

## 창조론적인 관점에서의 천연 생체소재 미세구조 관찰과 그 응용

이상진 국립목포대 신소재공학과 교수

### 요약본문

자연의 생명체 구조를 모방하여 과학적으로 우리생활에 응용하려는 기술은 예전부터 활용되었으며, 지속적인 연구를 통하여 과학의 발전을 꾀하고 있다. 천연 생체소재를 이용하여 바이오 재료로 사용하려는 연구도 최근에 많은 관심의 대상이 되고 있으며, 본 논문에서는 달걀껍질과 갑오징어 뼈를 이용하여 우리 생체에 적용 가능한 인공뼈로의 가능성을 타진해 보았다. 달걀껍질의 미세구조 관찰에서는 미세한 숨구멍을 관찰할 수 있었고 병아리가 부화되기까지 가장 적합한 미세구조로 이루어져 있음을 알 수 있었다. 인산과의 혼합과 열처리를 거쳐 제조된 샘플은 인산칼슘으로 이루어진 인체의 뼈 구성과 유사하였고, 달걀껍질의 미세구조에서 오는 특징으로 말미암아 균질하고 정교한 다공체의 인공뼈를 제조할 수 있었다. 생체실험을 통하여 새로운 골조직이 생성됨을 확인하였고, 천연 소재로부터 생체친화적인 바이오 소재의 응용이 가능함을 확인하였다. 갑오징어 뼈의 미세구조 관찰을 통하여 자연적으로 만들어진 건축학적인 구조를 확인하였고, 이러한 구조를 그대로 이용하여 다공성의 인공뼈 제조가 가능하였다. 자연물의 구조적, 기능적인 독특한 미세구조를 관찰하고 응용하는 가운데, 이러한 생물체에 자연발생적인 개념보다는 창조론적인 접근이 더 어울리지 않을까 생각해 본다.

### I. 청색기술의 응용

청색기술은 생물에서 얻은 영감을 과학적으로 모방하여 과학의 발전을 도모하는 기술로서, 최근에 많은 관심이 집중되는 분야이다. 이러한 자연 모방 기술이 우리 생활에 활용되는 예는 매우 많이 찾아볼 수 있는데, 소위 말하는 짹짹이는 한해살이 풀인 도꼬마리를 모방하여 만든 것으로, 생태계에서는 도꼬마리의 씨앗이 갈고리 모양의 가시로 되어 있어 동물의 몸에 달라붙어 씨앗을 퍼져나가게 하는 수단이 되고 있다(그림 1 참조). 또한 게코 도마뱀은 어디든 강하게 달라붙어 자기 몸무게의 몇 배의 무게로 잡아당겨도 쉽게 떨어지지 않는 신기한 행동을 보이는

데, 이것은 발바닥 한 개에 나노 크기의 50만개의 감모가 붙어있고 각 감모마다 잘 발달된 빨판이 10억개나 달려 있어서 4개의 발바닥이 모두 밀착하여 붙어 있으면 120 kg에 지탱하는 놀라운 슈퍼 접착 능력을 보이게 된다. 과학자들은 이를 모방하여 접착제를 개발하였고 미래에는 영화에서만 보았던 스파이더맨의 능력이 실현 가능할 것으로 예상하고 있다. 또한, 진북껍데기의 표면을 관찰하면 블록 형태의 탄산칼슘이 점성 단백질에 의하여 지그 재그 형태로 붙어 있어 매우 강한 강도를 보이는데, 이러한 자연 모방은 이미 우리 건축기술에 적용되어 탄산칼슘 대신 벽돌을 점성 단백질 대신 진흙을 이용하여 서로 겹치는 구조로 쌓아올려 강한 건축 구조물을 만들고 있다. 상어의 경우는 바다에서 시속 50 km 속도로 빠르게 헤엄치는데, 이것은 지느러미 비늘의 미세돌기 때문이며, 미세돌기 주위의 소용돌이 때문에 저항이 감소되어 빠른 속도를 내게 된다. 이러한 특징은 전신 수영복에 모방되어져 100m 기록을 평균 0.2초 단축하는 효과로 2000년 시드니 올림픽에서 28개의 금메달을 딴 선수들이 이러한 전신 수영복을 입고 출전하였다. 이러한 표면 구조를 나타내는 페인트도 개발되어 차세대 항공기 등에 적용될 것이라 본다. 끝으로 아프리카 얼룩말의 흰색 줄무늬는 태양빛을 반사하여 표면의 열기를 감소시키고, 검은색 줄무늬는 태양빛을 흡수하여 표면온도를 높인다. 이러한 온도차에 의해 공기의 흐름이 생기고 이러한 미세한 바람의 흐름에 의해 표면온도가 8°C까지 내려가는 효과를 얻게 된다. 한 스웨덴 건축가가 이러한 모방기술을 건축에 적용하여 건물온도를 낮추어 에너지 절감 효과를 가져왔다.



