

단속형 가변적층 쾌속조형공정과 쾌속툴링 기술을 이용한 쾌속 3차원 기능성 제품 개발에 관한 연구

안동규*·이상호*·김기돈*·양동열**

(2002년 2월 19일 접수)

Study on Rapid Manufacturing of 3D Functional Parts Combining VLM-ST Process and Its RT Technology

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

Abstract

The combination of rapid prototyping(RP) and rapid tooling(RT) has a potential for rapid manufacturing of three-dimensional parts. In the present study, a new RP system, transfer type Variable Lamination Manufacturing using Expandable Polystyrene Foam (VLM-ST), is proposed to fabricate net shapes of three-dimensional prototypes. Various three-dimensional parts, such as a knob shape and a human head shape, are manufactured by the VLM-ST apparatus. In addition, a new rapid tooling technology, which utilizes a room temperature vulcanizing (RTV) molding technique and a triple reverse process technique, is proposed to manufacture net shapes of three-dimensional plastic parts using the prototypes of VLM-ST. A plastic part of the knob shape is produced by the proposed RT technology. The combination of the proposed RP and RT enables the manufacture of a plastic knob within two days.

Key Words : Rapid Manufacturing, Rapid Prototyping, Transfer Type Variable Lamination Manufacturing Using EPS Foam, Rapid Tooling, 3-D Functional Parts

1. 서론

최근의 경제 상황 및 산업 현장의 두드러진 특징은 생산 방법의 급속한 발전과 소비자의 다양한 기호에 의한 제품의 다양화 및 제품 사이클의 현저한 단축과 국내외 시장의 치열한 경쟁이라 할 수 있다. 이 같은 시장 상황

은 거의 모든 산업 분야에서 다품종 소량 생산의 특성을 가지고 있으며 제품 개발 및 생산 기간의 단축으로 인한 시장 진입 시간 및 투자 비용을 최소화할 수 있는 효과적인 제품 개발 및 생산 방법을 절실히 요구하고 있다. 이러한 시장의 요구를 만족시키는 한가지 대안으로 동시 공학적 개념의 새로운 제품 개발 및 생산 방식인 쾌속

* 한국과학기술원 대학원
** 한국과학기술원 기계공학과

조형 (rapid prototyping : RP), 쾌속 툴링 (rapid tooling : RT) 기술을 결합한 쾌속 제품 생산 (rapid manufacturing : RM) 방식이 국내 · 외적으로 활발하게 연구되고 있다.⁽¹⁾

쾌속 조형의 경우 1986년 광조형법 (stereolithography apparatus : SLA) 이 개발된 이후 약 20여가지 이상의 RP공정 및 장치들이 연구/개발 되고 있다.⁽²⁾ 또한, 각 RP 공정들은 제작된 제품의 재료적 특성 극복과 대량생산을 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. 특히, 제작 시간 최소화를 위하여 측면 경사를 가진 두꺼운 층을 쌓아 올려서 3차원 제품을 제작하는 후판 적층식 RP 공정(thick layered rapid prototyping technology)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Thomas 등은 상 · 하 두개의 xy 플로터 상대 운동에 의한 열선 경사를 이용하여 경사 절단을 수행하는 Shape MakerII⁽³⁾를 개발하였다. 그러나 ShapeMakerII 의 경우 두개의 xy 플로터가 동기되지 않아 열선의 발열량이 균일하게 유지되지 않으며 두개의 xy 플로터를 사용함으로써 회전시 절단기의 반응이 느려 열영향부의 제어가 어려운 단점을 가지고 있다. 또한, 두개의 xy 플로터로 구성된 열선 절단기 구조에 의하여 다중 연결 영역을 생성할 수 없는 단점으로 가지고 있다. Hope 등은 5축 워터젯(waterjet)으로 윤곽가공한 후, 이를 수작업으로 적층하여 물체를 완성하는 TrueSurf 공정⁽⁴⁾을 개발하였다. Zheng 등은 레이저 절단기가 부착된 5축 경사면 절단 시스템과 로봇 재료 이송 시스템을 이용한 CAM-LEM⁽⁵⁾ 공정을 개발한 바 있다. 하지만, 이러한 후판 적층식 RP 공정의 경우 적층 두께가 모두 10mm 이상으로 매우 두꺼우며 고가의 절단 시스템과 대형 재료 운송 시스템으로 구성되어 실용적으로 사용되지 못하고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 D. Y. Yang, D. G. Ahn 등에 의하여 연속적으로 공급되는 재료를 4축 동시 제어되는 열선 절단기로 절단후 적층하는 연속형 가변적층쾌속조형공정 (Progressive type variable lamination manufacturing using expandable polystyrene foam : VLM - sp) 이 제안된 바 있다.⁽⁶⁾

RT의 경우 RP 제품을 이용한 기능성 제품 제작을 위하여 지속적으로 개발되고 있다. RT에서는 RP 제품을 이용하여 직접 몰드를 제작하는 방법(direct tooling) 과

