

---

# 실감형 교과서를 위한 멀티모달 콘텐츠 저작 및 재생 프레임워크 설계

## Designing a Framework of Multimodal Contents Creation and Playback System for Immersive Textbook

---

김석열, 박진아  
한국과학기술원 전산학과

Seokyeol Kim(puresession@kaist.ac.kr), Jinah Park(jinah@cs.kaist.ac.kr)

---

### 요약

가상교육 환경에 있어서 보다 효과적인 지식 전달을 위해서는 시청각적 정보에만 의존하는 기존의 학습 매체에서 탈피하여 상황에 맞는 촉각 피드백이 포함된 '실감형 교과서'의 도입이 필요하다. 그러나 저작 및 재생 환경상의 제약으로 인해 실감형 교과서를 위한 학습 콘텐츠의 확보와 활용은 아직 요원한 실정이다. 우리는 이러한 문제점에 착안하여 실감형 교과서를 위한 접근성 높은 멀티모달 학습 콘텐츠 저작 및 재생 프레임워크를 제안하였다. 본 프레임워크는 직관적인 콘텐츠 저작을 위한 스크립트 포맷과 이를 재생하기 위한 콘텐츠 재생부로 구성되어 있다. 스크립트 규격 정의 단계에서는 학습 콘텐츠에 요구되는 요소들을 규명하고 이를 반영한 XML 기반의 메타언어를 정의하였다. 그리고 콘텐츠 재생부는 작성된 콘텐츠를 해석하고 사용자로부터의 입력에 대응하여 시각 및 촉각 렌더링 루프를 통해 사용자에게 멀티모달 피드백을 제공하도록 설계되었다. 이렇게 제안된 내용을 바탕으로 프로토타입을 구현하고 사용자 평가를 수행하여 본 프레임워크의 효용성을 검증하는 한편 앞으로의 개선 방향에 대해 논의하였다.

■ 중심어 : | 가상교육 | 멀티모달 콘텐츠 | 촉각 피드백 | 실감형 교과서 |

### Abstract

For virtual education, the multimodal learning environment with haptic feedback, termed 'immersive textbook', is necessary to enhance the learning effectiveness. However, the learning contents for immersive textbook are not widely available due to the constraints in creation and playback environments. To address this problem, we propose a framework for producing and displaying the multimodal contents for immersive textbook. Our framework provides an XML-based meta-language to produce the multimodal learning contents in the form of intuitive script. Thus it can help the user, without any prior knowledge of multimodal interactions, produce his or her own learning contents. The contents are then interpreted by script engine and delivered to the user by visual and haptic rendering loops. Also we implemented a prototype based on the aforementioned proposals and performed user evaluation to verify the validity of our framework.

■ keyword : | Virtual Education | Multimodal Contents | Haptic Feedback | Immersive Textbook |

---

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.  
(NIPA-2010-C1090-1031-0006)

접수번호 : #100518-002

접수일자 : 2010년 05월 18일

심사완료일 : 2010년 08월 11일

교신저자 : 박진아, e-mail : jinah@cs.kaist.ac.kr

## I. 서론

기술의 발전과 사용자의 의식 변화에 따라 오랜 시간 동안 오프라인 매체에 의존해오던 학습 환경은 시공간적 제약을 해소하고 보다 향상된 사용자 경험을 제공하기 위해 점차 가상공간으로 이행하고 있다. 그리고 이러한 가상학습 환경은 사용자의 요구에 부합하여 시청각 정보뿐만 아니라 촉감을 활용한 멀티모달 피드백을 제공하는 형태로 발전되고 있다. 실제로 교육심리학적인 관점에서 멀티모달 상호작용을 학습 환경에 적용하기 위한 연구가 다각도로 진행되고 있으며[1], 촉각 피드백을 적용한 습자[2]나 분자 구조 학습[3] 등의 사례와 같이 기존의 학습 매체를 대체하여 몰입감 높은 학습 환경을 제공하기 위한 시도가 이루어지고 있다.

우리는 이러한 사실에 입각하여 촉각 피드백이 포함된 멀티모달 학습 매체에 대한 연구에 착수하였으며 이를 ‘실감형 교과서’로 명명하였다. 실감형 교과서는 실감책[4]의 다양한 활용 방안 중 교육적 측면에 초점을 맞추어 제안된 어플리케이션으로써 각종 인터랙션 장비를 매개로 하여 종이 매체로는 표현하기 어려운 음향, 촉감 등의 멀티모달 피드백을 사용자에게 전달하는 방식으로 학습 내용에 대한 몰입도를 높이고 학습 효과를 증진시킨다.

하지만 환경적 제약과 사용자 의식의 부족 등으로 인해 실감형 교과서의 대중화는 아직 요원한 실정이다. 특히 실감형 교과서를 위한 학습 콘텐츠의 수급 문제는 실감형 교과서 보급에 있어서 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 기존의 학습 콘텐츠에 촉감을 부여하거나 새로운 멀티모달 학습 콘텐츠를 제작하기 위해서는 모델링 및 프로그래밍 등의 전문지식이 요구될 뿐만 아니라 개발에 필요한 환경을 구축하는 데도 상당한 시간과 비용이 소요된다. 이와 같이 일반 사용자의 접근성을 고려하지 않은 콘텐츠 제작 방식은 콘텐츠의 부족을 야기하며 결과적으로 사용자의 이탈을 초래할 수 있다.

