

VLM-Slicer 에서 절단 경로 생성을 위한 측면 형상 복원

이상호*, 안동규*, 양동열*

Surface Reconstruction for Cutting Path Generation on VLM-Slicer

Sang Ho Lee*, Dong Gyu Ahn*, Dong Yol Yang*

ABSTRACT

A new rapid prototyping process, Variable Lamination Manufacturing using a 4-axis-controlled hotwire cutter and expandable polystyrene foam sheet as a laminating material of the part (VLM-S), has been developed to reduce building time and to improve the surface finish of parts. The objective of this study is to reconstruct the surface of the original 3D CAD model in order to generate mid-slice data using the advancing front technique. The generation of 3D layers by a 4 axis-controlled hot-wire cutter requires a completely different procedure to generate toolpath data unlike the conventional RP CAD systems. The cutting path data for VLM-S are created by VLM-Slicer, which is a special CAD/CAM software with automatic generation of 3D toolpath. For the conventional sheet type system like LOM, the STL file would be sliced into 2D data only. However, because of using the thick layers and a sloping edge with the first-order approximation between the top and bottom layers, VLM-Slicer requires surface reconstruction, mid-slice, and the toolpath data generation as well as 2D slicing. Surface reconstruction demands the connection between the two neighboring cross-sectional contours using the triangular facets. VLM-S employs thick layers with finite thickness, so that surface reconstruction is necessary to obtain a sloping angle of a side surface and the point data at a half of the sheet thickness. In the process of the toolpath data generation the surface reconstruction algorithm is expected to minimize the error between the ruled surface and the original parts.

Key Words : VLM-Slicer (VLM-S 용 CAD/CAM 소프트웨어), Cutting path (절단 경로), Surface Reconstruction (측면 형상 복원), Advancing Front Technique (전진 선단 기법)

1. 서론

1987년 미국의 3D Systems사에서 처음으로 개발된 패속조형공정은 제품의 CAD 데이터로부터 플라스틱, 종이, 광경화성 수지 및 금속 등의 재료를 이용하여 제품을 직접 만들 수 있는 새로운 개념의 공정이다.

패속 조형법은 초기에는 광(beam)에 의해 형상

이 만들어진다고 하여 광조형법이라고 불렀다. 그 후 시작품(Prototype)을 신속(Rapid)하게 제작할 수 있다는 사실로부터 'Rapid Prototyping' 또는 '패속 조형법' 이라고 불려지게 되었다. 더욱이 이 명칭에서는 절삭 가공이나 방전 가공도 포함된다는 점과, 용도가 시작품 제작에만 한정되지 않는 것도 있어서 보다 일반적인 명칭으로 적층 조형법(Layered Manufacturing), 자유 형상 조형법(Solid

접수 2002년 1월 2일
* 한국과학기술원 기계공학과

Freeform Fabrication) 이라고 하는 명칭이 사용되게 되었다^[1].

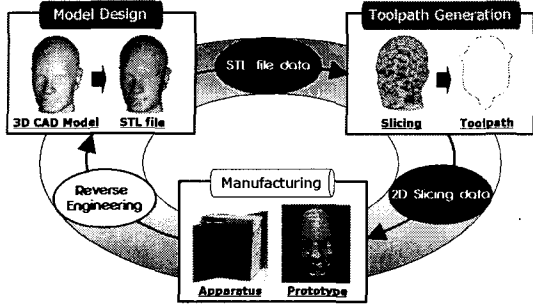


Fig. 1 Procedure of thin layer-based RP

일반적인 패속 조형법은 Fig. 1 과 같은 절차로 3 차원 형상을 제작한다.

첫째, 제작하려는 제품을 3 차원 CAD 모델러를 이용하여 모델링하고, 3D CAD 모델을 표면을 삼각형망으로 근사화한 STL 파일로 변환한다.

둘째, STL 파일을 적층 두께 간격으로 슬라이싱하여 2 차원 단면(slice) 데이터를 얻는다.

셋째, 이 슬라이스 데이터를 사용하여 여러 가지 방법으로 각 층마다 얇은 층을 만들고 이것을 순차적으로 적층해 감으로써 CAD 데이터와 같은 층상의 3 차원입체형상을 얻는다.

3 차원의 형상을 2 차원의 얇은 판의 집합으로 변환하여 순차적으로 한 층씩 적층해 나가는 공정이 패속 조형법인 것이다. 이와 같은 패속 조형법의 특징으로 복잡한 형상의 제품도 쉽게 제작할 수 있는 장점이 있다.

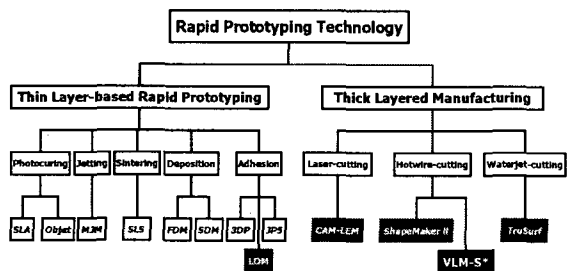


Fig. 2 Classification of RP technology (thickness)

현재까지 상용화 되었거나, 개발 중인 대표적인 패속조형공정들^[2]은 Fig. 2 와 같이 층 두께에 따라 종래의 패속조형공정(Thin Layer-based Rapid

Prototyping)과 후판 적층 조형공정(Thick Layered Manufacturing)으로 분류할 수 있다.

