

저작력과 골질에 따른 치과용 임프란트의 생체 역학적 특성

손준희*(고려대학교 대학원 기계공학과), 채수원(고려대학교 기계공학과), 권종진(고려대학교 치과 학교실), 한석환(고려대학교 임상의학 대학원)

Biomechanical Property of Dental Implants due to Chewing Force and Bone Properties.

J. H. Son*, S. W. Chae(Mech. Eng. Dept., KU), J. J. Kwon, S. H. Han(Denti. Dept., KU)

ABSTRACT

The micromovements and stress distributions of cancellous bone in dental implant system play important roles in evaluating chewing function of an implant system. The micromovements and stress distributions in dental implant system generally depend on the chewing force and bone properties. Three dimensional nonlinear finite element analysis has been employed to investigate this issue quantitatively. Chewing forces and bone properties are classified into several groups and three types of implants involving one classical cylindrical type and two expandable implants are investigated in this paper.

Key Words : Biomechanics(생체역학), Expandable implant(팽창형 임프란트), Lower jawbone(하악골), Finite element analysis(유한요소해석)

1. 서론

치과용 임프란트의 시술은 치아결손에 따른 저작기능과 심미적 문제의 회복을 위해 널리 사용되는 방법이다. 임프란트는 치아 결손 부위의 하악골(lower jawbone)에 식립되어 치아 원래의 기능을 대신하게 된다. 임프란트의 형태중 원통형 임프란트는 시술후 3~6 개월 정도의 치유기간이 필요하지만 근단부 팽창형 임프란트는 근단부를 내부의 확장나사를 이용하여 4 각의 다리로 팽창시킬 수 있어 즉시기능(immediate loading)을 가능하게 할 수 있는 모델이다. 또한 임프란트 형태뿐만 아니라 골의 구조도 양호한 치료결과를 얻기 위한 중요 요소 중 하나이다.

본 연구에서는 임프란트 시술 후 환자의 해면골 특성과 저작력의 방향에 따른 해면골에서의 주요 변위와 응력을 분석함으로써 임프란트의 고정에 중요한 역학적 특성을 규정하고자 하였다. 저작력의 방향은 수직(axial), 경사 45° (oblique) 그리고 수평(horizontal)방향으로 분류하였고, 골질은 해면골의

개인별 특성을 물리적으로 비교하여 네 종류로 나누고, 그 중 임프란트의 시술이 힘들다고 판단되는 한 종류를 제외한 세 종류 골질에 대해 원통형 임프란트, 근단부 팽창형 임프란트 및 개선형태의 총 세 종류의 임프란트를 해석 대상으로하여 연구를 수행하였다.^{1,2} 임프란트의 기능시 가해지는 하중에 대한 간접적인 응력 측정 방법은 여러가지가 있으나 응력해석에 널리 사용되며 구체적이고 다양한 역학적자료를 제공할 수 있는 유한요소법을 이용하였다.

2. 해석 모델링

임프란트와 뼈는 I-DEAS Master Series 를 사용하여 3 차원 모델링을 하고 해석을 위한 유한요소모델은 4 면체 10 절점 element 를 사용하였다. 해석 및 계산은 ABAQUS⁷를 이용하였다.

2.1 하악골의 모델링

하악골의 형상은 부드러운 곡선으로 이루어져

있고 매우 복잡한 구조이므로 정확한 형상을 표현하는 것은 쉽지 않고 유한요소모델을 생성하기도 어렵기 때문에 기존의 연구들과 해부학 자료를 참고하여 형상을 단순화하여 해석에 적용하였다.

먼저 구치 부위에 해당하는 영역을 12mm 정도 선택하였다. 하악골은 치밀골(cortical bone)과 해면골(cancellous bone)로 구성된다(Fig.1). 모델의 형태상 대칭구조(symmetry)로 가정하고 반쪽 부분(half model)만 생성하였다.^{2,3} 각 임플란트마다 조금씩 형태가 차이가 있어 치밀골은 844~892 개, 해면골은 3834~4535 개의 사면체 요소로 구성되어 있다(Fig.2).

