

임플란트용 실링 어버트먼트의 개발 및 구조해석을 통한 성능분석

Development of a Sealing-Type Abutment for Implant and the Performance Evaluation via Structural Analysis

김정민¹, 홍대선^{2,✉}
Jeong Min Kim¹ and Dae Sun Hong^{2,✉}

¹ 창원대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design and Manufacturing, Changwon National University)

² 창원대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Changwon National University)

✉ Corresponding author: dshong@changwon.ac.kr, Tel: +82-55-213-3627

Manuscript received: 2015.12.31. / Revised: 2016.7.2. / Accepted: 2016.7.25.

Currently, dental implants are widely used as artificial teeth due to their good chewing performance and long life cycle. Generally, a dental implant consists of an abutment as the upper part and a fixture as the lower part. When chewing forces are repeatedly applied to a dental implant, a gap is often generated at the interfacial surface between the abutment and the fixture, and it results in some deterioration such as loosening of the fastening screw, dental retraction and fixture fracture. To enhance the sealing performance for coping with such problems, this study proposes a new sealing-type abutment having a number of grooves along the conical surface circumference, and it carries out finite element analysis in consideration of the external chewing force and pretension between the abutment and the fixture. The result shows that the proposed sealing-type abutment shows an enhanced sealing performance in terms of the contact pressure in comparison with a conventional abutment.

KEYWORDS: Dental implant (치과 임플란트), Sealing-Type abutment (실링 어버트먼트), Finite element analysis (유한요소해석), Fixture (고정체)

기호설명

d = Depth of the groove in the sealing abutment

h = Spacing between grooves

1. 서론

치과 임플란트는 1969년에 스웨덴의 룬트 대학

의 정형외과 의사인 Branemark 교수에 의해 생체와 금속간의 직접적인 결합인 골유착의 개념이 보고된 이후 많은 실험과 임상적 적용을 통해 발전을 거듭하여 현재는 신뢰할 수 있는 치아 치료의 한 방법으로 널리 사용되고 있다.^{1,2}

Fig. 1은 치과 임플란트를 구성하는 어버트먼트 (Abutment)와 고정체 (Fixture), 그리고 보철 크라운 (Crown)의 형상을 나타내는데, 고정체는 임플

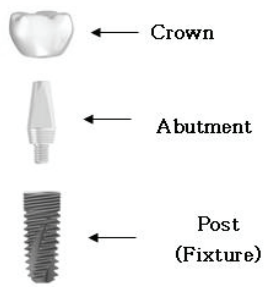


Fig. 1 Constitution of a dental implant

란트의 매식체로서 뼈안에 식립되는 치근 역할을 하고, 어버트먼트의 한쪽은 고정체에 나사체결에 의해 연결되는 기둥으로써 임플란트의 지대주 기능을 한다. 그리고 어버트먼트의 다른 반대편에는 크라운이 고정된다.

이 치과 임플란트는 특수한 환경인 구강 내에 식립되어 치아의 역할을 대신하여 정하중 및 동하중을 지속적으로 받게 되므로 생체역학과 관련하여 많은 문제점들이 발생될 수 있다. 이러 한 문제점 중 가장 흔한 현상은 나사의 이완, 보철물의 풀림 현상, 임플란트 고정부의 파절 및 경 부부위의 골 손실 등을 들 수 있으며,^{3,4} 특히 풀림 현상은 보철물 사이로 이물질이 개입됨에 따라 임플란트의 기능을 현저하게 상실시키는 원인을 일으킨다.

기존의 일반 어버트먼트에서 풀림 (Loosening) 이 발생하는 근본원인을 보면 어버트먼트와 고정체는 서로 원주 형상으로 면 접촉하고 있는데, 실제로 이 접촉면 간의 완벽한 면 접촉은 불가능하고 또한 치아에 반복적으로 걸리는 저작력에 의해 접촉면이 변형을 일으켜 어버트먼트와 고정체 간에 틈이 발생하는데 기인한다. 이러한 틈이나 풀림현상이 발생하면 이물질이 끼며 이로 인한 세균막의 침착은 물론 치아의 함몰, 고정부의 파단을 가져오며 환자는 벌어진 틈을 다시 조여줄 필요가 있어서 교정시술을 받아야 하는 불편함이 있다.

