임플란트 고정체의 나사산 형태와 하중조건에 따른 응력분석

조선대학교 치과대학 보철학교실, 구강생물학연구소

안옥주·정제옥·김창현·강동완

Finite Element Stress Analysis of the Implant Fixture According to the Thread Configuration and the Loading Condition

Ouk-Ju Ahn, D.D.S., M.S.D. Ph.D., Jai-Ok Jeong, D.D.S., M.S.D., Chang-Hyun Kim, D.D.S.,M.S.D., Dong Wan Kang, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics & Institute of Oral Biology, College of Dentistry, Chosun University

The purpose of this study was to compare the v-shape thread with the square shape thread of fixture in the view of stress distribution pattern using finite element stress analysis.

The finite element model was designed with the parallel placement of two standard fixtures(4.0 mm diameter × 11.5 mm length) on the region of mandibular 1st and 2nd molars. Three dimensional finite element model was created with the components of the implant and surrounding bone.

This study simulated loads of 200 N at the central fossa in a axial direction (load A), 200 N at the buccal offset load that is 2 mm apart from central fossa in a axial direction (load B), 200 N at the buccal offset load that was 4 mm apart from central fossa in a axial direction (load C). These forces of load A',B',C' were applied to a 15° inward oblique direction at that same site with 200 N. Von Mises stress values were recorded and compared in the supporting bone, fixture, and abutment screw.

The following results have been made based on this study :

1. The highest stress concentration occurred at the cervical region of the implant fixture.
2. Von Mises stress value of off-site region was higher than that of central fossa region.
3. Square shape thread type showed more even stress distribution in the vertical and oblique force than V-shape thread type.
4. Stress distribution was the most effective in the case of buccal offset load (2, 4 mm distance from central fossa) in the square shape thread type.
5. V-shape thread type revealed higher von Mises stress value than square shape thread type in all environmental condition.

The results from numerical analyses concluded that square shape thread type had the lower destructive stress and more stress distribution between the fixture and bone interface than V-shape thread type. Therefore, square shape thread type was regarded as optimal thread configuration in biomechanical concepts.

임플란트 고정체의 나사산 형태와 하중조건에 따른 응력분석

조선대학교 치과대학 보철학교실, 구강생물학연구소

안옥주·정제옥·김창현·강동완

Ⅰ. 서 론

저작운동 시 하중이 가해지면 자연치의 치주인대는 완충 역할을 하게 되나, 임플란트의 경우는 인접골 주위로 직접 전달되기 때문에 과다한 하중이 잘못된 방향으로 작용되는 경우 임플란트-골 계면에 미세파절, 임플란트 파절 및 느슨함, 원치 않는 골의 흡수 등을 야기시킬 수 있다 [1].

따라서 임플란트와 골계면은 분산되지 않는 높은 응력에 의해 쉽게 손상될 수 있다는 점에서 응력발생에 영향을 미치는 생역학적인 요소에 대한 이해가 필요하다 [2,3]. 이러한 요소 중 나사산 형태도 응력발생에 영향을 미치는 요소로 간주되어 나사산 설계에 생체역학적 개념과 원리를 접목시켜 임상적인 성공을 증진시키는 고자[4] 나사산 형태로 삼각형 나사산 (Nobel Biocare, 3I, Paragon, Lifecore), 얇은 사각형 나사산 (IMTEC Sendax MDI) 및 사각형 나사산 (Bio-Horizons) 등이 보급되고 있지만 어떠한 나사산이 골반응에 따른 응력분산에 보다 유리한 것인 가에 대해서는 논란이 있어 왔다[5].

나사의 기하학적 형태는 나사 pitch, 깊이, 형태를 포함하며 이러한 기하학적 형태에 따라 임플란트에서 응력이 집중되는 현상을 이해하기 위해 나사산 모양, screw pitch, 임플란트 직경 및 경사 각도를 분석하는 것이 필요하다.

유한요소분석법은 임플란트와 치밀골과의 접촉부위 및 해면골에 접촉하는 임플란트 계면의 응력분포를 평가해 보기위한 중요한 도구로 사용되고 있으며, 또한 임플란트 설계시 특성에 따른 적합성 평가에도 응용되고 있다 [6,7].

따라서 본 연구는 삼각형의 나사산과 사각형의 나사산을 지닌 두개의 임플란트 고정체에 연결 고정된 상부 보철물을 제작하여 임플란트 고정체의 나사산 모양과 하중의 경사 각도에 따라 골융합 임플란트 주위로의 악골에서 응력분포가 달라지는 양상을 평가하고자 하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

1) 실험모형

본 연구의 모델은 하악골의 제 1, 2대구치 부분을

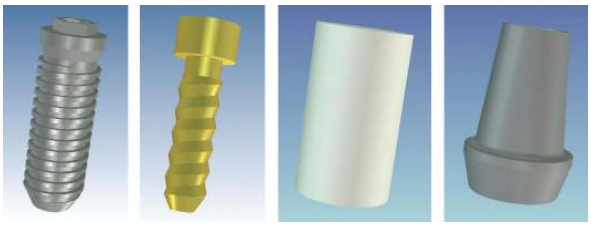


Fig. 1. The components of implant full body.

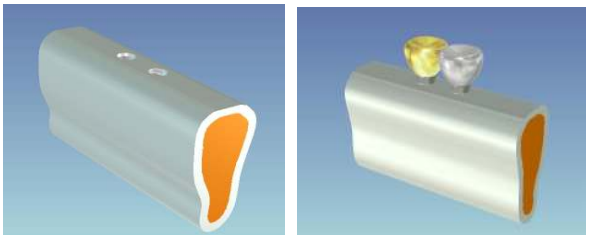


Fig. 2. The models of supporting bone and implant prosthesis.

제거하고 임플란트를 식립하여 수복하는 것을 대상으로 하였다. 제 1, 2 대구치를 포함한 전체 30 mm의 section을 채득하여 에폭시 레진에 매몰한 후 1 mm 간격의 절단두께로 자른 다음 전산화 단층 촬영하여 실제와 같은 삼차원적 구조재현을 위한 기초로 삼았다.

본 모델링에서는 지지골, 해면골, 임플란트 고정체, 지대주, 나사, 상부치관, 나사 입구를 채운 콤포지트 레진으로 나누어 구성하였다(Fig. 1). 하악골의 길이는 근원심으로 50 mm 폭경을 갖도록 하였으며 치밀골은 2 mm의 두께를 갖도록 처리하였고, 그 내부는 모두 해면골로 처리하였으며 하악 제 1, 2 대구치의 크기는 근원심 11 mm, 협설 10.5 mm, 높이 7.5 mm로 설정하였다(Fig. 2).

2) 유한요소 모델의 설계

본 연구에서는 하악 제 1, 2 대구치 각각 직경 4 mm의 나사형 임플란트 2개가 평행하게 식립되도록 모형을 제작하였고 나사형 임플란트의 나사산 단면은 삼각형태를 지닌 것과 사각 형태를 지닌 것으로 나누었다 (Fig. 3).

3) 하중조건

본 실험에서는 여섯 가지의 하중을 적용시켰다.

하중조건 A는 치관 중심에 200 N의 수직하중이 작용하도록 하였고, 하중조건 B는 치관 중심에서 협측으로 2 mm 떨어진 곳에 200 N의 수직하중이 작용하도록 하였으며, 하중조건 C는 치관 중심에서 협측으로 4 mm 떨어진 곳에 200 N의 수직하중이 작용되도록 하였다 (Fig. 4).

하중조건 A'는 치관의 중심에 협측방향에서 15°의 각도로 200 N 경사하중이 가해졌고, 하중조건 B'는 치관 중심에서 협측으로 2 mm 떨어진 곳에 15° 각도로 경사하중이 가해졌고, 하중조건 C'는 치관 중심에서 협측으로 4 mm 떨어진 곳에 15° 각도로 경사하중이 가해졌다 (Fig. 5).