종래의 패속조형 시스템들은 아주 얇은 층을 적층하여 3 차원 형상을 제작하였다. 이러한 이유로 인하여 조형하고자 하는 모델의 크기가 큰 대형 시작품을 제작하는 경우, 전체 조형 시간과 제작 비용이 급격히 증가하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 두꺼운 두께의 층을 적층하여 전체 조형시간을 대폭 줄이려는 후판 적층 조형공정(Thick Layered Manufacturing)^[5,6,7]에 관한 연구가 활발하게 진행 중이며, 두께가 두꺼워져서 더욱 두드러지는 측면의 계단 형상의 단차를 제거하기 위해서 경사를 부여하여 임의의 3 차원 형상을 제작하려는 연구가 병행되고 있다.

이와 같이 경사면을 가진 층을 절단하기 위해서는 4 축 내지 5 축 제어가 필요하다. 그래서 이것은 장비 제작비를 증가 시키는 요인이 된다. 그럼에도 불구하고 실제 시작품을 제작하는데 있어서 경사면을 가진 층을 사용하는 것은 두 가지 큰 장점을 가지고 있다. 첫째, 계단형상을 가진 층을 사용하는 것보다 3D CAD 모델의 표면 정밀도를 향상 시킬 수 있을 뿐만 아니라, 후처리에 소요되는 시간을 줄일 수 있다. 둘째, 비교적 단순한 형상의 부품을 제작할 때, 더 두꺼운 층을 사용할 수 있기 때문에 전체 조형시간을 줄일 수 있다. 따라서, 1 m³ 이상의 크기를 갖는 대형 시작품을 제작하는데 유리하다.

D. Y. Yang, D. G. Ahn 등에 의하여 조형 시간을 획기적으로 단축시키고, 형상 정밀도를 향상 시킬 수 있으며, 후처리 공정이 거의 필요 없는 새로운 개념의 가변적층패속조형공정(Variable Lamination Manufacturing : VLM)^[8,9]이 제안되었다. 현재 개발되고 있는 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변적층 패속 조형 공정(VLM-S)^[11]은 3D CAD 모델로부터 생성된 절단 경로 데이터(USP data or USL data)에 따라 두꺼운 두께를 가진 판재를 4 축 선형 열선 절단기를 사용하여 측면 경사를 가진 층으로 절단한 후, 각 층을 순서대로 접착/적층함으로써 3 차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 패속 조형 공정이다.

VLM-S 공정은 재료를 톨에 감아 연속적으로 공급시키며 절단/적층하는 연속형(Progressive type : VLM-SP)과 정해진 규격의 재료를 단속적으로 공급하며 자동 절단과 오프라인에서 반자동으로 적

층하는 단속형(Transfer type : VLM-ST)의 두 가지로 개발되고 있다. Fig. 3 에 보여진 VLM-ST 의 경우 VLM-SP 와 달리 평탄화 공정과 잔여 재료 제거 공정이 요구되지 않으며, 적층 및 접착을 파일럿 판과 적층 보조 장치 (Building board) 를 이용하여 반자동화함으로써 VLM-SP 에 비해 조형 속도가 현저히 증가되고 장치 가격이 획기적으로 저렴해진다.

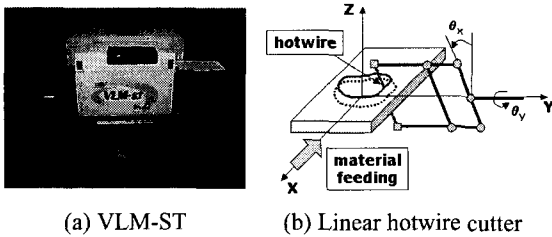


Fig. 3 VLM-ST apparatus and linear hotwire cutter

VLM-S 공정은 두꺼운 두께와 측면 경사를 가진 3 차원 형상의 절단 경로 데이터를 생성하기 위해서 기존 캐속조형공정의 CAD/CAM 프로세스와는 완전히 다른 가공경로데이터 생성 절차를 요구한다. VLM-S 공정을 위해서 가공경로데이터를 자동으로 생성하는 CAD/CAM 시스템을 ‘VLM-Slicer’라 한다. Fig. 4 는 종래의 박판재료적층공정^[3,4)]의 CAD/CAM 시스템과 VLM-ST 용 CAD/CAM 시스템(VLM-Slicer Version T1.0)을 비교한 것이다.

