

가변적층 쾌속조형공정용 CAD 시스템 개발을 위한 3차원 공간상에서의 선형열선절단기 자세표현에 관한 연구

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

A Description Method of Linear Hotwire Posture in Space for the Cutting System of VLM-S

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

ABSTRACT

In all Rapid Prototyping (RP) processes, computer-aided design (CAD) solid model is sliced 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 obtaining necessary coordinates (x, y, θ_x, θ_y) to position linear hotwire of the cutting system in three-dimensional space for the Variable Lamination Manufacturing process (VLM-S), which utilizes expandable polystyrene foam sheet as part material. In order to examine the applicability of the developed method to VLM-S, various three-dimensional shapes, such as a spanner, a patterned column, and a pyramid were made using data obtained from the method.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변 적층 쾌속조형), linear hotwire cutting system(선형열선절단기), positioning(자세)

1. 서론

1986년 미국에서 개발된 '쾌속조형'기술(Rapid Prototyping Technology)은 제품의 CAD 데이터로부터 플라스틱, 종이, 광경화성수지 및 금속 등의 재료를 이용하여 제품을 직접 만들 수 있는 새로운 개념의 공정이다. RP의 대표적인 공정으로는 3D Systems사의 SLA, Stratasys사의 FDM, DTM사의 SLS, Z Corp.사의 3DP, Objet Geometries사의 Objet Quadra 등이 있다^[1,2].

이러한 기존의 쾌속 조형 공정은 다음과 같은 문제점이 있다.

- 3차원 CAD 데이터를 z 방향으로 슬라이싱 하여 2차원 슬라이스 데이터를 얻는 과정에서 z 방향으로 계단형상의 단차가 생긴다.
- 고정된 두께의 얇은 층과 선 형태로 직층하기 때문에 많은 조형 시간이 소요된다.
- 시작물의 정밀도 향상과 지지대 제거등을 위한 추가적인 후처리 공정이 요구된다. 그리고, 후처리 공정에 소요되는 시간 및 비용이 상당하며 추가

적인 장비가 요구되기도 한다.

- 장치의 도입 가격과 유지비가 상당히 고가이므로 일반 산업 현장이나 교육시설 등에 도입하기 어렵다.

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 개발중에 있다. Fig. 1에 보여진 바와 같이 현재 개발되고 있는 발포 폴리스티렌 폼 (Expandable Polystyrene Foam: EPS Foam)을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정(Variable Lamination Manufacturing system by using hard Styrofoam : VLM-S)^[3]은 여러가지 두께로 연속적으로 공급되는 판재띠를 4 자유도를 가진 선형 열선 절단 시스템으로 폭, 길이 및 측면 경사를 실시간 제어하여 3차원 형상을 절단하여 접착/적층함으로써 일체화된 3차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다. VLM-S 공정은 Fig.1과 같이 재료 저장/공급부, 형상 생성부,

재료 적층 및 접착부, 잔여 재료 절단/저장부 및 시스템 제어부로 구성된다.

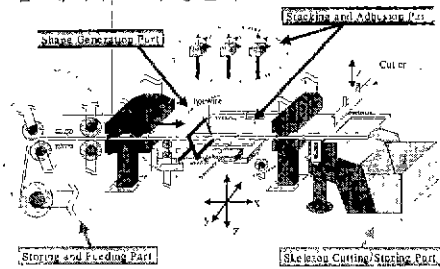


Fig. 1 VLM-S apparatus schematics

본 연구에서는 현재 개발 중에 있는 VLM-S CAD 시스템을 위한 3 차원 공간에서의 선형열선절단기의 자세를 표현하는 방법을 제안하고, 이를 C++로 구현하여 다양한 3 차원 CAD 모델에 적용하여 제안된 방법의 타당성을 검증하고자 한다.

2. VLM-S CAD 시스템 개요 [4]

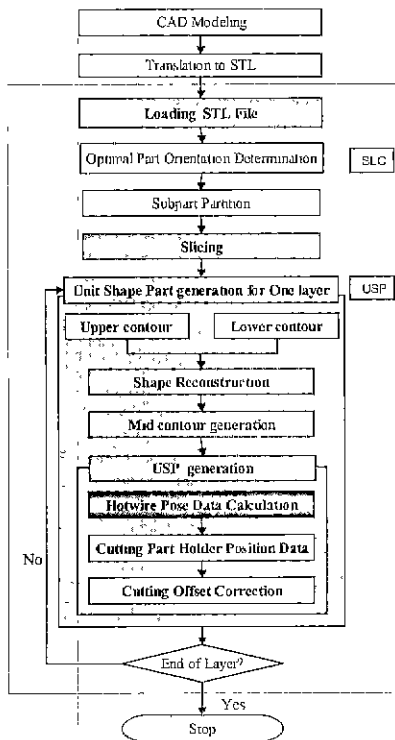


Fig. 2 Flowchart of the VLM-S CAD system

VLM-S CAD 시스템은 현재 개발중인 VLM-S 장비의 제어부의 입력 파일인 USP(Unit Shape Part) 파일을 자동 생성하는 CAD 시스템이다. 여기서

