

임프란트와 골밀도의 변화에 따른 응력분석

The Stress Analysis According to the Change of the Implants and Bond Density

손 충 열*
Son, Choong-Yul

백 진 성**
Paik, Jin-Sung

신 중 연***
Shin, Gong-Myoung

박 중 빈****
Park, Jong-Bin

김 일 규*****
Kim, Il-Kyu

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the simulated effects of axial and off-axial vertical loads at the implant/bone interface and the stress distribution according to the bone density of a single-unit dental implant in the cylinder and square thread implants by 3D FEA. The implants were placed in the mandibular model with 25mm in height, 15mm in width and 20mm in length; then the mandibular bone density was classified into the bone type : I, II, III and IV. In addition, the force were applied into 0mm, 2mm, 4mm away from the center of the implants.

1. 서 론

임프란트를 이용한 치료법은 오늘날 치주, 와과, 보철의 임상외학과 재료, 병리조직, 해부등의 기초의학을 통합, 포괄하는 임프란트학으로써 체계화되었다. 임프란트 치료는 상실된 치아를 수복하기 위한 예측 가능한 치료법이 되었으며, 치료계획을 설정하는데 있어서 보존 가능한 치아도 전략적인 발치를 하고 임프란트를 고려할 정도로 무치악 부위에 임프란트를 식립하는 것은 치과 치료의 중요한 분야로 자리잡고 있다.

임프란트 치료가 기능적 및 심미적으로 성공하기 위해서는 환자 선택, 수술 및 수복 치료계획, 그리고 유지 관리계획 등 포괄적인 치료계획이 설정되어야 하는데, 실질적으로는 임프란트를 식립할 부위에 이용가능한 골의 양과 질이 적절하게 존재하는 것과 그리고 임프란트 주위에서 발생하는 생역학적인 하중을 분산시키는 것이 성공을 위한 필수 조건에 속한다. 본 연구는 현재 통용되고 있는 원통형과 사각나사형 임프란트를 골 밀도에 따른 4단계로 구별된 악골에 식립한 경우를 가상하여 유한 요소 모형을 제작하고, 1차 골유착이 일어

* 정회원 · 인하대학교 기계공학 정교수

** 인하대학교 선박해양공학 박사과정

*** 인하대학교 선박해양공학 석사과정

**** 인하대학교 선박해양공학 석사과정

***** 인하대학교 의과대 의학2과 치과학교실 교수

난 후 처음 응력을 받을 때의 조건과 기능적인 응력을 받아 임프란트 주위에 층판골이 형성된 상태의 조건을 직경 변화와 하중 적용점의 변화에 따른 응력 분포를 측정하여 3차원적 유한 요소법으로 분석 비교하였다.

2. 유한요소 모델 구성

2.1 턱뼈의 모델

본 연구의 모델은 하악골의 제 1 대구치 부분을 기준으로 설정하여 높이는 25mm, 폭은 15mm, 길이는 20mm의 아래턱뼈 모형을 제작하였으며, 악골의 상부에는 1mm, 하부는 3mm, 협설측은 1.5mm의 치밀골을 적용하였고, 하악골 하연에서 8mm 상방 부위에 지름 1mm, 치밀골 1mm의 하악관을 적용하고, 나머지 부위는 해면골로 다음 Fig. 1과 같이 설정하였다.

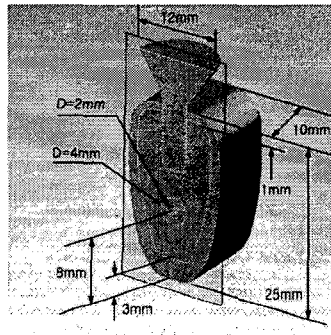


Fig. 1 임프란트 중심부위의 유한요소 모델

2.2 유한요소 모델 설계

임프란트의 직경 변화 및 주위 골 밀도에 의한 응력 분포를 알아보려고 원통형과 사각나사형 임프란트를 모델로 하여 직경을 각각 원통형은 3.625mm와 4.625mm, 사각나사형은 4mm와 5mm로 설정하고 여기에 높이 6mm, 상부 직경 12mm의 원뿔 형태의 상부 보철물을 가상하여 설계하였다. 임프란트의 치근단 부위는 단면을 편형하게 형성하였다. 이때 상부 보철물은 임프란트와 같은 타이타늄으로 설정하였다. 유한 요소 모델에 사용된 기준선은 임프란트의 장축에 평행하게 Y축을 설정하였으며, 장축에 수직된 평면에 각각 X축 및 Z축을 설정하였다.

