

---

# 커팅 효과가 포함된 디지털 과학 교과서의 설계 및 구현

## Design and Implementation of Digital Science Textbook with Cutting Effects

---

양현록, 강경규, 한광파, 김동호  
충실대학교 미디어학과 MAGIC 연구실

Hyun-Roc Yang(penril87@magiclab.kr), Kyung-Kyu Kang(rcrookie@magiclab.kr),  
Kwang-Pa Han(kwangpa88@magiclab.kr), Dongho Kim(prof@magiclab.kr)

---

### 요약

디지털 시대의 개막과 함께 교육의 패러다임은 변화하고 있다. 이렇게 변화해 가는 패러다임은 더 많은 상호 작용이 존재하는 디지털 교과서 콘텐츠를 필요로 한다. 우리의 목표는 편리한 인터페이스를 갖추고, 커팅효과가 추가되어 기존에 비해 상호작용성이 높은 태블릿 PC 기반의 디지털 교과서를 제작하는 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해서 여러 차례 디지털 교과서를 개발해 온 전문가들과의 회의를 토대로 설계한 인터페이스 및 학습내용에 대해서 설명한다. 그리고 사용자가 임의로 입력한 스트로크에 기반하여 다층 구조의 3D 객체의 단면을 생성하기 위해서 구현된 커팅 알고리즘에 대해서 설명한다. 마지막으로 우리가 개발한 콘텐츠를 시범서비스 했을 때의 결과를 설문 조사 내용을 토대로 하여 상호작용성이 높은 디지털 교과서의 교육적 효과에 대해서 토론할 것이다.

■ 중심어 : | 디지털 교과서 | 3D 오브젝트 커팅 | 이러닝 |

### Abstract

The emergence of the digital age has changed the paradigm of education. Recently, the new paradigm needs new digital books that contain more interactive contents. Our goal is to design the digital textbook with convenient interfaces and cutting effects for interactive and effective education. To achieve these goals, we propose interfaces and contents which are designed after a lot of discussion with educational experts. In the implementation step, cutting algorithm is proposed to generate the cut planes of the 3D objects, based on the free strokes specified by the users. In order to test the performance of the contents, the testbed was implemented so that students try our digital book and present their evaluation results on the convenience and the effectiveness.

■ keyword : | Digital Textbook | 3D Object Cutting | E-learning |

---

## I. 서론

현재의 학생들은 기성세대와는 다른 환경에서 살고

있다. 각 가정마다 컴퓨터가 있으며, 휴대폰을 소지하고 다닌다. 이렇게 변화된 환경은 학생들의 생활에도 영향을 끼쳤다. 즉, 현 시대의 학생들은 컴퓨터에 익숙할

---

\* 본 연구는 충실대학교 교내 연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였습니다.[과제관리번호:2008-S-025-01, 과제명: 디지털 교과서 및 u-러닝 활성화를 위한 요소 기술 개발].  
접수번호 : #081229-002      심사완료일 : 2009년 01월 16일  
접수일자 : 2008년 12월 29일      교신저자 : 김동호, e-mail : prof@magiclab.kr

뿐만 아니라 인터넷을 통해 쏟아지는 엄청난 정보 속에서의 멀티태스킹에 능숙하다. 이러한 시대의 변화는 오프라인 교과서에 의존하는 기존의 수업 패러다임에 변화를 일으키게 되었다. 교사들은 수업을 진행할 때 컴퓨터와 프로젝터를 이용하여 수업을 진행하고 학생들은 전자사전을 이용하여 원하는 정보를 찾는다. 이런 식으로 과거와는 달리 현재의 학습에는 아날로그적인 방식이 아닌 디지털적인 방식의 교육이 나타나고 있다. 이러한 교육 패러다임의 변화는 사람들로 하여금 디지털 교과서가 더 이상 교육에 있어서 낯선 것이 아니라는 인식의 변화를 가져왔다. 이러한 변화로 인해서 많은 디지털 교과서가 교육 현장에서 쓰이고 있으며 그 반응 또한 긍정적으로 나타나고 있다. 그렇기 때문에 국내외에서는 디지털 교과서에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다.

이러한 연구로 인하여 이제 디지털 교과서는 단순히 교과서의 대체품에 머무는 것이 아닌 새로운 형태의 교육 방식을 제공하기에까지 이르렀다. 이 예로는 증강현실(Augmented Reality)이나 가상현실 디지털 교과서 등이 있다. 우선 증강 현실이나 가상현실을 이용하면 사용자는 디지털 콘텐츠를 보다 더 직관적인 방식으로 조작할 수 있다. 이것은 위험하고 복잡한 실험을 간편하고 쉽게 현실에서의 실험과 비슷하게 수행 하는 것을 가능하게 하였다. 그리고 3D 그래픽을 이용하여 디지털 교과서의 콘텐츠를 개발하게 되면 사용자는 사실적이고 현실감 있는 체험을 경험할 수 있다. 이러한 경험을 통하여 교육의 효과를 극대화 시키는 것이 가능하게 된다. 본 논문에서는 이러한 디지털 교과서의 변화에 맞추어 3D 콘텐츠 제작 기술을 이용하여 개발한 디지털 교과서에 대해서 설명한다.

