

발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치 개발

안동규*, 이상호*, 양동열*, 신보성**, 박승교***, 이용일****

Development of Variable Lamination Manufacturing (VLM) Process and Apparatus by Using Expandable Polystyrene Foam

Dong Gyu Ahn*, Sang Ho Lee*, Dong Yol Yang*, Bo Sung Shin **, Seung Kyo Park***, Yong Il Lee****

ABSTRACT

Rapid Prototyping (RP) techniques have their unique characteristics according to the working principles: stair-stepped surface of a part due to layer-by-layer stacking, low build speed caused by point-by-point or line-by-line solidification to build one layer, and additional post processing to improve surface roughness, so high cost is required to introduce and to maintain the RP apparatus. The objective of this study is to develop a new RP process, Variable Lamination Manufacturing by using expandable polystyrene foam sheet as part material (VLM-S), and to design an apparatus for implementation of the process. So, the process parameters and design criterions of the apparatus were defined and the techniques were proposed to satisfy the design criterion. Based on the results, a knob-shape, pyramid shape, and a solid block were fabricated on the apparatus in which unit shape part (USP) was generated for building each layer.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변적층 쾌속조형), Expandable Polystyrene Foam(EPS Foam : 발포 폴리스티렌 폼), Process Design(공정 설계), Apparatus Design(장치 설계), Design Criterion(설계 기준), Process Parameter(공정 변수)

1. 서론

10년전 레이저 stereolithography를 이용한 쾌속조형공정이 산업 사회에 등장한 후 3차원 프린터 및 시제품 제작 역할을 수행하는 여러가지 쾌속조형 기술이 개발되었다. 현재 상용화되었거나 개발중인 대표적인 쾌속 조형 공정에는 StereoLithography Apparatus (SLA), Fused Deposition Modeling (FDM), Shape Deposition Manufacturing (SDM), Selective Laser Sintering (SLS), Laminated

Object Manufacturing (LOM), Inkjet Modeling Technology (SPI), 3D Printing, Multi-Jet Modeling (MJM), Objet Process (Objet)등이 있다.(1,2) 특히, 최근에는 3차원 프린터 역할을 수행하는 Z402, Thermojet, Genisys, Objet, JP5 등 소형 장비의 개발과 상용화가 현저히 증가하고 있다.

이러한 기존의 쾌속 조형 공정은 다음과 같은 문제점이 있다.

• 3차원 CAD 데이터를 z 방향으로 슬라이싱 하여 2차원 슬라이스 데이터를 얻는 과정에서 z

☐ 2001년 1월 4일 접수
* 한국과학기술원 기계공학과
** 한국기계연구원
*** ㈜ 메닉스엔지니어링
**** ㈜ 해라시스템

방향으로 계단형상의 단차가 생긴다.⁽³⁾

- 고정된 두께의 얇은 층 (LOM 의 경우 한 층의 두께는 0.1067 mm 임)과 선 형태로 적층하기 때문에 많은 조형 시간이 소요된다.⁽⁴⁾

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

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

이와 같은 기존의 쾌속 조형 공정의 문제점을 극복하기 위하여 정밀도 향상과 조형 시간을 획기적으로 단축시키며 후처리 공정이 거의 요구되지 않는 새로운 개념의 가변 적층 쾌속 조형 공정 (Variable Lamination Manufacturing: VLM)이 개발중에 있다. 특히, 현재 개발되고 있는 가변 적층 쾌속 조형 공정중 발포 폴리스티렌 폼 (Expandable Polystyrene Foam: EPS Foam)를 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정(VLM-S)^(5,6,7,8)은 장비 가격과 유지비가 저렴하며 Fig.1⁽⁹⁾과 같이 개념 모델, 로스트 폼 주조(Lost Foam Casting) 등 쾌속 조형 적용분야의 약 90% 이상에 적용할 수 있어 산업적으로 활용도가 높을 것으로 판단된다.

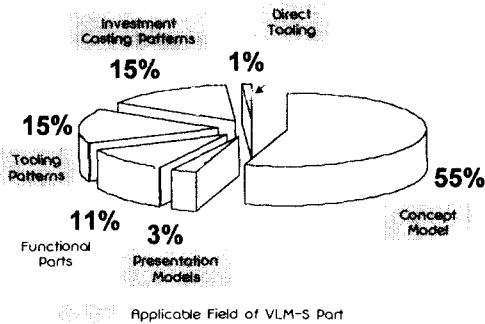


Fig. 1 Application field of Rapid Prototyping

본 연구에서는 VLM-S 공정을 설계하였고, 공정 설계를 구현하기 위한 VLM-S 장치 설계와 제작을 수행하였다. 또한, 각 공정별 주요 공정 변수 및 장치 설계 변수에 대하여 기술하였으며, 이 결과를 이용하여 3 차원 시작품을 제작하였다.