이에 우리는 멀티모달 학습 콘텐츠의 질적, 양적 확충을 도모하여 실감형 교과서의 활용도를 제고하고 사용자에게 보다 편리한 가상학습 환경을 제공하기 위하여 실감형 교과서를 위한 멀티모달 콘텐츠 제작 및 제

생 프레임워크를 제안하였다. 이를 통해 사용자는 콘텐츠의 소비 주체인 동시에 생산 주체가 되어 [그림 1]과 같은 콘텐츠의 선순환 구조를 확립할 수 있을 것으로 기대된다.

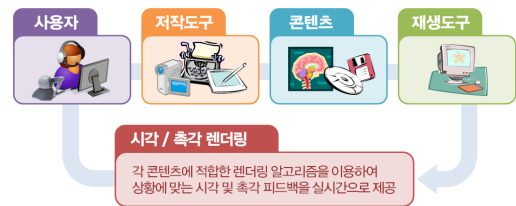


그림 1. 사용자 친화적인 저작 및 재생 프레임워크를 통한 콘텐츠의 선순환 구조

본 논문에서는 직관적인 멀티모달 학습 콘텐츠 제작을 위한 XML 기반의 스크립트 포맷을 제시하고 작성된 콘텐츠를 해석하여 재생하기 위한 콘텐츠 재생부를 설계하였다. 또한 제안한 개념을 검증하기 위한 프로토타입을 구현하고 이에 대한 사용자 평가 결과를 바탕으로 앞으로의 개선 방향에 관해 논의하였다.

## II. 관련 연구

상호작용이 가능한 3차원 가상공간을 묘사하기 위한 모델링 언어로는 Web3D 컨소시엄에서 제정한 VRML[5]과 VRML의 뒤를 이어 XML을 바탕으로 제정된 X3D[6]이 대표적이다. 그러나 이들은 장면의 시각적 묘사에 중점을 두고 설계되어 장면에 적합한 촉각 피드백을 제공하기 위한 기반 기능이 부족한 실정이다.

이러한 부분을 보완하고자 기존의 모델링 언어로 묘사된 가상공간에 촉각 피드백을 증강하기 위한 방법들이 제안되었다. O'Malley와 Hughes는 SensAble GHOST SDK를 이용하여 웹페이지에 임베드된 VRML 기반의 3차원 오브젝트를 촉각적으로 표현하고 촉각 인터랙션 장비를 통해 가상공간을 네비게이션할 수 있는 플러그인을 개발하였다[7]. Wei 등은 여기에서 더 나아가 VRML/X3D 오브젝트에 함수 형태로 정의된 밀도(density)를 부여하여 촉각적으로 보다 다양한 물

성을 표현할 수 있는 플러그인을 제안하였다[8].

또한 기존 콘텐츠에 촉감을 부여하는 것에 그치지 않고 오브젝트에 대한 시각 및 촉각적 속성과 상호작용 방식을 직접 정의하여 가상공간을 구축하는 방법에 대한 연구도 진행되었다. Carrozzino 등이 제안한 XVR[9]은 시각과 촉각 렌더링, 물리 시뮬레이션, 네트워크 등의 모듈을 하나의 개발 환경으로 통합하고 상위 루프에서 일괄적으로 제어함으로써 촉각 피드백을 포함한 가상현실 어플리케이션 제작을 지원한다. 그리고 SenseGraphics의 H3D API[10]는 X3D로 정의된 가상공간을 별도의 수정 없이 시각 및 촉각적으로 렌더링할 수 있는 라이브러리를 제공한다. 다만 이들은 사용자가 프로그래밍 언어에 대한 사전 지식과 개발 환경을 갖추고 있어야 활용이 가능하다는 점에서 일반 사용자에 대한 접근성이 결여되어 있다.

한편 가상공간에서의 촉각 피드백 전달 자체에 초점을 맞춘 메타언어로는 El-Far 등이 제안한 HAML[11]이 있다. HAML은 XML을 기반으로 하여 장치 독립적인 촉각 렌더링 환경을 정의함으로써 사용자의 콘텐츠 재생 환경과는 관계없이 항상 일관적인 렌더링 결과를 전달할 수 있도록 설계되었다. 사용자는 저작도구인 HAMLAT[12]을 이용하여 대상 오브젝트의 촉각적 속성을 설정할 수 있으며 이는 전용 재생도구를 통해 재생이 가능하다.

이와 같이 촉각 피드백이 포함된 가상 환경을 구축하고 재생하기 위한 기존의 연구들은 대부분 장면에 대한 시각 및 촉각적 속성 표현에 중점을 두고 설계되어 콘텐츠의 진행에 따른 부수적인 정보 출력, 장면 전환, 사용자와의 상호작용 등 시나리오의 흐름을 표현하는 데

있어서는 상대적으로 부족함이 많다. 따라서 본 연구에서는 가상공간의 시각, 촉각적 묘사뿐만 아니라 콘텐츠 구성에 필요한 시나리오 요소를 포함한 통합 프레임워크 설계를 목표로 하였다.

