

고속시작 시스템을 위한 삼각형 기반 형상모델링

Triangle Based Geometric modeling for Rapid Prototyping CAM system

채 회 창

전북대학교 공과대학 기계설계과

ABSTRACT

Usually triangular patches are used to transfer geometric shape in Rapid Prototyping CAM system. STL, a list of triangles, is de facto in RP industry. Because STL has no topology data, it can cause errornous 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 traingular 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 consist with STL input.

1. 서론

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 개발사이클의 단축을 위한 시도중의 하나로서 최근 자동차, 가전, 전자, 항공등 거의 모든 제조업분야에 걸쳐서 널리 쓰이고 있는 방법이다.

Fig.1은 RP의 대표적인 방법인 광조형법(stereolithographic rapid prototyping)에서의 과정을 도시한 것이다. TL생산기술(Tool-less manufacturing technology)의 일종으로 절삭에 의하여 생산하는 것이 아니고 광경화수지를 레이저 광선에 의하여 경화시켜서 한층씩 쌓아서 성형한다. 최초의 RP장치는 1987년 3D Systems

Inc에 의해 소개되었으며 현재 전세계적으로 1,000 세트 이상이 가동되고 있다.

3D Systems가 최초의 RP기계를 출시할때 기하학적인 형상을 입력하기 위하여 Fig. 2와 같은 STL file(STereoLithography)[2]을 도입한이래 STL은 RP에서의 실질적인 표준(de facto)이 되어 왔다. 그러나 STL은 Bloor등[3]이 지적한 바와 같이 법선 벡터, 꼭지점의 좌표등과 같이 불필요하게 중복된 자료가 있어서 그 크기가 크고 위상에 대한 정보가 없기 때문에 솔리드여부를 알수가 없는등 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 STL출력을 지원하고 있는 실정이다. 솔리드모델러를 기반으로한 3D CAD시스템으로 부터 STL을 얻었다 하더라도 많은 경우가 일부 면이 누락되거나

