

## 연속형 가변 적층 쾌속 조형과 응용기술을 이용한 3차원 제품의 정형 가공에 관한 연구

안동규\* · 이상호\* · 양동열\*\*

(2001년 8월 24일 접수)

### Investigation into Net-Shape Manufacturing of Three-Dimensional Parts using VLM-SP and Its Applied Technology

D. G. Ahn, S. H. Lee and D. Y. Yang

#### Abstract

The integration of Rapid Prototyping (RP) and Rapid Tooling (RT) has the potential for rapid net shaping of three-dimensional parts, which have a geometrical complexity. In this study, a new RP process, progressive type of Variable Lamination Manufacturing by using Expandable Polystyrene Foam (VLM-SP), was proposed to manufacture net shapes of three-dimensional prototypes and it was shown that VLM-SP is an effective and economic process through the comparison of building time, building cost and dimensional accuracy for the test parts with the commercial RP processes ; LOM and FDM. In addition, the metal parts , which are a spanner shape and a clover punch, were produced by the plaster casting as one of RT using the prototypes of VLM-SP.

**Key Words** : Rapid Prototyping, Rapid Tooling, Net Shape Manufacturing, Progressive Type Variable Lamination Manufacturing, Plaster Casting

#### 1. 서 론

오늘날 수요자의 다양한 기호에 따라 제품 모델이 다양화되고, 국내외 시장에서 경쟁이 치열해지면서 제품의 개발기간과 시작기간 및 비용의 단축이 절실하게 요구되고 있다. 특히, 세계적으로 경쟁이 치열한 자동차, 가전,

전자산업 등의 분야에서는 신속한 제품의 시작과 생산은 관련 산업체의 시급한 문제로 인식되고 있다.

1986년 미국에서 개발된 '쾌속조형'기술(Rapid Prototyping Technology)은 제품의 CAD 데이터로부터 플라스틱, 종이, 광경화성수지 및 금속 등의 재료를 이용하여 제품을 직접 만들 수 있는 새로운 개념의 공정으로 '광

\* 한국과학기술원 대학원

\*\* 한국과학기술원 기계공학과

조형법(SLA : StereoLightography Apparatus)' 공정을 필두로 하여 다양한 공정들이 개발되어 현재는 20여 가지 이상의 공정들이 상용화되었다.<sup>(1~4)</sup> 이 공정들은 Fig. 1와 같이 용착을 이용하는 공정, 소결을 이용하는 공정 및 접착제를 이용하는 공정으로 분류할 수 있다.

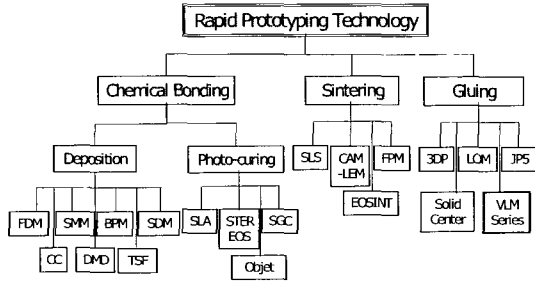


Fig. 1 Classification of rapid prototyping technology

화학적 접착(Chemical Bonding)을 이용하는 공정으로는 광조형법(SLA), 용착 조형 공정(FDM), Solid Ground Curing(SGC), 다중 제트 분사 공정(MJM), 다중 분사 노즐과 UV 램프 경화를 이용한 공정(Objet) 등이 있다. 소결(Sintering)을 이용하는 공정으로는 선택적 레이저 소결 공정(SLS), 자유 형상 분말 성형(FPM) 등이 있다. 또한, 접착제(Gluing)를 이용하는 방법으로는 박판 재료 적층 공정(LOM), 3차원 프린팅(3DP), Solid Center, 박판 재료 자동 절단과 수동 접착을 이용한 공정(JP5) 등이 있다.

쾌속 툴링(Rapid Tooling)의 경우 쾌속 조형 제품을 이용한 기능성 제품 제작을 위하여 쾌속 조형과 병행 지속적으로 개발되고 있다.

쾌속 툴링에서 쾌속 조형 시작품을 이용하는 방법에는 Fig. 2와 같이 선택적 레이저 소결 및 적층 금속 툴링 같은 쾌속조형기법을 사용하여 직접 몰드를 제작하는 방법(Direct Approaches)과 쾌속조형에 의하여 제작된 원형으로부터 부가적인 공정을 거쳐 몰드를 제작하는 2차 공정법(Indirect Approaches)이 있다. 현재 개발된 쾌속 조형 기법에서는 경제적인 면과 기술적인 면을 고려할 때 2차 공정에 거쳐 시작품을 제작하는 방법이 현재까지는 보다 유리하기 때문에 광범위하게 활용되고 있다.

2차 공정은 공정중 역전 횟수에 따라 아래와 같이 분류될 수 있다.

일단계 역전 공정 : 캐스트 고무 툴링, 캐스트 에폭시 툴링, 스프레이 금속 툴링, 전기 주조 툴링 등

이단계 역전 공정 : 쉘 캐스트 툴링, 쾌속조형 원형을 이용한 인베스트먼트 주조

삼단계 역전 공정 : 캐스트 커크사이트/알루미늄 툴스, 쇼우 공정 툴링, 켈툴(KelTool)

제작된 몰드는 각 특성에 따라 사출성형이나 다이캐스팅, 진공 주조, 인베스트먼트 주조 등에 사용되어 최종적으로 시작품이 제작되게 된다.

