

맞춤형 지대주 각도에 따른 지지골의 유한요소 분석

남민경, 김남식
 마산대학교 치기공과

Finite Element Analysis of Supporting Bone according to Custom Abutment Angles

Min-Gyeong Nam, Nam-Sic Kim

Catholic University of Pusan, Department of Dental Laboratory Technology, Masan University

[Abstract]

Purpose: The purpose of this study is a finite element analysis of supporting bone according to custom abutment angle.

Methods: Implant fixture was selected with a diameter of 4 mm and the length of 13 mm. The fixture and abutment was designed by a combination of the abutment screw clamping force to produce a custom abutment model of 0°, 15°, 25° and 35°. The loading condition of 176 N was applied to the lingual surface of the crown, near to the incisor edge, and horizontal load. An oblique load of 90° was applied long axis of the implant fixture analyze the stress of supporting bone.

Results: The result of mechanical analysis was observed that the supporting bone stress analysis of the horizontal load, the von Mises stress values (MPa) are given in the order of TH00 (432.6) > TH25 (418.0) > TH15 (417.4) > TH35 (415.8) , the oblique load, the von Mises stress values are given in the order of TO00 (459.3) > TO15 (399.6) > TO25 (374.8) > TO35 (343.4).

Conclusion: The 35° abutment over the current clinical tolerance limits will be available for clinical application.

○**Key words :** Custom abutments, finite element method, von Mises stress

교신저자	성명	김 남 식	전화	055-230-1438	E-mail	nskim@masan.ac.kr	
	주소	경남 창원시 마산회원구 합마대로 2640 마산대학교 치기공과					
접수일	2015. 8. 24		수정일	2015. 9. 10		확정일	2015. 9. 18

I. 서론

치과용 임플란트는 손실된 치아 수복을 위해 흔히 사용되는 술식이다. 치과 임플란트의 주된 연구는 골융합(osseointegration)의 비율과 양을 개선하는데 초점이 맞추어져 있다. 하지만 임플란트의 실패는 성공적인 골융합(osseointegration) 이후에도 종종 일어난다. 임플란트 또는 임플란트와 지대주 계면의 파절이 보고되고 있으며, 이러한 실패는 지대주나사가 느슨해지거나 파손 또는 닳아서 생기는 것 등이다(Ahmad et al, 2014).

임플란트 보철을 위한 여러 가지 보철적인 방법 중 지대주나사에 의한 유지(retention) 또는 시멘트로 유지력을 얻는 것도 포함한다. 임상적으로 지대주나사에 의해 유지를 얻는 임플란트는 오랜 기간 동안 성공률이 높다. 하지만 이상적인 각도를 가진 임플란트로 제한되며(Burak et al., 2015) 성공적인 치과 임플란트는 지지되는 뼈의 양과 질에도 의존한다(Ahmad et al, 2014).

식립된 고정체(fixture)의 위치에 따라 심미적인 면, 교합관계 등을 고려하여 적절한 맞춤형 지대주가 제작된다. 치과 임플란트 보철시 지대주(abutment) 각도가 15°, 17°, 25° 등으로 제조사별로 규격화되어진 기성 제품이 이용되지만 기성 지대주 만으로 보철학적인 요구사항을 충족시킬 수 없으며 현재 지대주의 허용 범위는 30°로 제한되어 있다(MG Nam, 2015).

골융합된 임플란트에 지지를 받는 고정성 보철물을 계획할 때 생체역학적인 고려사항들이 중심적인 역할을 하여야 한다. 보철물에 적용되는 기능적인 하중들은 임플란트에서 주위 뼈들로 전달된다. 뼈는 물리적인 한계 범위 내에서 응력과 변형을 견딜 수 있고, 이는 장력과 압축력에 따라 다르다. 하지만 과도한 하중이 주어졌을 때는 퇴축과 같은 변형이 일어나고 마침내 골융합의 유실로 인해 느슨해지기 시작한다(Brosh et al, 1998).

