

광조형물의 3차원 내부형상 제작을 위한 용착 구조물 제작에 관한 연구

Investigation of molten deposition structure to fabricate 3D inner shape in Stereolithography parts

*박종철¹, 박석희¹, 강상일², #양동열¹

*J. C. Park¹, S. H. Park, S. I. Kang², #D.Y. Yang¹ (dyyang@kaist.ac.kr)

¹ 한국과학기술원 기계항공시스템학부, ²(주)Solisys

Key words : rapid prototype, visible, internal shapes

1. 서론

쾌속조형기술(Rapid Prototyping)을 이용해 임의 형상의 제작시간 단축이 가능하다. 빠르게 급변하는 산업 사회에서 제작시간을 단축시킬 수 있는 쾌속조형기술의 중요성은 부각되고 있으며, 매년 세계적으로 시장이 확대되고 있으며, 기계, 건축, 의료분야를 비롯한 산업 디자인, 예술, 교육 등의 다양한 분야에 적용 가능하다.^{1,2}

쾌속조형기술의 기본적인 공정순서는 다음과 같다. 3차원 스캐너로 형상 데이터를 취득하거나, 3차원 형상 데이터를 모델링하여 CAD 데이터를 제작하고, 형상데이터를 스테레오리소그래피(Stereolithography, STL)로 변환한다. 스테레오리소그래피를 전용 소프트웨어에 입력하여 적층방향으로 2차원 단면 슬라이싱한다. 2차원 단면 데이터를 쾌속조형장치에 입력하여 광경화수지, 종이, 금속, 폼, 파우더 등을 이용하여 2차원의 단층을 가공하고, 이를 연속적으로 적층하여 3차원 형상을 제작한다. 쾌속조형공정은 종래의 기술로 제작할 수 없었던 복잡한 형상을 빠르게 제작 가능하다.³

초기의 쾌속조형기술은 단색, 단일재료의 3차원 조형물만이 제작가능해 조형물이 가지는 색정보가 제한적이었으며 정보전달에 한계가 있었다.⁴ 이를 개선하기 위한 다색조형물 제작이 가능한 다양한 공정들이 개발되었다. 프린터헤드를 이용해 파우더 재료에 잉크분사, 이중색의 재료로 각각의 형상을 제작하여 조립⁵⁻⁶, 염료를 혼합한 광경화수지 경화⁷, 광반응성 물질(Photoresponsive agent)을 혼합한 광경화수지에 레이저의 노광시간(Curing time)제어를 통한 색농도 조절⁸ 등의 공정을 적용해 다색 조형물 제작이 가능하였다. 특히 광경화수지를 이용한 두 공정은 투명한 광경화수지로 3차원 조형물을 제작하고 조형물의 내부에 다른 형상제작이 가능하였으며 이를 통해 외부의 조형물을 투영하여 내부 조형물을 관찰할 수 있게 하였다. 기존에 제작할 수 없었던 내부형상을 제작하여 형상 간의 상대적인 위치와 크기에 대한 정보를 동시에 사용자에게 전달할 수 있게 되었다.

본 연구에서는 기존의 내부형상을 포함한 광조형물을 제작한 공정들과 달리 용융적층 공정(Molten Deposition Process, MDP)을 적용해 내부형상을 제작한 공정⁹을 적용하였다. 용융적층 공정의 노즐에 가열코일을 장착해 폴리머를 용융시킨 후, 이를 분사하여 경화된 광경화수지 표면에 적층한다. 노즐에서 분사되는 용융 폴리머는 슬라이싱 데이터에 따라 선(Line)을 연속적으로 적층한다.

다색의 내부채색형상을 포함한 광조형물을 제작하기 위해 제안된 투영광조형 공정(Projection Stereolithography Process, PSP)과 용융적층 공정(Molten Deposition Process, MDP)을 조합한 공정을 적용해 임의의 내부형상의 제작을 위한 경사진 형상제작에 대한 연구를 수행하였다.