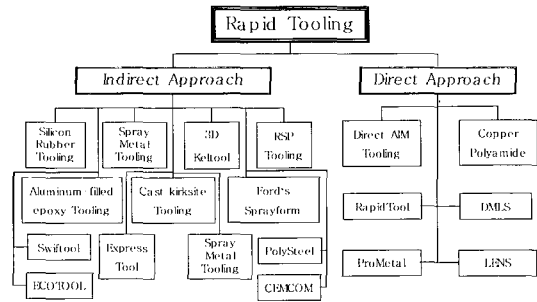


Fig. 2 Classification of rapid tooling technology

오늘날 쾌속조형 및 쾌속 툴링 기술은 전자 및 가전, 중공업 등을 비롯하여 거의 모든 분야에 응용되어 제품 개발에 소요되는 시간과 비용을 절감하는 필수적인 공정으로써 사용되고 있다. M. P. Schreiber<sup>(5)</sup>, D.F. Walczyk, D.E. Hardt<sup>(6-7)</sup>, Kiuch<sup>(8)</sup> 및 K. Kuzman, M. Geiger<sup>(9)</sup> 등에 의하여 쾌속 조형 및 쾌속 툴링 기술을 소성 가공 기술과 접목 시키고자 하는 융합 기술(Fusion Technology)이 시도되고 있다.

본 논문에서는 새로운 개념의 쾌속 조형 공정의인 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 연속형 가변 적층 쾌속 조형(VLM-SP) 공정과 VLM-SP 공정에서 제작된 시작품을 이용한 쾌속 툴링 공정의 통합을 통하여 3차원 제품의 쾌속 정형 가공(Rapid Net Shape Manufacturing) 방법을 제안하였다. 그리고, VLM-SP 공정을 이용하여 3차원 시작품을 제작하여 상용화 공정들과 형상, 제작 시간, 제작 단가 및 정밀도를 비교하였다. 또한, VLM-SP 공정으로 제작된 시작품을 이용하여 로스트 폼 주조 기술을 응용한 석고 주형 방법으로 쾌속 툴링을 수행하여 3차원 금속 제품을 제작하여 본 공정의 실용성과 적용성을 검토하였다.

## 2. VLM-SP 공정/장치 및 3차원 시제품 제작

### 2.1. VLM-SP 공정

현재까지 개발된 쾌속 조형 공정의 경우 장시간의 조

형 시간, 고가의 장치 도입/유지비 및 추가적인 후처리 공정 소요등의 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 조형 시간을 획기적으로 단축시키며, 장비 도입/유지비가 현저히 저렴하며, 정밀도 유지 및 후처리 공정이 거의 요구되지 않는 새로운 개념의 가변 적층 패속 조형 공정이 개발중에 있다.<sup>(10)</sup> 특히, 현재 개발되고 있는 가변 적층 패속 조형 공정중 발포 폴리스티렌 폼(Expandable Polystyrene Foam : EPS Foam) 판재띠(Strip)를 이용한 연속형 또는 순차이송형 가변 적층 패속 조형 공정(VLM-SP)은 전 공정이 자동화된 공정으로 조형 속도가 현저히 향상되며 장치 도입비 및 유지비가 저렴하고, 개념/프리젠테이션 모델(Concept and Presentation Model) 및 제작된 3차원 제품으로 로스트 폼 주조(Lost Foam Casting) 등의 2차 공정을 통하여 금속 제품을 제작할 수 있어 산업적으로 활용도가 높을 것으로 판단된다.

VLM-SP 공정은 여러 가지 두께로 연속으로 공급되는 판재띠 형태의 EPS 폼을 4자유도가 동시 제어되는 선형 열선 절단기를 이용하여 폭, 길이 및 측면 경사를 실시간 제어하여 판재띠를 절단한 후, 이 절단된 형상들을 적층/접착함으로써 일체화된 3차원 형상의 제품을 제작하는 패속 조형 공정이다. VLM-SP 공정에서는 기존 RP 공정과 다른 단위 형상 조각(Unit Shape Part : USP)의 개념을 사용한다. VLM-SP 공정에서는 3차원 형상의 솔리드 모델을 일정 두께의 각 층으로 나눈 뒤, 한 층내의 형상을 허용된 공급 재료의 폭이나 형상 특성에 따라 여러개로 나눈다. 이때, 나누어진 한층 내의 형상을 단위 형상 조각(USP)이라 한다.

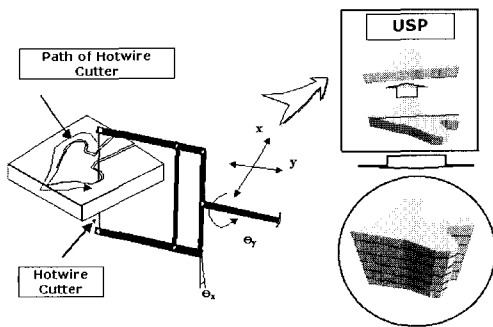


Fig. 3 Concept of the USP and VLM-SP

Fig. 3은 단위 형상 조각과 VLM-SP 개념도이다.