생역학적인 모델을 실험하면서 임상적인 상황과 관련하여 정보를 추가하는 것은 아주 중요하다. 광탄성, 유한요소 모델은 임플란트에 외부 하중과 뼈와의 관계를 증명하는데 많이 사용되었다. 유한요소 모델에 의해 시스템 형상과 생체조직의 역학적인 성질은 분석되거나 정의될 수 있다. 원통형의 임플란트 유한요소 모델이 연구에서 전

단·압축응력이 가해질 때 임플란트 위치에 따라 뼈 주위의 응력이 달라지는 것을 보여주었다(Brosh et al, 1998; saab et al, 2007; Wu et al, 2010). 유한요소 분석법은 생체내의 역학적인 상황을 분석하는 기법으로 사용되고 있다(Lee, 2004).

지난 수년간 많은 이러한 복합적인 요인들을 극복하기 위하여 다양한 해결책과 실험이 있어 왔다(Christopher, 1996).

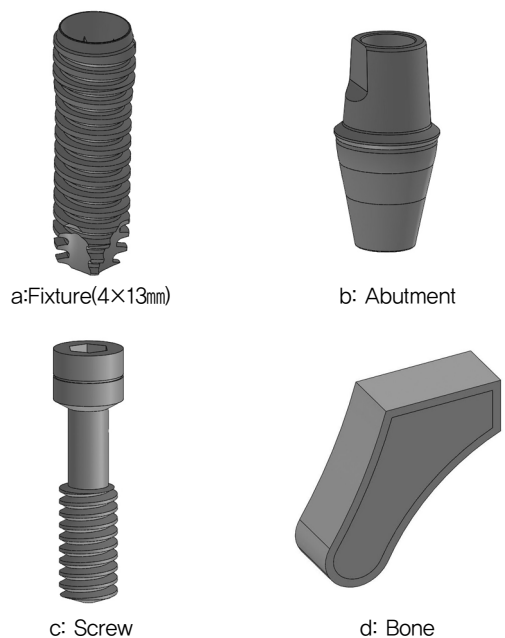
본 연구에서는 임상에서 요구되는 지대주를 30°가 넘도록 모델링하여 실험군으로 설정하고 지지골과의 역학관계를 유한요소로 분석하였다. 맞춤형 지대주를 사용함에 있어 생체역학적인 안정성을 확인하고 기초적인 자료로 활용하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 실험재료

1) 3차원 실험 모델 설계

지대주 각도에 따른 지지골의 응력 분석을 위해 고정체(fixture), 지대주(abutment), 지대주나사(screw), 지지골(bone)을 모델링 하고 고정체와 지대주를 결합하지 않고 지대주나사에 20Ncm의 결합력으로 체결하였다(Fig. 1).



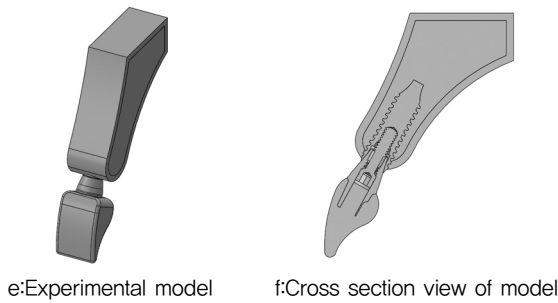


Fig. 1. Parts of the implant model and bone

2) 지대주 각도에 따른 역학 분석

지대주 각도를 0°, 15°, 25°, 35°로 하여 설계한 모델 절단부에 176 N의 수평, 경사 하중을 가하여 지지골의 응력 분포를 3차원 유한요소 분석하였다. 구속조건(boundary condition)은 상악 지지골 양단 모서리의 절단부에 U_x, U_y, U_z 방향의 자유도(degree of freedom)를 모두 구속시켜 상악 치조골의 내부 경계선의 움직임이 없도록 하였다. 모델명 변수표는 Table 1에 제시하였으며 역학 분석을 위하여 치과용 임플란트에 널리 통용되는 재료인 티타늄을 소재로 하여 물성치를 탄성계수(Young's modulus)는 110GPa, 포아송비(Poisson's ratio)는 0.34로 하였다. 피질골(Cortical bone)의 탄성계수(Young's modulus)는 13.7 GPa, 해면골(cancellous bone)의 탄성계수(Young's modulus)는 1.37GPa, 포아송비(Poisson's ratio)는 모두 0.30으로 설정하였다. 모델 구축과 하중 조건에 대한 분석은 Solidwork(Premium 2013, Dassault System Co., France) 유한요소 분석 프로그램을 이용하였다.

