한국 CAD/CAM 학회 논문집
제 3 권 제 3 호 1998년 9월 pp. 154-160

학술논문

Open Inventor에 기초한 비다양체 모델링 자료구조

박상호*, 이호영**, 변문현***

Non-manifold Modeling Data Structure Based on Open Inventor

Sangho Park*, H. Y. Lee** and M. H. Byun***

ABSTRACT

In this study, we implement the prototype modeler with non-manifold data structure using Open Inventor. In these days, Open Inventor is a popular tool for computer graphics applications, even though Open Inventor could not store topological information including a non-manifold data structure which can represent an incomplete three dimensional shape such as a wireframe and a dangling surface during designing. Using Open Inventor, our modeler can handle a non-manifold model whose data structure is based on the radial edge data structure. A model editor is also implemented as an application which can construct a non-manifold model from two dimensional editing.

Key words : Open Inventor, Non-manifold, CAD, Topology, Euler operator

1. 서 론

기하학적 형상 모델링 시스템(geometric modeling system)은 CAD/CAM 시스템의 중심을 이루는 부분으로, 와이어프레임(wireframe)으로부터 곡면(surface) 모델로 그리고 솔리드(solid) 모델러[1]로 진화해 왔다. 솔리드 모델러를 설계에 사용하고자 하는 시도가 있으나 아직 만족할 만한 성과를 얻지 못하고 있다. 그것은 기존의 솔리드 모델이 설계가 완성된 후의 최종 결과 형상만을 표현할 수 있을 뿐, 설계 과정 중에 나타나는 불완전한 입체형상을 표현할 수가 없으며, 설계 과정 중의 설계자의 의도를 포함하지 못하기 때문이다. 또한 엔지니어링 해석을 위해서는 솔리드 대신보다 축약된 형태의 모델이 필요한데, 기존의 솔리드 모델러들은 이것을 지원할 수 없다. 이러한 한계점을 해결하기 위해 제안된 것이 비다양체(non-manifold) 모델러이다[2]. 이러한 비다양체 모델을 표현하는데 충분하면서도 효과적인 위상요소들을 창안해 내고, 이들간의 인접관계를 저장할 수 있는 자료구조를 개발하는 연구가 진행되어 왔다[2].

또한 현재 모델링 시스템을 구성함에 있어서 사용자 인터페이스의 편의성을 도모하기 위하여 여러 가지 그래픽 라이브러리를 사용하고 있다. 이중에서 현재 가장 많이 주목을 받고 있는 것이 Open Inventor 그래픽 라이브러리 툴킷[4]으로 많은 사람들이 사용하고 있다.

본 논문에서는 비다양체 자료구조를 구현함에 있어서 Open Inventor를 이용함으로써 Open Inventor의 모든 자료구조와 기능들을 사용 할 수가 있고 사용이 편리한 GUI 기능을 모두 사용할 수가 있으며, 구현된 자료구조는 Open Inventor 사용자들에게 제공될 수 있을 것이다. 그리고 모델링 시스템의 구현은 SGI Workstation상에서 C++ 언어를 이용하였다.

2. Open Inventor

2.1 Open Inventor

Open Inventor는 Open GL을 기반으로 한 객체지향 3차원 툴킷으로 그래픽 프로그래머들과 개발자들이 사용하고 있다. Open Inventor 툴킷은 3D Scene database, Node kits, Manipulators 그리고 Component Library로 크게 3부분으로 구성되어 있다[4].

*종신회원, 충남대학교 기계설계공학과 조교수
**한국전자통신연구원
***종신회원, 충남대학교 명예교수

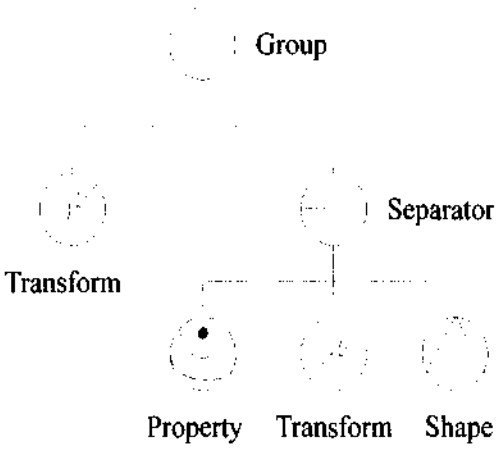


Fig. 1. Example of scene graph.

