



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

공간인지 능력이 있는 증강현실
전시 콘텐츠 설계 및 구현

濟州大學校 大學院

관광융합소프트웨어학과

김 지 성

2017年 8月

공간인지 능력이 있는 증강현실 전시 콘텐츠 설계 및 구현

지도교수 이 동 철

김지성

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2017 年 6月

김지성의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2017 年 6月

<제목 차례>

제1장 서론	1
제1절 연구배경 및 목적	1
제2절 선행연구 검토 및 연구의 방법	2
제2장 이론적 배경	7
제1절 증강현실(Augment Reality)	7
1. 증강현실의 개념	7
2. 증강현실의 기술동향 및 유형	8
3. 기존 증강현실의 문제점	13
제2절 프로젝트 탱고(Project Tango)	14
1. 주요개념	14
2. 프로젝트 탱고의 특징	16
3. 프로젝트 탱고 활용 분야	18
제3장 증강현실 기술을 활용한 전시 콘텐츠 사례분석	20
제1절 국내 증강현실 콘텐츠 사례	20
1. 서대문 자연사박물관	20
2. 홍대 트릭아이뮤지엄	20
3. 반 고흐 인사이트	21
제2절 해외 증강현실 콘텐츠 사례	21
1. HongKong Science Museum - T-Rex Revealed	21
2. Acropolis Museum in Athens, Greece	22
3. Museum of Stolen Art	23
제3절 사례 분석결과 및 시사점	23
제4장 공간인지 능력이 있는 전시 콘텐츠 설계	25
제1절 전시 콘텐츠 개요	25
제2절 전시 콘텐츠 구조	26
제3절 전시 콘텐츠 기능 설계	27

제5장 프로젝트 탱고를 활용한 전시 콘텐츠 구현	29
제1절 구현환경	29
제2절 전시 콘텐츠 구현	30
1. 사용자 인터페이스 구현	30
2. 3D 스캐닝(3D scanning)	33
3. 위치정보 분석	34
4. 가상객체 위치정보 파악	36
제3절 전시 콘텐츠의 유용성 분석	37
제6장 결론	39
참고문헌	40

<그림 차례>

<그림 1-1> 연구 흐름도.....	5
<그림 2-1> 현실-가상 연속체 (CONTINUUM OF REALITY-VIRTUALITY).....	7
<그림 2-2> 모바일 단말형 증강현실 예시.....	8
<그림 2-3> 광학식 증강현실 예시.....	9
<그림 2-4> 프로젝트 매핑 증강현실 예시.....	9
<그림 2-5> 위치기반 증강현실.....	1 0
<그림 2-6> 마커기반 증강현실 예시.....	1 1
<그림 2-7> 마커리스 증강현실 원리.....	1 2
<그림 2-8> 기존 증강현실 콘텐츠의 문제점.....	1 4
<그림 2-9> 프로젝트 탱고를 적용한 사례.....	1 9
<그림 3-1> 비마커형 증강현실과 고정형 모니터 증강현실 작동 모습.....	2 0
<그림 3-2> 반 고흐 인사이트 증강현실 사례.....	2 1
<그림 3-3> T-REX REVEALED.....	2 2
<그림 3-4> ACROPOLIS MUSEUM의 조형물 색상 복원 사례.....	2 2
<그림 3-5> MUSEUM OF STOLEN ART.....	2 3
<그림 4-1> 전시 콘텐츠 개요도.....	2 5
<그림 4-2> 전시 콘텐츠 구성도.....	2 6
<그림 4-3> 전시 콘텐츠 기능 구성도.....	2 7
<그림 4-4> 전시 콘텐츠 구조도.....	2 8
<그림 5-1> 전시 콘텐츠 화면 구성도.....	3 0
<그림 5-2> 관리자 화면.....	3 1
<그림 5-3> AUDIO SOURCE에 AUDIOCLIP 속성 정의.....	3 2
<그림 5-4> AVPRO VIDEO MEDIAPLAYER 설정화면.....	3 2
<그림 5-5> 전시물 뷰어 작동화면.....	3 3
<그림 5-6> 3D 스캐닝 작업.....	3 3
<그림 5-7> TANGO MANAGER 속성.....	3 4
<그림 5-8> 전시 콘텐츠 POSE 좌표계.....	3 5
<그림 5-9> 가상객체 배치 화면.....	3 6

<표 차례>

<표 1-1> 증강현실 전시 콘텐츠에 관한 주요 선행연구.....	4
<표 2-1> 동작추적을 위한 프레임 쌍.....	1 6
<표 3-1> 국내외 증강현실 콘텐츠 사례.....	2 4
<표 5-1> 구현 환경.....	2 9
<표 5-2> 국내외 증강현실 응용프로그램 유용성 분석.....	3 7

ABSTRACT

Design and Implementation of Augmented Reality Exhibit Contents with Space Perception Ability

Ji Seong Kim

Dept. of Tourism Convergence Software

The Graduate School of Jeju National University

Supervised By Dong-Cheol Lee

Augmented reality (AR) exhibit contents came to represent a large part of the exhibition media with the public interest and the popularization of hardware. The AR technology can use the various senses of users, combined with the role of providing information about exhibits, with the method of augmenting virtual objects in the real world seamlessly, which provides high immersion and a sense of reality.

The existing AR exhibit contents mostly augment exhibits or deliver information through texts and images. However, the location-based AR causes a phenomenon in which virtual objects are incorrectly matched with the real world due to the error of GPS information, which decreases realism. Vision-based AR for more accurate matching can be augmented in the position where a marker is placed, but since a geometric pattern reduces the concentration of the user's experience, and it can only be augmented when the marker is perceived, immersion becomes lower, so there is a limitation in providing contents. Project Tango developed to resolve this problem can perceive the distance of things that exist in the real world with the motion tracking method through a fish eye camera and an infrared camera, and learn spaces, so it is an AR technology that can create and share virtual spaces.

This study designed and implemented exhibit contents that interact with the real world, utilizing Project Tango, an AR technology that can make spatial perception.

Dividing the screen for the administrator and user, the proposed contents arrange the virtual objects of exhibits in the real space and provide information with various methods, such as text, audio, image and video for the administrator. The contents were designed so that the virtual objects on a real object are augmented when the user arrives near the position that the administrator has registered in advance, and the user can design information about exhibits, touching the relevant virtual objects. The proposed exhibit contents implemented AR using Project Tango SDK in Unity 3D based on Lenovo Phab 2 Pro and implemented virtual objects for the exhibit contents in museums, utilizing C#.

Exhibit contents implemented in this study could enhance immersion and sense of reality, which would be combined with various exhibition areas like shopping malls as well as museums.

제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

현대사회에서 정보통신기술(Information & Communication Technology)의 혁신은 우리의 생활방식에 많은 변화를 주었다(Buhalis, Law, 2008). 또한, 정보통신기술과의 융합(Convergence)은 다양한 산업에서 응용되며 사용자들에게 더욱 나은 편의성과 다양한 경험을 제공하고 있다(안동수, 2011). 특히 박물관은 정보통신기술을 수용하면서 관람객들과 상호작용할 수 있는 콘텐츠를 개발하기 위해 노력하고 있다. 초기의 박물관은 작품 수집, 관리, 전시하는 곳으로써 정보제공 및 학습하는 공간이란 이미지를 가지고 있었지만, 오늘날의 박물관은 단순 전시 관람만을 행해지는 장소가 아닌 문화생활, 여가, 취미활동을 하는 공간으로 변화하고 있다(전인미, 2011). 박물관은 참여와 소통을 위해 관람객의 눈높이에 맞는 콘텐츠에 대한 연구 및 개발을 시도하고 있다.

박물관 이용자에게 새로운 경험과 흥미를 주기 위해 다양한 방식의 전시제공 방식이 등장하고 있으며, 단방향이 아닌 쌍방향으로 소통하는 전시 관람 형태로 변화하고 있다. 과거 박물관은 주된 전시 정보인 텍스트정보를 단순히 시각적으로 전달하는 데 목적을 두고 있었으나, 정보통신의 발전으로 새로운 디지털 기술과 융합해 이용자가 다양한 감각을 통해서 전시물을 경험할 수 있게 되었다. 가장 보편화한 오디오 가이드는 전시품에 대한 정보를 청각을 통해서 전달했고, 터치스크린이 가능한 키오스크는 이미지, 동영상 등 멀티미디어 정보를 이용자의 촉감과 시각을 통해서 정보를 제공했다(박민아, 2016). 이처럼 점점 다양한 전시전달 방식을 통해서 전시물에 대한 이해도를 높일 수 있게 됐다.

이런 환경 속에서 증강현실은 현실 바탕에 가상의 객체를 이질감 없이 보여 주어 사용자에게 현실감과 몰입감을 제공하기 때문에 관람객이 전시물에 대한 흥미와 이해도를 높이고 정확한 정보전달을 목적으로 하는 박물관에서 증강현실이 주목 받고 있다. 증강현실 기술과의 융합을 시도하는 노력은 국내 박물관에서도 볼 수 있는데 현재 국내에서는 서대문자연사박물관, 트릭아이뮤지엄 등에서 도입되고 서비스되고 있다. 하지만 현재 운영되고 있는 콘텐츠 중 일부는 영

뚝한 곳에 가상객체가 배치되거나, 공중에 떠 있는 경우가 있고, 또한 관람객들은 마커의 위치를 찾아야 증강된다는 단점이 있다. 이런 문제들은 현실과 가상의 사실적인 결합으로 몰입감을 제공해주는 증강현실 기술이 주는 이점을 감소시킨다.

본 논문에서는 증강현실의 문제점인 현실의 공간과 사물을 인식하지 못해 이질감을 불러일으키는 단점을 보완한 Google에서 개발한 프로젝트 탱고(Project Tango)기술을 사용해 전시 콘텐츠를 제작함으로써 사용자의 참여를 유도해 몰입감을 향상하고 새로운 경험과 전시물에 대한 높은 이해도를 제공하는 목적으로 한다.

제2절 선행연구 검토 및 연구의 방법

정보통신의 발달은 산업의 변화와 생활의 편리함을 제공했고, 자료 보존, 수집, 정보 전달의 역할을 수행하던 박물관은 교육, 학습, 취미 생활, 여가, 문화 활동을 즐기는 대표적인 시설로 변화되었다. 이런 변화에 맞춰 박물관은 새로운 전시매체와 전시제공 형태를 통해서 이용자들의 요구를 맞추려고 노력하고 있다.

이러한 흐름 속에 증강현실 기술은 관람객에게 정보전달 및 새로운 경험을 제공한다. 관련 연구를 살펴보면 증강현실 기술을 활용하면 조작, 복원, 탐색 등 다양한 감각을 활용할 수 있으므로 전시공간에 커뮤니케이션의 매개체로써 증강현실을 도입하는 것은 체험 공감의 확대 및 현실감이 향상되고 정보 전달 및 학습 몰입도의 효과적이다(오선애, 2012). 또한, 증강현실기반 전시의 네 가지 특성인 적용 공간의 다양성, 직관적 상호작용에 의한 현장성, 몰입형 전시 환경, 다중 콘텐츠의 서사적 구조를 설명하며 전시물에 대한 이해와 정보전달과정에 대한 멀티미디어의 특성으로 다양한 콘텐츠를 제작해 전시물의 가치를 확장할 수 있다고 제시하였다(김태은, 김병철, 2012). 그리고 박물관의 몰입요소는 전시관 외적인 공간의 형태적 요소만 영향을 미치는 것이 아니라 연출, 관람객과 전시물 간의 소통은 관람객에게 전시를 몰입할 수 있는 요소이며, 이러한 몰입은 공간적인 연출 요소를 활용할 때 높아진다고 하였다(심소연, 김미영, 문정민, 2014).

특정 객체를 증강하기 위해서 다양한 방식의 객체등록방식이 연구되어왔다. 관련된 연구를 살펴보면, GPS정보를 사용하고 위치추적 및 방향 정보를 활용한 위치기반 증강현실 기술이 있다. 위치 정보에 해당하는 데이터를 2차원 정보로 카메라 입력 영상에 정합하여 사용자에게 제공함으로써, 보다 편리하고 효과적인 정보를 제공할 수 있지만, 3차원 객체의 정합을 위한 카메라 위치 정보를 계산할 수 없고, GPS 정보 등의 누적된 오차는 객체가 고정이 안 되는 부정확한 정합 현상이 유발된다(이주용, 2012).

위치기반 증강현실 기술에서 카메라의 위치 정보를 계산하지 못하는 문제를 해결하기 위해 마커기반 증강현실이 제시되었다. 실내 위치를 인식하기 위해서 마커로부터 얻은 점의 좌표들은 마커와 카메라와의 거리, 마커로부터의 좌우측 방향, 마커의 중심으로부터 바깥쪽의 각도 등을 계산하는데 사용되며, 이 연산들은 보다 정확한 사용자의 위치와 위치에 대한 정보를 제공했다(한상준, 2011).

