

임플란트 지대주 재질에 따른 지대주나사의 유한요소 응력 분석

김남식, 이명곤, 홍민호

마산대학교 치기공과, 부산가톨릭대학교 치기공학과, 경북대학교병원, 생명의학연구원, A3DI

A Finite element stress analysis of abutment screw according to the implant abutment material

Nam-Sic Kim, Myung-Kon Lee, Min-Ho Hong

Department of Dental Laboratory Technology Masan University, Catholic University of Pusan,
Kyungpook National University Hospital, Biomedical Research Institute, A3DI

[Abstract]

Purpose: The present study was to determine the stress distribution of an abutment screw according to implant abutment material.

Methods: This study was a tightening torque 10 Ncm, 20 Ncm, set to 30 Ncm, and a titanium alloy (Ti-6Al-4V), PEEK (polyetheretherketone), Endoligns (60% Carbon Fiber Reinforced PEEK) material of the custom abutment titanium alloy (Ti-6Al-4V) the stress distribution in the material of the abutment screw will be evaluated by the finite element analysis.

Results: Abutment screw most stress has been concentrated on the interface between the fixture and the abutment was also part of the interface that the threads are started. Depending on the abutment of the abutment screw Material von Mises stress values are shown differently. 10Ncm T10 under the tightening torque of 294.2 MPa, P10 is 562.8 MPa, appeared to E10 is 295.8 MPa, 20Ncm tightening torque under T20 is 581.1 MPa, P20 is 1125 MPa, E20 was shown to 585.1 MPa, 30Ncm tightening torque under T30 is 918.2 MPa, P30 is 1795 MPa, E30 has appeared 925.1 MPa.

Conclusion: If the abutment is used as Endoligns, it was confirmed that the abutment screw exhibits of von Mises stress value is similar to the titanium alloy abutment.

○Key words : PEEK, Abutment screw, FEA

교신저자	성명	김 남 식	전화	055-230-1438	E-mail	nskim@masan.ac.kr	
	주소	경남 창원시 마산회원구 내서읍 함마대로 2640					
접수일	2015. 12. 10		수정일	2016. 3. 17		확정일	2016. 3. 23

I. 서 론

치과용 임플란트는 보다 나은 생활을 영위하기 위해 일반인들의 욕구 충족을 위하여 여러 각도로 연구가 이루어지고 있다. 임플란트의 골융합 뿐만 아니라 구조와 디자인, 재질 등에 관한 연구도 활발히 진행되고 있으며 그에 따른 발전으로 인해 그 효용성이 입증되고 있다(Ahmad et al., 2014).

고정체 (fixture), 지대주 (abutment), 상부보철물, 지대주나사 (abutment screw) 등으로 구성되는 임플란트 복합체는 결합되는 조건과 방식에 따라 교합압과 같은 외력이 가해졌을 때 구조물의 견고성이 달라진다 (wang et al, 2009).

임플란트의 재료로써 티타늄 등과 같은 금속성 소재들이 사용되어 지고 있으며 지대주도 마찬가지이다. 치과용 CAD/CAM 기술의 발전과 보급으로 다양한 재질로 지대주를 사용함으로써 보다 성공적인 임플란트 시술이 가능하게 되었고, 이와 같은 임플란트 시장의 동향은 지대주 소재의 다양성 및 형태 변화로 이어지고 있다. 고정체 위에 지대주로써 사용되는 기성 지대주는 구강 내에서 심미적, 역학적 요구를 모두 수용할 수 없어 맞춤형 지대주의 제작이 요구된다. 지대주 재질로써 금속성 소재들이 가지는 가공의 어려움, 깊은회색 빛을 냄으로써 치아 색과의 차이점 등 단점을 보완하기 위한 노력이 경주되고 있으며 최근 금속성 재료를 대체할 재료로써 폴리에테르에테르 케톤(polyetheretherketone, PEEK) 소재가 소개되고 있다. PEEK는 1998년 4월에 처음 상업적으로 장기 이식을 위한 생체 재료로 제공되었던 고성능 열가소성 중합체이다 (Kurtz & Devine, 2007). PEEK는 알갱이나 분말의 형태로 공급되어 사출성형이나 압출성형이 가능하여 가공이 쉬어지며 치아색과도 유사한 장점이 있다. 요즘은 정형외과와 외상학 (Corvelli et al., 1997; Kelsey et al., 1997) 분야에서 금속성 임플란트 재료를 대체하기 위한 생체물질로 잘 알려져 있으며 (Liao, 1994), 생체 실험 전

단계로서 생역학적인 거동에 대한 구조물의 평가로써 유한요소 분석이 널리 이용되고 있다.

