

VLM-S 용 선형열선절단기의 회전각 계산

이상호*, 안동규*, 양동열*

Calculation of Rotation Angle of the Linear Hotwire Cutting System for VLM-S

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

ABSTRACT

Most of Rapid Prototyping (RP) processes adopt a solid Computer Aided Design (CAD) model, slicing into thin layers of uniform, but not necessarily constant, thickness in the building direction. Each cross-sectional layer is successively deposited and, at the same time, bonded onto the previous layer; the stacked layers form a physical part of the model. The objective of this study is to develop a method for calculating the rotation angle (θ_x , θ_y) of hotwire of the cutting system in the three-dimensional space for the Variable Lamination Manufacturing process using expandable polystyrene foam sheet (VLM-S). In order to examine the applicability of the developed method to VLM-S, various three-dimensional shapes, such as a screw, an extruded cross, and free surface bodies such as miniatures of the monkey(a figure of Sonokong), were made using the data obtained from the method.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변 적층 쾌속조형), linear hotwire cutting system(선형열선절단기), rotation angle(회전각)

1. 서론

쾌속 조형법의 기본 개념은 다음과 같다. 먼저, 제작하려는 제품을 3 차원 CAD 를 이용하여 모델링한다. 설계된 3 차원 CAD 데이터를 각 층마다 절단하여 2 차원 슬라이스(slice) 데이터를 얻는다. 이 슬라이스 데이터를 사용하여 여러 가지 방법으로 각 층마다 얇은 층을 만들고 이것을 순차적으로 적층해 감으로써 CAD 데이터와 같은 층상의 입체형상을 얻을 수 있다. 바꾸어 말하면 등고선상을 따라 자른 두꺼운 종이를 겹쳐 입체 지도를 만드는 것과 같은 방법이다. 즉, 3 차원의 형상을 2 차원의 얇은 판의 집합으로 변환하여 순차적으로

한 층씩 적층해 나가는 공정이 쾌속 조형법인 것이다. 이와 같은 쾌속 조형법의 특징으로 복잡한 형상의 제품도 쉽게 제작할 수 있다.

이와 같은 쾌속 조형법은 초기에는 광 빔 (beam)에 의해 형상이 만들어진다고 하여 광조형법이라고 불렀다. 그 후 시작품(Prototype)을 신속 (Rapid)하게 제작할 수 있다는 사실로부터 'Rapid Prototyping' 또는 '쾌속 조형법' 이라고 불리게 되었다. 더욱이 이 명칭에서는 절삭 가공이나 방전 가공도 포함된다는 점과, 용도가 시작품 제작에만 한정되지 않는 것도 있어서 보다 일반적인 명칭으로 적층 조형법(Layered Manufacturing), 자유형상 조형법(Solid Freeform Fabrication) 이라고 하는

* 2001년 8월 14일 접수
** 한국과학기술원 기계공학과

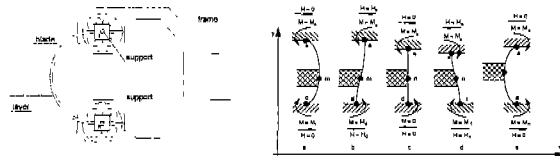
명칭이 사용되게 되었다^[12].

RP 의 대표적인 공정으로는 3D Systems 사의 SLA, Stratasys 사의 FDM, DTM 사의 SLS, Cubic Technologies 사(Helisys)의 LOM 등이 있다^[3].

기존의 쾌속 조형 공정의 계단형상의 단차를 가지고 있고, 얇은 층을 적층하기 때문에 긴 조형 시간이 소요되며, 원하는 정밀도를 얻기 위해서는 추가적으로 후처리가 필요할 뿐만 아니라, 장치의 도입 및 설치 비용과 유지비가 고가이다.

이러한 기존의 쾌속 조형 공정의 문제점을 극복하기 위하여 두꺼운 두께의 층을 적층하여 전체 조형시간을 대폭 줄이려는 공정에 관한 연구가 활발하게 진행중이며, 두께가 두꺼워져서 더욱 두드러지는 측면의 계단 형상의 단차를 제거하기 위해 경사를 부여하여 입체의 3 차원 형상을 제작하려는 연구가 병행되고 있다.

