

치조정 형태에 따른 scalloped 임플란트 주위
변연골의 유한요소법적 응력 분포

연세대학교 대학원

치의학과

최 희 곤

치조정 형태에 따른 scalloped 임플란트 주위
변연골의 유한요소법적 응력 분포

지도교수 한 중 현

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2012년 월 일

연세대학교 대학원

치의학과

최 희 곤

최희곤의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 한 중 현 인

심사위원 심 준 성 인

심사위원 김 선 재 인

연세대학교 대학원

2012년 월 일

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 지도와 격려, 세심한 배려를 해주신 한중현 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한, 논문 작성과 심사에 아낌없는 조언과 도움을 주신 심준성 교수님, 김선재 교수님, 권주현 교수님, 손용하 교수님께도 감사드립니다.

항상 많은 가르침을 주시고 이 자리에 올 수 있도록 관심과 격려를 주신 치과대학의 모든 교수님들께 감사를 드립니다.

논문을 준비하는 동안 서로에게 힘이 되어주었던 보철과 의국원 조수빈, 탕우룡, 이주환, 최석근에게도 항상 고맙습니다.

아직 한참 어린 민성이 돌보면서 직장일까지 하는 배우자 한건희에게 이루 말할 수 없이 고맙다고 말하고 싶습니다. 장모님, 장인 어른, 처제를 비롯한 처갓집 식구들과도 이 기쁨을 같이 하고 싶습니다.

끝으로 지금까지 보살펴주시고 사랑으로 응원해 주시는 어머님께 감사의 마음을 전하면서 마치겠습니다.

2012 년 12월

최희곤 드림

차 례

그림 및 표 차례	ii
국문요약	iii
I. 서론	1
II. 연구 재료 및 방법	4
1. 유한요소 모델	4
1) 임플란트 모델	4
2) 약골 모델	5
3) 상부 보철물	6
2. 임플란트-골 계면 디자인	7
3. 재료 물성치	8
4. 경계 조건과 하중 조건	8
III. 연구 결과	9
IV. 총괄 및 고찰	13
V. 결론	16
참고문헌	17
영문요약	20

그림 차례

Figure 1. Schematic presentation of implant types used in this analysis	4
Figure 2. Schematic presentation of jaw bone	5
Figure 3. Schematic presentation of experimental models including bone, implant complex	6
Figure 4. Schematic presentation of 3D model including the crown, implant.....	7
Figure 5. Effective stress distribution under a 100N vertical load.....	9
Figure 6. Effective stress distribution under a 100N vertical load(Removal of implant-abutment assembly)	10
Figure 7. Effective stress distribution under a 100N oblique load	11
Figure 8. Effective stress distribution under a 100N oblique load(Removal of implant-abutment assembly)	11

표 차례

Table 1. Mechanical properties of the materials	8
Table 2. Maximum effective stress on bone due to types of implant, crestal bone at vertical loading.....	10
Table 3. Maximum effective stress on bone due to types of implant, crestal bone at oblique loading	12

국문요약

치조정 형태에 따른 scalloped 임플란트 주위 변연골의 유한요소법적 응력 분포

연구목적 : 본 연구에서는 치조정 형태에 따른 scalloped 임플란트와 flat-top 임플란트 주위 변연골 응력 분포를 유한요소법을 이용하여 비교, 분석하고자 한다.

연구재료 및 방법 : 2 종류의 악골을 모델링 하였다. 첫번째 악골은 볼록한(convex) 형태의 치조정이며, 두번째 악골은 편측으로 경사진(oblique) 치조정이다. 임플란트 주위의 골은 type II 골을 참고로 하여 2mm 두께의 피질골 하방에 해면골로 구성된 골을 3 차원적으로 형성했다. 사용된 임플란트는 직경 4.3mm, 길이 11.5mm 의 flat-top 임플란트인 Inplant[®](Warantec, Seoul, Korea)와 scalloped 임플란트인 Taeguekplant[®](Warantec, Seoul, Korea)를 사용하였다. 각각의 악골에 2 가지 임플란트를 식립하여 모두 4 개의 실험 모델을 만들었다. 골-임플란트 접촉율은 70%로 가정하고 100N 의 수직하중과 30° 의 경사하중을 가하였다.

실험결과 : 수직하중의 경우 응력 분포에 있어 flat-top 임플란트(Inplant[®])가 scalloped 임플란트(Taeguekplant[®])에 비해 높은 최대 등가 응력을 보였고 치조정 형태에 따른 최대 등가 응력은 볼록한 형태의 치조정에서 높은 경향을 보였다. 경사하중의 경우 수직하중에 비해 높은 최대 등가 응력을 보였지만 전체적인 경향은 수직하중과 유사하였다.

결론 : 치조정의 형태와 관계없이 scalloped 임플란트가 flat-top 임플란트에 비하여 균일한 응력 분산을 보였으며 인접면 변연골에도 균일한 응력이 가해졌다. 경사진 치조정에 비해 볼록한 치조정에서 최대 등가 응력이 높았다. 경사 하중을 가한 경우 수직 하중을 가한 경우보다 최대 등가 응력이 컸다.

핵심되는 말 : scalloped 임플란트, 임플란트, 치조정, 유한 요소 분석

치조정 형태에 따른 scalloped 임플란트 주위 변연골의 유한요소법적 응력 분포

(지도교수 한중현)

연세대학교 대학원 치의학과

최 희 곤

I. 서론

P.I. Brånemark에 의해 osseointegration이라는 개념이 처음 도입된 후 임플란트의 발전은 치의학 전반에 걸쳐 많은 변화를 가져왔다. 특히 보철학 분야에서 임플란트를 이용한 치료는 장기간의 임상 연구 및 높은 성공률을 보이며 다양한 형태로 발전되었다(Albrektsson and Wennerberg, 2005). 하지만 임플란트가 구강 내에서 기능함에 따라 변연골의 소실이 일어났으며 이는 임플란트의 예후와 심미성에 큰 영향을 미쳤다(Schwartz-Arad et al., 2005). 따라서 임플란트 주위 변연골 소실의 원인 규명과 예방이 임플란트 연구의 중요한 주제가 되었다. 연구 결과 변연골 소실은 복합적인 것으로 보이며 그 중에서도 교합력과 변연골 소실간의 유의한 상관관계는 임상 연구(Quirynen et al., 1992)나 동물 실험(Isidor, 1996)에서 입증되고 있으며 이를 뒷받침하는 유한요소 분석 결과(Holmgren et al., 1998)도 보고되었다. Prendergast 등은 유한요소법적 연구에서 변연골에 가해지는 과부하는 미세손상을 초래하고 골 개형에 의해 미세균열이 치유되는 것보다 미세손상의 용합이 더 우세해 지면서 골이 파절되거나 소실될 수 있다고 하였다(Prendergast and Huiskes, 1996). Frost는 피질골에서 $3,000-4,000 \mu\epsilon$ 이상의 스트레인이 발생하면 미세손상과 골개형 사이의 부조화로 인하여 비가역적인 골손상을 야기하며 반대로 $100 \mu\epsilon$ 이하의 스트레인이 발생할 때도 disuse로 인한

