

# 인공치아의 즉시부하를 위해 새로이 개발된 인공치아 지대주(Satellite Abutment)의 광탄성 응력 분석

박상규 · 이백수 · Engelke W\* · 김부동\*\*

경희대학교 치과대학 구강악안면외과학교실, 독일 괴팅겐대학교 구강외과학교실\*,  
서울산업대학교 기계설계자동화공학부\*\*

**Abstract** (J. Kor. Oral Maxillofac. Surg. 2002;28:472-479)

## PHOTOELASTIC STRESS ANALYSIS OF LOAD TRANSFER TO SATELLITE ABUTMENT AS AN IMMEDIATE ABUTMENT

Sang-Kyu Park, Baek-Soo Lee, Engelke W\*, Boo-Dong Kim\*\*

*Department of Oral & Maxillofacial Surgery, Kyung-Hee University,*

*Department of Oral Surgery, School of Dentistry,*

*Gottingen University\**

*School of Mechanical Design & Manufacturing Automation,*

*Seoul National University of Technology\*\**

Since Brånemark introduced the osseointegrated implants, they have been granted for useful methods for the restoration of oral function. The original Brånemark protocol recommended long stress-free healing periods to achieve the osseointegration of dental implants. However, many clinical and experimental studies have shown that the osseointegration is no wonder in almost cases and that early and immediate loading may lead to predictable osseointegration.

So we are willing to introduce the Satellite Abutment newly invented for immediate loading. We think that it will make the occlusal forces dispersed to surrounding bone and that we can restore the oral function immediately after implant installation not disturbing osseointegration.

In case of using Satellite abutment, stress concentrated to bone contact area of implant was distributed not only fixation plate and screws but also superior, middle portion of implant and cortical layer of jaw bone.

It was clearly decreased on the bone contact surfaces around dental implants.

1. Stress was decreased more than 76.5% when satellite straight abutment was used.

2. Stress was decreased more than 50% when satellite angled abutment was used.

3. The stress around dental implant was well distributed along the cortical bone surface and the fixation plate and screw.

This study concludes that satellite abutment can be used as all immediate loading implant prosthesis because it was possible to distribute periimplant occlusal stress through implant contact bone surface and cortical layer of jaw bone.

## I. 서 론

Brånemark에 의해 골결합에 의한 임플란트가 소개된 이후 다양한 실험, 임상 연구를 통해 임플란트를 이용하여 결손된 치

아 및 무치악을 치료하는 방법은 보편화된 술식으로 자리를 잡았다. 초기에는 골결합의 성공률을 높이기 위한 연구에 관심이 집중되었으나 현재는 골결합의 성공은 당연한 것으로 받아들여지고 있으며 이제는 얼마나 빨리 보철물을 장착하여 결손 치아로 인해 생긴 기능 상실을 회복시킬 수 있는가에 관심이 모아지고 있다. 이러한 즉시 부하를 이루기 위한 다양한 연구들이 시행되고 있으며 이에 따른 임플란트의 개발과 다양한 술식들이 시도되고 있다.

Ledermann<sup>1)</sup>은 1970년대 후반 TPS 나사형 임플란트를 개발하여 하악 완전 무치악 부위에 식립 후 즉시 최종 보철 치료를 시행하는 방법을 소개하였으며, Brånemark과 Skalak은 1995년

### 박 상 규

135-811, 서울시 강남구 논현1동 4-1 대영빌딩 3층

강남굿모닝치과의원 원장

### Sang-Kyu Park

Kang Nam Good Morning Dental Clinic.

135-811, 4-1 Non Hyeun Dong, Kang Nam Ku, Seoul, Korea

Tel : 82-2-540-2855 Fax : 82-2-512-2855

E-mail : gmdpark@ddshouse.com

Brånemark Novum®을 개발하여 하악의 완전 무치악 부위에 당일에 임플란트 식립 수술을 하고 보철 치료까지 완료할 수 있는 방법을 제시하였다. Brånemark등은 이 치료법을 이용하여 50명의 환자에게 시술 후 6개월에서 3년간 관찰한 결과 98%의 생존율을 보였다고 보고하였다. Salama<sup>2)</sup>는 고정성 임시 보철물을 이용하여 성공적인 즉시 부하의 결과를 얻었다고 보고했으며 Tarnow<sup>3)</sup>는 1차 수술시 즉시 부하를 적용하여 성공적인 결과를 보였다고 하였고, Schnitman<sup>4)</sup>등도 즉시 부하의 10년 결과에서 우수한 결과를 보고하였다.

그러나 이러한 시술은 그 적용 범위가 극히 국한된 경우로, 대부분의 연구 대상이 완전 무치악인 환자였으나 구강위생 교육에 대한 관심이 높아지고 치과 치료법이 점차 발전하는 상태에서 완전 무치악 환자의 수는 줄어들고 있는 추세이다. 결국 대부분의 결손예인 단일 치아 결손 및 부분 무치악을 임플란트를 이용하여 수복하는 경우에 고정성 보철물을 이용하여 즉시 부하를 주는 것은 어려운 것으로 생각되고 있다. 따라서 단일 치아 임플란트에 즉시 부하를 적용하는 것은 정상적인 교합력을 견뎌낼 수 없으므로 인접치에서 교합력을 분산하고 단일 치아 임플란트는 교합력의 대부분을 피하도록 제작되어야 하는 한계를 가지고 있다. 단일 치아 임플란트가 다수의 임플란트를 묶어서 cross-arch stabilization을 이루는 무치악의 경우처럼 즉시 부하를 견뎌낼 만 한 초기 고정원을 갖게된다면 즉시 기능을 하면서도 골결합을 성취할 수 있을 것이다.