[그림 1] 청색기술인 자연 모방의 여러가지 예시

생물모방 Biomimicry 저자인 재닌 베니어스는 “생물은 화석연료를 고갈시키지 않고 지구를 오염시키지도 않으며 미래를 저당 잡히지도 않고 지금 우리가 하고자 하는 일을 전부 해왔다”라는 말을 남겼다. 즉, 이미 세상에 하나님의 창조로 말미암은 최첨단의 기술은 존재하고 있으며, 우리는 다만 이러한 현상을 발견하고 과학이라는 이름하에 활용하고 있는 것이라 생각된다.

## II. 달걀껍질의 미세구조 관찰 및 응용

### 1. 개요

최근 천연 소재를 사용하여 생체친화적인 재료들이 개발되고 있으며, 이들의 응용도 보다 광범위하게 연구되고 있다. 인공뼈의 합성재료로 사용되는 대부분의 천연 소재는 탄산칼슘( $\text{CaCO}_3$ ) 성분으로 이루어져 있으며, 이를 이용해 합성된 인공뼈 재료들은 강도와 탄성률이 생체뼈와 같고 물성이 오랜 시간동안 변하지 않으며, 생체친화성이 좋고 생체뼈와 직접 결합하는 재료로 연구, 개발되어지고 있다. 천연 소재에 인산을 첨가하여 합성된 생체친화성 재료로 인산칼슘계 재료인 인산삼석회(tricalcium phosphate,  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ )와 수산화인회석(hydroxyapatite,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ )를 들 수 있는데, 이들은 물성이나 생체친화성에 있어 생체뼈와 유사하여 대체재로 매우 유용하다. 본 실험에서는 천연 소재인 달걀껍질(난각)을 이용하여, 생체 친화적인 인산칼슘계 분말을 합성하여 임상실험을 통하여 생체친화성을 확인하고자 하였다. 출발원료로 사용되는 달걀껍질의 외부, 내부의 미세구조를 전자현미경을 이용하여 흥미 있는 부분을 확인하였다. 건조된 난각을 열처리하여 구순도의 산화칼슘( $\text{CaO}$ )을 얻은 후 인산과의 혼합량에 따른 합성거동 및 다공성의 인공뼈 제조 공정과 생체 테스트 결과를 고찰하였다. 천연 생체소재의 미세구조적 특징과 이러한 재료를 사용함으로써 기대되는 생체친화성과 의료분야의 응용에 활용되기를 기대한다.

### 2. 실험 방법

건조된 달걀껍질을 전자현미경(scanning electron microscopy)을 이용하여 내부와 외부 구조를 관찰하였다. 달걀껍질을 활용한 인공뼈 제조를 위해,  $900^\circ\text{C}$ 에서 열처리하여 단백질 성분을 제거하고 탄산칼슘이 분해되어 얻어진 산화칼슘 성분을 갖는 달걀껍질 분말을 사용하였다. 열처리 된 달걀껍질 분말에 인산( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )을 첨가하였으며, 이때 달걀껍질의 칼슘( $\text{Ca}$ )과

인산의 인(P)의 몰 비를 계산하여 생체뼈의 성분과 유사한 인산칼슘 조성을 유도하였다. 용매로 이소프로필 알코올을 사용하였으며, 지르코니아 볼을 이용하여 12시간 동안 볼 밀링함으로써 균질하게 혼합하였다. 혼합 시에는 달걀껍질 분말과 인산의 부분적인 반응을 막기 위해, 먼저 이소프로필 알코올과 달걀껍질 분말을 먼저 혼합한 후에 인산을 첨가 하였다. 혼합된 슬러리는 90~100°C 사이에서 24시간 동안 건조시키고, 건조된 분말은 공기 분위기하에서 1분에 4°C의 승온속도로 1000°C까지 올린 후 1시간을 유지하고 냉각하여 인공뼈 제조를 위한 인산칼슘 (calcium phosphate) 분말을 제조하였다. 제조된 분말에 물, 분산제, 결합제 등을 혼합하여 슬러리를 제조하고 다공성의 폴리우레탄 스폰지를 슬러리에 함침 시킨 후, 잉여 슬러리를 배출시키고 건조하였다. 이 후 600°C까지 천천히 승온하여 스폰지 성분을 열분해 시키고, 계속하여 1100°C까지 열처리하여, 직경 5.5mm. 높이 5mm의 다공성 인공뼈를 제작하였다. 인공뼈를 다공성으로 제작하는 이유는 체내의 체액이 비어있는 기공으로 흘러들어가 인공뼈의 표면부터 서서히 자가골이 생성되도록 유도하기 위해서이다. 생체 테스트는 전신 마취된 토끼의 경골 내측을 노출시켜 인공뼈와 같은 크기의 홈을 만들고 이곳에 인공뼈를 이식한 후 봉합하고, 진통 및 감염방지를 위하여 항생제와 스테로이드를 근육으로 주사하였다(그림 2 참조). 수술 된 토끼의 골생성 여부는 4주, 8주 후에 이식 부분의 미세조직 관찰을 통하여 확인하였다.