3D Scene database는 3D Scene을 구성하기 위한 shape, property, group, engine 그리고 sensor로 구성되어 있으며, Node kits은 Inventor의 node들을 하나로 묶어서 Scene Graph구성을 편리하게 해주는 것이다. Manipulators는 Scene Graph안의 오브젝트들을 직접적으로 관리할 수 있는 도구를 제공하고, Component Library는 Xt를 위한 render area, material editor, viewers 그리고 utility functions들을 제공한다.

2.2 Open Inventor의 특성

Open Inventor의 중요한 특징중에 하나는 Scene Graph이다. Scene Graph를 구성함으로써 모델을 디스플레이 시키거나 특성을 바꾸거나 하는 작업을 할 수 있다. Fig. 1은 Scene Graph의 예를 보여준다. Fig. 1에서 보는 것과 같이 Scene Graph의 최상위에는 Group이나 Separator 또는 Selection node가 오며, 그 밑으로 그래프 형태로 여러 가지 node들을 추가하여 Scene Graph를 구성하게 된다. Transform node는 오브젝트의 이동이나 회전 또는 크기정보를 가지고 있는 node이며, Separator나 Group node는 여러 개의 node를 하나로 묶어 주는 역할을 한다. Property node는 오브젝트의 질감이나 색깔 등에 관한 정보를 저장하며, Shape node는 오브젝트의 종류, 즉 Primitive, 곡면, 선, 점 등을 어떤 shape인지 저장하고 그에 따른 저장값을 저장하는 node이다.

3. 비다양체 자료구조

3.1 자료구조의 구성

본 논문의 자료구조는 Weiler의 Radial-edge 자료구조를 기반으로 하여 구성하였으며, Radial-edge 자료구조에서 사용하였던 LoopUse를 사용하지 않고, 꼭지점에서의 인접관계를 나타내는 디스크 위상요소를 추가하여 구성하였다.

기본적인 위상요소로는 다른 자료구조들과 동일한 오브젝트, 영역, 쉘, 루프, 면, 모서리, 꼭지점을 사용하였고, 이들간의 비다양체적인 요소들을 연결하는 추가적인 위상요소로는 가상면, 가상꼭지점, 가상모서리, 디스크를 사용하여 자료구조를 구성하였으며 추가적인 위상요소에 대한 설명은 다음과 같다.

3.1.1 가상면(Virtual face)

비다양체 모델인 경우 면은 두 개의 영역에 대한 경계역할을 해야 한다. 가상면은 면과 영역간의 인접관계를 나타내기 위하여 도입한 요소로서 이들이 모여서 하나의 쉘을 이룬다. 일반적으로 면에는 가상면에 대한 포인터를 가지고 있어서 그 면에 해당하는 가상면을 찾을 수가 있다. 가상면에서 면을 가리키는 포인터를 가지고 있으며 같은 면을 공유하는 다른 가상면에 대한 포인터를 가지고 있다. 이것을 mate로 정의하고 각각의 가상면은 서로의 mate에 대한 포인터를 가지게 된다. 가상면의 방향은 영역의 안쪽 면을 향하도록 되어 있다. 가상면은 루프에 대한 포인터를 가지고 있다. Fig. 2는 가상면과 면과의 관계를 나타내고 있다.