하지만 QR코드나 컬러코드를 기반으로 하는 마커방식은 기하학적인 패턴을 가지고 있기에 증강현실 체험의 집중도를 떨어뜨리고 여러 종류의 마커가 섞여 있으면 필요한 마커를 찾기 쉽지 않다(전수진, 2012). 이런 문제점을 개선하고자 카메라로부터 입력된 영상과 사전 자료로 저장되어 있는 참조 영상 간의 공분산 및 상관 계수 등을 계산하여 이미지 간의 유사도를 판단할 수 있는 비마커 증강현실을 사용하였다(조휘준, 김대원, 2011).

마커와 비마커 증강현실 기술들은 시각적으로 불편함을 주고 마커를 인식해야 가상의 객체가 증강되기 때문에 몰입감을 떨어뜨리는 문제를 가지고 있다. 마커가 없이 증강되는 객체등록방식에 대한 연구로 IR(Infrared Rays)마커를 이용해 사람의 눈에는 보이지 않지만 IR카메라를 이용해 시각적인 불편함을 덜어주었다(정승언, 2010). 또한 이병성(2010)은 웹 카메라로부터 입력된 실시간 영상을 전달받아 손가락 끝의 특징점을 추적하여 좌표를 획득한 후 가상객체를 증강하는 기법을 통해서 마커가 없고 증강된 객체를 제어할 수 있는 방안을 제시하였다.

이러한 선행연구들은 증강현실이 전시 콘텐츠로서의 가능성과 객체등록방식에 대한 문제개선과 발전방안을 제시하였지만, 현실과 가상객체의 부정확한 정합문제로 현실감 저하와, 마커인식으로 인한 몰입도 감소를 해결하기 위한 방법으로서 미흡한 실정이다.

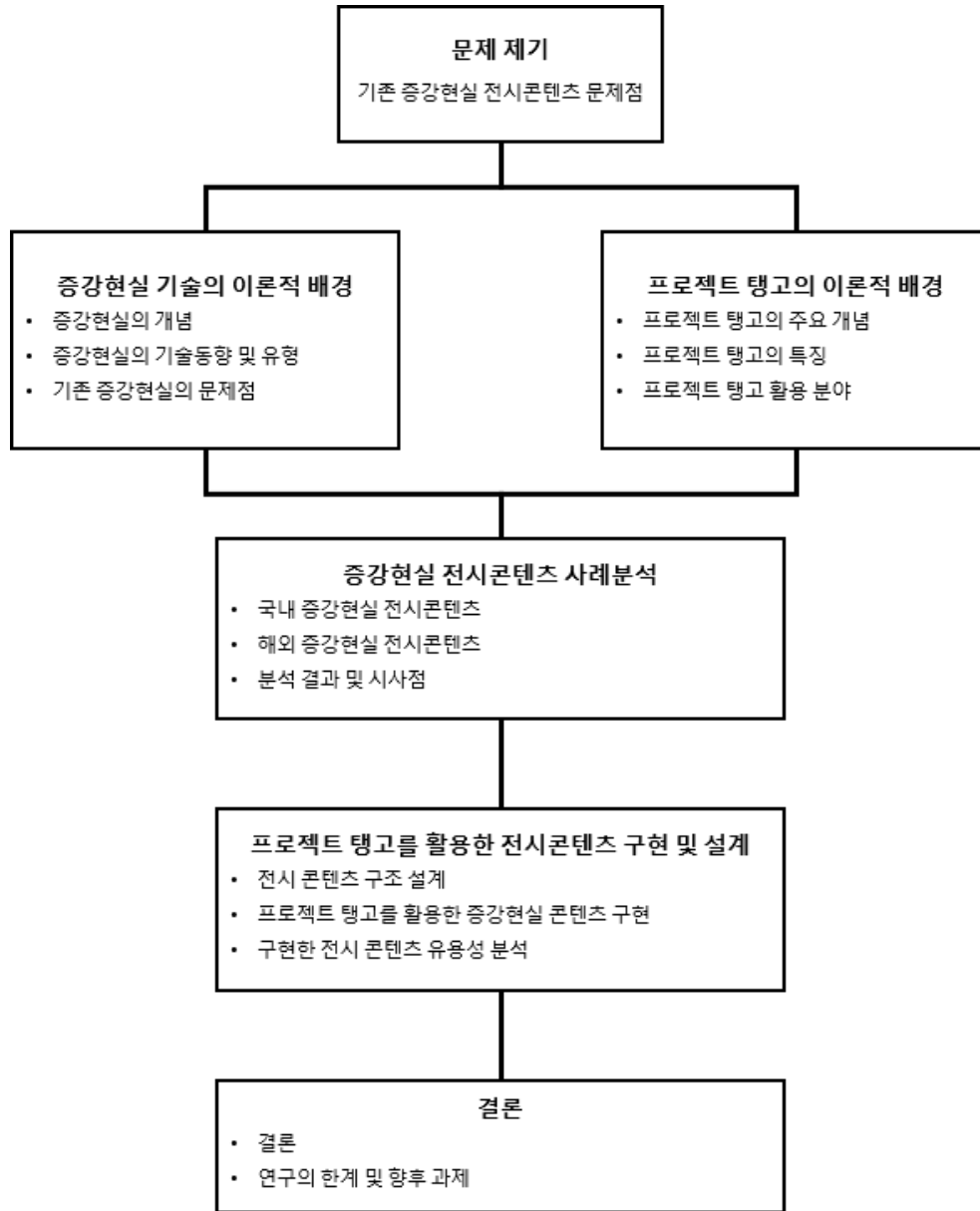
<표 1-1> 증강현실 전시 콘텐츠에 관한 주요 선행연구

분야	연구자	주요내용
증강현실 전시	오선애(2012), 심소연, 김미영, 문정민(2014), 김태은, 김병철(2012)	<ul style="list-style-type: none"> - 증강현실 도입은 체험공간의 확대와 현실감 향상으로 학습 몰입도에 효과적 - 멀티미디어의 특성으로 전시물의 가치 확장 - 관람객과 전시물 간의 소통은 관람객에게 전시를 몰입할 수 있는 요소
증강현실 객체등록 방식	이주용(2012), 한상중(2011), 전수진(2012), 조휘준, 김대원(2011), 정승언(2010), 이병성(2010)	<ul style="list-style-type: none"> - 위치기반 증강현실 기술은 위치정보를 기반으로 정합하기에 편리하고 효과적이지만 부정확한 정합문제 발생 - 마커, 비마커기반 증강현실은 좌표계가 생성된 정확한 위치에 정합이 가능하나, 시각적인 불편함과 몰입감을 감소 - IR마커기반, 손가락 끝을 이용한 특징점 추적 다양한 방안으로 마커가 없는 연구진행

본 논문에서는 공간을 인지할 수 있는 기능을 가진 전시 콘텐츠를 Google의 프로젝트 탱고 Unity SDK와 Unity 3D를 활용해 구현하고자 한다. 프로젝트 탱고를 이용한 전시 콘텐츠는 기존의 증강현실 객체등록방식이 가지고 있는 부정확한 정합문제와 마커를 인식해야 한다는 문제점을 보완하고 사용자의 경험과 몰입감을 향상할 수 있는 방안을 제시할 것이다.

이를 위해 <그림1-1>와 같은 순서로 전개할 것이다. 먼저 증강현실 기술의 특성과 기존에 출시된 증강현실을 활용한 사례들을 조사한다. 그 후 증강현실이 가지고 있는 문제점인 현실세계를 인식하지 못한다는 단점을 살펴보고, 이런 문제점을 해결하기 위해 개발된 프로젝트 탱고에 대한 개념과 특징설명, 현재 사용되고 있는 관련 애플리케이션 사례를 수집하였다.

<그림 1-1> 연구 흐름도



또한, 사용자의 경험을 개선하고 정보전달과 흥미를 높이는 것이 증강현실 기술 도입의 목표이므로 현재 사용되고 있는 전시 콘텐츠 사례들을 살펴보고 사례분석을 통해 문제점을 도출할 것이다. 그리고 기존 증강현실 기술을 가지고 있는 문제와 실제로 사용되고 있는 전시 콘텐츠의 문제를 보완하기 위해 프로젝트 탱고를 활용해 구현한 전시 콘텐츠에 대한 설명과 보완한 결과를 제안하고자 한다.

본 연구는 1장 연구배경 및 목적으로 2장 이론적 배경을 통해서 증강현실 기술과 프로젝트 탱고의 개념에 대해서 알아보고 특징 및 콘텐츠 분야별 동향에 대해 살펴본다. 3장 기존 증강현실기반 전시 콘텐츠와 프로젝트 탱고로 사용 중인 전시 콘텐츠를 사례를 분석한다. 4장에서는 분석한 시사점을 바탕으로 프로젝트 탱고를 활용한 전시 콘텐츠를 설계하고, 5장에서 설계한 구조를 바탕으로 전시 콘텐츠를 구현해 다른 전시 콘텐츠와 유용성 분석 후 6장 결론에서 프로젝트 탱고를 활용한 전시 콘텐츠 활성화 방안을 제시한다.

제2장 이론적 배경

제1절 증강현실(Augment Reality)

1. 증강현실의 개념

증강현실(Augmented Reality, AR)은 우리 눈으로 보는 현실세계에 가상객체를 겹쳐 보여주는 기술이다. 현실세계와 부가정보를 포함한 가상세계를 합쳐 실시간으로 하나의 영상으로 보여주기 때문에 혼합현실(Mixed Reality, MR)이라고 불린다. 현실세계를 가상정보로 보완해주는 개념인 증강현실은 컴퓨터 그래픽으로 만든 가상환경을 사용하지만, 기본적으로 현실환경을 바탕으로 둔다. 가상의 객체는 현실환경에 필요한 정보를 추가로 제공하는 역할을 한다(위키피디아, 2017). 또한 Milgram과 Kishino의 논문에서 <그림2-1>와 같은 도식을 예로 들었다.

<그림 2-1> 현실-가상 연속체 (Continuum of Reality-Virtuality)



현실세계와 증강현실, 증강가상과 가상현실을 범주로 제시하고 있는데, 구분의 기준은 현실과 가상의 혼합비율이다. 증강현실은 현실세계 기반으로 컴퓨터 그래픽이 증강된 케이스로 정의하고, 증강가상은 그 반대인, 가상세계 기반에 현실 사물이 증강된 케이스로 정의된다(Milgram, Kishino, 1994).

Azuma, R. T.(1997) 연구에 따르면 증강현실은 3가지 특성을 가진다. 첫째, 현실세계(Real-World Elements)의 이미지와 컴퓨터의 가상이미지가 결합하며, 둘째, 실시간 상호작용(Interaction)이 가능하며, 셋째, 3차원 공간 안에 배치

된다. 증강현실 기술은 현실세계에 대한 상호작용 및 사용자의 인지를 향상할 수 있다. 또한 다른 연구에서는 증강현실 기술의 특성은 HMD(Head Mounted Display)와 같은 시각적 감각뿐만 아니라 청각, 촉각 등 모든 감각을 사용할 수 있다고 명시하고 있다. Azuma, R. T. 의 증강현실에 대한 정의는 Milgram과 Kishino의 정의와 함께 현재까지 가장 많이 인용되며 사용되는 증강현실에 대한 명확한 기준이다.

2. 증강현실의 기술동향 및 유형

1) 디스플레이 형태

증강현실 기술은 대부분 시각에 의존적인 정보를 제공하기 때문에 디스플레이 요소가 가장 중요하다. 디스플레이 요소는 4가지로 나뉘 볼 수 있다.

첫 번째로 스마트폰과 같이 카메라가 부착된 모바일 단말형 디스플레이는 보급이 잘 되어 있어서 접근성이 뛰어나기 때문에 가장 보편적이다. 하지만 화면을 보면서 동시에 조작해야 하므로 불편함을 느끼고 현실감이 떨어지기 때문에 개선이 필요하다고 제기된다(한국콘텐츠진흥원, 2010).

<그림 2-2> 모바일 단말형 증강현실 예시



(그림 출처: <https://www.youtube.com/watch?v=vDNzTasuYEw>)

두 번째 증강현실에 최적화된 디스플레이로 과일렛의 구글, 애니메이션 ‘드래곤볼’에 나온 스카우터와 같이 사용자가 착용하면 곧바로 눈으로 영상을 전송받을 수 있는 형태가 있다(장승원, 2011). 보잉사의 연구원 톰 코델(Tom Caudell)이 고안한 증강현실 장치 역시 기술자에게 조립 정비작업 과정을 도형

과 텍스트 등의 정보로 제공해주기 위한 고글형 장치였다. 현재에는 Google사의 ‘구글글래스’, MS사의 ‘홀로렌즈’가 대표적인 예이다.

