

3D 형상 모델의 부분 절단 기법을 이용한 원자로 해체 시뮬레이션

이완복, 학문원, 경병표, 유석호
공주대학교 게임디자인학과

Dismantling Simulation of Nuclear Reactor Using Partial Mesh Cutting Method for 3D Model

Wan-Bok Lee, Wen-Yuan Hao, Byung-Pyo Kyung, Seuc-Ho Ryu
Dept. of Game Design, Kongju National University

요 약 최근 게임 기술은 모의 수술 시뮬레이션이나 사이버 모델하우스 구축 등의 여러 응용 분야에까지 적용되고 있다. 이러한 응용 분야에서 꼭 필요하고 중요한 기술 중 하나는 3D 모델을 실시간으로 절단하는 것이다. 실시간 모의 절단 기술은 자동차나 건축물의 실시간 해체 시뮬레이션 구축에 꼭 필요하며, 다양한 융복합 산업 분야에서 응용이 가능하다. 기존의 BSP-Tree를 이용한 절단 기법에서는 무한 평면을 기준으로 3D 모델을 두 부분으로 절단시키기 때문에 일반적인 절단 작업에 유용하게 사용하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 유한한 영역 내에서 3D 모델을 절단하는 기법을 제안하였다. 구체적으로 절단 경로면을 유한하게 정의할 수 있도록 하였으며, 절단 범위 이내에서만 3D 모델을 분열시키도록 하여, 다양한 산업 분야에서 유용하게 사용할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제안한 부분 절단 기법의 유용성을 보이기 위해 원자로 3D 모델의 해체 작업 과정을 모의 시뮬레이션 하는 과정에 적용해 보았다.

주제어 : 메쉬 절단, 해체 시뮬레이션, 게임 미들웨어, 기능성 게임, 원자로 형상 모델

Abstract Game technologies are now applied in various engineering areas such as the simulation of surgical operation or the implementation of a cyber model house. One of the essential and important technology in these applications is cutting of the 3D polygon model in real time. Real-time cutting technology is an essential technology needed to implement the simulation of a building demolition or a car assembly for training or educational purpose. Previous cutting method using the conventional BSP-Tree structure has some limitations in that they divide the whole world including the 3D model and its environment, only into two parts with respect to an infinite plane. In this paper, we show a technique cutting the 3D model in a finite extent in order to solve this problem. Specifically, we restricted the cut surface in a finite rectangular area and constructed the mesh for the divided surface. To show the usefulness of our partial cutting technique, an example of the dismantling process simulation of a nuclear reactor polygon model was illustrated.

Key Words : Mesh cutting, Dismantling simulation, Game middleware, Serious game, Reactor shape model

* This work was supported by the research grant of the Kongju National University in 2014.

Received 28 November 2014, Revised 6 March 2015

Accepted 20 April 2015

Corresponding Author: Seuc-Ho Ryu(The Society of Digital Policy)

Email: seanryu@kongju.ac.kr

ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 3D 모델링 및 시뮬레이션 기술과 컴퓨터 그래픽스 기술이 진보되어짐에 따라 이들 기술을 기반으로 하고 있는 게임 기술들은 여러 산업 분야에서 응용되어지고 있다. 인터랙티브 멀티미디어 콘텐츠, 체감형 엔터테인먼트 시스템, 가상 세계, 3D 트레이닝 시스템등이 이러한 분야에 해당한다. 컴퓨터에서 사물의 형태는 polygon의 집합체인 mesh라는 형태로 표현되기 때문에, 사물의 형태를 표현하는 메쉬 형성 및 처리 기술은 그 기반 기술로써 매우 중요하다[1].

비주얼 컴퓨팅 분야에서 기존 장면에 새 요소 형상을 추가하는 것은 어렵지 않게 구현할 수가 있지만, 그 반대로 기존에 있는 모델을 실시간에 절단하거나 변형하는 것은 상대적으로 어렵다. 컴퓨터 그래픽스와 게임 분야에서는 기존 3D 모델의 애니메이션 및 변형을 쉽게 표현할 수 있도록 다양한 미들웨어가 개발되어 이용되어지고 있는데, Physx와[2] Havok[3]을 비롯한 물리엔진이 그 대표적인 예가 된다[4].

3D 모델의 모의 절단 기법은 형상의 내부를 실시간적으로 면밀히 관찰하는 것을 가능하도록 하기 때문에 다양한 영역에서 광범위하게 활용 될 수 있다. 대표적으로 모의 수술을 포함한 의학 연구, 기계 설계, 지질 탐사 및

건축 설계 등의 분야에서 응용 되어진 사례가 있다[3,4].