이 연구는 한국전자통신연구원(이하 ETRI)에서 진행 중인 '디지털 교과서 및 u-러닝 활성화를 위한 요소 기술 개발'의 한 부분으로 진행되었다. 우리의 콘텐츠는 초등학교 5학년 학생을 대상으로 개발되었으며 콘텐츠의 내용은 5학년의 과학 교과 과정에 있는 '화산과 암석'이다. 우리는 이 콘텐츠를 ETRI와 동아사이언스(주)의 협력 하에 개발하였으며, ETRI에서 자체 개발한 디지털 교과서용 3D 렌더링 엔진을 이용하여 제작했다.

본 논문에서는 우리가 조작하는데 있어서 효과적인 인터페이스를 디지털 교과서를 개발하면서 어떻게 구현했는지 설명할 것이다. 그리고 우리가 개발한 커팅 알고리즘이 어떻게 설계되었는지 설명한 뒤 이것을 이용하여 직선이나 자유 곡선을 이용하여 내부가 다층 구조인 3D 객체를 잘랐을 때 생겨나는 결과물들을 설명한다. 그리고 우리가 개발한 콘텐츠가 실제로 수업에 사용되었을 때 학습자 및 교수자의 의견에 대해서 시범서비스의 결과를 토대로 설명한다.

## II. 관련 연구

### 1. 국내 디지털 교과서 제작 사례

디지털 교과서는 국내에서도 활발하게 개발되고 있고, 많은 교육학자와 콘텐츠 개발자들이 주목하고 있다. 이를 증명하듯이 많은 콘텐츠 개발 회사에서 이러닝(e-Learning) 콘텐츠를 개발하고 있고 실제로 교육에 사용하고 있다. 또한 국가 기관인 교육과학기술부에서도 2007년부터 디지털 교과서 개발 사업을 추진하고 있다. 중학교 과학 '지질' 영역에서 이러닝을 활용하여 수업을 했을 때 생기는 효과에 대해서 조사한 논문[1]이나 이러닝을 이용한 일본어 악센트 듣기 연습에 대하여 연구한 논문[2]을 보았을 때, 현재 개발되고 있는 디지털 교과서들은 다양한 과목과 학년을 대상으로 하고 있다는 사실을 알 수 있다. 그러나 업체나 국가 기관이 참여하고 다양한 디지털 콘텐츠들이 개발되고 있음에도 불구하고 개발된 콘텐츠에 대한 객관적인 평가를 내릴 수 있는 자료나 기준이 정해지지 않았다. 그래서 국내에서는 단순히 디지털 교과서의 개발에만 멈추는 것이 아닌 객관적인 평가의 기준을 개발하여 우수한 디지털 교과서를 개발하고 정하는데 있어서 더 이상 어려움을 겪지 않게 하기 위해서 연구도 진행되고 있다[3]. 그리고 개발된 콘텐츠의 이식성이 부족하여 다양한 시스템에 사용이 불가능한 경우로 인하여 해당 시스템에 맞춰서 같은 콘텐츠를 다시 개발해야만 하는 문제점이 발생하는데 이를 해결하기 위해서 한국교육학술정보원(KERIS)에서는 사이버 가정 학습 시스템에 적합한 스

컴(SCORM)기반 이러닝 콘텐츠의 설계와 개발에 대해서 제안하였다[4]. 이와 같이 국내에서는 단순히 콘텐츠의 개발에만 집중하지 않고, 콘텐츠의 활용성과 이식성을 높이기 위해서 많은 연구가 진행되고 있다.

## 2. 커팅 알고리즘의 연구 사례

우리의 콘텐츠 개발에서 가장 핵심이 되는 기술은 지구, 화산과 같이 다층 구조인 3D 객체를 자르면 오브젝트의 잘린 단면을 실시간으로 생성하여 보여주는 것이다. 커팅 관련 기존연구로는 Kenshi가 제안한 Lapped Solid Textures[5] 방법과 Eftychios가 제안한 Arbitrary Cutting of Deformable Tetrahedralized Objects[6], 그리고 Shigeru가 제안한 Volumetric Illustration[7] 방법등이 있다. Kenshi와 Eftychios가 제안한 방법은 3D 오브젝트의 내부를 사면체로 채우고 미리 만들어진 3D 텍스처를 이용하여 잘린 단면을 생성하는 방식이고, Shigeru가 제안한 방식은 내부가 비어 있는 오브젝트를 사용하며 컨트롤 맵(control map)과 레퍼런스 이미지(reference image)를 사용하여 오브젝트의 단면을 만드는 방식이다. 우리가 사용한 커팅 알고리즘은 Shigeru가 제안한 방법과 비슷하다. 본 논문에서 개발한 알고리즘도 내부가 비어 있는 모델을 사용하지만 내부 단면을 표현하기 위해서 각각의 층마다 별도의 모델을 두어서 단면을 만들 때 이용한다.

