

Stereolithography를 위한 STL파일로부터 단면정보 변환에 관한 연구

A study on conversion of cross-sectional information from STL file for Stereolithography

최홍태*, 김준안*, 이석희**, 백인환**
Hong-Tae Choi*, Jun-An Kim*, Seok-Hee Lee**, In-Hwan Paik**

* 부산대학교 생산기계공학과 대학원
** 부산대학교 생산기계공학과 기계기술연구소

ABSTRACT

This paper deals with conversion from STL file to Slice cross-sectional information for Stereolithography. The STL file consist of three vertices of triangle and normal vectors in order to represent three dimension shape, but It is very difficult to convert STL file into Slice file directly, because of file size from one Mbyte to tens of Mbytes. So, The system is accomplished data flow such as neutral.dat, .SL1, .SL2, .SL3, and .SLC file. The data processing is as follows: 1. Create a neutral file including common information. 2. Modify STL file within effective scope of SLA. 3. Calculate a point of intersection between plane equation and line equation. 4. Sort z values by increasing order. 5. Search closed loop by method of singly linked linear list. The system is developed by using Borland C++ 3.1 compiler in the environment of Pentium PC. We get a satisfactory prototye as a result of application about a lot of household electrical appliances.

1. 서 론

공업 분야에서 제품이 생산되기 전에 다양한 모델이 시험 제작되어 외관 디자인, 부품 조립 기구, 시험, 금형 제작 등에 매우 유용하게 이용된다. 특히 소비자의 기호가 다양 화됨에 따라서 이들 제품들은 많은 곡면으로 이루어져 있고 점점 복잡해지고 있어 숙련자일지라도 설계도를 완전히 이해하기가 어려워지고 있다.

또한, 제품의 수명주기가 점차 짧아지고 있어 점차 복잡해지는 형상을 가진 새로운 제품의 개발을 위한 시제품 제작도 짧은 시간에 이루어져야 하는 어려움이 있다.

이러한 상황에서 현재 새로운 제품의 복잡한 형상 모델의 대부분은 고도의 숙련자에 의해 수작업으로 이루어지고 있으며 이러한 숙련자수는 해마다 감소하는 추세이다.

따라서 이러한 문제를 해결하고자 하는 일련의 노력으로 RP(Rapid Prototyping)분야가 활성화되어 현재 미국과 일본 등에서 상용 RP시스템들이 판매되고 있다.

국내에서는 白須義紀[1]등이 시제품 등의 물리 모델로부터 단면 화상처리 장치에 의한 단면 윤곽 데이터 생성에 관한 연구를 하였으며, 川嶋英嗣[2]등은 CAD데이터를 STL (STereoLithography)데이터로 변환할 때 생성되어지는 STL 데이터의 틈(gap) 및 중복이 생기는 문제점을 해결하기 위해 3차원 형상에 대해서 Delaunay 사면체 분할을 이용한 STL데이터 생성법을 제안하였다. 그의 여러 논문들이 있었

지만 대부분 RP시스템의 원리구현[3]과 SL(StereoLithography)을 이용한 사례연구[4] 등으로 업계의 노하우 공개를 꺼려하는 탓으로 개략적인 내용만 언급하고 있다.

국내에서는 이우중[5]등이 항공 산업이나 자동차 산업에서 널리 사용되어지는 CATIA 모델로부터 SLA(StereoLithography Apparatus)가 인지할 수 있는 파일형태인 STL파일을 생성시키는 연구를 하였으며, 박형준[6]등은 계층 구조로 이루어진 단면정보를 입력정보로서 삼각형망을 형성하여 3차원 형상의 기하학적 모델을 구하는 연구를 하였다. 실제 SL(StereoLithography)을 이용하기 위해서는 STL파일로부터 단면정보 변환이 무엇보다 필수적이다. 그러나 아직 여기에 대한 연구는 미미한 상태이다.

본 연구는 Pro/Engineer와 IDEAS에서 작성한 형상모델을 STL포맷으로 변환한 파일을 입력받아 0.1~0.2mm 두께의 얇은 층의 단면정보를 계산하여 SLICE파일을 생성하도록 하였다.