이와 같은 문제점을 해결하고자 여러 연구가 진행되고 있는데, 임플란트 부품에 대해서는 어버트먼트 (Abutment) 및 나사산의 크기와 형태,^{5,6} 저작력 (Chewing Force) 및 조임력 (Pretension)⁷⁻⁹ 등에 대해 연구를 들 수 있다.

본 연구에서는 어버트먼트에서 풀림 현상을 해결하기 위한 방법으로서 어버트먼트의 원주상에 여러 개의 홈 형상을 갖는 실링 어버트먼트를 개

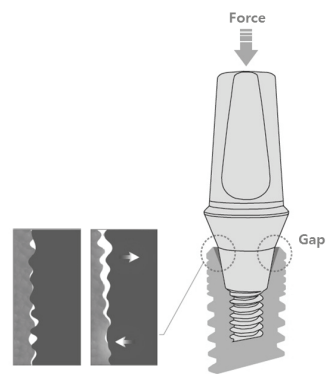


Fig. 2 Gap occurrence in an abutment against external force

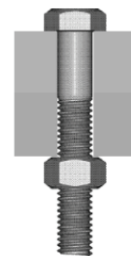


Fig. 3 Mechanism of loosening occurrence

발하고 또한 이와 고정체간의 접촉상태를 고려한 유한요소해석을 수행한다. 그리고 여러 가지 격자의 개수에 따른 해석 결과를 비교 분석하여 본 요소 모델에 대한 해석 신뢰성을 검증한다. 최종적으로 해석 결과를 종래의 어버트먼트에 대한 해석 결과와 비교하여 본 실링 어버트먼트의 성능을 분석한다.

2 실링 어버트먼트의 개발

2.1 기본 개념

일반 어버트먼트의 경우 Fig. 2에 나타나 있는 바와 같이 저작력이 반복적으로 계속 작용하면 어버트먼트와 고정체 사이에 틈이 발생하게 되고 이로 인해 어버트먼트와 고정체간에 풀림 현상이 발생한다. 이 풀림이 발생하는 원인을 보면 첫 번째로는 Fig. 3에 나타나 있는 바와 같이 체결 나사의 길이가 늘어나는 경우이다. 이 경우 어버트먼트 나사에 추가 인장력이 발생을 하는데 이로 인한 영구 변형이 발생하게 되면 풀림현상이 발생한다. 두 번째로는 나사가 회전되는 경우로서 외부 요인

에 의해 체결되어 있는 어버트먼트 수나사와 고정체 암 나사간의 마찰력이 감소되면 풀림현상이 발생할 수 있다.

이와 같은 풀림 현상을 최소화시키기 위하여 본 연구에서는 어버트먼트의 원추형 외면에 여러 개의 홈을 만들고, 이 결과로 접촉되는 돌출면의 접촉 압력을 보다 더 고르게 분포되게 하여 나사의 풀림이나 어버트먼트의 흔들림을 최소화시키고자 한다. 이는 돌출 부위에 외력이 가해 되면 홈 부위에 변형이 생기고 이로 인해 접촉면 사이에 보다 높은 실링 (Sealing) 효과를 볼 수 있기 때문이다. 이와 같은 원리는 실생활이나 산업현장에서 자주 볼 수 있다.

대표적인 예로 타이어의 경우 트레드의 돌출된 부분이 지면에 닿으면서 변형이 발생하고, 이로 인해 접촉 면적이 넓어지면서 압력이 보다 더 균등하게 분포되게 되어 운전 안정성이 향상된다. 또한 자동차 엔진의 피스톤 링과 신발 밑창의 경우도 역시 돌출된 부분의 접촉 압력이 상대적으로 균등하게 분포되는 현상을 이용한 것들에 속한다.

