

VLM-ST 용 CAD/CAM 시스템에서 단위 형상층 생성 방법 및 적용에

이상호*, 안등규**, 최홍석**, 양동열**, 문영복***, 채희창****

Generation of Unit Shape Layer on CAD/CAM System for VLM-ST

Lee, S. H.* , Ahn, D. G.** , Choi, H. S.** , Yang, D. Y.** , Moon, Y. B.*** and Chae, H. C.****

ABSTRACT

Most Rapid Prototyping (RP) processes adopt a solid Computer Aided Design (CAD) model, which will be sliced into thin layers of constant thickness in the building direction. Each cross-sectional layer is successively deposited and, simultaneously, bonded onto the previous layer; and eventually the stacked layers form a physical part of the model. A new RP process, the transfer-type Variable Lamination Manufacturing process using expandable polystyrene foam sheet (VLM-ST), has been developed to reduce building time and to improve the surface finish of parts with the thick layers and a sloping surface. This paper describes the generation of Unit Shape Layer (USL), the cutting path data of the linear hotwire cutter for the VLM-ST process. USL is a three-dimensional layer with a thickness of more than 1 mm and a side slope, and it is the basic unit of cutting and building in the VLM-ST process. USL includes data such as layer thickness, positional coordinates, side angles of each layer, hotwire cutting speed, the heat input to the hotwire, and reference shape. The procedure of generating USL is as follows: (1) Generation of the mid-slice from the CAD model, (2) Conversion of the mid-slice into a simply connected domain, (3) Generation to the reference shape for the mid-slice, (4) Calculation of the rotation angle of the hotwire of the cutting system.

Key words : Rapid Prototyping (RP), Variable Lamination Manufacturing (VLM), Unit Shape Layer (USL)

1. 서 론

1987년 미국의 3D Systems사에서 개발한 광조형법 (SLA)은 제품의 CAD 데이터에 따라 액상의 광경화성 수지(photopolymer)에 레이저광선을 선택적으로 조사하여 한 층씩 적층해 나가는 방법으로 시제품을 직접 만들 수 있는 새로운 개념의 공정이다. 이러한 쾌속조형기술(Rapid Prototyping Technology)은 제품의 다양성과 시작기간의 단축에 부응할 수 있는 시작 및 급형

제작 방법의 기술 혁신, 제품 설계 및 개발의 동시 공학적 추구는 시장의 요구를 만족시킬 수 있는 새로운 방식의 시작품 제작기법으로 각광받고 있다.

현재 세계적으로 20여가지 이상의 쾌속조형공정들이 상용으로 개발되었으며, 새로운 공정 개발을 위한 연구들이 활발히 진행되고 있다. 특히, 최근에 들어 두드러진 현상은 기존의 대형 장비보다 3차원 프린터 역할을 대신할 수 있는 소형 장비가 많이 개발되고 있으며, 일본의 경우 SLA 기법, LOM 기법 및 고속가공 기법을 응용한 탁상용 장비가 많이 개발되고 있다. 일반적인 쾌속 조형법은 3차원 형상을 제작한다.

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

(2) STL 파일을 적층 두께 간격으로 슬라이싱하여 2

*학생회원, 한국과학기술원 기계공학과
**한국과학기술원 기계공학과
***전북대학교 기계항공시스템공학부
****중신회원, 전북대학교 기계항공시스템공학부
- 논문투고일: 2002. 1. 14
- 심사완료일: 2002. 3. 11

차원 단면(slice) 데이터를 얻는다.

(3) 이 슬라이스 데이터를 사용하여 여러 가지 방법으로 각 층마다 얇은 층을 만들고 이것을 순차적으로 적층해 감으로써 CAD 데이터와 같은 층상의 3차원 입체형상을 얻는다.

종래의 쾌속조형 시스템들은 아주 얇은 층을 적층하여 3차원 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)^(6,9)에 관한 연구가 활발하게 진행 중이며, 두께가 두꺼워져서 더욱 두드러지는 측면의 계단 형상의 단차를 제거하기 위해서 경사를 부여하여 입의 3차원 형상을 제작하려는 연구가 병행되고 있다.

1995년 Utah University 에서는 기존에 교육용으로 개발했던 shapemaker I의 공정을 발전시켜 shapemaker II를 개발하였다. 이 시스템은 제작하고자 하는 3D CAD 모델의 형상 정보를 STL 파일의 형태로 입력하여 입의 성형방향에 대하여 25.4 mm 정도 두께로 슬라이싱하고 이들을 기준으로 열선이 연결된 2개의 플로터 헤드의 절단 경로 데이터를 생성하여 윤곽 가공 및 수동 적층 공정을 수행하게 된다. 절단 경로 데이터를 생성하기 위해서는 주어진 모델의 두 횡단면은 같은 수의 곡선들을 가지고, 각 곡선은 다른 횡단면의 상응하는 곡선과 위상학적으로 연결되어야 한다. 이러한 조건을 만족하면, 직선으로 연결된 아랫단면의 점과 윗단면의 점들은 경사면을 가진 층인 "ruled surfaces"를 형성하게 된다. 실제 두개의 플로터 헤드에 열선이 연결되어 있기 때문에 각각의 회전축에 대한 응답 속도가 느리고, 회전하는 동안 열선의 길이 변화에 따른 열선에 공급되는 열량의 불균일에 의해서 녹는 양이 일정하지 않는 문제가 발생한다.