<그림 2-3> 광학식 증강현실 예시



(그림 출처: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>, <https://youtu.be/4EvNxWhsk8>)

세 번째로 프로젝터를 통해서 현실 공간을 증강현실의 대상으로 적용한 기술인 프로젝트 매핑 증강현실(Projection Mapping Augmented Reality)이 있다. 빔 프로젝터를 통해 벽면, 바닥, 구조물에 이미지를 투사하는 방식으로 박물관 전시, 공연, 인터랙티브 게임을 구현할 때 사용된다. 미국 매사추세츠공과대학(MIT) 연구원이었던 인도 출신 컴퓨터공학자 프라나브 미스트리(Pranav Mistry)가 TED 강연에서 발표한 카메라와 프로젝터에서 나오는 빛을 일정한 각도로 벽면에 투사 후 거울과 골무처럼 손가락 끝에 착용한 컴퓨터 마우스와 터치패드 같이 쓸 수 있는 컬러마커(color marker) 등으로 가상객체를 제어할 수 있다(SAMSUNG NEWSROOM, 2015). 단순하게 구성된 이 웨어러블 기기는 벽면에 기기의 디스플레이 화면을 투사하거나 동작을 인식해 시계, 웹서핑, 게임 등을 현실세계에 구현하였다.

<그림 2-4> 프로젝트 매핑 증강현실 예시



(그림 출처: pranavmistry.com)

마지막, 모니터기반 방식으로 장비의 이동이 없고 고정된 형태가 많다. 카메라를 통해서 들어온 영상을 컴퓨터그래픽과 합성하여 최종 영상을 모니터로 보여주는 것이다. 전망대의 망원경과 같이 사용자 시점이 아닌 기기의 시점을 기준으로 보여주기 때문에 몰입감이 낮을 수 있다. 대체로 박물관과 전시회, 공공 장소에서 주로 이용되고 있다.

2) 객체 등록 방식

(1) 위치기반(Location Based) 기술

위치기반 증강현실 기술은 <그림 2-5>와 같이 GPS(Global Positioning System) 정보를 기반으로 기기의 자이로스코프(Gyroscope), 디지털 나침반, 가속도계(Accelerometer) 등을 이용한다. 현실세계의 객체의 움직임과 위치, 방향, 속도 등을 정밀하게 추적하여 화면에 증강 위치를 파악하여 관련 콘텐츠를 시각화하는 기술을 말한다.

비전기반 기술보다 비교적 쉽게 구현할 수 있으므로 많이 활용되고 있으나 GPS는 측정값에 10 ~ 30m 정도의 오차가 있어 증강된 객체가 실제 위치와는 다른 위치에 표시될 수 있는 문제가 발생할 수 있다. 그래서 정확한 위치를 측정하기 위한 기술이 요구되고 있다. 이동통신 환경을 이용하는 방법으로 WPS와 무선랜 같이 고정돼 있는 물체에 대한 접근성을 이용하는 방법이 있다.

<그림 2-5> 위치기반 증강현실



이동 통신 환경을 이용하는 방법은 거의 모든 곳에서 이용할 수 있다. 별도의 추가적인 장비가 필요 없이 이미 잘 구축된 인프라를 이용할 수 있고, 거의 모든 곳에서 위치 정보를 이용할 수 있는 장점이 있지만, GPS 인공위성을 이용한 방법이나 무선랜을 이용한 방법보다 위치의 정확도가 떨어지는 단점이 있다 (여건민, 안지환, 2010).

(2) 비전기반 기술

현재 증강현실 시장에서 분류하는 영상기반의 트래킹은 마커기반과 마커리스 기술로 나뉜다. 우선 마커기반 증강현실 기술은 객체를 증강하기 위해 QR코드와 같은 특정 형태의 마커를 이용하는 방식이다. 인식된 마커에 3차원 좌표계가 형성되고 컴퓨터그래픽을 합성하는 작업을 증강이라고 한다(김희관, 2011).

일반적으로 마커는 <그림2-6>에서 보는 것처럼 흰색과 검은색의 혼합된 정방형의 테두리를 형성하고 있는데, 이는 3차원 좌표를 알고 있는 코너(Corner)를 가지고 있어, 좌표 계산을 쉽게 하고 가상객체의 증강 위치를 선정할 수 있다(박한훈, 박종일, 2016). 이렇게 만들어진 좌표계는 사용자가 마커를 움직이거나, 카메라를 움직였을 경우 상대적좌표를 실시간으로 생성하고 해당 좌표에 알맞은 컴퓨터그래픽을 증강하기 때문에 사용자가 보기에 현실세계에 가상객체 및 정보가 겹쳐서 보이게 된다.

<그림 2-6> 마커기반 증강현실 예시



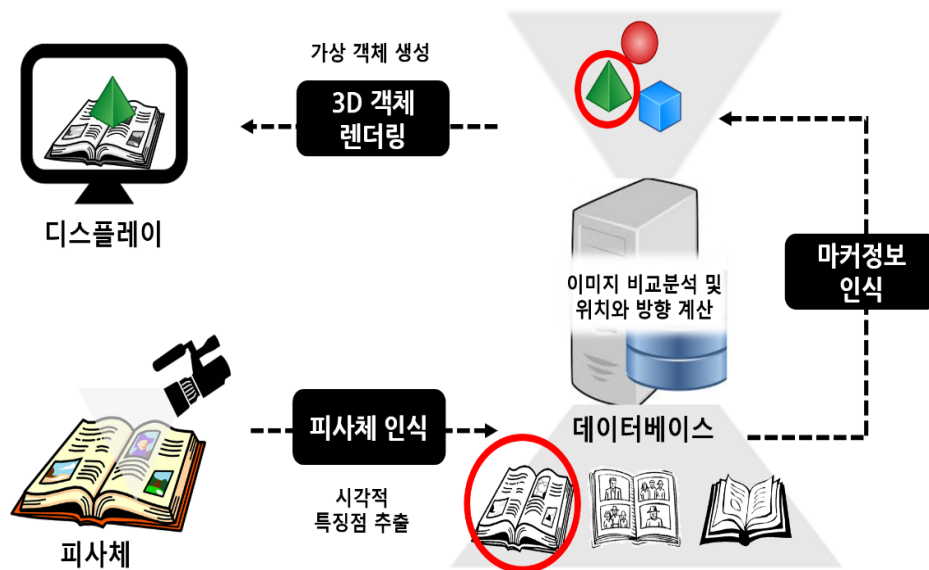
(그림 출처: <http://www.alife-studios.com/portfolio>)

이런 좌표 계산과 컴퓨터 그래픽을 증강해주는 라이브러리로 ARToolkit 이 있는데, 구현 속도가 빠르며 정확한 좌표계산으로 가장 널리 사용되는 라이브러리이다. 하지만 마커와 증강하는 가상객체가 다르므로 이질감을 느끼기 쉽고 마커를 인식해야 증강할 수 있기 때문에 현실감이 떨어지는 단점을 가지고 있다.

마커리스 증강현실 기술은 현실과 어울리지 않아 사용자의 몰입감을 감소시키는 마커기반 증강현실의 단점을 보완하기 위해 개발되었다. <그림2-7>와 같이 마커를 사용하지 않고 현실세계에 존재하는 객체의 시각적 특징점(Key point)을 추출하고 데이터 베이스에 저장된 마커정보를 인식해 정확한 위치에 가상객체를 생성한다. 이런 특징으로 일정한 형태의 형상을 사용하지 않아도 잡지, 포스터, 책 표지 등의 이미지 정보를 그대로 사용할 수 있다는 장점이 있다(김혜선, 2012).

마커리스 증강현실은 자연특징기반 방식과 환경특징기반 방식 두 가지로 구분 할 수 있다. 자연특징기반 방식은 현실세계에서 추출된 특징점에서 사용자의 움직임과 방향을 분석하고 대사지점(POI, Point of interest)에 가상객체를 증강한다. 단점으로는 마커기반 증강현실보다 처리속도가 느리고 마커영역이 카메라에서 벗어날 경우 추적이 불가능하다는 문제가 있다.

<그림 2-7> 마커리스 증강현실 원리



환경특징기반 증강현실은 주변 특징을 분석하는 동시에 지도를 만들어 사용자의 위치를 파악한다. 이는 로봇의 주행을 연구하기 위해 사용됐던 개념인 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)¹ 기술을 증강현실에 응용해 사용되었다. 사전 정보가 없는 상태에서도 공간을 재구성할 수 있지만 아직 안정성이 낮고 협소한 공간에 적합하므로 지속적 연구가 필요하다(장국현 & 서일홍, 2012).

3. 기존 증강현실의 문제점

증강현실이라는 낯선 기술을 대중들에게 친숙한 용어로 만들 수 있었던 계기가 된 ‘포켓몬GO’는 국내뿐만 아니라 전 세계적인 인기를 끌면서 증강현실 기술을 우리 생활로 끌어왔다. 하지만 이런 ‘포켓몬 GO’ 이외에도 기존의 증강현실 애플리케이션에는 문제점이 있다.

우선 기존의 증강현실 구현 시스템에서는 주로 일반 스마트폰이나 거치형 디스플레이를 사용한다. 이 기기들에서는 현실객체의 거리를 파악하고 사용자의 위치를 파악할 수 있는 센서와 패턴인식 시스템이 없으므로 주변 환경에 영향을 받지 않는다. 예를 들어 <그림2-8>을 보면 가상의 고양이가 바닥 위에 위치한 마커를 이용해 증강할 경우에는 바닥 위에 배치해 있다고 파악할지 모르지만 고양이를 이동시켜야 하는 상황에서는 현실세계에 있는 바닥의 위치와 벽면을 고려하지 않고 공중에서 걷고 있는 고양이를 볼 수 있다.

이처럼 현실세계와 가상객체가 정확한 위치에 배치되지 않아 사용자에게 이질감을 느끼게 해 몰입감을 감소시킨다.

¹ SLAM(Simultaneous Localization and Mapping, 동시적 위치추정 및 지도작성)은 로봇공학에서 사용되는 개념으로 로봇이 자율적으로 이동하기 위해 갖춰야 할 가장 기본기능이다. 이동하는 로봇 스스로 주변을 탐색하면서 환경지도를 작성하고, 주변 환경 속 자신의 위치를 파악하는 개념이다.

<그림 2-8> 기존 증강현실 콘텐츠의 문제점



(그림 출처: <https://youtu.be/8Av1ghZKuZY>)

두 번째 문제점은 마커기반 증강현실과 마커리스 증강현실 모두 일정한 패턴을 스캔 해야 하므로 카메라 시야 밖에 있으면 가상객체를 증강하지 못한다. ARToolkit은 증강현실 콘텐츠를 제작하기에 쉬운 도구이지만 마커나 마커리스 기법을 사용하여 표시를 인식하는 방식이기 때문에 마커 전체를 카메라로 보여 주지 못하는 경우 제대로 마커를 인식하지 못한다. 또한 마커가 작거나 카메라로부터 멀리 떨어져 있는 경우 인식이 잘 안 되는 단점이 있다. 프로젝트 탱고는 이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 서비스이다. 스마트폰에 인간과 유사한 공간 인식능력을 부여해, 현실을 스캔하고 3차원 공간 정보를 파악한 후, 사물과 사물 간의 거리를 파악할 수 있다.

제2절 프로젝트 탱고(Project Tango)

1. 주요개념

프로젝트 탱고는 기존 스마트폰이 가지고 있는 자이로센서, GPS, Wi-Fi, 이동통신망을 포함하여 사물과의 거리를 측정할 수 있는 적외선 센서(Integrated Depth Sensing) 그리고 주변 환경의 모서리나 패턴을 분석해 위치를 추적하고 공간을 인식하는 어안 카메라(Fisheye Camera)를 추가해서 Android 기기 플랫폼에 인간의 눈과 같은 능력을 제공했다. 프로젝트 탱고의 목표는 동작추적, 공간

학습 및 거리측정과 같은 세 개의 핵심 기술을 사용하여 휴대기기에 인간과 유사한 공간 및 동작추적 능력을 부여하는 것이다(Google, 2017).

1) Pose

기기가 3D 공간에서 이동에 따라 해당 기기의 위치(Position)와 회전 방향(Orientation)을 초당 최대 100회 계산한다. 이 계산된 단일 인스턴스를 장치의 Pose라고 한다.

Pose는 동작추적, 공간학습 또는 깊이인식 작업을 수행할 때 필수적인 개념이다. Pose를 계산하려면 먼저 기본 프레임(Base Frame)과 대상 프레임(Target Frame) 두 쌍을 선택해야 한다. 대상 프레임에서 기본 프레임으로 변환하는데 필요한 이동 및 회전으로 Pose를 계산할 수 있다.

2) 참조 프레임(Frames of Reference)

기기의 위치와 방향을 설명할 때 참조 프레임을 사용하여 나타낸다. 참조 프레임이란 “사용자 A는 5m 거리에 서 있다.” 라는 정보는 사용자 A가 어디서부터 5m 거리에 있는지 정확한 위치를 알려줄 수 없다. 정확히 알고 싶으면 “사용자 A는 자판기로부터 5m 거리에 서 있다.” 라고 말하면, 자판기를 기준으로 삼고 사용자 A의 거리를 측정할 수 있다. 그러나 Pose를 알기 위해서는 거리와 방향을 알아야 하므로 “처음 동작추적을 시작한 곳에서 앞으로 5m, 위로 1m 올라가고 오른쪽으로 90도 회전했다.” 라고 말할 수 있다. 따라서 자판기처럼 공간상에 고정된 객체를 기본 프레임이라 정의하고 기기를 들고 있는 사용자 A를 대상 프레임이라 부른다.

