

발포폴리스티렌 폼을 이용한 단속형 가변적층 쾌속조형공정과 응용기술을 이용한 3차원 기능성 제품 제작에 관한 연구

안동규* · 이상호* · 최홍석* · 김기돈* · 양동열**

Investigation Into the Manufacture of 3D Functional Parts using VLM-ST and Its Applied Technology

D. G. Ahn, S. H. Lee, H. S. Choi, K. D. Kim, and D. Y. Yang

Abstract

The integration of rapid prototyping and tooling has the potential for the rapid net shape manufacturing of three-dimensional parts with geometrical complexity. In this study, a new rapid prototyping process, transfer type of Variable Lamination Manufacturing (VLM-ST), was proposed to manufacture net shape of 3-D prototypes. In order to examine the efficiency and applicability of the proposed process, various 3-D parts, such as a world-cup logo, and extruded cross and a knob shape, were fabricated on the apparatus. In addition, the new rapid tooling process, which is a triple reverse process, was proposed to manufacture of 3-D functional part using VLM-ST prototypes and the plastic part of the knob shape was produced by the new rapid tooling process.

Key Words : Rapid Prototyping, Transfer Type of Variable Lamination Manufacturing using EPS Foam, Rapid Tooling, 3-D Functional Part, Net Shape Manufacturing

1. 서 론

최근의 각종 산업분야에서는 소비자의 다양한 욕구에 따라 다품종 소량 생산의 특성을 나타내고 있으며, 빈번하게 변경되는 소비자의 기호도 및 기능의 개선 등으로 인하여 제품의 사이클은 현저히 짧아지고 있다. 그러므로, 제품의 개발 및 생산 기간의 단축으로 인한 시장 진

입시간의 최소화가 절실히 요구되고 있다. 이러한 시장의 요구에 대한 대안으로써 최근 쾌속시작 (Rapid Prototyping : RP), 쾌속 툴링 (Rapid Tooling : RT) 등을 이용한 쾌속 제품 생산 (Rapid Manufacturing : RM) 방식이 국내·외적으로 활발하게 연구되고 있다.

1986년 광조형법 (Stereolithography Apparatus : SLA) 이 개발된 이후 약 20여가지 이상의 RP공정 및

* 한국과학기술원 대학원

** 한국과학기술원 기계공학과

장치들이 연구/개발 되고 있다. 또한, 각 공정들은 제작된 제품의 재료적 특성을 극복하기 위하여 기능성 제품 제작을 하거나, 대량생산을 수행하기 위하여 각 공정에 적합한 RT 공정을 계속적으로 개발 및 연구하고 있다.

기존의 RP 공정 및 장치의 경우 장시간의 조형 시간, 고가의 장치 도입/유지비 및 추가적인 후처리 공정의 소요등의 단점을 가지고 있다. 최근에는 장치의 소형화, 공정 특성의 개선 및 재료 개발등을 통하여 기존 RP 공정의 단점을 극복하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. Thermojet, Z402, Genisys, Objet 등의 3차원 프린터의 개발과 이 장치들의 급속한 시장 확대는 RP시장의 변화를 대변하고 있다⁽¹⁾.

특히, 제작 시간 최소화 측면에서 두꺼운 층을 쌓아 올려서 3차원 제품을 제작하는 공정에 대한 연구가 I. Horovath, A. Novc, A. F. Lennings 및 R. L. Hope 등에 의하여 수행된 바 있다^(2,3,4,5). 국내에서는 D. Y. Yang, D. G. Ahn 등에 의하여 가변 적층 패속 조형 공정 (Variable Lamination Manufacturing using Expandable Polystyrene Foam : VLM-S) 가 제안된 바 있다⁽⁶⁾.

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 라인에서 반자동으로 적층하는 단속형 (Transfer Type : VLM-ST) 두가지로 개발되고 있다. VLM-ST의 경우 VLM-SP 와 달리 평탄화 공정과 잔여 재료 제거 공정이 요구되지 않으며, 적층 및 접착을 파일럿 핀과 적층 보조 장치를 이용하여 반자동화함으로써 VLM-SP에 비해 조형 속도가 현저히 증가되고 장치 가격이 획기적으로 저렴해진다. 그러므로, VLM-ST는 교육 현장 및 산업 현장에 개념 및 프리젠테이션 모델러 (Concept and Presentation Modeler) 로 폭넓게 사용 할 수 있다⁽⁷⁾.

