입에 필요한 모든 감각정보를 컴퓨터로 만들어내는 VR은 기존 이상의 몰입감을 만들어 내려면 기본적으로 필요한 입·출력장치 및 렌더링의 수준이 어느 정도 이상이 되어야 한다. 그 반면, 증강이 필요한 감각정보만을 인공적으로 만들어내는 AR은 현실 환경을 그대로 활용하기 때문에 큰 노력 없이도 사실성이 높은 몰입 환경을 만들어 낼 수 있다. 이는 상업적인 관점에서도 손쉬운 콘텐츠 생성, 상대적으로 낮은 입·출력 장치 및 프로세싱 장치 비용 등의 강점을 가지며 약간 지지부진한 VR 시장 확장의 대체재로서 일반 사용자로의 접근성을 높이는데 역할을 할 것으로 기대된다.

AR이 제대로 이 장점을 발현하려면 중요한 기술적인 장애물을 넘어야 한다. 그 중, 기술적으로 가장 중요한 문제는 “실제 감각과 인공의 감각을 어떻게 잘 혼합해서 사용자에게 전달할까”하는 문제이다. 사용자에게 최종적으로 전달되는 인공 감각이 의미가 있으려면 이 인공 감각이 주위의 현실과 구별이 어려울 만큼 사실적이거나 현실 환경과 공간적, 시간적, 의미적으로 적절히 연동되어야 한다. 이 부분은 사람의 인지특성부터 시작해서 입력장치, 감각 렌더링, 출력 장치까지 모두 아우르는 문제이다.

지금까지 대부분의 관련 연구는 “시각”의 증강에 관련된 연구였다. 실제의 시각적 장면에 가상의 그래픽을 어떻게 물리적으로 합쳐서 보여줄지(See-through 디스플레이 관련 연구), 가상 물체를 어떻게 시각적으로 현실 세계의 한 자리에 존재하는 것처럼 보여줄지(추적 및 정합 관련 연구) 등의 문제를 풀기 위해 근 20여 년 동안 컴퓨터 비전, 광학, 컴퓨터 그래픽스, 인간-컴퓨터 상호작용 연구자들이 연구해 온 결과, 시각적인 증강은 실용적으로 사용될 만큼 안정적이고 저비용의 기술이 개발되었고 이미 어느 정도의 시장이 형성된 기술이 되었다[14].

최근에 이러한 AR 개념을 시각이 아닌 다른 감각으로 확장하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그 중 가장 의미 있는 결과를 내고 있는 분야가 가상과 실제의 촉감을 섞는 햅틱 AR 분야이다[15]. 햅틱 AR은 실제 존재하는 촉각 감각에 가상으로 만들어진 촉감을 덧입혀서 현실 촉감을 증강하는 기술이다. 이 기술은 단순히 시각 증강환경 상의 가상 물체에 대한 촉각 피드백을 제공하기 위한 기술일 뿐만 아니라 실제 물체의 촉감 성질, 예를 들어 딱딱한 정도, 울퉁불퉁한 정도 등을 증강, 변형, 심지어는 제거해 줄 수 있는 기술이다.

햅틱 AR 기술이 제공할 수 있는 시나리오는 아주 다양하다. 우선 시각 AR의 대표적인 시나리오 중의 하나인 “아무것도 없는 곳에 시각적으로 새로운 가상의 물체를 만들어 내기”와 결합하여 새로운 가상 물체를 볼 수 있을 뿐만 아니라 만질 수도 있게 하는 것이 햅틱 AR의 가장 초보적인 시나리오이다. 이를 더 확장하여, 시각 AR이 실제 물체의 시각 성질(표면 질감, 색깔, 모양 등)을 변형시킬 수 있다면, 햅틱 AR은 실제 물체의 촉감 속성(딱딱한 정도, 표면 울퉁불퉁한 정도, 온도 등)을 변형시킬 수 있다. 예를 들어, 모양만 갖춘 스마트폰 모형이 있을 때, 모양은 그대로 두고 모형 표면의 촉감 질감만을 햅틱 AR 기술로 바꾸어 여러 가지 다양한 표면 질감을 만들어 볼 수 있다. 다양한 물리적인 모형 없이도 저비용으로 다양한 촉감 디자인을 테스트해 볼 수 있는 것이다. 또한 감각의 실제 증강에 좀 더 다가가는 응용을 생각해 볼 수 있다. 너무 작거나, 연하거나, 미세해서 인간의 능력으로는 인지가 불가능한 촉감 정보가 있을 때, 이를 햅틱 AR 장치로 선택적으로 증폭해서 사용자에게 만져볼 수 있게 할 수 있다.