3.1.2 가상모서리(Virtual edge)

가상모서리는 모서리와 루프와의 인접관계를 나타내기 위해서 도입한 방향성을 갖는 위상 요소이다. 루프는 가상모서리들이 모여서 이루어진다. 가상모서리는 보통하나의 모서리와 하나의 디스크로 이루어진다. 가상모서리의 방향은 디스크의 위치에 따

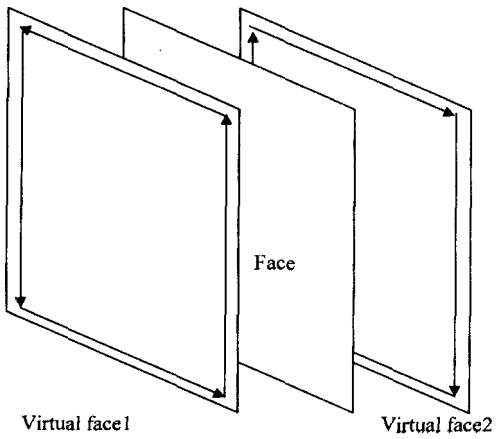


Fig. 2. Virtual faces around a face.

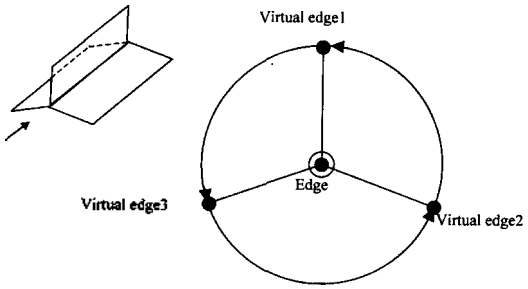


Fig. 3. Virtual edges around a edge.

라 결정된다. 여기서 가상모서리의 방향은 루프의 방향과 일치하며, 루프내에 차례로 정렬되어 있다. 이러한 정렬은 루프 사이클을 의미한다. 만일 고립된 꼭지점이 하나의 루프를 형성하는 경우에는 자료구조의 통일성을 위해 루프가 가상모서리 리스트를 가리키는 포인터 대신에 가상꼭지점에 대한 포인터를 갖게 된다.

한편 어느 한 모서리를 중심으로 살펴보면, Fig. 3에서 나타난 것과 같이 가상모서리는 모서리에 대해서 인접한 면들의 개수만큼 나타난다. 이때 모서리들의 둘레에 있는 가상모서리들은 모서리의 방향에 대해 오른손 법칙에 따라 순서로 정렬되어 있다. 이 정렬은 앞에서 말한 모서리에서의 방사형 순환을 나타낸다. 실제로 자료구조에서 가상모서리는 2가지의 링크를 가지고 있다. 그 하나는 루프 내에서의 앞뒤 가상모서리의 포인터와 모서리의 방사형 순환에서의 앞 뒤 가상모서리에 대한 포인터들이다.

다양체 모델인 경우에 이 가상모서리는 한 모서리에 대해서 항상 두 개가 존재하지만 비다양체 상황인 경우에는 임의의 개수가 존재한다. 본 자료구조에서는 한 모서리에 대해서 임의 개수의 가상 모서리가 존재할 수 있으며 이로 말미암아 모서리에서의 비다양체적인 상황을 표현할 수 있다.

3.1.3 가상꼭지점(Virtual vertex)

가상꼭지점은 꼭지점에 복수개의 영역이나 와이어프레임 모서리가 인접해 있는 비다양체적인 상황을 지원하기 위해서 도입되었다. Fig. 4에 나타난 것과 같이, 가상 꼭지점은 꼭지점에 인접하면서 연결된 각각의 영역에 대해서 하나씩 만들어져 있다. 다양체 솔리드인 경우에는 각 꼭지점들이 두 개의 가상꼭지점만을 가지며, 비다양체적인 상황에서는 하나 또는 두 개 이상의 가상꼭지점들을 갖게 된다. 가상꼭지점은 자신이 속한 꼭지점과 하나의 디스크에 대한 포인터를 저장하고 있다.

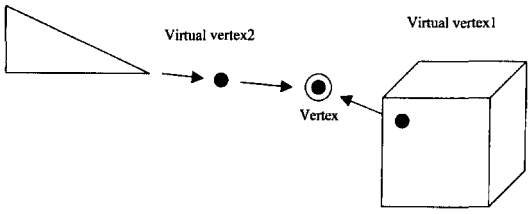


Fig. 4. Virtual vertices around a vertex.

