

VRML 모델을 이용한 쾌속조형에 관한 연구

김호찬*, 이주호*, 반갑수**, 최흥태***, 이석희****

A Study on Rapid Prototyping using VRML Model

Ho-Chan Kim*, Ju-Ho Lee*, Gab-Su Ban**, Hong-Tae Choi***, Seok-Hee Lee****

ABSTRACT

Internet becomes very common tool for communication and data sharing. Virtual reality(VR) on web browser, and virtual prototyping and virtual manufacturing is widely used in many engineering fields. The reduction of overall development process and error minimization during data conversion becomes very crucial where sharing data via Internet and VR. This paper deals with the advantage and disadvantage of VRML format used in RP(Rapid Prototyping), and a software for RP data preparation is developed. If VRML format as an international standard for VR, is replaced with STL format, the weak points of STL format can be overcome and the technique related to virtual prototyping and virtual manufacturing can be addressed more systematically by sharing the data. The system developed in this work shows a good window to get access to a more realistic observation of an object for an RP system from a long remote sites in a more systematic way.

Key Words : Rapid Prototyping (쾌속조형), Virtual Reality (가상현실), Data Conversion (정보의 변환), Internet (인터넷), Data Sharing(정보공유), STL, VRML

1. 서론

제품의 수명주기가 단축되고 소비자의 요구가 다양해짐에 따라 국제시장에서 경쟁력을 갖추기 위하여 시장상황 변화에 신속히 대응할 수 있고 고품질의 제품을 적기에 개발하고 양산을 수행할 수 있도록 하는 쾌속제품개발(Rapid Product Development : RPD)의 필요성이 높아지고 있다. 쾌속제품개발이 가능하도록 하는 기술들 중 특히 쾌속조형은 3차원 CAD 모델이 만들어진 이후에 외관형상 확인, 기능성 평가, 테스트 금형 제작 및 양산용 금형 제작 등에 활용되어 신제품개발 기간을 크게 줄이는데 활

용되고 있다.

제품의 개발 기간을 줄이려는 노력은 최근 활용 범위가 넓어지고 있는 인터넷을 응용한 기술로도 확장되고 있으며, 이러한 확장은 인터넷 통신속도의 증가와 가상현실(Virtual Reality)의 발달을 기반으로 가능해 졌다. 가상현실은 컴퓨터를 통하여 인간에게 정보를 제공하는 새로운 형태이다. 가상현실을 통하여 인간은 현실의 세계에서 보고, 듣고, 만지는 등의 행위와 비슷한 환경을 컴퓨터로부터 제공받는다. 이러한 가상 환경을 Virtual Environment, 또는 사이버 공간이라고 하며, 이를 통하여, 인간의 감각기관을 최대한으로 활용하여

* 부산대학교 대학원 지능기계공학과

** 상주대학교 자동차공학과

*** 경남정보대학 기계시스템학부

**** 부산대학교 기계공학부

새로운 정보에 접할 수 있게 되는 것이다. 가상현실을 통하여 인간은 3차원 영상을 제공받을 수 있으며, 이것은 현실 세계에서 인간의 눈을 통하여 사물을 보는 것과 유사하다. 컴퓨터에서 제공되는 가상현실 환경을 통하여 인간은 정보를 더 쉽고 빠르게 인지할 수 있다. 따라서 가상현실은 매우 다양한 분야에서 응용되고 있으며 공학에서는 Virtual Manufacturing, Virtual Prototyping 등으로 그 응용범위가 넓어지고 있다. Virtual Manufacturing은 현재는 시뮬레이션과 시각화의 단계에 있으나 앞으로 많은 연구가 수행될 것이다. 본 논문에서는 가상현실 기술의 발달을 웹을 통한 CAD/CAM 정보의 공유는 물론 쾌속제품개발과 연계하여 제품개발이 더욱 효율적이고 신속하게 수행될 수 있도록 하는 방법을 제시하고자 한다.

1.1 관련 연구

1987년에 최초의 상용 쾌속조형 장치가 발표된 이후 하드웨어, 소프트웨어, 소재분야에서 많은 연구가 수행되었으며, 오늘날 쾌속조형장치의 정밀도와 경제성 등이 크게 향상되었다. 그러나 현재는 작업자에 의한 후처리 공정을 거치지 않고는 사용할 수 없을 정도로 표면 거칠기가 좋지 않고 조형 정밀도 또한 절삭가공에 비하여 매우 낮으며, 재료의 특수성으로 인해 조형 비용이 많이 소요되기 때문에 지속적인 연구가 필요하다. 관련 연구로서는 Kevin K. Jurrens¹⁾는 STL 파일 포맷의 단점을 보완하기 위한 새로운 파일 포맷이 가져야 할 특성에 대하여 제안하였다. 지해성²⁾은 3D Printing으로 실제 성형을 실시하기 전에 수행하는 가상화 기술 및 표면 재질의 가상적인 중간 형상 모델을 개발하였다. 채영호³⁾는 반발력을 생성하는 햅틱장비를 이용한 가상의 점도모델링에 관한 연구를 수행하였으며 그 성과로 촉각요소를 포함한 가상시각 시스템을 구축하고자 하였다. Tanaka 등⁴⁾은 가상공간에서 기계 부품의 조립 가능성과 가상화예의 한 기구의 검증 시스템을 개발하였다. 그러나 부품의 간섭이 발생하였을 경우에 대하여 간섭부위와 간섭량, 그리고 간섭이 없는 형상으로 변화시키는 알고리즘은 제시하지 않았다. 권성수 등⁵⁾은 가상현실을 이용하여 자동차 운전 시뮬레이터를 개발하였으며, 김형중 등⁶⁾은 가상현실 기술을 이용하여 차량항법 장치의 GUI를 설계하는 등 활발한 연구가 수행되고 있다. 그러나 쾌속조형기법은 3차원 CAD 모델에서 시작

되기 때문에 각종 CAD 시스템에서 생성된 3D모델 데이터의 내재된 오류로 인한 조형 문제점을 해결하기 위해서는 조형자와 설계자 사이의 신속하고 원활한 의견교환이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 WWW과 인터넷 가상현실 기술을 이용한 쾌속조형 정보의 생성 및 공유 기법을 개발하도록 한다.