이러한 3D 모델의 모의 절단을 위해 여러 관련 연구들이 진행된 바 있다. VTK(The Visualization Tool Kit)는 C++로 작성되었으며 소스가 오픈 되어 있는 비주얼 Tool Kit 이다[7]. 모두 2000 개 이상의 클래스와 250,000 줄의 코드로 구성된다. JAVA, Tcl/Tk, Python 등 언어를 통하여 VTK를 사용할 수 있으며 Linux, Windows, Mac 을 비롯한 다양한 플랫폼에서 실행할 수 있다. OpenCASCADE(OCC)는 Boundary Representation 구조를 기반으로 만든 것이다. 2D나 3D 모델링 작업을 충실히 지원하며 곡면 모델도 쉽게 할 수 있다. OCC는 모델링과 비주얼 그리고 데이터 관리의 세 가지 모듈로 나뉘져 있으며, 비주얼 모듈은 OpenGL 기반으로 작성되었다[8]. 이외에도 3D Slicer, Open Inventor 등이 개발된 바 있다.

<Table 1>은 게임 분야에서도 모의 절단 기법을 응용한 사례들을 보여주고 있다. 2D 게임에서는 절단 과정이 비교적 단순하기 때문에 iSlash, Slice It 등의 게임에서 적용되었다. 3D게임의 경우에는 절단 과정이 매우 어렵고 복잡하기 때문에 실시간 절단 기법이 사용된 것이 거의 없다. 출시된 대부분의 3D 게임에서는 효과들을 활용하여 절단이 발생한 것처럼 연출한 것이며, 메쉬 데이터

<Table 1> Example games in which cutting method or effect were used.

Game name /iTunes review					
	Fruit Ninja	FruitsSlayer	KungFu Food Panda	Bakery Ninja	Food Processing
	★★★★★ 687192 Ratings	★★★★★ 24191 Ratings	N/A	★★★★★ 9 Ratings	★★★★★ 85 Ratings
publication year	2010	2011	2012	2012	2013
remarks	3D cutting effects used. No real-time cutting method employed.				
Game name /iTunes review					
	iSlash	Hit & Split	Divide Pieses	Slice & Splice	Slice It
	★★★★★ 33873 Ratings	★★★★★ 12 Ratings	N/A	★★★★★ 74 Ratings	★★★★★ 24191 Ratings
publication year	2010	2011	2012	2012	2012
remarks	2D diagram cutting with respect to a finger path.				

를 실시간에 절단한 것이 아니었다. 2D 게임 중 Fruit Ninja와 iSlash 스마트폰용 게임들이 시장에 출시된 후 이와 유사한 게임들이 지속적으로 출시되었다는 점은 사람들이 이러한 직관적인 상호 작용형 게임방식을 좋아하는 것을 알 수 있다.

공학용으로 개발된 절단 모듈들은 게임 분야에서 거의 활용되어지지 않고 있다. 그 이유는 특수 목적을 위해 개발되어졌기 때문에 범용성이 떨어지며 모듈 자체가 비대하고 복잡하며 계산량 또한 많이 소요되기 때문인 것으로 사료된다. 본 연구에서는 시뮬레이션 및 게임 분야에서 쉽게 적용할 수 있는 소규모 3D 메쉬 절단 기법을 구축하고자 한다.

2. 관련 연구 및 접근 방법

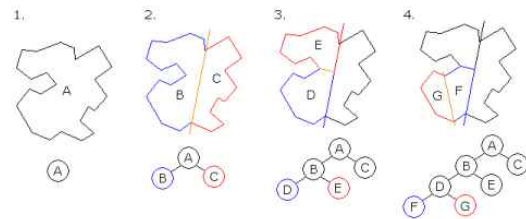
모의 절단 작업은 삼차원 형상으로 모델링된 데이터를 처리하는 것이기 때문에 형상의 표현 방식에 따라 모의 절단 알고리즘은 달라지게 된다. 컴퓨터그래픽스에서 형상의 모습을 계산하는 방식에는 두 가지 렌더링 알고리즘이 있다. 볼륨 렌더링(Volume Rendering) [9]과 표면 렌더링(surface rendering) 두 방식 중 어떤 것인지에 따라 모의절단 알고리즘은 서로 다르게 발전되어 왔다[8,9]. 현재 사용되는 대부분의 게임엔진이나 렌더링 소프트웨어는 표면 렌더링 방식에 기반하고 있다.