VLM-SP 공정은 Fig. 4와 같이 장치 입력 데이터 생성과정과 가변 적층 패속 조형 과정의 재료 저장/공급

부, 형상 생성부, 재료 적층 및 접착부, 잔여 재료 절단/저장부 및 시스템 제어부의 5가지 세부 공정으로 구성된다.

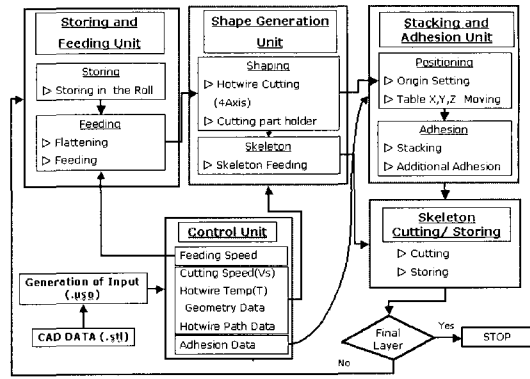


Fig. 4 Process flow of VLM-SP

### 2.1.1 입력데이터 생성 과정

입력데이터 생성 과정은 Fig. 5와 같이 4개의 주요 단계로 구분된다. 첫 번째는 솔리드 모델데이터를 .stl 파일로 변화시키는 과정이다. 두 번째는 .stl 파일로부터 적층 두께 간격으로 슬라이싱(Slicing)된 슬라이싱 데이터(.slc) 파일을 생성한다. 세 번째는 .slc 파일로부터 형상 복원(Shape Reconstruction)을 수행한 후 이 데이터를 이용하여 중간 단면을 생성한다. 이 단계가 완료되면 최종적으로 각 위치 데이터(X, Y)와 측면 경사 데이터( $\theta_x, \theta_y$ )를 포함하는 단위 형상 조각 데이터(.usp)가 생성된다. 측면 경사 데이터 계산식은 식(1)과 같다.

$$\begin{bmatrix} \sin \theta_y \\ -\sin \theta_x \cos \theta_y \\ \cos \theta_x \cos \theta_y \end{bmatrix} \vec{r} = \begin{bmatrix} N_y U_z - N_z U_y \\ -(N_x U_z - N_z U_x) \\ N_x U_y - N_y U_x \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,  $N_x, N_y, N_z$ 는 삼각형 패시(Facet)의 법선 벡터이다. 또한,  $U_x, U_y, U_z$ 는 열선 진행 방향의 단위 벡터이다.

### 2.1.2 VLM-SP 공정 및 장치

VLM-SP 공정은 Fig. 4와 같은 5가지 조형 공정으로 구성되어 있으며, Fig. 6은 프로토타입 VLM-SP 장치이다. 본 장치의 제작 가능 크기는  $300\text{mm} \times 250\text{mm} \times 250\text{mm}$ 이다. 재료 저장 및 공급부는 형상 생성부에 소요되는 발포 폴리스티렌 폼을 연속 및 단속적으로 공급한다. 본 세부 공정은 재료 저장부, 재료 평탄화 수행부

및 재료 이송부의 3가지 단위 공정으로 구성된다. 재료 저장부는 재료를 연속적으로 공급할 수 있도록 롤 형태로 구성된다.

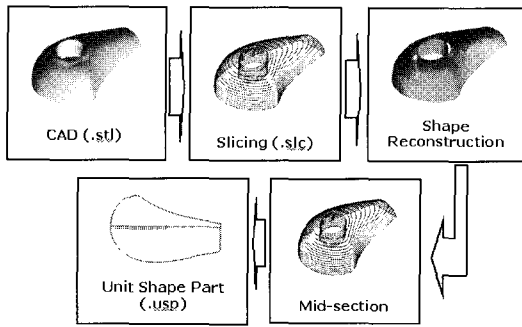


Fig. 5 Process flow to generate input data

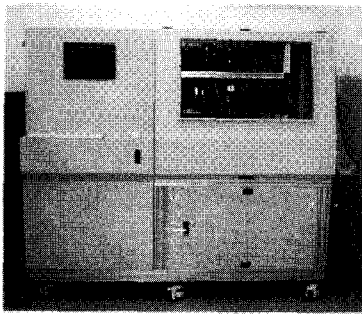


Fig. 6 VLM-SP apparatus

재료 평탄화 수행부는 롤에서 공급되는 판재띠가 내부 잔류 응력에 의하여 일정 곡률을 가지게 되는데, 이 잔류 응력을 제거하여 평탄한 판재띠를 형상 생성부에 공급하는 역할을 한다. 재료 평탄도와 재료 가열 온도 및 이송 속도 관계는 Fig. 7와 같다.

형상 생성부는 공급된 발포 폴리스티렌 폼을 시스템 제어부에서 제공되는 형상 정보, 열선 온도, 열선 이동 경로 및 열선 이송 속도를 이용하여 단위 형상 조각을 생성한다. VLM-SP 공정의 특징인 단위 형상 조각의 측면 경사를 구현하기 위하여 스텝핑 모터로 제어되는 4축 열선 절단기를 사용한다. 열선은 과도 열변형과 저주기 피로에 대처하기 위하여 카트리지 형의 Ni-Cr 선을 이용하였다.