### III. 프레임워크 구성

본 논문에서 제안하는 프레임워크는 크게 저작부와 재생부로 구분된다. 사용자는 스크립트 편집기와 모델링 툴 등의 저작도구를 사용하여 학습 콘텐츠를 구성하는 스크립트와 각종 리소스들을 생성하며 이들은 콘텐츠 패키지 형태로 배포된다. 재생부에서는 이를 해석하여 사용자에게 시청각 및 촉각 피드백을 전달하고 사용자로부터의 입력에 대응하여 학습 과정을 진행하게 된다.

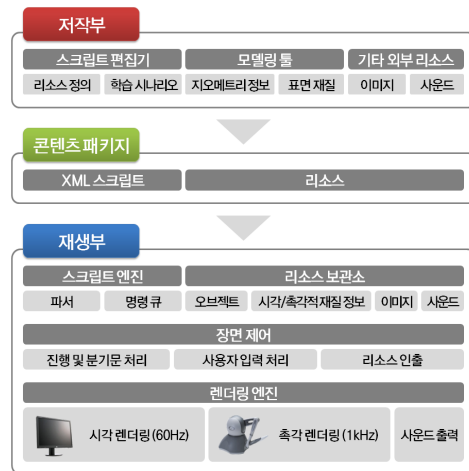


그림 2. 전체 프레임워크 개요

Contents					
Resources		Scenario			
3차원 오브젝트 / 피드백	기타 리소스	장면 제어	리소스 출력	촉각 피드백 제어	시나리오분기 / 매크로
Object Name Description Attribute Forcemodel Name Description Attribute	Image Name Description Attribute Sound Name Description Attribute Subscenario	Camera Light(on, off) Translate(all) Rotate(all) Scale(all) Transparency(all) Animate Translate Rotate Scale Transparency	Text Clear Show(all) Hide(all) Play Mute Loadsubscenario	Collisionmodel Force(on, off) Haptic(enabled, disabled) Device(on, off) Cursor	Flag Spot Select If Condition Do Goto Navigate Quiz Select Answer

그림 3. 스크립트 태그의 계층적 구조

### 1. 스크립트 포맷

학습 콘텐츠 저작을 위한 스크립트는 XML 기반의 메타언어를 통해 표현된다. [그림 3]에서 볼 수 있듯이 스크립트를 구성하는 태그는 계층적으로 정의되어 있으며 리소스와 시나리오 엘리먼트(element) 중 하나에 속하게 된다.

리소스 엘리먼트는 학습 시나리오 상에서 사용되는 각종 리소스들을 정의한다. 여기에는 3차원 오브젝트와 이미지, 음성 등의 외부 리소스에 대한 파일 경로와 각각의 개체를 시나리오 상에서 호출하기 위한 ID, 개체에 대한 설명, 세부적인 속성 등이 포함된다. 또한 오브젝트의 형태적 표현을 위해 기본적으로 생성되는 촉각 피드백 외에도 벡터 필드 등의 사용자 정의 촉각 피드백 모델을 설정할 수 있다.