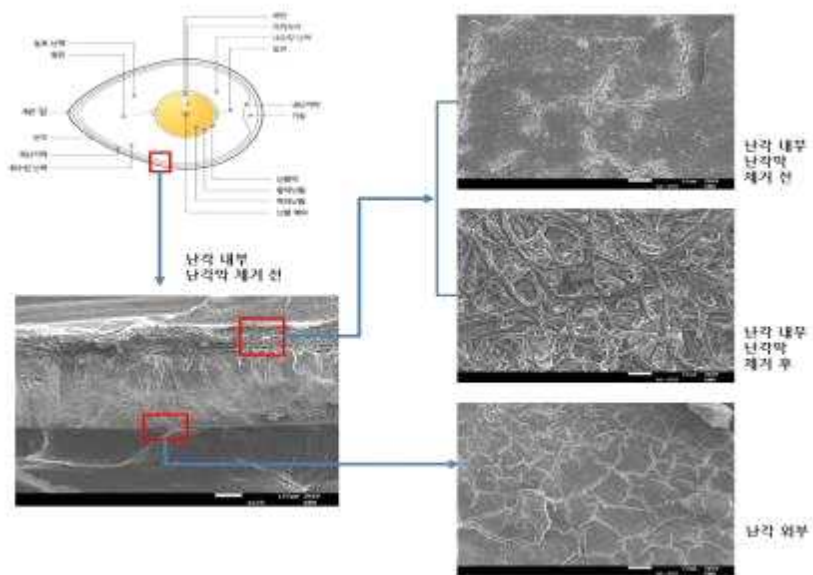
[그림 2] 제조된 다공성 인공뼈와 생체 테스트를 위한 절차

### 3. 결과 및 고찰

#### (1) 달걀껍질질의 미세구조 관찰

건조된 달걀껍질은 화학분석 결과 99%의 탄산칼슘으로 이루어져 있는데, 이것은 시멘트의

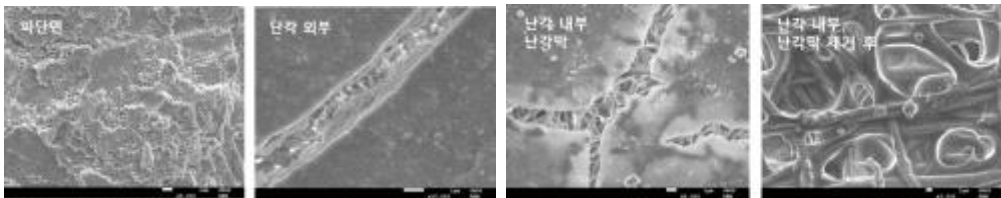
주 성분인 석회석과 같은 성분이다. 닭의 몸속에서 이러한 석회석 성분이 모여서 특이한 구조의 달걀껍질이 만들어 진다는 것은 매우 신기한 현상이라 볼 수 있다. 달걀껍질의 파단면 및 외부와 내부의 미세구조 관찰결과(그림 3 참조), 달걀껍질의 파단면은 약 300  $\mu\text{m}$ (0.3 mm)의 두께를 보이고, 껍질의 외부 미세구조를 살펴보면 마치 가뭄에 땅이 갈라진 것 같은 형태를 보이고 있다. 내부 구조를 살펴보면, 약 50  $\mu\text{m}$  두께를 갖는 얇은 단백질 성분의 난막이 존재하는데, 이것은 매우 질기고 탄력성이 있는 막으로 그 표면도 마치 땅이 갈라진 것 같은 모양을 띄고 있다. 난막을 제거한 후 그 내부를 살펴보면 질기고 긴 섬유질과 같은 것들이 표면을 매우고 있음을 볼 수 있다. 이러한 달걀껍질은 액체 상태의 알을 보호하고 부화할 때까지



[그림 3] 달걀껍질의 파단면 및 외부와 내부의 미세구조 사진

병아리가 호흡할 수 있는 환경을 유지해 주어야 하는데, 그 비밀은 확대한 미세구조 관찰을 통하여 고찰할 수 있었다. 난각(달걀껍질)의 각 부분은 좀 더 확대한 미세구조(그림 4 참조)에서 보듯이, 파단면의 경우는 약 0.1  $\mu\text{m}$ (100 nm) 크기의 작은 기공들이 수없이 존재하고 있으며, 이러한 기공들이 파단면 전체에 골고루 퍼져 있음을 알 수 있다. 이러한 작은 기공은 난각의 외부와 내부의 미세 기공들과 연결되어 있는데, 난각의 외부 미세구조에서 갈라진 부분을 확대하여 보면 다공성을 보이며 역시 0.1  $\mu\text{m}$  크기의 기공들이 껍질 깊숙이까지 연결되

어 있음을 볼 수 있다. 내부의 난각막의 구조도 갈라진 부분이 존재하며 그 내부를 보면 마치 미세한 섬유질들이 엉켜 있는 모양을 보인다. 그 섬유질 사이는 빈 공간으로 되어 역시 많은 기공이 존재하고 있음을 알 수 있다. 이러한 불규칙한 섬유질 형태는 난각을 제거 후 관찰한 난각 내부의 모양과 거의 일치하는데, 섬유질 사이가 열린 구조를 하고 있어 난각의 외부와 연결되어 있는 구조를 보이고 있다. 이러한 미세구조 관찰을 통하여 알 수 있는 것은 난각의 내부와 외부는 미세한 기공으로 연결되어 있어 부화 전 병아리가 호흡하기에 전혀 무리가 없는 환경을 제공하고 있다는 것이다. 물론 점도가 높은 액체상태의 흰자위(난백)는 이 작은 구멍을 통과할 수 없으며, 공기를 통한 호흡은 가능하게 하는 것이다.



