한국 CAD/CAM 학회 논문집
제5권 제4호 2000년 12월 pp. 293-300

학술논문

선택저장 자료구조를 이용한 복합다양체 모델의 불리언 작업

유병현*, 한순흥**

Boolean Operation of Non-manifold Model with the Data Structure of Selective Storage

Yoo, B. H.* and Han, S. H.**

ABSTRACT

The non-manifold geometric modeling technique is to improve design process and to integrate design, analysis, and manufacturing by handling mixture of wireframe model, surface model, and solid model in a single data structure. For the non-manifold geometric modeling, Euler operators and other high level modeling methods are necessary. Boolean operation is one of the representative modeling method for the non-manifold geometric modeling. This thesis studies Boolean operations of non-manifold model with the data structure of selective storage. The data structure of selective storage is improved non-manifold data structure in that existing non-manifold data structures using ordered topological representation method always store non-manifold information even if edges and vertices are in the manifold situation. To implement Boolean operations for non-manifold model, intersection algorithm for topological cells of three different dimensions, merging and selection algorithm for three dimensional model, and Open Inventor(tm), a 3D toolkit from SGI, are used.

Key words : Non-manifold modeling, Solid modeling, Euler operations, Boolean operations, Intersection, Boundary representation

1. 서 론

복합다양체 모델러를 이용하여 모델을 생성하고 조작하는 방법은 경계표현 방식의 위상 요소의 수준에서 모델의 위상과 형상을 생성하고 수정하는 방법, Sweep 작업을 이용하는 방법, 그리고 불리언 작업을 이용하는 방법으로 요약할 수 있다[1].

위의 세 가지 방법 중에서 복잡한 모델을 형성하기 위하여는 비교적 단순한 모델을 먼저 생성한 후 이들간의 불리언 작업을 통하여 원하는 모델을 얻는 것이 용이하고 모델링 작업에 소요되는 시간도 단축할 수 있어, 불리언 작업을 이용한 모델링 방법이 강력한 모델링 방법으로 손꼽히고 있다. 또한 복합다양체 모델러에서는 서로 다른 차원의 모델 사이의 불리언 작업이 가능하고, 불리언 작업이 복합다양체에 대하여 닫혀있기 때문에 불리언 작업이 효과적이다. 이와 같이 불리언 작업은 모델러를 구성하기 위하여 필요한 요소이므로, 복합다양체 모델러의 개발을 위해서 해결되어야 하는 과제이다.

현재까지 제안된 복합다양체 자료구조 중에서 Vertex based 자료구조[1]와 Modified Vertex based 자료구조[2], 그리고 Partial Face 자료구조[3]는 이를 이용한 오일러 작업자와 불리언 작업자에 대한 연구가 수행되었으나, 기존의 연구는 주로 복합다양체를 표현하기 위한 자료구조의 제시와 이에 대한 충분성 및 효율성을 입증하는 것에 일차적인 초점이 맞추어져 왔고, 선택저장을 이용한 복합다양체 자료구조(이하 '선택저장 자료구조')[4]에 대한 불리언 작업에 대한 연구는 아직까지 이루어지지 않았다.

또한 최근에는 모델링 시스템의 구성에 있어서 사용

*학생회원, 한국과학기술원 기계공학과
**종신회원, 한국과학기술원 기계공학과
- 논문투고일: 1999. 7. 26
- 심사완료일: 2000. 7. 28

자 인터페이스의 편의성을 도모하기 위하여 Open Inventor™ 등의 그래픽 라이브러리 툴킷을 이용하고 있다[7].

본 논문에서는 기존의 자료구조의 단점을 보완한 선택저장 자료구조를 사용하고 실용적인 모델링 시스템의 구성을 위하여 Open Inventor™를 이용함으로써, Open Inventor™의 모든 자료구조와 기능들을 사용할 수 있도록 하였고, 오일러 작업자와 연계하여 위상 요소의 완전성을 유지할 수 있는 불리언 작업자를 구현하여, 기본적인 복합다양체 모델링과 불리언 작업이 이루어지도록 하였다.

2. 선택저장을 이용한 복합다양체 자료구조

2.1 선택저장 자료구조

본 논문에서는 선택저장 자료구조를 이용하여 불리언 작업자를 구현하였다.

기존의 복합다양체 자료구조 들은 전체 모델을 기준으로 복합다양체 물체의 표현 여부를 결정하도록 설계되어 있다. 그러나 전체 모델이 복합다양체인 경우 일반적으로 하위 위상 요소가 모두 복합다양체 정보를 필요로 하는 것은 아니기 때문에 복합다양체 자료구조는 모든 하위 위상 요소가 항상 복합다양체 정보를 포함하고 있을 필요가 없다. 선택저장 자료구조는 불필요한 정보의 중복을 피하기 위하여 인접 정보를 복합다양체 노드에서 필요한 정보와 다양체 노드에서 필요한 정보로 분류하여 저장한다[4]. Fig. 1. 은 선택저장 자료구조를 나타낸다.