1995년 Queensland University의 Hope등이 제안한 TruSurf는 "True Surface System"을 의미하는 것으로서 평균적으로 10 mm 정도의 폴리스티렌 폼을 5축 제어가 가능한 워터젯(waterjet)으로 윤곽가공한 후, 이를 수작업을 통하여 적층하여 물체를 완성하는 기법이다. TruSurf는 1 m³ 이상의 대형 시작품 제작에 이용하기 위해서 개발되었다. TruSurf에서 절단벡터의 방향을 결정하는 방법은 표면의 법선벡터와 접선벡터의 외적에 의해서 절단 벡터를 방향을 결정하는 것이다. 이러한 데이터 생성 방식은 입의 형상에 적용 가능하지만, 표면 접합(surface joins) 문제가 발생한다.

TruSurf는 경사면을 가진 두꺼운 층을 사용하여 전체 적층조형시간을 줄이면서도 형상 정밀도를 허용 범위 내에 유지한다.

2000년에 조형 시간을 획기적으로 단축시키고, 형상 정밀도를 향상시킬 수 있으며, 후처리 공정이 거의 필요 없는 새로운 개념의 가변 적층 쾌속 조형 공정(Variable Lamination Manufacturing : VLM)이 제안되었다. 현재 개발되고 있는 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정(VLM-S)^(10,12)은 3D CAD 모델로부터 생성된 절단 경로 데이터에 따라 두꺼운 두께를 가진 관재를 4축 선형 열선 절단기를 사용하여 측면 경사를 가진 층으로 절단한 후, 각 층을 순서대로 접착/적층함으로써 3차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다. VLM-S 공정은 재료를 롤에 감아 연속적으로 공급시키며 절단/적층하는 연속형(Progressive type : VLM-SP)^(10,12)과 정해진 규격의 재료를 단속적으로 공급하며 자동 절단과 오프라인에서 반자동으로 적층하는 단속형(Transfer type : VLM-ST)^(11,13)의 두 가지로 개발되고 있다. VLM-ST의 경우 VLM-SP와 달리 평탄화 공정과 잔여 재료 제거 공정이 요구되지 않으며, 적층 및 접착을 파일럿 핀과 적층 보조 장치(Building board)를 이용하여 반자동화함으로써 VLM-SP에 비해 조형 속도가 현저히 증가되고 장치 가격이 획기적으로 저렴해진다.

3차원 CAD 모델로부터 VLM-S 공정의 절단 경로 데이터를 자동으로 생성하는 CAD/CAM 시스템을 "VLM-Slicer"라고 한다. VLM-SP 공정을 위한 절단 경로 데이터인 단위 형상 조각(Unit Shape Part, USP)을 생성하는 경우, VLM-Slicer Version P1.0⁽¹⁴⁾으로 명명하였고, VLM-ST 공정을 위한 절단 경로 데이터인 단위 형상 층(Unit Shape Layer, USL)을 생성하는 경우, VLM-Slicer Version T1.0으로 명명하였다.

특히, VLM-ST공정은 한 층에 하나의 3차원 형상층을 생성하는 단위 형상층(Unit Shape Layer : USL) 개념을 사용한다. 따라서, VLM-Slicer Version T1.0에서는 3차원 CAD 데이터인 STL 파일을 읽어 들여 2차원 단면화, 측면 형상 복원, 중간 단면 생성을 거쳐서 최종적으로 각 층의 두께, 가공 윤곽 데이터, 측면 경사 등을 포함하는 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터인 단위 형상 층 데이터를 생성한다.

본 연구에서는 단속형 가변 적층 쾌속 조형 공정에서 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터인 단위형상층(USL) 데이터 생성 방법을 개발하고, 실제 3차원 형상을 제작하여 생성된 단위 형상 층 데이터의 타당성

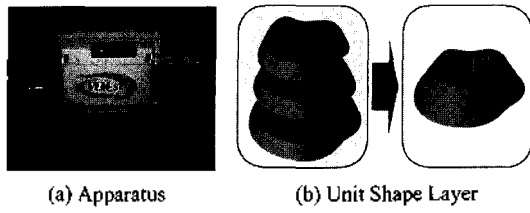


Fig. 1. VLM-ST process.

과 적용성을 검증하고자 한다.

