

# 마커 및 제스처 상호작용이 가능한 증강현실 저작도구

심진욱<sup>†</sup>, 공민제<sup>\*\*</sup>, 김하영<sup>\*\*\*</sup>, 채승호<sup>\*\*\*\*</sup>, 정경호<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 서종훈<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 한탁돈<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## 요 약

본 논문에서는 사용자들이 손쉽게 마커기반과 제스처 상호작용 방법들을 적용한 증강현실 콘텐츠를 제작할 수 있는 증강현실 저작도구 시스템을 제안한다. 기존의 증강현실 저작도구들은 가상의 객체를 증강하는데 초점이 맞춰져 있었고, 이러한 증강현실 콘텐츠와 상호작용을 하기 위해서는 사용자가 마커나 센서를 이용하는 방법을 사용하였다. 우리는 이러한 제한적인 상호작용 방법의 문제점을 마커기반 상호작용 방법과 깊이 인식 카메라인 Kinect를 사용한 제스처 상호작용 방법을 적용시킴으로써 해결하고자 한다. 제안하는 시스템에서는 사용자가 인터페이스를 통하여 간단한 형태의 마커기반 증강현실 콘텐츠를 쉽게 제작할 수 있다. 또한, 능동적으로 사용자가 증강현실 콘텐츠와 상호작용할 수 있는 방법들을 제공하고 있다. 본 연구에서 제공하는 상호작용 방법으로는 마커기반의 상호작용 방법으로 2개의 마커를 이용한 방법과 마커의 가림 현상(Occlusion)을 이용한 방법이 있다. 그리고 사용자의 맨손을 인식, 추적하여 객체의 확대 축소, 이동, 회전이 가능한 제스처 상호작용 방법을 제공한다. 저작도구 시스템에 대한 사용성 평가와 마커 및 제스처 상호작용에 대한 사용성을 비교평가하여, 본 연구의 긍정적 결과를 확인하였다.

## Augmented Reality Authoring Tool with Marker & Gesture Interactive Features

Jinwook Shim<sup>†</sup>, Minje Kong<sup>\*\*</sup>, Hayoung Kim<sup>\*\*\*</sup>, Seungho Chae<sup>\*\*\*\*</sup>,  
Kyungho Jeong<sup>\*\*\*\*\*</sup>, Jonghoon Seo<sup>\*\*\*\*\*</sup>, Tack-Don Han<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## ABSTRACT

In this paper, we suggest an augmented reality authoring tool system that users can easily make augmented reality contents using hand gesture and marker-based interaction methods. The previous augmented reality authoring tools are focused on augmenting a virtual object and to interact with this kind of augmented reality contents, user used the method utilizing marker or sensor. We want to solve this limited interaction method problem by applying marker based interaction method and gesture interaction method using depth sensing camera, Kinect. In this suggested system, user can easily develop simple form of marker based augmented reality contents through interface. Also, not just providing fragmentary contents, this system provides methods that user can actively interact with augmented reality contents. This research provides two interaction methods, one is marker based method using two markers and the other is utilizing marker occlusion. In addition, by recognizing and tracking user's bare hand, this system provides gesture interaction method which can zoom-in, zoom-out, move and rotate object. From heuristic evaluation about authoring tool and compared usability about marker and gesture interaction, this study confirmed a positive result.

**Key words:** Augmented Reality(증강현실), Authoring tool(저작도구), Marker(마커), Hand Gesture(제스처), Interaction(상호작용)

※ 교신저자(Corresponding Author): 한탁돈, 주소: 서울시 서대문구 신촌동 143 연세대학교 제3공학관 컴퓨터과학과 C531호(120-749), 전화: (02) 2123-3524, FAX: (02) 365-2579, E-mail: hantack@mssl.yonsei.ac.kr  
접수일: 2013년 3월 18일, 수정일: 2013년 4월 12일  
완료일: 2013년 4월 16일  
<sup>†</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 통합과정 (E-mail: jin99foryou@mssl.yonsei.ac.kr)  
<sup>\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정 (E-mail: minje.kong@mssl.yonsei.ac.kr)  
<sup>\*\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정

(E-mail: hayoung.kim@mssl.yonsei.ac.kr)  
<sup>\*\*\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 통합과정 (E-mail: seungho.chae@mssl.yonsei.ac.kr)  
<sup>\*\*\*\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정 (E-mail: azzzza85@mssl.yonsei.ac.kr)  
<sup>\*\*\*\*\*</sup> 준회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정 (E-mail: jonghoon.seo@mssl.yonsei.ac.kr)  
<sup>\*\*\*\*\*</sup> 정회원, 연세대학교 컴퓨터과학과 교수

※ 이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자지원사업 지원을 받아 수행된 것임(과제번호 2012R1A2A2A01014499).

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경

증강현실(Augmented Reality)은 가상현실(Virtual Reality)과 달리 현실세계에 가상의 객체를 이음새 없이 실시간으로 정합하여 보여줌으로써 사용자가 현실세계에서 가상의 객체를 통하여 여러 가지 부가적인 정보를 얻을 수 있는 기술이다[1,25]. 이러한 특징으로 증강현실 기술은 의료, 게임, 전시, 예술 등 다양한 분야에 접목되고 있는데, 그 중 한 분야가 교육 분야에서의 활용이다. 교육 분야에서의 증강현실 기술은 학습자가 직접 관찰할 수 없는 내용을 가상의 객체를 통하여 정보를 얻고, 가상의 객체를 직접 상호작용을 통해 조작해 봄으로써 학습 내용의 원리를 이해하는데 도움을 주기 때문에 많은 관심을 받고 있다[2]. 이러한 증강현실 콘텐츠를 사용한 학습자들의 학습능력을 평가해 본 결과 교과서를 통하여 교육을 받은 학습자들보다 능동적으로 학습에 임하였고, 더 많은 정보를 기억하였다[3,4].

증강현실 기술을 통해, 미래의 환경에서는 인식하기 어려운 상황에 대해 가상의 정보를 제공함으로써 복잡한 순서 또는 위험한 실험 과정에 대한 이해를 돕는 가이드라인을 제시할 수 있다. 사용자들은 추상적인 원리와 이론이 아닌 직접 콘텐츠를 통해 경험하게 됨으로써 기존의 수동적으로 콘텐츠를 받아들이는 단방향성 서비스가 아닌 상호작용이 가능한 능동적인 콘텐츠를 제공받을 수 있게 되었다. 이러한 증강현실 기술을 표현하기 위해 사용되는 대부분의 저작도구들은 컴퓨터 비전 기술을 이용하고, 특히 마커나 자연 이미지의 특징점을 이용한 마커리스 기반[5,6]으로 동작한다. 현재 컴퓨터 비전 기술을 이용한 저작도구들은 데스크탑 환경뿐 아니라, 모바일 환경에서도 정확하고 현실감 있는 가상 객체 증강을 위하여 카메라 포즈에 대한 분석, 정확도, 속도를 향상시키기 위해 다양한 방법에 대한 연구가 계속되고 있다. 또한, 마커 또는 도구, 손을 이용해 증강현실 콘텐츠들과 상호작용을 하는 연구들이 계속되고 있다.

### 1.2 관련 연구

여러 증강현실 저작도구 중 대표적인 ARToolkit[7], ARToolkit plus[8] 등은 검정색 사각형 마커들을 인식하는 것을 기본으로 하는 오픈 소스 라이브러

리이다. 응용프로그램을 개발하기 위해서는 3D model Loading, Interaction Techniques과 같은 utility function들을 위한 추가 코드를 작성해야만 한다. 이러한 저작도구는 C/C++등의 프로그래밍 스킬이 필요한 Low Level의 저작도구이다[9]. 그 외, 다른 저작도구인 osgART[10]는 OpenSceneGraph framework 기반으로, 존재하고 있는 멀티미디어 콘텐츠를 저작도구로 전달해주는 특징이 있다. 전문적인 디자인 툴인 Maya, 3D Studio MAX를 통해 제작된 콘텐츠를 불러올 수 있다. DART[11]는 Macromedia사의 Director에 Plug-in이 가능한 저작도구로써 디자이너에게 보다 손쉽게 증강현실 콘텐츠를 만들 수 있도록 만들어졌다. 여러 저작도구들 중 특히, Construct 3D[12,25]는 증강현실을 이용한 교육 시스템을 제안하였다. 학습자들이 3차원 가상 환경에서 스스로 실험을 할 수 있어 물리학 교육을 받을 수 있는 교육방법을 제시하였다. HMD(Head-Mounted Display), PIP(Personal Interaction Panel)을 이용하여 구성되었으며, PIP는 가상의 객체와 상호작용하는데 사용된다. 이와 같은 증강현실 저작도구뿐만 아니라 ComposAR[13], 이미지의 특징점을 추적(Natural Image Feature Tracking: NFT)하는 Qualcomm AR SDK[14], PTAM등 다양한 저작도구들이 연구되었다.

