韓國精密工學會 2001年度 秋季學術大會論文集 pp.1047~1050 KSPE 01F251

VLM-ST의 형상정밀도 향상에 관한 연구

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

Improvement in Dimensional Accuracy of Transfer-type for Variable Lamination Manufacturing using Expandable Polystyrene Foam

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

ABSTRACT

Rapid Prototyping (RP) is an efficient method for rapid design verification and trial manufacturing. In order to improve their unique characteristics according to the working principles, Variable Lamination Manufacturing process and corresponding CAD/CAM system is developed. The objective of this study is to improve dimensional accuracy of VLM-ST process, and it can be done by offset for cutting error correction, cutting path correction for sharp edge and reference shape generation. To verify the proposed algorithms, they applied to three-dimensional shapes, such as spanner and mechanical part

Key Words : Rapid prototyping (쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing process (가변 적층 쾌속조형공정), Dimensional accuracy (형상정밀도), Offset (오프셋), Cutting path correction (절단 경로 수정), Reference shape (적층 기준 형상)

1. 서론

신속한 제품의 시작과 생산을 위한 한 가지 대안으로 동시공학적 개념의 새로운 시작품 제작 공정인 쾌속조형공정 (Rapid Prototyping : RP)이 도입되었다[1]. 1986 년에 미국에서 개발된 '광조형법 (SLA : StereoLithography Appatatus)' 공정을 필두로 하여 다양한 공정들이 개발되어 현재는 20 여가지 이상의 공정들이 상용화되었다. 그러나 현재까지 개발된 공정의 경우 장시간의 조형 시간, 고가의 장치 도입, 유지비 및 추가적인 후처리 공정의 소요 등의 문제점을 가지고 있다. 이런 단점들을 보완하기 위해서 국내에서는 조형 시간을 획기적으로 단축시키고, 장비 가격 및 유지비가 현저히 저렴하며, 후처리 공정이 거의 요구되지 않는 새로운 개념의 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속조형 공정 (Variable Lamination Manufacturing using Expendable Polystyrene Foam : VLM-S) 이 제안된 바 있다[2]. VLM-S 의 경우 재료를 롤에 감아 연속적으로 공급시키며 절단/적층하는 연속형 (Progressive Type : VLM-SP) 과 정해진 규격의 재료를 단속적으로 공급하며 자동 절단과 오프라인에서 반자동으로 적층하는 단속형 (Transfer Type : VLM-ST) 두 가지로 개발되고 있다[3,4].

Fig. 1 Unit Shape Layer : USL

특히 단속형 공정은 Fig. 1 과 같이 단일 폐경로로 이루어지고, 반자동 적층을 위한 적층 기준형상이 추가된 단위 형상 층 (Unit Shape Layer : USL)의 개념을 이용하여 한 층을 한 번에 절단하여 적층하

므로 연속형 공정에 비해 조형속도가 현저히 향상되었다.

그리고 이와 함께 VLM-S 용 CAD/CAM 소프웨어가 개발되고 있고, 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 첫째, 입력 파일 형식은 현재 쾌속 조형 산업의 표준으로 자리 잡은 STL 파일이다. 둘째, PC 기반의 Windows 상에서 작동하도록 C++과 Visual C++ 6.0 컴파일러를 사용한다. 셋째, 각각의 모듈의 가시화는 OpenGL 그래픽 라이브러리를 사용하였다[5]. VLM-S 용 CAD/CAM 소프웨어는 연속형 공정과 단속형 공정의 공통점과 차이점을 감안하여 두 가지 버전으로 개발되고 있다. 연속형 공정을 위해서는 VLM-Slicer Version P 1.0 이 개발되었고, 단속형 공정을 위해서는 VLM-Slicer Version T 1.0 이 개발되었다.