2. Stereolithography 시스템의 원리

SL은 광경화성 수지에 자외선 레이저를 조사하면 광에너지가 노출된 부분은 중합반응에 의해서 경화하는 성질을 이용하는 것을 기본 원리로 하고 있다. SL은 일반적으로 다음과 같은 공정을 거친다.

첫째, STL파일을 지원하는 CAD시스템에서 3차원 형상을 모델링한 후 STL파일로 변환 작업을 거친다. 둘째, STL파일의 삼각망의 정보들을 0.1~0.2mm정도의 얇은 두께를 가진 xy평면과 평행한 수평층의 단면 데이터를 만드는 슬라이스(Slice) 작업을 행한다. 셋째, 생성된 슬라이스 파일을 이용하여 단면의 경계와 내부 레이지 조사경로를 생성한다. 넷째, SLA 구동에 맞는 NC 프로그램을 작성하여 SLA로 전송한다. 다섯째, NC 프로그램의 전송이 시작되면 Fig. 1에서와 같이 원하는 형상의 맨 아랫부분부터 최상위 부분까지 순차적으로 한 슬라이스씩 적층되어 최종적으로 원하는 형상의 프로토타입(Prototype)을 얻을 수 있다.

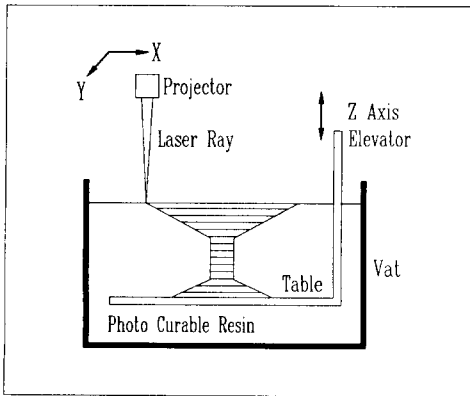


Fig. 1 Principle of Stereolithography

3. STL파일의 포맷 및 문제점

STL파일은 Fig. 2와 같은 삼각형망(Triangular Net)으로써 솔리드모델의 표면을 나타내는데, 이 삼각형망의 정보는 삼각형의 세 정점 좌표(x, y, z)와 삼각형을 이루는 면의 법선벡터로 구성된다. 이들 삼각형들은 첫째, 법선벡터와 관련되는 오른손 법칙(Right Hand Rule)을 만족해야 하며 Fig. 3은 이와 같은 오른손 법칙을 보여주고 있다.

둘째, 삼각형망은 이웃한 삼각형 정점끼리 연결되어야 하는 VV(Vertex-to-Vertex) Rule을 만족한다. Fig. 4는 VV Rule의 한 예를 보여주고 있다.

본 연구에서는 Pro/Engineer와 IDEAS CAD시스템에서 생성된 STL파일을 입력하여 데이터 처리가 이루어지는데 각각의 CAD시스템에서 생성된 STL파일을 직접 다루는데는 몇가지 문제점이 있다. 첫째, 각각의 CAD시스템이 3차원 형상을 STL파일로 변환할 때 포맷이 조금씩 다른 점이다. 예를 들면, Pro/Engineer에서는 모든 문자가 소문자로 되어 있으며 "vertex"란 스트링의 첫자가 위치하는 칸이 6

```

solid PART0004
  facet normal 0.000000e+00 0.000000e+00 -1.000000e+00
    outer loop
      vertex 1.000000e+01 -1.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 0.000000e+01 0.000000e+01 0.000000e+00
      vertex 1.000000e+01 0.000000e+01 0.000000e+00
    endloop
  endfacet
endsolid PART0004
  