이와 같은 기존의 증강현실 응용프로그램들은 마커나 마커리스의 자연 이미지를 인식하여 증강현실 콘텐츠를 보여 주며, 사용자는 마커를 움직임에 따라 콘텐츠들도 함께 움직이는 방법으로 상호작용을 하였다. 이러한 상호작용 방법은 유용할 수 있으나 대부분의 AR 책(AR Book)과 같은 증강현실 콘텐츠에서는 인식되는 마커가 책에 부착되어 있는 경우가 많아 증강현실 콘텐츠에 대한 상호작용 시 책 자체를 움직여야하는 한계점이 발생하였고, 이 때문에 학습자의 집중도를 떨어뜨릴 수 있는 가능성이 제기되었다[15].

추가적으로 사용자가 제스처(Gesture)를 이용하여 증강현실 콘텐츠와 상호작용을 할 수 있도록 제공해 준다면, 증강현실 콘텐츠에 대한 몰입감과 집중도를 향상시킬 수 있을 것이다. 제스처뿐만 아니라 사용자가 직관적으로 사용할 수 있는 여러 상호작용 방법들에 대해 연구되고 있다. 증강현실에서 상호작용을 적용하기 위한 연구가 진행되면서 사용자가 직관적으로 인지할 수 있는 도구를 이용하여 상호작용

을 하는 방법이 소개되었다. Kato의 연구[16]에서는 사용자가 패들(Paddle)을 이용하여 증강현실 환경 내에서의 상호작용을 가능하게 하였다. 또한, 이러한 물리적 도구를 사용한 상호작용 방법을 극복하고자 글러브에 마커를 부착하여 상호작용하는 방법들도 연구[17,18] 되었다. T. Lee의 연구[19]에서는 손 분리(Hand Segmentation)된 영역에서의 손의 끝점(Finger-tip)을 찾아 추적하면서 손바닥 위에 가상의 객체를 증강시키고 상호작용하는 방법을 연구하였다. 최종수의 연구[25]에서는 사용자의 손에 테이핑을 하여, 가상의 공이 사용자의 손 움직임과 가상객체 사이의 자연스러운 상호작용을 위한 증강현실 시스템을 연구하였다.

1.3 연구 내용

이전 연구로 우리는 사용자들이 간단하게 증강현실 콘텐츠에 직접 상호작용 기능을 포함할 수 있는 비전 기술기반의 증강현실 저작도구인 MSL ARToolKit 시스템을 구현하였다[20]. 이 연구에서는 사용자가 직접 마커의 ID를 정할 수 있고, 지정된 마커에 가상 객체를 증강시킬 수 있었다. 하지만, 이 저작도구를 사용하기 위해선 기본적으로 프로그래밍 능력이 있어야 했다.

본 논문에서 제안하는 시스템과 기존 증강현실 저작도구와의 차이점은 사용자가 인터페이스를 통해 능동적으로 마커와 가상의 객체간의 관계를 지정할 수 있게 하였고, 증강현실 콘텐츠에 여러 상호작용 방법들을 적용할 수 있다는 점이다. 증강된 가상의 객체에 대해 깊이인식 카메라를 통하여 사용자의 맨손을 인식, 추적하여 확대, 축소, 이동, 회전이 가능한 상호작용을 제시한다. 이에 대한 실험으로 저작도구 시스템에 대한 사용성 평가, 각 상호작용 방법에 대한 사용성 평가, 제스처의 인식률에 대한 실험을 수행하였다.

2. 시스템 구성

2.1 MSL ARToolKit 저작도구 시스템

우리가 제안하는 시스템은 사용자가 손쉽게 마커에 가상의 객체를 지정할 수 있고, 가상의 객체에 대한 마커기반의 상호작용과 제스처 상호작용을 적용시킬 수 있는 증강현실 저작도구 시스템이다. 사용자는 마커나 제스처를 사용해 생성된 증강현실 콘텐츠와 능동적으로 상호작용할 수 있다. 그림 1은 MSL ARToolKit 저작도구 시스템을 간략하게 보여주고 있다. 그림 1에서 보듯이 제안하는 시스템은 크게 3

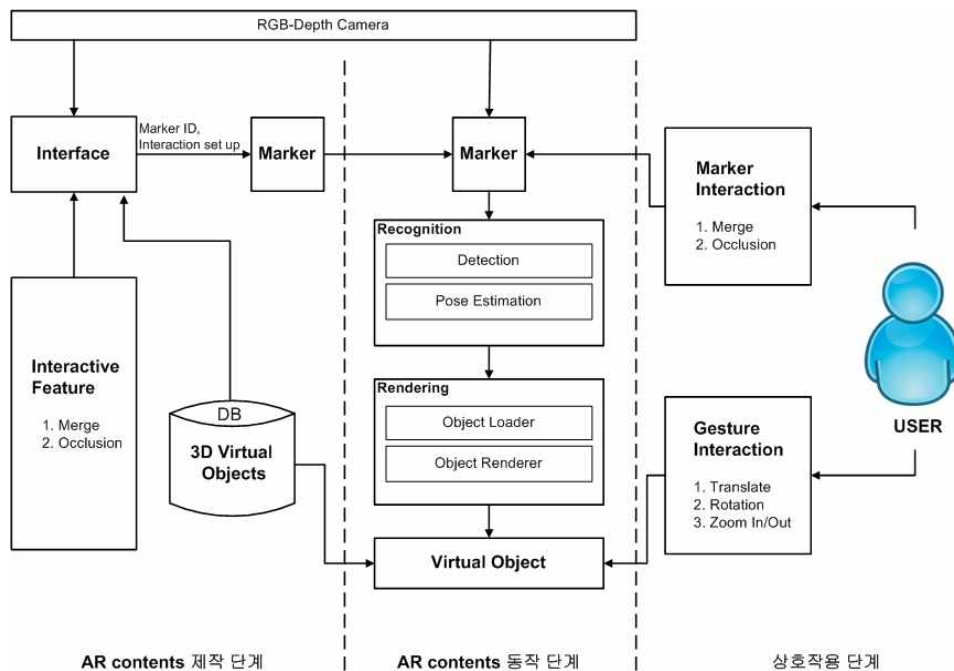


그림 1. MSL ARToolKit 저작도구 시스템

가지 영역으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 증강현실 콘텐츠를 제작하는 단계로 기본적인 시스템이 동작하기 위한 컴퓨터 비전 기술 기반의 증강현실 엔진이 갖추어져 있다. 사용자가 인터페이스를 통해 입력하는 데이터를 받아 증강현실 저작도구 내부에서 콘텐츠가 동작하는데 필요한 Configure File을 생성하게 된다. 사용자는 인터페이스를 통해 마커를 인식하여 ID를 설정하고, 마커에 증강될 가상의 객체를 지정할 수 있다. 또한, 증강되는 객체에 대한 상호작용 방법을 설정할 수 있다. 두 번째는 사용자가 제작한 콘텐츠가 실제로 동작하는 단계이다. 깊이 인식 카메라를 통해 인식된 마커에 사용자가 지정한 가상의 객체가 증강되며, 세 번째 단계에서는 사용자가 증강현실 콘텐츠와 상호작용하는 것을 보여주고 있다. 제안하는 시스템에서 제공하는 상호작용 방법에는 마커기반 방법과 제스처를 이용한 방법이 있다.

