

## ÜÇ BOYUTLU SONLU ELEMAN ANALİZ YÖNTEMİYLE İKİ TİCARİ İMPLANT SİSTEMİNİN GERİLME DAĞILIMLARININ İNCELENMESİ

İbrahim DAMLAR\*<sup>1</sup>, Emre ÖZYILMAZ<sup>2</sup>, Ahmet ALTAN<sup>1</sup>, Eda ÖZYILMAZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mustafa Kemal Üniversitesi, Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı, 31040, Antakya, Türkiye

<sup>2</sup> Hitit Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 19030, Çorum, Türkiye

<sup>3</sup> Amasya Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya, Türkiye

### Anahtar Kelimeler

Kısa Dental İmplantlar  
Sonlu Eleman Analizi  
Abutment  
Simülasyon  
Tamamen Dişsiz Çene

### Özet

Dental implantlar eksik dişlerin yerinde kullanılan başarılı bir protez olarak kabul edilmektedir. Dental implantların diş, diş tasarımı ve ana şekli mikro olarak incelenmiştir. Diş tasarımı; diş geometrisi, diş derinliği, diş adımı, diş yüzey açısı, diş helis açısı veya kalınlığını içerir. İmplant tasarımı, implant yüzeyi, malzemenin biyouyumluluğu, cerrahi teknik ve yükleme koşulları gibi birçok faktör implant osseointegrasyonunu etkilemektedir. Sonlu Eleman Analiz (SEA) yöntemi, bir nesne içindeki gerilmeleri tahmin etmek için mekanik sistem simülasyonlarında kullanılan teorik bir teknik olarak kabul edilir. Bu bilgisayarlı matematiksel yöntem, bu etkileri değerlendirmek ve implantların biyomekanik karakteristiğini anlamak için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Osseoentegre olmuş dental implantlar, doğal dişler ile benzer özelliklere sahiptir. Dental implantlar sürekli dinamik ve statik yüklemeler maruz kalmaktadır. Bu implantlar etrafında stres konsantrasyonlarının bilinmesi çok önemlidir. İki implant sistemi için sekiz adet sonlu eleman modeli oluşturulmuştur. Sistemde iki tip kemik kombinasyonlu (elemanları ve düğüm numaraları modellenmiş) dört tip yapı vardır. Von Mises stres dağılımını hesaplamak için ANSYS Workbench programında Sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. 3 boyutlu modelin girişi için bilgisayar destekli mühendislik yazılımı kullanılarak modelin mesh kontrolü sağlanmıştır. Üç boyutlu modelden sonra yüklemeler, sınırlar ve malzeme koşulları tanımlanarak çalışmada kullanılan tüm malzemeler homojen, izotropik ve lineer elastik olarak kabul edilmiştir.

## INVESTIGATION ON STRESS DISTRIBUTION OF TWO COMMERCIAL DENTAL IMPLANT SYSTEMS WITH 3-D FINITE ELEMENT ANALYSIS

### Keywords

Short Dental Implants  
Finite Element Analysis  
Abutment  
Simulation  
Fully Edentulous

### Abstract:

Dental implants are considered as a successful replacement of missing teeth. Thread, thread design and body shape are in macro design of a dental implant. Thread design includes thread geometry, thread depth, thread pitch, face angle, thread helix angle or thickness. Many factors such as implant design, implant surface, material biocompatibility, surgical technique and loading conditions affect implant osseointegration. Finite Element Analysis (FEA) is an accepted theoretic technique that can be used to simulate mechanical systems to predict stresses within an object. This computerized mathematical method is utilized as an important tool to evaluate these effects and the implant biomechanical characteristics. Osseointegrated dental implants have similar role of natural teeth. They are continuously exposed to dynamic and static loadings. It is essential to understand stress concentrations around implants. Eight finite element models were constructed with two implant systems, which contained four types of fixture in combination with two types of bone quality; the numbers of elements and nodes were well refined in the models. The finite element analyses were performed with the ANSYS Workbench program, which was used to calculate the von Mises stress distribution. Computer-aided engineering software was used to input a 3D model of the sample and defined the mesh control of the models. After meshing the 3D model, conditions such as loads, constraints, and materials were assigned. All of the materials used in this study were considered to be homogenous, isotropic, and linearly elastic.

