

광조형의 지지대 구조에서 Strand 간격 변화에 대한 파트형상 변형에 관한 연구

안대건*(부산대 기계기술연구소), 하영명(부산대 대학원 지능기계공학과),
이석희(부산대 기계공학부)

A Study on Part Deformation by Strand Spacing Change in Support Structure of Stereolithography

D. K. Ahn(RIMT PNU), K. D. Kim(Mecha. & Intel. Eng. Dept. PNU), S. H. Lee(School of Mecha. Eng. PNU)

ABSTRACT

Rapid prototyping (RP) technologies are mainly performed by layered manufacturing (LM) process which manufactures 3D physical objects by depositing 2D sections in a direction. Thus, deformations are apt to occur in overhanging area of the RP processed part. Also, excessive adhesion between part and platform of the RP apparatus is generated. In order to prevent these problems, most of the RP technologies adopt support structure. Main element to support a part in the support structure is strand. In actual field, however, the number of strand is determined by the software operating reference guide or RP system operator's experience. In this paper, a methodology to determine the optimal strand spacing is presented through experiments and measurements for the SL part deformation by change of strand spacing and part weight in the support structure of the stereolithography.

Key Words : Rapid Prototyping, Stereolithography, Support structure, Strand spacing, Part deformation

1. 서론

쾌속조형(Rapid Prototyping)은 2 차원 단면을 제작하여 이를 일정한 방향으로 순서대로 쌓아서 원하는 최종의 3 차원 물리적 모델을 완성하는 적층 공정(Layered Manufacturing)을 주로 이용한다. 따라서 기존 NC 기술에서 공구가 도달할 수 없는 부위도 가공 가능하여 보다 복잡한 형상을 제작할 수 있는 특징을 가진다[1]. 그러나 돌출부위(Overhanging area)에서 처짐이 일어나거나 제작된 파트의 본체가 쾌속조형장치의 플랫폼(Platform)에 과도하게 교착되는 현상이 발생한다. 이러한 현상들을 방지하기 위하여 대부분의 쾌속조형기술에서 지지대구조(Support structure)를 별도로 가진다[2]. Fig. 1 은 쾌속조형에서 가장 대표적인 광조형(Stereolithography: SL) 기술에서 파트와 지지대구조물 그리고 플랫폼의 관계를 보여주고 있다. 지지대구조에서 파트의 하중에 대한 지탱을 주로 하는 것

은 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 스트랜드(Strand)와 이 스트랜드들을 연결하는 프로젝션(Projection)이다 [3]. 이러한 프로젝션을 포함한 스트랜드 개수는 광조형장비 제작업체에서 미리 제공된 지침대로 고정되어 사용되거나 쾌속조형 전처리 단계에서 장비운영자의 경험에 따라 임의적으로 결정되어 사용되고 있는 실정이다. 스트랜드 개수가 과도하게 많으면 파트 제작의 전체 공정시간이 늘어날 뿐 아니라 후처리 시간이 길어지며 파트의 표면 상태가 더욱 나빠지게 된다[4]. 반대로 스트랜드의 개수가 필요한 기준 보다 적으면 파트의 변형이 생기거나 파트를 제대로 지지할 수 없는 상태가 발생한다[5].

본 논문은 광조형의 지지대구조에서 서포터구조 최적화를 위한 연구의 한 부분으로서 스트랜드 간격 변화와 하중 변화에 대한 파트 형상 변형을 실험을 통하여 관찰 분석하고, 이로부터 적절한 스트랜드 간격 결정에 관한 기준을 제시하고자 한다.

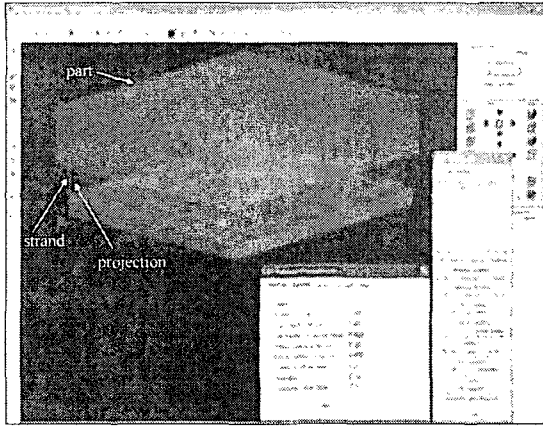


Fig. 1 An example of support structure to manufacture an RP part

2. 실험

2.1 실험계획 및 수행

주요 RP machine 제작업체 중 하나인 3D Systems사에서 개발한 상용 소프트웨어 3D Lightyear는 광조형기(SLA: StereoLithography Apparatus)에서 part 제작을 위한 STL과 SLC 파일을 생성하기 위하여 윈도우 혹은 워크스테이션 기반 CAD/CAM 시스템으로 운용된다[3]. 제작하고자 하는 하나의 광조형물(SL processed part)에 대한 CAD 모델(STL file)을 대상으로 전처리 단계에서 자동적으로 스트랜드 간격 등 지지대구조를 결정하는 변수들을 Fig. 1에 보이는 것처럼 제시된다.