## 2.2 MSL ARToolKit 저작도구 인터페이스

사용자는 인터페이스를 통하여 증강현실 콘텐츠를 생성하고 상호작용 방법들을 적용할 수 있다. 그림 2는 MSL ARToolKit 저작도구 인터페이스 순서도를 보여주고 있다. 사용자로부터 데이터를 입력받

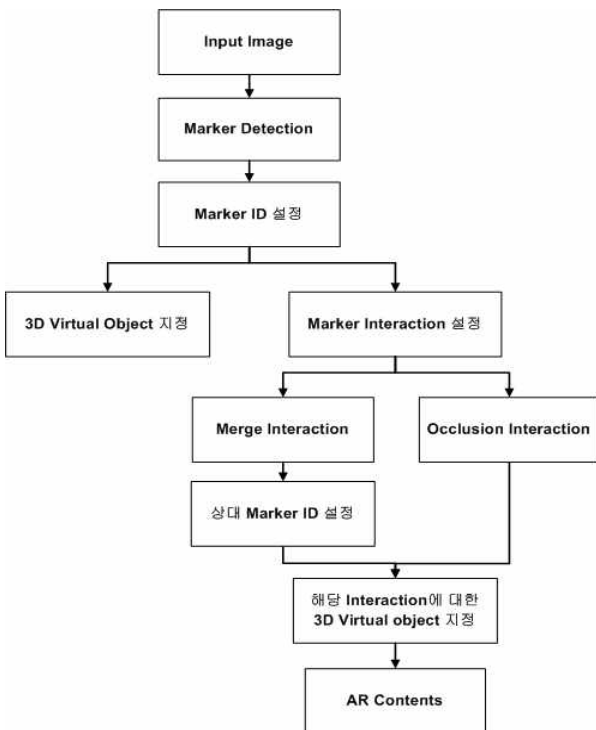


그림 2. MSL ARToolKit 저작도구 인터페이스 순서도

은 인터페이스는 증강현실 콘텐츠에 대한 Configure File을 생성한다. Configure File은 증강현실 콘텐츠에 대한 저작 정보를 저장 관리하는 기능을 가지고 있고, 사용자는 인터페이스를 통해 카메라로 입력받은 마커에 ID와 상호작용 방법을 지정할 수 있다. 지정된 마커의 ID는 마커간의 상호작용이나 증강될 가상의 객체에 연결될 때 사용된다.

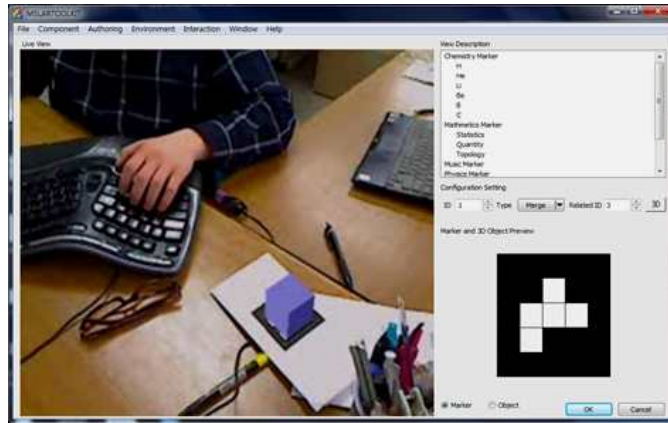
그림 3은 MSL ARToolKit 저작도구의 인터페이스 구성을 보여주고 있다. 그림 3.(b) Live view는 현재 깊이 인식 카메라로 입력받은 영상을 보여주는 윈도우이다. 사용자가 인터페이스를 통하여 마커의 ID를 설정해주고, 가상의 객체를 지정할 때 어떤 객체가 증강되는지를 보여준다. 그림 3.(c) View Description은 현재 증강현실 저작도구에 저장되어 있는 3D 가상 객체들의 리스트를 보여준다. View Description에서 선택된 항목은 마커에 어떤 가상의 객체를 증강시킬 지를 결정하게 된다. 예를 들어, 항목 중에 Chemistry Marker의 “H”를 선택하게 되면 해당 마커의 ID값으로 수소 분자의 가상 객체가 연결된다. 그림 3.(d) Configure Setting은 현재 지정된 마커의 ID를 보여주며, 상호작용이 적용될 상대 마커의 ID를 입력할 수 있다. 끝으로, 그림 3.(e) Marker and 3D Object Preview는 현재 보이는 마커나 마커에 증강될 가상 객체에 대한 이미지를 보여주는 윈도우이다.

그림 4은 이러한 인터페이스를 통하여 제작한 증강현실 콘텐츠에 대한 Configure File의 예를 보여주고 있다. #the number of marker는 사용자가 사용할 마커의 개수를 의미하고, #the number of interaction patterns to be recognized는 마커기반의 상호작용에 사용될 마커들의 개수를 의미한다. #marker1과 #marker2는 순서대로 마커의 ID, 인식될 마커의 크기, 마커의 상대 좌표를 의미한다. #select the method to be used in interactions는 사용될 상호작용 방법을 보여주며, #if interaction result object는 마커에 상호작용 조건이 발생하면 나타날 가상의 객체 정보를 의미한다.

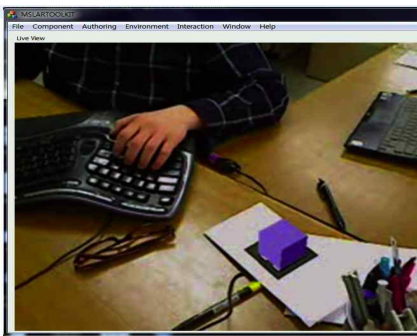
## 3. 상호작용 모듈

### 3.1 마커기반 상호작용

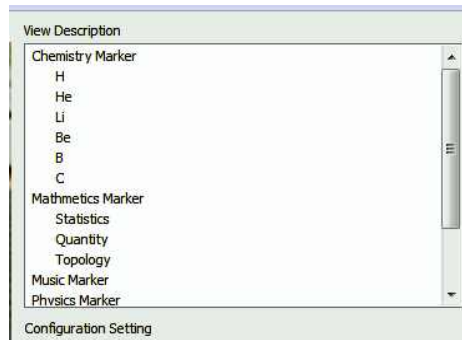
제안하는 시스템은 2가지의 마커기반 상호작용을



(a) MSL ARToolKit 저작도구 인터페이스



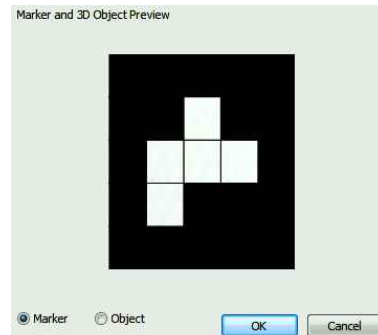
(b) Live view 윈도우



(c) View Description 윈도우



(d) Configuration Setting 윈도우



(e) Marker and 3D Object Preview 윈도우

그림 3. MSL ARToolKit 저작도구 인터페이스 구성

사용자에게 제공한다. 이 저작도구의 인터페이스를 통해 제작된 증강현실 콘텐츠가 실행되었을 경우, 마커기반의 상호작용이 어떻게 수행되는지 그림 5의 마커기반 상호작용 순서도를 통해 간략히 보여주고 있다. 마커가 카메라를 통해 인식되면 시스템은 해당 마커가 가지고 있는 마커기반의 상호작용 방법을 인식하여, Merge 상호작용과 Occlusion 상호작용을 판별하게 된다.

Merge 상호작용인 경우, 상호작용을 하기 위해서는 인식된 마커가 2개가 되어야 하고, 그 2개의 마커

가 서로 상호작용을 하기 위한 상대 마커 ID로 지정되어 있어야 한다. 만약, 마커가 하나만 인식되거나, 상호작용을 위한 상대 마커가 없는 경우에는 각 마커에 지정된 가상 객체가 증강된다. 상호작용을 위한 2개의 마커가 인식되어 서로 가까이 있을 경우, Merge 상호작용을 통해 증강될 각 마커에 지정된 가상 객체가 아닌 새로운 가상의 객체가 증강된다. 두 번째로 Occlusion 상호작용인 경우에는 마커가 인식되었을 때, 마커 영역이 가려져 있지 않을 경우와 가려졌을 경우 각 2가지 상황에 따라 가상 객체를

```
#the number of marker
2

#the number of interaction patterns to be recognized
2

#marker 1
1
40.0
0.0 0.0
1.0000 0.0000 0.0000 0.0000
0.0000 1.0000 0.0000 0.0000
0.0000 0.0000 1.0000 0.0000

#marker 2
2
40.0
0.0 0.0
1.0000 0.0000 0.0000 50.0000
0.0000 1.0000 0.0000 0.0000
0.0000 0.0000 1.0000 0.0000

#select the method to be used in interactions
1 occlusion

#if interaction result object
Data/patt.H2O
80.0
0.0 0.0
```

그림 4. Configure File 구조

달리 증강시킬 수 있다.

