

치과용 임플란트 지대주나사의 조임체결력에 따른 지지골과 지대주나사의 유한요소법 응력 분석

이 명 곤

부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과

A finite element stress analysis on the supporting bone and abutment screw by tightening torque of dental implant abutment screw

Myung-Kon Lee

Dept. of Dental Laboratory Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan

[Abstract]

Purpose: A study analysed the stress distribution of abutment screw and supporting bone of fixture by the tightening torque force of the abutment screw within clinical treatment situation for the stability of the dental implant prosthesis.

Methods: The finite element analysis was targeted to the mandibular molar crown model, and the implant was internal type 4.0 mm diameter, 10.0 mm length fixture and abutment screw and supporting bone. The occlusal surface was modeled in 4 cusps and loaded 100 N to the buccal cusps. The connection between the abutment and the fixture was achieved by combining three abutment tightening torque forces of 20, 25, and 30 Ncm.

Results: The results showed that the maximum stress value of the supporting bone was found in the buccal cortical bone region of the fixture in all models. The von Mises stress value of each model showed 184.5 MPa at the 20 Ncm model, 195.3 MPa in the 25 Ncm model, and 216.5 MPa in the 30 Ncm model. The contact stress between the abutment and the abutment screw showed the stress value in the 20 Ncm model was 201.2 MPa, and the 245.5 MPa in the 25 Ncm model and 314.0 MPa in the 30 Ncm model.

Conclusion: The increase of tightening force within the clinical range of the abutment screw of the implant dental prosthesis was found to have no problem with the stability of the supporting bone and the abutment screw.

◉ **Key words:** Abutment screw, Tightening torque, Supporting bone stress, Finite element method

* 이 논문은 2018학년도 부산가톨릭대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음

Corresponding author	Name	이 명 곤	Tel.	051-510-0591	E-mail	mklee@cup.ac.kr
	Address	부산시 금정구 오륜대로 57. 부산가톨릭대학교 보건과학대학 치기공학과				
Received	2020. 4. 1	Revised	2020. 6. 15	Accepted	2020. 6. 22	

I. 서론

치과 임플란트 보철물은 지지골 (supporting bone)에 삽입되어 인공치근 역할을 하는 고정체 (fixture)와 지대주 (abutment) 위에 제작되어 치아 기능을 회복하는 상부 보철물로 구성되며 이 두 구조는 지대주나사 (abutment screw)에 의해 조임체결력 (tightening torque)으로 연결 결합되어 이용한다 (Lee et al., 2006; Kim et al., 2011).

지대주나사에 가해진 조임력에 의해 고정체와 지대주를 연결하는 지대주나사에서 결합력을 생성시키는데 이를 전하중 (preload)이라고 한다. 이는 조임력을 가하면 나사가 신장되어 장력을 발생시키는데 이때 나사의 탄성 회복으로 인해 두 부분을 서로 당기게 되는 잠금력 (clamping force)이 생성된다 (Shin et al., 2008; Kim et al., 2011).

지대주나사 조임은 적절한 전하중을 적용하여 나사 풀림 (screw loosening)을 방지하고 나사연결부 결합 안정성을 얻기 위한 작업으로, 적절한 전하중은 나사 형태, 나사와 임플란트 구성품간 접촉, 마찰력 및 임플란트 구성품의 재질 등에 영향을 받는다 (Lee et al., 2018). 전하중은 조임 토크 크기에 비례하며 나사의 조임 토크가 너무 약하면 전하중이 부족하여 나사 연결부 안정성이 저하되지만, 반대로 나사의 항복강도에 근접하게 과도한 조임 토크를 적용하면 나사가 파괴되거나 풀릴 가능성이 높아진다. 이와 같은 지대주나사의 조임체결력에 대한 연구가 많이 이루어지고 있으나 대부분 지대주나사의 손상 상황에 국한되어 연구되고 있다 (Lee et al., 2006; Shin et al., 2008; Xia et al., 2014).

현재 임플란트 보철물은 안정적인 성공률을 보이고 있으나 지대주나사 풀림과 고정체 골유착 실패가 가장 많은 실패 원인으로 제기되고 있다. 나사 풀림은 교합관계, 과도한 교합력, 불충분한 조임토크 등의 다양한 외부적인 원인으로도 발생하지만 나사 자체의 장력 감소로 인한 전하중의 상실에 의하여 나타나고 있다 (Nissan et al., 2001; kim, 2003; Guda et al., 2008; Xia et al., 2014).

