

가변 적층 쾌속 조형 공정 개발을 위한 단위형상조각 자동 생성 소프트웨어 개발 및 적용 예

이상호*(KAIST 대학원), 김태화(전북대 대학원), 안동규(KAIST 대학원), 양동열(KAIST),
 채희창(전북대), 문영복(전북대 대학원), 신보성(한국기계연구원)

Software Development for Automatic Generation of Unit Shape Part for Variable Lamination Manufacturing Process

S. H. Lee(Graduate School, KAIST), T. H. Kim(Graduate School, CBNU), D. G. Ahn(Graduate School, KAIST),
 D. Y. Yang(KAIST), H. C. Chae(CBNU), Y. B. Moon(Graduate School, CBNU), B. S. Shin(KIMM)

ABSTRACT

Rapid Prototyping (RP) techniques have their unique characteristics according to the working principles: stair-stepped surface of parts due to layer-by-layer stacking, low build speed caused by line-by-line solidification to build one layer, and additional post processing to improve surface roughness, so it is required very high cost to introduce and to maintain RP apparatus. The objective of this study is to develop software for automatic generation of unit shape part (USP) for a new RP process, Variable Lamination Manufacturing using linear hotwire cutting technique and expandable polystyrene foam sheet as part material (VLM-S). In order to examine the applicability of the developed software to VLM-S, USP's of general three-dimensional shapes, such as an auto-shift lever knob and a pyramid shape were generated.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변 적층 쾌속조형), Expandable Polystyrene Foam(EPS Foam : 발포 폴리스티렌 폼), Unit Shape Part(USP : 단위 형상 조각)

1. 서론

쾌속 조형 공정이 등장한지 10 여년이 경과하는 동안 3 차원 시제품 제작을 위하여 여러 가지 새로운 쾌속 조형 기술이 개발되었다. 현재 상용화된 대표적인 쾌속 조형 공정에는 StereoLithography Apparatus(SLA), Fused Deposition Modeling(FDM), Selective Laser Sintering(SLS), 3D printing, Laminated Object Manufacturing(LOM) 등이 있다[1].

이러한 기존의 쾌속 조형 공정은 다음과 같은 문제점이 있다.

- 3 차원 CAD 데이터를 z 방향으로 슬라이싱하여 2 차원 슬라이스 데이터를 얻는 과정에서 z 방향으로 계단형상의 단차가 생긴다. 이러한 계단형상 때문에 시제품의 정밀도가 떨어진다. 그러므로 시제품의 정밀도를 향상시키기 위해서 추가적으로 시제품의 계단 형상 제거를 위한 후처리 공정이

요구된다[2,3].

- 고정된 두께의 얇은 층(LOM의 경우 한 층의 두께는 0.1067 mm 임)과 선 형태로 적층하기 때문에 많은 조형 시간이 소요된다.

이와 같은 기존의 쾌속 조형 공정의 문제점을 극복하기 위하여 정밀도 향상과 조형 시간을 획기적으로 단축시키며 후처리 공정이 거의 요구되지 않는 새로운 개념의 가변 적층 쾌속 조형 공정 (Variable Lamination Manufacturing : VLM)이 개발 중에 있다. 특히, 현재 개발되고 있는 가변 적층 쾌속조형 공정 중 발포 폴리스티렌 폼(Expandable Polystyrene Foam: EPS Foam)를 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정[4,5](VLM-S)은 장비 가격과 유지비가 저렴하며 산업적으로 활용도가 높을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 STL 파일을 읽어 들여서 VLM-S 장치의 제어 입력으로 들어가는 USP 파일을 자동으

로 생성해 주는 VLM-S 용 CAD 소프트웨어를 개발하였다.

2. VLM-S 용 CAD 소프트웨어

VLM-S CAD 소프트웨어는 Fig. 1 에 나타난 흐름도와 같이 크게 5 가지 모듈로 구성된다.

- 가. STL 파일 로딩(Loading) 모듈
 - 나. 슬라이싱(Slicing) 모듈
 - 다. 측면 형상 재구성(shape reconstruction) 모듈
 - 라. 중간 단면 생성 모듈
 - 마. 단위 형상 조각(Unit Shape Part) 생성 모듈
- VLM-S 용 CAD 소프트웨어는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

첫째, 입력 파일 형식은 현재 쾌속 조형 산업의 표준으로 자리 잡은 STL 파일이다. 둘째, PC 기반의 Windows 98 과 Windows NT 상에서 작동하도록 C++과 Visual C++ 6.0 컴파일러를 사용한다. 셋째, 각각의 모듈의 가시화는 OpenGL 을 사용한다.