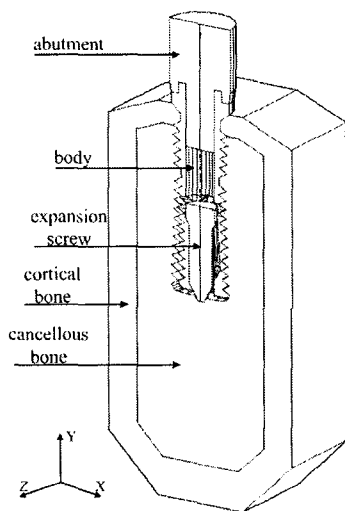


Fig. 1 Bone and Implant model

2.2 임플란트의 모델링

근단부 팽창형 임플란트의 실제 시술에서 팽창의 크기는 여러가지 요인에 의하여 많은 차이를 보이고 크기의 범위도 예측하기 힘들다. 또한 임플란트의 형태에 따라 하악골에 식립된 특징을 나타내고 저작력의 방향과 골질에 따른 응력의 분포와 크기를 비교하는 연구이므로 임플란트가 하악골에 식립되어 최대 팽창된 상태를 모델링 하였다. Fig.3는 3 종류의 임플란트의 CAD 및 FE 모델이다. 실제 하중 조건을 적용하기 위해 상부에 연결되는 어버트먼트(abutment)를 적용하였다. 세종류 모두 4mm의 어버트먼트를 제외한 총길이는 13.3mm 외부직경은 3.75mm 이다.

Type1 은 원통형(cylindrical) 임플란트의 기본 형태이며, 요소의 개수는 7479 이다. type2 는 원통형과 비슷한 형태이나 근단부 팽창형으로 팽창 크기는 아주 작은 형태이다. 요소수는 6630 개이다. Type3 는 type2 의 개선형태이며 아래부분이 얇아지는 형태로 팽창 크기가 향상되었으며 시술이 쉬워진 형태로 6050 개의 요소로 이루어졌다. 확장나사

는 이미 팽창된 형태이므로 최대로 단순화하여 모델링하였다. Type2 와 type3 은 확장나사가 아래로 하강하여 팽창되는 방식이다.

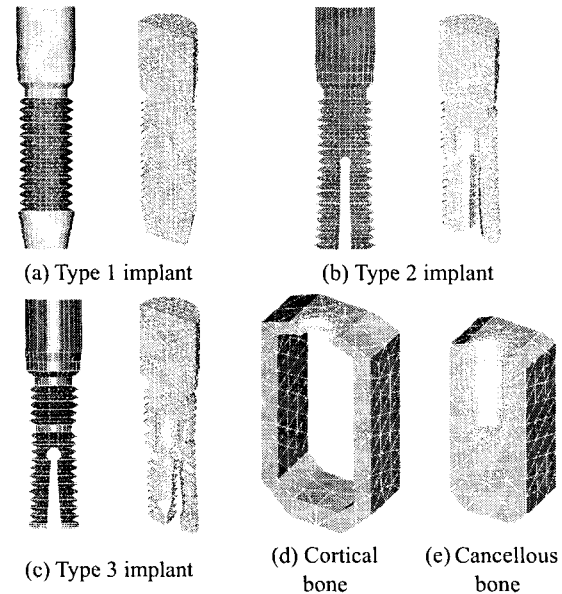


Fig. 2 CAD and FE models

2.3 임플란트와 뼈의 물성치

임플란트의 재료는 주로 타이타늄을 사용하고 있고, 그 중 많이 사용되고 있는 cp titanium grade 2 를 선정하였다(Table 1).^{2,4} 실제 뼈의 물리적인 특성은 사람마다 차이가 있고 매우 복잡하다. 본 연구에서는 뼈의 물리적인 특성을 결정하는데 몇가지 가정을 하였다.