PEEK는 열가소성 고분자 물질로 유리나 탄소 섬유 등을 첨가하여 물성을 변화시킬 수 있다. PEEK 소재 관련 선행 연구에서는 30% 탄소 섬유가 강화된 PEEK 고정체와 티타늄 고정체에 전달되는 하중 응력 분포를 평가하는 연구가 이루어 졌으며, 60%의 탄소 섬유로 보강된 소재 (Endoligns)가 소개되기도 했지만(Schwitalla et al, 2015), 치과용으로 PEEK 관련 연구는 아직 미미한 상태이다.

본 연구는 조임 토크 (tightening torque)를 10 Ncm, 20 Ncm, 30 Ncm로 설정하고 티타늄 합금 (Ti-6Al-4V), PEEK (polyetheretherketone), Endoligns (60% Carbon Fiber Reinforced PEEK) 재질의 맞춤형 지대주에 따른 지대주나사의 응력 분포를 유한요소 분석을 통하여 알아보고 임상적 자료가 풍부한 티타늄 합금의 지대주를 사용한 지대주나사를 대조군으로 설정하여 PEEK와 Endoligns 를 실험군으로 설정한 임플란트 복합체의 지대주나사의 안정성을 확인하고자 한다. 연구 결과는 새로운 PEEK 소재의 지대주 적용 평가 및 맞춤형 지대주의 사용에 있어 생체 역학적 안정성의 기초 자료로 활용하고자 한다.

II. 실험 방법

1. 3차원 실험 모델 설계

지대주 재료에 따른 지대주나사의 응력 분석을 위해 국내 D사의 internal submerged implant type을 바탕으로 NX10 (NX10.0.0.24, SIEMENS, Germany) 프로그램을 이용하여 고정체(fixture), 지대주(abutment), 지대주나사(screw), 피질골(cortical bone), 해면골(cancellous bone)을 모델링 하였다(Fig. 1).

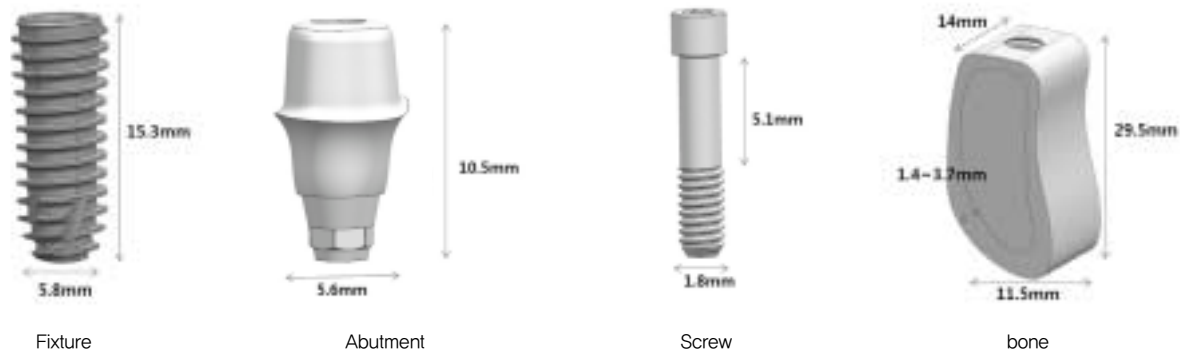


Fig. 1. schematic diagram of single implant dimensional data

2. 유한요소분석

유한요소 분석은 ABAQUS(Abaqus 6.12, Dassault Systemes, France) 프로그램을 이용하여 고정체와 지대주나사는 티타늄 재질로 설정하고 지대주 재질을 티타늄 합금, PEEK, Endoligns로 설정하였다(Fig. 2). 임플란트 복합체는 지대주나사의 조임에 의해 결합한다고 가정하여 지대주나사의 조임 토크를 10 Ncm, 20 Ncm, 30 Ncm로 부여하고 지대주에 175 N의 수직 하중을 가한 후

