한국정밀공학회지 제 22 권 제 2 호 (2005 년 2 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 22, No. 2, February 2005.

VLM-ST 시작품의 적층무늬 제거를 위한 표면처리 방법론 개발

이상호*, 김효찬*, 송민섭*, 양동열#

Development of Surface Finishing Methodology for the Laminated Pattern Removal of VLM-ST Parts

Sang-Ho Lee*, Hyo-Chan Kim*, Min-Sup Song*, Dong-Yol Yang#

ABSTRACT

A new effective thick-layered RP process, Transfer-type Variable Lamination Manufacturing using expandable polystyrene foam (VLM-ST) has been developed with thick layers and sloped surfaces. VLM-ST has the innate advantages by virtue of its working principle: high building speed, low cost for introduction and maintenance of VLM-ST apparatus, little staircase surface irregularities of parts. Despite these advantages in VLM-ST, the surface roughness of VLM-ST parts is still inadequate to be used as RP master patterns for rapid tooling (RT). This paper describes the systematic and effective methodology to remove the laminated pattern and improve the surface roughness for VLM-ST parts. From the results of surface finishing of VLM-ST parts, it can be seen that the laminated pattern is completely removed and the surface characteristics such as surface roughness, surface hardness, and paintability are improved.

Key Words : Rapid Prototyping(쾌속 조형), Rapid Tooling(쾌속 툴링), Variable Lamination Manufacturing(가변 적층 쾌속조형), Laminated Pattern(적층 무늬), Surface Roughness(표면 조도)

1. 서론

쾌속조형 기술 [1] 은 복잡한 3 차원 형상을 간편하고 빠르게 제작할 수 있기 때문에 설계 검증용 시제품 제작, 역공학과 연계하여 시제품 제작, 감성 품질 확인용 모델 제작, 기능성 테스트용 시제품 제작 등에도 활용 되고 있으며, 최근에는 제품 생산단계에서 정밀 주조용 마스터 모델 제작 및 직접적인 몰드의 제작 등과 같은 쾌속 툴링(Rapid Tooling) 기술에도 활용 되고 있다. 이러한 다양한 응용에서 쾌속조형기술은 조형시간과 제작비 측면에서는 CNC 가공에 비해서 경쟁력을 가지고 있지만, 치수 정밀도 측면에서는 적층 조형 기술 자체의 고유한 특성 때문에 아직은 개선할 점이 있다.

일반적인 쾌속조형 시작품의 주요 오차 발생 원인은 다음과 같다.

(1) CAD 모델의 표면을 삼각형망으로 근사하여 STL 포맷으로 변환하는 과정에서 발생하는 기

접수일: 2004 년 5 월 31 일; 게재승인일: 2004 년 11 월 19 일
* 한국과학기술원 기계공학과
# 교신저자: 한국과학기술원 기계공학과
E-mail dyyang@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-3214

하학적인 오차

(2) 쾌속조형 시작품의 조형 방향에 따른 오차

(3) 2 차원의 얇은 층을 순서대로 적층하여 3 차원 형상을 조형하는 공정원리에 기인한 계단 효과(staircase effect)에 의한 오차

이러한 오차를 개선하기 위해서 광조형법(SLA), 용착조형공정(FDM), 선택적레이저소결공정(SLS), 박판조형공정(LOM), 3 차원 프린팅(3DP) 등과 같은 쾌속조형기술을 이용하여 제작한 대부분의 시작품의 경우, 표면 품질을 개선하기 위한 '후처리(Post-processing)' 작업을 수행한다.

쾌속조형공정으로 제작된 시작품의 표면 품질을 개선하고자 하는 노력은 여러 연구자들에 의해서 시도 되었다.