```

Fig. 2 STL file Format

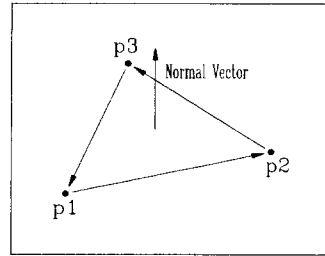


Fig. 3 Right Hand Rule

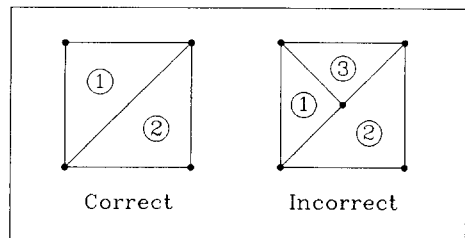


Fig. 4 Vertex-to-Vertex Rule

자리와 7자리에서 시작하는 두 종류가 있고, "vertex" 다음의 x, y, z 좌표값들은 한 칸의 공란으로 구분하고 있는데 양수의 경우는 '+'기호가 생략되어 있지만 음수인 경우 '-'기호가 붙기 때문에 좌표값 데이터 자리가 한 칸씩 밀리게 된다. IDEAS에서는 모든 문자가 대문자이고 x, y, z 좌표값들은 두칸의 공란으로 구분하지만 '-'기호가 붙으면 한 칸의 공란으로 구분한다. 따라서 본 연구에서는 STL파일에서 삼각형 세 정점의 좌표값만 추출하여 새로운 SLI파일로 저장하였다. 둘째, CAD시스템에서 삼차원 형상을 STL파일로 변환할 때 가끔씩 이웃한 두 삼각형의 정점이 일치하지 않아 두 삼각형 사이에 미세한 틈이 생긴다. 이런 경우 슬라이스의 단면 데이터들이 페루프가 되지 않기 때문에 레이지 조사 경로점을 정확히 구할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 미크론 단위의 정밀도를 감안하여 소숫점 세째 자리까지만 취하여 이런 문제점을 최소화하였다.

세제, 법선벡터는 오른손 법칙에 의해 계산되어지는데 간혹 잘못된 법선벡터 즉, 두 이웃한 법선벡터의 방향이 반대가 되어 피비우스피와 같은 조건이 존재하게 된다. 이와 같은 문제는 슬라이스의 단면정보를 계산하는데는 영향을 미치지 않기 때문에 고려하지 않았다.

4. STL파일로부터 단면정보 변환절차

본 연구를 통해 개발된 소프트웨어는 STL파일로부터 레이어 조사 경로점을 구하는데 필요한 단면정보로의 변환 기능을 한다. Fig. 5는 이들의 데이터 흐름을 나타낸다.

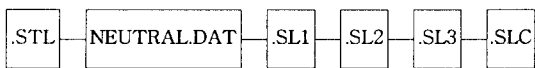


Fig. 5 Data Flow from STL file to SLC file

4.1 중립파일의 필요성

일반적으로 STL파일은 아주 단순한 형상을 제외하고는 대부분 수Mbyte에서 수십Mbyte 크기를 가진다. 따라서 파일 단위로 데이터 처리가 불가피하기 때문에 본 연구에서는 Fig. 5에서와 같은 데이터 흐름으로 처리하였다. 그러나 이와 같은 데이터 흐름에서 매번 STL파일을 읽어서 처리할 경우 처리 속도와 공통 정보의 공유 문제가 발생하기 때문에 STL파일에서 슬라이스 단면 데이터를 생성할 때 필요한 정보들을 중립파일에 기록하여 이용하도록 하였다. 중립파일에 기록되는 내용은 제작하고자 하는 조형물의 STL파일명(확장명 제외), 입력된 STL파일중에서 전체 삼각형 정점 좌표중 최소값, 최대값, 슬라이스 두께, SLA의 최대 레이저조사 범위내의 가공을 위한 STL파일을 수정할 값들로 이루어져 있으며 Fig. 6은 중립파일의 포맷을 보여주고 있다. 이상과 같은 중립파일은 STL파일로부터 SLC파일 생성까지의 데이터 흐름에서 생성되는 SL1, SL2, SL3 파일에 참조가 되는 정보를 가지고 있다.

먼저, STL파일의 오버헤드 부분을 제거한 순수한 삼각형망의 x, y, z 좌표값만을 읽어서 중립파일의 SHIFT와 SCALE 값으로 SLA의 레이저조사 범위내의 값으로 수정하여 SL1파일을 만든다.

4.2 삼각형망의 선분과 $z = h$ 평면의 교차점 계산

삼각형의 세 정점을 SL1 파일로부터 읽어서 이들 점으

FILE NAME	: FLU
MIN X Y Z	: 68.005 68.005 97.856
MAX X Y Z	: 240.005 240.005 111.754
SLICE THICK	: 0.200
SHIFT	: 0.000
SCALE	: 1.000

Fig. 6 Neutral file Format

로 이루어진 선분과 $z = h$ 평면과의 교점을 구하게 된다. 먼저, 주어진 선분과 평면과의 관계는 다음과 같이 4가지 경우로 나눌 수 있다.