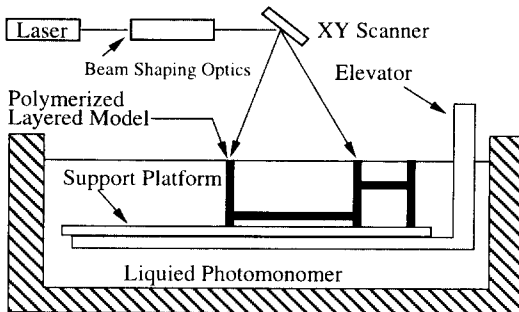


Fig.1 Stereolithographic Rapid Prototyping machine

```

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

중복되는 경우가 많다. 따라서 STL은 사용전에 반드시 확인을 요한다

현재의 STL 파일은 CAD시스템으로 부터 광조형 장치로 자료를 전달하는 역할만을 하고 있고 각 광조형 시스템에서는 이를 받아서 적절한 지지대를 붙여서 슬라이싱을 하여 Laser 광선을 주사하여 제품을 만들게 된다.

허정훈등[4] 및 Frank등[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(Stereolithographic Apparatus)에서는 필수적이다. 그 이유는 elevator위에 있는 platform에서 직접 성형한다면 성형된 부품을 광조형장치로부터 분리 시키는 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(서피스로 모델링가능)으로 만든다. 지지대가 포함된 상태에서 슬라이싱해서 내부를 해칭하여야 하기 때문에 기하학적 정보가 부족하게 되면 잘못된 성형물을 얻을수 있다. 이러한 문제점을 해결할수 있는 방안으로서 STL입력 이후의 STL의 검증, 지지대의 부가, 슬라이싱 과정등에도 3차원 형상모델링을 적용하는 것이다. 입력데이터가 주로 STL로서 삼각형 패치이기 때문에 삼각형을 모델링의 기본요소로 삼는 것이 자연스러우며, 솔리드에 서피스로 모델링 될수 있는 지지대가 부가되고, 나중에 슬라이스에 대한 정보를 포함시킨다면 솔리드 및 서피스가 혼재하는 상황이 된다. 따라서 비다양체 모델이 바람직하다.

2. 삼각형기반 비다양체 모델링의 데이터구조

Paoluzzi등[6]은 날개형 모서리(winged edge)에 대응되는 날개형 삼각형(winged triangle)을 기준으로 모델링하였다. 그러나 삼각형의 3모서리에 인접한면을 가르키는 포인터가 각각 1개씩이기 때문에 다양체(2-manifold)모델이다. 또한 모서리에 대한 개념이 없는 것이 특징이다. 채희창[7]은 현재의 STL과 같이 인접한 면에 대한 정보를 가지고 있지 않은 분리형 삼각형을 기준으로 비다양체 모델을 하였으나 인접정보를 얻기 위해 데이터 구조를 검색해야 하는 문제가 있다.

형상모델링 특히 Faceted B-rep에서 사용하는 토폴로지적인 요소들은 입체, 면, 모서리, 반모서리, 꼭지점등이다. 이런 요소를 어떤 방식으로 구조화 시켜서 기하학적인 정보를 저장하고 나중에 데이터 구조로 부터 필요한 정보를 얻어 내느냐가 B-rep의 요체이다.

모서리는 1차원적이지만 0차원인 꼭지점과 2차원인 면사이에 위치하기 때문에 기하학적인 정보가 가장 풍부한 곳이다. 그래서 통상의 모서리기준 형상모델링에서는 모서리에 면의 인접성 및 연결된 모서리 또는 꼭지점등에 관한 각종 정보를 포함시키고 있다. 날개형 삼각형 모델에서와 같이 삼각형기반 모델이라고 해서 모서리란 요소가 없는 것은 바람직하지 않다.