2. 쾌속조형의 입력으로서의 VRML모델

쾌속조형에 표준 입력 파일 포맷으로 사용되고 있는 STL 파일 포맷은 1987년에 3D System사가 Albert Consulting Group에 의뢰하여 만들어졌으며 3차원 솔리드 모델을 삼각형 facet으로 근사 시킨 것이다. 이후 CAD 시스템 개발자들이 STL 파일을 표준 출력의 옵션으로 선정하였다. 현재 대부분의 상용 CAD 시스템이 STL 포맷을 지원하고 있으며, IGES, STEP 등 각종 표준 파일들을 STL파일로 변환시키는 소프트웨어들이 개발되어 사실상 쾌속조형의 표준 입력 파일 포맷으로 인정하고 있다. 기존의 쾌속조형 소프트웨어 알고리즘은 모두 STL파일 입력을 기반으로 개발되었다.

2.1 STL 포맷의 특징

STL 포맷은 각 삼각형에 대하여 법선 벡터(normal vector)와 3개의 정점 좌표를 갖는다. 이때 정점은 오른손 법칙(Right Hand Rule)에 따라 법선 벡터의 반시계 방향 순서로 나열하며, 각 정점은 인접한 모든 삼각형의 정점이어야 한다는 꼭지점규칙(Vertex To Vertex Rule)을 만족하여야 한다.⁷⁾

STL 파일은 ASCII 포맷과 BINARY 포맷이 존재하지만, ASCII 포맷에 비해 BINARY 포맷의 파일의 크기가 약 25%이므로 BINARY 포맷이 주로 사용된다. BINARY 파일은 제목과 전체 삼각형의 개수에 이어, 각 삼각형의 3정점을 반시계방향으로 나열하고 법선벡터를 기술하는 방식이다.

STL 포맷의 장점은 내부처리구조가 서로 다른 CAD/CAM 시스템에서 쉽게 상호간의 정보를 교환할 수 있다는 점이다. 즉, 기존의 삼각유한요소 생성법을 이용하여 모델을 삼각형 매쉬(mesh)로 분할하면 쉽게 STL 포맷으로 출력할 수 있으며, 이러한 정보를 입력으로 할 경우 특별한 해석 없이 사용될 수 있다. 그러나, CAD 시스템에서 생성된 형상 데이터는 곡면을 포함하는 경우가 많다. 이러한 형상

데이터를 오차 없이 정확히 삼각형으로 옮기는 것은 불가능하며, STL 파일이 CAD 모델을 특정한 오차 범위를 만족하도록 다수의 삼각형으로 분할한 것이므로 정점의 정의가 3회 이상 반복되어 큰 저장 공간이 필요하고, 기하학적 위상 정보가 부족하다는 단점이 있다. 결과적으로 STL 파일을 입력으로 사용할 경우 정보의 처리가 매우 느리고 복잡해진다. 특히 곡면이 많이 존재할 경우에 STL에는 아주 많은 삼각형이 필요하다. STL 포맷은 정점과 정점, 삼각형과 삼각형사이의 관계에 대한 정보를 갖지 않음으로써, 정보의 효율적 처리가 어렵다. 전술한 바와 같이 STL 파일 포맷은 많은 문제점이 있으므로 이를 대체하는 새로운 파일 포맷들이 P. Vuyuru⁸⁾, L. E. Roscoe⁹⁾, M. J. Wozny¹⁰⁾ 등에 의해 연구되었지만, 새로운 규약에 대한 검증이 되어 있지 않고, 상용 CAD 시스템에서 지원하지 않아 사용되지 않고 있다.

2.2 Virtual Reality와 VRML

가상현실(Virtual Reality : VR)은 구체적인 정의가 확립되지 않았지만 컴퓨터 내부에 인간이 느낄 (visual, touch, smell, noise, taste)수 있으나 이것이 실체가 아닌 가상적인 세계를 뜻한다. 이러한 개념은 1989년 Jaron Lanier에 의해 처음 구체적으로 제시되었고, 이후 많은 연구가 진행되고 있다. 기계공학에서 가상현실의 개념은 Virtual Prototyping, Virtual Manufacturing 등에 응용되어 활발히 연구되고 있으며 점차 그 적용 범위를 넓혀가고 있다.

Gregory Lee¹¹⁾의 정의에 의하면, Virtual Prototyping은 CAD모델을 실제적으로 생성하기 전에 이를 가시화하고 시험하는 작업으로서, 신제품 개발에 적용한 가정을 점검하고 품질을 향상하는 기술이다. 이는 쾌속조형기술에 의하여 시제품이 제작되기 전에 수행하여 설계변화에 더 효율적으로 대처할 수 있도록하는 기술이며, 조립성 평가 및 기구적 운동 범위 등의 검사는 가상현실 기술을 응용하여 이루어 질 수 있다.

Kazuaki Iwata¹²⁾에 의하면 Virtual Manufacturing은 엄격한 국제 규격을 따른 제품을 유연하고 신속하면서 분산된 생산 환경에서 적은 로트 단위로 생산하기 위하여, 가상적 생산 체제하에서 생산공정의 시뮬레이션과 컴퓨터 모델을 사용하는 것으로 가상현실을 생산 시스템에 좀더 적극적으로 활용하고자 하는 방법이다.

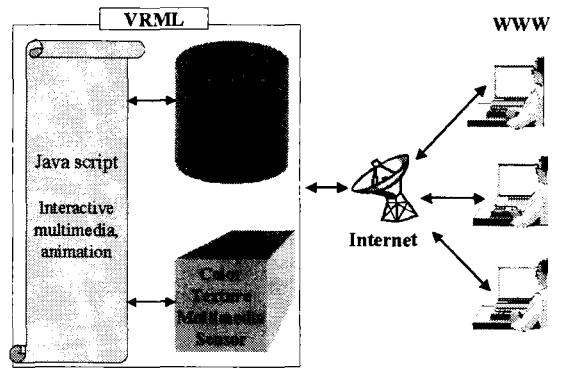


Fig. 1 Sharing VRML via WWW

가상 현실에 대한 기술이 발전함에 따라 기존의 인터넷 사용자들에게 별도의 하드웨어적인 시스템 확장 없이 3차원의 가상공간 체험을 가능하게 하는 인터넷 구현기술인 IVR(Internet Virtual Reality)에 대한 연구가 활발해 지고 있으며, 웹을 이용한 가상현실 브라우저가 발표되어 가상현실이 인터넷을 통하여 빠른 속도로 확산되고 있다. 이것은 인터넷과 웹브라우저만 있으면 어느 곳에서도 가상현실을 통해 Virtual Prototyping과 Virtual Manufacturing을 수행 결과를 활용할 수 있으며, 별도의 CAD시스템이나 뷰어(viewer)없이 CAD형상을 볼 수 있다는 것을 의미한다.¹³⁾

