

완전 자동화된 단속형 가변적층쾌속조형공정을 위한 절단 경로 데이터 생성

이상호*(KAIST 대학원), 안동규(KAIST 대학원), 김효찬(KAIST 대학원), 양동열(KAIST), 박두섭(전북대 대학원), 심용보(전북대 대학원), 채희창(전북대)

Generation of Cutting Path Data for Fully Automated Transfer-type Variable Lamination Manufacturing Using EPS-Foam

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

ABSTRACT

A novel rapid prototyping (RP) process, an automated transfer type variable lamination manufacturing process (Automated VLM-ST) has been developed. In Automated VLM-ST, a vacuum chuck and linear moving system transfer the plate type material with two pilot holes to the rotation stage. A four-axis synchronized hotwire cutter cuts the material twice to generate Automated Unit Shape Layer (AUSL) with the desired width, side slopes, length, and two reference shapes in accordance with CAD data. Each AUSL is stacked on the stacking plate with two pilot pins using the pilot holes in AUSL and the pilot pins. Subsequently, adhesive is supplied to the top surface of the stacked AUSL by a bonding roller and pressure is simultaneously applied to the bottom surface of the stacked AUSL. Finally, three-dimensional shapes are rapidly fabricated. This paper describes the procedure for generating the cutting path data (AUSL data) for automated VLM-ST. The method for the generation of the Automated Unit Shape Layer (AUSL) in Automated VLM-ST was practically applied and fabricated for a various shapes

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변 적층 쾌속조형), Automated Unit Shape Layer(AUSL, 자동화용 단위 형상 층), Cutting Path Data(절단 경로 데이터)

1. 서론

쾌속조형 공정이란 종이, 왁스, ABS 및 플라스틱 등의 여러가지 비금속, 금속의 재료를 사용하여 3 차원 CAD 데이터로부터 3 차원 형상의 시작품 또는 몰드를 곧바로 조형하는 공정을 일컫는 것으로서 최근에는 이에 사용되는 재질이 금속분말 및 금속와이어(Wire) 등으로 다양한 공정이 개발되고 있다^[1].

본 Automated VLM-ST 공정에 앞서 개발된 반자동 적층 방식의 선형 열절단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변 적층 쾌속조형 공정 (Transfer type variable lamination manufacturing : VLM-ST)^[2,3]

은 평형사변형 메카니즘을 가지며 4 축 동시 제어되는 선형 열절단 시스템으로 4 mm 이하의 재료를 절단하여 수동 적층/접착함으로써 박판재료 적층공정과 ShapeMakerII 공정의 단점을 극복할 수 있다. 그러나, 적층/접착 공정이 수동으로 수행됨으로 정확한 적층이 어렵고 제품 제작 과정이 사용자와 독립적이지 못하다는 단점을 가지고 있다. VLM-ST 공정은 재료와 이송롤러의 마찰력에 의한 재료의 공급이 이루어져, 이송 롤러와 재료 사이의 마찰력이 감소하는 경우 재료의 공급이 원활히 이루어지지 못한다. 또한, VLM-ST 공정은 절단시 4 개의 수직이송장치와 열선절단기의 간섭에 의하여 적층 기준형상을 한개 이상 부여하지 못함으로 공정 자동

화가 어렵다.

평형사변형 구조를 가진 4 축 선형 열절단 시스템을 이용하여 ShapeMaker II 의 과용용 및 열선내의 열제어 문제를 해결하고, VLM-ST 공정의 단점인 수동 적층/접착과 재료 공급이 원활하지 못한 점을 개선한 완전 자동화된 가변 적층 패속 조형 공정 (Automated VLM-ST)을 개발하였다. Automated VLM-ST 는 VLM-ST 공정에서 한개의 적층 기준 형상을 가짐으로써 발생하는 단위형상층 생성중 회전이나 비틀림의 문제를 두개의 적층 기준 형상(안내형상)을 사용함으로써 극복 하였다.

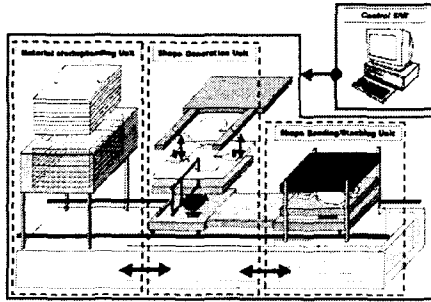


Fig. 1 Schematic of automated VLM-ST process

3 차원 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 USP Version^[4]으로 명명하였고, 반자동 방식의 VLM-ST 공정을 위한 절단 경로 데이터인 단위 형상 층 (Unit Shape Layer, USL)을 생성하는 경우, VLM-Slicer USL Version^[5]으로 명명하였다.