TLOM 공정^[4,5]은 두꺼운 판재를 적층함으로써 전체 성형시간을 감소시키고 상대적으로 크게 발생하는 옆면의 계단 형상을 자체적으로 개발한 고유의 "flexible curved cutting blade"를 이용하여 최소화한다. 즉, Fig. 1 에 나타낸 바와 같이 유연성을 가진 고온의 절삭 블레이드의 양 끝단의 위치를 제어하여 절삭하고자 하는 옆면의 형상으로 근사한 후 적층 재료인 폴리스티렌 폼을 블레이드 형상으로 용융시켜 윤곽가공을 수행한다. 하지만, 이 공정에서 사용되는 절단시스템은 실제 구현하기가 어렵다.



(a) General arrangement (b) Possible shapes
Fig. 1 Flexible blade

University of Utah 에서는 기존에 교육용으로 개발했던 shapemaker I 의 공정을 발전시켜 shapemaker II^[6,7]를 개발하였다. 이 시스템은 Fig. 2 에서와 같이 1 인치 두께의 폴리스티렌 폼 시트를 열선으로 연결된 두 개의 플로터 헤드를 사용하여 각 층의 모서리를 윤곽 가공한 후에 수작업을 통하여 각 층을 적층하여 물체를 완성하는 시스템이

다. 폼을 절단할 때, 위쪽 플로터 헤드는 파트 슬라이스의 위쪽 윤곽을 따라서 움직이고 이와 동시에 아래쪽 헤드는 슬라이스의 아래 윤곽을 따라 움직인다. 이렇게 두 헤드가 동시에 움직일 때, 그 사이에 연결된 열선이 경사를 이루면서 각 층의 모서리를 절단하게 된다. 이 공정에서 제한한 열선 절단 시스템은 두 개의 xy 플로터의 상대 운동에 의한 열선의 경사를 이용하여 경사 절단을 수행하므로 실제 원하는 회전각을 구현하는 것이 어렵다.

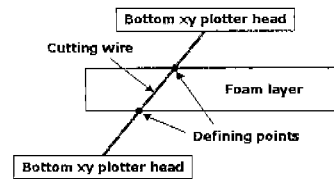
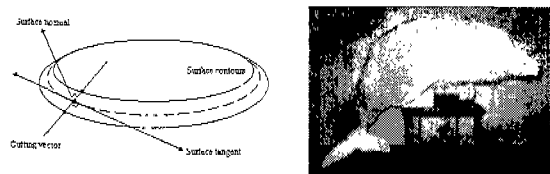


Fig. 2 Shapemaker II process

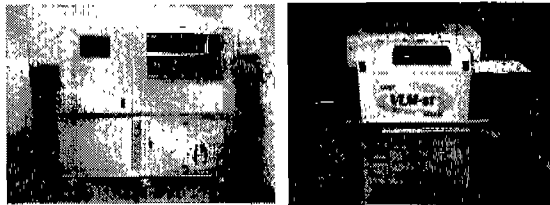
TruSurf^[8,9]도 전술한 Shapemaker II와 매우 흡사한 시스템으로서 평균적으로 10.15mm 정도의 폴리스티렌 폼을 5 축 제어 가능한 워터젯(waterjet)으로 윤곽가공한 후, 이를 수작업을 통하여 적층하여 물체를 완성하는 기법이다. 이때 각 층의 옆면이 사면의 형태로 절단되어 표면의 계단 형상이 발생하지 않도록 한다. Fig. 3 은 TruSurf 시스템에서 IGES 파일을 읽어들이서 슬라이싱하여 얻은 한 층에서 NC 코드 생성을 위해서 필요한 "cutting vector"를 계산하는 방법과 실제로 5 축 워터젯으로 절삭하여 제작된 예제 모델을 보여 주고 있다. 이 방법은 5 축 워터젯 절단기의 가격이 고가이므로 실용화 하기에 어렵다.