VLM-ST 시작품의 경우 같이 스티로폼으로 제작된 원형은 로스트 폼 구조 및 폴몰드 구조등을 이용하여 금속 시작품을 직접적으로 제작할 수 있는 장점이 있으나, 한 개의 시작품에 한 개의 제품만을 제작하는 단점이 있다. 그러므로, 다품종 소량 생산의 현재의 산업적 특성을 고려하면 VLM-ST 시작품을 이용하는 2차 공정중 기존의 하나의 원형으로 여러개의 기능성 제품을 신속히 제작할 수 있는 새로운 공정이 절실히 요구되며, 이와 같은 2차 공정과 VLM-ST 공정의 조합은 실용적인 활용도가 현저히 높을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 새로운 개념인 VLM-ST 공정과 VLM

-ST 공정의 시작품을 이용한 삼단 역전 RT 공정(triple reverse process) 을 제안하였다. VLM-ST 공정으로 Worldcup 로고, 압출 형상 및 노브 형상등을 제작하여 본 공정의 타당성과 적용성을 입증하였다. 그리고, VLM-ST 로 제작된 시작품을 제안된 RT공정을 적용하여 실리콘 금형과 3차원 플라스틱 제품을 제작하여 본 공정의 가능성을 입증하였다.

2. VLM-ST 공정 및 장치

VLM-ST 공정은 여러 가지 두께를 가진 일정 규격의 재료를 단속적으로 공급하여 4자유도 동시 제어되는 선형 열선 절단기를 이용하여 재료를 폭, 길이 및 측면 경사를 실시간 제어하여 3 차원 CAD 데이터와 일치되는 3차원 형상을 절단 한 후, 오프라인에서 파일럿 핀과 적층 보조 장치를 이용하여 접착/적층 함으로써 일체화된 3차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 RP 공정이다. Fig.1은 VLM-ST 공정 구성도이다.

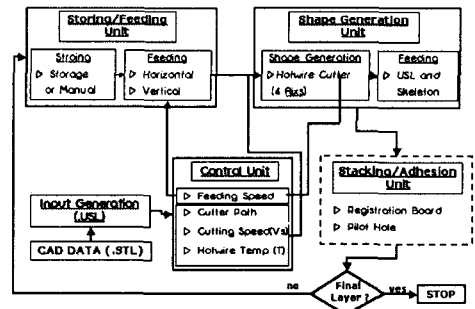


Fig. 1 Process flow of VLM-ST

VLM-ST는 한층에 하나의 3차원 형상을 생성하는 단위 형상층 (Unit Shape Layer : USL) 개념을 이용한다.

2.1 입력데이터 생성 과정

입력데이터 생성 과정은 솔리드 모델링된 3차원 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 핀과 기준 형상등의 정보를 생성하는 단계이다. VLM-ST 입력데이터 생성 단계는 Fig.2의 흐름도와 같이 크게 6단계로 구성된다.

Fig.3은 입력데이터 생성과정을 크로스형의 압출 형상을 이용하여 나타내었다.

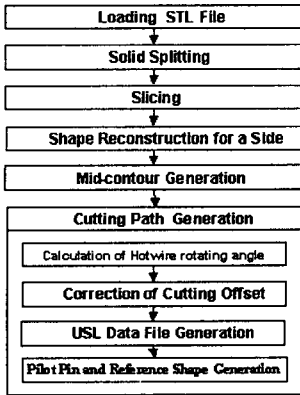


Fig. 2 Flow chart for generation of input data

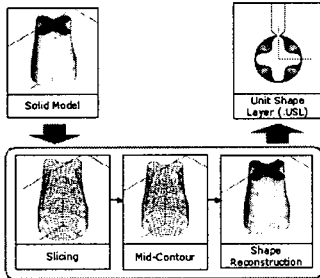


Fig. 3 Process flow for generation of input data

2.2 VLM-ST 공정 및 장치

VLM-ST 는 Fig.1과 같이 재료 저장/공급부, 형상 생성부, 재료 적층 및 접착부 및 시스템 제어부의 4가지 세부 공정으로 구성되며, 장치는 Fig.4와 같다.

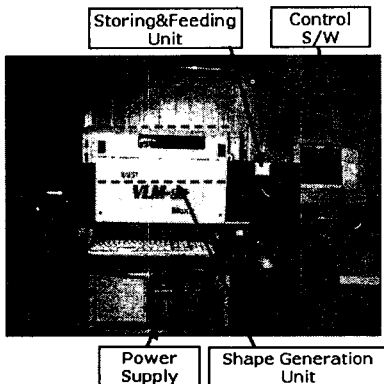


Fig. 4 Prototype of VLM-ST apparatus

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

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. VLM-ST 공정의 특징인 단위 형상층의 측면 경사를 구현하기 위하여 4축 열선 절단기 시스템을 설계/제작 하였다. 4축 열선 절단기는 4개의 스텝핑 모터에 의하여 제어되는 평행사변형 링크 메커니즘을 이용하였다.

재료 적층 및 접착부는 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.

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 3차원 제품을 신속/정확히 조형할 수 있도록 구성된 PC-NC 시스템이다. 전체 시스템은 개방형 제어시스템이며, 4축 열선 절단기 회로는 4축 동시 제어를 수행할 수 있는 시스템으로 구성된다.