이러한 한계를 극복하고 단일 치아 임플란트가 전치부 뿐만 아니라, 후방 구치부에서도 1회 수술법을 이용하여 즉시 부하를 가했을 때 정상적인 보철물을 제작하여 환자가 정상적인기능을 즉시 이룰 수 있게 해주면서 시술 후 3-6개월 후에는 완전한 골결합이 성공한다면, 치과 임플란트 분야의 새로운 장을 여는 것으로 생각된다.

이에 식립된 임플란트에 즉시 부하용 임시 보철 구조물로 사용하여 인공치아 주변골로 교합력을 분산시킬 수 있도록 개발된 Satellite abutment를 이용해서 즉시 부하용 지대치를 개발하여, 식립된 인공 치아에 가해지는 교합력의 분산 효과를 분석하기 위하여 본 연구를 시행하였다.

즉시 부하를 효과적으로 하기 위해서는 교합력의 분산이 가장 중요한 것으로, 이러한 하중의 분산을 측정하는 방법으로는 광탄성 응력 분석법과 유한 요소 분석법등이 많이 사용되고 있다. 광탄성 응력 분석법은 1935년 Zak가 치의학 연구에 도입한 이후 많이 사용되어 왔으며 구강내와 같이 복잡한 구조를 지닌 경우, 교합압과 임플란트 보철물 설계등에 따른 다양한 조건의 재현이 용이하며 실험 모형 전체에 생기는 응력 집중의 양과 위치의 분석이 쉽고, 시편 전체의 응력 분포 상태를 가시적으로 관찰할 수 있는 장점이 있다.

## II. 실험 재료 및 방법

본 연구에서 응력 해석은 광탄성 응력동결법을 이용하였으며, 응력동결된 시험편은 상온에서 임플란트 단면을 포함한 중앙부 절편을 제작하여 응력을 측정하였다.

### 1. 실험재료

실험에 사용한 임플란트는 치근형 임플란트인 Frialit-II Syncro Screw type 임플란트(Friadent사, 독일)이었으며, 보철용 지대치 구조물은 직립형지대치(straight abutment)와 15° 경사지대치(angled abutment)를 이용하였다.

본 실험에 사용한 즉시 부하용 지대치는 교합력을 주위골로 분산하기 위해, 골결합용으로 사용되는 티타늄플레이트(low pro-

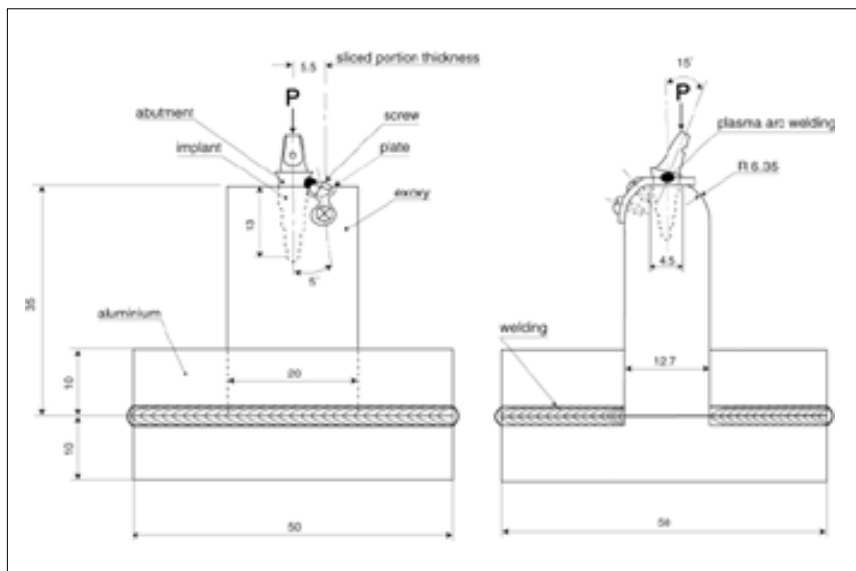


Fig. 1. Fabrication of loading apparatus in case of Satellite Angled Abutment SAA unit : mm, P:290g weight.



a) Satellite Straight Abutment(SSA)



a) Satellite Angled Abutment(SAA)

Fig. 2. Shapes of Satellite Abutment specimens.

file microplate, Leibinger사, 독일)를 임플란트 보철용 지대치에 레이저용접하여 제작하였으며 satellite abutment 로 명명하였다.

## 2. 광탄성 모델의 제작 및 하중장치

광탄성 모델을 제작하는데 사용한 재료는, Measurements group 사에서 제조된 PSM-9 type의 두께 12.7mm의 epoxy resin 판재이다. 시험편은, 1) Straight abutment를 장착한 implant (SA), 2) Satellite straight abutment를 장착한 implant (SSA), 3) Angled abutment를 장착한 implant (AA), 4) Satellite angled abutment를 장착한 implant (SAA)로 모두 4종, 총 20시험편을 제작하였다. 시험편소재 (epoxy resin)는 탁상용 band sawing machine으로 절단한 후 절단한 면과 만곡부는 belt sander로 연마하였다.

