

형상맞춤형 3차원 다공성 인공지지체 제작에 관한 연구 A study on the fabrication of 3D porous scaffold with biomimetic geometry

*사민우¹, #김종영¹

*M. W. Sa¹, #J. Y. Kim(jykim@andong.ac.kr)¹

¹안동대학교 기계공학과

Key words : Polymer deposition system, Biomimetic, Scaffold

1. 서론

조직공학에서의 3차원(Three-dimensional) 인공지지체(Scaffold)는 손상된 조직(Tissue) 및 장기(Organ)를 필요로 하는 환자들을 위해 세포 및 성장인자 그리고 생체 적합성(Biocompatibility) 재료가 복합적으로 탑재가 가능하도록 제작되고 있다. 그중에서도 쾌속조형(Rapid prototyping) 기술을 이용한 3차원 인공지지체 연구가 활발히 수행되고 있다. 쾌속조형 기술은 3차원 CAD 데이터로부터 직접적으로 입체 형상을 만들 수 있으며 실제 손상된 조직과 유사하게 인공지지를 제작할 수 있다. 또한 이 기술은 온도, 공압 그리고 이송속도(Feed rate)의 공정 조건을 가지고 다양한 생체재료의 사용이 가능한 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 폴리머 적층 시스템을 이용하였고 생분해성 PCL 폴리머로 형상맞춤형(Biomimetic geometry) 3차원 다공성 인공지지체를 제작하였다. 또한 Rat, rabbit 그리고 mini pig 의 결손(Defect)된 골(Bone)과 외부형상이 유사한지를 알기 위하여 3차원 모델링과 주사전자현미경을 통해 사진촬영이 시도되었다.

2. 폴리머 적층 시스템

폴리머 적층 시스템은 정밀 모션 제어가 가능하고, 최대 2축의 헤드, 최대 온도 250℃ 그리고 최대 공압 750 kPa의 조절장치를 가지고 있다. 이 시스템은 폴리머의 정밀 분사를 위해 0.2 mm 노즐을 사용하였고, X-Y-Z 축을 이용하여 160 × 160 × 50 mm의 넓고 긴 형상으로 인공지지체의 제작이 가능한 작업공간을 가지고 있다. 이 시스템을 통해 본 연구에서는 정밀 공학 장비 및 조절 장치들을 이용하여 형상맞춤형 3차원 인공지지체 제작을 수행하였다. Fig. 1은 인공지지체 제작을 위해 사용된 폴리머 적층 시스템과 각각의 세부기기를 보여준다. 그

중에서 Fig. 1(a)은 폴리머 적층 시스템, Fig. 1(b)은 스틸 시린지에 열을 가해주는 온도와 압력 조절 장치, Fig. 1(c)은 폴리머 적층 시스템을 제어해 주기 위한 제어기, 그리고 Fig. 1(d)은 압력 조절 장치에 공기를 넣어 주는 공기 압축기를 보여주고 있다.

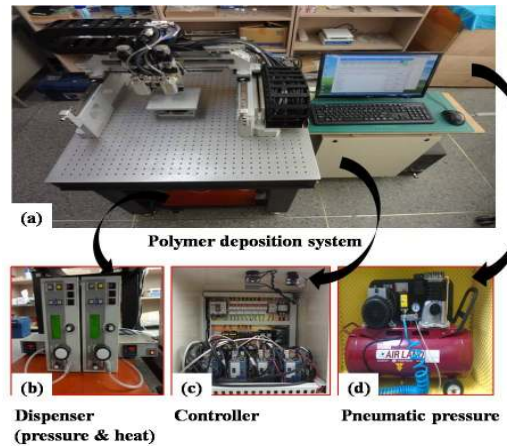


Fig. 1 Polymer deposition system

3. 3차원 다공성 인공지지체의 개발

3.1 3차원 다공성 인공지지체의 설계

본 연구에서는 3차원 인공지지체를 제작하기 위해 G-code 데이터를 폴리머 적층 시스템의 프로그램에 입력하여 X-Y-Z 축의 모션을 제어하여 원하는 형상을 제작하였다. Fig. 2는 code-coding software를 이용한 3D modeling이며 이와 같은 순서는 첫 번째 층(Layer)에서 마지막 층까지 디자인된 것을 보여주기 위한 것이다. 이러한 3D 모델링은 Mini pig 의 정강이뼈(Tibia) 부위에 적용하기 위해 디자인되었다. 실제 mini pig 의 조건에 최대한 적용하였고 인공지지체 형상은 전체 길이를 15 mm, 공극 및 선폭은 200µm로 설계되었다.

