

## 치과용 임플란트의 형상과 계면 응력의 상관관계

김한성, 이상엽\*, 조남호 (고등기술연구원 기계의용기술센터), 고재영, 박상수, 이훈, 안세영 (슬고 바이오 메디칼 의공학연구소), 심준성, 이철영, 문홍석 (연세대학교 치과대학 보철학교실)

### The relation between shape and interfacial stress of dental implants

H.S. Kim, S.U. Lee\*, N.H. Cho (Mechanical & Medical Eng. Center, Institute for Advanced Engineering),  
J.Y. Ko, S.S. Park, H. Lee, S. Ahn (Institute of Biomedical Eng., Solco Biomedical),  
J.S. Shim, C.Y. Lee, H.S. Moon (Dept. of Prosthodontics, College of Dentistry, Yonsei University)

#### ABSTRACT

Several FE models were developed based on micro-CT images of a mandibular specimen. A new dental implant model was suggested from parameter study for the relation between shape and interfacial stress of dental implants. It is found that the proposed model is highly beneficial.

**Key Words** : Dental implant(치과용 임플란트), Cancellous bone(해면골), Cortical bone(치밀골), D1 bone,(D1 골), micro-CT(미세단층촬영), Stress distribution(응력 분포), Micro-structure(미세구조)

#### 1. 서론

치아의 가장 주된 기능은 저작(咀嚼, mastication) 기능이라 할 수 있다. 치아의 손실 등으로 이 기능을 잃게 되었을 때, 인체 활동의 주 에너지원인 영양의 섭취에 어려움을 겪게 되고, 더 심각한 질병을 초래할 수 있으며, 정신적 스트레스로 연결될 수도 있다. 뿐만 아니라, 치아의 결손으로 인하여 치골이 응력을 받지 않게 되면 자연적으로 서서히 퇴화되게 되어 심미적인 문제 등 다른 여러 문제를 초래하게 된다. 자연치의 상실로 인한 저작 기능과 심미적 회복을 위해 임플란트를 시술하는 방법이 널리 사용되고 있다. 임플란트 시술방법은 손실된 치아의 부위에 임플란트를 고정시킴으로써 치아 원래의 기능을 회복해주는 방법이다. 임플란트는 형태에 따라 골막하(sub-periosteal) 임플란트와 블레이드(blade) 임플란트 등이 있지만, 최근에는 브란마크(Branemark)으로 대표되는 골 유착성 치근형 임플란트가 주로 사용되고 있다.<sup>1</sup>

본 연구의 목표는 필요성과 수요가 늘고 있는 치근형 임플란트에 대하여 보다 재활생체공학적인 접근을 통하여 개선된 형태의 임플란트 형상을 제

시하고자 하는 것이다. 본 논문에서는 미세단층촬영기(micro-CT)를 이용하여 재구성된 자연치의 모델에 임플란트를 적용하여 응력분포를 통하여 임플란트 시술 시 실패 요인을 예측하고, 주요 설계변수 및 제한 조건의 설정 변화에 따른 설계인자 연구(parameter study)를 통하여 보다 개선된 새로운 형태의 임플란트를 제시하고자 한다.

#### 2. 모델의 구성과 해석

##### 2.1 치골(齒骨) 모델의 구성

인체의 치아는 부드러운 곡선으로 이루어져 있고, 또한 턱뼈는 아주 복잡하게 이루어진 구조를 하고 있으므로 정확한 형상을 유한요소 모델로 표현하는 것은 쉽지 않다. 따라서 기존의 연구들은 해부학 교과서 등에서 제공하는 스케치 등을 이용하거나, 형상을 단순화하여<sup>1</sup> 모델을 구성하였다. 그러나, 골의 미세구조는 응력 분포에 큰 영향을 미칠 수 있으므로<sup>2,3</sup> 본 연구에서는 임플란트 시술 시의 상황을 보다 정확하게 예측하기 위하여 사체에서 하악골을 포함한 소구치(小臼齒, premolar)의 시편을 채취하여 1mm 단위의 정밀도로 사물의 단층을

촬영할 수 있는 미세단층 촬영기(micro-CT)를 이용하였다. 시편을 21  $\mu\text{m}$  간격으로 단층 촬영한 후, 단면의 데이터를 3 차원으로 재구성하여 전체적인 형상 및 유한요소 모델을 구성하였다.