특정 응용 프로그램을 실행하면 상황에 맞게 <표2-1>와 같이 두 프레임 쌍을 연결해 초당 100회 기본 프레임 기준으로 대상 프레임의 Pose를 계산하며 동작추적을 실행한다.

<표 2-1> 동작추적을 위한 프레임 쌍

대상프레임	기본프레임	설명
COORDINATE_FRAME_DEVICE	COORDINATE_FRAME_START_OF_SERVICE	프로젝트 탱고 서비스가 처음 실행되었을 때 상대적인 Pose를 제공한다. 오류로 동작추적이 실패를 감지해 리셋 명령어를 실행해 재초기화 실행한다.
COORDINATE_FRAME_DEVICE	COORDINATE_FRAME_AREA_DESCRIPTION	ADF가 로드된 상태이거나 공간학습 모드가 켜져 있으면 기본프레임의 원점이 ADF상의 원점이 된다.
COORDINATE_FRAME_START_OF_SERVICE	COORDINATE_FRAME_AREA_DESCRIPTION	현지화 또는 루프결합이 발생할 때만 업데이트가 제공되며, 장치의 Pose를 조정하며 정확도를 높인다.

<자료 출처: Google Developer, Frames of Reference,
<https://developers.google.com/tango/overview/frames-of-reference>>

2. 프로젝트 탱고의 특징

1) 동작추적(Motion Tracking)

프로젝트 탱고의 동작추적은 SLAM기반으로 개발되었으며 애플리케이션이 사용하는 동안 기기의 이동을 파악하는 기능이 추가되어 있다. 동작추적에서는 넓은 시야를 얻기 위해 160° 까지 볼 수 있는 어안 카메라와 관성측정장치(Inertial Measurement Unit, IMU)를 사용 해서 카메라에 비치는 사물들의 시각적 특징들을 추출하고, 자이로스코프와 가속도계 등 각종 센서들을 통해서 Pose 정보를 얻어 프레임 마다 특징들이 얼마나 이동했는지 추적해 사용자의 위치를 계산한다.

자이로스코프와 가속도계는 Android 기기에서 방향이 세로인지 가로인지 감지하는 방식과 유사한 방식으로 사용되지만, 프로젝트 탱고 스마트폰에서는 어

안 카메라를 사용하여 회전 및 선형 가속을 더욱 정확하게 예측하게 한다. 여기에는 움직이는 물체를 찾는 패턴인식 유형이 사용된다. 예를 들어 건물을 멀리서 촬영한 다음 가까이에서 다시 촬영하면 사진 속 건물의 크기 및 위치 변화에 따라 카메라가 이동한 거리를 계산할 수 있다. 동작추적에서는 주변의 실제 공간을 파악하지 못한다. 새 동작추적 세션이 시작될 때마다 추적이 새로 시작되며 가장 최근에 시작한 위치와 관련하여 위치를 보고한다. 이러한 제한은 다음 핵심 기술인 공간 학습을 통해서 해결된다.

2) 공간학습(Area Learning)

공간학습에서는 기기의 어안 카메라와 Android의 위치 서비스를 사용하여 실내 위치를 구체화한다. 이 서비스에서는 실제 공간의 시각적 특징을 수집하여 실제 위치를 나중에 다시 인식할 수 있다. 가구와 문이 있고 바닥이나 벽에 패턴이 있어서 시각적으로 더 특색 있는 공간은 흰 벽이 있는 빈방보다 인식하기가 더 쉽다.

공간학습은 다음 두 가지 작업으로 동작추적에서 제공된 정보를 개선한다. 첫 번째, 현지화(Localization)로 스마트폰이 이전공간에 대한 학습내용을 활용하여 지금 보이는 공간을 파악하는 데 도움을 줄 수 있다. 이를 위해 기기에서 검색 가능한 색인 내에서 식별한 시각적 특징에 대한 수학적 설명을 기기에 ADF(Area Description File)로 저장한다. 이를 통해 기기는 클라우드 서비스를 사용하지 않고 현재 보이는 공간을 이전에 본 공간으로 신속하게 일치시킬 수 있다. 그리고 다른 사용자들과 공유가 가능하며 동시에 가상의 공간을 사용할 수 있다. ADF는 사용자의 허락 없이 다른 애플리케이션에서 접근할 수 없다. 두 번째 루프결합(Loop Closure)이다. 루프결합이란 SLAM에서 현재 측정되고 있는 데이터와 지도상에 존재하는 데이터의 일치 사항을 찾아내고, 매칭시킴으로써 지도의 정확도를 향상해 위치 에러를 감소시키는 과정이다(장국현 & 서일홍, 2012). ADF의 정보와 현재 Pose 데이터의 정보를 매칭시켜 오류를 수정한다.

3) 깊이인식(Depth Perception)

깊이인식을 사용하면 장치가 주변 환경의 모양을 이해할 수 있다. 이를 통해 기존 가상현실에서 단점으로 지적되었던 현실과 가상오브젝트의 이질감을 해결

하고 가상오브젝트가 실제 환경의 일부로 보일 뿐만 아니라 해당 환경과 상호작용할 수 있는 현실감이 높아진 증강현실을 만들 수 있다.

프로젝트 탱고 기술을 활용한 스마트폰은 기기에서 물체까지의 거리를 측정하는 적외선 센서가 장착되어 있다. 또한, 거리 데이터는 색상 이미지 데이터와도 연결하여 거리 지도를 생성할 수 있다. 거리 지도는 촬영한 이미지의 초점을 다시 맞추는 것과 같이 고유한 방식으로 사진을 수정하는 데 사용할 수 있다. 현재 적외선 센서는 중간 거리(0.5 ~ 4M)의 실내에서 가장 잘 작동하도록 설계되었다.

이 기술은 기기의 카메라를 사용하여 근적외선을 보는 기술에 의존하므로 정확하게 거리를 인식하기 어려울 수 있다. 햇빛이나 백열전구와 같이 적외선의 광원이 높은 곳에 있는 공간 또는 적외선을 반사하지 않는 물체는 정확하게 감지할 수 없다. 사람이 빨간색으로 인식하는 빛 바로 바깥의 근적외선을 사용하므로 센서가 사람의 눈을 방해하는 가시광선을 비추지 않고 물체까지의 거리를 측정할 수 있다.

3. 프로젝트 탱고 활용 분야

사실적인 증강현실 경험을 위해서는 3D매핑과 이미지 렌더링이 모두 필요하다. 홀로렌즈와 매직리프와 같은 글래스 타입 제품은 사용성이 좋으나 무겁고 큰 헤드셋이 필요하고 가격도 비싸다. 스마트폰 형식으로 위 모든 기능을 갖춘 증강현실 제품은 Lenovo Phab 2 Pro밖에 없다. 프로젝트 탱고는 스마트폰을 사용하는 환경에서 개발에 쉽게 다가갈 수 있는 플랫폼을 이용해 콘텐츠를 축적하기 쉽다는 강점을 가지고 있고, 이미 출시된 구글의 가상현실 플랫폼 ‘Daydream’ 과 결합된 에이수스의 ‘ZenFone AR’ 이 출시로 ‘Google Glass’ , ‘Daydream’ , ‘프로젝트 탱고’ 세 가지 플랫폼을 하나로 통합해 기존 스마트폰 시장에서 성공을 거두었던 소프트웨어 우선 정책을 실시하고 있다. 그리고 BMW와 함께 테스트 중인 앱은 프로젝트 탱고 지원 스마트폰으로 실제 환경에 증강현실로 구현된 i3 City Vehicles와 i8 Sports Car의 3D 모델을 실제 크기로 확인할 수 있는 앱으로, 현재 글로벌 11개국의 BMW 매장에서 확인할 수 있으며, 이용자들은 스마트폰을 든 상태에서 실제 크기의 3D 차량 이미지를 둘러보거나,

자신의 차고나 실제 도로에 3D 차량 이미지를 배치해 확인할 수 있다. 또한 글로벌 의류업체인 GAP과 함께 개발 중인 DressingRoom 앱은 이용자가 앱을 실행한 후 3D 마네킹에 자신의 사이즈와 동일한 옷을 입혀볼 수 있는 형태로, 굳이 매장에 방문하지 않더라도 장소에 상관없이 매장에서 쇼핑하는 경험을 제공한다.

<그림 2-9> 프로젝트 탱고를 적용한 사례



(그림 출처: <https://blog.google/products/google-vr>)

이러한 프로젝트 탱고의 행보는 이후 가상현실 플랫폼 ‘데이드림’과의 통합을 통해서 증강현실 쇼핑 앱의 경우 개별 제품의 3D 가상제품 이미지를 생성할 필요가 있는데, Alibaba의 GnomeMajic Lab이 추진했던 ‘God of Creation Project’와 유사하게 프로젝트 탱고와 데이드림을 모두 지원하는 3D 제품 생성 솔루션을 개발한 후 업체들에게 제공하여 업체들이 자사 제품의 3D 이미지를 생성해 제공할 수 있도록 한다면 가상현실과 증강현실을 모두 지원하는 쇼핑 플랫폼 개발이 가능할 것이다(Digieco, 2017). 그리고 앞서 말한 증강현실을 통해 BMW 실체 차량을 확인하고 VR 단말기에 연결해 실제 차량의 내부구조를 확인하는 것은 물론 직접 시험운전을 해보는 게임 형태로도 즐길 수 있다. 이처럼 다양한 기업들과 협업으로 범용적인 시장 구축하며 활용영역을 넓혀나가고 있다.

제3장 증강현실 기술을 활용한 전시 콘텐츠 사례분석

제1절 국내 증강현실 콘텐츠 사례

1. 서대문 자연사박물관

서대문 자연사박물관은 지역 환경의 생물학적, 지질학적 사실에 대한 기록과 증거를 보존, 연구하며 대중에게 전시하는 박물관이다. 지루하지 않고 관람객의 흥미를 제공하기 위해 스마트 전시 시스템을 도입하였다. 먼저 박물관에서 제공하는 박물관 애플리케이션으로 마커인식하면 티라노사우루스, 맘모스, 북극곰 등 10가지 넘는 동물들을 증강현실 기술로 시각화할 수 있고 함께 사진을 찍을 수 있다. 또한, 공룡의 뼈만 전시되어있는 장소에 모니터와 카메라와 각종 센서로 공룡을 비추면 공룡의 모습이 증강되는 고정형 모니터(키오스크)방식을 통해서 전시를 관람하는 관람객에게 흥미를 제공하고 있다.

<그림 3-1> 비마커형 증강현실과 고정형 모니터 증강현실 작동 모습



2. 홍대 트릭아이뮤지엄

트릭아이뮤지엄은 착시효과를 활용한 체험형 트릭아트 작품에 증강현실 기술을 접목해 관람객에게 새로운 경험을 제공하고 있다. 트릭아이뮤지엄 전용 애플리케이션을 작품에 비추면 작품 속 그림이 움직이는 모습과 함께 사진을 찍을 수 있다. 그 외 관람객의 관심을 끌기 위해 ‘포켓몬GO’와 비슷한 ‘홍바오GO’

라는 콘텐츠를 통해서 작품을 감상하는 중간에 복주머니를 수집해 소정의 상품으로 바꿀 수도 있다.

3. 반 고흐 인사이드

반 고흐 인사이드는 반 고흐의 작품을 4개의 공간으로 구분 짓고, 기어VR, AR 증강현실, 인터랙티브 프로젝션 기술 등 다양한 기술로 작품을 쉽게 이해할 수 있는 디지털 체험관으로 구성했다. 가상세계를 통해서 고흐의 방을 관람하거나, 태블릿으로 실제 그림을 비춰 보면 애니메이션 효과와 함께 고흐의 작품을 관람할 수 있다.

<그림 3-2> 반 고흐 인사이드 증강현실 사례



(그림출처: <http://www.campus10.co.kr/archives/tag/반고흐인사이드>)

제2절 해외 증강현실 콘텐츠 사례

1. HongKong Science Museum - T-Rex Revealed

기존 전통적인 공룡 전시회에서 화석과 관련 글 및 문자 정보를 제공했지만, 홍콩과학박물관에서는 National Geographic과 Xiaomi와 협업으로 태블릿PC와 HMD를 이용해 증강현실과 가상현실 콘텐츠를 구현해 방문자와 상호작용할 수 있게 하였다. “T-Rex Revealed - Augmented + Virtual Reality Experience”는 주요 전시장과 미니 전시장 5곳으로 구성해 Myths of T-Rex에서는 티라노사우루스의 사냥 및 생활 방식과 직소 퍼즐 그리고 게임을 증강현실로 만들어 사용자에

계 정보를 제공했고, Fly with Dinos에서는 가상의 세계에서 하늘을 날며 다양한 공룡들의 생활 방식과 멸종 영상을 가상체험하게 했다.

<그림 3-3> T-Rex Revealed



(좌: Myths of T-Rex, 우: Fly with Dinos - VR Experience)

2. Acropolis Museum in Athens, Greece

그리스 Acropolis Museum에서는 EU에서 지원하는 Chess(Cultural Heritage Experiences through Socio-personal interactions and Storytelling) Project를 이용해 연구, 문화콘텐츠 구현, 게임과 같은 대화형 콘텐츠를 증강현실 기술로 만들어 새로운 경험을 제공하는 프레임워크이다. 이런 프로젝트로 Acropolis Museum은 수천년 지난 조형물의 잃어버린 색을 복원하거나 파괴되고 사라진 건축 및 조각 유적들을 증강현실 기술로 복원해 사용자들에게 시각적 정보 탐색할 수 있게 하였다.