Automated VLM-ST 공정은 두꺼운 두께와 측면 경사를 가진 3 차원 형상의 절단 경로 데이터를 생성하기 위해서 기존의 VLM-Slicer USL Version 과 다른 절단 경로 데이터를 요구한다. Automated VLM-ST 공정을 위해서 절단경로데이터를 자동으로 생성하는 CAD/CAM 시스템을 'VLM-Slicer AUSL Version'라 한다.

본 연구에서는 완전 자동화된 단속형 가변 적층 패속 조형 공정에서 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터인 자동화용 단위형상층 (AUSL) 데이터 생성 방법을 개발하고, 실제 3 차원 형상을 제작하여 생성된 자동화용 단위 형상 층 데이터의 타당성과 적용성을 검증하고자 한다.

2. Automated VLM-ST 용 CAD/CAM 시스템

2.1 개요

Automated VLM-ST 공정은 두꺼운 두께와 측면 경사를 가진 3 차원 형상의 절단 경로 데이터를 생성하기 위해서 기존의 VLM-Slicer USL Version 과 다른 절단 경로 데이터를 요구한다. Automated VLM-ST 공정을 위해서 절단경로데이터를 자동으로 생성하는 CAD/CAM 시스템을 'VLM-Slicer AUSL Version'라 한다. Fig. 2 에 나타낸 바와 같이 '자동화용 단위 형상층 (Automated Unit Shape Layer, AUSL)'은 절단과 적층을 안내/지지하여 완전 자동화를 가능하게 하는 안내형상(Guide Shape: GS)을 가지고 있다.

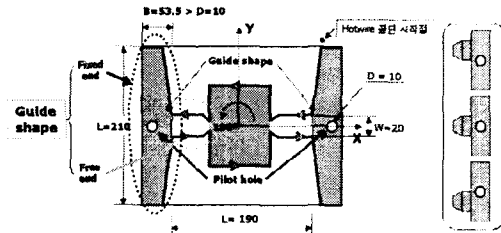


Fig. 2 AUSL with guide shape

안내 형상은 공급 재료의 고정된 위치에 미리 뚫려 있는 2 개의 안내구멍을 포함하는 고정단과 (Fixed end)과 각 층의 실제 형상에 따라서 목(neck)의 연결 위치가 움직이는 자유단(Free end)으로 나누어 진다.

AUSL 은 2 단계의 절단 경로를 가지고 있다. 각 단계에서의 열선 절단 시작점은 고정되어 있고, 1 단계의 절단 경로를 절단한 후에 회전 지지대의 180°회전하고 나서 2 단계 절단 경로를 절단하여 안내 형상에 연결된 각각의 단위 형상 층을 생성한다. 이때, 열선의 절단 시작점은 절단 없이 이동하는 거리를 최소화하기 위해서 Fig. 2 와 같이 선정 되었다.

안내 형상은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 자유단

안내 형상의 자유단은 절단시에 각각의 실제 형상층의 기하학적 복잡성에 관계 없이 항상 절단 시작점에서 절단할 실제 형상까지 열선이 접근할 수 있도록 Y 방향으로 자유롭게 움직일 수 있다. 단, 중간단면에서 단순 연결 영역화할 때, 횡단선과 연결자의 생성 위치와 안내 형상 자유단의 목이 실제 형상에 연결되는 부분 사이의 간섭이 없도록 해야 한다. 자유단의 목 부분은 절단 및 적층 시에는 안내형상과 실제 형상을 연결하여 실제 형상의 자중을 지탱할 수 있어야 하고, 접착/적층 후에는 작은 힘만으로 제거가 용이해야 한다.

(2) 고정단

안내 형상의 고정단은 접착/적층시에 절단된 AUSL 을 적층판으로 이송시키기 전에 진공적으로

일시적으로 흡착할 때와 형상 생성부로 이송된 적층판(Building Plate : BP)의 적층 안내 핀과 고정단에 포함된 안내 구멍 (Pilot Hole)을 결합시켜 한 층을 적층할 때, 그리고 접착/적층부로 이동시킨 다음 현재의 적층판 위에 있는 AUSL 의 상면에 접착물을 이용하여 접착제를 도포하면서 접착물의 자중에 의해 균일하게 압력을 가함으로써 앞서 생성된 층과 현재 생성된 AUSL 을 순서대로 접착/적층할 때 이용된다.