4) 경계조건 (boundary condition)

하악골의 양쪽 모서리 부분의 절단면부분을 U_X, U_Y, U_Z 방향을 모두 구속하였고, 보철물과 임플란트 및 주변 골 조직에서 변형이 허용되도록 하였다. 임플란트 고정체는 골과 완전히 골 유착된 것으로 가정하였다. 모형의 물리적 특성은 재료의 기계적 특성이 균일하다는 균질성(homogenecity), 재료의 특성이 3방향으로 모두 동일하다는 등방성(isotropy), 구조의 변형이나 변위는 적용된 힘에 비례하고 변위 정도에는 무관심하다는 선형탄성(linear elasticity)을 갖는 것으로 가정하였다.

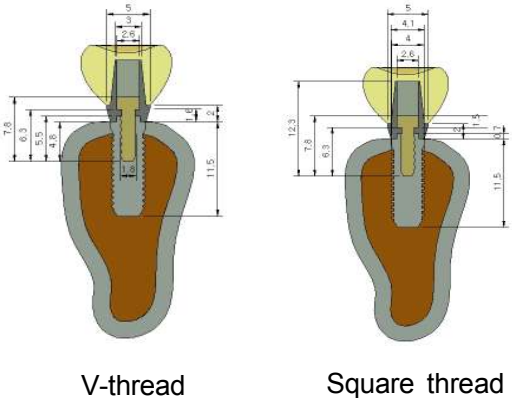


Fig. 3. Two-dimensional section of the full body (unit: mm).

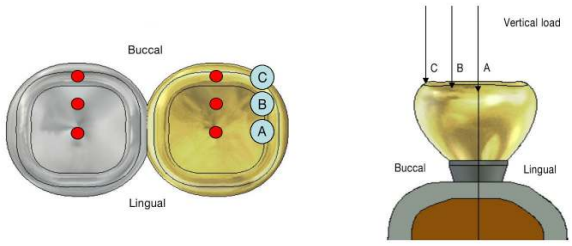


Fig. 4. Three axial loading condition.

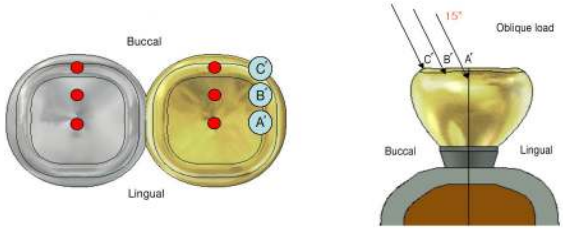


Fig. 5. Three oblique loading condition.

5) 물성치

설계된 모형의 유한요소해석(finite element analysis)을 수행하는데 필요한 재료의 물성치인 탄성계수(Young's modulus; E)와 포와송의 비(Poisson's ratio; υ)는 선학들의 자료를 참고하여 이용하였다 (Table 1).

2. 응력 분석

본 연구에서 삼차원 유한요소분석 프로그램인 EMRC NISA DISPLAY Version 12 (Engineering Mechanics Research Corporation, USA)를 이용하여 산출되는 여러 가지 응력값 중에서 등가응력(von Mises stress)을 기준으로 각 실험군에서의 응력 분포를 비교 분석하였다. 결과는 전체응력의 분포상태와 최대응력 집중부를 식별하기 위해 등가응력을 기준으로 응력의 크기에 따라 색도로 표시하였다.

Ⅲ. 연구성적

1. 피질골을 통해서 본 전체 모형의 응력분석 (Fig. 6, 7)

모형에서 고정체를 제외한 피질골 표면에 발생한 응력을 분석하였다.

200 N의 수직하중이 치관 중심에 가해진 하중조건에서, 두 나사산 모두 지지골과 고정체의 계면을 통해 피질골 전체로 응력이 분산되는 양상을 보였으며 특히 사각나사산의 경우 삼각나사산에 비해 응력의 분산이 우수해 피질골 전체로 넓게 퍼지는 양상을 보였다. 반면 같은 크기의 수직하중을 중심에서 협측으로 2 mm 떨어진 부위 및 4 mm 떨어진 부위에 가했을 경우에는 피질골로 분산되는 응력분포를 관찰할 수 없었다.

다음으로 200 N의 15° 경사하중을 가한 하중조건에서는 치관중심에서 협측으로 2 mm 벗어난 지점에 하중을 주는 경우가 치관중심 및 4 mm 벗어난 지점에 하중을 가한 경우에 비해 응력의 분산양상이 뚜렷하였고 특히 사각나사산의 경우 2 mm 벗어난 지점의 하중조건에서 피질골 전체로 퍼지는 응력분산효과가 가장 좋은 것으로 나타났다.

2. 임플란트 고정체에서의 응력분석 (Table 1, 2, Fig. 8, 9)

수직하중을 가한 하중조건에서는 고정체 나사산의 형태와는 관계없이 중앙부위에서 벗어날수록 치경부에 보다 높은 응력이 집중되는 양상을 보였고 하중의 반대편인 설측 치경부에도 응력이 함께 집중되었다.

나사산 형태에 따른 비교를 보면 사각나사산의 경우가 삼각나사산에 비교하여 최대 응력이 더 낮은 수치를 나타내어 치경부에 응력을 더 적게 받음을 알 수 있었다.

이로 미루어 볼 때, 중심에서 벗어난 부하를 받을수록 고정체와 그 주위 지지골에는 유해한 힘이 발

Table 1. Material properties in this study

Materials	Young's Modulus (MPa)	Possion's ratio
Cotical bone	13,000	0.30
Cancellous bone	9,500	0.30
Implant	115,000	0.35
Gold screw	98,000	0.45
Resin	9,700	0.35
Crown	66,600	0.33

Table 2. Maximum von Mises stress on the implant fixture under axial loading condition (unit: MPa)

	0 mm	2 mm	4 mm
V-thread	23.01	70.23	123.6
S-thread	20.27	61.04	104.0

Table 3. Maximum von Mises stress on the implant fixture under 15° oblique loading condition (unit: MPa)

	0 mm	2 mm	4 mm
V-thread	69.0	22.99	55.54
S-thread	59.41	22.19	29.28

생하게 되어 결과적으로 치경부의 나사풀림이나 지지골과 임플란트 계면의 안정성에도 영향을 미치게 되는 것으로 짐작할 수 있으며, 나사산의 비교에서도 사각나사산이 응력 분산에서 보다 유리한 형태임을 고려해 볼 수 있다.

수직하중에서와 동일한 크기의 15° 경사하중을 가한 조건에서는 두 나사산의 고정체 모두 2 mm 지점, 4 mm 지점, 중심와 순으로 커지는 응력값을 나타났으며 특히 사각나사산의 경우 삼각나사산과 비교하여 4 mm 지점의 하중감소효과가 뚜렷하게 나타나 경사하중이 주어진 조건에서도 분산효과가 더 좋은 것으로 나타났다.

3. 연결된 두 고정체의 근원심 단면에서 본 응력분석 (Fig. 10, 11)

치관중심에 수직력의 하중을 준 경우, 전방 고정체의 근심부 및 후방 고정체의 원심부 지지골과 고정체의 계면을 타고 해면골로 퍼지는 응력 분산양상을 보였으나 2 mm와 4 mm 지점의 하중조건에서는 고정체 자체의 최대 응력값이 큰 반면 해면골로의 분산양상은 발견할 수 없었다.

15° 경사하중을 준 경우, 치관중심에 가해진 하중조건과 4 mm 지점의 하중조건에서는 해면골로의 응력분산을 관찰할 수 없었으나 2 mm 지점의 하중조건에서는 고정체에서 해면골로 넓게 퍼지는 응력분산을 관찰할 수 있었다.

특히 사각나사산의 경우 고정체의 apex를 통한 응력분산 뿐 아니라 각 고정체 사이로 응력이 연결되어 분산되는 양상이 두드러지게 나타나 고정체의 연결효과가 더 크게 나타나는 것으로 보였다.