Reeves[2] 등은 광조형공정으로 제작된 시작품의 표면 조도를 수학적으로 표현하고, 표면 거칠기에 영향을 주는 인자들을 규명하려는 노력을 하였다. Hope[3] 등은 설계된 CAD 데이터의 측면을 1 차 근사시킨 경사면을 가진 층으로 3 차원 형상을 제작하는 TruSurf 공정을 개발했다. 하지만, 각각의 경사면을 가진 층을 절단하기 위해서 고가의 5 축 워터젯을 이용함으로써 실용성이 다소 떨어지는 문제점이 있다. Williams[4] 등은 광조형으로 만들어진 시작품의 표면 처리를 위해서 AFM(Abrasive flow machining)을 이용하였다. 그 결과, 통계적 해석에 의해서 연마재의 압력, 입자크기, 적층 방향 등이 표면 조도에 영향을 미치는 주요 인자임을 밝혔다. Bharath[5] 등은 FDM 공정에서 층 두께와 조형 방향 등의 주요 인자가 표면 거칠기에 미치는 영향에 대해서 밝히고 최적의 FDM 공정변수를 선택함으로써 보다 좋은 표면 품질을 가진 FDM 파트를 제작할 수 있음을 제안했다. Stucker[6] 등은 쾌속조형으로 제작된 시작품을 CNC 가공을 통해서 표면처리를 함으로써 치수정밀도를 높이고, 표면 조도를 향상시키는 방법을 제안했다. 양화준 [7] 등은 코팅 재질, 작업 순서, 작업 조건, 사상도구 등을 유기적으로 조합하여 쾌속조형부품의 체계적인 후처리 방안을 제안하고, SLS 시작품에 적용하였다. 안대건 [8] 등은 광조형물의 표면 정도를 높이기 위하여 왁스 코팅과 연삭공정으로 이루어진 광조형물후처리 시스템을 제안하였다. 이러한 쾌속조형 시작품의 표면 품질을 향상시키려는 노력에도 불구하고, 여전히 보다 체계적인 표면처리 방법이 요구되고 있다.

Fig. 1 에 보여진 것과 같이 직벽을 가진 2 차원의 얇은 층을 사용하는 대신에 측면 경사를 가진 두꺼운 층을 사용하여 계단효과를 어느 정도 제거하고 조형 속도를 대폭 개선하기 위해서 단속형 가변 적층 쾌속조형 공정 (Transfer type Variable Lamination Manufacturing using expandable polyStyrene foam: VLM-ST)이 개발 되었다.

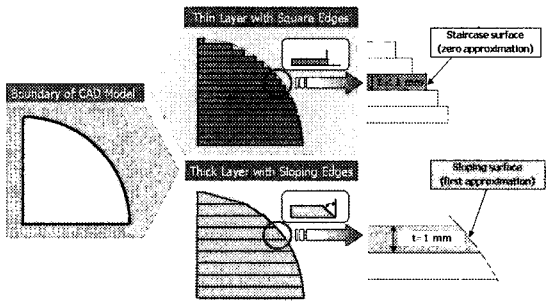


Fig. 1 Staircase surface and sloping surface

VLM-ST 공정은 3D CAD 모델로부터 변환된 STL 파일에서부터 생성된 3 차원 절단 경로 데이터에 따라 1 mm 이상의 두꺼운 두께를 가진 판재를 4 축 선형 열선 절단기를 사용하여 측면 경사를 가진 층으로 절단한 후, 각 층을 순서대로 접착/적층함으로써 허용 오차 범위 내에서 원하는 정밀도를 유지하면서 3 차원 형상의 제품을 빠른 시간에 제작할 수 있는 쾌속 조형 공정이다. VLM-ST 공정은 작동원리의 특성상 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

· 측면 경사를 가진 층을 순서대로 적층함으로써 적층방향으로 계단형상의 단차가 발생하지 않는다.

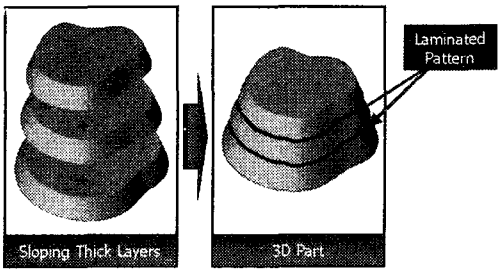
· 두꺼운 두께를 가진 단위형상층을 면 형태로 적층하기 때문에 빠른 속도로 3 차원 형상 제작이 가능하다.

· 장치의 도입 가격과 유지비가 저가이므로 일반 산업 현장이나 교육시설 등에 널리 보급이 가능하다.

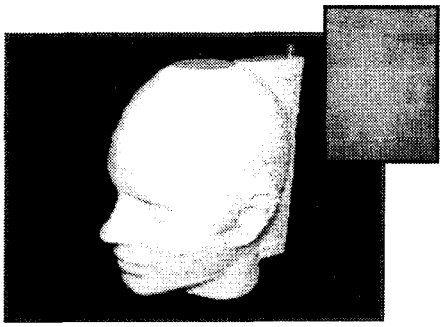
· 절단과정에서 불필요한 잔여재료를 모두 제거하고 적층 후 간단히 제거 가능한 적층 기준 형상이 지지대의 역할을 대신하기 때문에 지지대 제거 등을 위한 후처리 공정에 소요되는 시간 및 비용이 절감된다.

이러한 VLM-ST 공정의 장점에도 불구하고, Fig.2 에 보여진 바와 같이 적층 두께가 다른 쾌속

조형부품에 비해서 10 배 이상 두꺼워서 두드러지게 나타나는 표면의 적층 무늬와 상대적으로 거친 표면 조도 때문에 VLM-ST 시작품은 쾌속 툴링을 위한 패턴(pattern)으로 사용하기 위해서는 추가적인 표면처리 작업이 필요하다.