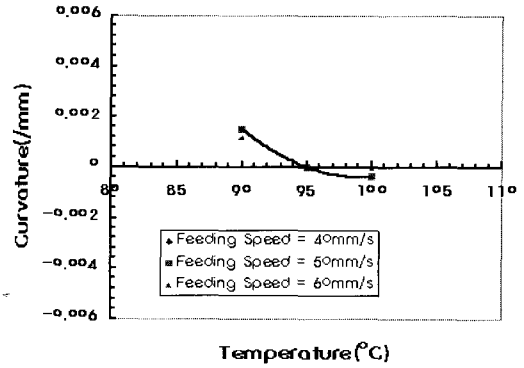


Fig. 7 Relationship between heating roller temperature and strip curvature

또한, 열선의 절단중 휨 현상과 열선 진행 방향별 최대 절단 가능 속력을 고려하여 열선 절단 조건을 0.5 Watt/mm 이상의 단위 길이당 열입력 및 50mm/s 이하의 절단 속도로 제한 하였다. Fig. 8은 열선에 입력되는 열량과 열선에 의하여 절단시 발생하는 절단 오프셋 (Cutting Offset : C.O.) 의 관계를 나타내며, 식(2)는 절단 속도 50 mm/s에서의 열입력과 C.O. 의 관계이다.

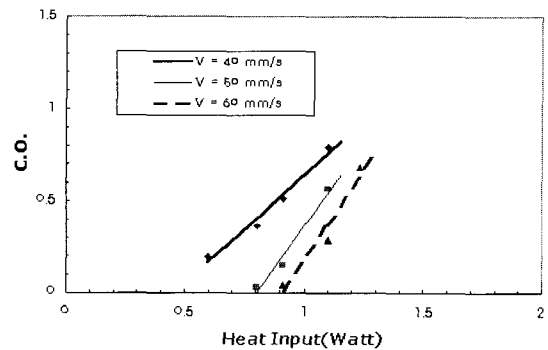


Fig. 8 Relationship between C.O. and heat input

$$C.O. = 1.84 Q_i - 1.47 \quad (2)$$

여기서,  $Q_i$  는 열선에서 재료로 공급되는 열입력량 (Watt)이다.

재료 적층 및 접착부는 형상 생성부에서 제작된 단위 형상 조각을 정확히 해당 위치에 적층하고, 인접부위 각 부분들의 면과 완벽하게 접착시키는 부분이다.

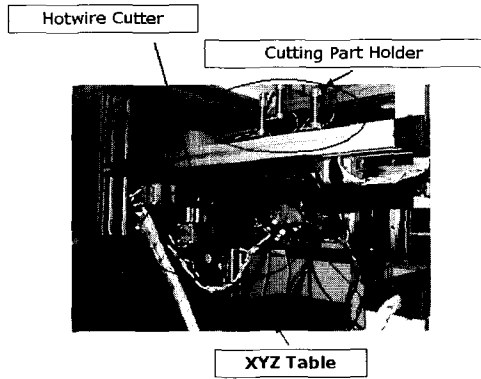


Fig. 9 Shape generation unit in the VLM-SP apparatus

적층은 형상 생성부에 제작된 단위 형상 조각을 지지하고 있는 절단 제품 위치 고정기가 수직으로 이동하여 적층 위치에 안착 시킨다. 접착은 재료 공급시 바닥면에 접착제를 문혀서 공급하여 적층과 동시에 접착이 될 수 있도록 한다. 또한, 접착 강도를 증가시키기 위하여 판재 때 공급 방향에 수직인 방향으로 지그-재그 형식으로 적층을 수행하였으며, 판재 때 공급 방향으로 단위 형상 조각 전후면의 경사를 주어 적층을 수행한다.

잔여 재료 절단 및 저장부는 형상 생성부에서 공급된 발포 폴리스티렌 폼 중 형상 생성부에서 단위 형상 조각으로 제작된 절단 형상을 제외한 잔여 재료 부위를 주기적으로 절단하고 절단된 조각들을 저장한다.

시스템 제어부는 3차원 목적물의 형상을 .stl 파일 형식으로 제공 받은 후, 이 데이터를 이용하여 열선 이동 경로, 열선 이송 속도, 재료 공급 속도, 절단 제품 적층 위치/경로, 절단 제품 고정기 단위 형상지지 시간/순서, XYZ 테이블 위치 및 잔여 재료 절단 속도 등을 결정하여 VLM-SP 장치가 3차원 목적물을 신속/정확히 조형할 수 있도록 구성된 하드웨어, 소프트웨어, 인터페이스 및 제어 장치 조합이다. 시스템 제어부는 입력 데이터를 컴퓨터에 받아들여 일괄적으로 처리하는 배치 프로세싱을 수행한다.