우리는 작성한 시나리오를 토대로 콘텐츠의 개발에 앞서서 [그림 1]과 같이 콘텐츠의 시나리오 흐름도를 작성하였다. 이렇게 작성된 시나리오에 기반하여 우리는 ETRI에서 개발한 디지털 교과서를 위한 3D 엔진을 이용하여 콘텐츠를 개발하였다. 콘텐츠는 태블릿 PC에 맞춰서 개발되었는데, 왜냐하면 태블릿 PC는 학습자들이 손쉽게 활용할 수 있다는 장점이 있고 이미 디지털 교과서를 구현하는데 필요한 도구적 중재 효과를 갖고 있다고 평가되었기 때문이다.[8]

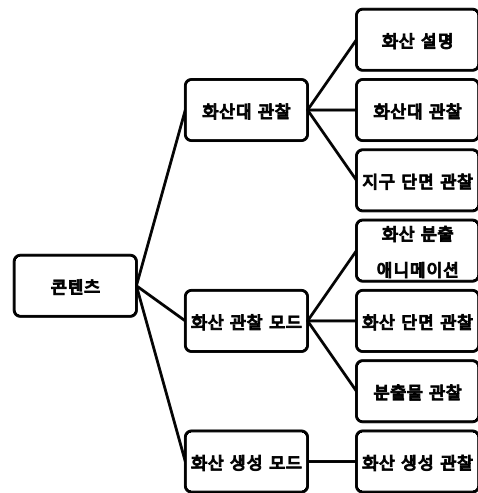


그림 1. ‘화산과 암석’ 디지털 교과서의 시나리오 흐름도

## III. 콘텐츠 설계

### 1. 요구 사항 및 시나리오

우리는 ‘화산과 암석’을 3D 디지털 교과서용 콘텐츠로 개발하기 위해서 우선적으로 컴퓨터 그래픽스 전문가와 교육 전문가가 함께 수 차례의 회의를 통해서 효과적인 교육효과를 볼 수 있는 시나리오를 구성하였다. 시나리오는 학습 대상으로 삼은 초등학교 5학년이 우리의 콘텐츠를 조작하고, 콘텐츠의 흐름을 따라가면서 화산과 암석에 대해서 학습할 수 있게 하는 쪽에 초점을 맞추도록 구성되었다.

## 2. 인터페이스

### 2.1 화산대 관찰 모드

화산대 관찰 모드에서는 오른쪽 하단에 위치한 조작패널을 이용하여 확대/축소, 회전, 커팅 등이 가능하다 [그림 2]. 화산대를 관찰할 때 태블릿 펜과 조작패널을 이용하여 지구 모형을 회전시키고 확대/축소를 할 수 있다. 이러한 과정을 통해서 사용자가 관찰하고 싶은 화산대를 찾은 뒤 그 화산대에 속해있는 대표적인 화산을 누르면 [그림 3]과 같이 글과 음성해설을 통해서 해당 화산의 간단한 특징 등을 설명 한다.

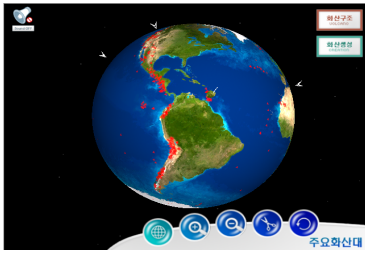


그림 2. 화산대 관찰 모드

이런 식으로 각각의 화산에 대한 설명을 넣어놓음으로써 사용자는 자신이 찾아낸 화산에 대해서 자세하고 정확한 정보를 얻을 수 있으며, 텍스트와 함께 음성 해설을 들음으로써 내용 이해에 큰 도움을 얻을 수 있다. 그리고 [그림 3]에서 볼 수 있듯이 오른쪽 상단에 위치한 화산 구조버튼을 누르면 선택한 화산의 구조를 관찰할 수 있는 화산 관찰 모드로 변경되고, 화산 생성 버튼을 누르면 화산이 생성되는 과정을 관찰할 수 있는 화산 생성 모드로 변경 된다.



그림 3. 화산대 관찰 모드에서는 선택한 화산에 대한 설명을 볼 수 있다.

## 2.2 화산 관찰 모드

화산 관찰 모드의 조작은 화산대 관찰 모드와 동일하게 타블렛 펜과 조작 패널을 이용하여 자유롭게 회전 및 확대/축소를 시키며 화산의 생김새를 관찰할 수 있고 펜을 이용하여 직접 화산을 자른 뒤 잘린 단면을 관찰할 수 있다[그림 4]. 이 모드에서는 화산의 구성물 클릭을 통해 이에 대한 설명을 들을 수 있으며 화산이 폭발하는 과정을 애니메이션을 통해서 관찰할 수도 있다.