<그림 3-4> Acropolis Museum의 조형물 색상 복원 사례

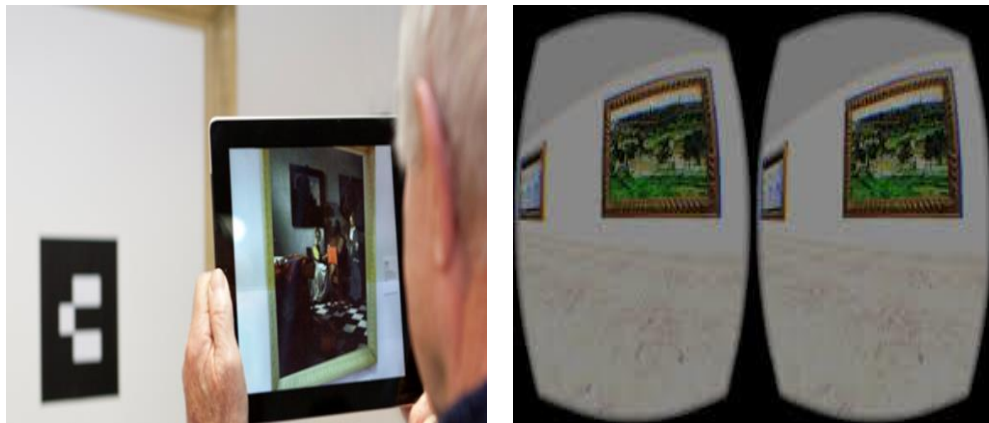


(그림 출처: <http://www.chessexperience.eu>)

3. Museum of Stolen Art

Ziv Schneider의 Museum of Stolen Art는 도난당한 미술관이라 불린다. 다른 기관에서 도난 또는 분실 신고된 작품 전시회를 개최했다. 작품은 태블릿이나 모바일 디바이스를 통해서 액자 안에 있는 마커를 인식해 도난 미술품들을 관람할 수 있다. 또한, 현실세계의 관람실을 가상의 공간으로 이동시켜 HDM가 있는 곳이면 공간에 제약 없이 접근할 수 있으며 도난 당한 미술품들의 조각을 모으는 게임 방식을 이용해 사용자의 몰입감과 흥미를 이끌었다.

<그림 3-5> Museum of Stolen Art



(그림출처: https://creators.vice.com/en_uk/article/find-missing-asterpieces-inside-the-museum-of-stolen-art)

제3절 사례 분석결과 및 시사점

국내의 사례를 종합해 <표3-1>와 같이 정리하였다. 기존 전시공간의 증강현실 전시방식은 전시물의 정보를 보여주고 설명하는 용도로 사용되었고, 디스플레이 형태로는 모바일 디바이스가 가장 많았다. 가상현실 콘텐츠를 볼 수 있는 HMD, 고정형 모니터 형식의 키오스크가 사용되었다. 그리고 증강현실 객체등록 방식으로는 사실감을 감소시키는 마커기반 보다는 마커리스 등록방식이 주로 사용되었고, 주로 야외에서 증강현실을 사용할 때 위치기반 등록방식을 사용했다.

국내외 증강현실 전시 콘텐츠 사례분석을 통해서 증강현실 기술이 전시 매체에 적절히 사용되고 사용자에게 새로운 경험과 몰입감을 주기 위해 전시 주체도 다양한 방법으로 전시 콘텐츠를 구축하는 것을 알 수 있다.

<표 3-1> 국내외 증강현실 콘텐츠 사례

이름	디스플레이 형태	객체등록방식	콘텐츠 내용
서대문자연사 박물관	모바일 디바이스, 키오스크	마커리스 (자연특징기반)	공룡 CG를 이용하여 증강 동물들과 사진 촬영
홍대트릭아이 뮤지엄	스마트폰	마커리스 (자연특징기반)	작품 속 움직이는 그림과 함께 사진 촬영
반 고흐 인사이트	모바일 디바이스, HMD	마커리스 (자연특징기반)	AR Book을 통한 설명, 움직이는 그림
HongKong Science Museum	모바일 디바이스, HMD	마커리스 (자연특징기반)	티라노사우르스 생활방식 설명, VR 체험, 직소 퍼즐 게임 등
Acropolis Museum	모바일 디바이스	위치기반, 마커리스 (자연특징기반)	야외 전시 문화재 설명, 전시물 색 복원
Museum of Stolen Art	모바일 디바이스	마커기반	도난 미술품 설명

박물관 대부분이 마커와 마커리스 증강현실 기술을 적용했지만, 마커를 인식해야만 증강되기 때문에 몰입감이 떨어진다. 마커가 없이 GPS의 정보를 가지고 가상객체를 증강하는 위치기반 증강현실은 비전기반 기술보다 사물에 배치 오류가 발생하므로 사실감이 떨어진다. 이런 문제점을 보완하기 위해 프로젝트 탱고 기술의 깊이인식기능과 공간학습기능을 이용해 전시관을 스캔 하여 가상객체와 현실 사물 배치를 자연스럽게 할 수 있을 것이고, 동작추적 기능을 통해서 관람자가 해당 객체 위치 근처에 가면 기기가 인식해 사물을 증강함으로써 몰입감을 증가시킬 것이다.

제4장 공간인지 능력이 있는 전시 콘텐츠 설계

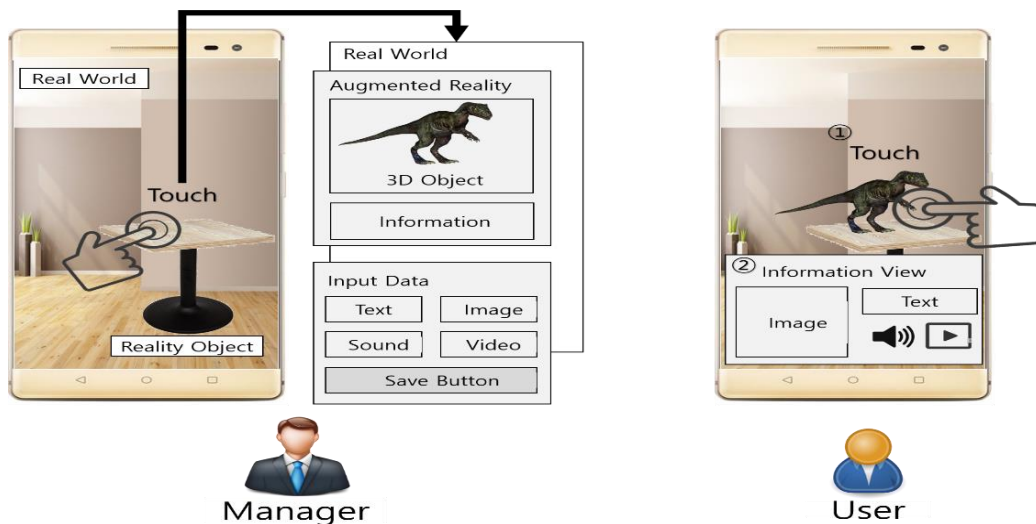
제1절 전시 콘텐츠 개요

다양한 전시품과 체험공간을 확보하기 위해서는 증강현실 기술을 통해서 공간의 제약을 극복할 수 있고 관람객에게 다양한 감각체험을 제공할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안하는 전시 콘텐츠는 현실 공간과 거리를 인지해 가상객체를 정확한 위치에 정합할 수 있으며 전시물에 대한 정보를 다양한 형태의 전달 매체로 전달할 수 있는 전시 콘텐츠를 제안한다.

제안한 콘텐츠는 공간인지능력이 있어 가상객체를 정확하게 정합해 사용자가 이질감 없이 전시 콘텐츠에 몰입할 수 있는 높은 현실감을 제공한다. 또한 전시물정보제공을 위해 뷰어(Viewer)를 설계하여 다양한 방법으로 정보를 제공한다.

본 논문에서는 <그림 4-1>와 같이 개요를 도식화 하였다. 관리자는 스마트폰에 보여지는 현실사물 표면을 터치하면 증강현실로 구현될 3D 객체와 객체에 대한 정보를 다양한 방법으로 입력할 수 있다. 사용자는 관리자가 사전에 등록된 가상객체의 위치에 일정거리 도달하면 화면에서는 가상객체가 현실 사물 위에 가상객체가 올려진 것처럼 증강된다. 또한 화면에 증강된 가상객체를 손으로 터치하면 해당 전시물의 정보를 전달받을 수 있다.

<그림 4-1> 전시 콘텐츠 개요도



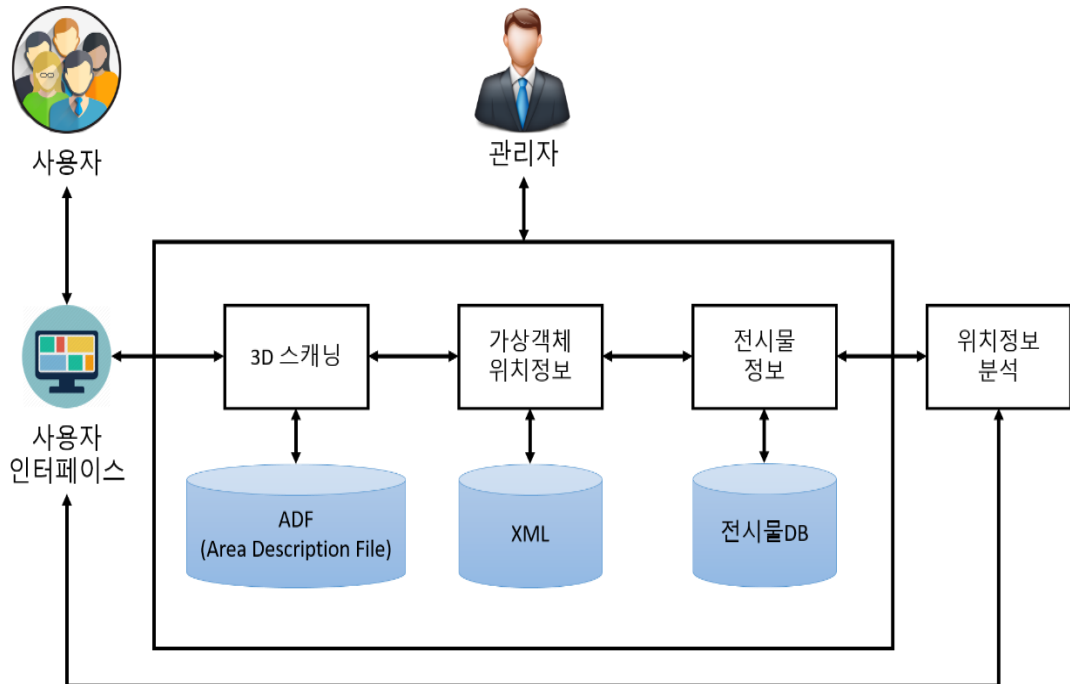
공간인지능력이 있는 증강현실 기술을 설계하기 위하여 프로젝트 탱고와 Unity 3D엔진을 이용하여 가상객체를 구현하고 전시물에 대한 정보를 전달 할 수 있는 화면과 버튼을 제작한다. 또한 관리자와 사용자 화면으로 나누어 관리자화면에서는 가상객체 배치 및 정보입력 및 공간 정보를 저장 하고 사용자 화면에서는 저장된 데이터를 제공받아 관람할 수 있는 방안을 제시하였다.

제2절 전시 콘텐츠 구조

본 논문에서는 카메라로부터 입력된 현실세계를 인지하고 가상객체를 정확하게 정합할 수 있으며, 콘텐츠 등록과 사용을 효율적으로 관리하기 위해 관리자와 사용자 화면을 분리하여 구축하였다.

전시 콘텐츠는 <그림4-2>와 같은 구성도를 가지고 있다. 사용자는 사용자 인터페이스를 통해 관리자가 공간에 대한 정보를 저장한 ADF에 접근한다. 그 후 사용자 위치정보 분석으로 사용자 위치에 대응해 현실사물에 배치한 가상객체의 위치정보와 전시물 정보 뷰어를 제공한다.