임상 치료 상황에서는 보다 견고한 결합력을 얻고자 조임체결력을 정상보다 강한 조임력을 적용하거나 작업 실수 등 여러 원인으로 정상 조임체결보다 낮은 조임체결력이 적용되는 경우도 있을 것으로 예상된다. 이와 같은 지대주나사의 임상적 조임체결 작업과정에서 일어날 수 있는 지대주나사의 조임체결력 정도에 따라 지대주나사의 응력 변화에 대한 연구가 필요하다고 생각되며, 또한 지대주나사의 잠금체결력 정도에 따른 교합 하중에 대한 지지골의 응력 변화에 대해서도 연구가 필요하다고 사료된다.

조임체결력에 따른 지대주나사와 지지골의 응력 분석은 동물 실험이 불가하며 구조물의 각 부분의 응력 분포 상황을 세부적으로 평가할 수 있는 3차원 유한요소법 분석 연구는 많은 연구에서 이용되고 있으며 모의 실험으로 모델의 실제적인 응력값 산출에는 다소 무리가 있으나 동일한 조건에서의 변수에 대한 응력 비교에는 효과가 충분한 것으로 보고되고 있다 (Lang et al., 2002; Lang et al., 2003; Alkan et al., 2004; Lee et al., 2005; Kim et al., 2016; Lee, 2016).

본 연구는 임상에서 적용하고 있는 지대주나사의 조임체결력 크기 변화에 대해 지대주나사의 접촉응력을 분석하여 체결력의 변화를 연구하였으며, 체결력에 따른 지지골의 안정성 변화를 분석하여 조임체결력에 따른 치과 임플란트 보철물의 안정성에 대해 파악하고자 시행하였다.

II. 연구방법

1. 3 차원 유한요소 실험 모델

지대주나사의 조임체결력에 따른 지대주나사의 접촉 응력과 지지골의 응력 분포를 분석하기 위하여 유한요소법 모델을 제작하였다. 분석 조건을 응력 조건만으로 단순하게 구성하기 위하여 구치부 단관 보철물과 1 치관 임플란트 지지골 모델을 제작하였다.

유한요소법 분석을 위하여 제작한 모델은 하악 제1대구치를 대상으로 하였으며, 임플란트는 국내 D사의

internal type 직경 4.0 mm, 길이 10.0 mm 고정체와 지대주, 지대주나사를 선택하여 제조사의 설계도면을 바탕으로 자료를 입력하였다. 임플란트 구조에 결합되는 제1대구치 치관보철물 구조는 금속-도재관(metal-ceramic crown)으로 설계하였으며, 고정체 지지 치조골 형태는 하악골로 설계 제작하여 그 단면 상태도를 Fig. 1, A에 나타내었다 (Kim et al., 2016; Lee, 2016, Lee & Kim, 2018).

고정체를 지지하는 하악 구치부 치조골 형태는 협설 폭 10.0 mm, 근원심폭 14.0 mm, 높이 17.5 mm로 제작하고 1.2 mm 두께의 피질골(cortical bone)과 잔여부위는 해면골(cancellous bone)로 구성하였다. 치관보철물 구조는 하악 제1대구치를 가상한 형태로 모델링하였다.

치관보철 구조물 교합면은 근원심폭경 8.0 mm, 협설 폭경 8.0 mm로 구성하였고, 치아 교두 형태는 4 교두 형태로 모델링하였다. 금속-도재관의 높이는 자연치를 모방한 8.0 mm로 하였으며 2.5 mm의 지대주 구조를 포함한 지지골 상부 노출 구조물의 총 높이는 10.5 mm로 제작하였다. 치관보철물 구조는 시멘트 유지형으로 내부 지대주와 결합되는 금속 내관(coping cap)과 치아 형태를 모방한 도재관(ceramic crown)으로 구성하였다. 치관보철물과 지대주는 치과용 시멘트로 유지시키고 있으나 시멘트 층에 의한 응력 변화 영향성을 피하기 위해 치관보철물과 지대주는 완전 결합된 상태로 설정하였고, 지대주와 임플란트를 연결하는 나사 구멍은 설계하지 않았다.

그리고 지대주와 고정체의 연결은 지대주나사 체결에 의한 결합으로 임상에서 많이 적용하고 있는 20, 25, 30 Ncm의 3 종의 조임체결력을 적용하여 3 개 모델을 제작하였다.

