

고정체의 나사산 설계 변수의 변화에 따른 하악골의 응력해석

전홍재* · 정신영** · 한종현*** · 허성주**** · 정종평***** · 최용창***** · 류인철***** · 김명호*****

*연세대 기계·전자공학부 **연세대 기계공학과 대학원

연세대 치과대학 보철학교실 *서울대 치과대학 보철학교실

*****서울대 치과대학 치주학교실 *****가톨릭대 성모병원 치과, ***** (주)우리동명

(2000년 5월 2일 접수, 2000년 11월 22일 채택)

Influence of Implant Shapes on Stress Distribution in the Jaw Bone by Finite Element Analysis

H. J. Chun* , S. Y. Cheong **, J. H. Han*** ,S. J. Heo****,
J. P. Chung****, Y. C. Choi*****, I. C. Ryu*****, M. H. Kim*****

*School of Electrical and Mechanical Engineering, Yonsei University

**Department of Mechanical Engineering, Yonsei University

***Department of Prosthodontics, Yonsei University

****Department of Prosthodontics, Seoul National University

*****Department of Periodontology, Seoul National University

*****Department of Dentistry, St. Mary's Hospital Catholic University

*****We Dong Myung Dental Industrial Co., LTD

(Received May 2, 2000. Accepted November 22, 2000)

요약: 고정체 나사산 형상이 식립된 고정체를 둘러싸고 있는 턱 뼈에서 발생한 응력분포에 미치는 영향과 효과적인 나사산 형상을 결정하기 위해서 다양한 치아 고정체 형상에 대해서 응력해석을 수행하였다. 나사산 골 한쪽 부위에 라운딩이 된 형상의 고정체에서 발생한 응력분포는 다른 나사산 형상의 고정체에서 발생한 응력분포보다 더 효과적으로 나타났다. 이 해석 결과를 근거로 최적의 고정체 치수를 결정하기 위해서 나사산 끝단의 폭, 나사산 높이, 그리고 가해지는 하중의 방향 등과 같은 설계 변수의 변화에 따른 응력해석이 수행되었다. 최대 응력 집중은 고정체 나사산의 첫단 부위에서 발생하였으며, 100 N의 15도 경사하중이 가해졌을 때 발생한 최대 등가응력은 동일 크기의 수직하중보다 2배 정도 더 높게 나타났다. 그리고 나사산 끝단의 폭과 나사산 높이 사이의 연관성에 관련된 해석결과에서 나사산 끝단의 폭과 나사산 높이 사이의 연관성 효과는 무시할 만큼 작다는 것을 알았다. 고정체의 나사산 피치에 대한 나사산 끝단의 폭의 비와 나사산 높이의 비가 각각 0.5와 0.46일 때 다른 고정체의 치수들보다 더 효과적인 응력분포가 나타났다.

Abstract: Finite element analyses were performed to study effects on stress distribution generated in jaw bone surrounding osseointegrated dental implants for various dental implant shapes. It was found that the square thread screw filleted with small radius was more effective on stress distribution than other dental implants used in the analyses. Additional analyses were performed on the implant with square thread screw filleted with small radius for varying design parameters, such as the width of thread end, the height of the thread of the implant and load direction to determine optimum dimensions of the implant. The highest stress concentration occurred at the region in jaw bone adjacent to the first thread of the implant. The maximum effective stress induced by a 15 degree oblique load of 100 N was twice as high as the maximum effective stress caused by an equal amount of vertical load. The results showed that the couple effects between the width of thread and the height of thread was negligible. It was concluded that stress distribution was more effective in the case when the width of thread end and the height of thread were 0.5p and 0.46p, respectively, where p is the pitch of thread.

Key words: finite element method(유한요소법), implant(고정체), local stress distribution(국부적응력분포)

하중을 받으며 자연 치아의 역할을 대신 한다. 그러나 식립된 고정체를 통해 턱 뼈에 전달되는 외력은 건전한 치근막(periodontium)을 가진 자연 치아를 통해 전달되는 외력과는 전혀 다르다. 자연 치아의 경우에는 치근막 인대(periodontal ligament)가 충격을 흡수하는 역할을 한다. 그러나 식립된 고정체는 이와 같은 중간 매개체 없이 가해지는 외력을 직접적으로 턱뼈에 전달한다[1]. 그 결과, 고정체와 치조골간의 골 유착의 파괴, 고정체 자체의 파괴, 고정체와 보철물 연결부의 손상, 상부 보철물의 파절, 치조골의 소실 등이 발생한다[2, 3]. 이러한 현상의 가장 큰 원인은 고정체와 뼈사이에 발생하는 응력집중(stress concentration)이며, 나사산의 형상, 나사산 피치, 나사산 높이, 나사산 끝단의 폭, 그리고 고정체의 최대외경 등과 같은 요인들에 의해 영향을 받는다. 응력집중 현상을 이해하기 위해서 지금까지 상용화된 고정체를 대상으로 응력분포 및 변형률 분포에 관한 많은 연구들이 이루어져왔다.