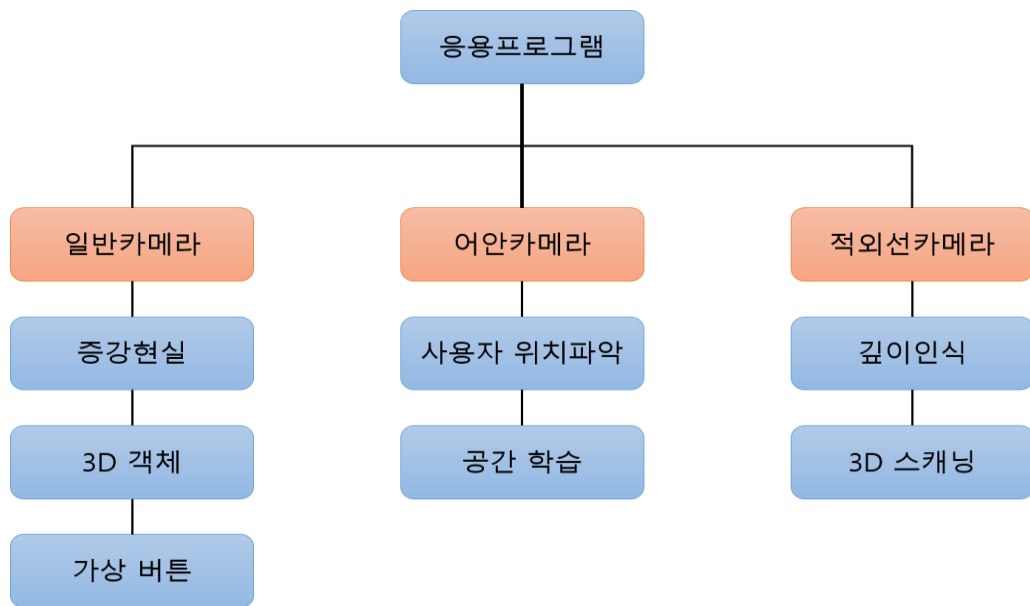
<그림 4-2> 전시 콘텐츠 구성도



제3절 전시 콘텐츠 기능 설계

제안한 콘텐츠는 Lenovo의 Pahb 2 Pro가 보유한 3개의 카메라(일반카메라, 어안카메라, 적외선카메라)와 센서들을 이용해 현실 사물을 인지해 가상객체를 정확한 위치에 정합을 수행하며 전시물에 대한 정보를 제공하도록 구성하였다.

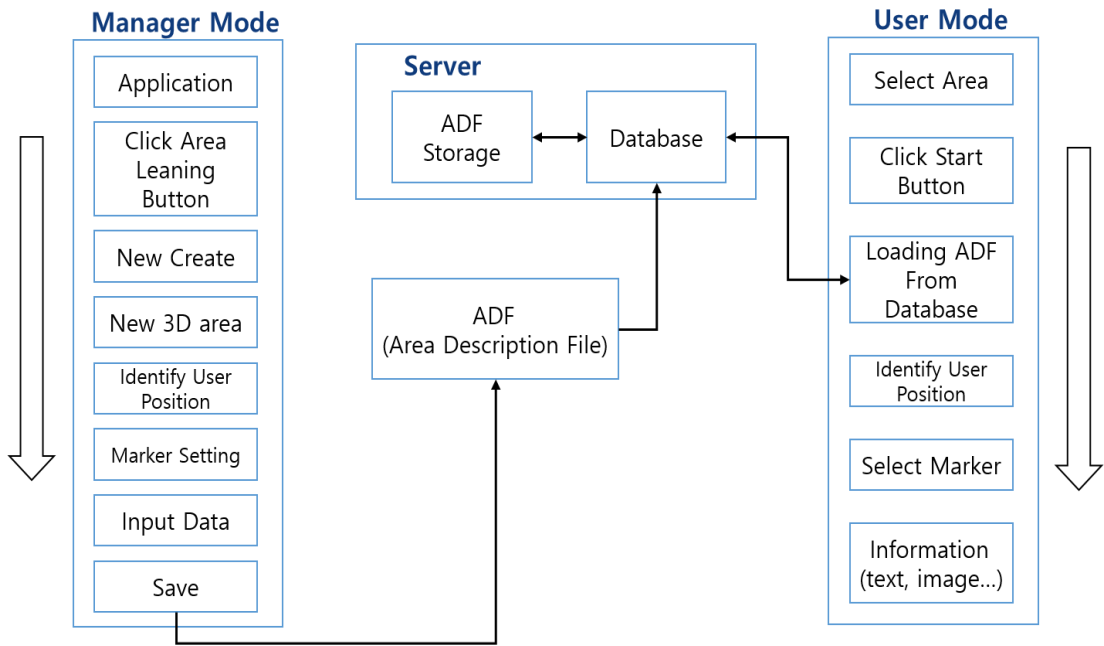
<그림 4-3> 전시 콘텐츠 기능 구성도



본 논문에서 제안하는 콘텐츠의 기능 구성도는 <그림 4-3>와 같이 일반 카메라로 보여진 현실세계와 가상객체를 증강시켜주고 전시물에 대한 정보를 제공해 주도록 가상버튼에 이벤트 호출하게 한다. 또한 어안카메라를 이용해 사용자의 위치정보를 파악할 수 있고, 공간의 특징점을 저장할 수 있다. 적외선 카메라는 현실 사물의 거리를 인식하고 공간을 3D스캐닝할 수 있다.

이 전시 콘텐츠의 장점은 현실 사물을 인지할 수 있기 때문에 가상객체가 엉뚱한 곳에 증강되거나 공중에 떠다니지 않고 정확한 위치에 증강시킬 수 있다. 그리고 사용자의 위치에 따른 가상객체의 위치정보를 기억하기 때문에 특별히 마커가 필요가 없다. 이로 인해 따로 마커를 인식해야 하는 작업 없이 적정 위치에 사용자가 도달하면 가상객체와 전시물에 대한 정보를 가지고 있는 가상버튼도 증강된다.

<그림 4-4> 전시 콘텐츠 구조도



다음 <그림 4-4>는 제안한 전시 콘텐츠의 동작 절차이다. 이 전시 콘텐츠의 동작절차는 응용프로그램을 실행하게 되면 관리자와 사용자를 선택할 수 있는 화면이 제공된다. 먼저 관리자는 공간학습기능을 실행시켜 새로운 공간을 만든다. 이 과정에서 프로젝트 탭고는 사용자의 위치를 파악하고 새로운 3D 공간을 스캐닝한다. 적외선센서와 스캐닝한 공간으로 사용자가 원하는 위치에 가상객체를 배치하고 가상객체에 대한 정보를 입력할 수 있는 가상버튼을 제작해 텍스트, 이미지, 비디오 등 데이터를 입력한다. 이후 저장을 누르면 스캐닝 된 공간과 가상객체의 위치 정보, 입력 받은 데이터들이 저장된다. 이렇게 저장된 공간데이터를 사용자가 선택해서 불러온다. 이때 스마트폰은 현실에 존재하는 사용자의 위치 정보를 파악하고 저장된 3D공간데이터와 비교분석 후 가상객체의 위치 정보와 입력된 데이터 뷰어를 제공해준다.

제5장 프로젝트 탱고를 활용한 전시 콘텐츠 구현

제1절 구현환경

본 논문에서 구현한 프로젝트 탱고를 활용한 전시 콘텐츠는 Android기반 운영체제 스마트폰을 사용하였고, Unity 3D와 프로젝트 탱고 Unity지원 SDK를 사용하였다. 구현을 위한 언어는 C#을 사용하였고 구현 및 테스트를 위한 환경은 <표5-1>와 같다.

<표 5-1> 구현 환경

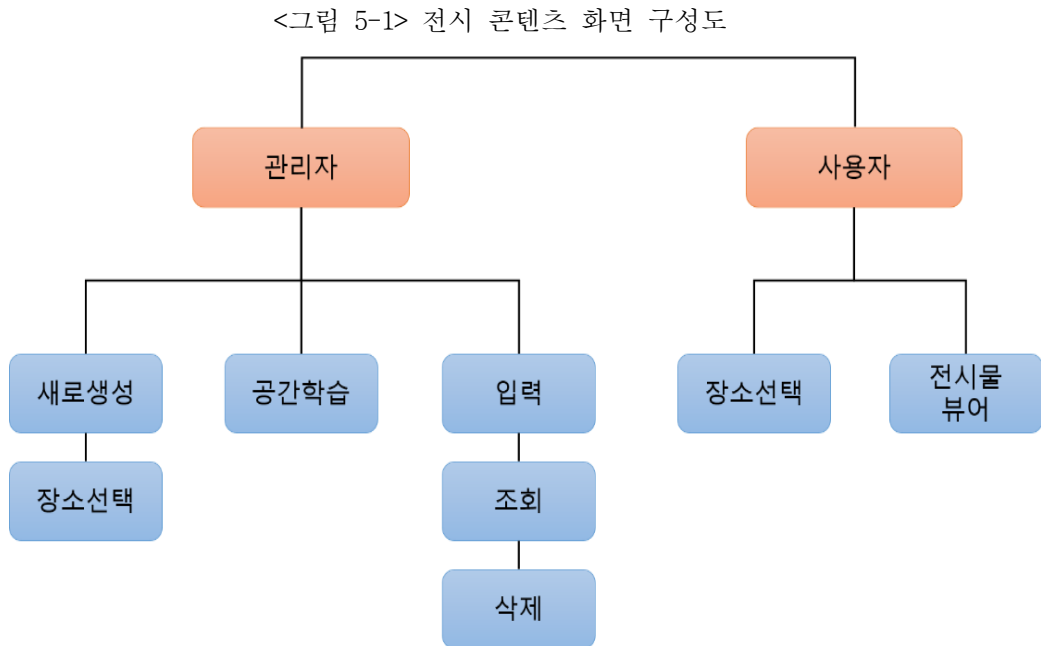
구분	구성요소	이름
하드웨어	Device	Lenovo Phab 2 Pro
	Process	Snapdragon 652 1.8GHz
	Memory	4GB
소프트웨어	운영체제	Android 6.0
	구현 언어	C#
	증강현실 개발 도구	Project Tango Unity SDK
	가상객체 개발	Unity 3D

제2절 전시 콘텐츠 구현

본 절에서는 4장에서 설계한 구성도를 적용하여 프로젝트 탱고를 이용하여 전시 콘텐츠를 구현하였다.

1. 사용자 인터페이스 구현

본 논문의 전시 콘텐츠에서는 Unity 3D를 이용해 UI(User Interface)를 구현하였으며, <그림5-1>와 같이 화면을 구성하였다.



1) 관리자 화면

관리자 화면에서는 가상객체를 배치하고 전시물에 대한 정보를 입력하여 현실공간의 정보를 새로 생성 할 수 있다.

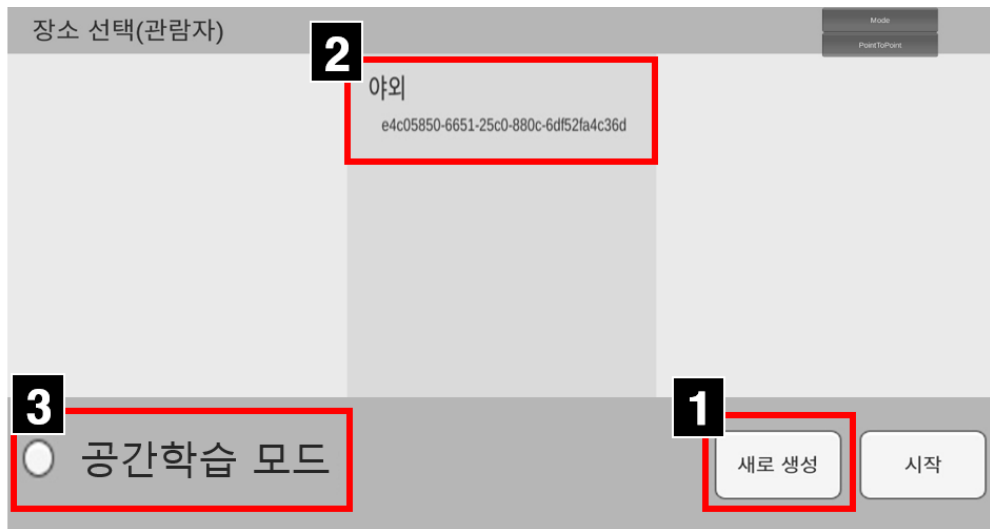
(1) 새로 생성 및 장소선택

공간학습 기능으로 전시를 관람하는 공간을 ADF파일로 새로 생성할 수 있으며, 가상객체의 배치를 수정하거나 추가할 경우 기존에 생성한 장소를 선택해 정보를 변경할 수 있다.

(2) 공간학습

프로젝트 탱고의 공간학습 기능이 켜져 있어야 카메라를 통해 얻은 시각적인 정보들을 ADF에 저장한다. ADF를 만드는 방법은 Unity 3D Tango SDK에서 Tango Manager 스크립트에서 제어하는 방법과 <그림5-2>와 같이 응용 프로그램 내에서 제어하는 방법이 있다.

<그림 5-2> 관리자 화면



(1번: 새로 생성, 2번: ADF 공간 목록, 3번: 공간학습기능 제어)

(3) 입력, 조회, 삭제

전시물에 대한 텍스트 정보를 데이터베이스에 입력 및 수정 할 수 있다.