지대주나사의 응력분포를 3차원으로 분석하였다(Table 1). 구속조건(boundary condition)은 하악 지지골 양단 모서리의 절단부에 Ux, Uy, Uz 방향의 자유도(degree of freedom)를 모두 구속시켜 하악 치조골의 내부 경계선의 움직임이 없도록 하였다. 등방성(asotropy), 균질성(homogeneity), 선형 탄성(linear elasticity)을 가정하였으며 지대주 재질의 물성치를 <Table 2>에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of each experimental model code

The Material Abutment Tightening Torque(Ncm)	If the abutment is used as Titanium (Ti-6Al-4V)	If the abutment is used as PEEK	If the abutment is used as Endoligns®
10	T10	P10	E10
20	T20	P20	E20
30	T30	P30	E30

Table 2. Summary of the material properties used for the finite element analysis

Material	Elastic modulus (MPa)	Poisson ratio
Titanium(Ti-6Al-4V)	110,000	0.33
PEEK	4,100	0.4
Endoligns	150,000	0.35
Cortical bone	13,700	0.3
Cancellous bone	1,370	0.3

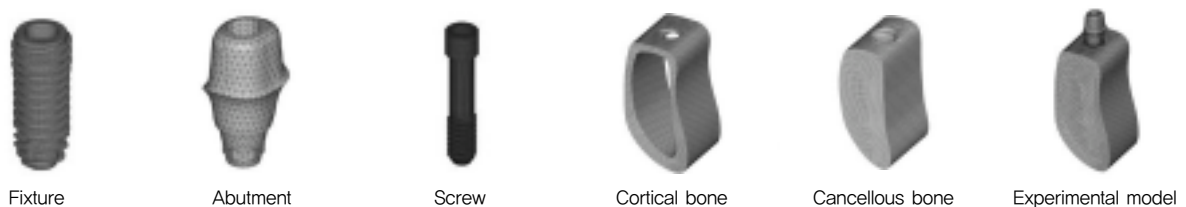


Fig. 2. Parts of the implant model and bone

III. 결 과

지대주나사 대부분의 응력은 지대주와의 계면에 집중되었으며 나사산이 시작되는 부위인 고정체와의 계면에도 나타났다. 지대주 재질에 따라 지대주나사의 von Mises 응력 값이 다르게 나타났다. 10Ncm의 조임 토크 하에서 T10은 294.2 MPa, P10은 562.8 MPa, E10은 295.8 MPa로 나타났고, 20Ncm 조임 토크 하에서 T20은 581.1 MPa, P20

은 1125 MPa, E20은 585.1 MPa로 나타났으며, 30Ncm 조임 토크 하에서 T30은 918.2 MPa, P30은 1795 MPa, E30은 925.1 MPa 나타났다(Table 3). 조임 토크의 양이 커짐에 따라 응력 값이 커졌으며 지대주의 재질에 따라 응력 값이 다르게 나타났다. Titanium과 Endoligns을 지대주로 사용한 지대주나사는 유사한 응력 값을 보였으며 PEEK를 지대주로 사용한 지대주나사의 von Mises 응력 값은 높게 나타났다(Table 3) (Fig. 3,4,5).

