

# 정밀 부착형 유지장치에 따른 양측성 유리단 국소의치의 광탄성 응력분석

서울대학교 치과대학 보철학 교실

조혜원·장익태

## A Photoelastic Stress Analysis of Bilateral Distal Extension Removable Partial Denture with Attachment Retainers

Hye Won Cho. D. D. S., M. S. D ·IK Tae Chang D. D. S., M. S. D., PhD.

Dept. of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University

### —Abstract—

The purpose of this study was to evaluate the stress patterns developed in supporting structures by removable partial denture with attachment retainers.

The attachments tested were Dalbo(miniature) attachment, resilient Ceka attachment, rigid Ceka attachment, precision and sleeve attachment, and R.P.I. clasp as a contrast.

3-dimensional photoelastic stress analysis was used to record the isochromatic and isoclinic fringe patterns and to calculate principal stress components at measuring points.

The results showed that:

1. The maximum compressive stress on residual ridge was produced under the loading point with Dalbo and resilient Ceka attachment, distal to the loading point with rigid Ceka and precision and sleeve attachment, and mesial to the loading point with R.P.I. clasp.
2. The Dalbo attachment produced the most stress on residual ridge, and the least stress on abutment teeth, and resilient Ceka attachment showed favorable stress distribution.
3. Rigid Ceka attachment produced higher compressive stress on buccal alveolar crest, and precision and sleeve attachment produced higher compressive stress on distal alveolar crest and mesial surface of the root apex in abutment teeth.
4. R.P.I. clasp produced higher compressive stress on mesial alveolar crest.

### I. 서론

국소의치는 주지대치의 지지조직과 잔존치조직의 상태에 의하여 그 예후에 미치는 영향이 큰 바, 부분무치악 환자의 치료시 기능회복은 물론 잔존치아와 지지

조직의 유지 보존의 기본목적은 달성시킬 수 있어야 한다.

Steffel(1951)<sup>1)</sup>은 이상적인 국소의치 제작을 위해, 첫째 보철물에 오는 외력을 가능한 많은 치아에 분산시키고, 둘째 기능인상을 채득하여 잔존치조직에서의 지지를 최대한 얻어야 하며, 셋째 완압장치(stressbre-

aker)를 이용한 외력의 적절한 분산을 시도해야 한다고 말했다.

Chayes(1906)가 최초로 정밀부착형 유지장치를 고안한 이래 정밀부착형 유지장치는 기능시 의치상과 지대치 간에 응력을 분산시키는 완압형과 그렇지 않은 비완압형으로 크게 대별할 수 있고 형태에 따라 치관내(intracoronary)와 치관외(extracoronary) 유지장치 등 다양하고 복잡한 설계가 임상에 응용되고 있다.<sup>2,3,4)</sup>

Weinberg<sup>5)</sup>는 의치상의 축방운동을 허용하지 않는 비완압형 유지장치가 파지 및 안정효과가 커 외력분산에 가장 이상적이라고 주장했고, Preiskel<sup>6,7)</sup>은 비완압형 치관내 유지장치가 삽입로가 정확하고 견고해 기능시 축방운동이 거의 일어나지 않으며 완압형 유지장치를 장기적으로 사용하면 최후방 지대치의 치은유두에 손상을 주기 때문에 비완압형 유지장치가 보다 유리하다고 말했다.

반던 Mensor<sup>8)</sup>는 완압형 유지장치가 지대치와 잔존치조제에 효과적으로 외력을 분산시킬 수 있고 지대치에 대한 축방압이 적어 유리하다고 주장했다.

Kabcenell<sup>9)</sup>은 비완압형 유지장치와 완압형 hinge attachment가 잔존치조제에의 균등한 외력분산이 불가능하므로 그 복합형인 vertical slider stressbreaker를 추천했다.

Shohet(1969)<sup>10)</sup>는 strain gauge를 이용 지대치에 발생하는 응력과 변위량을 비교 연구하여 비완압형인 정밀부착형 유지장치와 Akers 클래스프가 지대치에 해로운 원심력을 유발하며 완압형인 C & L stressbreaker는 지대치 동요가 가장 적었다고 보고하였고, Nally(1973)<sup>11)</sup>는 dial gauge에 의한 연구 결과 완압형인 Dalbo attachment는 지대치에 대한 압력은 평균치이나 잔존치조제 변위가 매우 커 backaction 클래스프보다 불리하다고 말했다.

