

가상현실 기반 콘텐츠의 몰입형 저작 기법

이 건¹, 김정현², 마크 빌링허스트³
포항공과대학교 가상현실감 및 지각형미디어 연구실^{1,2}
뉴질랜드 인간-컴퓨터 인터페이스 기술 연구소³
{endovert¹,gkim²}@postech.ac.kr mark.billinghurst@hitlabnz.org³

Immersive Authoring of Virtual Reality based Contents

Gun A. Lee¹, Gerard Jounghyun Kim², Mark Billinghurst³
Virtual Reality and Perceptive Media Laboratory, Pohang Univ. of Science and Technology ^{1,2}
Human Interface Technology Laboratory New Zealand ³

요약

가상현실 분야가 연구 된지도 수십 년이 흘렀다. 가상현실 분야에서 개발된 일부 기술들은 3 차원 게임과 같은 친숙한 형태로 점차 우리의 생활 속으로 들어오고 있다. 이러한 상황에서 2 차원의 멀티미디어의 다음을 이을 차세대 미디어로서 3 차원 가상현실 기반의 미디어가 널리 보급되기 위하여 해결되어야 할 여러 가지 문제 중 하나로 다양한 콘텐츠의 개발을 들 수 있다. 가상현실 기반 콘텐츠는 다양한 저작도구들을 갖고 있는 2 차원 멀티미디어 콘텐츠의 경우와 달리 손쉽게 사용할 수 있는 저작도구들의 부재로 일반인들이 콘텐츠를 직접 저작하기 힘든 것은 물론, 이를 저작하기 위한 도구들은 대부분 프로그래밍 라이브러리의 형태를 띠고 있어, 콘텐츠 저작의 주체가 되어야 할 예술가들이나 특정 분야의 전문가들조차도 컴퓨터 프로그래밍에 대한 전문지식이 없이는 접근하기 힘든 형편이다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 손쉽게 사용할 수 있는 가상현실 기반 콘텐츠 저작도구가 갖추어야 할 기능으로서, 개발자가 개발되고 있는 콘텐츠를 직접 경험하면서 콘텐츠를 저작하는 기법인 ‘몰입형 저작 기법(Immersive Authoring Method)’을 제안한다. 본 논문에서는 이러한 몰입형 저작 기법의 기본 개념과 이를 기반으로 한 저작도구들을 살펴보고, 이들을 개발하고 사용하는 과정에서 발견된 장단점들을 비교한다.

Keyword : 가상현실(virtual reality), 증강현실(augmented reality), 저작 기법 (authoring method), 몰입형 미디어(immersive media)

1. 서론

1956 년 Morton Heilig 에 의해 가상현실 시스템의 초석이 된 ‘Sensorama’[4]가 소개된 이래로 가상현실 분야는 지난 반 세기 동안 많은 발전을 이루어 왔다. 그 동안 가상현실은 ‘멀티미디어’라는 말로 대표되는 2 차원 디지털 미디어의 뒤를 이을 차세대 미디어로서 주목을 받아왔지만, 안타깝게도 아직까지 주요 미디어 대열에 합류하지는 못하고 있는 형편이다. 이렇듯 가상현실 기술이 널리 보급되지 못한 이유로는 가상현실 장비들의 보급이 늦어진 것에 더해 이렇다 할만한 가상현실 기반 콘텐츠의 부재를 꼽을 수 있을 것이다.