AUSL 의 2 단계 절단 과정은 Fig. 3 과 같다.

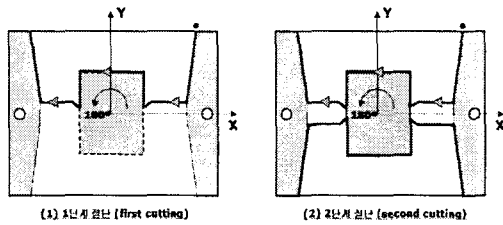


Fig. 3 Two steps of AUSL cutting

Automated VLM-ST 공정은 두꺼운 층과 경사면을 사용하므로 VLM-Slicer AUSL Version 은 3 차원 CAD 데이터인 STL 파일을 읽어 들여 2 차원 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 AUSL 을 생성 한다. Automated VLM-ST 공정은 이렇게 생성된 AUSL 데이터에 따라 두꺼운 두께의 재료를 절단/적층함으로써 VLM-ST 공정과 마찬가지로 전체 조형시간을 대폭 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라, 경사면을 가진 층을 이용하여 측면의 계단 형상의 단차를 제거함으로써 형상 정밀도를 크게 향상 시킨 3 차원 형상을 제작할 수 있다.

2.2 구성 모듈

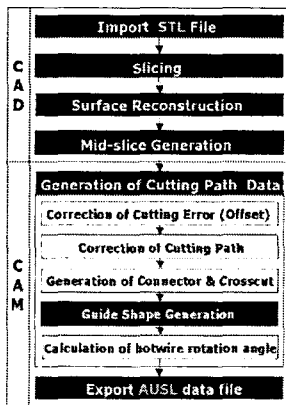


Fig. 4 Flowchart of VLM-Slicer AUSL Version

VLM-Slicer AUSL Version 이 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터를 생성하는 절차는 Fig. 4 에 나타낸 것과 같이 크게 STL 파일로부터 중간 단면을 생성하는 CAD 프로세스와 중간 단면으로부터 실제 절단 경로 데이터를 생성하는 CAM 프로세스로 이루어진다.

(1) CAD 프로세스

① 3D CAD 모델러에서 모델링한 3 차원 형상을 STL 파일로 변환한 다음, STL 파일의 삼각형 격자의 정보들을 읽어 들여 메모리에 저장한다.

② 읽어 들인 STL 파일의 삼각형 격자들로부터 일정한 두께(1 mm 이상) 간격으로 2 차원 단면 데이터(SLC data)를 생성하기 위해서 슬라이싱 작업(1 차 슬라이싱)을 수행한다.

③ 슬라이싱 작업을 통해 얻어진 2 차원 단면 데이터의 맨 아래 층부터 맨 위 층까지 순서대로 두 개의 이웃하고 있는 단면들 사이를 삼각형 격자로 둘러 싸서 측면 형상을 복원한다.

④ 선형열선절단기의 열선방향 중심이 두께를 가진 한 층의 중간 단면과 같은 평면상에 위치하도록 하기 위해서 복원된 형상에 대하여 층 두께(t)의 절반이 되는 지점에서 슬라이싱(2 차 슬라이싱)하여 중간 단면 데이터를 생성한다. 중간단면데이터는 각 층의 두께, 가공 윤곽 데이터(절단 중 선형열선 절단기의 열선의 중심이 그리는 궤적), 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터 등을 포함한다.

(2) CAM 프로세스

① 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 열선 자체의 직경과 발생한 열에 의해서 녹는 부분의 넓이 등을 고려하여 절단시 발생하는 오차를 최소화하기 위해서 중간 단면을 오프셋을 해 주어야 한다.

② 열선 절단기로 절단시에 절단 윤곽에 침단이 존재하는 경우, 순간적인 열선의 이동 속도 저하에 따른 열집중이 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. 열선이 형상의 바깥쪽으로 더 지나가도록 오버런(overrun)을 부여함으로써 침단에서의 열집중에 의한 형상 오차를 줄일 수 있도록 절단 경로를 수정해 준다.

③ 반시계 방향의 단일 패루프를 생성하기 위해서 횡단선과 연결자를 이용하여 중간 단면을 단순 연결 영역(simply connected domain)으로 만든다. 이것 때문에 공급되는 한장의 재료를 한번만 절단해

서 한층 내의 모든 형상이 하나로 연결되어 있는 3차원 단위 형상층을 만들 수 있다. 단순 연결 영역화를 할 때, 내부에 구멍이 있는 경우를 제외하고 한번 지나간 경로를 다시 지나 갈 수 없다.