4. 각 고정체를 포함한 지지골의 협설단면을 통해 본 응력분석 (Fig. 12, 13)

두 나사산 모두 수직력이 가해진 경우, 중심에서 벗어날수록 하중의 위치와 같은 쪽의 치경부에 큰 응력이 집중되는 양상과 함께 반대쪽인 설측 치경부에도 힘의 생역학적 원리에 따른 하중이 집중되는 양상을 보였다.

15° 경사하중이 가해진 경우, 중심와 및 4 mm 지점의 하중조건에서는 힘이 가해진 쪽과 반대측인 설측에 큰 힘이 걸린 반면 2 mm 떨어진 지점에서는 응력집중도 감소하고 반대편인 설측의 응력도 크게 감소되는 양상을 나타내었다.

Ⅳ. 총괄 및 고안

3차원 유한요소분석을 통하여 임플란트 고정체의 나사산 형태와 하중방향 및 하중위치의 조건에 따른 지지골, 고정체, 지대주, 지대나사에 작용하는 응력을 분석 하였다.

1. 피질골을 통해서 본 전체 모형의 응력분석 (Fig. 6, 7)

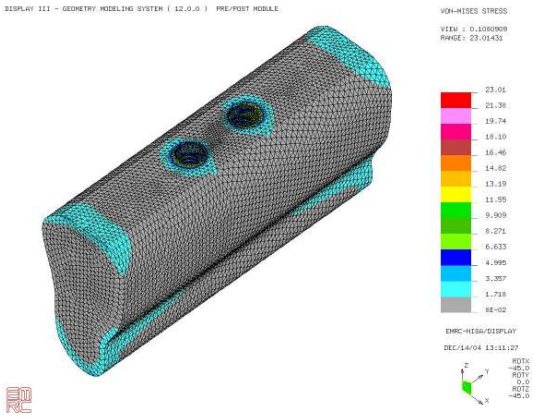
본 연구에서는 실험군으로 나사산의 형태를 두가지로 분류하여 비교하였다.

Geng [4,6] 등은 2차원 유한요소 분석을 통한 나사산 형태에 관한 실험에서 삼각나사산과 넓은 사각나사산이 응력분산에서 가장 적절한 형태라고 하였으며, Rieger[8] 등은 원통형 임플란트에서 표준형 삼각나사산보다 사각나사산 형태가 압축응력 분산에 더 적절하며 전단응력의 전이도 더 적다고 하였다.

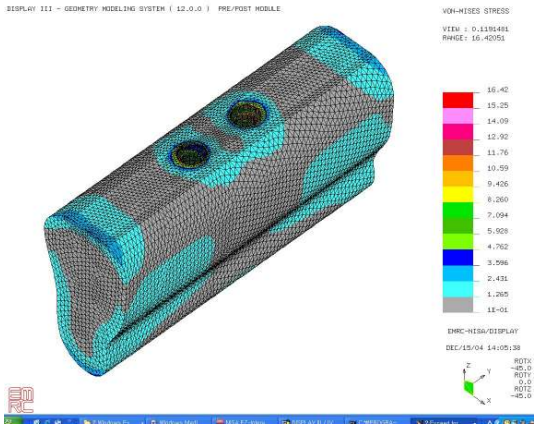
Fig. 6, 7에서 보듯이 피질골에서의 응력분포 양상을 볼 때 치관중심에 수직하중이 가해지는 조건일때는 삼각나사선에 비해 사각나사선이 보다 넓은 영역으로 응력이 분포되었으며 von Mises stress value의 최대응력 또한 더 낮게 기록되어졌다. 이는 사각나사선이 생역학적으로 보다 유리한 디자인임을 알 수 있다.

그러나 동일한 치관중심에 하중이 적용된다 하더라도 방향이 경사진 경우에는 삼각나사산과 사각나사산의 형태가 응력 분산에 크게 영향을 미치지 않았다. 15°의 경사하중이 가해질 때는 위치에 따른 응력분산을 볼 때 중심와에서 2 mm 협측으로 벗어난 경우가 다른 위치에 비해서 피질골 전체에 분포하는 응력이 훨씬 고르게 나타났으며 피질골 상부에 가해지는 응력도 더 적었다.

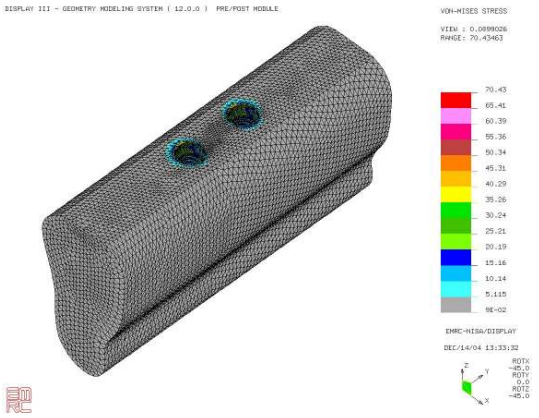
이러한 결과는 15° 경사하중이 가해지는 경우 2 mm 벗어난 위치가 교합면에 수직으로 가해지는 벡터로 작용되어 보다 유리한 결과를 낳는 것으로 추정되어진다. 여기서는 임플란트 고정체의 형태나 디자인보다는 치축의 중심에 수직인 하중이 가해지



