

# 내부형상을 포함한 광조형물 제작

## Fabrication of Stereolithography parts with visible internal shapes

\*박종필<sup>1</sup>, 박석희<sup>1</sup>, 양동일<sup>1</sup>, 강상일<sup>2</sup>  
 \*J. C. Park<sup>1</sup>, S. H. Park<sup>1</sup>, #D. Y. Yang(dyyang@kaist.ac.kr)<sup>1</sup>, S. I. Kang<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>한국과학기술원 기계항공시스템학부, <sup>2</sup>쥬솔리시스

Key words : rapid prototype, visible, internal shapes

### 1. 서론

쾌속조형기술(Rapid Prototyping)은 다양한 임의 형상의 조형물을 빠르게 제작하기에 적합한 기술이다. 쾌속조형 기술은 3 차원 스캐너로 데이터를 취득하거나 CAD 프로그램으로 3 차원 형상을 모델링하여 형상 데이터 STL 파일을 취득한다. 슬라이싱 소프트웨어에 STL 파일을 입력하고 적층 방향으로 슬라이싱한다. 쾌속조형장치는 슬라이싱 된 순서대로 각 층을 적층하여 임의의 형상을 제작한다[1].

쾌속조형기술은 여러 방법과 재료를 이용하여 형상제작이 가능하다. 레이저를 이용한 광경화수지 경화, 레이저를 이용한 종이 절단, 레이저를 이용한 금속 소결, 열선을 이용한 스티로폼 절단, 잉크젯 노즐을 이용한 파우더 접착 등이 있다[2].

쾌속조형기술은 임의의 형상을 빠른 속도로 제작한 장점이 있어 기계, 건축, 예술, 의료를 비롯하여 다양한 분야에서 적용되고 있다[3]. 쾌속조형기술의 크게 2 가지 영역에 적용 가능하다. 첫 째, 기존의 가공방법으로 제작이 힘든 임의의 조형물을 제작하기 위한 가공기술로 적용가능하며 둘째, 사용자 간의 원활한 의사소통, 효과적인 정보 전달 매개물인 3 차원 조형물 제작기술로 적용 가능하다.

정보전달 매개물 제작기술으로써의 쾌속조형기술은 기존의 단색 조형물에 다색을 구현하여 정보전달 기능을 강화하였다. 다색구현 방법에는 조형물의 표면에 잉크 분사, 이중 색 재료로 조형물의 파트 제작 후 조립, 염료를 이용한 조형물 염색, 투명한 조형물 내부에 이중 색 조형물 제작 등의 방법이 있다. 특히, 투명한 조형물 내부에 형상을 제작할 경우, 외부 조형물과 내부 조형물 간의 상대적인 위치와 크기에 대한 정보전달이 추가로 가능해지면서 정보 전달 매개물으로써의 기능이 강화되었다.

내부형상을 포함한 조형물 제작은 광조형법(SLA)을 이용하여 외부형상을 투명 광경화수지로 경화시켜 내부를 투영할 수 있도록 한다. 그리고 내부 형상을 이중 색으로 제작하기 위해 광경화수지에 광반응성 수지(photoresponsive agents)를 혼합하여 광원의 파장대에 따라 다른 색이 나타나도록 하였다. 표현 가능한 색은 투명색과 보라색이며 광원의 조사시간에 의해 색의 농도가 결정된다.[4]

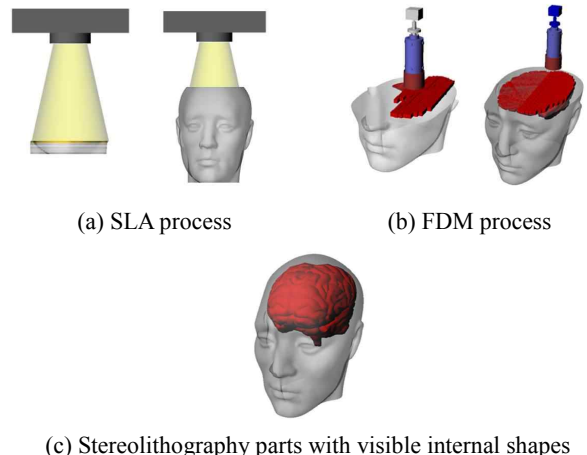
다른 방법으로, 내부형상을 제작하기 위해 광경화수지에 염료를 혼합하였으며 투명 광경화수지로 1 층의 가장자리 부분을 경화하고 나머지 부분을 제거한 후, 그 내부에 염료를 혼합한 광경화수지를 채워넣어 경화시켰다. 이 과정을 반복함으로써 내부형상을 포함한 광조형물을 제작하였다. 그리고 염료의 색을 교체하여 색을 표현하였다 [5].

본 연구는 쾌속조형기술의 광조형법(SLA)과 용융용착법(FDM)을 조합하여 기존 공정의 한계점과 단점을 극복하고자 한다. 본 논문에서는 내부형상을 제작할 용융노즐의 고체잉크를 광조형물 표면에서 안정적으로 패터닝하기 위한 조건을 도출한다. 그리고 이를 통해 광조형물 표면에 형상을 패터닝한 예제를 제작하고자 한다.