Kratochvil등(1981)<sup>12)</sup>은 여러가지 정밀부착형 유지장치를 광탄성 응력분석에 의해 비교한 바 Dalbo attachment가 잔존치조제에 가장 큰 응력을 전달하나 지대치에는 가장 적은 응력을 나타냈고, Thompson dowel attachment와 H형 비완압형 유지장치는 지대치에 원심력을 가한다고 보고했다.

동일한 완압형 유지장치도 Cecconi등(1975)<sup>13)</sup>과 White(1978)<sup>14)</sup>의 비교연구에 의하면 활성화(activation)되었을 경우와 비활성화(deactivation)되었을 경우 서로 다른 응력분포양상을 보인다고 보고했다.

유리단 국소의치는 지대치와 잔존치조제라는 상이한 두 구조에 의해 지지되며 치근막과 점막의 탄력성

(resiliency)의 차이로 말미암아 국소의치에 발생하는 응력의 분석은 매우 어렵다.<sup>8,4,15)</sup> 그러나 전형적인 양측성 유리단 국소의치의 응력분석은 이상적인 국소의치 설계에 많은 도움이 될 것이다.<sup>16)</sup>

지금까지 치외학 분야에 이용되어온 응력분석방법으로는 Frechette<sup>17)</sup>, Kaires<sup>18)</sup>, Metty<sup>19)</sup>, Holmes<sup>20)</sup>, Clayton등<sup>21)</sup>, Christidou<sup>22)</sup>, McCartney<sup>23)</sup>, Tebrock<sup>24)</sup>, Maxfield등<sup>25)</sup>이 연구한 strain gauge와, Wright<sup>26)</sup>, Craig등<sup>27,28)</sup>, Takahashi등<sup>29)</sup>이 연구한 유한요소법(finite element method)과 이차원<sup>30-43)</sup> 및 삼차원 광탄성 응력분석법<sup>12,18,44-64)</sup> 등이 있다.

광탄성 응력분석법은 한국에서도 윤<sup>65,71)</sup>, 조<sup>68)</sup>, 김<sup>67)</sup>, 임<sup>68)</sup>, 이<sup>69)</sup>, 조<sup>70)</sup>, 김<sup>72)</sup>에 의한 연구가 있으며, 국소의치의 응력분석에는 Kratochvil등<sup>12,47)</sup>, Thompson등<sup>16)</sup>, Warren<sup>54)</sup>, Berg<sup>58)</sup>, Farah<sup>60)</sup>, White<sup>14)</sup>, Reitz<sup>63,64)</sup> 등의 연구가 있다.

특히 삼차원 광탄성 응력분석법은 삼차원 모형 상에서 응력을 가했을 때 실제 내부에 발생한 응력의 차이를 비교 관찰하고 해석할 수 있는 방법이다.

본연구는 유리단 국소의치의 직접유지장치 중 R.P.I. 클래스프, 완압형인 Dalbo attachment와 Ceka attachment, 비완압형인 Ceka attachment 및 precision and sleeve attachment에 의해 지대치와 잔존치조제에 발생하는 응력의 정도와 분포를 삼차원 광탄성 응력분석법에 의해 분석 비교하여 그 결과를 보고하는 바이다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험모형의 제작

Typodont를 이용해 양측 제 2소구치 및 대구치가 절손된 유리단 국소의치 모형을 제작하고 제 1소구치



Fig. 1. 3-dimensional photoelastic model.

는 전부주조금관을 위한 지대치를 형성했다. 견치와 제 1 소구치는 분리해 wax socket을 만들고, typodont와 견치, 제 1 소구치에 각각 주입부를 형성하여 silicone rubber(일본, 신월화학, KE-1300)로 음형을 제작했다.

각 고무음형에 삼차원 광탄성물질인 PLM-4(미국, Vishay회사, Photoelastic div.)를 주입한 후 freezing oven에서 경화 냉각 cycle에 따라 모형을 응결시켰다. 완성된 견치와 제 1 소구치는 접착제인 PMC-1(미국, Vishay회사, Photoelastic div.)으로 국소의치 모형의 socket 내에 위치시켜 광탄성모형을 제작했다(Fig. 1).