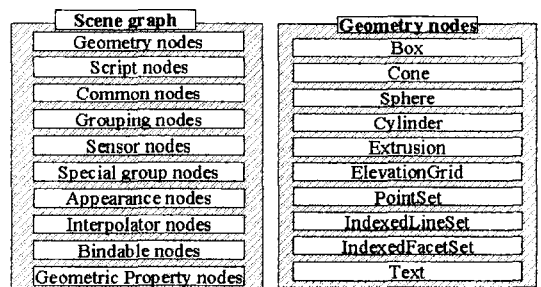


Fig. 2 Nodes of VRML and Geometry nodes

가상현실의 세계를 모델링 하기 위한 언어인 VRML(Virtual Reality Modeling Language)¹⁴⁾은 1994년 Anthony Parisi, Gavin Bell, Mark Pesce에 의해 규약 1.0을 발표함으로써 확립되었다. VRML은 SGI(Silicon Graphics Incorporation)사의 Open Inventor의 포맷을 제공받아 만들어졌으며, Open Inventor 소스 코드에 기초하여 C++언어로 작성된 고속 VRML 해석기 OvLib가 개발되면서부터

WWW(World Wide Web)을 통하여 전 세계로 확산되었다. VRML은 현재 ISO/IEC 14772-1의 국제 표준으로 채택 되어 있다.

VRML은 멀티미디어는 물론 상호작용(interactive action)과 자바스크립트에 의한 프로그램 가능한 객체를 정의할 수 있는데, 이 객체의 정의 자체를 노드(node)라 칭한다. 노드들은 장면 그래프(Scene Graph)라고 불리는 계층적 구조 내에 배열되며, 다른 노드와 구분되거나 영향을 미칠 수 있다. 노드는 그 사물의 성질을 나타내는 필드를 가질 수 있으며, 노드 자신의 이름을 가질 수 있고, 계층적으로 자식이나 부모노드를 가질 수 있다. 이때 자식노드는 부모노드의 모든 성질을 상속받는다. 이러한 특징 때문에 VRML이 객체 지향적 언어라 할 수 있다.

3. VRML을 이용한 쾌속조형

3.1 장점

VRML파일을 쾌속조형에 사용할 경우 STL 포맷에 비해 추가적인 형상 오차가 발생하지 않고 가상현실이 가진 잇점을 이용할 수 있으며 STL파일의 단점을 보완할 수 있다. 보다 구체적인 장점은 다음과 같다.

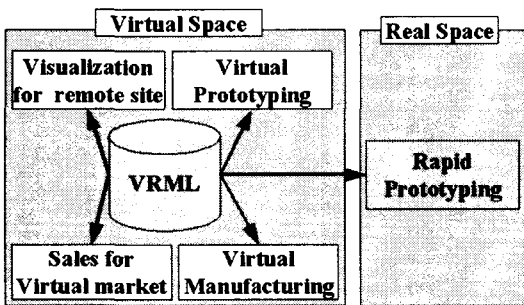


Fig. 3 Usage of VRML on prototyping process

- 1) 별도의 뷰어 없이 웹 브라우저를 통해 모델의 가시화가 가능하며, WWW을 통한 모델 데이터의 공유가 별도의 변환 과정 없이 이루어질 수 있다.
- 2) Virtual Reality, Virtual Prototyping, Virtual Manufacturing 등 연관 기술들과 모델 데이터를 공유할 수 있다.
- 3) 멀티미디어와 상호작용을 이용하여 가상시

장(Virtual Market)에 대한 판매 준비를 동일한 데이터로 수행할 수 있다.

4) CSG 요소를 사용할 수 있다. 실제로 사용되는 일반적인 모델의 90%이상이 CSG요소로 구성될 수 있으므로 이를 쾌속조형에 직접 이용할 수 있다.

5) 쾌속조형으로 제작할 모델, 지지대(Support Structure) 및 슬라이스의 가시화가 가상현실을 통해 쉽게 이루어진다. CAD 형상정보에 오류가 포함된 경우에도 WWW을 통해 상호간에 오류 원인을 쉽게 파악할 수 있다.

6) 정점 정보의 반복이 없는 삼각형 정보가 저장되므로 파일의 크기가 작아지게 되어, 후속 공정의 수행속도가 빨라지게 된다.

7) Vertex 인덱스를 사용하므로 삼각형 또는 서리 간의 위상정보를 쉽게 찾아낼 수 있다.

8) STL 포맷을 입력으로 하는 쾌속조형 알고리즘을 큰 수정 없이 사용할 수 있다.

9) VRML파일은 STL파일로 변환하더라도 추가적인 형상오차가 발생하지 않는다. 또 STL에서 VRML로의 변환이 매우 간단하며 추가적인 형상정보의 오차가 발생하지 않아, 완전한 상향 호환성을 갖는다.

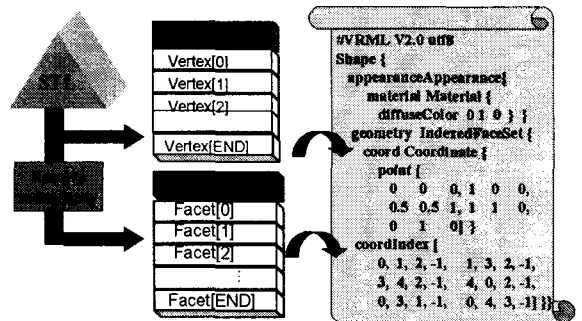


Fig. 4 STL to VRML translation

3.2 STL 파일과의 호환성

STL과 VRML의 IndexedFaceSet 노드는 상호 변환이 가능하다. IndexedFaceSet은 coord field와 normal field에서 면을 정의하기 위해 사용할 모든 정점과 법선벡터의 정보를 중복 없이 나열하고, coordIndex field에는 각각의 면을 구성하는 정점을 일정한 방향으로 기록하고 normalIndex field에는 각 면의 순서에 따라 법선벡터를 기록함으로써 STL 파일 포맷과 동일한 정보를 저장할 수 있다. VRML

의 IndexedFaceSet은 단순히 삼각형으로 이루어진 형상정보를 표현하는 것 이외에 Table 1에서 보인 바와 같이 다각형 형상정보, 색상, 질감 그리고 사용자와 상호작용을 할 수 있는 이벤트(event)등 여러 가지 노드를 가지고 있다. STL 파일 포맷이 형상정보만을 표현하기 위한 것이므로 VRML과 STL파일 포맷은 오류가 증가시키지 않고 완전한 형상정보의 호환이 가능하다. 그러나 IndexedFaceSet을 사용할 경우 정점과 법선벡터의 정의가 전혀 중복되지 않아 파일의 크기가 작아지고 응용 프로그램이 중복을 제거하기 위한 별도의 처리 루틴을 가질 필요가 없다.