골흡수를 초래할 수 있다고 하였다(Frost, 1994). 그러므로 변연골에 가해지는 응력을 분산시켜 적절한 범위의 스트레인 값을 유지하는 것이 골조직의 항상성(bone homeostasis) 유지에 매우 중요하다고 할 수 있다.

기존의 연구들에서는 응력 집중 현상으로 인한 골흡수에 초점을 맞췄다. 최근 연구 결과 내측 연결형 임플란트의 경우 피질골에 응력이 집중되기는 하지만 지대주와 고정체 간의 긴밀한 접촉으로 인해 고정체의 내부를 따라서 응력이 넓게 분산이 된다(Chun et al., 2006). 그러므로 과도한 응력으로 인한 골손상은 임플란트 디자인의 개선으로 어느 정도 극복이 되었으며 심미성이 요구되는 부위에서의 치간골과 치간유두의 흡수가 더욱 중요한 논쟁거리가 될 수 있다.

하지만 실제 임상에서 임플란트의 상부 형태가 flat-top인데 비해서 골의 형태는 편평하지 않은 경우가 많다. 대부분의 발치와 또는 드릴링한 후 변연골은 볼록(convex)하거나 경사진 형태(oblique)를 띠고 있으므로 임플란트 식립 깊이 결정에 어려움을 겪게 된다. 특히 전치, 소구치 부위에 발치 후 즉시 식립하는 경우 flat-top 임플란트는 인접면 부위의 나사산이 치조체에 상당 부분 잠기게 된다. 즉 인접면 부위에 임플란트와 접하지 않는 free bone이 형성되며 Frost에 의하면 이러한 골조직은 disuse로 인한 atrophy가 발생할 가능성이 있다(Frost, 1994).

Wöhrle은 고정체 상부를 잔존 치조체의 형태에 맞춰 디자인한 내측 연결형의 NobelPerfect® 임플란트 시스템을 소개하였다(Wöhrle, 2003). Noelken과 Khatami 등은 NobelPerfect® 임플란트의 우수한 경조직, 연조직의 보존을 보고하였지만(Khatami et al., 2006; Noelken et al., 2007) Nowzari, Ostman 등은 기존의 flat-top 임플란트에 비하여 성공률이 낮고 골흡수량도 크다고 보고하였다(Nowzari et al., 2006; Ostman et al., 2007). NobelPerfect®의 경우 현재는 사용이 되지 않고 있으며 반대 그룹의 연구들에서는 임플란트 디자인에 문제가 있는 것으로 판단하였다(Nowzari et al., 2008).

이에 따라 임플란트 디자인에 대한 연구가 진행되었고 미세나사산과 rough surface를 부여한 scalloped 임플란트가 개발되었다. 여러 가지 형태의 상부 구조를 가진 scalloped 임플란트를 비교한 동물 실험에서 미세나사산을 가지는 scalloped 임플란트가 가장 좋은 결과를 보였다(Park et al., 2010). Choi 등은 동

물 실험에서 미세나사산을 가진 scalloped 임플란트가 기존의 flat-top 임플란트에 비해 인접면 변연골을 유지하는데 효과적이라고 보고하였다(Choi et al., 2010).

하지만 아직까지 미세나사산을 가진 새로운 디자인의 scalloped 임플란트에 대한 연구는 많지 않다. 따라서 본 연구의 목적은 임상에서 흔히 접할 수 있는 잔존 치조제의 형태를 재현하고 새로운 디자인의 scalloped 임플란트와 기존의 flat-top 임플란트를 비교, 분석하는 것이다. 위와 같은 목적을 달성하고자 상부 보철물을 포함한 유한요소 모델링을 시행하여 응력 분포를 비교하고 교합력 적용 후의 변연골 변화를 유추하기로 하였다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 유한요소 모델

1) 임플란트 모델

두 종류의 임플란트 모델은 flat-top 임플란트인 Inplant[®] (Warantec, Seoul, Korea)와 scalloped 임플란트인 Taegeukplant[®] (Warantec, Seoul, Korea)와 이며 직경 4.3mm, 길이 11.5mm 이다(Fig.1). Inplant[®] (Warantec, Seoul, Korea)는 400 μm 간격의 수평적인 미세나사산을 가지고 있으며 Taegeukplant[®] (Warantec, Seoul, Korea)는 근원심은 400 μm , 순설측은 300 μm 간격으로 폐곡선 형태의 미세나사산을 가지고 있다. 2 가지 임플란트 모두 tapered body form 이며 내측연결형 구조이다.

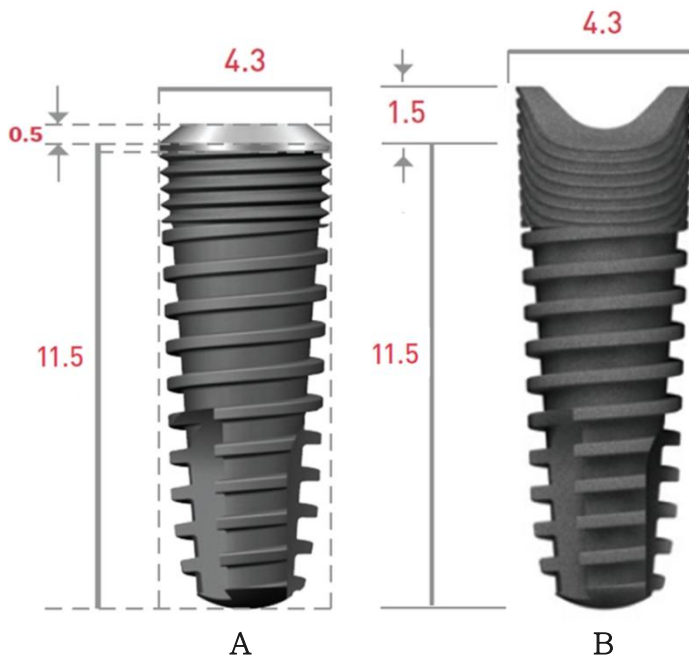


Fig. 1. Schematic presentation of implant types used in this analysis.