\*İlgili yazar: dridamlar@gmail.com

## 1. Giriş

Eksik dişlerin rehabilitasyonunda; dental implantların kullanımı, estetik ve konservatif açıdan oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Dental implantların makro tasarımında yivler, yivlerin dizaynı ve gövde şekli yer almaktadır. Yivlerin tasarımı ise yiv geometrisi, yiv derinliği, yivler arası mesafe, yüzey açısı, yiv kalınlığı gibi faktörleri içerir. İmplant tasarımı, implant yüzeyi, kullanılan materyalin biyouyumluluğu, cerrahi teknik, yükleme koşulları implantların osseointegrasyonunu etkilemektedir (Albrektsson vd., 1981). İmplant yivleri kemik-implant arası gerilimi en aza indirerek streslerin osseointegrasyonu minimal düzeyde etkileyeceği şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca implant stabilitesine katkı sağlamalı, implantın yüzey temas alanını olumsuz etkilememelidir.

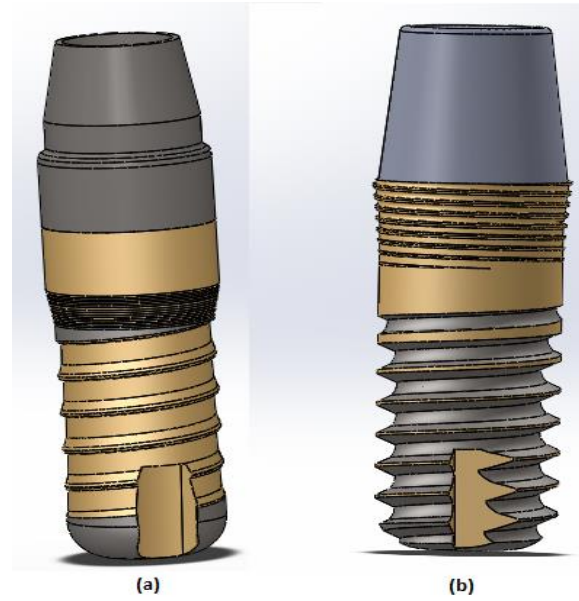
Sonlu elemanlar analizi (SEA) mekanik sistemleri taklit ederek bir nesne içerisindeki gerilimleri tahmin etmek için kullanılan teorik bir tekniktir. Bu bilgisayarlı, matematiksel yöntem dental implantların biyomekanik özelliklerini ve gerilimleri

değerlendirmek için önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. Osseointegre olan implantlar, doğal dişlerle benzer özellikler göstermektedir ve sürekli olarak dinamik, statik kuvvetlere maruz kalmaktadır. Yapılan çalışmalar biyomekanik özelliklerin implant-kemik yüzeyleri arası temasın uzun dönem sürdürülebilirliğinde etkili olduğunu göstermektedir (Brunski vd., 1979; Bidez ve Misch, 1992). Yüksek değerdeki gerilim bu temasın tehlikeye girmesine neden olabilir. Bu nedenle implantlar etrafında oluşan gerilimin değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, yivler arası mesafesi, yiv derinliği ve implant abutment bağlantı noktaları farklı olan iki ticari implantın tip-2 ve tip-4 kemiklerde oluşturduğu gerilme dağılımının sonlu elemanlar analiziyle değerlendirilmesidir.

## 2. Materyal ve Yöntem

Model tasarımı esnasında literatürde bulunan kısa dental implantlar detaylı bir şekilde incelenmiş ve bunlara uygun şekilde modellerimiz belirlenip ölçülendirilmiştir (Şekil 1, Tablo 1).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan iki ticari dental implant modeli

Farklı bağlantı şekillerinde ve ölçülerde gerçekleştirilen tasarımların katı modellerinin

oluşturulmasında Solidworks 2013 programı kullanılmıştır.