다양한 멀티미디어 콘텐츠가 개발되고 널리 보급된 데에는 콘텐츠 저작도구의 역할을 빼놓고 생

각할 수 없을 것이다. 멀티미디어가 소개된 이래로 다양한 멀티미디어 콘텐츠 저작도구들이 만들어지고 보급되었으며, 현재는 일반인들도 간단한 멀티미디어 콘텐츠를 구성할 수 있는 Microsoft 사의 PowerPoint 를 비롯해, 영상 예술가들이나 특정 분야의 전문가들이 CD-ROM 타이틀이나 인터넷에서 상영될 수 있는 멀티미디어 저작물을 만드는데 많이 사용하는 Macromedia 사의 Flash 나 Director 등 준 전문가용 저작도구들도 널리 알려지고 사용되고 있다. 이러한 저작도구들은 2 차원 그래픽 사용자 인터페이스의 대표적인 기본 개념인 ‘WYSIWYG(What You See Is What You Get)’ 과 마우스를 사용한 직접 조작(direct manipulation) 기법 등을 활용하여 프로그래밍에 관한 전문지식이 없는

사람들도 멀티미디어 콘텐츠를 쉽게 저작할 수 있도록 해 준다.

이에 반해, 아직까지도 가상현실 기반 3차원 콘텐츠들은 (3차원 모델을 모델링 하는 작업을 제외하고는) 대부분 프로그래밍 언어나 스크립트를 사용한 코딩에 의존하고 있다. 가상현실 시스템에서 사용자는 일반적으로 HMD(Head Mounted Display)나 data glove 와 같은 장비를 착용하고 콘텐츠, 즉, 가상 세계를 체험하게 된다. 따라서 개발과정에서 콘텐츠를 시험할 때에도 이러한 장비들을 착용하게 되는데, 모니터와 키보드를 사용하는 일반적인 데스크톱 환경에서 프로그래밍작업을 하다가 결과를 확인하기 위해 가상현실 장비들을 착용해야 하는 번거로움이 있다. 이에 더해 가상현실 콘텐츠들은 본질적으로 3차원 공간의 형태를 띠기 때문에, 이러한 3차원 공간적 특징을 개발자에 상상에 의존하여 스크립트나 프로그래밍 언어로 표현한 결과가 가상현실 장비들을 통해 확인한 결과와 다를 가능성이 많다. 이렇게 발견된 오류를 다시 데스크톱 환경에서 수정하고 다시 가상현실 장비를 착용하고 확인하는 과정의 반복은 저작 과정을 비효율적이고 비생산적으로 만드는 걸림돌이 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 방안으로 가상현실 기반 콘텐츠를 위한 저작도구에 ‘몰입형 저작 기법(Immersive Authoring Method)’을 적용할 것을 제안한다. 개발자가 저작되고 있는 콘텐츠를 가상현실 장비를 착용한 상태에서 직접 보면서, 직접 체험하면서 저작 작업을 진행할 수 있다면, 앞서 언급된 현 저작 방식의 여러 가지 단점들을 극복할 수 있을 것이다.

2. 관련 연구

가상현실 기반 콘텐츠를 저작하는 작업은 크게 가상객체의 3차원 모형을 만들고 이러한 3차원 모델들을 적절히 배치하는 작업과 이렇게 배치된 가상 물체들의 움직임 및 사용자와의 상호작용을 기술하는 작업으로 양분될 수 있다. 전자의 경우 가상환경의 3차원 공간적 특성상 여러 연구들이 있어왔다[10][16][1][11][5][13]. 하지만, 후자의 경우는 그다지 많은 연구들이 진행되지 않은 형편이다.

가상환경 내에서 해당 가상환경 프로그램을 변경시키고자 하는 개념은 Stiles 와 Pontecorvo[15]에 의해 처음 제안되었다. 그들은 기존의 프로그래밍 언어의 구성 요소들에 대응되는 가상물체들을 정의하고 이들 사이의 기하학적 연관 관계로 프로그램을 표현하고 수정하기를 제안했다. 하지만, 그들의 제안은 개념적인 제안에 그쳤고 구현되지 못했다. Steed 와 Slater[14]는 가상물체들 사이의 논리적 데이터 흐름을 연결선 형태로 표현하고 이들을 사용자가 가상환경 내에서 수정할 수 있도록 하였다. 또한, 시각언어 연구분야에서는 CUBE[12]와 같은 3차원 시각언어에 대한 연구도 이루어지고 있어 이들의 가상환경에서의 사용 가능성을 보여주고 있다. 하지만, 이들의 경우 대부분 간단한 논리의 표현에 그치거나, 가상환경의 최대 장점이라 할 수 있는 3차원 상호작용기법을 효과적으로 이용하지 못하고 있다.