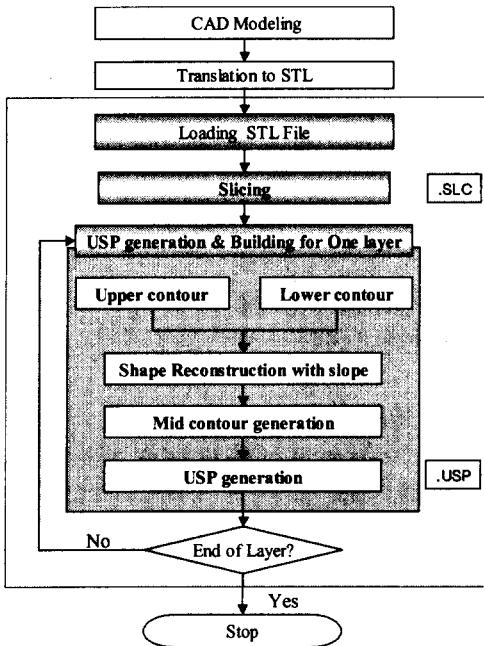
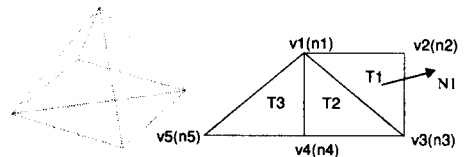


Fig. 1 Flowchart of the VLM-S's CAD software

2.1 STL 파일 로딩(Loading)

STL 파일 로딩모듈은 3 차원 CAD 모델로부터 변환된 Fig. 2 와 같은 STL 파일(ASCII or Binary type)의 기하학적 정보(각각의 facet 에 관한 정보)를 읽어 들여서 저장하는 모듈이다.

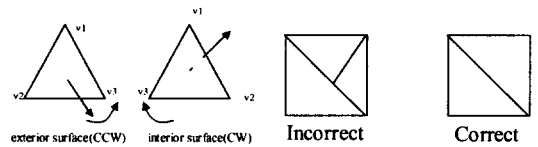
STL 파일은 삼각형 패치와 그 법선 벡터를 이용하여 3 차원 형상의 외곽을 근사적으로 나타낸다.



ASCII file	
solid	
facet normal	N1_x N1_y N1_z <T1 에 대한 description>
outerloop	
vertex	v1_x v1_y v1_z
vertex	v2_x v2_y v2_z
vertex	v3_x v3_y v3_z
endloop	
endfacet	N1 = (v1-v2)x(v3-v2) (default)
facet normal	...
...	
endfacet	
facet normal	...
...	
endfacet	
endsolid	

Fig. 2 STL file format

STL 파일은 Fig.3 과 같이 두 가지 요구 조건을 만족해야 한다. 첫째, 오른손 법칙(Right-hand rule)을 만족해야 한다. 둘째, Vertex-to-Vertex rule 을 만족해야 한다.



(a) Right-hand rule (b) Vertex-to-Vertex rule
Fig. 3 Two requirements for STL files

로딩된 STL 파일에서 인접한 두 삼각형은 반드시 하나의 모서리를 공유해야 하므로, STL 파일을 데이터 베이스에 저장하게 되면 꼭지점이 중복되어 메모리 낭비를 가져오게 된다. 그래서 속도 향상과 메모리 절약을 위하여 이러한 중복 꼭지점을 제거한다. 그리고 나서, 3 차원 CAD 의 좌표계와 VLM-S 의 좌표계가 서로 다르기 때문에 두 좌표계를 일치시키기 위해서 모델의 가장 아래 면의 중심이 XY table 의 원점에 위치하도록 좌표 변환을 한다.

2.2 슬라이싱(Slicing)

슬라이싱 모듈은 3 차원 CAD 데이터를 2 차원 단면 데이터로 슬라이싱하고 루프(loop)를 형성하여 SLC 파일을 생성하는 모듈이다.

먼저 평면과 직선과의 위치 관계를 고려하여 무한 평면과 삼각형의 한 모서리 사이의 교점을 구한다. 이와 같이 구해진 교점을 각각 에지(Edge)로 저장한다. 그리고 나서, 이러한 에지들은 반시계방향으로 교정하여 정렬을 한 후에 루프를 형성한다. 이렇게 형성된 루프를 Fig. 4 다음과 같은 포맷의 SLC 파일로 출력한다.

```

solid filename total_레이어_numbers
SIZE xMin xMax yMin yMax zMin zMax
.....
layer N total_루프_numbers z-coordinate
.....
루프 N total_point_numbers
      l x y
.....
      N x y
end 루프
.....
end layer
.....
endsolid

```

Fig. 4 SLC file format

2.3 측면 형상 재구성(shape reconstruction)

VLM-S 는 조형시간을 단축하기 위하여 두꺼운 재료를 사용하고, 계단효과를 줄이기 위해 측면에 경사를 주어서 절단하는 개념을 가지고 있다. 이러한 개념을 CAD 에서 구현하기 위해서 SLC 파일을 맨 아래 층부터 위쪽으로 2 개의 층을 읽어 들여서 아래, 위 단면을 삼각형으로 둘러싸서 측면 형상을 재구성)[6,7]한다. 이때, Fig. 5 에 보여진 격자 자동 생성 알고리즘인 Advancing Front Technique(AFT)을 적용하였다.