Tablo 1. İki farklı tip ticari dental implantın ölçüleri

	En düşük çap (mm)	En büyük çap (mm)	Abutment boyu	İmplant boyu
Model 1	2.75	6	7	13
Model-2	2.6	6	6	13

Modellerin uygulamasının yapılacağı çene kemiğimiz elde edilirken bilgisayarlı tomografi görüntüleri kullanılarak daha gerçekçi sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bütün halinde elde edilen modelimizin malzeme özellikleri de girildikten sonra mesh

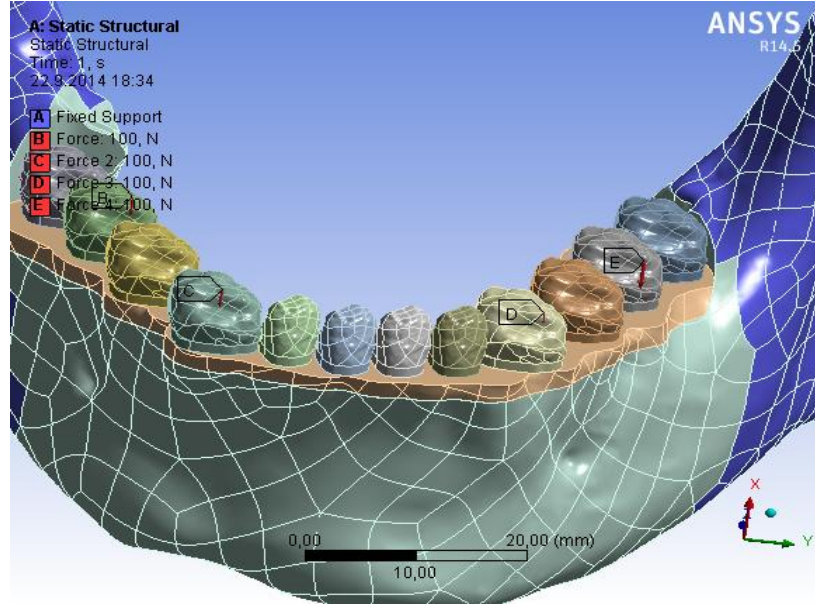
işlemine geçilmiştir. Çalışmamız sırasında ileri seviye mesh seçimi yapılarak curvature yapı kullanılmıştır. Bu işlemin gerçekleşmesi için modellenmesi yapılan her elemanın mekanik özellikleri programa el ile girilir veya kütüphanesinde bulunuyorsa buradan seçilir.

Mekanik özelliklerinin belirlenmesinde 2 değer kullanılır bunlar elastisite modülü ve poisson oranıdır. Literatürde bu oranlar için farklı değerler mevcuttur. Yapmış olduğumuz çalışmada kullandığımız malzeme özellikleri Ti-6Al-4V, porselen, kortikal kemik ve spongioz kemik için belirlenmiş ve Tablo 2'de gösterilmiştir. Tasarlanan implant modellerinde titanyum, diş protezlerinde ise porselen kullanılmıştır.

**Tablo 2** Malzemelerin Mekanik Özellikleri

	Elastisite Modülü (E)	Poisson Oranı (ν)
Titanyum	110 000	0,35
Kortikal Kemik	13 700	0,30
Spongioz Kemik	1 370	0,30
Porselen	68 900	0.28

Kuvvetlerin uygulama noktaları Şekil 2'de detayları ile görülebilmektedir.



**Şekil 2.** Model üzerine uygulanan kuvvetler, yerleşimleri ve sınır şartları

Sahip olduğumuz yüzeylerin mesh işleminin tamamlanmasının ardından simülasyona geçildi. Bu aşamada modelimize uygulayacağımız kuvvetler resimde de gösterildiği gibi 100 N olarak belirlendi. Kuvvetlerin seçilmesi aşamasında literatür değerleri göz önünde bulunduruldu.

