

단속형 재료공급식 가변적층 쾌속조형공정 및 장치 개발에 관한 연구

안동규*, 이상호*, 최홍석*, 양동열*, 박승교**

Investigation into Development of Transfer Type for Variable Lamination Manufacturing Process and Apparatus

Dong-Gyu Ahn*, Sang Ho Lee*, Hong Seok Choi *, Dong-Yol Yang*, Seung Kyo Park **

ABSTRACT

In order to reduce the lead-time and cost, the technology of rapid prototyping (RP) has been widely used. However, RP technologies have disadvantageous characteristics according to their working principle: low building speed, high cost for introduction and maintenance of RP apparatus, stair-stepped surface and additional post processing.

A new rapid prototyping process, as a transfer type of Variable Lamination Manufacturing by using expandable polystyrene foam (VLM-ST), has been developed to reduce building time, apparatus cost including the introduction and the maintenance and additional post-processing. The objective of this study is to propose a VLM-ST process and to develop an apparatus for implementation of the process. Design criteria of the apparatus are defined and the techniques are proposed to satisfy the design criterion. In order to examine the efficiency and applicability of the developed process, various three-dimensional shapes, such as a world-cup logo, a knob shape, an extruded cross, a twisted shape, a character, Son-o-kong, a helical gear shape and a scissor shape are fabricated on the apparatus in which unit shape layer (USL) was generated to build up each layer.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing(가변적층 쾌속조형), Transfer Type (단속적 재료 공급 방식), Process Design(공정 설계), Apparatus Design(장치 설계)

1. 서론

오늘날 수요자의 다양한 기호에 따라 제품 모델이 다양화되고, 국내외 시장에서 경쟁이 치열해지면서 제품 개발기간과 시작기간 및 비용의 단축이 절실히 요구되고 있어 모든 산업분야에서 제품의 시장 도입시기, 즉 제품의 납기를 앞당기려는 여러 가지 시도를 경주하고 있다. 이러한 시장의 요구에 효과적으로 대처하고, 제품의 경쟁력을 제고하기 위해서는 제품의 설계에서부터

시작품 생산에 이르는 제품 개발에 소요되는 비용과 시간을 절감하여 신속하고 저렴하게 제품을 시장에 출하하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 그러므로, 이러한 시장의 요구를 만족시키고 기존 제품 개발에서 나타나는 장시간의 개발 기간을 단축할 수 있는 한가지 대안으로 동시공학개념의 새로운 시작품 제작 공정인 쾌속조형(Rapid Prototyping : RP)이 도입되었다. 특히, 쾌속조형공정은 CAD/CAM 환경에서 제품의 설계부터 조립까지 모든 공정을 쉽고 빠르게 수행하여

2001년 8월 22일 접수
* 한국과학기술원 기계공학과
** 메닉스엔지니어링

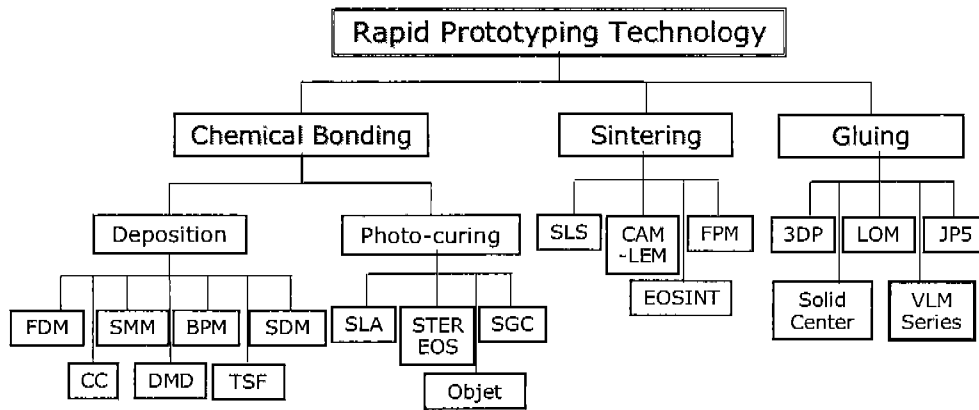


Fig. 1 Classification of the Currently Developed Rapid Prototyping Process

시작품을 제작하는데 가장 큰 장점이 있다⁽¹⁾. 미국을 중심으로 하여 1986 년에 레이저 stereolithography 를 이용한 SLA 공정이 개발되기 시작하여 Fig.1 과 같이 3 차원 프린터 및 시작품 제작 역할을 수행하는 20 여가지 이상의 쾌속조형 공정들이 개발 되었다⁽²⁾. 그러나, 현재까지 개발된 공정의 경우 장시간의 조형 시간, 고가의 장치 도입/유지비 및 추가적인 후처리 공정의 소요등의 문제점을 가지고 있다. 최근에는 Genisys, Thermojet, Z402, Objet 및 JP5 등 3 차원 가시화 (Visualization) 용 소형 장치의 개발이 두드러지고 있다⁽³⁾. 또한, 최근 송용억등에 의하여 수행된 교육기관, 정부출연연구소 및 산업체의 설문조사 결과에 따르면, 쾌속 조형 장치에서 개선 요구되는 사항의 경우 제작 시간, 정밀도, 장치 도입 가격, 시작품 크기, 저렴한 재료비, 후처리 작업 간소화 등이었다⁽⁴⁾.

특히, 제작 시간 최소화의 측면에서 두꺼운 층을 쌓아 올려서 3 차원 제품을 제작하는 공정에 대한 연구가 A. Novc, A. F. Lennings 및 R. L. Hope 등에 의하여 수행된 바 있다^(5, 6, 7). 또한, 국내에서는 D. Y. Yang, D. G. Ahn 등에 의하여 조형 시간을 획기적으로 단축시키고, 장비 가격 및 유지비가 현저히 저렴하며, 측면 경사에 의한 단차 현상을 최소화하고 후처리 공정이 거의 요구되지 않는 새로운 개념의 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 (Variable Lamination Manufacturing using Expandable Polystyrene Foam: VLM-S) 이 제안된 바 있다 ^(8,9,10).