A : Flat-top implant (Inplant[®]), B : Scalloped implant (Taegeukplant[®])

2) 악골 모델

실험 형상은 NX 7.0(Siemens AG, Germany)으로 디자인하고, ABAQUS 6.6 (HKS,Inc., USA)으로 preprocessing, postprocessing 후 해석하였다.

악골과 임플란트의 기하학적 형상을 타내었다(Fig. 2, Fig. 3). 악골은 2 가지를 모델링 하였고 임플란트는 모두 치조정에 수직으로 식립되는 것을 가정하였다. 골 모형의 크기는 근원심으로 20mm, 협설측으로 15mm, 높이가 20mm 로 설정하였다. 악골의 형상적 특성이 변연골의 응력 분포에 미치는 영향을 배제하기 위하여 기저부는 15mm, 미세나사산이 시작되는 부위는 8mm 로 설정하였다. 첫번째 악골은 치조정이 볼록한(convex) 형태이며, 두번째 악골은 편측으로 경사진(oblique) 치조정이다. 임플란트 주위의 골은 Lekholm 과 Zarb 의 분류(Lekholm and Zarb, 1985) 중 전치, 소구치부의 평균적인 type II 골을 참고로 하여 2mm 두께의 피질골 하방에 해면골로 구성된 골을 3 차원적으로 형성하였다(Chun et al., 2006). 이를 모든 분석 모델에 동일하게 적용하였다.

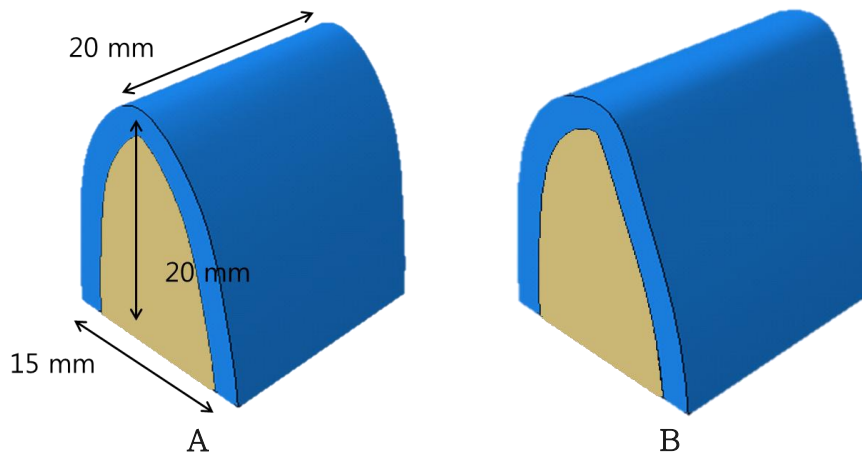


Fig. 2. Schematic presentation of jaw bone.

A : Convex crestal bone

B : Oblique crestal bone

실험 모델은 총 4 가지로 Inplant[®]와 볼록한 치조정 (I-C model), Taegukplan t[®]와 볼록한 치조정 (T-C model), Inplant[®]와 경사진 치조정 (I-O model), Taeg

ukplant[®]와 경사진 치조정 (T-O model)이다(Fig. 3). 모든 실험 모델의 미세나사산 상부는 피질골에 위치한다. I-C, I-O, T-O 모델에는 임플란트와 접하지 않는 피질골이 존재한다. Inplant[®]가 식립된 I-C, I-O 모델은 인접면에 임플란트와 접하지 않는 피질골이 존재하며 미세나사산의 하부는 해면골과 접하는 부위도 있다. T-O 모델은 치조정의 설측에 임플란트와 접하지 않는 free bone 이 존재하며 미세나사산의 하부는 I-C, I-O 모델의 경우와 마찬가지로 해면골과 접하는 부위도 있다.

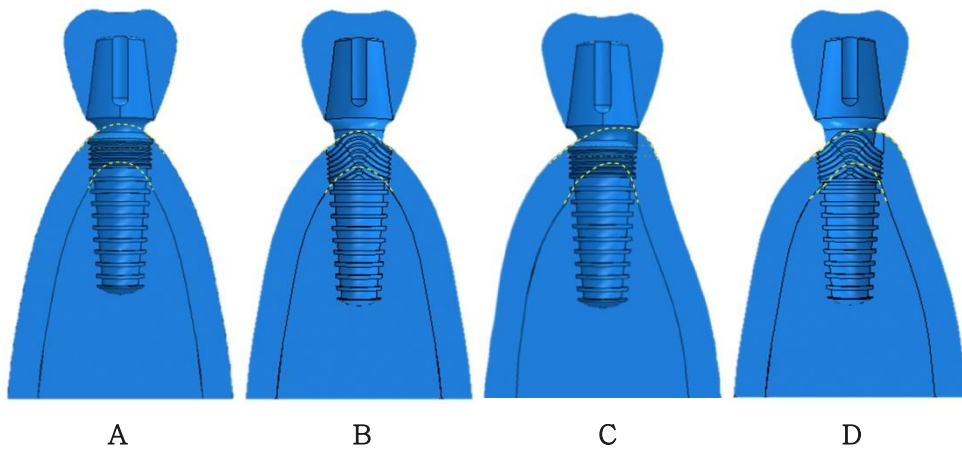


Fig. 3. Schematic presentation of experimental models including bone,implant complex.