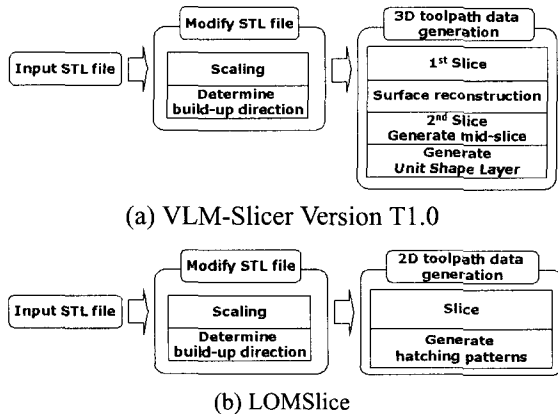


Fig. 4 Comparison of VLM-Slicer and LOMSlice

LOM 같은 기존의 박판재료 적층 공정에서는 ‘LOMSlice’를 이용하여 3 차원 CAD 데이터인 STL 파일을 읽어 들여 슬라이싱을 통해서 2 차원 단면

데이터를 생성한다. 그러나 VLM-S 공정은 두꺼운 층과 경사면을 사용하므로 VLM-Slicer 는 3 차원 CAD 데이터인 STL 파일을 읽어 들여 2 차원 단면화, 측면 형상 복원, 중간 단면 생성을 거쳐서 최종적으로 각 층의 두께, 가공 윤곽 데이터, 측면 경사 등을 포함하는 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터를 생성 한다. VLM-S 공정은 이렇게 생성된 절단경로데이터에 따라 두꺼운 두께의 재료를 절단/적층함으로써 전체 조형시간을 대폭 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라, 경사면을 가진 층을 이용하여 측면의 계단 형상의 단차를 제거함으로써 형상 정밀도를 크게 향상 시킨 3 차원 형상을 제작할 수 있다.

본 연구에서는 VLM-Slicer 에서 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터 생성 과정에서 선형 근사된 표면 데이터를 생성 가능하도록 하는 측면 형상 복원을 위한 요소 해석을 위한 격자 생성 기법인 전진 선단 기법을 이용하여 구현하고, 회전체와 꽃병 형상에 적용하여 측면 형상 복원의 필요성과 타당성을 검증하고자 한다.

2. VLM-Slicer

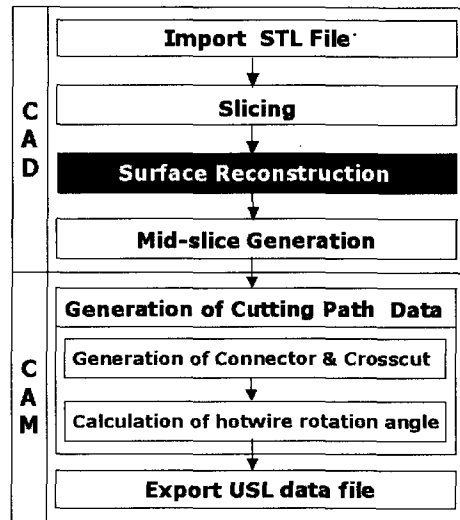


Fig. 5 Basic steps of VLM-Slicer

VLM-Slicer 가 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터를 생성하는 절차는 Fig. 5 에 나타난 것과 같이 크게 5 가지 단계로 이루어진다^[12)].

첫째, 3D CAD 모델러에서 모델링한 3 차원 형상을 STL 파일로 변환한 다음, STL 파일의 삼각형 격자의 정보들을 읽어 들여 메모리에 저장한다.

둘째, 읽어 들인 STL 파일의 삼각형 격자들로 부터 일정한 두께(1 mm 이상) 간격으로 2 차원 단면 데이터(SLC data)를 생성하기 위해서 슬라이싱 작업(1 차 슬라이싱)을 수행한다.

셋째, 슬라이싱 작업을 통해 얻어진 2 차원 단면 데이터의 맨 아래 층부터 맨 위 층까지 순서대로 두 개의 이웃하고 있는 단면들 사이를 삼각형 격자로 둘러 싸서 측면 형상을 복원한다.

넷째, 선형열선절단기의 열선방향 중심이 두께를 가진 한 층의 중간 단면과 같은 평면상에 위치하도록 하기 위해서 복원된 형상에 대하여 층 두께(t)의 절반이 되는 지점에서 슬라이싱(2 차 슬라이싱)하여 중간 단면 데이터를 생성한다. 중간 단면 데이터는 각 층의 두께, 가공 윤곽 데이터(절단 중 선형열선절단기의 열선의 중심이 그리는 궤적), 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터 등을 포함한다.

다섯째, 중간 단면 데이터에서 주어진 가공 윤곽 데이터와 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터로부터 선형 열선 절단기의 회전각을 계산하고, 중간 단면에 적층 기준 형상을 부가하여 최종적으로 각 층의 두께, 가공 윤곽 데이터, 측면 경사 등을 포함하는 VLM-S 장치를 위한 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터(USP data or USL data)를 생성한다.

Fig. 6 은 VLM-Slicer 를 사용하여 크기가 64×64×130 mm³ 인 스크루 형상에 대한 절단 경로 데이터 생성 과정을 보여준다.