## 2. 실험의치의 제작

5개의 실험모형을 제작하고 완압형 유지장치와 비완압형 유지장치의 각각 두 종류와 비교대상으로 R.P.I. 클래스프를 선택하여 지대치 금관과 국소의치 금속구조물을 제작했다.

실험모형에서의 국소의치 제작은 다음과 같이 구분했다.

- 1) 실험모형 I R.P.I. 클래스프
  - 2) 실험모형 II Dalbo(miniature) attachment(미국, APM Sterngold 회사)
  - 3) 실험모형 III Resilient Ceka attachment(벨기에, Ceka 회사)
  - 4) 실험모형 IV Rigid Ceka attachment(벨기에, Ceka 회사)
  - 5) 실험모형 V Precision and sleeve attachment(미국, Evelyn 회사)
- 1) R.P.I. 클래스프 : Kratochvil이 고안했고 근심래스트, proximal plate 및 0.010 inch의 undercut에 위치하는 I-bar로 구성되어 있다(Fig. 2).

2) Dalbo attachment; Hans Dalla Bona (스위스)가 고안했고 치관의 완압형 attachment이며 L자형의 bar에 ball이 달린 male과 socket형의 female로 구성되어



Fig. 2. R.P.I. clasp



Fig. 3. Dalbo(miniature) attachment.



Fig. 4. Resilient Ceka attachment.

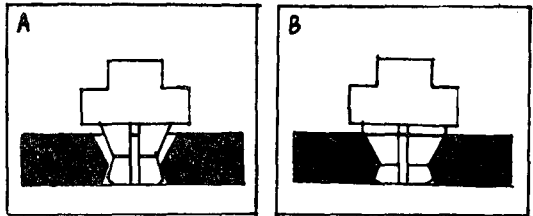


Fig. 5. Resilient (A) and rigid (B) Ceka attachment.

있다. 수직운동과 원심으로의 접변운동이 가능하다(Fig. 3).

3) Resilient Ceka attachment; Karl Clutens(벨기에)가 고안했고 금속 ring형의 matrix와 4개의 springy segment로 된 원추형 threaded pin으로 구성되며 완압형에는 0.3mm의 space maintainer가 있다. 수직운동과 장축을 중심으로 한 회전운동이 가능하다(Fig. 4, 5A).

4) Rigid Ceka attachment; Resilient Ceka attachment와 유사한 형태이나 threaded pin이 더 크고 ring에 꼭 맞는 형태이며, space maintainer가 없다(Fig. 5B).

5) Precision and sleeve attachment; Sterngold, McCollum, Ney와 Baker 등의 설계와 유사하며 치관

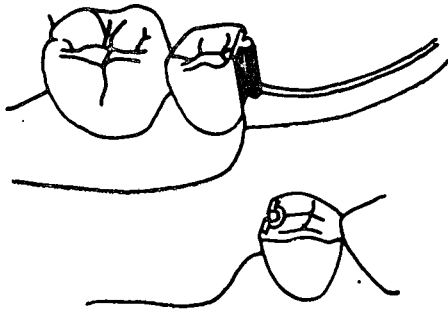


Fig. 6. Precision and sleeve attachment.

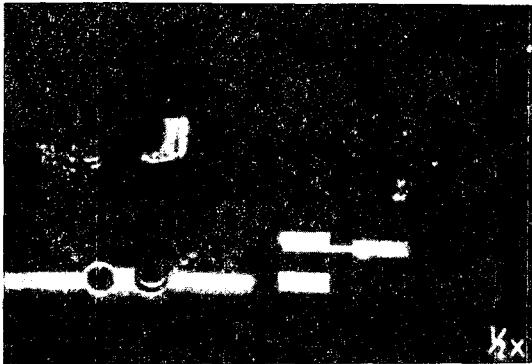


Fig. 7. Tested attachments.



Fig. 8. Completed attachment partial denture.

내 비완압형 attachment로서 tube형태로 되어 있다 (Fig. 6).