시험편의 임플란트 식립은 냉식염수로 강제 수냉각 하면서 임플란트 시술용 드릴을 이용하여 통법에 따라 임플란트 식립을 하였다.

시험편의 모양과 치수 및 시험편 고정장치는 Fig. 1과 같이 하였다. 모든 시험편은 모양과 치수를 동일하게 하였다. 실험에 사용한 임플란트는 Frialit II (Friadent사, 독일)의 직경 4.5mm, 길이 13mm이며, 드릴링한 저변부에 임플란트가 닿기 직전까지 매식하였다. abutment는 직경 4.5mm의 straight와 angled(15°) 두가지를 사용하였다. miniplate를 부착한 시험편(SSA와 SAA)은 implant와 5°경사지게 하여 레이저 용접을 한 후 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 2개의 티타늄 나사(self tapping screw: 외경 1.7mm, 길이 4mm)로서 epoxy판에 밀착되도록 고정하였으며, 2개 screw간의 간격은 4mm로 하였고 plate가 epoxy

와 접촉하는 상부에는 plate가 안착할 수 있도록 그 접촉부를 폭 4.5mm의 수평부를 두었다.

## 3. 응력동결 및 등색선 무늬차수의 측정 방법

제작된 시험편은 하중 장치에 올려놓고 stress freezing cycle (Fig. 3)에 따라 응력동결시켰으며, 응력 동결로의 내부 모양은 Fig. 4와 같다. 응력 동결시에는 실험오차를 최소한으로 줄이기 위해 온도조절을  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 의 범위안에 들도록 유의했다. 하중 온도가  $130^{\circ}\text{C}$ 에 도달하였을 때  $P=290\text{g}$ 을 가한 후,  $90^{\circ}\text{C}$ 로 낮아질 때까지  $5^{\circ}\text{C/hr}$ 의 속도로 서냉하였다. 상온에 도달하였을 때 하중을 제거하고, 응력동결이 된 시험편을 탁상용 band sawing machine을 사용하여 치아 장축을 따라 협설축 방향으로 임플란트를 포함한 중앙부의 slice를 절취한 후 No.800 사포로 마무리 연마하여 그 두께가 5.5mm가 되도록 하였다(Fig. 5). 미세한 흠에 의한 응력 오차를 없애고 선명한 등색선을 얻기 위해 slice와 굴절율이 같은 침적액을 유리제 emulsion tank에 부어 넣은 다음 그 속에 slice를 매달아 놓고 사진 촬영 및 무늬차수를 판독하였다.

epoxy 수지의 굴절율은  $N^D(20^{\circ}\text{C})=1.4\sim 1.6$ 로서,  $\alpha$ -mono brome naphthalene은  $N^D(20^{\circ}\text{C})=1.658$ 이므로 유동 Paraffin과 용적비를 1: 0.585로 혼합하여 굴절율이 동일하게 만든 침적액을 사용하였다.

광탄성 실험에 사용한 측정광학계는 Riken Keiki Fine Instrument 사 제품이며, 등색선 무늬차수를 판독할 때는 Riken Keiki 사의 Photo-tracer를 사용하여 1/100 fringe order까지, 세밀하게 측정하였다.

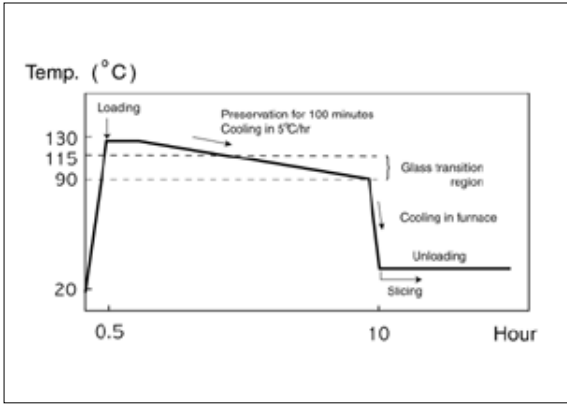


Fig. 3. Stress freezing cycle.



Fig. 5. Sliced specimens.

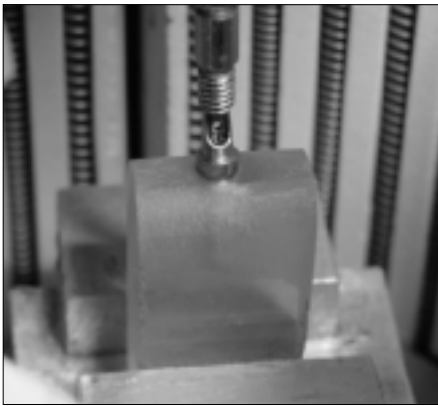


Fig. 4. Stress freezing furnace.