2.3 경계 및 하중조건

경계조건은 치밀골 및 해면골의 움직임이 전혀 발생하지 않도록 하기 위해 하악골 모델의 밑면을 X, Y, Z 축 3방향으로 모두 구속하였다. 하중조건은 비록 실제 구강 내에서 일어나는 하중이 모든 방향에서 다양하게 일어나지만, 3방향으로 모두 표현하는 것이 불가능하기 때문에 상부 보철물의 중심으로부터 각각 0mm, 2mm, 4mm 떨어진 부위에 수직력만을 적용시킴으로써 cantilever 효과를 이용하여 수평력을 동시에 표현하고자 하였다.

2.4 유한 요소 물성치

유한 요소를 이용한 응력 분석에서 모델 단순화와 응력의 수치적 계산을 위해 모델의 물리적 특성은, 재료의 기계적 특성이 균일하다는 Homogeneity(균질성), 재료 특성 및 역학적 거동이 X, Y, Z 3방향으로 동일하다는 Isotropy(등방성), 구조의 변형이나 변위는 적용된 하중에 비례하고 변위 정도에는 무관하다는 Linear elasticity(선형 탄성)을 갖는 것으로 가정하였다. 재료의 물성치로 피질골 및 해면골의 Young's modulus of elasticity(탄성계수), Poisson's ratio(포와송비) 그리고 임플란트 물성치는 Table 1과 같다.

Table 1 재료 물성치

| | | Young's Modulus E(GPa) | Poisson's Ratio(ν) |
|------------------|----------|------------------------|--------------------------|
| Implant(pure Ti) | | 102 | 0.35 |
| Interface Bone | | 13.0 | 0.30 |
| Cortical Bone | | 13.0 | 0.30 |
| Cancellous Bone | Type I | 9.5 | 0.30 |
| | Type II | 5.5 | |
| | Type III | 1.6 | |
| | Type IV | 0.69 | |

3. 해석 및 분석 결과

3.1 층판골이 없을때의 응력값 비교

피질골에서의 최대 등가 응력은 임플란트와 피질골이 만나는 치경부에서 가장 큰 값을 보여 주었다. 직경이 3.625mm인 원통형 임플란트 중심에 하중을 가한 경우, 임플란트 주위골의 밀도가 각 유형별로 최대 응력값이 증가하였고, 같은 조건하에 중심에서 2mm, 4mm 벗어난 곳에 하중을 가한 경우와, 직경이 4mm인 사각나사형 임플란트 중심에 하중을 가한 경우, 임플란트 주위골의 밀도가 각 유형별로 최대 응력값이 증가하였고, 중심으로부터 벗어난 곳에 하중을 줄수록 응력값이 증가하는 것을 Table 2에서 볼 수 있고, 이는 4.625mm 원통형 및 5mm 사각나사형 임플란트에서도 동일한 경향을 Table 3에서 볼 수 있다.

Table 2 직경이 4mm인 사각나사형 임플란트와 직경이 3.625mm인 원통형 임플란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 2.70 | 3.22 | 7.04 | 12.65 |
| 0mm(원 통 형) | 3.01 | 3.63 | 6.80 | 11.59 |
| 2mm(사각나사형) | 10.62 | 10.72 | 16.54 | 23.82 |
| 2mm(원 통 형) | 9.98 | 11.00 | 14.84 | 20.54 |
| 4mm(사각나사형) | 18.64 | 18.54 | 26.02 | 35.05 |
| 4mm(원 통 형) | 17.02 | 18.41 | 22.94 | 29.63 |

Table 3 직경이 5mm인 사각나사형 임프란트와 직경이 4.625mm인 원통형 임프란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 1.97 | 2.48 | 6.03 | 11.37 |
| 0mm(원통형) | 2.84 | 3.32 | 6.08 | 11.19 |
| 2mm(사각나사형) | 5.63 | 6.87 | 11.73 | 18.53 |
| 2mm(원통형) | 7.44 | 8.17 | 12.21 | 18.71 |
| 4mm(사각나사형) | 9.48 | 11.27 | 17.67 | 26.13 |
| 4mm(원통형) | 12.67 | 13.57 | 18.38 | 26.33 |

