

나노복합재 적층장치를 위한 하이브리드 공정계획

김형중¹, 김성근¹, 추원식¹, 안성훈^{1}
¹ 서울대학교 기계항공공학부

Hybrid Process Planning for Nano Composite Deposition System

*H. J. Kim¹, S. G. Kim¹, W. S. Chu¹, S. H. Ahn¹

¹ School of Mechanical Engineering and Aerospace Engineering, Seoul National University

Key words : Rapid Prototyping (RP), Micro-machining, Process Planning, Nano, Composite

1. 서론

쾌속조형(Rapid Prototyping; RP) 기술은 기존 가공시스템의 한계를 극복하기 위한 대안으로써 제품개발과정에서 많은 발전을 이루어왔다. 최근에는 레이어 기반의 가공과 CAD(Computer-Aided Design) 모델 기반의 시뮬레이션 및 공정 계획이 가능한 RP 기술의 잇점으로 바이오 및 의학 분야에서 인공뼈(artificial bone)나 세포 성장을 위한 구조체(scaffold)의 개발에 관한 연구에 사용되고 있다[1].

하지만, RP 기술은 그 적층 방법론에서 기인한 계단현상(stair-step effect), 최종품의 낮은 기계적 강도 등의 문제점을 갖는다. 이를 해결하기 위한 연구들과 함께, CNC(Computer Numerical Control) 가공과 RP를 조합한 기술이 현실적인 대안으로 제시되었다[2-4].

본 연구에서는 나노복합재 적층장치(nano composite deposition system; NCDS)를 이용하기 위한 하이브리드 공정계획 소프트웨어(SmartRP)를 개발하였다. 적층 및 절삭 가공을 위한 경로 생성이 가능한 모듈들을 개발하고, 이를 조합하여 하이브리드 가공을 위한 경로의 생성이 가능하도록 하였다. 또한 적층 공정에서는 나노복합재를 적층하기 위한 재료와 관련된 추가적인 공정계획이 가능하도록 하였다.

2. 나노복합재 적층 및 절삭 시스템

나노복합재 적층장치는 크게 두 가지 가공 프로세스로 이루어진다. 우선, 주 프로세스인 적층 프로세스는 전체 형상이 가공될 때까지 주재료와 보조재료를 적층한다. 보조 프로세스인 머시닝 프로세스는 적층된 형상의 정밀도를 향상시키기 위해 레이어 외곽 및 곡면부에 대한 추가적인 절삭 가공을 가공을 수행한다. Fig. 1은 나노복합재 적층장치에서의 일반적인 가공 순서를 보여준다.

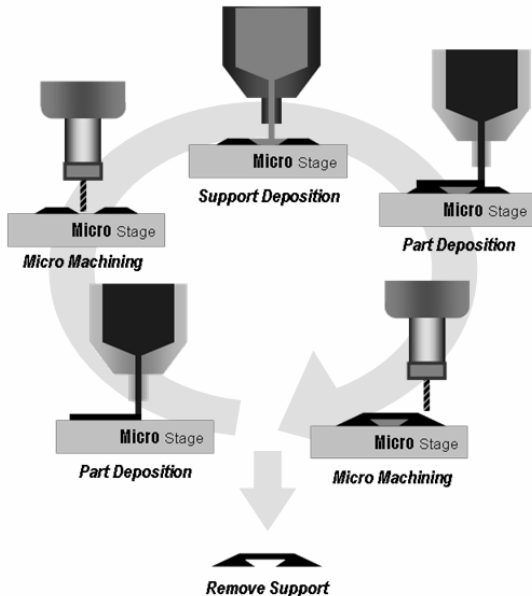


Fig. 1 A typical fabrication sequence of NCDS for 3D part

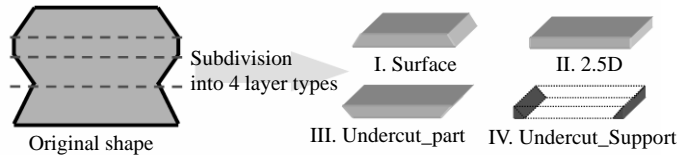


Fig. 2 Diagram of shape subdivision process

Table 1 Fabrication scenario for each layer type

Layer type	Fabrication Scenario	
	Deposition	Machining
Surface	Part material	Surface
2.5D	Part material*	Face, Boundary (option)
Undercut_part	Part material (on support)	Face, Surface
Undercut_support	Support material	Face, Surface

*: Hatching (default), boundary (option, if needed)

나노복합재 적층장치의 장비 이송을 위한 스테이지는 3축으로 구성되었으며, 각 축은 1 μm 범위 내의 제어가 가능한 리니어 엔코더를 사용하였다. 각축은 PMAC 컨트롤러에 의해 개별적인 제어가 가능하며, 적층 및 절삭 공정에 동일한 정밀도를 제공하기 위해 Z 축에는 적층용 노즐장치와 절삭용 스피들 모터장비가 함께 장착되어 있다.