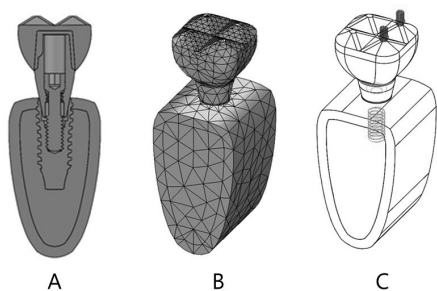


Figure 1. Schematic diagram of single crown implant model. A. Cross sectional view. B. Meshed view. C.

Loading type and location.

지지골을 구성하는 피질골과 해면골은 이방성(anisotropy)이나 실험 모델의 단순화를 위하여 모델을 구성하는 전체 구조 부분은 등방성(isotropy), 균질성(homogenization), 선형 탄성(linear elasticity)인 물질로 가정하였으며, 모델링과 유한요소 응력 분석은 유한요소 해석 범용 프로그램인 Solidworks (Premium 2013, Dassault System, France)를 사용 하였다. 모델을 구성하는 재료들의 탄성계수(Young's modulus)와 포와송비(Poisson's ratio)의 물성적 자료는 문헌 보고에서 제시된 자료 (Lee, 2016)를 이용하였으며, Table 1에 나타내었으며, 실험 유한요소 모델링에 사용된 각 구성부분의 절점(node)과 요소(element)의 수는 Table 2에 제시하였다 (Fig. 1, B).

Table 1. Materials properties used for analysis of the FEM method

Materials	Elastic modulus	Yield strength	Poisson's ratio
Cortical bone	9,000 MPa	180 MPa	0.3
Cancellous bone	700 MPa	35 MPa	0.35
Ti alloy			
- Fixture	120 GPa	910 MPa	0.32
- Abutment			
- Abutment screw			
- Coping			
Porcelain crown	68 GPa	-	0.22

Table 2. Number of element and node of each models

Specifications	Types and No.
Mesh type	Solid mesh
Used mesh	Curvature based meshing
Max. element size	2,399 mm
Min. element size	0.48 mm
Total node number	31,229
Total element number	20,659

2. 하중조건 및 구속조건

본 실험에 적용한 하중 형태는 임상적 상황을 고려하여 4 교두 중 협측 교두정 2 점에 수직하중을 적용하였으며 각 교두정에 50 N 씩 총 100 N의 하중을 적용하였으며, 이는 대부분의 유한요소법 연구에서 적용하고 있는 하중이다. 유한요소 모델의 구속조건은 지지골의 최하단부위의 모든 절점을 6 방향 자유도를 구속시켜 실험 모델의 이동 및 회전이 없도록 하였으며 하중 조건에 대한 형상은 Fig. 1, C 그림으로 나타내었다 (Son et al., 2007; Lee, 2016).

20, 25, 30 Ncm의 조임체결력이 적용된 3 종의 모델에 100 N의 교합 하중으로 발생하는 지대주와 접촉 부위의 지대주나사의 접촉 응력으로 최대 등가응력값 (von Mises stress)을 분석하였으며, 임플란트 고정체를 지지하고 있는 지지골 조직의 최대 등가응력값을 이용하여 분석하였으며, 등간격으로 구분된 응력 값의 분포 상태를 색깔별로 나타내었다.

III. 연구 결과

1. 조임체결력에 따른 지지골의 응력 분석

임플란트 치과보철물은 보철물과 연결된 지대주와 지지골에 삽입 골유착되어 인공치근의 역할을 하는 고정체를 지대주나사로 연결하고, 지대주나사에 조임체결력을 부여하여 치과보철물과 고정체를 안정하게 체결 결합시키는 전하중을 생성하게 된다.

이때 지대주나사의 조임체결력에 따라 고정체 지지골의 응력 차이가 발생할 것으로 예상하고 1 치관보철물 임플란트 모델을 제작하여 조임체결력으로 20 Ncm, 25 Ncm, 30 Ncm을 적용하고 100 N의 교합 모방 하중을 협측 교두에 부여하여 지지골의 응력 분포를 조사하여 조임체결력의 영향성을 조사하였다.

본 연구 분석 결과는 지지골의 최대 응력값은 3 종의 모델에서 모두 고정체 식립 피질골 협측부에 나타났으며, 3 종 모델이 동일한 형태의 응력 분포양상을 보여

본문에서는 20 Ncm 분포 그림만 수록하였다. 분포 양상은 최대 응력값이 발생한 피질골에서 멀어지면 급격하게 응력값이 낮아지는 현상을 보이고 있다. 피질골 협측부에만 집중된 형태의 응력 상태는 치과보철물의 협측 교두에 교합 하중을 적용하여 고정체와 지지골의 결합부위를 회전축으로 하는 모멘트 (moment)가 발생한 것으로 판단된다.