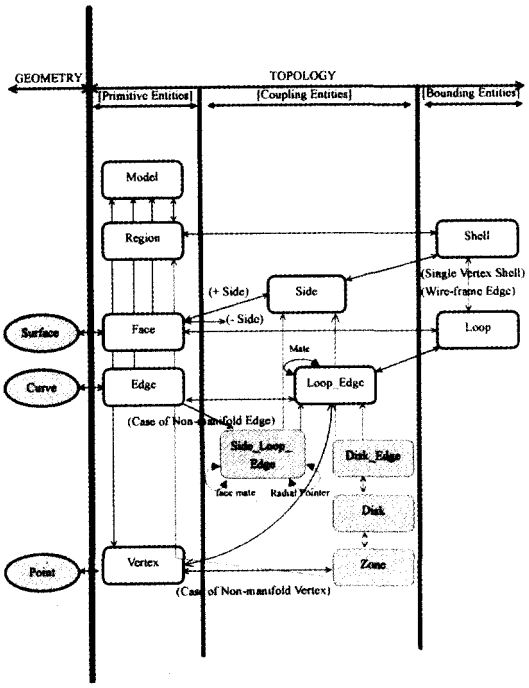

Fig. 1. The data structure of selective storage.

2.2 Open Inventor

Open Inventor™는 OpenGL을 기반으로 한 객체지향 3차원 툴킷으로 그래픽 프로그래머들과 개발자들에게 널리 이용되고 있다. Open Inventor™ 툴킷은 3D Scene database, Node kit, Manipulator 그리고 Component Library로 크게 3부분으로 구성되어 있다. 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. Manipulator는 Scene Graph안의 오브젝트들을 직접 관리할 수 있는 도구를 제공하고, Component Library는 Xt를 위한 render area, material editor, viewer 그리고 utility function들을 제공한다.

2.3 Open Inventor와 선택저장 자료구조

선택저장 자료구조를 클래스로 구현할 때 자료구조가 Open Inventor™의 구조에 포함될 수 있도록 하기 위하여, 모든 클래스는 Open Inventor™의 클래스를 계승하여 구성하였다. 본 논문의 불리언 작업의 구현에서는 자료구조에 나타난 모든 위상 요소들과 기하 요소들을 클래스로 구축하였다.

Open Inventor™의 SoSeparator 클래스로부터 기본적인 위상 요소에 공통적으로 사용되는 field를 포함하는 Base 클래스인 Topology 클래스를 만들고, 이 클래스를 상속받아 복합다양체 자료구조에 나타나는 각각의 기본 위상 요소 클래스를 만들었다. 이때 Open Inventor™의 Scene Data-base와의 효율적인 연결을 위하여 Node Kit을 사용하여 클래스를 확장하였다. 생성된 각각의 클래스는 포인터들과 몇 가지의 Enum 값으로 구성되어 있는데, 모든 포인터들은 Open Inventor™의 SoSFNode에 저장된다.

위의 방법을 이용하여 구성한 위상 요소들의 클래스는 모두 SoSeparator와 Topology 클래스로부터 계승받게 되며, 이 결과 만들어지는 클래스는 기본 요소(primitive entities)와 경계 요소(bounding entities)에 해당하는 Model, Region, Face, Edge, Vertex와 Shell, Loop, Disk 클래스가 있으며, 연결 요소(coupling entities)

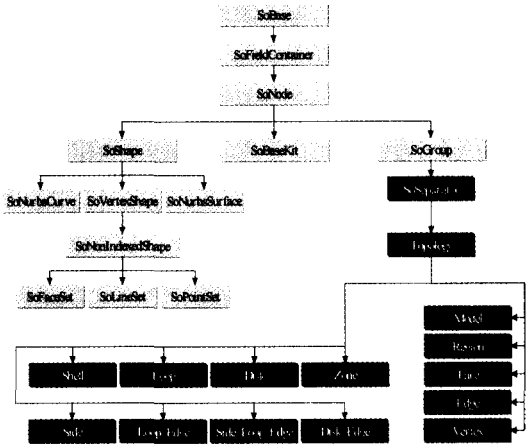

Fig. 2. Hierarchy of the data class.