다양체모델중에서 특히 반모서리모델[8]의 경우에는 통상 1개의 모서리에 2개의 반모서리가 있으며 이들 반모서리에 이에 해당되는 면에 대한 정보를 가지게 함으로써 인접한 면에 대한 정보를 검색할수 있게 한다. 본 연구에서는 모든 면을 삼각형으로 분할하고 모서리에 2개 이상이 면이 인접하는 비다양체모델이기 때문에 모서리를 중심으로 삼각형을 방사상으로 저장시켜서 면의 인접에 관한 정보를 저장하였다. 날개형 삼각형모델과는 달리 모서리의 개념도 있으며 Weiler[9]의 방사상 모서리의 개념과 유사한 형태로 볼수 있다. Fig. 3은 본 연구에서 사용한 삼각형 기반 모델링에서 모서리 주위에 삼각형이 방사상으로 저장된 것을 보여 주고 있다.

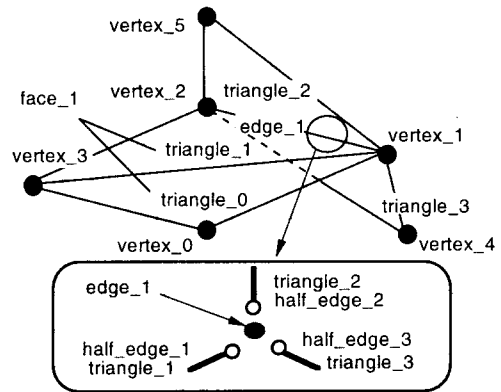


Fig. 3 Relationships between basic topological entities around edge.

Fig. 4는 본 연구에서 제안하는 삼각형 기반 비다양체 모델링의 데이터구조를 나타낸 것이다. 최근 ISO에서 제정하려고 하는 STEP 표준의 중요한 요소중의 하나인 EXPRESS-G[10,11]로 각종 기하학적 실체(entity) 사이의 정보흐름을 표현한 것이다.

EXPRESS 내지 EXPRESS-G는 데이터의 구조와 정보의 흐름을 기술할 뿐 프로그래밍 언어가 아니기 때문에 실제로는 C++로 프로그램하였다.

기하학적 위상구조중에서 가장 상위에 위치하는 것은 body이며 하나의 솔리드 또는 서피스패치가 될 수 있다. shell은 연속된 면들로 구성된 것을 말한다. 하나의 솔리드가 1개의 shell로 이루어 질수도 있고 속이 비어 있는 솔리드의 경우 2개의 shell로 구성된다.

face에는 면을 삼각형으로 분할하여 평면의 방정식과 아울러 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 삼각형의 법선벡터의 방향을 양으로 하여 나머지 삼각형들의 각도를 구한후 각도순으로 배치한다.

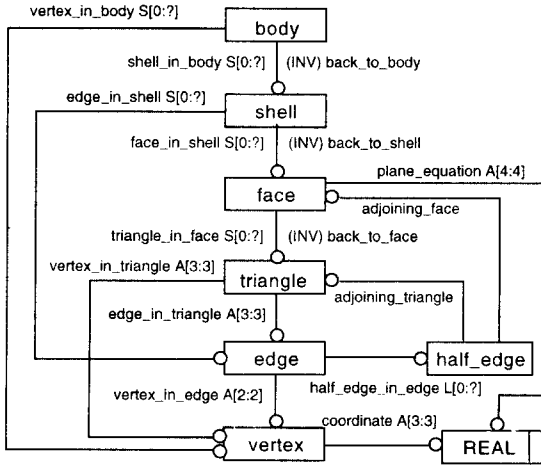


Fig.4 Data structure of proposed triangle based modeling.

3. 삼각형기반 비다양체 모델러의 기능

3.1 STL 입출력

삼각형기반 모델러이기 때문에 STL을 읽거나 출력하는 일은 용이하다. 입력시는 STL에 나와 있는 삼각형의 법선벡터의 방향과 3꼭지점의 순서대로 오른나사의 법칙으로 계산된 법선벡터의 방향이 뒤바뀐 경우가 있으니 이를 확인하는 것이 중요하다. 또한 STL이 컴퓨터 내부의 2진법자료(binary) 일수도 있지만 대부분의 경우 텍스트(ASCII)이기 때문에 formatting하는 과정에 반올림오차가 있을 수도 있다. 따라서 3꼭지점으로 부터 법선벡터를 다시 계산하여 사용하는 것이 바람직하다.

STL은 문제점중의 하나인 위상에 대한 정보가 없는 문제는 STL 삼각형의 3개의 꼭지점으로 부터 3개의 모서리 및 반모서리(삼각형에 해당)를 만들어서 이를 데이터구조에 만들어 넣음으로써 해결할수 있다. 즉 모서리에 반모서리 내지는 삼각형이 방사상으로 순서대로 저장되게 한다.

