

치과 임플란트용 골융합 측정기의 설계 및 평가

이주희^{1,3}, 김창일¹, 백종후¹, 조정호¹, 전명표¹, 정영훈¹, 이영진^{1,a}, 이정배², 이승대²

¹ 한국세라믹기술원,

² (주)디메텍,

³ 고려대학교

Design and Evaluation of Osseointegration Analysis System for Dental Implant

Joo-Hee Lee^{1,3}, Chang-IL Kim¹, Jong-Hoo Paik¹, Jeong-Ho Cho¹, Myoung-Pyo Chun¹,
Young-Hun Jeong¹, Young-Jin Lee^{1,a}, Jeong-Bae Lee², and Seung-Dae Lee²

¹ Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul 153-801, Korea

² DMETEC Co.,LTD, Bucheon 420-734, Korea

³ Department of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

(Received October 13, 2010; Revised January 20, 2011; Accepted January 25, 2011)

Abstract: The osseointegration of dental implant is influenced by many factors such as surface geometry, loading and the amount of bone. Thus, stability of the dental implant should be checked periodically. In order to test the stability of dental implant by using resonance frequency analysis, we designed a structure of transducers and fabricated a piezoelectric devices. Using finite element analysis, the thickness and length of piezoelectric device and transducers were tailored and the optimized frequency of 10 kHz was obtained. The resonance frequency from simulation analysis and evaluation was estimated to be similar as 10 kHz. The osseointegration was further enhanced with increasing frequency from the evaluation result of the finite element analysis.

Keywords: Dental implant, Resonance frequency, Acoustic, Piezoelectric

1. 서론

생체 내에서 나사형 골내 임플란트의 성공적인 골유착은 임플란트의 표면 형상과 기하학적인 형태, 식립한 매식체 주위의 골질과 양 기능적 교합시의 하중의 크기와 방향 등 많은 요인에 의해 좌우된다 [1]. 따라서 매식체 식립 시에 초기 안정성과 기능 시 임

플란트의 상태를 모니터링 할 수 있고 정량적으로 정확하게 측정할 수 있다면, 발생 가능한 임상적 징후들에 대한 예견이 가능하고, 더 나아가 임플란트의 디자인을 각각의 환자에게 최적으로 적합하게 개량이 가능하고 임플란트의 실패율을 줄일 수 있다. 현재 임플란트의 안정성과 골유착에 대한 측정을 위한 가역적인 임상적 방법들에는 타진 반응, 방사선 검사, periotest 및 dental fine tester 등이 있는데 시술자간의 시술 방법과 적용에 따른 차이 때문에 표준화가

a. Corresponding Author : yjlee@kicet.re.kr

어려운 실정이다 [2]. 따라서 생체 내에서 임플란트의 안정성을 정량적으로 측정하기 위한 가역적 실험법의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 물성체의 고유 진동수를 측정하기 위한 가역적 실험을 위해 유한요소법을 이용한 시뮬레이션 방법을 이용하여 가로, 세로, 재료 등 구조의 변수에 따라 발생하는 공진주파수의 경향분석을 통해 적합한 효율을 가지는 구조를 찾고자 하였으며, 얻어진 시뮬레이션 결과에 따라 제작된 공진주파수 측정기의 평가를 통해 시뮬레이션 결과와의 타당성을 검증하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 골융합 측정기의 이론 및 설계

2.1.1 임플란트의 안정성

임플란트의 안정성은 식립 시 식립부의 골량, 임플란트의 길이, 직경 및 형태, 식립방법 등의 기계적인 안정성을 나타내는 일차 안정성과 식립 후 임플란트와 조직계면 간의 골 재생과 골 개조의 결과로 발생하는 이차 안정성으로 구분할 수 있다 [1]. 임플란트의 안정성을 측정하는 여러 가지 방법들 중 공진 주파수를 이용한 방법은 임플란트 식립 후의 안정성 변화 측정을 가능하게 해준다고 알려져 있다 [3,4].