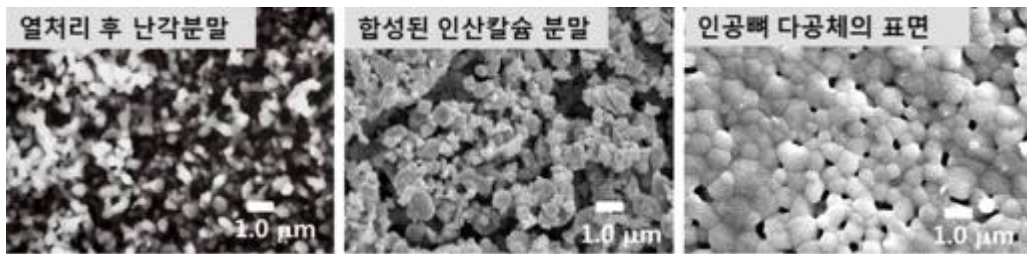
[그림 4] 달걀껍질 각 부분의 확대된 미세구조 사진

이것은 마치 코로나 바이러스는 통과 못하는 마스크(KF94의 경우 기공 크기는 약 0.4  $\mu\text{m}$  임)와 같은 것으로, 난각의 기공크기는 이보다 작은 약 0.1  $\mu\text{m}$ 를 보이는데, 이것은 거미줄 두께보다 작은 크기로 비말이나 작은 먼지에 붙어서 공기 중에 퍼지는 코로나 바이러스도 통과할 수 없는 크기이다. 또한 병아리가 난각을 깨고 부화하는 순간, 매우 약한 힘으로 딱딱한 난각을 어떻게 깨뜨리고 나올 수 있을까하는 의문이 들 수 있는데, 수많은 갈라진 부분이 존재하는 난각의 구조를 알고 나면 쉽게 이해가 될 것이다.

## (2) 열처리를 통한 인산칼슘 인공뼈 제조

탄산칼슘이 주성분인 난각을 800°C까지 열처리하면 단백질 성분인 난각막 부분이 열분해되어 소실되고, 그 다음으로 탄산칼슘의 분해가 일어나 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 발생과 함께 최종적으로 산화칼슘 결정상만이 남게 된다. 일반적인 열처리에 의한 석회석의 분해온도보다 낮은 온도에서 분해가 이루어지고, 열처리 후 분해된 난각은 분말형태를 보이며 매우 부드러운 질감의 백색의 형상을 띄게 된다. 열처리 후 얻어진 분말의 미세구조를 보면(그림 5 참조), 1  $\mu\text{m}$  작은 미세한 분말로 이루어져 있으며 화학분석 결과 99% 이상의 산화칼슘 성분으로

구성되어져 있었다. 이러한 고순도의 나노 크기에 근접하는 미세한 크기의 산화칼슘 분말은 화학적으로도 합성이 어렵기 때문에 이를 이용하면 인공뼈 외에도 그 활용범위가 넓을 것으로 판단된다. 열처리된 난각 분말에 인산을 첨가하여 다시 1000°C까지 열처리하면 탄산칼슘과 인산이 반응하여 우리 생체뼈의 성분과 흡사한 인산칼슘 분말이 만들어진다. 합성된 분말의 미세구조 사진을 보면, 이 역시 매우 미세한 1 μm 내외의 입자크기를 보이고 있음을 알 수 있다. 이렇게 제조된 인산칼슘으로 슬러리를 제조하여 폴리우레탄 스폰지에 흡착 후 다시 1100°C까지 열처리하면 스폰지 성분이 분해되고 다공체의 인산칼슘이 고온의 영향으로 입자간의 결합이 일어나 단단한 구조체를 형성하게 된다. 즉, 다공체의 표면은 단단한 구조체를 띄게 된다. 입자의 크기가 커지면서 입자간 결합이 발생하는 소위 ‘소결 현상’이 발생한 것을 볼 수 있다.