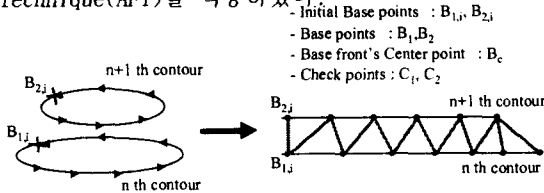


Fig. 5 Advancing front technique for shape reconstruction of two adjacent contours

AFT 를 적용하는데 있어서 Front 를 전진시키기 위해서 이미 만들어진 삼각형과 삼각형 후보들의 법선 벡터를 이용하였고, 삼각형의 세 번째 점을 찾기 위해서 Delaunay 삼각화 개념을 부분적으로 도입하였다.

이렇게 형상을 재구성 한 삼각형의 세 점을 이용하여 삼각형의 법선 벡터를 구한 후에 YZ 평면과 XZ 평면에 투영하여 열선의 측면 경사각을 구한다.

2.4 중간 단면 생성

2.3 절에서 복원한 측면의 삼각형에 2.2 절의 슬라이싱 모듈을 적용하여 Fig. 6 과 같이 아래, 위 단면의 중간 단면을 구할 수 있다.

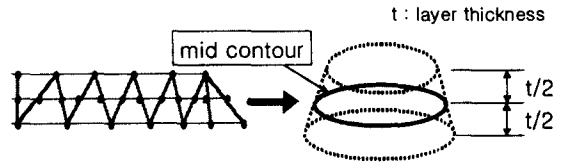


Fig. 6 Generation of Mid-Contour

2.5 단위 형상 조각(Unit Shape Part) 생성

단위 형상 조각 생성 모듈은 각각의 layer 에 대하여 기하학적 데이터와 위상학적 데이터(단위 형상 조각 사이의 인접 관계)를 가진 여러 조각의 strip 으로 분할하여 Fig. 7 과 같은 USP 파일을 생성하는 모듈이다.

```

Solid usp_filename          total layer numbers
.....
layer N total usp numbers z-coordinate
.....
usp N total point numbers
      x y Rx Ry v VI
      (uspN 의 위치좌표,각도,속도,전압,전류)
      .....
      x y Rx Ry v VI
endusp
endlayer
endsolid

```

Fig. 7 USP file format

2.4 절에서 구한 중간 단면을 먼저 X 방향으로 분할한 후에 이 분할된 영역을 둘러싸는 영역의 최대값과 최소값을 구한 후, Y 방향으로 일정한 간격으로 영역을 분할 한다. X 방향으로 영역을 분할한 후에 XY 테이블에 적층시 끼워 맞춤이 용이하도록 전면과 후면에 5°이하의 경사각을 준다. 이때 서로 끼워 맞춤이 되는 단위 형상 조각 사이의 경사각은 크기는 같고, 부호는 반대이다. 또한 접촉시에 모델의 강도를 높이기 위해서 Y 방향으로 일정한 간격으로 자를 때, 지그재그로 자른다.

USP 파일은 단위 형상 조각의 위치와 그 위치에서의 경사각과 같은 기하학적 데이터와 단위 형상 조각의 절단 순서를 나타내는 위상학적 데이터, 그리고 실험에 의해서 주어진 열선 절단 속도와 열선의 열량을 포함한다.

3. VLM-S 용 CAD 소프트웨어 적용에

VLM-S 용 CAD 소프트웨어의 프로토타입의 유용성을 검증하기 위하여 피라미드 형상과 EF SONATA 오토시프트 레버 노브에 적용하여 보았다.

