

## VLM-ST 공정에서 입체 절단을 이용한 대형 물체의 쾌속 제작

이상호\*(KAIST 대학원), 안동규(조선대), 김효찬(KAIST 대학원),  
양동열(KAIST), 채희창(전북대)

### Rapid Manufacturing of Large Object by Splitting Solid Model in VLM-ST

S. H. Lee(Graduate School, KAIST), D. G. Ahn(Chosun Univ.), H. C. Kim(Graduate School, KAIST),  
D. Y. Yang(KAIST), H. C. Chae(CBNU)

#### ABSTRACT

Most companies use technologies such as stereolithography, selective laser sintering, and fused deposition modeling to make parts for such small consumer products as telephones, heads, and shoes. The largest part that the existing RP systems can make is only 600 mm in length. Because most RP systems build parts by depositing, solidifying, or sintering material point-by-point, making larger objects takes a long time, and in many cases, large objects won't fit the build size. A new effective thick-layered RP process, Transfer type Variable Lamination Manufacturing using expandable polystyrene foam (VLM-ST) has been developed with thick layers and sloped surfaces. In this paper, a scaledown model of F16 Fighter with the length of 800 mm is rapidly fabricated using the VLM-ST process. In order to build a CAD model of F16 larger than 600 mm in length, the approach in VLM-ST is to build larger parts in multiple sub-parts and then glue them together. The fabricated result shows that the VLM-ST process employing thick layers and sloped surfaces is adequate for creating the real-sized large objects in the diverse fields such as automobiles, electric home appliances, electronics, and etc.

**Key Words** : Rapid Prototyping(쾌속 조형), Variable Lamination Manufacturing(가변 적층 쾌속조형), Build Size(조형 크기), Sub-parts(부분품), Large Object(대형 물체)

#### 1. 서론

현대 산업 사회는 급격한 산업 발전과 소비자의 다양한 기호에 따라 제품의 모델이 다양화되고 형상이 복잡해 지고 있다. 또한 국내외 시장에서 제품의 개발기간과 시작품 제작 기간의 단축이 요구되고 있으며, 이에 따른 시장 도입시기 및 제품 개발의 납기 단축이 중요한 문제로 대두 되었다. 따라서 제품의 다양성과 시작기간의 단축에 부응할 수 있는 시작 및 급형 제작 방법의 기술 혁신이 필요하게 되었으며 제품 설계 및 개발의 동시 공학적 추구가 필수적이다. 이러한 시장의 요구를 만족시킬 수 있는 새로운 방식의 시작품 제작기법으로 쾌속조형기술(Rapid Prototyping Technology)이 도입되었다<sup>1</sup>.

쾌속조형 기술은 시작품을 신속하게 제작하기

위해서 3 차원 CAD 데이터를 일정한 두께 간격으로 슬라이싱한 각 층을 다양한 방법으로 만들고, 이러한 층을 한층씩 적층하여 원하는 3 차원 형상을 제작하는 기술이다.

현재 상용화된 쾌속조형기술에는 광조형법(SLA), 용착조형공정(FDM), 선택적레이저소결공정(SLS), 박판조형공정(LOM), 3 차원 프린팅(3DP) 등이 있다. 종래의 쾌속조형기술은 층 두께가 1 mm 이하로 아주 얇기 때문에 조형 크기가 600 mm 이하인 소형이나 중형크기를 가진 물체의 쾌속 제작에 적합하다. 대부분의 기존의 쾌속조형공정들은 대형 물체를 조형하기 위해서 아주 긴 조형시간을 요구하거나 조형 크기의 제약 때문에 한 개의 파트(part)를 여러 개의 서브 파트(sub-part)로 나누어 제작한 다음, 다시 하나로 합쳐서 제작하기도 한다. 일반적으로 이러한 종래의 쾌속조형기술은 다음과

같은 문제점을 가지고 있다.

- 3 차원 CAD 데이터를 z 방향으로 슬라이싱 하여 2 차원 슬라이스 데이터를 얻는 과정에서 z 방향으로 계단형상의 단차가 생긴다.