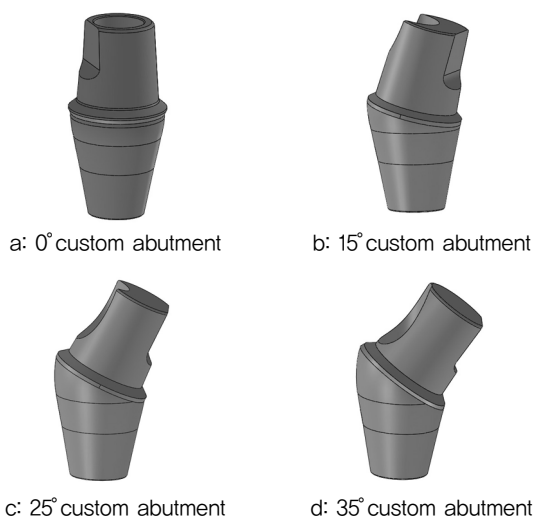


Fig. 2. Custom abutments according to angle

Table 1. Characteristics of each experimental model code

Angles of abutment	Direction of loads	
	Horizontal	Oblique
0°	TH00	TO00
15°	TH15	TO15
25°	TH25	TO25
35°	TH35	TO35

III. 결 과

1. 수평하중의 응력 분석

지대주 대부분의 응력은 치조정 부위의 피질골(cortical bone)과 임플란트 고정체(fixture)의 계면에서 나타났다. 지대주의 수평하중에 따른 지지골의 von Mises 응력 값이 TH00은 432.6 MPa, TH15는 417.4 MPa, TH25는 418.0 MPa, TH35는 415.8 MPa로 나타났다(Fig. 3). 지대주의 수평하중의 응력 분석에서는 TH00 > TH25 > TH15 > TH35 순으로 나타났으며, TH00의 von Mises 응력 값이 432.6 MPa로 가장 높게 나타났으며, TH35의 von Mises 응력 값이 415.8 MPa로 가장 낮게 나타났다. TH15의 von Mises 응력 값이 TH00의 von Mises 응력 값보다 3.5% 감소하였으며, TH25의 von Mises 응력 값이 TH00의

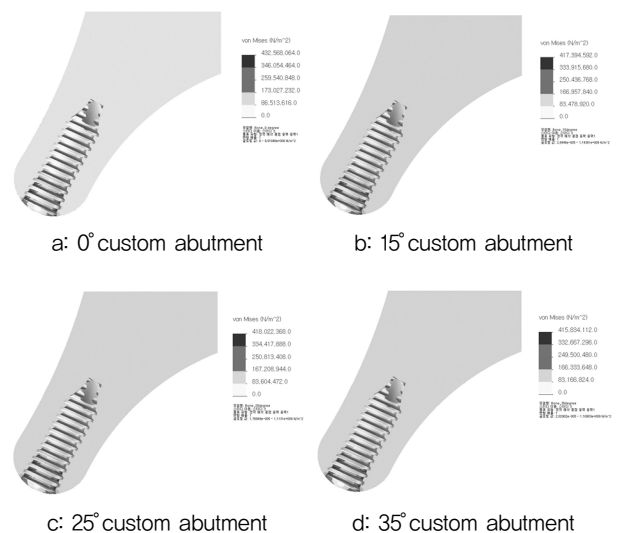


Fig. 3. Result of the horizontal loading condition according to the angle of titanium abutment

응력 값보다 3.4% 감소하였고, TH35의 von Mises 응력 값이 TH00의 von Mises 응력 값보다 3.9% 감소하였다.

2. 경사하중의 응력 분석

지대주 대부분의 응력은 치조정 부위의 피질골과 임플란트 고정체와의 계면에서 나타났다. 티타늄 지대주의 지지골 분석의 경사하중에서 von Mises 응력 값이 TO00은 459.3 MPa, TO15는 399.6 MPa, TO25는 374.8 MPa, TO35는 343.4 MPa로 나타났다 (Fig. 4).