이전 연구들은[1, 4-9] 고정체의 1/5 상부 영역에서 응력집중 현상이 발생하고, 고정체의 최대 직경이 클수록 최대응력응력은 감소하였으며 응력분포는 더욱 더 효과적으로 나타났다[4]. Holmgren[4] 등은 계단식 실린더 고정체와 직선형 실린더 고정체에 대한 응력분포를 연구하였다. 이 연구에서 응력분포는 직선형 고정체보다 계단식 고정체에서 훨씬 더 고르게 나타났다. 그리고 Siegele[10] 등은 다양한 고정체의 형상에 대해 고정체를 둘러 싸고있는 뼈에서 발생하는 응력분포에 관해서 연구하였다. 이 연구에서 고정체의 형상의 변화는 고정체를 둘러싸고 있는 턱뼈에 발생하는 응력분포에 상당한 변화를 야기시킬 수 있다는 것을 증명하였다. 이런 연구의 결과들은 고정체 형상의 중요성을 강조하고 있다. 본 연구에서는 다양한 나사산 형상이 뼈에 발생된 응력분포에 미치는 영향과 응력분포 결과의 차이점을 비교하고 최적의 나사산 형상을 결정하기 위하여 동일한 최대외경을 가진 다양한 고정체 나사산의 형상 변화에 따라 유한요소법으로 응력해석을 수행한 후, 그 중 가장 바람직한 응력 분포를 보이는 나사산 형상에 대하여 최적의 고정체 나사산 끝단의 폭을 결정하기 위하여 고정체의 나사산 끝단의 폭(w)의 비를 변화시켜가며 응력해석을 수행하였다. 위 두 결과를 이용하여 최적의 나사산 높이를 결정하고자 나사산 높이(h)의 비를 변화시켜가면서 해석을 수행하였다. 그리고 나사산 끝단의 폭과 나사산의 높이 사이에 연성효과(coupling effects)를 연구하였다. 고정체 형상의 변화와 고정체 치수 변수의 변화에 따른 뼈와 고정체 사이의 응력분포를 연구함으로써, 추후 골유착을 성공적으로 유지할 수 있는 신모델 개발에 대한 최적의 고정체 형상 치수를 결정하는데 그 목적이 있다.

본 론

1. 해석대상 및 재질 특성

지금까지 상용화된 고정체는 그 성능 향상을 위해 나사산과 전체 형상이 다양하게 설계되었다. Bio Horizon 사는 사각나

사형 고정체가 더욱 작은 전단응력과 최적의 압축하중을 전달하기 때문에, 널리 사용되고 있는 실린더형 및 삼각나사형 고정체들보다 좋은 성능을 발휘한다고 주장하였다[11]. 또한 Bicon 사의 고정체는 나사 방식대신 플레토(plateau) 혹은 핀(pin) 형태로 디자인되었다. 그 결과 동일한 크기의 나사형 고정체보다 최소 30%이상 더 넓은 표면을 제공할 수 있게되어, 수직하중에 대한 직접적인 저항력을 제공할 수 있다는 연구 결과가 발표되었다[12]. 본 연구에서는 위에서 언급한 결과를 바탕으로 유한요소법을 이용한 상용화된 해석 프로그램 중 Ansys 5.3 University Version을 이용하여 플레토 형상(model 1), 작은 곡률 반경을 가진 플레토 형상(model 2), ISO 규격을 따른 피치 0.7mm인 삼각나사형 형상(model 3), ISO 규격을 따른 피치 1mm인 사각나사형 형상(model 4), 나사산 끝단에 발생하는 응력을 줄이기 위해 고안된 고정체 형상(model 5) 등과 같은 고정체 형상을 선택하여 해석하였다. 그리고 해석에 이용된 모든 고정체의 최대외경과 길이는 각각 4.0mm과 10mm이다. 그림 1은 선택된 다양한 고정체 형상을 보여준다.

앞의 결과를 토대로, 효과적인 응력분포를 가지는 나사산 형상에 대한 최적의 치수를 결정하기 위해 나사산 끝단의 폭, 나사산 높이 그리고 가해지는 하중의 방향 등과 같이 응력분포에 영향을 미치는 변수들의 변화에 따라 응력해석을 수행하였다. 여기서, 임의의 나사산 끝단의 폭과 높이는 각각 $0.25p$, $p/3$, $0.5p$ 와 $p/3$, $0.42p$, $0.5p$, $0.6p$, $2p/3$ 로 선택하였다. 그림 2는 고정체 나사산 형상에 관련된 치수를 보여준다.

본 해석에 이용된 고정체(implant)와 전체가 치밀뼈로 가정된 턱뼈(jaw bone)는 등방성(isotropic), 균질성(homogeneous), 선형탄성(linearly elastic) 재료로 가정하였다. 이 두 재료의

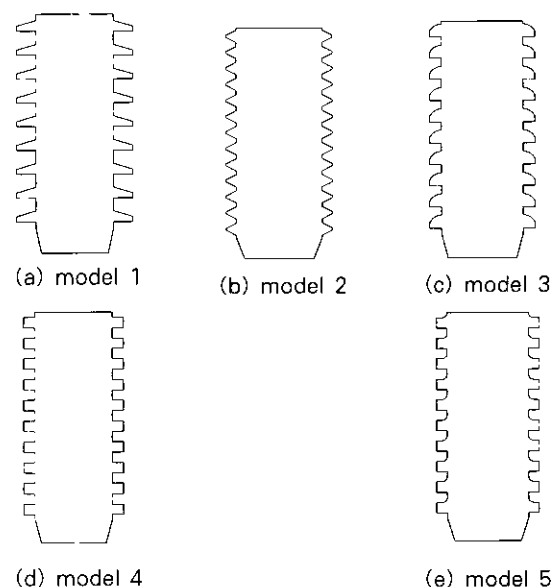


그림 1. 선택된 고정체 형상

Fig. 1. Schematic drawings showing different implant shapes used in analyses

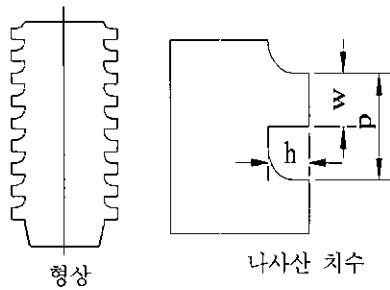


그림 2. 나사산 형상 및 치수
Fig. 2. Schematic drawing of an implant

표 1. 고정체와 뼈의 기계적 성질

Table 1. Properties of materials used in the analysis

Materials	Modulus of Elasticity, E(GPa)	Poisson's Ratio
Pure titanium	115	0.35
Compact bone	14.8	0.3

기계적 성질은 표 1과 같다 [5].