제작된 광탄성모형의 고무인상을 채득해 경석고 모형을 만든 다음 양측 제 1 소구치에 선택된 직접유지장치에 적합한 전부주조금관을 제작했다. 모형 I 에는 R.P.I. 클래스프를 위한 surveyed crown을 제작하고, 모형 II 에는 금관을 주조하고 Dalbo attachment의 male

부를 납착시켰으며, 모형 III, IV, V 에는 남형의 제작시 attachment의 레진 pattern을 부착해 주조했다. 모형 V 의 male부는 레진 pattern에 유지부를 달아 따로 주조했다 (Fig. 7). 국소의치 금속구조물은 lingual bar와 유리단부의 부연결자만 설계해 Cr-Co합금으로 주조 연마하고 attachment를 자가증합레진으로 금속구조물에 연결시켰다. 금속구조물의 유리단부에는 잔존치조제와 2mm의 공간을 부여해 레진의 치상을 제작하고 내면에는 고무인상재 (Xantoprene, Bayer사)로 채워 mucoperiosteum의 탄력성 (resiliency)과 유사하게 하였다 (Fig. 8).

의치상의 제 1 대구치부에 2kg의 하중을 수직으로 가하고 이때 발생한 응력상태를 freezing oven에서 그대로 동결시켰다.

### 3. 응력분석방법

실험모형에서 국소의치와 금관을 제거하고 좌측은 견치, 제 1 소구치, 치조제에서 협설평면으로 수직되게 중앙에서 절단하고, 우측은 견치 제 1 소구치 중심에서 근원심 평면으로 수직되게 절단했다 (Fig. 9).

각 절단시편은 2.15mm의 두께로 연마했다 (Fig. 10). Transmission polariscope (미국 Vishay회사, Photoel-

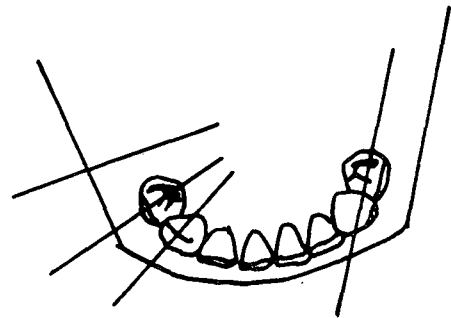


Fig. 9. Schematic drawing illustrating section line.

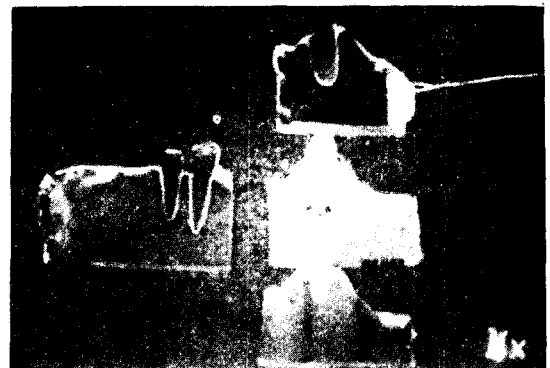


Fig. 10. Sectioned specimen.

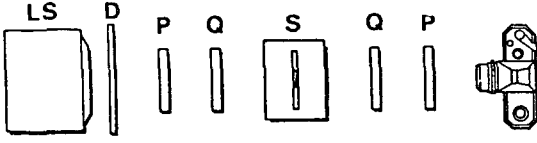


Fig. 11. Setup illustrating placement of all test components, LS, Light source. D, Diffuser. P, Polarizing lens. Q, Quarter wave plate. S, Thin slice of simulated tooth with supporting structures.

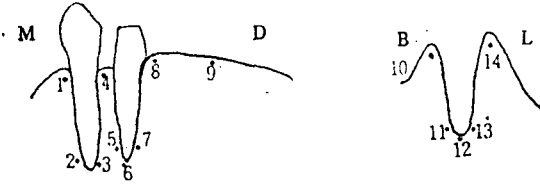


Fig. 12. Measuring points.

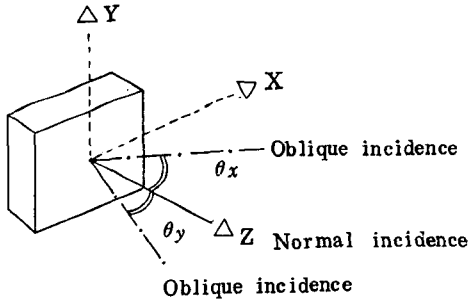


Fig. 13. The Coordinate system X, Y, Z for 3-dimensional photoelastic measurement.

astic div.)를 이용해 각 절단시편에 나타나는 무늬를 육안과 9배로 확대해 비교 관찰했다(Fig. 11).