본 연구에서는 표면 렌더링 방식을 채택하고 있는 Unity 게임엔진을 기반으로 부분 절단 모듈을 개발하고자 한다. Unity 엔진은 3D 비디오 게임이나 건축 시각화, 실시간 3D 애니메이션 같은 기타 인터랙티브 콘텐츠를 제작하기 위한 통합 저작 도구이다[12]. 특히 Unity 엔진은 계층적 통합형 개발 환경(Hierarchical Integrated Development Environment)을 제공하고 있으며, 3ds Max, Maya, Blender, Cinema 4D 등의 다양한 3D 모델 제작 소프트웨어에서 생성된 3D 모델 소스 파일을 지원하고 있다.

Unity 엔진에서 모의 절단 원리를 구현한 사례 Noble Muffins에 의해 이루어진 바 있다[13]. 그러나 이 연구에서는 무한 평면을 기준으로 모의 절단하는 것이기 때문에 대부분의 공간 작업이 유한한 공간 내에서 수행되는 것을 참작하면 실용성에 제약이 있다고 볼 수 있다. 예를

들어 사무실에서 사과를 절단할 경우, 사무실 지붕과 벽을 비롯한 모든 사물들도 함께 절단되어지게 된다. 이러한 문제점은 있지만, 간단한 물체에 대해 실시간적으로 작업을 수행할 수 장점은 있다.

[13]에 적용된 장면관리자(Scene Manager)는 John Ratcliff 제시한 BSP-Tree이다[14]. BSP-Tree(Binary Space Partitioning Tree)란 공간을 분할하는 정보를 담고 있는 Binary Tree의 일종으로써, 원래는 은면 제거(Hidden Surface Removal)를 목적으로 고안되었으나, 공간 분할을 효과적으로 처리할 수 있는 특성으로 인해 그 응용 범위가 넓게 확장되었다. [Fig. 1]는 BSP-Tree에서 공간정보를 분할하여 저장하는 구조를 간략히 보여준다.

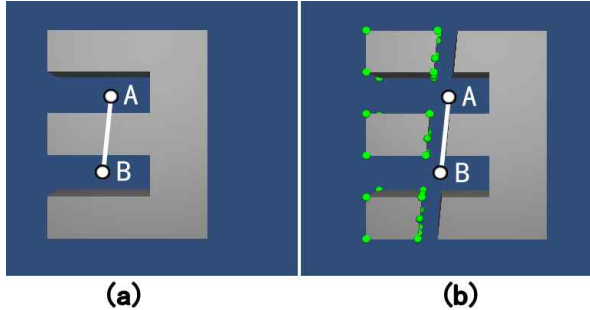


[Fig. 1] BSP-Tree data structure

BSP-Tree에서 어떠한 무한 평면을 기준으로 특정 도형을 절단할 경우, 절단 대상의 각 삼각형 메시 중의 일부가 절단 평면의 Front 쪽이나 Back 쪽인지 또는 그 평면이 삼각형 메시지를 관통하고 있는지를 비교적 쉽게 판정할 수 있다. 만약 절단 평면이 삼각형 메시지를 관통하는 경우에 절단 작업을 완료하려면 그 삼각형 메시지를 두 개의 다각형으로 분열한다. 하나는 절단 평면의 Front 쪽에 있고 또 하나는 Back 쪽에 생기게 된다. 일반적으로 삼각형을 절단할 경우 삼각형 하나와 사변형 하나가 생성되어진다. 새로 생성된 삼각형과 사변형을 버퍼 영역에 저장하게 된다. 이후에 버퍼 영역에 저장되어 있는 삼각형 메시나 사면체 메시는 메쉬 분열 과정을 통하여 분리된 두 3D 모델로 변환되어진다[15].

그러나 기존의 이러한 무한 평면으로 절단 작업을 진행하게 될 때에는 원하지 않는 현상이 발생할 수 있다. 예를 들어 아래 [Fig. 2]에서 보는 바와 같이 E자형 물체의 가운데 부분에 대해서 모의절단을 실시할 경우, 부분적인 절단이 이루어질 수 없기 때문에, (b)에서 보이는 바와 같이 세 개의 파편이 생긴다. 이러한 문제점 때문에

기존 무한 평면을 기준으로 한 절단 기법들은 건축물 조각이나 게임에서의 칼싸움 장면의 연출 등에서 적합하게 적용되기 어려운 문제점이 있다.