2. 모델링

고정체 나사산 형상 변수의 변화에 따른 응력해석 결과의 상대적인 비교에 주된 목적이 있으므로 국부적인 해석결과에 영향을 주지 않는 한도 내에서 모든 기하학적인 형상을 단순화하여 모델링하였다. 고정체와 뼈 사이의 경계에서는 응력의 변화가 급격하게 나타나므로 가장자리보다 3배 더 조밀하게 메싱(meshing)을 하였다. 그림 3은 메싱된 유한요소 모델이다. 상용 프로그램인 Ansys에서는 재료의 물성치와 경계조건에 따라 Solid, Shell, Concrete등과 같이 다양한 element 형태가 지원된다. 본 해석에서는 해석에 요구되는 경계조건과 재료들의 물성치가 동일한 8 절점 2차원 Solid Element(eight-node isoparametric elemnt)이며, 13000개의 요소와 39325의 절점이 사용되었다.

3. 경계 및 하중조건

고정체를 둘러싸고 있는 뼈의 양 끝단에서 어떠한 방향으로도 변위가 발생하지 않도록 x, y 두 방향은 구속되었다. 고정체와 뼈 사이의 경계면은 완전한 결합이 이루어져 연속적인 상태로 가정하였다. 하중 조건은 그림 4와 같이 100N의 순수 수직하중과 치아 운동 시 수반되는 수평하중을 고려하여 수직 방향에 임의의 각도인 15도 경사진 100N의 하중이 고정체에 가해지는 것으로 가정하였다.

해석 결과

본 해석에서 모든 결과는 각각의 요소에서 계산된 응력 요

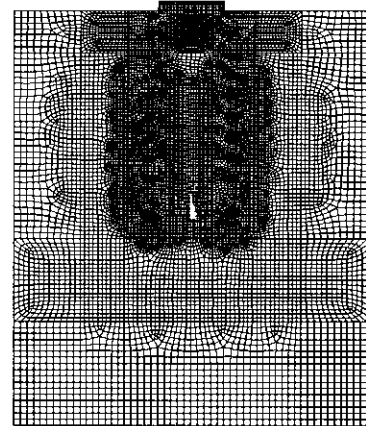


그림 3. 메싱된 유한요소 모델

Fig. 3. Finite element model with mesh generations

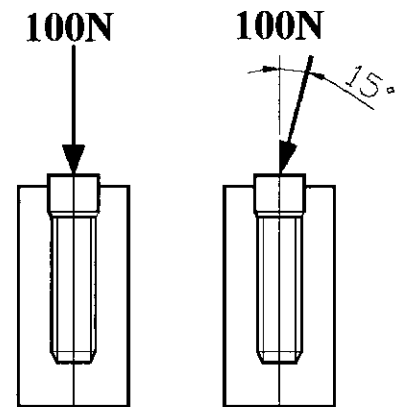


그림 4. 가해진 하중 조건

Fig. 4. Schematic drawing showing applied load direction

소들을 이용하여 재료의 항복조건 또는 파괴조건의 판별 기준에 도움이 되는 등가응력으로 계산하였다[13].

그림 5부터 도시된 등가응력 분포는 응력해석 결과의 상대적인 비교의 편리성을 도모하기 위하여 계산된 등가응력을 특정한 값으로 선정하여 8 단계 색상으로 도시하였다.

그림 5와 6은 100N의 수직하중이 가해졌을 때 동일한 고정체 최대적경과 고정체 길이하에서 고정체 나사산의 형상에 따른 전체적인 등가응력분포 결과와 고정체 주위의 턱 뼈에서 가장 높은 응력이 발생하는 부분에서의 국부적인 등가응력분포를 각각 보여준다. 수직 하중이 가해졌을 때 등가응력 분포는 좌우 대칭적으로 나타났다. 그리고 최대등가응력은 고정체의 나사산 첫단 부위의 턱 뼈에서 발생했다. 최대 등가응력은 다른 형상의 고정체들보다 프래토형 고정체(model 1)에서 가장 높게 나타났으며, 국부적인 응력분포결과에서 뚜렷하게 응력집중현상이 나타남을 볼 수 있었다. 그러나 나사산 골 부위에 라운딩이 된 고정체 형상(model 5)은 다른 고정체 형상들보다 낮은 최대 등가응력과 고정체와 뼈 사이의 경계면 부근에서