2. 내부채색형상을 포함한 광조형물 개념

본 공정은 액상의 광경화수지에 광원을 노광하여 투영광조형공정과 용융잉크 적층공정을 적용하여 교대적층하였다. Fig. 1에서 외부형상을 제작하는 투영광조형공정(Projection Stereolithography Process, PSP)은 광조형물의 한 층을 면 단위로 노광하여 점(Point)노광하는 기존의 광조형법보다 빠르게 형상을 제작할 수 있다. 또한, 외부형상을 수직상부 방향으로 적층하여 용융적층 공정(Molten Deposition Process, MDP)의 노즐이 내부채색형상 적층에 용이하도록 하였다. 용융고체잉크는 상온에서 광경화수지의 표면에서 자연 고상화하여 별도의 추가공정없이 빠르게 제작 가능하다. 외부형상의 재료는 (주)Solisys에서 공급하는 광경화수지를 사용하였으며 내부형상의 재료는 PCL(Polycaprolactone)을 사용하였다. 이는 용융적층 공정에서 안정적으로 분사하기에 적합한 용융점도를 가지고 있어 PCL을 사용하였다.

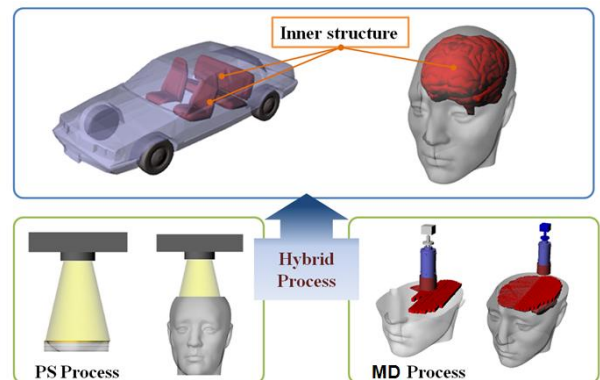


Fig. 1 Concept of visible internal shapes using Projection Stereolithography & Molten Deposition process

3. 경사진 내부형상 제작을 위한 연구

내부형상과 외부형상의 데이터의 적층두께는 동일하게 설정하였으며 각 공정을 각각 교대수행하여 적층하였다.

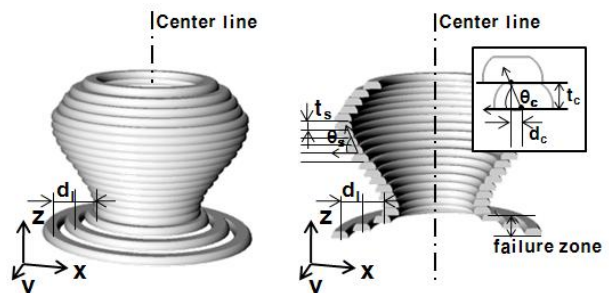


Fig. 2 Schematic diagram of an axisymmetric structure using molten deposition process

Fig. 2와 같이 슬라이싱한 내부형상 데이터에 따라 적층방향으로 연속적으로 적층한다. Fig. 2의 형상 기울기(θ_s)가 급격하다면 적층방향으로 연속적으로 적층되어 내부형상의 왜곡이 없으나, 작을 경우, Fig. 2의 d_i 와 같이 내부형상을 구성하는 라인들이 불연속적으로 적층되어 형상의 왜곡이 발생하게 된다.

형상의 기울기(θ_s)[$0^\circ \leq \theta_s \leq 90^\circ$]에 따른 형상의 불연속성은 Fig. 3과 같이 내부형상 데이터의 적층두께(t_s)의 영향을 받는다. t_s 가 두꺼울수록 완만한 기울기를 가지는 형상제작이 어렵다. 이 때문에 완만한 기울기를 가지는 임의의 내부형상에서 형상이 불연속적인 왜곡이 발생하게 되는데, 이에 대한 기준을 마련하기 위해 각 t_s 에 해당하는 임계각도(Critical slope, θ_c)를 도출하여 경사진 내부형상 제작에 적용할 수 있다.

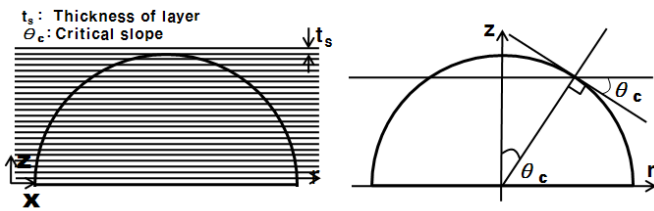


Fig. 3 Schematic diagram for the calculation of slopes, θ_c

특히, 반구(Hemisphere)의 수직단면(X-Y 단면)은 형상의 높이에 따라 각도가 연속적으로 변하여 임계각도를 도출하기 위한 예제형상으로 제작하였다. t_s 를 달리한 반구형상을 제작하여 불연속이 발생하는 구간을 확인함으로써 임계각도를 도출하였다. 반구의 직경은 0.9cm이다.

