

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비(기계공학:ME96-E-28)에 의하여 연구되었습니다.

STL에 위상정보를 부여하기 위한 삼각형 기반 형상모델링

채희창*

Creation of Topological Information from STL Using Triangle Based Geometric Modeling

Hee-Chang Chae*

ABSTRACT

Usually triangular patches are used to transfer geometric shape in Rapid Prototyping CAM system. STL, a list of triangles, is de facto standard in RP industry. Because STL does not have topological information, it can cause erroneous results. So, STL should be verified before using. After adding support structures to anchor the part to the platform and to prevent sagging or distortion, slicing and layer by layer manufacturing process are done. But triangular patch is surface model and cannot provide sufficient information on geometry in the above processes. So, geometric modeling is necessary in verifying STL, adding support structures and slicing.

It is natural that triangle based modeling is the best when triangular patches are used as input. Considering support structures, solid and faces coexist in RP process. Therefore non-manifold modeler is required. In this study, triangle based non-manifold geometric modeling is proposed for RP system consistent with STL input.

Key Words : STL, Rapid prototyping(고속시작), Triangle based(삼각형 기반), Geometric modeling(형상모델링),
Topological information(위상정보)

1. 서 론

최근 극심한 경쟁을 겪고 있는 제조업분야에서는 소비자 취향의 다양화와 제품주기가 짧아짐에 따라 설계에서 생산에 이르는 기간을 단축하는 것이 경쟁력에 있어서 결정적인 요소가 되고 있다. 고속시작(Rapid Prototyping : 이하 RP)⁽¹⁾은 이러한 개발싸이클의 단축을 위한 시도중

의 하나로서 최근 자동차, 가전, 전자, 항공 등 거의 모든 제조업분야에 걸쳐서 널리 사용되고 있는 기술이다.

Fig.1은 RP의 대표적인 방법인 광조형법(stereolithographic rapid prototyping)에서의 과정을 도시한 것이다. 광조형법은 TL생산기술(Tool-Less manufacturing technology)의 일종으로 절삭에 의하여 생산하는 것이 아니고, 광경화성수지를 헤이저 광선에 의하여 한층씩

* 전북대학교 기계공학부

경화시켜 쌓아가는 성형기술이다. 최초의 RP장치는 1987년 3D Systems Inc.에 의해 소개되었으며 현재 전 세계적으로 1,000 세트 이상이 가동되고 있다.

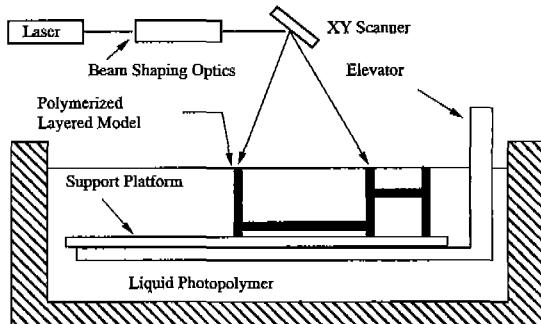


Fig.1 Stereolithographic Rapid Prototyping machine

3D Systems Inc.가 최초의 RP기계를 출시할 때, 기하학적인 형상을 입력하기 위하여 Fig. 2와 같은 STL 파일(STereoLithography)⁽²⁾을 도입한 이래 STL은 RP업계에서의 실질적인 표준(de facto standard)이 되어 왔다. 그러나 STL은 Bloor 등⁽³⁾이 지적한 바와 같이 법선 벡터, 꼭지점의 좌표 등과 같이 불필요하게 중복된 자료가 있어서 그 크기가 크고 위상에 대한 정보가 없기 때문에 솔리드 여부를 알 수가 없는 단점이 있으므로, 기하학적 정보의 전달수단으로서 부적절한 면이 많다. 그럼에도 불구하고 아직 이를 대체할 표준형식이 정해지지 않았으므로 아직까지는 RP업계에서 실질적인 표준으로 사용되고 있으며, 현재 상용의 많은 CAD 시스템에서도 STL 출력을 지원하고 있는 실정이다. 솔리드모델러를 기반으로 한 3D CAD시스템으로부터 STL을 얻었다 하더라도 많은 경우가 일부 면이 누락되거나 중복되는 경우가 많다. 따라서 STL은 사용전에 반드시 확인을 요한다.

```

solid
facet normal 1.000000 -0.000000 0.000000
outer loop
vertex 50.000000 30.000000 30.000000
vertex 50.000000 20.000000 30.000000
vertex 50.000000 20.000000 0.000000
endloop
endfacet
.....
endsolid

```

Fig.2 STL file

현재의 STL 파일은 CAD시스템으로부터 광조형 장치로 자료를 전달하는 역할만을 하고 있고, 각 광조형 시스템에서는 이를 입력받아 적절한 지지대를 부가한 후 슬라이싱과정을 거쳐 Laser 광선을 주사하여 성형물을 만들게 된다.

허정훈 등⁽⁴⁾ 및 Frank 등⁽⁵⁾의 연구에서 보듯이 먼저 성형방향(Build-up direction)이 결정되고, 이에 따라 지지대가 필요한 곳을 찾아서 지지대를 부가하여야 한다. 조형법에 따라서 지지대를 필요로 하지 않는 경우도 있으나 가장 널리 사용하고 있는 광조형 장치(SLA : Stereolithographic Apparatus)에서는 필수적이다. 그 이유는 elevator 위에 있는 platform에서 직접 성형한다면 성형된 부품을 광조형 장치로부터 분리시키는 과정에 손상을 입을 뿐만 아니라, overhang 되어 있는 부분이 있을 때 지지대를 사용하지 않는다면 아예 성형이 되지 않거나 변형이 커지게 되기 때문이다.