2.3 3차원 시작품 제작 및 고찰

VLM-ST 공정의 타당성 및 적용성을 입증하기 위하여 크로스 압출 형상 및 노브 (Knob) 를 제작하였다.

Fig.5(a), (b)는 각각 VLM-ST 제작된 크로스 압출 형상 및 노브를 나타내며, Table 1 은 조형 조건/높이/시간을 나타낸다.

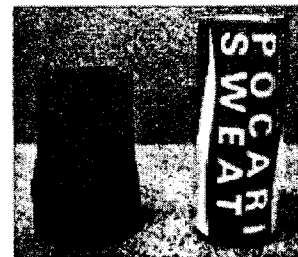


Fig. 5(a) Fabricated parts using VLM-ST(Extrude Cross)

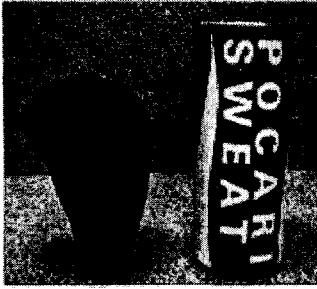


Fig. 5(b) Fabricated parts using VLM-ST(Knob)

Table 1 Building condition, height and building time of the test parts

Parts	Q (W/mm)	V (mm/s)	Height (mm)	Building Time (min)
Extrude Cross	0.59	40	99	18
Knob	0.34	40	109	20

World-Cup 2002 로고를 VLM-ST 공정과 상용 RP공정인 LOM 공정으로 제작하여 형상, 제작 시간 및 제작 비용을 비교하여 본 공정의 효율을 입증하였다.



Fig. 6(a) LOM part of World-Cup 2002 logo



Fig. 6(b) VLM-ST part of World-Cup 2002 logo

Table 2 Comparison of building time and material cost between LOM parts and VLM-ST parts

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

3. VLM-ST 시작품을 이용한 기능성 제품 제작

VLM-ST 공정에 의하여 제작된 시작품을 산업적으로 적용 가능한 실제 프로토타입 (True Prototype) 으로 사

용하기 위해서는 제품의 기능성을 구현할 수 있어야 한다. 전체 제품 개발 기간을 단축 시키고 원가 절감을 도모하기 위해서는 프로토타입 제작 시간이 매우 짧고 제작 비용이 현저히 저렴한 공정이 바람직하다. 또한, 한개의 금형으로 여러개의 프로토타입을 제작할 수 있는 경우 VLM-ST 시작품과 같이 발포 폴리스티렌 폼을 원형으로 사용하는 2차 공정의 단점인 하나의 원형에 하나의 제품만을 제작할 수 있는 단점을 극복할 수 있다.

3.1 RTV 실리콘 성형을 이용한 삼단 역전 공정

RTV (Room Temperature Vulcanizing) 실리콘 성형은 제작 시간이 매우 짧고, 가격이 매우 저렴한 연식 RT 공정 (Soft Tooling) 공정으로 CAD 데이터가 존재할 경우 약 5 일내에 제품이 제작 가능하고 CNC 동작 기계로 제작된 알루미늄 금형보다 매우 저렴하며, 매우 미세한 형상까지 성형할 수 있고 약 30~40개 정도의 제품을 한 개의 금형에서 제작할 수 있는 특징이 있다⁽⁸⁾.

본 연구에서는 빠른 시간내에 저렴하게 실제 프로토타입을 제작하고, 다품종 소량 생산에 적용할 수 있는 RT 공정을 VLM-ST 시작품과 RTV 실리콘 성형법을 이용하여 제안하였다. 본 공정은 Fig.7과 같이 VLM-ST 시작품 원형을 세 번 뒤집어 최종 제품을 제작하는 삼단 역전 공정 (Triple Reverse Process) 이다.

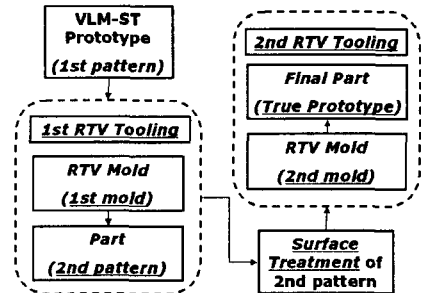


Fig. 7 Process flow of triple reverse process

3.2 기능성 제품 제작 및 고찰

본 연구에서 제안된 기능성 제품 제작 공정의 가능성을 입증하기 위하여 VLM-ST 공정으로 제작된 노브 형상의 원형을 이용하여 플라스틱 노브를 제작하였다.