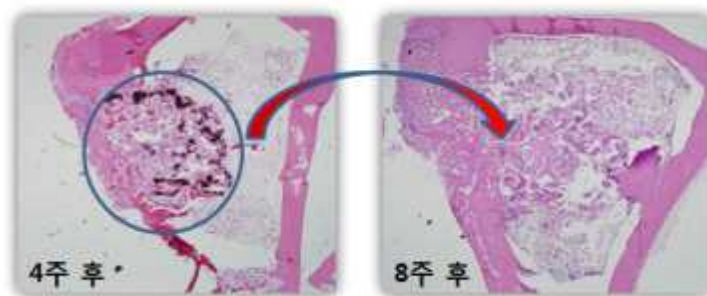
[그림 5] 미세한 크기의 달걀껍질 분말과 이를 이용하여 합성된 인산칼슘 분말 및 고온에서 소결 후 얻어진 치밀해진 표면 구조

전반적으로 볼 때, 모든 분말의 미세구조 관찰에서 매우 균질한 입자크기를 보이는데, 특히 소결된 인산칼슘의 마이크로 단위의 균질한 구조는 생체 적용실험에서 매우 효과적으로 골생성을 유도하는 원인이 되고, 안정된 인공뼈로서의 사용을 보장하는 조건이 될 수 있다. 이러한 우수한 미세구조를 보이는 인공뼈의 제조는 출발원료인 난각의 균질한 미세구조에서 얻어진다고 볼 수 있다. 또한 열처리 한 난각의 99% 이상의 높은 탄산칼슘 순도로 말미암아 최종 합성된 인산칼슘도 높은 순도를 유지하게 되고 이것은 우수한 생체친화성을 나타내는 필수 조건이 될 수 있다.

### (3) 인공뼈의 생체실험 결과

다공성 인공뼈를 토끼에 이식한 후 4주후 생체 조직 구조를 보면(그림 6 참조), 인공뼈

표면에 뼈 형성이 일어나 골 결손부 일부 부분이 채워져 있으며, 이것은 뼈 표면의 골막으로부터 골 전구 세포들이 다공체 표면을 따라 들어와 뼈 모세포로 분화되어 뼈를 형성한 것으로 판단된다. 아직은 주변의 기존 다른 생체뼈와 구분이 되며 다공체 내부로 뼈 모세포가 늘어서 있는 것을 볼 수 있다. 8주후부터는 뼈가 균질한 두께로 형성되어 인공뼈의 표면을 덮고 있고 골 결손부가 조각의 형태가 아닌 성숙된 뼈의 형태를 보이고 있다. 주변의 다른 생체뼈와 구분이 쉽게 되지 않고, 거의 자가골 형태로 발전되었음을 알 수 있다. 이러한 생체실험으로부터 난각을 사용하여 제조된 인공뼈의 생체친화성을 확인할 수 있었으며, 천연 생체소재로부터 안전한 인공뼈의 제조가 가능함을 알 수 있었다.



[그림 6] 인공골 이식 후, 4주와 8주후의 골 생성 미세조직 사진

### III. 갑오징어 뼈의 미세구조 관찰 및 응용

#### 1. 개요

앞서 고찰한 달걀껍질을 이용한 인공뼈 제조를 통하여 다공성의 생체친화성 골의 제조가 가능함을 확인하였다. 본 실험에서는 갑오징어 뼈의 매우 특이한 미세구조를 이용하여, 생체 친화적인 인산칼슘 다공체의 제조공정에 대하여 실험하였다. 인산의 농도를 달리하여 다공성의 구조 안으로 침투시키고, 열처리 공정을 통해 단 한번의 공정으로 미세구조 조절이 가능한 다공성 인공뼈 제조 방법을 연구하였다.





[그림 7] 갑오징어 뼈와 그 미세구조

## 2. 실험 방법

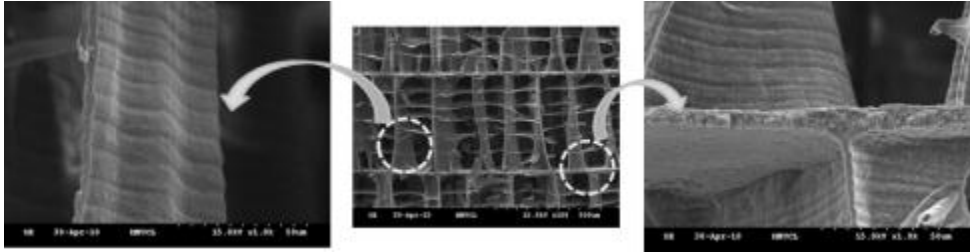
하소를 거치지 않은 갑오징어 뼈를 준비된 인산과 이소프로필 알코올의 혼합액에 담근 후, 데시케이터에 넣고 약 10분간 진공상태로 유지하며 뼈의 내부 기공으로 혼합액이 충분히 함침되도록 하였다. 이 때 인산과 이소프로필 알코올의 혼합비는 예비실험 결과에 의하여, 인산칼슘이 합성되며 다공체 조직이 크게 변형되지 않는 범위 내에서 인산의 농도를 12% ~ 20%까지 변화시켰다. 다공성의 갑오징어 뼈 내부로 희석된 인산용액이 침투되어 들어가고, 이후 용액 내에 가라앉은 갑오징어 뼈를 건조기에서 24시간 동안 건조시켰다. 건조된 갑오징어 뼈는 공기분위기에서 분당 4°C의 승온속도로 1200°C까지 열처리 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### (1) 갑오징어 뼈의 미세구조 관찰