### 3.1.1 마커기반 Merge 상호작용

그림 6과 그림 7은 마커기반의 두 가지 상호작용 방법에 대해 보여주고 있다. 첫 번째로 그림 6은 2개의 마커들이 서로 가까이 위치했을 때, 실행되는 Merge 상호작용 방법이다. 예시로 Merge 상호작용을 사용하여 화학 교과의 “원자와 분자”를 설명하는

증강현실 콘텐츠를 보여주고 있다. 그림 6.(a)는 각 마커에 해당하는 수소와 산소의 단위 원자나 분자를 나타낸다. 수소와 산소의 가상 객체를 증강시킨 각각의 마커를 가까이 접근시키면 그림 6.(b)와 같이 수소와 산소의 결합으로 생성 가능한 물 분자모형이 증강된다. 또한, 그림 6.(c)에서 보듯이 부가적으로 냉장고(Refrigerator) 마커를 접근하면 고체 상태로 가상 객체의 모형 상태를 변화시켜 준다. 이 콘텐츠는 실제로 관찰하기 어려운 분자 모형을 보여주고, 기존 교육에서 제공하기 어려운 상황을 보다 능동적으로 제공하는 교육용 콘텐츠이다.

### 3.1.2 마커기반 Occlusion 상호작용

다음으로는 마커가 가려졌을 때 실행되는 Occlusion 상호작용 방법이다. 그림 7은 마커기반의 Occlusion 상호작용 방법을 실행했을 때를 보여주고 있다. 그림 7.(a)은 사용자가 Occlusion 상호작용 방법으로 지정된 마커가 카메라에 비친 모습이다. 마커의 ID가 배정되고 가상의 객체를 연결하였지만, 가림 현상이 일어나지 않았기 때문에 가상 객체가 증강되지 않고 있다. 그림 7.(b)는 사용자가 마커를 손가락으로 가렸을 때 Occlusion 상호작용에 의해 사각형

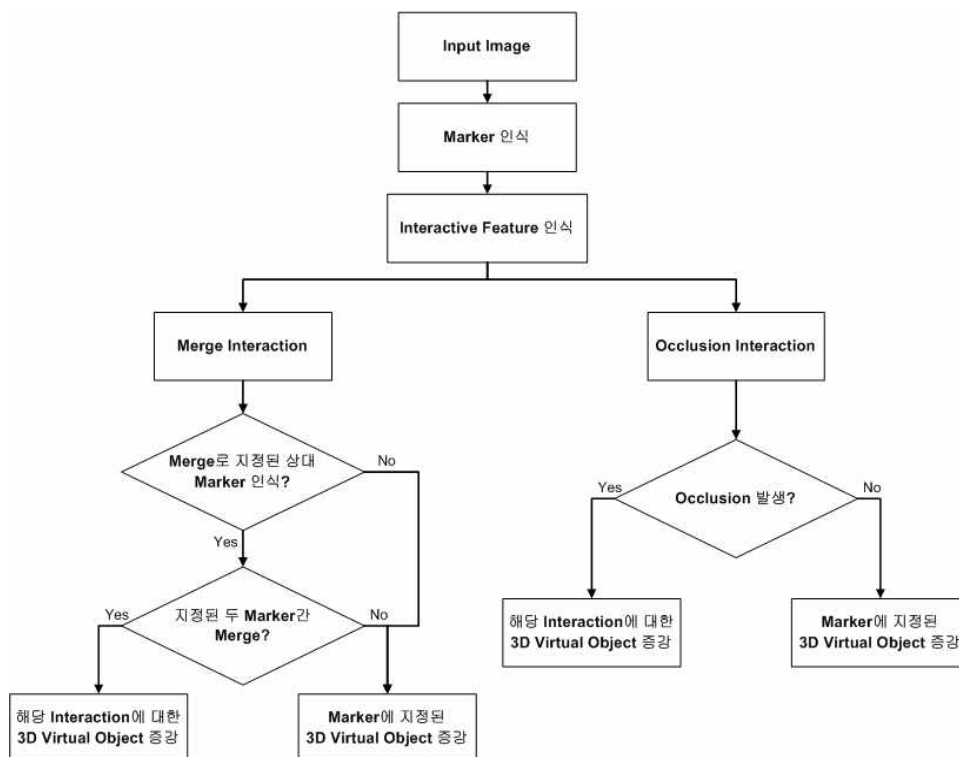
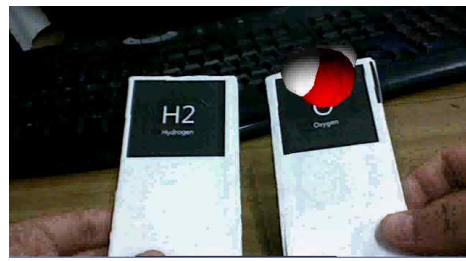


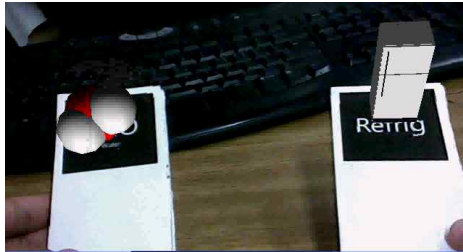
그림 5. 마커기반 상호작용 순서도



(a) 기본 원자 모형 객체 증강



(b) Merge 상호작용에 의한 새로운 객체 증강

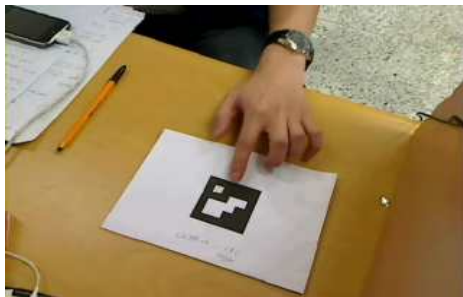


(c) 냉장고(Refrigerator) 마커 등장

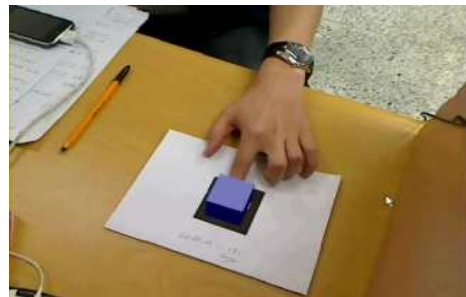


(d) 냉장고 마커에 의해 얼음으로 상태 변화

그림 6. 마커기반 Merge 상호작용



(a) 마커 인식



(b) 마커를 가림으로써 가상 객체 증강

그림 7. 마커기반 Occlusion 상호작용

의 가상 객체가 마커 위에 증강되는 것을 보여준다. 기존의 마커기반 증강현실에서는 상호작용 중에 발생할 수 있는 문제점은 마커가 가려짐으로써 증강되던 가상 객체가 사라지는 것이다. 이러한 문제점을 해결하고, 가려짐 현상을 상호작용 방법으로 사용하기 위해 특징점 추적 방식을 적용하여, 증강되던 마커가 가림 현상에 의하여 인식 실패하는 경우에도 마커를 추적할 수 있는 기술로 적용하였다. 이를 위하여 2단계의 인식 단계를 두고 일반적으로 마커가 인식이 성공되는 경우에는 일반적인 증강현실 시스템의 프로세스를 따르지만, 인식이 실패하는 경우에는 KLT Feature Tracker[21]를 이용하여 기존 인식된 마커의 특징점을 추적하여 증강을 이어가도록 설계되었다.

### 3.2 손동작 상호작용

제안하는 시스템은 증강현실 콘텐츠에 대한 마커기반 상호작용 방법 외에 사용자의 제스처를 통한 상호작용도 추가로 제공한다. 그림 8에서 상호작용을 위해 손동작 인식에 대한 순서도를 보여주고 있다. 입력받은 영상에서 마커를 인식하여 가상 객체를 증강시키는 프로세스와 입력 영상에서 사용자의 손동작을 인식하기 위해 손 영역을 분리하여 관심영역(ROI)을 판별하는 손 분리 단계, 위 관심영역에서 정의된 사용자의 포스처(Posture)를 인식하기 위한 단계로 구성된다.