에 해당하는 Side, Loop_Edge, Side_Loop_Edge, Disk_Edge, Zone 클래스가 있다. 이 클래스들을 이용하여 복합다양체의 자료구조를 생성하고 관리함으로써 복합다양체 모델링 기능의 구현에 Open Inventor™의 기능을 사용할 수 있게 된다. Fig. 2는 Open Inventor™에서 사용할 수 있도록 수정하여 구축한 선택저장 자료구조의 계층구조를 나타낸다.

3. 복합다양체 모델의 불리언 작업

3.1 오일러 작업자

불리언 작업의 구현을 위하여 본 논문에서 구성된 자료구조에 맞는 오일러 작업자를 구성하였다. 오일러 작업자의 구현은 다음과 같은 Masuda의 오일러 식을 이용하였다. 이 식은 영역을 채워진 공간(volume)과 빈 공간(cavity)으로 구분하였다.

$$v-e+(f-r)-(V-Vh+Vc)=C-Ch+Cc$$

여기서 좌변의 v는 꼭지점의 수이고, e는 모서리의 수이며, f는 면의 수, r은 면에 있는 cavity의 수, V는 volume의 수, Vh는 volume의 관통구멍(through hole)의 수, Vc는 volume내의 빈 공간(cavity)의 수이다. 우변의 C는 complex의 수이고, Ch는 complex의 구멍(complex hole)의 수이며, Cc는 complex내의 빈 공간(cavity)의 수이다. volume은 속이 찬 solid를 말하며, complex는 서로 연결된 위상 요소들의 집합을 뜻한다.

위의 식은 v, e, f, r, V, Vh, Vc, C, Ch, Cc로 구성되는 10차원의 공간을 구성하므로 독립된 9개의 기저 벡터(basis vector)가 있다. 그러므로 위의 식을

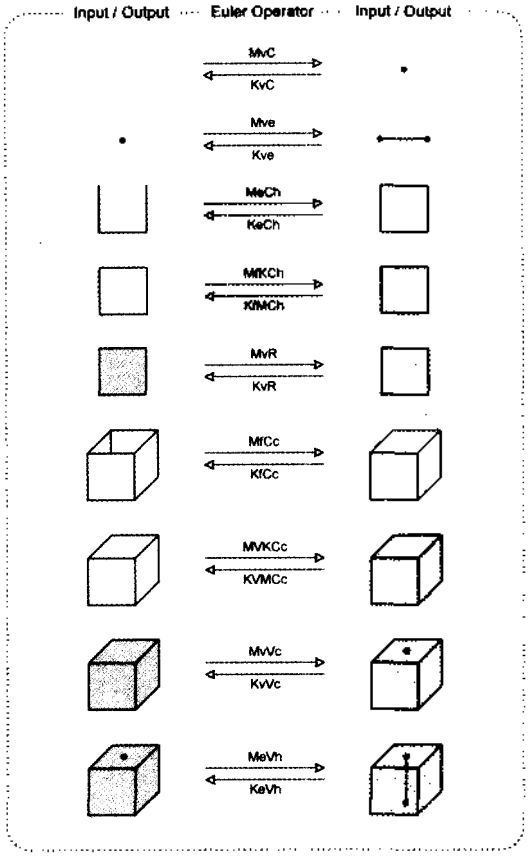

Fig. 3. Euler operators for non-manifold data structure.

만족하는 복합다양체를 만들기 위하여서는 역 변환을 포함하여 총 9쌍의 오일러 작업자가 필요함을 알 수 있다. Fig. 3은 본 논문에서 구성한 18개의 오일러 작업자이다.

3.2 불리언 작업자

형상모델의 불리언 작업은 전통적으로 2차원 모델의 Boolean set operation의 개념을 크게 벗어나지 않는다. 2차원 모델의 경우 2차원 평면상의 두 면의 불리언 작업을 의미하는데, 이는 모델의 경계를 구성하는 vertex들 사이의 교차계산과 edge들 사이의 교차계산을 수행한 후 얻어진 edge들을 모두 병합하고, 원하는 불리언 작업의 결과에 해당하는 요소들을 선택하여 취하는 작업으로 비교적 간단히 설명된다.