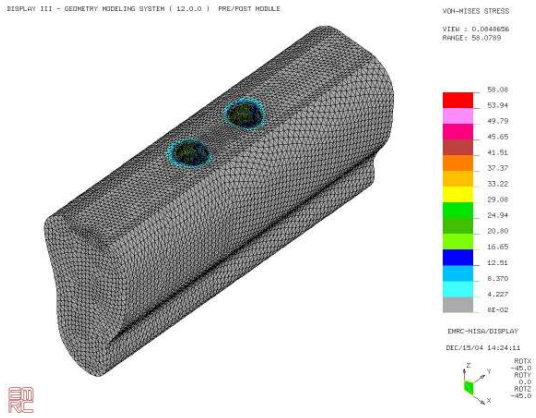
Load A



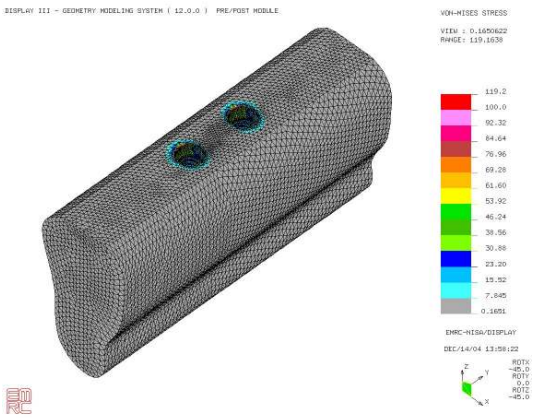
Load A



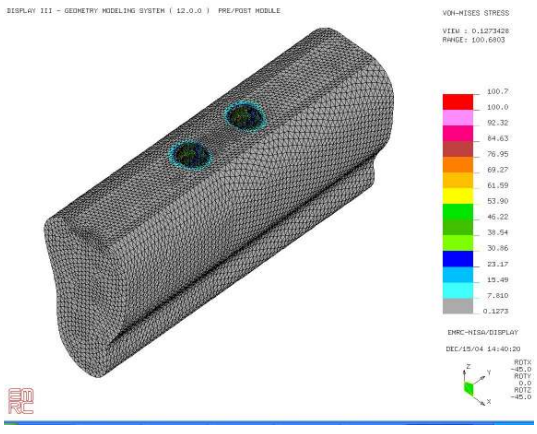
Load B



Load B



Load C

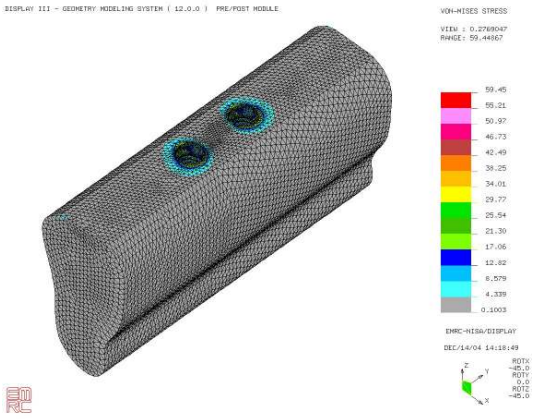


Load C

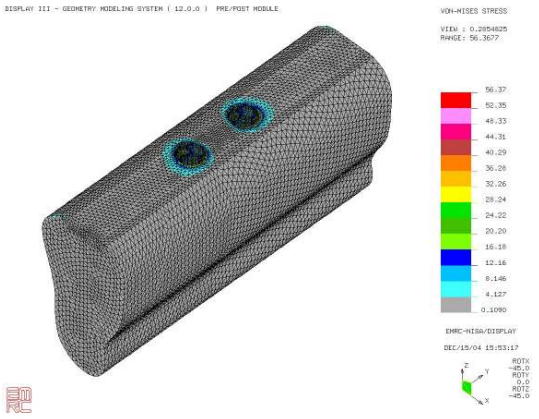
V-thread

Square-thread

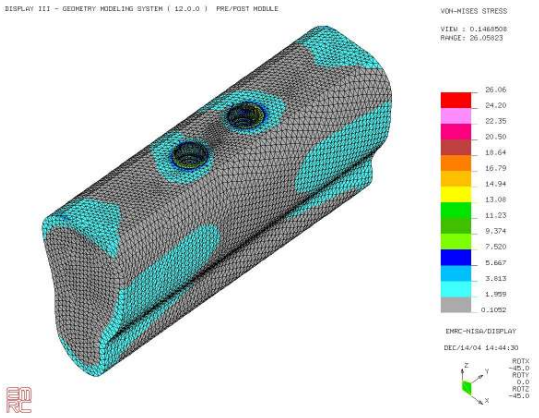
Fig. 6. The stress contours of supporting bone under axial loading conditoon A, B, C.



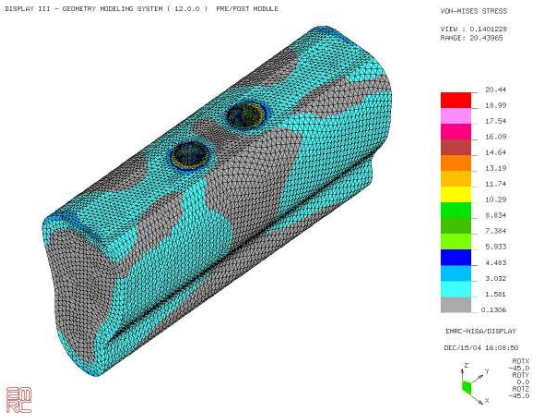
Load A´



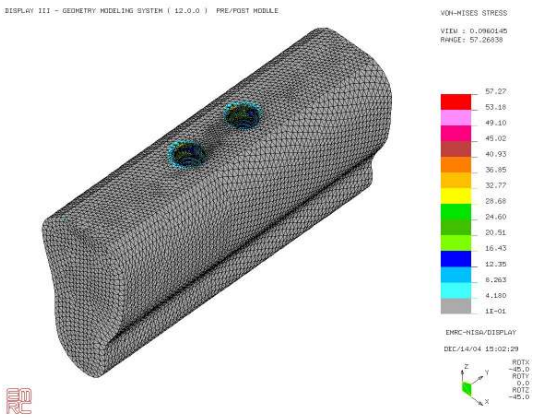
Load A´



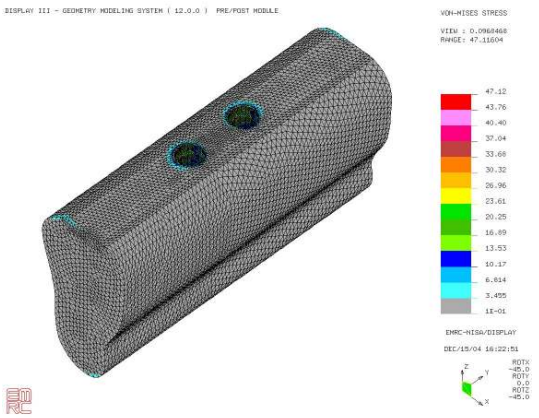
Load B´



Load B´



Load C´

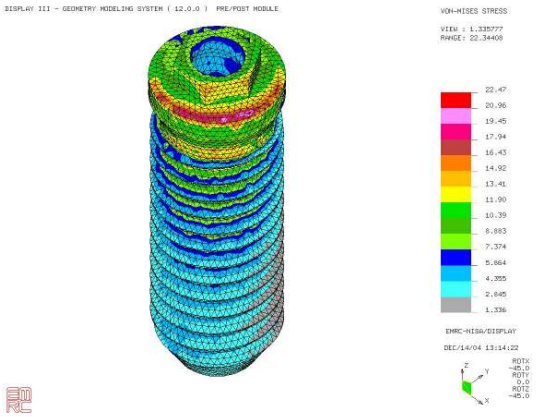


Load C´

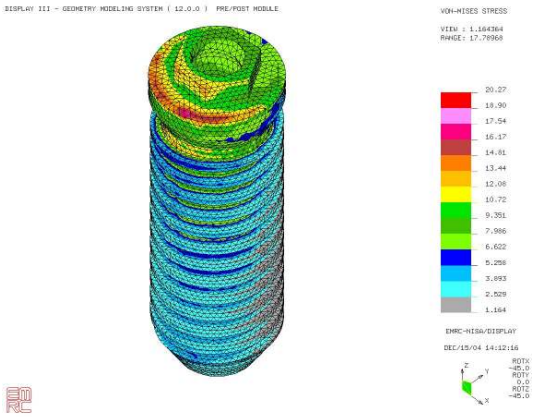
V-thread

Square-thread

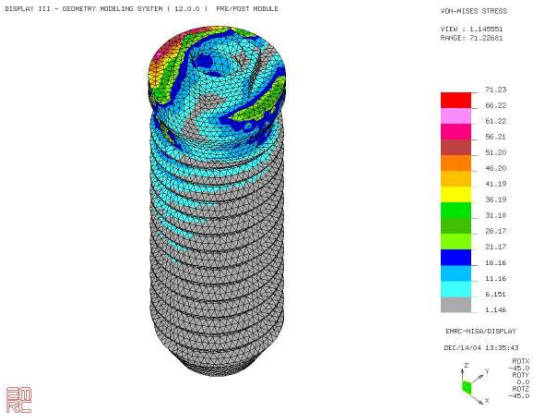
Fig. 7. The stress contours of supporting bone under oblique loading condition A´,B´,C´.



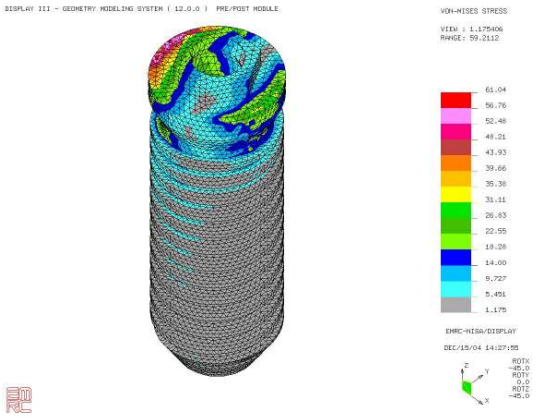
Load A



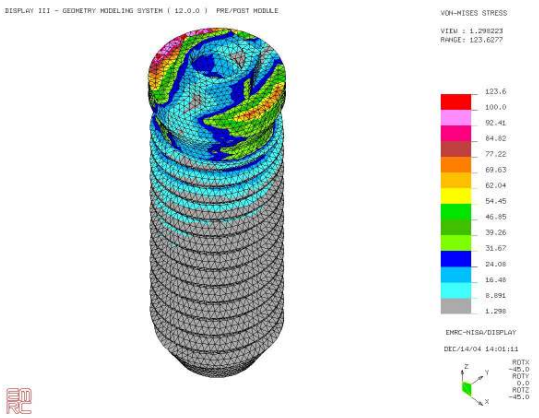
Load A



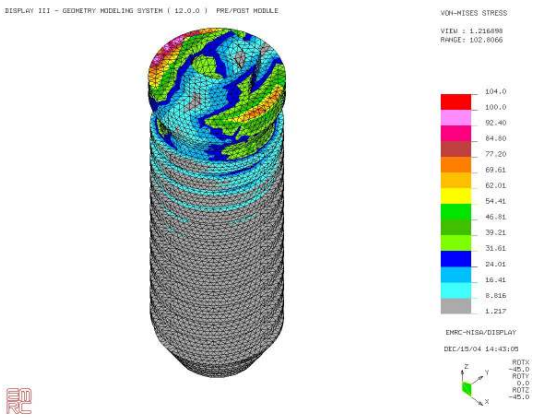
Load B



Load B



Load C



Load C

V-thread

Square-thread

Fig. 8. The stress contours of fixture under axial loading condition A, B, C(1st molar).