2. 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 설계

VLM-S 공정은 여러 가지 두께로 연속적으로 공급되는 판재띠를 4 자유도를 가진 선형 열선 절단 시스템으로 폭, 길이 및 측면 경사를 실시간 제어하여 3 차원 CAD 데이터와 일치되는 3 차원 형상을 절단하여 접착/적층함으로써 일체화된 3 차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다. Fig.2 는 VLM-S 공정 구성도이다. 현재 VLM-S 공정은 여러가지 모델로 개발되고 있다. 본 논문에서는 재료를 롤에 감아서 연속/단속적으로 공급하며, 연속적으로 단위 형상 조각을 생성하여 적층/접착하는 연속형 VLM-S 공정(Progressive Type : VLM-SP)에 대하여 기술한다.

VLM-S 공정은 Fig.2 와 같이 재료 저장/공급부, 형상 생성부, 재료 적층 및 접착부, 잔여 재료 절단/저장부 및 시스템 제어부의 5 가지 세부 공정으로 구성된다.

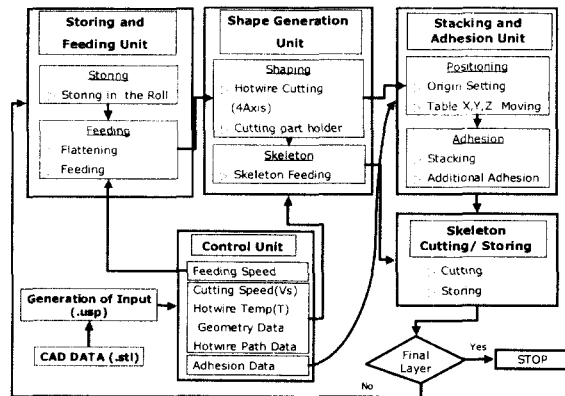


Fig. 2 Process flow of VLM-S

2.1 재료 저장 및 공급부

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 3 가지 단위 공정으로 구성된다.

재료 저장부는 재료를 연속 및 단속적으로 공급할 수 있도록 롤 형태로 구성된다. 또한, 사

용후 잔여 재료의 량을 측정하여 롤 교환시기와 시작품 제작 중지 시기를 자동 결정하게 한다.

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. 특히, 판재띠의 곡률에 의하여 형상 절단시 오차 발생과 절단 조각을 잡을 때 발생하는 간극에 의한 적층 위치 오차를 유발 시킨다.

재료 평탄화 수행부는 발포성 폴리스티렌의 곡률 발생 부위의 내경쪽을 가열하여 입자를 성장시키며, 동시에 다단 롤러와 인장 부가 장치에 의한 인장 응력을 부가하여 평탄화를 수행한다.

재료 이송부는 재료를 연속 및 단속적으로 공급할 수 있으며, 공급되는 판재띠에 평탄화에 소요되는 충분한 인장 응력을 공급할 수 있는 메카니즘으로 구성된다.

2.2 형상 생성부

형상 생성부는 공급된 발포 폴리스티렌 폼을 시스템 제어부에서 제공되는 형상 정보, 열선 온도, 열선 이동 경로 및 열선 이송 속도를 이용하여 3 차원 목적물의 각층에 해당되는 부분인 단위 형상 조각(Unit Shape Part : USP)을 생성한다. Fig.3는 단위 형상 조각 생성 절차를 나타낸다.

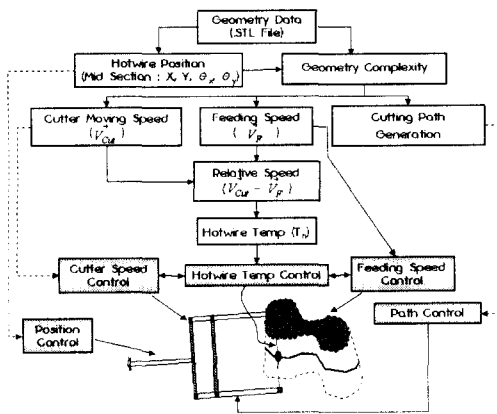


Fig. 3 Flow chart to generate Unit Shape Part

단위 형상 조각의 X, Y, θ_x , θ_y 데이터는 3 차원 CAD 데이터를 슬라이싱한 상하면의 데이터를 이용하여 상하면의 중간에 위치한 중간 단

면의 X, Y 데이터를 구하고 각 X, Y 데이터가 포함되는 표면 삼각형(facet)의 법선 벡터로부터 측면 경사 θ_x , θ_y 를 계산한다. 이웃하는 위치간의 최소거리는 시스템 제어부의 열선 이동 모터의 속도 제적에 의해 모터 불안정 거동이 일어나지 않는 범위에서 결정하였다. 속도 제적의 기본 형태는 Fig.4 과 같이 사다리꼴로 하였다.