2) 사용자 화면

(1) 장소선택

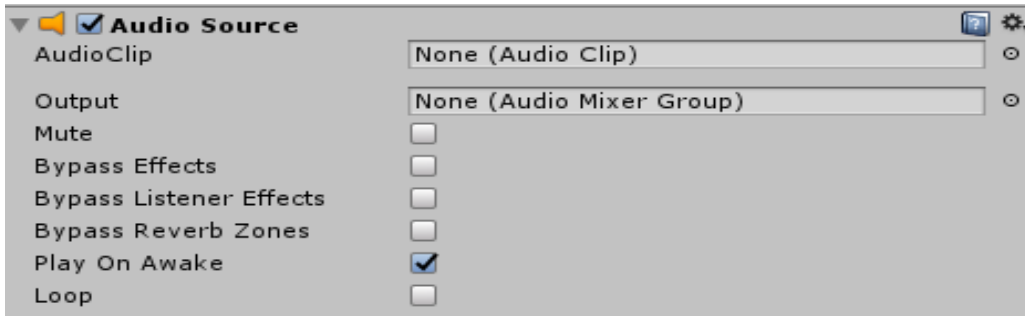
장소선택 화면은 <그림5-2>와 동일한 화면에서 ‘공간학습모드’와 ‘새로 생성’ 버튼이 삭제되어 관리자가 생성한 공간과 현재 사용자가 위치한 공간을 매칭해 저장된 가상객체들을 증강시킨다.

(2) 전시물 뷰어

가상객체에 대한 텍스트, 이미지, 사운드, 비디오정보를 사용자에게 제공한다. 텍스트와 이미지는 Unity 3D에서 제공하는 UI-Text와 UI-Image 객체를 추가

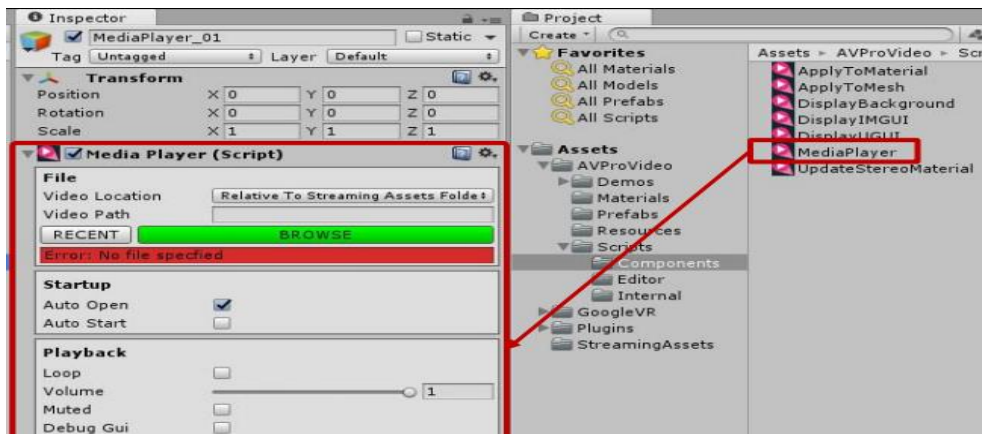
한다. 전시물에 대한 음성정보를 제공하기 위해 <그림5-3>와 같이Audio Source를 추가해 AudioClip속성에 전시물음성설명이나 울음소리와 같은 음성파일을 설정한다.

<그림 5-3> Audio Source에 AudioClip 속성 정의



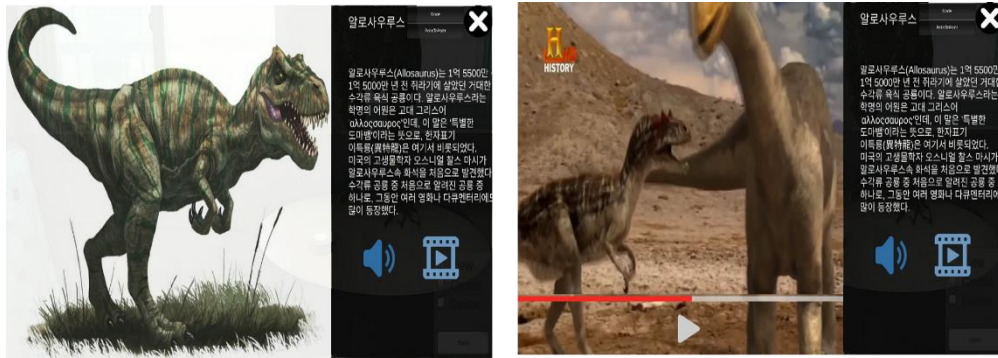
<그림5-4>는 동영상 재생에 필요한 ‘AVPro Video MediaPlayer’ 에셋을 이용하였다. Video Path속성에 재생하고자 하는 동영상을 선택한다. 이후 비디오 재생을 위한 빈 객체를 생성 후 APPLy to Material스크립트를 속성으로 추가한다. 그리고 Material속성과 Media속성에 생성한 객체와 재생 비디오를 설정한다.

<그림 5-4> AVPro Video MediaPlayer 설정화면



<그림5-5>는 전시물을 선택하면 전시물에 대한 정보를 제공하는 화면이다. 비디오 버튼을 선택하게 되면 비디오가 재생되는 형식으로 제작하였다.

<그림 5-5> 전시물 뷰어 작동화면

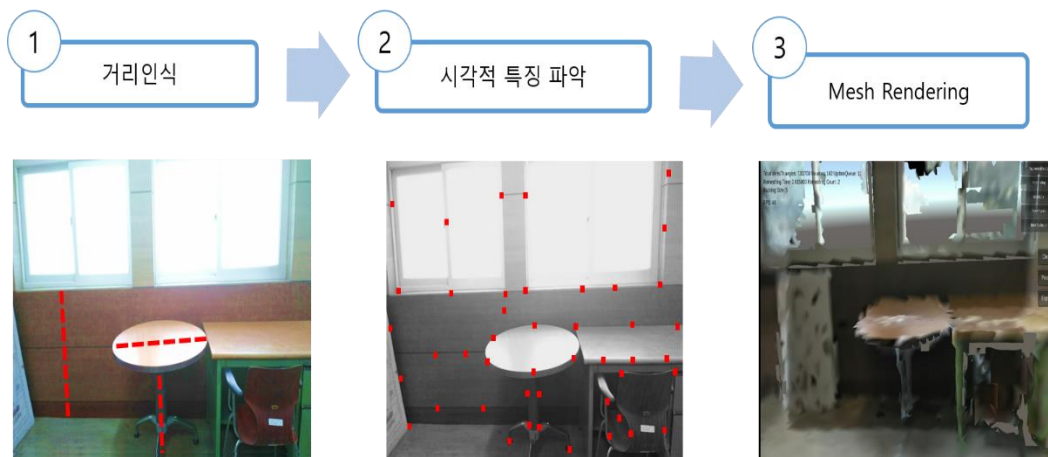


(좌: 뷰어 화면, 우: 비디오 재생화면)

2. 3D 스캐닝(3D scanning)

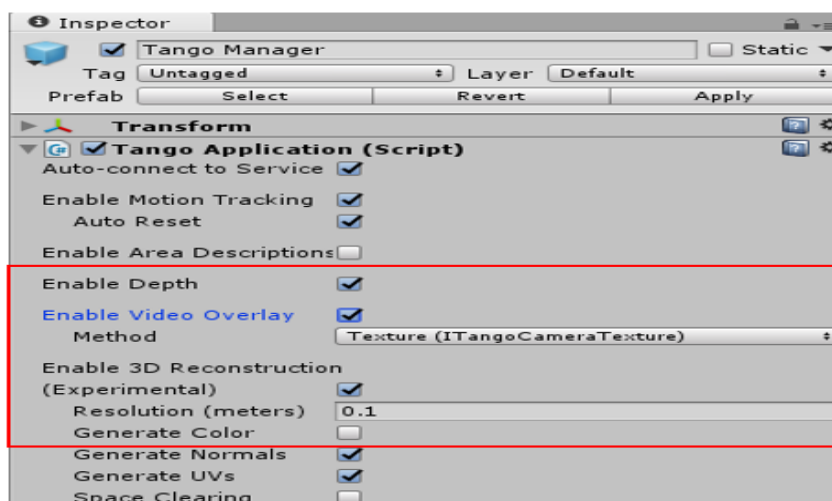
프로젝트 탱고기기에는 현실세계의 물체까지 거리를 측정할 수 있는 적외선 카메라가 장착되어있다. 이 카메라를 디바이스가 벽이나 바닥, 기타 장애물의 존재를 파악할 수 있도록 해준다. 이런 깊이인식 기능으로 현실환경을 3D로 재구성할 수 있는데 이를 ‘3D scanning’ 또는 ‘Meshing’ 이라 한다. 3D 스캐닝 작업은 <그림5-6>와 같이 책상을 인지할 때 적외선 카메라를 이용한 깊이인식 기능을 이용하여 사물의 높이나 사용자와의 거리를 측정한다. 재방문 하였을 때 공간을 인지할 수 있도록 시각적 특징을 파악한 후 3D작업을 실행한다.

<그림 5-6> 3D 스캐닝 작업



<그림5-7>은 프로젝트 탱고의 전체적인 기능을 제어해주는 Tango Manager 객체의 Inspector 화면이다. Tango Application 스크립트의 속성에서 Enable Depth 체크박스를 체크해 깊이인식기능을 활성화 시킨다. 스마트폰에 화면과 겹쳐 보이도록 Enable Video Overlay에서 Texture 메소드를 선택한다.

<그림 5-7> Tango Manager 속성



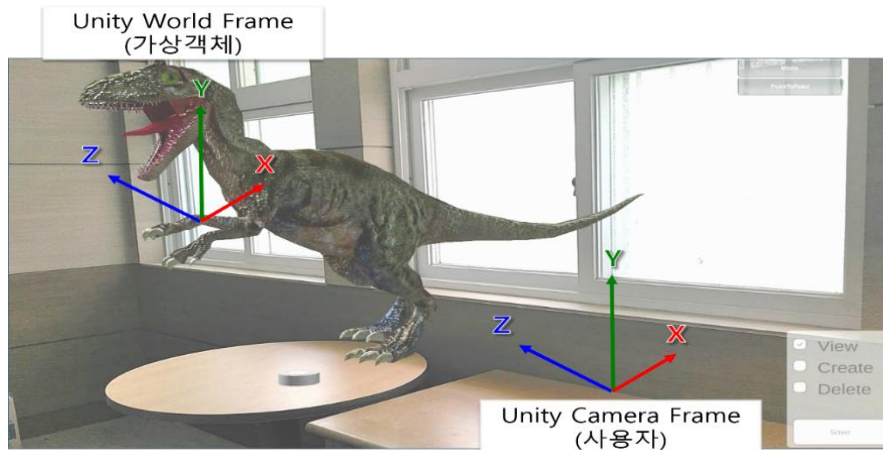
이후 Resolution(meters)를 0.1로 적용한다. 왜냐하면 Mesh의 해상도가 높을수록 현실환경의 정밀도가 높아지지만 그만큼 CPU와 RAM이 많이 소비된다. 연구에서 제작할 공간은 가상객체의 사실적인 배치에 중점적으로 두기 때문에 낮은 해상도로 설정했다.

3. 위치정보 분석

프로젝트 탱고 API는 Pose데이터를 X, Y, Z값이 있는 두 좌표 프레임 간의 회전 및 이동 값을 반환한다. 각각의 좌표를 얻기 위해서 탱고는 탱고만 사용하거나, JAVA기반의 OpenGL, Unity 3D기반 탱고+Unity 3가지 좌표 시스템이 있다.

본 논문에서는 Unity 3D를 사용했기 때문에 Unity World Frame과 Unity Camera Frame 모두 오른손 법칙이 아닌 왼손 좌표계²를 사용한다.

<그림 5-8> 전시 콘텐츠 Pose 좌표계



Pose 데이터를 얻기 위해서 <그림5-9>에서 가상객체의 위치인 Unity World (UW) 좌표 프레임과 Project Tango START_OF_SERVICE(SS)좌표 프레임 사이를 변환하고, 사용자 위치인 Unity Camera(UC)좌표 프레임과 Tango Device(D)좌표 프레임 사이를 변환한다.

$${}_{SS}^{UW}T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}_{UC}^{DT} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

즉 첫 번째 변환 값과 두 번째 변환 값을 곱하여 Unity Camera(UC) 좌표계와 Unity World Frame(UW) 좌표계 사이의 Pose 데이터를 연산한다(Google 2017).

$${}_{UC}^{UW}T = ({}_{SS}^{UW}T * {}_{DT}^{SS}T) * {}_{UC}^{DT}$$

² 3차원 공간에서 z축을 결정하기 위한 방법으로 왼손 엄지를 x축 방향(오른쪽), 검지를 y축 (위쪽), 중지를 z축 방향(앞쪽)으로 사용된다.

위의 식에서 U_{UC}^W 는 본 논문에서 사용되는 Pose 데이터의 값이다. 이 데이터를 이용해 사용자가 공간선택 후 가상객체 배치과정에서 사용자의 Pose값과 가상객체의 Pose값을 분석해 저장된 위치에 가상객체를 증강시킨다.

4. 가상객체 위치정보 파악

3D 모델링 된 가상공간에 사용자가 장치의 카메라를 통해 보여진 표면을 터치하면 실제 좌표기반으로 가상객체를 만들어 표면에 배치한다. 적외선 카메라를 사용해 표면을 찾고 현실세계에 이질감 없이 배치할 수 있다. 기존 증강현실에서는 볼 수 없었던 표면이 멀수록 가상객체가 작아지는 원근법을 표현하여 사물 간의 거리를 인식할 수 있으므로 사용자의 현실감을 높일 수 있다.