Holm[3]은 두 명의 개발자가 각각 한 명은 데스크톱 환경에서 가상 세계를 저작하고, 동시에 다른 한 명은 몰입형 환경에서 이를 시험하도록 제안하였는데, 앞으로의 연구 방향으로 몰입형 환경에서 시험하는 개발자에게 저작 작업을 가능토록 하는 것을 들어 본 연구의 방향에 동의하고 있다.

3. 몰입형 저작 기법

3-1 정의

몰입형 저작 기법이란, 개발환경과 실행환경이 동일한 저작 환경으로 개발자가 최종사용자와 같은 인터페이스를 통해 개발하고 있는 콘텐츠를 직접 경험하며 개발 작업을 진행하는 저작 방식을 말한다. 따라서, 좁은 의미의 HMD 와 같은 몰입형 디스플레이 장치를 사용하여 콘텐츠를 경험하며 저작하는 방식뿐 아니라, 비록 몰입형 디스플레이는 아니더라도 최종 사용자가 사용하게 될 가상현실 인터페이스를 그대로 사용하여 콘텐츠를 경험하며 저작하는 방식을 총칭한다.

3-2 접근법

몰입형 저작의 가장 간단하고 기본적인 접근법으로 가상 터미널을 이용한 방법을 들 수 있을 것이다. 즉, 실 세계에서 저작 작업이 이루어지는 데

스크린 환경을 가상환경에서도 그대로 사용할 수 있게 해줌으로써 가상환경 내에서 저작 작업이 가능토록 하는 것이다.

두 번째 방법은 상징적 객체(metaphorical objects)를 사용하여 논리를 표현 하는 방법으로, 시각 언어를 사용하는 방법[12][14]을 포함한다.

위의 두 가지 방법의 경우 가상환경에서 가능한 3차원 상호작용을 적극적으로 활용하지 않으므로, 3차원 공간적인 특징을 표현하고 다루기에 효율적이지 못한 단점이 있다. 이러한 점을 보완하는 방법으로 직접 조작(direct manipulation) 및 시연(demonstration)을 이용한 접근법을 들 수 있다. 이 방법은 3차원 물체들을 공간에 배치하거나 이들의 공간적인 움직임을 표현하는데 적합하다.

본 논문에서는 주로 상징적 객체를 사용한 방법과 직접조작 및 시연을 사용한 접근법을 중심으로 몰입형 저작 기법을 고찰한다.

3-3 기본 디자인 원리

몰입형 저작 기법이 갖추어야 할 가장 기본적인 원리는 ‘WYXIWYG (What You eXperience Is What You Get)’이라는 문구로 표현된다. 즉, 2차원 그래픽 사용자 인터페이스에서 WYSIWYG이라는 개념으로 최종 결과물을 직접 보면서 편집하듯이, 가상현실 기반 콘텐츠를 개발 할 때에 최종 결과물을 개발자가 직접 경험하면서 저작한다는 원리이다.

두 번째 몰입형 저작 기법의 원리로 직접 조작(direct manipulation)의 원리가 있다. 역시 2차원 그래픽 사용자 인터페이스에서도 널리 사용되고 있는 이 원리는 변경 하고자 하는 객체에 직접적으로 조작을 가하는 상호작용 방식으로, 가상현실 시스템에서 가상물체를 3차원 공간에서 조작하거나 공간적인 움직임을 표현 할 때에 유용하다.

직접조작이 가상현실 콘텐츠의 공간적인 면을 표현하는데 효율적이기는 하지만, 직접조작만으로 가상현실 콘텐츠의 비 공간적인 특성을 포함한 모든 면을 표현하는 데에는 한계가 있다. 이러한 점을 고려하여 콘텐츠의 개개의 세부 구성 요소를 사용자가 투명하게 다룰 수 있도록 해야 한다. 예를 들어, 가상객체의 3차원 위치를 직접조작으로

지정할 수도 있겠지만, 그 바탕에 깔린 3차원 좌표의 개념 또한 사용자가 직접 다루고 값을 변경할 수도 있어야 하겠다.