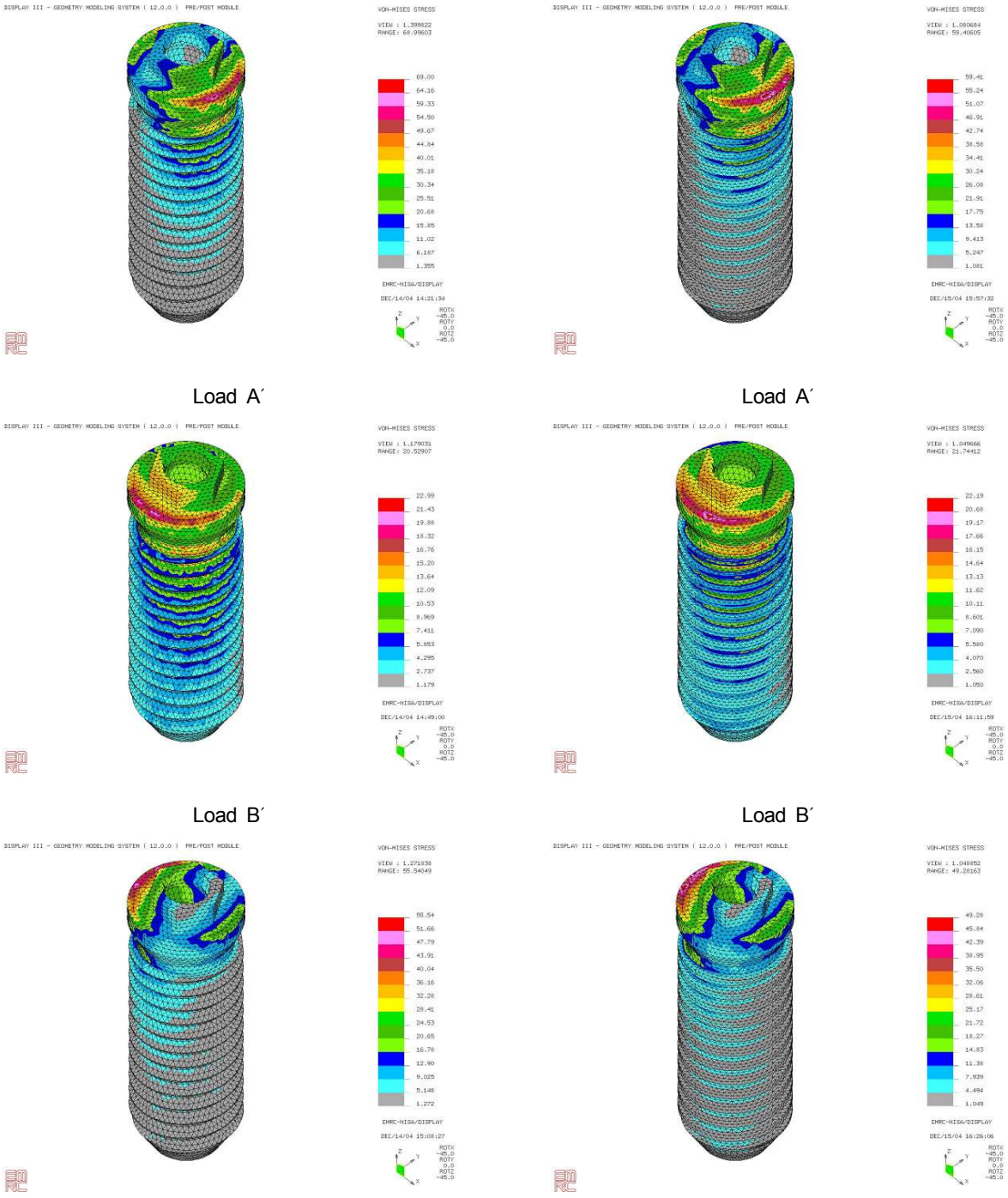
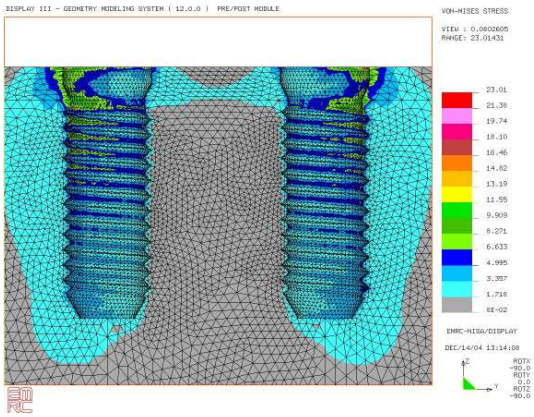
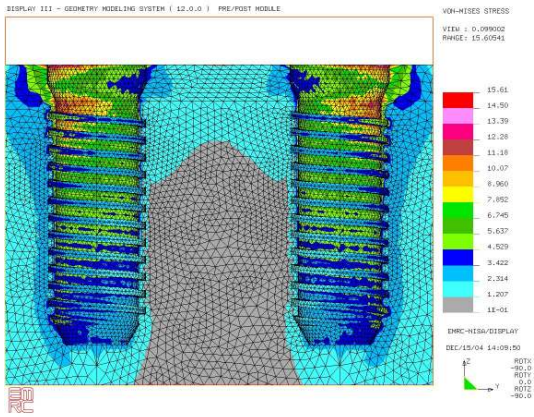


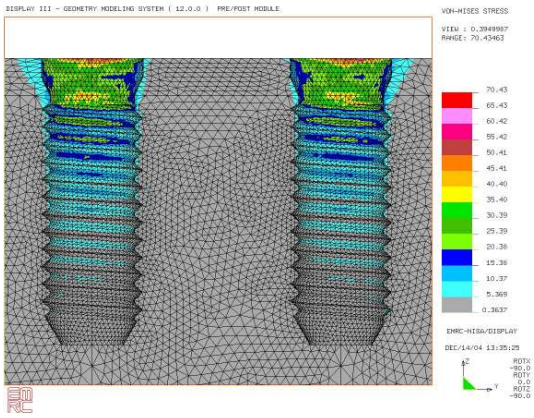
Fig. 9. The stress contours of fixture under oblique loading condition A′,B′,C′(1st molar).