RP에 의하여 제작된 원형으로부터 부가적인 공정을 거쳐 몰드를 제작하는 2차 공정법 (indirect tooling) 이 있다. 현재 개발된 RP 기법에서는 경제적인 면과 기술적인 면을 고려할 때 2차 공정에 이용하여 제품을 제작하는 2차 공정법이 유리하기 때문에 이 방법이 광범위하게 활용되고 있다.⁽¹⁾ 2차 공정법에는 역전횟수에 따라 일단 역전 공정, 이단 역전 공정 및 삼단 역전 공정으로 나뉜다.⁽⁷⁾

RP와 RT 공정의 장점을 결합한 쾌속 생산 방법의 경우 여러 분야에서 다양하게 연구되고 있다. Park and Yang⁽⁸⁾은 SLA를 이용한 금형 제작 방법에 대하여 연구하였고, Schreiber⁽⁹⁾는 박판을 레이저 절단후 적층하여 블링킹 금형을 제작하였다. Kuzman 과 Geiger⁽¹⁰⁾은 SLS를 이용하여 직접식으로 박판 성형용 금형을 제작하였으며, Kuzman 등⁽¹¹⁾은 쾌속조형과 CAE를 통합하여 몰드 생산에 적용하였다. Ahn과 Yang 등⁽¹²⁾은 연속형 가변적층 쾌속조형공정과 응용기술을 이용하여 금속 제품을 제작한 바 있다.

본 연구에서는 신개념 쾌속조형 공정인 VLM-ST 공정과 VLM-ST 공정의 시작품을 이용한 삼단 역전 RT 공정(triple reverse process) 및 이 두가지를 결합한 쾌속 3차원 기능성 제품 제작 공정을 제안하였다. VLM-ST 공정으로 인체 두상과 노브 형상을 제작하여 본 공정의 적용성과 효율성을 보였다. VLM-ST로 제작된 시작품을 제안된 RT 공정에 적용하여 실리콘 금형과 3차원 플라스틱 제품을 제작하여 본 공정의 효율성을 검증하였다.

2. 단속형 가변적층 쾌속조형공정 (VLM-ST) / 시스템 및 3차원 시제품 제작

2.1 VLM-ST 공정 특징 및 원리

신개념 RP 공정인 VLM-ST 공정의 원리 및 조형 공정은 Fig. 1과 같다.

VLM-ST 공정은 단속적으로 공급되는 여러 가지 두께를 가진 판재 형태의 재료를 실시간 동시 4축 제어되는 4자유도 열선 절단기를 사용하여 CAD 형상과 일치하도록 가변 폭, 가변 경사 및 가변 길이로 절단하여 단위 형상층(unit shape layer : USL)을 생성한 후 파일럿 구멍(pilot hole)과 적층 보조 장치(building board)를 사용하여 반자동으로 적층함으로써 임의 3차원 형상의 제품을 쾌속 조형한다.

VLM-ST 공정은 3가지 주요 특징을 가지고 있다.

(가) 두꺼운 층과 측면 경사각을 이용한 3차원 형상의 쾌속조형

VLM-ST 공정은 두꺼운 층을 사용하여 연속되는 두층

사이가 선형 보간되어 측면 경사를 가지도록 한다. 두께에 의해 발생하는 오차를 최소화 하기 위하여 4mm 이하로 한층의 두께를 제한한다. Fig. 2⁽¹³⁾에 의하면 VLM-ST 공정의 경우 측면 곡률 반경 (radius of surface curvature : ρ)이 두께와 같을 경우 측면 최대 오차(maximum cusp height : δ)가 0.5mm 이며, 측면 곡률 반경이 증가할수록 측면 오차가 현저히 감소하는 것을 알 수 있다. 실제적으로 RP 공정의 오차가 0.1mm ~ 0.5mm 범위임을 고려하면,⁽¹⁴⁾ 두께의 영향에 의한 오차는 거의 없음을 알 수 있다. 그러나, 두께의 증가에 의하여 조형 속도는 획기적으로 증가 시킬 수 있다.

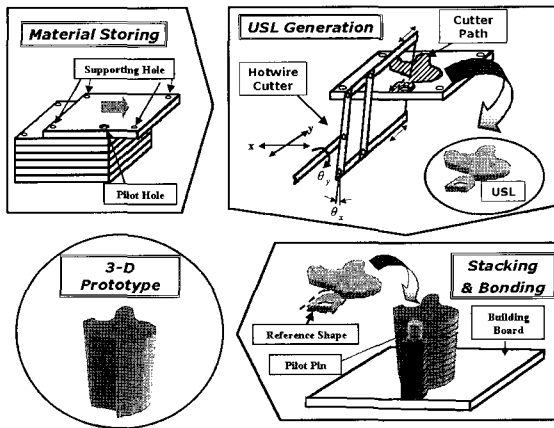


Fig. 1 Principle and building process of VLM-ST

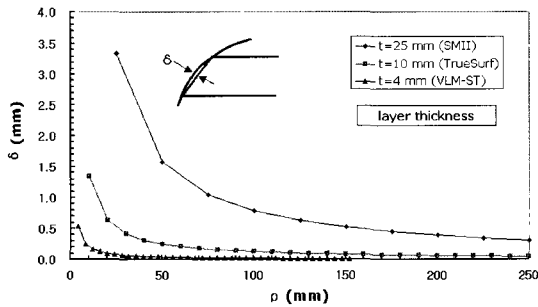


Fig. 2 Relationship between cusp height error (δ) and curvature radius of side surface (ρ) according to layer thickness