#### • 3차원 광탄성 응력분석

절단시편에서 14개의 측정점을 잡아 각 점의 normal incidence와 oblique incidence에 의한 photoelastic data를 구하고 삼차원 응력성분을 계산하여 주응력  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  및  $\sigma_{oct}, \tau_{oct}$ 를 구했다(Fig. 12).

#### 응력계산방법

절단시편에서  $x, y, z$ 의 세 축을 정하고  $z$ 축은 시편의 수직방향으로 했다(Fig. 13).

#### ① Normal incidence

입사광선에 수직인 평면의 응력성분만이 무늬에 영향을 미치므로  $z$ 축 방향에서 측정된 광탄성 data로  $x-y$ 평면상의 전단응력(shear stress)을 알 수 있다.

$$\sigma_x - \sigma_y = (p - q)_n \cdot \cos 2\theta_n = \frac{Nn \cdot f\sigma}{t} \cdot \cos 2\theta_n$$

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}(p - q)_n \cdot \sin 2\theta_n = \frac{Nn \cdot f\sigma}{2t} \cdot \sin 2\theta_n$$

;  $p, q$  = 주응력

$$f\sigma = 60 p \cdot s \cdot i / in^2$$

$$t = 2.15mm$$

#### ② Oblique incidence ( $x$ 축으로 $30^\circ$ 회전)

$$\sigma_x - \sigma_y' = (p - q)_x \cdot \cos 2\theta_x = \frac{Nn_x \cdot f\sigma}{t'} \cdot \cos 2\theta_x$$

$$= \sigma_x - \left( \frac{3}{4}\sigma_y + \frac{1}{4}\sigma_z + \frac{\sqrt{3}}{2}\tau_{yz} \right)$$

$$\tau_{xy}' = \frac{1}{2}(p - q)_x \cdot \sin 2\theta_x = \frac{3}{2}\tau_{xy} + \frac{1}{2}\tau_{zx}$$

$$; t' = \frac{t}{\cos \theta} = \frac{2}{\sqrt{3}}t$$

#### ③ Oblique incidence ( $y$ 축으로 $30^\circ$ 회전)

$$\sigma_x'' - \sigma_y = (p - q)_y \cdot \cos 2\theta_y = \frac{Nn_y \cdot f\sigma}{t''} \cdot \cos 2\theta_y$$

$$= \left( \frac{3}{4}\sigma_x + \frac{1}{4}\sigma_z - \frac{\sqrt{3}}{2}\tau_{zx} \right) - \sigma_y$$

$$\tau_{xy}'' = \frac{1}{2}(p - q)_y \cdot \sin 2\theta_y = \frac{\sqrt{3}}{2}\tau_{xy} - \frac{1}{2}\tau_{zx}$$

이상에서  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ 를 구하고  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_{oct}, \tau_{oct}$ 를 계산했다.

### III. 실험 성적

#### 1. 무늬관찰

Transmission polariscope를 이용해 근원심평면과 협설평면에 나타난 무늬를 육안과 9배로 확대 관찰하고 9배 확대시의 isochromatic fringe pattern과, 근원심평면에서의 isoclinic fringe pattern에 의한 isostatic diagram을 도안했다(사진부도 1~4).

관찰결과는 아래와 같다.

#### 1) 실험모형 I- R.P.I. 클래스프

① 잔존치조제에서 가압부보다 근심으로 2차의 무늬가 나타났고

② 제 1 소구치 근원심평면은 원심치조정 1/3에 5차, 근심치조정 1/3에 3차의 무늬가 나타났으며 근단부에서는 근심에 치우쳐 3차의 무늬가 나타났고 협설평면에서는 근단부에 3차가 나타났다.

③ Isostatic diagram은 주응력선이 제 1 소구치 원심측 중간에 밀집되 고르지 못했다.

#### 2) 실험모형 II- Dalbo attachment

① 잔존치조제에서 가압부 직하에 5차의 무늬가 나타나고 근원심으로 넓고 고르게 분포했다.

