

# 골조직 재생을 위한 세라믹 인공지지체의 기계적 특성 향상

## Mechanical property Enhancement of Ceramic Scaffold for Bone tissue Regeneration

\*설영준<sup>1</sup>, 강현욱<sup>2</sup>, #조동우<sup>1,3</sup>

\*Y.-J. Seol<sup>1</sup>, H.-W. Kang<sup>2</sup>, #D.-W. Cho(dwcho@postech.ac.kr)<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>포항공과대학교 기계공학과, <sup>2</sup>Wake Forest Institute for Regenerative Medicine,

<sup>3</sup>포항공과대학교 융합생명공학부

Key words : Scaffold, Calcium phosphate, Projection based Micro-stereolithography, Mechanical property

### 1. 서론

인산칼슘(Calcium phosphate) 계열의 세라믹 재료는 생체적합성 및 골전도성을 가지고 있어 골조직 재생을 위한 인공지지체 제작에 많이 사용되고 있다. 인공지지체 제작에 많이 사용되는 인산칼슘에는 하이드록시아파타이트 (Hydroxyapatite)와 트리칼슘포스페이트 (Tri-calcium phosphate)가 있으며 위 재료를 이용하여 인공지지체 제작에 관한 많은 연구가 소개되었다<sup>(1,2)</sup>.

인산칼슘이 골 조직 재생을 위한 장점을 가지고 있지만, 재료가 파우더 타입으로 되어있어 3차원 자유형상을 가지는 구조물을 제작하기 힘들다는 단점을 가지고 있다. 또한 세라믹 재료의 기계적 특성상 취성(Brittleness)을 가지고 있어 제작된 인공지지체의 기계적 안정성이 떨어진다<sup>(3)</sup>.

본 연구에서는 골조직 재생을 위해 인산칼슘 세라믹 재료중 하이드록시아파타이트를 이용하여 3차원 자유형상을 가지는 인공지지체를 개발하고 인공지지체의 기계적 특성을 향상시키기 위해 소결 온도 및 고분자 주입에 대한 연구를 수행하였다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 투영 기반 마이크로 광조형 시스템

본 연구에서는 세라믹 인공지지체를 제작하기 위해 투영 기반 마이크로 광조형 시스템(Projection based Micro-stereolithography)을 이용하였다. 광원으로는 자외선(Ultra violet) 램프를 이용하였고, 3차원 인공지지체의 단면 이미지를 생성시키기 위해 상용화된 프로젝터 내부에 있는 Digital Micromirror

Device(DMD)를 사용하였다. 이렇게 제작된 2차원 단면형상을 쌓아가며 3차원 인공지지체를 제작하였다.

본 연구에서 사용한 투영 기반 마이크로 광조형 시스템으로 제작할 수 있는 단면 이미지의 크기는 14.6 x 10.9mm 이며, 약 14 $\mu$ m의 해상도를 가지고 있어 정교한 형상 제작에 용이하다. Fig. 1 은 본 연구에 사용한 투영 기반 마이크로 광조형 시스템의 개략도를 보여준다.

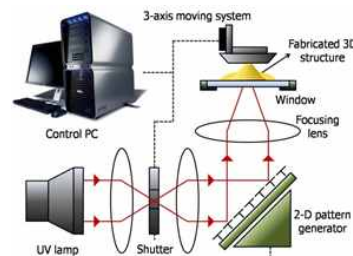


Fig. 1 Schematic diagram of projection based Micro-stereolithography

#### 2.2 세라믹 슬러리

투영 기반 마이크로 광조형 시스템에 적용할 수 있는 재료는 광경화 성질을 가지고 있어야 한다. 본 연구에서 사용한 하이드록시아파타이트 파우더는 광경화 성질을 가지고 있지 않아 투영 기반 광조형 시스템에 적용할 수 없다. 따라서 3차원 세라믹 인공지지체를 제작하기 위해 상용화된 광경화 수지인 FA1260T(SK Cytec Inc.)와 하이드록시아파타이트를 혼합하여 세라믹 슬러리를 준비하였다. 이때 세라믹 파우더를 광경화 수지에 균일하게 혼합시키기 위해 충분한 시간 동안 교반기를 사용하였다.

### 2.3 세라믹 인공지지체의 기계적특성 향상

투영 기반 마이크로 광조형 시스템과 준비된 세라믹 슬러리를 이용하여 원하는 형상의 3차원 구조물을 제작하였다. 제작된 3차원 구조물은 광경화 수지와 세라믹 파우더가 혼합된 상태이며, 인공지지체를 제작하기 위해 소결 공정을 이용하여 3차원 구조물에 포함된 광경화 수지를 제거하고 세라믹 파우더끼리의 결합을 유도하여 3차원 세라믹 인공지지체를 제작하였다.