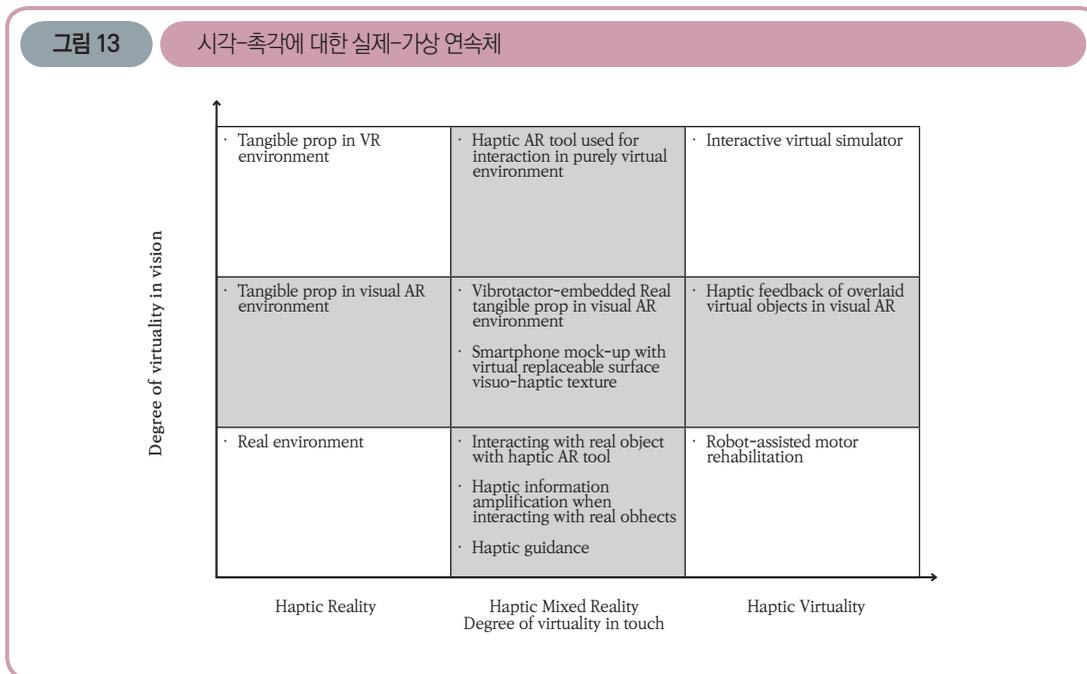
너무 차갑거나, 뜨겁거나, 화학적으로 위험해서 만지기 힘든 물체의 햅틱 정보 중 일부를 선택적으로 약화시키는 것도 가능하다. 최근 부상하고 있는 증강 인간(Augmented Human)이라는 연구분야에서 물리적인 증강 부분은 이러한 햅틱 AR 기술을 기반으로 하여 발전하고 있다. 증강인간 및 로보틱스에서 중요한 연구분야 중의 하나인 외골격 형의 입는 형태의 로봇 기술도 큰 의미에서는 햅틱 AR 기술이라고 볼 수 있다[19]. 햅틱 AR 관련 더 많은 예제는 [15]를 참조하기 바란다.

이번 장에서는 이러한 햅틱 AR이 기존 연구와 어떻게 연결되고, 어떻게 분류되는지에 대한 소개와 햅틱 AR의 기술적인 이슈 및 시스템, 그리고 향후 전망에 대해서 알아본다.

## 4.1 햅틱 AR의 개념 및 분류

Milgram이 1999년에 제시한 증강-가상 연속체는 지금까지도 AR의 일반 개념을 잘 설명하는 도구로 사용되고 있다. 순수 가상 환경과 순수 실제 환경 사이에 증강 또는 혼합 현실이 정의되는 이 연속체는 주로 시각 정보의 혼합 정도에 따라 환경을 구분하였다. 같은 개념을 촉각에 적용하고 시각과 촉각 연속체를 결합하

면 <그림 13>과 같은 시각-촉각 실제-가상 연속체를 구성할 수 있고 이는 시각과 촉각 모두를 아우르는 다중 감각(Multimodal) AR의 분류법으로 사용될 수 있다[15]. 이 시각-햅틱 연속체는 총 9개의 범주로 분류되며 음영 처리된 영역이 AR 영역에 속한다고 볼 수 있다. 각 영역의 대표적인 기존 연구 혹은 새로운 응용 예제는 아래 그림에 표시되어 있다(각 영역에 대한 자세한 설명 및 예제 연구 목록은 [15] 참조).



위의 분류법이 햅틱 AR을 이루는 감각 자극이 어떻게 생성되는지에 대한 분류였다면 가상-실제 혼합의 목적에 따라 시스템을 분류할 수도 있다[16]. 크게 두 가지의 목적이 있을 수 있다. 첫째는 가상 물체와 실제 환경을 섞어 순수 VR보다는 좀 더 그럴 듯하면서 손쉽게 사실적인 환경을 구성하기 위해 햅틱 AR을 사용하는 “인공 재창조 (Artificial Recreation)”의 목적이다. 둘째는 실제 자극에 가상의 햅틱 자극을 더해 줌으로써 컴퓨터의 능력을 이용해 인간의 지각 능력을 확장 시켜주는 “지각 증강 (Augmented Perception)” 목적이 있다. 전자의 예는 전술한 스마트폰 모형에 덧입혀진 교체 가능한 사실적인 촉감 질감과 실제 유방 내부에 가상으로 만들어진 종기 렌더링 등을 들 수 있고[17], 후자의 예는 햅틱 유도, 핸드폰 문자/전화 진동, 햅틱 데이터 시각화(Data Perceptualization) 등이 있다. 전자는 자극의 사실성이, 후자는 자극의 인지 성능이 중요하게 된다.

또 다른 분류법은 증강되는 주체 자극의 범위에 따른 분류이다[16]. 한 감각 내에서 다수의 다른 자극 속성이 있을 수 있는데(예를 들어, 햅틱 자극 내에 경도 속성, 질감 속성, 마찰 속성, 온도 속성 등이 따로 있음), 특정 속성 내에서 가상과 실제 자극의 혼합이 일어나는 속성 내 증강(Within-property augmentation)과 특정 속성은 완전 가상, 다른 속성은 완전 실제 같이 특정 속성만 가상으로 치환되고 나머지는 실제 자극을 그대로 쓰는 속성 외 증강(Between-property augmentation)이 있다. 속성 내 증강의 예는 실제 유방 내부에 가상의 유방암을 렌더링 하는 시스템을 예로 들 수 있다[17]. 이는 경도라는 하나의 햅틱 속성을 목표로 하여 가상과 실제 경도를 적절히 섞어 목표 경도를 만들어 내기 때문에 속성 내부에 혼합이 일어난다. 속성 외 증강은 스마트폰 모형 목업 질감 증강이 좋은 예이다. 경도, 모양 등의 속성은 실제 물체로부터 오는 감각을 그대로 사용하고 표면 질감 속성만 순수 가상의 감각으로 대체한다.