## 2.2 임플란트 모델의 구성과 해석

### 2.2.1 기본 모델(base model)의 구성과 해석

임플란트가 시술된 상황을 구현하기 위해서 치골(齒骨) 모델의 치아를 임플란트로 대체한 모델을 구성하였으며 브리네막 임플란트의 형상을 기본모델로 구성하였다.

1996 년에 Masayoshi Wadamoto 등은 시술된 임플란트와 골이 접촉하는 면적이 약 72% 정도라는 내용을 담은 연구 결과를 발표하였다.<sup>5</sup> 본 연구에서도 72%의 골접촉 면적을 고려하여 모든 모델에 적용하였다. 상부에 연결되는 어버트먼트(abutment)는 실제 하중조건을 적용하기 위하여 단순모델로 구성하였다.

기존 연구자들이 가정한 2 차원 모델의 타당성을 검토하기 위하여 2 차원 모델의 해석을 수행하였다. 실제로 3 차원 구조를 하고 있는 치아를 2 차원으로 해석하기 위해서 몇 가지 가정이 사용되었다.

- 가정 1. 평면 변형률 상태로 가정<sup>9</sup>
- 가정 2. 하악골의 아래쪽이 완전 고정 상태로 가정<sup>29</sup>
- 가정 3. 임플란트의 상단에서 축 방향, 횡 방향의 하중이 각각 100N 씩 작용하고 있다고 가정

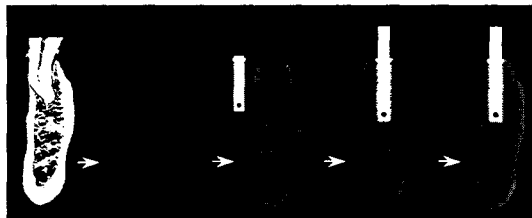


Fig. 1 Modeling process

Fig. 1 은 2 차원 모델의 설정 과정을 도시하고 있으며, Fig. 2 는 해석에 사용된 경계 및 하중조건을 표시하고 있다.

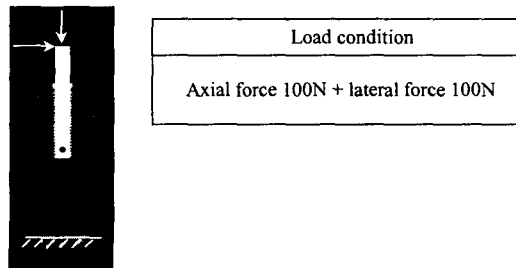


Fig. 2 Boundary & loading condition

### 2.2.2 설계인자연구를 통한 모델의 구성

기본모델의 해석결과, 특정 부분에서 과도하게 응력집중이 발생하였고, 이런 집중된 응력은 임플란트 시술 후 골흡수의 원인이 되므로, 개선되어야 한다. 본 연구에서는 개선된 임플란트 모델을 제시하기 위하여, 주요 설계변수에 변화를 주어 설계인자연구를 수행하였다.

치과용 임플란트 매식체(fixture)의 형상을 결정짓는 변수들을 크게 전체 형상 결정 변수와 나사형상 결정 변수의 두 가지로 구분하여 고려하였다. 본 연구에서는 1 차적으로 전체형상을 결정지을 수 있는 Table 1 과 Fig. 3 에 기술한 5 개의 설계변수를 선정하여 모델에 반영하였다.

선택된 설계 변수에 대한 설계인자연구 결과로 기본모델의 개선된 형태인 1 차 개선모델을 얻었다. 1 차 개선모델을 기본으로 하여 유사한 과정 통하여 최종적으로 2 차 개선모델을 구성하였다.