끝으로, 인터페이스 일관성의 원리가 있다. 가상환경 내에서의 저작 작업을 위해 최종 사용자가 사용하는 것 이외의 부가적인 인터페이스나 상호작용 기법의 도입을 피할 수는 없다. 하지만, 이렇게 도입된 인터페이스나 상호작용기법이 최종 콘텐츠에서 사용되는 그것과 일관되지 않는다면 개발자에게 혼란을 주게 된다. 따라서, 저작 작업을 위해 추가되는 인터페이스나 상호작용 기법은 최종 콘텐츠에서 사용되는 것들과 일관성을 유지하도록 해야 할 것이다.

3-4 기본 구조와 개발

그림 1은 몰입형 저작 시스템의 일반적인 기본 구조를 나타낸다. 몰입형 저작 시스템은 그 특성상 저작도구 모듈에 더해 저작된 콘텐츠를 실행시키는 모듈을 포함하는데, 이 실행 모듈은 추후 콘텐츠 소비자들에게 배포되어 그대로 사용될 수 있다. 저작 시스템은 콘텐츠를 특정한 형식 (가상 세계 모델)에 맞추어 표현하며, 이러한 콘텐츠는 XML 등의 형식화 된 언어로 저장된다.

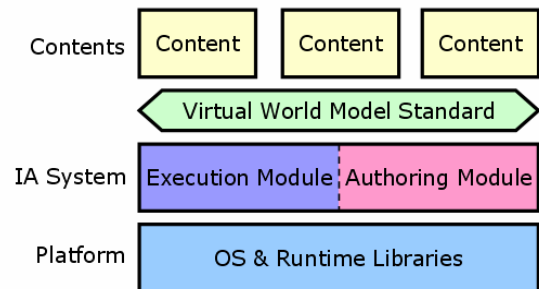


그림 1. 몰입형 저작 시스템의 기본 구조

따라서, 몰입형 저작 시스템을 개발하기 위해서는 먼저 가상 세계 모델 표준이 수립되어야 한다. 일반적으로 가상 물체들의 공간적 배치와 계층구조를 표현하기 위해서는 장면 그래프(scene graph) 구조가 널리 사용되고 있지만, 객체의 움직임이나 상호작용 방법을 나타내는 방식은 응용분야에 따라 달라지므로, 응용분야에 맞추어 이를 수립할 필요가 있다.

가상 세계 모델 표준이 정해지면 이 모델에 맞추어 표현된 콘텐츠를 실행시키는 모듈과 콘텐츠

를 저작하는 모듈을 개발해야 한다. 이때, 3-2 와 3-3 에서 설명한 접근법과 디자인 기본 원리에 맞추어 정해진 가상 세계 모델에 맞게 저작을 위한 인터페이스와 상호작용 방법을 결정한다.

4 절과 5 절에서는 여기서 설명된 원리와 방법으로 개발된 몰입형 저작도구들을 소개한다.

4. PiP 몰입형 저작 시스템

PiP(Programming in vr Program)[8]는 시연에 의한 프로그래밍 기법(programming by demonstration)[2]을 사용하여 몰입형 가상 체험 동화(interactive storytelling) 콘텐츠를 저작하기 위한 목적으로 개발된 몰입형 저작도구이다. 사용자는 본 시스템에서 제작된 콘텐츠를 HMD 쓰고 한 손에 data glove를 착용하고 체험하게 되며, 개발자는 이에 더해 저작작업 메뉴를 선택하기 위한 버튼이 달린 장비를 다른 손에 들고 사용한다.