Table 1 IndexedFaceSet

```

IndexedFaceSet {
  exposedField SFNode color NULL
  exposedField SFNode coord NULL
  exposedField SFNode normal NULL
  exposedField SFNode texCoord NULL
  field SFBool ccw TRUE
  field MFInt32 colorIndex [] # [-1,∞ )
  field SFBool colorPerVertex TRUE
  field SFBool convex TRUE
  field MFInt32 coordIndex [] # [-1,∞ )
  field SFFloat creaseAngle 0 # [0,∞ )
  field MFInt32 normalIndex [] # [-1,∞ )
  field SFBool normalPerVertex TRUE
  field SFBool solid TRUE
  field MFInt32 texCoordIndex [] # [-1,∞ )
  eventIn MFInt32 set_colorIndex
  eventIn MFInt32 set_coordIndex
  eventIn MFInt32 set_normalIndex
  eventIn MFInt32 set_texCoordIndex
}
    
```

3.3 쾌속조형을 위한 데이터 구조

VRML의 Extrusion, ElevationGrid 노드 및 CSG 요소는 그 형상 정의와 함께 오차 범위를 만족하는 삼각형으로 분할하여 IndexedFacetSet과 동일한 형식으로 저장한다. 이것은 기존의 STL파일을 입력으로 하는 쾌속조형 알고리즘을 동일하게 적용할 수 있으면서, 특별한 경우에는 CSG요소를 이용하여 원하는 오차 범위 이내의 정도를 가진 형상 정

보를 얻기 위해서 이다. Fig. 5에는 VRML의 장면 전체를 나타내는 Scene과 대표적인 객체를 저장할 자료구조를 나타내고 있다.

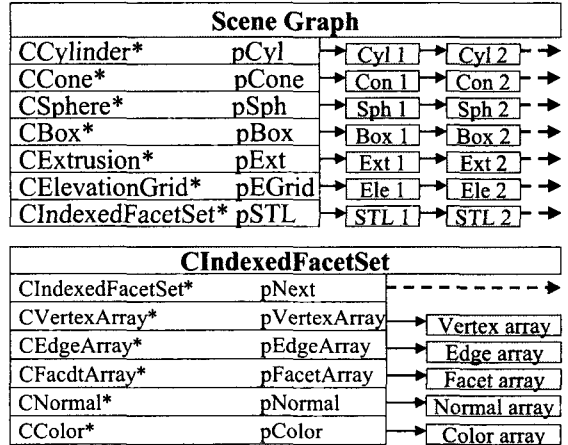


Fig. 5 Data structure for VRML

3.4 위상 정보의 재구성

신속하고 효율적인 CAD정보 처리를 위해서 vertex 정보를 인덱스화하는 것 이외에도 facet과 edge에 대한 위상 정보를 재구성할 필요가 있다.

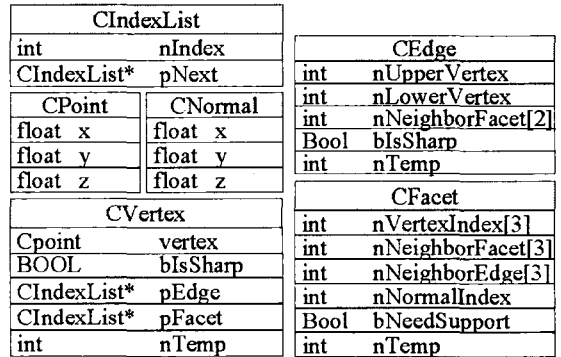


Fig. 6 Data structure for IndexedFacetSet

재구성된 위상정보는 조형자세 결정, 지지대 자동생성, 슬라이싱 등 후속 공정의 알고리즘을 단순화시키고 효율성을 증대시킨다. 각각의 정점, 모서리, 삼각형, 법선벡터를 포인터(pointer)가 배열의 선두를 지칭하는 동적 배열로 정의함으로써 추가 삭제가 가능하다. 또 모든 기하요소에 대하여 인덱스를 이용한 임의접근(random access)이 가능토록 구성함으로써 순차접근(sequential access)을 실시해야 하는 linked list에 비해 높은 효율성을 갖는다.

VRML은 좌표변환, 색상 등 모든 정의가 부모 객체로부터 자식 객체로 상속되므로 포함된 모든 속성을 상속된 객체별로 적용해야 한다. Fig. 6에서 보인 기본 정보들을 배열의 형태로 재구성하는 알고리즘을 Fig. 7에 나타내었으며 아래의 step과 같

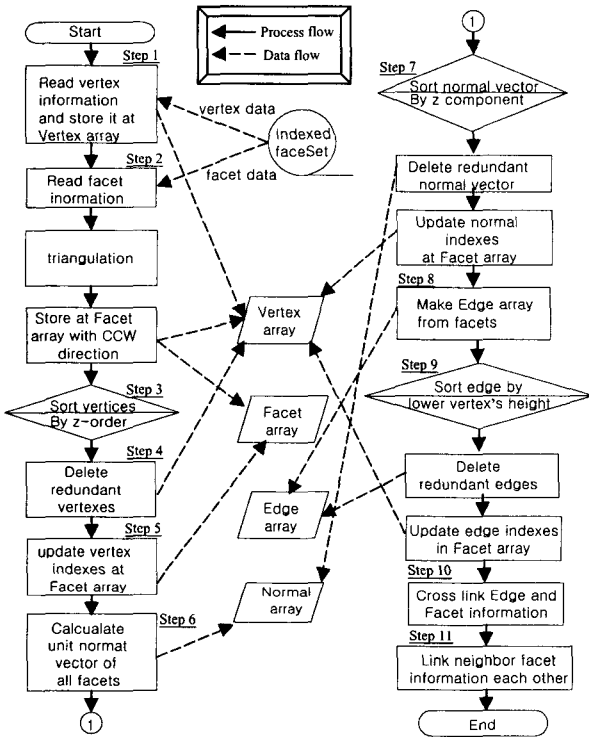


Fig. 7 Flow chart for building data structure

다.

[step 1] VRML 파일로부터 정점의 좌표 값을 읽어 Vertex 배열에 대입한다.

[step 2] VRML 파일로부터 면의 정보를 읽어 4각형 이상인 경우 3각형으로 분할하여, 각 3각형을 구성하는 정점의 인덱스를 반시계 방향으로 Facet 배열에 대입한다. 이때 각 정점의 pFacet에 삼각형의 인덱스를 기록한다.

[step 3] 정점의 인덱스를 Vertex 배열의 nTemp에 저장한다. 정점 검색의 효율을 높이기 위하여 Vertex 배열의 정점을 조형방향(z축) 오름차순으로 정렬한다.