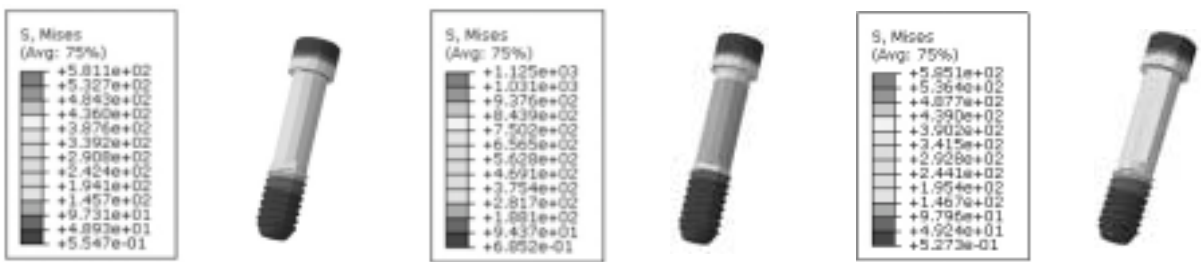
Table 3. Stress analysis of fixation screw according to the tighten torque and the abutment materials (unit: MPa)

Tightening Torque(Ncm)	The Material Abutment	If the abutment is used as Titanium (Ti-6Al-4V)	If the abutment is used as PEEK	If the abutment is used as Endoligns®
10		294.2 (100.0%)	562.8 (192.1%)	295.8 (100.5%)
20		581.1 (100.0%)	1125 (193.6%)	585.1 (100.7%)
30		918.2 (100.0%)	1795 (195.9%)	925.1 (100.7%)



(a): If the abutment is used as Titanium(Ti-6Al-4V) (b): If the abutment is used as PEEK (c): If the abutment is used as Endoligns

Fig. 3. von Mises stress distribution of abutment screw to vertical load at 10Ncm tightening torque



(a): If the abutment is used as Titanium(Ti-6Al-4V) (b): If the abutment is used as PEEK (c): If the abutment is used as Endoligns

Fig. 4. von Mises stress distribution of abutment screw to vertical load at 20Ncm tightening torque



(a): If the abutment is used as Titanium(Ti-6Al-4V) (b): If the abutment is used as PEEK (c): If the abutment is used as Endoligns

Fig. 5. von Mises stress distribution of abutment screw to vertical load at 30Ncm tightening torque

IV. 고찰

티타늄 합금, PEEK, Endoligns 재질의 맞춤형 지대주에 따른 티타늄 합금 재질의 지대주나사의 응력 분포를 유한요소 분석을 통하여 알아보고자 하였다. 현재 치과용 임플란트 재료로 널리 상용되는 티타늄 합금을 대조군으로 PEEK, Endoligns 재질의 지대주가 사용된 것을 실험군으로 설정하여 실험하였다. 임플란트 복합체에서 다른 모든 구성요소는 티타늄 합금으로 설정하고 맞춤형 지대주는 PEEK, Endoligns 재질로 설정하여 지대주나사에 걸리는 von Mises 응력 값을 알아보았다. 티타늄 합금을 지대주로 사용한 경우 지대주나사에 걸리는 von Mises 응력 값을 100%로 가정하고 다른 2 종의 지대주 재질을 비교하였다.

지대주나사의 의해 결합되는 임플란트 구조물은 나사가 느슨해지거나 파절되는 등의 결합을 방지하기 위하여 전하중 (Preload)을 증가시켜야 한다 (Bickford, 1995). 전하중은 임플란트 구조물의 안정성을 결정하는 데 중요한 요인으로 임플란트의 크기, 재질, 나사 표면의 처리 상태, 조임 토크 등이 전하중에 영향을 미치는 요인이다 (Lang et al., 2003). 본 연구에서는 조임 토크가 커짐에 따라 지대주나사에 걸리는 응력 값이 3종의 지대주를 사용한 지대주나사에서 모두 높아짐을 알 수 있었다. 하지만 지대주나사의 재질이 티타늄 합금이고 그 항복강도가 965 MPa 것을 감안한다면 PEEK재질의 지대주가 사용된 지대주나사에서는 조임 토크가 30 Ncm일 때 1795 MPa이었기 때문에 너무 높은 응력 값을 나타내었다.