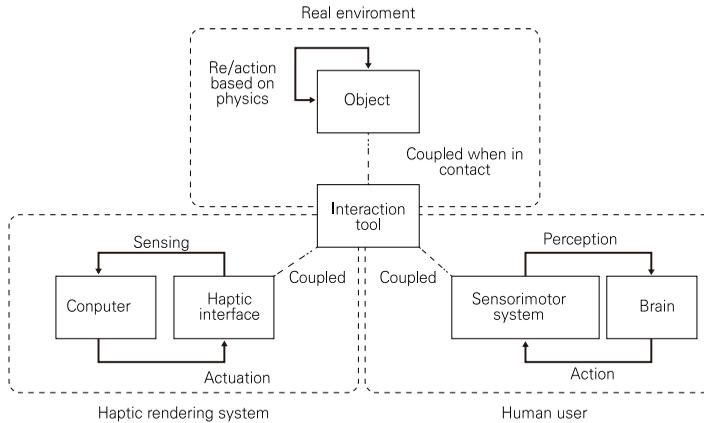
마지막 두 가지 분류법(혼합의 목적, 속성 내·외 혼합)은 사용자에게 전달되는 최종 피드백의 속성을 결정하는 요소로써, 햅틱 AR의 기술적인 특징을 구분하는 기준으로도 사용될 수 있다. 다음 절에서는 이 분류법에 따라 어떤 기술적인 연구 주제가 있는지 살펴본다.

## 4.2 햅틱 증강현실의 기술적 구성요소

일반적인 VR용 햅틱 시스템은 햅틱 장치의 상호작용도구가 햅틱 렌더링 시스템과 사용자를 물리적으로 연결시켜주어 햅틱 렌더링 시스템이 만들어 낸 가상의 촉감을 사용자가 느끼게 해 준다. 반면 햅틱 AR 시스템은 실제 환경이라는 요소가 하나 더 추가되어 실제 촉감과 가상의 촉감을 혼합할 수 있게 한다(〈그림 14〉 참조). 이 세 가지 시스템을 물리적으로 이어주는 것이 햅틱 AR의 상호작용도구가 되고, 이 도구가 햅틱 렌더링 시스템에서 오는 가상의 햅틱 자극과 실제 환경에서 오는 실제 촉감을 섞어서 사용자에게 전달하게 된다. 따라서 이 도구는 시각 AR에서의 See-Through 장치와 마찬가지로 Feel-Through의 특성을 지녀야 하고, 햅틱 AR 시스템을 디자인 하는데 아주 중요한 역할을 하게 된다.

그림 14

햅틱 AR의 3가지 구성 시스템과 햅틱 AR용 상호작용도구



Feel-Through의 구현 방식은 직접적인 방법(Direct Feel-Through)과 간접적인 방법(Indirect Feel-Through)으로 나눌 수 있다. 직접적인 방법은 시각 AR의 Optical See-Through 개념과 유사하게 기계적으로 결합된 도구를 통해 관련 물리적 신호를 사용자에게 직접 전송한다. 그와는 대조적으로, 간접적 방법은 Video See-Through와 유사하게 관련 물리적 신호를 시스템이 감지하고 모델링한 뒤 종합적으로 재구성하여 물리적으로 결합되지 않은 사용자에게 새롭게 생성하여 전달한다(예, Master-Slave 시스템). 직접적 방법은 실제 환경의 사실성을 보존하고 실제 자극과 가상 자극을 혼합하는 것은 비교적 쉽지만, 실제 자극을 제어하거나 없애는 것은 쉽지 않다. 이를 위해 실제 반응의 추정 및 시뮬레이션이 필요할 수도 있다. 그 반면 간접적 방법은 사용자에게 제시될 최종 자극이 사용자의 렌더링 시스템에서 가상으로 합성되기 때문에 실제 신호를 변조하는 것이 더 쉽지만 사실성이 높은 가상 자극을 투명하게 렌더링하려면 보다 정교한 렌더링 기술이 필요하다.

위의 햅틱 상호작용도구가 연결하는 물리적 속성은 목표 속성에 따라서 달라질 수 있다. 예를 들어, 힘의 증강이 목표라면 사용자, 햅틱 시스템, 실제 환경이 모두 물리적으로 연결된 형태의 도구가 필요하다. 대표적인 예가 햅틱 장치에 달린 펜 형태의 도구를 사용자가 잡고 실제 물체를 만지는 것이다. 목표 속성이 열, 전기 자극 등이라면 도구에 열, 전기 등이 물리적으로 연결된 형태가 될 수도 있을 것이다. 전술한 것과 같이 속성 내 증강 시스템에서는 물리적 연결이 중요하지만 속성 외 증강 시스템에서는 이 연결이 매우 단단하지 않을 수도 있다.

최종적으로, 햅틱 증강현실을 위한 도구는 매우 조심스럽게 설계 되어야 한다. 위 3가지 구성요소는 각각 도구에 적절하게 부착 혹은 소프트웨어적으로 연결되어야 하며, 때로는 특정 구성요소(예, 실제 환경, 사용자)의 행동을 예측하기 위해 적절한 측정 장치가 부착되어야 한다. 또한 가상의 햅틱 감각을 생성하기 위해 구동기도 통합되어야 하는데 이 모두는 사용자가 적절하게 사용할 수 있는 방식으로 도구에 적절하게 통합되어야 한다. 전체 장비의 자유도를 충분히 유지하면서 감지 및 작동의 신뢰성을 극대화하도록 신중하게 설계 되어야 한다.

시각 AR과 마찬가지로 햅틱 AR에서도 실제와 가상의 자극은 시간적으로 그리고 공간적으로 적절히 정합 되어야 한다. 예를 들어, 정확한 시점과 위치에서 가상의 힘을 렌더링 해야 한다. 하지만 시각 AR과는 다르게 햅틱 AR에서는 동시에 만질 수 있는 영역이 한정되어 있어 대규모 위치 추적이 필요 없는 반면 햅틱 렌더링을 위해 특정 영역의 위치 추적이 아주 정확하게 빠르게(1kHz 의 속도로) 일어나야 한다. 어떤 정보가 어느 정도의 정확도로 정합이 되어야 하는지는 응용에 따라 아주 달라지게 된다. 예를 들어, 경도를 증가하기 위해서는 실제 물체의 경도 방향과 일치하는 방향으로 가상의 경도를 렌더링 해야 한다. 이는 실제 물체의 모양 정보를 미리 가지고 있거나 이를 실시간에 추정해야 한다는 것을 의미한다. 시간적 정합의 예로는 맥동 시뮬레이터를 들 수 있는데, 가상의 맥동은 실제 맥동의 주파수와 위상에 시간적으로 정확히 정합되어 렌더링 되어야 한다. 이는 실제 맥동을 실시간에 측정해야 함을 의미한다.