지지대는 성형이 끝나고 제거하는 것이기 때문에 통상 레이저 광선 직경 정도의 얇은 판모양(곡면으로 모델링 가능)으로 만든다. 지지대가 포함된 상태에서 슬라이싱해서 내부를 해칭하여야 하기 때문에 기하학적 정보가 부족하게 되면 잘못된 성형물을 얻을 수 있다. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 방안으로서 STL 입력 이후의 STL의 검증, 지지대의 부가, 슬라이싱 등의 과정에도 3차원 형상모델링을 적용하는 것이다. 입력데이터가 주로 STL로서 삼각형 패치이기 때문에 삼각형을 모델링의 기본요소로 삼는 것이 자연스럽다. 또한 RP에서 성형하려고 하는 입체가 다양체이지만, 다양체에 곡면으로 모델링될 수 있는 지지대가 부가되면, 솔리드 및 곡면이 혼재하는 상황이 된다. 따라서 비다양체모델이 바람직하다.

본 연구에서는 일반적인 CAD 환경에서 사용하기에는 어렵지만, 삼각형 패치로 이루어진 STL 입력단계에서부터 광조형 장치에 의한 성형전까지의 과정에서 STL의 검증, 집합연산 및 지지대의 부가 등의 작업에 적합한 삼각형 기반의 비다양체 모델링의 데이터 구조를 제안하고자 한다.

2. 삼각형기반 비다양체 모델링의 데이터구조

Paoluzzi 등⁽⁶⁾은 날개형 모서리(winged edge)에 대응되는 날개형 삼각형(winged triangle)을 기준으로 모델링하였다. 그러나 삼각형의 3 모서리에 인접한 면을 가르키는 포인터가 각각 1개씩이기 때문에 다양체(2-mani-

fold) 모델이다. 또한 모서리에 대한 개념이 없는 것이 특징이다. 채희창 등⁽⁷⁾은 현재의 STL과 같이 인접한 면에 대한 정보를 가지고 있지 않은 분리형 삼각형을 기준으로 비다양체 모델을 표현하였으나 인접정보를 얻기 위해 테이터 구조를 검색해야 하는 문제가 있다.

형상모델링 특히 Faceted B-rep에서 사용하는 토플로지적인 요소들은 입체, 면, 모서리, 반모서리, 꼭지점 등이다. 이런 요소를 어떤 방식으로 구조화 시켜서 기하학적인 정보를 저장하고, 후에 데이터 구조로부터 필요한 정보를 얻어 내느냐가 B-rep의 문제이다.

모서리는 1차원적이지만 0차원인 꼭지점과 2차원인 면 사이에 위치하기 때문에 기하학적인 정보가 가장 풍부한 곳이다. 따라서 통상의 모서리기준 형상모델링에서는 모서리에 면의 인접성 및 연결된 모서리 또는 꼭지점 등에 관한 각종 정보를 포함시키고 있다. 날개형 삼각형 모델에서와 같이 삼각형기반 모델이라고 해서 모서리라는 모델링 요소를 없애는 것은 바람직하지 않다.

다양체모델중에서 특히 Mäntylä⁽⁸⁾의 반모서리 모델의 경우에는 통상 1개의 모서리에 2개의 반모서리가 있으며 이들 각 반모서리에 이에 해당되는 면에 대한 정보를 가지게 함으로써, 인접한 면에 대한 정보를 검색할 수 있게 한다. 본 연구에서는 모든 면을 삼각형으로 분할하고 모서리에 2개 이상이 면이 인접하는 비다양체 모델이기 때문에 모서리를 중심으로 삼각형을 방사상으로 저장시켜 면의 인접에 관한 정보를 저장하였다. 날개형 삼각형 모델과는 달리 모서리의 개념도 있으며 Weiler⁽⁹⁾의 방사상 모서리의 개념과 유사한 형태로 볼 수 있다. Fig. 3은

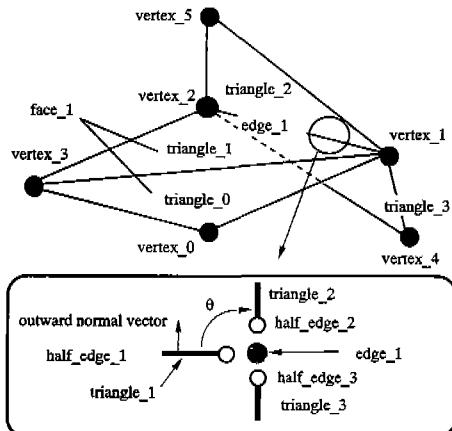


Fig. 3 Relationships between basic topological entities around edge

본 연구에서 사용한 삼각형 기반 모델링에서 모서리 주위에 삼각형이 방사상으로 저장된 것을 보여 주고 있다.