[Fig. 2] Cutting w.r.t. an infinite plane

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 유한한 절단 평면을 기준으로 절단 작업을 할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 구체적으로, 절단 평면을 제어 가능한 영역으로 제한했으며, 절단 범위에서 내에 국한하여 메쉬 분열을 진행하여 불필요한 파편이 생성되는 것을 방지하였다.

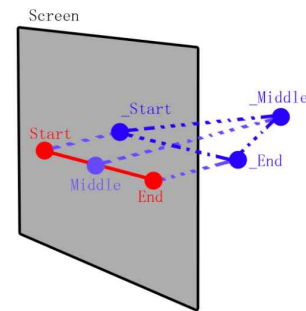
표면 렌더링 방식에서의 모의 절단 과정은 다음과 같이 단계로 작업이 진행 되어 진다. 첫 번째 단계는 충돌 감지를 통해 절단대상을 선택하고, 절단대상에서 절단경로를 지정하는 것이다. 두 번째 단계에서는 사용자가 유한한 절단 평면을 지정할 수 있도록 하는 것이며, 해당된 영역 안에서만 메쉬 분열을 통하여 절단 작업을 진행한다. 메쉬 분열은 모델의 삼각형 메쉬와 절단 평면에 대한 교차 연산을 실시한 후 한개 삼각형 메쉬를 두개 혹은 여러 개 삼각형 메쉬로 나누는 과정이다. 마지막 단계는 절단된 표면에 매핑 작업을 완료하여 모델 표현을 완성하는 것이다. 각 과정에 대해서는 다음 장에서 구체적으로 설명한다.

3. 부분 절단 과정

기존의 무한 평면을 기준으로 한 모의 절단 방식은 주변 도형에 대해서는 절단 파편을 생성하기 때문에 이를 개선하기 위해 본 논문에서는 절단면의 범위를 제한함으로써 부분 모의 절단 기법을 구현하였다.

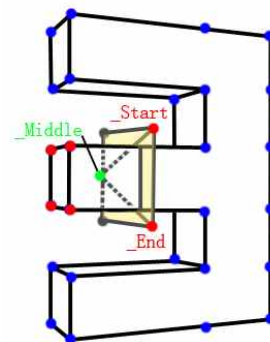
부분 절단 과정은 먼저 절단면을 유한하게 정의하는

것으로부터 시작된다. 마우스 조작으로 쉽게 만들 수 있는 2D 절단 선분을 이용하여 3D 절단 평면은 카메라의 위치 정보를 이용하여 쉽게 생성할 수 있다. 즉 [Fig. 3] 과 같이 마우스 조작의 시작과 종료 지점의 두 점을 Start와 End 좌표라고 할 때, 카메라에서 두 선분의 가운데 지점 Middle을 관통한 후 그 선분의 길이만큼 뒤편에 존재하는 좌표 $_Middle$ 을 참조하여 절단 평면을 정의할 수 있다. 평면을 구성하는 세 지점 중 $_Start$ 와 $_End$ 는 카메라 시점으로부터 선분 길이의 절반 거리 뒤에 투영 (Projection)된 좌표 들이다.



[Fig. 3] Cutting plane

위의 과정에서 설명한 세 좌표로 정의된 평면을 기준으로 절단을 진행하게 되면 무한 평면을 기준으로 절단 작업이 진행하게 된다. 부분 절단을 하기 위해서는 [Fig. 4]에서 보이는 것과 같이 절단 범위를 유한하게 제한하는 것이 필요하다.