STL의 출력은 삼각형의 법선벡터와 3꼭지점을 직접 STL형식으로 출력하면 된다.

현재 아직 STL이외 RP에서 표준적으로 사용되는 형식은 없는 형편이다. 그러나 일부 연구자[3]들이 STEP의 AP204[12]를 사용하자는 제안을 하고 있으므로 미리 삼각형분할된 것을 AP204를 사용하여 저장한 것은 본 모델러에서 처리할수 있도록 하였다. 일반적인 AP204를 입력할수 있도록 하는 문제는 이를 다시 삼각형으로 분할하여야 하는 문제가 있기 때문에 추후의 연구과제로 하기로 한다.

3.2 STL의 검증

일반적으로 STL이 솔리드모델러로 부터 얻어졌다 고는 말할수 없다. 특히 서피스모델러로 부터 얻어진 경우에 윗면 또는 아래면이 통채로 누락된 경우가 있을 수 있다. 또한 솔리드로부터 STL을 얻은 경우에도 일부 삼각형이 중복되거나 누락되고 또한 삼각형이 서로 교차하는 경우가 있을수 있다. 화면에 출력하여 확대하여 조사하는 것만으로는 불충분하며, 최소한 문제점이 되는 부위를 자동으로 검출해 줄수 있는 방안이 요구된다. 삼각형 기반 형상모델러를 도입 하므로써 이러한 요구를 쉽게 처리할수 있다.

Eastman등[13]은 B-rep에서의 well-formedness를 규정하였는데, 여러 가지중에서 주요 내용은 다음과 같다.

- (1) 면을 삼각형으로 분할하였을 때, 꼭지점 및 공유모서리를 제외하고는 어느 곳에서도 교차하지 않아야 된다 (삼각형 분할조건)
- (2) 퇴비우스의 떠갈이 면의 방향이 변하지 말고 일관 되어야 한다(면의 방향성 : orientability)

이 두 조건을 STL의 검증에 사용한다. 첫째로 삼각형분할 조건을 만족하는지 여부는 입력된 STL 삼각형 사이의 모든 상관을 구하여 공통모서리와 공통의 꼭지점을 제외하고는 서로 상관하지 않는지 여부를 조사한다. 삼각형의 중복 또는 누락되는지 여부와 면의 방향성에 대해서는 모서리를 중심으로 방사상으로 저장해 놓은 삼각형의 갯수와 방향을 조사함으로써 알수 있다. Fig. 5는 이 과정을 도시한 것이다. 다양체만이 아니고 가장 일반적인 비다양체모델에 대한 위상구조를 확인할수 있다.

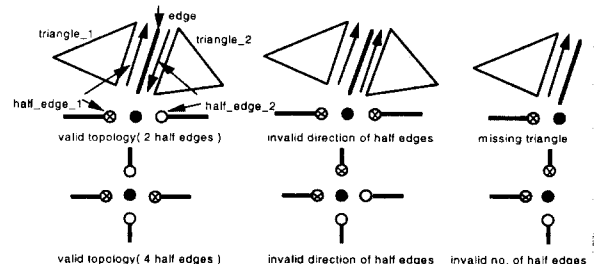


Fig. 5 Verifying topological information around edge.

3.3 지지대의 모델링 및 primitive의 생성

지지대는 두께가 얇기 때문에 면으로 모델링할 수 있다. 본 연구에서는 두께가 0인 솔리드로 지지대(면)를 모델링하였다. 따라서 면이 하나가 아닌 2개라는 점이다. 등이 붙어 있는 형태로 서로 반대 방향의 법선벡터를 가진 2중면으로 지지대를 모델링 하였다. 지지대의 형상을 삼각형으로 분할한후 이를 데이터구조에 저장한다. 본 연구에서는 가장 널리 쓰이는 평행한 면으로 이루어진 지지대와 + 형상의 지지대 2종류에 대하여 입력변수에 따라 자동으로 지지대 primitive를 생성하도록 하였다. 기타 원 모양등 다른 형상에 대해서도 정형화 된다면 동일한 원리로 만들수 있을 것이다.

3.4 지지대의 부가