(a) Schematic



(b) Stacked part

Fig. 2 Laminated pattern

본 연구에서는 허용 오차 범위 내에서 원하는 정밀도를 유지하면서 VLM-ST 시제품 표면에 나타나는 적층 무늬를 효과적으로 제거하고, 표면 조도를 향상 시킬 수 있는 체계적인 표면 처리 방법론을 제안하고자 한다.

2. 표면 처리

2.1 표면 처리 절차

일반적으로 여러 분야에 실제 적용하는데 있어서 요구되는 쾌속조형부품의 표면 특성은 표면 조도, 치수정밀도, 표면 경도, 도장성, 내열성, 내구성 등의 여섯 가지 요소로 구성 되고, 쾌속조형 제품의 효과적 이용을 위한 후처리 공정의 중요한 요소는 후처리 절차, 코팅 재료, 코팅 두께, 사상 방법, 사상 조건, 사상 도구 등이다. Table 1 은 후처리 공정의 요소를 고려하여 VLM-ST 시제품 표면의 표면 특성들을 개선 시키기 위한 표면처리 절차를 보여 준다.

Table 1 Procedure of surface finishing for VLM-ST part

Step	Process
1	Surface Drying & Cleaning of VLM-ST part
2	Coating VLM-ST part with Model Paste
3	1st Sanding(#150~#220) and Grinding
4	2nd Sanding(#360~#1200) and Grinding
5	Coating VLM-ST part with Cresol Putty
6	1st Sanding(#150~#220) and Grinding
7	2nd Sanding(#360~#1200) and Grinding
8	Coloring & Glossing with Spray or Lacquer

표면처리 수행과정을 차례대로 설명하면 다음과 같다.

Step 1. 우선 표면처리를 할 VLM-ST 시작품의 표면을 완전히 건조하고 청결하게 한다.

Step 2. VLM-ST 시작품은 EPS-foam 재료로 만들어져서 일반적인 코팅 재료를 직접적으로 표면에 바르는 경우, 코팅제에 들어 있는 용제에 의해서 시제품이 녹을 수 있기 때문에 EPS-foam 재료를 녹이지 않는 아크릴 물감 계열의 모델링 페이스트로 전체 표면을 빈틈없이 발라 준다. 이 과정에서 모델링 페이스트에 들어 있는 대리석 분말 덕분에 VLM-ST 시작품의 표면 경도를 높일 수 있다.

Step 3. 핸드그라인더와 사포를 이용하여 모델 페이스트에 대해서 1 차 사상 작업을 수행한다. 이 단계에서는 비교적 거칠기가 큰 #150 번에서 #220 번 사이의 사포의 메쉬 번호를 순차적으로 높이면서 사포질을 수행하여 면잡기를 수행한다.

Step 4. 핸드그라인더와 사포를 이용하여 모델 페이스트에 대해서 2 차 사상 작업을 수행한다. 이 단계에서는 #360 번에서 #1200 번 사이의 사포의 메쉬 번호를 순차적으로 높이면서 '물사포질'을 하여 원하는 정밀도 범위 내에서 고운 면을 얻을 수 있도록 사포질을 수행한다.

Step 5. 주제와 경화제의 무게비를 100 대 1 로 혼합한 2 액형 코레졸 퍼티를 붓과 주걱을 이용하여 도막 내부에 기포가 발생하지 않도록 적당한 두께로 2~3 회 나누어서 코팅 작업을 수행한다.

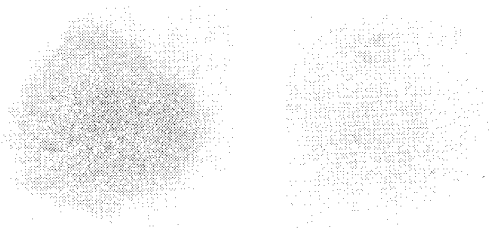
Step 6. 핸드그라인더와 사포를 이용하여 코레졸 퍼티에 대해서 1 차 사상 작업을 수행한다. 이 단계에서는 비교적 거칠기가 큰 #150 번에서 #220 번 사이의 사포의 메쉬 번호를 순차적으로 높이면서 사포질을 수행하여 면잡기를 수행한다.