VLM-S 의 경우 재료를 롤에 감아 연속적으로 공급시키며 절단/적층하는 연속형 (Progressive Type : VLM-SP) 과 정해진 규격의 재료를 단속적으로 공급하며 자동 절단과 오프 라인 (Off-Line) 에서 반자동으로 적층하는 단속형 (Transfer Type : VLM-ST) 두가지로 개발되고 있다. VLM-ST 의 경우 VLM-SP 와 달리 평탄화 공정과 잔여 재료 제거 공정이 요구되지 않으며, 적층 및 접착을 파일럿 핀 (Pilot Pin) 과 적층 보조 장치 (Building Board) 를 이용하여 반자동화함으로써 VLM-SP 에 비해 조형 속도가 현저히 증가되고 장치 가격이 획기적으로 저렴해진다. 그러므로, VLM-ST 는 교육 현장 및 산업 현장에 개념 및 프리젠테이션 모델러 (Concept and Presentation Modcler) 로 폭넓게 사용 가능하며, 2 차 공정을 이용하여 기능성 제품을 제작할 수 있어 실용적인 활용도가 높을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 VLM-ST 공정을 제안하였으며, 제안된 공정에 대한 공정 설계 및 공정 설계를 구현하기 위한 VLM-ST 장치 설계/제작을 수행하였다. 또한, 해석적 방법을 이용하여 열선 절단기 설계의 타당성을 입증하였다. 그리고, 제안된 공정 및 장치를 이용하여 다양한 3 차원 시작품을 제작하여 본 공정의 적용성과 효율성을 입증하였다.

2. 단속적 재료 공급식 가변 적층 쾌속 조형 공정 설계 (VLM-ST)

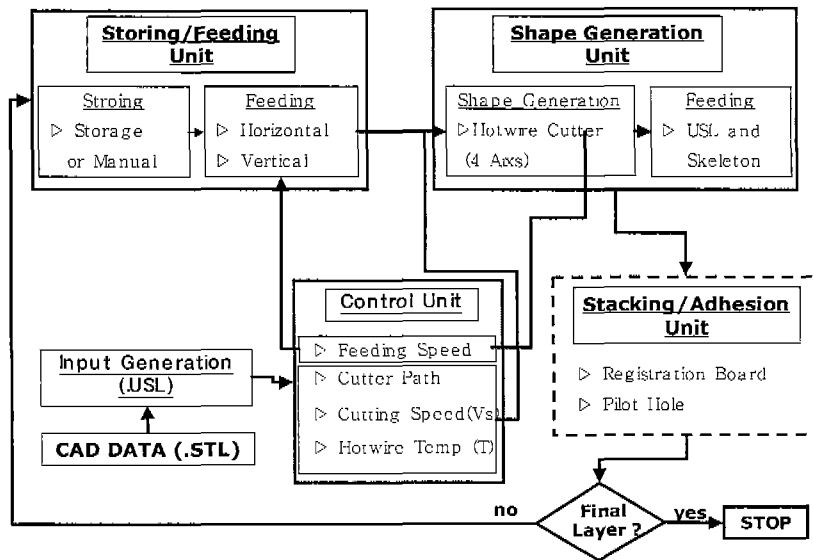


Fig. 2 Process flow of VLM-ST

VLM-ST 공정은 여러 가지 두께를 가진 일정 규격의 재료를 단속적으로 공급하여 4 자유도 동시 제어되는 선형 열선 절단기를 이용하여 재료를 폭, 길이 및 측면 경사를 실시간 제어하여 3 차원 CAD 데이터와 일치되는 3 차원 형상을 절단 한 후, 오프라인 (Off-Line) 에서 파일럿 편과 직층 보조 장치를 이용하여 접착/적층함으로써 일체화된 3 차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다. Fig.2 는 VLM-ST 공정 구성도이다.

모델로부터 조형 공정에 입력하기 위한 입력데이터 (.USL File) 생성과정과 이 데이터를 이용하여 3 차원 형상 제작을 수행하는 가변 적층 쾌속 조형 공정으로 구분된다 ⁽¹¹⁾.

2.1 입력데이터 생성 과정

입력데이터 생성 과정은 솔리드 모델링 (Solid Modeling) 된 3 차원 형상을 VLM-ST 공정에 의해 제품으로 제작되게 하기 위한 단위 형상층별 열선 절단 이동 위치 및 각 위치에서의 측면 경사각, 열선 열량, 열선 속도 및 파일럿 편과 기준 형상 (Reference Shape) 등의 정보를 생성하는 단계이다. VLM-ST 입력데이터 생성 단계는 Fig.4 의 흐름도 (Flow Chart) 와 같이 크게 6 단계로 구성된다. 첫번째는 .stl 로 저장된 솔리드 데이터를 입력데이터 생성 프로그램에 불러들이는 단계이다. 두번째는 .stl 데이터중 단면의 단차가 현저히 심한 부분을 몇개의 솔리드로 분리하는 단계이다 세번째는 입체 절단된 데이터로부터 일정한 두께로 슬라이싱 (Slicing) 하는 단계이다. 네번째는 슬라이싱된 상면과 하면을 이용하여 측면에 삼각형 패치 (Patch) 를 만드는 형상 복원 (Shape Reconstruction)을 수행한다. 다섯째는 형상 복원된 데이터를 이용하여 상하면의 중간으로 다시 슬라이싱을 수행하는 중간 단면 생성 과정 (Mid-