3차원 다양체 모델의 불리언 작업은 모델의 경계를 정의하는 요소가 2차원 모델에서는 vertex와 edge로만 구성되어있기 때문에 2차원에서의 불리언 작업이 이들의 교차계산만으로 이루어지는 것과는 달리

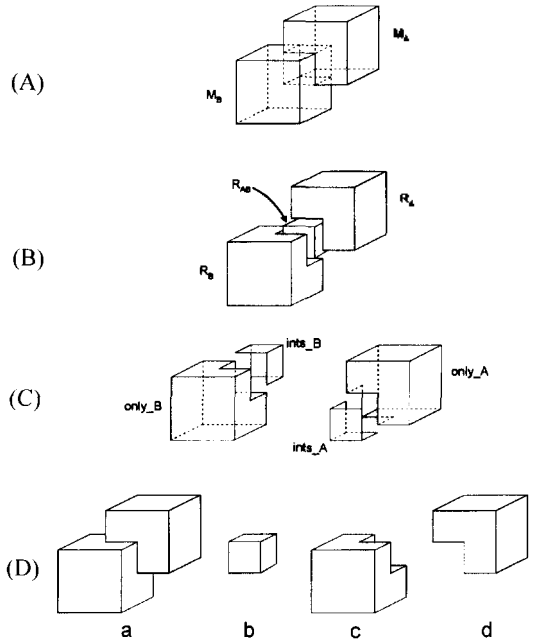

Fig. 4. Boolean operations of 3 dimensional model.

shell의 구성 요소인 face가 모델의 경계를 정의하기 때문에 face들 사이의 교차계산과 이들의 병합과 선택과정이 추가로 필요하게 된다. 또한 불리언 작업의 결과 발생하는 복합다양체 요소를 제거하기위한 추가작업이 필요하다. 그러나 본 논문에서는 복합다양체 자료구조를 이용하기 때문에 불리언 작업의 결과 추가로 발생한 복합다양체 요소를 자료구조가 표현할 수 있어 추가작업이 용이하다.

3.3 병합과 선택

형상모델링에서의 불리언 작업은 공통적으로 병합과 선택(merge and selection)의 개념을 사용한다.

병합(merge)과정은 크게 교차계산과 그 결과를 영역에 따라 구분하는 것으로 나눌 수 있다. 각 경계요소에 대한 교차계산을 수행한 후 상대모델의 경계에 의하여 분할되어 생성된 요소들을 병합하여 새로운 모델을 구성한다. 이렇게 구성한 모델이 불리언 작업의 선택과정에서 사용될 병합체 모델이며, 이때에는 선택과정에서의 용이함을 위하여 각 영역에 대한 구분을 하여야 한다.

영역의 구분은 Fig. 4(B)와 같이 R_A, R_B, R_{AB}의 세가지 영역으로 나뉘어 진다. 이 영역들의 경계에 대해서는 4가지로 구분을 한다. Fig. 4(C)에서와 같이 교차계산의 결과 얻어진 요소들 중에서 M_A로부터 발생한 것은 영역 RA에만 속하는 only_A와, 영역 R_{AB}에 포함되는 ints_A로 구분하고, M_B에 대해서도 같은 방법으로 구분한다.

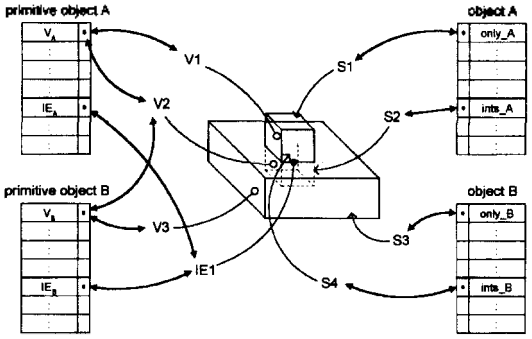

Fig. 5. Data change of merging process.

Fig. 5는 교차계산을 통하여 병합을 하는 과정에서 구성하는 경계요소의 data구조이다. Fig. 5의 왼편은 각각 모델 A와 모델 B의 data구조를 복사한 후 교차계산을 통하여 변경된 data구조이다. V_A와 V_B는 앞에서 설명한 세가지 영역에 의해서 구분된 경계요소이고, IE_A와 IE_B는 교차계산의 결과로 얻어진 경계요소이다. Fig. 5의 오른쪽에 나타난 data의 구조는 왼쪽의 data를 선택과정에서 용이하게 data를 처리할 수 있도록 구분하여 정리한 것이다. 실제 불리언 작업의 선택과정에서는 오른편의 data구조에 의하여 저장된 자료를 선택하고, 왼편의 자료구조는 위상요소의 관계를 정리하는데 사용한다.

이후의 과정은 병합과정의 결과로 얻어진 병합체(merged set)모델로부터 이를 구성하는 구분된 경계요소들을 선택적으로 취하는 선택(selection)과정이다. 선택은 입력된 불리언 작업에 따라 다음과 같은 4가지 작업이 존재한다.