전술한 속성 내 혹은 속성 외 분류는 정합이 얼마나 정확하게 일어나야 하는지와 관련이 깊다. 속성 내 증강에서는 혼합이 하나의 물리 신호에서 일어나야 하기 때문에 가상 신호는 아주 정확하게 실제 신호와 시간/공간적으로 정합되어야 한다. 그 반면 속성 외 증강에서는 정합이 상대적으로 덜 중요해진다. 서로 다른 속성은 보통 개별적으로 처리되는데 특정 속성의 가상 신호는 다른 속성의 실제 신호와 밀접하게 관련되어 있지 않아도 되기 때문이다. 햅틱 증강을 위한 렌더링 알고리즘은 다음 단계를 가진다.

- 1) 실제 환경 측정: 증강을 위해 필요한 실제 환경 데이터 측정
- 2) 실제-가상 정합: 1단계에서 측정된 데이터와 미리 처리된 정보를 바탕으로 도구와 실제 환경의 시간적/공간적 상태를 추정하고, 이를 이용해 정합을 수행함 (예: 도구와 실제 물체의 충돌 검사)

- 3) 실제-가상 물리적 병합: 가상으로 렌더링 할 자극을 최종적으로 계산하는 단계로, 시스템의 분류법에 따라 하는 일이 달라진다. 인공 재창조가 목적이라면 실제 반응을 추정하는 물리 시뮬레이션을 수행해야 하고, 지각 증강이 목적이라면 간단한 측정된 신호 기반의 증폭 알고리즘을 수행해야 한다. 속성 내 증강이라면 때때로 실제 물체에서 오는 감각 신호를 보상하거나 증강해야 할 필요가 있기 때문에 실제 환경의 반응을 예측하는 시뮬레이션을 수행해야 할 수도 있다. 예를 들어, AR 그림 그리기를 위해 붓의 느낌을 변조하려면 먼저 실제 붓의 장력, 마찰에 대한 보상이 필요하고 이 값을 실시간에 추정해야 한다. 이 추정은 전처리 단계에서 만들어진 모델을 사용하거나 실시간 측정값을 사용해 수행할 수 있다. 반면, 속성 외 증강의 경우 일반적으로 이 추정 프로세스가 필요하지 않으며 가상 속성을 만들어 내는 과정이 더 간단하다.
- 4) 최종 디스플레이: 햅틱 장치를 제어하여 최종 자극을 생성한 뒤 사용자에게 전달한다.

그림 15

햅틱 증강현실 카테고리별 연구 이슈들

Characteristics of the Categories		
Category	Within Property	Between Property
Registration and rendering	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registration: position and timing registration as well as pproperty-related registration needed.</li> <li>Rendering includes estimation and compensation of real signals and merging of them with virtual signals.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registration: only basic position and timing registration needed.</li> <li>Rendering: algorithms for haptic VR can applied.</li> </ul>
Category	Artificial Recreation	Augmented Perception
Models required	<ul style="list-style-type: none"> <li>Models for physics simulation.</li> <li>Sometimes models for registration and compensation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Models for registration and compensation.</li> </ul>
Category	Direct Feel - Through	Indirect Feel - Through
Rendering	<ul style="list-style-type: none"> <li>Real - time compensation of real property needed.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Transparent haptic rendering algorithm and interface needed.</li> </ul>

햅틱 AR을 위해서는 3가지의 전처리 모델링이 필요하다. 첫 번째는 목표 속성의 반응을 계산하기 위한 모델로, 일반적으로 VR을 위한 렌더링 시뮬레이션에 사용하기 위한 모델링과 동일하다. 두 번째 모델링은 실제-가상 실시간 정합을 위한 모델링이다. 가장 흔한 예로 실제 물체와 증강현실 도구의 충돌을 감지하기 위한 실제 물체의 모양 정보 모델링을 들 수 있다. 실제 물체의 전체 모양 정보가 있으면 충돌 검사가 쉽게 되겠지만 이는 증강현실의 장점, 즉 환경 전체를 모델링하지 않고 효율적으로 사실적인 환경을 구성할 수 있는 것을 위배한다. 따

라서 이 전처리 모델링 과정을 실시간 측정에 기반한 방법으로 적절하게 대처하는 방법도 중요한 연구 주제이다. 3번째 모델링은 렌더링 과정 3을 위한 모델로, 실제 물체의 반응을 실시간에 추정하기 위한 것이다. 보통 개회로 모델 기반 추정과 폐회로 측정 기반 추정으로 나뉘는데, 어떻게 기존의 추정 방법을 햅틱 AR에 적용하는지가 이슈이다. 최종적으로 각각의 분류에 대해 어떤 기술적인 이슈와 특징이 있는지 <그림 15>에 정리하였다.

### 4.3 향후 전망

햅틱 AR 기술은 적용 분야는 무궁무진하지만 아직 많은 연구가 진행되지는 않은 분야이다. 특히 AR 기술의 실용적인 적용을 위해 좀 더 연구되어야 할 부분은 다음과 같다. AR에서 필요한 특정 기술은 기존 연구 분야에서 특정 목적을 위해 연구가 수행되어 온 기술인 경우가 많다. 이를 어떻게 햅틱 AR에 적절히 적용할 것인지가 중요한 연구 방향이 된다. 또한 햅틱 AR 개념을 적용한 새로운 응용의 고찰도 이 적용 분야를 넓히는데 중요한 요소이다. 기술적으로는, 실제 환경의 실시간 측정이 중요한 요소이므로 AR 도구에 적절히 부착될 수 있고, 물리적으로 Feel-Through가 가능한 햅틱 속성 센서 개발이 햅틱 증강현실 분야의 Break-Through가 될 것이다.