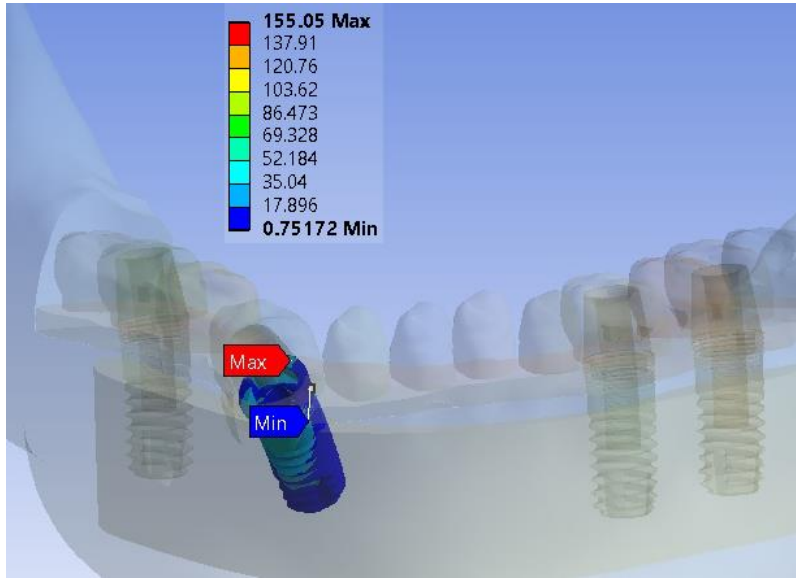
Geometri olarak .igs formatındaki modellerimiz Ansys Workbench programına aktarılmıştır. Daha sonra Mesh sürecine geçilmiştir. Gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilebilmesi için mesh parçaları oldukça küçük tutuldu. Analiz yapılırken karşılaşılan problemlerden birisi ise çok fazla sayıda yüzey ile parça bulunması nedeniyle analiz için kullanılan bilgisayarların yetersiz kalması oldu. Tasarlanan modelin daha gerçekçi olması ve doğru sonuçlar vermesi için modelin bu şekilde yüzeylere ayrılması gerekiyordu. Farklı bölgeler için eleman ve mesh değerlerini değiştirerek ve daha yüksek özellikli bilgisayarlar kullanılarak bu süreç tamamlandı.

### 3. Araştırma Bulguları

Analizler neticesinde elde edilen sonuçlar von mises stress analizi bakımından tamamen dişsiz çene, Sol 1.

İmplant, Sol 2. İmplant, sağ 1. İmplant, sağ 2. İmplant, Porselen dişler, damak, spongioz kemik olarak incelenmiştir. Ayrıca çene kemiğindeki yetersizlikten dolayı sağ 1. İmplant 20°'lik açıyla kemiğe yerleştirilebilmiştir. Açılı yerleştirilen implanta etki eden kuvvetler de ayrıca değerlendirilecektir.

Model 1 için elde edilen sonuçlar incelendiğinde dik açılı yükleme durumunda tip-4 ve tip-2 kemik arasında gerilme dağılımı bakımından çok az farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 3). Açılı olarak 30° ile yükleme uygulandığında ise gerilme değerlerinin hem tip-4 hem de tip-2 kemik yapısı için arttığı gözlemlenmektedir. Açılı yükleme durumunda tip-4 kemikte meydana gelen gerilme değerleri tip-2 kemikte oluşan gerilme değerlerinden oldukça fazladır. Maksimum gerilme değeri ise 142.04 MPa ile Sağ-1. Dental implant üzerinde ve implant-abutment kıyaslandığında ise implant üzerinde oluşmuştur (Şekil 3). Bunun nedeni ise sağ-1. Dental implantımızı kemik boyunca yerleşim mümkün olmadığı için açılı yerleştirmiş olmamızdır. Zaten açılı olarak yerleştirilen implant üzerine gelen kuvvet, gerilme değerlerinin burada en yüksek noktaya ulaşmasına neden olmuştur.



Şekil 3. Maksimum gerilme değerinin elde edildiği sağ-1. dental implantın görüntüsü

Tablo 3. Model-1 için 4 implantlı yerleşimin dik açılı ve 30° açılı yükleme durumu için analiz sonuçları

4 İmplant	Model 1					
	Kortikal Kemik (MPa)	Sağ-1 (MPa)	Sağ-2 (MPa)	Sol-1 (MPa)	Sol-2 (MPa)	Dişler (MPa)
Dik Yükleme durumu (Tip-4 Kemik)	8.624	45.216	25.231	12.103	9.432	25.682
30° Açılı Yükleme Durumu (Tip-4 Kemik)	24.312	142.04	55.821	62.197	55.512	103.62
Dik Yükleme durumu (Tip-2 Kemik)	8.611	44.814	24.917	12.056	9.216	25.152
30° Açılı Yükleme Durumu (Tip-2 Kemik)	12.386	99.812	82.663	31.912	27.613	56.714