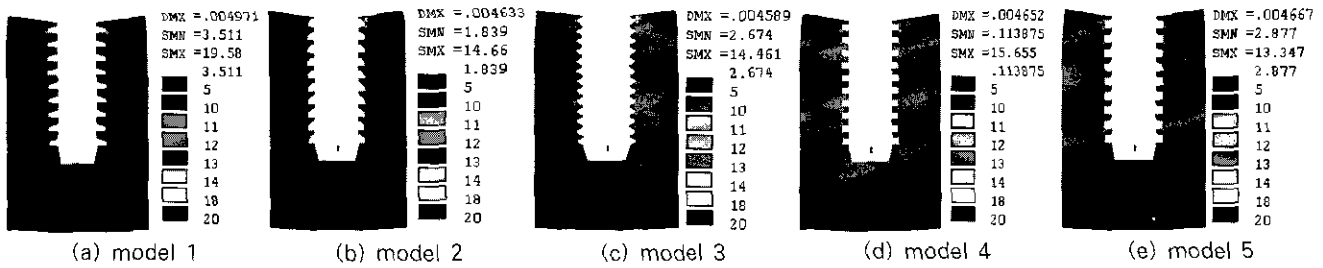


그림 5. 100 N의 수직하중이 가해졌을 때 고정체 나사산 형상에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 5. Effective stress distributions for various implant shapes with a vertical load of 100 N

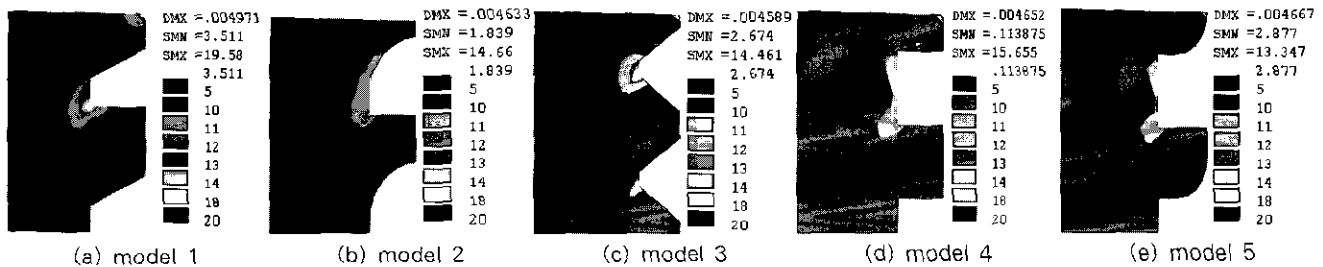


그림 6. 100 N의 수직하중이 가해졌을 때 고정체 나사산 첫단 부근 턱 뼈에서의 국부적인 응력분포
 Fig. 6. Local effective stress distributions in jaw bone adjacent to the first thread for various implant shapes with a vertical load of 100 N

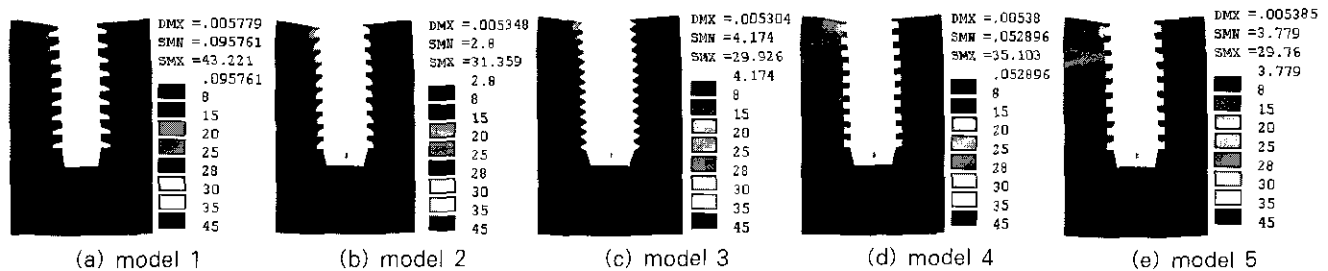


그림 7. 100 N의 경사하중이 가해졌을 때 고정체 나사산 형상에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 7. Effective stress distributions for various implant shapes with a 15 degree oblique load of 100 N



그림 8. 100 N의 15도 경사하중이 가해졌을 때 고정체 나사산 첫단 부근 턱 뼈에서의 국부적인 응력분포
 Fig. 8. Local effective stress distributions in jaw bone adjacent to the first thread for various implant shapes with a 15 degree oblique load of 100 N

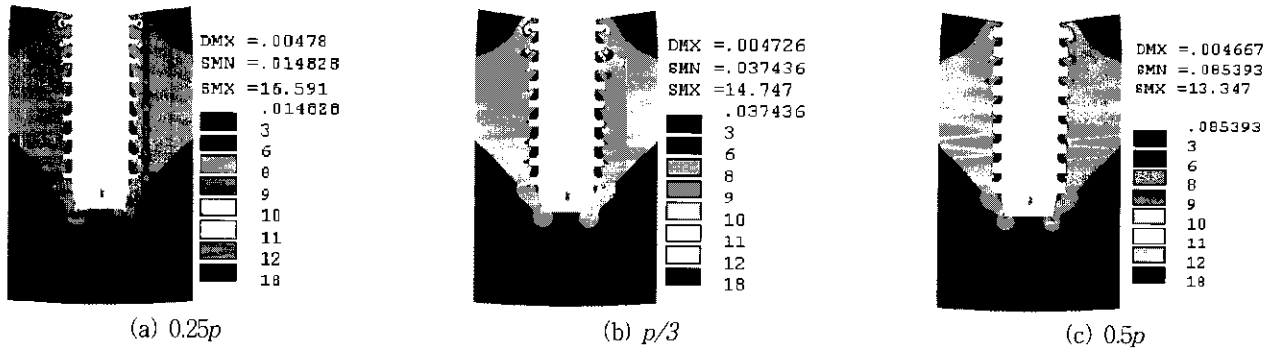


그림 9. 100 N 수직하중이 가해졌을 때 나사산 끝단의 폭의 변화에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 9. Effective stress distributions for various widths of thread end with a vertical load of 100N