USP 파일은 두꺼운 재료를 사용함으로써 나타날 수 있는 계단 효과를 최소화하기 위하여 3 차원 CAD 모델의 2 차원 단면데이터와 측면 경사각 데이터를 포함하고, 선의 형태가 아닌 판재의 재료를 사용하기 때문에 판재의 넓이에 맞도록 한 층의 단면을 여러 조각으로 만들어 이 조각사이의 위상 데이터를 포함하고 있다.

VLM-S CAD 시스템은 Fig. 2 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. 단위 형상 조각(Unit Shape Part) 생성 모듈

Fig. 3 은 VLM-S CAD 시스템을 이용하여 Spanner 형상에 대한 단위 형상 조각을 생성하는 과정을 나타낸 예이다.

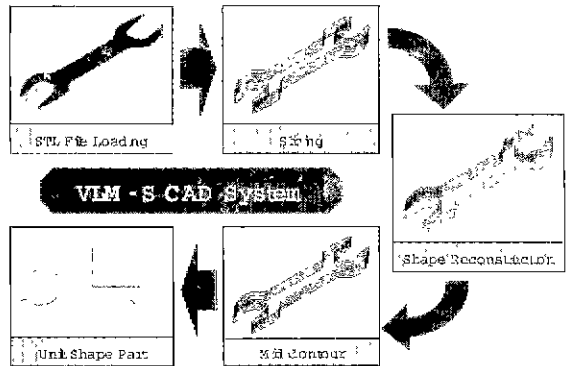


Fig. 3 Spanner

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 루프(loop)를 생성하는 모듈이다.

측면 형상 재구성 모듈은 슬라이싱해서 구한 맨 아래 층부터 위쪽으로 2 개의 층을 읽어 들여서 적자 자동 생성 알고리즘인 선진 전단 기법(Advancing Front Technique)을 적용하여 아래, 위 단면을 삼각형으로 둘러싸서 측면 형상을 재구성^[1]하는 모듈이다.

중간 단면 생성 모듈은 선형열선절단기의 수직 방향 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 슬

라이징 하여 중간 단면을 구하는 모듈이다. 중간 단면을 이루는 루프는 실제 VLM-S의 선형열선절단기의 경로를 나타낸다. 따라서 중간단면을 이루고 있는 에지(edge)가 포함된 삼각형의 법선 벡터도 함께 저장하여 USP 생성시에 선형열선절단기의 경사각을 계산하는데 이용한다.

단위 형상 조각 생성 모듈은 각각의 중간 단면을 재료의 폭에 맞게 여러 조각의 띠(strip)로 분할하는 모듈이다. USP 파일은 열선 절단기의 자세에 관한 기하학적 데이터(즉, 위치와 경사각)와 단위 형상 조각의 절단 순서를 나타내는 위상학적 데이터, 그리고 실험에 의해서 주어진 열선 절단 속도와 열선의 열량을 포함한다.

3. 선형 열선 절단기

Fig. 4는 선형열선절단기를 이용한 절단 공정에 대한 개념도이다.

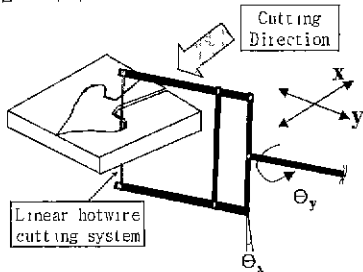


Fig. 4 Linear hotwire cutting system

선형열선절단기는 공급된 발포 폴리스티렌 폼을 시스템 제어부에서 제공되는 형상 정보(위치와 각도)에 따라, 3 차원 CAD 모델의 각층에 해당하는 부분인 단위 형상 조각(USP)을 생성한다. VLM-S 공정의 특징인 단위 형상 조각의 측면 경사를 구현하기 위하여 4 축 선형열선절단기를 설계/제작 하였다. 4 축 선형열선절단기는 4 개의 스텝핑 모터에 의하여 제어되고, 사다리꼴 링크 메커니즘을 사용하여 단위 형상 조각 절단 중 열선 길이를 항상 일정하게 유지하며, 열선 절단기의 수직 방향 중심은 회전시에도 중간 단면 위치와 항상 일치하도록 설계하였다.

