韓國精密工學 r 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.759~762 KSPE 00F171

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

안동규*(KAIST 대학원), 이상호(KAIST 대학원), 양동열(KAIST), 신보성(KIMM),
박승교(㈜ 메닉스 엔지니어링), 이용일(㈜ 해라시스템)

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

D. G. Ahn(Graduate School. KAIST), S. H. Lee(Graduate School. KAIST), D. Y. Yang(KAIST),
B. S. Shin(KIMM), S. G. Park(Menix Engineering Corp), Y. I. Lee(Hera System Corp)

ABSTRACT

Rapid Prototyping (RP) techniques have their unique characteristics according to the working principles: stair-stepped surface of parts due to layer-by-layer stacking, low build speed caused by line-by-line solidification to build one layer, and additional post processing to improve surface roughness, so it is required very high cost to introduce and to maintain RP apparatus. The objective of this study is to develop and design a new RP process, Variable Lamination Manufacturing using expandable polystyrene foam sheet as part material (VLM-S), which can make up for the disadvantage of existing techniques, and to develop an apparatus to implement the process. In order to examine the possibility of practical utilization of the proposed VLM-S process for prototyping of a general three-dimensional shape, an auto-shift lever knob and a pyramid shape were fabricated.

Key Words : Rapid Prototyping (쾌속조형), Variable Lamination Manufacturing Process (가변 적층 쾌속조형공정), Expandable Polystyrene Foam (EPS Foam : 발포 폴리스티렌 폼), Process Development and Design(공정 개발 및 설계)

1. 서론

쾌속 조형 공정이 등장한지 10 여년이 경과하는 동안 3 차원 시작품 제작을 위하여 여러 가지 새로운 쾌속 조형 기술이 개발되었다. 현재 상용화되었거나 개발중인 대표적인 쾌속 조형 공정에는 StereoLithography Apparatus(SLA), Fused Deposition Modeling(FDM), Shape Deposition Manufacturing (SDM), Selective Laser Sintering(SLS), 3D Printing, Laminated Object Manufacturing(LOM)[1] 등이 있다.

이러한 기존의 쾌속 조형 공정은 다음과 같은 문제점이 있다.

• 3 차원 CAD 데이터를 z 방향으로 슬라이싱하여 2 차원 슬라이스 데이터를 얻는 과정에서 z 방향으로 계단형상의 단차가 생긴다. 이러한 계단형상 때문에 시작품의 정밀도가 떨어진다.[2),(3)] 그러므로 시작품의 정밀도를 향상시키기 위해서 추가적으로 시작품의 계단 형상 제거를 위한 후처리 공정이 요구된다.

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

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 개발되고 있다. 본 연구에서는 가변 적층 쾌속조형 공정 중 발포 폴리스티렌 폼 (Expandable Polystyrene Foam: EPS Foam)을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공

정(VLM-S)을 개발하였고[4),(5)], 본 공정에 대한 장치를 개발하였다. VLM-S 공정 및 장치는 장비 가격과 유지비가 저렴하며 산업적으로 활용도가 높을 것으로 판단된다.

2. 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 (VLM-S) 개발

VLM-S 공정은 여러가지 두께로 연속적으로 공급되는 판재띠를 4 자유도를 가진 선형 열선 절단 시스템으로 폭, 길이 및 측면 경사를 실시간 제어하여 3 차원 형상을 절단하여 접착/적층함으로써 일체화된 3 차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다. Fig.1 은 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 (VLM-S) 구성도 이며, Fig.2 는 선형 열절단 시스템을 이용한 절단 공정에 대한 개념도이다.

VLM-S 공정은 Fig.1 과 같이 재료 저장/공급부, 형상 생성부, 재료 적층 및 접착부, 잔여 재료 절단/저장부 및 시스템 제어부로 구성된다.

재료 저장 및 공급부는 형상 생성부에 소요되는 발포 폴리스티렌 폼을 연속 및 단속적으로 공급한다. 재료는 롤에 감겨져서 저장 되고, 재료 이송 장치에 의하여 연속 및 단속적으로 공급된다.

