

## 전기방전소결에 의한 다공성 표면을 갖는 치과용 티타늄 임플란트 성형공정 연구

(Formation of porous surfaced Ti-6Al-4V dental implant by  
Electro-Discharge-Sintering)

세종대학교 안영배, 오낙현, 천연옥, 이권용, 이원희\*  
서울산업대학교 김동관, 현창용  
한밭대학교 변창섭  
고려대학교 권종진

### 1. 서론

Ti과 Ti-6Al-4V합금은 우수한 기계적 특성과 생체 적합성으로 인해 임플란트 재료로 널리 사용되고 있다. 현재 치과용 임플란트는 기계가공에 의해 rod 표면에 나사산을 만들어 표면적을 극대화시킨 screw-type 이 주류를 이루고 있다. 임플란트의 나사산은 뼈와 직접적으로 접촉함으로써 더 강한 기계적 접촉강도의 효과를 제공하며 아울러 치유기간동안 초기 고정력을 향상시켜준다. 그러나 임플란트의 초기 고정력은 screw-type 임플란트보다 표면적이 훨씬 넓은 다공성일 때 더욱 향상되며 그에 따라 치유기간을 절반으로 단축시킬 수 있다는 연구결과들이 꾸준히 보고 되고 있다. 이러한 다공성 임플란트는 정형외과에 널리 적용이 되어오고 있으며 또한 치과용 임플란트에도 응용이 되어 상용화되고 있다.

현재 세계에서 유일하게 판매되고 있는 치과용 다공성 Ti-6Al-4V 임플란트 (Endopore)는 막대모양의 바와 금속분말을 이용하여 제조되며 다공성은 바모양의 코어주위에 분말을 packing한 후 고온 및 불활성 분위기에서 소결함으로써 얻어진다.

하지만 고온소결에 의해 제조된 티타늄 임플란트는 고온소결동안 결정립성장이 낮은 기계적 강도 및 피로강도의 원인이 된다는 결과가 발표되면서 새로운 공정에 의한 다공성 임플란트의 제조연구가 시급한 과제로 떠오르고 있다.

이에 본 연구에서는 고온소결공정의 단점을 극복할 수 있는 전기방전소결 (Electro Discharge Sintering) 기술을 이용하여 다공성 Ti-6Al-4V 임플란트를 제조하였고 아울러 기본적인 물성의 분석과 동물실험을 진행하였다.

### 2. 실험 방법

Rotating-Electrode-Process (REP) 방법에 의해 제조된 Ti-6Al-4V 분말의 크기분포를 50 - 100  $\mu\text{m}$  와 150 - 200  $\mu\text{m}$ 로 분류하여 시료로 사용하였다. 전기방전소결장치는 high voltage power supply, capacitor bank, vacuum switch, high voltage probe, high current probe, oscilloscope, discharge set-up, 그리고 PC로 구성을 하였다. Capacitor bank는 150  $\mu\text{F}$  capacitor를 3개 연결하여 150, 300, 450  $\mu\text{F}$ 의 용량을 갖게 하였다.

팅스텐으로 된 3.95 mm의 지름을 갖는 진극봉 위에 4.0 mm의 내경을 갖는 quartz tube를 연결한 후 0.75 g의 Ti-6Al-4V 분말을 장착하였고 분말이 잘 packing이 될 수 있도록 5 분간 vibrating을 해 주었다. 미리 설정된 input voltage를 power supply로부터 제 1차 switch에 의해 지정된 capacitor로 충전시키고 capacitor에 충전된 에너지는 vacuum switch에 의해 장착된 분말들 사이로 방전되었다. 방전 시 순간적으로 흐르는 전압과 전류는 각각 high voltage probe와 high current probe에 의해 탐지되어 oscilloscope로 출력이 되었다. EDS 장비에 가해질 실험적 input energy는 다음과 같은 식에 의해 계산되었다.

$$E = CV^2/2 \quad (1)$$

여기서 C는 capacitor의 용량을 의미하며 V는 power supply를 통해 가해주는 voltage이다.

