

EVA 를 이용한 가변 용착 쾌속 조형 공정 개발

이상호(KAIST 대학원), 신보성(한국기계연구원), 정준호(KAIST 연구원),
안동규(KAIST 대학원), 양동열(KAIST)

Development of Variable Deposition Manufacturing for Ethylene Vinyl Acetatecopolymer

S. H. Lee(Graduate School, KAIST), B. S. Shin(KIMM), J. H. Jeong(Post Doc., KAIST),
D. G. Ahn(Graduate School, KAIST), D. Y. Yang(KAIST)

ABSTRACT

RP techniques have inherent disadvantages caused by their working principles: stair-stepped surface of parts due to layer-by-layer stacking of layers, low build speed caused by line-by-line solidification to finish one layer, and post processing to improve surface finish, etc. The objective of this study is to propose a new RP technique, variable deposition manufacturing (VDM), which can make up for the disadvantages of the existing RP techniques, and to develop an apparatus to implement the technique. The proposed process can greatly reduce the building time and improve the surface finish of parts generated. The experiments are carried out to obtain the range of temperature of molten material to maintain its fluidity and to investigate the effect of gas cooling on the preservation of the slopes. Based on the results, some simple shapes such as a line-shape, an S-shape, and a circle-shape were fabricated from Ethylene Vinyl Acetatecopolymer (EVA). In order to examine the applicability of VDM to more general shapes, a tensile specimen and a yo-yo shape were manufactured by the proposed RP method using EVA material as the first trial approach. The present basic study has shown the possibility of a practicable utilization of the proposed VDM process to prototyping of a general three-dimensional shape.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속조형), Variable Deposition Manufacturing(가변용착쾌속조형), building time(적층시간), Ethylene Vinyl Acetatecopolymer(EVA)

1. 서론

쾌속 조형법이 등장한지 10 여년이 경과하는 동안 3 차원 시작품 제작을 위하여 여러 가지 새로운 쾌속 조형 기술이 개발되었다[1]. 현재 상용화되었거나 개발중인 쾌속 조형법에는 StereoLithography Apparatus(SLA), Fused Deposition Modeling(FDM), Shape Deposition Manufacturing(SDM)[2], Selective Laser Sintering(SLS), 3D printing, Laminated Object Manufacturing(LOM) 등이 있다[3].

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. 그러므로 시작품의 정밀도를 향상시키기 위해서 추가적으로

시작품의 계단 형상 제거를 위한 후처리 공정이 요구된다.

- 고정된 두께의 얇은 층(LOM의 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 위해서 본 연구에서는 정밀도 향상과 조형 시간을 획기적으로 단축시킬 수 있는 새로운 개념의 가변 용착 쾌속 조형 공정(Variable Deposition Manufacturing)을 제안하며, 이에 대한 실제적인 예로써 봉 타입의 hot melt 접착제의 base polymer 로 널리 쓰이는 Ethylene Vinyl Acetatecopolymer(EVA)를 공급 재료로 사용하는 VDM 공정을 개발하였다.

2. 가변 용착 쾌속 조형 공정

가변 용착 쾌속 조형 공정(Variable Deposition

Manufacturing)은 가변 노즐로부터 유출되는 용융 재료의 폭(width), 두께(thickness), 그리고 측면 경사(slope)를 실시간 제어하여 3 차원 형상을 적층 조형하는 쾌속 조형 공정이다. Fig. 1 은 가변 용착 쾌속 조형 공정(VDM)으로 측면 경사를 가진 3 차원 타원체의 적층 과정과 적층 형상을 나타내고 있다.

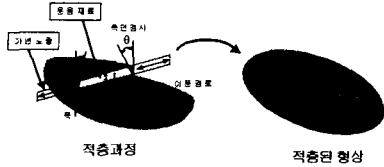


Fig. 1 Schematic of Variable Deposition Manufacturing (VDM)

3. 가변 용착 쾌속 조형 공정의 실험 장치

3.1 장치의 구성

Fig. 2 은 가변 용착 쾌속 조형 공정(VDM)을 위해 개발된 실험 장치이다. VDM 실험 장치는 가변 용착 노즐, 이송 테이블 장치, 그리고 구동 컨트롤러(controller)로 구성된다.