## 05' 다중 감각 몰입형 VR/AR 시스템 설계 및 재현 기술

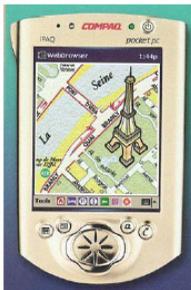
VR, AR 기술은 모두 현실과 비슷한 혹은 현실에서 느낄 수 있는 그대로의 경험 창출을 목적으로 한다. 이를 위하여 여러가지 요소를 고려하고 활용할 수 있는데 그 중 하나가 인간이 생활 속에서 늘 하듯 다중 감각에 입각한 입력 혹은 출력/피드백을 사용 하는 것이다[19]. 본 장에서는 햅틱 기술이 포함된 다중 감각 입력에 대해서 알아본다.

### 5.1 VR/AR에서의 다중 감각 입출력

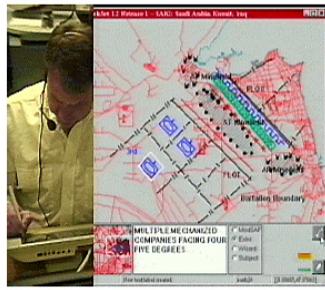
다중 감각 시스템은 일반적으로 사용자 상호작용 및 입출력에 2개 이상의 방법(mode)을 서로 조직화하여 함께(coordinated) 사용하는 것이다. 이는 VR/AR의 관점에서는 사람의 오감, 즉 시각, 청각, 촉각/역감, 미각, 후각 등을 함께 사용하는 방법이라 할 수도 있겠으나, 더 나아가 이 밖에도 마우스, 펜, 음성, 제스처, 뇌파, 다리/발, 터치 등 다양한 방법들을 조합하여 상호작용 과정에서의 이점을 피하려고 하는 것으로 볼 수 있다[19].

그림 16

다중감각 시스템/인터페이스의 예시들



Speech & Pointing



Speech & Rich Pen Input



Speech & Manual Gestures

그렇다면 상호작용 시 다중 감각을 이용하면 무엇이 좋을 수 있을까? 우선 사용성을 들 수 있다. 다중 감각의 사용은 인간이 실생활에서 빈번하게 사용하는 방법이므로 이를 VR/AR 혹은 일반 상호작용 시스템에서 차용했을 때 매우 자연스럽게 습득이 쉬워 사용자들이 선호할 수 있다. 또한 여러 방법을 조합하거나 병렬적으로 사용하므로, 이런 저런 방법을 선호하는 여러 사용자 계층에 대한 고려가 가능하기도 하고 어떠한 작업을 수행할 때 부작업(subtask)에 대해 가장 알맞은 감각을 사용하여 효율성 및 작업 성능 또한 제고할 수 있다. 실제와 더 비슷한 상호작용 방법을 이용함으로써 체험감도 높일 수 있고 이는 여러 연구에서 실재감(Presence)을 높이는 효과도 있다고 보고되고 있다[20]. 이런 이유로 다중감각을 사용하는 “몰입형”이라는 용어가 적합하다.

또 하나의 다중 감각 인터페이스의 효과는 서로 다른 감각을 통해 전달하는 정보의 융합/통합 기반 상승 작용의 창출이다. 이는 일종의 착각 효과라고도 볼 수 있는데, 예를 들어 완벽하지 않은 햅틱 렌더링 피드백을 소리와 같이 들려주었을 때 사용자가 이에 대하여 높은 실제감을 느낄 수도 있다. 혹은 심지어 어떤 감각을 대체하는 효과도 가져올 수 있는데, 예를 들면 많은 독자들은 진동만을 제공하는 VR 컨트롤러를 가지고 상호작용을 하더라도 시각, 청각 등과의 융합 효과로서 방향성이 있는 역감이 느껴지는 것을 경험해 보았을 것이다.

그림 17

다중 감각(시각, 진동, 청각, 촉, 상호작용 양식) 통합을 통한 체험형 인터페이스의 예시(Nintendo Wii)



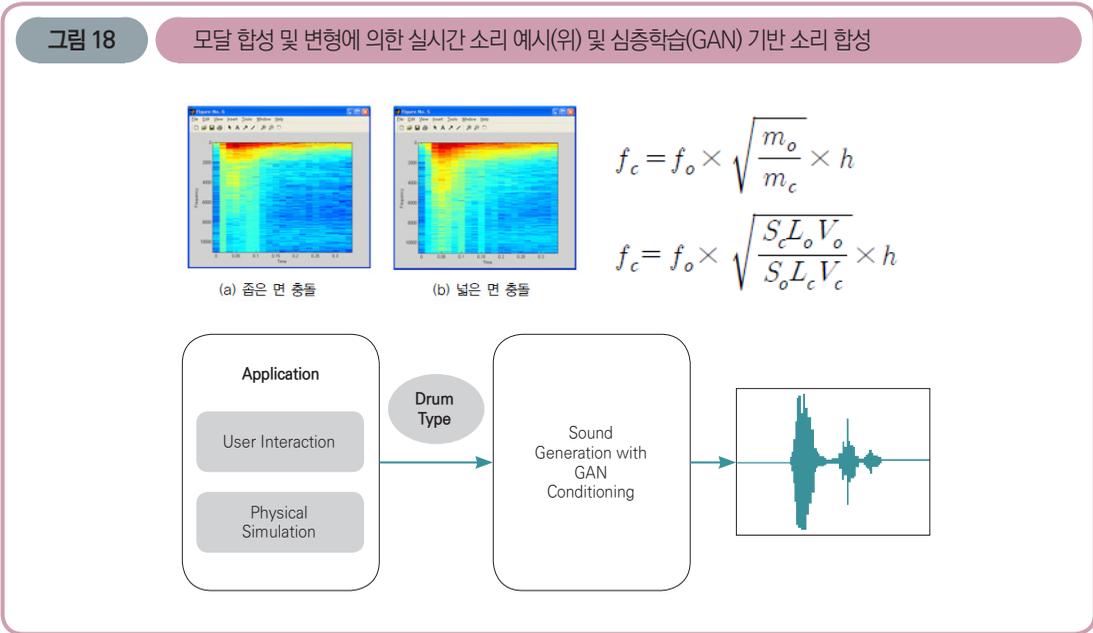
## 5.2 다중 감각 입출력의 기술적 이슈

우선 서로 다른 감각 자극들이 사용자에게 잘 전달되도록 충분한 갱신 주파수를 지켜주어야 한다. 시각 자극은 부드러운 애니메이션을 위해 30Hz(초당 30번 이상, 혹은 입체영상의 경우 60번 이상), 청각은 인간 가청 주파수를 고려하여 44.1KHz, 안정된 출력을 위한 햅틱 렌더링은 이상적으로 1KHz의 출력 주파수를 필요로 한다.