3.1.4 디스크(Disk)

디스크는 꼭지점에서의 인접관계를 명확하게 표현하기 위하여 도입한 위상 요소이다. 디스크는 가상모서리에 대한 포인터와 가상꼭지점에 대한 포인터를 가지고 있다. 이 디스크 정보를 가짐으로써 꼭지점에서의 모서리들의 순환인 디스크순환에 대한 정보를 명확하게 표현할 수 있게 된다. Fig. 5는 디스크에 대한 그림을 보여준다.

Fig. 6은 자료구조의 개념도를 나타낸다. Fig. 7은

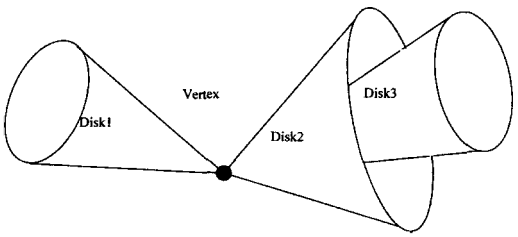


Fig. 5. Disks around a vertex.

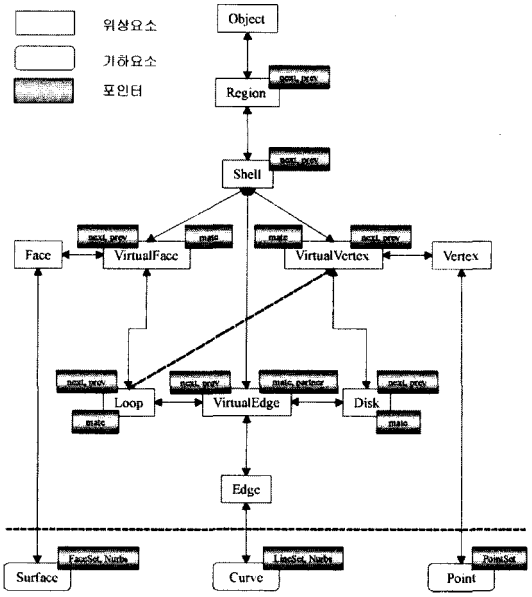


Fig. 6. The concept of data structure.

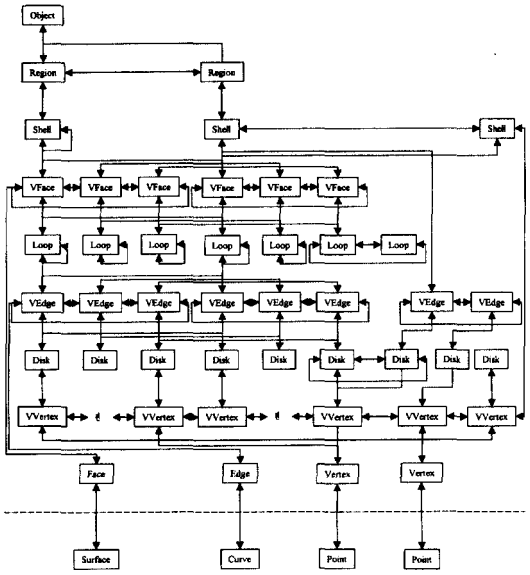


Fig. 7. The diagram of data structure.

위상요소들을 이용하여 일반적으로 연결될 수 있는 연결관계를 도식적으로 나타낸 그림이다.

3.2 클래스 구현 및 Open Inventor와의 연결

위상요소들은 Open Inventor의 기능과 특성을 사용할 수 있도록 하기 위하여 Open Inventor의 클래스들로부터 계승받아서 구성하였다. 또한 대부분의 위상요소들이 가지고 있는 정보인 next와 previous에 대한 정보를 가진 topology란 이름의 클래스를 구성하여 이 정보를 가지고 있는 위상요소를 구성함에 있어서 topology 클래스로부터 계승받아서 구성함으로써 여러 개의 위상 클래스에 여러 번 정의하는 번거로움을 줄일 수 있도록 하였다. Fig. 8은 본 논문의 자료구조를 구성함에 있어서 사용되는 클래스와 위상요소 클래스들 간의 계승구조를 나타내는 그림이