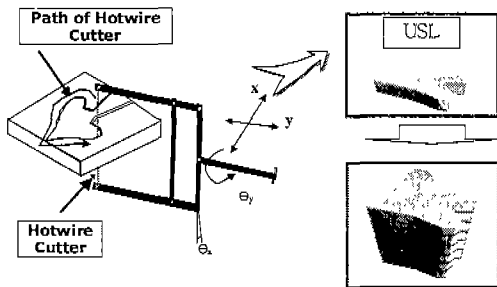


Fig. 3 Concept of the Unit Shape Layer and VLM-ST

VLM-ST 는 Fig.3 과 같이 한층에 하나의 3 차원 형상을 생성하는 단위 형상층 (Unit Shape Layer : USL) 개념을 이용한다. VLM-ST 공정은 솔리드

Contour Generation) 이다. 여섯번째는 형성된 중간 단면 데이터를 이용하여 실제 열선 절단기 이동 경로를 자동 생성하는 단계이다. 이 단계는 Fig.4 와 같은 4 개의 세부 단계로 구성된다.

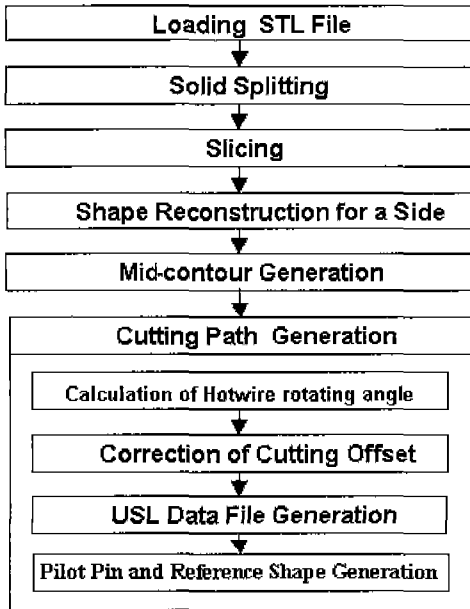


Fig. 4 Flow chart for generation of input data

가. 측면 경사각 계산 단계

측면 경사각 계산은 식 (1) 과 같다.

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

여기서, θ_x, θ_y 는 측면 경사각이며 패싯 (facet) 의 N_x, N_y, N_z 는 법선 벡터이다.

한편, U_x, U_y, U_z 는 식 (2) 와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} U_x \\ U_y \\ U_z \end{bmatrix} = \frac{1}{\|L\|} \begin{bmatrix} X_{end} - X_{start} \\ Y_{end} - Y_{start} \\ Z_{end} - Z_{start} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서, $\|L\|$ 은 패싯내의 두 점 (edge) 간의 거리이다.

나. 절단 오프셋 보정 단계

다. 각 단위 형상층에 대한 USL 데이터 생성 단계

라. 파일럿 핀과 단위형상층을 연결하는 기준 형상 생성 단계

Fig.5 는 입력데이터 생성과정을 정립사지 5 층 석탑을 이용하여 나타내었다.

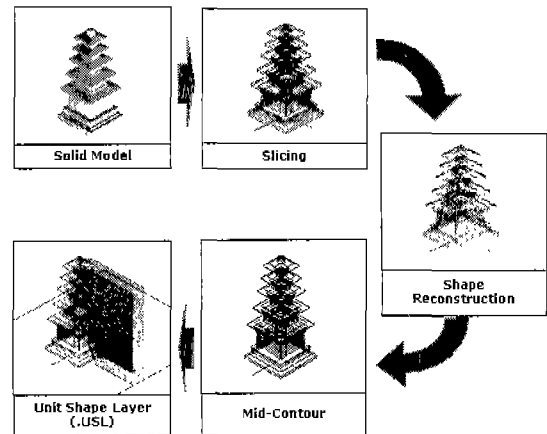


Fig. 5 Process flow for generation of input data

2.2 단속적 재료 공급식 가변 적층 쾌속 조형 공정 (VLM-ST)

VLM-ST 는 Fig.3 과 같이 재료 저장/공급부, 형상 생성부, 재료 적층 및 집착부 및 시스템 제어부의 4 가지 세부 공정으로 구성된다.

2.2.1 재료 저장 및 공급부

재료 저장 및 공급부는 형상 생성부에 소요되는 판재 (Plate) 형태의 발포 폴리스티렌 폼을 단속적으로 공급한다. 재료는 전체 재료를 저장 장치에 저장하여 전체 공정 순서에 맞추어 자동으로 공급될 수 있다. 초기 공급 재료에는 Fig.6 과 같이 형상 생성 후 적층을 정확하고 신속하게 수행하기 위한 적층 안내 구멍과 형상 생성부까지 이송을 위한 지지 구멍이 뚫어져 있다.

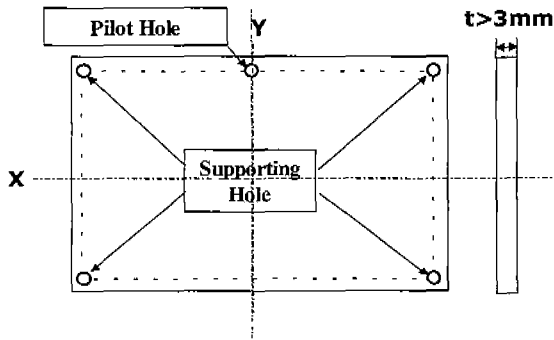


Fig. 6 Schematics of Feeding Material (A4 Size)

2.2.2 형상 생성부

형상 생성부는 공급된 판재 형태의 재료를 시스템 제어부에서 제공되는 형상 정보, 열선 온도, 열선 이동 경로 및 열선 이송 속도를 이용하여 3차원 목적물의 각층인 단위 형상층을 생성한다. Fig.7 은 단위 형상층 생성 절차이다.