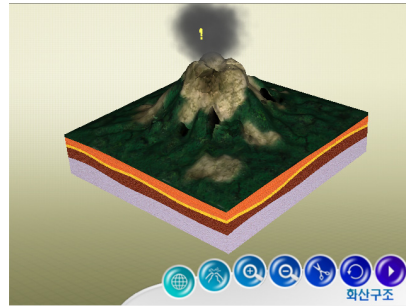


그림 4. 화산 관찰 모드

## 2.3 화산 생성 모드

화산 생성 모드에서는 이전의 모드들과는 달리 회전이나 확대/축소와 같은 기능은 없다[그림 5]. 사용자는 단지 마그마 챔을 움직여서 화산이 생성될 위치에 두고 재생 버튼을 누르기만 하면 된다. 이러한 과정을 수행하면 마그마 챔의 크기에 따라서 화산이 생성되고, 사용자는 화산이 생성되는 모습을 관찰할 수 있다.

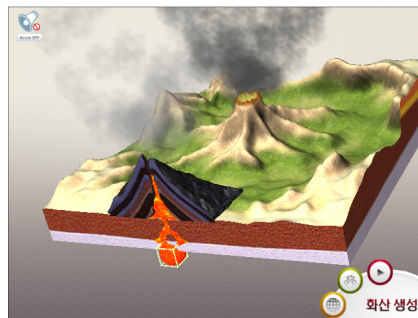


그림 5. 화산 생성 모드

## 3. 단면 생성 인터페이스

우리가 개발한 콘텐츠에서 가장 핵심적인 기능은 화산과 지구를 사용자가 직접 잘라보는 것이다. 이 기능을 사용하기 위해서는 화산대 관찰 모드와 화산 관찰 모드에서 조작패널에 위치해있는 커팅 모드버튼을 선택한다[그림 6의 (a)]. 그러면 커팅 모드로 변경이 되면서 펜을 이용하여 스트로크를 그어서 화산이나 지구를 자를 수 있다[그림 6의 (b)]. 커팅 모드로 변경이 되면 스트로크를 직선 스트로크로 할 것인지 자유 곡선 스트

로크로 할 것인지 변경할 수 있다. [그림 6의 (c)]에 있는 지구는 직선 스트로크로 잘린 것이고 이 그림의 화산은 자유 곡선 스트로크로 잘린 것이다. 이렇게 화산과 지구를 자르고 나면 단면이 생성되게 된다[그림 6의 (c)]. 그러면 사용자는 조작 패널을 이용하여 단면을 회전시키거나 확대/축소를 해가며 자세하게 관찰할 수 있다.

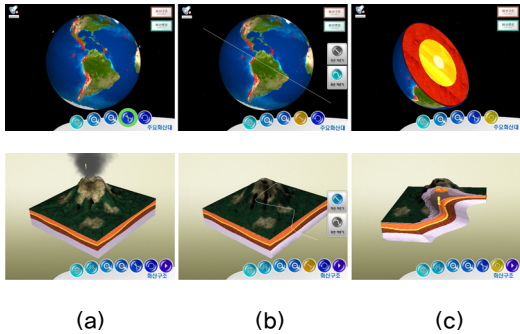


그림 6. 지구와 화산을 자르는 인터페이스

스트로크 조작 인터페이스에 타블렛 펜을 적용한 이 유는 펜을 이용하여 직접 스트로크를 그어가며 학습에 임하는 것이 마우스보다 직관적인 조작감을 제공할 수 있기 때문이다. 그리고 사용자가 직접 펜을 들고 조작하기 때문에 마우스보다 자신이 지금 학습을 하고 있다는 느낌을 받게 할 수 있다. 스트로크를 그을 때 직선 스트로크만 제공하는 것이 아니라 자유곡선 스트로크도 제공함으로써 초등학생 사용자들도 오브젝트를 자를 때 지속적인 흥미를 얻을 수 있게 하였다.

#### IV. 커팅 구현

이 콘텐츠의 내용을 구현하기 위해서 디지털 교과서용으로 ETRI에서 개발한 엔진과 콘텐츠를 만들 수 있도록 지원해주는 저작도구를 사용하였다. 엔진이 스크립트 언어 중 하나인 Lua를 지원하기 때문에 콘텐츠의 기본적인 요소들은 Lua를 이용하여 개발하였다. 그리고 콘텐츠의 핵심적인 내용인 3D 객체를 자른 뒤 실시간으로 단면을 생성하여 보여주기 위한 알고리즘을 개

발하였다. 우리가 설계한 알고리즘에 대한 설명은 IV.2 알고리즘에서 설명한다. 그리고 우리가 설계한 알고리즘을 이용해서 만족스러운 결과물을 내기 위해서는 모델을 알고리즘에 알맞도록 제작하는 과정이 필요하다. 이와 같은 과정은 IV.1 화산과 지구의 모델 제작에서 설명한다.