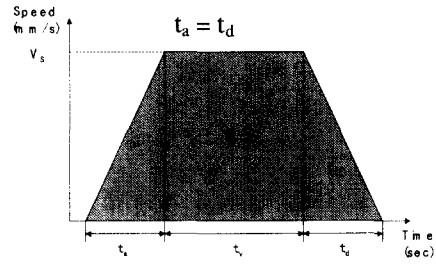


Fig. 4 Velocity profile of motors

모터 불안정 현상이 발생하지 않을 조건은 다음과 같다.

$$t_v \geq 0 \quad (1)$$

$$S/V_s \geq t_a \quad (2)$$

여기서, t_a 는 가속 시간, t_d 는 감속시간, t_v 는 등속시간, V_s 는 모터 선 속도이며 S 는 각 점간의 이동 거리이다.

단위 형상 조각 생성을 위하여 판재띠 절단시 열선의 초기 진입 방법은 Fig.5 와 같이 최종 절단 위치와 아주 작은량 만큼의 간격(Gap)을 주어 진입하도록 한다. 이 간격을 조절함으로써 최종 절단부위 버 발생을 최소화 시킬 수 있어 매끈한 절단면을 얻을 수 있다.

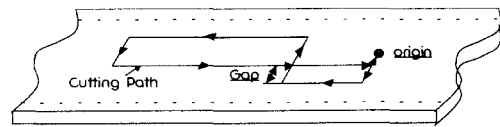


Fig. 5 Gap Control to improve cutting quality at final cutting point

2.3 재료 적층 및 접착부

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

시키는 부분이다. 적층은 형상 생성부에 제작된 단위 형상 조각을 지지하고 있는 절단 제품 위치 고정기가 수직으로 이동하여 적층 위치에 안착시킨다. 이때, 절단 제품에 형성된 전면과 후면의 경사가 적층시 안내자 역할을 하게 한다. 접착은 재료 공급시 바닥면에 접착제를 묻혀서 공급하여 적층과 동시에 접착이 될 수 있도록 한다. 또한, 접착 강도를 증가시키기 위해 Fig.6 과 같이 판재때 공급 방향에 수직한 방향(Y 축방향)으로는 지그-재그 형식으로 적층을 수행하였으며, 판재때 공급 방향(X 축 방향)으로는 단위 형상 조각 전후면의 경사를 주어 적층을 수행하였다.

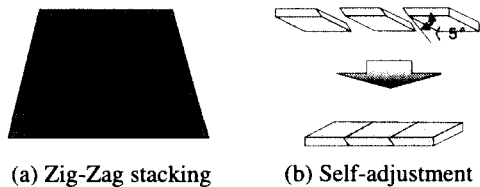


Fig. 6 Lamination technique to increase strength of the part

2.4 잔여 재료 절단 및 저장부

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.

2.5 시스템 제어부

시스템 제어부는 3 차원 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 형상 조각 지지 시간/순서, XYZ 테이블 위치 및 잔여 재료 절단 속도 등을 결정하여 VLM-S 장비가 3 차원 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.

3. 발포 폴리스티렌 폼

발포 폴리스티렌 폼은 폴리스티렌 수지에 프로판(Propane), 부탄(Buthane), 석유 에테르(Ether) 등의 입상 수지를 발포제로 사용하여 20 배 이상의 배율로 발포 시킨 후, 200 ~ 260 °C 에서 사출 또는 압출하여 제작한다. 특히, 판재 형태의 발포 폴리스티렌 폼은 압출된 재료의 두께를 조절하기 위해 다단 롤을 통과 시킨 후 롤에 감아서 보관하게 된다. 그러므로, 발포 폴리스티렌 폼은 롤링 방향과 롤링 방향에 수직한 방향의 입자 길이가 다르게 되어 이방성(Anisotropy) 특성이 나타나게 된다. 그 결과 열선 절단시 롤링 방향과 롤링 방향에 수직한 방향으로 절단 특성이 다르게 나타나게 된다. 그러므로, 재료 이방성 특성은 열선 이동 속도를 결정하는 주요 인자가 된다.