Step 7. 핸드그라인더와 사포를 이용하여 코레졸 퍼티에 대해서 2 차 사상 작업을 수행한다. 이 단계는 최종적으로 도색 작업을 수행하기 바로 직전의 사상작업 단계이므로 반짝반짝한 광을 내기 위해서 핸드그라인더를 이용하여 국부적인 정밀 연마 가공을 통해서 코팅제의 두께를 맞추고, #360 번에서 #1200 번 사이의 사포의 메쉬 번호를 순차적으로 높이면서 '물사포질'을 하여 원하는 정밀도 범위 내에서 고운 면을 얻을 수 있도록 사포질을 수행한다.

Step 8. 코팅작업과 사상작업이 완료되고 나면 원하는 색상과 광택 유무를 선택한 다음, 해당하는 스프레이나 라카(lacquer)를 표면에 도포하여 VLM-ST 시작품에 대한 표면 처리 작업을 완료 한다.

2.2 표면 처리 재료와 도구

VLM-ST 공정에서 저렴하고 가공성이 뛰어나며 후처리가 용이한 EPS-foam 재료를 공급 재료로 사용하고 있다. 이러한 EPS-foam 재료를 일반적인 코팅 재료를 이용하여 바로 표면 처리를 수행하게 되면, Fig. 3 에 보여진 바와 같이 코팅제(2 액형 퍼티 또는 3 액형 PR 수지)에 들어 있는 용가제에 의해서 EPS-foam 표면이 녹게 된다.

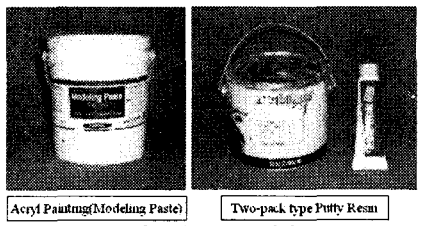


(a) Two-pack type resin (b) Three-pack type resin

Fig. 3 EPS-foam surface coated directly with resin

따라서, EPS-foam 재료로 만들어진 VLM-ST 시작품의 경우, 먼저 EPS-foam 표면을 녹이지 않는 아크릴 물감 계열의 모델링 페이스트로 전체 표면을 빈틈없이 바른 후, 그 위에 코레졸 퍼터(2 액형 퍼티 수지)로 표면을 코팅하여 표면 처리를 수행한다.

Fig. 4 는 표면 처리를 위해서 본 연구에서 사용한 코팅재료와 도구들을 보여 준다.



(a) Coating materials

(b) Tools

Fig. 4 Coating materials and tools for surface finishing

아크릴물감(acylic painting)은 아크릴 에스테르 수지를 이용해서 만든 수용성 합성수지 물감이다. 1956 년에 처음 등장한 첨단 소재로, 수채 물감과 유화 물감의 장점을 모두 가지고 있다. Fig. 4(a)의 왼쪽에 보여진 것과 같은 아크릴 물감 계열의 모델링 페이스트는 아크릴 물감에 대리석 분말을 섞어서 점도가 매우 큰 코팅제로서 단단한 표면에 두터운 질감을 나타내고자 할 때 사용하고, 완전히 건조되어 돌처럼 단단해진 뒤에 나이프나 끌로 깎아 내거나 조각할 수도 있다. 일반적인 아크릴 물감처럼 접착성이 강하고, 시너(thinner:희석제)로 물을 사용하기 때문에 EPS-foam 표면을 녹이지 않는다.

퍼티(putty)는 접착제의 일종으로 어느 정도 원하는 모양을 만들 수 있고, 충전제(充塡劑)의 역할을 할 수 있으며, 주로 패인 부분이나 굴곡의 원형을 재생시키는 목적으로 사용된다. 보통 건축, 배관 공사에 방수, 기밀(氣密), 충전을 목적으로 쓰이며, 기계의 외관을 보수할 때에도 쓰인다. Fig. 4(a)의 오른쪽에 보여진 것과 같은 2 액형 퍼티 수지는 '코레졸 퍼티'라고 불리는 것으로 불포화 폴리에스테르 수지를 주성분으로 한 2 액형의 무용제형 퍼티(주제:경화제=100:1~3 무게비)로서, 부착성 및 연마성이 우수하며 수축이 적고 내충격성,

인장력이 우수할 뿐만 아니라 사상작업이 잘 되기 때문에 일반적으로 각종차량, 중장비, 가전기기의 보수도장용으로 사용된다. 코레졸 퍼티의 건조시간은 20℃ 에서, 지촉건조시간은 1 시간, 경화건조시간은 3~4 시간이고, 비중은 약 1.6 Kg/l 이다. 여기서, 지촉건조(Set to touch)는 도막을 손가락으로 가볍게 대었을때 접착성은 있으나 도료가 손에 묻지 않는 상태이고, 경화건조(Dry-through)는 도막면에 팔을 수직으로 하여 엄지손가락으로 힘껏 누르면서 90° 각도를 비틀어 볼때 도막이 늘어나거나 주름이 생기지 않는 상태이다.

