

3차원 쾌속조형 기술의 마이크로/나노 복합체를 이용한 기능성 경사구조 제작에의 응용

3차원 쾌속조형(RP: Rapid Prototyping) 기술의 일종인 Selective Laser Sintering(SLS)을 기능성 경사구조(FGM: Functionally graded materials)의 제작에 응용하기 위하여 마이크로/나노 복합체의 제작 공정을 최적화하고 실험으로 1차원의 FGM 제작을 수행하였다.

정하승 홍익대학교 기계시스템디자인공학과, 교수

e-mail : haseung@hongik.ac.kr

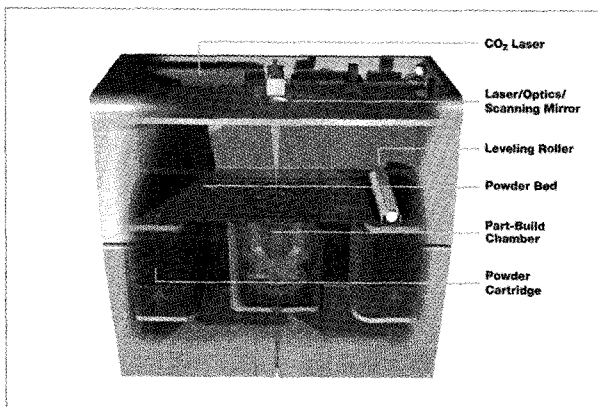


그림 1 Sinterstation™ 2000 machine(3D Systems)의 모식도

기능성 경사구조(FGM)란 제품의 기능성을 최대한 살리기 위하여 필요한 부분에 적합한 여러 재료를 사용하여 만들어진 구조 혹은 그러한 구조로 이루어진 제품을 일컫는다. FGM의 개념은 항공, 핵에너지, 화학, 전자, 광학, 생체조직을 포함하는 많은 공학 분야에 적용될 수 있으며, 이러한 경향은 구조가 복잡하고 기능이 많은 제품일수록 더욱 더 크게 나타난다.

현재까지 이에 대한 많은 연구가 이루어졌지만 대부분 간단한 형상을 가지는 FGM 제작에 그쳐왔다. 그러나 최적화된 구조를 가지도록 이론적으로 디자인된 제품들은 매우 복잡한 형상을 가지곤 하는데, 널리 통용되는 일반적인 제조공정으로는 동일한 재료로도 이러한 복잡한 형상을 제작하기 어렵다. 나아가서 여러 가지 다른 재료를 사용하여 복잡한 형상의 제품을 만든

다는 것은 일반적인 제조공법으로는 현재로서 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 이러한 복잡한 형상을 가지는 기능성 경사구조 제작이 가능하다면 제조 분야에 있어서 획기적인 전기를 마련할 수 있을 것이다.

3차원 쾌속조형 기술은 복잡한 형상을 특별한 추가 공정 없이 Computer Aided Design(CAD) 모델로부터 직접 제작하는 기술로서, 재료를 적층해서 만드는 방식을 채택하고 있기 때문에 복잡한 형상뿐 아니라 층간 혹은 각각의 층 안에서 여러 가지 재료의 사용을 현실화 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 3차원 쾌속조형 기술의 이러한 특징은 기능성 경사구조의 제작을 가능하게 하는 장점들을 제공할 것이다.

복잡한 형상을 가진 3차원의 기능성 경사구조를 제작할 수 있는 공법 개발의 일환으로서 3차원 쾌속조형기술의 하나인 Selective Laser Sintering(SLS)을 통해 마이크로/나노 복합체의 제작을 최적화하고, 이를 이용한 1차원의 기능성 경사구조 제작을 시도하였다. 그림 1은 본 연구에서 1차원 기능성 경사구조 제작을 위해 사용한 3D System에서 제작된 Sinterstation™ 2000 machine의 내부 구조를 보여주고 있다.