$A \oplus B$=only_A+only_B
$A \otimes B$=ints_A+ints_B
$A \ominus B$=only_A+inverse(ints_B)
$B \ominus A$=only_B+inverse(ints_A)

선택작업은 위의 4가지 종류의 불리언 작업중에서 입력된 작업의 종류에 따라, 병합체 모델의 위상 요소를 불리언 작업의 적용 결과로 남아야 할 것들과 없어져야 할 것들로 구분하고 이를 선택적으로 취한 후 새로운 모델을 구성해주는 작업으로 마무리 된다. 선택작업을 통하여 불리언 작업의 결과에 해당하는 이 모델을 구성할 때에는 Fig. 5에서 설명한 바와 같이 병합체의 생성과정에서 영역별로 구분하여 저장

한 경계요소들을 이용하면 어느 위상요소가 필요하고, 어느 위상요소가 버려져야 하는지를 쉽게 판별할 수 있다. 이것은 병합과정에서 교차의 결과로 얻어진 경계요소들이 어떠한 과정을 거쳐서 발생하였는가에 대한 정보를 병합체 모델의 정보에 포함시켰기 때문이다. 경계요소를 선별하여 취한 후에는 위상요소 사이의 관계를 복합다양체 자료구조에 맞게 새롭게 정의해 주어야 하는데, 이를 위하여 앞에서 설명한 오일러 작업자를 사용한다.

병합과 선택을 통한 불리언 작업의 과정을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

① 교차 계산 및 위상 요소의 생성

각각의 기본 모델의 요소들 사이의 교차 계산을 수행하고, 위상 요소를 생성한다. 두 기본 물체의 Vertex와 Edge, 그리고 Face에 대하여 교차를 계산하는데, 3가지 서로 다른 차원의 cell에대한 각각의 교차(즉 6가지의 교차)를 계산한다. 그리고 교차 계산으로부터 얻은 교차 정보를 이용하여 위상 요소를 생성한다.

② 위상 요소의 병합

교차 위상요소와 두 기본 물체의 복사체를 모두 하나의 모델로 병합시킨다. 이때 교차 위상요소를 이용하여 기본물체의 경계요소를 영역에 따라 분할하여 새로운 경계요소를 얻는다.

③ 경계 분류 및 그룹화

위의 과정에서 생성되는 병합체와 교차에 대한 정보들을 이용하여, 각각의 기본 물체가 상대 기본 물체에 대하여 어느 쪽에 위치하는지를 판단하여, 병합체의 위상 요소와 연관된 분류 정보를 만들고 이를 그룹화 한다.

④ 선택 및 위상 정열

병합 과정으로부터 얻어진 병합체 모델과 ③의 과정에서 분류된 정보를 이용하여, 불리언 작업의 결과 얻어질 부분을 선택하고, 위상요소사이의 관계를 새롭게 구성한다.

4. 불리언 작업의 구현

4.1 허용오차

불리언 작업의 교차계산을 수행하기 위해서는 허용오차(tolerance)를 고려해야 한다.

오차공간(tolerance region)의 형상은 경계요소의 종류에 따라 Fig. 6과 같이 달라진다. vertex의 오차공간은 반경이 t인 구의 내부를 오차공간으로 정의하고, vertex의 오차공간 내부에 포함되는 모든 vertex는 이 vertex와 동일한 것으로 취급한다. edge의 오차공간

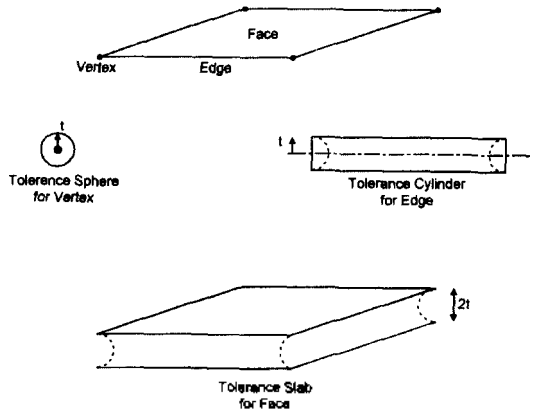

Fig. 6. Tolerance region for boundary elements.

은 반경이 t이고 edge와 같은 길이를 갖는 실린더에서 중심이 edge의 양 끝점이고 반경 t인 구를 빼낸 공간이다. 이 내부에 존재하는 vertex는 edge상에 존재하는 것으로 취급한다. edge의 오차공간에서 양 끝점에서 구 모양의 공간이 제외되는 것은 edge를 구성하는 두개의 vertex의 오차공간 내부에 존재하는 경계요소는 edge와 교차가 일어남과 동시에 edge의 양 끝점과 교차가 일어나는 것으로 보아야 하기 때문이다. face의 오차공간은 두께가 2t이고 face와 같은 면적과 형상을 갖는 판자모양의 공간이 된다.