본 공정에 사용된 발포 폴리스티렌 폼은 캐속 조형공정 특성에 적합한 밀도가 높고 발포 비율이 낮아 치수 변화가 거의 없으며, 강성이 높아 지지대를 최소화 할 수 있는 재료를 선정하였다. Table.1 은 발포 폴리스티렌폼의 기계적 성질을 나타낸다. 폼 재료의 경우 본 공정에서 사용하고 있는 열선을 이용하여 절단할 경우 절단력이 거의 영에 가깝다. 또한, 폼 재료에 의한 조형된 제품은 건축물 모형 제작, 캐릭터 상품 제작 및 로스트 폼 구조 등에 다양하게 이용될 수 있다. 로스트 폼 구조의 경우 실제 산업 현장에서는 금형 제작에 많이 사용되고 있어 본 재료를 이용한 조형 제품의 활용도가 높을 것으로 사료된다.

Table 1 Mechanical Properties of the Expandable Polystyrene Foam Sheet

밀도 (g/mm ³)	인장 강도 (MPa)		열변형 온도 (°C)	연화 온도 (°C)
	R.D.	T.D.		
6.26× 10 ⁻⁵	1.727	1.163	90 ~ 95	79

4. 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 캐속 조형 장치 설계 및 제작

VLM-S 장치는 2 장에서 기술된 것과 같이 5 가지 세부 공정으로 구성된다.

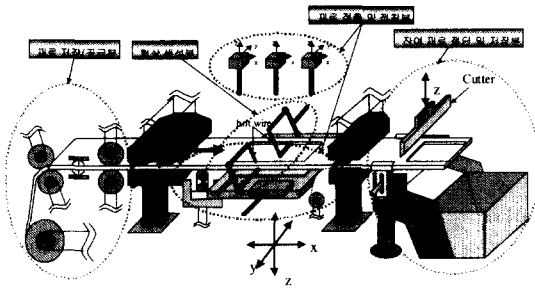


Fig. 7 VLM-S apparatus schematics



Fig. 8 VLM-S apparatus

Fig.7 은 VLM-S 장치 개념도이고 Fig.8 는 장치를 나타낸다. 본 장치의 제작 가능 크기는 300 mm× 250 mm× 250 mm 이며, 한층 적층 두께는 2 mm 이다.

4.1 재료 저장 및 공급부

본 세부 공정의 장치 설계는 2.1.절의 언급된 요구조건을 만족하기 위하여 Fig.9 과 같이 설계되었다.

판재피는 Fig.9 과 같이 롤에 감겨서 보관된다. 롤에 저장되는 재료의 량은 300 mm× 250 mm × 250 mm 크기의 시작품을 2 개 정도 제작할 수 있도록 되어 있다. 또한, 롤의 잔여 재료량을 측정하여 롤 교환시기와 장치 작동 중지를 예측하기 위하여 광센서를 이용한 재료 측정 시스템이 부착되어 있다.

롤에 저장되는 재료의 폭을 결정하는 설계 기준은 잔여 재료폭에 의한 단순인장(Net Tension), 열선 절단시 발생하는 재료의 측면 강성(Lateral Rigidity) 및 열선 절단 오차 최소화(Cutting Error Minimization)이다.

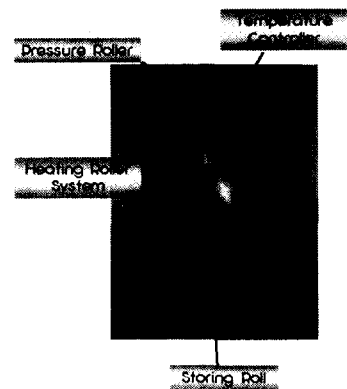


Fig. 9 Strip storing and feeding system

Fig.10 은 절단 가능 폭(W)과 잔여 재료 폭(S)의 조합에 대한 단순 인장과 측면 변형 해석 결과이다. 본 해석에서는 I-DEAS Master Series V6 를 사용하였으며, 재료 모델링은 이방성을 고려하기 위하여 직교 이방성(Orthotropic) 모델을 이용하였다. 본 해석 결과 인장 파괴가 발생하지 않고, 측면 변위가 2.4×10^{-1} mm 이하가 되는 절단 가능폭과 잔여 재료폭 조합으로 공급 재료 크기를 설정하였다.

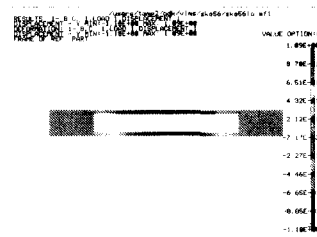


Fig. 10 Finite element analysis results
(Load condition = 20N, Skeleton = 8mm)

재료 평탄화를 위하여 Fig.9 와 같이 가열된 롤러를 재료 바닥면에 롤링 접촉하게 하여 열을 판재피에 전도로써 전달되도록 한 후, 이 열에 의하여 재료의 입자를 성장시키며 인장 클러치에 의해 발생하는 인장력을 부가하고 3 단 롤러를 통과시킨다. 또한, 롤러의 온도를 항상 일정하게 유지하기 위하여 자동 온도 제어 장치가 부착되어 있으며, 재료 이송시에만 평탄화를 수행하기

위하여 유압 작동기를 시스템 제어부에서 제어하도록 되어 있다. 이때, 평탄도(F)에 영향을 미치는 주요 공정 변수는 식(3)과 같다.

$$F = f(V_f, T_h, D_s, F_T) \quad (3)$$

여기서, V_f 는 재료 이송 속도, T_h 는 롤러 온도, D_s 수직 높이 조절 롤러의 이동 거리이고 F_T 는 초기 인장력이다.