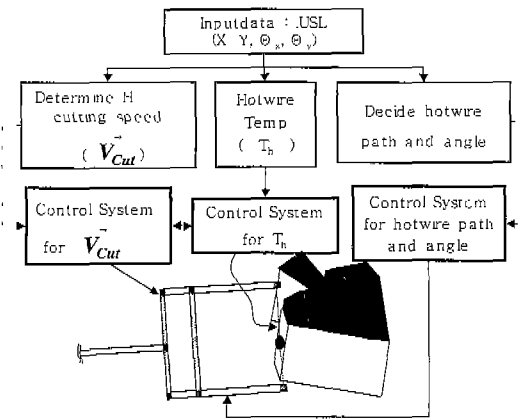


Fig. 7 Flow chart to generate Unit Shape Layer

2.2.3 재료 적층 및 접착부

재료 적층 및 접착부는 Fig.8 과 같이 형상 생성부에서 제작된 단위 형상층을 적층 보조 장치와 파일럿 핀을 이용하여 반자동으로 적층 한 후, 접착제로 접착시키는 공정이다. 이 세부공정은 자동 형상 생성후 오프라인에서 반자동으로 수행된다. 또한, 다중 연결 영역 (Multiple Connected Domain) 의 경우 형상 생성시 발생할 수 있는 절단 공간 (Cutting Gap) 을 보충하기 위한 후처리 공정도 포함한다.

2.2.4 시스템 제어부

시스템 제어부는 입력된 .USL 파일의 데이터를 이용하여 형상 생성 정보, 열선 절단기 경로 정보, 열선 절단기 절단 속도, 열선 온도 및 재료 이송 속도/간격등을 결정하여 VLM-ST 가 3 차원 제품을 신속/정확히 조형할 수 있도록 구성된 PC-NC 시스템이다. 전체 시스템은 개방형 제어 시스템이며, 4 축 열선 절단기 회로는 4 축 동시 제어를 수행할 수 있는 시스템으로 구성된다.

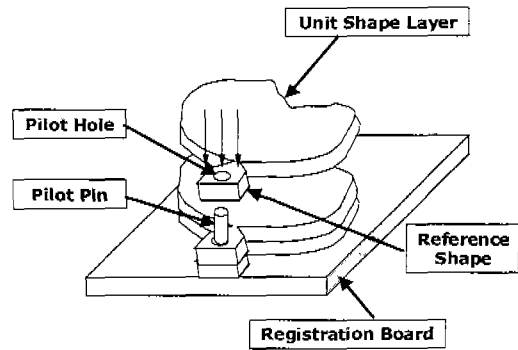


Fig. 8 Schematics of stacking using registration board

3. VLM-ST 장치 설계 및 제작

VLM-ST 장치는 2.2 절에서 기술된 것과 같이 4 가지 세부 공정으로 구성된다. Fig.9 는 재료 저장 및 공급부와 형상 생성부에 대한 개념도이고, Fig. 10 은 VLM-ST 장치를 나타낸다.

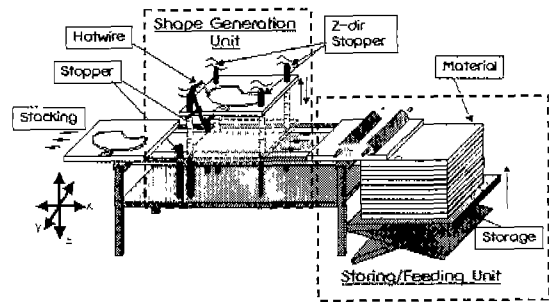


Fig. 9 Schematics of VLM-ST process

본 장치는 교육 현장과 사무실에서 사용될 수

있도록 탁상용으로 개발되었다. 본 장치의 제작 가능 크기는 평면내에서는 250 mm × 180 mm 이며, 최대 적층 높이는 제한이 없다. 한층의 적층 두께는 최소 3 mm 이상이다.

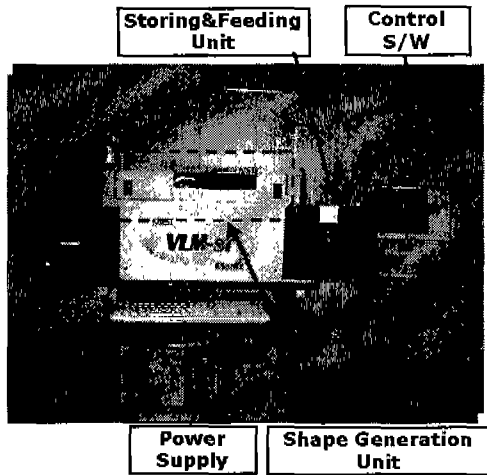


Fig. 10 Prototype of VLM-ST Apparatus

3.1 재료 저장 및 공급부

본 세부 공정의 장치 설계는 2.2.1.항의 언급된 요구조건을 만족하기 위하여 Fig.11 과 같이 설계되었다.

VLM-ST 의 재료 저장 및 공급부는 재료 저장 단위와 저장된 재료를 단속적으로 이송 시키는 이송 단위로 구성된다.

재료 저장 단위는 A4 크기의 판재 발포 폴리스티렌 폼을 단속적으로 공급할 수 있도록 재료 저장고와 위치 조절 장치로 구성하였다. Fig.11 (a) 는 재료 저장 단위 형상이고, 위치 조절 장치는 판재 발포 폴리스티렌 폼의 량에 따라 자동적으로 높이를 조절할 수 있도록 힌지에 토우션 스프링이 부착되어 있다. 또한, 재료 저장고는 장탈착이 가능하다.