경계요소의 오차공간이 위와 같이 하위 위상요소가 높은 우선순위를 갖는 것은 상위 위상요소의 교차계산이 하위 위상요소의 교차계산을 이용하여 이루어지기 때문이다.

4.2 Intersection Algorithm

교차계산은 낮은 차원의 경계요소부터 이루어지는데, 이는 높은 차원의 경계요소의 교차계산을 수행할 때 하위 위상요소의 교차계산 결과를 이용하기 위함이다. 교차의 우선순위는 다음과 같다.

① Vertex와 Vertex사이의 교차
② Vertex와 Edge사이의 교차
③ Edge와 Edge사이의 교차
Vertex와 Face사이의 교차
④ Edge와 Face사이의 교차
⑤ Face와 Face사이의 교차

교차계산이 위와 같이 우선순위를 갖는 것은 불필요한 계산을 줄이기 위한 것일 뿐만 아니라 상위 위상요소의 교차계산에 하위 위상요소의 교차계산이 이용되기 때문이다.

교차계산의 과정은 위의 6가지 교차의 계산과정과 각각의 계산결과 발생하는 교점, 또는 교선을 중심으로 경계요소를 분할하는 과정으로 이루어진다.

교차계산의 과정이 수행되는 동안에 생성되는 위상요소들에 대하여 필요한 위상작업을 동시에 수행하는데, Face에 대한 위상작업은 예외적으로 Face와 교차가 일어나는 모든 위상요소들과의 교차계산이 완료된 후에 해준다. 이것은 Face의 교차계산 결과 발생하는 Face의 분할에 필요한 Edge의 리스트를 모두 얻기 위해서는 이 Face와 교차하는 모든 Face들에 대한 교선(intersection edge)이 필요하기 때문이다.

4.3 Face의 분할

Face와 교차하는 모든 경계요소의 교차계산이 완료되면 이들로부터 생성된 교차 위상요소들을 이용하여 face를 분할하여야 한다. 이때 face를 구성하는 loop는 Fig. 7a와 같이 face의 normal방향에서 보았을 때 왼쪽이 face의 내부가 되도록 구성한다.

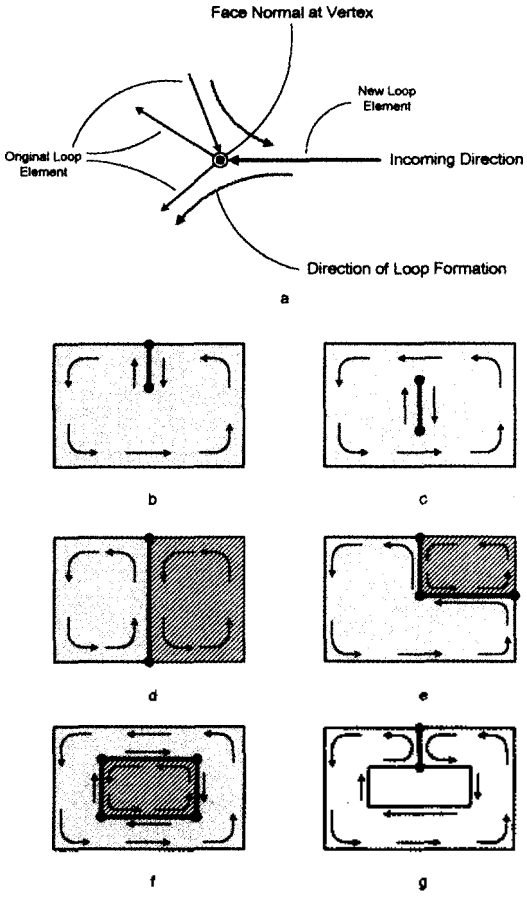

Fig. 7. Face division and Loop creation.

Face의 분할은 Fig. 7의 b~g와 같이 다양한 경우가 발생한다. Fig. 7d와 e는 교차결과 생성된 edge에 의하여 face가 분할되는 경우이다. 이 경우에는 edge를 중심으로 두개의 loop를 만들어 두 개의 face가 생성되며, 두개의 loop는 모두 분할되기 전의 loop와 같은 방향을 갖도록 구성한다. 분할되어 생성된 두 개의 face는 불리언 작업의 종류에 따라 선택작업에서 하나의 face만 선택되는데, 이중 빗금 친 face가 선택되는 경우는 ⊗과 ⊖작업이다. 이중 ⊖작업에서는 inverse( )작업을 이용하여 루프의 방향을 반대로 바꿔준다. Fig. 7f는 교차계산결과 생성된 edge의 리스트가 face내부에 닫힌 loop를 생성하는 경우로 face에 hole이 생기게 되어 분할되기 전의 face가 가지고 있던 loop의 내부에 시계방향의 loop가 생성된다. Fig. 7g는 hole을 가지고 있던 face의 두 loop를 교차결과 생성된 edge가 연결하는 경우이다. Fig. 7에서 빗금으로 표시한 face는 Fig. 5에서 설명한 Data구조의 ints_X에, 그렇지 않은 face는 only_X에 저장하여 선택작업에서 사용한다.