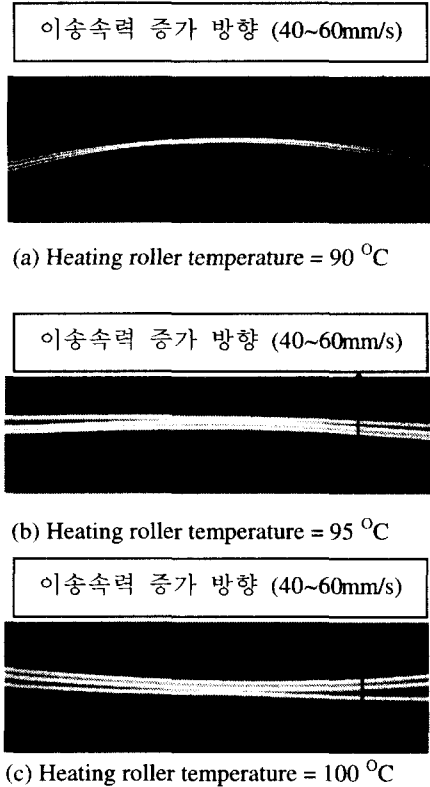


Fig. 11 Relationship between strip curvature and heating roller temperature

실험 결과 각 가열 롤러 온도에 대한 관재 띠 곡률변화는 Fig.11 과 같이 나타났다. 그리고, 본 공정에서는 이송 속도를 40~50 mm/sec, 가열 롤러 온도를 95 °C 부근으로 고정하였다.

4.2 형상 생성부

본 세부 공정의 장치 설계는 2.2.절의 언급된 요구조건을 만족하기 위하여 Fig.12 와 같이

설계되었다.

VLM 공정의 특징인 단위 형상 조각의 측면 경사를 구현하기 위하여 4 축 열선 절단기 시스템을 설계/제작 하였다.

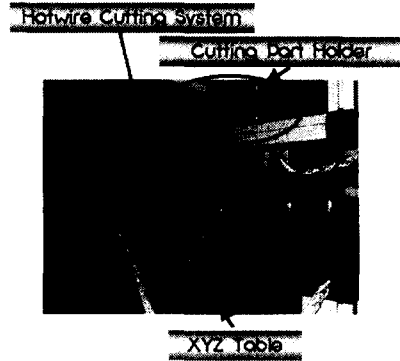


Fig. 12 Shape Generation System

4 축 열선 절단기는 4 개의 스텝핑 모터에 의하여 제어된다. 열선 절단기는 사다리꼴 링크 메커니즘을 사용하여 단위 형상 조각 절단 중 열선 길이를 항상 일정하게 유지하며, 열선 절단기의 수직 방향 중심은 회전시에도 중간 단면 위치와 항상 일치하도록 설계하였다.

열선의 설계 기준은 최고 절단 가능 속도, 절단 오프셋, 절단중 열선 휨 정도, 순간적인 과도 열변형(Thermal Instability) 및 저주기 피로(Low Cycle Fatigue)이다.

위 5 가지 설계 기준을 고려하여 주성분이 Ni 77%, Cr 20%, Mn 2%, Fe 1%인 열선을 선택하였다. 또한, 열선 직경은 0.15 mm 에서 0.36 mm 까지 선택적으로 사용할 수 있으며, 이에 따라 열선 최대 절단 가능 속도는 롤링 방향으로 110 mm/sec 까지 가능하다. 그러나, 롤링 방향에 수직인 방향의 최대 절단 가능 속도는 재료 이방성 특성에 의하여 롤링 방향 최대 절단 가능 속도의 64%까지만 가능하다. 롤링 방향에 대한 최대 절단 가능 속도와 단위 길이당 발열량의 관계는 식(4),(5)와 같으며 식(6)는 직경 0.36 mm 에 대한 실험 결과이다.

$$V_{HMAX} = C_1 \times Q_L + C_2 \quad (4)$$

$$C_1, C_2 = f(\text{절단 재료}) \quad (5)$$

여기서, Q_L (watt/mm) 은 단위 길이당 열선 발열량이고 해당 발열량에 대한 최대 절단 가능 속도가

며 C_1, C_2 는 상관 계수이다.