3. 공정 계획

적층 및 절삭 공정을 이용한 하이브리드 공정계획은 다음과 같은 요소를 포함하고 있어야 한다[3].

- 적층 공정을 통한 근사 형상을 형성 후, 절삭을 통한 정밀도 획득
- 효과적인 슬라이싱 알고리즘
- 계단현상의 최소화 혹은 제거
- 효과적인 재료적층 지원
- 서포트 구조 적층 기능

적층 및 절삭 공정의 효과적인 조합을 위하여, 슬라이싱을 통해 얻어진 각 레이어들을 4 가지 타입(fig. 2)으로 분류하고, 그 특징에 맞는 가공 시나리오를 Table 1 과 같이 정리하였다.

위에서 언급된 필요 요소들과 레이어 타입에 따라, 하이브리드 공정계획은 다음의 세가지 공정으로 이루어진다.

- I. 레이어 가공 공정
- II. 서포트 구조 가공 공정
- III. 자유곡면(freeform surface) 절삭 공정

3.1 레이어 가공 공정

레이어 가공은 노즐장치에서 일정한 압력에 의해 재료를 주사하는 적층 공정과 상면 및 외곽 절삭 공정으로 이루어지며, 그 순서는 다음과 같다(fig. 3).

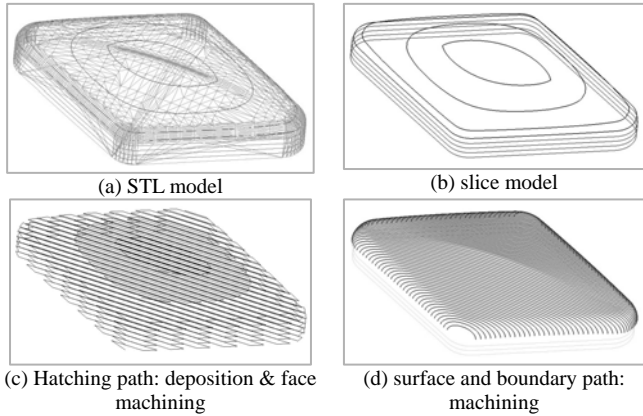


Fig. 3 Diagram of deposition and machining tool-path generation

- 단계 1: 레이어 가공 시나리오 설정
가공 경로는 적층 및 절삭 가공 경로와 이들을 서로 변경하기 위한 M 코드로 이루어진다. 적층 및 절삭 가공의 조합은 Table 1에서 제시된 레이어 타입에 따르며, 필요에 따라 서포트 구조 가공 공정(2 단계)과 곡면 절삭 공정(3 단계)을 추가로 포함하게 된다.
- 단계 2: 적층 경로 생성(fig. 3(c))
레이어(fig. 3(b))에 포함된 윤곽선(contour) 적층이 될 내부 영역으로 읍셋을 한 후, 내부 공간을 채우기 위한 지그재그 해칭 경로를 생성한다. 이때 해칭각은 각 레이어 별로 선택적으로 변경될 수 있다.
나노복합재 적층장치에서는 나노복합재와 경화수지를 함께 사용하기 때문에, 요구되는 가공 영역에서 재료의 넘침현상(overflowing)을 막기 위해 적층되는 재료의 점성이 공정 계획 상에서 고려되어야 한다. 이를 위해 균일한 적층에 문제가 될 수 있는 모서리(edges), 호(arcs)와 같은 형상의 가공 부분에서 장비의 이송 속도를 변화시키도록 하였다. 각 재료에 대한 해당 문제 형상들의 가공을 위한 최적 이송속도를 사전에 실험을 통하여 선정함으로써, 가공 경로 생성시 해당 가공 형상에 대한 가변 이송 속도를 적용할 수 있도록 하였다.
- 단계 3: 면 절삭 가공 경로 생성(fig. 3(c))
생성된 지그재그 해칭 경로를 레이어 두께만큼 위쪽으로 이동하여 페이스 가공 경로를 생성한다. 이때 절삭 경로의 가공 조건은 재료의 특징에 따라 달라진다.
- 단계 4: 서피스 절삭 가공 경로 생성(fig. 3(d))
레이어에 포함된 윤곽선을 절삭이 될 외부 영역으로 읍셋을 한 후, 외곽 가공을 위한 절삭 경로를 생성한다.