각 모델의 지대주나사의 접촉 응력으로 평가한 최대 응력값은 조임체결력 20 Ncm에서는 184.5 MPa의 최대 등가응력값을 나타내었고, 25 Ncm 적용 모델에서는 195.3 MPa, 30 Ncm 적용 모델은 216.5 MPa의 값을 보였다. 조임체결력을 20 Ncm에서 25 Ncm로 125% 증가시켰을 때 지지골 응력은 105.9%의 증가를 보였으며 25 Ncm에서 30 Ncm로 120% 증가시켰을 때는 110.9%로 증가되었다. 또한 20 Ncm 체결력과 30 Ncm로 150%의 체결력을 증가했을 때는 117.3%의 지지골 응력 증가를 보였다 (Fig. 2, Table 3).

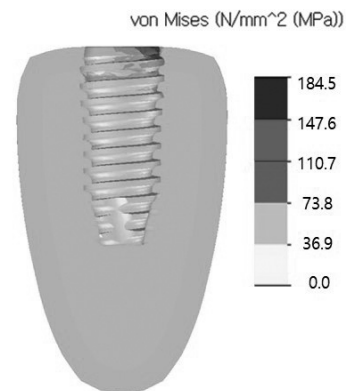


Figure 2. Distribution of von Mises stress of supporting bone (20 Ncm torque model).

Table 3. Results of von Mises stress of supporting bone by applied torque

Applied Torque (Ncm)	von Mises stress (MPa) (max.)
20	184.5
25	195.3
30	216.5

2. 조임체결력에 따른 지대주나사의 접촉응력 분석

조임체결력에 따른 지대주와 지대주나사 사이에서 발생하는 접촉 응력 분포 양상은 응력 값의 차이만 있으며 형상은 3 종 모델이 동일하게 나타나 지지골 결과 그림과 같이 20 Ncm 체결력 모델의 응력 분포도만을 Fig. 3에 제시하였으며, 조임체결력을 달리하는 3 종 모델의 접촉 응력값은 Table 4에 보고하였다. 본 연구에서 분석한 접촉 응력값은 지대주와 지대주나사의 접촉 부위만을 조사하였으며 고정체의 내부 나사와 접촉하는 지대주나사의 나사산 부위에서도 접촉 응력값을 얻을 수 있지만 지대주와 지대주나사 간의 접촉부위와 동일한 상태를 보이고 있어 본 연구에서는 지대주와 지대주나사 접촉부 응력만을 발표하였다.

20 Ncm 체결력으로 결합한 모델에서의 최대 등가응력 값은 201.2 MPa를 보였으며 25 Ncm 체결 모델에서는 245.5 MPa, 30 Ncm 체결 모델에서는 314.0 MPa의 결과를 보였다. 20 Ncm 모델보다 25 Ncm 모델에서의 122.0%의 응력값 증가가 나타났으며 30 Ncm 모델은 20 Ncm 모델보다 156.1%, 25 Ncm 모델보다는 127.9%의 응력값 증가가 있었다.

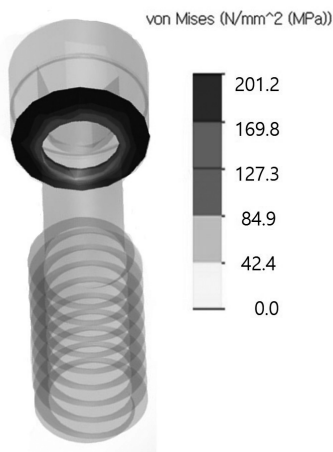


Figure 3. Distribution of von Mises stress of abutment screw (20 Ncm torque model).

Table 4. Results of von Mises stress of abutment screw by applied torque

Applied Torque (Ncm)	von Mises stress (MPa)		
	Max.	Min.	Aver.
20	201.2	18.6	79.2
25	245.5	12.9	97.6
30	314	28.1	121.3

IV. 고찰

임플란트는 결손된 치아를 대신하여 골내 매식된 인공치근으로 지대주, 지대주나사, 고정체의 3 개 구성요소를 갖고 있으며 보철물과 결합된 지대주와 지지골과 골유착된 고정체를 지대주나사의 조임체결력으로 연결 고정한다 (Lee, 2005).