Fig.13의 A 영역은 직경 0.36 mm의 열선에 대한 최대 절단 가능 속도 영역과 조직을 나타낸다. 또한, 식(6)을 나타내는 선상에 위치한 절단조건에서는 Fig.13과 같이 절단면의 조직은 거의 차이가 없었다.

$$V_{HMAX} = 196.35 \times Q_L + 8.15 \quad (6)$$

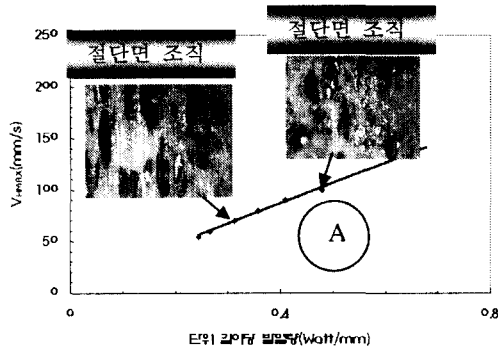


Fig. 13 Relationship between maximum allowable cutting speed and heat generation of hotwire per unit length

열선이 단위 형상 조각 절단 중 휘는 현상을 방지하기 위하여 열선 절단기에 초기 인장력 발생 메커니즘을 부가 하였으며, 속도 영역을 40mm/sec 이하에로 제한하였다. 초기 인장력은 과도 열변형이 발생하지 않도록 범위에서 부가한다. 또한, 열선에 절단중 발생하는 반복 응력에 의한 저 주기 피로현상에 대처하기 위하여 주기적으로 열선을 교환할 수 있도록 카트리지(Cartridge)형의 열선 교환 단위를 개발하였다

4.3 재료 적층 및 접착부

본 세부 공정의 장치 설계는 Fig.14와 같다.

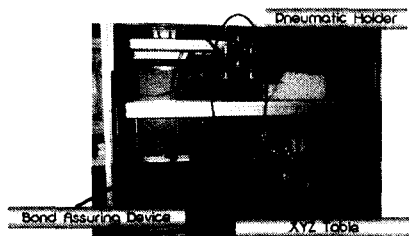


Fig. 14 Stacking and adhesion system

본 장치는 절단 제품 고정기(Cutting Part Holder), XYZ 테이블 및 접착 보조 장치(Bonding Assurance Device)로 구성된다. 절단 제품 고정기는 열선에 의해 단위 형상 조각 생성중 단위 형상 조각의 흔들림에 의한 절단 오차를 최소화 시키며, 절단후 단위 형상 조각을 XYZ 테이블 위에 정확히 적층 시키는 역할을 수행한다. 절단 제품 고정기는 공압 흡입 시스템으로 되어 있다. 절단 제품 고정기 설계 기준은 공압 펌프의 용량과 흡입구의 직경이다. 설계식은 식(7)과 같다.

$$\Delta P = 4 \times (\rho Vg)/(\pi d^2) \quad (7)$$

여기서, ΔP 는 펌프에 의한 압력 강하(약 0.2기압)이고 ρ 는 발포 폴리스티렌 폼의 밀도이며 V 는 단위 형상 조각의 최대 체적(300 mm× 250 mm× 2 mm)이고 d 는 절단 제품 고정기의 내경이다.

열선 절단기의 단위 형상 조각 절단시 절단 제품 고정기와 열선 절단기의 간섭을 방지하기 위하여 Fig.15와 같이 엔코더(Encoder)로써 펄스 신호를 받아들여 절단 제품 고정기 이동 순서를 제어한다.

XYZ 테이블은 단위 형상 조각 절단 완료전, 단위 형상 조각에 해당되는 CAD 데이터의 3차원 좌표와 일치되는 위치로 이동하여 적층이 정확히 수행되도록 대기한다. 적층 완료후 1차적으로 접착된 단위 형상 조각을 보조 장치로 이동시켜 접착 보조 장치로 이동시킨다. 접착 보조 장치는 적층시 1차적으로 접착된 단위 형상 조각을 전체적으로 균일한 압력으로 눌러서 접착력을 극대화 시키는 역할을 수행한다.