본 실험에서는 3가지의 다른 용량의 capacitor 와 4가지의 다른 input voltage, 두 가지의 분말크기를 조합하여 총 24가지의 실험조건을 얻을 수 있었다. 또한 이 중 한 가지 조건의 샘플을 개의 하악에 매식한 후 2주, 4주, 7주 기간 동안의 bone osseointegration을 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

전기방전소결에 의해 성형된 다공체의 형상은 분말들이 3차원적으로 연결된 모습을 보여주고 있으며 단면사진으로부터 solid core와 porous layer가 동시에 형성되었음을 알 수 있었다. solid core의 형성은 분말이 welding에 의해 수축되어 형성되었으며 그의 미세구조는 Widmanstätten 조직이었다. 얇은 판의 분리는 매우 미세하였고 이는 Eylong과 Froes가 보고한 와와 같이 높은 quenching 율을 가진 Ti-6Al-4V 에서와 비슷한 조직을 보여주고 있다.

각각의 실험 조건에서 방전된 소결체는 매 2 mm마다 diamond saw를 이용하여 절단 하였으며 모든 부분은 광학 및 주사전자 현미경을 사용하여 core지름, neck size, pore size를 측정하였다. 입자와 입자사이의 계면에 형성된 neck size는 연마한 cross-section 평면에서 적어도 20개 이상의 neck의 크기를 평균 내어 산출하였다. 다공층에서의 pore size는 20개가 넘는 기공을 평균내어 cross-section 평면에서 1차원적으로 측정하였다.

solid core의 지름은 입력에너지 및 capacitor의 크기에 따라 증가하였으며 성형체 지름의 0%에서 78 %까지 변화였다. Porous layer에 있는 입자와 입자사이의 계면크기는 모두 입력에너지와 정전용량에 따라 포물선적으로 증가하였으며 분말들 사이의 contact area가 상대적으로 큰 150 - 200  $\mu\text{m}$  분말에서 더 큰 neck size를 얻을 수 있었다.

기공크기는 입력에너지와 정전용량의 증가에 따라 포물선적으로 감소하였으며 같은 전기방전 조건에서 큰 사이즈의 분말이 보다 작은 분말에 비해 크게 나타났다. 이는 분말들이 충전 시 생기는 void의 크기가 분말들의 크기에 따라 비례하기 때문이다. 따라서 방전소결 시 pore size는 분말의 크기와 입력에너지 및 정전용량을 조절하여 제어가 가능함을 알 수 있다.

다공성 임플란트 소결체의 압축강도는 39에서 452 MPa로 나타났고 입력에너지 및 정전용량의 크기에 비례하였다. MicroVickers 경도값은 소결전의 분말보다 소결 후에 더 큰 값을 보여주었으며 이는 전기방전 시 높은 온도의 발생과 동시에 빠른 속도의 quenching에 의한 열처리 효과에 기인하는 것으로 판단된다. 소결체의 압축강도는 solid core의 크기에 비례하였고 이는 또한 input energy 및 capacitance 의 크기에 비례함을 알 수 있었다.

동물실험 결과에 의하면 2 주때부터 신생골이 임플란트의 기공속으로 침투되어 성장하고 있음을 확인 하였고 이는 기존의 어떠한 형태의 임플란트보다 골유착 강도가 우수함을 보여주고 있다.

### 4. 결론

24가지의 실험조건으로 제조된 임플란트의 solid core 및 neck size, 그리고 pore size를 각각 측정하여 기본적인 물리적 성질을 평가하였으며 전기방전조건에 따른 임플란트의 기계적 강도를 각각 비교 분석하였다. 다공성 임플란트 소결체의 solid core 크기는 입력에너지와 정전용량이 증가함에 따라 증가하였고 pore size는 감소하였다. 3차원적으로 연결된 다공층을 이루고 있는 분말들의 neck size는 투입된 에너지와 정전용량의 증가에 따라 증가하였다. Solid core, solid core-powder 계면, powder - powder 계면, 그리고 다공층을 구성하는 분말들의 미세 경도값은 소결 전 보다 높은 값을 보여 주었으며 특히 solid core 부분이 제일 높았음을 알 수 있었다. 임플란트 소결체의 압축강도는 입력에너지 및 정전용량 값에 크게 의존하였다.

동물실험으로부터 입자간 다공사이로 많은 골 성장을 관찰할 수 있었으며 이러한 3차원적인 골 성장 형태는 2차원적 표면구조를 가진 나사식 임플란트 보다 골유착 능력이 뛰어나리라고 예상되며 시간이 경과할수록 훨씬 견고해질 것이라고 판단된다.

본 연구 결과로부터 1초 이내의 전기방전소결 공정은 기존의 고온소결법과 달리 더욱 우수한 Ti-6Al-4V의 물리적 및 기계적 특성을 보여주었으며 짧은 시간과 저 비용으로 치과용 다공성 임플란트를 제조할 수 있는 최적의 공정임이 확인 되었다.