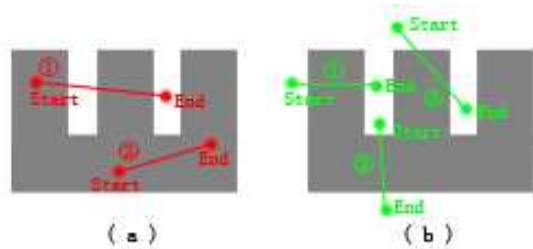


[Fig. 4] Finite cutting plane

3.1 절단 평면의 유효성

유한 절단 평면을 생성할 때 주의해야 할 점 중의 하나는 생성된 평면이 국부 모의 절단에 사용할 수 있는지

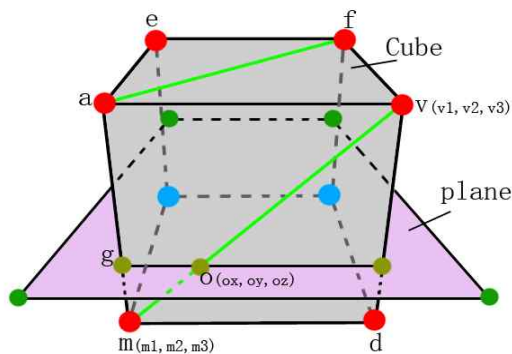
그 유효성을 확인하는 것이다. 예를 들어 [Fig. 5 (a)]에서 절단 선분 중 한 점의 투영위치가 절단 대상 내부에 있기 때문에 부적합하다. 반면에 [Fig. 5 (b)]에 나타나는 2D 절단 선분들의 시작점과 끝점은 유효하다.



[Fig. 5] Validity of cutting plane

3.2 교차관계와 교차점의 계산

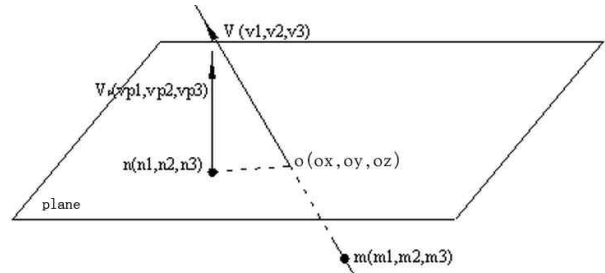
절단 평면을 기준으로 메쉬를 양분할 경우에는 절단 평면과 교차되는 경계점들을 계산한 다음 삼각형 메쉬를 재구성하여야 한다. 먼저 삼각형 메쉬의 정점들이 절단 평면에 의해 양분되는지의 여부는 교차관계를 계산함으로써 알 수 있다. 예를 들어, [Fig. 6]에서 Cube를 구성하는 삼각형 메쉬 Δamv 는 절단 평면에 의해 양분되어지는데, 절단 평면의 방정식이 $Ax+By+Cz+d=0$ 이라고 할 때 메쉬의 세 정점 a, m, v의 좌표를 평면의 방정식에 대입하여 교차 관계를 알 수 있다.



[Fig. 6] Cross points

절단면에서 새로운 메쉬 형상을 만들어 주기 위해서는 기존 폴리곤 형상을 구성하는 메쉬들과 절단 평면 간의 교차점을 구하여야 한다. 예를 들어, 위 [Fig. 6]에서 두 교차점 g, o 는, 절단 평면과 메쉬를 구성하는 세 선분의 해를 이용하여 구할 수 있다.

구체적으로 [Fig. 7]에서 보이는 바와 같이, 정점 $m(m_1, m_2, m_3)$ 을 지나는 직선의 방향벡터가 $v(v_1, v_2, v_3)$ 라고 하고 절단 평면의 법선 벡터가 $Vp(vp_1, vp_2, vp_3)$ 이며, 점 $n(n_1, n_2, n_3)$ 는 평면위에 있다고 할 때, 교차점 O의 좌표(O_x, O_y, O_z)는 다음과 같은 과정으로 구할 수 있다.



[Fig. 7] Linear and planar intersection points

$$O_x = m_1 + v_1 * t \tag{1}$$

$$O_y = m_2 + v_2 * t$$

$$O_z = m_3 + v_3 * t$$

또한 이때의 평면방정식은 다음과 같이 된다.

$$vp_1 * (x - n_1) + vp_2 * (y - n_2) + vp_3 * (z - n_3) = 0 \tag{2}$$

그러므로 직선과 절단 평면의 교차점은 식(1), (2)를 동시에 만족할 것이기 때문에 t는 다음과 같이 구해진다.

$$t = \frac{(n_1 - m_1) * vp_1 + (n_2 - m_2) * vp_2 + (n_3 - m_3) * vp_3}{vp_1 * v_1 + vp_2 * v_2 + vp_3 * v_3} \tag{3}$$

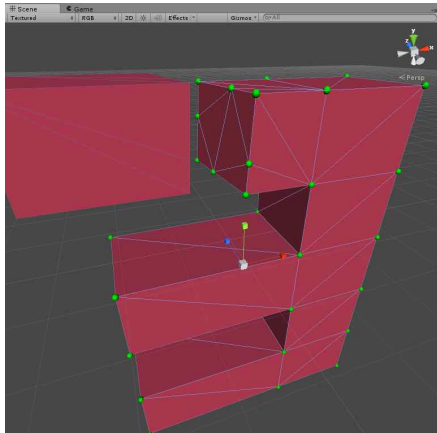
t가 구해지면, 식(1)을 이용하여 교차점 O의 좌표를 얻을 수 있다. 이 좌표가 메쉬 분열에 사용될 새로운 메쉬 정점이 된다.