(a) cutting vector (b) Example
Fig. 3 TruSurf process

하지만, 이러한 연구들은 절단 시스템의 한계 때문에 실질적인 성과를 거두고 있지는 못하다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 새로운 절

단 시스템의 개념을 가진 가변 적층 쾌속 조형 공정이 개발 중이다. Fig. 4 에 보여진 바와 같이 현재 개발되고 있는 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정(VLM-S)^[10,11]은 두꺼운 두께를 가진 판재를 4 자유도를 가진 선형 열선 절단 시스템으로 경사를 포함하는 절단 가공 경로 데이터에 따라 3 차원 형상을 절단하여 접착/적층함으로써 일체화된 3 차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다.



(a) VLM-SP (b) VLM-ST

Fig. 4 VLM-S apparatus

VLM-S 공정은 Fig. 4 에 나타낸 바와 같이 연속형 장치인 VLM-SP 와 단속형 장치인 VLM-ST 로 분류된다. VLM-SP 는 절단파트로정기를 이용한 자동 적층 방식인 반면에 VLM-ST 는 파이롯 판과 적층 보드를 이용한 반자동 적층방식이다.

VLM-S 공정의 주요 특징은 다음과 같다.

- 재료 공급의 자동화가 가능하다.
- 선형열선절단기의 직선 이송 운동과 회전 운동을 이용하여 3 차원 형상을 구성하는 각각의 층을 경사 절단함으로써 측면의 단차를 최소화한다.
- 기존의 RP 공정들에 비해서 상대적으로 두꺼운 1~5 mm 의 적층 두께를 가지므로 전체 조형시간을 대폭 단축시킨다.
- 절단된 각 층의 적층이 간편하다.
- EPS-Foam 재료의 특성으로 인하여 후처리가 용이하다.
- 장치 도입비가 저가이고, 사용되는 재료가 저렴하기 때문에 장치 유지비도 적다.

위에 열거한 주요 특징 중에서 특히 두번째항과 세번째항이 VLM-S 공정의 핵심이라고 할 수 있다. 즉, VLM-S 공정에서는 두꺼운 두께의 재료를 사용하여 조형시간을 단축시킴과 동시에 측면에 경사를 줌으로써 계단형상의 단차를 제거하여 정밀도를 향상 시키고자 하는 것이다. 이에 본 연

구에서는 현재 개발 중에 있는 VLM-S 공정을 위한 3 차원 공간에서의 선형열선절단기의 회전각을 계산하는 방법을 제안하고, 이를 C++로 구현하여 다양한 3 차원 CAD 모델에 적용하여 제안된 방법의 타당성을 검증하고자 한다.

2. VLM-S CAD/CAM 시스템 개요

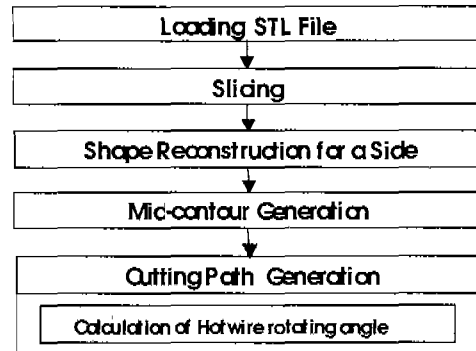


Fig. 5 Flowchart of the VLM-S CAD system

VLM-S CAD/CAM 시스템^[14]은 입력된 3 차원 CAD 모델 데이터로부터 현재 개발중인 VLM-S 장비의 절단가공경로데이터를 자동 생성하는 CAD/CAM 시스템으로서 VLM-Slicer 로 명명한다. 여기서 절단 가공 경로 데이터는 두꺼운 재료를 사용함으로써 나타날 수 있는 계단 효과를 최소화 하기 위하여 3 차원 CAD 모델의 2 차원 단면데이터는 물론이고, 측면 경사각 데이터를 포함한다.

VLM-Slicer 는 Fig. 5 에 나타낸 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. 절단 가공 경로 생성 모듈

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

슬라이싱 모듈은 3 차원 CAD 데이터를 2 차원 단면 데이터로 슬라이싱하고 각각의 모서리를 연결하여 루프(loop)를 생성하는 모듈이다.