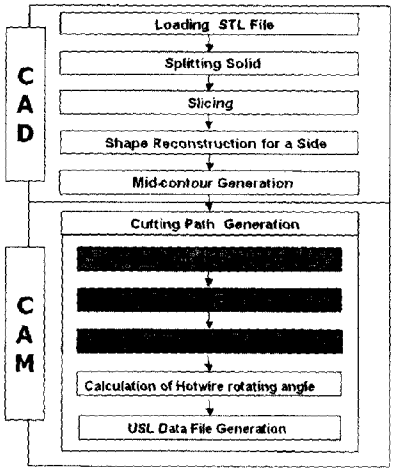


Fig. 2 Flowchart of the VLM-Slicer Version T 1.0

Fig. 2 는 VLM-Slicer Version T 1.0 의 흐름도를 나타낸 것이다. CAD 부분은 연속형 공정과 공통으로 사용하는 부분이며, CAM 부분은 단속형 공정의 특성에 맞게 오프셋, 절단 경로의 수정, 적층 기준 형상의 생성, 열선 경사각 계산, USL 파일 생성 등의 기능을 가지고 있다. 본 연구에서는 VLM-Slicer Version T 1.0 의 오프셋, 절단 경로의 수정, 적층 기준 형상의 생성 모듈을 위한 알고리즘을 제안하고, 구현하였다.

2. 절단경로의 오프셋

열선에 의하여 형상을 생성할 때 재료와 열선과의 접촉에 의해서 절단되는 것이 아니라 열선에서 발생하는 열에 의해서 재료가 녹으면서 절단이 발생하기 때문에 요구되는 치수를 얻기 위해서 고려해야 할 것은 열선 자체의 직경과 발생한 열에 의해서 녹는 부분의 넓이 등이 있다. 따라서 절단 경로를 생성할 때 이들을 고려해서 생성해야 원하는 치수를 얻을 수 있다.

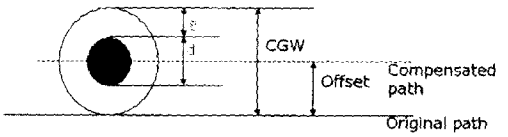


Fig. 3 Cutting groove width

Fig. 3 은 가공확대 영역 (Cutting Groove Width : CGW) 을 나타낸 것으로 가공 확대 영역의 1/2 만큼이 오프셋 값이 된다. 여기서 열선의 직경 d 는 결정된 값이지만, 절단시에 발생하는 간극 g 는 차후에 실험으로 결정할 예정이다. 오프셋 경로의 생성에는 다각형의 Voronoi 선도를 사용하였다. Voronoi 선도는 평면을 분할하는 방법으로 다각형에 대해서는 이웃한 변들이 이루는 각의 이등분선을 이용하면 쉽게 구할 수 있다[6].

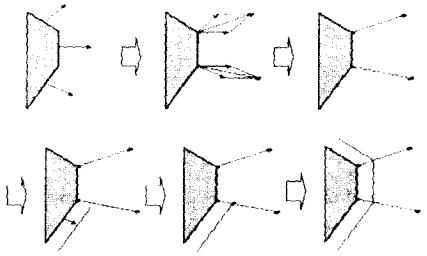
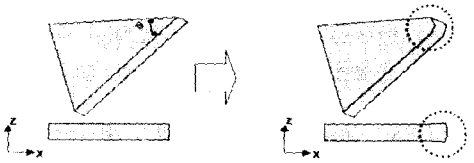


Fig. 4 Procedure of edge offset

Fig. 4 는 오프셋 과정을 나타낸 것이다. 각의 이등분선을 구하기 위하여 먼저, 절단 경로상의 각 직선 (edge)이 가지고 있는 공간상의 법선벡터를 2 차원 평면상으로 투영한 뒤, 벡터들이 길이가 서로 같아지도록 단위 벡터로 만든다. 서로 인접한 단위 벡터들의 합 방향이 각의 이등분선이 된다. 모든 각에 대해서 이등분선을 구한 후 직선을 하나씩 오프셋 하여 각의 이등분선과의 교점을 구하게 되면 절단경로를 오프셋 할 수 있다. 이 때 오프셋 값은 입력 받을 수 있도록 하였다.