(나) 공정 설계

VLM-ST 공정 설계는 USL 개념과 재료 절단 후 적층 및 접착 수행 방법 및 파일럿 홀과 적층 보조 장치를 이용한 반자동 적층/접착 방법의 3가지 특징을 가지고 있다. USL 개념은 연결자(connector)와 횡단선(cross-cut)

을 이용하여 단순 연결된 3차원 형상내의 한 층을 생성함으로써 구멍이나 고립 형상(island)이 존재하는 다중 연결 영역 (multiple connected domain)을 포함하는 다양한 형상을 절단할 수 있도록 하였다. 또한, USL은 적층/접착의 기준인 파일럿 구멍과 실제 형상 부분의 연결자인 적층 기준 형상(reference shape)을 가지도록 하였다. 재료 절단후 적층 및 접착을 수행하는 방법은 박판 조형공정(laminated object manufacturing : LOM)⁽¹⁵⁾에서 나타나는 다중 연결 영역과 지지대(supporter) 영역에 존재하는 잔여 재료의 제거 공정(decubing)을 최소화하였다.

(다) 공급재료와 절단장치의 조합

열선 절단기는 발포 폴리스티렌(Expandable Polystyrene : EPS) 폼 절단시 절삭 저항이 매우 작기 때문에 매우 빨리 절단할 수 있다. 또한, VLM-ST 공정은 레이저와 같은 고가의 절단 장치나 광경화 수지 및 특수 금속/플라스틱 분말등 고가의 재료를 사용하지 않고, 전기 저항을 이용하는 열선절단기와 발포 폴리스티렌 폼을 사용함으로써 장치의 도입비와 운영/유지비가 매우 저렴하다. 또한, EPS 폼이 매우 다루기 쉬우므로 제작된 3차원 형상의 후처리가 용이하다.

2.2 VLM-ST 시스템

2.2.1 USL 데이터 생성

경사각을 보유하는 3차원 열선 이동 경로를 포함하는 USL 데이터를 생성하기 위하여 일반적인 RP 공정의 입력 데이터 생성 프로그램과 달리 측면 형상 복원(surface reconstruction), 중간 단면(mid-slice) 생성 및 측면 경사각 계산이 소요되며, 적층/접착을 효과적으로 수행하기 위하여 파일럿 구멍을 포함하는 기준 형상 생성이 추가적으로 소요된다. Fig. 3(a)는 USL 데이터 생성과정이며, Fig. 3(b)는 USL 데이터 생성과정을 순오공 형상을 이용하여 나타내었다. USL 데이터의 측면 경사각 (ϕ_x , ϕ_y) 은 식(1) 과 식(2)에 의하여 계산된다.

$$\phi_x = \sin^{-1}(n_y u_z - n_z u_y) \quad (1)$$

$$\phi_y = \sin^{-1}\left(\frac{n_y u_z - n_z u_y}{\cos \phi_x}\right) \quad (2)$$

여기서, n_x, n_y, n_z 와 u_x, u_y, u_z 는 CAD 데이터에 대한 표면 삼각형 패시상에서의 법선 벡터 및 열선 진행 방향 벡터이다.

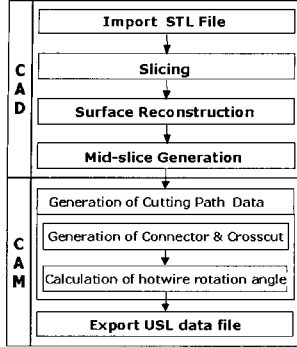


Fig. 3(a) Process flow to generate USL data

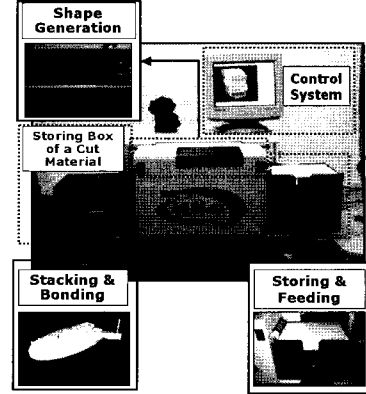


Fig. 4 VLM-st apparatus

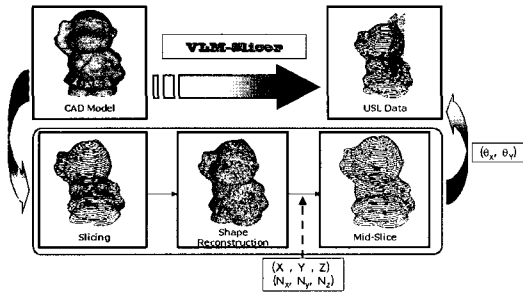


Fig. 3(b) Generation of USL data for a son-o-kong shape

2.2.2 VLM-ST 장치

VLM-ST 장치는 Fig.4와 같이 4가지 세부 공정으로 구성된다. 본 장치의 제작 가능 크기는 평면내에서는 220 mm × 180mm 이며, 최대 적층 높이는 제한이 없다.