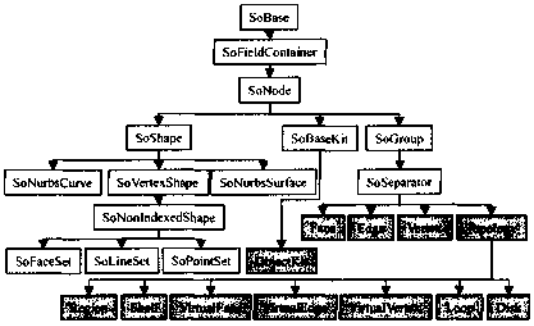


Fig. 8. The hierarchy of Open Inventor class.

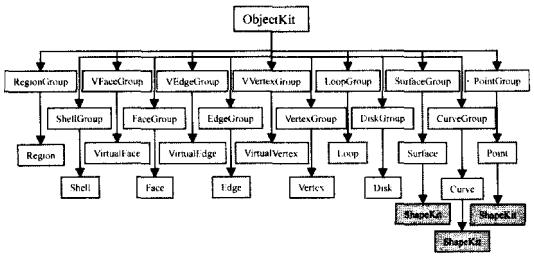


Fig. 9. The diagram of ObjectKit class.

다. Fig. 8에서 보는 것과 같이 가장 기본이 되는 클래스는 SoBase이다[5,6].

최상위 위상요소인 오브젝트는 SoBaseKit으로부터 계승받아서 NodeKit 형태로 구성하여 모든 위상요소와 연결할 수 있도록 하였다. Fig. 9는 최상위 요소인 오브젝트의 구성을 보여준다. Fig. 9에서 보는 것과 같이 오브젝트는 다른 모든 위상요소들을 저장할 수 있는 저장소를 Separator로 구성하였으며, 위상요소는 생성되는 순서대로 각각의 저장소에 저장되게 된다.

이와 같이 Open Inventor의 클래스로 위상요소를 구성하면 Open Inventor의 여러 가지 기능을 모두 활용할 수가 있으며, Scene Graph에 이와 같은 위상요소들을 넣어 줌으로써 파일로 입출력하기 어려운 위상요소들의 관계를 파일로 입출력할 수 있게 된다.

4. 모델링 시스템

4.1 오일러 연산자 및 모델 편집기

본 논문에서 구성된 자료구조에 맞는 오일러 연산자를 구성하고 이를 이용하여 모델 편집기를 구성하였다.

오일러 연산의 구성은 Yamaguchi가 제안한 오일러 공식을 이용하여 구성하였다. 오일러 공식은 다음과 같다[7].

$$v-e+f-l=S-C+R \qquad (1)$$

여기서 v는 꼭지점의 개수, e는 모서리의 개수, f는 면의 개수, l은 안쪽 루프의 개수이며, S는 쉘의 개수, C는 한 점으로 압축되지 않는 사이클의 개수이고, R은 영역의 개수이다.

비다양체 모델에 대한 오일러 공식인 식(1)은 7개의 변수로 구성되어 있으므로 벡터공간(v, e, f, l, S, C, R)을 생각하면, 독립적인 기저 벡터는 6개이다. 따라서 비다양체 모델에서 이론적으로 필요한 최소

Table 1. Topological operators

	Name	Description	v e f l S C R
Basic Euler Operators	Mvs (Kvs)	Make (Kill) vertex, shell	1 0 0 0 1 0 0
	Mev (Kev)	Make (Kill) edge, vertex	1 1 0 0 0 0 0
	Mec (Kec)	Make (Kill) edge, cycle	0 1 0 0 0 1 0
	MfKc (KfMc)	Make (Kill) face Kill (Make) cycle	0 0 1 0 0 -1 0
	Mfr (Kfr)	Make (Kill) face, region	0 0 1 0 0 0 1
	Mvl (Kvl)	Make (Kill) vertex, loop	1 0 0 1 0 0 0
Additional Topological Operators	Mor (Kor)	Make (Kill) object, region	

한의 오일러 작업은 역작업을 포함해서 총 12개가 된다. 또한 최초에 오브젝트와 무한대 영역을 생성시키는 위상 연산을 추가하였다. Table 1은 구성한 오일러 연산자의 이름과 역할을 표로 만들어서 나타낸 것이다. Table 1에서 보는 것과 같이 기본적인 오일러 연산자 6쌍과 위상연산자 1쌍으로 구성되어 있다.