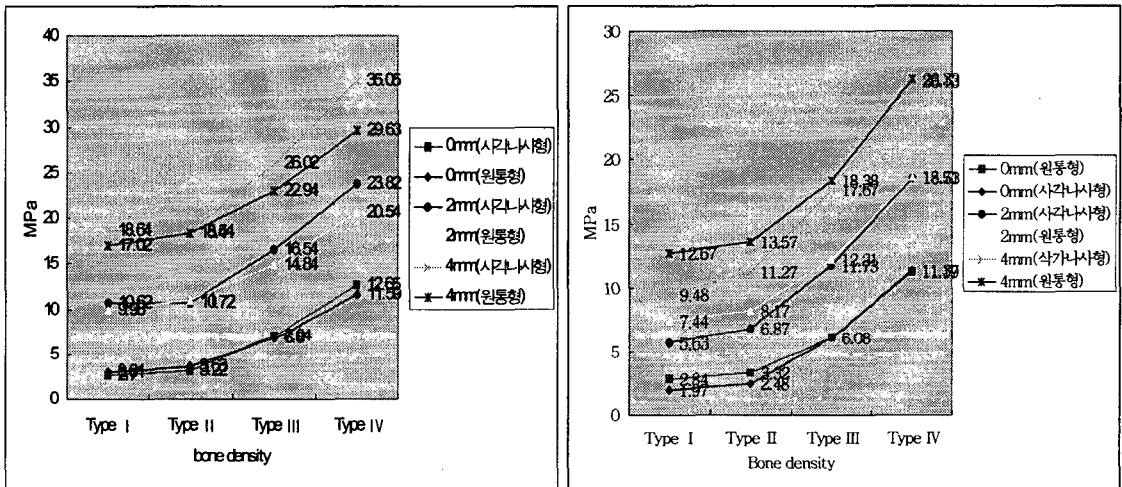


Fig. 2 충전골이 없는 경우 : 임프란트 주위골의 밀도에 대한 최대 응력값

3.2 충전골이 있을 때의 응력값 비교

피질골에서의 최대 등가 응력은 충전골이 없는 경우와 같이 임프란트와 피질골이 만나는 치경부에서 가장 큰 값을 보여 주었다. 직경이 3.625mm인 원통형 임프란트 중심에 하중을 가한 경우, 임프란트 주위골의 밀도가 각각의 유형별로 최대 응력값이 증가하였고, 같은 조건하에 중심에서 2mm 벗어난 곳에 하중을 가한 경우 최대 응력값과, 중심에서 4mm 벗어난 곳에 하중을 가한 경우를 Table 4에서 볼 수 있다. 또한 직경이 4mm인 사각나사형 임프란트 중심에 하중을 가한 경우, 임프란트 주위골의 밀도가 각각의 유형별로 최대 응력값이 증가하였고, 같은 조건하에 중심에서 2mm 벗어난 곳에 하중과 4mm 벗어난 곳에 하중을 가한 경우 피질골에서 최대 응력값이 증가하였으나 증가율은 충전골이 없는 경우보다 완만하였고, 중심으로부터 벗어난 곳에 하중을 줄수록 응력값이 증가하였으나 이도 역시 충전골이 없는 경우보다 제Ⅲ, Ⅳ형 골에서 증가율이 감소한 것을 Table 4에서 볼 수 있고, 이는 4.625mm 원통형 및 5mm 사각나사형 임프란트에서도 동일한 경향을 Table 5에서도 볼 수 있다.

Table 4 직경이 4mm인 사각나사형 임프란트와 직경이 3.625mm인 원통형 임프란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 2.88 | 2.81 | 4.78 | 7.37 |
| 0mm(원 통 형) | 4.34 | 4.35 | 5.09 | 7.17 |
| 2mm(사각나사형) | 10.55 | 10.45 | 12.9 | 16.06 |
| 2mm(원 통 형) | 15.69 | 15.51 | 16.0 | 17.53 |
| 4mm(사각나사형) | 18.77 | 18.43 | 21.05 | 24.78 |
| 4mm(원 통 형) | 27.46 | 27.03 | 27.25 | 28.58 |