임플란트의 공진주파수의 측정원리는 식(1)과 같다. 두 개의 압전소자로 구성된 변환장치를 이용하여 측정하게 되며 각 탄성계수(E), 관성모멘트(I), 빔의 유효길이(l), 단위길이 당 진동량(m)을 나타낸다 [4].

$$fn = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3EI}{ml^3}} \quad (1)$$

2.1.2 유한요소법을 이용한 임플란트 측정기의 기본설계

본 연구에서 적용한 골융합기는 그림 1과 같이 L 형태의 트랜스듀서 구조체에 압전소자를 부착한 형태로 이루어져 있다. 압전 소자의 두께와 길이에 따라 공진주파수대역이 달라지기 때문에 적합한 공진주파수 대역을 가지기 위한 최적구조를 유한요소 방법을 이용하여 각 변수에 대한 경향을 살펴보았다.

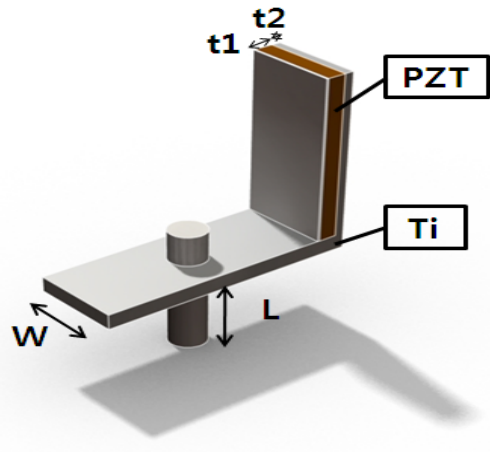


Fig. 1. Model of osseointegration analysis system.

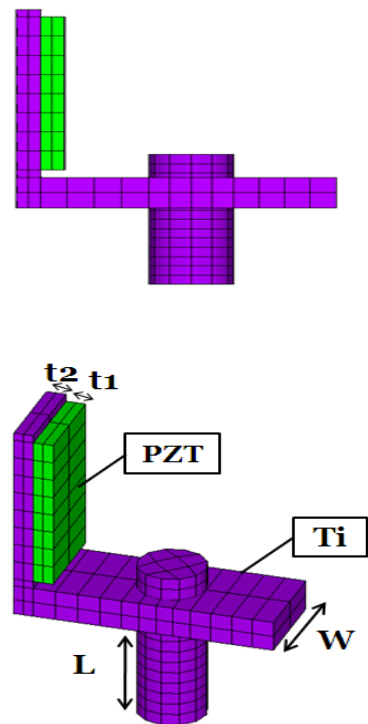


Fig. 2. FEM model designed Ansys.

ANSYS를 사용하여 유한요소해석을 하였고, 구조에 따른 공진주파수를 보기위한 modal 해석과 정해진 범위 안의 주파수 경향을 보는 harmonic 해석을 통해 최적구조를 도출하고자 하였다.