Kirschman등[14]은 지지대를 자동으로 부가해 주는 알고리즘에 대하여 연구하였고, Solar Concepts사의 Bridgeworks와 같이 지지대를 자동으로 부가해주는 제품이 나와 있다. 그러나 이들이 완벽하지는 않기 때문에 완전 자동화보다는 반자동화하는 것이 좋다.

앞서 생성된 지지대 primitive들은 그대로 사용할수는 없고, 지지대가 성형하고자 하는 부품과 만나는 곳에서 부품의 형상과 일치 하도록 하여야 하기 때문에 형상모델링의 합집합(union) 연산을 이용하여야 한다. 형상모델링에서의 통상적인 합집합 연산은 정규화된(regularized) 연산을 의미한다. 따라서 입체사이의 집합연산시 입체에 달랑 붙어 있는 면과 모서리(dangling face and edge)를 없애야 하지만, 성형하고자 하는 입체에 지지대를 부가하는 것은 거꾸로 이런 면을 만들어야 하는 일이다.

일단 면의 법선벡터가 음의 Z축과 이루는 각도가 일정이하가 되는 삼각형 patch를 모은후 그중에서 주변환경을 고려하여 지지대를 부가할 위치와 지지대의 형태, 간격, 크기등을 정하여 primitive를 생성한다.

삼각형으로 분할하여 저장된 지지대 primitive와 성형하고자 하는 물체와 의 상관을 구한다. 이때 성형물과 지지대 모두 상관선에 의해 삼각형을 분할한다(Fig.6).

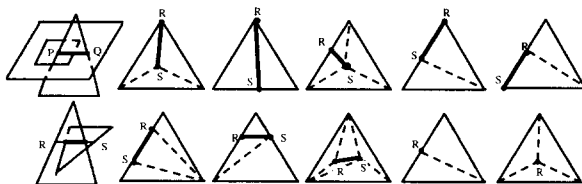


Fig. 6 Find intersection line and splitting the triangle.

상관선이 되는 모서리를 가진 지지대의 삼각형(B) 전부에 대해 Fig.7과 같이 성형하고자 하는 물체(A)에 대한 위치판별을 BoutA, BinA, BonA+, BonA- 등 4가지 경우로 판별한다. 여기서 BonA+, BonA-는 지지대의 삼각형중에서 성형물의 삼각형과 일치하는 삼각형을 의미한다. 단 +,-는 법선벡터의 방향이 같거나 반대로 되는 것을 의미한다.

일단 상관선이 있는 삼각형의 경우 물체와 접촉하고 있기 때문에 즉각 위치 판별을 할수 있다. 그의 삼각형에 대해서는 Fig. 7에서와 같이 상관선이 아닌 모서리를 통하여 위치판별결과를 전파하여 구할 수 있다.

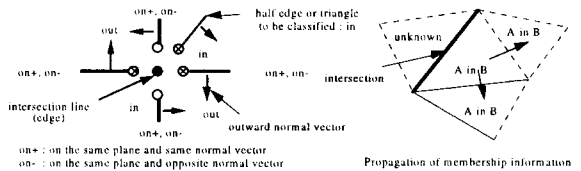


Fig. 7 Set membership classification and propagation of the membership information.

지지대에 속하는 모든 삼각형의 위치판별결과가 얻어지면 다음과 같이 필요한 삼각형을 모아 지지대를 부가한다.

$$A_{with\ support} = A \otimes BoutA$$

단 여기서 \otimes 는 tessellation 연산자

4. 적용예

본 연구에서 제안하는 삼각형 기반 형상모델러를 몇가지 모델에 대하여 STL 파일의 검증과 지지대를 부가하였다. 이들 모델들은 상용 솔리드 모델러인 Autodesk의 Mechanical Desktop에서 모델링하였으며 explode한후 AutoCAD R13에서 STL파일로 변환하였다.

Fig. 8은 수평면이 있는 경우 지지대를 부가하는 과정을 보인 것이다. 아울러 지지대가 포함된 상태에서 슬라이싱한 결과도 보여 주고 있다.