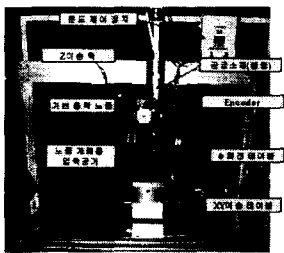


Fig. 2 The experimental apparatus for VDM

이 가변 용착 쾌속 조형 장치(VDM)에서 가장 중요한 부분은 가변 용착 노즐 장치이다. 가변 용착 노즐의 최대 폭은 25 mm 이고, 최대 두께는 3 mm 로 하였다. VDM 공정을 점진적으로 구현하기 위해서 1 차적으로 가변 폭 개념을 구현하고, 측면 경사는 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°로 교체할 수 있도록 함으로써 가변 경사의 개념을 적용할 수 있도록 하였다. 정밀한 제어를 하기 위해서 소재의 공급량을 감지하는 인코더와 테이블의 이송부는 서로 동기를 시켜서, 소재가 공급되는 동안에는 테이블이 이송되지만, 소재가 공급되지 않으면 테이블의 이송을 멈추고, 노즐의 출구가 닫히도록 설계하였다. 이송 테이블 장치는 가변 용착 노즐 시스템의 설계 변경(무게, 크기)에 적절하게 대응하도록 하기 위해서 테이블이 x 축, y 축, z 축으로 이송되고, ϕ 축으로 회전하도록 설계하였다. 작업공간(Working space)의 크기는 300×300×240 mm³ 이고, table 의 최대 이송 속도는 50.8 mm/sec 이다. 테이블 장치에는 주목할 점

은 ϕ 축으로 회전이송이 가능하다는 점이다. 이 때문에 VDM 장치는 축 대칭 파트(part)의 제작에 유리하다. 각각의 축의 스테핑 모터를 구동하기 위한 컨트롤러와 컴퓨터 입출력 인터페이스 카드를 제작하여 컴퓨터에 의해 테이블의 이송과 소재의 공급을 동시에 제어할 수 있도록 하였다. 모터 제어를 위한 소프트웨어는 C 언어를 이용하여 직접 프로그래밍 하였다.

3.2 적층 과정과 실험 재료

Fig. 3 는 Fig. 2 에 나타난 VDM 실험 장치를 이용한 적층 과정을 나타내고 있다. 현재 가변 용착 노즐은 z 축에 고정되어 있고 table 이 x, y ϕ 축으로 이송하면서 적층을 수행한다.

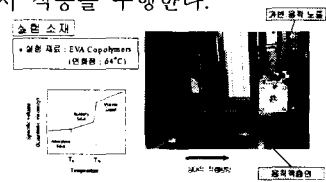


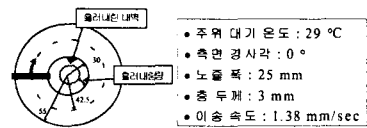
Fig. 3 One layer deposition process of VDM

실험 재료는 봉 타입의 hot melt 접착제의 base polymer 로 널리 쓰이는 Ethylene Vinyl Acetatecopolymer 를 사용하였다. 여기서 사용되는 재료의 연화점은 초산 비닐의 첨가량에 따라서 달라지지만 약 64 °C 정도이다[4].

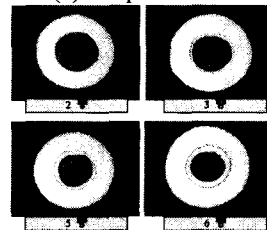
4. EVA 를 이용한 실험 및 실험 결과

4.1 원형 용착 적층 실험 (1)

Fig. 4(a)에서처럼 홀러내림량을 안쪽 원의 벽면에서부터 홀러내린 내벽까지의 거리로 정의 하였다. Fig. 4 (b)는 위의 실험 조건하에서 냉각을 하지 않았을 때, 적층 실험 결과를 보여 주고 있다.



(a) Experimental conditions



(b) Experimental results

Fig. 4 Deposition of a multi-layered circular shape without cooling

Fig. 5 에서 냉각을 하지 않았을 때, 위 층으로 갈수록 흘러내림량이 많아지는 이유는 위층으로 갈수록 온도가 상승하기 때문임을 알 수 있다.

따라서, VDM 공정에서 용융 재료를 다층 적층할 때, 주위와의 열전달의 불균일과 층간의 온도차 때문에 발생하는 흘러 내림을 방지하여 제대로 된 형상을 만들기 위해서는 반드시 냉각 메커니즘이 있어야 한다.