위에서 구성된 오일러 연산자들의 조합으로 모델을 만드는 모델 편집기를 구현하였다. 모델 편집기는 Cross-section, Axe 그리고 Display의 3개의 창으로 구성되어 있다. Cross-section창은 모델의 단면을 편집하는 창이고, Axe창은 Cross-section창에서 구성된 단면을 이용하여 모델을 생성할 때 모델이 생성되는 방향을 편집하는 창이다. Display창은 생성된 모델을 디스플레이 하는 창이다. Fig. 10은 모델편집기의 초기화면을 나타낸다.

4.2 시스템의 구성

Fig. 11은 모델러 전체의 시스템 구성을 보여준다. 여기서 Modeler의 Application operation부분이 모델 편집기에 해당하고 Database의 Non-manifold 부분이

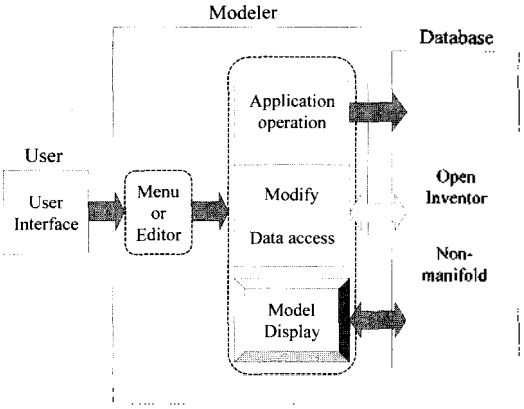


Fig. 11. The architecture of modeling system.

본 논문에서 구성한 자료구조에 해당한다. 또한 모델 편집기 안에 오일러 연산자가 포함되게 된다. 비다양체 자료구조는 Open Inventor의 자료구조에 완전하게 포함되어 Open Inventor의 다른 자료구조들과 연계성을 가질 수 있다. Fig. 12는 전체 모델링 시스템의 화면을 나타낸다.

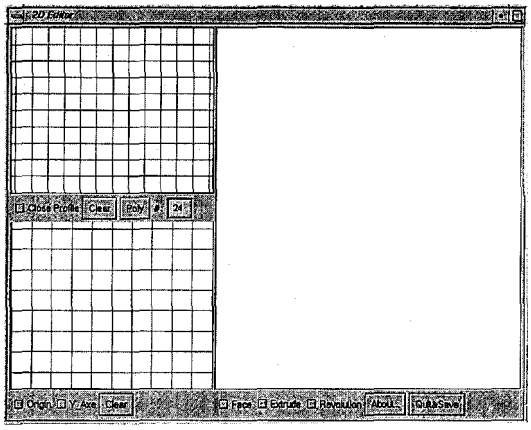


Fig. 10. The initial window of model editor.

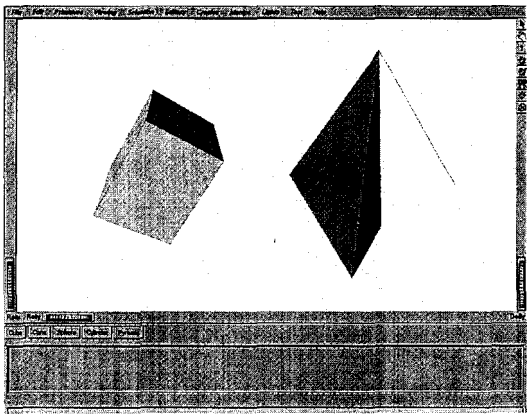


Fig. 12. The window of modeling system.