PiP 에서 가상 세계는 가상 객체의 집합으로 표현되며, 가상 객체는 형상(form), 기능(function), 그리고 행위(behavior)로 구성되는데[7], 객체의 종류에 따라 다른 형상과 행위의 집합을 갖는다. 여기서, 형상은 3 차원 기하학적 형태뿐 아니라, 물리적, 논리적 특성들을 나타내는 데이터 구조를 말하며, 기능은 이 형상들에 적용 가능한 기본 연산들로, PiP 시스템에서는 값의 변경, 새로운 객체의 생성과 파괴, 그리고 3 차원 위치의 이동과 회전 등을 포함한다. 행위는 특정 사건이나 조건에 따라 일련의 기능이 수행되는 것을 말하며, 이벤트(event), 문맥(context), 그리고 행동(action)으로 구성된다. 행동은 차례로 수행되는 일련의 기능들을 지칭하고, 이벤트는 행위가 일어나도록 하는 사건을 일컫는데, PiP에서는 다른 물체와의 충돌, 일정 시간 간격으로 일어나는 타이머, 그리고 특정 속성 값의 변경 등 3 가지 종류의 이벤트를 지원한다. 행위를 일으키는 이벤트가 발생하면 문맥을 검사하여 조건이 타당하면 행동을 실행하게 되며, 문맥으로는 다른 객체와의 공간적인 위치 관계나 속성 값에 대한 논리적 조건을 지정 할 수 있다. 표현하고자 하는 행위에 따라 이벤트나 문맥이 생략될 수도 있으며, 이벤트가 없는 경우 매 시물레이션 루프 마다 행위가 실행된다.

체험 동화 콘텐츠의 경우 사용자가 주인공이 되어 1 인칭 시점에서 이야기를 체험하게 되는데, 이 경우 일반적으로 사용자의 몸을 아바타(avatar)로 표현하여 가상 손을 사용한 상호작용 기법이 사용된다. 이러한 점을 고려해 PiP 저작 시스템에서는 저작 작업에도 가상 손을 사용한 상호작용 기법을 사용한다. 가상세계를 경험하는 중에 버튼을 눌러 저작 메뉴를 선택하면 가상 물체를 직접 잡고 원하는 위치로 옮기거나 크기, 모양 등을 변경 하는 등 각종 기능을 수행 할 수 있다(그림 2 참조).

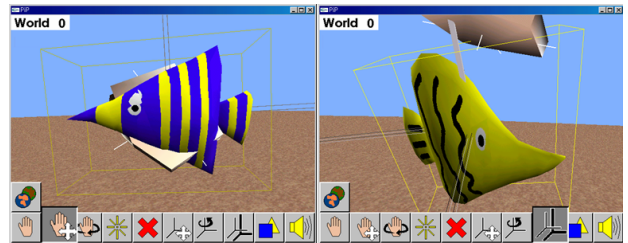


그림 2. 가상 객체의 이동 및 크기 조절

행위를 저작 하기 위해서는 이벤트, 문맥, 그리고 행동을 직접 시연하여 이를 표현한다. 이벤트는 가상물체들을 충돌시키는 등 사건을 직접 연출하는 방법으로 표현하고, 공간적 문맥은 관심 영역을 지정하고 그 안에 다른 물체를 위치시키거나 비워두는 방식으로 표현한다(그림 3 참조). 행동은 앞서 설명한 가상물체의 위치를 바꾸나 크기를 변경하는 등의 연산을 직접 수행하여 표현하다.