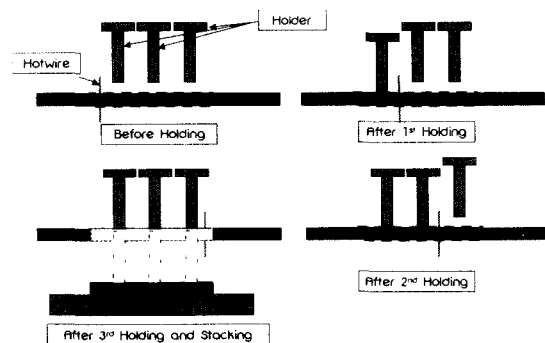


Fig. 15 Sequence control of cutting part holder

본 공정에 사용된 접착제의 주성분은 초산비닐수지 화합물 32% 와 메탄올 68%이며, 무독성이다. 본 공정은 열선에 의한 단위 형상 조각 절단시 발화가 메탄올 함량이 72%이상인 경우 발화가 되었다. 그러므로, 메탄올 성분을 70%이하로 하였다.

4.4 잔여 재료 절단 및 저장부

본 세부 공정의 장치 설계는 Fig.16 과 같다.



Fig. 16 A skeleton cutting and wasting system

본 장치는 형상 생성부에서 단위 형상 조각을 생성한 후 남게 되는 잔여 재료를 공압 절단기를 이용하여 주기적으로 절단하도록 하였다. 또한, 절단된 잔여 재료는 중력에 의하여 저장 장치에 인도되도록 하였다.

4.5 시스템 제어부

본 시스템 제어부는 Fig.17 과 같이 위 4 가지 공정을 Window 환경에서 전 자동 및 부분 자동으로 제어할 수 있도록 구성하였다.

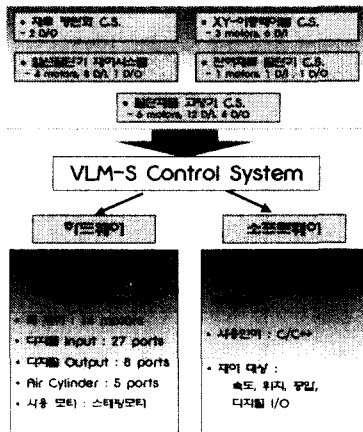


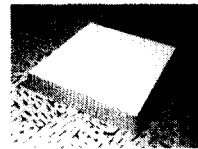
Fig. 17 VLM-S control system

본 제어부는 하드웨어와 소프트웨어로 구성된

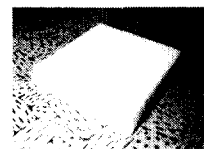
다. 하드웨어는 500 MHz 급 이상의 PC 에서 제어될 수 있는 다중 모션 제어 보드(MMC Board)를 사용 하였으며, 14 축 스텝핑 모터 제어, 27 개의 디지털 입력과 8 개 디지털 출력 및 5 개의 공압 실린더 제어 포트(port)로 구성되어 있다. 그리고, 소프트웨어는 C 와 C++ 언어를 이용하여 Window 상에서 구현될 수 있도록 하였으며 제어대상은 속도, 위치, 공압 및 디지털 입출력이다.

5.3 차원 형상 제작

위와 같은 공정 설계 및 장치 설계 조건으로 제작된 프로토타입 연속형 VLM-S 장치의 각 세부 공정들을 이용하여 3 차원 형상의 시작품을 제작하였다. 먼저, 본 공정의 효율성과 정밀도를 비교하기 위하여 Fig.18 와 같이 기저 치수가 60mm× 60mm 이고 높이가 9.8mm 이며, 경사각이 15° 인 절단된 피라미드를 제작하여 본 공정과 박판 재료 적층 공정 (LOM) 및 용착조형공정 (FDM)으로 제작하였다.