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

형상 생성부는 공급된 판재 형태의 재료를 시스템 제어부에서 제공되는 형상 정보, 열선 투입 열량, 열선 이동 경로 및 열선 이송 속도를 이용하여 3차원 목적물의 각층인 USL을 생성한다. USL은 VLM-ST 공정의 특징인 4축 동시 제어되는 자동 열선 절단기 시스템에 의하여 생성된다.

VLM-ST 공정에서는 ShapeMakerII 공정의 단점인 절단기 발열량의 불균일성과 회전축의 느린 반응 특성에 의한 피절단부 과용융 현상을 극복하기 위하여 4축이 모

두 일체화된 하나의 구조물에 부착되며 평형 사변형 링크 메카니즘을 이용하여 열선 길이가 일정하게 유지되어 열선 발열량이 변하지 않는 열선 절단기 시스템을 사용하였다.

열선 절단기의 운용 조건은 열선의 절단중 휨 현상이 발생하지 않으며 측면 경사 절단시 경사각이 구현되는 범위인 유효 입열량이 0.012-0.017Watt · sec/mm² 으로 제안하였다.⁽¹⁶⁾ 유효 입열량은 열선의 선형 열원 특성을 고려하면 식(3)과 같이 정의될 수 있다.

$$Q_{eff} = \frac{VI}{L_e V_c} = \frac{VI}{30 V_c} \quad (3)$$

여기서, Q_{eff}, V, I, L_e, V_c 는 각각 열선에 투입되는 유효 입열량, 전압, 전류 및 열선의 유효 길이와 열선 절단기 절단 속력이다.

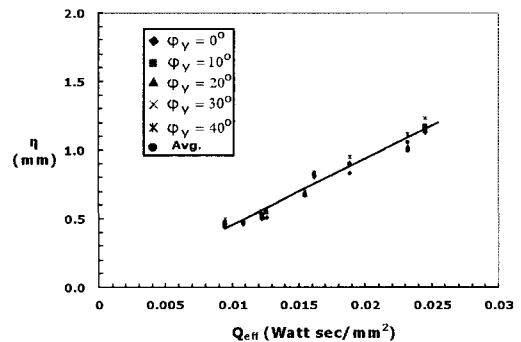


Fig. 5 Relationship between the kerfwidth (η) and the effective heat input (Q_{eff}) according to cutting angle (φ_v).⁽¹⁶⁾

식(4) 와 Fig. 5 는 열선 유효 입열량과 용융량(kerfwidth : η)의 관계를 나타낸다. 식(4)를 이용하여 열선 절단시 용융량을 고려한 수정된 열선 절단기 절단 경로를 생성 할 수 있다.

$$\eta = 48.2Q_{eff} - 0.02 \quad (4)$$

적층 및 접착부는 형상 생성부에서 제작된 USL을 적층 보조 장치와 파일럿 핀을 이용하여 오프라인에서 반자동으로 적층 한 후, 접착제로 접착시키는 공정이다.

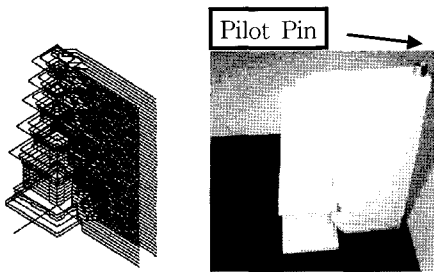


Fig. 6 Stacking and bonding using building board and pilot-hole (pagoda)

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.

2.3 3차원 시작품 제작 실험 및 결과

제안된 VLM-ST 공정의 적용성과 효율성을 검증하기 위하여 인체 두상과 노브(Knob) 형상을 제작하였다. 또한, 본 공정의 효율성을 검증하기 위하여 인체 두상과 노브를 상용화 공정으로 제작하여 형상, 제작 시간, 제작 단가 및 제품 정밀도를 비교 분석하였다. 적용된 상용화 공정은 VLM-ST 공정과 유사하며 조형 속도가 빠른 것으로 알려진 LOM 공정이며 장치 모델은 LOM 1015 이다.

제작 시간(building time : T) 계산은 식(5)와 같다.

$$T = T_{BS} + T_{BL} + T_{DL} \quad (5)$$

여기서, T_{BS} 는 기저 생성을 포함하는 초기 셋업 시간이며 T_{BL} 은 실제 제품 조형시간이고, T_{DL} 은 후처리 시간이다.