표면처리에 사용되는 도구는 Fig. 4(b)에 보여진 것처럼 붓, 주걱, 핸드그라인더와 핸드그라인더 전용 연삭 팁, 사포(sand paper) 등이 있다. 붓과 주걱은 모델 페이스트와 퍼티를 표면에 바르는데 사용한다. 이때, 붓은 용제의 영향을 받지 않는 최고급의 붓을 사용하는 것이 좋고, 심하게 패인 표면에 대해서는 둥근 붓이 가장 좋으며, 평활한 면에 대해서는 5 인치 이하의 평붓을 사용해야 한다. 주걱은 탄력성 있는 긴 판처럼 생긴 것을 사용하는 것이 좋다. 핸드그라인더와 사포는 사상 작업을 위해서 사용한다. 핸드그라인더는 연삭 작업과 국부적으로 정밀 연마 가공 등의 다목적으로 사용한다. 사포는 뒷면에 거칠기의 정도를 나타내는 숫자가 써 있는데 이것은 1inch 길이 내에 있는 연마재(금강사 또는 모래알)의 수를 나타내는 것으로서 메쉬의 숫자가 작을수록 거친 면을 나타내고, 메쉬의 숫자가 클수록 고운 면을 나타낸다. #60 번대의 거친 것부터, #1200 번의 고운 것까지 그 종류가 다양하다. 사포는 그 자체로 잘라서 쓸 수도 있지만, 평판이나 원통등에 붙여서 줄처럼 쓸 수도 있다. 사포질은 거친 것부터 고운 것 순으로 해 나간다. 본 연구에서는 1 차 사상작업에서는 #150 번에서 #220 번 사이의 사포를 사용하였고, 2 차 사상작업에서는 #360 번에서 #1200 번 사이의 사포를 사용하였다. 시작품의 표면에 자동차나 모터 사이클과 같이 반짝반짝한 광을 내고 싶은 경우, 최종적으로 도색을 하기 전에 #360 번에서 #1200 번 사이의 사포의 메쉬 번호를 단계적으로 높이면서 '물사포질'을 하면 원하는 아주 고운 면을 얻을 수 있다. '물사포질'은 사포질 할 때 물을 묻혀서 하는 것으로 가루가 방안에 날리는 것도 막을 수 있을 뿐만 아니라, 더 곱고 더 빨리 갈아낼 수 있게 해 준다.

2.3 표면 처리를 위한 사전 준비 작업

표면처리 전에 가장 먼저 해야할 일은 소재 표면을 완전히 건조하고 청결하게 하는 것이다.

코레졸 퍼티의 경우, 가사시간(Pot life)은 주제와 경화제의 무게비를 100 대 1 로 혼합 했을 때, 20℃ 에서 30 분이므로 이 시간을 고려해서 코팅 작업 중에 경화가 코레졸 퍼티의 경화가 일어나지 않도록 유의하면서 작업을 수행한다. 이때, 가사시간은 2 액형 이상의 도료를 사용하기 위해서 혼합했을 때, 경화가 일어나지 않고 사용하기에 적합한 유동성을 유지하고 있는 시간을 의미한다.

3. 적용 예

상반신상과 로뎅의 생각하는 사람을 VLM-ST 공정 및 장치로 제작한 후에, 앞서 제안한 VLM-ST 시작품에 대한 체계적인 표면 처리 방법론을 적용하여 여러 가지 표면 특성의 개선 여부를 확인해 보았다.

3.1 상반신상

인체 상반신 형상은 크기가 162 mm × 110 mm × 284 mm 이고, 상반신 형상은 층 두께가 4.0 mm 인 총 71 개의 AUSL 데이터로 구성된다.

3.1.1 VLM-ST 를 이용한 인체 상반신상 제작

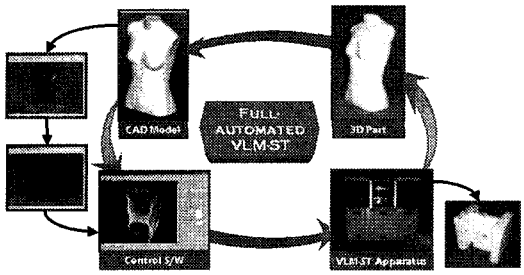


Fig. 5 Fabrication procedure of a human bust shape

Fig. 5 에 보여진 인체 상반신상 제작 과정은 다음과 같다.