시각 자극의 경우, 최근 전용 그래픽스 하드웨어의 눈부신 발전으로 웬만한 조명 효과 등 까지 고려한 고화질의 실시간 그래픽 렌더링의 문제는 어느 정도 해결 되었다고 해도 과언이 아니다. 햅틱 및 청각 렌더링의 경우 이용하는 알고리즘마다 차이가 있을 수 있다. 우선 햅틱 렌더링은 물리 시뮬레이션과 맞물려 있기도 하고 시뮬레이션의 객체의 수에 따라(시각 렌더링의 경우 시야각 내의 물체만 처리하면 되지만) 계산 부하가 다르기 때문에 사용하는 컴퓨터 플랫폼에 따라 알고리즘의 정확도를 조절할 필요도 있다. 또한 1KHz의 햅틱 제어에 대한 업데이트를 위한 전용 하드웨어/소프트웨어를 사용하기도 한다[21]. 보다 자세한 것은 5.3장을 읽어보기 바란다.

청각의 경우는 좀 더 그 문제가 심하다고 할 수 있다. 예를 들어 가상환경 속에서 사용자가 환경과 물리적 상호작용을 하면서 소리가 발생하게 되므로 원칙적으로는 관련 물리 변수(예: 객체의 물질적 성질, 힘, 가속도, 움직임의 방향 등)를 이용하여 소리를 실시간으로 생성해야 하지만 사건이 발생하자마자 최소한의 시간 후에 44.1KHz 수준의 소리 효과를 시뮬레이션을 통해 생성하는 것은 쉽지 않다. 따라서 미리 녹음된 대표 소리를 재생하는 방법을 사용하거나 이를 실시간으로 간략한 물리 모델에 기반하여 변형시켜 재생하기도 한다. 알고리즘적으로 물리적 변수에 기반하여 소리 효과를 생성하는 가장 보편적인 방법을 모달 합성(Modal Synthesis)이라고 한다. 이 방식에서는 주어진 물체에 외부 충격이 가해져 소리가 생성될 때 그 소리의 고유 주파수를 미리 분석해 놓고 물리적 요소를 가지는 간단한 모델을 사용하여 주파수 요소의 분포, 전체적 소리 크기 등을 조절하여 실시간 소리 효과를 생성한다. 또한 이런 기본 모델에 무작위 잔류 소음을 추가하면 어느 정도 실재감이 있는 소리를 생성할 수 있다[22].

그러나 물체의 구성 물질, 강체/비강체 여부, 순간 충돌인지 등 매우 많은 변수를 모두 고려하기 어렵거나 조건에 따라 사용하는 모델을 변경해야 하는 등의 불편함이 있다. 또한 최근 유행하는 심층 학습(Deep Learning)에 의거한 방법 또한 생각할 수 있다. 미리 다양한 소리 및 생성 조건에 대해 학습한 Generative Neural Network(GAN)를 사용하여 고품질의 소리를 생성하는 WaveGAN 같은 연구 결과를 실시간 소리 생성에 접목할 수 있을 것이다[23]. 후자의 방법은 학습 데이터 및 조건에 기반하므로 다양한 소리 및 조건에 대한 통일된 체계를 구축할 수 있을 것으로 보인다. 또한 병렬 GPU를 사용하여 지연의 인지 없이 20ms 내에 소리 생성도 가능하다.

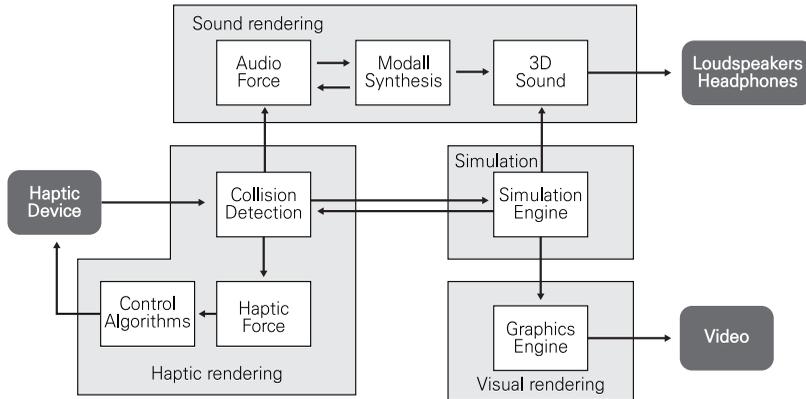


### 5.3 동기화 문제

다중 감각 입출력 시스템의 또 하나의 주요한 기술적 이슈는 동기화 문제이다. 여러 감각을 입력하거나 출력할 때 그 방법들이 사용자의 입장에서 어떤 시간적 관계를 지키면서 보여지고 들리고 느껴져야 한다. 아주 작은 시간 차이에 의해서 사용자는 이들을 각기 다른 사건으로 인지할 수 있기 때문이다[24].