이처럼 시스템에서 제시된 스트랜드 간격의 적절성 확인과 최적 스트랜드 개수를 결정하기 위하여 스트랜드 간격 변화에 따른 파트 형상 변형 정도를 파악하기 위한 실험을 수행한다. 먼저, 가로세로 높이가 각각 50, 50, 10mm 크기인 직육면체 모양의 광조형물 테스트파트(test part)를 Table 1에 보이는 장비 사양과 성형조건으로 제작한다. 형상의 비대칭이나 불균일로 발생할 수 있는 변형을 최소화하기 위하여 파트의 단면은 정사각형으로 한다. 테스트파트 모델에 대한 제시된 스트랜드 간격이 3.048mm임을 Fig. 1에서 보여주고 있는데 이 설정된 값(default value)로부터 단계적으로 2mm 늘여서

Table 1 Build conditions of test parts

RP apparatus	SLA 350
Material	SI 40
Layer thickness	0.1mm
Build style	Exact-X

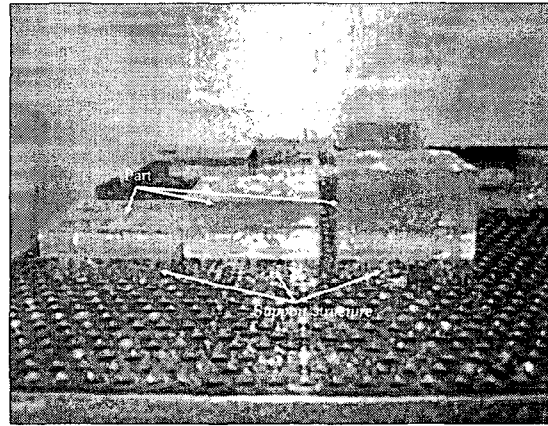


Fig. 2 Built test parts and support structure

즉, 주어진 사이즈의 테스트파트에 대한 스트랜드 개수를 순서대로 줄여서 16 개를 제작한다. 그리고 파트 무게 변화에 따른 형상의 변형 정도를 확인하기 위하여 스트랜드 간격이 각각 3.048, 22, 28 밀리미터 테스트파트의 단면은 그대로 하고, 높이를 10, 20, 30으로 변화시켜 제작하였다. 위 Fig. 2는 제작된 테스트파트와 지지대 구조의 일부를 보여주고 있다

2.2 파트형상 변형 측정

스트랜드 간격 변화에 따른 형상변화 정도를 파악하기 위하여 진직도 측정이나 윤곽형상을 측정할 수 있으나 이러한 방법들은 파트의 지지대와의 접촉면에서 부분적인 일직선상의 변화만 측정 가능하다. 따라서 본 연구에서는 페인트류의 색소를 정반면에 바르고 그 위에 테스트파트를 올려놓고 미끄러지게 하여 파트의 접촉면에 묻은 색소의 면적 분포 정도로서 지지대 접촉부위에서 테스트파트 단면의 전체적인 형상 변형 정도를 확인한다. 이 방법에 의한 면 정밀도는 통상 1~2 마이크로미터(micrometer)까지 확실하게 구분할 수 있는 것으로 알려져 있다[6]. 아래 Fig. 3은 제시된 방법으로 형상변형 정도를 측정하는 모습을 보여주고 있다.