3.1 피라미드

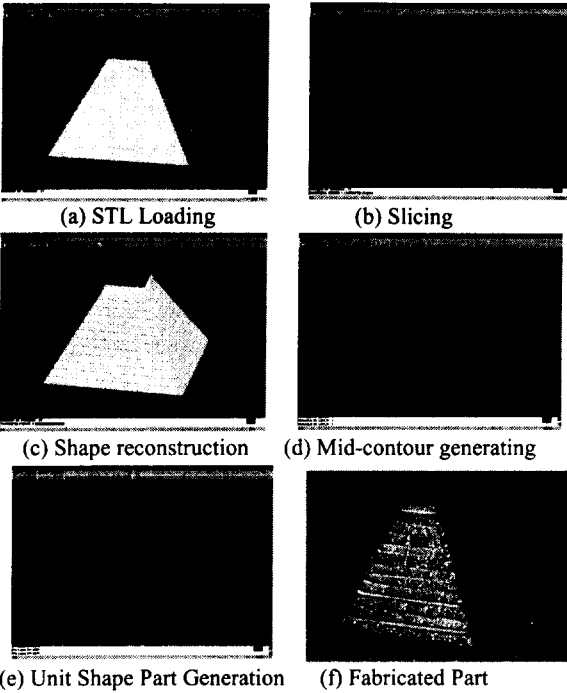


Fig.9 Pyramid Shape

3.2 EF SONATA 오토 시프트 레버 노브

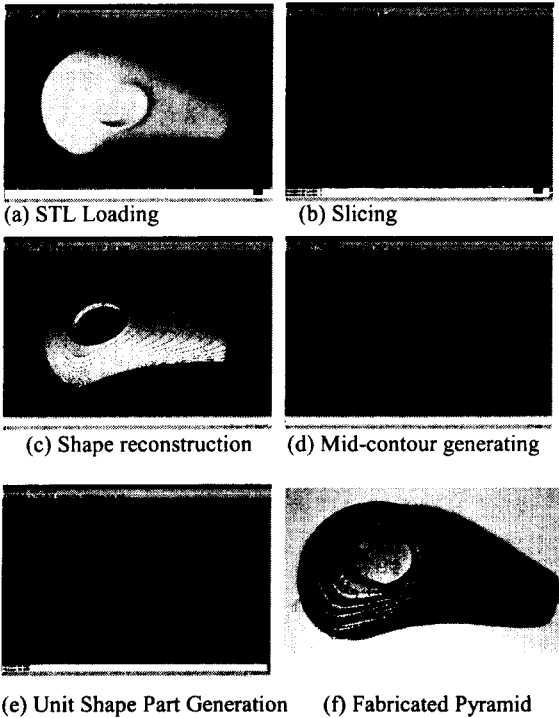


Fig.10 Auto-Shift Lever Knob

4. 결론

기존의 쾌속 조형 공정 및 장치의 각 문제점인 계단 형상 발생, 장시간의 조형 시간 소요, 및 고가의 장비가격과 유지비를 해결 할 수 있는 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치가 개발되고 있다.

본 연구에서는 STL 파일을 읽어 들여 VLM-S 공정에 제어 입력으로 들어가는 USP 파일을 자동으로 생성해 주는 VLM-S 용 CAD 소프트웨어의 프로토타입을 개발하였다. 그리고, 이 소프트웨어를 피라미드 형상과 EF SONATA 오토시프트 레버 노브에 적용하여 보았다.

향후에 추가적인 연구를 통해서 VLM-S 용 CAD 소프트웨어를 지속적으로 보완하여 궁극적으로 VLM-S 제어 소프트웨어와 결합되어 VLM-S 공정 전체를 제어 운용하는 통합 소프트웨어 개발 하고자 한다.

참고문헌

1. S. A. McMains, "Rapid Prototyping of Solid Three-Dimensional Parts," Master's Project under the direction of Carlo Sequin, 1995.
2. A. F. Lennings, J. J. Broek, I. Horvath, A. de Smit, J. S. M. Vergeest, "Prototyping large-sized objects using freeform thick layers of plastic form," Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp. 97-104, 1998.
3. I. Hovath, J. S. M. Vergeest, J.J.Broek, B. Smit "Tool Profile and Tool Path Calculation for Freeform Thick-Layed Fabrication," Delft University in house report
4. 안동규, 이상호, 양동열, 신보성, 이용일 "가변 적층 쾌속조형공정을 위한 발포 폴리스티렌 폼의 선형 열선 절단시스템 절단 특성 및 접촉 강도 특성에 대한 연구," 한국정밀공학회지 제 17 권 제 12 호, 2000 Accepted.
5. "선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치" 특허 2000-18175, 2000
6. C. K. Lee and R. E. Hobbs, "Automatic adaptive finite element mesh generation over arbitrary two dimensional domain using advancing front technique," Computers and Structures, Vol. 71, 1999, pp. 9-34.
7. David Meyers, Shelley Skinner, and Kenneth Sloan, "Surfaces from Contours," ACM Transactions on Graphics, Vol. 11, No. 3, July 1992, pp. 228-258.