- 고정된 두께의 얇은 층과 선 형태로 적층하기 때문에 많은 조형 시간이 소요된다. 이것은 대형 물체 제작시에 전체 조형시간을 급격하게 증가시킨다.

- 사용가능한 재료가 한정되어 있다.

- 시작품의 정밀도 향상과 지지대 제거등을 위한 추가적인 후처리 공정이 요구된다. 그리고, 후처리 공정에 소요되는 시간 및 비용이 상당하며 추가적인 장비가 요구되기도 한다.

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

이러한 기존의 폐속 조형 공정의 문제점을 극복하기 위하여 조형 시간을 획기적으로 단축시키고, 형상 정밀도를 향상시킬 수 있으며, 후처리 공정이 거의 필요 없는 새로운 개념의 단속형 가변적층 폐속조형공정 (Transfer type Variable Lamination Manufacturing using expandable polyStyrene foam: VLM-ST) 이 개발 되었다<sup>2</sup>. 현재 개발된 VLM-ST 공정은 3D CAD 모델로부터 변환된 STL 파일에서부터 생성된 3 차원 공구 경로 데이터에 따라 두꺼운 두께를 가진 판재를 4 축 선형 열선 절단기를 사용하여 측면 경사를 가진 층으로 절단한 후, 각 층을 순서대로 접착/적층함으로써 3 차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 폐속 조형 공정이다.

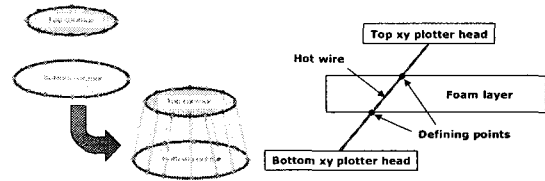
본 연구에서는 길이가 800 mm 인 F16 전투기의 CAD 모델을 여러 개로 분할한 다음, 반자동형 단속 재료 공급식 가변적층폐속조형장치 (Semi-automatic VLM-ST) 로부터 제작한 후에 각각의 서브파트를 서로 조립하여 RCS(Radar Cross Section: 비행체의 반사 전파 크기 예측) 문제 해석 검증용 F16 전투기 축소 모형을 폐속 제작하고자 한다.

## 2. 사전 연구

국외에서 여러 연구자들에 의해서 조형 크기가 주로 1 m<sup>3</sup> 이상인 대형 크기를 가진 물체를 폐속 제작하기 위한 연구가 수행되었다.

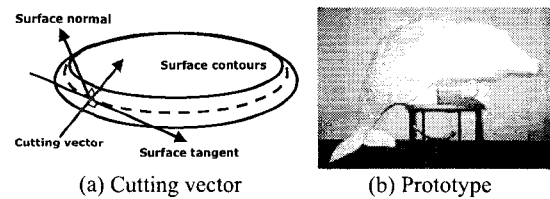
Utah 대에 Thomas 등<sup>3</sup>은 Fig. 1 에 보여진 것과 같이 1 인치(25 mm) 두께의 폴리스티렌 폼 시트를 열선으로 연결된 두 개의 플로터 헤드의 상대운동에 의해서 측면 경사를 가진 각각의 층들을 절단한 후에 수작업을 통하여 각 층을 적층하여 대형 물체를 제작하는 ShapeMaker II를 개발하였다. 폼을 절단할 때, 위쪽 플로터 헤드는 파트 슬라이스의 위

쪽 윤곽을 따라서 움직이고 이와 동시에 아래쪽 헤드는 슬라이스의 아래 윤곽을 따라 움직인다. 이렇게 두 헤드가 동시에 움직일 때, 그 사이에 연결된 열선이 경사를 이루면서 각 층의 윤곽을 절단하게 된다. 이 공정에서 제안한 열선 절단 시스템은 두 개의 xy 플로터의 상대 운동에 의한 열선의 경사를 이용하여 경사 절단을 수행하므로 실제 원하는 회전각을 구현하는 것이 어렵다.