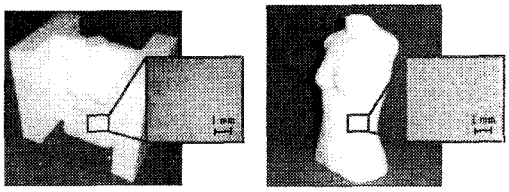
① 인체 상반신상의 STL 데이터로부터 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터인 AUSL 데이터를 생성한다.[9]

② 완전 자동형 VLM-ST 장치 [10-11] 를 이용하여 생성된 AUSL 데이터에 따라 선형 열선 절단기로

절단하고, 각 층을 순서대로 적층하여 최종적으로 적층안내형상을 제거하여 인체 상반신 형상을 완성한다.

3.1.2 표면 처리 결과 및 고찰

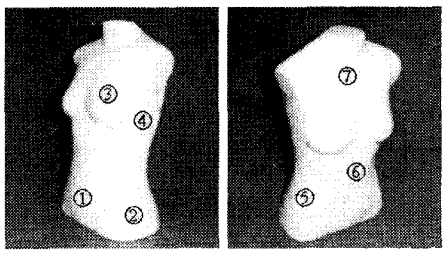
Fig. 6 의 결과로부터 상반신 형상에 대해서 앞서 제안한 표면 처리 절차를 수행한 결과, 표면 처리 전에 선명하게 존재하는 적층 무늬가 표면 처리 후에 완전히 제거되었음을 알 수 있다.



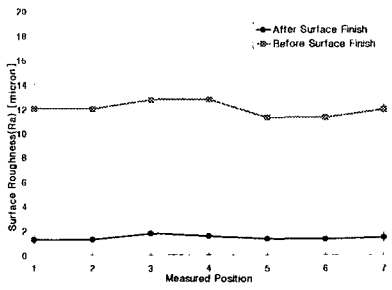
(a) Before surface finishing (b) After surface finishing

Fig. 6 Removal of laminated pattern for a bust shape

표면 처리의 적용 결과, 표면 조도의 개선 효과를 확인하기 위하여 Fig. 7(a)에 나타낸 것과 같이 7 곳에서 2.5mm 거리에 대하여 중심선평균거칠기 값(R_a)를 측정하였다. 그 결과 Fig. 7(b)에 나타낸 것과 같이 $R_{a,average}$ 값이 1.39 μm 으로 전체적으로 표면 조도가 크게 개선 되었음을 알 수 있다.



(a) Measured position



(b) Surface roughness for measured position

Fig. 7 Surface roughness for a finished bust shape

Fig. 8 은 인체 상반신상에 대해서 초기 STL 데이터와 표면처리 완료 후 측정된 측정 데이터를 서로 비교한 에러 맵을 보여 준다. 이때 평균 오차는 0.01913 mm 이고, 표준편차는 0.05862 mm 로 나타났다. Fig. 8 에 보여진 에러 맵을 통해서 제안된 표면 처리 절차를 수행한 후에도 VLM-ST 시작품의 치수 정밀도는 일반적인 쾌속조형공정에서의 허용 오차 범위인 ±0.1 mm ~ ±0.5 mm 범위 내에 있음을 알 수 있다.

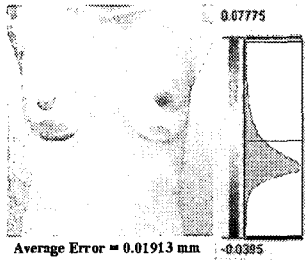


Fig. 8 Error map between original STL data and 3D scan data for the finished bust shape

3.2 로뎅의 생각하는 사람

로뎅의 생각하는 사람은 크기가 235 mm × 260 mm × 372 mm 이다.

3.2.1 VLM-ST 를 이용한 로뎅의 생각하는 사람 제작

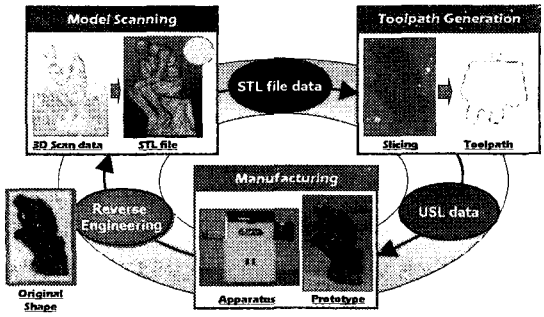


Fig. 9 Fabrication procedure of a thinking man

Fig. 9 에 보여진 로뎅의 생각하는 사람 제작 과정은 다음과 같다.

① 로뎅의 생각하는 사람 원형으로부터 3 차원 스캐닝을 통해서 STL 파일을 생성한다.

② STL 데이터로부터 선형 열선 절단기의 절단 경로 데이터인 USL 데이터 [12] 를 조형 크기에 맞게 생성한다.