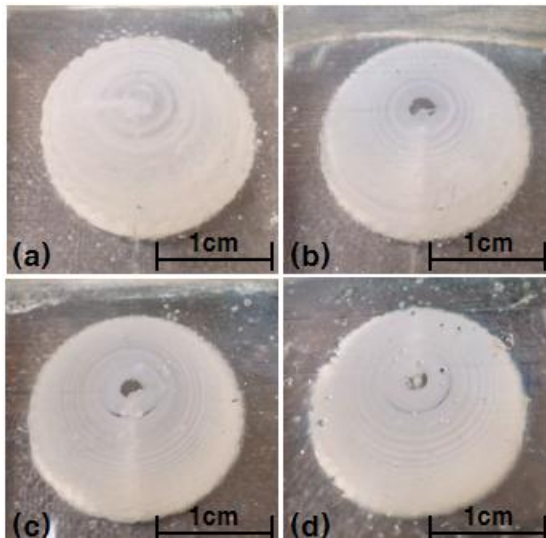


Fig. 4 Images of the fabricated hemispheres with various slicing thicknesses from (a)200 μ m (b)300 μ m (c) 400 μ m (d) 500 μ m

임계각도는 불연속적인 영역을 포함해 형상의 표면이 거친영역을 포함시켜 임계각도를 도출하였다. 이는 형상의 표면성질을 고려한 영역설정을 통해 내부형상의 질을 높이기 위함이다. 두께에 따른 임계각도를 계산하였다. 200 μ m는 19.47° , 300 μ m는 26.4° , 400 μ m는 37.67° , 500 μ m는 46.24° 를 도출하였다.

4. 결론

본 연구를 통해 내부형상을 포함한 광조형물의 제작에서 적층방향으로 경사진 내부형상 제작에 대한 연구를 수행하였다. 예제형상인 반구의 표면을 따라 나타나는 형상의 불연속적 형상을 통해 적층두께에 따른 임계각도를 도출하였다.

향후 도출된 임계각도를 적용해 적층방향으로 경사진 다양한 임의의 형상을 제작할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 경사진 형상을 적층방향으로 임계각도에 따라 구간을 나누어 적층두께를 달리할 수 있다. 이를 통해 내부형상의 왜곡이 없는 범위 내에서 내부형상 데이터의 슬라이싱 횟수를 줄여 교대반복 적층의 횟수를 줄임으로서 형상의 효율적인 제작이 가능할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Yang, D. Y., Sohn, H. K., "Recent state of rapid prototyping technique for rapid product development," KSPE, Vol. 17. No.10, pp. 5-10, 2000.
2. Jacobs, P. F., "Stereolithography and other RP&M technologies," American Society of Mechanical Engineers Press, 1996.
3. Ahn, D. G., "Investigation into development of variable lamination manufacturing using expandable polystyrene foam," KAIST, Ph. D. thesis, 2002.
4. Wang, D. X., Guo, D. M., Jia, Z. Y., Leng, H. W., "Slicing of CAD models in color STL format," Computers in industry, Vol. 57, pp. 3-10, 2006.
5. Gibson, I., Ling, W. M., "Color RP," Rapid Prototyping Journal, Vol.7, No.4, pp.212-216, 2001.
6. Wang, D. X., Leng, H. W., Chen, S., "Recent advances in Color Rapid Prototyping," International Journal of Precision Technology, Vol.1, No.1, pp.133-138, 2007.
7. Im, Y. G., Chung, S. I., Son, J. H., Jung, Y. D., Jo, J.G., Jeong, H. D., "Functional prototype development : Inner visible multi-color prototype fabrication process using stereolithography," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130, pp. 372-377, 2002.
8. Christian, K., Michael, R., Georgios, L., Gerhard, U., Arne, W., Werner, M., "Colours stereolithography for planning comple maxillofacial tumour surgery," Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, Vol. 26, pp. 360-362, 1998.
9. 박종철, 박석희, 양동열, 강상일, "내부형상을 포함한 광조형물 제작", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 315~316, 2009