지대주나사의 조임체결력은 지대주와 고정체를 연결시키는 전하중으로 작용하며, 적절한 조임체결력은 임플란트 보철물의 성공률에 중요한 영향을 미치는 요소로 임플란트 제조사마다 적정 체결력 정보 자료를 제공하고 있으며 이 조임 작업을 정확하게 수행할 수 있는 도구들도 공급하고 있다 (Oh et al., 2005 ; Joo & Lee, 2011).

현재 임플란트 보철물은 안정적인 성공률로 치과 임상에서 일반적인 치료법으로 이용되고 있으나 계속적으로 제기되고 있는 실패 원인으로 지대주나사 풀림과 고정체 골유착 파괴 상황이 많이 보고되고 있다. 임상 치료 상황에서 나사 풀림으로 인한 보철물 파괴와 지지골 결합 손상의 경험으로 임상가들은 강한 조임체결력을 부여하고자 하는 경향이 있으며 임상적 적용 범위 내에서의 조임체결력 변화에 대해 지지골과 지대주나사의 응력 변화에 대한 자료가 필요하다고 할 수 있다. 본 실험은 임상적 조임체결력으로 20, 25, 30 Ncm로 한정하여 동일한 모델에서 조임체결력만을 변화시켜 고정체 지지골의 응력 변화와 지대주나사의 접촉 응력 변화를 조사하였다.

실험 분석 결과는 지지골의 최대 응력값 부위는 모두 고정체 식립 피질골 협측부에 나타났으며, 이 결과는

치과보철물의 협측 교두에 교합 하중을 적용하여 고정체와 지지골의 결합부위를 회전축으로 모멘트 발생으로 인한 것으로 판단된다. 조임체결력 20 Ncm을 적용한 모델에서는 184.5 MPa, 25 Ncm 적용 모델은 195.3 MPa, 30 Ncm 적용 모델은 216.5 MPa의 값을 보였다. 20 Ncm 조임체결력을 25 Ncm로 125%로 증가시켰을 때 지지골 응력은 105.9%의 증가를 보였으며 25 Ncm에서 30 Ncm로 120%로 증가시켰을 때는 응력값은 110.9%로 증가되었고, 20 Ncm 체결력 모델과 30 Ncm 체결력 모델 간에는 150%로 체결력이 증가했지만 지지골에서는 117.3%의 응력 증가만을 보였다.

이러한 결과는 지대주나사의 조임체결력을 증가시켜도 지지골에서는 비례적인 응력 증가가 나타나지 않았으며 지지골의 안정성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 교합 하중이 지대주나사를 통해 고정체로 전달되면서 상당 부분 분산 흡수되었다고 볼 수 있으며 지지골의 탄성계수가 높아 역시 응력 분산 흡수에 역할을 하였다고 사료된다.

지대주나사와 지대주 사이에서 발생하는 접촉 응력은 역시 지대주와 접촉하는 나사 머리 밑면에서 최대 응력값이 발생하였으며 고정체의 내부 나사와 접촉하는 지대주나사의 나사산 부위에서도 접촉 응력이 발생하였지만 다수의 나사산으로 분산되어 응력값은 낮게 나타났으며 지대주나사의 가장 큰 응력 발생부위는 나사머리와 나사산을 연결하는 연결부에서 나타났다.

20 Ncm 체결력 결합 모델은 201.2 MPa의 최대 응력값을 보였으며 25 Ncm 체결력 모델 245.5 MPa, 30 Ncm 체결력 모델에서는 314.0 MPa의 결과를 보였다. 20 Ncm 모델보다 25 Ncm 모델에서의 122.0%의 응력값 증가가 나타났으며 30 Ncm 모델은 20 Ncm 모델보다 156.1%, 25 Ncm 모델보다는 127.9%의 응력값 증가를 보였고 이러한 증가 양상은 구성부분의 물성적 특성을 선형탄성, 등방성으로 부여하여 비례적인 증가 현상이 있었다고 생각되며 재질이 티타늄 금속으로 항복강도가 높아 체결력을 높여도 지대주나사의 안정성에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

본 실험 연구로 임플란트 지대주와 보철물의 연결 고정력을 증가시킬 수 있는 보다 강한 조임체결력을 적용

하여도 지지골의 영향이 적어 임상적 응용이 가능하다고 판단된다. 다만 본 연구는 생체실험이 아니며 모든 구조를 단순화시킨 모의실험으로 직접 적용에는 한계점이 많다고 생각되며 실질결과 유사한 물리적 특성 조건의 실험과 지대주나사의 진동에 의한 미세거동, 반복 하중에 따른 진동 등에 대한 다양한 추수 연구가 필요하다고 사료된다.