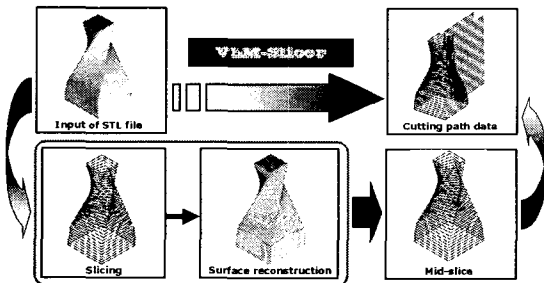


Fig. 6 Cutting path generation of the screw shape

다음절에서는 VLM-Slicer 에서 선형 열선 절단

기의 이동 궤적인 중간 단면 생성을 위해서 유한 요소 해석을 위한 격자 생성 기법을 이용하여 슬라이싱 작업을 통해 얻어진 2 차원 단면 데이터로부터 측면 형상을 복원하는 것에 관해서 기술한다

3. 측면 형상 복원

3.1 개념 및 특징

가변 적층 패속 조형 공정에서 3 차원 형상을 제작하기 위해서는 4 축 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터를 생성해야 한다. 절단 경로 데이터는 위치 데이터와 경사면 가공을 위한 선형열선절단기의 X 축 방향과 Y 축 방향의 회전각 데이터를 포함하고, Fig. 5 에서 보여진 것처럼 3 차원 CAD 데이터인 STL 파일을 읽어 들여 2 차원 단면화, 측면 형상 복원, 중간 단면 생성을 거쳐서 생성된다.

선형열선절단기의 절단경로데이터 생성 과정에서 자유 표면 형상으로부터 선형 근사된 표면 데이터를 생성 하기 위해서는 두 연속적인 단면을 이용하여 측면을 삼각형으로 에워 싸는 "측면 형상 복원(Surface Reconstruction : SR)"이 필요하다.

측면형상복원(Surface Reconstruction)은 슬라이싱해서 구한 단면데이터의 맨 아래 층부터 위쪽으로 연속하는 두 층씩 읽어 들여 측면을 삼각형망으로 연결함으로써 2 차원 단면사이를 선형 보간한 표면 형상으로 근사화 시키는 것이다.

VLM-S 는 조형시간을 단축하기 위하여 두꺼운 재료를 사용하고, 계단효과를 줄이기 위해 측면에 경사를 주어서 선형열선절단기로 절단하는 개념을 가지고 있다. 선형열선절단기로 절단할 때, 절단 후에 아랫면과 윗면이 어긋나는 경우가 발생하지 않도록 하기 위해서 앞서 구한 슬라이싱 단면을 이용하여 측면의 형상을 삼각형으로 재구성하여 단면 사이에 한줄의 삼각형만 존재하도록 한 뒤 이 복원된 형상을 다시 층 두께의 절반 높이에서 슬라이싱하여 중간 단면을 생성 한다. 이러한 개념을 구현하기 위해서 Fig. 7 과 같이 슬라이싱 데이터를 맨 아래 층부터 위쪽으로 2 개의 층을 읽어 들여서 격자 자동 생성 방법인 전진 선단 기법(Advancing Front Technique)^[14,15]을 적용하여 아래, 위 단면을 삼각형으로 둘러싸서 측면 형상을 재구성한다.

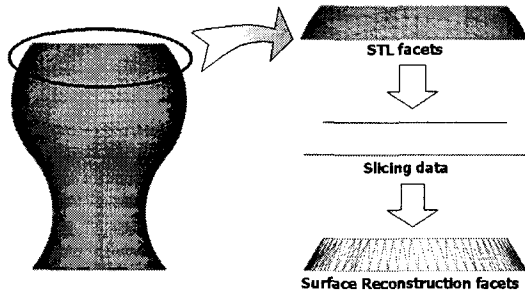


Fig. 7 Surface reconstruction between two slices

VLM-S 공정을 위한 절단 경로 데이터를 생성하는데 있어서, 측면 형상 복원은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

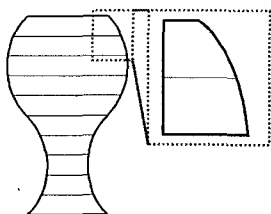
첫째, 층 두께 간격을 가진 아랫 단면과 윗 단면 사이를 삼각형 패싯(facet)으로 선형 근사한다.

둘째, 자유 표면 형상으로부터 선형 근사된 표면 데이터를 생성하므로 선형열선절단기의 기구학적 작동원리를 뒷받침하고 있다.

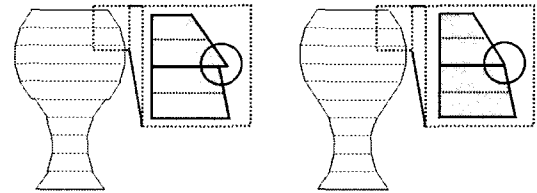
셋째, 복원된 측면 삼각형으로부터 선형 열선절단기의 경사각을 계산하기 위한 법선 벡터를 구할 수 있다.