첫째로 치밀골과 해면골은 등방성(isotropic)이고 선형(linear)거동을 한다.

둘째로 임플란트의 형상과 관련이 있는 해면골의 탄성계수(Young's modulus)를 네가지로 분류하여 그 중 임플란트 시술이 힘든 type4 를 제외한 세가지를 Table 1 과 같이 Cb1, Cb2, Cb3 로 가정하였다.^{2,5}

Table 1 Material properties

	Young's modulus (MPa)	Poisson's ratio
Titanium	140	0.3
Cancellous bone	Cb1	2.50
	Cb2	1.50
	Cb3	0.50
Cortical bone	14	0.35

2.4 하중 및 경계조건

일반적으로 사람이 저작을 할 때 가해지는 하중은 복잡적이지만 본 연구에서는 하중을 세종류로 분류하여 적용하였다.

- Load case 1 : 축(axial)방향 100N 의 하중
- Load case 2 : 45° (oblique)방향 100N 의 하중
- Load case 3 : 수평(horizontal)방향 100N 의 하중

Fig.3(a)의 회색 부분의 대칭면(symmetry plane)은 Z 축 방향으로 구속, Fig.3(b)의 하악골의 기저면(base plane)은 Y 축 방향으로 구속하고, 기저면의 중앙선(center line)은 고정하였다.

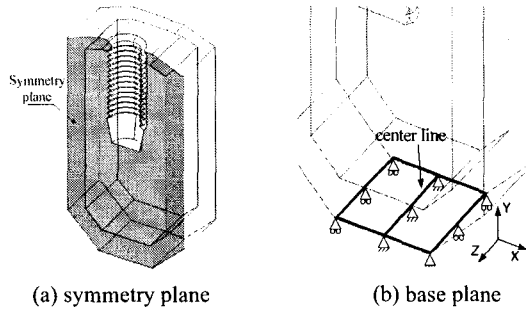


Fig. 3 Boundary condition (Type1)

3. 유한요소해석

유한요소해석 후 변위와 응력분포 비교를 용이하게 하기 위해 임프란트의 8 개의 포인트(Fig.4)를 선정하여 비교하였다. 여기서 point2~3 그리고 point6~7 은 임프란트 형태에 따라 조금씩 차이가 있다.

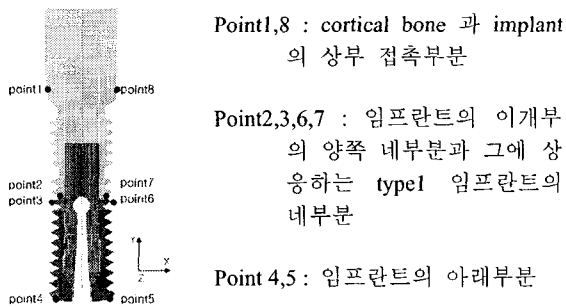


Fig. 4 Measuring points of implant (Type3)

3.1 변위 해석 결과

Table 2 는 point3 에서의 X 방향 변위를 각 골질에 따라 나타낸 것으로 수직방향의 하중에 대해서는 변위가 작고 특이점을 발견하기 힘들다. 경사방향과 수평방향에서는 임프란트 형상에 따라 뚜렷한 경향이 나타난다. Type1 과 type2 에 비해 type3 가 변위에서 좋은 결과를 보이고 있다.

변위값을 확인해보면 type3 는 수평방향의 하중일 때 골질 Cb3 를 제외하면 0.1mm 가 넘지않아 좋은 결과를 보이고 있다. 그에 반해 type1 은 골질 Cb2 일때도 하중에 따라 변위가 0.1mm 를 넘는 값이 나타난다. Type2 는 type3 보다는 변위가 크지만

type1 에 비해 좋은 결과를 보이고 있다.