V. 결론

임플란트 치과보철물에서 치관과 지지골을 연결하는 지대주나사의 조임체결력 크기 변화에 따른 지대주나사의 접촉응력 변화 양상과 고정체 지지골의 응력 변화 양상을 분석하여 치과 임플란트 보철물의 안정성을 연구한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지대주나사의 조임체결력을 증가시키면 임플란트 지지골의 응력도 증가하였으나 증가 정도는 상대적으로 적게 나타났다.
2. 지대주나사의 조임체결력을 증가시키면 지대주나사의 접촉 응력도 증가하였으며 증가 정도는 비례적으로 유사하게 나타났다.
3. 임플란트 치과보철물의 지대주나사의 임상적 적용 범위 내의 조임체결력 증가는 지지골과 지대주나사의 안정성에 문제가 없는 것으로 나타났다.

REFERENCES

- Alkan I, Sertgöz A, Bülent E. Influence of occlusal forces on stress distribution in preload dental implant screws. *J Prosthet Dent*, 91(4), 319-325, 2004.
- Guda T, Ross TA, Lang LA, Millwater HR. Probabilistic analysis of preload in the

- abutment screw of a dental implant complex. *J Prosthet Dent*, 100(3), 183–193, 2008.
- Joo YH, Lee JH. A study on accuracy and application of the implant torque controller usec in dental clinic. *J Kor Acad Prosthodont*, (49)3, 197–204, 2011.
- Kim DS, Lee SH, Her SB, Rhee SH, Yang HC. The effect of cyclic loading on the removal torque between various implant–abutment system. *Korean J Dent Mater*, 38(3), 197–208, 2011.
- Kim JM. A study of screw loosening after dynamic contious fatigue test of several abutment screw. Graduate School of Seoul University, Master's thesis, 2003.
- Kim NS, Lee MK, Hong MH. A finite element stress analysis of abutment screw according to the implant abutment material. *J Kor Acad Dent Tech*, 38(1), 1–6, 2016.
- Lang LA, Kang B, Wang R–F, Lang BR. Finite element analysis to determine implant preload. *J Prosthet Dent*, 90(6), 539–546, 2003.
- Lang LA, Wang R–F, Wang BS, May KB. The Influence of abutment screw tightening on screw joint configuration. *J Prosthet Dent*, 87(1), 74–79, 2002.
- Lee BH. The study of screw loosening and stress distribution in the jaw bone of different connection types. Graduate School of Yonsei University Master's thesis, 2005.
- Lee BH, Chun HJ, Lee SH, Han CH. Three–dimensional finite element analysis of stress distribution and preload of different connection types implant with initial clamping. *J Kor Acad Prosthodont*, 44(2), 197–206, 2006.
- Lee MK. Finite element analysis on the stress of supporting bone by diameters and lengths of dental implant fixture. *J Kor Acad Dent Tech*, 38(3), 151–156, 2016.
- Lee MK, Kim KJ. Three dimensional finite element analysis of the stress on supporting bone by the abutment materials of dental implant. *J Kor Acad Dent Tech*, 40(1), 41–47, 2018.
- Lee MK, Kim YJ, Kim CY. A comparative analysis of stress distribution in the implant supporting bone by occlusal loading location utilizing the finite element method. *J Kor Acad Dent Tech*, 27(1), 105–113, 2005.
- Nissan J, Gross M, Shifman A, Assif D. Stress levels for well–fitting implant superstructure as a function of tightening force levels, tightening sequence, and different operators. *J Prosthet Dent*, 86(1), 20–23, 2001.
- Oh DJ, Han MJ, Chung CH. Physical properties for implant abutment screw. *Oral Biology Research*, 29(3), 53–61, 2005.
- Shin HM, Jeong CM, Jeon YC, Yun MJ, Yoon JH. Influence of tightening torque on implant–abutment screw joint stability. *J Kor Acad Prosthodont*, 46(4), 396–408, 2008.
- Son SS, Kim YJ, Lee MK. Finite element analysis of sress distribution on supporting bone of posterior implant partial denture by loading location. *J Kor Aca Dent Tech*, 29(1) 93–101, 2007.
- Xia D, Lin H, Yuan S, Bai W, Zheng G. Dynamic fatigue performance of implant–abutment assemblies with different tightening torque values. *Biomed Mater Eng*, 24(6), 2143–2149, 2014.