[step 4] 정렬을 수행하면 좌표가 동일한 정점이 3개 이상 연속으로 나타나게 되므로 각각의 정점에 대하여 중복을 제거한다. 이때 제거될 정점의

pFacet 리스트에 기록된 삼각형의 인덱스를 동일한 좌표를 갖는 남겨둔 정점의 pFacet 리스트로 연결해 주어야 하며 중복이 제거된 인덱스와 제거되지 않은 인덱스를 구분하기 위하여 중복을 제거한 정점의 인덱스에 -1을 곱하여 음의 부호를 표기한다.

[step 5] 각 정점에 대한 중복 제거가 끝나면 Facet 배열에 저장된 삼각형의 정점 인덱스에 -1을 곱하여 양의 부호를 갖도록 한다.

[step 6] Facet 배열의 각 삼각형에 대해 단위법선벡터를 구하여 이를 Normal 배열에 저장한다.

[step 7] Normal 배열의 법선 벡터를 조형방향(z축)성분의 크기에 따라 오름차순으로 정렬하여 동일한 법선 벡터는 제거한 후 각 삼각형의 법선 벡터 인덱스를 정렬된 새로운 값으로 갱신한다.

[step 8] 각 삼각형에 존재하는 3개의 모서리를 Edge 배열에 저장한다. 각각의 모서리를 저장할 때 검색효율 향상을 위하여 모서리를 구성하는 두 정점의 z값에 따라 높은 것은 nUpperVertex에 낮은 것은 nLowerVertex에 저장하며, 모서리로 분리한 삼각형의 인덱스를 Edge 배열의 nNeighborFacet[0]에 기록한다.

[step 9] 각 모서리에 대하여 nLowerVertex의 z값이 낮은 순으로 정렬한다. 이때 동일한 모서리가 2개씩 쌍으로 존재하며, 이 모서리 쌍은 각각 다른 삼각형을 구성하는 모서리이므로 nNeighborFacet[0]에 기록된 삼각형의 인덱스를 다른 모서리의 nNeighborFacet[1]로 옮기고 중복된 모서리를 제거한다. 만일 동일한 모서리가 2개가 아닌 경우는 CAD 정보에 구멍 또는 중첩 오류가 포함된 경우이다. Vertex 배열의 pEdge에 저장된 인덱스를 갱신한다.

[step 10] 각 삼각형의 nNeighborEdge에 인접한 모서리의 인덱스를 기록하기 위하여, 각 모서리의 nNeighborFacet에 기록된 삼각형의 정보를 이용하여 역으로 삼각형의 nNeighborEdge에 해당 모서리의 인덱스를 기록한다.

[step 11] 삼각형 f_n 의 각 정점을 v_1, v_2, v_3 라 하고 이 정점을 포함하는 삼각형의 집합을 S_{n1}, S_{n2}, S_{n3} 라 할 때 이 정보들은 구성된 자료구조로부터 직관적으로 구해질 수 있으며, f_n 과 모서리를 공유하는 삼각형 f_{n1}, f_{n2}, f_{n3} 을 아래 식(1)과 같이 구하여 Facet 배열의 nNearFacet에 기록한다.

$$f_n = S_{f1} \cap S_{f2} \cap S_{f3}$$

$$\{f_{n1}, f_{n2}, f_{n3}\} = (S_{f1} \cap S_{f2}) \cup (S_{f2} \cap S_{f3}) \cup (S_{f3} \cap S_{f1}) - \{f_n\} \quad (1)$$

이상과 같이 구성한 자료구조를 이용하면 삼각형, 모서리, 정점의 정보를 연속적이고 직관적으로 얻을 수 있어 조형방향 설정, 지지대 생성, 슬라이싱 등의 후속 과정을 효율적으로 처리할 수 있다.

3.5 재구성된 정보의 점검

기존의 상용 CAD 시스템에서 변환된 STL이나 VRML파일에 오류가 있는 경우가 있다. 이러한 오류가 내재된 STL 파일로는 조형자세설정, 지지대 생성, 슬라이싱 등의 후속 처리를 올바르게 수행할 수 없다. 따라서 사전에 오류를 검사하여 CAD 시스템 운용자에게 알릴 필요가 있다. 대표적인 오류는 이웃한 삼각형이 누락된 구멍 오류와 한 모서리에 세 개 이상의 삼각형이 존재하는 중첩 오류, 그리고 법선벡터의 방향의 뒤집힘 등이 있다.

으로써 자동적으로 발견된다. 즉, 1개의 모서리를 공유하는 삼각형이 1개인 경우, 한 삼각형과 모서리를 공유하는 삼각형이 2개 이하인 경우, 또는 한 정점을 공유하는 삼각형이 3개 이상이 되지 않으면 구멍오류가 포함되어 있다. 또한 1개의 모서리를 공유하는 삼각형이 3개 이상인 경우, 한 삼각형과 모서리를 공유하는 삼각형이 4개 이상인 경우는 중첩오류가 포함되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 일부 혹은 전체의 법선 벡터의 뒤집힘을 수정하는 알고리즘을 나타내고 있다. 인접한 두 삼각형의 정점을 반시계 방향으로 나열하면 공유되는 두 정점의 나열 순서는 서로 역순임을 이용하여, 임의의 한 삼각형의 방향을 정확히 구하여 전체 삼각형의 방향을 바로 잡을 수 있다. 이때 기준이 되는 최초 삼각형은 무한히 먼 곳으로부터 객체를 향하는 벡터 N_b 를 생각하고, 이 벡터와 최초로 만나는 면의 법선 벡터 N_{f0} 와의 내적을 생각한다면 그 값의 부호는 객체가 솔리드 형상이라면 양의 부호를 가져야만 한다. 따라서 내적이 음의 값을 갖는 경우에는 법선 벡터의 방향이 뒤집어 졌음을 알 수 있다. 이때 내적이 0 라면 N_b 의 끝점을 조금 옮겨서 내적을 구한다.

$$\vec{N}_b \cdot \vec{N}_{f0} \geq 0 \quad (2)$$

기준이 되는 삼각형으로부터 그에 인접한 세 삼각형의 법선 벡터를 수정하고, 수정된 삼각형으로부터 인접한 다른 삼각형을 연속적으로 수정하면 한 객체내의 모든 법선 벡터를 수정할 수 있다. 수정한 삼각형의 nTemp에 검사 여부를 기록하면, 중복 없이 수정 할 수 있다. 인접한 면들을 모두 검사하면 nTemp를 조사하여 검사되지 않은 면들이 존재한다면, 2개 이상의 객체가 존재하는 경우이므로 이들을 분리하여 법선 벡터 수정을 실시한다.