2.2 실링 어버트먼트 형상 및 홈 규격

위에서 설명한 원리를 이용하여 본 연구에서는 Fig. 4에 나타나 있는 바와 같이 기존 어버트먼트의 원추면에 여러 개의 홈 형상을 갖는 새로운 형태의 실링 어버트먼트를 개발하였다.

여기서 홈의 개수는 어버트먼트의 치수 및 홈 가공 방법 등을 고려하여 6개로 정했다. 본 연구에 적용된 어버트먼트의 전체 길이는 10.28 mm 이고 직경은 4.06 mm이다. 그리고 홈의 형상은 사다리꼴로 하였고, Fig. 5에 이 홈의 형상을 나타낸다. 여기서 홈의 깊이 d는 0.05 mm이고, 홈 간의 간격 h는 1.71 mm로 하였다.

3. 실링 어버트먼트의 유한요소해석

3.1 모델링 및 해석 조건

앞 절에서 설명한 바와 같이 기존 일반 어버트먼트의 외주면에 6개의 홈을 갖는 실링 어버트먼트에 대하여 3D 모델링을 생성하였고, 이를 Fig. 6에 나타낸다. 여기서 어버트먼트와 고정체의 재질은 티타늄합금 (Ti6Al4V)을 사용하고, 그 물성치를 Table 1에 나타낸다.

구조해석 툴은 ANSYS Workbench¹⁰를 이용하고, 경계조건으로는 Fig. 7에 나타나 있는 바와 같이

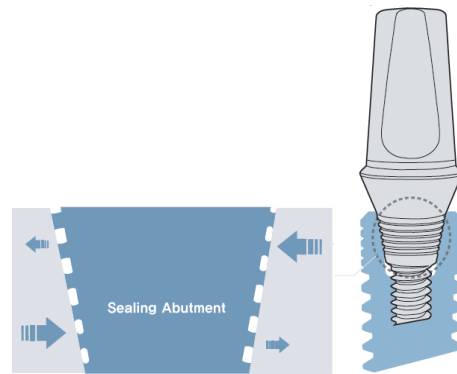


Fig. 4 Groove shape of the sealing abutment

Table 1 Mechanical property of Ti6Al4V

Density	4430 kg/m ³
Poisson's ratio	0.342
Tensile yield strength	880 MPa
Tensile ultimate strength	950 MPa
Compressive yield strength	970 MPa

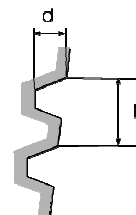


Fig. 5 Groove shape and dimensions

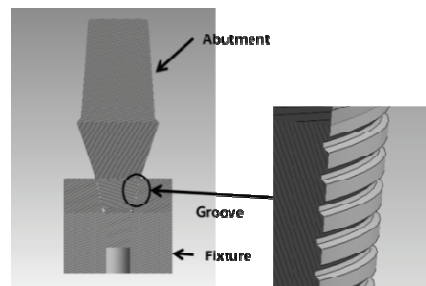


Fig. 6 3D modeling of the sealing abutment

고정체의 외부를 고정 (Fixed Support)하고 대칭 조건을 부여하며, 어버트먼트 외면과 고정체 내면은 서로 면 접촉을 이루도록 한다. 이러한 티타늄 합금간의 면 접촉 및 미끄럼 발생시에는 마찰력이 발생하므로 여기에서 접촉조건으로 마찰계수는 0.2로 설정하였다.¹¹