### 2.2. VLM-SP 이용한 3차원 시작품 제작 실험

VLM-SP 공정의 다양한 형상에 대한 적용성과 본 공정의 효율성 및 경제성을 검토하기 위하여 장식형 기둥 형상, 스펠러 형상 및 클로버 펀치 형상을 제작하였다. VLM-SP 공정으로 제작된 시작품의 정밀도 평가시 식(3)을 이용하여 평면내의 윤곽 치수 예측치(Expected Dimension : E.D.) 을 계산한 뒤, 식(3)과 같이 실제 측

정치 (Measured Dimension : M.D.) 와 평면내 윤곽 치수 예측치를 비교하여 치수 오차를 계산 하였다.

$$Error(\%) = (E.D. - M.D.) / E.D. \times 100 \quad (3)$$

### 2.2.1 장식형 기둥 형상 제작 실험

VLM-SP를 이용하여 Fig. 10과 같은 장식형 기둥 (Patterned Column) 형상을 제작하였다. 장식형 기둥 형상의 치수와 열선 절단 조건은 Table 1과 같으며, 전체 단위 형상 조각은 20개이고 10층으로 구성된다. 본 실험에서는 단위 형상 조각의 한층내의 연속 적층시 발생할 수 있는 평면내 치수 오차와 지그-재그 적층시 발생할 수 있는 단위 형상 조각들 간의 틈 발생을 검증하고 곡면 형상 절단시 절단 오프셋식의 적용성을 확인하기 위하여 선택하였다. 본 실험 예는 모델하우스, 공원등 실제 조형 구조물에서 볼 수 있는 형상의 축소 모델로 산업 디자인이나 건축등에 적용되는 실제적인 예제이기도 하다. 본 실험 결과 Fig. 10와 같은 장식형 기둥이 조형되었으며, 지그-재그 적층 부위에 틈이 거의 발생하지 않았다.

Table 1 Dimensions and cutting conditions of patterned column shape

Dimension (mm)			Cutting conditions of Hotwire	
Inside Diameter	Outside Diameter	Height	Heat Input (Watt)	Speed (mm/s)
50	70	19.2	1.07	50

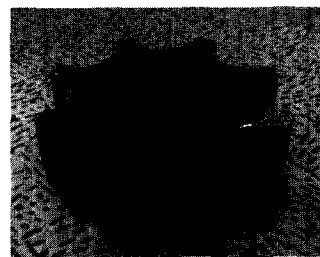


Fig. 10 Fabricated parts using VLM-SP

또한, 직선 열선 절단 실험에서 얻어진 식(2)를 사용하여 본 예제의 곡면 형상 절단에 적용한 결과 최소 직경 부위에서 치수 에러가 0.9 %, 최대 직경 부위에서 치수 에러가 0.6 % 정도였다. 그러므로, 직선 열선 절단 실험에

서 얻어진 절단 오프셋 식을 곡면에도 사용할 수 있음을 알 수 있었다. 본 예제 조형시 총 조형 시간은 12분이었다.

### 2.2.2 스패너 형상 제작 실험

VLM-SP 장치를 이용하여 Fig. 11과 같은 스패너를 제작하였다. 스패너(Spanner)의 치수는 Fig. 11과 같다. 스패너의 경우 전체 단위 형상 조각은 5개이고 5층으로 구성되어 있다. 또한, 열선 절단기 속력은 50 mm/s, 열선 입열량은 1.19 Watt로 하였다. 본 예제는 산업 현장에서 널리 사용되는 제품으로 본 공정의 산업적 적용성을 검토할 수 있는 실제적인 예제이다. 본 장치를 이용하여 생성된 스패너를 박판 재료 적층 공정 및 용착 조형 공정을 이용하여 제작된 스패너와 외곽 형상, 정밀도, 적층 속도 및 총 제작비를 비교하였다.

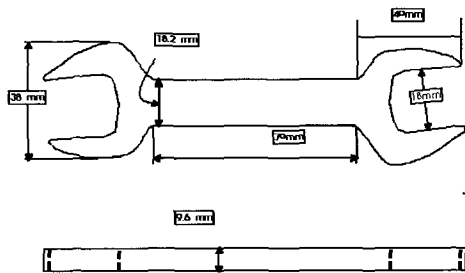


Fig. 11 Dimension of spanner shape

본 실험 결과 Fig. 12(c)와 같은 스패너가 조형되었다. Fig. 12는 VLM-SP 장치, 박판 재료 적층 공정(LOM) 및 용착 조형 공정(FDM)으로 제작된 스패너 시작품의 형상이며, 이 형상을 비교하면 거의 같은 외곽 형상이 구현됨을 알 수 있다. 또한, Table 2의 조형시간과 제작 단가 및 조형 정밀도를 비교해 볼 때 본 예제에 대하여서는 VLM-SP 공정이 효율적이고 경제적인임을 알 수 있었다.

본 형상에 대하여 VLM-SP 공정의 경우 박판 재료 적층 공정에 비하여 11배, 용착 조형 공정에 비해 25배 정도의 조형 속도를 나타내었다. 박판 재료 적층 공정과 비교하여 본 공정의 속도가 11배 정도로 높은 조형 속도를 나타내는 것은 박판 재료 적층 공정에 의하여 제작된 스패너 형상의 경우 기저(Base) 생성 시간이 2배 이상 증가하였고, 실제 조형 시간 또한 재료 이송 거리, 레이저 절단 거리 증가 및 각 코너 부위에서 형상을 유지하

기 위하여 데이터 수가 증가하여 가감속을 자주 수행하고 레이저 이동 안정성을 유지하기 위하여 절단 레이저 이동 속도를 줄이게 되어 실제적인 절단 속도가 현저히 감소하기 때문에 사료된다.