4.4 시스템의 구성

본 논문에서는 IRIX® 6.3을 상에서 MIPSpro™ C++ 7.1A과 Open Inventor™를 사용하였다. Fig. 8과 같이 Open Inventor™를 사용하여 복합다양체 자료구조를 구축하였다. Open Inventor™와 복합다양체 자료구조를 이용한 오일러 작업자와 불리언 작업자가 있고 두 작업에 부수적으로 사용되는 형상 작업자가 있다.

5. 적용 사례

선택저장 자료구조를 이용한 복합다양체의 불리언 작업을 구현하기 위해서 위상요소의 기본적인 조작

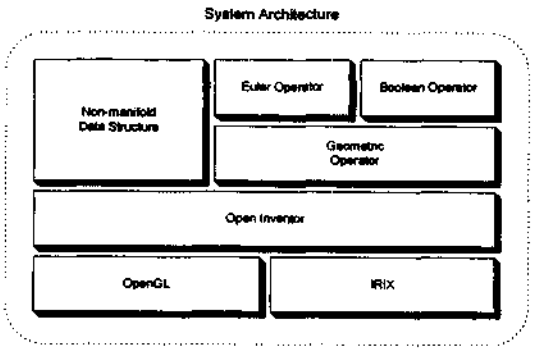

Fig. 8. The architecture of modeling system.

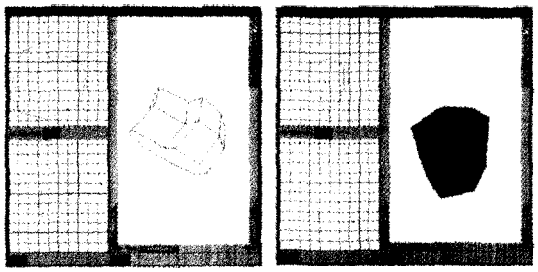

Fig. 9. Examples of modeling using sweeping.

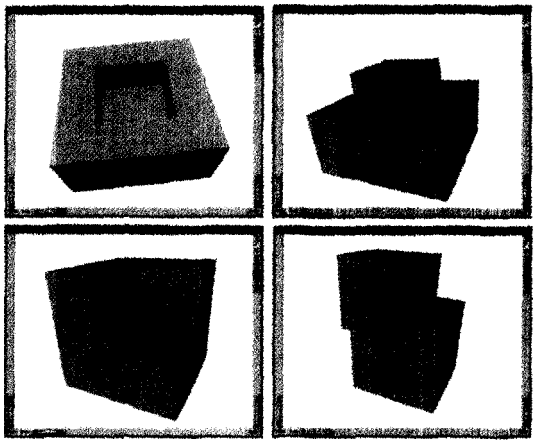

Fig. 10. Examples of Boolean operations.

을 담당하는 오일러 작업자를 구현하였다. Fig. 9는 구현된 오일러 작업자를 이용하여 sweeping작업을 한 결과이다.

불리언 작업은 앞에서 설명한 알고리즘과, 오일러 작업자를 통해서 이루어 진다. Fig. 10은 여러 가지 불리언 작업의 결과를 보여준다. Fig. 11은 다단계의 불리언 작업을 통하여 복합다양체 모델을 모델링한 결과이다.

6. 결 론

본 논문에서는 불리언 작업에 대한 연구가 없는 선택저장 자료구조를 이용하고 Open Inventor™와 연계될 수 있도록 자료구조의 class를 구축하여 선택저장 자료구조를 이용한 복합다양체의 불리언 작업을 구현하였다. 이러한 과정을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 불리언 작업의 구현 과정에서 기존의 교차계산 알고리즘을 개선하여 선택작업이 용이하게 되었고, 불리언 작업 알고리즘을 복합다양체 자료구조에 맞게 개선하였다.