(a) Ruled surface layers (b) Hotwire cutter  
Fig. 1 Hotwire cutter and ruled surface of ShapeMaker II

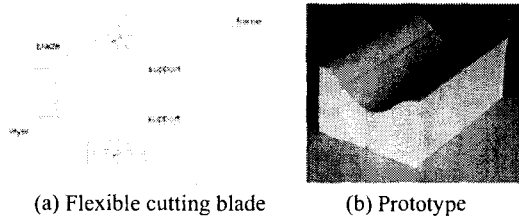
Queensland 대에 Hope 등<sup>4</sup>은 조형 크기가 1 m<sup>3</sup> 이상인 대형 물체를 제작하기 위해서 약 10 mm 정도 두께를 가진 폴리스티렌 폼을 5 축 워터젯(waterjet)으로 표면의 계단 형상이 발생하지 않도록 측면 경사를 가진 각각의 층들을 절단한 후, 이를 수작업을 통하여 적층하여 대형 물체를 제작하는 TruSurf 시스템을 개발하였다. Fig. 2는 TruSurf 시스템에서 IGES 파일을 읽어들이어서 슬라이싱하여 얻은 한 층에서 NC 코드 생성을 위해서 필요한“cutting vector”를 계산하는 방법과 실제로 5 축 워터젯으로 절삭하여 제작된 예제 모델을 보여 주고 있다. 이 방법은 5 축 워터젯 절단기의 경사 구현 한계와 높은 가격 때문에 실용화 하기에 어렵다.



(a) Cutting vector (b) Prototype  
Fig. 2 TruSurf system

Delft 대에 Horvath 등<sup>5</sup>은 Fig. 3(a) 에 나타낸 바와 같이 절삭하고자 하는 옆면의 형상으로 고차 근사화한 “flexible curved cutting blade”를 이용하여 적층 재료인 두꺼운 폴리스티렌 폼을 블레이드 형상으로 용융시켜 옆면의 계단 형상이 없도록 절단/적층하는 TLOM 공정을 제안 하였다. “flexible curved cutting blade”는 회전지대에 의해서 양단이 지지되어 있는 유연성을 가진 고온의 절삭 블레이드의 양 끝단의 위치를 제어하여 절삭하고자 하는 옆면의 형상으로 고차 근사화하는 개념을 가지고 있지만, 실제로 일반적인 자유 형상의 가공이 가능한

절단시스템을 물리적으로 구현하기가 어렵다. Fig. 3(b)는 두께가 50 mm 인 폴리스티렌 폼 4층을 적층한 예를 보여 준다.



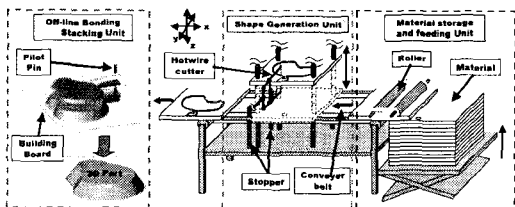
(a) Flexible cutting blade (b) Prototype  
Fig. 3 TLOM process

국내에서는 허정훈 등<sup>6</sup>에 의해서 두꺼운 판재를 사용하여 적층과 절삭을 복합적으로 수행하는 판재적층식 쾌속시작시스템인 RP-ECLIPSE 가 개발되었다.

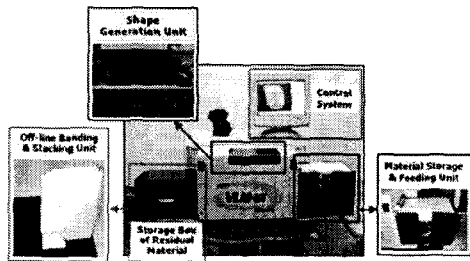
### 3. VLM-ST 공정 개요

#### 3.1 공정 및 장치

Fig 4 에 보여진 것과 같이 Ahn 과 Yang 은 기존의 쾌속 조형 공정의 문제점인 긴 조형시간, 2 차원의 얇은 층의 적층에 의한 측면 계단 형상, 추가적인 후처리 공정 등을 극복할 수 있는 새로운 개념의 단속형 가변적층쾌속조형공정(Transfer type Variable Lamination Manufacturing using expandable polyStyrene foam: VLM-ST)을 개발하였다.