SLS공정은 주지하다시피 제작하고자 하는 CAD 형상 모델을 2차원 적층경계모델로 나누고, 작업대를 덮고 있는 분말재료와 컴퓨터로 조정되는 레이저빔에 의해서 각 층에 해당하는 형상이 선택적으로 소결

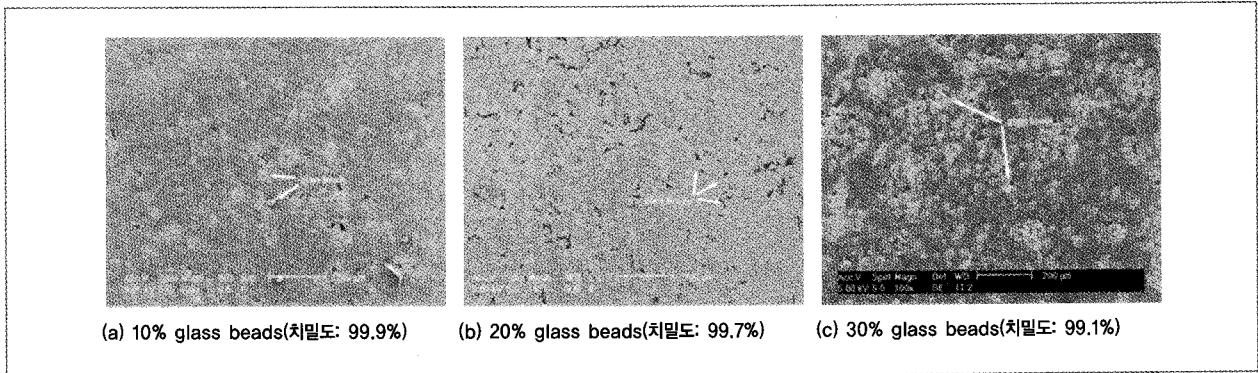


그림 2 Nylon-11과 glass beads 복합체의 단면

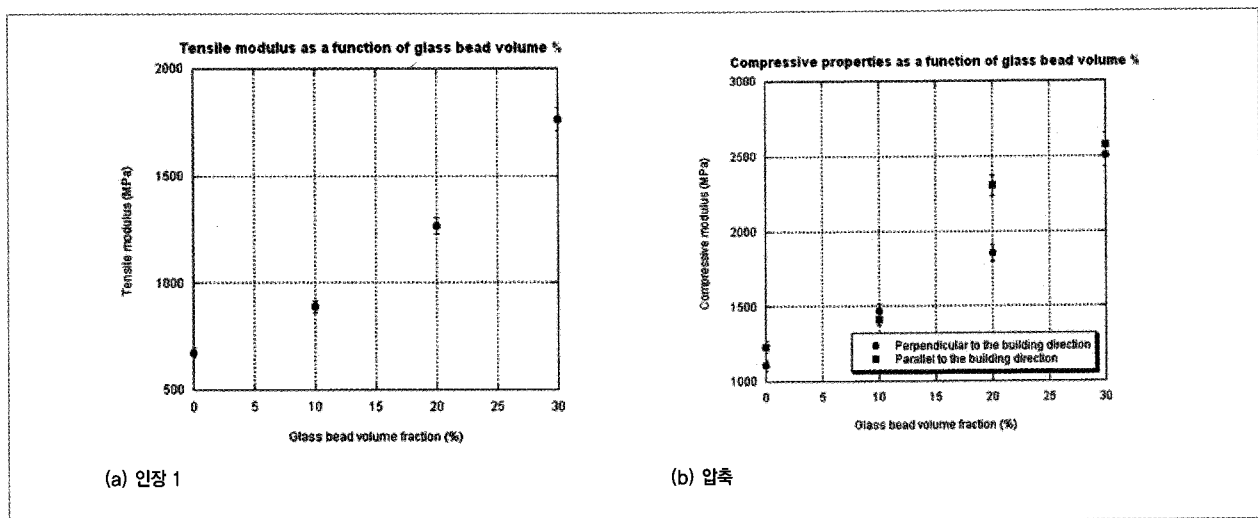


그림 3 Nylon-11과 glass beads 복합체의 조성에 따른 기계적 강도

된다. 한 층의 소결이 이루어진 후에는 롤러가 한 쪽 끝 단으로부터 다른 쪽 끝단으로 이동하면서 소결된 층 위에 다른 한 층의 분말재료를 공급하게 되고 그 층의 형상에 해당하는 부분의 소결이 이루어지고 이러한 공정이 반복되면서 각 층이 적층되어 3차원 형상이 만들어지게 되는 것이다. SLS공정에는 Laser power, scan speed, substrate temperature, roller speed 등을 포함하는 여러 가지 공정변수가 존재하며, 이러한 공정변수들에 따라 제작된 최종 형상파트의 정밀도와 재료물성이 달라지게 된다. 따라서 본 연구에서는 먼저 기능성 경사구조에 사용될 재료를 선정하고, 이들 재료를 사용하여 제작된 형상파트의 재료물성의 치밀도가 100%에 가깝고, CAD 형상과 제작형상이 정확한 치수일치도를 보이며, 제작 후의 추가적인 후처리 공정 없이 쉽게 형상파트가 분리될 수 있는 결과물을 제작할 수 있는 공