제품 제작 비용은 공급 재료비, 장치 운영비 및 장비

운영/유지비를 포함한다. 본 연구에서는 제작 비용 계산 시 공급 재료비만을 적용하였다.

2.3.1 인체 두상 제작 실험 및 고찰

VLM-ST 이용하여 Fig.7과 같은 인체 두상 (human head shape)을 제작하였다. 인체 두상 제작에 사용된 공정 조건은 열선 입열량 0.34Watt/mm 및 절단 속도 40 mm/s 이다. VLM-ST 시스템을 이용한 제품 제작 과정은 Fig. 8과 같으며, VLM-ST 및 LOM 공정으로 Fig. 9와 같은 최종 제품이 제작되었다. VLM-ST 및 LOM 공정의 인체 두상 제작에 소요된 제작 시간, 제작 비용 및 제품 정밀도는 Table 1과 같다.

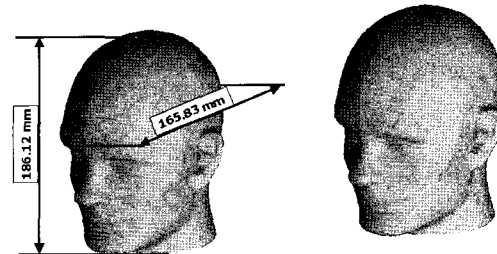


Fig. 7 Dimension and geometry of human head shape

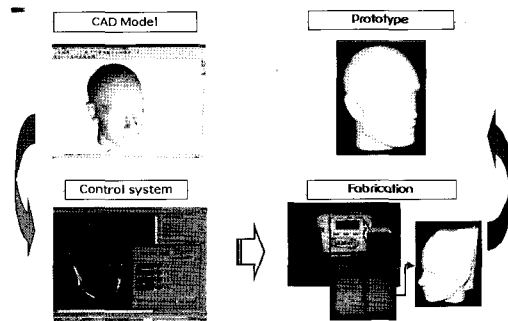


Fig. 8 Manufacturing process of human head shape in VLM-ST system

VLM-ST 장치로 제작된 인체 두상은 CAD 형상과 0.8% 이내의 정밀도를 유지하였다. Fig. 9(a)의 LOM 공정으로 제작된 제품과 Fig. 9(b)의 VLM-ST로 제작된 제품의 경우 거의 동일한 외곽 형상을 나타내었다.

각 공정으로 제작된 제품의 표면 상태의 경우 Fig. 9(a), (b)와 같았다. VLM-ST 공정으로 제작된 제품의 표면 상태는 후처리 완료 후 표면 상태가 매우 양호하나, LOM 으로 제작된 제품의 경우 후처리 완료 후에도 표면에 수직벽 적층에 의한 계단 현상이 존재하였다.

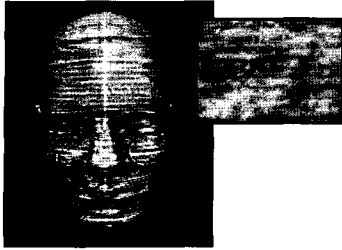


Fig. 9(a) Human head shape using LOM and its surface quality

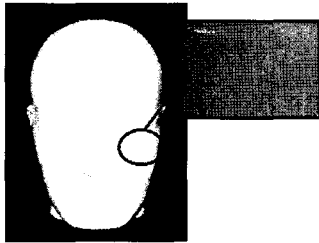


Fig. 9(b) Human head shape using VLM-ST and its surface quality

Table 1 Comparison of building time, building cost and dimensional accuracy of human head shape

Process	Building Time (min)	Building Cost (won)	Dimensional Accuracy (%)
LOM	2,350	960,000	0.7
VLM-ST	40	6,000	0.8

Table 1 의 인체 두상 제작 결과에서 제작시간과 제작비용 측면에서 비교하면, VLM-ST 공정이 제작 시간의 경우 LOM 공정에 비하여 50배 이상 짧고 제작 단가는 150배 이상 저렴함을 알 수 있다. 제작 시간의 경우 VLM-ST 공정이 획기적으로 감소된 것은 LOM 공정과 달리 초기 셋업이나 기저 생성 시간이 요구되지 않는 점과 4mm 정도의 두꺼운 층을 사용함으로써 0.106mm 내외의 얇은 층을 사용하는 LOM 공정보다 조형 시간이 획기적으로 단축된 점 및 절단 후 적층/접착하는 방법을 도입함으로써 잔여 재료 처리와 같은 후처리 공정을 최소화된 점에 기인하는 것으로 사료된다.