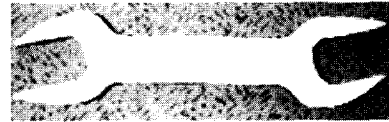


Fig. 12(a) Spanner shape using LOM



Fig. 12(b) Spanner shape using FDM



Fig. 12(c) Spanner shape using VLM-SP

Table 2 Comparison of building time, material cost and dimensional accuracy of spanner shape

Process	Total building time (Min)	Building Cost (Won)	Dimensional Accuracy (%)
LOM	80	17,960	0.89
FDM	181	45,250	0.63
VLM-SP	7	850	1.26

VLM-SP 공정의 경우 재료 이송 거리를 일정하게 수행하므로 재료 이송에 의한 시간 증가는 없으며, 절단 거리 증가에 의한 시간 증가 및 코너 부위에서 형상 유지를 위하여 데이터 수 증가에 따른 가감속 횟수 증가에 의한 조형 시간 증가만이 있으므로 실제 조형시간이 박판 재료 적층 공정보다 적게 증가하게 된다.

용착 조형 공정과 비교하여 본 공정의 속도가 25배 정도로 빠르게 나타났다. 이것은 용착 공정의 경우 공정 특성상 얇은 선으로 계속해서 내부를 채워야 되기 때문으로 사료된다.

본 형상에 대한 제작 단가 측면에서 위 3가지 공정을 비교하면 VLM-SP 공정이 다른 공정에 비해 20~53배

정도 저렴하게 나타났다. 이것은 공급 재료의 단가가 현저히 저렴하며, 레이저와 같은 고효율 전원을 사용하지 않기 때문으로 사료된다.

본 형상에 대한 정밀도 측면에서 위 3가지 공정을 비교하면 한 층의 평면내(In Plane)에서는 3가지 공정 모두 1% 전후의 치수 에러를 나타내었다.

### 2.2.3 크로버 펀치 형상 제작 실험

VLM-SP 장치를 이용하여 Fig. 13과 같은 크로버 펀치(Clover Punch)를 제작하였다. 크로버 펀치의 치수는 Fig. 12와 같다. 스페너의 경우 전체 단위 형상 조각은 11개이고 11층으로 구성되어 있다. 또한, 열선 절단기 속력은 50mm/s, 열선 입열량은 1.189 Watt로 하였다.

본 장치를 이용하여 생성된 크로버 펀치를 박판 재료 적층 공정 및 용착 조형 공정을 이용하여 제작된 스페너와 외곽 형상, 정밀도, 적층 속도 및 총 제작비를 비교하였다.

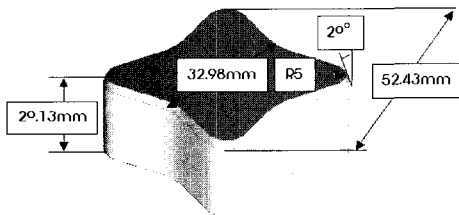


Fig. 13 Dimension of clover punch shape

본 실험 결과 Fig. 14(c)와 같은 크로버 펀치가 조형되었다. Fig. 14는 VLM-SP 장치, 박판 재료 적층 공정 및 용착 조형 공정으로 제작된 크로버 펀치 시작품의 형상이며, 이 형상을 비교하면 거의 같은 외곽 형상이 구현됨을 알 수 있다. 20°의 경사를 가지고 있는 최상단 층의 경우 정확히 경사각이 구현되어 식(2)를 통하여 제한된 경사각 계산식의 타당성을 확인하였으며, 경사각에 대한 4축 열선 절단기의 제어시스템이 정확히 구현됨을 알 수 있었다. 또한, Table 3의 조형시간과 제작 단가 및 조형 정밀도를 비교해 볼 때 본 예제에 대하여서는 연속형 가변 적층 폐속 조형 공정이 효율적이고 경제적인임을 알 수 있다. 본 형상에 대하여 VLM-SP 공정의 경우 박판 재료 적층 공정에 비하여 11배, 용착 조형 공정에 비하여 21배 정도의 조형 속도를 나타내었다.

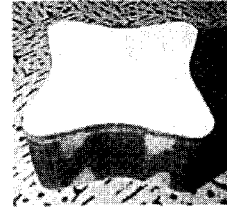


Fig. 14(a) Clover punch shape using LOM

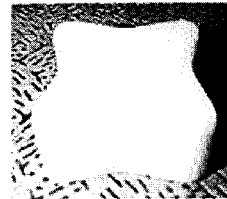


Fig. 14(b) Clover punch shape using FDM

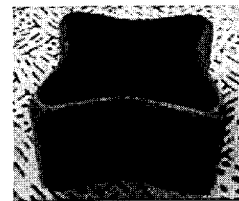


Fig. 14(C) Clover punch shape using VLM-SP

Table 3 Comparison of building time, material cost and dimensional accuracy of clover punch shape

Process	Total building time (Min)	Buiding Cost (Won)	Dimensional Accuracy (%)
LOM	105	26,753	0.08
FDM	193	48,250	0.56
VLM-SP	9	1,370	1.26

본 형상에 대하여 박판 재료 적층 공정 및 용착 조형 공정과 비교하여 본 공정의 조형 속도가 현저히 빠른 이유는 스페너 형상 제작시와 같은 이유로 사료된다.