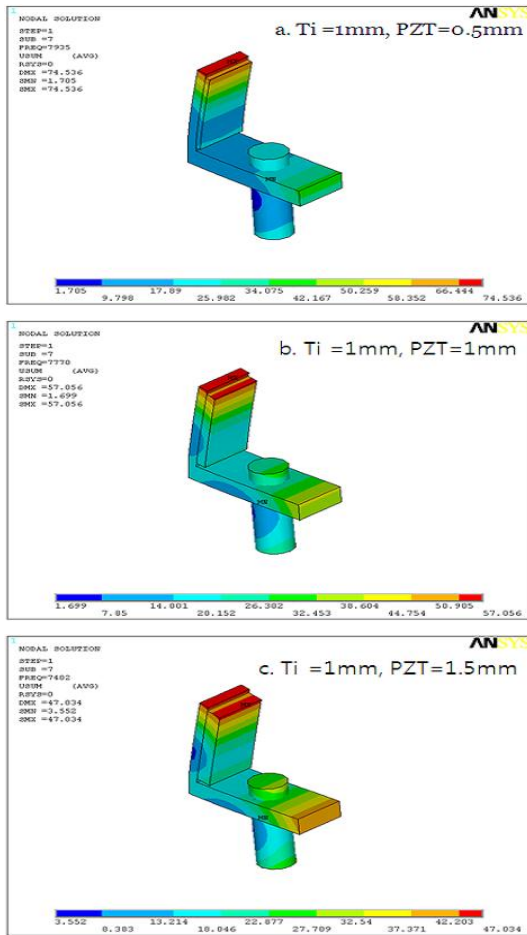


Fig. 3. Result of modal simulation by thickness of PZT.

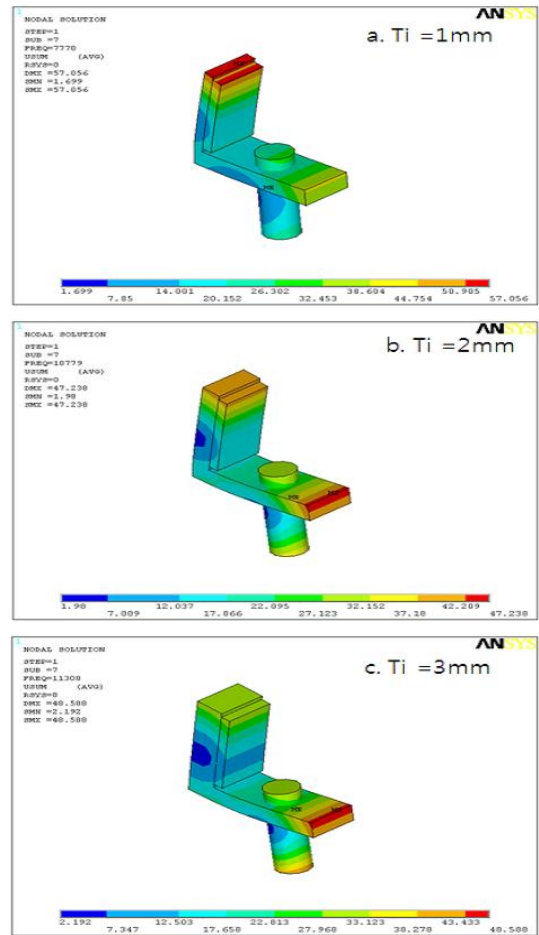


Fig. 4. Result of modal simulation by thickness of transducer (t_2).

Table 1. Changing of frequency by PZT thickness (t_1).

t_1 Thickness(mm)	0.5	1	1.5
Resonance Frequency(kHz)	7.94	7.77	7.40

그림 2는 ANSYS를 이용하여 설계한 골융합기의 모습이다. 압전소자의 경우 PZT5A의 물성을 사용하였으며, 트랜스듀서의 몸체는 Ti를 사용하였다. 전체적인 크기는 임플란트 측정 시 불편함을 최소화할 수 있도록 15 mm 내외로 설계해야 했으므로 소자의 길이는 10 mm로 고정하였다.

압전소자의 두께(t_1), 압전소자와 접촉되는 부분의 트랜스듀서 두께(t_2), 압전소자와 트랜스듀서의 폭

(W), 고정나사의 길이(L)을 변수를 선정하여 주파수 변화에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

2.2 하모닉 해석을 통한 공진주파수와 변위량

2.2.1 압전소자의 두께변화(t_1)에 따른 최적구조

그림 3은 압전소자의 두께(t_1)에 따른 주파수를 modal 해석을 통해 나타난 결과이다. 초기 설정된 치수는 t_1 과 t_2 는 0.5 mm, L 과 W 는 5 mm이었으며, 이 중 압전소자와 트랜스듀서의 폭인 W 는 5 mm로 동일하며, 소자의 두께(t_1)를 0.5 mm~1.5 mm까지 점차 증가시킨 경우를 해석하였다. 그 결과 7 kHz 대역의 주파수에서의 변위분포 모습을 나타내고 있으며, 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

Table 2. Changing of frequency by thickness of transducer (t2).