플라스틱 노브 제작 절차는 Fig.8과 같다. 1차 RTV 실리콘 몰드 제작시 발포 폴리스티렌 폼 내부에 존재하는 가스 성분 및 공기들에 의하여 진공 형성시 원형의 도포층에 기공 및 가스 분출구가 생성되어 금형에 진사되었

다. 그 결과 1차 금형에 의해 제작된 2차 원형의 표면에 기공, 가스 분출구 및 1차 원형에 미세하게 형성된 층간 띠가 나타났다. 이것을 제거하기 위하여 2차 원형을 표면 처리후 2차 RTV 실리콘 몰드를 제작하였다. 표면 처리된 원형을 이용하여 몰드를 제작한 경우 1차 금형에서 나타났던 결함들이 모두 제거되어 몰드 표면이 매우 매끈하게 나타났으며, 2차 몰드를 이용하여 제작된 최종 플라스틱 노브 또한 매우 부드러운 표면을 형성하였다.

본 실험 결과 VLM-ST 공정과 RTV 실리콘 성형을 이용한 삼단 역전 공정을 이용한 기능성 제품 제작 가능성을 입증하였다.

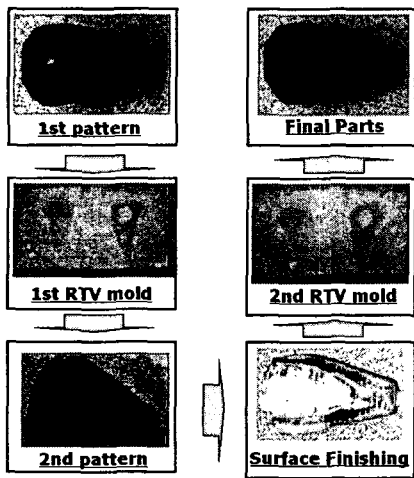


Fig. 8 Triple reverse process for manufacturing of plastic knob shape

4. 결론

본 논문에서는 VLM-ST 공정과 본 공정의 시작품을 이용한 기능성 제품 제작 공정을 이용한 3차원 기능성 제품 제작에 관하여 연구하였다. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 조형 시간이 획기적으로 단축되며 장치 도입/유지/재료가비가 현저히 저렴하고 후처리가 최소화 될 수 있는 신 개념의 VLM-ST 공정을 제안 하였다. 다양한 3차원 형상의 조형을 통하여 제안된 VLM-ST 공정의 적용성과 타당성을 입증하였다. 또한, World-Cup 2002 로고를 VLM-ST 와 LOM 공정으로 제작하여 비교 분석한 결과 VLM-ST 공정이 효율적이고 경제적인 공정임을 입증하였다.

둘째, VLM-ST 공정으로 제작된 원형과 RTV 실리콘

성형을 이용한 삼단 역전 공정을 이용한 기능성 제품 제작 공정을 제안하였으며, 제안된 공정을 이용하여 플라스틱 노브를 제작하여 본 공정의 가능성을 입증하였다.

셋째, 위 2가지 결론으로부터 VLM-ST 공정과 VLM-ST 시작품을 이용한 RT 공정의 통합이 새로운 3차원 기능성 제품 쾌속 제품 제작 방법으로 제안 될 수 있음을 알 수 있었다.

후 기

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

참 고 문 헌

- (1) Wohlers, T., 2001, “Rapid Prototyping & Tooling State of the Industry”, Wohlers Associates, Inc
- (2) Horvath, I., Vergeest, J.S.M., Broek, J.J., Rusak, Z. and de Smit, B., 1998, “Tool Profile and Tool Path Calculation for Freeform Thick-layered Fabrication, Computer-Aided Design”, Vol. 30, No. 14, pp 1097~1110.
- (3) Lennings, A. F., Broek, J. J., Horvath, I., de Smit, A., Vergeest, J. S. M., 1998, “Prototyping large-sized objects using freeform thick layers of plastic form”, Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp. 97~104.
- (4) Novc, A., Kaza, S., Wang, Z., Thomas, C., 1996, “Techniques for Improved Speed Accuracy in Layered Manufacturing” Solid Free Fabrication Symposium Proceedings, pp. 609~617.
- (5) Hope, R. L., Jacobs, P. A., and Roth, R. N., 1997, “Rapid Prototyping with Sloping Surfaces,” Rapid Prototyping Journal, Vol.3, No. 1, pp. 12~19.
- (6) 안동규, 이상호, 양동열, 신보성, 박승교, 이용일, 2001, “발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치 개발”, 한국정밀공학회지, 제 18권, 제 8호, pp. 54~63.
- (7) 양동열, 안동규, 이상호, 최홍석, 박승교, 2001, “선형 열전단 시스템을 이용한 단속적 재료 공급식 가변 적층 쾌속조형공정 및 장치”, 특허 2000-0040212.
- (8) Hilton, P. D., Jacobs, P. F., 2000, “Rapid Tooling”, Marcel Decker, Inc, , pp. 51-57.