Table 5 직경이 5mm인 사각나사형 임프란트와 직경이 3.625mm인 원통형 임프란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 1.9 | 2.0 | 3.58 | 6.25 |
| 0mm(원 통 형) | 2.74 | 2.83 | 4.33 | 6.72 |
| 2mm(사각나사형) | 5.95 | 6.21 | 8.25 | 11.27 |
| 2mm(원 통 형) | 8.81 | 8.8 | 9.99 | 12.21 |
| 4mm(사각나사형) | 10.21 | 10.42 | 12.94 | 16.59 |
| 4mm(원 통 형) | 15.04 | 14.94 | 16.14 | 18.64 |

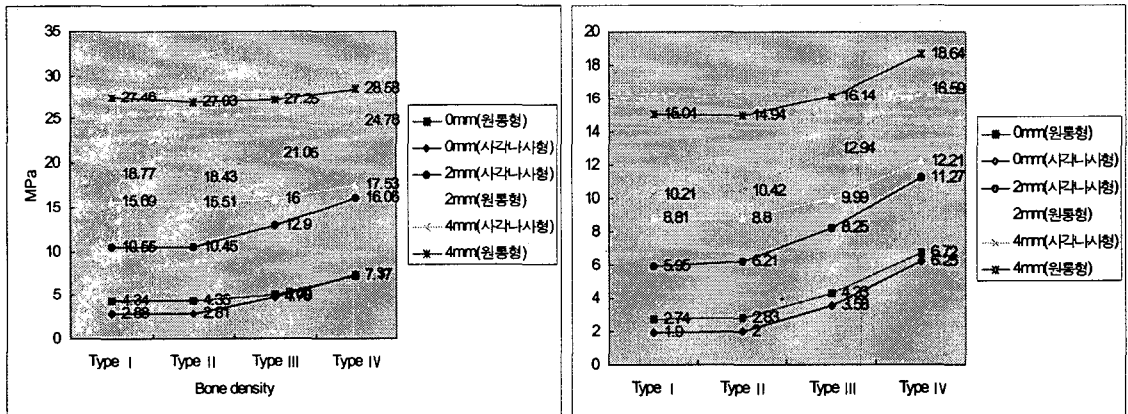


Fig. 3 층판골이 있을 경우 : 임프란트 주위골의 밀도에 대한 최대 응력값

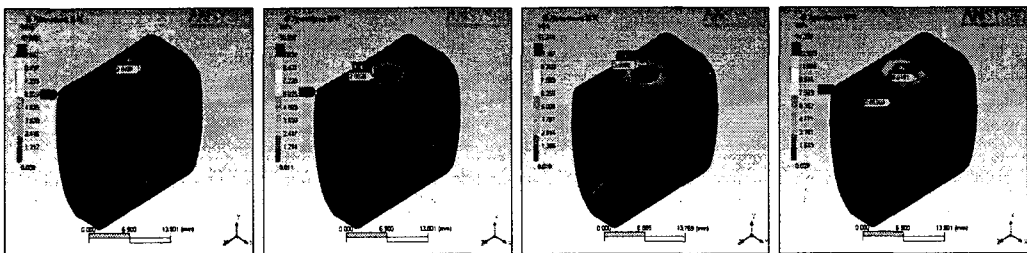


Fig. 4 층판골이 있을 경우 : 임프란트 주위에서의 최대 응력값(0mm), Type I · II · III · IV

3.3 해면골에서의 응력값 비교

충판골이 없는 경우, 최대 등가 응력값은 Table 6, Table 7과 같고, 충판골이 있는 경우, 최대 등가 응력값은 Table 8, Table 9과 같다. 해면골에서의 최대 등가 응력은 임플란트의 치근단 부위와 해면골의 접촉점에서 발생하였으며, 빗길 하중시 직경이 작아지면 응력값이 증가하였으나, 골밀도가 낮을수록 응력값이 낮아지고, 충판골이 없을 때 원통형이 사각나사형보다 응력값이 오히려 낮았다.