#### 4. 광탄성 효과 분석 방법

투명한 평면 탄성체에 외력을 가하면, 광에 대해 복굴절성이 나타나며 이 현상을 광탄성 효과라고 한다. 1816년 영국 물리학자 D. Brewster에 의해 처음으로 발표되었으며 그의 이론은 다음과 같다. 광로의 위상차를  $\delta$ (rad)라 하면,

$$\delta = \frac{2\pi t}{\lambda} \cdot C (\sigma_1 - \sigma_2) \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $\lambda$ : 파장 (Å)  
 $C$ : 응력광학계수 (mm/kg)  
 $\sigma_1 - \sigma_2$ : 주응력 (kg/mm<sup>2</sup>)

광파 energy  $I$ 와  $\delta$ 의 관계식은 다음과 같다.  
 $I = A^2 \sin^2 \delta / 2 \dots\dots\dots (2)$

$\delta = 45^\circ$  일 때  $I$ 가 최대가 되므로 1/4 파장판을 사용하게 되면 위 식은,  
 $I = A^2 \sin^2 \delta / 2 \dots\dots\dots (3)$

여기서  $A$ 는 재료의 고유정수이며  $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots\dots 2n\pi$ 일 때,  $I = 0$ 이 되어 screen 상에는, 소위 암시야 (dark field)로 되고  $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots\dots (2n+1)\pi$ 일 때  $I$ 는 최대치가 되어 명시야 (bright field)로 나타난다. 이와 같은 명시야와 암시야 사이의 변화하는 칠색 무늬 즉 등색선 무늬 (isochromatic fringe pattern)가 Fig. 6과 같이 관찰 되었다. 식 1의 양변을  $2\pi$ 로 나누면,  $\delta$ 가  $2\pi$ 의 정수배가 될 때마다 암시야가 되며,  $\delta / 2\pi = N$  그리고 광원이  $\lambda = 5461 \text{ \AA}$ 로 하였을 때 상수  $\lambda/C = a$ 라 놓으면, 결국 fringe order  $N$ 을 읽음으로써 주응력차 ( $\sigma_1 - \sigma_2$ )를 알 수 있게 된다. 즉,

$$(\sigma_1 - \sigma_2) = \delta / 2\pi \cdot \lambda / Ct = N\lambda / Ct = N / at \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $a$ (mm/kg)를 광탄성 감도라 한다. 연응력 (edge stress)이 보통 최대 혹은 최소응력이 되므로, 이 때에는 위 식에서  $\sigma_1 = 0$  혹은  $\sigma_2 = 0$ 로 놓으면 다음 식에서 쉽게 연응력이 구해진다.

$$\sigma = N / at \dots\dots\dots (5)$$

위 식 (5)로부터 계산된 연응력의 분포도를 Fig. 7에 나타냈다.

### III. 실험 결과

#### 1. Straight Abutment의 응력 분석

straight abutment(SA)와 satellite straight abutment(SSA)를 비교 분석해 보면 SA에서는 임플란트의 근첨부 쪽에 응력 집중현상이 나타나는데 비해, SSA에서는 임플란트 표면 전체의 응력이 상당히 감소하였으며 특히 근첨부의 응력이 SA보다 76.5% 이상 현저히 감소한 것을 알 수 있다.

$$\sigma_{SSA} = 1.6 \qquad \sigma_{SA} = 6.8$$

따라서, SSA를 사용한 경우가 SA를 사용한 경우에 비해서 임플란트 근첨부에 응력 집중현상을 약 1/4로 감소시킨 것으로 나타난다.

SSA의 plate와 screw가 위치한 부위는 SA가 plate와 screw를 장착하지 않은 관계로 직접적 비교는 할 수 없지만, 피질 골면에 해당되는 시험편 표면의 응력을 비교에서는  $\sigma_{SSA} = 3.1$ ,  $\sigma$