A : Flat-top implant (Inplant[®]) - Convex crestal bone (I-C model)

B : Scalloped implant (Taegeukplant[®]) - Convex crestal bone (T-C model)

C : Flat-top implant (Inplant[®]) - Oblique crestal bone (I-O model)

D : Scalloped implant (Taegeukplant[®]) - Oblique crestal bone (T-O model)

3) 상부 보철물

임플란트로 지지하는 소구치 치관을 3 차원적 모델로 재현하였다(Fig. 4). 상부 보철물은 solid abutment 로 제작한 금관이며 지대주의 높이는 치은부 1mm, 치관부 6mm 로 총 7mm 높이이다. 보철물의 높이는 협설 폭경 7.5mm, 교합-치은 간 거리 8mm 로 설정하였다. 지대주와 금관, 지대주 나사와 임플란트 연결 부위

는 완전 결합을 이루는 것으로 가정하여 실험을 단순화시켰다(Lim et al., 2010).

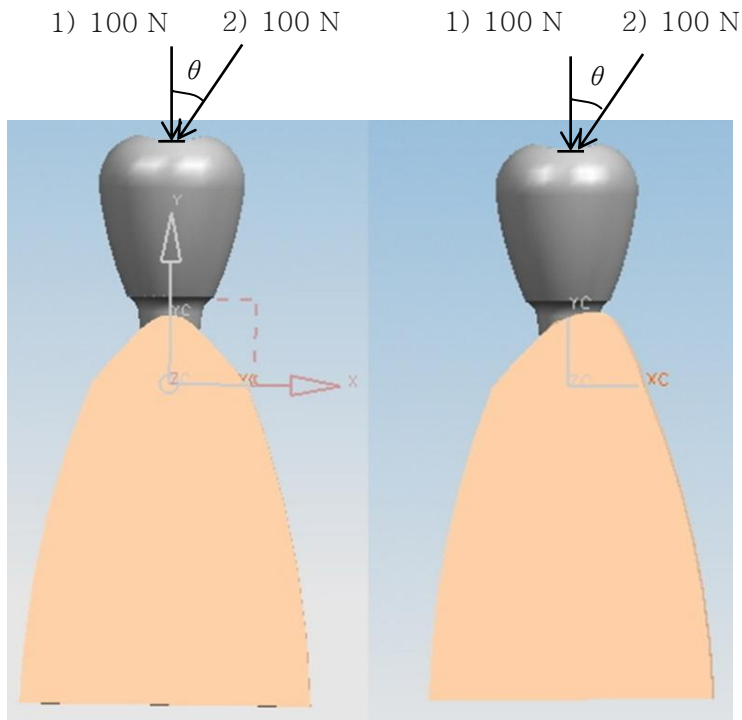


Fig. 4. Schematic presentation of 3D model including the crown, implant.

- 1) Vertical load 100N
- 2) Oblique load 100N

2. 임플란트-골 계면 디자인

임상적인 상황을 재현하고자 골-임플란트 접촉율을 70%로 가정하였다(Nkenke et al., 2003). 골유착이 된 계면(osseointegrated interface)과 골유착이 되지 않은 계면(non-osseointegrated interface)으로 나누었다. 골유착이 된 계면은 임플란트 전체 길이에 대해 무작위 섞기 방식(random shuffle method)으로 골접촉을 시켰다(Deng et al., 2008; Lian et al., 2010). 유착 되지 않은 계면(non-osseointegration interface)은 임플란트와 골 사이의 약간의 변위를 허용

하며 즉시하중을 가할 때 쓰이는 마찰계수($\mu=0.3$)를 이용하여 마찰접촉(frictional contact)을 가정하였다(Huang et al., 2008; Mellal et al., 2004).

3. 재료 물성치

실제적으로 피질골과 해면골은 이방성이고 모든 재질은 불균일하나 실험의 단순화를 위해서 연구에 사용된 임플란트, 피질골, 해면골, 금관은 등방성, 동질성, 선형 탄성 재료로 가정하였다. 물성치는 기존의 유한 요소 분석 연구 논문과 제조 회사의 자료에 기초를 두고 결정하였다(Table 1) (Chun et al., 2006).

Table 1. Mechanical properties of the materials.

Materials	Young's modulus(GPa)	Poisson's ratio
Titanium grade ELI(Abutment)	113.8	0.34
Titanium grade IV(Fixture)	114.0	0.37
Compact bone	14.0	0.30
Spongeous bone	1.5	0.30
Crown(gold)	95	0.30

4. 경계 조건과 하중 조건

경계조건으로 치근단 쪽은 완전 고정되고 근원심측으로는 양쪽 말단의 수직 평면내에서 골의 변위가 가능한 In-plane 조건을 부여하였다(Yoo et al., 2011). 하중조건으로는 수직하중에 대한 영향과 수평하중 성분에 의해 발생하는 모멘트(moment)에 대한 영향을 서로 비교하기 위해 θ 가 0° 인 100N의 수직하중과 30° 인 100N의 경사하중을 가하였다(Fig. 4).

Ⅲ. 연구 결과

연구에서의 모든 결과는 등가응력(effective equivalent stress)으로 표현되었으며, 상대적 비교의 편리성을 도모하기 위하여 계산된 등가응력을 특정한 값으로 선정하여 단계별 색상으로 표시하였으며 결과치마다 응력값의 범위는 다르다. Fig. 5, 6, 7, 8 은 임플란트의 종류 및 치조정의 형상과 하중조건에 따라 발생하는 응력분포를 나타낸다.

수직하중의 경우(Fig. 5, 6) 피질골에서는 전반적으로 flat-top 임플란트(Inplant[®])가 scalloped 임플란트(Taegukplant[®])에 비해 높은 최대 등가 응력을 보였고 치조정 형태에 따른 최대 등가 응력은 볼록한 형태의 치조정에서 더욱 높았다. 해면골에서는 큰 차이를 보이지 않았다(Table 2).