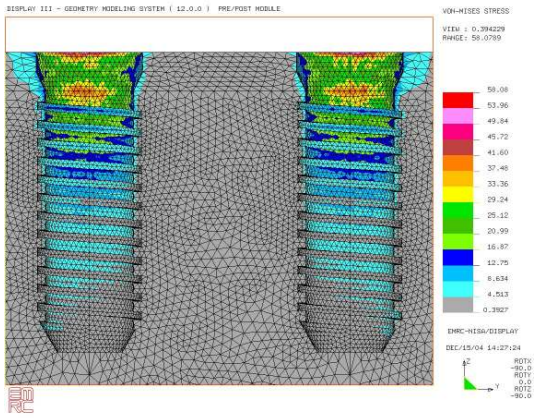
Load A



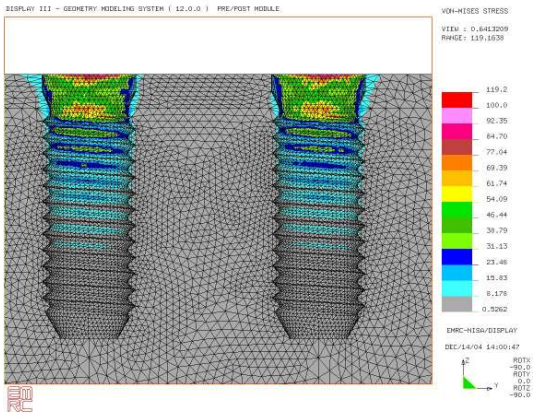
Load A



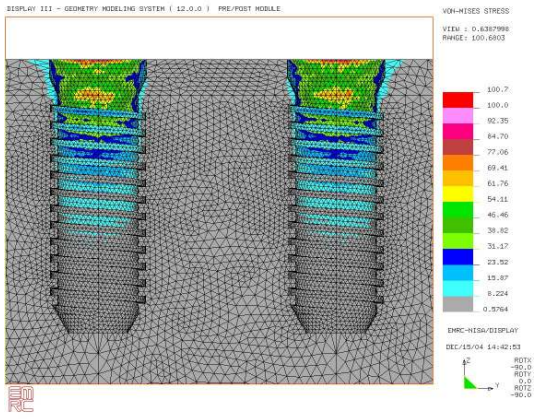
Load B



Load B



Load C



Load C

V-thread

Square thread

Fig. 10. The stress contours of mesio-distal view under axial loading condition A, B, C.

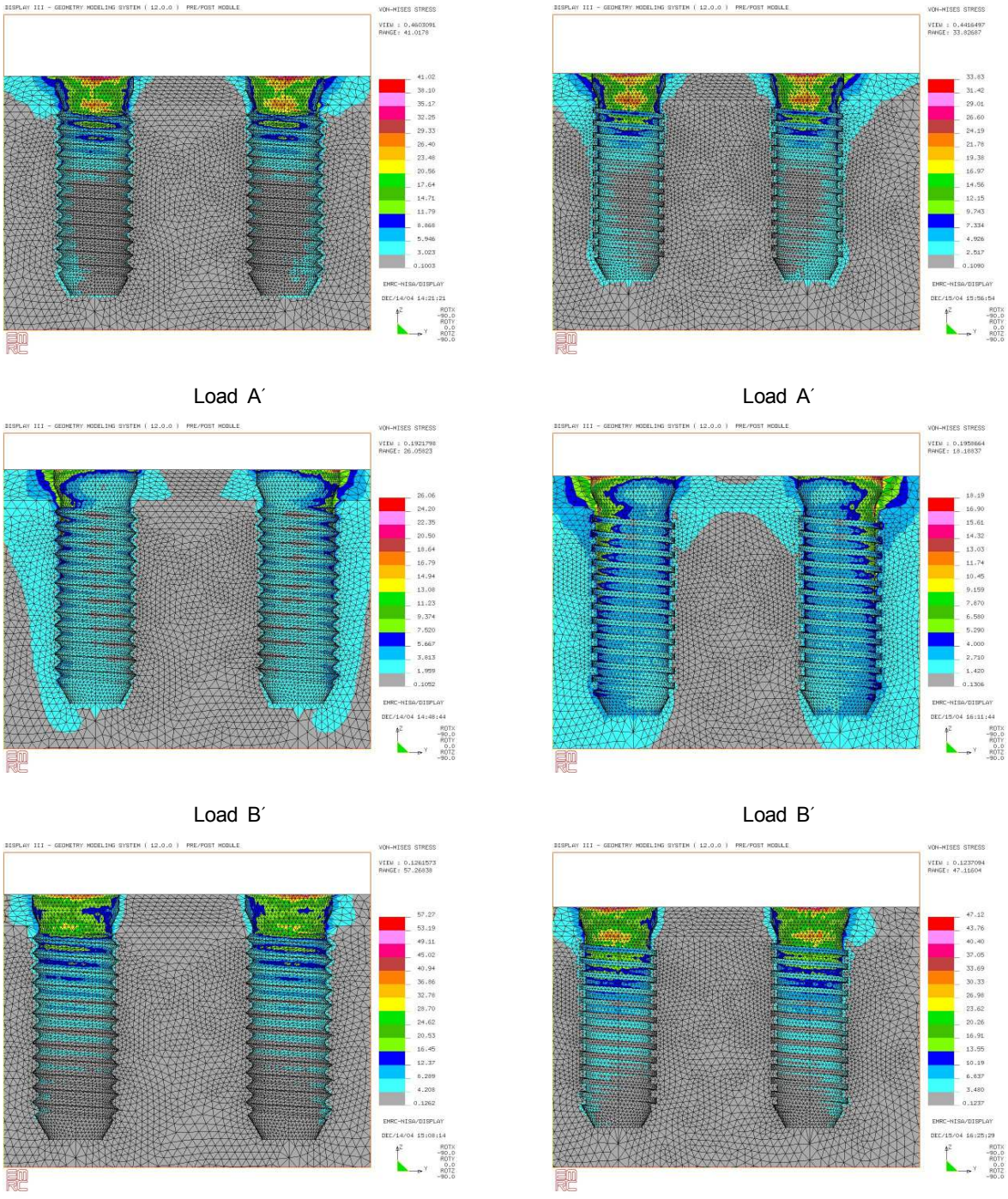
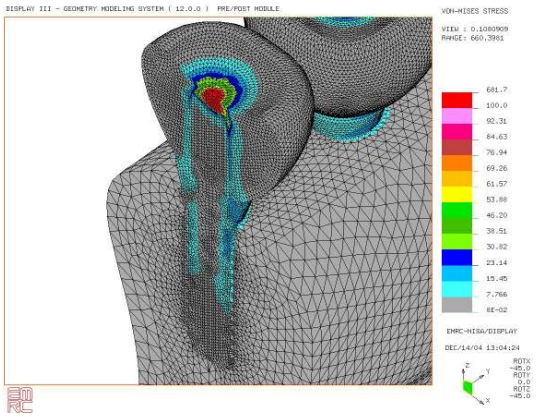
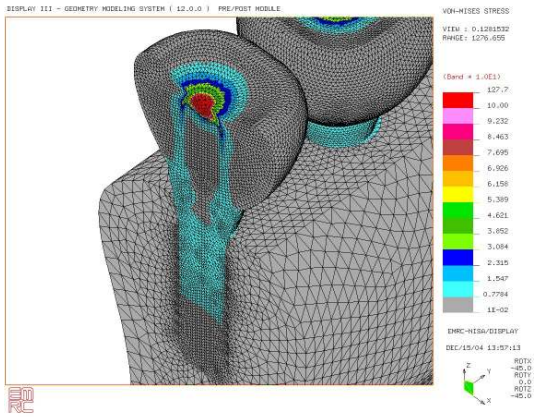


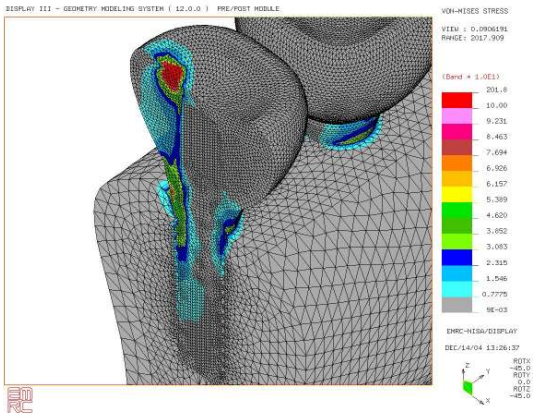
Fig. 11. The stress contours of mesio-distal view under oblique loading condition A′,B′,C′.