제작단가의 경우 VLM-ST 공정에 사용되는 EPS 폼이 매우 저렴하므로 제작단가가 현저히 감소하였다. 실제적으로 LOM 공정의 경우 장치 자체가 2억원 내외의 고가 장비이며, 레이저를 이용하므로 여기에 소요되는 전력

사용량이 매우 크며, 얇은 층을 적층 해서 제품을 제작함으로 시간당 산정되는 실제운영비는 VLM-ST 에 비하여 매우 높을 것으로 사료된다.

형상 정밀도의 경우 인체 두상에 대해서는 두가지 공정 모두가 1% 미만의 평면내 정밀도를 나타내었다.

2.3.2 자동차 노브 형상 제작 실험 및 고찰

VLM-ST 이용하여 Fig. 10과 같은 자동차 노브 형상(knob shape)을 제작하였다. 자동차 노브 형상 제작에 사용된 공정 조건은 열선 입열량 0.34Watt/mm 및 절단속력 40mm/s 이다. VLM-ST 및 LOM 공정으로 Fig. 11과 같은 형상과 표면 상태를 가지는 최종 제품이 제작되었다. VLM-ST 및 LOM 공정의 자동차 노브 형상 제작에 소요된 제작시간, 제작비용 및 제품 정밀도는 Table 2와 같다.

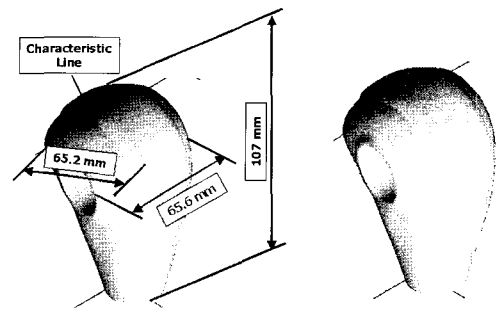


Fig. 10 Dimension and geometry of knob shape

VLM-ST 장치로 제작된 자동차 노브 형상은 CAD 형상과 0.7% 이내의 정밀도를 유지하였다. Fig. 11(a)의 LOM 공정으로 제작된 제품과 Fig. 11(b) VLM-ST으로 제작된 제품의 경우 거의 동일한 외곽 형상을 나타내었다. 특히, 자동차 노브가 가장 많이 운전자의 손과 접촉하는 부분인 외부 돌출부와 노브의 주 외곽 부위를 연결하는 특성 곡선의 경우 두 공정 모두가 잘 묘사되었다.

VLM-ST 공정과 LOM 공정으로 제작된 자동차 노브 형상에 대하여 제작 시간과 제작 비용 측면에서 비교하면, VLM-ST 공정이 제작 시간의 경우 LOM 공정에 비하여 37배 이상 짧고 제작 단가는 150배 이상 저렴함을 알 수 있다.

제작 시간의 경우 VLM-ST 공정이 획기적으로 감소된 것은 인체 두상과 동일한 사유인 초기 셋업이나 기저 생성 시간이 요구되지 않는 점과 4mm 정도의 두꺼운 층을 사용함으로써 0.106mm 내외의 얇은 층을 사용하는 LOM 공정보다 조형 시간이 획기적으로 단축된 점 및

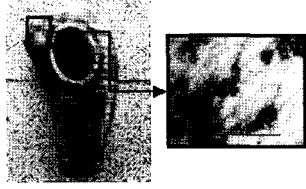


Fig. 11(a) Knob shape using LOM and its surface quality

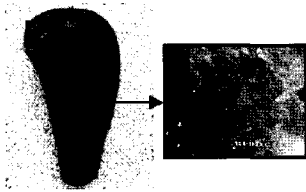


Fig. 11(b) Knob shape using VLM-ST and its surface quality

Table 2 Comparison of building time, building cost and dimensional accuracy of knob shape

Process	Building Time (min)	Building Cost (won)	Dimensional Accuracy (%)
LOM	740	550,000	0.8
VLM-ST	20	3,500	0.7

절단 후 적층/접착하는 방법을 도입함으로써 후처리 공정을 최소화된 점에 기인하는 것으로 사료된다.

인체 두상 형상 제작에 비하여 노브 형상의 제작에 LOM 공정에 대한 VLM-ST 공정의 상대적 제품 제작 시간이 약 30% 정도 증가한 것은 VLM-ST 공정의 특징인 두꺼운 층의 효과가 제품이 적층수직 방향의 치수가 클수록 두드러지게 나타나는 것과, 자동차 노브 형상의 경우 인체 두상에 비해 LOM 공정에서의 기저 생성 및 후처리 시간이 20% 정도 감소한 점에 기인한 것으로 사료된다.

제작단가의 경우 또한 인체 두상 제작 결과와 같이 VLM-ST 공정에 사용되는 EPS 폼의 저렴한 가격 때문으로 사료된다.

본 형상에 대한 평면내 형상 정밀도는 두가지 공정 모두 1% 미만이었다.