갑오징어 뼈의 미세구조를 관찰한 결과(그림 8 참조), 특이한 다공성의 미세구조를 보였다. 규칙적인 층상구조에 직각방향으로 수많은 기둥들이 나열되어 있는 비교적 규칙적인 다공성 구조로, 높이 200 mm, 폭 50 mm의 반복되는 기공이 층을 이루며 형성되어 있는 구조를 보였다. 작은 기둥의 확대 사진에서는 줄무늬의 형태가 반복되는 매우 치밀한 미세구조를 관찰할 수 있었다. 또한 층과 기둥 사이의 미세구조를 보면 마치 인간의 건축물 구조에서 보듯이 층간 내부 구조가 완벽하게 이루어져 있음을 확인 할 수 있었다. 갑오징어 뼈의 성분도 역시 탄산칼슘으로 이루어져 있으며, 분쇄하여 분말로 만들었을 때 백색의 분말형태를 보이는 데, 이전에는 넘어져 무릎에 상처를 입었을 때, 상처에 이러한 분말을 뿌려 치료효과를 보았다고

한다. 즉, 칼슘 성분이 피와 반응하여 응고되면서 상처를 빠르게 치료한 것으로 판단된다.

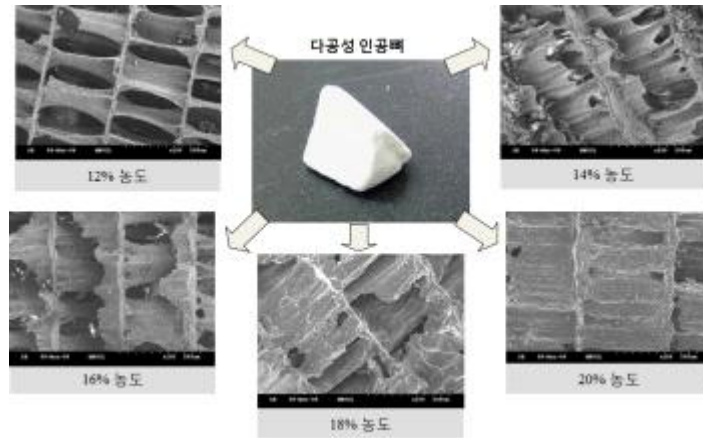


[그림 8] 갑오징어 뼈의 각 부분 확대 미세구조 사진

## (2) 열처리를 통한 인산칼슘 인공뼈 제조

갑오징어 뼈는 인산칼슘 합성에 주요한 칼슘 성분을 보유하고 있으면서 고유의 특이한 다공성 구조를 보이고 있어, 재료의 미세구조를 그대로 활용하여 다공체의 인산칼슘 인공뼈의 제조가 가능한 천연 소재라 볼 수 있다. 인산의 농도에 따른 다공체 인산칼슘 인공뼈 합성 시, 실험 중 건조과정 등에서 일어나는 인산의 증발 및 여러 변수로 말미암아 칼슘과 인의 혼합비율을 이론적으로 계산 할 수 없으므로, 인산의 농도를 변화시켜 가며 실험을 실시하였다. 인산의 농도를 12%에서 20%로 변화시키므로써 최종 결과물의 Ca/P ratio를 조절할 수 있는데, 제조된 인공뼈의 Ca/P ratio는 인산의 농도에 따라 2.32에서 1.22로 측정되었다. 인체친화성이 우수한 인산칼슘 결정상 중 생체친화성이 우수한 인산삼석회 및 수산화인회석이 존재하는데 이들의 Ca/P ratio는 각각 1.5와 1.66을 갖는다. 따라서 실험에 적용된 인산의 농도 범위에서 생체친화성 인산칼슘 결정상이 형성될 수 있는 조건임을 알 수 있었다. 인산 농도를 변화시켜가며 제조된 다공성 인공뼈의 전체적인 미세구조를 살펴보면(그림 9 참조), 열처리 전 천연의 갑오징어 뼈의 미세구조 패턴을 양호하게 유지하고 있었으며, 반응에 의하여 각 층간 기둥의 두께가 좀 더 증가되었음을 관찰 할 수 있었다. 즉 높이에는 변화가 없으나 폭이 더욱 증가되었음을 알 수 있었다. 모든 경우에 열린 기공을 갖는 인산칼슘 다공체가 제조 되었으며, 인산의 농도가 증가할수록 반응에 의하여 기공의 양이 줄어드는 경향을 보였다.

인산의 농도가 12%에서 20%로 변화됨에 따라 넓은 범위의 Ca/P ratio를 갖는 다공체의 인공뼈 제조가 가능하였고, X-ray 회절패턴을 통하여 얻어진 결과에 의하여 16% 인산농도의 경우 Ca/P ratio가 1.67을 보이며 수산화인회석 결정상 조성에 가까워, 생체친화성이 우수할 것으로 판단되었다.