2. 단속형 가변 적층 쾌속조형공정

발포 폴리스티렌 폼을 이용한 단속형 가변 적층 쾌속 조형 공정(VLM-ST)^[10-13]은 여러 가지 두께를 가진 일정 규격의 재료를 단속적으로 공급하여 4축 동시 제어되는 선형 열선 절단기를 이용하여 재료를 폭, 길이 및 측면 경사를 실시간 제어하여 3차원 CAD 데이터와 일치되는 3차원 형상을 절단한 후, 오프라인(off-line)에서 파일럿 핀(pilot pin)과 적층 보드(building board)을 이용하여 반자동으로 접착/적층함으로써 일체화된 3차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다. Fig. 1(a)는 VLM-ST 장치를 보여준다. VLM-ST는 Fig. 1(b)와 같이 한 층에 하나의 3차원 형상을 생성하는 단위 형상 층(Unit Shape Layer : USL) 개념을 이용한다.

VLM-S 공정은 3차원 CAD 모델로부터 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터(USL data file)를 생성하는 과정(VLM-Slicer Version T1.0)과 이 데이터를 이용하여 3차원 형상을 실제 제작하는 과정(VLM-ST 장치), 그리고 제작된 3차원 모델을 후처리하는 과정으로 나누어진다. VLM-ST 장치는 재료 저장/공급부, 형상 생성부, 형상/잔여 재료 저장부 및 시스템 제어부와 오프라인에서의 재료 적층/접착부로 구성된다. 특히, VLM-ST공정은 단일 폐경로로 이루어지고, 반자동 적층을 위한 파일럿 핀(pilot pin)과 적층 기준 형상이 추가된 단위 형상 층(Unit Shape Layer : USL)의 개념을 이용하여 한 층을 하나의 3차원 형상층을 적층하므로 종래 쾌속조형공정에 비해서 조형 속도가 훨씬 빠르다.

3. 절단 경로 데이터 생성

단위 형상 층(Unit Shape Layer, USL)은 두꺼운 두께와 측면 경사를 가진 3차원 형상의 층으로 VLM-ST 공정에서 절단 및 적층의 기본 단위로, 3D CAD 모델

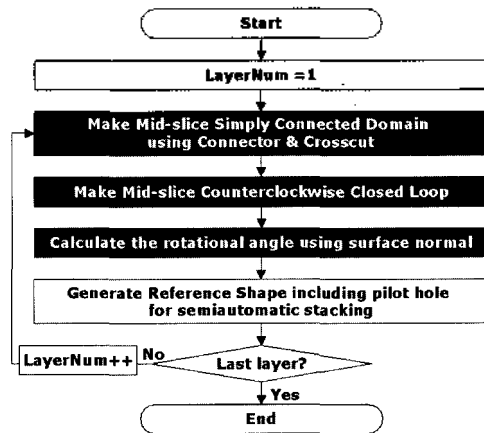


Fig. 2. Procedure of USL data generation.

러에서 모델링한 3차원 형상 데이터를 VLM-ST 장치에 의해 제품을 제작하는데 필요한 각 층의 두께, 이동 위치, 각 위치에서의 측면 경사각, 열선 절단 속도와 열선에 공급되는 열량, 기준 형상 등을 포함하는 선형 열선절단기의 절단 경로이다. 종래의 쾌속 조형 공정들이 2.5차원의 얇은 층(1 mm 이하)들을 순차적으로 한 층씩 적층하여 3차원의 형상을 조형하는데 비해, VLM-ST 공정은 두꺼운 두께와 측면 경사를 가진 3차원의 단위 형상 층들을 한 층씩 적층하여 3차원 형상을 제작한다.

VLM-Slicer Version T1.0에서 선형 열선 절단기의 단위 형상 층 데이터를 생성하는 절차는 Fig. 2에 나타난 흐름도와 같다.

단위 형상 층은 다음과 같은 순서로 생성된다.

첫째, 단일 폐루프를 생성하기 위해서 중간 단면을 단순연결 영역(simply connected domain)으로 만든다. 이것 때문에 공급되는 한장의 재료에 제작하려고 하는 3차원 형상의 한 층을 만들 수 있고, 절단이 끝난 층의 형상은 모두 하나로 연결되어 있다.

둘째, 반시계방향(counterclockwise)의 단일 폐루프를 형성한다. 내부에 구멍이 있는 경우를 제외하고 한번 지나간 경로를 다시 지나갈 수 없다.

셋째, 중간 단면 데이터에서 주어진 가공 윤곽 데이터와 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터로부터 선형 열선 절단기의 회전각을 계산한다.

넷째, 반자동 적층을 위해서 안내구멍(pilot hole)을 포함하는 기준형상(Reference Shape)을 생성한다.

3.1 단순 연결 영역 생성

Fig. 3에 보여진 것처럼 중간단면(mid-slice)은 각 층

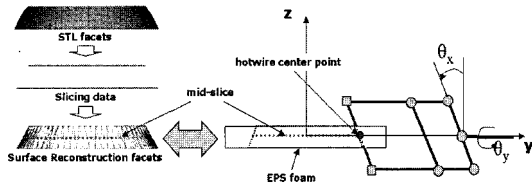


Fig. 3. Surface reconstruction and linear hotwire cutting.