Fig.5 은 point 3 에서의 X 방향 변위를 그래프로 나타낸 것으로 type1 이 type2 보다는 변위가 작게 나타나는 것을 알수 있고, type3 의 변위가 가장 적은 것으로 나타난다.

Table 2 X-displacement for each implant (point3)
단위:(mm)

Load type	Type of implant	Cb1	Cb2	Cb3
Load case 1	Type1	6.36E-05	9.23E-05	1.57E-04
	Type2	9.93E-04	1.30E-03	2.16E-03
	Type3	-1.80E-03	-2.04E-03	-2.49E-03
Load case 2	Type1	6.05E-02	7.35E-02	1.15E-01
	Type2	5.16E-02	6.23E-02	1.01E-01
	Type3	4.80E-02	5.91E-02	9.75E-02
Load case 3	Type1	8.06E-02	1.04E-01	1.63E-01
	Type2	7.37E-02	8.90E-02	1.44E-01
	Type3	6.89E-02	8.48E-02	1.40E-01

또한 Table 2 를 보면 임프란트 형태에 따른 변위의 차이보다 해면골의 질에 따른 차이가 크게 나타남을 알수 있다. Fig.5 에서도 나타나듯이 각 하중에 대한 변위는 임프란트의 형태에 비해 골질이 중요한 요인이고 모든 골질과 임프란트의 형태에 대하여 수평방향의 하중은 큰 변위를 발생시킨다.

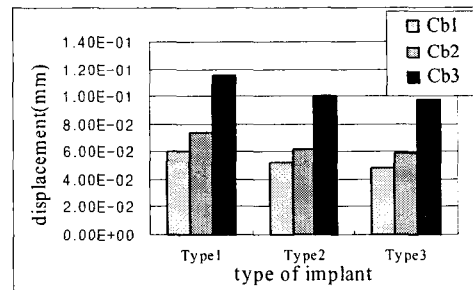
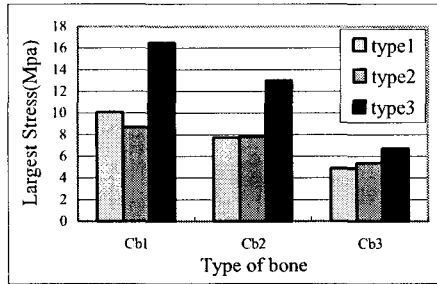


Fig. 5 Histograms of the X-displacement for each implant under horizontal load (point 3)

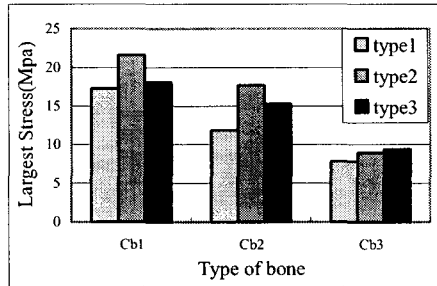
3.2 응력 해석 결과

근단부 임프란트는 치밀골에서 대부분의 지지력을 받는 원통형 임프란트를 개선하여 해면골에서도 좀더 많은 지지력을 얻어 즉시기능을 가능하게 하는 것이 목적이므로 해면골에서의 응력값을 비교하는 것이 중요하다고 사려된다. 각 임프란트에 수평방향(Load case 3)의 하중을 골질 Cb2 에서 적용했을 때 해면골에 발생하는 Von-Mises 응력 분포에서 최대응력값을 살펴보면 type1 이 15.1Mpa 로 가장 작고 type2 는 25.98Mpa, type3 는 30.19Mpa 로 가장 크게 나타났다. 전체적인 응력 분포가 type3 에서 가장 크게 나타나 역학적으로 해면골에서 좀더 많은 지지력을 얻을수 있어 보다 안정적인 고정이 가능하다.