절단 작업이 이루어지면 원래의 폴리곤 모델은 두 개의 객체로 분리되고, 절단면이 두 객체에 마주보는 형태로 새로이 형성되어 지게 된다. 이러한 작업을 진행하기 위해 절단 평면과 중첩되는 교차점들은 해당 객체들의 절단 표면의 테두리를 형성하게 되는데, 두 면이 생기게 되므로 두 개의 버텍스 리스트에 복제하여 저장한다. 또한 두 절단면 중 하나의 법선은 절단 평면의 법선과 일치하며, 또 다른 하나는 그것과 상반되어진다.

3.3 절단 평면에서의 메쉬 분열

폴리곤 모델의 삼각형 중 절단 평면과 교차하는 것들은 대부분 삼각형 하나와 사각형 하나로 분리 되어진다. 이 경우, 사각형은 다시 삼각형으로 분열하여 삼각형으

로만 이루어진 메쉬 형상을 유지할 수 있다. 만일 절단 평면이 삼각형 메쉬의 한 정점과 교차하여 절단이 진행될 경우에는 삼각형 메쉬가 두 개의 삼각형으로만 분리되어 지는데, 이것은 매우 발생하기 어려운 특수한 경우에 해당한다고 볼 수 있다.



[Fig. 8] Triangular mesh division on the cut surface

절단면 상에 있는 교차점으로 이루어진 다변형은 필요시에 여러 개의 삼각형으로 분열시켜서 절단면을 완성시킬 수 있다. 이 과정은 다음과 같이 이루어진다. 다변형에서 연속으로 된 세 개의 정점을 뽑아낸 후 하나의 삼각형을 구성하고, 다변형에서 이 삼각형을 제외시킨 후 그 다음 삼각형을 다시 뽑아내는 과정을 반복한다. 이러한 과정을 거칠 경우, 정점의 개수가 n 개라 할 경우, $n-2$ 개의 삼각형이 새로이 생성되어 진다.

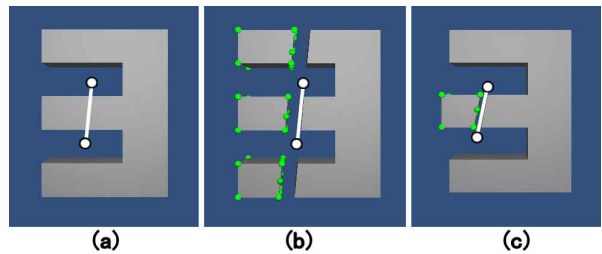
3.4 장면관리자에 등록

폴리곤 모델이 절단되면 두 개의 객체로 분리되어진다. 이 과정은 절단 대상 객체를 두 개로 복제(Clone)한 후에, 절단면을 기준으로 각각 반대 편의 폴리곤 데이터를 삭제함으로써 진행할 수 있다.

절단 작업에서 마지막으로 고려할 사항은 분리된 두 객체를 장면관리자 (Scene Manager)에 등록하는 것이다. 이것은 원 절단 대상 객체의 위치 정보와 줌(Zoom) 정보, 회전각도 및 계층 등의 베이스 정보를 참조하여 복제된 객체에 설정해 줌으로써 할 수 있다. 그리고 충돌 감지기(Collider)를 부착하여 줌으로써 절단 후 생성된 객체들에 대해서 연속적으로 모의 절단이 진행될 수 있도록 한다.

한다.

위와 같은 절단 과정을 Unity 게임 엔진에 구현하여 부분 절단 기법을 적용하면, [Fig. 10]에서 보이는 바와 같이 국부 면적 내에서만 절단 작업을 행할 수 있음을 확인할 수 있었다. [Fig. 9]의 (a)는 절단하고자 하는 객체와 절단 경로를 표시한 것이며, (b)는 지정한 절단 선분을 기준으로 무한 절단 평면을 생성하여 절단한 결과이며, (c)는 지정한 범위 내에서만 절단 작업을 실시한 부분 절단 결과이다.



[Fig. 9] (a)Cutting path (b)The result of cutting with an infinite plane (c)Partial cutting result.