넷째, 원래 STL 파일에서 층 두께 간격 사이에 많은 삼각형 패싯(facet)이 존재하는 경우, 같은 층 두께 간격으로 슬라이싱하여 구한 연속하는 두 층 사이를 삼각형 망으로 선형 보간하는 것은 그 사이에 있었던 STL 파일의 삼각형들의 법선 벡터를 평균하는 의미가 있다.

다섯째, Fig. 8(a)와 같은 3 차원 CAD 모델을 Fig. 8(b)와 같이 측면 형상 복원 없이 직접 중간 단면을 생성하였을 때 층간 접합부에서 틈나 모양을 가진 형상이 만들어 지지만, Fig. 8(c)와 같이 측면 형상 복원을 한 후에 중간 단면을 생성할 때는 층간 접합부에서 층간의 연속성이 보장된다.



(a) Boundary of CAD model



(b) Mid-slicing without SR (c) Mid-slicing with SR

Fig. 8 Layer joins

관련 연구로써 Keppel^[13]은 두 윤곽선으로부터 위쪽 윤곽선상의 점들을 아래쪽 윤곽선 상의 점들과 연결시켜서 삼각형 망을 형성하는 방법을 제안했다. 그는 모든 삼각화 가능성을 검토하고 하나의 행렬로 나타내었다. 그리고 나서 이 표에서 그래프에 의해서 각각의 가능한 해를 계산했다. 두 개의 사면체로 나누어 질 수 있는 오면체의 체적을 각각의 그래프의 모서리와 연관시켜서 체적을 최대화 할 수 있는 것을 해로 선택하였다. 이러한 방법은 윤곽선이 볼록(convex)해야하고 아래 위 윤곽선이 비슷한 모양을 가지며, 윤곽선을 같은 평면상에 투영했을 때 서로 겹쳐야 한다는 제한 조건 하에서는 비교적 잘 적용된다.

3.2 전진 선단 기법

본 연구에서는 높이가 다른 두 루프에서 서로 대응하는 동일한 루프의 개수를 가지는 경우에 각각의 대응루프의 측면을 삼각형으로 연결하는 방법으로써 유한 요소 해석을 위한 자동 격자 생성을 위한 방법 중의 하나인 전진 선단 기법(Advancing Front Technique)^[14,15]을 사용하였다. 유한요소의 특성상 작은 삼각형이 더 정밀한 격자를 생성할 수 있기 때문에 전진 선단 기법은 생성되는 삼각형이 선분의 길이가 가장 작은 삼각형이 되도록 하는 특징을 가지고 있다. 전진 선단 기법은 선단(Front)을 전진시킬 위치 선정, 전진시킬 위치에서 각 요소의 생성방법을 결정할 때 최적의 조건을 검사한 후, 요소를 구성하며 이를 반복해서 최종 격자를 구성하므로 주어진 조건에 입각한 최적의 격자를 최종적으로 구성할 수 있다. 하지만 매우 많은 기하계산이 필요해서 속도가 느리다. 구현은 쉽지만 효율 개선을 위해선 복잡한 자료구조 등이 필요해서 실용적 적용을 위해선 정교한 프로그래밍이 필요하다.

한 층의 한 점은 다른 층에 존재하는 가장

가까운 점과 연결되어야 생성되는 삼각형의 품질이 좋게 된다. 이를 위해서 전진 선단 기법은 i 번째 층에서 시작점을 선정하고 이 점에서 가장 가까운 점을 $i+1$ 번째 층에서 찾아 두 점을 연결한 선분을 선단으로 선정한다. 이 선단은 처음 생성되는 삼각형의 한 변이 된다. 이렇게 선단이 선정되고 나면 i 번째 층과 $i+1$ 번째 층에 존재하는 점들 중에서 선단을 한번으로 하면서 가장 적합한 조건(변의 길이가 최소, 삼각형의 넓이가 최소, 가장 등변의 삼각형 등)을 만족하는 점을 검색하여 이를 삼각형의 세 번째 꼭지점으로 저장하게 된다. 이 세 번째 꼭지점과 다른 층에 존재하는 선단의 한 점이 이루는 선분을 새로운 선단으로 하여 위의 과정을 되풀이하면서 삼각형 망을 구성하게 된다.

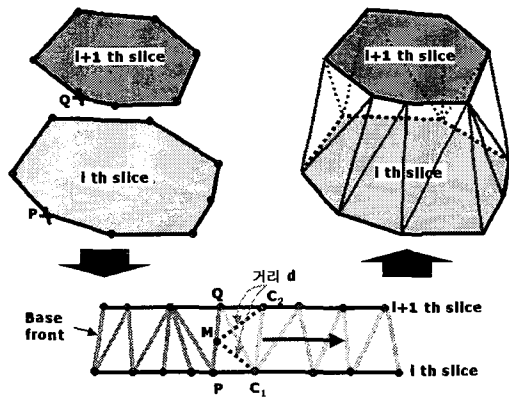


Fig. 9 Advancing front technique

Fig. 9 에 보여진 것 처럼 전진 선단 기법의 구체적인 방법은 다음과 같다.