의 윗면과 아랫면 사이의 중앙의 높이에 위치한 단면으로 복원된 측면 형상의 각 층의 두께의 절반($l/2$) 위치에서 슬라이싱(2차 슬라이싱)하여 생성하고, 선형열선절단기의 열선의 중심이 xy 평면상에서 절단 시에 이동하는 궤적으로 정의된다. 중간 단면은 4축 열선절단기의 열선의 중심을 지나고 열선에 수직인 평면과 같은 평면상에 존재한다.

Fig. 4에 나타낸 바와 같이 중간단면을 위상학적인 관점에서 분류하면 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (1) 단순 연결 영역(simply connected domain) : 공간 내의 점 P를 기점으로 삼는 모든 루프가 한 점에 축소될 때, 이 공간은 기점 P에 관해서 '단순연결'이라고 한다.
- (2) 다중 연결 영역(Multiply connected domain) : 내부에 구멍이 있는 경우
- (3) 다중 윤곽선(Multiple contours) : 외부 루프만 존재하는 경우

VLM-ST 공정에서 선형 열선 절단기의 열선은 재료 내부에 들어가서 절단을 수행하므로, 중간 단면을 단순연결 영역(simply connected domain)으로 만들어 주어야 한번에 원하는 단면을 절단할 수 있다. 따라

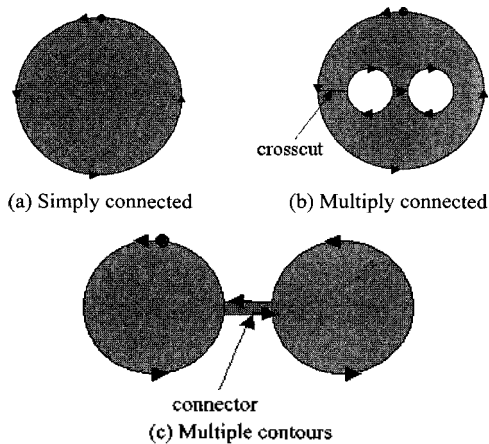


Fig. 4. Topological classification of domain.

서, 다중 연결 영역과 다중 윤곽선의 경우, 횡단선(crosscut)과 연결자(connector)를 사용하여 단순 연결 영역으로 만들어 주어야 한다. 여기서 횡단선은 내부 루프와 내부 루프를 연결하거나, 내부루프와 외부 루프를 연결하는 역할을 하고, 연결자는 외부 루프와 외부 루프를 서로 연결하여 단일 폐루프를 생성하는 역할을 한다. 이것 때문에 공급되는 한장의 재료에 제작하려고 하는 3차원 형상의 한 층을 만들 수 있고, 절단이 끝난 층의 형상은 모두 하나로 연결되어 있다. 그리고, 내부에 구멍(hole)이 있는 경우나 섬(island)이 있는 경우처럼 실제 3차원 형상을 제작하는데 필요 없는 부분은 횡단선에 의해서 절단 과정에서 완전히 제거되고, 실제 파트를 형성하는 부분은 연결자에 의해서 서로 연결된다. 이것은 종래의 LOM과 같은 박판 적층조형 공정에서 많은 시간과 비용이 소요된 후처리 공정이 거의 요구되지 않도록 한다.

연결자와 횡단선은 xy 평면상에서 각 층의 중간 단

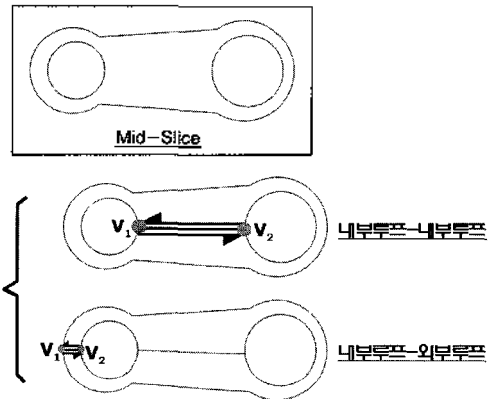


Fig. 5. Crosscut generation.

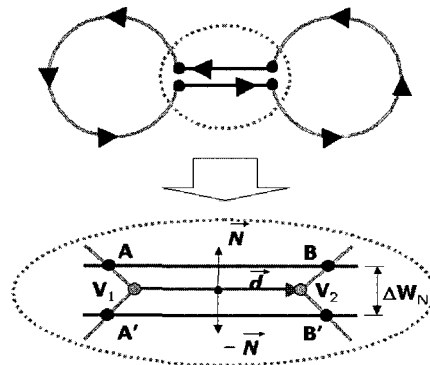


Fig. 6. Connector generation.

면에 대해서 적용 가능하고, 그 결과 여러 개의 루프들을 가지고 있는 중간 단면을 단일 페루프로 만든다.