(a) LOM 제작 제품

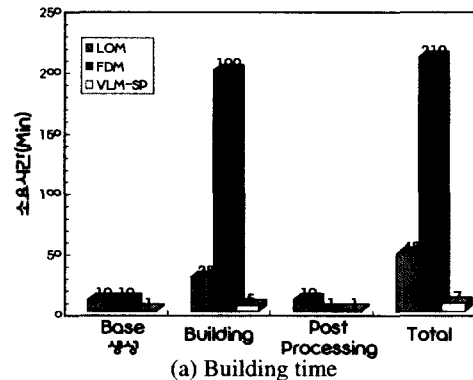


(b) FDM 제작 제품



(c) VLM-SP 제작 제품

Fig. 18 Comparison of the part shape between LOM, FDM, and VLM-SP



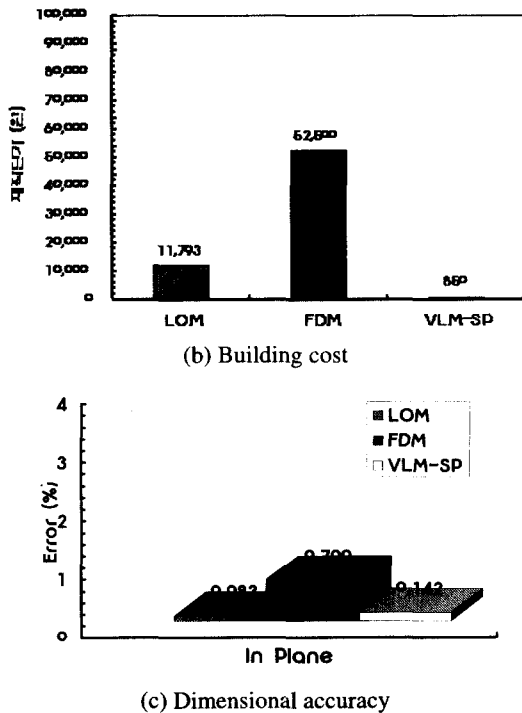
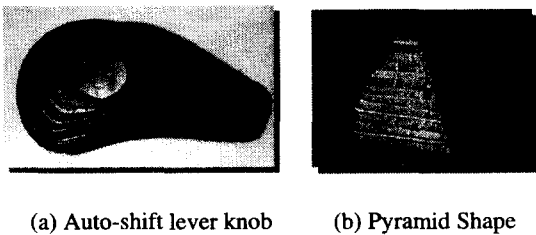


Fig. 19 Comparison of building time, building cost and dimensional accuracy of the truncated pyramid shape

그 결과, 본 형상에 대하여서는 정밀도의 경우 3 공정 모두 1% 정도의 비슷한 값을 나타내었으나, 제작 단가와 제작 시간의 경우 본 공정이 박판 조형 공정과 용착 조형 공정 보다경제적이고 효율적인 공정임을 알 수 있었다. 또한, 본 공정을 이용하여 Fig.20 과 같은 3 차원 시작품인 EF Sonata 오토시프트 레버 노브(Auto Shift Lever Knob)를 제작하였다.



(a) Auto-shift lever knob (b) Pyramid Shape

Fig. 20 Fabrication of test parts by using VLM-SP

6. 결론

기존의 쾌속 조형 공정 및 장치의 문제점인 계단 형상 발생, 장시간의 조형 시간 소요, 고가의 장비 가격과 유지비 및 추가적인 후처리 공정 소요등을 해결 할 수 있는 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치를 개발되고 있다. 본 연구에서는 가변 적층 쾌속 조형 공정 설계, 장치 설계/제작 및 설계 기준에 대하여 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 가변 적층 쾌속 조형 공정에 요구되는 세부 공정과 주요 요소 기술들을 정의하여 분류하여 공정을 확립 할 수 있었다.

둘째, 공정 설계를 구현하기 위한 장치 설계/제작을 수행하였으며 각 세부 공정 설계시 요구되는 설계 변수와 기준을 정의할 수 있었다.

셋째, 장치의 각 세부 공정에 대한 설계 변수에 대한 실험과 해석을 수행하여 설계 기준을 만족시키는 장치 설계 및 제작을 할 수 있었다.

넷째, 위 3 가지 결과를 이용하여 3 차원 형상인 EF Sonata 오토시프트 레버 노브, 피라미드 및 솔리드 블록을 제작하였다. 특히, 절단된 피라미드 형상의 경우 본 공정이 경제적이고 효율적인 공정임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. S. A. McMains, "Rapid Prototyping of Solid Three-Dimensional Parts," Master's Project under the direction of Carlo Sequin, 1995.
2. 양동열, 안동규 "쾌속조형공정의 원리 및 기술동향" 월간 프레스 기술 12 월호 pp. 41~63, 2000.
3. A. F. Lennings, J. J. Broek, I. Horvath, A. de Smit, J. S. M. Vergeest, "Prototyping large-sized objects using freeform thick layers of plastic form," Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp. 97-104, 1998.
4. A. Novc, S. Kaza, Z. Wang, C. Thomas, "Techniques for Improved Speed Accuracy in Layered Manufacturing" Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp. 609-617, 1996.
5. "선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치"특허 2000-18175,

2000.

6. 안동규, 이상호, 양동열 외 3 인 “발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 설계 및 개발,” 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집 pp. 759~762, 2000.
7. 안동규, 이상호, 양동열 외 2 인 “가변 적층 쾌속 조형 공정 개발을 위한 발포 폴리스티렌 폼의 선형 열선 절단시스템 절단 특성 및 접착강도 특성에 대한 연구,” 한국정밀공학회 제 17 권 제 12 호 pp. 185~194, 2000.
8. Variable Lamination Manufacturing(VLM) Process and Apparatus” U.S. Patent 091804, 175, 2001.3.12.
9. Tom Mueller “Fundamentals of Rapid Prototyping” RP&M 2000 Conference Tutorial Notes