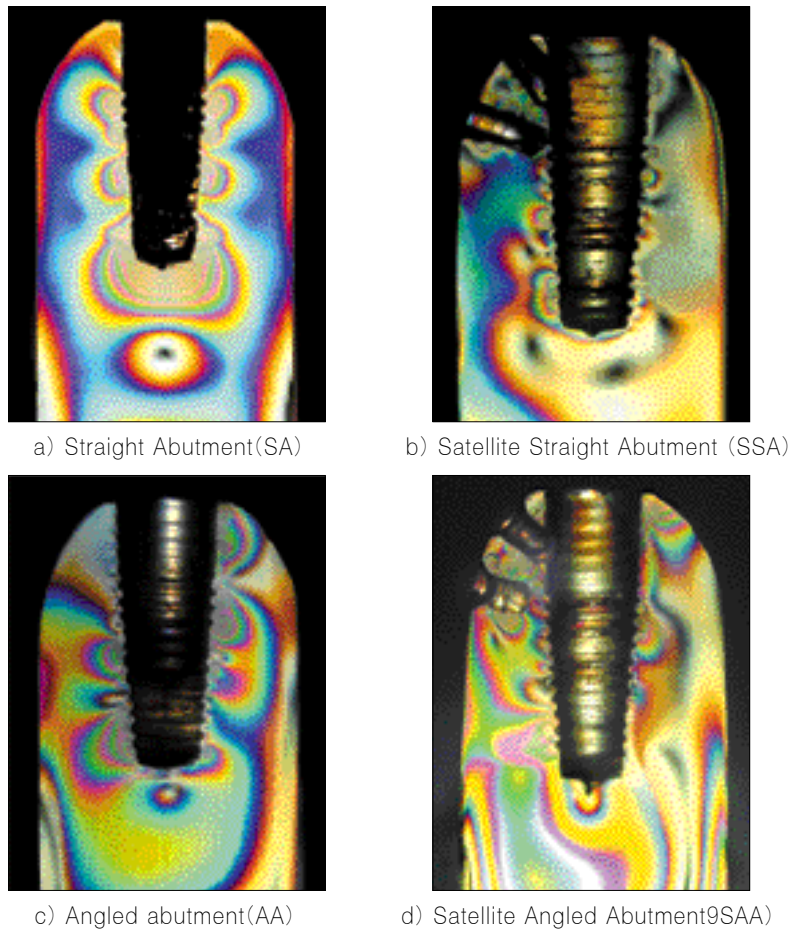
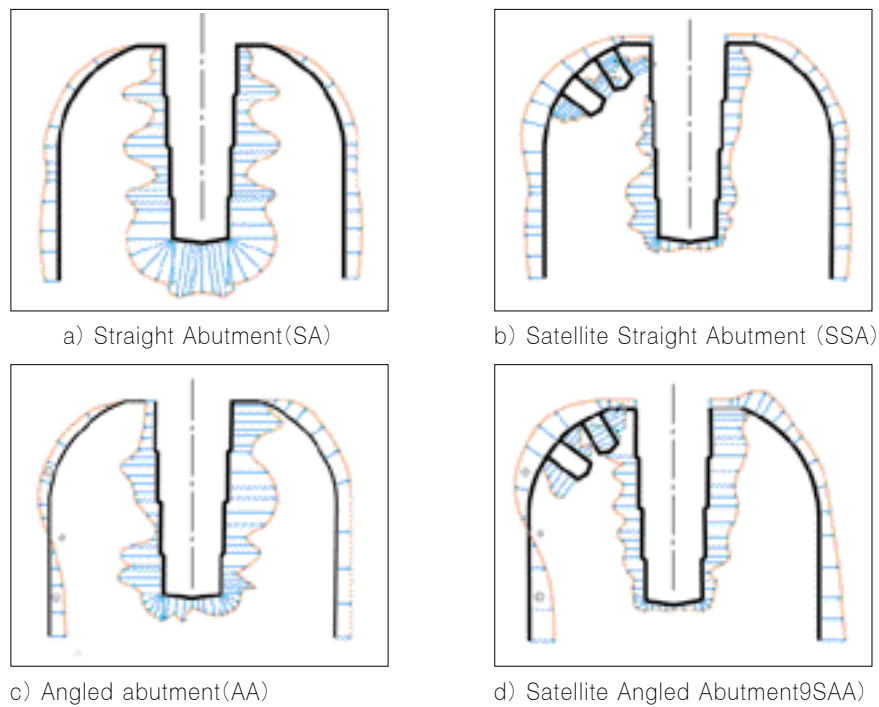


Fig. 6. Isochromatic fringe patterns.



(unit : fringe orde  $\frac{1}{2}$ )  
 $\oplus$  : compression stress  
 $\ominus$  : tension stress

Fig. 7. Stress distribution diagrams.

SA=2.4로 약 30% 증가한 것을 알 수 있다. 즉, SSA의 plate와 screw가 SA의 임플란트 주위에 집중된 응력을 주위의 골로 현저하게 분산시키고 있다는 것을 알 수 있다.

SSA를 장착한 임플란트에서 plate 및 screw에 가까운 쪽의 임플란트 표면에서는 최대응력비는  $\sigma_{SSA}=4.1$ ,  $\sigma_{SA}=5.8$ 로써 SSA가 SA에 비해 응력이 29.3% 감소하였다.

## 2. Angled Abutment의 응력 분석

SAA(Satellite angled abutment)사용시 AA(Angled abutment)사용했을 때 비해 임플란트근접부의 응력이 50% 감소하였다. 최대응력비는 다음과 같다.

$$\sigma_{SAA}=1.7 \qquad \sigma_{AA}=3.4$$

피질골면에 해당되는 시험편 표면에서는 임플란트 길이의 상부 2/3까지는 압축력이 작용하는데, SAA가 A A보다 응력이 ( $\sigma_{SSA}=3.2$ ,  $\sigma_{AA}=1.5$ ) 2배 이상 증가한 것을 알 수 있다.

또한, 시험편 표면(피질골에 해당)의 임플란트 길이의 하부 1/3에서는 인장력이 발생하는데, 이 부위에서는  $\sigma_{SAA}=3.2$ ,  $\sigma_{AA}=2.3$  으로서 응력이 약간 증가하여 골면에서의 하중 분산이 증가되는 것을 볼 수 있다.

Fig. 7에 나타난 응력 분포도를 비교해 보면, Satellite abutment를 사용한 경우가 Satellite abutment를 사용하지 않은 경우에 비해, 응력집중현상이 현저히 감소됨을 알 수 있다. 임플란트 표면과 하부에 집중된 응력이 plate와 screw쪽 뿐만 아니라, 임플란트의 상부 및 중부 그리고 피질골로 분산되는 경향을 뚜렷이 나타내었다. angled abutment를 사용한 경우에서도 Satellite abutment를 사용한 경우에서 임플란트 주변의 응력이 현저히 감소되며 주변골로의 응력 분산을 뚜렷이 관찰할 수 있으며, Angled abutment를 사용한 경우는 Straight abutment를 사용했을 때에 비하여 골면에 해당하는 시험편 표면에서 상부에서 하부로 내려갈수록 압축응력이 인장응력으로 교체되었다.

일반적으로 plate로 보강된 Satellite abutment를 사용할 경우, 사용하지 않은 것에 비해서 임플란트주변의 응력분포는 임플란트 전체 표면에서 감소하여 분산되는 현상을 보여 주었다.