4. 적용 예제: 원자로의 가상 해체 작업

본 연구에서 구현한 부분 절단 기법의 유용성을 보이기 위해, 조금 더 큰 시스템에 적용하여 보았다. 최근 가동 수명을 다한 원자로의 해체 작업은 사회적 이슈로 대두되고 있는데, 작업의 난이도와 방사능 유출 사고가 발생할 수 있는 특수한 상황으로 말미암아 정교하게 제작된 원자로의 모형에 대해 작업자가 사전에 해체작업에 모의 훈련하는 것이 필요하다.

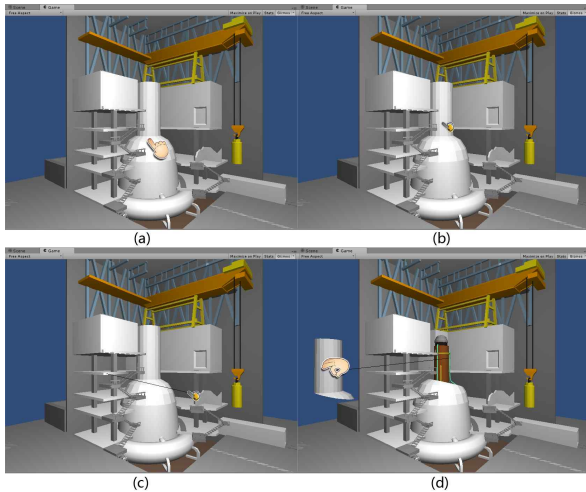
[Fig. 10]와 [Fig. 11]은 일본 후쿠시마 원자력 발전소 4호의 원자로 유닛을 3dsMax로 제작한 것을 유니티로 импорт한 후에, 본 연구의 절단 모듈을 이용하여 절단하는 과정을 보이고 있다.

[Fig. 10]에서 (a)는 사용자가 원자로 내부 시설 중 절단할 대상을 선택한 것이며, (b)(c)는 마우스를 이용하여 절단 경로를 지정한 것이다. 모의 절단이 진행되면, (d)에서 보이는 바와 같이 마우스 우측 버튼을 눌러서 절단된 모형을 드래그 이동할 수 있다.

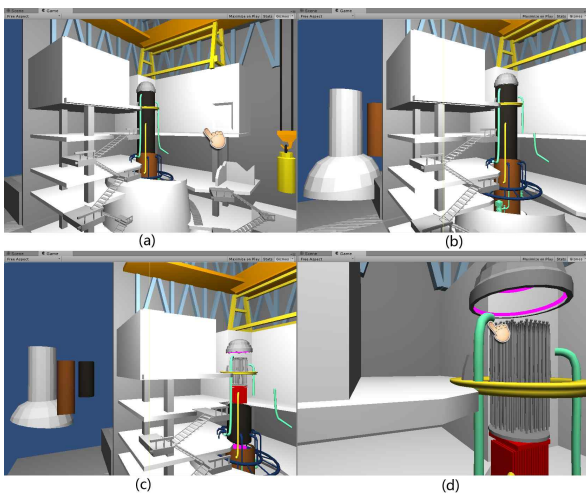
[Fig. 11]은 격납고 안에 있는 원자로 내부 시설을 해체하는 작업에 계속 적용될 수 있음을 보여주고 있다. 원

자로 격납용기를 제거한 모습은 (a)에 나타나 있으며, (b) 내부 냉각 파이프의 절단, (c) 노심 절단 등의 작업을 계속하여, 연료봉의 모습이 보이는 것을 확인할 수 있었다.

향후, 원자로 해체 작업 시나리오와 결부하여, 제작한 절단 모듈을 이용하여 해체 과정을 사전에 모의 훈련할 수 있을 것으로 기대된다.



[Fig. 10] Cutting the secondary concrete barriers of reactor: (a)Marking a cutting line, (b)Partial cutting mode, (c)Specifying a cutting plane, (d)Drag and movement of the cut object.



[Fig. 11] Cutting the reactor inside facility: (a) Removing the reactor containment vessel, (b) Cutting of the reactor cooling pipe, (c) Cutting of the reactor core, (d) Cutting of the fuel rod module.