시나리오 엘리먼트에는 학습 시나리오를 진행하기 위한 제어 명령 태그들이 시간 순으로 나열되어 있다. 장면 제어 태그는 카메라 및 오브젝트의 이동과 애니메이션 효과 등을 정의하며 리소스 출력 태그는 텍스트와 각종 리소스 개체의 호출을 담당한다. 그리고 촉각 피드백 제어 태그는 오브젝트의 형태적 표현을 위한 촉각 렌더링 알고리즘 설정, 사용자 정의 촉각 피드백 모델의 호출, 촉각 피드백 출력 여부, 인터렉션 장비의 사용 여부 등을 설정할 수 있다. 마지막으로 시나리오 분기 및 매크로 태그는 시나리오 진행에 필요한 분기문과 변수 설정, 그리고 퀴즈와 같이 다수의 명령 태그들을 매크로화한 이벤트를 포함한다.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<contents title="Example">
  <resources>
    <object id="ball" filename="ball.obj" haptic="on">
      <name>Ball</name>
      <description>Soccer ball</description>
    </object>
  </resources>
  <scenario>
    <text>This is a ball.</text>
    <show target="ball" />
    <text>The ball is rotating.</text>
    <animate target="ball" duration="100">
      <rotate x="1" y="0" z="0" angle="360" />
    </animate>
  </scenario>
</contents>
```

그림 4. 스크립트 예시

[그림 4]는 제시된 스크립트 포맷에 맞추어 작성된

스크립트의 예를 보여준다. 본 프레임워크에서 지원하는 스크립트 파일은 유니코드 방식의 텍스트로 이루어져 있어서 일반적인 텍스트 편집기를 통해서도 쉽게 편집이 가능하다. 배포 시에는 작성된 스크립트 파일과 리소스 파일을 편집 가능한 상태의 개별 파일 형태로 전달하거나 필요에 따라 DEFLATE 알고리즘[13]을 이용하여 패키징한다.

### 2. 콘텐츠 재생부

콘텐츠 재생을 담당하는 재생부는 스크립트 엔진과 리소스 보관소, 장면 제어부, 렌더링 엔진으로 구성되어 있다. [그림 5]는 콘텐츠 재생부 내에서의 스크립트 처리 과정을 도식화하여 나타내고 있다.

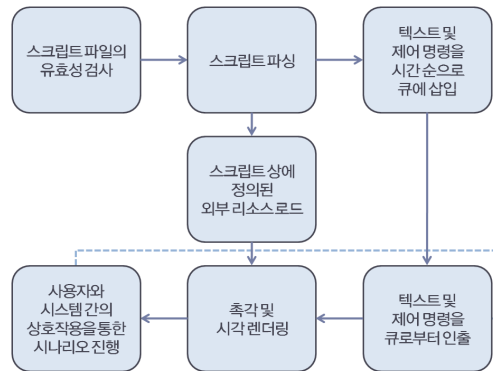


그림 5. 콘텐츠 재생부에서의 스크립트 처리 과정

#### 2.1 스크립트 엔진

사용자가 재생부에서 콘텐츠 패키지를 불러오게 되면 우선 스크립트 엔진이 해당 스크립트의 유효성 검사를 실시하게 된다. 만약 패키지에 포함된 스크립트에서 문법적 오류가 발견되거나 유효하지 않은 외부 리소스를 참조할 경우에는 에러 메시지를 출력하고 처리를 중단한다. 문법상 오류가 없고 모든 리소스가 정상적으로 연결되어 있을 경우에는 파서(parser)가 스크립트를 파싱하여 포함된 텍스트 및 제어 명령 태그들을 시간 순으로 명령 큐(queue)에 삽입하고 스크립트 상에 정의된 외부 리소스를 로드하여 리소스 보관소에 저장한다.

파싱 과정에서 파서는 우선 태그를 의미하는 꺾쇠괄

호와 파라미터 사이의 공백, 따옴표 등을 기준으로 스크립트를 구성하는 엘리먼트들을 분할한다. 이후 분할된 엘리먼트를 태그 셋에 등록된 텍스트와 비교하여 일치하는 태그가 발견될 경우 해당 태그와 부속된 파라미터들을 명령 큐에 저장한다. 특정 엘리먼트 내부에 속한 하위 엘리먼트에 대해서는 재귀적 탐색을 통해 파싱 과정을 수행한 후 재귀 호출이 종료될 때 상위 엘리먼트가 저장된 명령 큐의 하위에 새로운 명령 큐를 생성하고 그 결과를 저장한다. 이러한 과정을 통해 명령 큐 트리가 생성된다.

외부 리소스의 유형에 따라 리소스 저장소에 저장되는 데이터의 형태도 달라진다. 비교적 자주 호출되며 저용량인 이미지의 경우 파싱 과정에서 전체 데이터를 메모리에 적재해 둔다. 음성이나 영상 파일과 같이 데이터가 상대적으로 고용량인 경우에는 파일의 헤더를 체크하여 유효성을 검사한 후 저장소에는 해당 파일의 경로만을 저장해 두고 필요할 경우 저장소에서 파일 경로를 호출하여 해당 파일에 직접 접근한다.