티타늄 지대주의 경사하중의 응력 분석에서 TO00 > TO15 > TO25 > TO35 순으로 von Mises 응력 값이 나타났으며, TO00 von Mises 응력 값은 459.3 MPa로 가장 높게 나타났으며, TO35의 von Mises 응력 값은 343.4 MPa로 가장 낮게 나타났다. TO15의 von Mises 응력 값이 TO00의 von Mises 응력 값보다 13.0% 감소하였으며, TO25의 von Mises 응력 값이 TO00 von Mises 응력 값보다 18.4% 감소하였고, TO35의 von Mises 응력 값이 TO00의 von Mises 응력 값보다 25.2% 감소하였다.

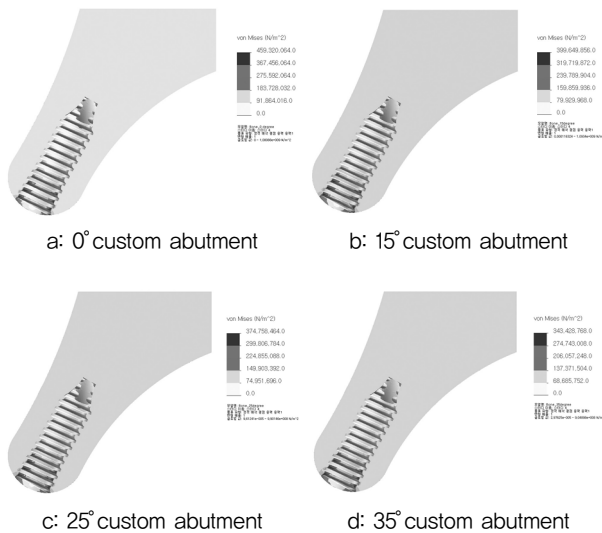


Fig. 4. Result of the oblique loading condition according to the angle of titanium abutment

Table 2. Stress analysis of supporting bone according to the abutment angle and load conditions (unit: MPa)

Angles of abutment	Direction of loads	
	Horizontal	Oblique
0°	432.6 (100%)	459.3 (100%)
15°	417.4 (96.5%)	399.6 (87.0%)
25°	418.0 (96.6%)	374.8 (81.6%)
35°	415.8 (96.1%)	343.4 (74.8%)

IV. 고찰

지대주(Abutment)의 각도에 따른 지지골(bone)의 응력 분석을 위해 유한요소법을 이용해 분석하였다. 유한요소 모델링을 통해 구현된 본 연구가 구강 내의 모든 상황을 대별할 수 없다. 하지만 구강 내에서 실험이 불가능한 상황이기에 유한요소 모델 제작과 응력 분석을 Solidwork으로 하였으며 피질골(Cortical bone)과 해면골(cancellous bone)등에서 최대등가응력(maximum Von mises stress)을 관찰하였다. 최대 교합력으로 176N으로 수평하중과 경사하중을 실험하였다. 응력 분포를 시각적으로 표현하기 위하여 색의 변화에 의해 나타나는 등고선으로 표현하였으며 어두운 검은색에서 흰색으로 갈수록 응력은 낮아진다.

FEA(Finite Element Analysis)로 직선형과 일정 각도를 준 지대주를 비교하는 연구에서 엇갈린 결론들이 있다. 임플란트 지대주가 25° 증가하여 18%의 응력이 증가함을 보고한 바도 있으며(Kao et al., 2008), 직선형 지대주보다 20°로 각진 지대주에서 높은 응력이 나타난다고 보고 했다(Lin et al, 2008).

위의 결론과 상반된 연구도 있었다. 각진 4개의 단순화한 모델에 100N의 하중 조건으로 실험하였을 때 임플란트가 이상적인 위치에 있지 않았을 시 상당수가 일정 각도를 준 지대주가 응력이 감소하는 것을 확인하였으며 지

지골과 지대주 사이의 응력이 감소하였다고 발표하였다 (Tian et al, 2012). 직선형 지대주의 최대 응력 값이 각도를 가진 지대주보다 15% 높은 것으로 보고하기도 했다 (Saab et al, 2007).