4. 선형 열선 절단기의 자세 표현 방법[5,6]

VLM-S는 조형시간을 단축하기 위하여 두꺼운 재료를 사용하고, 계단효과를 줄이기 위해 측면에 경사를 주어서 선형열선절단기로 절단하는 개념을 가지고 있다. 이때, 선형열선절단기의 자세를 표현하기 위해서 필요한 단위 형상 조각의 X, Y, θ_x , θ_y 데이터는 3 차원 CAD 데이터를 슬라이싱한 상하면

의 데이터를 이용하여 상하면의 중간에 위치한 중간 단면의 X, Y 데이터를 구하고 각 X, Y 데이터가 포함되는 표면 삼각형(facct)의 법선 벡터로부터 측면 경사 θ_x , θ_y 를 계산하여 얻는다. 이렇게 구한 경사각은 삼각형 자체가 하나의 평면이기 때문에 삼각형이 기울어진 방향으로 재료를 절단하면 형상의 기울기와 맞게 재료를 절단할 수 있다.

4.1 직벽인 경우($N_z=0$)

선형열선절단기의 절단 경로 위치와 그 위치에서의 법선벡터를 알고 있으므로, Fig. 5와 같이 법선 벡터와 z 방향 단위벡터의 내적이 영이면 법선벡터가 항상 xy 평면상에 존재한다. 이것은 선형열선절단기의 절단면이 직벽임을 의미하고, θ_x , θ_y 는 항상 영이다.

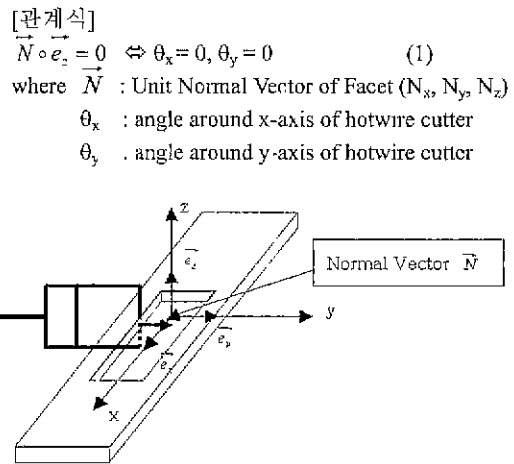


Fig. 5 Straight pose of linear hotwire cutting system

4.2 θ_x, θ_y 중 하나가 영인 경우

Case 1: $\theta_x \neq 0, \theta_y = 0$ 일 때

$\theta_x \neq 0$ 이고, $\theta_y = 0$ 인 경우, θ_x 는 Fig. 6으로부터 식(2.1)로 계산 가능하고, θ_y 는 영이다.

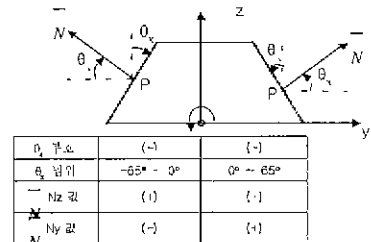


Fig. 6 Case 1: $\theta_x \neq 0, \theta_y = 0$

$$\tan\theta_x = \frac{N_z}{N_y} \Leftrightarrow \theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{N_z}{N_y}\right) \quad (2.1)$$

$$\vec{N} \cdot \vec{e}_x = 0 \Leftrightarrow \theta_y = 0 \quad (2.2)$$

Case 2 : $\theta_x \neq 0, \theta_y \neq 0$ 일 때

$\theta_x = 0$ 이고, $\theta_y \neq 0$ 인 경우, θ_y 는 Fig. 7로부터 식(3.2)로 계산 가능하고, θ_x 는 영이다.