5. 적용사례

다음은 본 논문에서 구현한 자료구조와 오일러 연산으로 구성한 모델 편집기를 이용하여 모델링하여

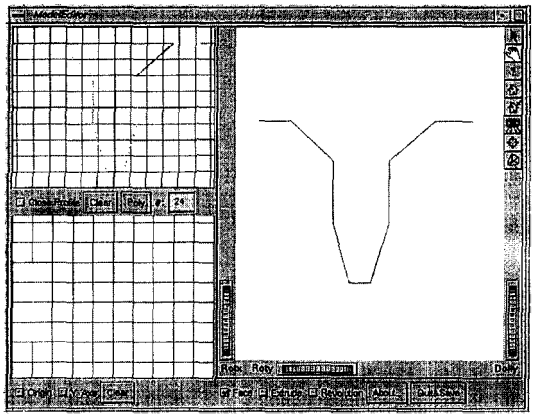


Fig. 13. A line model.

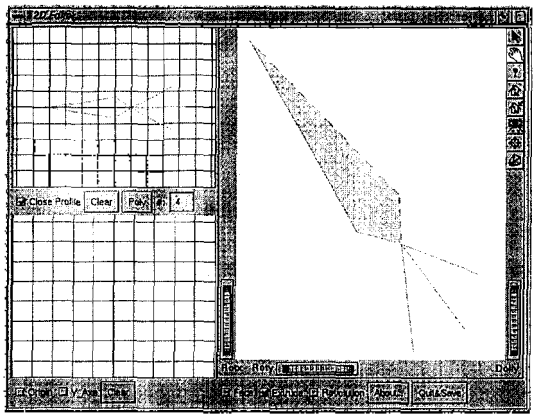


Fig. 14. A non-manifold model of a disk cycle.

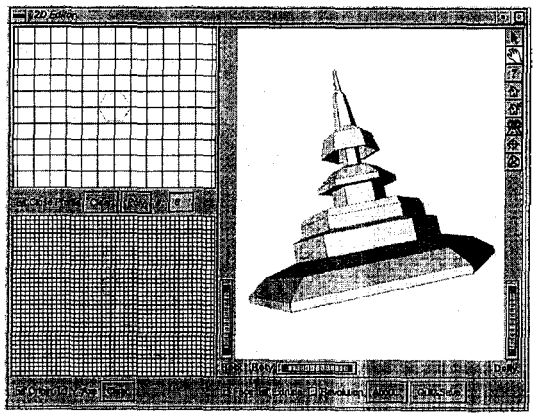


Fig. 15. A tower model.

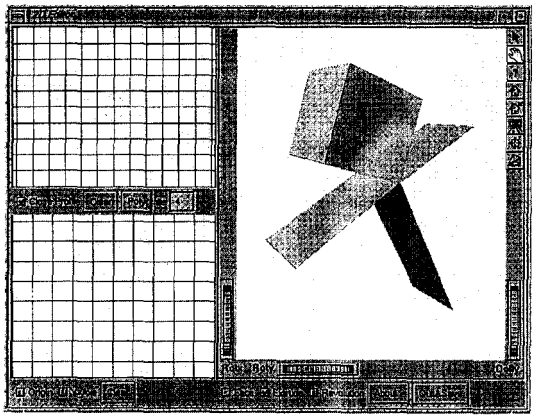


Fig. 16. A non-manifold model of a radial cycle.

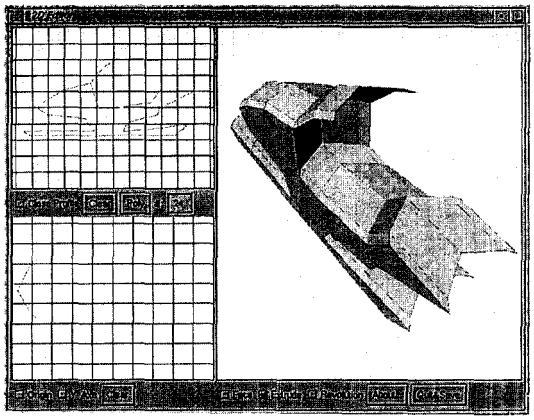


Fig. 17. A non-manifold model.