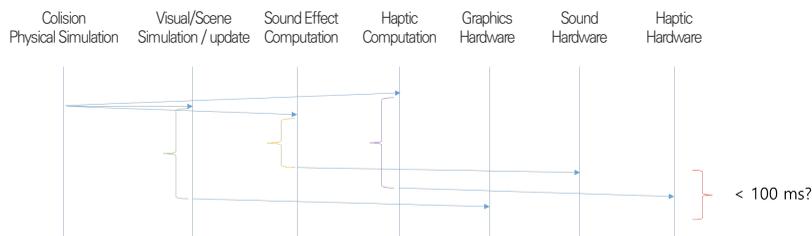
대부분의 경우 이러한 성능을 계산적으로 지원하기 위하여 각기 다른 속도로 담당 쓰레드나 프로세스가 시스템 상에서 실행되기 마련이다. 대부분의 VR/AR 플랫폼에서 이런 프로세스들을 생성하여 운용할 수 있지만, 실제 콘텐츠 내에서 발생하는 각종 이벤트에 따라 서로 다른 감각 정보를 동기화하여 사용자에게 전달하는 체계가 사실상 부족한 상황이다. 이제까지 동기화 문제는 사용하는 컴퓨터의 운영체제에 따라서 그때 그때 적절히 대처하는, 일종의 최선의 노력(Best Effort) 방식으로 해결해왔다. 따라서 계산에 따른 지연이 심한 경우 그냥 성능이 좋은 컴퓨터를 사용하거나 실시간 운영체제를 사용하는 정도의 방안을 선택한 것이다. 이러한 부분을 체계적으로 보장하기 위한 소프트웨어 구조 등도 연구 개발되고 있다<그림 19>.

그림 19 시각, 청각, 햅틱 출력이 함께 연동 되는 가상환경 구조[21]



다중 감각 시간적 동기화는 일반적으로 시각 이벤트를 기준으로 한다. 시각적으로 인지된 이벤트를 기준으로 청각 및 햅틱 기타 감각 출력이 주어진 허용 시간 차 내에 인지되어야 이 모든 출력이 하나의 이벤트에서 기인한 것으로 인지된다. 허용 시간 차는 소리의 경우 약 20-40ms, 햅틱의 경우 약 50-100ms 로 알려져 있다[24](〈그림 20〉 참고).

그림 20 다중감각 출력에서의 동기화 문제



한 이벤트에 대한 시각, 청각, 햅틱 출력이 과연 일관되게 100ms의 지연 시간 안에 사용자에게 거의 동시에 전달될 수 있는가?

이와 유사한 문제로 다중 멀티스크린의 동기화 문제가 있는데, 이 문제는 그래픽 카드에서 GenLock이라는 하드웨어 신호를 사용하여 동기를 맞춘다. 운영체제에 있어서 다중 스크레드나 다중 프로세스의 기본적인 동기화 방법은 공유하게 될 리소스에 대해서 Lock이나 Semaphore 등을 걸어서 관리하는데 다중감각 입출력 관련 프로세스의 경우 같은 시간에 출력을 동기화해야 하므로, 시각, 청각, 햅틱 관련 소프트웨어적 계산 프로세스가 모두 끝난 후 마지막 출력을 동시에 할 수 있도록 기존 Lock의 반대 개념이 필요하다. 이는 각각의 프로세스가 끝날 때마다 Semaphore 값을 올려주고 일정 값에 이르게 되면 출력을 하면서 리셋 되도록 하는 방식이다.

## 5.4 다중감각 VR/AR 기술의 미래 방향

지금까지 설명한 다중 감각 렌더링의 기술적 이슈들은 VR/AR에 공통적으로 관련 있는 문제들이다. 특히 AR의 경우 모바일의 성격이 강하기 때문에 사용할 수 있는 컴퓨팅 기기의 성능에 한계가 있을 수 있다. 따라서 실시간성 및 동기화 문제 등이 더욱 중요한 기술적 장벽이 될 수 있을 것이다. 본 글에서는 주로 출력 그리고 주요 세 가지 감각(시각, 청각, 햅틱)에 대해서만 논하였지만 기타 다른 감각이 융합되는 것이 효과적이며 이를 위해 다양한 감각에 대한 인지 연구가 더 활발히 이루어져야 보다 다양하고 효과적인 다중 감각 활용 VR/AR 시스템을 구성할 수 있을 것이다.

또한 설명한 동기화 기술은 단순히 이벤트 처리에 대한 프로세스 레벨 기술이다. 사실 한 이벤트이라도 내부적으로 세부 이벤트가 더 있을 수 있다. 예를 들어 거친 면을 긁고 가는 물리 작용의 경우 긁기 속에 수많은 부딪힘이 있고 이에 상응하는 세세한 소리나 햅틱 반응이 있어야 할 것이다. 아직 이 정도로 자세한 경우의 동기화에 대한 묘안은 연구되고 있지 않다.

## 06 | 맺음말

본 글에서는 VR/AR 환경에서 사용자와 환경 간의 상호작용을 더 다양하게 만들어 주고 사실성을 높여 사용자의 몰입도를 증가시킬 수 있는 햅틱스 기술에 대해 고찰해 보았다. 다양한 햅틱 장비, VR 및 AR에서 햅틱 렌더링의 개념, 용어, 종류 및 대략의 모델 및 알고리즘 등에 대해서 설명하였다. 다음으로 시청각 렌더링과 햅틱 렌더링을 결합한 다중 감각 렌더링을 충실하기 구현하기 위한 다양한 문제에 대해 소개하였다. 또한 각 해당 부분에 대하여 현재 부각되고 있는 기술적 이슈와 향후 전망에 대해 간략히 기술하였다. 본 글이 해당 분야에 대해 전공하거나 정보를 찾고 있는 독자에게 도움이 되기를 바란다.

마지막으로 햅틱스에 대해 체계적으로 공부하고 싶은 독자에게 햅틱스에 대한 기본적인 지식을 체계적으로 정리한 다음의 MOOC 과목을 권하고자 한다(손으로 만지는 VR: 햅틱 인지, 역감 인터페이스 및 렌더링, 촉감 인터페이스 및 렌더링, <https://postech.edwith.org/>).