## IV. 총괄 및 고찰

임플란트를 이용하여 결손치를 수복하는 방법은 지난 30년 동안 다양한 임상 결과와 연구를 통해 매우 성공적인 치료법으로 인식되어 왔다.

골 결합에 의한 골내 임플란트를 처음 소개한 Brånemark은 임플란트 성공 기준인 골결합을 확실히 얻기 위한 전제 조건 중의 하나가 조기에 힘을 가하지 않는 것이라고 하였다. 즉 식립된 임플란트에 골결합이 일어나기 전에 외부의 힘이 가해지면 섬유성 유착이 생기는데 이것이 임플란트 표면에서 티타늄과 골계면의 골형성을 방해하므로 이런 외부의 힘으로부터 임플란트를 보호해야 한다는 것이다. 따라서 초기에 Brånemark에 의해서 소개

된 2회법은 치조골과 연조직에 완전히 매식된 임플란트가 치유 기간동안 부하를 받지 않게 함으로써 임플란트의 성공 기준인 골결합(osseointegration)을 확실히 이루게 하기 위한 방법이었다.

그러나 현재에 와서는 임플란트의 재료, 형태와 크기 및 표면 처리 방법 등에 대한 다양한 연구로 인하여 골결합의 여부는 논란의 대상에서 제외되었고 최근에는 임플란트 식립 후 얼마나 빨리 환자의 저작 기능을 회복시켜 줄 수 있는가에 관심을 가지게 되었다.

임플란트의 즉시 기능적 부하에 대한 생각은 이미 1800년대 후반 미국과 유럽의 치과 의사들에 의해 early implant prototypes을 위해 다양한 디자인과 재료로 실험이 진행되었으며 이들 중 몇 가지는 상당 기간동안 유지되었다고 보고하였다.

골내 임플란트를 이용하기 전 1950년대 초반에 Gershkoff와 Goldberg는 Subperiosteal implants를 이용하여 즉시 부하를 보고하였고, blade type의 임플란트에 대한 연구에서도 즉시 부하 후 장기간의 성공률에서는 실패하였다<sup>5)</sup>.

1970년대 후반 Ledermann<sup>3)</sup>은 TPS(titanium plasma sprayed) 나사형 골내 임플란트를 개발하여 주로 하악 무치악 부위의 양측 이공 전방에 4개의 임플란트를 식립하고 당일 bar construction과 clip matrices를 이용하여 overdenture를 제작한 후 즉시 부하를 주는 치료법을 소개하였다. 그 결과로 1984년에 138명의 환자에서 476개의 임플란트 중 91.2%의 생존율을 보고하였으며 같은 방법으로 1983년 Schroeder등<sup>6)</sup>은 98.1%, 1986년 Babbush<sup>7)</sup> 등은 96.1%의 생존율을 보고 하였다.

이러한 치료법은 기존의 Brånemark의 2회법과 비교하여 1회법으로 불리게 되었다. 이 후 Randow등<sup>8)</sup>은 하악이 전체 무치악인 경우에서 1회법과 기존의 2회법의 방법으로 18개월의 임상적 비교 결과 1회법이 2회법보다 골흡수가 적다고 보고하였으며, Tarnow등<sup>3)</sup>은 상악에 4례, 하악에 6례에 대하여 1~5년동안의 추적 결과를 발표하였는데, 즉시 부하를 가한 69개의 임플란트 중에 2개가 실패하여 97% 성공률을 보고하였다. 그러나 이들의 보고는 여러개의 임플란트를 연결하여 부하를 분산시키는 의치 형태 보철물로 대합치의 조건도 충의치였으므로 자연 치아의 교합 부하와는 거리가 있다고 하겠다.

또한, Schnitman등<sup>4)</sup>은 하악 무치악에서 고정성 보철물을 이용하여 즉시 부하를 가한 임플란트에 대한 10년간의 연구에서 84.7%의 성공률을 발표하였다. 이는 다른 연구에서보다 상대적으로 높은 실패율이었는데, 그 이유는 식립된 implant의 갯수가 적은 상태에서 즉시 부하를 가하였기 때문이며 실패한 임플란트는 모두 최후방에 식립된 것들이었다.

Glauser등<sup>9)</sup>은 하악 무치악뿐만 아니라 상악 전치 및 구치부 등 악골의 모든 부위에 Brånemark 임플란트를 식립하고 즉시 부하를 가한 후 1년간의 임상적 결과를 보고하였다. 이 연구에서는 41명에게 127개의 임플란트를 식립하였으며 식립 즉시 보철물을 제작하여 부하를 가한 경우는 71%였으며, 29%는 1주일 후에 보철물이 제작되었다. 모든 보철물은 중심 교합에서 모두 접

촉되는 상태로 제작되었는데 13명의 환자에서 22개가 탈락되어 1년후 생존률은 82.7%였다. 이 보고 에서는 비교적 큰 교합력을 받는 상악 후방구치부 및 비기능적 부하를 야기하는 이갈이, 골질이 안 좋은 상태에서의 골유도재생술 등은 즉시 부하를 적용하는데 있어서 금기증이라고 제시하고 있다.

Salama등<sup>21)</sup>은 즉시 부하 임플란트에 대한 criteria를 다음과 같이 제시했다.