Fig. 5에 보여진 것처럼 다음과 같은 순서로 횡단선(crosscut)을 생성할 수 있다.

(1) 먼저 내부루프에 있는 한 점과 외부루프에 있는 한 점을 선택한다.

(2) 두 점을 연결하여 외부루프와 내부루프를 가로지르는 횡단선을 생성한다.

(3) 횡단선을 크기는 같고 방향이 반대인 두개의 반모서리(half edge)로 만들어 준 다음, 두 번 지나면서 반시계 방향의 단일 페루프를 생성한다.

Fig. 6에 보여진 것처럼 다음과 같은 순서로 연결자(connector)를 생성할 수 있다.

(1) 한쪽 외부루프에서 두 개의 모서리의 교점을 선택하고, 다른쪽 외부 루프에서도 두 개의 모서리의 교점을 선택한다.

(2) 두 교점을 연결하여 기준선을 생성하고, 이 기준선으로부터 양쪽 방향으로 오프셋(offset)을 수행한다. Fig. 6에 나타낸 바와 같이 연결자를 생성하기 위해 두 점을 잇는 직선의 방향벡터와 이 직선에 수직인 법선 벡터를 이용하여 오프셋된 점들을 구할 수 있다.

직선의 단위 방향 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\vec{d} = (u^x, u^y) = \frac{X^2 - X^1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}}, \frac{Y^2 - Y^1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}} \quad (1)$$

이 단위 방향 벡터와 수직인 단위 법선 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\vec{N} = (-u_x, u_y) \quad (2)$$

오프셋 간격이 ΔW_N 인 경우, 법선 벡터를 이용해서 오프셋된 점의 좌표를 구하면 다음과 같이 주어진다.

$$A: V_1 + \frac{\Delta W_N}{2} \vec{N} \quad A': V_1 - \frac{\Delta W_N}{2} \vec{N} \quad (3a)$$

$$B: V_2 + \frac{\Delta W_N}{2} \vec{N} \quad B': V_2 - \frac{\Delta W_N}{2} \vec{N} \quad (3.b)$$

오프셋된 선분과 각각의 루프와의 교점을 찾아서 Fig. 6과 같이 연결하여 두 외부 루프를 연결하는 연결자를 생성한다.

3.2 선형 열선 절단기의 회전각 계산

VLM-ST는 조형시간을 단축하기 위하여 두꺼운 재료를 사용하고, 계단효과를 줄이기 위해 측면에 경사

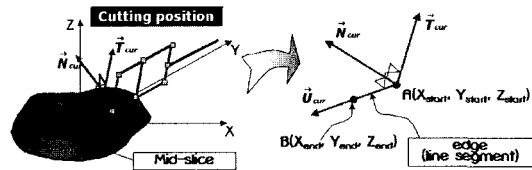


Fig. 7. Linear hotwire cutter at work.

를 주어서 선형열선절단기로 절단하는 개념을 가지고 있다. 이때, 선형열선절단기의 회전각 θ_x, θ_y 는 3차원 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.

Fig. 7에 나타낸 바와 같이 절단가공경로를 따라서 이동중인 선형열선절단기의 열선은 단위접선벡터의 방향과 항상 일치한다. 따라서, 선형열선절단기의 회전각은 해당 모서리를 포함하는 삼각형의 단위 법선벡터 (N_x, N_y, N_z) 와 모서리의 끝점에서 시작점을 뺀 벡터를 정규화(normalizing)한 현재 모서리의 단위 방향벡터의 외적(outer product)이 초기위치에서 열선방향벡터를 y축에 관해서 회전변환하고 x축에 관해서 회전변환한 것과 같다는 사실로부터 계산 가능하다. 즉,

$$\begin{bmatrix} \sin\theta_y \\ -\sin\theta_x \cos\theta_y \\ \cos\theta_x \cos\theta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_y U_z - N_z U_y \\ -(N_x U_z - N_z U_x) \\ N_x U_y - N_y U_x \end{bmatrix} \quad (4)$$

이고, 선형열선절단기의 회전각 θ_x, θ_y 은

$$\theta_y = \sin^{-1}(N_y U_z - N_z U_y) \quad (5a)$$

$$\theta_x = \sin^{-1}\{(N_x U_z - N_z U_x) / \cos\theta_y\} \quad (5b)$$

으로 구해진다. 여기서 두 각도 범위는 $-90 < \theta_x < 90, -90 < \theta_y < 90$ 이다. 단위 방향벡터는 다음 식에 의해서 구해진다.

$$\vec{U}_{edge} = (U_x, U_y, U_z) = \frac{\vec{AB}}{\|\vec{AB}\|} \quad (6)$$

여기서, $A(X_{start}, Y_{start}, Z_{start}), B(X_{end}, Y_{end}, Z_{end})$ 이다.