### 2. 내부형상을 포함한 광조형물 제작 개념

본 연구에서는 광조형물 내부에 형상을 패터닝하기 위해

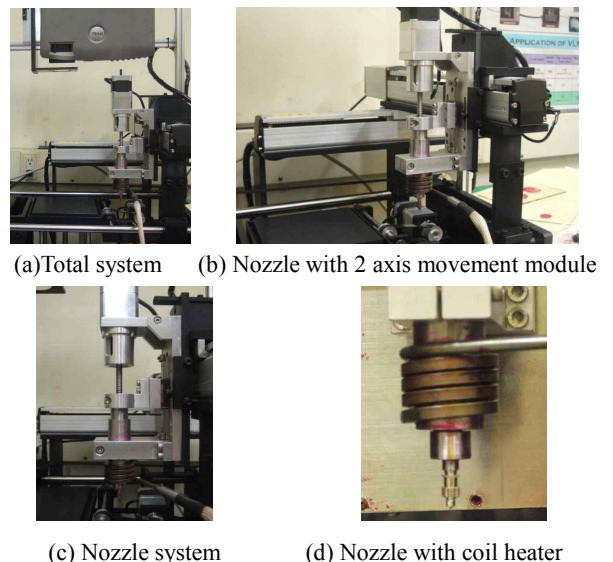
광조형 공정과 용융용착 공정을 조합하였다. Fig. 1과 같이 광조형 공정으로 형상의 아래층부터 적층하여 형상을 제작한다. 광조형 공정을 통해 투명한 외부형상을 제작하고 내부형상이 시작되는 층부터 용융용착 공정을 병행하여 내부형상을 제작한다. 내부형상은 채색노즐에서 고체잉크를 용융시켜 분사하였다. 용융된 고체잉크는 광조형물 표면에 접촉하는 순간, 고상화되어 흡착된다. Fig. 1(b)와 같이 채색노즐이 광조형물 표면을 이동하며 내부형상을 패터닝한다. 그래서 광조형 공정과 용융용착 공정이 연속적으로 반복되어 내부형상을 포함한 광조형물을 제작한다.



(c) Stereolithography parts with visible internal shapes  
**Fig. 1 Fabrication concept and inner visible parts**

### 3. 장치

광경화 공정의 경화모듈은 Dell 사의 2400MP Projector 을 사용하였다. Fig.2(a)와 같이 경화모듈을 장치 상부 프레임에



(c) Nozzle system (d) Nozzle with coil heater  
**Fig. 2 Components of process equipment**

장착하였다. 채색노즐은 2 축 이동모듈에 부착하였으며 Fig2(b)와 같다. 채색노즐은 Fig2(c)와 같이 채색노즐의 시린

지에 피스톤을 끼웠다. 피스톤을 스텝모터에 연결된 볼 스크류에 부착하였다. 스텝모터 제어를 통해 분사되는 고체잉크 양을 제어할 수 있도록 하였다. Fig2(d)는 채색노즐 입구에 코일히터를 부착하여 고체잉크를 녹여 액상으로 분사될 수 있도록 하였다. 고체잉크는 Xerox 사의 고체잉크 C2424 를 사용하였다. 고체잉크는 90℃ 에서 용융되기 시작하여 180℃ 에서 산화하기 시작했다. 140℃ 에서 광조형물의 표면에 안정적으로 흡착되어 140℃ 에서 실험을 수행하였다. 채색 노즐의 사양은 Table 1 과 같다.

Variables	Data
Needle inner Dia.(d)	340 μm
Min. velocity(V)	0.5 μm
Min. flow rate(Q)	0.157mm <sup>3</sup> /s

Table 1. Specification of coloring nozzle

#### 4. 용융용착 공정 기초 실험

채색노즐 내부 피스톤은 스텝모터에 연결되어 있어 피스톤의 움직임을 정량적으로 제어 가능하다. 액상의 고체잉크를 분사하면서 2축 제어 모듈이 평면을 움직이며 형상을 패터닝하게 된다. 잉크 분사 량과 2축 제어 모듈의 속도를 공정변수로 하여 패터닝 실험을 수행하였으며 Fig. 3 과 같이 3 가지 형태의 결과를 얻었다.



(a)overflow line (b)uniform line (c) Discontinuous line  
Fig. 3 Types of patterning line

크게 3 가지 형태로 나타났다. 2 축 제어 모듈의 속도(V)가 느리거나 분사 량(Q)가 많을 경우, Fig.3(a), V 와 Q 가 적절한 경우, Fig. 3(b), V 가 빠르거나 Q 가 적을 경우, Fig3(c)와 같이 패터닝 된 잉크가 불연속적으로 패터닝된다. 이는 V 에 비하여 Q 가 충분히 공급되지 못하여 불연속 라인이 패터닝되었다. 제작 중인 광조형물의 단면에 내부형상을 패터닝하기 위해서는 채색 결과가 균일 라인이어야 한다. 실험을 통하여 균일 라인 패터닝이 가능한 조건을 도출하였다.