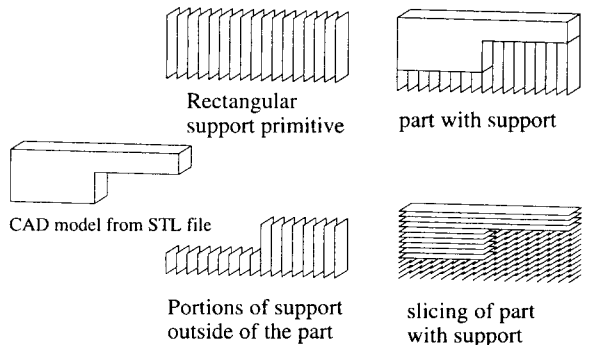


Fig. 8 Example 1 of adding rectangular support and slicing

Fig. 9은 교차하는 두 원기둥을 합집합 연산을 한것인데 면의 법선 방향이 아래를 향하면서 수평면과의 기울어진 각도가 20도 이내의 면에 대하여 자동으로 지지대를 부가한 것이다.

Fig. 10는 +형상의 지지대를 필요한 위치에 수동으로 추가한 것이다.

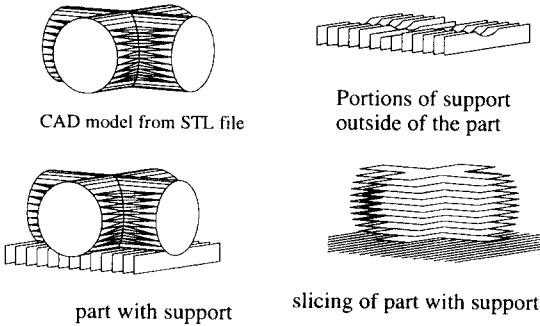


Fig. 9 Example 2 of adding rectangular support and slicing

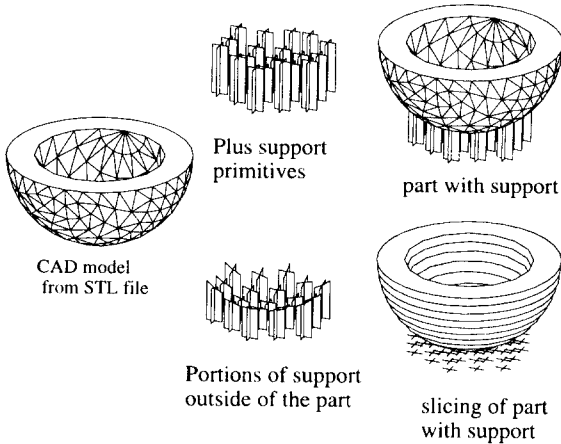


Fig. 10 Example of adding plus support and slicing

5. 결론

고속조형시스템에서 주된 입력 수단으로 사용되는 STL에 대응하고, STL입력 이후에 광조형시스템내에서 각종 기하학적인 처리를 하기 위하여서는 삼각형 기반 비다양체 형상 모델링이 필요하며 본 연구에서는 이에 상응하는 모델링 방법을 제안하였다. 본 연구에서 제안된 모델러를 사용함으로써 다음과 같은 작업을 용이하게 할수 있다.

- (1) STL화일 및 삼각형 분리된 AP204파일의 입출력
- (2) 입력자료의 검증
- (3) 집합연산을 통한 지지대의 부가

(4) 슬라이싱

향후 연구과제로는 STEP기반의 AP204, AP203등의 입력을 받아 들일수 있도록 하고, 다양한 형태의 지지대를 자동으로 생성시키는 기능을 추가하고, 슬라이스 결과를 이용하여 실제 광조형 장치가 성형하는 과정을 모의 할수 있는 시스템을 개발하는 것이 좋겠다.

참고문헌

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. 허정훈, 이건우, "SLA를 이용한 신속 시작작업에서 최적 성형방향의 결정", 한국정밀공학회지 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 Liner Polyhedra", Computer-Aided Design, Vol. 21, No. 8, pp. 474-484(1989).
7. 채희창, 정인성, "분리형 사막형을 기준으로한 입체 모델링에 관한 연구", 한국정밀공학회지 제10권 제1호, pp. 89-99, 1993.
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. ISO 10303-204, "Mechanical Design using Boundary Representation"
13. 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.
14. Kirschman, C.F., "Automated Support Structure Design for Stereolithographic Parts, Master of Science Thesis, Clemson University, 1991.