Table 1 Design variables

임플란트의 전체적 형상에 대한 변수
1. Head Angle
2. Head Length
3. Body Angle
4. Tip Length
5. Tip Angle

Fig. 3 은 해석에 사용된 기본 모델의 설계변수를 표시하고 있다.

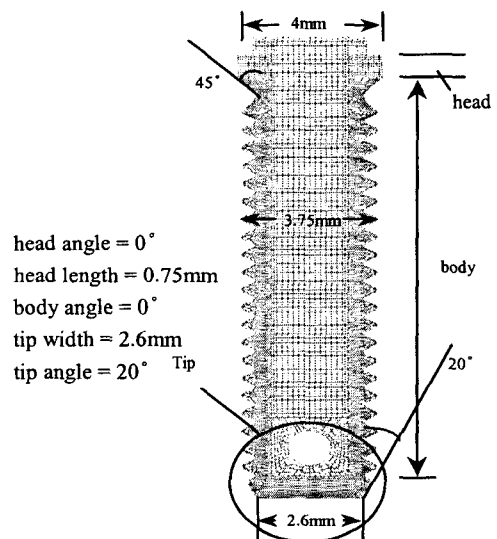


Fig. 3 Base model (branemark-type implant)

### 2.2.3 D1 골을 이용한 모델의 구성과 해석

D1 골은 Carl E. Misch의 분류법<sup>7</sup>에 의한 것으로, 인간의 골(骨)을 밀도에 따라 D1-D4까지의 4가지 등급으로 나누었다. D1 골은 골의 밀도가 가장 높은 것으로, 해면골(cancellous bone)이 치밀골(cortical bone)과 유사한 형태로 구성되었다는 가정을 통하여 모델에 반영되었다 (Fig. 1).

골의 미세구조를 포함한 모델과 D1 골로 가정된 골 모델의 해석 결과, 특정 부분에서의 불규칙적인 응력의 집중 등을 제외하고 전체적인 경향은 매우 유사하게 나타났다(Fig. 5, 6). 그러므로 본 연구에서는 D1 골을 사용하여 전체 형상을 1차적으로 결정하고 결정된 모델을 원래의 해면골 모델로 재구성하여 D1 골 모델을 검증하는 방법을 사용하였다. D1 골을 사용하므로 설계 변수의 변화에 따른 많은 모델의 모델링에 소요되는 시간을 D1 골을 사용하여 절약할 수 있었다.

또한, 2차원에 사용된 D1 골의 형상을 확장하여 3차원 D1 골 모델을 구성하였다. 3차원 D1 골 모델은 2D와 3D 모델의 비교 및 3차원에서 2차 개선 모델의 타당성을 검증 등에 사용되었다.

## 3. 해석 결과 및 고찰

### 3.1 기본모델의 해석 결과

Fig. 4은 임플란트 매식체와 골의 계면에서 발생하는 응력값을 측정하여 도시화한 것이다.<sup>1,8</sup> 좌(左)에서 우(右)방향으로 작용하는 외력으로 인하여 매식체의 좌측에 발생하는 인장응력의 값이 우측에 비하여 크다는 것을 알 수 있으며, 골 미세구조의 영향으로 발생 응력이 불규칙적인 형태로 집중되는 양상을 보인다.

또한, 전체적으로 최대, 최소값의 편차가 크게 나타나는 경향을 보이는데, 이는 어느 특정 부분에서의 극심한 응력 집중을 의미하는 것이고, 이것은 과도한 응력에 의한 골흡수 현상을 초래하여 시술시 실패 위험을 높이는 요인이 될 수 있다.

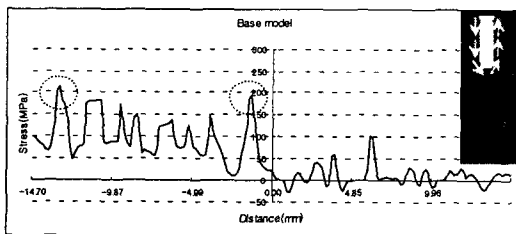


Fig. 4 Stress along the implant surface of base model

### 3.2 1차 개선모델의 해석 결과

기본모델에 대한 설계인자연구를 수행하여 1차

개선 모델을 얻었다.