측면 형상 재구성 모듈은 슬라이싱해서 구한 맨 아래 층부터 위쪽으로 2 층씩을 읽어 들어서 자동 격자 생성 알고리즘인 선진 전단 기법 (Advancing Front Technique)을 적용하여 아래, 위 단면을 삼각형으로 둘러싸서 측면 형상을 재구성^[15,16]하는 모듈이다.

중간 단면 생성 모듈은 선형열선절단기의 수직방향 중심을 두께를 가진 한 층의 중간 단면과 일치하도록 하기 위하여 측면 형상을 복원한 각 층의 두께의 절반(t/2)만큼 오프셋(offset)시켜 다시 한번 슬라이싱 하여 중간 단면을 구하는 모듈이다. 중간단면을 이루는 루프는 실제 VLM-S 의 선형열선절단기의 경로를 나타낸다. 따라서 중간단면을 이루고 있는 모서리가 포함된 삼각형의 법선 벡터도 함께 저장하여 절단 가공 경로 생성시에 선형열선절단기의 경사각을 계산하는데 이용한다.

절단 가공 경로 생성 모듈은 각각의 중간 단면 데이터를 이용하여 선형열선절단기를 이용하여 절단할 때 필요한 이송경로좌표(x, y)와 회전각(θ_x, θ_y)을 계산하는 모듈이다.

Fig. 6 은 VLM-Slicer 를 이용하여 환봉으로부터 압출되는 십자가 형상에 대한 절단 가공 경로 데이터를 생성하는 과정을 나타낸 예이다.

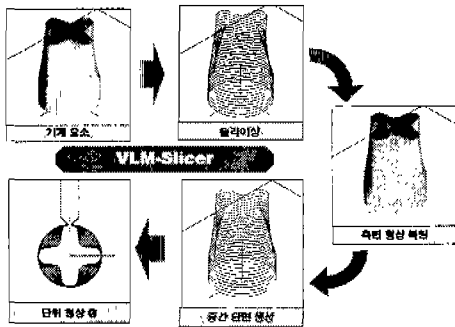


Fig. 6 Cutting path generation of an extruded cross

다음절에서는 중간단면 데이터에서 주어진 단면정보와 법선벡터를 이용하여 선형열선절단기의 회전각을 계산하는 방법에 대하여 기술한다.

3. 선형 열선 절단기

선형열선절단기는 공급된 발포 폴리스티렌 폼을 절단 가공 경로 정보(위치와 각도)에 따라 3 차원 CAD 모델의 각층에 해당되는 부분을 생성한

다. VLM-S 공정의 특징인 측면 경사를 구현하기 위하여 4 축 선형열선절단기를 설계/제작 하였다. 4 축 선형열선절단기는 4 개의 스텝핑 모터에 의하여 제어되고, 평행사변형 링크 메커니즘을 사용하여 주어진 절단가공경로를 따라서 절단할 때 열선의 길이를 항상 일정하게 유지하며, 열선 절단기의 수직 방향 중심은 회전시에도 중간 단면 위치와 항상 일치하도록 설계하였다. 선형열선절단기의 최대회전각은 θ_x, θ_y 모두 65° 이다. 따라서 이각에 의해서 구의 가장 윗면처럼 만들수 없는 형상이 존재한다. 이러한 문제는 적층방향을 달리하거나 후가공을 함으로서 해결가능하다.

Fig. 7 는 선형열선절단기^[12,13]를 이용한 절단 공정에 대한 개념도이다.