Fig. 4는 본 연구에서 제안하는 삼각형 기반 비다양체 모델링의 데이터구조를 나타낸 것이다. 이전의 연구⁽⁷⁾를 보완하여 모서리와 반모서리를 추가하여 삼각형의 인접 정보를 나타내었다. 최근 ISO에서 제정하려고 하는 STEP 표준의 중요한 요소중의 하나인 EXPRESS-G⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾로 각종 기하학적 실체(entity) 사이의 정보흐름을 표현한 것이다. EXPRESS 또는 EXPRESS-G는 테이터의 구조와 정보의 흐름을 기술할 뿐 프로그래밍 언어가 아니기 때문에 실제는 C++로 프로그램하였다.

기하학적 위상구조 중에서 가장 상위에 위치하는 것은 body이며 하나의 솔리드 또는 곡면폐지가 될 수 있다. shell은 연속된 면들로 구성된 것을 말한다. 1개의 솔리드가 1개의 shell로 이루어질 수도 있고, 속이 비어 있는 솔리드의 경우 2개 이상의 shell로 구성된다.

face에는 면을 삼각형으로 분할하여 평면의 방정식과 동시에 저장한다. triangle에는 3개의 꼭지점과 3개의 모서리를 저장한다.

edge에는 2개의 vertex와 이에 인접하는 삼각형의 half_edge 리스트를 가르키는 포인터를 저장한다. half_edge에는 해당 반모서리가 속한 삼각형과, 면을 가르키는 포인터를 저장한다. 이때 half_edge들은 모서리를 기준으로 방사상 모양의 순서로 저장된다. 즉 첫번째

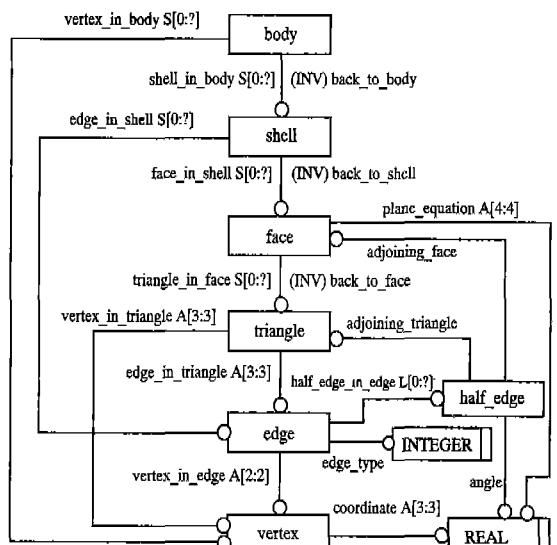


Fig. 4 Data structure of proposed triangle based modeling

삼각형의 법선벡터 방향을 양(+)으로 하여 나머지 삼각형들의 각도를 구한 후 각도순으로 배치한다. 또한 모서리를 분류하여 동일 평면내에서 삼각형 분할시 생기는 보조 모서리와 서로 다른 평면이 만나서 생기는 실모서리로 나누어 저장하였다(edge_type).

토포로지를 정확히 기술하기 위해서는 꼭지점 주위의 면 및 모서리에 대한 정보를 저장할 필요가 있으나, 이는 CAD단계에서 사용하기 위한 일반적인 모델링에서 필요 할뿐, 집합연산 및 지지대 부과 등의 간단한 모델링 작업이 요구되는 RP에서는 불필요하다.

3. 삼각형기반 비다양체 모델러의 기능

3.1 STL의 입력 및 데이터 구조에의 저장

CAD에서 사용하는 모델러에서는 오일러식을 만족시키는 오일러 연산자를 정의하여 데이터 구조를 채워 나가 모델링을 수행함으로써 최종적으로 얻어진 입체가 오일러식을 만족하도록 모델링하고 있다. 다양체의 경우 Baumgart에 의해 도입된 Euler-Poincare식과 비다양체의 경우 Yamaguchi⁽¹²⁾, Masuda⁽¹³⁾에 의해 적용된 것 이 있다. 모든 오일러 연산자는 역 연산자가 존재하며 이를 이용하여 undo과정을 수행할 수 있다. 그러나 날개형 삼각형 모델에서와 같이, 삼각형기반 모델에서는 모든 모델링 operation이 삼각형의 변화에 의하여 이루어 진다. 모서리의 루프(loop)도 없으며 면을 삼각형으로 분할하여 순서에 관련없이 집합형태로 저장한 것이다. 따라서 면을 여러 가지 방법으로 삼각형 분할할 수 있으므로 정해진 형상을 표현하는 방법이 하나가 아닌 복수의 방법으로 표현 가능하다(Delaunay 삼각형 분할이 가장 우수한 방법이라고 생각되나 이것도 항상 유일한 해가 얻어지지 않는다).

Fig. 5는 다양체 모델에서의 오일러 연산자 MEV 및 KEV⁽⁸⁾와 삼각형기반 모델에서 이에 상응하는 모델링 연산을 비교한 것이다. 삼각형 기반 모델러에서는 삼각형들이 추가되는 모서리에 의해 분할되고 있으며 역 연산자가 사실상 존재하지 않는다. 역 연산자에 대응하는 연산을 수행하기 위해서는 모든 보조 모서리를 제거하고 면에 속한 반모서리들의 집합으로부터 삼각형 분할을 재설시하는 수 밖에 없다.