형상에 대한 제작 단가 측면에서 위 3가지 공정을 비교하면 VLM-SP 공정이 다른 공정에 비해 19~35배 정도 저렴하게 나타났다. 이것은 공급 재료의 단가가 현저히 저렴하며, 레이저와 같은 고효율 전원을 사용하지 않기 때문으로 사료된다. 또한, 용착 조형 공정의 경우

한층 당 체적이 작은 경우 재료 소비량과 조형 시간이 모두 줄어들어 제작 단가가 감소한 것으로 사료된다.

본 형상에 대한 정밀도 측면에서 위 3가지 공정을 비교하면 한 층의 평면내(In Plane)에서는 3가지 공정 모두 1% 전후의 치수 에러를 나타내었다.

### 3. VLM-SP 시작품을 이용한 패속 툴링

VLM-SP 공정에 의하여 제작된 제품을 산업 현장에서 사용하기 위해서는 충분한 기계적 성질을 보유하여야 한다. 특히, 금속으로 제작된 제품의 경우 공업적으로 다양하게 사용될 수 있다.

#### 3.1. 로스트 폼 주조 및 풀 몰드 주조

VLM-SP 공정은 공급 재료를 발포 폴리스티렌 폼을 사용한다. 발포 폴리스티렌 폼을 이용하는 2차 공정으로는 로스트 폼 주조(Lost Foam Casting)와 풀 몰드 주조(Full Mold Casting)가 산업 현장에 많이 사용되고 있다.<sup>(11-12)</sup> 로스트 폼 주조와 풀 몰드 주조는 발포 폴리스티렌 폼으로 목형(Pattern)을 제작한 후, 이것을 코어로 하여 주형(Mold)을 제작하고 코어를 빼내지 않고 용융 금속을 부어 목형을 소각시키면서 용융 금속이 주형 내부를 채워 제품을 제작하는 공정이다. 로스트 폼 주조와 풀 몰드 주조는 형상과 크기에 제한이 없으며, 주조가 가능한 모든 금속에 적용이 가능하고 드래프트(Draft)가 요구되지 않으며 플래쉬(Flash)가 존재하지 않는 장점이 있다. 풀 몰드 주조나 로스트 주조에 의하여 생성된 제품은 정밀도와 표면 조도를 보정하기 위하여 후가공을 수행한다.

#### 3.2. VLM-SP 시작품을 이용한 금속 제품 제작

본 연구에서는 VLM-SP 공정에서 제작된 시작품의 2차 공정에 대한 적용성을 입증하기 위하여 풀 몰드 주조와 로스트 폼 주조를 응용한 석고 주조(Plaster Casting)를 수행하여 금속 제품을 제작하였다.

석고 주조시 주형을 만든 후 내부에 코어로 존재하는 발포 폴리스티렌 폼으로 제작된 시작품을 소각한다. 그 후, 용융 알루미늄을 주입하여 제품을 제작하였다. 스패너의 경우 Fig. 15와 같은 절차로 주조를 수행하였으며, 크로버 펀치의 경우 Fig. 16과 같은 절차로 주조를 수행하였다.

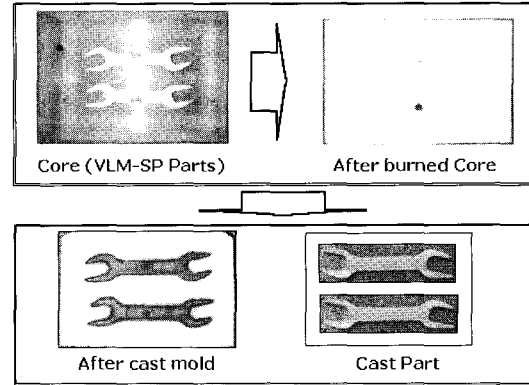


Fig. 15 Casting procedure of spanner shape

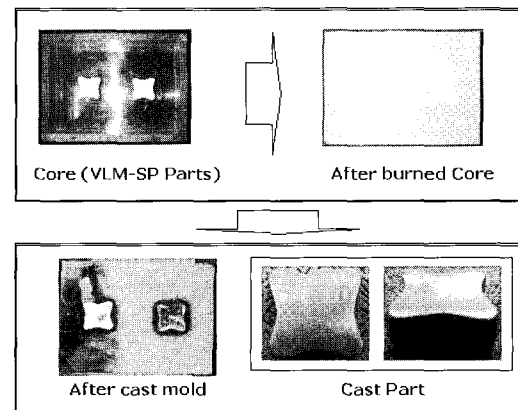


Fig. 16 Casting procedure of clover punch shape

몰드 제작시 스패너에 석고를 주입하면 발포 폴리스티렌 폼 내부에 존재하는 가스 성분들 때문에 약간 부풀어 오르는 현상이 있었다. 또한, 주조 완료시 표면이 조금 거칠었다. 이 현상 또한 몰드 제작시 폼 내부에 존재하는 가스 성분들에 의하여 석고와 반응하여 몰드 표면 조도에 영향을 주어 이 영향이 제품 표면에 나타난 것으로 사료된다. 주조는 중력 주조로 수행하였으며, 주조 결과 코너 부위에도 주물이 전체 영역에 잘 분포 되어 코너 부위가 반듯하게 구현되었다. 스패너와 크로버 펀치의 표면을 깨끗하게 하기 위하여 공작기계를 이용하여 후가공을 수행하였다.