첫째, 골질이 좋은 하악이 상악보다 유리하며 둘째, 나사형 임플란트가 macrointerlock properties면에서 유리하고 셋째, 표면처리가 H-A coating된 것이 microinterlock properties면에서 유리하며 넷째, 초기 고정이 좋아야 하고 다섯째, 임플란트의 식립위치가 악골에 가해지는 힘을 적당히 분산시킬 수 있어야 하며 여섯째, Cantilever의 신중한 이용 등이 해당된다.

1995년 Brånemark과 Skalak은 Brånemark Novum<sup>®</sup>을 개발하면서, 약 3개월 동안은 과도한 교합력을 피하기 위해서 부드러운 음식의 섭취를 권하며, 비기능적인 교합력을 야기하는 이갈이 등은 금기증이고, 구치부의 단일 치아는 과도한 교합력으로 인해서 금기증이 된다고 하였으며 완벽한 초기고정을 얻을 수 있는 치조골의 양과 형태는 선행필수 조건이 된다고 하였다. 이 후 즉시 부하를 가한 임플란트에 대한 조직학적 검증이 시도되었는데 임플란트 골결합의 정도가 60-85%로 다양하게 보고 되었으며<sup>10,11)</sup>, 특히 Piattelli 등<sup>12)</sup>은 단일 치아 수복에서 즉시 부하를 하여 60-70%의 골결합을 얻었다고 하였다. 최근들어 단일 치아에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 아직은 실패율이 높으며 보철 수복시 교합력이 최소화 되도록 하는 제한 요소가 따른다. 인접치들이 교합력의 대부분을 견뎌내도록 해야 하며, 임시 보철물은 단일치아 임플란트에 직접적으로 가해지는 교합력을 피하도록 제작되어야 하는 한계를 가지고 있다<sup>13,14)</sup>.

현재에도 임플란트가 식립된 접합면의 골에 가해지는 교합 부하를 감소시키는 방법을 생각하게 되었고 여러 학자들에 의해 연구가 계속되고는 있으나 임플란트의 형태나 구조로서 즉시 부하를 감소시키는 방법은 아직 제시되고 있지 않다. 독일의 Engelke<sup>15)</sup>는 임플란트에 연결되는 보철 구조물에서 임플란트 주변의 피질골로 부하를 분산시키는 방법을 생각하게 되었으며 악악면 부위의 골결합에 사용되는 titanium plate를 보철 구조물에 부착하여 satellite abutment로 명명하였으며 이를 이용한 임상 실험에서 환자들의 즉시 정상 저작을 허용하고 3개월 후 2차 수술시 standard abutment로 교체하며 방사선 검사와 임상 검사를 시행하여 즉시 부하가 임플란트의 골결합에 영향을 미치지 않는다고 주장하였다.

이에 본 실험에서는 satellite abutment의 교합력의 분산 정도를 실험적으로 평가하기 위하여 straight abutment와 angled abutment를 이용해 satellite abutment를 제작하여 광탄성 효과를 비교 분석하였다.

선학들의 연구에서 임플란트의 형태에 따라 임플란트와의 골접촉면에서의 응력 집중은 달라 지는데 통상적으로 straight abutment에서는 임플란트의 근첨부에 응력이 집중되며, angled abutment 사용 시에는 coronal 부분인 치조정 부위

에 응력이 straight abutment에 비하여 3-5배정도 증가한다고 보고 되고 있다.

임플란트의 형태에 따른 하중의 분산에 대한 연구에서 근첨부와 치조정 부위에 응력이 집중되는 원통형 임플란트에 비하여 나사 형태를 가진 임플란트에서는 하중이 측면의 나사산 부위에서 분산이 되므로 근단 부위의 응력은 적게 나타난다. 이는 최근의 임플란트의 형태가 보다 좋은 초기 고정과 넓은 골결합 면적으로 많은 하중을 지지하기 위해 불규칙한 표면을 가진 나사형 임플란트로 변해 가는 이유로 설명할 수 있을 것이며, 본 연구에서는 3 단계 계단형의 형태를 가진 나사형 임플란트인 Frialit-II synchro stepped screw형 임플란트를 사용하였다. 본 연구에 사용된 임플란트에서는 중간 부위의 계단 부위와 나사산에서 많은 하중을 고루 분산함으로써 다른 임플란트에 비하여 근단부와 치조정 부위의 응력이 비교적 적은 형태이다.(Fig 7.a, b) 따라서 기능 부하를 가한 후 치조정 부위의 골흡수가 적은 것으로 보고 되고 있어 Satellite abutment에 의하여 즉시 부하가 주변의 피질골로 잘 분산된다면 즉시 부하용 임플란트로 사용 가능할 것으로 생각하였다.

#### A. straight abutment 사용시의 응력의 분산

straight abutment 사용시 임플란트의 측면의 계단층과 나사산을 따라 분산되며 임플란트의 하부 쪽에 응력 집중 현상이 관찰되나 Satellite abutment를 사용한 군에서는 임플란트의 하부 응력은 76.5% 이상 감소하였다. 또한 피질골 표면으로의 응력은 29%이상 증가하여 plate를 따라 응력이 잘 분산되어지는 것을 보여주고 있다. 피질골에 plate를 고정한 screw의 주위에는 상당한 응력이 발생되고 있으나 이 고정용 screw는 임플란트로부터 3 mm 이상 떨어져 위치하며, 이는 장착된 plate와 screw가 임플란트에 가해지는 집중 응력을 악골의 피질골로 잘 분산시키는 효과로 생각된다.