본 모델러의 주 입력 대상은 CAD에서 얻은 STL이며, Fig. 2에서 보는 바와 같이 법선벡터와 3 꼭지점의 좌표를 읽은 후, 다음과 같은 과정을 거쳐 삼각형 자료를 데이

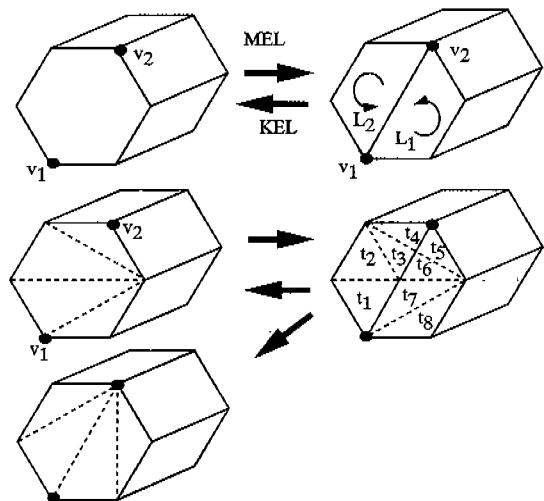


Fig. 5 Euler operator in the 2-manifold model and equivalent operation in the triangle based model

터 구조에 저장한다. 이때 오차한계를 고려하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 기하학적인 비교 및 검사 등에 여러 종류의 오차한계를 정의하여 사용하였다. 차원이 없는 오차한계인 ϵ_0 로서 10^{-5} 을 사용하였고, 차원을 가진 오차인 ϵ_1 은 입체를 둘러싸는 직육면체를 형성하고, 직육면체의 3변의 길이중 최대값에 10^{-6} 을 곱하여 모델의 크기에 따라 자동으로 조절되도록 하였다.

(1) 꼭지점 자료의 저장

삼각형의 3 꼭지점 좌표를 각각 꼭지점의 링크리스트에 저장하되, 일단 이미 저장된 꼭지점 중에서 추가하고자 하는 꼭지점과의 거리가 최소가 되는 꼭지점을 구한다. 최소거리가 반올림오차(ϵ_1)를 초과하는 경우 꼭지점의 링크리스트에 새로운 꼭지점을 저장하고, 거리가 ϵ_1 이내인 경우 꼭지점을 추가하지 않고 꼭지점의 좌표를 기존의 저장된 값으로 변경한다.

(2) 평면의 방정식 계산

STL로부터 읽은 법선벡터를 이용하여 평면의 방정식을 계산 할 수 있으나, STL이 텍스트(ASCII)인 경우는 물론이고 현장에서 용량관계로 널리 사용되고 있는 2진 범자료(binary)라도 CAD시스템 내부의 64비트 자료를 32비트로 변환하는 과정에서 반올림오차가 있을 수도 있다. 그러므로 STL로부터 얻은 법선벡터를 무시하고 3 꼭지점으로부터 데이터 구조에서 요구하는 평면의 방정식을 계산한다.

(3) 필터링

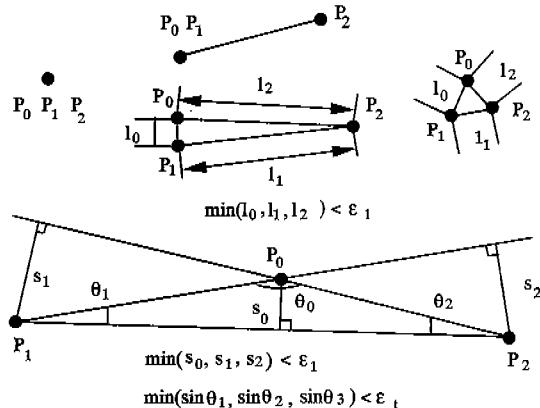


Fig. 6 Filtering conditions of triangles

삼각형의 3 꼭지점 중에서 2개 이상이 동일 점인 경우와 3 점이 일직선상에 오는 경우에는 삼각형이 될 수 없으므로, 이 삼각형은 데이터 구조에 저장하지 않는다. Fig. 6은 반올림 오차한계를 고려하여 필터링해야 할 삼각형을 판별한 것이다.

(4) 모서리 생성 및 저장

삼각형의 3 모서리를 데이터 구조에 저장되어, 동일 모서리가 있는지 여부를 조사하여 중복되지 않도록 한다.

(5) 면(face)의 생성 및 저장

꼭지점 및 모서리와 같은 방법으로 반올림 오차를 고려하여 중복해서 생성하지 않도록 한다. 두개의 면(face 1 : $N_1 \cdot P + D_1 = 0$, face 2 : $N_2 \cdot P + D_2 = 0$)이 동일한 경우는 다음과 같은 식을 만족할 때이다.

$$|N_1 - N_2| \leq \epsilon_t, |D_1 - D_2| \leq \epsilon_t$$

(6) 삼각형 생성 및 저장

삼각형 중복을 확인하여 면에 저장한다. Fig. 4의 데이터 구조에서 보듯이 삼각형에는 그것이 속한 face에 대한 back pointer가 있으므로 주의를 요한다.

(7) 반모서리 저장

삼각형의 3 모서리에 각각 해당되는 반모서리를 만들어서 삼각형과 면의 포인터를 저장하고, 모서리의 첫번째 삼각형을 기준으로 계산된 각도를 저장한 다음, 모서리에 이미 저장된 반모서리의 각도와 비교하여 각도 순서로 반모서리를 저장한다.