재료 이송 단위는 판재 형태의 발포 폴리스티렌 폼을 단속적으로 공급할 수 있도록 이송 컨베이어 시스템 및 판재 발포 폴리스티렌 폼을 형상 생성부로 이송 시키는 수직 재료 이송부로 구성된다. 재료 이송 단위의 형상은 Fig.11 (b) 와 같다. 본 단위에서 전방 이송 장치에 부착된 모터에 의하여 컨베이어의 회전수가 결정되며, 후방

이송 장치는 전방 이송 장치에 벨트로 연결되어 컨베이어가 전방 이송 장치와 연동되어 작동한다.

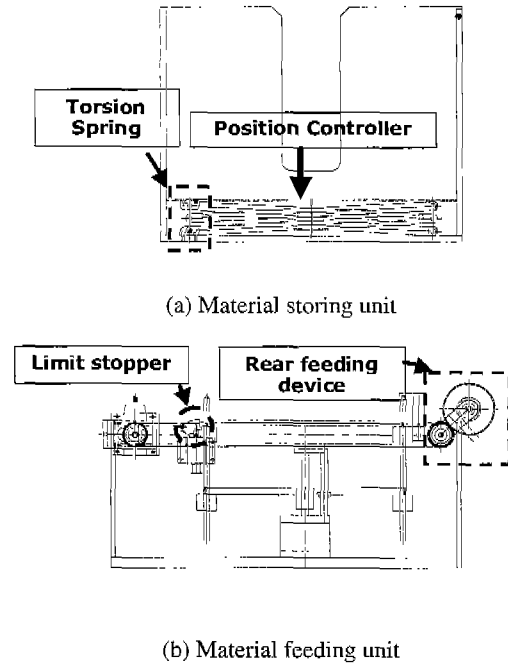


Fig. 11 Material storing and feeding unit

후방 이송 장치는 기어 세트에 구성되어 연속적으로 이송되는 두개의 판재가 기어 잇수비에 따라 속도차를 가지도록 하였다. 실제 장치에 사용된 설계식과 속도비는 식 (3)과 같다.

$$i = \frac{z_{f.m}}{z_c} = \frac{v_c}{v_{f.m}} = 2.0 \tag{3}$$

여기서, $z_{f.m}$ 과 z_c 는 재료 이송축의 잇수와 컨베이어 축의 잇수이며 v_c 와 $v_{f.m}$ 은 컨베이어 축과 재료 이송축의 선속도이다.

3.2 형상 생성부

본 세부 공정의 장치 설계는 2.2.2.항의 언급된 요구조건을 만족하기 위하여 Fig.12 와 같이 설계되었다.

VLM-ST 공정의 특징인 단위 형상층의 측면

경사를 구현하기 위하여 4 축 열선 절단기 시스템을 설계/제작 하였다. 4 축 열선 절단기는 참고 문헌 [9] 의 4.2.절과 같이 4 개의 스텝핑 모터에 의하여 제어되는 평행사변형 링크 메커니즘을 이용하였다. 그러나, VLM-ST 공정에서는 단위 형상층을 생성하기 위하여 열선 절단기의 열선 장착 선단부 길이가 Fig.12 와 같이 206.8 mm 로 길게 하였다. 열선 절단기 최대 회전각은 $\pm 65^\circ$ 이다.

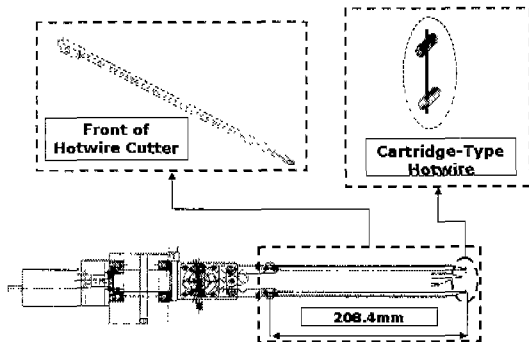
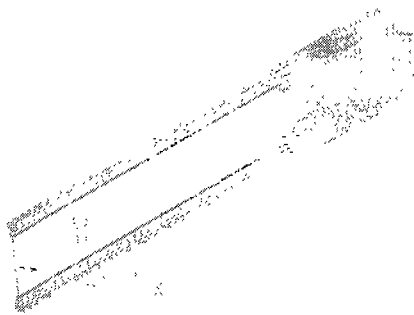


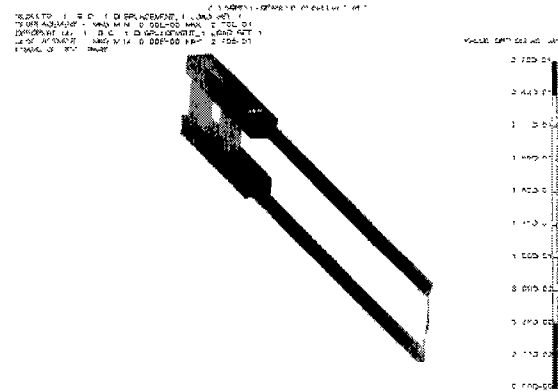
Fig. 12 Hotwire cutter

열선 장착 선단부가 길어짐으로 해서 발생할 수 있는 선단부 굽힘 현상에 의한 열선 초기 인장력 감소를 제어하기 위하여 I-DEAS 를 이용하여 선단부 변형해석을 수행하였다. 해석 결과 설계 제안 하중인 0.1N 열선 작용 하중하에서 선단부 변위가 0.54 mm 이하가 되도록 열선 선단부를 설계하였다.

열선의 과도 열변형 (Thermal instability) 와 저주기 피로 (Low cycle fatigue) 에 대처하기 위하여 Fe-Cr 선 대신 Fig.14 와 같이 고온에서 기계적 물성이 뛰어난 Ni-Cr 선을 사용하였다.