또한 Satellite abutment를 사용한 군에서의 무늬차수가 1.6으로 나타나지만 실험에 사용한 레진 모형에 screw형 임플란트 식립시 모형에는 0.6차 이상의 잔류 응력이 남는 것을 고려한다면 더욱 많은 비율의 응력이 피질골 쪽으로 이동된 것으로 판단할 수 있다. 또한 실험 모형은 골결합이 이루어진 정도의 계면 강도를 가지고 있으나, 실제 임상에서 식립후 즉시 부하는 치조정 상부에서 plate를 따라 응력을 분산시키며 임플란트의 골결합에 중요한 해면골 부위의 응력이 감소된다는 것은 임상적으로 큰 의의를 가지는 것으로 사료된다.

#### B. angled abutment 사용시 응력의 분산

angled abutment 사용시의 임플란트 주변의 응력 분포는 임플란트의 하부보다는 측면과 치조정 쪽으로 집중되고 있다. 이는 경사 하중에 따른 응력 분포의 특성으로 경사에 의한 수평력과 수직력이 치아 중심과 떨어져서 작용하기 때문에 발생하는 모멘트 때문으로 경사측 치조골 상부에는 상당히 큰 압축력이 작용하게 되며 반대측에는 인장력이 가해지게 된다.

Brosh등<sup>16)</sup>은 이러한 응력이 치조골 흡수의 원인 요소가 될 수

있다 하였으며 Şenany Canay<sup>17)</sup>은 유한 요소법을 이용한 연구에서 angled abutment를 사용한 경우가 치조정 부위에 약 5배 정도의 압축력이 나타난다고 보고하였다. satellite angled abutment를 장착한 군에서는 임플란트 하부의 응력이 50% 감소하였는데 이는 straight abutment를 사용한 경우에 비해 둔감한 편이나, 반면에 평탄하게 분산되는 것이 그 특징이었다. 악골의 피질골에 해당하는 시험편의 표면에서는 임플란트 길이의 상부 2/3에 해당하는 부위까지는 압축력이 2배 이상 증가하여 작용하였는데 이는 plate가 장착된 위치와 관계가 있으리라 사료된다. 또한 시험편 표면의 하부 1/3에서는 인장력이 발생되었는데 이 또한 50% 정도 증가되어 임플란트의 골결합에 치명적으로 작용하는 인장력을 분산해 주는 것으로 판단할 수 있다. 단, 하중측 측벽 상부에 응력이 부가되는 것을 볼 수 있는데 이는 교합력에 의한 임플란트의 압축 응력과 편심 하중에 의한 좌굴 응력(buckling stress)에 의한 부가 압축 응력으로 응력비로는 개선되어 있으나 Fig. 6-d에서는 가장 큰 응력이므로 추후 고려해 볼 사항으로 사료된다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이 satellite abutment를 사용한 경우에서 응력 집중 현상이 현저히 완화됨을 알 수 있으며 임플란트 주위에 발생하는 응력이 고정용 plate와 screw 뿐만 아니라 임플란트의 전 표면과 악골의 피질골면으로 분산되는 경향을 뚜렷이 볼 수 있다. 또한 epoxy resin 시험편은 내측과 외측이 균일한 강도를 가지고 있어 실제 악골에서의 피질골과 해면골의 강도 차이에 의해 피질골 부위에서 하중이 많아지는 것을 고려한다면 더 많은 응력이 plate와 screw 및 악골외측의 피질골판으로 분산될 수 있음을 추론할 수 있다. 따라서 이와같은 결과로 미루어 볼 때 satellite abutment가 임상에서도 기능 교합력을 악골의 피질골로 적절히 분산시키고 임플란트 표면에 고루 분산시킴으로써 골결합에 방해되는 유해 하중을 방지해 줄 수 있다고 판단된다.

향후 고정용 plate의 형태와 위치, 그리고 고정용 나사의 숫자를 증가시키고 협설측 동시 고정을 하는 경우에 대한 계속 평가를 하고 in vivo 실험에서 골결합에 미치는 영향에 대한 조직학적인 평가가 따라야 할 것이다.

## V. 결 론

satellite abutment를 사용한 경우 임플란트의 접촉 골면에 집중된 응력이 고정용 plate와 screw쪽 뿐만 아니라, 임플란트의 상부 및 중부 그리고 악골의 피질골 부위로 분산되어 응력 집중 현상이 현저히 완화 되는 경향을 보였다.

1. satellite straight abutment(plate와 screw를 부착)를

사용한 경우가 임플란트 근침부에 응력 집중현상을 약 76.5% 이상 감소되었다.

2. satellite angled abutment사용시 임플란트 하부의 응력이 약 50% 감소하였으며, 압축력과 인장력 공히 피질골 쪽으로 분산되었다.

3. 고정용 plate와 screw 및 고정측 시편외면을 따라 임플란트 주위의 집중 응력이 현저히 분산되었다.

이상의 결과로 볼 때 satellite abutment는 임플란트 주위에 전달되는 교합 하중을 임플란트와 접촉되는 골 전체와 악골의 피질골을 통해 충분히 분산시키므로써 즉시 기능 부하용 임플란트 구조물로 사용할 수 있을 것으로 생각된다.