③ 반자동형 VLM-ST 장치 [13-14] 를 이용하여 생성된 USL 데이터에 따라 선형 열선 절단기로 절단하고, 각각의 단위형상층을 순서대로 적층하여 최종적으로 로뎅의 생각하는 사람 원형과 똑같은 복제형상을 완성한다.

3.2.2 표면 처리 결과 및 고찰

Fig. 10 의 결과로부터 로뎅의 생각하는 사람에 대해서 표면 처리 과정을 수행한 결과, 표면 처리 전에 선명하게 존재하는 적층 무늬가 표면 처리 후에 완전히 제거되었음을 알 수 있다.

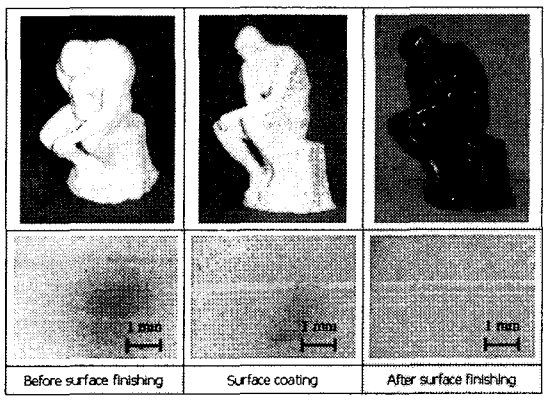
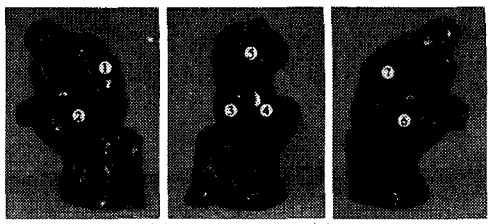


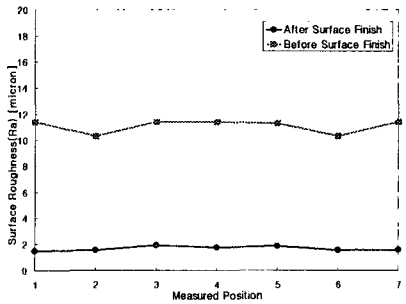
Fig. 10 Removal of laminated pattern for a thinking man

표면 처리의 적용 결과, 표면 조도의 개선 효과를 확인하기 위하여 Fig. 11(a)에 나타낸 것과 같이 7 곳에서 2.5mm 거리에 대하여 중심선평균거칠기 값(R_a)를 측정하였다. 그 결과 Fig. 11(b)에 나타낸 것과 같이 $R_{a,average}$ 값이 1.68 μm 으로 전체적으로 표면 조도가 크게 개선 되었음을 알 수 있다.

Fig. 12 은 로뎅의 생각하는 사람에 대해서 초기 STL 데이터와 표면처리 완료 후 측정된 측정 데이터를 서로 비교한 에러 맵을 보여 준다. 이때 평균 오차는 0.01165 mm 이고, 표준편차는 0.04322 mm 로 나타났다. Fig. 12 에 보여진 에러 맵을 통해서 제안된 표면 처리 절차를 수행한 후에도 VLM-ST 시작품의 치수 정밀도는 일반적인 쾌속조형공정에서의 허용 오차 범위인 ±0.1 mm ~ ±0.5 mm 범위 내에 있음을 알 수 있다.



(a) Measured position



(b) Surface roughness for measured position

Fig. 11 Surface roughness for a finished thinking man

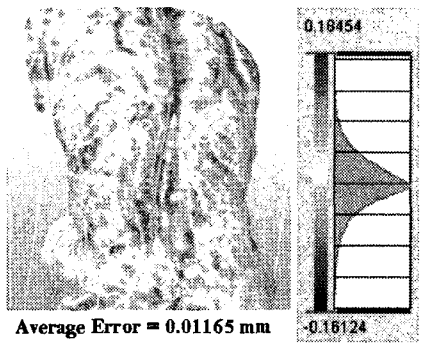


Fig. 12 Error map between original STL data and 3D scan data for the finished thinking man shape

로뎅의 생각하는 사람의 경우, 형상의 기하학적 복잡성에도 불구하고 코팅재료의 뛰어난 후가공성과 팬을 이용한 강제 건조 덕분에 1 단계에서 8 단계까지 전체 표면 처리 시간은 대략 8 시간 ~ 10 시간 정도 소요되었다.