1차 개선 모델은 상부 구조물인 어버트먼트에서 골(骨)로 전이되는 응력과 응력의 집중을 방지하기 위하여 상단 머리부가 넓은 형태를 하고 있고, 효과적인 응력 분산을 목적으로 테이퍼진 형상을 갖도록 설계되었다.

Fig. 5는 1차 개선 모델의 해석 결과를 보여주고 있다. 완만한 기울기의 점선은 골이 D1 bone으로 가정된 모델이며, 실선은 골의 미세구조가 표현된 모델의 해석 결과를 나타낸다. 절대적인 값의 크기에서는 다소 차이를 보이고 있지만, 전체적인 경향은 유사함 보이고 있다. 또한, 기본모델에서 상단 머리부에 집중되던 응력이 현저하게 감소되었고, 응력의 편차도 줄어들어 비교적 고른 응력의 분포를 보이고 있으며, 특정 부분에서 나타났던 심한 응력의 집중도 상당부분 개선되었음을 알 수 있다.

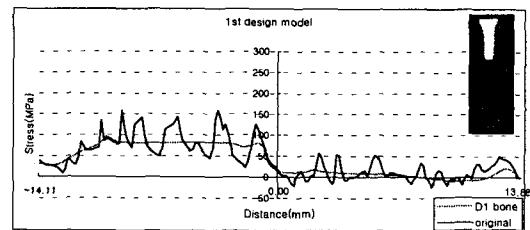


Fig. 5 Stress along the implant surface of the 1<sup>st</sup> model

### 3.3 2차 개선모델의 해석 결과

1차 개선 모델을 기본 모델로 한 설계인자해석의 재수행과 실제 제작상 수정을 가하여 더 개선된 성능을 가진 2차 개선 모델을 구성하였다.

2차 개선 모델의 전체적인 형상은 자연치아와 유사하게 전체가 유선형으로 되어있으므로 급격한 단면의 변화에 따른 응력의 집중을 방지할 수 있고 하단으로 갈수록 좁아지는 형상을 하고 있어 응력의 분산에 유리하도록 설계되었다.

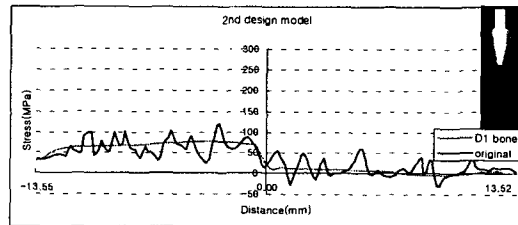


Fig. 6 Stress along the implant surface of the 2<sup>nd</sup> model

해석 결과를 나타내고 있는 Fig. 6는 상단 머리부의 응력집중의 감소 외에도 전체적으로 더 낮은 수준의 응력이 비교적 고르게 분포하고 있음을 보여주고 있다.

### 3.4.3 차원(3D) 모델의 해석 결과

3 차원 모델에서도 D1 골 모델을 구성하여 2D 해석의 결과에 대한 검증을 수행하였다. Fig. 7에 도시한 2차 개선모델의 3차원 해석 결과는 2차원의 해석결과와 유사한 고른 응력분포를 보이고 있다.

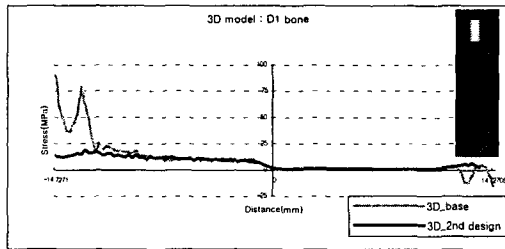


Fig. Stress along the implant surface of 3D model

## 4. 결론

임플란트와 골(骨) 계면에서의 과도한 응력이 집중되면 골흡수 현상 등 여러가지 문제점들이 발생하게 되므로, 시술의 성공률을 높이기 위해서 발생하는 응력을 효과적으로 분산하는 치과용 임플란트 매식체의 설계를 위한 해석을 수행하였다.