## Seung moon Choi

저자  
최승문

### 학력

Purdue University Electrical and Computer Engineering 박사  
서울대학교 제어계측공학 석사  
서울대학교 제어계측공학 학사

### 경력

現) 포항공과대학교 컴퓨터공학과 교수  
前) Purdue University Post-Doctoral Research Associate

## Sang youn Kim

저자  
김상연

### 학력

KAIST 제어(햅틱스) 박사  
KAIST 제어(햅틱스) 석사

### 경력

現) 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수  
前) 삼성전자 종합기술원 책임연구원  
前) 델타정보통신연구소 선임연구원

## Gerard Jounghyun Kim

저자  
김정현

### 학력

University of Southern California 컴퓨터과학 박사  
University of Southern California 컴퓨터과학 석사  
Carnegie Mellon University 전자컴퓨터공학 학사

### 경력

現) 고려대학교 컴퓨터학과 교수  
前) 포항공과대학교 컴퓨터공학과 교수  
前) US National Inst. of Standards and Technology 연구원

## Seok hee Jeon

저자  
전석희

### 학력

포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사  
포항공과대학교 컴퓨터공학과 석사  
포항공과대학교 컴퓨터공학과 학사

### 경력

現) 경희대학교 컴퓨터공학과 조교수  
前) 스위스 취리히 연방공대 연구원

### 참고문헌

1. <http://vtpayer.sourceforge.net/>
2. <https://nrx.northwestern.edu/research/surface-haptic-technology-development>
3. <https://www.trustedreviews.com/news/gloveone-the-gloves-that-let-you-feel-virtual-reality-objects-2927276>
4. B. Xue, M. Qin, T. Wang, J. Wu, D. Luo, Q. Jiang, Y. Li, Y. Cao, W. Wang, "Electrically controllable actuators based on supramolecular peptide hydrogels." *Advanced Functional Materials* 26.48 (2016): 9053–9062.
5. S. Tas, B. Zoetebier, O. Sardan, S. Muharrem, B. Mark, H. Gyula, J. Vancso, K. Nijmeijer, "Ion-Selective Ionic Polymer Metal Composite (IPMC) Actuator Based on Crown Ether Containing Sulfonated Poly (Arylene Ether Ketone)." *Macromolecular materials and engineering* 302.4 (2017): 1600381.
6. H. S. Lee, H. Phung, D.-H. Lee, U. K. Kim, C. T. Nguyen, H. Moon, J. C. Koo, J. Nam, H. R. Choi, "Design analysis and fabrication of arrayed tactile display based on dielectric elastomer actuator." *Sensors and Actuators A: Physical* 205 (2014): 191–198.
7. S.Y. Kim, J. Kim, and K.-B. Kim. "Investigation of size effect on film type haptic actuator made with cellulose acetate." *Smart Materials and Structures* 23.4 (2014): 045016.
8. W.H. Park, J. W. Bae, E. J. Shin, and S. Y. Kim, "Development of a flexible and bendable vibrotactile actuator based on wave-shaped poly (vinyl chloride)/ acetyl tributyl citrate gels for wearable electronic devices." *Smart Materials and Structures* 25.11 (2016): 115020.
9. W.H. Park, T. H. Yang, Y. Yoo, S. Choi, S. Y. Kim, "Flexible and bendable vibrotactile actuator using electro-conductive polyurethane." In *Proceedings of the IEEE World Haptics Conference (WHC)*, 2015.

10. D. Ruspini and O. Khatib, "Haptic Display for Human Interaction with Virtual Dynamic Environments," *Journal of Robotic Systems*, vol. 18, no. 12, pp. 769–783, 2001.
11. M. C. Lin and M. A. Otaduy, Eds., *Haptic Rendering: Foundations, Algorithms, and Applications*. Wellesley, MA, USA: AK Peters, Ltd, 2008.
12. S. Choi and K. J. Kuchenbecker, "Vibrotactile Display: Perception, Technology, and Applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 101, no. 9, pp. 2093–2104, 2013.
13. H. Benko, C. Holz, M. Sinclair, and E. Ofek, "NormalTouch and TextureTouch: High-fidelity 3D Haptic Shape Rendering on Handheld Virtual Reality Controllers," In *Proceedings of the ACM Annual Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pp. 717–728, 2016.
14. Mark Billinghurst, Adrian Clark and Gun Lee, "A Survey of Augmented Reality," *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction* 8 (2–3), 2015, pp 73–272.
15. Seokhee Jeon and Seungmoon Choi, "Haptic Augmented Reality: Taxonomy and Example of Stiffness Modulation," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 18, no. 5, pp. 387–408, 2009.
16. Seokhee Jeon, Seungmoon Choi, and Matthias Harders, "Haptic Augmented Reality: Taxonomy, Research Status, and Challenges," in *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality, Second Edition*, edited by Woodrow Barfield et al., CRC Press, 2015.
17. Seokhee Jeon and Matthias Harders, "Haptic Tumor Augmentation: Exploring Multi-Point Interaction," *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 7, no. 4, pp. 477–485, 2014.
18. Hommayoon Kazerooni, "Exoskeletons for human power augmentation," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3459–3464, 2005.
19. Dumas B., Lalanne D., Oviatt S. (2009) *Multimodal Interfaces: A Survey of Principles, Models and Frameworks*. In: Lalanne D., Kohlas J. (eds) *Human Machine Interaction. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5440. Springer, Berlin, Heidelberg.

20. Witmer, B., and Singer, M. (1998) Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence* vol 7, 3, 225-240.
21. Avanzini F., Crosato P. (2006) Haptic-Auditory Rendering and Perception of Contact Stiffness. In: McGookin D., Brewster S. (eds) *Haptic and Audio Interaction Design. HAID 2006. Lecture Notes in Computer Science*, vol 4129. Springer, Berlin, Heidelberg.
22. Ren, Z., Yeh, H., and M. Lin, (2013) Example-guided Physically based Modal Sound Synthesis, *ACM Trans. On Graphics*, Vol. 32, 1.
23. Donahue, C., McAuley, J., and Puckette. M. (2018) Synthesizing Audio with Generative Adversarial Networks, arXiv:1802.04208.
24. W3C, (2003) Multimodal Interaction Requirements, W3C NOTE 8, <https://www.w3.org/TR/mmi-reqs/>



5.005



05

>Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

//500  
/20  
58



05

//500  
/20  
58



50



01	02
04	05

75

SPO

>Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.



LOREM IPSUM

LOREM IPSUM DOLOR SIT

30  
RELOPSIT  
ARE??

01 02 03

LOREM

NAVIGATION SYSTEM



## 융합연구리뷰

Convergence Research Review

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5  
TEL. 02. 958. 4984



융합연구정책센터  
Convergence Research Policy Center