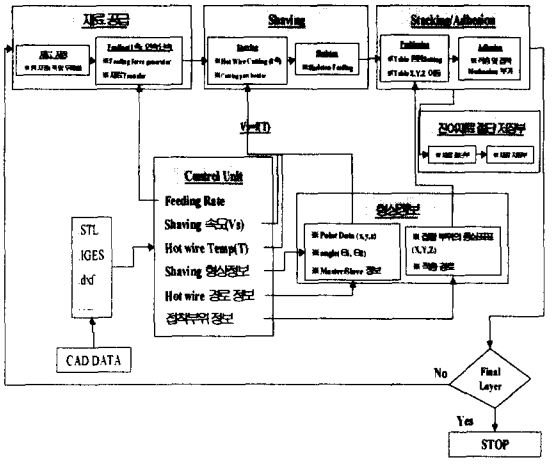

Fig. 1 Process Flow of VLM-S

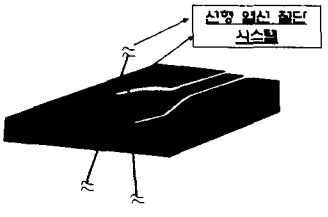

Fig. 2 Schematic Diagram of the Cutting Process by using Linear Hotwire System

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 부분(Unit Shape Part : USP)을 생성한다. 열선은 자동 제어가 용이하고, 장/탈착이 손쉬운 기구학적 시스템으로 구성된다.

재료 적층 및 접착부는 형상 생성부에서 제작된 3 차원 목적물의 각층에 해당되는 부분을 정확히 해당 위치에 적층하고 인접부위의 각 부분들의 면과 완벽하게 접착 시키는 부분이다. 적층은 형상 생성부에 제작된 3 차원 목적물의 각층에 해당되는 부분을 지지하고 있는 절단 제품 위치 고정기가 수직으로 이동하여 적층 위치에 안착 시킨다. 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 하였다.

잔여 재료 절단 및 저장부는 형상 생성부에서 공급된 발포 폴리스티렌 폼 중 형상 생성부에서 3 차원 목적물의 각층에 해당되는 부분으로 제작된 절단 형상을 제외한 잔여 재료 부위를 주기적으로 절단하고 절단된 조각들을 저장한다.

시스템 제어부는 3 차원 목적물의 형상을 STL 파일 형식으로 제공 받은 후, 이 데이터를 이용하여 열선 이동 경로, 절단 제품 적층 위치/경로, 열선 이송 속도, 재료 공급 속도 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 프로세싱 (batch processing)을 수행한다.

3. 발포 폴리스티렌 폼

3. 발포 폴리스티렌 폼 특성

발포 폴리스티렌 폼은 폴리스티렌 수지에 프로판(Prophane), 부탄(Buthane), 석유 에테르(Ether) 등의 입상 수지를 발포재로 사용하여 20 배 이상의 배율로 발포 시킨 후, 200 ~ 260 ℃에서 사출 또는 압출하여 제작한다.[6] 특히, 판재 형태의 발포 폴리스티렌 폼은 압출된 재료의 두께를 조절하기 위해 다단 롤을 통과 시킨 후 롤에 감아서 보관하게 된다. 그러므로, Fig.3 과 같이 발포 폴리스티렌 폼은 롤링 방향(Rolling Direction : R.D.) 와 롤링 방향에 수직한 방향 (Transverse Direction : T.D)의 입자 길이가 다르게 되어 이방성(Anisotropy) 특성이 나타나게 된다.