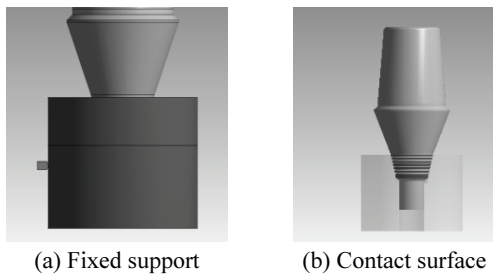


Fig. 7 Boundary conditions

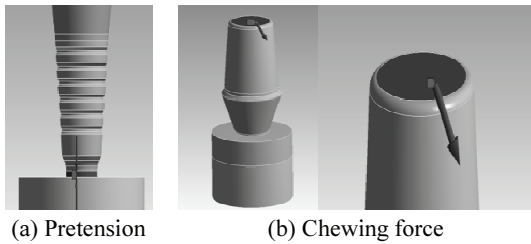


Fig. 8 Force conditions

한편 어버트먼트는 고정체에 나사 체결로 고정 시켜서 사용하는데, 이 때 사용되는 조임 토크는 0.35 Nm이다. 이 경우에 체결되는 어버트먼트 나사부위에 인장력이 발생하게 되므로, 이를 나사의 회전력과 토크에 관한 관계식¹²을 이용하여 환산하면 177.4 N의 조임력 (Pretension)이 구해지고, 이 조임력을 Fig. 8(a)에 나타낸다.

해석시 어버트먼트에 가해지는 외부 하중조건 으로서는 임플란트 피로시험 규격인 ISO 14801¹³의 방법을 따른다. 이 규격에서는 어버트먼트 끝단에 250 N의 힘을 30° 경사로 가하도록 되어 있고, 이를 Fig. 8(b)에 나타낸다. 이상과 같이 하중조건 으로서 조임력과 외부 저작력을 고려한다.

유한요소해석을 위해 Fig. 9와 같이 일반 어버트먼트와 실링 어버트먼트의 유한요소 모델의 격자를 생성하였다. 본 연구에서 유한요소해석 결과에 대한 신뢰성을 검증하기 위하여 격자 크기를 6 단계로 증가시켜 각각에 대한 해석 결과를 얻고 이를 비교 분석하고자 한다. Tables 2와 3은 각 격자크기에 대한 노드와 요소의 개수를 나타낸다. 이 표들에 나타나 있는 바와 같이 노드 개수 최대 값 대 최소값 비율은 약 6배이고, 요소 개수의 경우는 약 12배이다. 여기서 격자의 형상을 일정하게 생성하기 위하여 어버트먼트의 격자 형태는 Sweep Method를 적용 하고 고정체는 Multi-Zone Method를 적용하였다.¹⁴

Table 2 Statistics of meshes for the conventional model

Case	1	2	3	4	5	6
Nodes	52,111	83,451	110,727	169,065	211,589	331,453
Elements	11,676	18,758	41,842	71,763	86,939	139,437

Table 3 Statistics of meshes for the sealing model

Case	1	2	3	4	5	6
Nodes	52,111	83,451	110,727	169,065	211,589	331,453
Elements	14,096	22,278	55,405	96,265	112,325	180,876

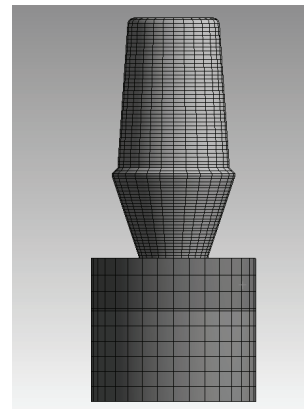


Fig. 9 Meshing

3.2 유한요소해석 결과

앞에서 경계조건 및 하중조건을 기준으로 본 실링 어버트먼트에 대한 유한요소해석을 수행한다. 여기서 본 유한요소 모델에 대한 해석 신뢰성을 검증하고자 여러가지 격자의 개수에 따른 해석 결과를 비교 분석하고, 또한 해석 결과를 종래의 어버트먼트에 대한 해석 결과와 비교하여 본 실링 어버트먼트의 성능을 분석한다.