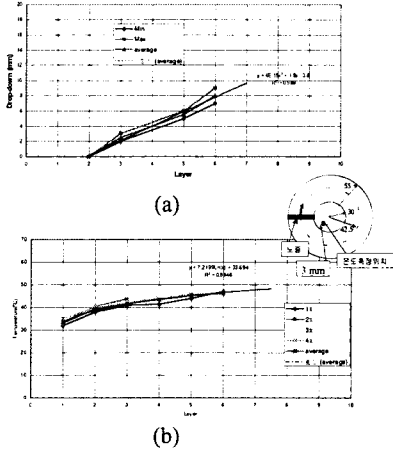


Fig. 5 (a) The amount of drop-down versus the number of layers (b) Temperature of the bottom layer versus the number of layers

4.2 원형 용착 적층 실험 (II)

Fig. 6(b)는 냉각을 하지 않았을 때와 냉각을 했을 때의 윗면과 아래면의 흘러내림 정도를 나타내고 있다. 냉각 메커니즘에 의해서 주위와의 열전달의 불균일과 층간의 온도차 때문에 발생하는 흘러 내림을 방지하여 제대로 된 형상을 만들 수 있었다.

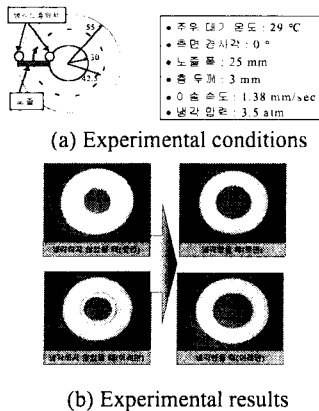


Fig. 6 Deposition of a multi-layered circular shape with cooling

4.3 형상 정밀도 향상을 위한 방법

4.3.1 Rolling 을 이용한 윗면 평탄화

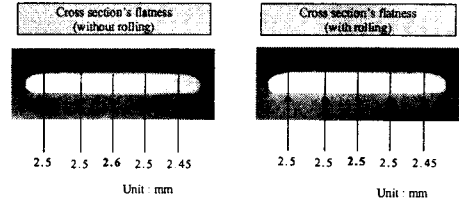


Fig. 7 The flattening of upper surface of one layer deposition by rolling

Fig. 7 는 롤러를 이용하지 않은 경우와 롤러를 이용한 경우, 각각에 대하여 단면의 평면도[5]를 비교한 것이다. 롤링을 수행하였을 때, 거의 균일한 두께를 나타내고 있다. 그리고, 가장자리 부분도 바닥에 완전히 용착 됨을 알 수 있다.

4.3.2 Filling 을 이용한 측면 단차 제거

Fig. 8 의 아래쪽은 위의 실험 방법을 S자 형상에 적용하여 단차를 제거한 실험 결과이다. 필링(Filling)을 수행하지 않았을 때, 가장자리 부분에서는 표면 장력과 중력 때문에 측면이 곡면 형태를 이루면서 아래로 처지는 현상이 발생하였고, 88 °C 에서 45° 의 경사각이 어느 정도 구현되는 대신에 용융 재료의 유동성이 떨어져서, 점성이 커지므로 인해서 가장자리부분이 바닥에 용착되지 않고 뜨는 현상이 역시 발생하였다. 이러한 문제점 때문에 필링을 수행하지 않고, S자 형상을 3 층으로 폭을 줄여 가면서 적층 하였을 때의 단면은 Fig. 8 의 왼쪽에 보여진 것과 같이 측면에 단차가 발생하였다. Fig. 8 의 오른쪽에 보여진 바와 같이 필링을 수행하였을 때, S자 형상의 다층 적층 시에 측면의 단차가 거의 제거 되었음을 알 수 있다.

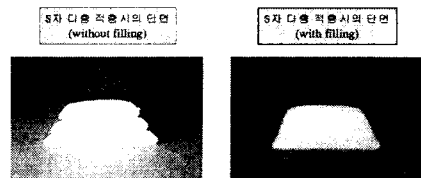


Fig. 8 The filling process for correcting the staircase of a multi-layered S-shape

4.4 EVA 를 이용한 3 차원 형상 제작

4.4.1 인장 시편 제작

Fig. 9 은 각각 LOM 과 VDM 으로 만든 인장 시편을 보여 주고 있다.