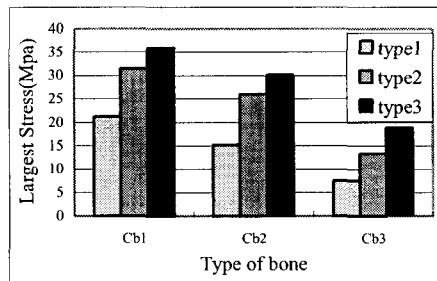
Fig.6 은 골질에 따른 3 가지 임플란트 모델에 대해 해면골에 발생하는 최대 Von-Mises 응력값을 히스토그램으로 나타낸 것이다. 대부분의 경우에서 type3 이 가장 좋은 결과를 보이며 type2 는 type1 에 비해서 좋은 결과가 나타났다.



(a) Load case 1



(b) Load case 2



(c) Load case 3

Fig. 6 Histograms of the Von-Mises stress for each cancellous bone under same load

골질에 따른 응력이 임플란트의 형태보다 많은 영향을 미치고 있는데 Cb3 에 비해 Cb1 이 아주 좋은 결과가 나타나며, 골질이 동일 하다면 type3 가 안정적인 결과를 나타낸다.

4. 결론

원통형 임플란트와 근단부 팽창형 임플란트의 저작력과 해면골(cancellous bone)의 물성에 따른 해석 수행후 다음의 결론을 얻었다.

1. 각 형태의 임플란트에 대한 변위는 원통형 임플란트에 비해 근단부 팽창형 임플란트가 많이

감소했으며 type2 모델에 비해 type3 모델이 좋은 결과를 나타냈다.

2. 골질에 따른 변위는 Cb1 이 Cb2 와 Cb3 에 비해 좋은 결과를 보이며 수직방향과 경사방향의 하중보다 수평방향의 하중은 큰 변위를 유발하므로 골질과 임플란트의 형태에 관계없이 주의해야 한다.

3. 해면골에 발생하는 응력의 크기는 type1 모델에 비해 type2 와 type3 모델이 크게 나타나 임플란트를 좀더 강하게 지지하여 안정적인 결과를 보였다.

원통형 임플란트에 비해 근단부 팽창형 임플란트가 좋은 결과를 보였으며, type2 모델의 개선 모델인 type3 모델이 변위와 응력에서 나온 결과가 나타났다. 이 모델은 type2 모델의 임플란트 수술시 어려움을 개선하고 성능도 향상되는 만족할만한 결과를 보인다.

참고문헌

1. Van Zyl, P. P., Grundling, N. L., Jooste, C. H., Terblanche, E., "Three-Dimensional Finite Element Model of a Human Mandibula Incorporating Six Osseointegrated Implants for Stress Analysis of Mandibula Cantilever Prostheses," *Int. J. Oral Maxillofac Implants*, Vol. 11, pp. 351 - 359, 1995.
2. Laurent, P., Guy, H., Michel, B. Daniel, C. "Two Dental Implants Designed for Immediate Loading: A Finite Element Analysis," *Oral Maxillofac Implants*, Vol. 17, pp. 353 - 362, 2002.
3. 현영근, 권종진, "삼차원 유한요소 해석에 의한 골내 임플란트의 구조에 관한 연구," 대한치과보철학회지, 제 35 권, pp. 181 - 188, 1997.
4. Merouch, K., Watanabe, F., Mentag, P., "Finite Element Analysis of Partially Edentulous Mandible Rehabilitated with an Osteointegrated Cylindrical Implant," *J. Oral Implantology*, Vol. 2, pp.215 - 238, 1987.
5. Farah, JW., Craig, RG, Eden, GT., Grossman, DG., "Two-Dimensional photoelastic simulation of a Castable Ceramic Fixed Partial Denture, " *J. Prosthet Dent*, Vol. 59, pp.8-12, 1988.
6. Siegele, D., Soltesz, U., "Numerical Investigations of the Jaw Bone," *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, Vol. 4, pp. 333~340, 1989.
7. ABAQUS Standard User's Manual for Version 6.3, Hibbitt, Karlsson & Sorensen Inc.