해석결과로서 격자의 수에 따른 어버트먼트에서 발생하는 최대 응력과 최대접촉압력을 얻었고, 일반 어버트먼트에 대한 결과는 Table 4에, 그리고 실링어버트먼트에 대한 결과는 Table 5에 각각 나타낸다.

먼저 Table 4에 나타나 있는 최대응력에 대해서는 두 모델 모두 격자가 증가함에 따라 결과값이 증가 또는 감소를 반복하고 있음을 볼 수 있다. 여기서, 실링 어버트먼트의 경우에 발생하는 최대 응력은 CASE 2에서 348 MPa으로 가장 크게 발생하고 CASE 1에서 241 MPa로 가장 작게 발생한다. 이 표를 보면 어버트먼트 두 모델 모두 CASE 4 이후에는 그 값이 그다지 큰 차이가 나지 않음을

Table 4 Maximum equivalent stress according to various mesh sizes

CASE		1	2	3	4	5	6
Maximum equivalent stress (MPa)	Conventional	239	263	249	284	281	272
	Sealing	241	348	280	311	316	339

Table 5 Maximum contact pressure according to various mesh sizes

CASE		1	2	3	4	5	6
Maximum contact pressure (MPa)	Conventional	483	328	447	389	378	443
	Sealing	742	508	438	425	400	414

알 수 있다.

다음으로 Table 5에 나타나 있는 접촉압력에 대한 결과를 보면, 일반 어버트먼트의 경우는 최대 응력의 결과와 유사한 경향을 보이고 있고 실링 어버트먼트의 경우 CASE 1에서 742 MPa로 가장 크게 발생하고 CASE 5에서 400 MPa로 가장 작게 발생 하는 것을 볼 수 있다. 그리고 최대응력의 경우와 마찬가지로 본 최대 접촉압력 값도 CASE 4 이후에는 그다지 큰 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

이상과 같은 결과를 종합하면 격자 수 변화에 따른 본 유한요소 해석결과 상대적으로 격자수가 작은 CASE 1과 CASE 2의 경우의 해석 결과는 약간 불안정하게 나타나고 있으나, 상대적으로 격자수가 큰 CASE 4부터 CASE 6까지는 비교적 안정한 값을 보이고 있다. 여기서 CASE 4의 격자수는 CASE 1의 약 3배이다. (Tables 2와 3 참조) 따라서 격자 수 변화에 따른 본 유한요소 해석 에서 CASE 4부터 CASE 6의 해석결과는 신뢰성이 있음을 보인다.

다음으로 위의 해석결과를 바탕으로 실링 어버트먼트와 일반 어버트먼트 간의 성능을 비교한다. 여기서 해석결과는 비교적 안정한 결과를 보이고 있는 CASE 5를 기준으로 한다.

먼저 최대응력을 보면 실링 어버트먼트에서 316 MPa이고, 일반 어버트먼트에서는 281 MPa 로서 실링 어버트먼트에서 발생하는 최대응력이 약간 더 큰 값을 보인다. 소재의 항복응력이 880 MPa 이므로 두 경우 모두 모두 탄성영역 내에서

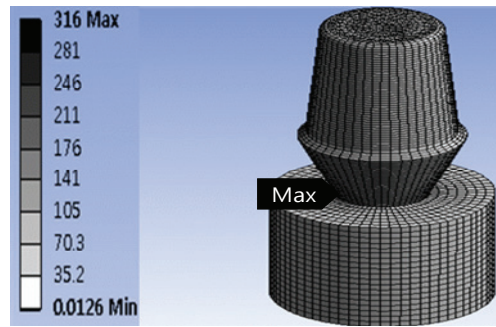
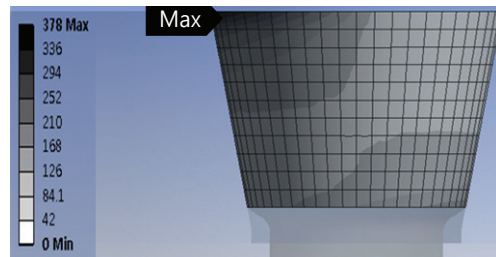
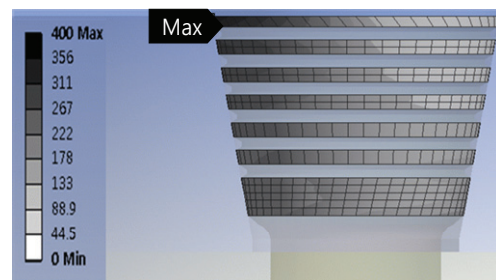