② 제 1 소구치 근원심평면은 원심치조정에 3차가 나타났고 근심에서는 치근 중앙 1/2에서 근단부까지 3차

의 무늬가 장축방향으로 나타났고 협설평면에서는 협축치조정과 근단부에 3차가 나타났다.

③ Isostatic diagram은 제 1 소구치 좌우측에서 가장 크고 이상적인 형태로 나타났다.

### 3) 실험모형 III- Resilient Ceka attachment

① 잔존치조제에서 가압부를 중심으로 근심에 4차의 무늬가 나타났고 원심까지 비교적 넓게 퍼졌다.

② 제 1 소구치 근원심평면은 근심치조정 1/5에 4차의 무늬가 나타났고 치근좌우에서의 분포는 균형을 이루었으며, 근단부에는 장축방향으로 3차의 무늬가 나타났다. 협설평면에서는 좌우의 분포가 균일하며 근단

부에 장축방향으로 3차의 무늬가 나타났다.

③ Isostatic diagram은 비교적 균일하였다.

### 4) 실험모형 IV- Rigid Ceka attachment

① 잔존치조제에서 가압부보다 원심에 치우쳐 3차의 무늬가 나타났다.

② 제 1 소구치 근원심평면은 근심치조정 1/5에 3차의 무늬가 나타났고 근심에는 근단부까지 2차의 무늬가 나타났으며 원심에는 1차의 무늬가 나타났다. 협설평면은 근단부에 3차의 무늬가 나타났다.

③ Isostatic diagram은 원심치조정과 원심근단부에서 주응력선이 끊어져 가장 불안정했다.

Table 1. Stress components in photoelastic analysis(p.s.i)

	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{oct}$	$\tau_{oct}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{yz}$	$\tau_{zx}$	$\tau_{xy}$	
R.P.I. clasp	1	+68	-44	-150	-42	+89	-36	-31	-39	-86	-6	-67
	2	+54	+13	-26	+13	+32	+4	+20	+19	+31	-7	+21
	3	+68	-26	-156	-38	+92	-77	-72	-33	-90	+34	-59
	4	+98	-231	-514	-215	+250	-224	-197	-130	-145	-19	-268
	5	+54	-31	-81	-19	+55	+15	+15	-17	-48	-46	-24
	6	+51	-45	-107	-33	+65	-2	-34	+8	+37	-26	+68
	7	+39	-45	-118	-41	+64	-33	-35	-30	-33	-12	-70
	8	+837	+163	-412	+196	+510	+221	+270	+290	+502	-357	+127
	9	+8	-24	-55	-23	+26	-5	-32	-26	+13	-7	+24
	10	+94	-39	-116	-20	+87	-12	+5	+57	-42	+61	+81
	11	+169	-120	-313	-88	+196	+60	+44	-177	+102	-189	+34
	12	+51	+6	-55	+0	+43	+19	-19	-32	-3	-35	+31
	13	+65	-11	-78	-7	+58	+28	+15	-48	-52	-17	+21
	14	+152	-32	-144	-8	+122	+64	+90	-33	+65	-114	+66

Table 2. Stress components in photoelastic analysis(p.s.i)

	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{oct}$	$\tau_{oct}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{yz}$	$\tau_{zx}$	$\tau_{xy}$	
Dalbo(miniature) attachment	1	+200	+23	-112	+37	+27	+101	+110	-17	+8	-138	+36
	2	+68	-50	-155	-45	+91	-35	-39	-34	-29	-24	-105
	3	+60	-2	-70	-3	+53	-13	-4	-4	-23	-11	+59
	4	+125	-60	-215	-50	+139	-117	-59	-89	+60	-11	-120
	5	+68	-47	-173	-50	+98	-85	-67	-18	-81	+15	-81
	6	+100	+15	-81	+11	+74	+24	-0	-12	+38	-79	-15
	7	+59	-24	-105	-23	+67	-32	-22	-10	-2	+80	+12
	8	+43	-95	-170	-74	+88	-46	-82	+32	+36	+27	-94
	9	+107	-91	-234	-72	+139	+4	-78	-33	+158	-30	+59
	10	+113	+45	-52	+35	+68	+0	+46	-4	+52	+49	+41
	11	+11	-6	-24	-6	+14	-12	-8	+1	+2	+15	-5
	12	+29	-13	-43	-8	+30	-0	-27	+26	+12	-2	+24
	13	+78	-6	-85	-4	+66	+6	+2	-13	-76	-1	+26
	14	+35	-48	-154	-55	+77	-129	-75	-6	-57	+20	-43

5) 실험모형 V- Precision and sleeve attachment.