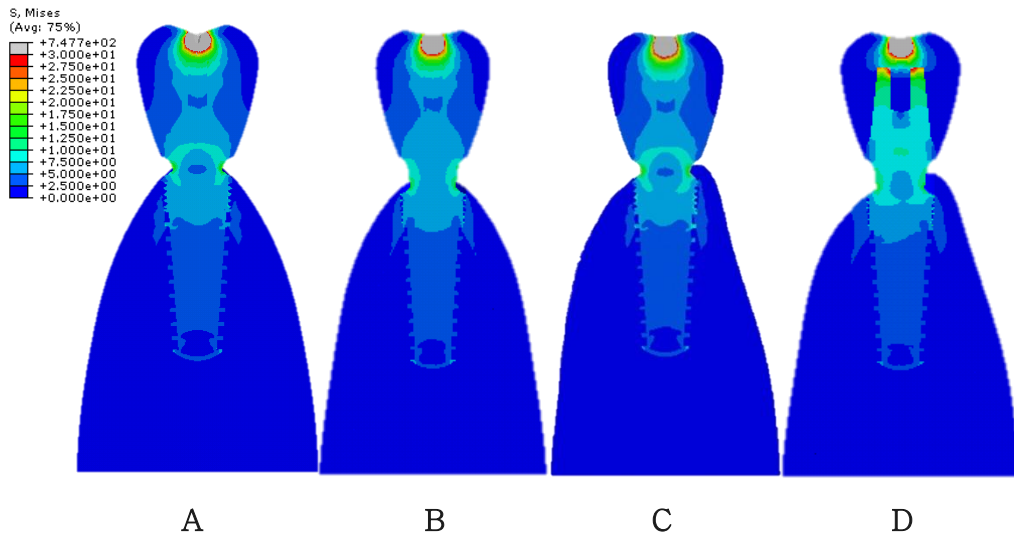


Fig. 5. Effective stress distribution under a 100N vertical load

A : Flat-top implant (Inplant[®]) - Convex crestal bone (I-C model)

B : Scalloped implant (Taegukplant[®]) - Convex crestal bone (T-C model)

C : Flat-top implant (Inplant[®]) - Oblique crestal bone (I-O model)

D : Scalloped implant (Taegukplant[®]) - Oblique crestal bone (T-O model)

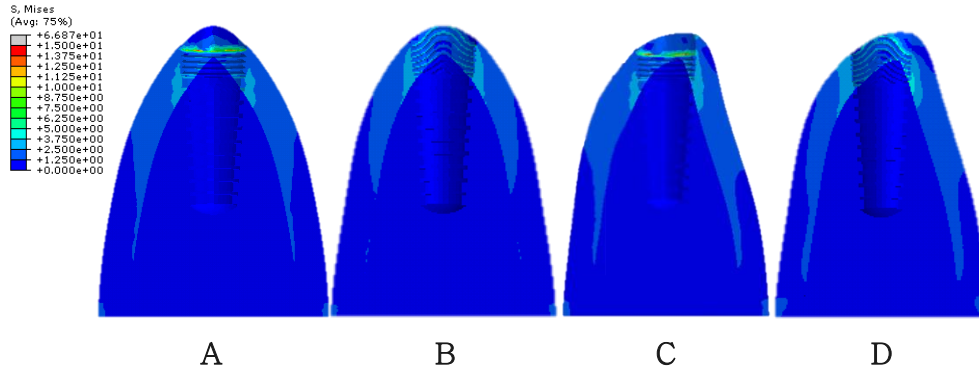


Fig. 6. Effective stress distribution under a 100N vertical load(Removal of implant-abutment assembly)

A : Flat-top implant (Inplant[®]) - Convex crestal bone (I-C model)

B : Scalloped implant (Taegeukplant[®]) - Convex crestal bone (T-C model)

C : Flat-top implant (Inplant[®]) - Oblique crestal bone (I-O model)

D : Scalloped implant (Taegeukplant[®]) - Oblique crestal bone (T-O model)

Table 2. Maximum effective stress on bone due to types of implant, crestal bone at vertical loading(MPa)

Group	Compact bone	Spongeous bone
A (I-C)	66.87	0.90
B (T-C)	14.58	1.26
C (I-O)	48.79	1.22
D (T-O)	11.31	1.63

경사하중의 경우(Fig. 7, 8) 수직하중이 가해진 경우보다 높은 최대 등가 응력을 보였다. 수직하중과 비슷한 양상을 보였으며 scalloped 임플란트에서 낮은 등가 응력을 보였다. 치조정의 형태에 따른 등가 응력도 편측으로 경사진 형태에서 더 낮았다. 해면골에서의 응력 분포 차이는 수직하중과 마찬가지로 미미한 정도였다(Table 3).

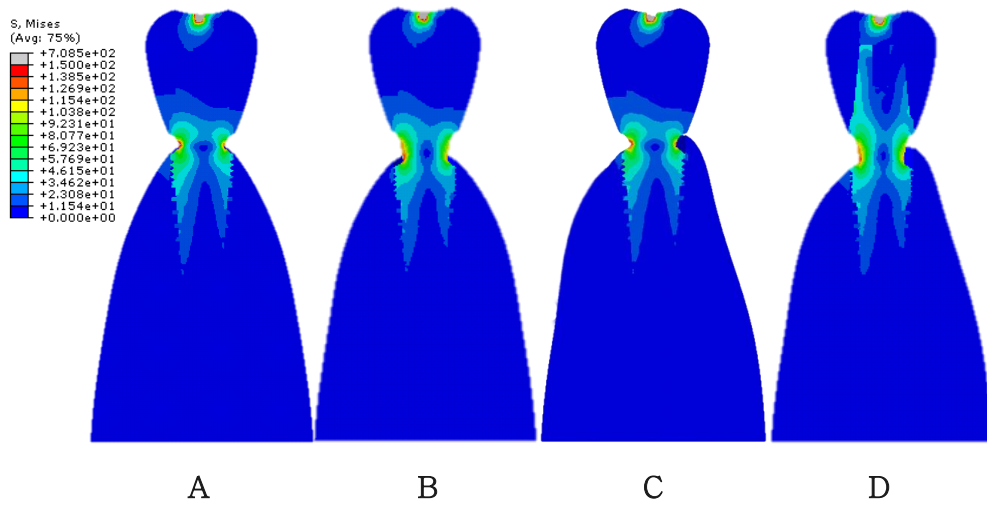


Fig. 7. Effective stress distribution under a 100N oblique load

A : Flat-top implant (Inplant[®]) – Convex crestal bone (I-C model)

B : Scalloped implant (Taageukplant[®]) – Convex crestal bone (T-C model)

C : Flat-top implant (Inplant[®]) – Oblique crestal bone (I-O model)

D : Scalloped implant (Taageukplant[®]) – Oblique crestal bone (T-O model)