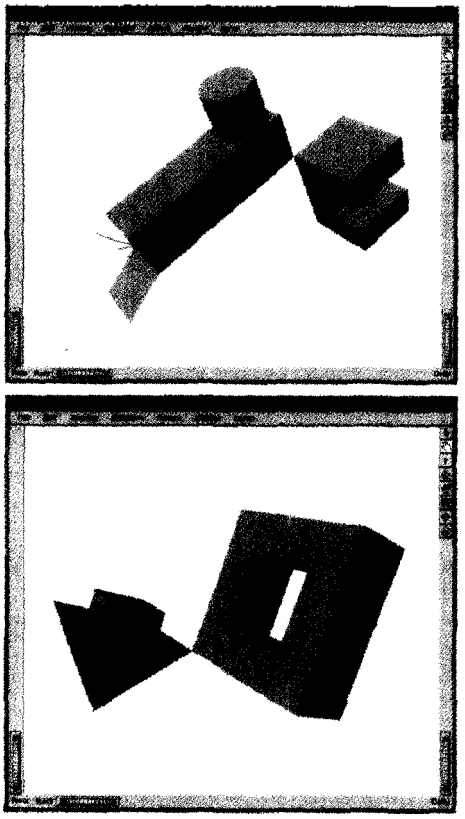

Fig. 11. Non-manifold models through Boolean operations.

2) 선택저장 자료구조를 사용하여 기존의 복합다양체 자료구조의 단점인 위상정보의 중복을 피할 수 있다.

3) 복합다양체 모델링과 불리언 작업에 필요한 오일러 작업자를 구현하였다.

4) 선택저장 자료구조를 이용한 복합다양체 모델의 불리언 작업자를 구현하였다.

5) 복합다양체 자료구조를 Open Inventor™의 자료구조 클래스에 기초하여 구성함으로써 모델링 시스템에서 Open Inventor™의 모든 기능을 용이하게 사용할 수 있다.

참고문헌

1. Choi, Y., *Vertex-based boundary representation of non-manifold geometric models*, PhD Thesis, Carnegie Mellon University, August 1989.
2. Yamaguchi, Y., Kazuya, K. and Kimura, F., "Geometric modeling with generalized topology and geometry for product engineering", *Product modeling for com-*

puter-aided design and manufacturing, Turner, J., Pegna, J. and Wozny, M., North-Holland, pp. 97-115, 1991.
3. 이상헌, 사출 성형 제품의 설계 및 해석의 통합 환경을 제공하기 위한 특징 형상 기반 비다양체 모델링 시스템의 개발, 박사 학위 논문, 서울대학교, 1993. 8.
4. 최국헌, 복합 다양체 솔리드 모델러의 자료구조, 박사 학위 논문, 한국과학기술원, 1999.
5. 황진상, 수정된 꼭지점 기반 자료구조에 대한 오일러 작업자와 불리안 작업자의 구현, 석사 학위 논문, 한국과학기술원, 1997.
6. 김재동, 개방형 구조를 갖는 복합다양체 모델러에서의 불리안 작업, 석사 학위 논문, 한국과학기술원, 1997.
7. 이호영, 변문현, 박상호, "Open Inventor을 이용한 비다양체 모델링 자료구조의 구현", 98 한국 CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 63-68, 1998.
8. Masuda, H., "Topological operators and Boolean operations for complex-based nonmanifold geometric models", *Computer Aided Design*, Vol. 25, No. 2, pp. 119-129, Feb. 1993.
9. Wernecke, J., *The Inventor Mentor*, Addison Wesley, 1994.
10. Wernecke, J., *The Inventor Toolmaker*, Addison Wesley, 1994.
11. Open Inventor Architecture Group, *Open Inventor C++ Reference Manual*, Addison Wesley, 1994.
12. Open Inventor Official Homepage, http://www.sgi.com/Technology/Inventor/
13. Interaction Techniques for Modeling, The Martin Centre of Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, http://www.arct.cam.ac.uk/research/cadlab/index. html.
14. Sriram, R. D., Wong, A., He, L. X., "GNOMES: an object-oriented nonmanifold geometric engine", *Computer Aided Design*, Vol. 23, No. 11, pp. 853-868, 1995.

유 병 현

1997년 연세대학교 기계공학과 학사
1999년 한국과학기술원 기계공학과 석사
1999년~현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정
관심분야: Solid Modeling, Intelligent CAD, Computer Graphics, Virtual Reality, Simulation Based Design

한 순 흥

1977년 서울대 조선공학과 학사
1979년 서울대 조선공학과 석사
1985년 영국 Newcastle대 석사
1990년 미국 Michigan대 박사
1979년~1992년 해사기술연구소(현재 기계연구원)
1993년~1995년 한국과학기술원 자동화설계공학과
1996년~현재 한국과학기술원 기계공학과
관심분야: CAD모델표준(STEP), Intelligent CAD, 설계전문가시스템, 형상모델링 커널