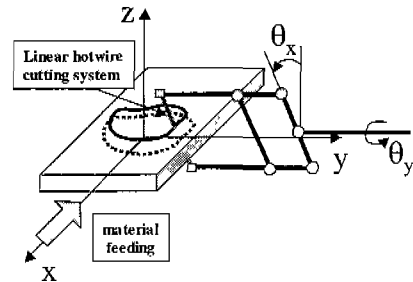


Fig. 7 Linear hotwire cutting system

4. 선형 열선 절단기의 회전각 계산

VLM-S 는 조형시간을 단축하기 위하여 두꺼운 재료를 사용하고, 계단효과를 줄이기 위해 측면에 경사를 주어서 선형열선절단기로 절단하는 개념을 가지고 있다. 이때, 선형열선절단기의 회전각 θ_x, θ_y 는 3 차원 CAD 데이터를 슬라이싱한 상하면의 데이터를 이용하여 구한 중간 단면과 이 중간단면을 이루는 모서리가 포함된 표면 삼각형(facet)의 법선 벡터로부터 계산할 수 있다. 이렇게 구한 회전각은 삼각형 자체가 하나의 평면이기 때문에 삼각형이 기울어진 방향으로 재료를 절단하면 형상의 기울기와 거의 근사하게 재료를 절단할 수 있다.

4.1 선형열선절단기의 열선의 자세 묘사

직교좌표계에 대한 선형열선절단기의 회전각은 Fig. 8 와 같이 정의된다. 회전각 θ_x, θ_y 는 모두 오른손법칙에 따라서 회전방향의 양(+)과 음(-)을 판정한다. Fig. 8 에 표시된 방향이 각각 θ_x, θ_y 가

양(+인) 방향이다.

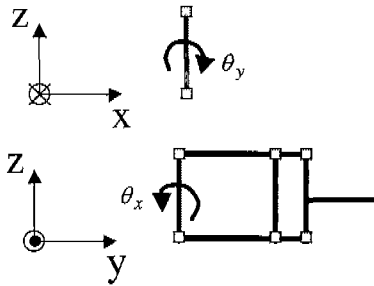


Fig. 8 Definition of Rotation angle

또한, 각각의 회전각 θ_x, θ_y 의 이론적인 각도 범위는 다음과 같다.

$$-90^\circ < \theta_x < 90^\circ, -90^\circ < \theta_y < 90^\circ \quad (1)$$

Fig. 9 은 초기 절단시작위치에서 선형열선절단기의 자세를 단위법선벡터와 단위접선벡터를 이용하여 나타내었다. Fig. 9 에 나타낸바와 같이 초기 위치에서 단위접선벡터와 단위법선벡터는 다음과 같다.

$$\vec{T}_{origin} = (0,0,1), \vec{N}_{origin} = (0,1,0) \quad (2)$$

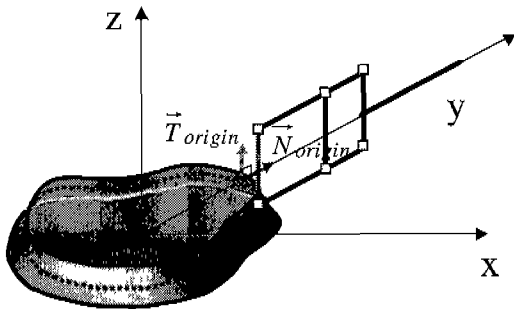


Fig. 9 hotwire posture at the start point

Fig. 10 에 나타낸 바와 같이 절단가공경로를 따라서 이송중인 선형열선절단기의 열선은 단위접선벡터의 방향과 항상 일치한다. 이때, 이 단위접선벡터는 해당 모서리를 포함하는 삼각형의 단위법선벡터와 모서리의 끝점에서 시작점을 뺀 벡터를 정규화(normalizing)한 현재 모서리의 단위 방향 벡터의 외적(outer product)으로 정의된다. 즉,

$$\vec{T}_{cur} = \vec{N}_{cur} \times \vec{U}_{edge} \quad (3)$$

$$\vec{T}_{cur} = (N_y U_z - N_z U_y, -(N_x U_z - N_z U_x), N_x U_y - N_y U_x)$$

where $\vec{T}_{cur} = (T_x, T_y, T_z)$
 $\vec{N}_{cur} = (N_x, N_y, N_z)$
 $\vec{U}_{edge} = (U_x, U_y, U_z)$

이고, \vec{U}_{edge} 는 다음과 같이 구해진다.

$$\vec{U}_{edge} = \frac{\vec{P}_{end} - \vec{P}_{start}}{\|\vec{P}_{end} - \vec{P}_{start}\|} \quad (4)$$

where $\vec{P}_{start} = (X_{start}, Y_{start}, Z_{start})$
 $\vec{P}_{end} = (X_{end}, Y_{end}, Z_{end})$
 $\|\bullet\| = \bullet$ 벡터의 크기