3.2 STL 출력 및 STEP AP204입력

삼각형기반 모델레이기 때문에 STL을 출력하는 일은

용이하다. 데이터 구조에 저장된 삼각형의 법선벡터와 3 꼭지점의 좌표를 STL의 형식에 맞추어 출력하면 된다. ASCII와 이진형(binary) 두 종류의 출력이 모두 가능하도록 하였다.

현재 아직 STL 이외에 RP에서 표준적으로 사용되는 형식은 없는 형편이다. 그러나 일부 연구자⁽³⁾들이 STEP AP204⁽¹⁴⁾를 사용하자는 제안을 하고 있으므로, 미리 삼각형으로 분할된 것을 AP204를 사용하여 저장한 것은 본 모델러에서 처리할 수 있도록 하였다. 일반적인 AP204를 입력할 수 있도록 하는 문제는 이를 다시 삼각형으로 분할하여야 하는 문제가 있기 때문에 추후의 연구 과제로 하기로 한다.

3.3 STL의 검증

일반적으로 STL이 솔리드모델러로부터 얻어졌다고 말할 수 없다. 특히 곡면모델러로부터 얻어진 경우에 윗면 또는 아래면이 통채로 누락된 경우가 있을 수 있다. 또한 솔리드모델러로부터 STL을 얻은 경우에도 일부 삼각형이 중복되거나 누락되고 또한 삼각형이 서로 교차하는 경우가 있을 수 있다. 화면에 출력하여 확대하여 조사하는 것만으로는 불충분하며, 문제점이 되는 부위를 자동으로 검출해 줄 수 있는 방안이 요구된다. 삼각형 기반 형상모델러를 도입함으로써 이러한 요구를 쉽게 처리할 수 있다.

Eastman 등⁽¹⁵⁾은 B-rep에서의 well-formedness를 규정하였는데, 여러 가지 중에서 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 면을 삼각형으로 분할하였을 때, 꼭지점 및 공유모서리를 제외하고는 어느 곳에서도 교차하지 않아야 된다 (삼각형 분할조건)

(2) 빠비우스의 띠같이 면의 방향이 변하지 않고 일관되어야 한다(면의 방향성 : orientability)

이 두 조건을 STL의 검증에 사용한다. 첫째로 삼각형 분할 조건을 만족하는지 여부는 입력된 STL 삼각형 사이의 모든 상관을 구하여 공통 모서리와 공통 꼭지점을 제외하고는 서로 상관하는지 여부를 조사한다. 삼각형의 중복, 누락여부와 면의 방향성에 대해서는 모서리를 중심으로 방사상으로 저장해 놓은 삼각형의 갯수와 방향을 조사함으로써 알 수 있다. 삼각형(반모서리)의 갯수는 2π 이어야 하며 이웃한 반모서리의 방향이 서로 반대가 되어야 한다. Fig. 7은 이 과정을 도시한 것이다. 다양체만이 아니고 비다양체모델에 대한 위상구조를 확인할 수 있다. 데이터 구조에 저장된 모든 모서리에 대하여 Fig. 7과 같

이 모서리의 방향성을 확인함으로써 전체 STL에 대한 검증을 할 수 있다. 이 과정에서 Fig. 7(f)와 같이 서로 마주보는 중복된 삼각형이 있는 경우가 있다. 이는 일반적인 비다양체 모델에서는 유효한 형태이지만, 종이를 절단하여 붙히는 LOM 방식의 RP에서는 성형된 입체가 분리되므로 이를 삭제한다.

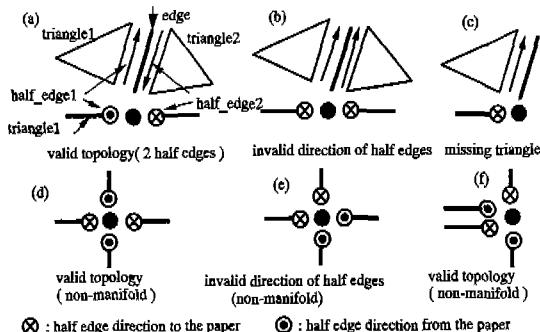


Fig. 7 Verifying topological information around edge

3.4 기본형상(primitive) 생성과 집합연산

RP에서는 CAD에서 생성된 자료를 입력 받기 때문에 주로 사용하는 모델링 연산은 집합연산이다. 성형하고자 하는 물체의 형상은 CAD로부터 STL을 통하여 입력받으나 블럭, 원통, 구, 원추 등의 기본형상은 모델러 내부에서 생성하도록 하였다.

비다양체 모델에서 일반적인 집합연산은 다양체 모델에서의 정규화(regularized) 집합연산과는 다르지만 정규화된 결과만을 얻는다면 다양체 모델의 집합연산 수식을 사용할 수 있다. 정규화된 집합연산은 다음의 3단계로 이루어 진다.

(1) 상관계산과 위상요소의 생성

교차하는 두 물체(A, B)의 모든 면이 삼각형으로 분할되어 이미 데이터 구조에 저장되어 있기 때문에, Fig. 8(a)과 같은 삼각형과 삼각형 사이의 상관선 R-S를 구하고, 상관선을 따라 삼각형을 (b)~(j)에서와 같이 분할하여 데이터 구조를 수정한다. 이때 위상요소들은 자동으로 생성되며 이에 따라 삼각형의 갯수가 늘어나게 된다. 이 중 가장 기본이 되는 분할 방법은 (i)와 (j)이며 나머지는 이 두 경우의 조합으로 나타낼 수 있다.