본 결과이다.

Fig. 13은 Axe창의 그래프는 이용하지 않고 Cross-section 그래프만을 이용하여 그리는 모양과 같게 모델링한 것이다. Fig. 14는 2차원 요소인 면과 1차원 요소인 선이 같이 모델링 된 상태를 보여준다. Fig. 15는 육각형 단면과 Axe 그래프를 이용하여 탑 모양을 모델링한 예로 솔리드 모델을 나타낸다. Fig. 16은과 Fig. 17은 솔리드의 한 모서리에 돌출 면들이 붙어 있는 비다양체 모델의 예이다.

6. 결 론

본 논문에서는 Open Inventor의 자료구조와 연계할 수 있도록 자료구조를 구성하고 C++ 언어와 Open Inventor를 이용하여 오일러 연산과 모델 편집기를 구현하였다.

이러한 방법의 적용으로 다음과 같은 결론을 얻

었다.

1) 자료구조를 Open Inventor의 클래스로부터 계승받아서 구성함으로써 파일로 입출력하기가 어려운 위상관계를 Open Inventor에서 제공되는 기본 입출력을 이용하여 손쉽게 할 수 있었다.

2) 모든 위상요소 클래스들을 node로 만들어서 Scene Graph의 구성이 용이하였다.

3) 비다양체 모델링을 하는 데 충분한 오일러 연산을 구현하였다.

4) 오일러 연산의 조합으로 편집기를 구성하여 다양체 솔리드와 비다양체 모델을 손쉽게 만들 수 있다.

5) 모델링할 때 모델의 변화를 바로 볼 수 있어서 사용자가 원하는 모델로 모델링하기가 쉽다.

참고문헌

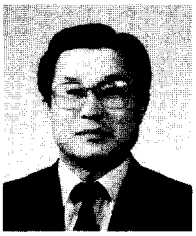
1. 오익수, 솔리드 모델러를 기반으로 한 특징형상 모델링 시스템 개발에 관한 연구, 박사학위 논문, 충남대학교, 1996.
2. Weiler, K., "Topological Structures for Geometric Modeling", PHD. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, August 1986.
3. 이상헌, 사출성형제품의 설계 및 해석의 통합환경을 제공하기 위한 특징형상 기반 비다양체 모델링 시스템의 개발, 박사학위 논문, 서울대학교, 1993.
4. Josie Wernecke, "The Inventor Mentor", Silicon graphics, 1994.
5. Josie Wernecke, "Open Inventor C++ Reference Manual", Silicon graphics, 1994.
6. Josie Wernecke, "The Inventor Toolmaker", Silicon graphics, 1994.
7. 명세현, 복합다양체 자료구조를 갖는 형상모델러에서 오일러 작업자의 구현, 석사학위 논문, 한국과학기술원, 1995.

박 상 호

1988년 서울대학교 기계설계학과 학사
1990년 서울대학교 기계설계학과 석사
1995년 서울대학교 기계설계학과 박사
1995년 ~ 1998년 한국 전자통신 연구원 선임연구원
1998년 ~ 현재 충남대학교 기계설계공학과 조교수
관심분야 : 가상 공학, 컴퓨터 그래픽스, 솔리드 모델링, CAD

이 호 영

1996년 충남대학교 기계설계 공학과 학사
1998년 충남대학교 기계설계 공학과 석사
1998년 ~ 현재 한국전자통신 연구원 위촉 연구원
관심분야 : CAD/CAM, 솔리드 모델링, Virtual reality, CALS



변 문 현

1957년 서울대학교 기계공학과 공학사
1959년 서울대학교 대학원 기계공학과 공학석사
1986년 일본 동경대학 정밀기계공학과 공학박사
1975년 ~ 1998년 충남대학교 기계설계공학과 교수
1998년 ~ 현재 충남대학교 명예교수
관심분야 : 자유곡면을 갖는 입체 형상 모델링 및 그의 절삭가공, CIM