3.3 적층 기준 형상의 생성

VLM-ST 공정은 장치에서 절단 만을 수행하고 오프

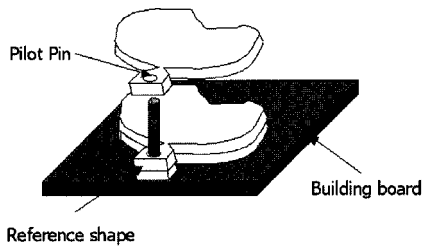


Fig. 8. Pilot pin and building board.

```

solid filename total_usl_Numbers
  us! 1 total_vertex_numbers z- coordinate
    x y θx θy v V I
    .....
    x y θx θy v V I
  endus!
  us! N total_vertex_numbers z- coordinate
    x y θx θy v V I
    .....
    x y θx θy v V I
  endus!
endsolid
    
```

Fig. 9. USL file format.

라인에서 반자동으로 적층을 수행한다. 초기 공급 재료에 형상 생성 후 적층을 신속하고 정확하게 할 수 있도록 적층 안내 구멍(pilot hole)이 뚫어져 있다. 절단 경로 데이터 생성과정에서는 Fig. 8와 같이 안내 구멍을 포함하는 적층 기준형상(Reference shape)을 부가하여 적층을 용이하게 한다.

3.4 USL 데이터 생성

중간 단면 데이터에서 주어진 가공 윤곽 데이터와 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터로부터 선형 열선 절단기의 회전각을 계산하고, 중간 단면에 적층 기준 형상을 부가하여 생성된 단위 형상 층 데이터는 Fig. 9에 보여진 USL 파일로 저장된다. USL 파일은 파일이름, 전체 단위형상층의 수, 층 두께, 단위형상층의 페루프를 이루는 점들의 좌표값, 각 점에서의 경사각, 열선 절단 속도(v)와 열선의 열량(0.3~0.8 W/mm), 기준 형상에 대한 좌표값 등을 포함한다.

4. 적용 예

본 연구에서 제안된 단속형 가변 적층 쾌속 조형 공정을 위한 선형열선절단기의 단위 형상 층 생성 방법

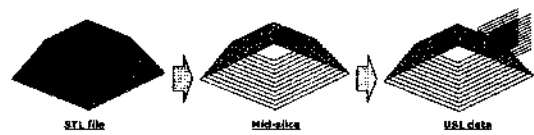


Fig. 10. USL generation of truncated pyramid shape.

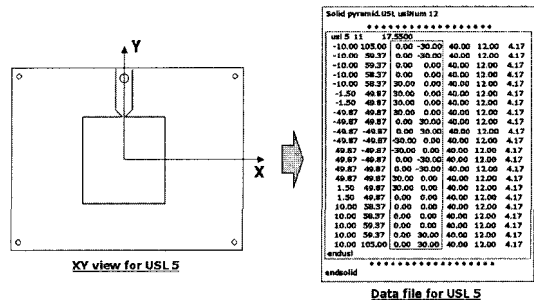


Fig. 11. USL data file of truncated pyramid shape.

의 타당성과 적용 가능성을 검증하기 위해서 피라미드 형상, 헬리컬 기어 형상, 2002년도 숫자, 손오공 모형의 3차원 형상에 대해서 VLM-Slicer Version T1.0을 이용하여 절단 경로 데이터(USL 데이터)를 생성하였다.

4.1 Truncated pyramid

Fig. 10는 측면 경사각이 30°인 피라미드 형상에 대해서 본 연구에서 개발된 VLM-Slicer Version T1.0을 이용하여 선형열선절단기의 절단경로데이터인 단위형상층 데이터를 생성한 것이다. 주어진 피라미드 형상에서 중간단면은 단일 루프로 이루어져 있으므로 단순 연결영역화 과정은 필요하지 않다. 그래서 중간단면에 적층 기준형상을 부가한 후, 열선절단기의 회전각을 계산하여 Fig. 11와 같은 최종 USL file을 출력하였다. 5번째 단위형상층에 대한 USL 데이터 파일로부터 각 위치에서 선형 열선 절단기의 회전각이 정확하게 +30°와 -30°로 계산되었음을 알 수 있다.

4.2 Helical gear

중간단면을 단순연결영역으로 만들기 위해서 횡단선(crosscut)을 사용하는 예로서 내부에 구멍이 있는 헬리컬 기어 형상을 선택하였다. Fig. 12은 3차원 CAD 모델로부터 중간단면을 생성하고, 중간단면을 구성하는 내부루프와 외부루프를 횡단선으로 연결하여 단순 연결 영역으로 만든 다음, 적층 기준 형상을 추가하고, 최종적으로 열선절단기의 회전각을 계산하여 단위형상층을 생성한 것을 보여주고 있다. 이때, 횡단선을

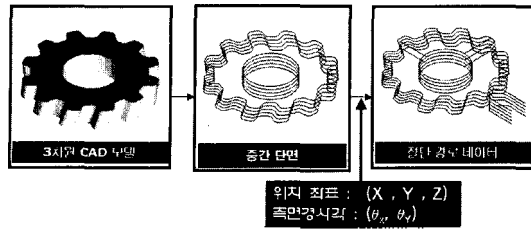


Fig. 12. USL generation of helical gear shape.