구현된 가상모델을 현실세계와 물리적인 배치를 하기 위해서 앞서 계산한 Pose값과 참조프레임을 설정해야 한다. <그림 5-8>을 보면 대상 프레임인 사용자 위치는 COORDINATE_FRAME_DEVICE, 기본 프레임이 될 탁자를 COORDINATE_FRAME_START_OF_SERVICE와 같은 프레임 쌍으로 설정한다. 그리고 가상모델을 배치하고자 하는 위치, 사용자 위치, 현실사물간의 거리를 측정한다. 이와 같이 배치가 가능한 이유는 적외선 센서와 공간학습을 통해서 Mesh 공간을 모델링 했고 거리 측정이 가능하기 때문이다.

<그림 5-9> 가상객체 배치 화면



배치된 가상객체는 객체를 구분할 수 있도록 ‘Type’ 속성과 위치와 방향을 저장하는 ‘Position’, ‘Orientation’ 속성으로 XML에 저장된다. 이후 사용자가 응용프로그램을 실행시키면 사용자의 위치정보와 XML에 저장된 가상객체의 데이터를 분석해 해당 위치에 증강시켜준다.

제3절 전시 콘텐츠의 유용성 분석

<표5-2>는 3장에서 소개한 사례(국외3개, 국내3개)와 구현한 전시 콘텐츠를 비교 평가한 자료이다. 대부분의 증강현실 응용프로그램들은 마커리스기반으로 전시물에 대한 가상객체를 증강시켜주고 그에 대한 설명을 주로 텍스트와 이미지로 제공하고 있다.

<표 5-2> 국내외 증강현실 응용프로그램 유용성 분석

이름	마커인식	멀티 미디어			공간인지	거리인식	위치추적
		텍스트	이미지	비디오			
서대문자연사 박물관	○	○	×	×	△	×	×
홍대트릭아이 뮤지엄	○	○	×	×	△	×	×
반 고흐 인사이드	○	○	○	○	△	×	×
Hong Kong Science Museum	○	○	○	×	△	×	×
Acropolis Museum	×	○	○	×	×	×	×
Museum of Stolen Art	○	○	○	×	△	×	×
제안 콘텐츠	×	○	○	○	○	○	○

공간인지△: 마커와 현실사물간의 배치에 따라 부분적으로 사실적 배치 가능

기존의 증강현실 전시 응용프로그램들은 증강현실의 체험적인 요소로 사용자로 하여금 관심을 유발하고 전시내용에 대한 이해를 향상시켰다. 특히 사례에 제시된 콘텐츠들은 대부분 마커기반으로 2D로 보여지는 이미지나 실제로 볼 수 없는 전시물을 3D가상객체로 구현되며 부분적으로 현실사물의 위치와 상호작용하여 효과적인 몰입 체험을 제공하였다. 하지만 디바이스 센서의 영향에 민감하게 반응하기 때문에 현실세계와 이질적인 정합문제가 발생한다. 또한 마커를 인식해야 증강되는 작업이 중간에 생겨 몰입감을 감소시킨다. 증강현실 기술을 사용해 사용자의 몰입감 향상으로 전시물에 대한 이해도를 높이려는 노력이 빈약함을 반증한다.

본 연구에서 구현한 전시 콘텐츠는 위치기반 증강현실 응용프로그램을 사용한 Acropolis Museum와 같이 마커를 인식 할 필요가 없으면서, 반 고흐 인사와 같이 텍스트, 이미지, 동영상 모두를 사용하여 다양한 수단으로 전시물에 대한 정보를 제공하였다. 또한 제안 콘텐츠만의 고유한 특징으로는 거리를 측정할 수 있고 공간을 인지하기 때문에 보다 정확한 정합이 가능하다. 이를 통해서 높은 현실감뿐만 아니라 몰입도 향상에도 도움을 준다.

전시 콘텐츠의 특성상 사용자에게 전시물에 대한 이해도를 높이기 위해 다양한 방법으로 정보를 전달해야 하는데 이를 지원하는 곳은 반 고흐 인사와 같다. 구현한 전시 콘텐츠에서는 전시물 정보 전달 미디어로 텍스트와 이미지, 비디오를 사용해 사용자에게 이해도를 높였다.

제6장 결론

증강현실이 우리 생활과의 연관성이 높아가면서 사용자에게 증강현실 기술을 기반으로 한 다양한 서비스들이 출시되고 있다. 전시공간의 제약 없이 다양한 정보를 관람객에게 제공할 수 있다. 그리고 증강현실은 증강되는 가상모델과의 상호작용으로 관람객의 흥미를 유도할 수 있고 몰입감 향상으로 주목 받고 있다. 하지만 기존의 증강현실 전시 콘텐츠는 QR코드나 이미지마커를 사용했을 때 마커를 배치한 위치에 가상모델이 증강되지만 마커를 인식하러 다가가야 한다는 단점이 있고, 마커가 카메라에서 벗어나면 가상모델이 사라진다. 또 다른 객체 인식방법인 위치기반증강현실은 마커를 인식해야 하는 작업이 필요가 없지만, 오차가 있는 GPS기반 기술이기 때문에 정확도가 낮을 수 밖에 없다. 또한 현실 사물을 인식하지 못하기 때문에 가상객체가 엉뚱한 위치에 증강되는 경우가 있어 현실감 있는 전시 콘텐츠를 제공하는데 한계가 있다.

본 논문에서는 기존 증강현실이 가지고 있는 문제점을 개선한 공간인지능력이 있는 박물관 전시 콘텐츠를 프로젝션 탱고 기술을 활용하여 구현하였다. 현실사물의 위치를 파악할 수 있는 적외선 카메라와 어안카메라 사용으로 가상의 객체를 정확히 정합할 수 있게 되고, 적정 범위 안에 사용자가 감지되면 제공 받은 디바이스의 위치정보와 저장된 지도 데이터를 비교해 가상객체를 증강시킬 수 있다. 마커를 인식해야 증강되고, 현실세계를 인지 못하는 기존 증강현실 기술의 문제를 개선하였기에 후에 도슨트 시스템과 결합으로 좀더 사실적인 관람 안내가 가능 할 것이며, 박물관뿐만 아니라 사용되는 가상객체의 따라 다양한 분야와 접목해 사용자의 몰입감을 향상할 수 있다.

하지만 본 연구를 진행하며 향후 연구가 필요한 문제점들을 얻을 수 있었다. 먼저 현실 사물에 대응하여 객체를 증강시킬 수 있지만 관람객이 더 몰입감있게 콘텐츠에 참여할 수 있도록 객체를 현실세계와 상호작용하며 제어할 수 있는 방법과 사람의 눈과 같이 조명이 어둡거나 특정 사물들이 배치되어 있지 않을 경우 공간을 인지하는데 오류가 발생한다. 이 문제점들을 해결하기 위해 향후 도슨트 시스템과 결합해 가상객체와 상호작용의 효과를 높이는 전시 콘텐츠를 개발하고, 인식이 어려운 상황에서도 공간을 인식할 수 있는 연구가 필요하다.

참고문헌

- 김태은, 김병철, “증강현실 기반의 멀티미디어 전시에 관한 연구”, *한국전자통신학회 논문지*, 제7권, 3호, 2012, pp. 521-27.
- 김혜선, “증강현실의 체화적 인지 개념화와 인식유형에 관한 연구”, 서강대학교 영상대학원 박사학위논문, 2012.
- 김희관, “ [기획] 현실을 보다 강하게, 증강현실 ”, 포항공대신문, <http://times.postech.ac.kr/news/articleView.html?idxno=5564>.
- 박민아, “박물관에서의 증강현실 기술 발전 방향”, 가톨릭대학교 대학원 석사학위논문, 2016.
- 박한훈, 박종일, “증강현실 요소기술과 동향”, *한국멀티미디어학회지*, 제20권, 4호, 2016, pp. 24-36.
- 서대문자연사박물관, “ 박물관 소개 ”, 서대문자연사박물관, <https://namu.sdm.go.kr/site/main/content/aboutus>, 2017.
- 심소연, 김미영, 문정민, “박물관의 몰입을 위한 증강현실 특성”, *한국실내디자인학회 학술대회*, 2014, pp. 53-56.
- 안동수, *디지로드 5.0*, 서울: 종합출판미디어, 2011.
- 여건민, 안지환, “LBS 기술 및 표준화 동향”, *전자통신동향분석*, 제25권, 6호, 2010, pp. 11-19.
- 오선애, “전시공간과 연계한 증강현실의 정보 전달에 관한 연구”, *디자인지식저널*, 제23권, 2012, pp. 67-76.
- 이병성, “마커 없는 증강현실 가상객체 제어 시스템의 설계 및 구현”, 경기대학교 일반대학원 석사학위논문, 2010.
- 이종기, “증강현실기술을 활용한 체험형 디지털박물관 활성화 방안 연구”, 한양대학교 문화산업대학원 석사학위논문, 2016.
- 이주용. “위치정보기반 AR System에서의 부정합 현상 최소화를 위한 카메라 시점 추적 기법.” 중앙대학교 첨단영상대학원 석사학위논문, 2012.
- 장국현, 서일홍, “직선기반 SLAM에서의 루프결합”, *로봇학회 논문지*, 제7권, 2호, 2012, pp. 120-28.

- 장승원, “웹 환경에서 증강현실 구현 사례에 관한 연구”, 단국대학교 대학원 석사학위논문, 2011.
- 전수진. “마커 추적 기반의 효과적인 증강현실 인터페이스 구현에 관한 연구.” 단국대학교 대학원 석사학위논문, 2012.
- 전인미, “전국 공립박물관의 전시 현황과 그 배경에 관한 연구”, *현대미술사 연구*, 제30권, 2011, pp. 37-66.
- 정승연. “IR마커를 활용한 증강현실 시스템 설계.” 순천대학교 산업대학원 석사학위논문, 2010.
- 조휘준, 김대원, “이미지 인식을 이용한 비마커 기반 모바일 증강현실 기법 연구.” *信號處理·시스템學會 論文誌*, 제12권, 4호, 2011, pp. 258-66.
- 위키백과, “증강현실”, <https://ko.wikipedia.org/증강현실>, 2017.
- 한국콘텐츠진흥원, “모바일 AR 기술 및 산업동향”, 문화기술(CT) 심층리포트, 2010.
- 한상준. “마커를 이용한 증강현실 기반의 실내 위치 인식 시스템.” 인천대학교 대학원 석사학위논문, 2011.
- ALife Studios, “Marker Based AR”, Portfolio, <http://www.alife-studios.com/portfolio>.
- Azuma, Ronald T, “A Survey of Augmented Reality”, *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6, no. 4, 1997, 355-385.
- BECKY CHUNG, “Find Missing Masterpieces Inside the Museum of Stolen Art”, Creators, https://creators.vice.com/en_uk/article/find-missing-masterpieces-inside-the-museum-of-stolen-art, 2015.
- Buhalis, Dimitrios, Rob Law, “Progress in Information Technology and Tourism Management: 20 Years on and 10 Years after the Internet-The State of eTourism Research”, *Tourism Management* 29, no. 4, 2008, 609-23.
- CHESS, “The CHESS project”, <http://www.chessexperience.eu>.
- Digieco, “신규 Tango 앱으로 보는 Tango 플랫폼의 미래”, 동향프리핑, 2017.

- Eric Johnsen, “BMW i and Tango test drive a new app”, Google Blog, <https://blog.google/products/google-vr/bmw-i-and-tango-test-drive-new-app>, 2017.
- Gaudin, Sharon, “Marines Test Augmented Reality Battlefield”, *Computerworld*, 2015.
- Google 고객센터, “Project Tango 데이터 처리”, Google 고객센터, https://support.google.com/faqs/answer/6122425?hl=ko&ref_topic=6191710, 2017.
- Google Glass, “Google Glass How-to: Getting Started”, YouTube, <https://youtu.be/4EvNxWhskf8>, 2013.
- Google Developers, “Tango Developer Overview”, Tango, <https://developers.google.com/tango/developer-overview>.
- Google Developers, “6 Degrees of Freedom Gaming in Android with Project Tango - Google I/O 2016”, YouTube, <https://youtu.be/8AvlghZKuZY>, 2016.
- IKEA, “Place IKEA furniture in your home with augmented reality”, YouTube, <https://youtu.be/vDNzTasuYEw>, 2013.
- Microsoft, “The leader in Mixed Reality Technology”, HoloLens, <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>.
- Milgram, Paul, Fumio Kishino, “A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays”, *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems* 77, no. 12, 1994, 1321-1329.
- SAMSUNG NEWSROOM, “[스페셜 리포트] ‘진짜 현실’ 로 다가온 증강현실”, *SAMSUNG NEWSROOM*, <https://news.samsung.com/kr/스페셜-리포트-진짜-현실로-다가온-증강현실>, 2015.
- Pranav Mistry, “SixthSense / WUW - Wear Ur World”, Pranav Mistry, <http://pranavmistry.com>.