(a) Finite element model



(b) Analysis result

Fig. 13 Finite element model and analysis results

또한, 열선 발열 온도를 적외선 온도 측정기로 측정한 결과 700°C 이었다. 그러므로, Fig.15 의 결과에 의하여 초기 인장력을 7.76N 이하로 제한 하였다.

Ni-Cr 열선의 성분은 Ni 77 %, Cr 20 %, Mn 2 %, Fe 1 % 이다. 열선 직경은 0.36 mm 이며, 단위 길이당 열선 입열량은 0.28 Watt/mm 이상이 되도록 하였고 최대 절단 속도는 50 mm/sec 로 제한 하였다.

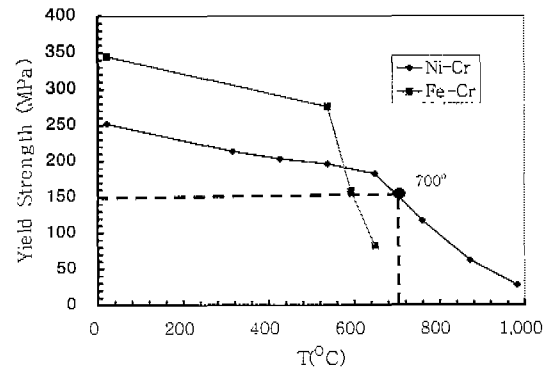


Fig. 14 Comparison of yield strength between Ni-Cr and Fe-Cr wire with respect to temperature ⁽¹²⁾

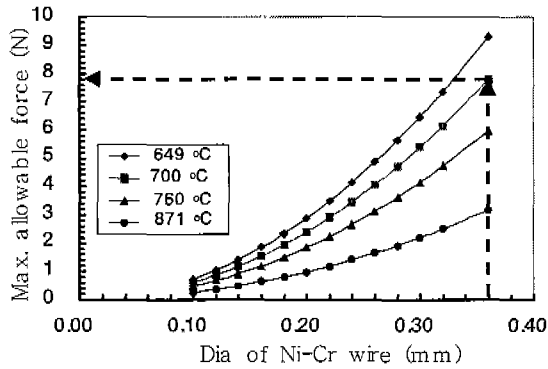


Fig. 15 Relationship between maximum available force and diameter of Ni-Cr wire for each temperature

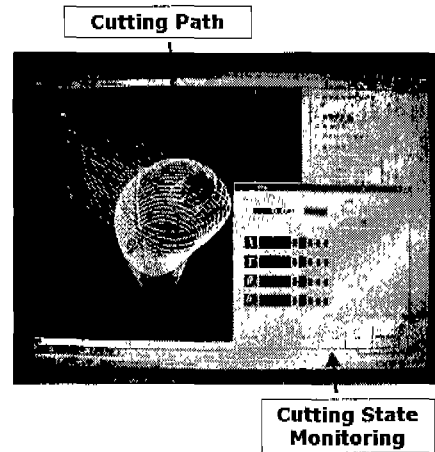
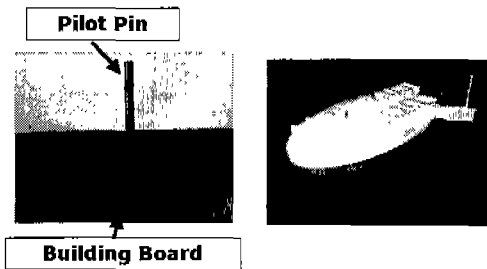


Fig. 17 VLM-ST control software

3.3 재료 적층 및 접착부

본 세부 공정의 장치 설계는 2.2.4.항에 언급된 요구조건을 만족하기 위하여 Fig.16 (a) 와 같이 설계되었다.

다양한 제품 높이에 적응하기 위하여 조립식 다단 파일럿 핀으로 제작하였다. Fig.16 (b) 는 See-KAIST 로고에 대한 적층예를 나타낸다.



(a) Building board (b) See-KAIST logo

Fig. 16 Building board and sample workpiece

3.4 시스템 제어부

본 시스템 제어부는 재료 공급/저장 공정, 형상 생성 공정 및 형상/잔여재료 자동 이송/저장의 3 공정을 Window 환경에서 전 자동 및 부분 자동으로 제어할 수 있도록 PC-NC 시스템으로 구축하였다. Fig.17 은 시스템 제어부의 소프트웨어를 나타낸다.

본 제어부는 하드웨어와 소프트웨어로 구성된 다. 하드웨어는 500 MHz 급 이상의 PC 에 제어될 수 있는 6 축 다중 모션 제어보드를 사용하였다. 이 제어보드의 6 축 중 4 축은 열선 절단기의 4 축 절단을 위하여 동시 연동되어 작동될 수 있도록 되어 있다. 또한, 본 제어시스템에서는 4 축 스탬핑 모터 제어, 2 축 DC 모터 제어, 12 개의 디지털 입력과 2 개의 디지털 출력으로 구성되어 있다. 그리고, 소프트웨어는 C 와 C++ 언어를 이용하여 Window 상에서 구현될 수 있도록 하였으며 제어 대상은 절단 속도, 절단기 위치 및 경사, 이송 속도 및 디지털 입출력이다.

4. 시작품 제작 및 고찰

VLM-ST 의 공정 및 장치 설계에 의하여 제작된 프로토타입 VLM-ST 장치를 이용하여 여러 가지 형태의 시작품을 제작하였다. 공정의 효율성과 경제성을 입증하기 위하여 VLM-ST 시작품의 적용 범위 중 하나인 엔터테인먼트와 프리젠테이션 모델로 적당한 World-Cup 2002 로고를 선택하였다. World-Cup 2002 로고의 경우 적층 개념이 유사하고 현재 상용화 되어 있는 LOM 제작품과 VLM-ST 시작품을 제작 형상, 제작 시간 및 제작 비용에 대하여 비교하였다. World-Cup 2002 로고의 경우 기준 치수가 210 mm (W) × 60 mm (L) × 12 mm (H) 이다.