Ti Thickness(mm)	1.0	2.0	3.0
Resonance Frequency(kHz)	7.77	10.78	11.31

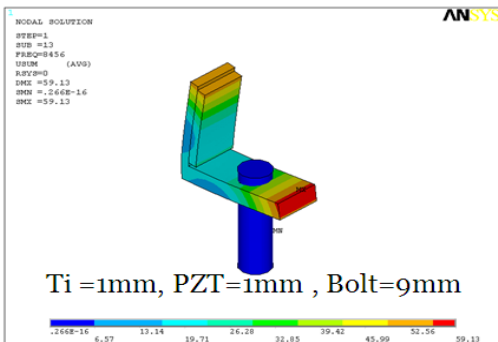
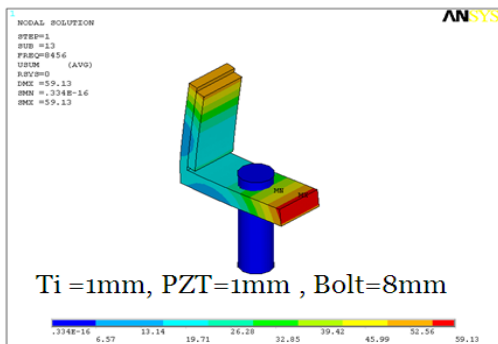
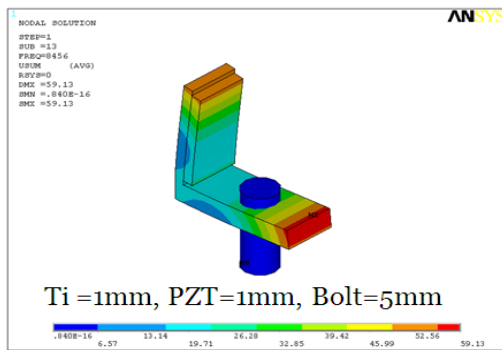


Fig. 5. Result of modal simulation by length of set screw (L).

이와 같은 결과를 볼 때, 압전소자의 두께(t1)가 증가할수록 공진주파수가 점차 낮아짐을 알 수 있었다.

2.2.2 트랜스듀서의 두께변화(t2)에 따른 공진주파수 변화

골용합 측정기의 트랜스듀서 두께(t2)에 따른 주파수를 modal 해석을 통해 나타낸 결과이다. 폭 W와 고정나사의 길이 L은 5 mm, 압전소자의 두께 t1은 0.5 mm로 초기조건과 동일하며, 트랜스듀서의 두께 t2만 1.0 mm~3.0 mm까지 점차 증가시켜 해석하였다.

위 그림은 7 kHz 대역의 주파수에서의 변위분포 모습을 나타내고 있으며, 해석결과 표 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

t2의 경우 t1과 달리 두께가 점차 증가할수록 공진주파수가 점차 증가함을 알 수 있었다.

2.2.3 트랜스듀서 고정나사의 길이(L)에 따른 공진주파수 변화

고정나사의 길이(L)를 증가시켰을 경우의 시뮬레이션 결과를 그림 5에 나타내었다. W는 5 mm, t1과 t2는 0.5 mm로 초기 조건으로 고정하고, L의 길이만 5 mm에서 9 mm까지 점차 증가시켰을 때의 modal 해석 결과이다. 이 결과는 L이 각 5 mm, 8 mm, 9 mm 일 때의 해석결과로 길이에 상관없이 출력결과는 8.456 kHz 나타내었으며, 이는 고정나사의 길이 L은 공진주파수 변화에 미치는 영향이 미비함을 나타낸 결과였다.