## 2.2 렌더링 엔진

콘텐츠 재생이 시작되면 장면 제어부에서 텍스트 및 제어 명령을 명령 큐 트리로부터 순차적으로 인출하여 이를 실행하게 된다. 이때 트리 탐색에는 깊이 우선 탐색(depth-first search) 방식이 사용된다. 만약 인출된 명령 태그가 외부 리소스를 참조한다면 해당 리소스를 보관소로부터 호출하게 되며 이들은 출력을 위해 렌더링 엔진으로 전달된다. 또한 시나리오 진행 중 사용자로부터의 입력이 있을 경우 이를 처리하여 시나리오의 진행을 제어하는 역할도 담당한다.

렌더링 엔진은 다시 시각 렌더링 루프와 촉각 렌더링 루프로 나뉜다. 시각 렌더링 루프는 카메라 속성과 오브젝트의 상태 등을 반영하여 현재 장면의 시각적 출력을 담당하며 촉각 렌더링 루프는 시나리오 상에 정의된 각종 촉각 피드백을 인터랙션 장비를 통해 전달하는 역할을 담당한다. 오브젝트의 형태적 표현을 위한 촉각 피드백은 기본적으로 Ray-based 방식의 촉각 렌더링 알고리즘[14]에 기초하여 계산된다. 이는 사용자가 촉각 인터랙션 장비를 이용하여 가상 공간상의 오브젝트

와 접촉할 때 표면으로부터 촉각 커서가 관통한 깊이만큼을 보상해주는 방식으로, 출력되는 수직반력을 통해 오브젝트의 표면을 촉각적으로 감지할 수 있다. 또한 표면 렌더링 알고리즘 외에도 필요에 따라 별도의 모듈화된 촉각 피드백 생성 알고리즘을 추가하여 콘텐츠 상에 적용할 수 있도록 설계되었다.

렌더링 과정에 있어서 시각 렌더링은 60Hz의 재생률(refresh rate)로도 충분한 반면 촉각 렌더링은 1kHz 이상의 재생률이 유지되어야 사용자가 주어진 피드백을 위화감 없이 인지할 수 있다. 이를 위해 각각의 렌더링 루프는 별도의 스레드(thread) 상에서 구동할 필요가 있다.

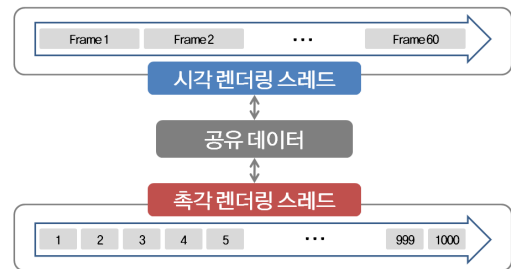


그림 6. 렌더링 엔진의 스레드 동작 구조

따라서 시각 렌더링 스레드와 촉각 렌더링 스레드는 서로 독자적인 주기를 가지는 타이머를 사용하여 비동기로 동작하며 두 스레드 간의 통신은 [그림 6]과 같이 공유 변수를 통해 이루어진다. 이를 통해 상대적으로 처리 속도가 느린 시각 렌더링 과정에 의한 병목 현상을 해소할 수 있다.

## IV. 구현 및 응용

본 연구의 타당성을 검증하기 위해 제안한 프레임워크를 기초로 스크립트 기반의 멀티모달 인체 학습 시스템인 HaptiBody Navigator[15]를 개발하였다. HaptiBody Navigator의 렌더링 엔진은 CHAI 3D[16]를 기반으로 구현되었으며 Visible Korean Human Project[17]를 통해 획득한 장기 모델을 이용한 간의 해

부학적 구조 및 생리적 기능 학습 시나리오가 기본적으로 탑재되어 있다. 이외에도 사용자가 직접 작성한 시나리오를 로드하여 재생할 수 있다.

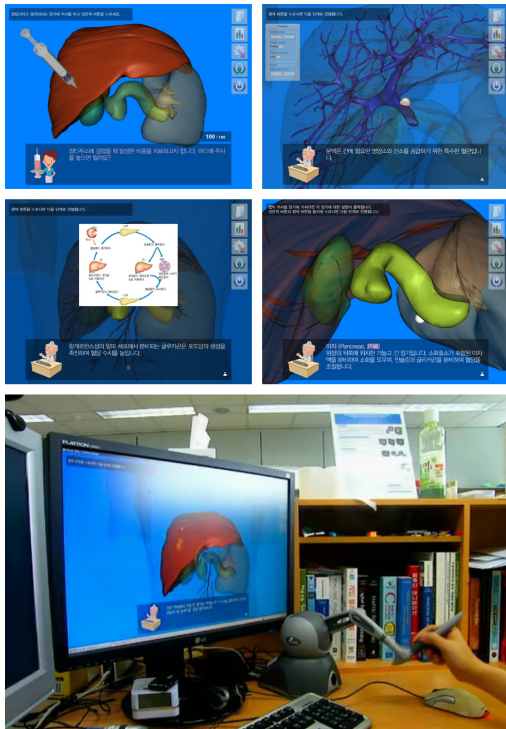


그림 7. HaptiBody Navigator를 이용한 간의 해부학적 구조 및 생리적 기능 학습 화면

HaptiBody Navigator의 시각 렌더링 루프는 사용자가 적합한 스테레오 디스플레이를 구비하고 있을 경우 필드 순차 방식의 스테레오 렌더링을 통해 보다 몰입감 높은 학습 환경을 제공한다. 또한 촉각 피드백 생성에 있어서는 오브젝트 표면에 대한 수직반력과 마찰력 외에도 학습 대상에 따라 Magnetic Force를 적용할 수 있다. Magnetic Force는 인터랙션 장비가 지시하는 위치와 오브젝트 표면 간의 거리가 설정된 작용 임계점보다 가까울 경우 수직반력의 반대 방향으로 작용하는 힘으로써, [그림 7]의 우측 상단과 같이 미세 오브젝트와 상호작용 시 커서와 오브젝트 간의 접촉을 보다 쉽게 유지할 수 있도록 한다.

이렇게 개발된 시스템을 Intel Core 2 Duo 2.8GHz 프

로세서와 4GB RAM, NVIDIA GeForce 9800 GTX 비디오카드가 장착된 환경에서 구동한 결과 스크립트 파싱 및 리소스 로딩에는 4초 미만이 소요되었으며 시각 렌더링은 평균 69Hz (최저 40Hz), 촉각 렌더링은 평균 11,983Hz (최저 2,660Hz)를 기록하였다. 이를 통해 일반적인 PC 환경에서 본 시스템을 활용하여 원활한 멀티모달 피드백 전달이 가능함을 확인할 수 있었다.