[그림 9] 갑오징어 뼈로 제조된 다공성 인산칼슘 인공뼈의 인산 농도에 따른 형태 변화

#### IV. 맺는 말

천연 생체소재 중에서 달걀껍질의 과학적인 구조와 인공 건축물을 빼닮은 갑오징어 뼈의 구조를 미세 구조적으로 관찰해 볼 때, 이러한 섬세한 구조가 자연발생적으로 형성된 것이라고 쉽게 말 할 수는 없을 것이다. 이러한 두 가지 예는 자연에 존재하는 수많은 생물체의 극히 일부에 지나지 않으며, 많은 과학자들의 연구에도 불구하고 아직도 그 구조를 밝혀내지 못한 자연물은 수도 없이 많을 것이라 생각된다. 창조적인 관점에서 볼 때, 우리는 이미 자연에 존재하는 첨단 과학이 집약된 자연물들을 단지 발견하고 발전시킬 뿐이고, 이를 연구할 수 있는 지각을 가진 유일한 인간도 결국은 하나님의 창조의 세계 안에 존재하며, 과학의 발전도 결국 그의 창조의 범주를 넘어서지 못하리라 생각된다.

자연을 모방하려는 청색기술의 발전과 함께 생체친화성을 갖는 천연 생체소재를 이용한 인공뼈 제조와 생체적용 테스트를 통하여 자연의 창조물이 우리 인간의 생체에 적용 가능하다는 결론을 얻게 되었다. 한걸음 더 나아가 천연 생체소재와 인간의 육체적 구성요소는 크게 다르지 않다는 것도 확인해 볼 수 있었다. 흔히 회자되는 말이 있다. ‘닭이 먼저인가 계란이 먼저인가?’ 진화론의 관점에서는 도저히 답이 나오지 않는 물음이다. 하지만, 창조론의 관점에서는 쉽게 답이 나올 수 있는 질문이라 생각된다.

## 참고문헌

- 김선희 (2008). “가토에서 란각유래 Hydroxyapatite 및  $\beta$ -Tricalcium Phosphate 다공체를 이용한 골 형성 능력 비교.” 박사학위논문, 인하대학교.
- [Kim, S. H. (2008). "Comparison of Bone Formation Using Hydroxyapatite and  $\beta$ -Tricalcium Phosphate Scaffold Fabricated from Egg Shell in Rabbits." Ph.D. Thesis, Inha University]
- 이상진 · 이훈철 (2010). 자연물의 미세구조를 활용한 다공성 인산칼슘 제조. 한국세라믹학회지, 47(3), 244-248.
- [Lee, S. J. and Lee, H. C. (2010). Fabrication of Porous Phosphate by Using a Pre-Form of Nature Material. *Journal of Korean Ceramic Society* 47(3), 244-248.]
- 이인식 (2013). 자연에서 배우는 청색기술. 서울: 김영사.
- [Lee, I. S. (2013). Nature's Blue Technology. Seoul: Gimmyoung Sa.]
- 채닌 베니어스 (1997). 생체모방. 서울; 시스템아
- [Benyus J. M. (1997). Biomimicry. Seoul: Sistema.]
- Engin, N. O. and Tas, A. C. (2000). Preparation of Porous  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  and  $\beta$ - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  Bioceramics. *Journal of American Ceramic Society* 83(7). 1581-1584.
- Lee, S. J., Lee, M. H., Kriven, W. M. and Oh, N. S. (2010). Sintering Behavior and Biocompatibility of Calcium Phosphates Fabricated by Cuttlefish Bone and Phosphoric Acid. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine* 7(5). 556-560.
- Lee, S. J., Yoon, Y. S. Lee, M. H. and Oh, N. S. (2007). Nanosized Hydroxyapatite Powder Synthesized from Eggshell and Phosphoric Acid. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 7(11). 4061-4064.
- Lee, S. J., Lee, Y. C. and Yoon, Y. S. (2007). Characteristics of Calcium Phosphate Powders Synthesized from Cuttlefish Bone and Phosphoric Acid, *Journal of Ceramic Processing Research* 8(6). 427-430.
- Park, J. B. and Lakes, R. S. (1996). Biomaterials An Introduction. New York: Plenum Press.
- Ryu, H. S., Youn, H. J., Hong, K. S., Chang, B. S., and Lee, C. K. (2002). An Improvement in Sintering Property of  $\beta$ -Tricalcium Phosphate by Addition of Calcium Pyrophosphate. *Biomaterials* 23, 99-104.

## 논문초록

자연에는 수많은 신기한 생명체가 존재하며, 그들의 구조를 연구하여 실용 과학에 적용하고자 하는 청색기술이 최근에 이슈가 되고 있다. 나노 단위의 미세구조 고찰을 통하여 천연 생체소재의

특이한 구조에 접근하고, 발견된 구조의 기능학적인 측면을 연구하여 그 특징이나 원리를 실생활에 응용하려는 기술이 적용된다. 전자현미경 등을 활용한 미세적 관찰을 통하여 얻어진 상상을 초월하는 천연 생명체의 구조는 과학자들의 해석을 통하여 과연 이러한 구조가 자연 발생적으로 생겨난 것일까 하는 의문을 품게 된다. 우리 인체의 복잡한 세포의 구조나 그와 연관된 기능적 특징을 관찰함에 있어서도 창조적인 관점에서 해석하지 않으면 답을 얻을 수 없는 결론에 이르는 경우가 많고, 이러한 현상은 많은 천연 생명체에서도 똑같이 관찰되곤 한다. 본 논문에서는 천연 생체소재인 달걀껍질과 갑오징어 뼈의 미세구조를 전자현미경을 사용하여 관찰하고, 그 구조를 자연 발생적인 구조가 아닌 창조론적인 관점에서 해석해 보았다. 또한 이러한 생체소재를 인산과 반응시켜 인산칼슘 조성의 인공뼈 제조가 가능함을 실험을 통하여 확인하였고, 제조된 다공성의 인공뼈가 생체친화성을 보이며 인체에 적용 가능함을 생체 테스트를 통하여 증명하였다.