3.6 객체의 Union 연산

VRML은 다중 객체를 지원하지만 객체들간의 Union연산을 별도로 지정하지 않고 있다. 따라서 간섭이 발생하는 객체간에 Union 연산을 수행하여 하나의 독립된 객체로 만들어야만 패속조형에 활용할 수 있다. 각 객체를 완전히 둘러싸는 최소의 직육면체인 바운딩 박스(bounding box)를 구하여 바운딩 박스 사이의 간섭이 존재하면 아래 알고리즘을 적용하여 두 객체의 실제형상에 간섭을 판단하고 하나의 객체로 결합시킬 수 있다.

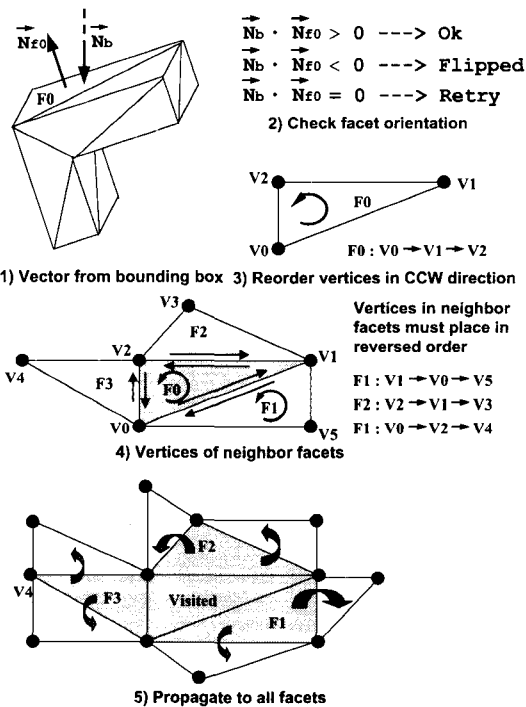


Fig. 8 Normal vector correction for a solid object

구멍과 중첩 오류는 전술할 자료구조를 확립함

[step 1] 두 객체의 표면이 교차하는 교선을 찾는다. 이때 바운딩 박스의 교집합 영역에 속하는 삼각형을 고려하면 된다. 단, 삼각형이 점으로 만나는 경우는 무시하며, 면으로 만나는 경우는 각 삼각형의 교집합 부분을 제거한 삼각형들로 분할하여 다시 교선을 찾는다. 만약 모든 삼각형을 조사하더라도 교차가 발생하지 않으면 두 객체가 완전히 분리되었거나 완전히 포함된 경우이므로, 이를 결정하기 위하여 각 객체에 서로 다른 면그룹 번호를 설정한 후 [step5]를 실시한다. 모든 교선을 찾으면 이들의 끝점을 연결하여 교차루프를 형성한다. 만일 루프가 열려 있으면, 구멍 오류가 존재하는 것이다. 복수의 교차루프가 형성되면 2회 이상 교차가 발생함을 알 수 있다.

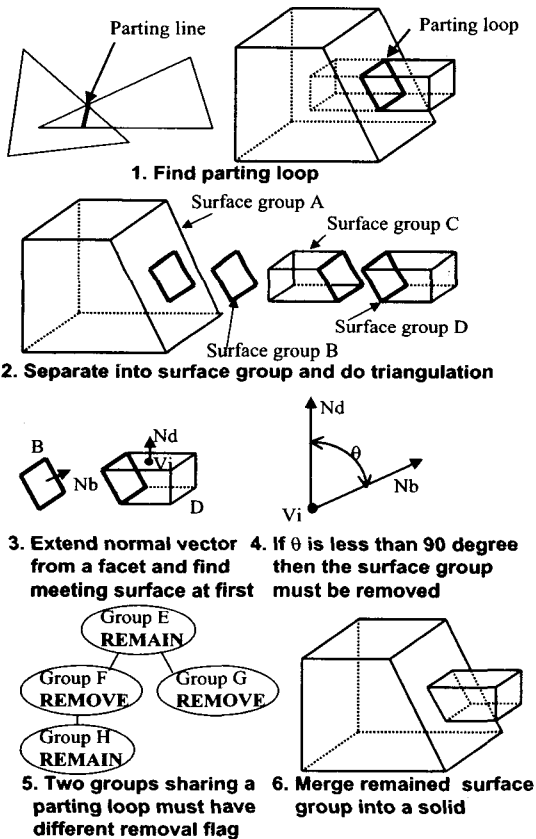


Fig. 9 Illustrative example of Union operation

[step 2] 교차가 발생한 삼각형은 교선을 모서리로 갖는 두 개의 다각형으로 분할하고, 두 다각형을 삼각 분할하여 저장하고 기존의 삼각형 정보는

삭제한다. 각 객체의 삼각형들을 교차루프를 경계로 각기 다른 면그룹 번호를 할당한다.

[step 3] 각 면그룹의 삭제 여부를 결정하기 위하여 객체당 적어도 하나 이상의 면그룹 삭제 여부를 판단해야 한다. 하나의 삼각형을 임의로 선택하여 삼각형의 중심으로부터 법선 벡터를 연장하여 상대 객체와 최초로 만나는 삼각형의 법선 벡터를 구한다. 이때 사이각이 90도이면 법선 벡터의 연장선과 최초로 만나는 모서리를 가진 삼각형이 2개 존재하므로 90도가 삼각형의 법선 벡터를 구한다.

[step 4] 두 벡터의 사이각을 계산한다. 두 벡터의 사이각이 90도 보다 작다면, 해당 면그룹은 삭제할 면그룹이며, 90도 보다 크다면 삭제대상이 아니다. 단, 법선 벡터의 연장선이 다른 면그룹과 만나지 않으면, 해당 면그룹은 union 연산 후에 남게 될 면그룹이다.

[step 5] 한 객체에서 동일한 교차루프를 경계로 갖는 두 면그룹중 하나는 반드시 제거되어야 하고, 나머지 하나는 제거되지 않아야 함을 이용하면 모든 면그룹들의 제거 여부를 쉽게 결정할 수 있다.

[step 6] 삭제 대상 면그룹으로 설정된 모든 면의 삼각형을 삭제하고 남은 삼각형들을 하나의 객체로 묶는다.

이상의 알고리즘은 Vertex 배열을 기준으로 하는 Edge 배열과 Facet 배열을 활용하여 VRML 파일이 가진 다중 객체를 효율적으로 활용할 수 있도록 개발되었다.

4. 적용 예

본 연구의 알고리즘을 적용하여 개발한 쾌속조형을 위한 오류수정 및 지지대 자동생성 소프트웨어와 STL과 VRML간의 양방향 파일 변환 및 뷰어는 Microsoft사의 VisualC++ 6.0을 이용해 개발하였으며, 그래픽 라이브러리로 OpenGL을 사용하였다.