#### 3.2.1 손 영역 분리

입력 영상에서 손 영역을 판별하기 위하여 배경을 제거하고 관심 영역만을 남기기 위해서 손 분리 단계

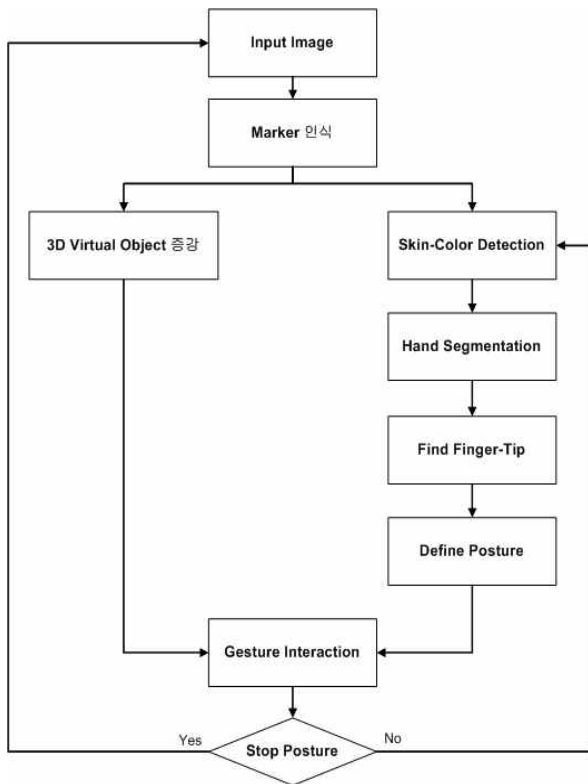


그림 8. 제스처 상호작용 순서도

를 수행한다. 그림 9는 사용자의 손 영역만을 관심 영역으로 판별하기 위해 손 분리 단계를 거치는 과정을 보여주고 있다. 그림 9.(a)와 같은 입력 영상에서 손 영역을 찾기 위해서 그림 9.(b)에서 보이듯이 Adaptive Skin-Color 알고리즘을 적용하였다. Adaptive Skin-Color 알고리즘은 조명 변화에서도 강인하게 손을 찾기 위해 적용되었다. 사용자의 손을 인식하여 상호작용을 하는 경우에 피부 색상 영역을 찾는 것은 매우 중요한 역할을 한다. 이러한 피부 색상은 배경이나 조명 환경에 민감하기 때문에 Static Skin-Color segmentation<sup>1)</sup>을 이용하는 경우에는 환경에 따라 손 영역을 판별하는데 어려움이 있다. 이러한 환경을 극복하기 위하여 제안하는 시스템에서는 Adaptive Skin-Color Segmentation[22]을 사용하였다. Adaptive Skin-Color 알고리즘은 입력 영상에서 이전 프레임과 현재 프레임의 모션과 피부 색상 영역이라고 판단되는 부분에 대하여 AND 연산을 수행한 후에 적응적으로 다시 피부 색상 영역 공간

1) Static Skin-Color segmentation : 영상에서 컬러공간의 각각의 픽셀에 대하여 일정한 임계치를 정해두고 그 영역에 해당하는 픽셀들을 피부색상 영역으로 판단

을 설정 하는 방식으로 진행이 된다. 컬러 공간은 YCbCr과 HSV를 통하여 피부 색상을 검출한다. 그림 9.(c)는 Adaptive Skin-Color 알고리즘을 통해 사용자의 손이라고 판별된 관심 영역과 깊이 인식 카메라로부터 입력받은 영상의 깊이에 따라 라벨링된 영역과 AND 연산을 통해 최종적으로 손의 관심 영역을 판별한 결과를 보여주고 있다.

### 3.2.2 사용자 포스처 인식

손 영역 분리 단계를 통해 찾아진 손의 관심 영역의 blob내 사용자의 포스처가 무엇인지를 판단하기 위해서 손 인식(Hand Recognition)과정을 거치게 된다. 사용자의 포스처를 인식하기 위해서, 제안하는 시스템에서는 K-Curvature 알고리즘[23]을 사용하여 포스처를 판단한다. K-Curvature 알고리즘은 찾아진 손의 관심 영역의 blob에서 외곽(Contour) 점들에 대하여 Curve점들을 찾는 방식으로 진행이 된다. 아래의 식(1), (2)에서  $C_i$ 는 외곽점을  $k$ 는 임의의 상수를  $K(C_i)$ 는 찾아진 Curve 점들의 집합을 나타내고,  $D(C_i)$ 는  $K(C_i)$  중에서 Peak 점들을 나타낸다.

$$K(C_i) = \frac{\overrightarrow{C_i C_{i-k}} \cdot \overrightarrow{C_i C_{i+k}}}{\| \overrightarrow{C_i C_{i-k}} \| \| \overrightarrow{C_i C_{i+k}} \|} \quad (1)$$

$$D(C_i) = \overrightarrow{C_i C_{i-k}} \times \overrightarrow{C_i C_{i+k}} \quad (2)$$

분리된 손의 관심 영역에서 찾아진 외곽점들에 대하여  $k$ 범위만큼의 점들의 cosine 각도를 수식(1)을 통하여 구한다. 시스템에서 정한 일정한 각도 이하이면 Curvature라고 인식을 한다. 우리는 이를 위하여 45도 이하인 Curve들을 손 끝점으로 인식을 하였다. 이렇게 찾아진 Curve에 대하여 수식(2)를 통해 2차원 좌표를 3차원 좌표로 변형을 시키고  $z$ 값을 0로 설정을 하여 벡터의 외적 계산을 수행한다.  $z$ 값이 양수(Positive)이면 Peak로 음수(Negative)이면 Valley로 판단을 하여 Peak로 판별된 좌표를 통해 손의 끝점으로 찾았다. 이렇게 찾아진 손의 끝점을 통해 사용자가 몇 개의 손가락을 뻗는지 인식하게 되고 이를 통해 사용자의 포스처를 인식하게 된다. 아래 그림 10은 손 분리 단계를 거친 손의 관심 영역에서 Curvature를 찾은 것을 볼 수 있다. 빨간 점은 blob에서 찾아진 Curvature 점들이며, 노란 점은 찾아진 다수의 Curvature들 중에서 손끝을 찾은 것이다.



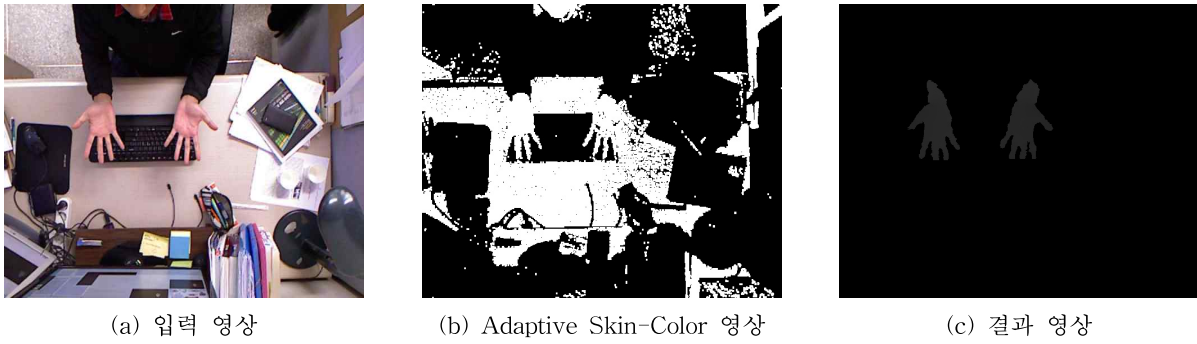


그림 9. 손 영역 분리(Hand Segmentation) 과정

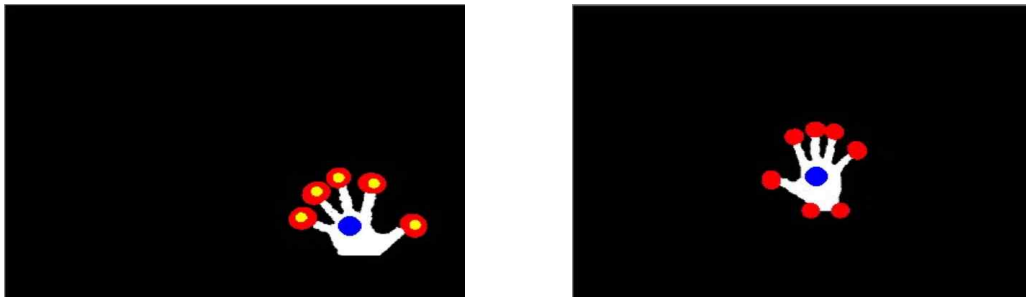


그림 10. K-Curvature 알고리즘을 통한 포스터 인식

3.2.3 제공하는 제스처 상호작용

찾아진 손 끝점의 개수를 파악하여 포스터를 판단한다. 만약 찾아진 손 끝점의 개수가 0개라면, 사용자는 주먹을 쥐고 있는 것으로 인식을 하고, 손 끝점의 개수가 5개라면 사용자는 손을 펴고 있는 것으로 인식을 한다. 이렇게 각각의 손 끝점을 인식하여 포스터를 판단하며, 한 손 혹은 두 손으로 상호작용을 수행을 하게 된다.