#### 1. 화산과 지구의 모델 제작

우리의 콘텐츠에 사용된 커팅 알고리즘을 사용하여 정확한 단면을 얻기 위해서는 모델을 만들 때 우리의 알고리즘에 알맞은 형태로 제작하여야 한다. 우리의 커팅 알고리즘은 내부의 단층을 표현하기 위해서는 반드시 각각의 단층에 해당하는 오브젝트가 존재해야만 가능하다. 즉, 지구와 같은 경우는 지각, 맨틀, 내핵, 외핵이 존재하기 때문에 지각 모델, 맨틀 모델, 내핵 모델, 외핵 모델을 따로 제작하여 지구를 화면에 보여줄 때 내부에 각각의 모델을 위치시켜야 한다. 그리고 사용자가 커팅 명령을 실행하면 프로그램은 각각의 단층에 해당하는 오브젝트마다 커팅 알고리즘을 수행하게 된다. 그리고 화산모델은 7개의 층으로 구성되어 있다. 우리의 알고리즘은 모델이 많은 다각형을 사용하여 정밀도가 높아질수록 단면 생성의 정확도가 높아지기 때문에 모델을 만들 때 이런 점들을 고려하여 제작하였다.

#### 2. 알고리즘

본 콘텐츠를 개발하는데 있어서 가장 핵심적인 요소가 되는 커팅 알고리즘의 작동 흐름은 다음과 같다, 1) 사용자로부터 커팅 스트로크 얻기 및 처리, 2) 객체의 에지를 스크린 좌표계로 투영, 3) 커팅 스트로크와 에지와 교차 검사, 4) 교차점을 로컬 좌표계로 투영, 5) 교차점으로 컷 단면 만들기, 6) 컷 단면의 삼각형 분할, 7) 컷 단면에 텍스처 좌표 주기, 8) 층 깊이에 따른 컷 단면 이동. 이 과정은 모든 내부 층 모델마다 서로 독립적으로 수행된다. 커팅 결과로 잘려진 층 모델들은 통합과정을 거치지 않고 바로 렌더링 엔진으로 보내진다. [그림 7]은 이러한 알고리즘의 순서도를 나타내고 있다.

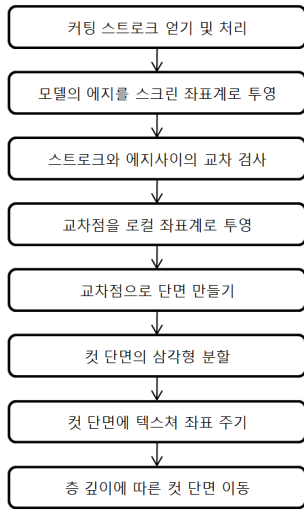


그림 7. 알고리즘의 순서도

### 2.1 커팅 스트로크 얻기 및 처리

커팅 스트로크는 마우스가 이동한 스크린 좌표로 부터 만들어 진다. 이 스트로크를 길이가 10 픽셀인 짧은 선분들의 모임이 되도록 세분화되며, 이 선분들은 그려진 순서에 따라 리스트에 저장된다. 선분의 길이는 수정이 가능하데, 짧아지게 되면 에지와와의 교차 검사단계에서 더욱 많은 계산 시간이 소비된다. 반면에 이 선분의 길이가 길어지면 컷 단면의 질이 떨어진다.

본 논문에서 구현된 커팅 알고리즘에서는 커팅 스트로크의 진행 방향에서 오른쪽에 있는 객체의 부분을 남기고, 반대쪽 부분은 제거한다. 만약에 커팅 스트로크에서 자체적으로 교차하는 부분이 존재한다면 객체에서 커팅 후에 남기는 부분과 지워야 할 부분을 구분해 내기가 어려워진다. 따라서 우리는 커팅 스트로크 내에서 교차하는 부분을 커팅의 다음단계로 진행하기 전에 제거한다[그림 8의 (a)].

본 알고리즘에서 객체를 구성하는 삼각형과 커팅 스트로크가 2개 혹은 0개의 교차점을 만들고, 하나의 에지에는 1개 혹은 0개의 교차점이 존재한다고 가정하고 있다. 이러한 가정은 빠른 계산 속도와 예상하지 못한 오류가 발생할 가능성을 줄이기 위한 것이다. 그러나 커팅 스트로크가 날카롭게 만들어지면 이러한 가정이 깨지기 쉽다. 그래서 우리는 사용자의 스트로크를 단순

화 필터(smoothing filter)를 이용해서 부드러운 곡선으로 만들어준다[그림 8의 (b)].

커팅 스트로크의 전체 길이가 최소 기준치 보다 짧거나 최대 기준치보다 길면, 이 스트로크는 사용자가 원하지 않는 것으로 보고 무효화 처리한다. 또한 커팅 스트로크의 시작 부분과 끝 부분을 스크린의 끝까지 연장하여 스트로크가 짧아서 물체가 일부만 잘리는 문제를 해결한다.