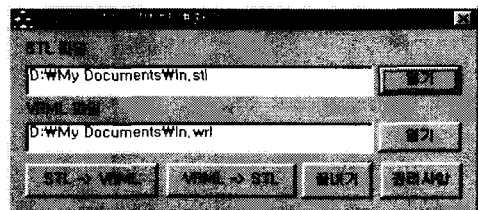
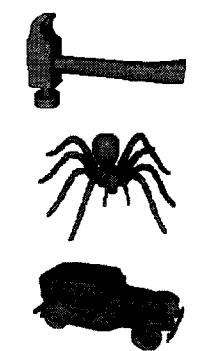


Fig. 10 Dialog box for translator



Low data ; STL						
	facet	vertex	uncompressed		compressed	
			ASCII	BINARY	ASCII	BINARY
Hammer	774	2,232	137KByte	37KByte	18KByte	15KByte
Spider	9,286	27,858	1,801KByte	454KByte	243KByte	139KByte
Car	16,646	49,938	3,097KByte	813KByte	402KByte	329KByte

Translated data ; VRML								
	vertex		uncompressed			compressed		
	number	ratio	size	ratio (ASCII)	ratio (BINARY)	size	ratio (ASCII)	ratio (BINARY)
Hammer	377	16.8%	52KByte	38%	140%	9KByte	50%	60%
Spider	4,670	16.7%	637KByte	35%	140%	105KByte	43%	76%
Car	8,477	16.9%	1,148KByte	37%	141%	193KByte	48%	58%

Models for testing.

Fig. 11 Conversion benefits.

개발된 소프트웨어는 인터넷을 통해 VRML 파일을 이용하여 정보의 공유 및 가시화가 가능하도록 하며, STL 파일을 입력으로 하는 패속조형 알고리즘을 수정 없이 사용할 수 있도록 하였다.

본 시스템에서는 기존에 개발한 STL 오류 수정 모듈을 사용하여 IndexedFaceSet에 포함된 오류를 수정할 수 있도록 하였으며, STL 입력 지지대 자동 생성모듈을 이용하여 VRML의 다중객체에 대하여 각기 지지대를 생성하는 등 기존의 STL 파일을 입력으로 사용하는 모듈을 사용하여 부가적인 알고리즘의 개발이 필요하지 않다.

Fig. 10에는 STL 포맷 파일과 VRML 포맷 파일 간의 양방향 변환기의 인터페이스를 나타내었다. 양방향 변환기는 BINARY와 ASCII 두 가지 타입의 STL 파일을 지원하며, VRML 1.0과 VRML 2.0 (VRML97)을 동시에 지원한다.

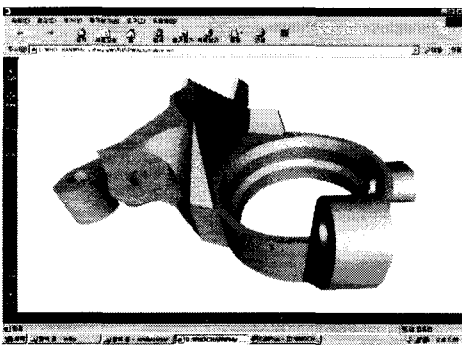


Fig. 12 VRML model of Automotive part

본 변환기를 사용함으로써 STL 포맷 파일에 대해서도 인터넷과 가상현실을 통한 형상정보의 공유 및 가시화가 이루어진다. Fig. 11에서는 몇가지 예에 대하여 변환을 실시하고 그 결과를 나타내었다. Fig. 11에 보인 바와 같이 vertex 정의의 중복을 제거하여 vertex의 수가 평균 16.8%로 감소하였으며, 인터넷 전송시 소요시간의 적도인 압축 파일의 크기 또한 43%~76%정도로 감소하였다.

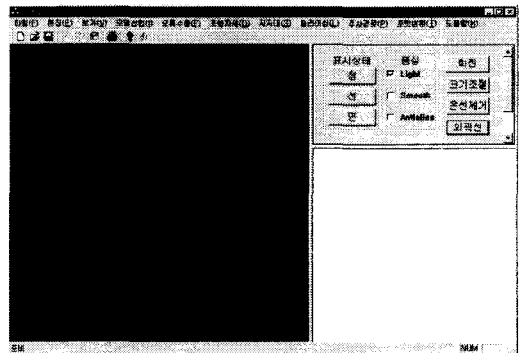


Fig. 13 STL converted model

Fig. 12는 VRML로 작성된 자동차 부품의 모델이며, Fig. 13은 패속조형에 이용하기 위하여 STL로 변환된 모델을 본 연구에서 개발한 시스템을 통하여 입력한 화면을 보여주고 있다. Fig. 14는 오류의 수정을 위한 다이얼로그 박스를 보이며, Fig. 15에는 SLA 시스템을 위하여 지지대를 생성하는 다이얼로그 박스를 나타내고 있다.

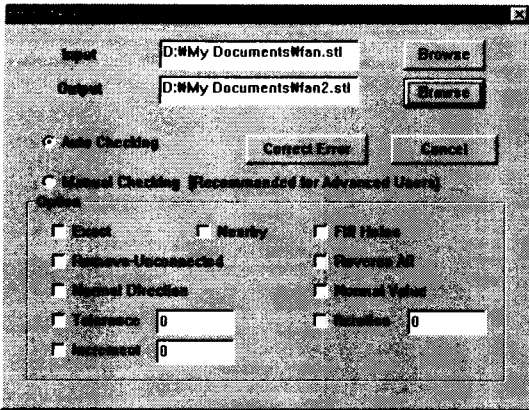


Fig. 14 Error checking and correction dialog

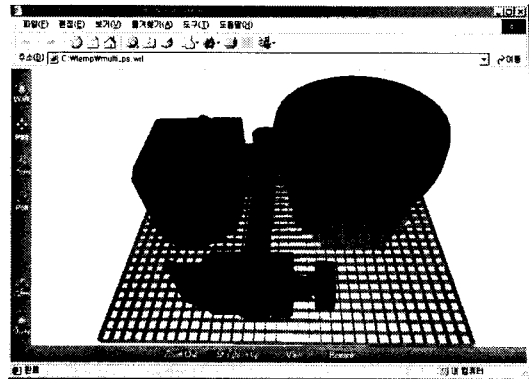


Fig. 17 Multi-object application example

Fig. 16에는 폐속조형에 사용되는 모델 및 지지대 형상을 웹브라우저를 이용하여 인터넷을 통해 공유할 수 있음을 보이고 있다. 이는 모델에 큰 오류가 있어 자동수정이 불가능하거나 조형방향이나 정밀도에 대하여 토의하기 위하여 모델의 원 설계자에게 피드백하기 위하여 이용될 수 있다. Fig. 17에는 인터넷 가상현실 기술을 이용하여, 실제 조형 실시 이전에 형상을 자세히 살펴볼 수 있게 한 것으로 다중 객체가 가능한 VRML의 특징을 활용한 것이다. 사용된 웹브라우저는 Microsoft Internet Explorer 5.0이며 VRML 플러그인은 PLATINUM사의 WorldView이다.