정변수를 결정하였다. Nylon11과 서로 다른 조성의 micro glass beads 및 Silica nanoparticle을 혼합한 복합재료를 사용하여 연구를 진행하였으며, 각 재료에 최적화된 공정변수를 결정하는 데 실험계획법(DOE: Design of experiments)을 사용하였다. 또한 최적화된 공정변수에 의해 제작된 시편의 기계적 강도를 ASTM Standard에 따라 측정하였다. 그림 2는 micro glass bead가 포함된 복합체 단면의 SEM micrographs로서 모든 조성(Nylon11 + 10-30% volume fraction of micro glass bead)에 대해 90% 이상의 치밀도를 가지고 있는 것을 확인할 수 있으며 그에 따른 기계적 강도를 그림 3에 나타내고 있다.

그러나 Sinterstation™ 2000 machine은 단일한 재료를 사용하도록 디자인되어 있기 때문에 여러 가지 재료를 동시에 사용할 수 없는 제약이 있다. 이런

제약을 극복하기 위해 본 연구에서 사용한 방법을 간단히 살펴보면, 먼저 각 층의 두께 및 분말재료를 공급하는 각 단계에 분말재료 저장용기가 이동하는 높이와의 상관관계에서 필요한 재료의 양을 계산한 후 분말재료 저장용기에 높이 방향으로 서로 다른 재료를 필요한 양만큼 적재한 후 SLS 과정이 진행됨에 따라, roller는 각기 다른 재료를 형상이 만들어지는 작업대에 전달하게 되고 재료에 따라 상이한 공정변수는 자동적으로 재료가 바뀌는 지점에서 변환되도록 컴퓨터로 프로그램화 하였다.

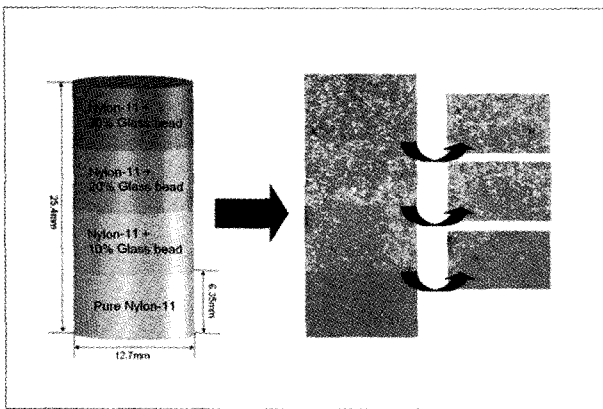


그림 4 기능성 경사구조를 가지는 압축시편의 모식도 및 단면

이런 방식에 의해 층이 쌓여가는 방향으로의 1차원 기능성 경사구조제작이 시도되었으며, 성공적으로 제작되었음을 그림 4~7에서 확인할 수 있다.