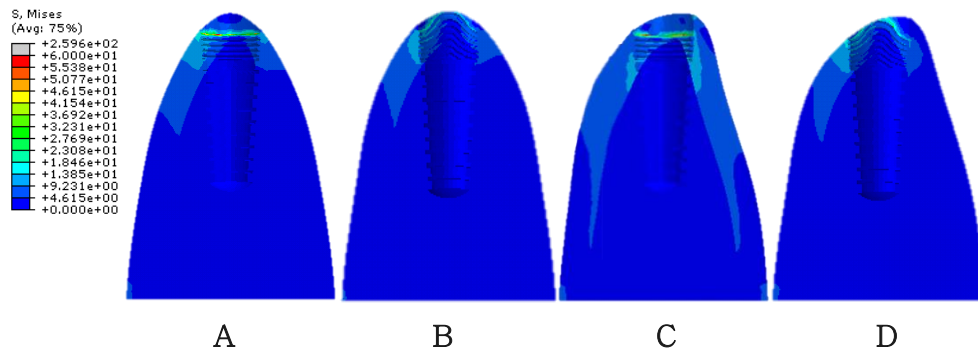


Fig. 8. Effective stress distribution under a 100N oblique load (Removal of implant-abutment assembly)

A : Flat-top implant (Inplant[®]) – Convex crestal bone (I-C model)

B : Scalloped implant (Taageukplant[®]) – Convex crestal bone (T-C model)

C : Flat-top implant (Inplant[®]) – Oblique crestal bone (I-O model)

D : Scalloped implant (Taageukplant[®]) – Oblique crestal bone (T-O model)

Table 3. Maximum effective stress on bone due to types of implant, crestal bone at oblique loading (MPa)

Group	Compact bone	Spongeous bone
A (I-C)	81.26	1.56
B (T-C)	54.21	2.18
C (I-O)	58.32	1.44
D (T-O)	34.61	1.63

IV. 총괄 및 고찰

임상적으로 전치, 소구치 부위는 구치부에 비하여 치조정의 형태가 편평하지 않고 볼록한 형태 또는 경사진 경우가 많으며 피질골의 두께도 1-2mm로 얇다. 기존의 flat-top 임플란트는 고정체를 노출시키지 않으려면 인접면은 치조정보다 깊게(subcrestal level) 식립을 해야 하며 이후 임플란트와 접하지 않은 골조직은 점진적인 흡수가 일어난다(Pontes et al., 2008). Choi 등은 골조직에 가해지는 부수적인 응력이 골흡수 예방에 중요한 역할을 한다고 하였다(Choi et al., 2012). Wöhrle이 소개하였던 NobelPerfect® (Nobel biocare, Sweden) 임플란트는 내측 연결형 구조를 가지며 변연골의 형태에 맞춘 임플란트 경부 디자인을 가지고 있었다. 하지만 상부 미세나사산의 부재와 표면 처리 문제, 식립 깊이 결정의 모호함으로 좋지 않은 임상 결과를 보였다(Nowzari et al., 2006).

이후 임플란트 디자인의 연구와 개발이 거듭되었고 Choi 등과 Park 등은 미세나사산을 가지는 scalloped 임플란트의 인접면 변연골 유지 가능성을 보고하였다(Choi et al., 2010; Park et al., 2010). Scalloped 임플란트에서 미세나사산의 역할은 명확히 밝혀지지 않는 않지만 골접촉 면적을 늘리고 골조직에 가해지는 인장 응력과 전단 응력을 압축응력으로 변환시킨다는 점에서 flat-top 임플란트와 유사할 것으로 보인다. 본 연구에서 사용된 scalloped 임플란트인 Taegeukplant® (Warantec, Seoul, Korea)는 conical platform이며 폐곡선 형태의 미세나사산을 가지고 있다.

본 연구에서는 골-임플란트 접촉률을 임상적 상황과 유사하게 설정하였다. Lian 등, Coelho 등의 연구(Coelho et al., 2009; Lian et al., 2010)에서 밝혀진 것으로 골-임플란트 접촉율은 100%가 될 수 없지만 대부분의 유한요소 분석에서 실험의 단순화를 위하여 100%로 가정한다. 하지만 본 실험에서는 골-임플란트 접촉율을 임상적으로 성공적인 골유착 기준으로 언급되는 70%로 설정하였다(Nkenke et al., 2003). 골유착이 된 계면은 임플란트와 골을 부착시켰으며 유착되지 않은 계면은 마찰계수($\mu = 0.3$)를 이용하여 변위를 허용하였다. 각 계면은

기존의 문헌(Deng et al., 2008; Lian et al., 2010)에서 사용한 임플란트 길이 전체에 대하여 무작위로 섞는 방식(random shuffle method)으로 부착시켰다.

악골에 매식된 고정체에 수직 하중과 30°의 경사 하중을 가하였고 매식된 골조직에 발생하는 등가응력을 표현하였다. 대부분의 실험 모델의 경우 여러 문헌에서 밝혀진 바와 같이 피질골에서 높은 등가응력이 발생하며, 치밀골을 지나 해면골에서는 등가응력이 감소하게 되는 경향을 보인다(Chun et al., 2006). 해면골에 가해지는 최대 등가 응력은 0.9-2.18MPa로 모든 경우에 있어 차이가 크지 않지만 피질골에 가해지는 최대 등가 응력은 임플란트의 종류와 치조정의 형태에 따라 다양한 양상을 보인다.

수직 하중의 경우 치조정의 형태와 관계없이 flat-top 임플란트(Inplant®)에 비해 scalloped 임플란트(Taegeukplant®)가 낮은 최대 등가 응력을 보였고 고정체 상부의 미세나사산을 따라서 응력이 골고루 분산되었다. 이는 기존의 문헌과 일치하는 결과로 scalloped 임플란트는 인접면 부위에 치조정의 형태를 따라 1.5mm의 proximal wing이 있어 골과 접촉하는 고정체의 면적이 넓기 때문인 것으로 보인다(Choi et al., 2012). 치조정 형태에 따른 응력 분포를 보면 볼록한 형태의 치조정에서 편측으로 경사진 치조정에 비하여 높은 등가 응력을 보였다. 이는 고정체를 노출시키지 않는 범위에서 치조정 형상을 모델링 했기 때문에 골조직의 양이 편측으로 경사진 치조정에서 더 많아 응력 분산 효과가 높아진 것으로 보인다. 추후 이와 같은 요소에 대해 더욱 심도 있게 연구해야 할 필요가 있다.