우리는 가상의 객체와 상호작용을 하기 위하여 4가지 제스처를 정의를 하였다. 제스처는 증강현실 콘텐츠의 가상의 객체와 상호작용할 수 있다. 기본적으로 마커를 사용하여 가상의 객체와 상호작용을 하지

만, 추가적으로 제스처 상호작용 방법을 통해서도 증강현실 콘텐츠와 상호작용할 수 있게 하였다.

첫 번째, 제스처 상호작용 방법은 그림 11은 손바닥 위에 가상의 객체를 두고 이동시키는 상호작용을 보여주고 있다. 이를 위해서 사용자가 손가락을 모두 편 상태일 경우 가상의 객체가 사용자의 손바닥을 중심으로 하여 사용자의 손 움직임에 따라 가상의 객체도 함께 움직이는 방식을 선택을 하였다. 우리는 깊이 인식 카메라를 이용하기 때문에 별도의 Calibration 과정 없이도 깊이 정보를 이용하여 가상의 객체를 3차원 공간 안에서 움직일 수 있게 하였다.

두 번째 제스처 상호작용 방법은 그림 12처럼 한



(a) 1hand 5fingers

(b) 가상 객체 이동 손동작 상호작용

그림 11. 가상 객체 이동 손동작 상호작용



(a) 1hand 1finger



(b) 가상 객체 회전 상호작용

그림 12. 가상 객체 회전 손동작 상호작용

개의 손가락이 인식이 된 경우에 가상의 객체를 회전시킬 수 있다. 가상의 객체가 증강된 좌표를 기준으로 사용자의 손 끝점의 좌표가 가상의 객체의 왼쪽에 위치하면 시계 방향으로 반대인 경우 반시계 방향으로 가상의 객체가 회전한다. 기존의 증강현실 콘텐츠 환경에서처럼 마커를 직접 회전시키거나 기타 도구를 사용하지 않아도 이러한 제스처 상호작용을 통해서 다양한 관점에서 가상의 객체를 확인할 수가 있다.

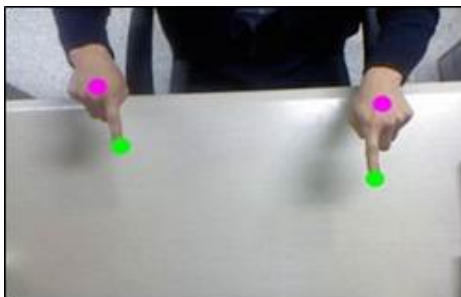
대부분의 터치 인터페이스 환경에서처럼 두 손가락 이용하여 늘이거나 줄였을 때 객체들이 확대 혹은 축소가 된다. 이를 이용하여 증강현실 콘텐츠에 대해서도 이와 같은 상호작용 방법을 적용시켰다. 제안하는 시스템에서는 그림 13.(a)에서 보여주듯이 사용자가 두 손의 각 한 개의 손가락을 이용하여 증강된 가상의 객체를 확대 혹은 축소를 시킬 수 있게 하였다. 두 개의 손가락 좌표간의 유클리드 거리(Euclidean distance)를 구하여 제스처 시작 시 거리를 기준으로 사용자가 두 손 끝을 늘리고 줄이는 동작 후의 거리와 비교하여 가상의 객체를 Scale 변환 하였다.

마지막으로 가상의 객체와의 상호작용 과정을 멈추기 위해서 우리는 하나의 제스처를 추가 하였다.

보통의 증강현실 콘텐츠에서는 마커가 사라졌을 경우 증강되는 객체가 사라지거나 프로세스 과정이 끝나지만, 우리의 시스템에서는 사용자가 제스처를 통해 가상의 객체를 마커 위에서 다른 좌표로 이동시킬 수도 있고, 마커의 Occlusion을 이용한 상호작용도 제공되기 때문에 초기화를 하기 위한 추가적인 제스처를 추가하였다. 사용자가 아무 손가락도 펴지 않아 Curvature를 통한 손 끝점이 나타나지 않을 경우 즉, 주먹을 쥔 상태일 때 처음과정으로 돌아가 입력 영상에서 마커를 다시 찾아 새롭게 가상의 객체를 증강시키는 과정을 수행하게 된다.

#### 4. 실험 및 사용성 평가

본 논문에서 우리가 제안하는 시스템은 증강현실 콘텐츠에 마커기반과 제스처 상호작용을 적용시킬 수 있는 저작도구이다. 이에 저작도구 시스템 및 상호작용 방법에 대한 사용성 평가와 성능적 측면에서의 제스처 인식률에 대한 실험을 수행하였다. 사용성 평가 방식은 사용자의 만족도 관련 설문과 인터뷰 방식을 활용한 Nielsen의 사용성 평가(Heuristic



(a) 2hands 2fingers



(b) 가상 객체 확대 / 축소 상호작용

그림 13. 가상 객체 확대/축소 손동작 상호작용

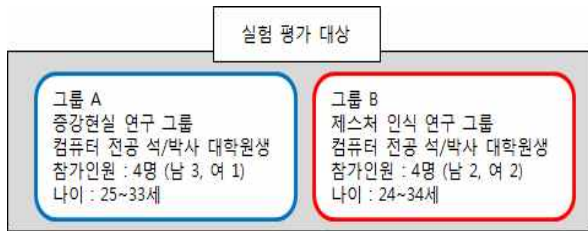


그림 14. 두 그룹의 실험 평가 대상 상세 정보

Evaluation)[24] 방법을 사용하였다. 평가 대상은 본 연구의 전문가 집단으로 증강현실 기술에 대해 연구하는 그룹(A)과 제스처 인식에 대해 연구하는 그룹(B)으로 구성되었다. 그룹A는 증강현실 관련 연구를 하고 있는 컴퓨터전공의 석/박사 대학원생으로 구성되었고, 그룹B 역시 컴퓨터전공의 제스처 관련 연구를 하고 있는 석/박사 대학원생으로 구성되었다. 이 두 그룹의 평가 인원은 동일하게 4명으로 구성하였다.

4.1 증강현실 저작도구 사용성 평가

설문조사를 통해 본 논문에서 제안하는 MSL ARToolKit 저작도구에 대한 사용성 평가를 수행하였다. 이 평가는 실험자들이 본 논문에서 제안하는 시스템으로 간단한 마커 등록, 가상 객체 지정, 상호작용 방법 설정을 수행한 후 그에 관한 설문조사를 실시하였다. Nielsen의 사용성 평가에 대한 10가지 원칙을 해당 시스템에 부합하는 내용들을 채택하였고, 각각의 질문에 대한 대답은 총 5단계로 점수를 나누었다. 평가를 위한 설문 내용은 다음과 같다.