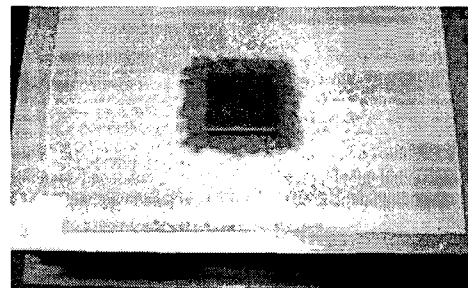


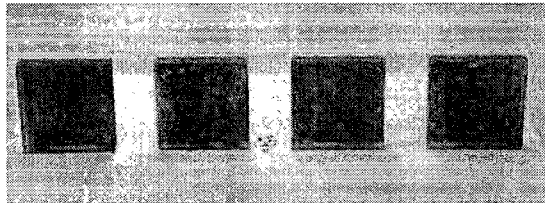
Fig. 3 Measurement for test part deformation

3. 결과 및 고찰

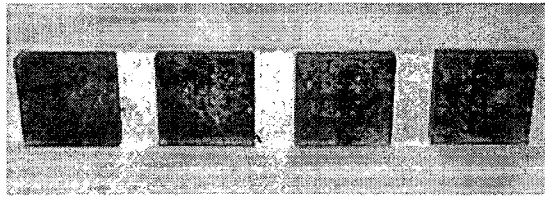
광조형물의 지지대 구조에서 스트랜드 간격변화와 파트의 무게 변화에 대한 파트의 변형 정도를 앞장에서 설명한 측정 방법대로 다음과 같이 얻었다.

3.1 스트랜드 간격

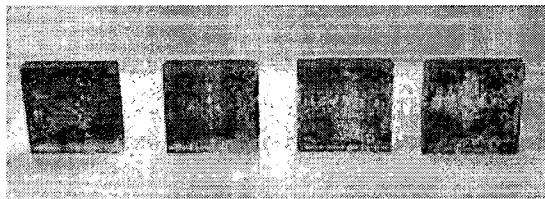
아래 Fig. 4 는 스트랜드 간격을 최초 설정값 3.048mm 로 시작하여 6, 8, 10mm 등의 순서로 34mm 간격까지 조정된 16 개의 제작된 테스트파트에 대한 형상의 변형 정도를 나타내고 있다.



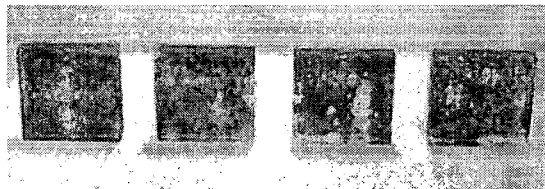
(a) Strand spacing 3.048, 6, 8 and 10mm



(b) Strand spacing 12, 14, 16 and 18mm



(c) Strand spacing 20, 22, 24 and 26mm



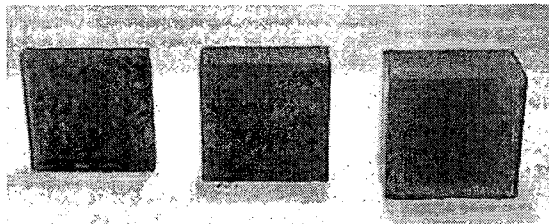
(d) Strand spacing 28, 30, 32 and 34mm

Fig. 4 Part deformation distribution by change of strand spacing

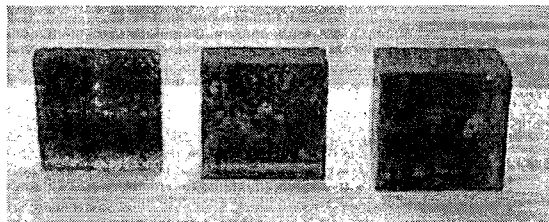
Fig 4. (a)는 좌측에서 순서대로 스트랜드 간격 최초 설정값 3.048mm 부터 차례로 6, 8, 10mm 로 늘렸을 경우의 형상분포 변화를 보여주고 있다. 마지막 10mm 까지 스트랜드 간격을 늘려도 최초의 상태와 거의 비슷한 변형 정도를 나타내고 있는데, 이것은 스트랜드 간격을 10mm 까지 변화시켜도 거의 파트의 형상 변형에 영향이 없음을 알 수 있다. 즉, 스트랜드 개수가 최초 간격이 3.048 일 경우 주어진 가로 세로 50mm 인 파트 단면 형상에 대하여 각각 16 개씩 256 개가 배치되나 간격이 10mm 일 경우 가로 세로 각각 5 개씩 25 개만 배치시켜도 파트의 형상 변형에 거의 영향을 미치지 않음을 보여준다. Fig. 4 (b)의 경우 좌측에서 순서대로 스트랜드 간격 12mm 부터 차례로 2mm 간격 차이로 18mm 까지 늘렸을 경우의 형상분포 변화를 보여주고 있는데, 간격이 14mm 일 경우부터 가운데 부분의 색소 분포가 다소 열린 것으로 보아 이 부분을 중심으로 십자 모양으로 조금씩 스트랜드의 부족으로 파트의 처짐이 발생한 것으로 판단된다. Fig. 4 (c)와 Fig. 4 (d)는 스트랜드 간격을 20mm 부터 순차적으로 2mm 씩 증가시켜 34mm 까지 늘린 경우에 대하여 제작된 테스트파트이 형상 변형을 보여주고 있는데, 간격이 늘어날수록 즉 스트랜드의 개수가 적을수록 형상 변형이 심하게 일어남을 잘 보여주고 있다. 스트랜드 간격 22mm 이상부터 즉, 가로 세로 두 개씩의 4 개 이하의 스트랜드로는 파트의 심한 변형을 야기하기 때문에 파트를 지지할 수 없음을 쉽게 알 수 있다.