3. Sharp edge 구현을 위한 절단경로의 수정



(a) Intended shape (b) Shape after cutting

Fig. 5 Rounding and Thickening of Sharp edge

Fig. 5 와 같이 끝이 뾰족한 형상에서는 θ가 감소함에 따라 열선의 이동 속도 저하에 따른 열 집중이 과도하게 되어 형상의 끝부분이 열에 의해 녹아서 원하는 형상을 얻을 수 없고, 국부적인 발포로 인해서 재료가 부분적으로 두꺼워지게 되어 적층 과정에서도 좋지 않은 영향을 미친다. 따라서 열선을 형상의 바깥쪽으로 더 지나가도록 (Overrun) 하여 열의 집중을 막아야 한다.

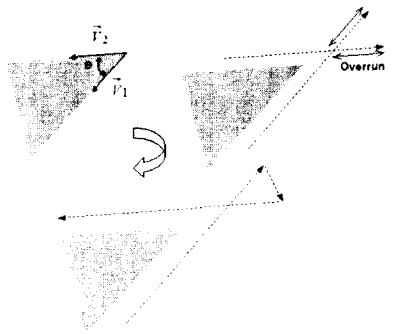


Fig. 6 Procedure of cutting path correction

먼저 형상의 각 변이 이루는 각 θ를 벡터의 외적을 이용해서 구한 다음, θ가 어떤 임계각(θ_{CR}) 이하인지를 판별하여 임계각 이상($\theta > \theta_{CR}$)이면 절단경로를 수정하지 않고, 임계각 이하($\theta < \theta_{CR}$)이면 Fig. 6 과 같이 절단경로를 수정해서 단시간에 국부적으로 열이 집중되는 것을 막는다. 이 때 임계각은 실험적 방법을 통해서 구할 수 있으며, 소프트웨어 상에서는 입력 받을 수 있도록 하였다.

4. 적층 기준형상 생성

VLM-ST 공정에서는 장치에서 절단 만을 수행하고 적층은 오프라인에서 하도록 되어있다. 이 과정에서 각 층의 형상과 작업자의 느낌만을 가지고 적층을 하는 것은 문제가 있다. 각 층별로 항상 일정한 곳에 구멍이 있다면 그것을 기준으로 이용할 수 있고 이를 파일럿 홀이라고 한다. 이 홀들을 파일럿 핀에 꽂아주면 만들고자 하는 대상의 형상을 잘 모르더라도 쉽게 적층해 나갈 수 있다.

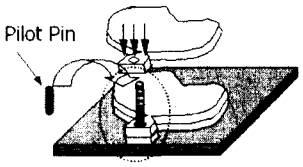


Fig. 7 Pilot pin and Stacking process

Fig. 7 은 파일럿 핀을 포함한 적층 보조 장치이다. 파일럿 핀을 활용하여 적층을 하기 위해서는 파일럿 핀과 결합될 홀이 위치하게 될 부분이 부가적으로 필요하게 되고, 이 부분은 적층 기준형상 (Reference shape)이라 정의 한다. 따라서 VLM-Slicer 에서는 원래의 형상에 이 부분을 추가해 주어야 한다.

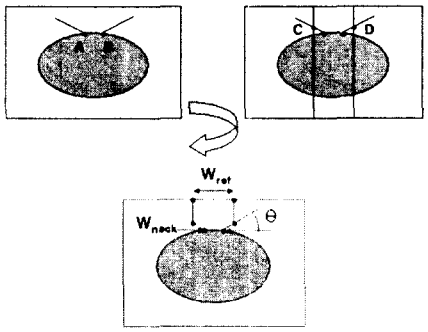


Fig. 8 Procedure of Reference shape generation

적층 기준형상을 생성할 때는 원래 형상과 연결되는 목 부분이 중요하다. 절단, 적층 시에는 자중에 의해 부러지지 않아야 하고, 적층 후 제거 시에는 약한 힘을 가해서 쉽게 제거 가능해야 하기 때문이다. 따라서 Fig. 8 에서와 같이 목 부분부터 형상을 만들어 간다. 적층 기준형상의 폭 W_{ref}는 고정된 값이며, 목이 폭 W_{neck}, 각도 θ_{neck} 은 입력받을 수 있도록 하였다. 앞의 세 변수를 이용해서 Fig. 8 과 같이 6 개의 점을 추가하면 적층 기준형상을 생성할 수 있다.