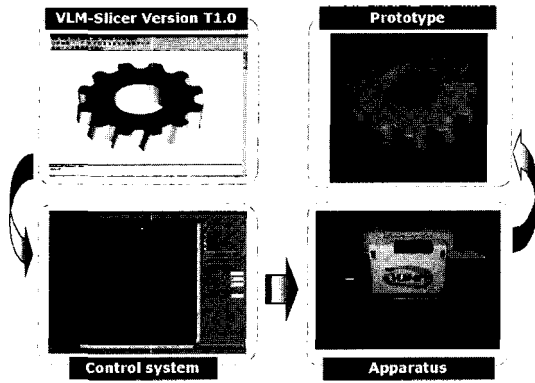


Fig. 13. Fabrication process of helical gear shape.

각 층마다 다른 방향에서 생성하여 최종 제품을 제작 하였을 때 발생할 수 있는 오차를 최소화하도록 USL 데이터를 생성하였다.

Fig. 13은 VLM-ST 장치를 이용하여 실제로 헬리컬 기어 형상을 제작하는 과정을 보여준다.

4.3 2002년도 숫자

연결자(connector)를 이용하여 중간 단면을 단순연결 영역으로 만드는 예로서 2002년도 숫자를 선택하였다. Fig. 14에 나타낸 바와 같이 중간단면의 한 루프에서 다른 루프를 연결하는 기준선을 오프셋하여 연결자를

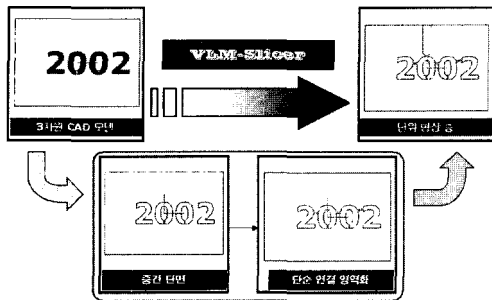


Fig. 14. USL generation of number of year 2002.

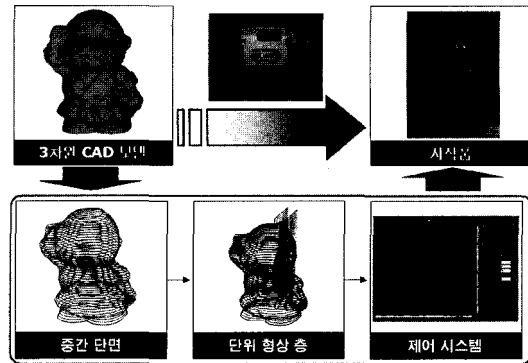


Fig. 15. USL generation of a miniature of monkey.

차례로 생성하여 한 층에서 모든 루프가 서로 연결되도록 단일 페루프를 구성한 다음, 적층 기준 형상을 부가하여 최종 단위 형상 층 데이터를 생성한다.

4.4 손오공 형상

Fig. 15는 보다 일반적인 자유표면을 가진 형상인 손오공 모형에 본 연구에서 개발한 단위 형상층 생성 방법을 적용하여 USL 데이터를 생성하고, 실제 장치를 이용하여 시작품을 제작한 예이다. 선형 열선 절단기의 최대 회전각은 45도로 하였고, 제작된 시작품으로부터 제안된 회전각 계산 방법이 잘 적용되고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

종래 패속 조형 공정의 문제점을 극복하기 위하여 조형 시간을 획기적으로 단축시키고, 형상 정밀도를 향상시킬 수 있으며, 후처리 공정이 거의 요구 되지 않는 새로운 개념의 발포스티로폼을 이용한 단속형 가변 적층 패속조형공정이 개발 중이다. 본 연구에서는 이러한 단속형 가변 적층 패속 조형 공정을 위해서 3차원 CAD 모델 데이터로부터 두꺼운 두께와 측면 경사를 가진 3차원 형상의 단위 형상 층(Unit Shape Layer : USL) 데이터의 생성 방법을 개발하였다.

VLM-ST용 단위 형상 층 데이터를 생성하는데 있어서 본 논문에서는 다음과 같은 연구를 수행되었다.

첫째, 평단선과 연결자를 이용한 단순연결영역화 방법을 제안하고, 구현하였다.

둘째, 단일페루프를 이루는 중간 단면에 적층 기준 형상을 부가하고, 선형 열선 절단기의 회전각을 계산하여 VLM-ST 장치 제어 입력 데이터인 USL 파일 형식으로 출력하였다.

셋째, 여러 가지 3차원 CAD 모델에 대해서 제안된 방법으로부터 USL 데이터 파일을 생성하여 3차원 형상을 제작하여 단속형 가변 적층 패속 조형 공정을 위한 선형열선절단기의 단위 형상층 생성 방법의 타당성과 적용 가능성을 검증하였다.