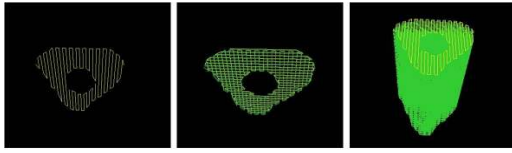


Fig. 2 3D modeling of scaffold

3.2 3차원 다공성 인공지지체의 제작 및 관찰

본 연구에서는 3차원 인공지지체의 제작을 위해 생분해성 Poly(caprolactone) (PCL, M_n 45,000, Sigma Ardrich) 폴리머를 사용하였다. 10cc의 스틸 시린지에 PCL 폴리머를 넣은 후에 10분 이상의 충분한 가열시간을 거치면 공압을 이용하여 분사가 된다. 형상맞춤형 3차원 다공성 인공지지체의 미세구조와 공극을 관찰하기 위해 주사전자현미경(Scanning electron microscope, Tescan VEGA II LMU, Czech)이 이용되었다. Fig. 3은 rat과 rabbit 모델의 tibia defect에 적용시킬 수 있는 인공지지체의 SEM 사진을 보여준다.

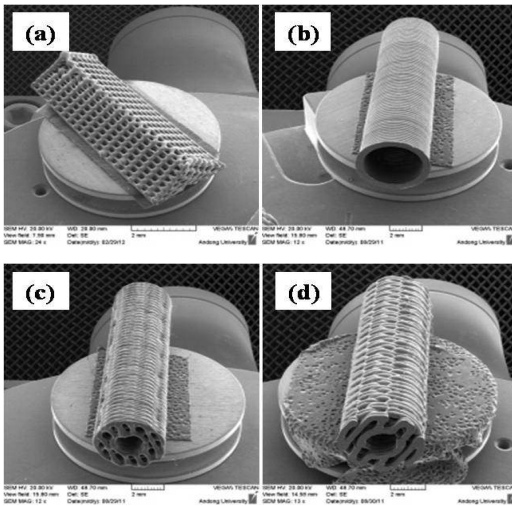


Fig. 3 SEM images of 3D porous scaffold(Rat and rabbit)

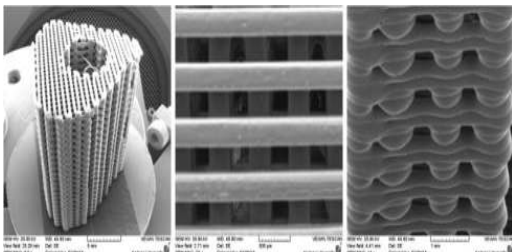


Fig. 4 SEM images of 3D porous scaffold(Mini pig)

Fig. 3(a)은 삼각형 모양으로 매우 porous 한 인공지지체를 보여주고 있으며, 제작된 형상은 길이가 15 mm, 선포는 $200\pm 20 \mu\text{m}$ 이다. Fig. 3(b)은 튜브 형상으로 내부의 홀에 다양한 골 이식재와 약물 등을 탑재할 수 있는 인공지지체를 보여주고 있다. Fig. 3(c)은 내부의 홀과 공극을 가진 인공지지체를 보여주고 있으며 외부에는 공극이 없도록 제작된 적층 구조를 보여주고 있다. 내부 홀의 지름은 2 mm, 선포는 $200\pm 20 \mu\text{m}$ 이다. Fig. 3(d)의 인공지지체는 외부 공극이 있는 것으로 제작되었고, 다른 조건들은 Fig. 3(c)과 동일하게 적용되었다. Fig. 4는 mini pig 모델의 tibia defect에 적용시킬 수 있는 인공지지체를 보여주고 있다. 전체 형상은 실제 골 외부 형상과 유사하게 제작되었다. 또한 제작된 인공지지체의 선포와 높이는 비교적 잘 제작되었음을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 폴리머 적층 시스템을 이용하여 형상 맞춤형 3차원 다공성 인공지지체를 제작하는 연구를 수행하였다. 다양한 동물 모델의 골결손 부위를 재생하기 위한 인공지지체의 형상들이 모델링되고 제작되었다. 제작된 인공지지체들의 전체 길이는 15 mm로서 매우 긴 형상을 가졌으며, 공극은 $200\pm 20 \mu\text{m}$ 로서 매우 정밀한 것으로 확인되었다. 향후, 기계적 강도 평가 및 동물실험을 통해 인공지지체의 골 재생 실험이 시도될 예정이다.

후기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0022011). 또한, 본 연구는 보건복지부 보건의료연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임 (A110416).

참고문헌

1. Kim, J. Y., Park, E. K., Kim, S. Y., Shim, J. W. and Cho, D. W., "Fabrication of a SFF-based three-dimensional scaffold using a precision deposition system in tissue engineering", J. Micromech. Microeng., 18, 7pp, 2008
2. Lee, S. J. and Cho, D. W., "Solid Freeform Technique in Tissue Engineering", 한국정밀공학회지, 23, 7-15, 2006