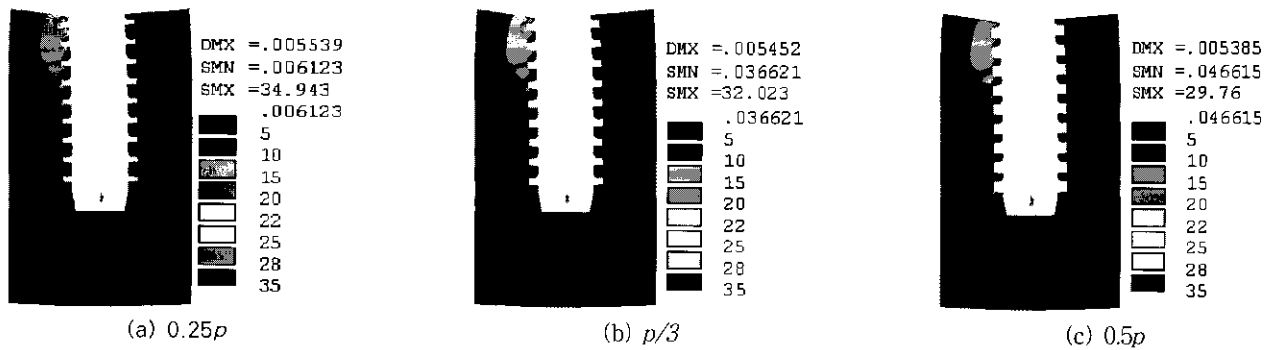


그림 10. 100 N의 15도 경사하중이 가해졌을 나사산 끝단의 폭의 변화에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 10. Effective stress distributions for various widths of thread end with a 15 degree oblique load of 100 N

다른 형상들보다 더 효과적인 등가응력 분포를 보였다.

그림 7과 8은 100N의 15도 경사하중이 가해졌을 때 고정체 나사산의 형상에 따른 등가 응력분포 결과이다. 수직하중과 더불어 수평하중의 성분이 존재할 경우의 최대등가응력은 동일한 크기의 수직 하중의 성분만 존재할 경우의 최대등가응력보다 2 배 정도 더 높게 나타났다. 고정체에 가해지는 하중의 수평력 성분이 고정체 상단에서 힘이 작용하는 방향으로 모멘트를 발생시킨다. 결국 발생한 모멘트와 가해지는 하중의 수평력 성분은 나사산 첫단 부근의 턱 뼈에 큰 압축응력을 가하기 때문으로 여겨진다. 수직하중이 가해졌을 때의 결과와 마찬가지로 프 레토 형상(model 1)에 가장 높은 등가응력이 발생하였다. 그러나 나사산 끝 부위에 라운딩이 된 고정체 형상(model 5)에서 발생한 최대등가응력은 다른 형상에서 발생한 최대등가응력보다 낮았으며, 턱 뼈에 발생한 응력분포 또한 효과적으로 나타났다. 이 결과들을 토대로 볼 때, 동일한 조건하에서 바람직한 고정체 나사산 형상은 나사산 끝 부위에 라운딩이 된 형상(model 5)이다. 다음으로 형상의 최적의 치수를 결정하기 위하여 선정된 형상에 관해서 나사산 끝단의 폭과 나사산 높이의 변화에 따른 응력해석이 수행되었다.

그림 9와 10은 각각 100 N의 수직하중과 100 N의 15도 경사하중이 고정체 상단에 가해졌을 때 동일한 나사산 높이 하에서 나사산 피치에 대한 나사산 끝단의 폭비(0.25, 1/3, 0.5)의 변화에 따른 등가응력분포 결과이다. 고정체에 가해지는 하중

을 전달할 수 있는 단면적이 증가할수록 등가응력은 감소하기 때문에 폭비가 0.5 일 때 가장 바람직한 응력분포가 나타났다. 앞의 해석결과에서 가장 효과적인 응력분포를 보인 나사산 끝단의 폭의 비가 0.5인 고정체에 대하여 나사산 피치에 대한 나사산 높이의 비를 각각 1/3, 0.42, 0.5, 0.6, 2/3로 변화시켜가면서 응력해석을 수행하였다.

그림 11과 12는 각각 100N의 수직 하중과 100N의 15도 경사하중이 고정체에 가해졌을 때 응력분포 결과이다. 전반적인 응력분포는 앞에서의 결과와 비슷하다. 최대 등가응력은 두 종류의 하중 모두 고정체의 최상단 부분과 나사산 첫 단 부근에서 발생하였다.