④ 완전 자동화를 가능하게 하는 2 개의 안내구멍(pilot hole)을 포함하는 안내형상(Guide Shape)을 생성한다.

⑤ 단일 페루프를 형성하고 있는 중간 단면 데이터에서 주어진 가공 윤곽 데이터와 각 모서리를 포함하는 삼각형의 법선 벡터로부터 선형 열선 절단기의 회전각을 계산한다.

⑥ 단일 페루프를 형성하고 있는 중간 단면 데이터에서 주어진 가공 윤곽 데이터와 중간 단면에 부가된 안내 형상, 그리고 계산된 선형 열선 절단기의 회전각 등의 3 차원 단위 형상 층의 정보는 AUSL 파일로 저장된다. AUSL 파일에는 파일이름, 전체 자동화용 단위형상층의 수, 층 두께, 각 단위형상 층의 2 단계 절단 경로의 좌표값, 각 점에서의 경사각, 열선 절단 속도(v)와 열선의 열량(0.3~0.8 W/mm), 안내 형상에 대한 좌표값등을 포함한다.

2.3 적용예

Fig. 5 는 VLM-Slicer AUSL Version 을 사용하여 크기가 163×163×75 mm³ 인 베벨 기어 형상에 대한 AUSL 생성 과정을 보여준다.

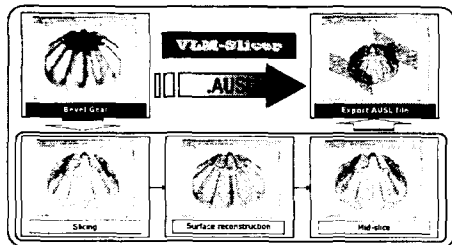


Fig. 5 Cutting path generation of the bevel gear shape

2.4.3 차원 형상 제작

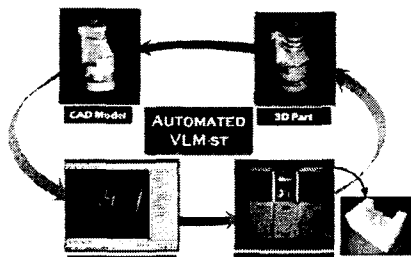


Fig. 6 Fabrication of piston shape

Fig. 6 은 에어콘 콤프레서에 들어가는 피스톤 부품의 3 차원 CAD 모델로부터 AUSL 데이터를 생

성한 다음, 이 AUSL 데이터를 제어 입력 데이터로 Automated VLM-ST 장치에 입력하여 AUSL 데이터에 따라서 선형 열선 절단기로 절단하여 안내형상을 가진 AUSL 각 층을 순서대로 적층한 다음 안내형상을 제거하여 최종 3 차원 파트를 제작하는 일련의 과정을 보여 주고 있다.

3. 결론

본 연구에서는 Automated VLM-ST 공정을 위한 절단경로데이터 자동 생성 CAD/CAM 시스템인 'VLM-Slicer AUSL Version'을 개발하였다. 그리고, 베벨 기어 형상에 자동화용 단위형상층 (AUSL) 데이터 생성 방법을 적용하였고, 실제 에어컨 콤프레서에 들어가는 피스톤 부품을 AUSL 데이터에 따라서 Automated VLM-ST 장치로 제작하여 제안된 자동화용 단위 형상 층 데이터 생성 방법의 타당성과 적용성을 검증하고자 한다.

후 기

본 연구는 과학기술부 국가중점사업인 주문적용형 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. 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.
3. 안동규, 이상호, 최홍석, 양동열, 박승교, "단속형 재료 공급식 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치 개발에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제 19 권, 제 2 호, pp. 95-105, 2002
4. 이상호, 김태화, 안동규, 양동열, 채희창, "가변적층 쾌속 조형공정 개발을 위한 단위형상조각 자동 생성 소프트웨어 개발 및 적용 예," 한국정밀공학회지, 제 18 권, 제 8 호, pp. 64-70, 2001
5. 이상호, 안동규, 최홍석, 양동열, 문영복, 채희창, "VLM-ST 용 CAD/CAM 시스템에서 단위 형상 층 생성 방법 및 적용예," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 7 권, 제 3 호, pp. 148-156, 2002