감사의 글

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

참고문헌

- Jacobs, P. F., *Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling*, ASME Press, 1996.
- Wohlers, T. T., *Wohlers Report 2001, Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry*, Wohlers Associates Inc., 2001.
- Kulkarni, P., Marsan, A. and Dutta, D., “A review of process planning techniques in layered manufacturing,” *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 6, No. 1, pp. 18-35, 2000.
- Park, J., Tari, M. J. and Hahn, H. T., “Characterization of the Laminated Object Manufacturing(LOM) Process,” *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 6, No. 1, pp. 36-49, 2000.
- “U. S. Rapid Prototyping Equipment Roundup,” *Rapid Prototyping Report*, CAD/CAM Publishing, Vol. 11, No. 4, pp.6-7, April., 2001.
- Zheng, Y. and Newman, W. S., “Software Design Challenges for Computer-Aided Manufacturing of Laminated Engineering Materials(CAM-LEM),” *Proceedings of the 6th European conference on Rapid Prototyping and Manufacturing*, pp.21-30, 1997.
- Novc, A., Kaza, S., Wang, Z. and Thomas, C., “Techniques for Improved Speed Accuracy in Layered Manufacturing,” *Solid Free Fabrication Symposium Proceedings*, pp. 609-617, 1996.
- “The 6th International Dayton Conference on Rapid Prototyping : New Technologies,” *Rapid Prototyping Report*, CAD/CAM Publishing, Vol. 5, No. 6, pp.3-5, June., 1995.
- Hope, R. L., Jacobs, P. A. and Roth, R. N., “Rapid Prototyping with Sloping Surfaces,” *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 3, No. 1, pp. 12-19, 1997.
- “선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 패속조형방법 및 패속조형장치,” 국내특허, 특허출원번호 제2000-18175호, 2000.
- “선형 열절단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변적층 패속조형 공정 및 장치,” 국내 특허, 특허출원 번호 제2001-0040212호, 2001.
- 안동규, 이상호, 양동열, 신보성, 박승교, 이용일, “발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 패속 조형 공정 및 장치 개발,” 한국정밀공학회지, 제18권, 제8호, pp. 54-63, 2001.
- 안동규, 이상호, 최홍석, 양동열, 박승교, “단속형 재료공급식 가변 적층 패속조형공정 및 장치 개발에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, 제19권, 제2호, pp. 95-105, 2002.
- 이상호, 김태화, 안동규, 양동열, 채희창, “가변 적층 패속 조형공정 개발을 위한 단위형상조각 자동 생성 소프트웨어 개발 및 적용 예,” 한국정밀공학회지, 제18권, 제8호, pp. 64-70, 2001.



이 상 호

1998년 부산대학교 기계공학과 학사
 2000년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2000년-현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정
 관심분야: Rapid Prototyping & Manufacturing, CAD/CAM, Creative Design & Manufacturing, Concurrent Engineering



양 동 열

1973년 서울대학교 기계공학과 학사
 1975년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 1978년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 1981년-1982년 독일 Stuttgart 공대, 금속성형연구소 객원연구원
 1988년-1989년 불란서 ENSMP 공과대학, 재료성형연구소 방문교수
 1997년-현재 영국기계학회 아시아태평양지역편집장
 2001년-현재 한국소성가공학회 회장
 1978년-현재 한국과학기술원 기계공학과 교수
 관심분야: Computer-Aided Net-Shape Manufacturing, Rapid Prototyping & Manufacturing, Rapid Product Development



안 동 규

1992년 부산대학교 생산기계공학과 학사
 1994년 한국과학기술원 정밀공학과공학과 석사
 1994년-1999년 8월 대우중공업(주) 우주항공연구소 주임연구원
 1999년 8월-현재 한국과학기술원 기계공학과 박사과정
 관심분야: Rapid Prototyping & Manufacturing, CAD/CAM, Creative Design & Manufacturing, Concurrent Engineering, Collaborative Design & Engineering



문 영 복

1998년 전북대학교 기계설계학과 학사
 2002년 전북대학교 기계설계학과 석사
 2002년-현재 (주)CIES 기술연구소 연구원
 관심분야: Computer Aided Design, Computer Graphics, Product Data Management



최 홍 석

2000년 한국과학기술원 기계공학과 학사
 2002년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2002년-현재 국방과학연구소 연구원
 관심분야: Rapid Prototyping & Manufacturing, CAD/CAM, Optimal Design



채 희 창

1978년 서울대학교 기계공학과 학사
 1980년 서울대학교 기계공학과 석사
 1982년-1983년 대우중공업 기술연구소 연구원
 1991년 전북대학교 기계공학과 박사
 1991년-현재 전북대학교 기계공학부 교수
 관심분야: Rapid Prototyping, Geometric Modeling, Computer Aided Design, Computer Graphics