(2) 위치 판별

in, out, on+, on-의 4경우로 모든 삼각형의 위치를 판

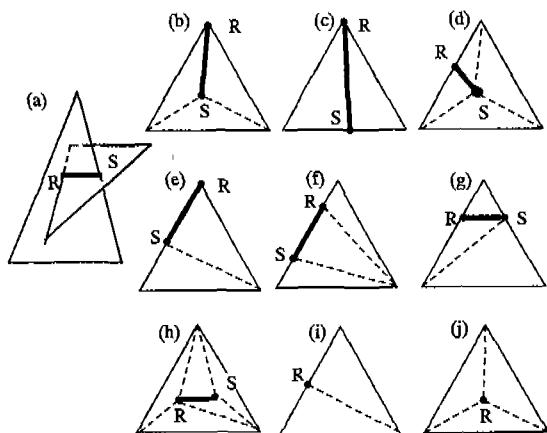


Fig. 8 Finding intersection line and splitting the triangle

별한다. 이중 on+는 상대방 물체의 삼각형과 겹쳐있으며 법선벡터가 같은 경우이고, on-는 법선벡터의 방향이 서로 다른 경우로서 on상태를 조금 더 세분한 것이다⁽⁷⁾.

상관모서리는 두 입체가 교차하여 생기는 모서리로서 상관모서리를 중심으로 위치판별을 가장 손쉽게 할 수 있는 곳이다. 이미 모서리 주위에 삼각형들이 방사선 모양으로 저장되었기 때문에 상관선을 가진 삼각형의 위치판별은 Fig. 9(a)와 같이 쉽게 할 수 있다. 상관모서리를 사이에 두고 두개의 인접삼각형의 위치판별 결과는 동일하지 않지만 상관하지 않는 모서리의 경우에는 위치판별 결과가 동일하여야 한다. 이 성질을 이용하여 상관모서리를 가지고 있지않는 삼각형에 대해서는 개별 삼각형에 대해 위치판별을 하지않고, 이미 위치 판별된 삼각형으로부터 위치 정보를 전달 받는 것이 효율적이다.

(3) 선택적 gluing

다음과 같이 삼각형의 위치판별 결과를 가진 삼각형을 모아 새로운 입체를 형성한다. 이 식들은 다양체 모델에 해당한 수식⁽⁸⁾이지만 정규화된 결과를 얻고자 하는 경우에도 적용 가능하다.

$$A \cup B = A \text{ out } B \oplus B \text{ out } A$$

$$A \cap B = A \text{ in } B \oplus B \text{ in } A$$

$$A - B = A \text{ out } B \oplus (B \text{ in } A)^{-1}$$

여기서 \oplus 는 gluing 연산자, $(\dots)^{-1}$ 은 폭지점의 순서를 순서를 바꾼 삼각형을 의미한다.

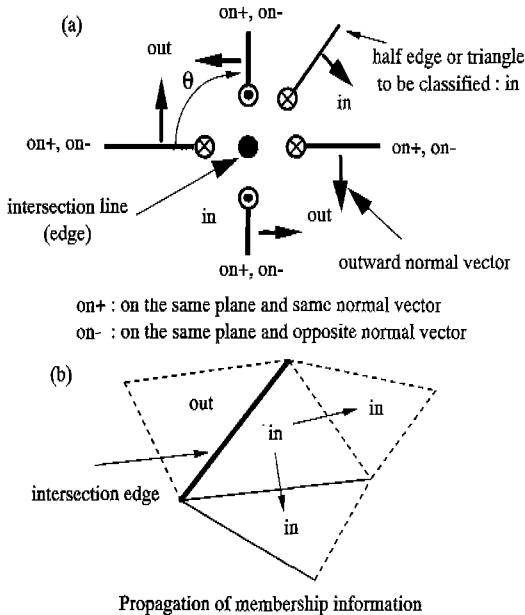


Fig. 9 Set membership classification and propagation of the membership information.

3.5 지지대의 모델링 및 지지대의 부가

Kirschman 등⁽¹⁶⁾은 지지대를 자동으로 부가해 주는 알고리즘에 대하여 연구하였고, Solar Concepts사의 Bridgeworks와 같이 지지대를 자동으로 부가해 주는 제품이 나와 있다. 그러나 이들이 완벽하지는 않기 때문에 완전 자동화보다는 반자동화하는 것이 좋다. 본 연구에서는 집합연산을 통해 지지대를 부가할 수 있다는 것을 보이기 위해 가장 간단한 형태인 기초 지지대(base support)를 수동으로 부가하였다. 전체 성형물에 대한 지지대를 자동으로 부가하는 것은 추후의 연구과제로 한다.

지지대는 두께가 얇기 때문에 면으로 모델링할 수 있다. 본 연구에서는 두께가 0인 솔리드로 지지대(면)를 모델링하였다. 따라서 면이 하나가 아닌 2개라는 점이다. 서로 반대 방향의 법선벡터를 가진 2중면으로 지지대를 모델링하였다. 지지대의 형상을 삼각형으로 분할한 후 이를 데이터 구조에 저장한다. 본 연구에서는 가장 널리 쓰이는 평행한 면으로 이루어진 4각형 지지대와 + 형상의 지지대 2종류에 대하여만 지지대의 위치, 간격 및 폭 등의 입력변수에 따라 지지대 primitive를 생성하도록 하였다. 원 모양 등 다른 형상에 대해서도 정형화 된다면 동일한 원리로 만들 수 있다.