그림 15는 10가지 평가 항목별 제안하는 시스템에 대한 평가 결과를 보여준다. 저작도구를 사용함에 있어 문제 발생 시 문제 해결에 대한 사용성 평가 결과

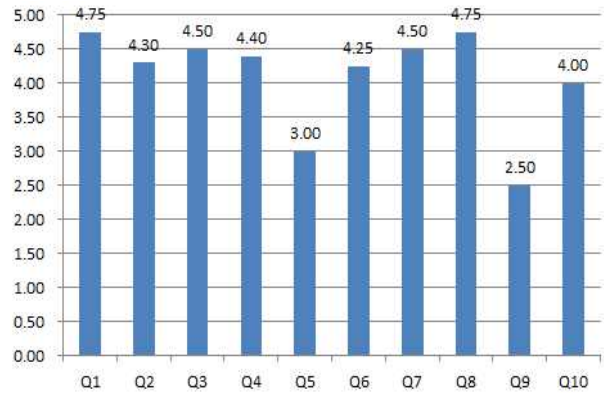


그림 15. MSL ARToolKit 저작도구 사용성 평가 결과

가 평균 2.5점으로 낮게 나왔지만, 인터페이스나 사용성 측면에서는 전반적으로 4점(보통) 이상의 결과를 보였다. Q1과 Q8항목이 4.75점으로 가장 높게 나왔으며, 이는 시스템의 인터페이스가 사용자에게 이해하기 쉽도록 디자인되었음을 보여준다. 또한 Q2, Q6 항목에서 보듯이 시스템을 사용함에 있어 이해하기 쉽고 간단한 조작으로 증강현실 콘텐츠를 제작할 수 있음을 보여주고 있다.

4.2 마커기반 및 제스처 상호작용의 사용성 평가

제안하는 시스템에서 제공하는 상호작용 방법들에 대해 설문조사를 통해 사용성 평가를 수행하였다. 이 평가는 실험자들이 마커기반의 상호작용과 제스처 상호작용을 수행한 후 그에 관한 설문조사를 실시하였다. Nielsen의 사용성 평가에 대한 10가지 원칙들 중 해당 시스템에 부합하는 내용들을 채택하여 설문을 작성하였고, 각각의 질문에 대한 대답은 총 5단계로 점수를 나누었다. 평가를 위한 설문 내용은

표 1. MSL ARToolKit 저작도구 사용성 평가 설문 항목

설문 내용	
Q1. 시스템의 현재 상태를 시각화하여 보여주는가?	Q6. 인터페이스가 사용자에게 쉽게 인식될 수 있는 명령어로 되어 있는가?
Q2. 상식적으로 이해 가능하고 논리적인 명령 체계를 가지고 있는가?	Q7. 시스템의 조작이 사용자 입장에서 효율적이고 융통성이 있는가?
Q3. 적은 인지의 노력으로 시스템을 조작할 수 있는가?	Q8. 인터페이스의 디자인에 불필요한 정보없이 이해하기 쉬운가?
Q4. 시스템은 일관된 표준화된 체계를 가지고 있는가?	Q9. 문제가 발생했을 때 사용자들에게 명확하게 전달하는가?
Q5. 에러 발생 시 사용자가 쉽게 문제를 해결할 수 있는가?	Q10. 제공되는 기능을 이해하기 쉽도록 도움말을 제공하는가?

표 2. 상호작용 기능의 사용성 평가 설문 항목

설문 내용	
Q1. 해당 상호작용을 사용하는 것은 쉬운가?	Q4. 해당 상호작용을 사용하는데 불편하지 않는가?
Q2. 해당 상호작용을 Natural 한가?	Q5. 상호작용에 대한 안내와 설명이 충분한가?
Q3. 적절한 시간 안에 Feedback이 오는가?	Q6. 해당 상호작용이 사용 가능하다면 사용하겠는가?

다음과 같다.

그림 16는 6가지 평가 항목별 상호작용 기능들에 대한 사용성 평가 결과를 보여준다. 마커기반과 제스처 상호작용을 수행함에 있어 전반적으로 4점 이상의 결과가 나왔다. 마커기반과 제스처 상호작용 기능의 Q1 항목에서는 두 방법 모두 높은 점수를 받았다. 두 상호작용 방법들 간의 점수 차이가 크게 나는 부분은 Q2, Q3 항목으로 Q2 항목에서는 제스처 상호작용이 상대적으로 높은 점수가 나왔고 이는 추가적인 교육이 없어도 쉽게 이해할 수 있는 제스처를 채용했기 때문이라 판단된다. 하지만, Q3 항목에서 보듯이 마커기반의 상호작용보다 제스처 상호작용이 연산량이 많고, 오류가 발생할 수 있는 부분이 많아 상대적으로 마커기반 상호작용보다 사용성 평가 결과가 낮게 나온 것을 볼 수 있다.

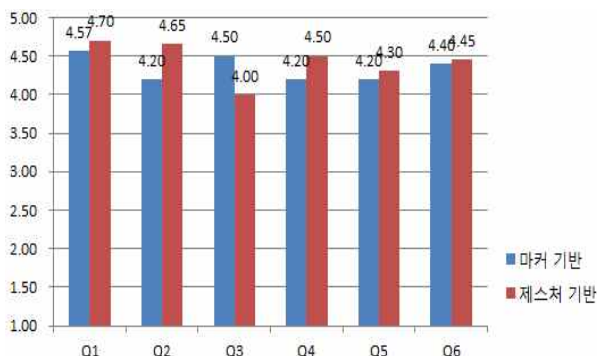


그림 16. 마커기반 및 손동작 상호작용 기능의 사용성 평가표

### 4.3 제스처 인식률 실험

제스처 인식률에 대한 결과는 그림 17에서 보는 바와 같이 총 4가지의 경우로 나누어 얻을 수 있었다. False-Positive의 경우 사용자가 잘못된 제스처를 취했음에도 불구하고 시스템이 인식가능한 제스처로 인식이 되는 경우를 나타내며, False-Negative는 사용자가 잘못된 제스처를 취했을 때 잘못된 결과가 나오는 것을 의미한다. Miss-Recognition은 제스처를 취하는 도중에 손의 영역을 놓쳐 인식이 되지 않

았던 것을 의미하며 True-Positive는 정확하게 인식되었음을 의미한다. 실험은 위에 언급한 실험자를 대상으로 정의된 4개의 제스처에 대해 일정시간씩 3회 수행을 하게 하여 측정하였다. 제스처에 대한 인식률을 실험한 결과 평균 92%정도의 인식률을 보였다. 인식을 실패할 확률은 평균적으로 7%정도로 이는 주변 환경의 요인으로 인하여 손의 영역을 놓치거나 포스터를 제대로 인식하지 못하는 경우 발생하였다.

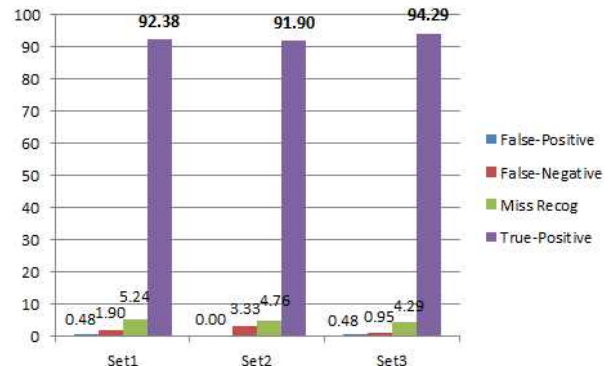


그림 17. 제스처 인식률 실험

## 5. 결 론

본 논문에서는 사용자가 직접 증강현실 콘텐츠를 제작하고 여기에 마커기반과 제스처 상호작용이 가능하도록 해주는 증강현실 저작도구를 제안하였다. 이를 위해 증강현실 엔진에 인터페이스를 결합하여 사용자가 손쉽게 증강현실 콘텐츠를 제작할 수 있게 하였다. 또한, 깊이 인식 카메라를 사용하여 손 분리 과정을 수행함으로써 손쉽게 손의 관심 영역을 추출할 수 있었다. 손의 관심 영역에 대한 포스터 인식 알고리즘으로 K-Curvature 알고리즘을 사용하여 사용자의 포스터를 인식하고 이를 통해 제스처 상호작용이 가능하도록 개발하였다. 이러한 연구를 통해 사용자들에게 손쉽게 증강현실 콘텐츠를 제작할 수 있는 환경을 제공하고자 하였고, Natural User Interaction 기능들을 추가하여 사용자들이 부가적인

노력 없이도 쉽게 상호작용을 할 수 있도록 하였다. 사용성 평가 결과에서 보여주듯이 본 논문에서 제안하는 시스템의 마커기반 및 제스처 상호작용 방법은 자신이 의도한 대로 상호작용이 가능케 해 흥미를 유발할 수 있는 장점을 가지고 있다.