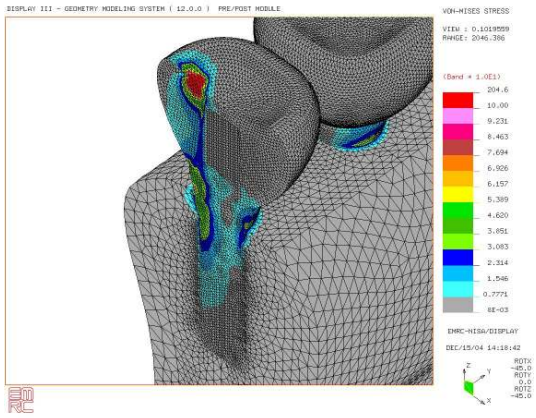
Load A



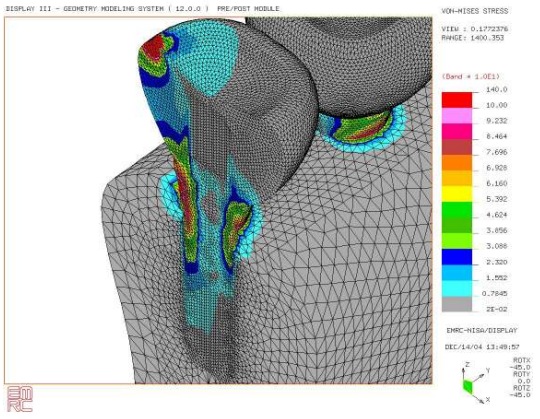
Load A



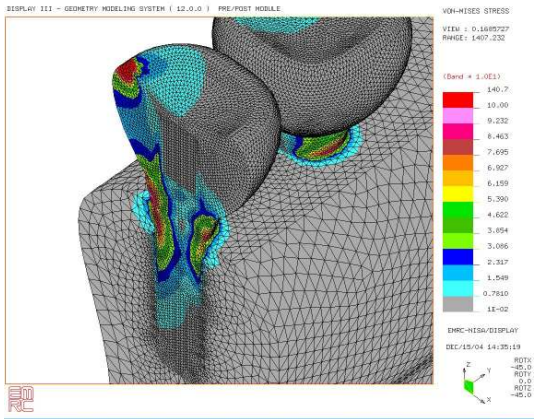
Load B



Load B



Load C

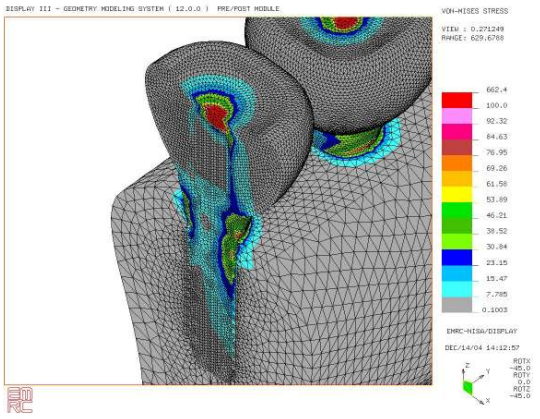


Load C

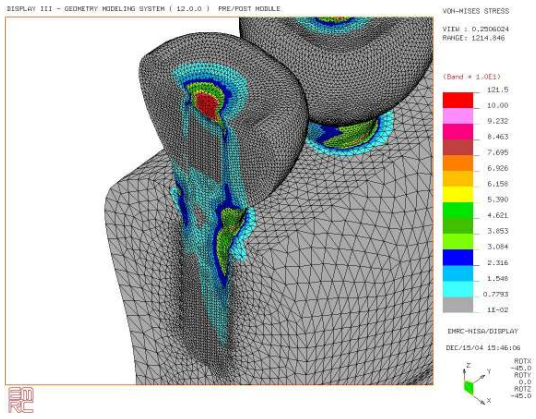
V-thread

Square-thread

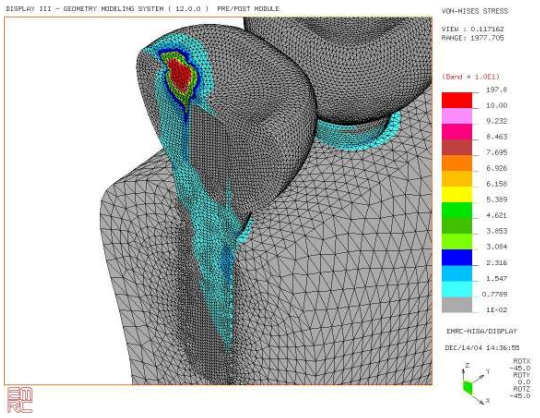
Fig. 12. The stress contours of bucco-lingual view under axial loading condition A, B, C (1st molar).



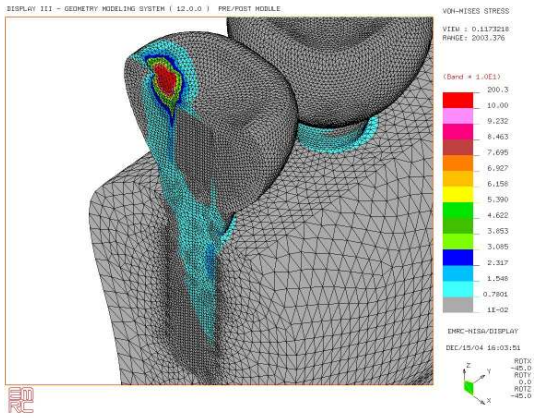
Load A′



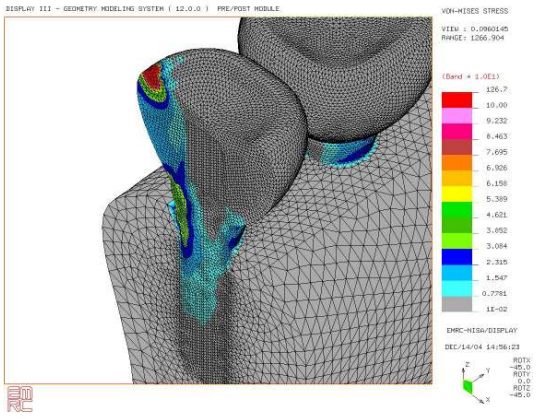
Load A′



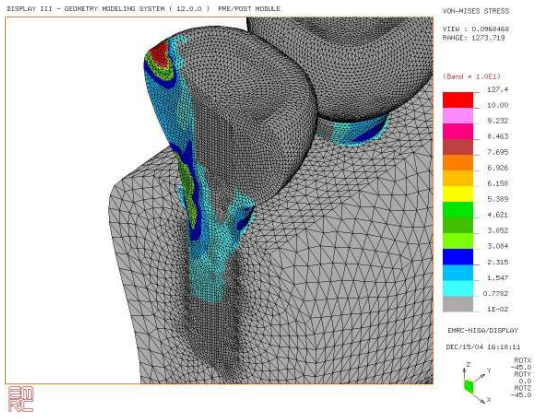
Load B′



Load B′



Load C′



Load C′

V-thread

Square thread

Fig. 13. The stress contours of bucco-lingual view under oblique loading condition A′,B′,C′(1st molar).

도록 상부 보철물을 설계하는 것이 보다 더 중요함을 알 수 있다.

2. 고정체에서의 응력분석 (Fig. 8, 9)

본 연구에서 임플란트 고정체에 집중된 응력을 비교해보면 가해지는 하중의 방향이나 하중조건에 상관없이 최대 응력수치는 삼각나사산보다 사각나사산에서 더 작은 것으로 나타났으며 특히 사각나사산은 삼각나사산과 비교하여 4 mm 지점의 하중감소효과가 뚜렷하게 나타나 경사하중에 대해서도 분산효과가 큰 것으로 나타났다. Chun[9] 등은 유한요소 분석에서 디자인 매개변수를 이용한 응력분석을 통해 경사하중이 가해진 경우 수직하중에서보다 유효응력 수치가 두 배 더 높았다고 하였으며 이를 통해 악골의 흡수 및 임플란트와 하악골사이 계면에서의 결합력을 더 감소시킨다고 예측하였다. 또한 유한요소분석을 통해 다른 디자인 보다 사각나사산을 갖는 디자인이 가장 좋은 응력분산을 나타내어 임플란트 고정체의 나사산 형태에 적합함을 제시하기도 하였다.