5. 결론

본 논문에서는 3D형상 모델을 부분적으로 절단 할 수 있는 방법을 제시하였다. 부분 절단을 적용하기 위해 유한한 크기의 절단면을 지정하고, BSP-Tree로 관리되는 3D 형상 모델 데이터를 유한한 절단 평면을 기준으로 분리하도록 구현하였다. 이 과정에서 절단 면에 생성되는 새로운 꼭지점을 기준으로 삼각형 메쉬를 생성해주도록 하였다. 구현한 절단 모듈은 3dsMax를 이용하여 제작한 원자로 폴리곤 모델에 대해 절단 작업이 잘 진행됨을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 구현한 절단 모듈은 유한한 사각형 평면을 기준으로 절단 작업이 수행되며, 수행 속도도 빨라서 게임과 같은 응용 분야에 실시간적으로 적용될 수 있다. 앞으로 다양한 다변형의 절단 평면에 대해서도 절단 작업이 이루어지도록 확장하는 것은 향후 개선되어야 할 부분이다.

최근에 각광받고 있는 3D 프린팅 분야를 비롯한 3D 관련 연구는 앞으로 학계와 산업계에서 더욱 주목받을 것으로 예측된다. 본 연구에서 개발한 절단 기법은 향후 기능성게임, 공학용 시뮬레이션 분야 등에 유용하게 사용 될 수 있을 것으로 전망된다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the research grant of the Kongju National University in 2014.

REFERENCES

- [1] Kaufman, A., D. Cohen, and R. Yagel, Volume graphics. IEEE Computer, Vol. 26, No. 7, pp. 51-64, 1993.
- [2] GameWorks PhysX Overview, <https://developer.nvidia.com/gameworks-physx-overview>
- [3] Havok, <http://www.havok.com/>
- [4] S. H. Kim, Development of Simulator for Rockfall and Landslide using Physical Engine, Jour. of KoCon.a, Vol. 9, No. 9, pp. 60-67, 2009.

[5] B. Kapralos, C. Johnston, K. Finney, and A. Dubrowski, A Serious Game for Training Health Care Providers in Interprofessional Care of Critically-Ill and Chronic Care Patients, *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, Vol. 3, No. 4, pp. 273-281, 2011.

[6] Gering, D.T., A system for surgical planning and guidance using image fusion and interventional MR. Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Massachusetts Institute of Technology, 1999.

[7] Visualization ToolKit, <http://www.vtk.org/>

[8] Open CASCADE Technology, 3D modeling & numerical simulation, <http://www.opencascade.org/>

[9] Elvins, T.T., A survey of algorithms for volume visualization. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, Vol. 26, No. 3, pp. 194-201, 1992.

[10] Weiskopf, D., K. Engel, and T. Ertl, Interactive clipping techniques for texture-based volume visualization and volume shading. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 9, No. 3, pp. 298-312, 2003.

[11] Peng J L, Kim C S, Kuo C C J. Technologies for 3D Mesh Compression: A Survey, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 16, No.6, pp. 688-733. 2005.

[12] Unity, <http://unity3d.com/>

[13] Turbo Slicer Guide, <http://www.noblemuffins.com/files/turboSlicerGuide.pdf>

[14] John Ratcliff's Code Suppository, <http://codesuppository.blogspot.kr/2006/03/plane-triangle-splitting.html>

[15] Viet, H.Q.H., T. Kamada, and H.T. Tanaka, An Algorithm for Cutting 3D Surface Meshes. *Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06)*, Vol. 4, pp. 762-765, 2006.

이 완 복(Lee, Wan Bok)



- 2004년 2월 : KAIST전자전산학과 전기 및 전자공학 전공(공학박사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 게임디자인학과 교수
- 관심분야 : 게임엔진, 시뮬레이션, 이산사건시스템
- E-Mail : wblee@kongju.ac.kr

학 문 원(Hao, Wen Yuan)



- 2012년 2월 : 공주대학교 게임디자인학과 학사
- 2014년 8월 : 공주대학교 게임디자인학과 석사 졸업
- 관심분야 : 게임제작
- E-Mail : hak87@kongju.ac.kr

경 병 표(Kyung, Byung Pyo)



- 1994년 3월 : 일본 큐슈예술공과대학 예술공학과 정보전달전공 (예술공학석사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 게임디자인학과 교수
- 관심분야 : 게임디자인, 컴퓨터그래픽, 멀티미디어
- E-Mail : kyungbp@kongju.ac.kr

유 석 호 (Ryu, Seuc Ho)



- 1994년 8월 : 뉴욕공대 커뮤니케이션아트 졸업
- 2003년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 게임디자인학과 교수
- 관심분야 : 게임그래픽디자인, 멀티미디어
- E-Mail : seanryu@kongju.ac.kr