최근에 기존의 여러 증강현실 저작도구들이 다양한 상호작용 방법들을 접목하는 연구들이 꾸준히 계속되고 있다. 이러한 연구들을 통해 앞으로는 사용자들이 능동적인 활용과 참여를 유도해 낼 수 있는 높은 레벨의 상호작용이 가능한 증강현실 콘텐츠들이 제공될 것이다. 추후 연구에서는 저작 도구의 인터페이스에 대해 사용자의 편의와 사용성을 위한 연구가 추가적으로 요구되며, 사용자가 이해하고 적용하기 쉬운 증강현실 콘텐츠를 위해 추가적인 제스처 상호작용 기술 연구가 필요하다. 제스처 인식 연구 분야 뿐만 아니라 여러 상호작용 연구에서의 한계점은 각 연구들마다 상호작용에 대한 비교 데이터들이 통일화되어 있지 않기 때문에 각 접근방식에 대한 비교가 힘들다. 대부분 연구 그룹마다 제안하는 제스처의 의미가 다르며, 제한적이기 때문이다[26]. 이를 극복하고 일반 사용자들이 상호작용이 가능한 증강현실 콘텐츠를 손쉽게 제작하기 위해서는 IT 분야뿐만 아닌 인문학 분야와의 학제적 연구가 필요하다. 본 논문에서 제안하는 저작도구를 통해 제작한 증강현실 콘텐츠는 교육뿐만 아니라 게임, 의료 등 다양한 분야에 다양한 상호작용이 가능한 증강현실 기술을 접목할 수 있는 기회를 제공할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [ 1 ] R.T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," *Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.
- [ 2 ] H. Kaufmann, "Collaborative Augmented Reality in Education," *Position paper for keynote speech at Imagina 2003 Conference*, 2003.
- [ 3 ] A. Dünser, "Supporting Low Ability Readers With Interactive Augmented Reality," *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine: Changing the Face of Healthcare, Interactive Media Institute*, Vol. 6, pp. 41-48, 2008.
- [ 4 ] R. Moreno, R.E. Mayer, H.A. Spires, and J.C. Lester, "The Case for Social Agency in Computer-Based Teaching: Do Students Learn More Deeply When they Interact with Animated Pedagogical Agents?," *Cognition and Instruction*, Vol. 19, No. 2, pp. 177-213, 2001.
- [ 5 ] D. Wagner, D. Schmalstieg, and H. Bischof, "Multiple Target Detection and Tracking with Guaranteed Framerates on Mobile Phones," *Proc. of the 8th IEEE/ACM Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '09)*, pp. 57-64, 2009.
- [ 6 ] K. Kim, V. Lepetit, and W. Woo, "Scalable Real-Time Planar Targets Tracking for Digilog Books," *The Visual Computer*, Vol. 26, No. 6-8, pp. 1145-1154, 2010.
- [ 7 ] ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>, 2007.
- [ 8 ] ARToolKit plus, <http://handheldar.icg.tugraz.at/artoolkitplus.php>, 2011.
- [ 9 ] Y. Wang, T. Langlotz, M. Billinghamurst, and T. Bell, "An Authoring Tool for Mobile Phone AR Environments," *Proc. of the New Zealand Computer Science Research Student Conference 09*, pp. 1-4, 2009.
- [ 10 ] R. Grasset, J. Looser, and M. Billinghamurst, "OSGARToolKit: Tangible+Transitional 3D Collaborative Mixed Reality Framework," *15th Int. Conf. on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2005)*, pp. 5-8, 2005.
- [ 11 ] B. MacIntyre, M. Gandy, S. Dow, and J.D. Bolter, "DART: A Toolkit for Rapid Design Exploration of Augmented Reality Experiences," *Proc. of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, pp. 197-206, 2004.
- [ 12 ] H. Kaufmann and D. Schmalstieg, "Mathematics and Geometry Education with Collaborative Augmented Reality," *Computer & Graphics*, Vol. 27, No. 3, pp. 339-345, 2003.
- [ 13 ] H. Seichter, J. Looser, and M. Billinghamurst, "ComposAR: An Intuitive Tool for Authoring

- AR Applications,” *Proc. of the 7th IEEE/ACM Int. Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 177-178, 2008.
- [14] Qualcomm AR SDK, <https://ar.qualcomm.at/qdevnet/>, 2011
- [15] S.C. Yuen, G. Yaiyuneyoung, and E. Johson, “Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education,” *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, Vol. 4, No. 1, pp. 119-140, 2011.
- [16] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyev, K. Inamoto, and K. Tachibana, “Virtual Object Manipulation on a Table-top AR Environment,” *Proc. of the IEEE/ACM Int. Symposium on Augmented Reality*, pp. 111-119, 2000.
- [17] B.H. Thomas and W. Piekarski, “Glove Based User Interaction Techniques for Augmented Reality in an Outdoor Environment,” *Virtual Reality: Research, Development, and Application*, Vol. 6, No. 3, pp. 167-180, 2002.
- [18] K. Dorfmuller-Ulhaas and D. Schmalstieg, “Finger Tracking for Interaction in Augmented Environments,” *Proc. of the IEEE/ACM Int. Symposium on Augmented Reality*, pp. 55-64, 2001.
- [19] T. Lee and T. Hollerer, “Handy AR: Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking,” *2007 11th Int. Symposium on Wearable Computers*, pp. 83-90, 2007.
- [20] J. Shim, J. Seo, and T.D. Han, “MSL\_ARToolkit: AR Authoring tool with Interactive features,” *Virtual and Mixed Reality-New Trends, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 6773, pp. 105-112, 2011.
- [21] P. Tissainayagam and D. Suter, “Assessing the Performance of Corner Detectors for Point Feature Tracking Applications,” *Image and Vision Computing*, Vol. 22, No. 8, pp. 663-679, 2004.
- [22] F. Dadgostar and A. Sarrafzadeh, “An Adaptive Real-time Skin Detector based on Hue Thresholding: A Comparison on two motion tracking methods,” *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27, No. 12, pp. 1342-1352, 2006.
- [23] J. Segen and S. Kumar, “Human-Computer Interaction using Gesture Recognition and 3D Hand Tracking,” *Int. Conf. on Image Processing*, Vol. 3, pp. 188-192, 1998.
- [24] J. Nilsen and R. Molich, “Heuristic Evaluation of User Interfaces,” *Proc. of the Conf. on Human Factors in Computing Systems*, pp. 249-256, 1990.
- [25] 최광운, 정다운, 이석한, 최종수, “손동작을 이용한 상호작용 증강현실 시스템,” *멀티미디어학회 논문지*, 제15권, 제4호, pp. 425-438, 2012.
- [26] P. Garg, N. Aggarwal, and S. Sofat, “Vision Based Hand Gesture Recognition,” *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 49, pp. 972-977, 2009.



심진욱

1999년 3월~2007년 8월 홍익대학교 컴퓨터공학과 학사  
2007년 9월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 통합과정  
관심분야: 증강현실, NUI (Natural User Interface), HCI (Human Computer

Interface), 유비쿼터스 컴퓨팅



정경호

2005년 3월~2011년 2월 충북대학교 컴퓨터교육과 학사  
2011년 3월~2013년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정  
관심분야: 증강현실, NUI (Natural User Interface),

HCI (Human Computer Interface), 유비쿼터스 컴퓨팅



공민제

2007년 3월~2012년 8월 서울여자대학교 멀티미디어학과 학사  
2012년 9월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정  
관심분야: 증강현실, NUI (Natural User Interface),

HCI (Human Computer Interface), 유비쿼터스 컴퓨팅



서종훈

2001년 3월~2006년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 학사  
2006년 3월~2008년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과 석사  
2008년 3월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정

관심분야: NUI(Natural User Interface), 증강현실, 유비쿼터스 컴퓨팅



김하영

2007년 3월~2011년 2월 성신여자대학교 디지털컨텐츠학과 학사  
2011년 9월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정  
관심분야: NUI (Natural User Interface), HCI (Human

Computer Interface), 유비쿼터스 컴퓨팅



한탁돈

1974년 3월~1978년 2월 연세대학교 전자공학과 학사  
1982년 2월~1983년 5월 Wayne 주립대학교 석사  
1983년 9월~1987년 9월 Massachusetts at Amherst 대학교 박사

1989년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
관심분야: 고성능 컴퓨터 구조, 3D 그래픽스, HCI (Human Computer Interface), 유비쿼터스 컴퓨팅



채승호

2005년 3월~2011년 2월 세종대학교 컴퓨터공학과 학사  
2011년 8월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 통합과정  
관심분야: 영상처리, 제스처/포스처, HCI(Human Computer Interface), 유비쿼터스 컴퓨팅