본 연구에서는 브리네막 임플란트 모델을 기본으로 구성된 기본모델에 대한 설계인자해석을 수행하여 개선된 형태의 임플란트 매식체 모델을 제시하였다.

1. 기존 모델의 해석 결과, 상단과 끝단의 응력 집중이 심하였고, 단면적이 변하는 지점에서 집중되는 응력을 관찰할 수 있었다.
2. 치아의 형태와 유사한 유선형으로 설계된 모델은 응력분산에 유리하다.
3. 2D 해석의 경우, 골(骨)을 Carl Misch의 분류에 의한 D1 골로 가정하여도 전체적인 경향은 크게 벗어나지 않았다.

이러한 결과들을 반영된 새로운 형태의 치아 임플란트 매식체 모델을 제시하였으며, 이는 유한요소해석 결과, 비교의 대상인 기존의 모델보다 우수한 성능을 보였다.

본 논문에서 제시한 개선모델은 초기의 기본모델과 비교하였을 때, 기능상에서 만족할 만한 성능을 가진 것이지만, 여러 가지 가정이 포함된 2차원 해석의 결과로 나온 것이므로, 보다 정확한 검증을 위하여 3차원 모델의 구성과 해석이 수반되어야 한다. 본 연구에서는 나사산을 고려하지 않은 전체적인 형상에 대한 1차적 연구를 수행하였으며, 2단계 연구로 수행중인 나사산의 형상에 관한 연구결과는 향후 발표할 예정이다.

## 후 기

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임.(과제번호: 01-PJ1-PG4-01PT03-0023)

## 참고문헌

1. 권용원, 조인호, “치과 임플란트 고정체의 형태 및 직경의 차이에 따른 응력 분산의 삼차원 유한요소 분석적 연구”, KAID, Vol. 13, No. 1, 1993
2. Moon, H.J., Lee, J.H., Choi, K., Choi, J.B., Koh, C.S., “Homogenized Stress Analysis in A Dental Implant System”, Journal of Medical Engineering & Technology, Vol. 21, No. 6, pp. 233-240, November/December 1997.
3. Kohn, D.H., Ko, C.C., Hollister, S.J., “Microstructural Model of Dental Implant/Tissue Interfaces: Global and Local Stresses”, Advances in Bioengineering, BED-Vol. 28, 1994
4. Ulrich, D., van Rietbergen, B., Weinans, H., Ruegsegger, P., “Finite Element Analysis of Trabecular Bone Structure : A Comparison of Image-Based meshing techniques”, Journal of Biomechanics, 31, pp. 1187-1192, 1998.
5. Wadamoto, M., Akagawa, Y., Sato, Y., Kubo, T., “The Three-Dimensional Bone Interface of An Osseointegrated Implant. I: A Morphometric Evaluation in Initial Healing”, The Journal of Prosthetic Dentistry, Vol. 76, No. 2, August, 1996.
6. Sahin, S., Akagawa, Y., Wadamoto, M., Sato, Y., “The Three-Dimensional Bone Interface of An Osseointegrated Implant. II : A Morphometric Evaluation after three months of loading”, The Journal of Prosthetic Dentistry, Vol. 76, No. 2, August, 1996.
7. Carl E. Misch, “최신 임플란트 치과학 제 2판”, 나래출판사, 2000.
8. 현영근, 권종진, “삼차원 유한요소 분석에 의한 골내 임플란트의 구조에 관한 연구”, 대한치과보철학회지, Vol. 35, No. 1, pp 181-205, 1997.
9. Rees, J.S., “The Effect of Variation in Occlusal Loading on The Development of Abfraction Lesions : A Finite Element Study”, Journal of Oral Rehabilitation, Vol. 29, pp. 188-193, 2002.