(a) Schematic diagram



(b) Apparatus

Fig. 4 Semi-automatic VLM-ST apparatus

#### 3.2 절단 경로 데이터 생성

VLM-ST 공정을 위해서 가공경로데이터를 자동으로 생성하는 CAD/CAM 시스템은 'VLM-

Slicer<sup>7</sup>' 라 한다. VLM-Slicer 가 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터를 생성하는 절차는 Fig. 5 에 나타난 것과 같이 크게 STL 파일로부터 중간 단면을 생성하는 CAD 프로세스와 중간 단면으로부터 실제 절단 경로 데이터인 USL 데이터를 생성하는 CAM 프로세스로 이루어진다.

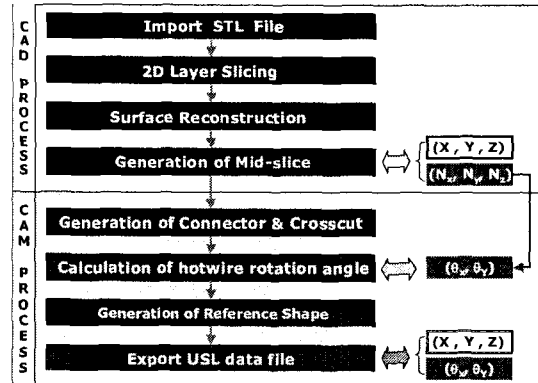


Fig. 5 Flowchart of VLM-Slicer

### 4. F16 모형 제작

VLM-ST 공정을 이용하여 실물 크기를 가진 대형 형상의 제작가능성을 알아 보기 위해서 모델의 크기가 800 × 540 × 290 mm 인 F16 전투기의 모형을 제작한다. 반자동형 VLM-ST 공정은 조형 속도를 향상시키기 위해서 1 mm 이상의 두꺼운 두께를 가진 EPS 폼 재료를 사용한다. 그리고, 현재 개발된 반자동형 VLM-ST 장치의 최대 조형 크기는 A4 크기 (210 × 297 mm) 이고 높이 방향으로 제한이 없다.

실제 VLM-ST 장치를 이용하여 F16 모형을 제작한 순서는 다음과 같다.

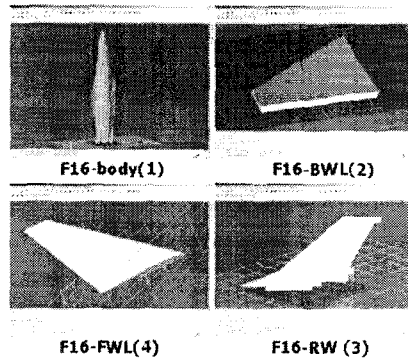


Fig. 6 Model Decomposition

(1) Fig. 6 에 보여진 바와 같이 VLM-ST 장치의 조형 크기에 맞추어서 주어진 F16 전투기에 대한

STL 데이터를 입체 절단을 통해서 10 개로 분해한다.

(2) 분해한 각각의 서브파트를 반자동형 VLM-ST 장치로 절단한 다음, 각각의 단위형상층을 순서대로 적층하여 서브파트를 완성한다.

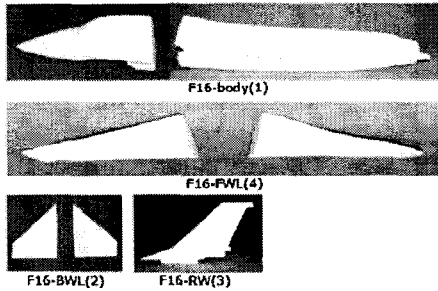


Fig. 7 Building of sub-parts

(3) 완성된 각각의 서브파트를 조립하여 F16 전투기의 축소 모형을 제작 한다.