**주제어:** 창조론, 생체소재, 미세구조적 관찰, 달걀껍질, 갑오징어 뼈, 인공뼈

논 찬 문		기독교학문연구회	
발표논문 제목	창조론적 관점에서의 천연 생체소재 미세구조 관찰과 그 응용	발표자	이상진
		논찬자 (소속)	박문식 (한남대 기계공학과)

자연과학은 자연에서 영감을 얻고 인문학은 고전에서 영감을 얻는다. 사회과학은 인간에서 영감을 얻었고 예술은 심상에서 영감을 얻는다. 이 모두는 하나님의 창조의 작품이며 하나님의 형상에 걸맞은 숨씨로서 하나님이 보시기에 좋았다. 우리는 이것을 기독교적 창조론이라고 부르며 이것은 모든 피조세계에 포괄하는 하나의 전제가 되고 공리로서 수용된다. 생태, 환경, 그리고 건강이라는 주제로 열리는 학술대회에서 하나님의 피조세계를 살펴보고 탐구하는 본 논문은 흥미와 함께 창조의 공리를 다시 한 번 확인해 보는 좋은 사례라고 할 수 있다.

생물계로부터 영감을 얻어 인간에게 유용한 장치나 기계를 발명하는 청색기술의 사례는 인류역사와 함께 부단히 진행되었다. 과거에는 주로 치수나 형상, 구조와 작동원리에서 이루어졌다면, 현대에서는 현미경보다 수백 배 뛰어난 배율의 전자현미경을 통한 마이크로 및 나노의 세계에까지 그 기술이 발전되고 있다. 세라믹과 생체소재의 연구에 많은 노력을 하고 있는 저자는 본 논문에서 달걀껍질과 갑오징어 뼈를 살펴보고 그 미세구조의 생김새와 인공 뼈의 소재로서의 가능성을 탐색하였다. 연구목적은 생체친화성을 갖는 인공 뼈 소재로서 의료분야에 제공하는 것으로 잡고 달걀껍질과 갑오징어 뼈를 활용하여 새로운 합성을 계획하고 다양한 조건의 실험을 수행하여 그 결과들을 분석 및 고찰하였다.

청색공학자의 입장에서 먼저 새로운 발견들이 이루어졌다. 달걀껍질의 파단면을 백배, 천배, 5천배, 그리고 만 배까지 확대해 본 결과 100 나노미터(0.1 미크론)의 작은 기공들이 내부와 외부에 잇는 통로로 연결되어 있어 물질은 막아주면서도 호흡은 가능한 구조로 되어 있다. 이 크기는 코로나-19 바이러스를 문힌 에어로졸의 크기인 5 미크론 보다 훨씬 작아 흥미롭다. 뿐만 아니라 이러한 미세틈새들로 말미암아 병아리가 벽을 쪼아 쉽게 부화하여 나올 수 있는 점도 이해하게 된다. 기존 기계공학의 관점에서 보면 레버린스 실의 기밀유지와 크랙 파괴이론으로 이해될 수도 있다. 연구자는 달걀껍질을 분해 및 분쇄하여 그 분말과 인산칼슘의 여러 가지 합성을 통해 인공뼈의 재료에 적합한 합성을 제시하였다.

또한 갑오징어 뼈의 미세구조에서도 마치 인공 건축물과 같은 정교하고 규칙적인 구조를 확인하였고 갑오징어 뼈를 있는 그대로 합성하면서 다양한 인산 농도비를 적용하여 적합한 인공뼈 후보를 발견하였다. 다공성 인공뼈 합성물을 토끼에게 생체실험을 해 보고 그 생체친화성을 확인하였다.

풍부한 구체적인 자료들의 제시와 과학적 방법론에 의해 기술된 본 논문은 몇 가지 질문들을 자아내고 있다. 첫째, 창조론을 주장하기보다는 창조를 전제로 한 창조세계의 풍부한 발견과 생태계에 이로움을 주는 방향으로의 응용을 더욱 드러내면 어떨까? 둘째, 실험과 분석의 바탕이

---

되는 숨겨져 있는 가정들은 무엇이며 결론의 경계는 어디일까? 셋째, 생체재료로서의 타당성을 갖는 조건들에는 어떤 것들이 있을까? 그리고 마지막으로 동물실험의 윤리적인 부분과 실험 장소 및 셋업은 무엇이었을까? 등이다. 그리고 현미경 사진(특히 그림 4)의 경우 배울 글자 크기가 너무 작아 식별이 어려운 점이 있다.