3. VLM-ST 시작품을 이용한 기능성 제품 제작

VLM-ST 공정에 의하여 제작된 시작품을 산업적으로 적용 가능한 실제 프로토타입 (true prototype)으로 사용

하기 위해서는 제품의 기능성을 구현할 수 있어야 한다. 또한, VLM-ST 시작품과 같이 EPS 폼을 원형으로 사용하는 2차 공정의 단점인 하나의 원형에 하나의 제품만을 제작할 수 있는 단점을 극복할 수 있어야 한다.

3.1 RTV 실리콘 성형을 이용한 삼단 역전 공정

본 연구에서는 VLM-ST 시작품을 이용하여 기능성을 가진 실제 프로토타입을 빠른 시간내에 제작할 수 있는 RT 공정을 RTV 실리콘 성형법과 삼단 역전 공정을 이용하여 제안하였다. 본 RT 공정은 Fig. 12와 같이 VLM-ST 시작품 원형을 세 번 뒤집어 최종 제품을 제작하는 삼단 역전 공정 (triple reverse process) 이다.

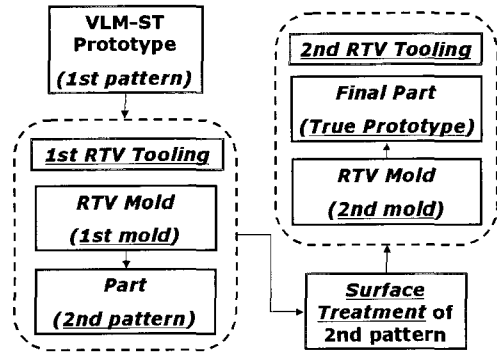


Fig. 12 Process flow of the proposed triple reverse process

일반적인 삼단 역전 공정들은 상·하형 몰드를 제작하기 위하여 역전 공정을 수행한다. 그러나, 제안된 RT 공정은 EPS 폼 재료가 가지고 있는 내부 기공과 기공에 내제하는 가스들에 의하여 RT 제품의 표면에 발생하는 결함을 제거하기 위하여 중복 몰드와 이중 원형 및 표면 처리를 수행하는 것이 특징이다.

3.2 3차원 기능성 제품 제작 실험 및 고찰

본 연구에서 제안된 RTV 실리콘 성형 공정을 이용한 삼단 역전 RT 공정을 적용하여 플라스틱 노브를 제작하였다. Fig. 13 은 제안된 RT 공정에 의한 플라스틱 노브 제작 과정이다. 1차 RTV 실리콘 몰드 제작시 Fig. 14(a)와 같이 VLM-ST 시작품의 표면 기공에 의한 결함과 기공내에 내제된 가스에 의하여 진공 형성시 원형의 도포층에 발생하는 추가적인 기공이 1차 금형에 전사되었다. 그 결과 1차 금형에 의해 제작된 2차 원형의 표면 기공에 의한 구멍 및 1차 원형에 미세하게 형성된 층간 피와 같은 표면 결함 나타났다. 이것을 제거하기 위하여 Fig.

14(b) 와 같이 2차 원형을 표면 처리한 후 2차 RTV 실리콘 몰드를 제작하였다. 표면 처리된 원형을 이용하여 몰드를 제작한 경우 1차 금형에서 나타났던 표면 결함들이 모두 제거된 몰드 표면을 얻었다. 2차 몰드를 이용하여 제작된 최종 플라스틱 노브는 Fig. 14(c)와 같은 부드러운 표면을 나타내었다.