앞에서 생성된 지지대 primitive들은 그대로 사용할 수는 없고, 지지대가 성형하고자 하는 부품과 만나는 곳에서 부품의 형상과 일치하도록 하여야 하기 때문에 형상 모델링의 합집합(union) 연산을 이용한다. 형상모델링에서의 통상적인 합집합 연산은 정규화된(regularized) 연산을 의미한다. 따라서 입체사이의 집합연산시 입체에 매달려 있는 면과 모서리(dangling face and edge)를 없애야 하지만, 성형하려고 하는 입체에 지지대를 부가하는 것은 역으로 이런 면을 만들어야 하는 일이다.

지지대를 두께 0인 솔리드로 만들어 성형물의 데이터 구조에 함께 저장하였기 때문에 비다양체 입체에 대한 입체의 형성조건을 항상 만족하며, 지지대를 부가한 후에도 언제든지 Fig. 7(f)와 같이 면이 중복되어 있는 삼각형들을 삭제한다면 지지대를 부가하기 전 상태로 돌아갈 수 있다. 성형물을 P, 지지대를 S라 할때 상관 및 위치판별에 대해서는 집합연산 과정과 동일하며 다음과 같이 성형물 외부에 존재하는 지지대만을 성형물과 합친다.

$$P + S = P \oplus S \text{ out } P$$

4. 적용예

본 연구에서 제안하는 삼각형 기반 형상모델러의 유용성을 보이기 위하여, 몇 가지 간단한 모델에 대하여 변형방지용 범을 추가하고 기초 지지대를 부가하였다. 이들 모델들은 상용 솔리드 모델러인 Autodesk의 Mechanical Desktop에서 모델링 하였으며 explode한후 AutoCAD R13에서 STL화일로 변환한 것이다.

Fig. 10(a)와 같은 형상을 광조형할 경우 수지의 수축에 의하여 변형될 것이다. 지지대가 부가되면 어느 정도 변형방지 효과가 있지만 실제 조형해 보면 변형이 너무 심하다. 이경우 Fig. 10(b)와 같은 변형방지용 범을 모델러에서 생성한후 합집합 연산을 거쳐 성형한후 이를 제거하는 것이 가장 좋은 변형방지 대책이다. 물론 합집합 연산까지 CAD에서 처리한후 STL변환을 할 수 있으나, 지지대 부가과정중에 이를 검토하는 것이 바람직하다.

Fig. 11은 수평면이 있는 경우 지지대를 부가하는 과정을 보인 것이다. 또한 지지대가 포함된 상태에서 슬라이싱한 결과도 보여 주고 있다. (b)는 모델러에서 생성된 지지대 primitive이며, (c)에서는 상관과정중 삼각형이 분할됨을 보이고 있다. (d)는 지지대의 삼각형중 성형물

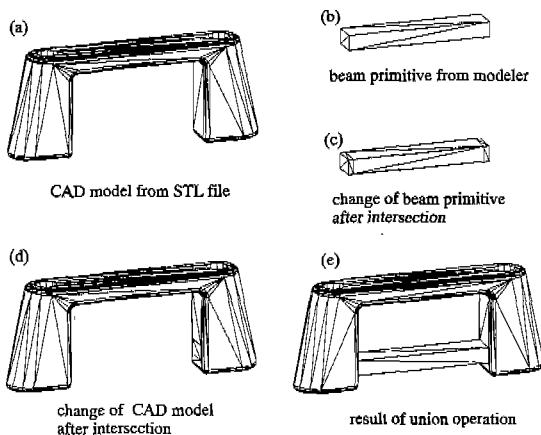


Fig. 10 Union operation to prevent deformation

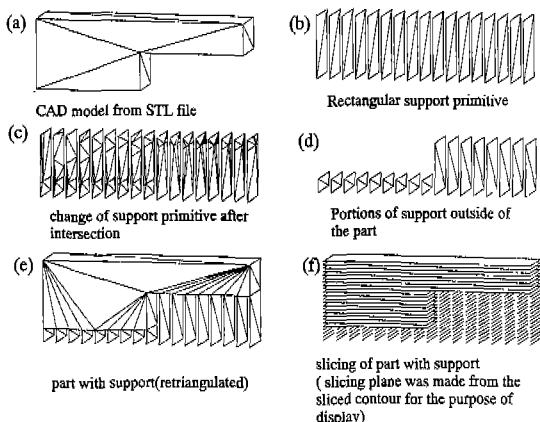


Fig. 11 Example 1 of adding rectangular support and slicing

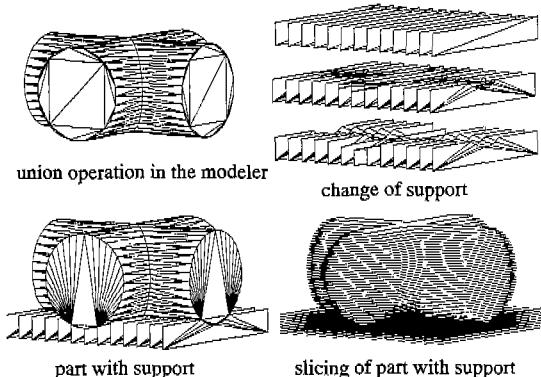


Fig. 12 Example 2 of adding rectangular support and slicing

외부에 있는 부분만을 도시한 것이고, (e)는 성형물과 지지대가 합쳐진 형태이다.