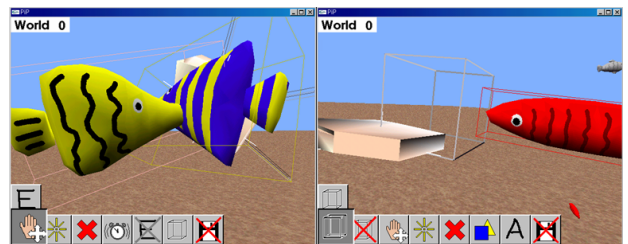


그림 3. 충돌 이벤트와 공간적 문맥의 시연

그림 2과 그림 3은 다양한 움직임을 보이는 물고기가 있는 바닷속 가상환경을 저작하는 모습이고, 그림 4는 PiP 를 이용하여 저작된 보물찾기 모험 체험 동화 콘텐츠이다. 보물찾기 모험은 총 4 개의 장면으로 구성되어 있으며, 보물이 있는 방을 찾아 들어가 푸른 보석을 집어 삼키는 오리들을 피해 보석을 다 모으면 커다란 보석을 얻게 되고, 시간 내에 보석을 모으지 못하거나 잘못된 길로 들어서면 검은 괴물에게 습격을 받아 죽게 된다는 줄거리의 체험 동화 콘텐츠이다.

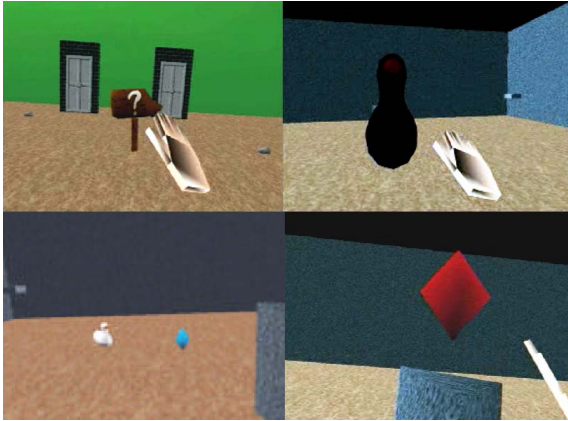


그림 4. PiP 로 저작된 보물찾기 모험 이야기

5. iaTAR 몰입형 저작 시스템

iaTAR(Immersive Authoring tool for Tangible AR)[9]은 촉감형 증강현실 (Tangible AR) [6] 콘텐츠를 위한 몰입형 저작도구이다. 촉감형 증강현실 시스템에서 사용자는 실제 물체를 직접 손으로 만지며 조작하여 그 위에 고정된 가상 객체를 함께 조작하게 된다. 사용자는 카메라가 앞에 부착된 HMD를 착용하고, HMD에 보여지는 카메라 영상을 통해 실 세계를 보면서 마커가 부착된 실제 물체들을 다루게 되며, 컴퓨터는 카메라로 들어온 영상에서 마커의 위치를 추적하여 그 위에 가상 물체를 덧그려 준다. 이러한 환경에서 사용자는 실제 물체 위에 나타나는 3차원 장면을 관찰하거나, 특정 실제물체들을 서로 가까이 가져가는 등의 방법으로 가상 물체들과 상호작용 한다.

iaTAR에서는 data flow 모델을 사용하여 콘텐츠를 표현하였다. 콘텐츠는 실제 물체를 나타내는 실물객체, 가상 물체를 나타내는 가상객체, 그리고 논리적인 연산이나 움직임 나타내는 논리객체의 모습으로 표현하며, 이들 객체의 속성들을 연결하여 한 객체의 속성 값이 다른 객체의 속성 값을 변경하도록 하는 방식으로 이들 사이의 상호작용을 표현하였다.

따라서 저작 작업은 필요한 객체들을 생성하고, 객체들의 속성 값을 변경하거나 서로 연결하는 작업으로 구성된다. 이를 위해 iaTAR에서는 그림 5에서 보는 바와 같이 저작작업을 위한 소도구들을 도입하였다. 그림의 제일 윗줄은 가상객체를 골라 새로 생성하는 모습이고, 가운데 줄은 생성된 가상 객체를 실물 객체(종이판) 위에 놓는 모습이다.

제일 아래 줄은 객체의 속성값을 변경 시키는 모습과, 풍차 날개와 회전운동 논리객체의 속성 값을 연결시켜 풍차가 돌아가도록 한 모습이다.