Table 6 직경이 4mm인 사각나사형 임플란트와 직경이 3.625mm인 원통형 임플란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 2.06 | 1.61 | 1.63 | 1.51 |
| 0mm(원 통 형) | 1.70 | 1.53 | 1.52 | 1.40 |
| 2mm(사각나사형) | 7.63 | 5.27 | 2.52 | 1.81 |
| 2mm(원 통 형) | 4.60 | 3.22 | 1.86 | 1.57 |
| 4mm(사각나사형) | 13.45 | 9.29 | 3.88 | 2.59 |
| 4mm(원 통 형) | 7.68 | 5.31 | 2.80 | 1.92 |

Table 7 직경이 5mm인 사각나사형 임플란트와 직경이 3.625mm인 원통형 임플란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 1.42 | 1.27 | 1.23 | 1.13 |
| 0mm(원 통 형) | 1.19 | 1.23 | 1.19 | 1.08 |
| 2mm(사각나사형) | 4.36 | 3.02 | 1.83 | 1.49 |
| 2mm(원 통 형) | 2.98 | 2.16 | 1.49 | 1.38 |
| 4mm(사각나사형) | 7.44 | 3.37 | 2.67 | 2.02 |
| 4mm(원 통 형) | 4.90 | 3.48 | 2.05 | 1.71 |

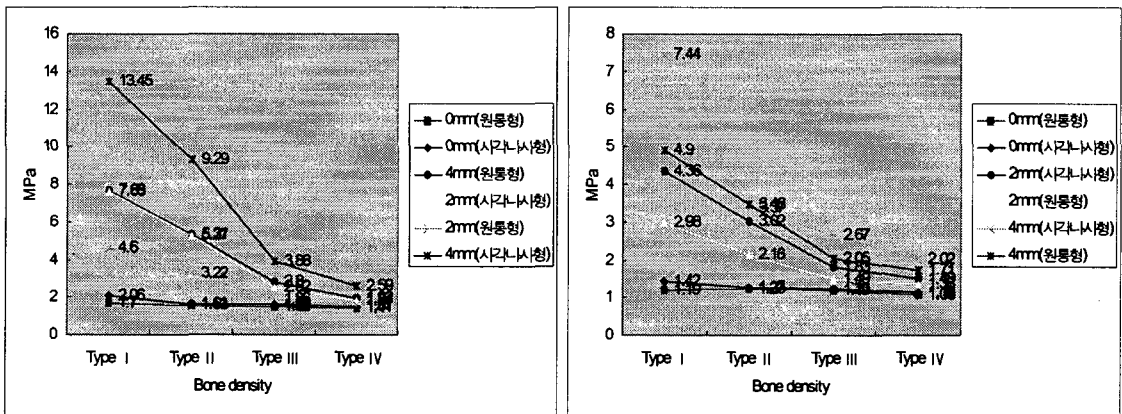


Fig. 5 충판골이 없는 경우 : 임플란트 주위골의 밀도에 대한 최대 응력값

Table 8 직경이 4mm인 사각나사형 임플란트와 직경이 3.625mm인 원통형 임플란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 1.25 | 1.14 | 0.83 | 0.78 |
| 0mm(원 통 형) | 1.3 | 1.19 | 0.85 | 0.8 |
| 2mm(사각나사형) | 2.91 | 2.24 | 1.31 | 1.05 |
| 2mm(원 통 형) | 3.45 | 2.58 | 1.4 | 1.08 |
| 4mm(사각나사형) | 4.9 | 3.71 | 1.99 | 1.49 |
| 4mm(원 통 형) | 5.84 | 4.3 | 2.16 | 1.45 |

Table 9 직경이 5mm인 사각나사형 임플란트와 직경이 3.625mm인 원통형 임플란트

| | Type I | Type II | Type III | Type IV |
|------------|--------|---------|----------|---------|
| 0mm(사각나사형) | 1.1 | 0.97 | 0.69 | 0.66 |
| 0mm(원 통 형) | 1.06 | 0.94 | 0.71 | 0.68 |
| 2mm(사각나사형) | 1.84 | 1.45 | 1.04 | 0.92 |
| 2mm(원 통 형) | 2.16 | 1.67 | 1.06 | 0.92 |
| 4mm(사각나사형) | 3.01 | 2.33 | 1.46 | 1.23 |
| 4mm(원 통 형) | 3.61 | 2.73 | 1.59 | 1.24 |