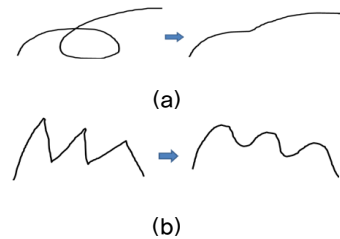


그림 8. 커팅 스트로크 처리. 스트로크 내부에 만들어진 도형을 제거한다(a). 스트로크에 단순화 필터를 적용한다(b).

### 2.2 모델의 에지를 스크린 좌표계로 투영

3D 공간에서 에지와 커팅 스트로크 평면과의 교차 검사를 하는 작업은 많은 계산 시간을 필요로 한다. 하지만 3D 공간의 객체를 2D 공간으로 투영(projection)하여 교차검사를 계산하게 되면 수행 시간이 줄어든다. 그래서 우리는 3D 공간에 있는 모델의 에지들을 커팅 스트로크가 그려진 스크린 좌표계(2D)로 투영하여 교차 검사를 진행한다. 이 투영은 에지의 양 끝점에 객체의 월드(world) 변환행렬, 뷰(view) 변환행렬과 투영 변환행렬을 차례로 곱해서 계산된다.

### 2.3 스트로크와 에지의 교차 검사

투영된 에지와 커팅 스트로크의 교차 검사를 진행하기 전에 스트로크와 교차될 가능성이 없는 에지를 제거하는 전처리를 진행한다. 이 전처리는 우선 에지가 이루고 있는 삼각형의 외심원을 계산하고, 외심원의 중심과 가장 가까운 스트로크 선분을 찾는다. 그리고 이 선분과 중심과의 거리가 외심원의 반지름 보다 크면 해당 삼각형에 포함된 에지는 교차 검사에서 제외된다. 이러

한 전처리 작업은 교차점을 찾는 시간을 획기적으로 줄여준다. 교차 검사는 2D에서 두 개의 선분의 교차여부 검사 및 교차점 찾는 계산을 이용한다[9]. 이렇게 찾아진 교차점들은 리스트에 저장되는데, 서로 이웃하는 교차점(이웃 삼각형에 있는 교차점)이 리스트에서도 이웃에 위치하도록 교차점 리스트를 정리한다. 이렇게 정리하는 이유는 이 교차점들로 단면을 만들 때 이웃정보를 이용하기 때문이다. 또한 교차점은 자신을 커팅한 스트로크의 선분의 번호를 저장하고 있다가 단면을 만드는 단계에서 이용한다. 선분번호는 커팅 스트로크의 선분 리스트의 저장 위치로, 번호 '0'은 스트로크의 시작 위치이다.

### 2.4 교차점을 로컬 좌표계로 투영

전 단계에서 계산된 교차점들은 컷 단면을 만들기 위해서 로컬 좌표계로 투영된다. 우리는 교차점을 이 점이 발생한 에지의 시작점과 끝점의 로컬 좌표를 이용해서 로컬 좌표계로 복원한다. 2D 교차점의 복원은 교차점과 에지의 끝점들과의 위치 비율을 이용해서 계산된다.

### 2.5 교차점으로 단면 만들기

교차점들은 서로 이웃한 교차점이 무엇인지와 자신을 만든 스트로크 선분의 번호를 저장하고 있다. 우리는 교차점들 중에서 스트로크 선분의 번호가 작은 점들부터 이웃한 교차점들과 삼각형을 만들어 나간다. 우리가 사용하고 있는 삼각형 만들기(triangulation) 알고리즘은 귀 자르기(Ear Clipping Triangulation)[10] 방법에 기반을 두고 있다. 이 방법에 하나의 제약 조건을 추가하였는데, 그것은 교차점 자신을 커팅한 스트로크 선분 번호가 작은 점들부터 검사해야 한다는 것이다. 이 제약조건으로 컷 단면이 커팅 스트로크의 형태와 최대한 유사하게 만들어질 수 있다.

### 2.6 컷 단면의 삼각형 분할

단면을 구성하기 위해서 만들어진 삼각형들은 대부분 한 변의 길이는 짧고 상대적으로 다른 두 변의 길이가 매우 긴 형태를 취하고 있다. 특히 객체가 구라면 이

러한 형태는 두드러지게 나타난다. 길이가 긴 삼각형은 컷 알고리즘에서 전제하고 있는 하나의 에지에 하나의 교차점이 생겨야 한다는 가정을 차후 커팅에서 지키기 어렵다. 그래서 길이가 길쭉한 삼각형들은 모든 에지의 길이가 기준치 보다 작은 삼각형으로 나뉘야 된다[그림 9].

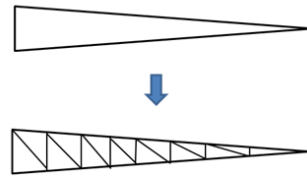


그림 9. 삼각형 분할

### 2.7 컷 단면에 텍스처 좌표 주기

텍스처 좌표는 컷 단면을 텍스처 좌표 공간에 투영함으로써 부여 된다[그림 10]. 텍스처 좌표 공간은 해당 모델의 로컬 좌표계 XY평면과 평행하도록 설정되어 있다.