본 실험 결과 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 패속 조형 공정 시작품을 이용한 금속 제품 제작 가능성을 입증하였다.



#### 4. 결 론

본 논문에서는 연속형 가변 적층 쾌속 조형 공정과 이 공정에 적합한 쾌속 툴링 공정을 이용한 3차원 제품의 정형 가공 공정 개발에 대하여 연구하였다. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 다양한 3차원 형상의 조형을 통하여 제안된 VLM-SP 공정에 의하여 임의 3차원 형상의 제품을 정형 가공할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, VLM-SP 로 제작된 시작품과 상용 공정인 박판 조형 공정 및 용착 조형 공정으로 제작된 시작품을 형상, 제작 속도, 조형 단가 및 정밀도 관점에서 비교한 결과 VLM-SP 공정이 효율적이고 경제적인 공정임을 알 수 있었다.

둘째, VLM-SP 공정으로 제작된 원형과 로스트폼 구조를 응용한 석고 구조를 이용한 쾌속 툴링 기법을 제안하였다. 또한, 본 공정을 이용하여 금속 스페너 및 클로버 펀치를 제작하여 VLM-SP 공정에 의해 제작된 원형과 본 쾌속 툴링 공정의 실용성 및 적용성을 확인 할 수 있었다. 그 결과 VLM-SP 공정에 의해 제작된 제품이 2차 공정을 이용하여 다양한 형상의 3차원 금속 제품을 제작할 수 있으므로 실제 산업 현장과 교육 일선에 광범위하게 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

셋째, 위 두가지 결론으로부터 VLM-SP 공정의 시작품을 이용한 쾌속 툴링 공정의 통합이 새로운 3차원 제품의 쾌속 정형 가공 방법으로 제안 될 수 있음을 알 수 있었다.

한편, 본 논문에서 제안된 쾌속 조형과 쾌속 툴링 공정을 이용하면 금속 제품을 빠른 시간내에 다양한 형상으로 제작할 수 있다. 그러므로, 단조, 압출등의 공정 개발을 위한 초기 형상 설계를 위한 모델 제작 및 유한 요소 해석 결과의 단계적 가시화에도 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 국가중점사업인 주문적응형 쾌속제품개발시스템 사업단의 “가변 용착/적층에 의한 직접적 쾌속조형공정 및 응용기술개발” 연구 결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

#### 참 고 문 헌

(1) Wohler, T., 2001, “Rapid Prototyping & Tooling

State of the Industry”, Wholer’s Associates Inc.  
 (2) Kulkarni, P., Marsan, A, Dutta, D, 2000, “A Review of Process Planning Techniques in Layered Manufacturing”, Rapid Prototyping Journal, Vol.6, Number 1, pp. 18~35.  
 (3) Jacobs, P. F., 1996, “Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling”, ASME Press.  
 (4) 양동열, 손현기, 2000, “쾌속제품개발을 위한 쾌속 조형의 최근 동향”, 한국정밀공학회지, 제17권 제10호, pp. 5~10.  
 (5) Schreiber, M. P., Clyens, S., 1993, “Blanking Tools Manufactured by Lamination Laser Cut Steel Sheets”, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> European Conference for Rapid Prototyping, pp. 168~176.  
 (6) Walczyk, D. F., Hardt, D. E., 1994, “A New Rapid Tooling Method for Sheet Metal Forming Dies”, Proceedings of the Fifth International Conference on Rapid Prototyping, pp. 275~289.  
 (7) Walczyk, D. F., Hardt, D. E., 1999, “A Comparison of Fabrication Methods for Sheet Metal Forming Dies”, Transactions of the ASME, Vol. 121, May, pp. 214~224.  
 (8) Manabu Kiuchi, 2000, “Technology Fusion in Metal Forming Field”, the 5th Joint Workshop on Production Technology, pp. 1~3.  
 (9) K. Kuzman, M. Geiger, A. Coremans, L. Cser, J. P. Kruth, 1999, “Rapid Sheet Metal Development chain supported by laser sintered active tool parts”, Proceedings of the 6th ICTP, Vol.II, pp.999~1004.  
 (10) 양동열, 안동규, 신보성, 이상호, 2000, “선형 열전단 시스템을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치”, 특허 2000-18175  
 (11) Degarmo, E. P., Black, T., Kohser, A. R., 1999, “Materials and Processes in Manufacturing”, John Wiley & Sons Inc, eighth edition, pp.393~396.  
 (12) Littleton, H. E., Miller, B. A., Sheldon, D., Bates, C. E., 1996, “Lost Foam Cating - Process Control for Precision”, AFS Transactions, Vol. 104, pp. 335~346.