Weinberg 등[1]은 자연치는 수직 교합력이 치근단 1/3 부위에 위치하는 회전중심을 갖는 결과적인 힘의 선을 만들어내는데 비해서 임플란트는 미세운동이 존재하지 않아 치조정 높이에 회전중심을 가지며, 대부분의 힘의 분산은 임플란트의 면을 따라 분산 된다기 보다는 치조정에 집중된다고 하였다. Fig. 8, Fig. 9 에서 보듯이 하중조건에 관계없이 응력이 집중되는 양상을 보이는 것은 고정체의 상부가 치조정에 위치하여 회전중심으로 작용하기 때문인 것으로 사료된다.

한편 수직하중이 가해지는 경우, 하중위치가 중심에서 벗어날수록 치경부에 보다 높은 응력이 집중됨을 알 수 있었다. 이는 빗김 하중을 받을수록 골과 고정체에 유해한 힘이 발생되어 결과적으로 치경부의 나사풀림이나 골-임플란트 계면의 안정성에도 영향을 미칠 것으로 미루어 짐작할 수 있다.

3. 연결된 두 고정체의 근원심단면에서 본 응력분석 (Fig. 10, 11)

Geng [4,6] 등은 해면골에서 임플란트 고정체와의 계면에서의 응력분포는 나사산의 형태에 관련이 있음을 보고한 바 있으며 사각나사산이 좀 더 큰 디자인과 삼각나사선의 형태를 갖는 디자인이 유리하다고 하였다.

Fig. 10 에서 보듯이 치관중심에 수직하중을 준 경우 전방 고정체의 근심부와 후방 고정체의 원심부로 계면을 타고 해면골로 응력이 퍼짐을 보였으나, 벗어난 지점에 가해지는 수직하중 조건에서는 해면골에 응력이 분산되는 것을 거의 볼 수 없었다. 특히 사각나사산의 경우에 고정체 근단을 통한 응력분산 뿐 아니라 고정체 사이로 응력이 연결되어 분산되는 양상이 두드러지게 나타나 연결효과가 더 크게 나타나는 것으로 추정된다.

한편 경사하중이 주어진 조건에서는, 치관중심에서 2 mm벗어난 위치에서 가장 좋은 결과를 나타내었으며 교합면 형태 및 경사하중의 각도를 고려해 볼 때 이는 결과적으로 치관의 장축에 평행한 벡터를 형성하므로 응력분포 면에서 보다 유리한 양상을 보인다고 여겨진다.

본 연구 결과를 토대로 고찰해 보면 교합력 부여시 고정체의 장축과 수직이 되는 하중이 가해지는 것이 응력분산에 있어서 보다 바람직하며, 고정체 나사산의 디자인에 있어서 사각나사선이 모든 하중조건에서 보다 나은 응력분산을 보였으므로 골과 임플란트의 계면에 안정적이며 추천할만하다고 사료된다.

4. 연결된 두 고정체의 협설단면에서 본 응력분석 (Fig. 12, 13)

Clift 등[10]은 하중을 가하기 전 9-18 MPa범위에서 정적인 스트레스를 견딜 수 있는 임플란트 경부 주위의 단단한 치밀골의 중요성을 강조했다. 협설 단면을 통해서 보듯이, 치관중심에서 벗어난 수직 하중조건이 주어질 때는 다른 구성성분보다 고정체의 상부가 위치하는 치조정 부위에 보다 많은 응력이 집중되는 것을 볼 수 있으며 반대측 치경부에까지 응력이 작용하였다. 이는 비수직 하중이 작용하여 굽힘모멘트를 발생시켜 생물학적으로 불리한 반응을 보이는 것으로 추정되며 임플란트 식립 후에 치밀골과의 완전한 결합을 달성하지 못하면 생리적인 하중에서 경부에서의 흡수와 국소적 피료 실패를

초래하게 된다[10]는 결과와 연관지어 생각해 볼 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 삼각형의 나사산과 사각형의 나사산을 지닌 두개의 임플란트 고정체에 연결 고정된 상부 보철물을 제작하여 임플란트 고정체의 나사산 모양과 하중의 경사 각도에 따른 악골에서 응력분포 양상을 3차원 유한요소분석을 통해 평가하고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수직하중을 가한 결과, 두 나사산 모두 하중의 위치가 치관중심에서 벗어날수록 응력이 치경부 쪽에 집중되는 현상이 두드러지고 더 높은 최대 von Mises stress 수치를 보였다.
2. 수직하중과 비교시 15° 경사하중을 준 경우, 두 나사산 모두 치경부 최대하중이 치관중심보다 벗어난 하중위치에서 더 감소하였고 응력 분산은 증가하였다.
3. 15° 경사하중에서, 치관중심에서 2 mm 벗어난 지점인 경우 응력분산이 더 크며 치경부 최대응력도 감소하여 가장 우수한 결과를 나타내었다.
4. 삼각나사산의 고정체가 사각나사산 보다 모든 하중조건에서 높은 치경부 최대 응력값을 나타내었다.
5. 수직하중에 대한 응력 비교시, 삼각나사산은 고정체에 집중되나 사각나사산은 고정체의 apex를 통해 해면골로 넓게 분산되는 양상을 보여 수직력에 보다 유리한 양상을 보였다.
6. 15° 경사하중에 대한 응력 비교시, 4 mm 위치에 하중을 가했을 때 고정체의 최대응력값이 삼각나사산보다 사각나사산에서 더욱 감소하였다.

임플란트 주위 지지골에 전달되는 응력은 성공에 중요한 영향을 미치는 요소이며 유한요소는 이러한 응력이 치밀골 및 임플란트 첨부에서 해면골로 분산되는 것을 예견하는데 도움을 준다.

본 연구에서는 임플란트 고정체 나사산의 형태 및 하중 위치 및 방향에 따라 응력이 발생되는 양상이 다양하였으므로 앞으로 성공적인 임상을 위한 힘의 중심위치와 방향에 관한 더 많은 연구가 필요하리라고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Weinberg, L.A.. “The biomechanics of force distribution in implant-supported prostheses.” *International Oral Maxillofacial Implants. 8*:19, 1993.
2. Bidez, MW. Misch, CE.. "Force transfer in implant dentistry: basic concepts and principles." *J Oral Implantol. 18*:264, 1992.
3. Brunski, JB.. "In vivo bone response to biomechanical loading at the bone/dental-implant interface." *Advance Dent Res. 13*:99, 1999.
4. Geng, JP. Ma, QS. Liu, GR.. "Finite element analysis of thread-form configurations in a stepped screw implant." *Journal of Oral Rehabilitation 31*:233-239, 2004.
5. Strong, JT. Misch, CE. Bidez, MW. Nalluri, P.. “Functional surface area: thread-form parameter optimization for implant body design.” *Compend Contin Educ Dent. 19*:4, 1998.
6. Geng, JP. Tan, KBC. Liu, GR.. “Applications of finite element analysis in implant dentistry, a review of literatures.” *J Prosthet Dent. 85*:585, 2001.
7. Geng, JP. Xu, W. Tan, KBC. Liu, GR.. “Finite element analysis of a stepped screw osseointegrated dental implant.” *J Oral Implantol. In press*, 2004.
8. Rieger, MR. Fareed, K. Adams, WK. Tanquist, RA.. “Bone stress distribution for three endosseous implants.” *J Prosthet Dent. 61*:223, 1989.
9. Chun, H.J. Cheong, J.H. Heo, S.J.. "Evaluation of design parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis." *Journal of Oral Rehabilitation 29*:565-574, 2002.
10. Clift, SE. Fisher, J. Watson, CJ.. "Finite element stress and strain analysis of the bone surrounding a dental implant: effect of variations in bone modulus." *Proc Inst Mech Eng [H] 206*:233-41, 1992.

Reprint request to: Dong Wan Kang, Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Chosun University 421, Seosuk-Dong, Dong-Gu, Gwangju, 501-759, Korea, E-mail: jhajung@mail. chosun.ac.kr, Tel: 82-62-220-3820