첫째, i 번째 층에서 시작점 $P(X_p, Y_p, Z_p)$ 을 선정하고 이 점에서 가장 가까운 $i+1$ 번째 층에 있는 점 $Q(X_q, Y_q, Z_q)$ 을 찾아 두 점을 연결한 선분을 기초 선단(base front)으로 선정한다.

둘째, 아래 단면과 위 단면에서 기초 선단의 바로 다음 점을 각각 검사점 $C(X_c, Y_c, Z_c)$, $C(X_c, Y_c, Z_c)_{i+1}$ 으로 선택하여 기초 선단의 중점 $M(X_m, Y_m, Z_m)$ 으로부터 거리를 구한다. 이때 두 점 사이의 거리는 다음식으로 계산한다.

$$d = \sqrt{(X_c - X_m)^2 + (Y_c - Y_m)^2 + (Z_c - Z_m)^2} \quad (1)$$

셋째, 기초 선단의 중점으로부터 두 체크포인트까지의 거리 중에서 더 작은 점을 삼각형의 세 번째 꼭지점 $R(X_r, Y_r, Z_r)$ 으로 선택한다.

넷째, 기초 선단을 이동시킨다.

i 번째 단면과 $i+1$ 번째 단면의 모든 점이 사용될 때까지 둘째부터 넷째까지의 과정을 반복한다.

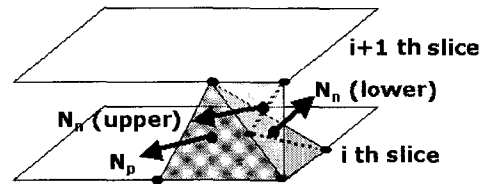


Fig. 10 Selection of triangle by normal vectors

Fig. 10 과 같이 겹치는 모서리가 존재하는 형상의 경우에는 복원되는 형상이 주어진 단면에 부합하는 형상으로 나오지 않을 가능성이 많다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 이미 만들어진 기초선단을 한번으로 가지는 삼각형의 법선벡터와 새롭게 만들어질 삼각형들의 법선 벡터들 사이의 각도(θ_{upper} , θ_{lower})를 고려하여 측면 형상을 재구성하였다. 두 법선 벡터 $N_1(X_1, Y_1, Z_1)$, $N_2(X_2, Y_2, Z_2)$ 사이의 각도(θ)는 다음 식으로 계산한다.

$$\cos \theta = \frac{X_1 X_2 + Y_1 Y_2 + Z_1 Z_2}{\sqrt{X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2} \sqrt{X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2}} \quad (2)$$

따라서, 두 층에 존재하는 점으로 삼각형을 만들기 위해서 이미 만들어진 삼각형의 법선벡터와 새로이 만들어질 삼각형들의 법선 벡터들 사이의 각도를 계산하여 그 각이 '0'에 가까운 값을 가지는 법선벡터를 갖는 삼각형을 선택해주면 된다. 그리고 θ_{upper} , θ_{lower} 가 오차 범위 내에 들어와 같은 값으로 판정되면, 두 검토점이 같은 평면 상에 존재하는 것을 의미한다. 이런 경우에는 기초선단의 중점으로부터 두 개의 검토점까지의 최소거리 기준을 적용하여 삼각형을 선택한다.

3.3 적용 예 및 고찰

Fig. 11 과 같이 오차 분석 모델을 정의하고, 이 모델에서 점선으로 표시한 3D CAD 표면 데이터(STL 데이터)와 측면 형상 복원한 데이터 사이에

오차(λ : 중간단면에서 수평거리오차)를 다음 식으로 계산한다.

$$\lambda = \left| R - \sqrt{\left(R - \frac{t}{2}\right)\left(R + \frac{t}{2}\right)} \right| \quad (3)$$

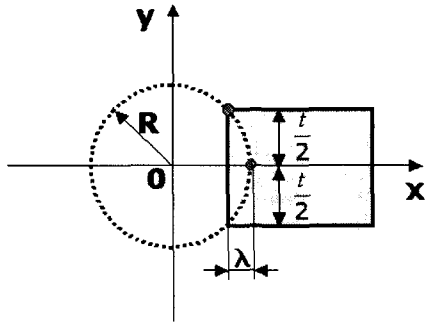


Fig. 11 Error model

곡률 반경 R 을 층 두께($t=3.9$ mm)로 나누어 무차원화 양에 대한 식(3)으로 계산한 오차(λ)의 그래프는 Fig. 12 와 같이 주어진다.