4. 결론

VLM-ST 장치는 종래 쾌속조형공정에 비해서 10 배 이상 빠른 조형속도와 3 배이상 저렴한 장치

가격, 그리고 측면경사를 가진 층을 사용하여 계단 현상을 제거하였기 때문에 여러 산업 분야와 CAD/CAM 교육용으로 널리 보급 될 수 있을 것으로 사료된다. 하지만, 기존의 쾌속조형공정에 비해서 적층 두께가 10 배 이상 두꺼워서 VLM-ST 시작품의 표면에 두드러지게 나타나는 적층 무늬와 상대적으로 거친 표면 조도 때문에 VLM-ST 시제품은 제품 생산 과정에 적용되고 있는 쾌속 툴링을 위한 패턴으로 사용하기에는 다소 부적절한 면이 있다. 따라서, 본 연구에서는 VLM-ST 시작품의 표면 품질을 향상시키기 위해서 다음과 같은 연구를 수행하였다.

(1) 2 단계 코팅을 통해서 VLM-ST 시제품 표면을 녹이지 않으면서 표면에 나타나는 적층 무늬를 효과적으로 제거하고, 표면 조도를 향상 시킬 수 있는 체계적인 표면 처리 방법론을 제안하였다.

(2) 제안된 표면 처리 절차를 인체 상반신 형상과 로뎅의 생각하는 사람 형상에 적용하여 적층 무늬가 완전히 제거되고, 표면 조도가 크게 향상됨은 물론이고, 치수 정밀도 또한 허용 오차 범위 내에서 유지됨을 보였다.

본 연구에서 제안된 표면처리 방법을 통해서 VLM-ST 시작품의 부가가치를 높임으로써 VLM-ST 장치를 단순히 CAD/CAM 교육용 가시화 모델 제작에 이용하는데 그치지 않고, 일정 수준 이상의 표면 품질을 요구하는 2 차 공정용 패턴 제작에 이용할 수 있을 뿐만 아니라, 보다 다양한 분야로 확대 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Jacobs, P. F., Stereolithography and other RP&M Technologies from Rapid Prototyping to Rapid Tooling, ASME Press, 1996.
2. Reeves, P. E. and Cobb, R. C., "Reducing the surface deviation of stereolithography using in-process technique," Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 20-31, 1997.
3. Hope, R. L., Jacobs, P. A. and Roth, R. N., "Rapid prototyping with sloping surfaces," Rapid Prototyping Journal, Vol. 3, No. 1, pp. 12-19, 1997.
4. Williams, R. E. and Melton, V. L., "Abrasive flow finishing of stereolithography prototypes," Rapid Prototyping Journal, Vol. 4, No. 2, pp. 56-67, 1998.
5. Bharath, V., Dharam, P. N. and Henderson, M., "Sensitivity of RP surface finish to process parameters variation," Proceedings of Solid Free-form Fabrication Symposium, pp. 251-258, 2000.
6. Stucker, B. and Qu, X., "A finish machining strategy for rapid manufactured parts and tools," Rapid Prototyping Journal, Vol. 9, No. 4, pp. 194-200, 2003.
7. Yang, H. J., Kim, S. J., Jang, T. S., Lee, I. Y., Lee, S. H., "A research on Postprocess Finishing Method of the Rapid Prototyping Parts," Proc. of KSPE, pp. 83-86, October 2001.
8. Ahn, D. K., Kim, H. C., Choi, H. T., Lee, S. H., "Development of Post-process for Improving the Surface Roughness of Stereolithography parts – Using Wax Coating and Grinding Post-process," Proc. of KSPE, pp. 659-662, October 2002.
9. Lee, S. H., Ahn, D. G., Kim, H. C., Yang, D. Y., Park, D. S., Chae, H. C., "Generation of Cutting Path Data for Two Steps of the Cutting Process in Full-Automated VLM-ST," J. of KSPE, Vol. 21, No. 1, pp. 140-148, 2004.
10. Method and Apparatus of Transfer type varialbe lamination manufacturing, Korea Patent Application Number 10-2002-0071914, 2002.
11. Yang, D. Y., Ahn, D. G., Lee, S. H., Kim, H. C., Park, S. K., "Investigation Into the Development Of Automatic VLM-ST (VLM-sta) Process and Its Apparatus," J. of KSPE, Vol. 21, No. 4, pp. 109-119, 2004.
12. Lee, S. H., Ahn, D. G., Choi, H. S., Yang, D. Y., Moon, Y. B., Chae, H. C., "Generation of Unit Shape Layer on CAD/CAM System for VLM-ST," Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 7, No. 3, pp. 148-156, 2002.
13. Transfer Type Variable Lamination Manufacturing by using Linear Heat Cutting System And Apparatus, Korea Patent Registration Number 0384135, 2003.
14. Ahn, D. G., Lee, S. H., Choi, H. S., Yang, D. Y., Park, S. K., "Investigation into Development of Transfer Type for Variable Lamination Manufacturing Process and Apparatus," J. of KSPE, Vol. 19, No. 2, pp. 95-105, 2002.