그림 13과 14는 최적의 나사산 높이를 결정하기 위해서 나사산 높이의 변화에 따른 해석결과에서 얻어진 최대 등가응력을 이용하여 그래프화 한 것이다. 그림 13에서 최대 등가응력은 0.5에서 최소였고 그림 14에서 최대 등가응력은 0.42에서 최소였다. 턱 뼈에 생성된 각각의 나사산은 외력을 받았을 때 한쪽 단이 고정된 외팔보와 같은 거동을 한다. 따라서 나사산 높이를 높게 하는 것은 하중을 전달할 수 있는 면적을 넓게 하지만, 나사산이 뼈와 접한 부분에서 발생하는 모멘트는 증가한다. 이로 인해 나사산이 뼈에 접한부분에서 등가응력은 증가하고 응력집중 현상이 나타난다. 그림 11, 12, 13 그리고 14는 이런 현상을 입증해주고 있다. 그림 13과 14 두 그래프의 결과를 토대로 최적의 나사산 높이를 구하기 위하여 curve fitting

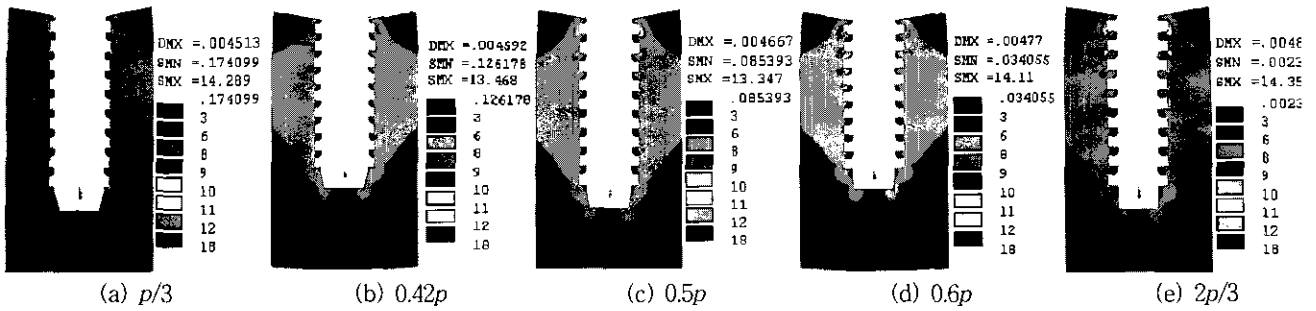


그림 11. 100 N의 수직하중이 가해졌을 때 나사산 높이의 변화에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 11. Effective stress distributions for various heights of thread with a vertical load of 100 N

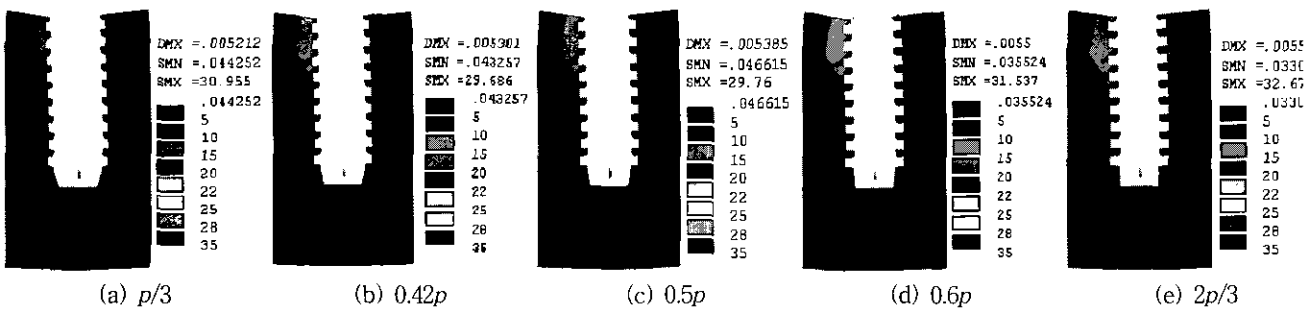


그림 12. 100 N의 15도 경사하중이 가해졌을 때 나사산 높이의 변화에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 12. Effective stress distributions for various heights of thread with a 15 degree oblique load of 100 N

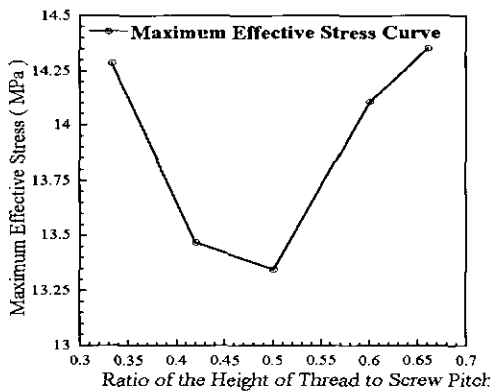


그림 13. 100 N의 수직하중이 가해졌을 때 피치에 대한 나사산의 높이의 비의 변화에 따른 최대등가 응력 곡선
 Fig. 13. Maximum effective stress as a function of ratio of the height of thread to screw pitch with a vertical load of 100 N

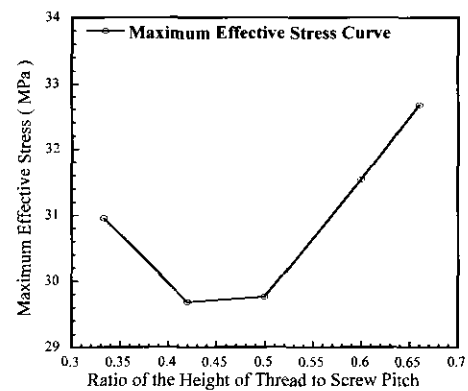


그림 14. 100 N의 15도 경사하중이 가해졌을 때 피치에 대한 나사산 높이의 비의 변화에 따른 최대등가응력 곡선
 Fig. 14. Maximum effective stress as a function of ratio of the height of thread to screw pitch with a 15 degree oblique load of 100 N

을 수행하였으며, 수행된 curve fitting을 통해 최대등가응력이 가장 낮은 최적의 나사산 높이의 치수인 0.46을 얻을 수 있었다.