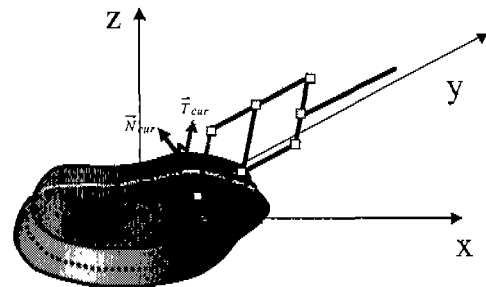


Fig. 10 Definition of unit tangential vector

4.2 역운동학적 방법을 이용한 회전각 계산

앞서 정의한 \vec{T}_{cur} 는 \vec{T}_{origin} 을 회전행렬 $[R]_x, [R]_y$ 에 의하여 회전변환하여 다음과 같이 구할 수 있다. 즉,

$$\vec{T}_{cur} = [R]_x [R]_y \vec{T}_{origin} \quad (5)$$

where $[R]_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_x & -\sin \theta_x \\ 0 & \sin \theta_x & \cos \theta_x \end{bmatrix}$

$$[R]_y = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta_y & 0 & \cos \theta_y \end{bmatrix}$$

이고, $[R]_x [R]_y$ 를 계산하면,

$$[R]_x [R]_y = \begin{bmatrix} \cos \theta_y & 0 & \sin \theta_y \\ \sin \theta_x \sin \theta_y & \cos \theta_x & -\sin \theta_x \cos \theta_y \\ -\cos \theta_x \sin \theta_y & \sin \theta_x & \cos \theta_x \cos \theta_y \end{bmatrix} \quad (6)$$

이다.

식(2)에 주어진 \vec{T}_{origin} 값을 식(5)에 대입해서

정리하면 ,

$$\vec{T}_{cur} = \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} = [R]_x [R]_y \vec{T}_{origin} \quad (7)$$

$$= \begin{bmatrix} \sin \theta_y \\ -\sin \theta_x \cos \theta_y \\ \cos \theta_x \cos \theta_y \end{bmatrix}$$

이다. 이 식을 앞서 구한 식 (3)과 함께 놓으면 본 연구에서 계산하고자 하는 선형열선절단기의 회전각 θ_x, θ_y 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\vec{T}_{cur} = [R]_x [R]_y \vec{T}_{origin} = \vec{N}_{cur} \times \vec{U}_{edge} \quad (8)$$

or

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_y \\ -\sin \theta_x \cos \theta_y \\ \cos \theta_x \cos \theta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} NyU_z - NzU_y \\ -(NxU_z - NzU_x) \\ NxU_y - NyU_x \end{bmatrix}$$

즉, 선형열선절단기의 회전각 θ_x, θ_y 은

$$\theta_y = \sin^{-1}(NyU_z - NzU_y) \quad (9)$$

$$\theta_x = \sin^{-1}\left\{ (NxU_z - NzU_x) / \cos \theta_y \right\}$$

으로 구해진다. 여기서 두 각도 범위가 식(1)에 주어진 것처럼 $-90 < \theta_x < 90, -90 < \theta_y < 90$ 이므로 sine 을 취하여 각도를 계산하였다.

한편, x 축에 대한 회전행렬이 단위 행렬인 경우 ($[R]_x = [I]_x$), $\theta_x = 0$ 이므로 다음과 같이 θ_y 만 존재한다.

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_y \\ 0 \\ \cos \theta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} NyU_z - NzU_y \\ 0 \\ NxU_y - NyU_x \end{bmatrix} \quad (10)$$

따라서, 이 경우에 θ_y 는 다음과 같다.

$$\theta_y = \sin^{-1}(NyU_z - NzU_y) \quad (11)$$

또한, x 축에 대한 회전행렬이 단위 행렬인 경우 ($[R]_y = [I]_y$), $\theta_y = 0$ 이므로 다음과 같이 θ_x 만 존재한다.

$$\begin{bmatrix} 0 \\ -\sin \theta_x \\ \cos \theta_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -(NxU_z - NzU_x) \\ NxU_y - NyU_x \end{bmatrix} \quad (12)$$

따라서, 이 경우에 θ_x 는 다음과 같다.