Fig. 10 Stress distribution in the sealing abutment



(a) Conventional abutment



(b) Sealing abutment

Fig. 11 Contact pressure on the contact surface

변형이 발생하고 있음을 알 수 있고, 이 응력에 대한 안전율은 각각 3.1과 2.8로서 그다지 큰 차이는 나지 않는다.

한편, 실링 어버트먼트에 걸리는 응력 분포를 Fig. 10에 나타낸다. 이 그림을 보면 최대응력은 어버트먼트와 고정체간의 접촉면의 최 상단부 에서 발생함을 알 수 있다.

다음으로 각 어버트먼트에 발생하는 접촉압력을 Fig. 11에 나타낸다. Fig. 11(a)는 일반 어버트먼트에 대한 결과이고, Fig. 11(b)는 실링 어버트먼트의 결과이다. 이 결과들을 보면 실링 어버트먼트에서 발생하는 최대 접촉압력은 400 MPa로서 이는 일반 어버트먼트의 경우의 최대 접촉압력인 378

MPa 보다 약간 더 큰 값을 보인다.

한편, 접촉압력 분포를 보면, Fig. 11(a)에 나타나 있는 일반 어버트먼트의 경우 좌상부와 우하부에 국부적으로 높은 접촉압력이 발생하고 있음을 보인다. 그렇지만 Fig. 11(b)에 나타나 있는 실링 어버트먼트 경우에는 일반 어버트먼트의 경우에 비해 접촉압력이 각 돌출부에 비교적 고르게 분포되어 있음을 볼 수 있고, 특히 실링 어버트먼트의 중간 아래 부분에서 매우 고르게 접촉압력이 발생함을 보인다.

이상과 같이 두 종류 어버트먼트에 대한 해석 결과들을 보면 해석 시 격자의 수가 어느 정도 증가한 이후에는 (위의 해석에서 CASE 4부터 CASE 6까지) 비교적 안정한 결과를 얻을 수 있었고, 이로부터 본 유한요소 모델에 대한 해석 신뢰성을 검증하였다. 그리고 응력 해석결과를 보면 두 가지 모델 모두 탄성 변형이 발생하고 있으며 제품 내에서 발생 하는 최대 응력은 그다지 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 그리고 최대 접촉압력의 크기는 실링 어버트먼트가 일반 어버트먼트에 비해 약간 더 큰 값을 보이고 있고, 특히 이 접촉압력 분포를 보면 실링 어버트먼트의 돌출부에 비교적 고르게 잘 분포되어 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 실링 어버트먼트가 일반 어버트먼트에 비해 고정체와의 접촉이 더 잘되어 있어 밀폐성능이 보다 더 향상되었음을 의미한다.

4. 결론

본 연구에서는 어버트먼트와 고정체간의 밀폐 효과를 극대화시켜 그 결과로 어버트먼트의 폴립 현상을 완화시키고자 어버트먼트 외주면에 여러 개의 홈을 갖는 실링 어버트먼트를 개발하였고, 유한요소 해석을 통하여 이 제품에 대한 성능을 분석하였다. 어버트먼트와 고정체는 서로 조립된 상태에서 외력이 가해지면 그 사이에서 마찰 접촉이 발생 하는데, 이 외력 및 어버트먼트와 고정체간의 초기 조임력을 고려하여 해석을 수행 하였다. 또한 해석 시 격자의 수 변화에 따른 해석 결과를 비교 분석하였는바, 격자의 수가 어느 정도 증가한 이후에는 비교적 안정한 결과가 나오는 것을 확인함으로써 본 유한요소 모델에 대한 해석 신뢰성을 검증하였다.