그림 15는 위 식의 계산으로부터 얻은 나사산 높이의 비가 0.46인 고정체에 각각의 100 N의 수직하중과 동일 크기의 15도 경사하중이 가해졌을 때 응력분포 결과이다. 발생된 최대등가응력은 두 그래프에서 예측된 결과와 유사하게 감소된 최대

등가응력이 발생했다. 나사산의 끝단의 폭의 비가 0.5이고 나사산 높이의 비가 0.46일 때 다른 고정체 나사산의 치수일 때 보다 낮은 최대등가응력과 바람직한 등가응력분포가 나타났다.

그림 16과 17는 나사산 높이와 나사산 폭사이의 연성효과(coupling effects)가 있는지 조사하기 위해서 나사산 폭의 비가 1/3일 때 나사산 피치에 대한 나사산 높이의 비(1/3, 0.5, 2/3)의 변화에 따른 응력분포 해석결과이다. 그림 16은 나사산

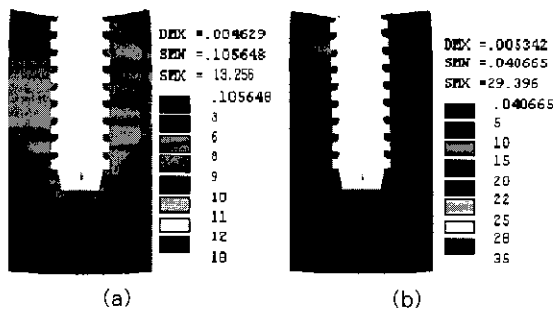


그림 15. 나사산 높이의 비가 0.46인 고정체에 100 N의 수직하중 (a)과 15도 경사하중(b)이 각각 가해졌을 때 응력분포
 Fig. 15. Effective stress distributions in the case when the ratio of the height of thread to screw pitch was 0.46 with (a) a vertical and (b) 15 degree oblique loads of 100 N, respectively

$p/3$ 일 때의 결과와 비교하면, 등가응력이 클 뿐만 아니라 바람직하지 못한 응력분포가 나타났다. 이 모든 결과를 종합해 보았을 때 나사산 높이와 나사산 끝단 사이의 연성효과는 무시할 수 있다.

결론

고정체의 나사산 형상에 따른 해석에서 고정체 나사산 끝부위에 라운딩이 된 형상(model 5)은 다른 형상들보다 상대적으로 낮은 최대등가응력과 바람직한 응력분포를 보여줬다. 그리고 이 결론을 근거로 한 나사산 끝단의 폭의 변화에 따른 응력해석에서는 가해지는 하중을 전달할 수 있는 끝단의 폭이 가장 넓은 $0.5p$ 일 때, 다른 두 경우 $0.25p$, $p/3$ 때보다 응력분포가 더욱더 효과적으로 나타났다. 나사산 끝단의 폭의 변화에

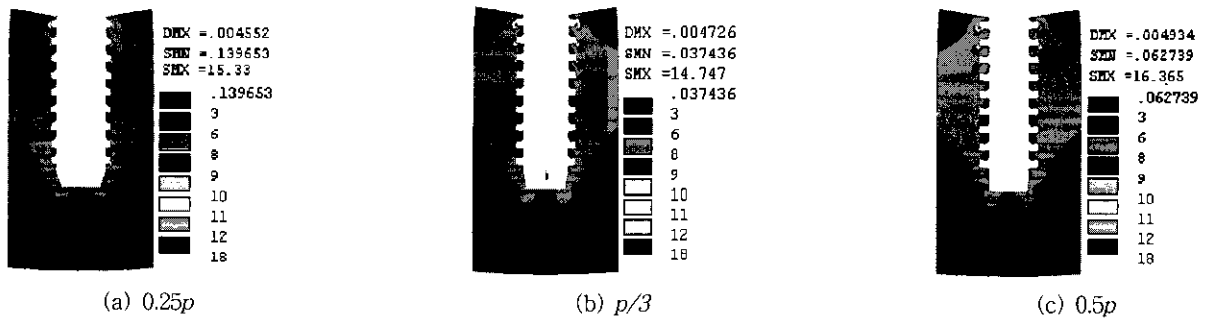


그림 16. 나사산의 끝단의 폭의 비가 1/3인 고정체에 100 N의 수직하중이 가해졌을 때 나사산 높이의 변화에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 16. Effective stress distributions for various heights of thread with a vertical load of 100 N when the ratio of width of thread end to screw pitch is a third of pitch

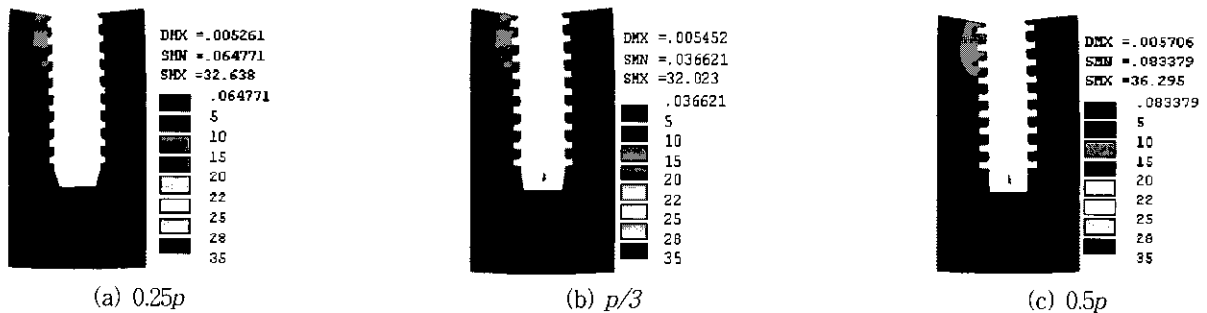


그림 17. 나사산의 끝단의 폭의 비가 1/3인 고정체에 100 N의 경사하중이 가해졌을 때 나사산 높이의 변화에 따른 전체적인 응력분포
 Fig. 17. Effective stress distributions for various heights of thread with a 15 degree oblique load of 100 N when the ratio of width of thread end to screw pitch is a third of pitch