5. 결론

본 연구는 인터넷을 통한 정보의 공유 이점과 발전하는 가상현실의 성과를 폐속조형에 적용함으로써 제품 개발 과정에서 빈번한 정보의 변환에 의해 발생하는 오류를 최소화하고 전체 개발 시간을 단축하기 위하여 수행되었다.

본 연구는 폐속조형의 입력으로 VRML 모델을 사용할 수 있는지 가능성 여부를 확인하였고, VRML 모델을 사용할 경우에 수반되는 장점을 조사하였다. 또 VRML 모델과 STL 파일 포맷이 호환성을 가지고 있음을 밝혔으며, 이를 바탕으로 폐속조형을 위한 효율적인 데이터 구조 및 그 구성방법을 제안하였으며, VRML 모델을 이용하여 폐속조형을 수행하기 위해 STL 파일 포맷에 비해 부가적으로 필요한 정보의 점검과 객체의 union 연산을 수행하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 또한 연구의 결

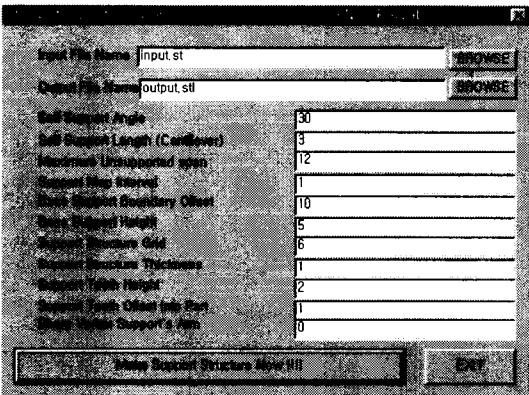


Fig. 15 Support generation dialog

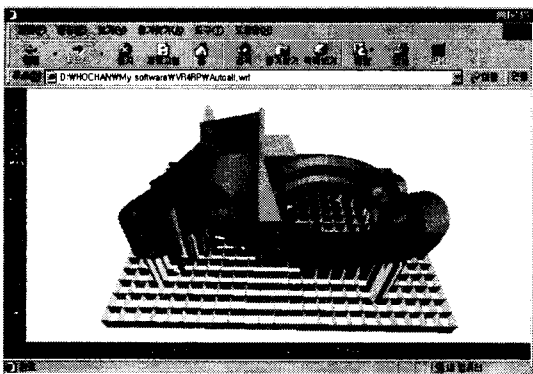


Fig. 16 VRML model with support structure

과를 이용하여 STL 포맷 모델과 VRML 모델간의 상호 변환기를 개발하였으며, 기존의 STL 포맷 모델을 입력으로 하는 쾌속조형 알고리즘을 활용하여 VRML 모델을 입력으로 하는 쾌속조형을 실행할 수 있음을 확인하였다.

결과적으로 VRML 모델을 쾌속조형의 입력으로 사용하면, 기존의 STL파일 포맷과의 호환성을 유지하면서, STL 파일 포맷의 단점인 정점 중복 정의를 피하여 효율적인 처리를 할 수 있다. 그리고, WWW과 각종 가상현실 기술을 쉽게 이용할 수 있어 인터랙티브 멀티미디어와 애니메이션등을 이용한 가시화 및 정보의 공유가 가능하다.

추후 연구 과제로는 쾌속조형의 전체적인 조형 과정을 웹을 통해 시뮬레이션 하는 시뮬레이터의 개발도 필요할 것이다.

후기

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단의 대학 부설연구소 연구비 지원(과제번호 1996-005-E0287)에 의하여 이루어졌으며 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

참고문헌

- Kevin K. Jurrrens, "Standards for the Rapid Prototyping Industry," NIST, RP workshop, October 1997.
- 지해성, "Virtual Models for 3D Printing," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, pp. 1-11, May 1999
- 채영호, "반발력을 생성하는 햅틱장비를 이용한 가상의 점토 모델링에 관한 연구," CAD/CAM 학회 논문집, pp. 12-18, May 1999.
- 田中和明 · 和田敦, "가상공간에서 기계 부품의 조립 가능성과 가시화에의 한 기구의 검증 시스템," 日經CG, pp. 14-23, February 1999.
- 권성수, 장재원, 손권, 최경현, "가상현실을 이용한 자동차 운전 시뮬레이터의 개발," KACC, Proceedings of the 13th, October 1998.
- 김형중, 최명환, 김형수, "가상현실 기술을 이용한 차량항법장치 GUI 설계," KACC, Proceedings of the 12th, October 1997.
- "Stereolithography Interface Specification," 3D Systems Inc., June 1988.
- L. E. Roscoe, K. L. Chalasani, T. D. Meyer, "Living whth STL files," Proceedings of the 6th international conference on Rapid Prototyping, pp. 145-151, 1995.
- P. Vuyuru, C. F. Kirschman, G. Fadel, A. Bagchi, C. C. Jara-Almonte, "A NURBS-Based Approach for Rapid Product Realization," Proceeding of the Fifth international Conference on Rapid Prototyping, Dayton, Ohio, pp. 229-238, 1994.
- M. J. Wozny, "Data Driven Solid Freeform Fabrication," IFIP Transactions B-3 : Human Aspects in Computer Integrated Manufacturing, pp. 71-82, 1992.
- Gregory Lee, "Virtual Prototyping on Personal Computers," Mechanical Engineering, vol. 117, no. 7, pp. 70-73, July 1995.
- Kazuaki Iwata, Masahiko Onosato, "New Trends in Manufacturing System," Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol. 62, No. 1, pp. 112-115, 1996.
- Thomas J. Alexandre, "3D visualization of multimedia content on the World Wide Web," Computer Networks and ISDN Systems 30, pp. 594-596, 1998.
- "VRML97," International Standard ISO/IEC 14772-1:1997.
- Michael Bailey, "The Use of Solid Rapid Prototyping in Computer Graphics and Scientific Visualization," SIGGRAPH '96 Conference, New Orleans, LA, August 6, 1996.
- 이건우, "컴퓨터 그래픽과 CAD," 영지문화사, pp. 140-148, 1997.