3.2 하중변화

광조형물의 하중 변화에 대한 스트랜드의 지지대 역할을 확인하기 위하여 Fig. 5 에 보이는 것처럼 특정 스트랜드 간격에 대하여 파트의 크기를 변화시켜 형상 변형 분포에 대한 측정된 결과를 얻었다. Fig 5 (a)는 좌측에서 순서대로 스트랜드 간격 최초 설정값 3.048mm 일 때 단면 크기 가로 세로 50mm 에 대하여 순서대로 파트 높이를 각각 10, 20, 30mm 로 늘렸을 경우의 형상분포 변화를 보여주고 있다. 형상 높이가 10mm 에서 30mm 로 변화하여도 측정된 형상변형 분포 그림으로부터 파트의 변형이 거의 없음을 알 수 있다. Fig. 5 (b)는 간격 22mm 일 때 즉, 스트랜드 개수 부족으로 이미 형상변형이 심하게 일어나고 있는 경우지만, 좌측에서 순서대로 파트 높이를 각각 10, 20, 30mm 로 파트 높이 즉 하중이 증가되었음에도 불구하고 형상의 변화 정도는 거의 일정함을 보여주고 있다. 즉, 서포트의 지지대 구조에서 동일한 스트랜드 간격에서 동일한 파트 형상의 단면적 대하여 하중의 변화에 따른 파트의 형상변형이 미미함을 알 수 있다.



(a) Part height 10, 20 and 30mm at 3.048 mm strand spacing



(b) Part height 10, 20 and 30mm at 22mm strand spacing

Fig. 5 Part deformation distribution by change of part weight

4. 결론

본 연구로부터 광조형의 지지대 구조에서 스트랜드 간격 변화에 따른 광조형물의 형상 변화 정도와 그리고 광조형물 하중변화에 대한 스트랜드의 지지 역할에 대한 특성을 파악하였다. 즉, 스트랜드 개수를 시스템에서 제시한 최초 설정값에 대하여 10분의 1 까지 대폭 줄여도 파트의 형상 변형에 영향을 거의 미치지 않으며, 또한 지지대 부위의 동일한 단면에 대하여 파트의 하중이 증가하더라도 파트 변형이 미미함을 확인하였다.

이로부터 실제 광조형물 제작시 제작할 파트에 대한 스트랜드 개수를 일정 수준이상 줄일 수 있는 가이드 라인을 제시할 수 있으며, 감소된 스트랜드 개수로 인하여 후처리 시간 절감과 표면정도 개선에 이바지할 수 있다.

본 연구의 결과를 바탕으로 보다 다양한 형상 적용과 정량적인 데이터를 확보한다면 향후 광조형의 지지대 구조 최적화를 위한 정교한 해석 기법 구축이 가능할 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Lee, K. W., "Principles of CAD/CAM/CAE systems," Addison-Wesley, MA, ISBN 0-201-38036-6, pp. 378 - 392, 1999.
2. Chua, C. K., Leong, K. F., Lim, C. S., "Rapid Prototyping: Principles and Applications, 2nd edition," World Scientific, ISBN 981-238-117-1, pp. 35 - 54, 2003.
3. <http://www.3dsystems.com/> 2005.
4. 안대건, 김호찬, 정해도, 이석희, "광조형물의 표면도도 향상에 관한 연구, 한국정밀공학회지, 제 21 권, 제 9 호, pp. 196 - 203, 2004.
5. Jacobs, P. F., "Rapid Prototyping & Manufacturing: Fundamentals of Stereolithography," 1st ed., Society of Manufacturing Engineers, pp. 162 - 165, 1992.
6. 박한중 譯, 日本 tool engineer 編輯部 編著, "측정기의 사용법과 측정계산, 성안당, pp. 136 - 143, 1994.