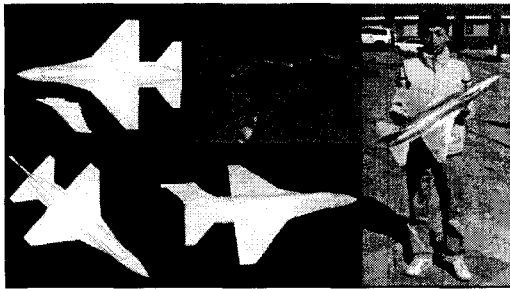


Fig. 8 Assembly of sub-parts

Table 1 은 F16 형상을 절단하는데 걸린 시간과 재료비를 나타내고 있다.

Table 1 Results of building a F16 prototype

No. of Layer (3.7t)	365 Layers
No. of Layer (1.3t)	8 Layers
Net cutting time	186.5 minutes (about 3 hr)
Material cost	About 130,000 won

반자동형 단속 재료 공급식 가변적층패속조형장치 (Semi-automatic VLM-ST) 로부터 제작된 F16 전투기의 축소 모형은 표면에 금속 코팅을 한 후에 RCS(Radar Cross Section: 비행체의 반사 전파 크기 예측) 문제 해석 검증용 실험에 이용되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 모델의 크기가 800 × 540 × 290 mm 인 F16 전투기의 CAD 모델을 여러 개로 분할한 다음, 반자동형 단속 재료 공급식 가변적층

패속조형장치 (Semi-automatic VLM-ST)를 이용하여 각각의 서브파트를 제작하고, 이렇게 제작된 서브파트를 서로 조립하여 F16 전투기 축소 모형을 패속 제작하였다. 이러한 제작 결과로부터 VLM-ST 공정이 대형 형상을 빠른 시간에 제작가능함을 알 수 있다.

반자동형 VLM-ST 장치에 사용되는 EPS 폼 재료의 경우, 다루기가 용이하기 때문에 가전 산업, 자동차 산업, 광고, 연예 산업 등과 같은 산업 분야에서 뿐만 아니라, 수학적 모델의 가시화, 인간과 제품 사이의 상호 작용 테스트, 공기역학적 거동이나 유체역학적 거동의 분석 등의 학술 연구 분야에서도 실물 크기의 모형 제작에 사용될 수 있다. 따라서, VLM-ST 공정의 조형 크기를 현재 A4 크기에서 A0 크기까지 증가시킨다면 입체 절단을 이용한 대형 물체의 패속 제작 기법을 이용하여 다양한 분야에 확대 적용 가능할 것으로 기대 된다.

## 참고문헌

- Jacobs, P. F., Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, ASME Press, 1996.
- 안동규, 이상호, 최홍석, 양동열, 박승교, “단속형 재료 공급식 가변 적층 패속 조형 공정 및 장치 개발에 관한 연구,” 한국정밀공학회지, Vol. 19, No. 2, pp. 95-105, 2002.
- Novc, S. Kaza, Z. Wang, and C. Thomas, “Techniques for Improved Speed Accuracy in Layered Manufacturing,” Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp.609-617, 1996.
- R. L. Hope, A. T. Riek, and R. N. Roth, “Layer Building with Sloping Edges for Rapid Prototyping of Large Objects,” Proceedings of the 5th European conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, pp.47-57, 1996.
- J. J. Broek, I. Horvath, B. de Smit, A. F. Lennings, Z. Rusak, and J. S. M. Vergeest, “Free-foam thick layer object manufacturing technology for large-sized physical models,” Automation in Construction, Vol.11, pp.335-347, 2002.
- J. H. Hur, K. W. Lee, Zhu-hu, and J.W. Kim, “Hybrid rapid prototyping system using machining and deposition,” Computer-Aided Design, Vol.34, pp.741-754, 2002.
- 이상호, 안동규, 최홍석, 양동열, 문영복, 채희장, “VLM-ST 용 CAD/CAM 시스템에서 단위 형상층 생성 방법 및 적용예,” 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 7, No. 3, pp. 148-156, 2002.