의 끝단의 폭 비가 1/3인 경우 고정체에 100 N의 수직하중이 가해졌을 때 고정체의 나사산 높이의 비의 변화에 따른 응력분포 결과이다. 그림 17은 고정체에 15도의 경사하중이 가해졌을 때 응력분포 결과이다. 두 하중 조건하에서 나사산의 높이가 $p/3$ 일 때 다른 두 경우들의 결과보다 더 효과적으로 나타났다. 그러나 앞의 결과, 나사산 폭이 $0.5p$ 이고 나사산 높이가

따른 응력해석에서 가장 바람직한 응력분포가 나타난 나사산 끝단의 폭이 $0.5p$ 일 때 나사산 높이의 변화에 따른 응력해석 결과에서는 나사산 높이의 비가 $2/3$ 일 때 다른 경우들보다 고정체에 가해지는 하중을 전달할 수 있는 면적은 넓지만, 모멘트의 증가로 인해 나사산 뼈에 접한 부위에서 높은 등가응력이 발생하였다. 나사산 높이의 변화에 따른 응력해석 결과에서

얻어진 최대등가응력을 근거로 한 그래프로부터 최대등가응력이 최소인 최적의 나사산의 높이의 비가 0.46임을 알 수 있었고, 실제 응력해석 결과에서도 최대등가응력은 감소하였고 효과적인 응력분포가 나타났다. 그리고 나사산 끝단의 폭의 비가 1/3와 0.5인 결과를 비교함으로써 나사산의 높이와 나사산 끝단의 폭 사이의 연관효과는 무시할 수 있음을 알았다. 그러므로 최적의 고정체 나사산 치수의 나사산 끝단의 폭과 나사산 높이가 각각 0.5p와 0.46p일 때 고른 등가응력분포와 가장 낮은 최대등가응력을 얻을 수 있다는 결론을 얻었다.

Acknowledgements

This study was supported by a grant(#HMP-98-G-2-035-B) of the HAN(Highly Advanced National) Project, Ministry of Health & Welfare, R.O.K.

후 기

본 논문은 선도기술 의료공학·기술개발사업으로 이루어진 것이므로, 이에 관계자 여러분들께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. David C. Holmes, William R. Grigsby, Vijay K. Geol, John C. Keller. "Comparison of stress trasmission in the IMZ implant system with polyoxymethylene or titanium intramobile element :finite element stress analysis". Int J Oral Maxillofac Implants 7:450-458, 1992
2. 허성주,한종현,정종평, "골유착성 임플란트 고정체의 설계 변화에 따른 응력분포에 관한 삼차원 유한요소 분석적 연구", 대한치과보철학회지, Vol. 35, No. 3, 1997
3. 장경수,김영수,김창희, "골조직과 임플란트계면의 최소점 축분율에 관한 삼차원 유한요소분석적 연구", 대한치과보철학회지, Vol. 35, No. 4, 1997

4. Eric P. Holmgren, Robert J. Seckinger, Leslie M. Kilgren. "Evaluating parameters of osseointegrated dental implant using finite element analysis a two-dimensional comparative study examining the effects of implant diameter, im-plant shape, and load direction". Journal of Oral Implantology, Vol.XXIV, No. Two, 1998
5. David C. Holmes, Jeffrey T. Loftus, "Influence of bone quality on stress distribution for endosseous implants". Journal of Oral Implantology, Vol,XXIII,No. Three, 1997
6. Martin Kregzde, Dipl Ing, "A Method of Sele-cting the Best Implant Prosthesis Design Option Using Three-Dimensional Finite Element Analysis", Int J Oral Maxillofac Implants, No. 8, pp.662-673, 1993
7. Isreal Lewinstein, Leslie Banks-Sills, Rami Elisi, "Finite Element Analysis of a New System(IL) for Supporting an Implant-retained Canti-lever Prosthesis", Int J Oral Maxillofac Implants, No. 10, pp.355-366, 1995
8. Victor del Valle, Gary Faulkner, John Wolfaardt, "Craniofacial Osseointegrated Implant Induced Strain Distribution", Int J Oral Maxillofac Implants, No. 12, pp.200-210, 1997
9. Abrani K. Patra, Karl S. D'Souza, Daniel DeTolla, "Guidelines for Analysis and Redesign of Dental Implants", Implant Dentistry, Vol. 7, No. 4, 1998
10. D. Siegele, "Numerical investigations of the influence of implant shape on stress distribution in the jaw bone". Int J Oral Maxillofac Implants, 4:333-340, 1989
11. Carl E. Misch, Implant Dentistry, ed 2. Mosby, 1999
12. Biconth Bulletin, BICON, CO. LTD.
13. O. C. Ziennkiewics, R. L. Taylor, "The finite element method", ed 4. New York, McGraw Hill, 1989