3.2 서포트 구조 가공 공정

서포트 구조는 언더컷이 존재하는 형상의 상대 볼륨 형상을 생성하고, 이에 대한 레이어 가공 공정을 적용하여 이루어진다[4].

3.3 곡면 절삭 공정

곡면 절삭 공정은 하이브리드 가공 시스템에서 최종 형상의 정밀도를 향상시키기 위한 추가적인 공정으로써, 각 레이어별 또는 연속적인 레이어에서 나타나는 곡면을 절삭하는 경로를 생성한다. Fig. 4는 서피스 절삭을 위한 가공 공정을 생성하는 프로세스를 보여준다.

4. 가공 예

Fig. 5는 SmartRP를 이용하여 알약(tablet) 형상의 하이브리드 가공 경로를 생성하고, 나노복합재 적층장치를 이용하여 가공한 결과를 보여준다.

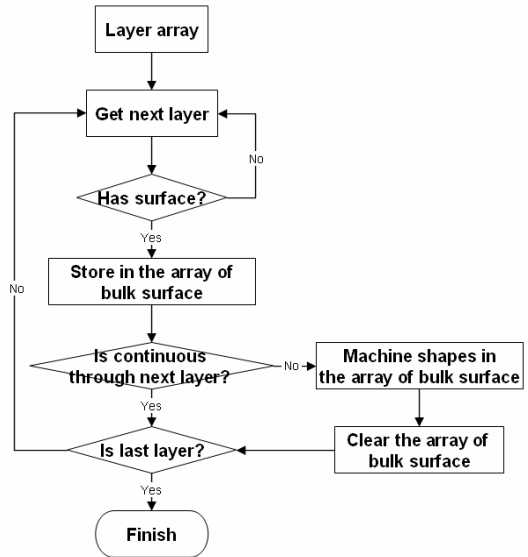
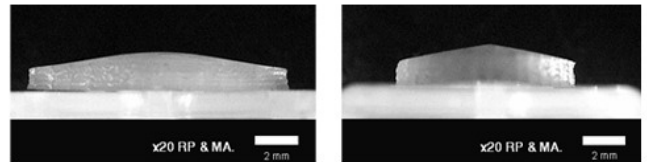


Fig. 4 Flowchart of the process of surface machining



(a) Fabricated part: front view (b) Fabricated part: side view

Fig. 5 Example of fabricated part

5. 결론

본 연구에서는 하이브리드 가공을 위한 공정계획을 정리하고, 이를 구현한 소프트웨어로 구현하였다. 구현된 SmartRP를 이용하여 알약 형상의 적층 및 가공에 필요한 경로를 생성하고, 나노복합재 적층장치를 이용하여 가공하였다. 앞으로 나노복합재 적층장치를 이용한 기능성경사 재료(Functionally Graded Material; FGM)를 가공하기 위한 공정계획을 연구할 계획이다.

후기

본 연구는 한국과학재단 특장기초사업 (R01-2006-000-10699-0), 선도자연구지원사업 (KRF-2004-041-D00066), 제 2 단계 BK 사업, 서울대학교 ERC (Micro Thermal System Research Center)에 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Williams, J. M., Adewunmi, A., Schek, R. M., Flanagan, C. L., Krebsbach, P. H., Feinberg, S. E. Hollister, S. J., and Das, S., "Bone Tissue Engineering Using Polycaprolactone Scaffolds Fabricated Via Selective Laser Sintering," *Biomaterials*, 26, 4817-4827, 2005.
2. Hur, J. H., Lee, K. W., Zhu, H., and Kim, J. W., "Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition," *Computer-Aided Design*, 34, 741-754, 2002.
3. Akula, S. and Karanakaran, K. P., "Hybrid adaptive layer manufacturing: An Intelligent art of direct metal rapid tooling process," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 22, 113-123, 2006.
4. Cooper, A. G., Kang, S., Kietzman, J. W., Prinz, F. B., and Lombardi, J. L., "Automated fabrication of complex molded parts using Mold Shape Deposition Manufacturing," *Material and Design*, 20, 83-89, 1999.