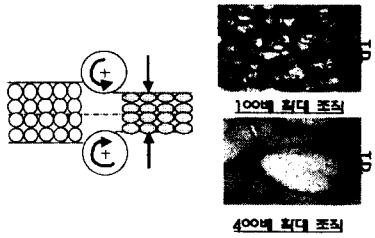

Fig. 3 Microstructure of the EPS Foam Sheet

본 공정에 사용된 발포 폴리스티렌 폼은 쾌속조형공정 특성에 적합한 밀도가 높고 발포 비율이 낮아 치수 변화가 거의 없으며, 강성이 높아 지지대(Supporter)를 최소화 할 수 있다. 그리고, 폼 재료의 경우 본 공정에서 사용하고 있는 열선을 이용하여 절단할 경우 절단력이 거의 영에 가깝다.

3.2. 발포 폴리스티렌 폼의 기계적 성질

발포 폴리스티렌 폼의 경우 발포 시 사용된 발포제 종류, 발포 배율, 사출/압출 온도 및 롤링 방법에 따라 기계적 성질이 달라진다. 그러므로, 본 공정에 사용되는 재료에 대한 밀도, 인장 강도등 기계적 성질은 시험을 통하여 측정하였다.

밀도 측정 시험은 본 공정에 사용된 재료를 부피 5.43×10^{5} mm^3 로 반복 시험한 후, 측정치의 평균을 사용하였다.

인장 강도 측정 시험의 경우 ASTM D638-96 에 의거하여 시편 제작과 시험 수행 및 결과 정리를 수행하였다.

Table 1 Mechanical Properties of the EPS 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 쾌속 조형 장치

VLM-S 장치는 2 장에서 기술된 것과 같이 5 가지로 구성되며, Fig.4 는 VLM-S 장치이다.

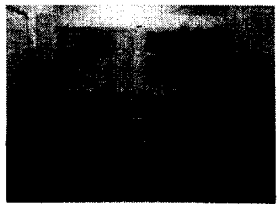
Fig. 4 VLM-S Apparatus

본 장치는 최대 300 mm × 250 mm × 250 mm 의 제품을 제작 가능하도록 설계되었으며, 총 14 개의 스텝핑 모터와 2 개의 공압 장치로 구동된다. 그리고, 자동 온도 제어 장치와 Power Supply 가 부착되어 있다.

4.1 재료 저장 및 공급부

본 세부 공정은 판재띠 형태의 재료를 저장/공급을 위한 저장롤과 이송시스템 및 롤에서 공급된 재료의 잔류 응력과 곡률을 제거하기 위하여 표면 미세 발포를 발생시키는 재료 평탄화 시스템으로 구성되어 있다. 또한, 잔여 재료량을 감지하는 잔여 재료 측정 시스템이 부착되어 있으며, 판재띠 바닥면에 접착제를 부착할 수 있는 장치가 부가되어 있다. Fig.5 는 재료 저장 및 공급부를 나타낸다.

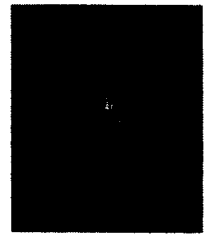
Fig. 5 Strip Storing and Feeding System

4.2 형상 생성부 설계

본 세부 공정은 재료 저장 및 공급부에 이송된 판재띠를 USP 로 생성하기 위한 4 축 열선 절단기 시스템으로 구성된다. 열선 절단기 시스템은 운동 중 열선의 길이가 변하지 않으며, VLM 공정의 특징인 측면 경사 구현을 위하여 2 축의 병진 운동과 2 축의 회전 운동을 수행할 수 있도록 구성하였다. 또한, 형상 생성중 열선이 항상 일정한 발열량을 가지도록 하였다. Fig.6 은 형상 생성부를 나타낸다.

Fig. 6 Shape Generation System

4.3 재료 적층 및 접착부

본 세부 공정은 형상 생성부에 생성된 USP 를 지지하고 수직 이동시키는 절단 제품 고정기 시스템과 적층 위치로 이동하여 USP 가 정확히 적층될 수 있도록하며 추가적인 접착력을 부가하는 XYZ 테이블 시스템으로 구성된다.

4.4 잔여 재료 절단 및 저장부

본 세부 공정은 연속 공급되는 판재띠 중 USP 과 사용되지 않은 부분(Skeleton)을 주기적으로 절단할 수 있는 공압식 절단기 시스템으로 구성되었다.