Tablo 4. Model-2 için 4 implantlı yerleşimin dik açılı ve 30° açılı yükleme durumu için analiz sonuçları

4 İmplant	Model 2					
	Kortikal Kemik (MPa)	Sağ-1 (MPa)	Sağ-2 (MPa)	Sol-1 (MPa)	Sol-2 (MPa)	Dişler (MPa)
Dikey Yükleme durumu (Tip-4 Kemik)	10.686	60.702	29.039	15.555	13.762	34.539
30° Açılı Yükleme Durumu (Tip-4 Kemik)	25.587	155.05	59.923	66.842	58.821	129.73
Dik Yükleme durumu (Tip-2 Kemik)	10.644	60.559	29.029	15.536	13.763	34.465
30° Açılı Yükleme Durumu (Tip-2 Kemik)	14.993	96.77	85.543	33.948	28.697	54.868

Model 2 için elde edilen sonuçları incelediğimizde tip-2 ve tip-4 kemikler arasında aynı değişimin bulunduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4). Aynı şekilde açılı yüklemelerde elde edilen gerilme değerleri de dik yüklemeye göre oldukça yüksek çıkmıştır. Maksimum gerilme yine sağ-1. dental implantta elde edilmiştir. İki farklı implant modelimizi kıyasladığımızda ise 1 numaralı modelde elde edilen gerilme değerinin 2 numaralı modele göre daha düşük olduğu saptanmıştır.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada tip-4 kemik dokusuna sahip tüm alt çene kemiğine uygulanan 4 adet implant destekli sabit restorasyona çenenin çiğneme hareketi esnasında uygulanan kuvvete karşılık oluşan von Mises gerilme değerleri incelenmiştir. Sistemdeki her bir elemanın üzerine düşen gerilim dağılımının analizinin kolay olması için malzemeler izotropik, homojen, simetrik ve elastik olarak kabul edilmiştir. Ayrıca bu elemanların, uygulanan gerilim altında elastik bir özellik gösterdiği, uygulanan kuvveti lineer ve homojen şekilde transfer ettiği varsayıldığından uygulanan kuvvete karşılık oluşan gerilme model üzerinde lineer olarak aktarılmaktadır. İmplant ve implant-çene kemiği arasındaki etkileşimle ilgili birçok çalışma olmasına rağmen 3 boyutta tüm çenenin modellendiği çalışmalar yetersizdir. Başarılı bir implant tedavisi için çene kemiğinin implant uygulamalarına uygun olması, doğru tedavi planının yapılması gerekir. FEA ile incelenen modeller kemik yapısı, uygulanan implantın büyüklüğü/şekli, kullanılan malzemenin seçimi gibi önemli bilgiler vermektedir ve tedavinin planlanmasında yardımcı olmaktadır. FEA metodu ile 2 ve 3 boyutlu kompleks geometriler (Cruz, 2006; Choi, 2005; Baggi, 2008), farklı malzemelerden oluşan sistemler ve klinik olarak yapılması mümkün olmayan birçok sınır koşulu kullanılarak bir çalışma kolaylıkla yapılabilmektedir.

Lin vd. (2003) yapmış olduğu çalışmada dental implantlar üzerine uygulanan kuvvetlerin dik veya açılı olarak uygulanışına göre oldukça büyük fark olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışmada implant-kemik arayüzünde açılı olarak kuvvet uygulandığında oluşan gerilme artışı bu durumu desteklemektedir. Ayrıca incelenen bir başka çalışmada dental implantlar üzerine açılı olarak gelen kuvvetlerin gerilmeleri implant üzerinde yoğunlaştırdığını belirtmiştir ve bu gerilme yoğunluğunun azaltılabilmesi için implant uç noktası ile kortikal kemik arasındaki mesafenin mümkün olduğunca açılmasını önermiştir (Moon vd., 1997).