## V. 사용자 평가

제안한 프레임워크의 효용성 및 개선 가능성을 파악하기 위해 구현된 프로토타입에 대한 사용자 평가를 실시하였다. 사용자 평가는 19~26세의 남녀 대학생 20명을 대상으로 진행되었으며 진행자의 지시에 따라 HaptiBody Navigator와 이를 위한 저작 시스템을 체험해본 후 설문에 응답하는 방식으로 이루어졌다. 각 평가 문항에 대한 응답은 ‘매우 나쁨’, ‘나쁨’, ‘보통’, ‘ 좋음’, ‘매우 좋음’의 5단계로 구분하였으며 각 단계에 대해 0점부터 10점까지 2.5점 간격으로 점수를 부여하여 정량화하였다. 참고로 평가 시 인터랙션 장비로는 SensAble PHANTOM Omni가 사용되었다.

우선 본격적인 사용자 평가에 앞서 촉각 피드백에 대한 사용자의 관심 수준을 확인하기 위한 사전 조사를 실시하였다. [그림 8]은 멀티모달 콘텐츠에 있어서 각 감각 피드백에 대해 사용자가 생각하는 중요도를 나타낸 그래프이다. 제시된 그래프에 의하면 시각 피드백이 절반에 가까운 비중을 차지한 가운데 청각과 촉각이 각각 20% 수준으로 나타나 사용자가 소리만큼이나 촉감을 중시한다는 점이 확인되었다. 또한 [그림 9]에서 확인할 수 있듯이 촉각 피드백이 포함된 멀티모달 콘텐츠의 보급에 대해서도 낙관적인 전망이 전체의 90%를 차지하여 사용자가 촉각 피드백에 대해 가지는 기대와 관심이 비교적 높다는 사실을 알 수 있었다. 한편 멀티모달 콘텐츠에서 제공되는 촉각 피드백의 형태에 대해서는 응답자 중 85%가 진동과 같이 패턴화된 촉각 피드백보다는 실제 오브젝트가 가지는 역감과 촉감을 가능한 한 사실적으로 반영하는 쪽을 선호하는 것으로 나타



났다.

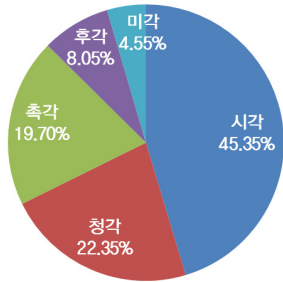


그림 8. 멀티모달 콘텐츠에 대한 감각의 중시 정도

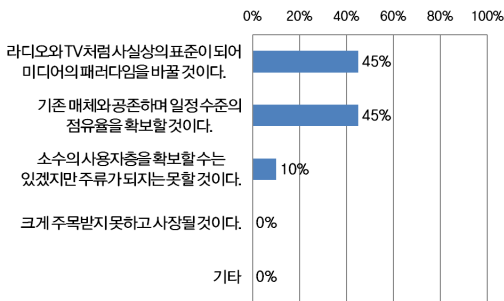


그림 9. 촉각 피드백이 포함된 멀티모달 콘텐츠에 대한 보급 전망

프로토타입에 적용된 스크립트 포맷에 대한 사용자 평가에서는 [그림 10]과 같이 전체적으로 ‘보통’과 ‘좋음’ 사이의 평이한 응답을 얻었다. 시나리오 제작에 필요한 기능들이 충분한가에 대한 문항에서는 평균 5.75 점을 기록하였는데 이는 제안한 기능 중 일부가 프로토타입에서는 구현되지 않은 데서 기인한 것으로 판단되며 제안한 기능들이 모두 구현되고 추후 사용자의 요구 사항을 반영하여 기능 확장이 이루어질 경우 보다 높은 평가를 획득할 수 있을 것으로 기대된다. 한편 스크립트 작성 방법의 용이성에 대해서는 평균 5.5점을 기록하였고 프로토타입에 적용된 저작 시스템에서 우선적으로 개선되어야 할 사항을 묻는 문항에서도 응답자 중 70%가 전용 저작도구가 필요하다고 응답하여 스크립트를 직접 편집하는 방식보다는 보다 접근하기 쉬운 워드 방식의 저작도구가 필요할 것으로 생각된다.

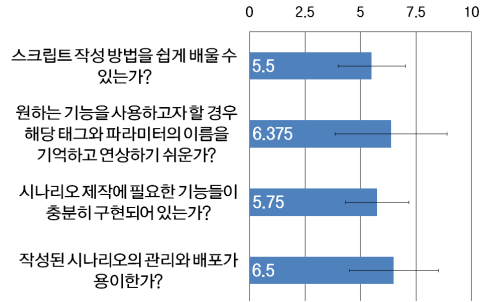


그림 10. 스크립트 포맷에 대한 사용자 평가 결과

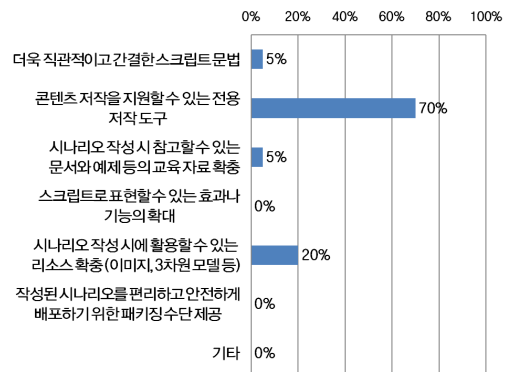


그림 11. 저작 시스템에 대한 개선 사항 조사

[그림 12]는 콘텐츠 재생부에 대한 사용자 평가 결과를 나타낸 그래프이다. 대상 오브젝트의 표면 형태를 촉각적으로 표현한 부분에 있어서는 평균 7.5점을 획득 하였으며 시각적 표현 부분에 있어서는 6.25점을 획득 하여 비교적 양호한 결과를 보였다. 또한 Magnetic Force를 사용하지 않을 경우 오브젝트와의 접촉이 용이한지에 관한 문항에서는 평가 점수가 평균 5.375점에 그쳤으나 Magnetic Force를 사용했을 경우 평균 7점으로 상승하여 상황에 맞는 촉각 피드백이 사용자의 상호 작용에 실제로 도움을 주는 것으로 판명되었다.

재생부에 대한 사용자 평가 결과 중 특기할만한 사항은 대부분의 사용자들이 PHANTOM Omni와 같은 스타일러스 형태의 인터페이스에 불편함을 호소했다는 점이다. 사용된 인터페이스의 적합성에 대한 문항에서는 4.125점의 저조한 점수를 기록했으며 재생부에 대한 개선 사항 조사에 있어서도 응답자의 60%가 인터랙션

장비의 개선이 필요하다고 답했다. 이에 대한 대안을 묻는 문항에서는 대다수의 사용자가 손을 자유롭게 사용할 수 있는 장갑 형태나 터치패드 형태의 인터페이스를 선호하는 것으로 나타났다.