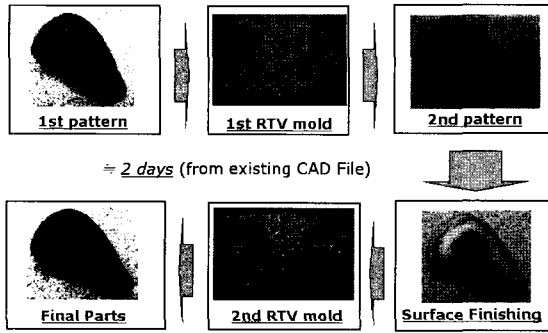


Fig. 13 Triple reverse process to manufacture plastic knob shape

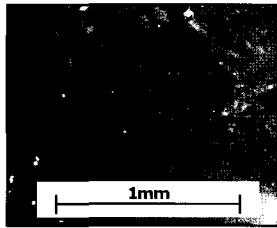


Fig. 14(a) Surface quality of the first pattern

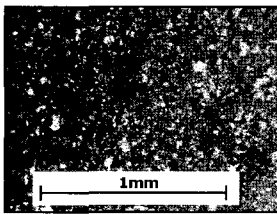


Fig. 14(b) Surface quality of the second pattern

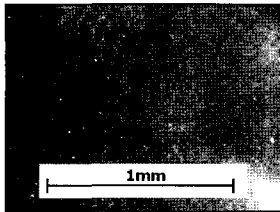


Fig. 14(c) Surface quality of the final part

본 실험에서 노브의 CAD 데이터로부터 최종 형상의 플라스틱 노브를 제작하는 전체 과정이 2일에 완료되었다. 일반적으로 RP와 RT를 이용하여 시제품 제작을 수행하는 전문업체의 경우 완성된 CAD 데이터로부터 기능성 제품 제작에 소요되는 기간이 약 5~7일 정도임⁽¹⁷⁾을 고려할 때 제안된 RP와 RT 공정의 결합에 의하여 제품 개발 기간이 획기적으로 단축되었음을 알 수 있다. 이 결과는 제안된 VLM-ST 공정의 획기적인 원형 제작 시간 단축 능력과 제안된 RT 공정의 신속한 기능성 제품 제작 능력에 기인한 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 신개념 RP 공정인 VLM-ST 공정과 이 공정에 적합한 RT 공정인 RTV 실리콘 성형을 이용한 삼단 역전 RT 공정을 이용한 쾌속 3차원 기능성 제품 제작 기법에 대하여 연구하였다. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 제안된 VLM-ST 공정을 다양한 3차원 형상의 제품 제작에 적용하여 본 공정의 적용성과 효율성을 검증하였다. 또한, VLM-ST로 제작된 제품과 상용 공정인 LOM 공정으로 제작된 제품을 제작 시간, 제작 비용 및 정밀도 관점에서 비교/분석 결과 VLM-ST 공정의 경우 제작 시간 및 제작 비용은 각각 35배 및 150배 이상 감소하였으며, 평면내 정밀도는 0.8% 미만으로 LOM 공정과 유사 하였다.

둘째, 제안된 RTV 실리콘 성형을 이용한 삼단 역전 RT 공정을 이용하여 플라스틱 재질의 자동차 노브 형상을 제작하여 본 공정의 실용성과 효율성을 입증하였다. 그 결과, 제안된 RT 공정이 3차원 기능성 시작품을 쾌속 제작 가능한 공정임을 알 수 있었으며, 기존의 EPS 폼 원형이 가지고 있는 내부 기공 및 가스에 의한 표면 결함 문제와 일회성 원형의 한계를 극복할 수 있었다.

셋째, VLM-ST 공정과 삼단 역전 RT 공정의 결합은 플라스틱 노브의 경우 CAD 데이터로부터 기능성 시작품 제작까지 2일 정도로 시작품 제작 기간이 획기적으로 단축됨을 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) Kruth, J. P., 1991, "Material increment manufacturing by rapid prototyping techniques", Annals of the CIRP, Vol.30, No.2, pp. 603~614.
- (3) Nova, A., Kaza, S., Wang, Z. and Thomas, C., 1996, "Techniques for improved speed accuracy in layered manufacturing", Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 609~617.
- (4) 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.
- (5) Zheng, Y., Choi, S., Mathewson, B. and Newman, W. S., 1996, "Rapid Prototyping with Sloping Surfaces", Rapid Prototyping Journal, Proceedings of Solid Freeform Fabrication Symposium, pp. 355~362.
- (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, 손현기, 2000, "쾌속제품개발을 위한 쾌속조형의 최근 동향", 한국정밀공학회지, 제 17권, 제 10호, pp. 5~10.
- (8) 박 근, 양동열 외 3인, 1996, "쾌속 3차원 조형법을 이요한 시각기술 및 시각 금형 제작 기술 개발", 대한기계학회논문집, 제 20권 제 5호, pp.1582~1589.
- (9) Schreiber, M. P., Clyens, S., 1993, "Blanking Tools Manufactured by Lamination Laser Cut Steel Sheets", Proceedings of the 2nd, European Conference for Rapid Prototyping, pp. 168~176.
- (10) Kuzman, K., Geiger, M., et al., 1999, "Rapid Sheet Metal Development chain supported by laser sintered active tool parts", Proceedings of the 6th ICTP, Vol.II, pp.999~1004.
- (11) Kuzman, K., Nardin, et al., 2001, "The integration of rapid prototyping and CAE in mould manufacturing", J. of Mater. Proc. Tech. vol.111, pp.279~285
- (12) 안동규, 이상호, 양동열, 2001, "연속형 가변 적층 쾌속 조형과 응용기술을 이용한 3차원 제품의 정형 가공에 관한 연구", 한국소성가공학회지, 제 10권 제 6호, pp.500~508.
- (13) de Jager, P. J., Broek, J. J., and Vergeest, J. S. M., 1997, "A comparison between zero and first order approximation algorithms for layered manufacturing", Prototyping Journal, Vol.3, No. 4, pp. 144~149.
- (14) Muller, T., 2000, "Fundamentals of rapid prototyping", RP&M 2000 Conference Tutorial Notes, Chicago, U.S.A.
- (15) Helisys. 1995, "Laminated object manufacturing 1015 system user's manual", Helisys, Inc.
- (16) Ahn, D. G., 2002, "Investigation into development of variable lamination manufacturing using expandable polystyrene foam", KAIST, Ph.D. Thesis
- (17) Hilton, P. D., Jacobs, P. F., 2000, "Rapid Tooling", Marcel Decker, Inc., pp. 51~57.