I-C, I-O 모델에서 flat-top 임플란트는 임플란트와 접하지 않는 인접면 변연골에서 약 0-6Mpa의 등가응력을 보였다. Vaillancourt 등이 언급한 disuse atrophy를 막기 위한 최소 응력인 1.6MPa보다 낮은 응력이 작용한 부위가 존재한다(Vaillancourt et al., 1995, 1996). 본 실험에서 설정한 100N은 전치부의 최대 저작력(maximum biting force)이고 기능적 저작력(functional chewing force)은 100N보다 낮으므로 인접하는 자연치가 존재하지 않거나 임플란트간 거리가 멀 때 disuse atrophy가 발생할 수 있다(Simsek et al., 2006). T-C 모델에서 scalloped 임플란트와 접한 인접면 변연골에 가해지는 응력은 6-16MPa이므로 골조직의 항상성을 유지할 수 있는 적절한 수치라고 할 수 있다. T-O 모델의 경

우에는 scalloped 임플란트와 접한 인접면 변연골에는 적절한 응력이 가해졌으나 임플란트와 접하지 않은 설측 치조정의 일부에서는 낮은 응력이 발생하였다.

경사 하중의 경우 하중의 수평성분에 의해 발생하는 모멘트(moment)의 영향으로 높은 등가 응력을 보였다. 해면골에 가해지는 응력 분포는 큰 차이를 보이지 않았지만 피질골에 가해지는 응력은 차이를 보였다. I-C 모델에서는 81.26MPa의 최대 등가 응력을 보였고 이는 피질골의 생리적 개형에 대한 허용 수준인 56MPa를 초과하였으므로 변연골의 흡수가 일어날 수 있다. 이에 비해 T-C 모델에서 scalloped 임플란트는 54.21MPa의 최대 응력을 보여 적절한 자극을 받는다고 볼 수 있으며 이전 연구 결과와도 비슷한 경향을 보인다(Choi et al., 2012). 편측으로 경사진 치조정에서는 조금 더 낮은 수치를 보여 I-O와 T-O 모델이 각각 58.32MPa, 34.61MPa였으며 변연골 유지에 큰 문제가 되지 않을 것으로 보인다. 인접면 변연골의 응력 분포에 있어서도 수직하중과 마찬가지로 flat-top 임플란트가 접하지 않는 free bone에는 응력 수준이 낮았다. T-O 모델의 경우 설측 치조정 일부에는 낮은 응력이 가해졌으나 인접면 변연골에는 미세나사산을 따라 응력 분산이 적절하게 이루어졌다.

본 연구에 사용된 유한요소법에서 고려해야 할 점은 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 만든 구조물들의 형상이 실제와 완전하게 동일하지 않다는 것이다. 본 연구에서는 실험의 편의성을 위해 해면골과 피질골을 등방성, 동질성, 선형 탄성 재료로 가정하였다. 또한 편측으로 경사진 형태의 치조정 모델링 시에 전체적인 골의 양이 더 많아졌다. 고정체를 노출시키지 않는 범위에서 악골을 형상화하였기 때문인 것으로 생각되며 임플란트 주위 골의 양도 정량적으로 평가해야 한다.

위와 같은 경사진 치조정의 형태를 고려한 임플란트에 관한 연구도 이뤄져야 한다. 최근에 개발된 OsseoSpeed™ Profile implant(Dentsply)는 고정체 상부가 oblique한 형태를 가지고 있으며 임상 연구가 진행 중이다. 치조정 형태와 임플란트 디자인의 상관성에 관한 심도 있는 연구가 필요하다.

V. 결론

유한 요소 분석을 이용해 치조정의 형태에 따른 scalloped 임플란트의 변연골 응력분포를 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 볼록한 형태의 치조정과 편측으로 경사진 치조정에서 scalloped 임플란트가 flat-top 임플란트에 비해 균일한 응력 분산을 보였다.
2. 치조정의 형태와 관계없이 scalloped implant 가 flat-top implant 에 비해 최대 등가 응력이 낮았다.
3. 볼록한 형태의 치조정에서 편측으로 경사진 치조정에 비해 최대 등가 응력이 컸다.

이상의 결과를 토대로 볼록한 형태의 치조정과 편측으로 경사진 치조정에서 scalloped 임플란트는 flat-top 임플란트와 비교하여 응력 분산에 있어 효과적이라고 판단되며 특히 인접면 변연골에 균일한 응력을 가한다. 추후 새로운 디자인의 scalloped implant에 대한 장기간의 기초 및 임상 연구가 필요하리라 사료된다.

참고문헌

- Albrektsson T, Wennerberg A: The impact of oral implants - past and future, 1966-2042. *J Can Dent Assoc* 71: 327, 2005.
- Choi KS, Lozada JL, Kan JY, Lee SH, Kim CS, Kwon TG: Study of an experimental microthreaded scalloped implant design: proximal bone healing at different interimplant distances in a canine model. *Int J Oral Maxillofac Implants* 25: 681-689, 2010.
- Choi KS, Park SH, Lee JH, Jeon YC, Yun MJ, Jeong CM: Stress distribution on scalloped implants with different microthread and connection configurations using three-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 27: e29-38, 2012.
- Chun HJ, Shin HS, Han CH, Lee SH: Influence of implant abutment type on stress distribution in bone under various loading conditions using finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 21: 195-202, 2006.
- Coelho PG, Marin C, Granato R, Suzuki M: Histomorphologic analysis of 30 plateau root form implants retrieved after 8 to 13 years in function. A human retrieval study. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 91: 975-979, 2009.
- Deng B, Tan KB, Liu GR, Lu Y: Influence of osseointegration degree and pattern on resonance frequency in the assessment of dental implant stability using finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 23: 1082-1088, 2008.
- Frost HM: Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. *Angle Orthod* 64: 175-188, 1994.
- Holmgren EP, Seckinger RJ, Kilgren LM, Mante F: Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis--a two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. *J Oral Implantol* 24: 80-88, 1998.
- Huang HL, Hsu JT, Fuh LJ, Tu MG, Ko CC, Shen YW: Bone stress and interfacial sliding analysis of implant designs on an immediately loaded maxillary implant: a non-linear finite element study. *J Dent* 36: 409-417, 2008.
- Isidor F: Loss of osseointegration caused by occlusal load of oral implants. A clinical and