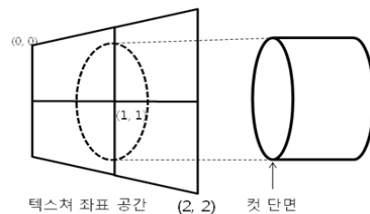


그림 10. 컷 단면의 텍스처 좌표로의 투영

### 2.8 층 깊이에 따른 컷 단면 이동

본 논문에서 사용한 다층 구조 모델들은 층 별로 별도의 객체로 만들어져 있기 때문에 층 별로 생성되는 단면들은 동일한 평면상에 위치하게 된다. 그 결과 여러 단면들이 겹쳐서 렌더링 되는 오류가 발생할 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 층의 깊이에 비례하는 값 ( $K * Depth$ )만큼 단면의 법선벡터 방향으로 각 단면들을 약간 이동시킨다. 여기서  $K$ 는 상수이며  $Depth$ 는 모델의 층 깊이 값인데, 가장 외곽층에서는 '0'이고 층이 깊을수록 높은 값을 갖도록 설정된다.



## V. 결과

### 1. 커팅 결과 및 성능 분석

[그림 11]은 본 연구에서 커팅 알고리즘을 이용하여 3D 오브젝트를 자른 결과물이다. 오브젝트를 자를 때 걸리는 시간은 [그림 12]와 같이 폴리곤 수에 비례하고 있다. 이 실험을 수행한 컴퓨터는 인텔 Core2Duo 6600 CPU와 4GB 램을 장착하고 있다.

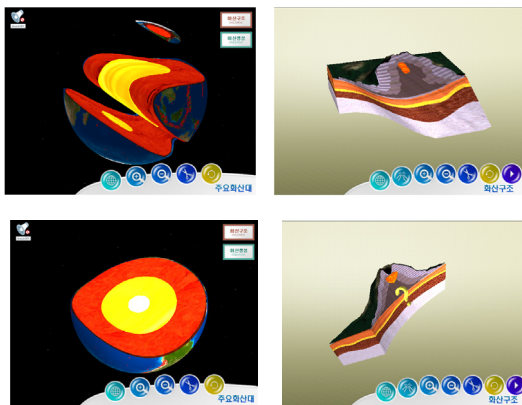


그림 11. 지구와 화산을 자른 결과

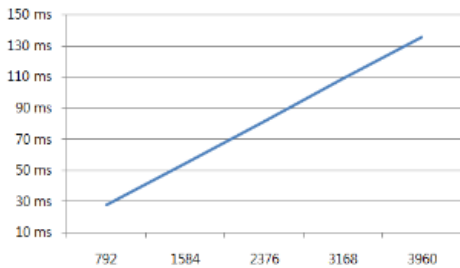


그림 12. 삼각형 수에 따른 수행시간의 변화

여기서 지구 모델은 17,408개의 폴리곤을 사용하고 있고 오브젝트를 자를 때 걸리는 시간은 스트로크의 복잡도에 따라 다르지만 평균적으로 631ms 정도 소요되었다. 그리고 화산 모델은 28,119개의 폴리곤을 사용하고 있으며 오브젝트를 자를 때 걸리는 시간은 평균적으로 945ms이다.

### 2. 시범 서비스 결과

본 논문에서 구현된 화산과 암석 콘텐츠에 기반하여 대전에 위치한 초등학교를 대상으로 26명의 학생과 3명의 교사가 참여하는 시범 서비스를 진행하였다. [그림 13]은 시범서비스를 마치고 교사와 학생을 대상으로 한 설문을 정리한 내용이다. 차트는 문항의 내용에 매우 만족하면 5점을 부여하고 매우 만족하지 않으면 1점을 부여해서 1에서 5점 사이의 점수를 기록하도록 했다. 차트를 보면 이번 시범 서비스 결과는 교사와 학생 모두 화산과 암석 콘텐츠가 교육적 측면에서는 도움이 되고 있다고 느꼈다는 사실을 알 수 있다. 다만 기존 교과서 대비 만족도 부분의 평균 점수가 다른 항목보다 다소 낮게 나왔기 때문에 이 부분을 보완하기 위해서 앞으로 콘텐츠에 흥미롭고 재미있는 부분을 추가해야 할 것이라고 생각한다. 마지막으로 디지털 교과서에서만 구현가능한 부분을 더욱 강화하여 학생들이 디지털 교과서 기반 학습에 충분한 만족감을 가질 수 있도록 개선할 필요가 있다.