해석결과를 보면 제안한 실링 어버트먼트가 기존의 일반 어버트먼트에 비해 고정체 간에 발생하

는 최대 접촉압력이 약간 더 높고, 특히 접촉압력이 돌출부에 보다 더 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 개발한 새로운 실링 어버트먼트의 밀폐 성능이 보다 더 향상되었음을 의미한다.

후 기

이 논문은 2015, 2016년도 창원대학교 자율 연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

REFERENCES

1. Brånemark, P.-I., Breine, U., Adell, R., Hansson, B. O., Lindstrom, J., et al., "Intra-Osseous Anchorage of Dental Prostheses: I. Experimental Studies," *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*, Vol. 3, No. 2, pp. 81-100, 1969.
2. Gviria, L., Salcido, J. P., Guda, T., and Ong, J. L., "Current Trends in Dental Implants," *Journal of the Korean Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, Vol. 40, No. 2, pp. 50-60, 2014.
3. McGlumphy, E. A., Mendel, D. A., and Holloway, J. A., "Implant Chew Mechanics," *Dental Clinics of North America*, Vol. 42, No. 1, pp. 71-89, 1998.
4. Carlson, B. and Carlsson, G. E., "Prosthetic Complications in Osseointegrated Dental Implant Treatment," *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol. 9, No. 1, p. 90, 1994.
5. Siamos, G., Winkler, S., and Boberick, K. G., "The Relationship between Implant Preload and Screw Loosening on Implant-Supported Prostheses," *Journal of Oral Implantology*, Vol. 28, No. 2, pp. 67-73, 2002.
6. Haack, J. E., Sakaguchi, R. L., Sun, T., and Coffey, J. P., "Elongation and Preload Stress in Dental Implant Abutment Screws," *International Journal of Oral and Maxillofacial Implants*, Vol. 10, No. 5, p. 529, 1995.
7. Martin, W. C., Woody, R. D., Miller, B. H., and Miller, A. W., "Implant Abutment Screw Rotations and Preloads for Four Different Screw Materials and Surfaces," *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 86, No. 1, pp. 24-32, 2001.
8. Lee, M.-Y., Heo, S.-J., Park, E.-J., and Park, J.-M., "Comparative Study on Stress Distribution around Internal Tapered Connection Implants according to

- Fit of Cement-and-Screw-Retained Prosthesis,” The Journal of Advanced Prosthodontics, Vol. 5, No. 3, pp. 312-318, 2013.
9. Kim, N., Choi, K. H., and Oh, H. S., “The Evaluation of Fitness on Implant Bolt Joints as Tightening Torques,” Proc. of the Korean Society of Mechanical Engineers Autumn Conference, pp. 1786-1791, 2010.
 10. ANSYS Inc., “ANSYS Mechanical APDL Structural Analysis Guide,” http://congtrinhthep.vn/tailieuketcau.com/Umy/28-01-2012/ansys13_structural%20guide.pdf, (Accessed 13 December 2015)
 11. Koak, J. Y., Kim, H. W., Lee, K. R., and Heo, S. J., “DLC-Coated Dental Titanium Implant and The Method of Processing Thereof,” KOR Patent, No. 1020010033305, 2002.
 12. Hong, J. P., “Mechanical Design,” BooksHill, pp. 100-106, 2001.
 13. ISO 14801, “Dentistry-Implants-Dynamics Fatigue Test for Endosseous Dental Implants,” 2007.
 14. ANSYS Inc., Workbench Training Manual, “WB Mechanical Mesh,” pp. 11-21, 2015.