(a) LOM part



(b) VLM-ST part

Fig. 18 Comparison of World-Cup 2002 logo shape between LOM and VLM-ST

Table 1 Comparison of building time and material cost between LOM parts and VLM-ST parts

Parts	Process	Total Building Time (min)	Material Cost (Won)
WorldCup 2002 Logo	LOM	434	15,000
	VLM-ST	5	750

Fig.18 과 같은 World-Cup 2002 로고 형상의 경우 LOM 과 VLM-ST 모두가 유사한 형상을 나타내었다. 그러나, 본 시작품 형상에 대하여서는 Table 1 과 같이 전체 조형시간과 재료 원가면에서 VLM-ST 공정이 LOM 공정 보다 경제적이고 효율적임을 알 수 있었다. LOM 시작품의 경우 셋업 (Set_Up) 시간이 40 분, 조형 시간이 214 분 및 후처리 시간이 180 분이 소요되었다. 그러나, VLM-ST 제작된 시작품의 전체 제작 시간중 약 90% 가 시작품 조형 시간이었으며, 공정상의 특

성에 의하여 셋업과 후처리 시간은 거의 소요되지 않았다. 이 결과를 이용한 VLM-ST 공정이 효율적이고 경제적인 공정임을 알 수 있었다.

VLM-ST 공정의 타당성과 적용성을 입증하기 위하여 일반적인 3 차원 형상을 가지는 Auto-shift Knob (EF-Sonnata), 십자형 압출 형상 (Extrude cross), 비틀림 형상(Twisted shape), 손오공 형상, 헬리컬 기어 및 가위를 VLM-ST 공정으로 제작하였다. Table 2 는 4 가지 예제에 대한 조형 조건. 조형 높이 및 총 조형 시간을 나타낸다. Fig.19 는 손오공 형상을 조형하기 위한 VLM-ST 공정 순서를 나타낸다.

Table 2 Building condition, building height and building time of the test parts

Parts	Q (W/mm)	V (mm/s)	Height (mm)	Building Time (min)
Son-o-Kong	0.34	40	183	40
Extrude Cross	0.59	40	99	18
Twisted Shape	0.80	40	136	28
Knob	0.34	40	109	20

Fig.20 (a), Fig.20 (b), Fig.20 (c)는 각각 VLM-ST 제작된 십자형 압출 형상, 비틀림 형상 및 노브의 형상과 입력 CAD 형상이다. Fig.21 은 VLM-ST 제작된 헬리컬 기어와 가위 시작품이다.

Fig. 19 및 Fig.20 의 결과로부터 입력된 솔리드 모델 데이터와 동일한 형상이 본 공정을 통하여 제작될 수 있음을 알 수 있으며, Table.2 의 결과와 같이 기존 상용화 공정에서 기본적인 최대 제작 모델 크기인 300 mm × 250 mm × 250 mm 의 형상의 경우 약 60 분 정도의 시간에 제작할 수 있음을 알 수 있었다.