Ayrıca açılı olarak yerleştirilen sağ-1 bölgesindeki dental implantımızda oluşan yüksek gerilme dağılımı kemik yoğunluğa bağlı olarak implantların dikey yerleştirilmesinin daha etkili ve faydalı olacağını göstermektedir. Açılı olarak yerleştirilen implantın üzerine gelen farklı açılardaki yükler devrilme etkisi

ile kemik kayıplarına ve deformasyona neden olacaktır.

Sol bölgeye yerleştirilen implantlarda daha düşük gerilme değerlerinin çıkmasının nedeni de o bölgede yer alan kemik miktarının sağ bölgeye göre daha fazla olmasıdır. Bu nedenle gerilme değerlerimiz sol bölgede sağ bölgeye göre daha düşük elde edilmiştir.

Fanuscu (2004) yapmış olduğu çalışmalarda dikey ve açılı kuvvetler ile kemik kalitesinin gerilme üzerine etkisini incelemiştir. Yapmış olduğu analizler neticesinde kemik kalitesinden ziyade açılı yüklemelerin daha önemli gerilme değişikliklerine neden olduğunu gözlemlemiştir. Bizim çalışmamızda da, dikey yönde uygulanan kuvvet durumunda kemik kalitesine göre fazla bir gerilme farkı olmazken, açılı kuvvet uygulandığında gerilme değerinin çok fazla arttığı gözlemlenmiştir.

Gerçekleştirilmesi düşünülen çalışmalarda ve implant uygulamalarında çene kemiği üzerine gelen kuvvetlerin açısı göz önünde bulundurularak yerleşimlerin mümkün olduğunca implant yapısına açı vermeden yapılması, kemik kalitesine uygun implant çapı ve yerleşim düzeninin seçilmesi, implant uç noktası ve kortikal kemik arası mesafeye özen gösterilmesi ve implant tasarımlarında implant-abutment bağlantı noktası stabilitesinin göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

#### Teşekkür

Çalışmalarımızda bize muh01.12.003 numaralı proje ile destek veren Hitit Üniversitesi BAP Birimi'ne teşekkür ederiz.

#### Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

#### Kaynaklar

Albrektsson, T., Branemark, P.I., Hansson, H.A., Lindström, J., 1981. Osseointegrated titanium implants. Requirements for ensuring a longlasting, direct bone to implant anchorage in man. *Acta Orthop Scand*;52:155-70.

Baggi, L. Cappelloni, I., Di Girolama, M., Maceri, F., Vairo, G., 2008. The influence of implant diameter and length on stress distribution of osseointegrated implants related to crestal bone geometry: A three dimensional finite element analysis. *The Journal of Prosthetic Dentistry* 100, 422-431.

Bidez, M.W., Misch, C.E., 1992. Force transfer in implant dentistry: Basic concepts and principles. *Journal of Oral Implantology*;18:264-74.

Brunski, J.B., Moccia, A.F. Jr, Pollack, S.R., Korostoff, E., Trachtenberg, D.I., 1979. The influence of functional use of endosseous dental implants on the tissue- implant interface. II. Clinical aspects. *Journal of Dental Research*;58:1970- 80.

Choi, A.H. Ben-Nissan, B., Conway, R.C., 2005. Three-dimensional modeling and finite element analysis of the human mandible during clenching. *Australian Dental Journal* 50 (1), 42-48.

Cruz, M., Lourenço, A.F., Toledo, E.M., Silva Barra, L.P., de Castro Lemonge A.C., Wassall T., 2006. Finite element stress analysis of cuneiform and cylindrical

threaded implant geometries, *Technology and Health Care* Volume 14 (4-5), 421-438.

Fanuscu, M. I., Vu, H. V., Poncelet, B. 2004. Implant Biomechanics in Grafted Sinus: A Finite Element Analysis. *Journal of Oral Implantology (Two)*, 59-68

Lin, C-L., Lin, T.S., Hsu, K.W., Wu, C.H., Chang, C.H., 2003. Numerical Investigation of Retainer Thickness Affecting Retention in Posterior Resin-Bonded Prosthesis Using The Finite Element Method. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 26, No. 6, pp. 781-789