이상으로 재료전달 방식에 대한 개선이 선행된다면, SLS를 포함하는 3차원 쾌속조형 기술은 복잡한 형상의 기능성 경사구조 제작을 위한 이상적인 제조 공법이 될 수 있음을 확인할 수 있다.

이 글은 아래의 논문에서 발췌하였으며, 더 자세한 내용은 아래의 논문을 참조하길 바란다.

- (1) H. Chung, S. Das, "Processing and properties of glass bead particulate-filled functionally graded Nylon-11 composites produced by selective laser sintering", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 437, pp. 226-234, 2006.
- (2) H. Chung, S. Das, "Functionally graded Nylon-11/silica nanocomposites produced by selective laser sintering", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 487, pp. 251-257, 2008.

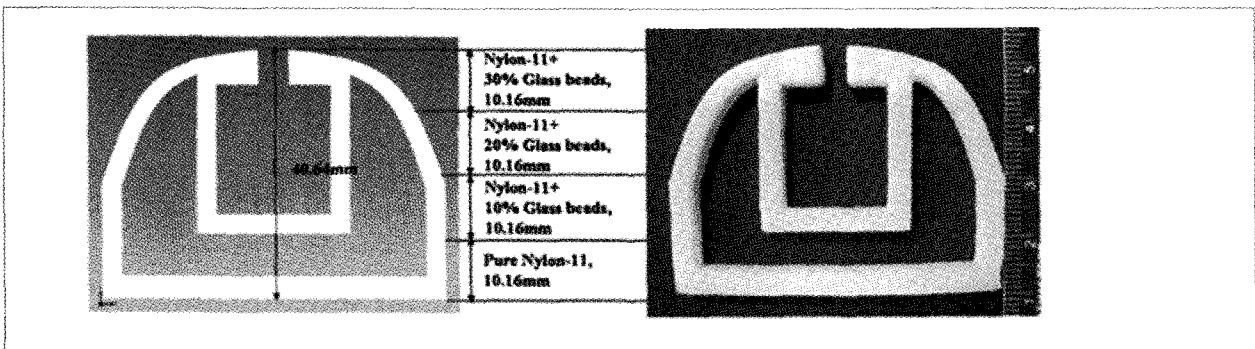


그림 5 Compliant gripper의 구조 및 실제 제작된 형상

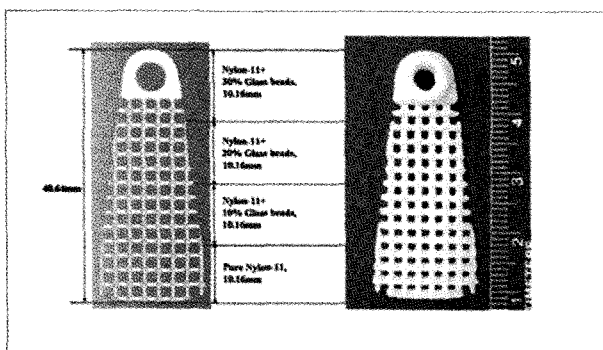


그림 6 Rotator cuff scaffold의 구조 및 실제 제작된 형상

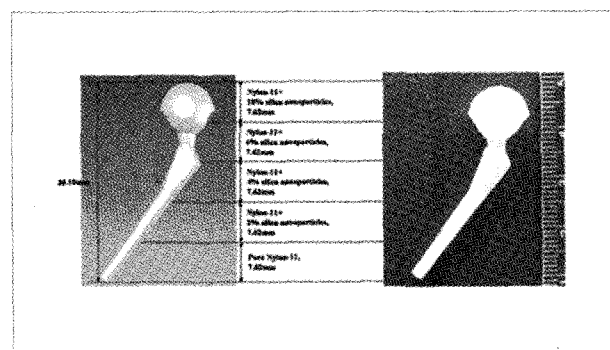


그림 7 Artificial hip replacement의 구조 및 실제 제작된 형상