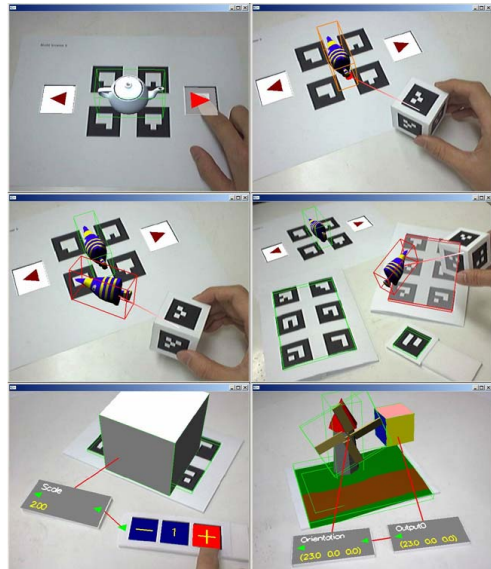


그림 5. iaTAR에서의 저작 작업

그림 6은 iaTAR을 이용하여 구성한 토끼와 거북이 이야기 콘텐츠이다. 이 콘텐츠에서는 사용자가 토끼가 잠을 잘지 여부를 선택하는 것에 따라 마지막 장면의 승자가 바뀌게 된다.

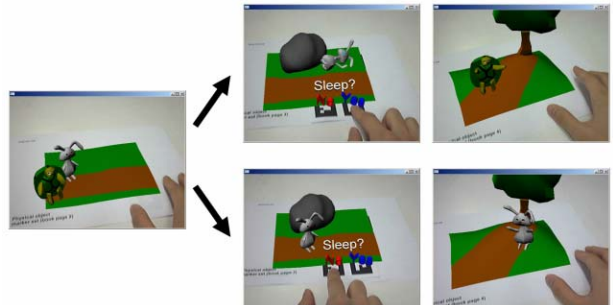


그림 6. 토끼와 거북이 이야기 콘텐츠

6. 사용성 평가

몰입형 저작 기법의 효율성을 검증하기 위한 한 방법으로 iaTAR 시스템의 사용자 실험을 수행하였다. 총 12 명의 대학(원)생이 참가한 실험에서 각 피실험자는 몰입형 저작도구와 현재 가장 널리 사용되는 스크립트 작성 방법으로 주어진 요구사항에 맞추어 3차원 콘텐츠를 저작하였다. 요구사항 문서에는 가상 물체를 배치하여 토끼와 거북이 이야기의 3가지 장면을 구성하는 작업과, 가상 객체와 논리 객체들의 속성을 연결하여 콘텐츠의 움직임을 표현하는 작업 3가지가 포함되었다.

평균 총 작업 시간에 대한 분산분석결과, 몰입

형 저작 기법이 27 분 43 초($\sigma=5$ 분 10 초), 스크립트 작성 기법이 38 분 37 초($\sigma=7$ 분 44 초)로, 몰입형 저작 기법이 약 27% 작업시간을 단축한 것으로 나타났다($F(1,11)=37.20$; $p<0.001$). 더 나아가 3차원 배치 작업의 경우 각각 평균 12 분 31 초($\sigma=2$ 분 50 초)와 25 분 12 초($\sigma=4$ 분 47 초)를 기록해 약 절반으로 작업 시간을 단축한 것으로 나타나($F(1,11)=99.94$; $p<0.001$), 몰입형 저작 기법의 효율성을 분명하게 보여주었다.

반면, 설문 결과 iaTAR 이용 시 좁은 시야각으로 인해 여러 저작 도구들을 동시에 다루기 힘들다는 의견이 많아 개선의 여지가 필요함을 시사했으며, 세부적인 조정이 불가능한 몰입형 저작 기법을 보완하기 위해 두 가지 방식을 함께 사용하기를 원하는 의견도 많아, 앞으로 가상 터미널을 이용한 접근 방식도 몰입형 저작도구에서 더 연구가 되어야 할 필요가 있음을 시사했다.