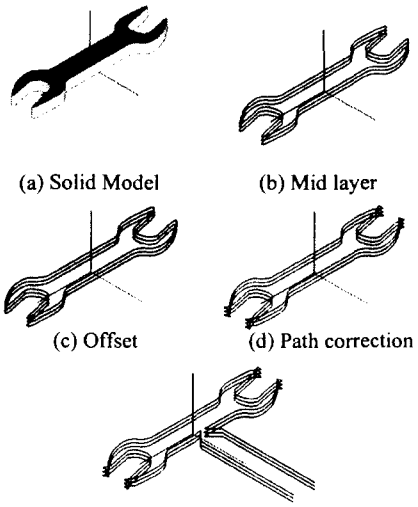
5. 알고리즘 적용 예

앞에서 제안된 알고리즘을 검증하기 위해 스패너 형상과 기계 요소 형상에 적용하여 보았다.

각 알고리즘에 적용된 변수들은 알고리즘의 구현 여부를 검증하기 위해 선택된 값이며 Table. 1 에 나타내었다.

Table. 1 Value of variables for algorithm

	Offset	Path correction		RS generation	
	Value (mm)	θ (°)	Overrun (mm)	W_{neck} (mm)	θ_{nec} (°)
Spanner	0.5	90	4	3	45
Mech. Part	0.5	100	2	3	70

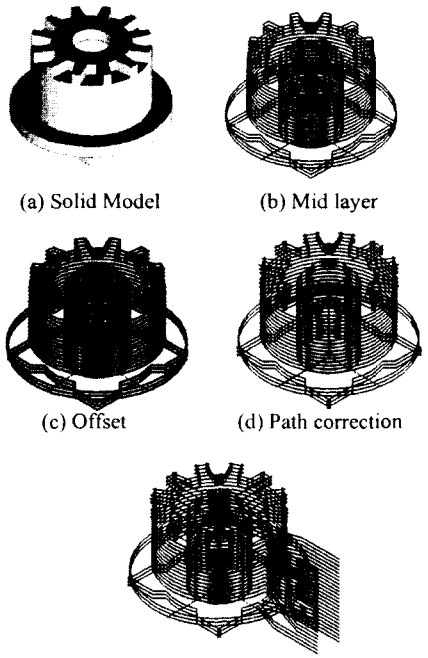


(a) Solid Model (b) Mid layer

(c) Offset (d) Path correction

(e) Reference shape generation

Fig. 9 Spanner



(a) Solid Model (b) Mid layer

(c) Offset (d) Path correction

(e) Reference shape generation

Fig. 10 Mechanical part

6. 결론

기존의 쾌속 조형 공정 및 장치의 문제점을 보완하기 위하여 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치가 개발되고 있고, 그에 맞는 CAD/CAM 소프트웨어도 개발되고 있다.

본 연구에서는 VLM-ST 공정의 형상정밀도 향상을 위하여 절단 경로를 오프셋하고, 절단 경로를 수정하고, 적층 보조형상을 생성할 수 있는 알고리즘을 제안하고 스패너 형상과 기계요소 형상에 적용해 보았다.

향후에 추가적인 연구를 통해서 제안된 알고리즘에 적용될 변수의 값을 실험을 통해서 결정하여 직접 공정에 적용하여 형상 정밀도를 향상하고자 한다.

후 기

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. P. F. Jacobs, "Stereolithogrphy and other RP&M Technologies," Society of Manufacturing Engineers, 1996.
2. 안동규, 이상호, 양동열 외 3 인 "발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 설계 및 개발," 한국정밀공학회, 제 18 권, 제 8 호, pp. 54-62, 2001.
3. "선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치." 특허 2000-18175, 2000.
4. "선형 열절단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치," 특허 2001-0040212, 2001.
5. 이상호, 김태화, 안동규, 양동열, 채희창, "가변 적층 쾌속 조형 공정 개발을 위한 단위형상조각 자동 생성 소프트웨어 개발 및 적용 예," 한국정밀공학회, 제 18 권, 제 8 호, pp.64-70, 2001.
6. M. Held, "Voronoi diagrams and offset curves of curvilinear polygons," Computer-Aided Design, Vol.30, No.4, pp.287-300, 1998