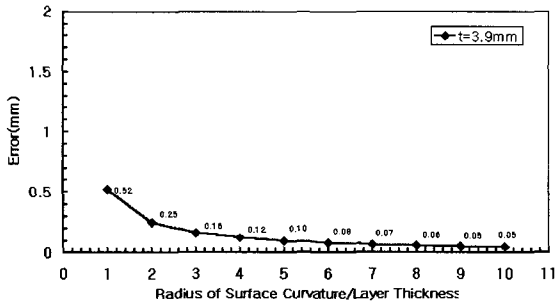


Fig. 12 Graph of error versus surface curvature

Fig. 12 에 주어진 그래프로부터 곡률 반경이 증가함 (곡률 반경이 무한대로 가면 직선이 됨)에 따라 오차도 급격히 감소함을 알 수 있다. 또한, 층 두께와 곡률 반경이 같은 경우에 적층될 형상의 경계와 STL 데이터의 표면 사이의 수직거리 오차(λ)가 0.52 mm 정도 이지만, 층 두께에 대한 곡률 반경의 비가 3 보다 큰 경우, 오차는 0.16 mm 이내로 층 두께와 곡률 반경이 같은 경우에 비해서 거의 3 배 이상 줄어 든다. 이러한 오차는 상용화된 쾌속 조형 공정에서 오차의 범위^[10]가 0.1%(± 0.0254 mm/mm)에서 2.0%(± 0.5 mm/mm)인 것과 비교할 때, 허용 오차 범위 내에 있음을 알

수 있다. 또한, 1 mm 이상의 두꺼운 층을 사용하더라도 측면의 곡률의 변화가 매우 심하지 않거나 곡률 반경이 층 두께에 비해서 비교적 큰 경우엔 측면을 삼각형으로 예워싸서 선형 근사한 형상이 원래 주어진 CAD 모델(STL 데이터)을 잘 근사함을 알 수 있다.

좀더 구체적인 예를 통해서 측면 형상 복원한 데이터와 원래의 STL 데이터 사이의 오차를 분석해 보기 위해서 Fig. 13 에 보여진 것처럼 높이가 층두께($t=3.9$ mm)의 2 배인 회전체를 테스트 파트로 선택하였다. 여기서 곡률 반경 R 값은 3.9 mm, 7.8 mm, 15.6 mm 로 층 두께 $t=3.9$ mm 의 정수배로 증가한다.

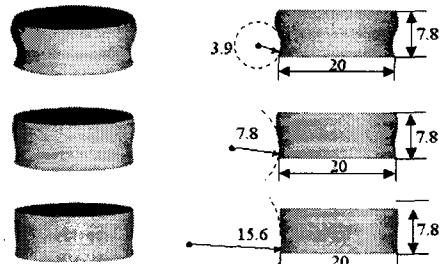


Fig. 13 Revolved test parts

Fig. 13 에 나타낸 테스트 파트에 대해서 맨 아래층의 중간 단면에서 곡률 반경 R 을 층 두께(t)로 나누어 무차원화 양에 따른 오차는 Fig. 12 와 같이 나타난다.

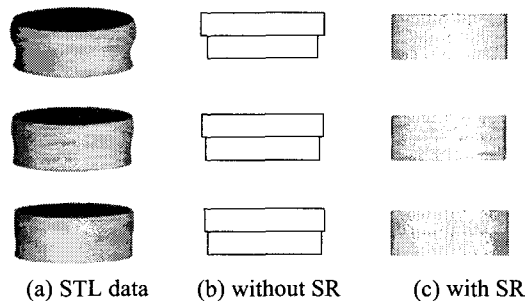


Fig. 14 Linear approximation and layer join

Fig. 14(a)와 같은 3 차원 CAD 모델을 Fig. 14(b)와 같이 측면 형상 복원 없이 직접 중간 단면을 생성하면, 층간 접합부에서 계단 형상의 단차가 발생하지만, Fig. 14(c)와 같이 측면 형상 복원을 한 후에 중간 단면을 생성하면, 층간 접합부에서 계

단 형상의 단차가 발생하지 않는다. 또한 측면 형상 복원 했을 때, 곡률 반경이 증가 함에 따라서 실제 CAD 모델(STL 데이터)을 잘 근사함을 알 수 있다.

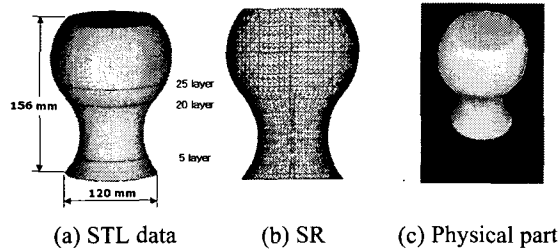


Fig. 15 Flower vase shape

보다 일반적인 적용 예로 Fig. 15 에 보여진 것처럼 크기가 $120 \times 120 \times 156 \text{ mm}^3$ 이고, 층 두께가 3.9 mm 이고, 층의 수가 40 층인 꽃병 형상을 슬라이싱하여 측면 형상 복원 한 다음, 각 층에서 오차를 분석해 보았다. 이 꽃병 형상 경계의 곡률 반경은 $R=60 \text{ mm}$ 이므로, 이 곡률 반경을 층 두께로 나눈 값은 $R/t=15.38$ 이므로, Fig. 12로부터 STL 데이터와 측면 형상 복원 데이터 사이에 수평거리 오차는 $\lambda=0.05 \text{ mm}$ 이하일 것으로 예측된다. 실제 5 번째 층, 20 번째 층, 25 번째 층에 대해서 층의 중간 평면에서 STL 데이터와 측면 형상 복원 데이터 사이에 수평거리오차는 각각 0.0451 mm, 0.0001mm, 0.0128 mm 로 주어졌고, 이러한 결과는 허용 오차 범위 0.1 mm ~ 0.5 mm 내에 있다.