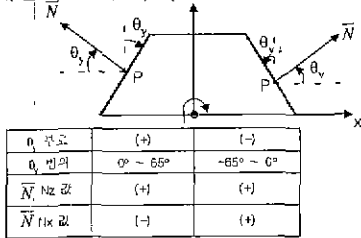


Fig. 7 Case 2 : $\theta_x = 0, \theta_y \neq 0$

$$\vec{N} \cdot \vec{e}_y = 0 \Leftrightarrow \theta_x = 0 \quad (3.1)$$

$$\tan\theta_y = -\frac{N_z}{N_x} \Leftrightarrow \theta_y = -\tan^{-1}\left(\frac{N_z}{N_x}\right) \quad (3.2)$$

4.3 θ_x, θ_y 모두 영이 아닌 경우

$\theta_x \neq 0, \theta_y \neq 0$ 일 때, θ_x 와 θ_y 는 식(4.1)과 식(4.2)와 같이 주어진다.

$$\tan\theta_x = \frac{N_z}{N_y} \Leftrightarrow \theta_x = \tan^{-1}\left(\frac{N_z}{N_y}\right) \quad (4.1)$$

$$\tan\theta_y = -\frac{N_z}{N_x} \Leftrightarrow \theta_y = -\tan^{-1}\left(\frac{N_z}{N_x}\right) \quad (4.2)$$

(단, $\vec{N} \cdot \vec{e}_z \neq 0$ and $\vec{N} \cdot \vec{e}_x \neq 0$ and $\vec{N} \cdot \vec{e}_y \neq 0$)

5. 적용 예

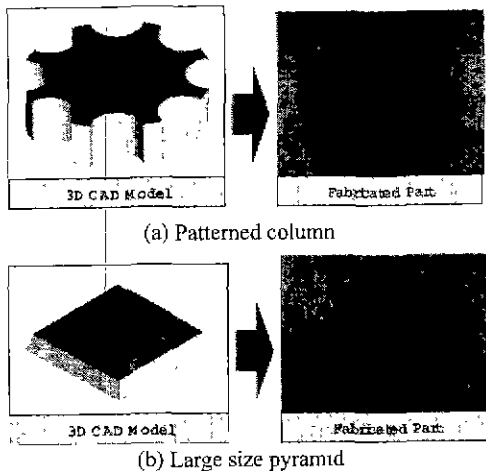


Fig. 8 Application Examples

위에서 제안한 선형열선절단기의 자세를 표현하는 방법을 C++로 구현하여 patterned column 과 pyramid 형상에 대하여 적용하여 보았다.

Fig. 8 의 (a)를 통해서 알 수 있듯이 절단면이 직벽인 경우에는 제안된 식(1)이 잘 적용됨을 알 수 있었다. 또한 Fig. 8 의 (b)를 통해서 θ_x, θ_y 두 각도 중에서 어느 한 각이 영인 경우에도 제안된 식(2)와 식(3)이 잘 적용됨을 알 수 있었다. 두 각도 θ_x 와 θ_y 가 모두 영이 아닌 경우에도 Octahedron 의 경우에는 잘 적용되었다.

6. 결론

현재 개발 중인 VLM-S 공정의 핵심이 되는 개념 중의 하나는 계단효과를 줄이기 위해 측면에 경사를 주어서 선형열선절단기로 절단한다는 것이다.

본 연구에서는 VLM-S CAD 시스템을 위한 선형열선절단기의 자세를 표현하는 방법을 제안하고, 이를 C++로 구현하여 여러 가지 3 차원 CAD 모델에 적용하여 보았다. 그 결과 직벽과 한방향의 회전각을 가지는 경우 등에 대해서 제안된 자세 표현 방식이 잘 적용됨을 알 수 있다.

향후 좀더 복잡한 3 차원 형상인 EF-SONATA 의 Knob 나 upper housing indicator, 혹은 피카츄등에 적용하여 불으로써 제안된 열선절단기의 자세 표현 방식이 임의각인 경우에도 잘 적용되는지 여부를 확인해 보아야 할 것이다.

참고문헌

1. Paul F. Jacobs, Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, ASME Press, 1996
2. Tom Mueller "Fundamentals of Rapid Prototyping" RP&M 2000 Conference Tutorial Notes
3. "선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 패속 조형 공정 및 장치" 특허 출원 번호 2000-18175, 2000.
4. 이상호, 김테화, 안동규, 양동열, 채희창, 문영복, 신보성, "가변 적층 패속 조형공정 개발을 위한 단위형상조각 자동 생성 소프트웨어 개발 및 적용 예," 한국정밀공학회 2000 년도 추계학술대회논문집, pp 763-766, 2000
5. R. L. Hope, P.A. Jacobs and R.N.Roth, "Rapid prototyping with sloping surfaces," Rapid Prototyping Journal, Vol.3, No.1, 1997
6. P.B. Chamberlain, C.L. Thomas, "Direct thick layer rapid prototyping from medical images," Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 599-605, 1999