- radiographic study in monkeys. *Clin Oral Implants Res* 7: 143-152, 1996.
- Khatami AH, Al-Ajmi M, Kleinman A: Preservation of the gingival architecture with the scalloped implant design: a clinical report. *J Oral Implantol* 32: 167-170, 2006.
- Lekholm U, Zarb G: *Tissue-integrated Prosthesis: Osseointegration in clinical dentistry*. Quintessence: 199-209, 1985.
- Lian Z, Guan H, Ivanovski S, Loo YC, Johnson NW, Zhang H: Effect of bone to implant contact percentage on bone remodelling surrounding a dental implant. *Int J Oral Maxillofac Surg* 39: 690-698, 2010.
- Lim J-Y, Cho J-H, Jo K-H: Influence of crestal module design on marginal bone stress around dental implant. *J Korean Acad Prosthodont* 48: 224-231, 2010.
- Mellal A, Wiskott HW, Botsis J, Scherrer SS, Belser UC: Stimulating effect of implant loading on surrounding bone. Comparison of three numerical models and validation by in vivo data. *Clin Oral Implants Res* 15: 239-248, 2004.
- Nkenke E, Lehner B, Weinzierl K, Thams U, Neugebauer J, Steveling H, et al.: Bone contact, growth, and density around immediately loaded implants in the mandible of mini pigs. *Clin Oral Implants Res* 14: 312-321, 2003.
- Noelken R, Morbach T, Kunkel M, Wagner W: Immediate function with NobelPerfect implants in the anterior dental arch. *Int J Periodontics Restorative Dent* 27: 277-285, 2007.
- Nowzari H, Chee W, Yi K, Pak M, Chung WH, Rich S: Scalloped dental implants: a retrospective analysis of radiographic and clinical outcomes of 17 NobelPerfect implants in 6 patients. *Clin Implant Dent Relat Res* 8: 1-10, 2006.
- Nowzari H, Yi K, Chee W, Rich SK: Immunology, microbiology, and virology following placement of NobelPerfect scalloped dental implants: analysis of a case series. *Clin Implant Dent Relat Res* 10: 157-165, 2008.
- Ostman PO, Hellman M, Albrektsson T, Sennerby L: Direct loading of Nobel Direct and Nobel Perfect one-piece implants: a 1-year prospective clinical and radiographic study. *Clin Oral Implants Res* 18: 409-418, 2007.
- Park YS, Lee SP, Han CH, Kwon JH, Jung YC: The microtomographic evaluation of marginal bone resorption of immediately loaded scalloped design implant with various microthread configurations in canine mandible: pilot study. *J Oral Implantol* 36: 357-362, 2010.

- Pontes AE, Ribeiro FS, da Silva VC, Margonar R, Piattelli A, Cirelli JA, et al.: Clinical and radiographic changes around dental implants inserted in different levels in relation to the crestal bone, under different restoration protocols, in the dog model. *J Periodontol* 79: 486-494, 2008.
- Prendergast PJ, Huiskes R: Microdamage and osteocyte-lacuna strain in bone: a microstructural finite element analysis. *J Biomech Eng* 118: 240-246, 1996.
- Quirynen M, Naert I, van Steenberghe D: Fixture design and overload influence marginal bone loss and fixture success in the Branemark system. *Clin Oral Implants Res* 3: 104-111, 1992.
- Schwartz-Arad D, Herzberg R, Levin L: Evaluation of long-term implant success. *J Periodontol* 76: 1623-1628, 2005.
- Simsek B, Erkmen E, Yilmaz D, Eser A: Effects of different inter-implant distances on the stress distribution around endosseous implants in posterior mandible: a 3D finite element analysis. *Med Eng Phys* 28: 199-213, 2006.
- Vaillancourt H, Pilliar RM, McCammond D: Finite element analysis of crestal bone loss around porous-coated dental implants. *J Appl Biomater* 6: 267-282, 1995.
- Vaillancourt H, Pilliar RM, McCammond D: Factors affecting crestal bone loss with dental implants partially covered with a porous coating: a finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants* 11: 351-359, 1996.
- Wohrle PS: Nobel Perfect esthetic scalloped implant: rationale for a new design. *Clin Implant Dent Relat Res* 5 Suppl 1: 64-73, 2003.
- Yoo D-K, Kim S-K, Koak J-Y, Kim J, Heo S-J: Effect of bone-implant contact pattern on bone strain distribution: finite element method study. *J Korean Acad Prosthodont* 49: 214-221, 2011.

Abstract

Effect of scalloped design implant on stress distribution
according to the contour of crestal bone
: finite element method study

Hee-gon Choi

Department of Prosthetic Dentistry
The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Chong Hyun Han, DDS, MSD, Ph.D.)

Statement of problem : The widely used dental implant is flat-top type. However, the contour of alveolar crest observed in clinical situation is usually scalloped or bucco-lingually inclined, resulting in the development of scalloped implant that fits into the contour of alveolar crest.

Purpose : The purpose of this paper is to analyze the effect of scalloped design implant on the stress distribution of marginal bone according to alveolar contour by using finite element method.

Material and methods : Two types of alveolar bone were modeled. The first bone model had convex contour of alveolar crest and the second, bucco-lingually inclined alveolar crest. The bone surrounding implants was based on type II bone, consisted of cancellous bone at the lower part of 2mm thick cortical bone in three dimensional way. The flat-top implant, Inplant[®] (Warantec, Seoul, Korea) and the scalloped implant, Taegukplant[®]

(Warantec, Seoul, Korea) of 4.3 mm diameter and 11.5mm height were used. Four experimental models were designed by installing two types of implants into each bone model. The bone-implant contact ratio was hypothesized as 70% and vertical load and 30° oblique load of 100N was applied.

Results : In case of vertical load, the flap top Implant showed higher maximum equivalent stress than scalloped implant. The maximum equivalent stress according to the contour of crestal bone displayed higher tendency in convex alveolar contour.

As for oblique load, it showed higher maximum equivalent stress than the vertical load but had similar results in overall.

Conclusion : The scalloped implant displayed more suitable stress distribution and also the more appropriate stress was applied on the proximal marginal bone regardless of contour of crestal bone. The maximum equivalent stress according to the contour of crestal bone displayed higher tendency in convex alveolar contour. Compared to vertical load, the oblique load demonstrated increased size of maximum equivalent stress but had a similar tendency in overall

Key Words : scalloped implant, implant, bone crest, finite element analysis