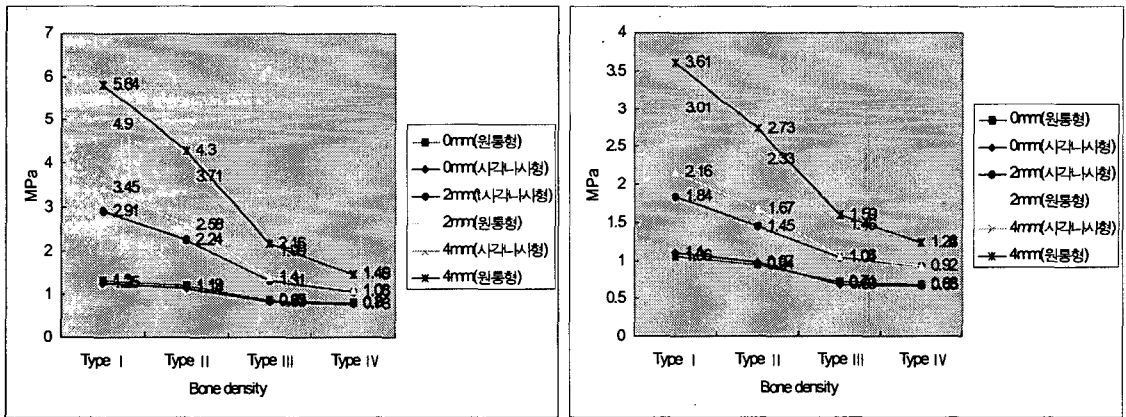


Fig. 6 총판골이 있을 경우 : 임플란트 주위골의 밀도에 대한 최대 응력값

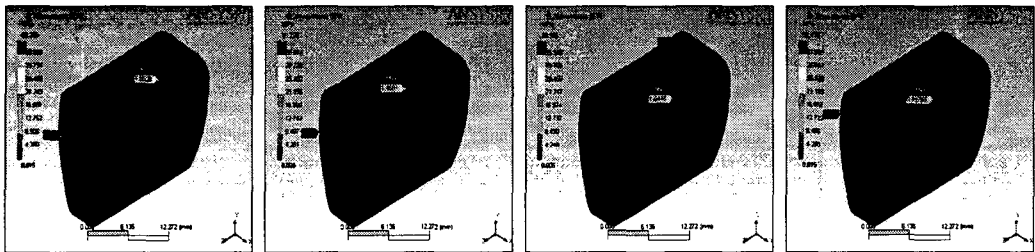


Fig. 7 해면골에서 총판골이 있을 경우 : 임플란트 주위에서의 최대 응력값(0mm), Type I · II · III · IV

4. 결과 및 고찰

임프란트의 직경 변화, 하중 적용 위치, 주위 골밀도 및 측판골 존재 유무에 의한 응력 분포를 알아보고자, 길이 10mm의 원통형과 사각나사형 임프란트를 모델로 하여 직경을, 원통형은 각각 3.625mm와 4.625mm로 사각나사형은 4mm와 5mm로 설정하고 해면골의 밀도를 제 I형, 제 II형, 제 III형, 제 IV형으로 설계하여, 모델 중심으로부터 0mm, 2mm, 4mm 떨어진 곳에 하중을 가하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대부분의 응력 흡수가 피질골에서 일어났으며, 피질골에서 최대응력은 임프란트의 치경부에 집중되었고, 중심에서 먼 빗김 하중 일수록 응력값에 크게 증가하였으며, 직경이 증가할수록 응력값은 감소하였다.
2. 피질골에서 임프란트 주위골이 제 IV형 골에 가까울수록 응력값이 증가하였으며, 특히 제 III형 골과 제 IV형 골에서 증가되었다.
3. 사각나사형이 원통형보다 골질이 좋을수록, 하중이 중심에서 벗어날수록 응력값 감소에 효과적이었다.
4. 측판골의 형성은 응력분산에 효과적이었으며, 특히 골밀도가 낮을때와 빗김 하중 시에 응력값 감소에 더 효과적이었다.

참고 문헌

1. Fumihko, 치과임프란트보철학, 나래출판사, 서울, 2001, pp.76~91
2. Klokkevold PR, Newman MG, "Current status of Dental Implants" A Periodontal Perspective, Int J Oral Maxillofac Implants, Vol.15, No.1, 2000, pp.56~65
3. 김병욱, 홍국선, 김수관, IV형의 골질로 재생된 골내에 식립된 원통형 임프란트 유한요소법적 연구, 대한구강악안면학회지, 2004, pp.331~338
4. (주)태성에스엔이, "ANSYS Workbench [Design Simulation] Education Manual Release 8.0"