이상의 결과들을 종합하여 가로 5 mm, 세로 11 mm 두께 0.5 mm의 소자를 제작하기로 결정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압전소자의 제작

소자는 일반적인 세라믹 공정으로 만들었으며, 두께는 각 0.5 mm와 1.0 mm의 두 가지 종류로 만들었다. 소결은 1200°C에서 하였고, 폴링은 125°C 실리콘 오일 안에서 2.5 kV/mm의 전압을 15분 동안 걸어 주었다. 표 3과 그림 6은 샘플 접착 전 소자만의 특성 측정 결과이다. 제작된 압전소자의 경우 158 kHz 대역에서 공진특성을 나타내었다.

3.2 골융합 측정기의 제작 및 공진주파수 측정 평가

트랜스듀서 구조체의 경우 가공성이 좋은 AI를 사용하여 제작하였고 여기에 제작된 소자를 폴리머 계열의 열경화성 접착제를 사용하여 160℃의 건조로에서 3시간 동안 접착하였다. 그림 8은 접착 후 완성된 샘플의 모습이다.

완성된 샘플을 4194A 임피던스 측정기로 조립 전, 후를 측정해본 결과, 그림 7과 같이 트랜스듀서 몸체와 임플란트 픽스처를 나사로 강하게 조일수록 주파수가 증가함을 볼 수 있었다.

실제 뼈 대신 측정에 사용하기 위해 경도가 높고 가공성이 좋은 POM (polyoxymethylene)을 사용하여 임플란트 픽스처를 제작하였다. 완전한 것과 1/4를 컷팅된 2가지 타입을 통해 골유착 정도를 비교하였다. 골융합 측정값(Q_m)의 산출식은 식(2)와 같다. 여기서 Fa 는 반공진 주파수, Fr 은 공진주파수, Zr 은 공진임피던스, C 는 압전세라믹의 C 값을 나타낸다.

$$Q_m = \frac{Fa^2}{2\pi Fr Zr C (Fa^2 - Fr^2)} \quad (2)$$

그림 9는 각 샘플의 골융합도를 자체 제작된 측정 장치를 통하여 측정하는 모습이다. 그림의 왼쪽 샘플의 경우 임플란트 픽스처가 1/4컷팅 되어있어 불완전한 융합상태를 만들어 가정하였고, 오른쪽 샘플의 경우 임플란트에 빈틈없이 밀착이 되어있어 완전한 융합상태라 가정하여 측정하였다.

그 결과 불완전 픽스처의 경우 측정파형이 불안정한 반면, 완전한 픽스처에서는 안정한 파형을 보여 주었다.

표 4는 자체 제작한 골융합 측정기를 테스트한 결과이다. 표의 평균값을 보면 오차가 약 0.06% 미만으로 높은 신뢰도를 가지고 있음을 나타내었다. 또한 완전융합과 불완전 융합 상태에 따라 얻어진 Q_m 값이 1.5배 이상 차이가 남을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 임플란트의 식립 상태를 주기적으로 파악하여 불완전한 식립 징후를 검출할 수 있는 골융합 장치를 개발하였다.

1. 유한요소 해석을 통해 압전소자와 트랜스듀서의 두께에 따른 시뮬레이션 결과, 압전소자의 두께(t_1)가 증가할수록 공진주파수가 낮아졌으며, 골융합 트랜스듀서 두께(t_2)가 증가할수록 공진주파수는 증가하였다.
2. 시뮬레이션 결과로 얻어진 최적구조를 바탕으로 제작된 골융합 측정기의 골융합에 따른 공진주파수 비교를 실시하였으며, 측정된 결과 가지는 고정도가 높을수록 즉 유착정도가 좋을수록 주파수가 상승하는 것을 확인하였다.

REFERENCES

[1] N. Meredith, *J prosthodont Int.* **11**, 491 (1988).
 [2] S. J. Kim, D. H. Han, *J Korean Acad Prosthodont.* **36**, 758 (1998).
 [3] N. Meredith, L. Rasmusson, L. Sennerby, D. Alleyne, *J Med Sci Res.* **24**, 191 (1996).
 [4] N. Meredith, D. Alleyne, P. Cawley, *J Clin Oral Impl Res.* **7**, 261 (1996).