지대주나사 응력 분포는 주로 지대주와 고정체가 접촉되는 계면의 경부에서 나타났다. 지대주가 티타늄 합금일 때의 von Mises 응력 값을 100%로 가정하였을 때, 조임 토크가 10 Ncm일 경우 지대주나사에 걸리는 응력 값이 PEEK는 192.1%, Endoligns 는 100.5%로, 조임 토크가 20Ncm일 경우 지대주나사에 걸리는 응력 값이 PEEK는 193.6%, Endoligns 는 100.7%로 , 조임 토크가 30Ncm 일 경우 지대주나사에 걸리는 응력 값이 PEEK는 195.9%, Endoligns 는 100.7%로 나타났다. 대조군으로 설정된 티타늄 합금과 Endoligns 는 유사한 von Mises 응력 값을 나타내었고 PEEK는 거의 2배 정도의 von

Mises 응력 값을 나타내었다. 실험에 사용된 지대주나사의 재질이 티타늄이고 지대주를 각각 티타늄 합금, PEEK, Endoligns 로 사용하였다. 지대주나사에 나타나는 응력이 20Ncm 일 때 1125 MPa이고, 30 Ncm 일 때는 1795 MPa이다. 지대주나사의 재질이 티타늄이고 항복강도가 965 MPa 임을 감안한다면 이는 사용이 불가능함을 의미한다.

본 연구의 결과로 볼 때 Endoligns 을 지대주로 설정된 지대주나사에 나타나는 응력값과 티타늄을 지대주로 사용한 지대주나사에서 비슷한 응력 값을 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 단순한 컴퓨터 모의실험 만으로 PEEK 소재를 치과용으로 접목이 가능하고 할 수는 없을 것이다. 그리고 지대주 이 외에 구성요소를 다른 소재로 설정하여 실험하는 것도 가능할 것이다. 본 연구는 지대주를 PEEK 소재로 사용하였을 때 지대주나사에 나타나는 응력 값을 관찰하였고 차후 고정체, 지대주나사를 PEEK 소재로 설정하여 실험하는 것도 가능할 것이다. 추후 피로 실험 등 실물 실험을 통해 연구가 진행된다면 좀 더 현실적이고 실질적인 연구가 될 것으로 사료된다.

V. 결론

맞춤형 지대주의 재료를 Titanium, PEEK, Endoligns 로 하여 설계한 모델에 조임 토크를 10Ncm, 20Ncm, 30Ncm로 하여 175 N의 수직 하중을 가한 상태에서 지대주나사의 von mises 응력 분포를 3차원 유한요소로 분석하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 지대주나사가 결합되는 지대주와 고정체의 계면에서 von Mises 응력 값이 나타났다.
2. 조임 토크가 10 Ncm, 20 Ncm, 30 Ncm로 커짐에 따라 지대주나사의 von Mises 응력 값이 높게 나타났다.
3. Endoligns 를 지대주로 사용한 지대주나사와 티타늄 합금을 지대주로 사용한 지대주나사가 유사한 von Mises 응력 값을 나타내었다.

REFERENCES

- Ahmad Y, Alireza M, Edwin A, Implant–abutment interface : A comparison of the ultimate force to failure among narrow–diameter implant systems. *J Prosthet Dent*, 112(5), 136–142, 2014.
- Bickford J. An Introduction to the design and behavior of bolt joints. New York: Marcel Dekker 1995.
- Corvelli A, Biermann P, Roberts J. Design analysis and fabrication of a composite segmental bone replacement implant. *J Adv Mater*, 28(3), 2–8, 1997.
- Kelsey D, Springer G, Goodman B. Composite implant for bone replacement. *J Compos Mater*, 31(6), 1593–1632, 1997.
- Kurtz S, Devine J. PEEK biomaterials in trauma, orthopedic, and spinal implants. *Biomaterials*, 28(32), 4845–4869, 2007.
- Lang L, Kang B, Wang R. Finite element analysis to determine implant preload. *J Prosthet Dent*, 90(6), 539–546, 2003.
- Liao K. Performance characterization and modeling of a composite hip prosthesis. *Exp Tech*, 18(5), 33–38, 1994.
- Schwitalla A, Abou–Emara M, Spintig T, Lackmann J, Muller W. Finite element analysis of the biomechanical effects of PEEK dental implants on the peri–implant bone. *J Biomechs*, 48(1), 1–7, 2015.
- Wang R, Kang B, Lang L, Razzoog M. The dynamic natures of implant loading. *J Prosthet Dent*, 101(6), 359–371, 2009.