- (1) 만나지 않는 경우
- (2) 한 점에서 만나는 경우
- (3) 두 점에서 만나는 경우
- (4) 세 점에서 만나는 경우

위의 4가지 경우 중 두 점에서 만나는 경우의 x, y, z 좌표값만을 SL2파일에 저장하게 된다. 그 이유는 STL파일은 반드시 VV Rule을 지켜야 하기 때문에 $z = h$ 평면과의 교차점을 계산하게 되면 중복되는 점이 최소한 2개 이상 존재하게 된다. 따라서 필요한 점은 두 점에서 만나는 경우의 교차점만으로 충분하다.

다음은 교차점을 구하는 방법에 대해 설명하고 있다. STL파일의 각각의 삼각형망을 이루는 세 정점에 의해 세 선분을 구할 수 있다. 두 점 $p1(x1, y1, z1)$ 과 $p2(x2, y2, z2)$ 로 이루어진 선분은 다음과 같은 매개변수(t)를 이용한 직선의 방정식으로 표현할 수 있다.

$$x = x1 + t(x2 - x1) \dots\dots\dots (1)$$

$$y = y1 + t(y2 - y1) \dots\dots\dots (2)$$

$$z = z1 + t(z2 - z1) \dots\dots\dots (3)$$

여기서, 매개변수 t 의 범위를 0과 1사이에서 두면 두 점 사이의 선분이 된다.

일반적인 평면 방정식 $ax + by + cz + h = 0$ 은 법선벡터 $n = (a, b, c)$ 를 갖는 평면이다. 따라서 xy 평면은 $a = b = h = 0, c = 1$ 이므로 $z = 0$ 의 평면 방정식이 된다. 그러므로 z 축으로 h 만큼 이동한 xy 평면 방정식은 다음과 같다.

$$z = h \dots\dots\dots (4)$$

위 식 (3)과 (4)에 의해서 매개변수 t 가 결정이 되고 주어진 선분과 $z = h$ 평면과의 교점은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$x = x1 + (x2 - x1) \left(\frac{h - z1}{z2 - z1} \right)$$

$$y = y1 + (y2 - y1) \left(\frac{h - z1}{z2 - z1} \right)$$

$$z = h$$

이상과 같이 구한 교점 x , y , z 값들을 SL2파일에 기록한다. 그러나 SL2파일은 SL1파일의 삼각형 순서대로 교점을 구하여 저장되어 있기 때문에 z 값이 일정하지 않다. 그래서 슬라이스 단면데이터 즉, z 값이 같은 데이터끼리 소팅하여 Fig. 7과 같은 포맷의 SL3파일을 생성한다.

SLICE No. #
px1 py1 pz1
:
pxm pym pz1
:
SLICE No. #
px1' py1' pz2
:
pxn pyn pz2
:

Fig. 7 Data format of SL3 file

4.3 각 슬라이스의 페루프 연결점 추출

한 층의 슬라이스 단면 데이터는 반드시 페루프를 형성하는 연결점 순서대로 배열되어 있어야 한다. 그러나 SL3파일은 이러한 연결점들이 순서없이 배열되어 있다. 그러나 SL3파일에서는 이러한 연결점들을 한 쌍의 중복된 점으로 가지기 때문에 이러한 중복된 점을 찾아내어 페루프를 형성할 수가 있다. 이 같은 중복된 점은 STL파일의 VV Rule을 따른 것이다.

각 슬라이스의 페루프를 연결점을 추출하기 위해 루프의 시작점(x , y , z)에서 출발하여 인접한 점들을 계속 찾아가면서 다시 시작점을 만나게 되면 하나의 페루프를 형성하게 된다. 특히 일상 생활에서 접할 수 있는 대부분의 형상이 중심형상보다는 일정한 두께를 가진 중공형상이 훨씬 많다. 따라서 이런 중공형상의 단면은 대개 페루프가 2개 이상 존재를 하게 된다. 이런 경우 루프끼리의 관계도 구분을 해야만 한다. 본 연구에서는 페루프 연결점을 찾는 방법으로 단일 연결 리스트(singly linked linear list) 자료구조 기법을 사용하였다. 이 기법은 Fig. 8과 같은 구조체를 정의하여 한 슬라이스 단면 데이터의 갯수에 관계없이 동적으로 메모리에 할당(x , y)한다. Fig. 9는 단일 연결 리스트

```

struct joint_point {
    float x;
    float y;
    struct joint_point *next;
}
struct joint_point *head[MAX], *pre, *cur, *nxt;