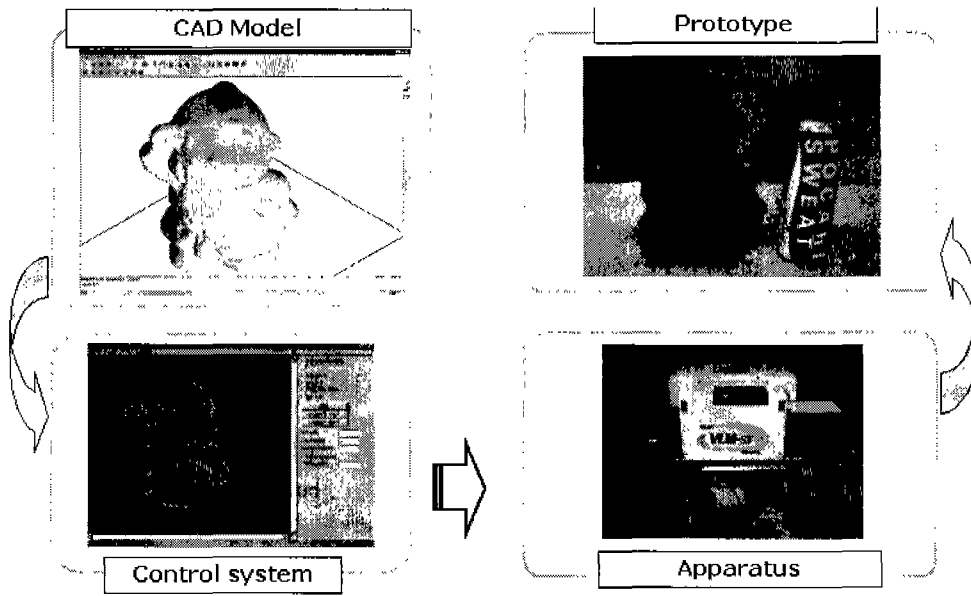


Fig. 19 Process flow of VLM-ST to generate a Son-o-Kong

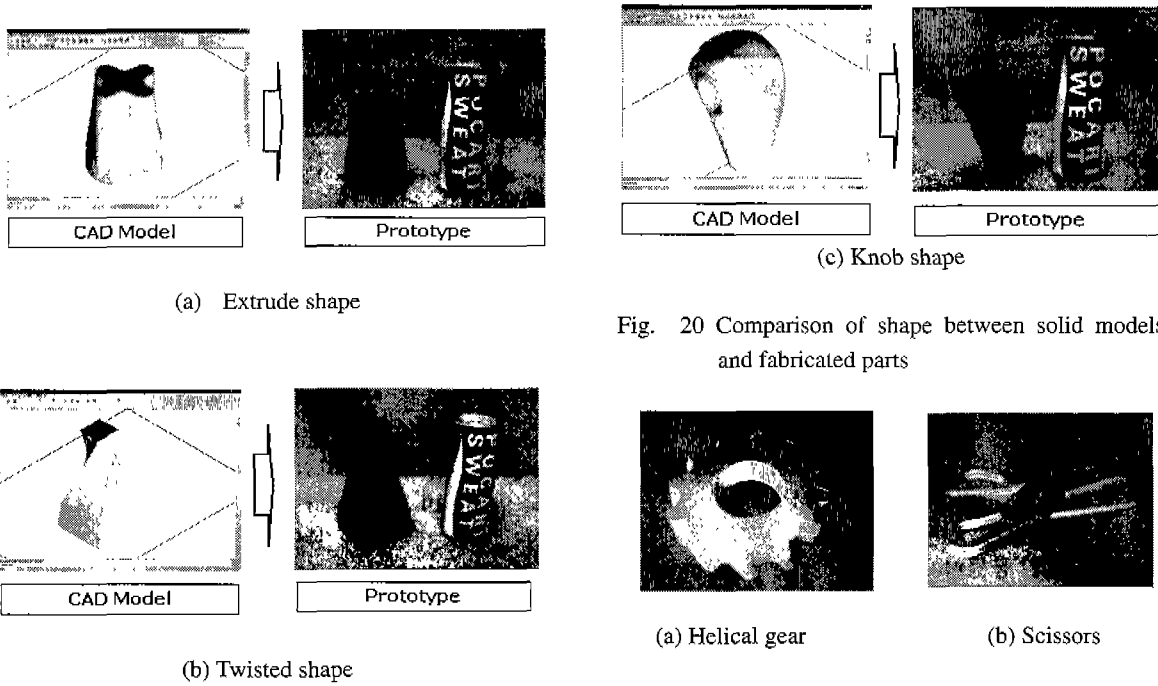


Fig. 20 Comparison of shape between solid models and fabricated parts

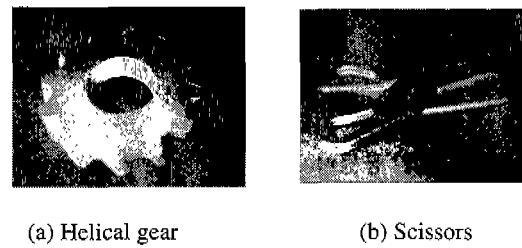


Fig. 21 Fabricated shape of a helical gear and a scissors using VLM-S

5. 결론

본 논문을 통하여 기존 쾌속 조형 공정의 문제점으로 대두되고 있는 장시간의 제품 제작 시간, 고가의 장비 가격과 유지비 및 추가적인 후처리 공정 소요 등을 해결 할 수 있는 단속형 재료 공급식 가변 적층 쾌속 조형을 제안하였다.

본 연구 결과 VLM-ST 공정에 요구되는 세부 공정과 주요 요소 기술들을 정의하고 분류하여 공정을 확립 할 수 있었다. 또한, 공정 설계를 구현하기 위한 장치 설계/제작을 수행하였으며 각 세부 공정 설계시 요구되는 설계 변수와 기준을 정의하여 설계 기준을 만족시키는 장치 설계 및 제작을 할 수 있었다. 제작된 장치를 이용하여 World-Cup 2002 로고 시작품을 제작하여 상용 공정한 LOM 과 비교하여 VLM-ST 공정이 경제적이고 효율적인 공정임을 알 수 있었다. 또한, 손오공, 십자형 압출 형상, 비틀림 형상, Knob, 헬리컬 기어 및 가위등의 여러가지 3 차원 시작품을 제작하여 제안된 공정의 적용성과 타당성을 확인하였다. 본 장치는 기존 개발된 장비로 달리 두꺼운 층과 측면 경사를 가진 단위형상층을 적층함으로써 조형 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있다. 특히, 20 시간이상 소요되는 중대형 형상을 1 시간 이내에 제작이 가능하여 본 장치의 산업적 활용성이 높을 것으로 사료된다. 향후 보다 다양한 형상에 본 공정을 적용하여 공정의 일반성 추구를 위한 공정 변수의 데이터베이스를 확보할 것이며, 본 공정의 정밀도 및 성능 향상을 위한 실험 및 해석적 연구가 추가적으로 수행될 예정이다.

후기

본 연구는 과학기술부 국가중점사업인 주문적 응용형 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. S. A. McMains, “Rapid Prototyping of Solid Three-Dimensional Parts,” Master’s Project under

the direction of Carlo Sequin, 1995.

2. P. Kulkarni, A. Marsan, D. Dutta. “A review of process planning techniques in layered manufacturing,” *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 6, #1, pp. 18-35, 2000.

3. T. Wohler, “Wohlers Report 2000, Rapid Prototyping & Tooling State of the industry,” Wohler’s Associates Inc., 2001.

4. 송용역, “컨조인트 분석 기법을 이용한 신제품 개발에 관한 연구,” 고려대학교 석사학위논문, pp. 30-38, 2001.

5. 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.

6. 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.

7. R. L. Hope, P. A. Jacobs, R. N. Roth, “Rapid prototyping with sloping surface,” *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 3, #1, pp. 12~19, 1997.

8. “선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치” 특허 2000-18175, 2000.

9. 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.

10. “Variable Lamination Manufacturing (VLM) Process and Apparatus” U.S. Patent 09/804, 175, 2001.3.12.

11. “선형 열절단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치” 특허 2000-0040212, 2001.

12. C. T. Lynch, *Handbook of Materials Science*, CRC Press, pp. 234-235, 1974.