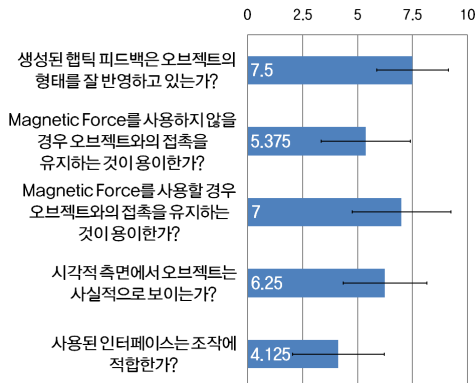


그림 12. 콘텐츠 재생부에 대한 사용자 평가 결과

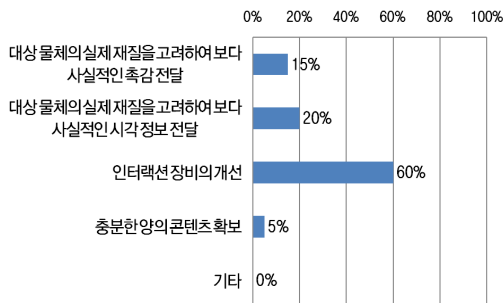


그림 13. 콘텐츠 재생부에 대한 개선 사항 조사

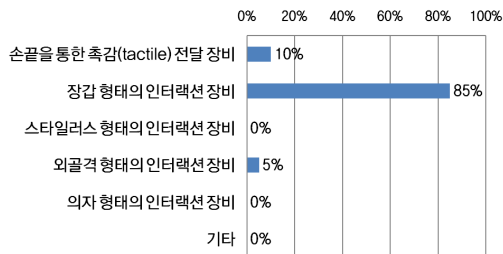


그림 14. 멀티모달 콘텐츠 재생에 적합한 촉각 피드백 전달 방식

## VI. 결론

본 논문에서는 멀티모달 학습 콘텐츠가 가지는 저작 및 재생상의 제약을 극복하고 활용도를 향상시키기 위해 접근성 높은 멀티모달 콘텐츠 저작 및 재생 프레임워크를 제안하였다. 촉각 피드백이 가상교육 환경에 있어서 몰입도와 학습 효과를 증진시킨다는 사실은 관련 연구를 통해 입증되고 있으며 이를 위해 멀티모달 콘텐츠를 정의하고 재생하기 위한 방법도 이전부터 다양한 시점에서 연구되어 왔다. 하지만 선행 연구의 경우 일반 사용자의 접근성이 떨어지고 장면 표현에 중점을 두어 시나리오의 흐름을 표현하기에는 부족한 점이 존재하였다. 우리는 이를 해결하기 위해 직관적이면서 시나리오 요소가 강화된 XML 기반의 스크립트 포맷을 정의하였으며 작성된 콘텐츠를 해석하고 재생할 수 있는 콘텐츠 재생부를 설계하였다. 이를 통해 사용자는 콘텐츠의 소비에 그치지 않고 저작에도 직접적으로 기여함으로써 학습 과정 전반에 대한 능동적인 참여와 함께 사용자 간의 활발한 지식 공유를 유도할 수 있으리라 생각된다.

또한 우리는 제안한 프레임워크를 바탕으로 한 프로토타입을 구현하여 본 연구의 타당성을 검증하고 앞으로의 개선 방향에 대해서도 논의하였다. 프로토타입에 대한 사용자 평가 결과에 의하면 본 연구의 목표는 일정 수준 달성된 것으로 판단된다. 하지만 사용자 친화적인 콘텐츠 저작도구의 개발과 멀티모달 콘텐츠에 적합한 인터페이스 적용, 그리고 기존 오프라인 콘텐츠와의 연동 부분에 있어서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다. 따라서 우리는 GUI 환경 하에서 사용자의 조작에 따라 자동적으로 스크립트를 생성할 수 있는 콘텐츠 저작도구를 개발하고 오브젝트의 실제 물성을 보다 사실적으로 표현하기 위한 변형체 모델을 도입하는 한편, 손과 직결된 형태의 인터랙션 장비를 위한 충돌 처리 및 촉각 피드백 생성 알고리즘을 고안하여 본 프레임워크에 적용할 예정이다. 이를 통해 궁극적으로 학습 부문에 국한되지 않은 범용 멀티모달 콘텐츠 플랫폼으로 확장해 나갈 것이다.



참 고 문 헌

- [1] R. Moreno and R. Mayer, "Interactive Multimodal Learning Environments," *Educational Psychology Review*, Vol.19, No.3, pp.309-326, 2007.
- [2] C. Teo, E. Burdet, and H. Lim, "A Robotic Teacher of Chinese Handwriting," *Proceedings of the 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp.335-341, 2002.
- [3] P. Persson, M. Cooper, L. Tibell, S. Ainsworth, A. Ynnerman, and B. Jonsson, "Designing and Evaluating a Haptic System for Biomolecular Education," *Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference*, pp.171-178, 2007.
- [4] 박선영, 이준훈, 김현곤, 김영미, 최권영, 류제하, "실감책을 위한 시스템 및 저작 도구 기본 프레임 워크", *한국 HCI2009 학술대회*, pp.99-104, 2009.
- [5] <http://www.w3.org/MarkUp/VRML>
- [6] <http://www.web3d.org/x3d>
- [7] M. O'Malley and S. Hughes, "Simplified Authoring of 3D Haptic Content for the World Wide Web," *Proceedings of the 11th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, pp.428-429, 2003.