VDM의 가장 큰 특징 중에 하나인 가변 폭 개념을 이용하여 인장 시편을 제작하였다.

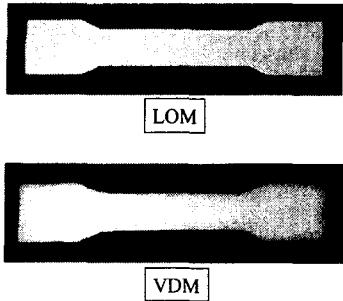


Fig. 9 Tensile specimens made by LOM and VDM

기존의 쾌속 조형 공정 중에 하나인 고정된 두께의 얇은 층을 적층하여 형상을 만드는 LOM과 순수 제작 시간을 비교하여 보았다. Table. 1에 나타낸 바와 같이, VDM이 기존의 LOM에 비해서 두꺼운 두께로 적층함으로써 순수 제작 시간의 측면에서 볼 때, 약 6 배 정도로 조형 시간을 대폭 단축시켰다.

Table. 1 Comparison of build time of a tensile specimen between LOM and VDM

	One layer's thickness	Total build thickness	Total number of build layer	Net build time
LOM (1015)	0.1067 mm	6 mm	56 layers	60 min
VDM	3 mm (< 28)	6 mm	2 layers	10 min (< 6)

4.4.2 요요 형상 제작

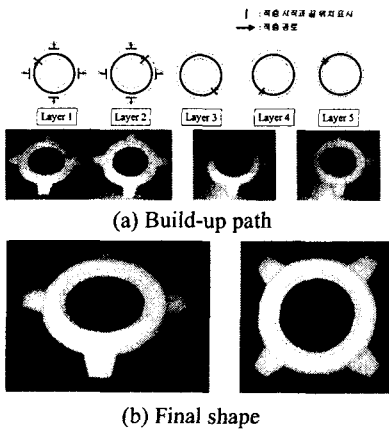


Fig. 10 The build-up path and final shape of yo-yo

Fig. 10(a)의 아래 그림은 실제 적층 과정을 나타내고 있다. Fig. 10(b)는 롤링을 통해서 윗면을 평탄

화 시키고, 필링을 수행하여 측면의 계단 형상을 제거한 최종 요요 형상을 나타내고 있다.

5. 결론

기존의 쾌속 조형 공정은 적층 시에 발생하는 계단 형상 때문에 시작품의 정밀도가 떨어진다. 이 때문에 시작품의 정밀도를 향상시키기 위해서 추가적으로 시작품의 계단 형상 제거를 위한 후처리 공정이 요구된다. 또한 고정된 두께의 얇은 층과 선형태로 적층하기 때문에 많은 조형 시간이 소요된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 다음과 같은 연구가 수행되었다.

첫째, 폭, 두께, 측면 경사 등이 조절 가능한 가변 용착 쾌속 조형 공정(Variable Deposition Manufacturing)을 개발하였다.

둘째, 개발된 VDM 공정의 소재로 EVA를 이용하여 선형과 S자형, 그리고 원형 같은 기본 형상을 제작하고, 보다 일반적인 3차원 형상인 인장 시편과 요요를 제작하였다.

셋째, 인장 시편 제작 실험 결과와 같이 넓은 폭과 두꺼운 두께로 적층함으로써 형상 제작 시간을 대폭 단축시켰다.

참고문헌

1. S. A. McMains, "Rapid Prototyping of Solid Three-Dimensional Parts," Master's Project under the direction of Carlo Sequin, 1995.
2. Fritz B. Prinz and Lee E. Weiss, "Novel Applications and Implementations of Shape Deposition Manufacturing," The Third Pacific Rim International Conference of Advanced Materials and Processing, pp. 1547-1554, 1998.
3. Paul F. Jacobs, Stereolithography and other RP&M Technologies, ASME Press, pp. 4-15, 1996.
4. William D. Callister, Jr., Materials Science and Engineering An Introduction, John Wiley & Sons, pp. 444-472, 1994.
5. E. Paul Degarmo, J T. Black, and Ronald A. Kohser, Materials and Processes in Manufacturing, Prentice-Hall, 8th Ed., pp. 244-298, 1997.