티타늄을 소재로 한 본 연구에서 0° 지대주에서 가장 높은 응력 값이 나타났으며 35° 지대주에서 가장 낮은 응력 값이 나타났다. 이는 유한요소 선형 탄성 특성에는 다소 일치하지 않는 결과를 나타냈으나 그 결과 값이 차이가 적게 나타나 모델 간의 응력 값은 큰 차이가 없는 것으로 판단되며 이러한 현상은 유한 개의 요소로 나누는 양과 크기에 따라 그 결과 값이 다르게 나올 수 있는 것으로 추측된다(Nam, 2015).

하중 조건에 따른 수평하중과 경사하중에서는 수평하중이 0° 지대주를 제외하고 경사하중에 비하여 높은 응력 값을 나타냈으며 본 연구의 결과를 토대로 본다면 현재 임상 허용 한계치가 30°이지만 35° 지대주도 적용이 가능할 것으로 사료된다.

V. 결 론

맞춤형 지대주의 각도를 0°, 15°, 25°, 35°로 하여 설계한 모델 절단부에 176 N의 수평, 경사 하중을 가하여 지지골의 von mises 응력분포를 3차원 유한요소 분석하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 수평하중 조건에서 TH35 (415.8)가 가장 낮은 응력을 나타냈다.
2. 경사하중 조건에서 TO35 (343.4)으로 가장 낮게 나타났다.
3. 수평하중 조건에서 TH35는 TH00보다 약 4%, 경사하중 조건에서 약 25% 응력이 낮게 나타났다.

REFERENCES

- Ahmad Y, Alireza M, Edwin AM. Implant-abutment interface: A comparison of the ultimate force to failure among narrow-diameter implant systems. *The journal of prosthetic dentistry*, 112(5), 136-142, 2014.
- Burak Y, Louai G., Jeremy DS, Nancy LC, Edwin A M. Load to failure of different titanium abutments for an internal hexagon implant. *The journal of prosthetic dentistry*, In Press, Corrected Proof , Available online, 2015.
- Christopher B. Marchack. A custom titanium abutment for the anterior single-tooth implant. *The journal of Prosthetic Dentistry*, 76(3), 288-291, 1996.
- Kao HC, Gung YW, Chung TF, Hsu ML. The influence of abutment angulation on micromotion level for immediately loaded dental implants: a 3-D finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*, 23 (4), 623-630, 2008.
- Kebin T, Jiang C, Lilin H, Jin Y, Wenxiu H, Dong W. Angled abutments result in increased or decreased stress on surrounding bone of single-unit dental implants: A finite element analysis. *Medical Engineering & Physics*, 24 (10), 2012.
- Lee MG. A 3-dimensional Finite Element Analysis of Stress Distribution in the Supporting Bone by Diameters of Dental Implant Fixture. *The Journal of Korean academy of dental technology*, 26(1), 69-76, 2004.
- Lin CL, Wang JC, Ramp LC, Liu PR. Biomaterial response of implant systems placed in the maxillary posterior region under various conditions of angulation, bone density and loading. *Int J oral maxillofac implant*, 23(1),

56-64, 2008.

Nam MG. Finite Element Stress Analysis in Supporting Bone and Abutment Screw according to the Custom Abutment Angle and Material. Catholic University of Pusan Graduate School, Thesis, 2015.

Tamar B, Raphael P, David S. The influence of abutment angulation on strains and stresses along the implant/bone interface : Comparison between two experimental techniques. The journal of prosthetic dentistry, 79(3), 328-334, 1998.

Tind W, Wenhe L, Ning D, Chunbo T. Design of a custom angled abutment for dental implants using computer-aided design and nonlinear finite element analysis. Journal of Biomechanics, 46(10), 1941-1946, 2010.

Xavier ES, Jason A, John M, Robert L. Effect of abutment angulation on the strain on the bone around an implant in the anterior maxilla: A finite element study. The journal of prosthetic dentistry, 92(2), 85-92, 2007.