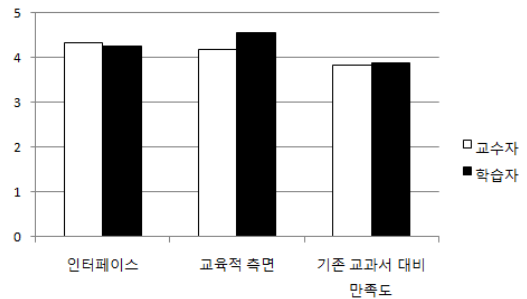


그림 13. 교사와 학생을 대상으로 한 설문을 간단히 정리한 차트

## VI. 결론

본 논문에서는 태블릿 PC 기반의 커팅 효과가 포함된 3D 디지털 교과서용 콘텐츠를 개발하였고, 이 디지털 교과서는 초등학교 5학년 과학의 '화산과 암석' 내용을 포함하고 있다. 콘텐츠의 인터페이스는 태블릿 PC를 이용함으로써 직관적인 인터페이스를 설계할 수 있



었고, 지구와 화산을 자르는데 있어서 사용자의 흥미를 끌 수 있도록 구성하였다. 본 연구에서 개발한 콘텐츠는 실제로 향후 전국의 초등학교들을 대상으로 서비스할 예정이며, 이번엔 시범서비스를 통하여 그 타당성과 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

앞으로 증강현실과 같이 사용자의 인터랙션을 보다 활성화 시킬 수 있는 기술 요소가 추가된다면, 더욱 효과적인 교육용 콘텐츠를 개발할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 본 논문의 연구결과를 디지털 교과서를 구성하는 다른 교육 콘텐츠에도 활용하여 성공적으로 서비스될 수 있는 디지털 교과서 콘텐츠들을 제작하는데 도움이 될 것으로 전망된다.

**참 고 문 헌**

[1] 이재웅, 이용섭, 김상달, “중학교 과학 ‘지질’ 영역에서 e-Learning 활용 수업이 장·단기 과지에 미치는 효과”, 한국지구과학회지, 제26권, 제6호, pp.469-476, 2008.

[2] 최장원, 김유영, “e-Learning을 이용한 일본어 악센트 듣기 연습”, 日語日文學研究, 제64권, 제1호, pp.263-280, 2008.

[3] 정영식, “디지털 교과서 평가 준거 개발”, 컴퓨터교육학회 논문지, 제11권, 제3호, pp.13-20, 2008.

[4] 이혜경, 김향숙, “KERIS의 사이버 가정학습 시스템에 적합한 SCORM기반 수학과 e-Learning 콘텐츠 설계 및 개발”, 수학교육 논문집, 제20권, 제3호, pp.425-441, 2006.

[5] S. Owada, F. Nielsen, M. Okabe, and T. Igarashi, “Volumetric illustration: designing 3d models with internal textures,” ACM Transactions on Graphics, Vol.23, No.3, pp.322-328, 2004.

[6] E. Sifakis, K. G. Der, and R. Fedkiw, “Arbitrary Cutting of Deformable Tetrahedralized Objects,” ACM Transactions on Graphics. Vol.26, No.3, pp.73-80, 2007.

[7] K. Takayama, M. Okabe, T. Ijiri, and T. Igarashi, “Lapped Solid Textures : Filling a Model with Anisotropic Textures,” ACM Transactions on Graphics, Vol.27, No.3, Article No.53, 2008.

[8] 류지현, “태블릿 PC 기반의 디지털교과서 수업에 대한 교실 생태학적 분석”, 교육공학연구 논문지, 제24권, 제2호, pp.271-297, 2008.

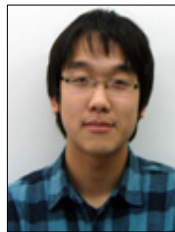
[9] <http://ozviz.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/geometry/lineline2d/>

[10] D. Eberly, Triangulation by ear clipping. <http://www.geometrictools.com/Documentation>, 2008.

**저 자 소 개**

**양 현 록(Hyun-Roc Yang)**

정회원



- 2008년 : 숭실대학교 전산원 미디어 학과 졸업
- 2008년 ~ 현재 : 숭실대학교 석사과정

<관심분야> : 실시간 렌더링, 비실사 렌더링

**강 경 규(Kyung-Kyu Kang)**

정회원



- 2004년 : 숭실대학교 컴퓨터학부 졸업(학사)
- 2006년 : 숭실대학교 미디어학과 졸업(석사)
- 2006년 ~ 현재 : 숭실대학교 박사과정

<관심분야> : 애니메이션, 실시간 렌더링

한 광 파(Kwang-Pa Han)

정회원



- 2006년 : 연변과학기술대학교 컴퓨터학과(학사)
  - 2007년 ~ 현재 : 숭실대학교 미디어학과 석사과정
- <관심분야> : 실시간 렌더링

김 동 호(Dongho Kim)

정회원



- 1990년 : 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
  - 1992년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사)
  - 2002년 : 조지워싱턴 대학교 전산학과 졸업(박사)
- 1995년 ~ 1997년 (주)삼성전자 연구원
- 2003년 ~ 현재 : 숭실대학교 미디어학부 교수
- <관심분야> : 실시간 렌더링, 게임공학, 애니메이션, 인터랙티브 아트