4.5 시스템 제어부

본 시스템 제어부는 Fig.7 과 같이 위 4 가지 세부공정을 Windows 환경에서 전 자동 및 부분 자동으로 제어할 수 있도록 구성하였다.

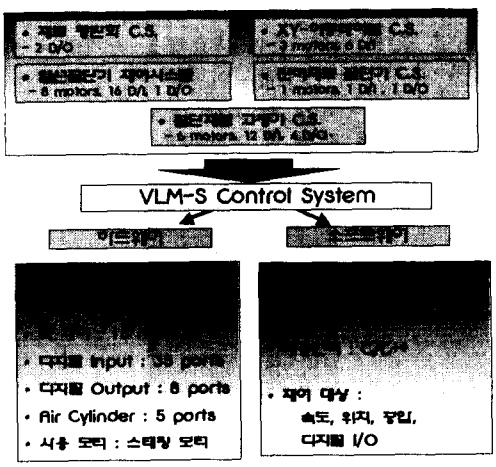

Fig.7 VLM-S Control System

5. 3차원 형상 제작

VLM-S 공정 및 장치를 적용하여 Fig.8 의 자동차 오토시프트 레버 노브(Auto-Shift Lever Knob) 및 Fig.9 의 피라미드 형상을 제작하였다.

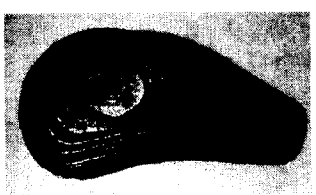

Fig.8 Test Part 1 : Auto-Shift Lever

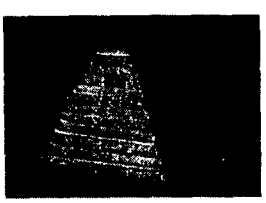

Fig.9 Test Part 2 : Pyramid Shape

6. 결론

본 연구를 통하여 기존의 쾌속 조형 공정 및 장치의 각 문제점인 계단 형상 발생, 장시간의 조형 시간 소요 및 고가의 장비가격과 유지비를 해결할 수 있는 발포 폴리스티렌 폼을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정을 제안하였으며, 본 공정 및 장치에 대한 공정 개발과 설계/제작을 수행하였다. 또한, 각 세부 공정 및 장치에 소요되는 구성요소와 설계 및 공정 변수들에 대한 Know-how 를 얻게 되어 세부 공정 및 장치를 확립할 수 있었다. 그리고, 본 공정을 이용하여 자동차용 오토시프트 레버 노브와 피라미드 형상을 제작하였다.

본 공정과 장치에 대한 추가적인 연구를 수행하여 각 공정별 공정 변수에 대한 데이터 베이스를 체계적으로 구축함으로써 저가의 장치비 및 유지비를 가지며 기존 쾌속 조형 장치의 10 배 이상의 조형속도를 가지는 한국형 쾌속 조형 공정 및 장치가 개발될 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. S. A. McMains, "Rapid Prototyping of Solid Three-Dimensional Parts," Master's Project under the direction of Carlo Sequin, 1995.
2. 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.
3. I. Hovath, J. S. M. Vergeest, J.J.Broek, B. Smit "Tool Profile and Tool Path Calculation for Freeform Thick-Layed Fabrication," Delft University in house report
4. 안동규, 이상호, 양동열, 신보성, 이용일 "가변 적층 쾌속조형공정을 위한 발포 폴리스티렌 폼의 선형 열선 절단시스템 절단 특성 및 접착 강도 특성에 대한 연구," 한국정밀공학회지 제 17 권 제 12 호, 2000 Submitted.
5. "선형 열절단 시스템을 이용한 가변 적층 쾌속 조형 공정 및 장치" 특허 2000-18175, 2000
6. 정동천, " 플라스틱 재료 해설과 성형조건," pp.42-44, 1996.