Fig. 12(a)는 교차하는 두 원기둥을 각각 모델러내에서 생성하고 합집합 연산을 한 것이다. 또한 합집합 연산 결과에 대해 지지대를 부가한 것을 보여 주고 있다.

Fig. 13은 +형상의 지지대를 필요한 위치에 수동으로 추가한 것이다.

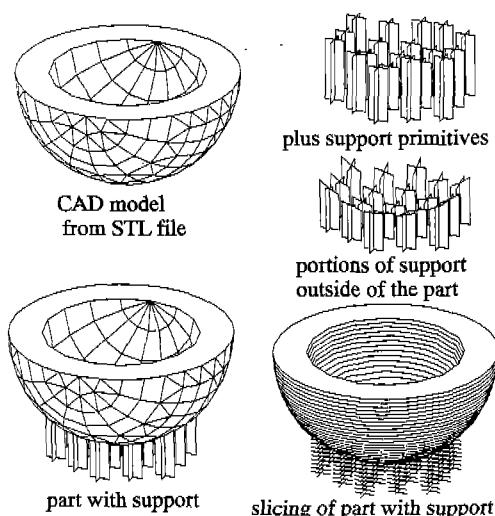


Fig. 13 Example of adding plus support and slicing

5. 결 론

고속조형 시스템에서 주된 입력 수단으로 사용되는 STL에 대응하고, 위상정보가 없는 STL을 입력받아 위상정보를 부여한 후, 각종 기하학적인 처리를 하기 위한 삼각형기반 비다양체 형상모델링의 데이터 구조를 제안하였다.

이 모델러는 primitive 생성능력 및 집합연산 능력을 가지고 있으며, 오일러 연산자가 없고, undo조작이 되지 않는 단점이 있지만, 주로 삼각형 폐치를 다루는 고속조형의 특성에는 매우 적합하다.

현재 본 모델러가 가지고 있는 기능은 다음과 같으며 이를 변형방지용 빔을 추가하거나, 지지대를 부가하는데 적용해 본 결과, 고속조형 시스템에 매우 유용하다는 결론을 얻었다.

(1) STL화일 및 삼각형 분리된 STEP AP204파일의 입출력

- (2) 입력자료의 검증
- (3) 집합연산을 통한 변형방지용 빔의 추가 및 지지대의 수동적인 부가
- (4) 슬라이싱
향후 연구과제로는 STEP AP204, AP203 등의 데이터 입력기능, 다양한 형태의 지지대 자동 생성기능, 슬라이스 결과를 이용하여 실제 광조형 장치가 성형하는 과정을 모의 할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다.

참 고 문 헌

1. Paul F. Jacobs, "Rapid Prototyping & Manufacturing : Fundamentals of Stereo Lithography", Society of Manufacturing Engineers, 1st Ed., 1992.
2. 3D Systems, Inc. "Stereolithography Interface Specification", 1989.
3. Bloor, M.S., Brown, J., Dolenc, A., Owen, J., Steger, W., "Data Exchange for Rapid Prototyping", Rapid Prototyping Journal Vol.1, No.1.
4. 혀정훈, 이건우, "SLA를 이용한 신속 시작작업에서 최적 성형방향의 결정", 한국 정밀공학회지 제13권 제4호, pp. 163-173, 1996.
5. Frank, D., Fadel, G., "Preferred Direction of Build for Rapid Prototyping Process", Proceedings of the Fifth International Conference on Rapid Prototyping Dayton, OH, pp.191-200, 1994.
6. Paoluzzi, A., Ramella, M., Santarelli, A. : "Boolean Algebra over Linear Polyhedra", Computer-Aided Design, Vol. 21, No. 8, pp. 474-484, 1989.
7. 채회창, 정인성, "분리형 삼각형을 기준으로한 입체 모델링에 관한 연구", 한국정밀공학회지 제10권 제1호, pp. 89-99, 1993.
8. Mäntylä, M., "An Introduction to Solid Modeling", Maryland, Computer Science Press, 1988.
9. Weiler, K., "The Radial Edge Structure: A Topological Representation for Non-Manifold Geometric Boundary Modeling", Geometric Modeling for CAD Applications, North-Holland, pp. 3-36, 1986.
10. Schenck, D., Wilson, P., "Information Modeling the EXPRESS Way".
11. ISO 10303-11, "EXPRESS Language Reference Manual".
12. Yamaguchi, Y., Kobayachi, K., Kimura, F., "Nonmanifold Topology Based on Coupling Entities", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.15, No.1, pp.42-50, 1995.
13. Masuda, H., "Topological Operators and Boolean Operations for Complex-Based Non-manifold Geometric Models", CAD, Vol. 25, No. 2, pp. 119-129, 1993.
14. ISO 10303-204, "Mechanical Design using Boundary Representation".
15. Eastman, C. M., Preiss, K. : "A Review of Solid Shape Modelling Based on Integrity Verification", Computer-Aided Design, Vol. 16, No. 2, pp. 66-80, 1984.
16. Kirschman, C.F., "Automated Support Structure Design for Stereolithographic Parts", Master of Science Thesis, Clemson University, 1991.