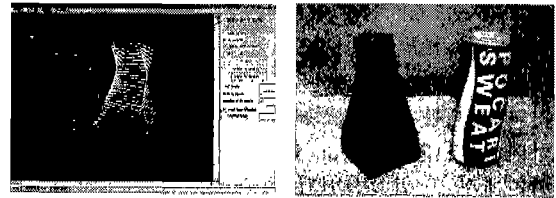
$$\theta_x = \sin^{-1}(NxU_z - NzU_x) \quad (13)$$

이상으로 회전행렬을 이용한 가장 단순한 역 운동학적 방법을 적용하여 3 차원 공간에서 선형

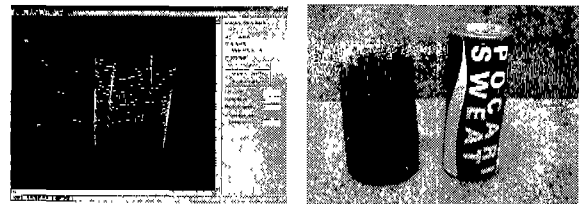
열선절단기의 회전각을 계산하는 일반적인 관계식을 도출하였다. 다음절에서 실제 이렇게 도출된 식을 현재 개발 중인 VLM-Slicer 의 선형열선절단기의 회전각 계산 모듈에 삽입하여 실질적인 3 차원 형상에 적용해 보고자 한다.

5. 적용 예

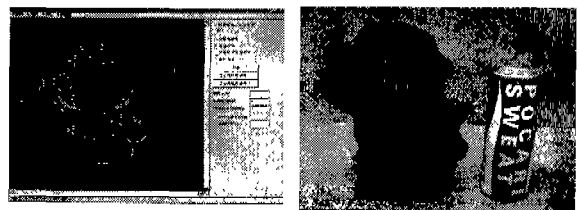
위에서 제안한 선형열선절단기의 회전각을 계산하는 방법을 C++로 구현하여 정사각형 단면을 가진 스크루 형상과 환봉으로부터 압출되는 십자가 형상, 그리고 아주 일반적인 3 차원 형상인 손오공 모형에 대하여 적용하여 절단가공경로 데이터를 생성하였다.



(a) Screw(35 layers)



(b) Extruded cross(26 layers)



(c) Son-o-kong(47 layers)

Fig. 11 Fabricated part

회전각 계산 관계식이 실제 시작품 제작에서 잘 적용 되는지를 검증하기 위해서 VLM-S 장치를 이용하여 실제 시작품을 제작하였다. Fig. 11 는 제

어 입력 데이터와 실제로 제작된 시작품을 나타내었다. 본 연구에서 계산된 선형 열선 절단기의 회전각에 관한 관계식을 적용하여 측면의 계단 형상이 거의 제거된 임의의 3 차원 형상을 조형할 수 있었다. Table 1 에 각각의 모델의 층의 수와 한 층의 두께, 그리고 최대 경사각과 전체 제작 시간을 나타내었다.

Table 1 The fabricated dimensions and total fabricated time

model	No. of layers	Thickness of a layer (mm)	Maximum rotational angle (°)	Total time of fabrication (min)
Screw	35	3.9	25	28
Extruded cross	26	3.9	15	18
Sonokong	47	3.9	40	40

6. 결론

VLM-S 공정에서는 두꺼운 두께의 재료를 사용하여 조형시간을 단축시킴과 동시에 측면에 경사를 줌으로서 계단형상의 단차를 제거하여 정밀도를 향상 시키고자 한다. 이에 본 논문에서는 다음과 같은 연구가 수행되었다.