```

Fig. 8 Definition of Structure Joint_point

의 예를 보여준다. 여기서 구조체 멤버인 x , y , $next$ 를 하나로 묶어서 노드(node)라고 부른다. 첫 노드의 주소를 head에 할당하고, 마지막 노드의 next에 NULL값을 할당한다. 인접한 좌표값을 메모리 상에서 이동함이 없이 노드 주소를 가리키는 포인터(pointer)에 의해 각각의 연결점을 찾게 되는데 먼저, 같은 점을 찾으려면 그 노드의 주소를 cur에 할당하고, 다음 주소를 가리키는 next에 NULL을 대입한다. 그리고 이전과 이후의 노드 주소는 pre, nxt 포인터 변수에 할당한다. 기존의 NULL을 가진 노드는 이전 연결점의 노드 주소를 가리킨다. 이와 같은 방법을 반복하여 찾은 점이 최초의 시작점과 일치하면 하나의 페루프를 형성하게 된다. 두개 이상의 페루프가 존재할 경우도 노드의 시작위치를 가리키는 head와 NULL을 가진 next에 의해 연결점 추출이 가능하다. 위와 같이 페루프 연결점을 찾게 되면 Fig. 10과 같은 포맷으로 SLC파일을 생성한다.

SLICE No. #
SOL
px1 py1 pz
:
pxm pym pz
:
px1 py1 pz
EOL
SOL
px1' py1' pz
:
pxn' pyn' pz
:
px1' py1' pz
EOL
:

Fig. 10 Data format of SLC file

5. 적용예

개발된 프로그램은 펜티엄 마이크로프로세서가 장착된

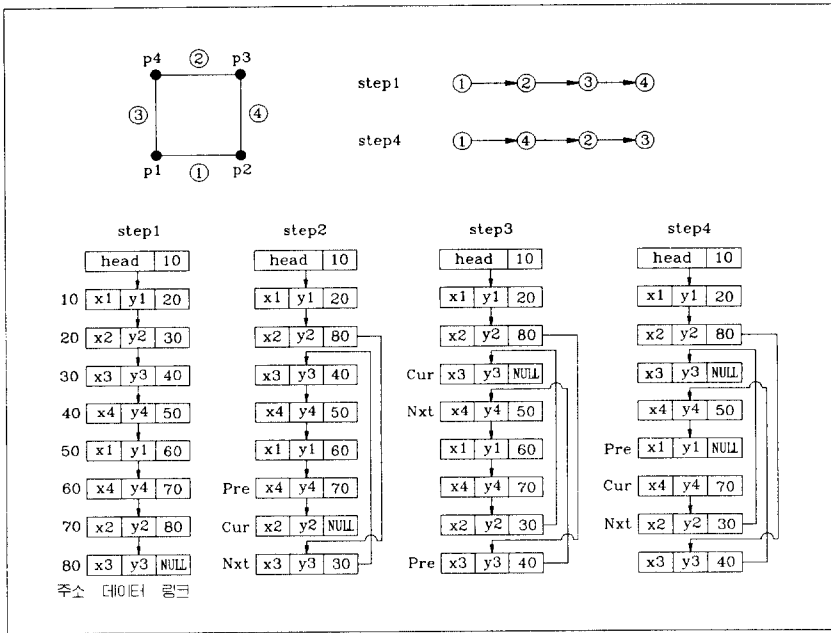


Fig. 9 Closed Loop using Singly linked linear list

IBM 호환기종에서 Borland C++ 3.1 컴파일러를 사용하여 작성하였다. Fig. 11은 세탁기 모터에 사용되는 클러치 부분 형상의 STL파일을 STL파일 확인 모듈에서 파일 크기 및 총 삼각형 수와 함께 와이어프레임 방식으로 화면에 나타낸 것이다. Fig. 12는 SLICE 생성모듈에서 생성한 단면 정보를 총 SLICE 수와 현재 화면에 나타난 SLICE의 번호를 보여주고있다. Fig. 13은 500×400×400크기의 작업영역을 가진 SLA를 사용하여 제작한 프로토타입이다.