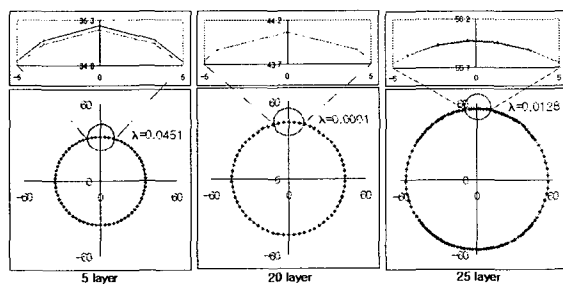


Fig. 16 Plane difference λ in the middle plane of a layer

4. 결론

VLM-Slicer 에서 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터 생성 과정에서 선형 근사된 표면 데이터를 생성 하기 위해서 연속하는 두 단면 데이

터의 측면을 삼각형망으로 연결하여 측면 형상을 복원 한다. 이를 위해서 본 논문에서는 다음과 같은 연구가 수행되었다.

첫째, 3D CAD 모델을 슬라이싱하여 구한 2D 단면 데이터로부터 유한 요소 해석을 위한 격자 생성 기법인 전진 선단 기법(Advancing Front Technique)을 이용하여 층 두께 간격을 가진 아랫 단면과 윗 단면 사이를 삼각형 패시(facet)으로 선형 보간하여 측면 형상을 복원하였다.

둘째, 측면 형상 복원을 통해서 계단 형상의 단차가 없이 층간 접합부에서 연속성이 보장되는 절단 경로 데이터 생성이 가능함을 밝혔다.

셋째, 오차 분석을 통해서 측면 형상 복원을 수행할 때, 원래 CAD 모델의 경계에서의 곡률 반경이 층두께보다 큰 경우, 선형 근사에 의해서 발생하는 오차가 허용 오차 범위 내에 있음을 밝혔다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가중점사업인 주문적 응용 폐속 제품 개발 시스템 사업단의 “가변 용착/적층에 의한 직접식 폐속 조형 공정 및 응용 기술 개발” 연구 결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. P. F. Jacobs, Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, ASME Press, 1996.
2. P. Kulkarni, A. Marsan, D. Dutta, “A review of process planning techniques in layered manufacturing,” Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, No. 1, pp. 18-35, 2000.
3. J. Park, M. J. Tari and H. T. Hahn, “Characterization of the Laminated Object Manufacturing(LOM) Process,” Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, No. 1, pp. 36-49, 2000.
4. I. Cho, K. Lee, W. Choi and Y. A. Song, “Development of a new sheet deposition type rapid prototyping system,” I. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, pp. 1813-1829, 2000.
5. Y. Zheng, S. Choi, B. Mathewson and W. Newman,

- “Progress in Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials Utilizing Thick, Tangent-Cut Layers,” Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 355-362, 1996.
6. A. Novc, S. Kaza, Z. Wang and C. Thomas, “Techniques for Improved Speed Accuracy in Layered Manufacturing” Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp. 609-617, 1996.
 7. R. L. Hope, P. A. Jacobs and R. N. Roth, “Rapid Prototyping with Sloping Surfaces,” Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 12-19, 1997.
 8. “선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 패속 조형방법 및 패속조형장치,” 국내특허, 특허출원번호 제 2000-18175 호, 2000.
 9. “선형 열절단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변적층 패속조형 공정 및 장치,” 국내 특허, 특허 출원 번호 제 2001-0040212 호, 2001.
 10. T. Mueller, “Tutorial, Fundamentals of Rapid Prototyping,” Tom Mueller Express Pattern Co., 2000.
 11. 안동규, 이상호, 양동열, 신보성, 박승교, 이용일, “발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 패속 조형 공정 및 장치 개발,” 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 8 호, pp. 54-63, 2001.
 12. 이상호, 김태화, 안동규, 양동열, 채희창, “가변 적층 패속 조형공정 개발을 위한 단위형상조각 자동 생성 소프트웨어 개발 및 적용 예,” 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 8 호, pp. 64-70, 2001.
 13. E. Keppel, “Approximating complex surfaces by triangulation of contour lines,” IBM Journal of research and development, Vol. 19, No. 1, pp. 2-11, 1975.
 14. 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, pp. 9-34, 1999.
 15. P.L. George, Automatic Mesh Generation, John Wiley & Sons, 1991, pp. 137-158.