또한 세라믹 구조체의 기계적 특성을 향상시키기 위해 파라핀을 이용하여 지름의 크기가 100~200  $\mu\text{m}$ 인 porogen 을 준비하였고, 이를 세라믹 슬러리에 혼합하여 위와 동일한 방법으로 porogen 에 의해 생성된 공극을 가지는 세라믹 구조체를 제작하였다. 이렇게 생성된 공극에 Polycaprolactone(PCL)을 주입하였다.

### 2.4 기계적 특성 평가

세라믹 인공지지체의 기계적 특성을 확인하기 위해 만능재료시험기(Universal Testing Machine, Instron No.3340)를 이용하여 압축실험을 수행하였다. 압축실험을 위한 인공지지체는 소결 온도를 1000 $^{\circ}\text{C}$ , 1200 $^{\circ}\text{C}$ , 1400 $^{\circ}\text{C}$ 의 세가지 조건에서 준비하였다. 또한 porogen 에 의해 생성된 공극에 PCL을 주입한 세라믹 구조체의 기계적 특성 향상을 확인하기 위해 PCL이 주입된 구조체와 주입되지 않은 구조체를 준비하여 압축강도(Compressive strength)와 압축탄성률(Compressive modulus)을 측정하여 비교하였다.

### 3. 결론

Fig. 2는 투영 기반 마이크로 광조형 시스템으로 제작한 세라믹 인공지지체를 보여준다. 공극의 크기 및 선의 두께는 약 250 $\mu\text{m}$ 이며 공극끼리 완벽하게 연결되어 있음을 확인할 수 있었다.

세라믹 인공지지체의 압축강도 및 압축탄성률은 소결 온도가 높을수록 강도 및 탄성률이 증가되는 것을 확인하였다(Fig. 3). 높은 온도조건이 세라믹 파우더끼리의 결합력을 증가시켜 세라믹 인공지지체의 기계적 특성이 향상되었다.

또한, porogen에 의해 생성된 공극에 PCL을 주입한 구조체가 PCL의 영향으로 그렇지 않은 구조체에 비해 기계적 특성이 향상됨을 확인하였다(Fig. 4).

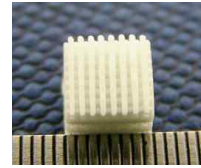


Fig. 2 Ceramic scaffold

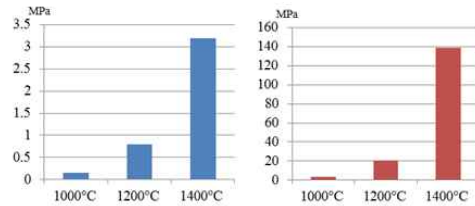


Fig. 3 Mechanical properties of ceramic scaffold according to sintering temperature (compressive strength-left, compressive modulus-right)

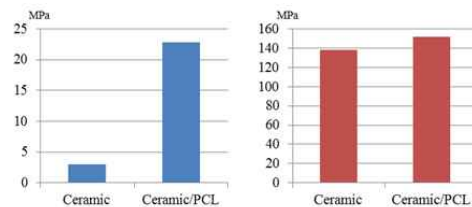


Fig. 4 Mechanical properties of ceramic structure (disk shape) and ceramic/PCL structure (compressive strength-left, compressive modulus-right)

### 후기

This research was supported by the World Class University program through the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Education, Science and Technology (R31-2008-000-10105-0).

### 참고문헌

- Matthias S., Hermann S., Inga D., Sebastian S., Wolf M., "Biomaterials as scaffold for bone tissue engineering," *European Journal of Trauma*, **2**, 114-124, 2006.
- Kandel R.A., Grynypas M., Pilliar R., Lee J., Wang J., Waldman S., Zalzal P., Hurtig M., "Repair of osteochondral defects with biphasic cartilage-calcium polyphosphate constructs in a sheep model," *Biomaterials*, **27**, 4120-4131, 2006.
- Y.-J. Seol, J.Y. Kim, E.K. Pa가, S.-Y. Kim, D.-W. Cho, "Fabrication of a hydroxyapatite scaffold for bone tissue regeneration using micro stereolithography and molding technology," *Micro electronic Engineering*, **86**, 1443-1446, 2009.