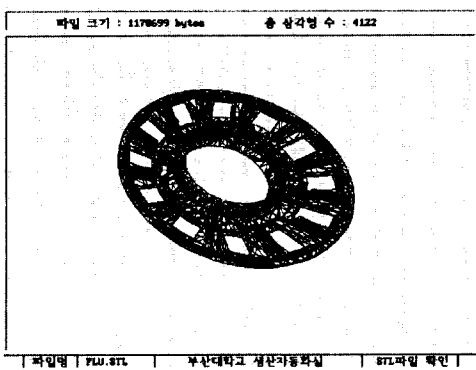


Fig. 11 Visualization of STL file

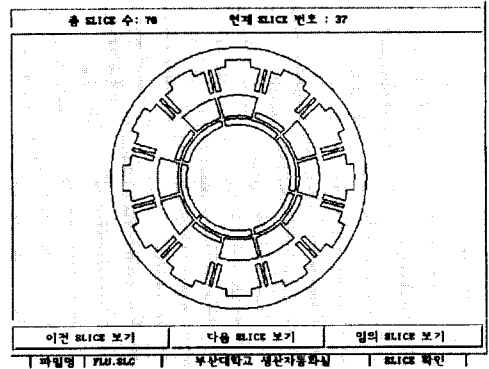


Fig. 12 Verification of Slice Information

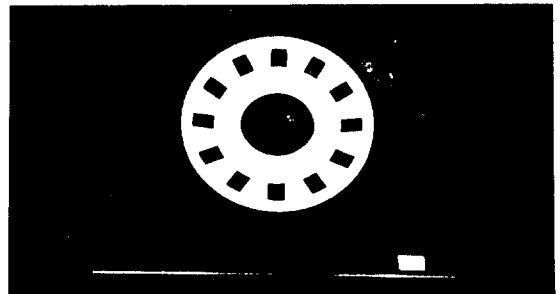


Fig. 13 Manufactured Prototype

6. 결 론

본 연구에서는 SL운영을 위한 소프트웨어 개발의 일부 분으로써 삼각형망으로 이루어진 STL파일을 z축으로 일정한 두께로 슬라이싱하여 단면정보로 변환시키는 프로그램을 개발하였다. 본 연구에서는 Pro/Engineer와 IDEAS에서 변환된 STL파일을 대상으로 하였으나 STL파일을 지원하는 모든 CAD시스템에서 변환된 STL파일도 적용할 수 있다. 실제 여러 가지 전자제품의 부품에 적용하여 원하는 형상의 프로토타입을 얻을 수 있었다. 향후 정밀도에 관한 연구가 이루어지면 여러 분야에서 시작품 제작에 많이 기여할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 白須義紀, 橋原弘之, 五十嵐悟, 齋藤勝政, “複合意匠形狀のリバースエンジニアリングに關研究”, 精密工學會春季大會學術講演會講演論文集 A51, pp. 337~338, 1995.
- [2] 川嶋英嗣, 田中文基, 岸浪建史, “Delaunay四面體分割によるSTLデータの生成法”, 精密工學會春季大會學術講演會講演論文集 C63, pp. 823~824, 1995.
- [3] E.Sachs, M.Cima, J.Cornie, “Three-Dimensional Printing: Rapid Tooling and Prototypes Directly from a CAD Model”, Annals of the CIRP Vol. 39, pp. 201~204, 1990.
- [4] Takeo Nakagawa, Akitake Makinouchi, Jie Wei, “3-D Plotting of Finite Element Sheet Metal Forming Simulation Results by Laser Stereolithography”, Annals of the CIRP Vol. 41, pp. 331~333, 1992.
- [5] 이우종, 이용한, 홍유석, “Rapid Prototyping System을 위한 형상정보 변환절차”, 대한산업공학회지, 제18권 제1호, pp. 63~80, 1992.
- [6] 박형준, 김광수, “단면정보를 이용한 형상의 재구성”, 한국정밀공학학회지, 제10권 제4호, pp. 81~93, 1993.