7. 결론

본 논문에서는 가상현실 기반 콘텐츠의 효율적인 개발을 위해 몰입형 저작 기법의 개념을 소개하고, 이를 위한 기본 디자인 원리와 저작 시스템의 구조를 제안하였다. 또한, 제시된 개념에 맞추어 개발된 저작 도구들을 소개하고, 이들을 사용하면서 관찰된 사용성 문제들을 알아보았다.

아직까지 가상현실 장비들의 기능상 한계로 장시간 사용하는데 불편함도 있지만, 이들을 개선하고, 다양한 형태의 가상현실 콘텐츠를 표현할 수 있는 가상 세계 모델들이 정립된다면, 앞으로 가상현실 기반 콘텐츠를 효율적으로 저작하는데 몰입형 저작 기법이 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] J. Butterworth, A. Davidson, S. Hench and T. M. Olano, "3DM: A Three Dimensional Modeler Using a Head-Mounted Display", in *Proc. of Symposium on Interactive 3D Graphics*, Cambridge, Massachusetts, U.S.A., 1992, pp. 135-138.

[2] A. Cypher (ed.), *Watch what I do : programming by demonstration*, MIT Press, 1993.

[3] R. Holm, E. Stauder, R. Wagner, M. Priglinger and J. Volkert, "A Combined Immersive and Desktop Authoring Tool for Virtual Environments," in *Proc. of the IEEE Virtual Reality 2002*, Orlando, FL, USA, March

24-28, 2002, pp. 93-100.

[4] R. S. Kalawsky, *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*, Addison-Wesley, 1993.

[5] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto and K. Tachibana, "Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment", in *Proc. of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2000)*, Munich, Germany, Oct.5-6, 2000, pp. 111-119.

[6] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, N. Tetsutani and K. Tachibana, "Tangible Augmented Reality for Human Computer Interaction", in *Proc. of Nicograph 2001*, Nagoya, Japan, 2001.

[7] G. J. Kim, K. Kang, H. Kim and J. Lee, "Software Engineering of Virtual Worlds," in *Proc. of Virtual Reality Software & Technology '98*, 1998, pp.131-139.

[8] G. A. Lee, G. J. Kim and C. Park, "Modeling Virtual Object Behavior within Virtual Environment", in *Proc. of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2002)*, Hong Kong, China, Nov. 11-13, 2002, pp. 41-48.

[9] G. A. Lee, C. Nelles, M. Billinghurst and G. J. Kim, "Immersive Authoring of Tangible Augmented Reality Applications," in *Proc. of IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Arlington, VA, U.S.A., Nov.2-5, 2004.

[10] J. Liang and M. Green, "JDCAD: A Highly Interactive 3D Modeling System", *Computer & Graphics*, 18(4), 1994, pp. 499-506.

[11] M. R. Mine, "ISSAC: A Meta-CAD System for Virtual Environments", *Computer-Aided Design*, 29(8), August, 1997, pp. 547-553.

[12] M. A. Najork, "Programming in Three Dimensions," in *Journal of Visual Languages and Computing*, 7(2), 1996, pp.219-242.

[13] W. Piekarski and B. H. Thomas, "Interactive Augmented Reality Techniques for Construction at a Distance of 3D Geometry", in *Proc. of Immersive Projection Technology / Eurographics Virtual Environments Conference (IPT/EGVE 2003)*, Zurich, Switzerland, May 22-23, 2003.

[14] A. Steed and M. Slater, "Dataflow Representation for Defining Behaviours within Virtual Environments", in *Proc. of Virtual Reality Annual International Symposium (VRAIS'96)*, Mar.30-Apr.3, 1996, pp. 163-167.

[15] R. Stiles and M. Pontecorvo, "Lingua Graphica: A Visual Language for Virtual Environments", in *Proc. of IEEE Workshop on Visual Languages*, Sept.15-18, 1992, pp. 225-227.

[16] G. Wesche and H. Seidel, "FreeDrawer - A Free-Form Sketching System on the Responsive Workbench", in *Proc. of ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2001)*, Alberta, Canada, Nov.15-17, 2001, pp. 167-174.