첫째, 현재 개발 중에 있는 VLM-S 공정을 위한 3 차원 공간에서의 선형열선절단기의 회전각에 관한 관계식을 다음과 같이 도출하였다.

$$\begin{cases} \theta_y = \sin^{-1}(N_y U_z - N_z U_y) \\ \theta_x = \sin^{-1}\{(N_x U_z - N_z U_x) / \cos \theta_y\} \end{cases} \quad (14)$$

곡률반경이 층두께의 2 배인 회전체 형상에 대하여 이 계산식을 적용하여 절단 경로 데이터를 생성하여 실제 시제품을 제작하였을 때, 두께에 대한 오차의 비는 6.35 %로 나타났다. 그리고, 곡률 반경이 증가함에 따라서 오차도 점차 감소한다.

둘째, 이러한 관계식을 C++로 구현하여 정사각형 단면을 가진 스크루 형상과 환봉으로부터 압출되는 십자가 형상. 그리고 아주 일반적인 3 차원 형상인 손오공 모형에 대하여 회전각(θ_x, θ_y)과 절단 경로(x, y)를 포함하는 절단 경로 데이터를 생

성하였다.

셋째, VLM-S 장치를 이용하여 각각의 모델을 실제로 측면의 계단 형상이 거의 없이 제작하여 제안된 선형열선절단기의 회전각을 계산하는 일반적인 관계식의 타당성을 검증하였다.

이상의 결과를 놓고 볼 때, 향후, 절단오차 보정과 날카로운 모서리 부분에서의 절단경로 수정 등의 추가적인 연구를 통해서 정밀도를 좀더 개선시킨다면, 현재 개발중인 VLM-S 공정이 보다 일반적이고, 광범위한 3 차원 형상에 적용가능할 뿐만 아니라 여러 산업 분야에도 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

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

참고문헌

1. Paul F. Jacobs, Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, ASME Press, 1996.
2. 정해도, 적층 조형 시스템 3 차원 카피기술의 신진개, 성안당, 1998.
3. 양동열, 손현기, “쾌속제품개발(RPD)을 위한 쾌속조형 기술의 최근 동향,” 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 10 호, pp. 5-10, 2000.
4. I. Horvath, J.S.M.Vergeest, J.J.Broek, Z.Rusak, and B. de Smit, “Tool Profile and Tool Path Calculation for Freeform Thick-layered Fabrication,” Computer-Aided Design, Vol. 30, No. 14, pp 1097-1110, 1998
5. 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.
6. T. Bohlander, “The 6th International Dayton Conference on Rapid Prototyping : New Technologies,” Rapid Prototyping Report, CAD/CAM Publishing, pp.3-5, 1995 June

7. A. Novc, S. Kaza, Z. Wang, C. Thomas, "Techniques for Improved Speed Accuracy in Layered Manufacturing" Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp. 609-617, 1996.
8. 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
9. R..L.Hope, R.N.Roth, and P.A.Jacobs, "Adaptive Slicing with Sloping Layer Surface," Rapid Prototyping Journal, Vol.3, No. 3, pp. 89-98, 1997
10. 양동열, 안동규, 신보성, 이상호, "선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 쾌속조형방법 및 쾌속조형장치," 특허출원번호 제 2000-18175 호, 2000.
11. 양동열, 안동규, 이상호, 최홍석, 박승교, "선형 열절단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변적층 쾌속조형 공정 및 장치," 특허 출원 번호 제 2001-0040212 호, 2001.
12. 안동규, 이상호, 양동열 외 2 인, "가변 적층 쾌속 조형 공정 개발을 위한 발포 폴리스티렌 폼의 선형 열선 절단시스템 절단 특성 및 접착강도 특성에 대한 연구," 한국정밀공학회지, 제 17 권, 제 12 호, pp.185-194, 2000.
13. 안동규, 이상호, 양동열 외 3 인 "발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치 개발" 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 8 호, pp. 54-63, 2001
14. 이상호, 김태화, 안동규, 양동열, 채희창, "가변 적층 쾌속 조형공정 개발을 위한 단위형상조각 자동 생성 소프트웨어 개발 및 적용 예," 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 8 호, pp. 64-70, 2001
15. 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.
16. David Meyers, Shelley Skinner, and Kenneth Sloan, "Surfaces from Contours," ACM Transactions on Graphics, Vol. 11, No. 3, pp. 228-258, 1992.