- [8] L. Wei, A. Sourin, and O. Sourina, "Function-Based Haptic Interaction in Cyberworlds." *Proceedings of the 2007 International Conference on Cyberworlds*, pp.225-232, 2007.
- [9] M. Carrozzino, F. Tecchia, S. Bacinelli, C. Cappelletti, and M. Bergamasco, "Lowering the Development Time of Multimodal Interactive Application: The Real-life Experience of the XVR Project," *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*, pp.270-273, 2005.
- [10] <http://www.h3dapi.org>
- [11] F. El-Far, M. Eid, M. Orozco, and A. El Saddik, "Haptic Applications Meta-Language," *Proceedings of the 10th IEEE international symposium on Distributed Simulation and Real-Time Applications*, pp.261-264, 2006.
- [12] M. Eid, S. Andrews, A. Alamri, and A. El Saddik, "HAMLAT: A HAML-Based Authoring Tool for Haptic Application Development," *Lecture Notes in Computer Science*, No.5024, pp.857-866, 2008.
- [13] <http://tools.ietf.org/html/rfc1951>
- [14] C. Ho, C. Basdogan, and M. Srinivasan, "Haptic Rendering: Point- and Ray-Based Interactions," *Proceedings of the Second PHANToM Users Group Workshop*, 1997.
- [15] 김석열, 박진아, "HaptiBody Navigator - XML 기반의 인체 학습용 멀티모달 콘텐츠 재생 시스템", *한국 HCI2010 학술대회*, pp.209-211, 2010.
- [16] F. Conti, F. Barbagli, D. Morris, and C. Sewell, "CHAI: An Open-Source Library for the Rapid Development of Haptic Scenes," *World Haptics Conference*, 2005.
- [17] J. Park, M. Chung, S. Hwang, Y. Lee, D. Har, and H. Park, "Visible Korean Human: Improved Serially Sectioned Images of the Entire Body," *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol.24, No.3, pp.352-360, 2005.

저 자 소 개

김 석 열(Seokyeol Kim)

정회원



- 2008년 2월 : 한국정보통신대학교 공학부(공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 전산학과 석박사통합과정

<관심분야> : 컴퓨터 그래픽스, 햅틱 렌더링

박진아(Jinah Park)

정회원



- 1988년 5월 : 컬럼비아대학교 (공학사)
  - 1991년 5월 : 펜실베이니아대학교(공학석사)
  - 1996년 8월 : 펜실베이니아대학교(공학박사)
  - 1999년 9월 ~ 2002년 9월 : 한국과학기술원 대우교수 및 초빙교수
  - 2002년 9월 ~ 2009년 2월 : 한국정보통신대학교 조교수 및 부교수
  - 2009년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 부교수
- <관심분야> : 컴퓨터 그래픽스, 햅틱 렌더링, 정보 가시화