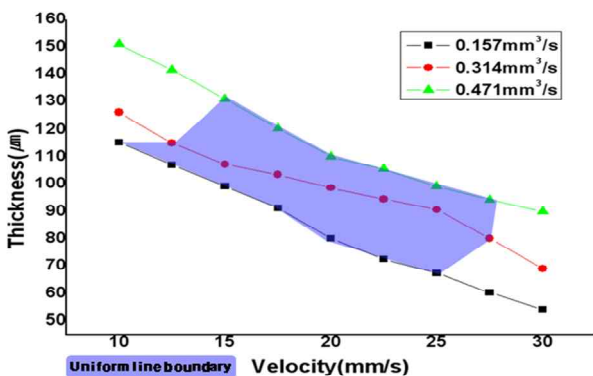
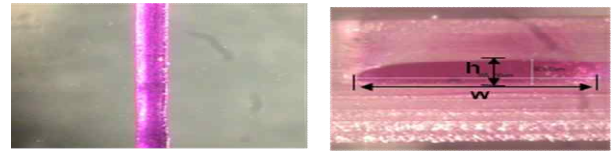


Fig. 4 Forming window

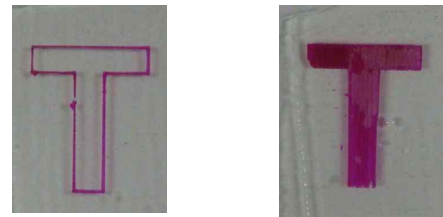
패터닝 실험을 수행하여 균일 라인 패터닝 조건을 도출하였다. Fig. 4 는 V 와 Q 를 공정변수로 수행한 그래프이며 파란색 영역은 균일 라인 패터닝이 가능한 조건 영역이다. 그리고 실험결과로 고체잉크의 패터닝 라인 두께를 측정하였다. 제작과정에서 광경화수지와 고체잉크를 연속적으로 교대 적층하게 된다. 1 층의 광경화수지를 적층하고, 그 표면에 고체잉크를 패터닝한다.



(a) Line deposition (b)Vertical view of Solid ink & cured resin

Fig. 5 Pictures of line patterning

Fig. 5(b)에서 광경화수지와 고체잉크를 교대로 적층하였다. 반복적으로 광경화수지를 적층하게 되는데, 적층된 고체잉크의 두께는 광경화수지의 두께보다 얇아야 한다. 1 층의 고체잉크 두께가 1 층의 광경화수지보다 두꺼울 경우, 연속된 고체잉크 간에 간섭이 생겨 내부형상에 왜곡이 발생하기 때문이다.



(a) Contour type (b) Raster type  
Fig. 6 Types of solid ink patterning

Fig. 6 은 고체잉크를 광경화수지 표면에 패터닝한 것이다. 알파벳 “T”를 컨투어 방식과 래스터 방식을 패터닝하였다.

#### 5. 결론

내부형상을 포함한 광조형물제작을 위한 광조형 공정과 용융용착 공정에 대한 개념을 제안하였다. 그리고 용융용착 공정의 고체잉크 패터닝을 광경화수지 표면에서 수행하여 안정적으로 흡착하는 것을 확인하였다. 2 축 제어 모듈에 채색노즐을 부착하여 V 와 Q 를 공정변수로 하고 이에 대한 기초실험을 수행하여 균일 라인 패터닝이 가능한 포밍 윈도우를 도출하였다.

향 후, 3 차원 형상을 제작하기 위해 광경화수지와 고체잉크를 연속적으로 패터닝하게 된다. 내부형상 제작을 위해 1 층의 고체잉크 두께는 1 층의 광경화수지보다 얇아야 한다. 이에 공정에서 요구되는 고체잉크의 두께 조건을 도출하였다. 그리고 컨투어 방식과 래스터 방식을 조합하여 3 차원 내부형상을 제작할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. P.F. Jacobs, “Stereolithography and other RP&M technologies”, American Society of Mechanical Engineers Press, 1996
2. D.G. Ahn, “Investigation into development of variable lamination manufacturing using expandable polystyrene foam”, KAIST, Ph. D. thesis, 2002
3. D.Y. Yang, H.K. Sohn, “Recent state of rapid prototyping technique for rapid product development”, Journal of Korea Society Precision Engineering, Vol. 17. No.10, pp. 5-10, 2000
4. K. Christian, R. Michael, L. Georgios, U. Gerhard, W. Arne, M. Werner, “Colours stereolithography for planning comple maxillofacial tumour surgery”, Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, Vol. 26, pp. 360-362, 1998
5. Y.G. Im, S.I. Chung, J.H. Son, Y.D. Jung, J.G. Jo, H.D. Jeong, “Functional prototype development : Inner visible multi-color prototype fabrication process using stereolithography,” Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130, pp. 372-377, 2002