① 잔존치조계에서 가압부보다 원심에 4차의 무늬가 나타났으며 원심으로 더 넓게 퍼졌다.

② 제 1 소구치 근원심평면에서 근심치조정 1/3에 3차의 무늬가 나타났고 원심치조정 1/3에 2차, 근단부 근심에 치우쳐 3차의 무늬가 나타났다.

③ Isostatic diagram은 제 1 소구치 원심측에서 고르지 못했다.

2. 주응력성분의 비교

각 실험모형의 주응력은 Table 1~5에 기록했고 graph로 나타내 관찰 비교하였다.

1) 실험모형 I- R.P.I. 클래스프

근원심평면은 제 1 소구치 근심치조정에 압축응력 (compressive stress), 원심치조정에 인장응력 (tensile stress)이 크게 나타났고 협설평면은 근단부 협측에 압축응력이 나타났다(Fig. 14, 15).

2) 실험모형 II- Dalbo attachment

근원심평면과 협설평면에서 제 1 소구치는 치조정이 근단부에 비해 큰 응력을 보였으나 가장 균일한 응력 분포로 나타났다(Fig. 16, 17).

3) 실험모형 III- Resilient Ceka attachment

근원심평면 제 1 소구치 근심치조정에 강한 응력을

Table 3. Stress components in photoelastic analysis(p.s.i)

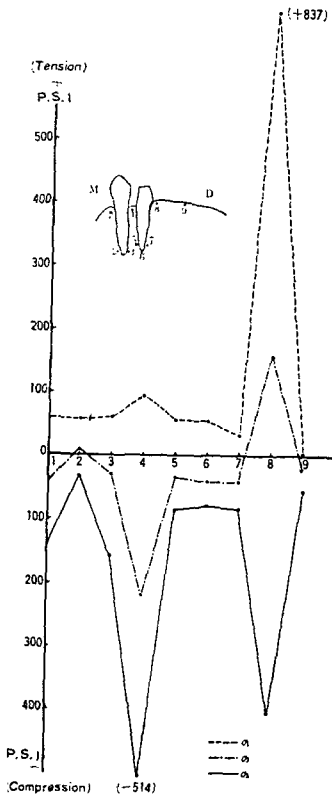
		$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{oct}$	$\tau_{oct}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{yz}$	$\tau_{zx}$	$\tau_{xy}$
Resilient Ceka attachment	1	+78	+10	-98	-3	+73	-64	-49	+21	-46	+62	-31
	2	+75	-37	-138	-33	+87	-70	-50	+45	-37	+21	-76
	3	+91	+43	-9	+41	+41	+25	+52	+37	-12	-36	+30
	4	+747	-245	-847	-115	+657	+348	+317	-227	+526	-570	+209
	5	+93	+59	+11	+54	+33	+13	+30	+90	-7	+12	-4
	6	+35	-4	-41	-3	+31	-1	-26	+22	+26	+3	-8
	7	+18	-52	-92	-42	+45	+14	+5	-85	+25	-5	+6
	8	+92	+3	-91	+1	+75	+20	+25	-57	+12	-62	-45
	9	+54	-28	-77	-17	+54	+15	-3	+5	+42	-43	+37
	10	+142	-6	-248	-37	+160	-202	-185	+89	-66	+115	-4
	11	+137	+26	-109	+18	+100	+10	+11	-17	+104	-36	-56
	12	+45	-12	-50	-5	+39	+10	-12	+24	+21	-7	+41
	13	+63	-29	-106	-24	+69	-31	-41	+31	-53	+38	+39
	14	+35	-19	-37	-23	+50	-39	-21	-38	+15	-25	-54

Table 4. Stress components in photoelastic analysis(p.s.i.)

		$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{oct}$	$\tau_{oct}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{yz}$	$\tau_{zx}$	$\tau_{xy}$
Rigid Ceka attachment	1	+30	-13	-67	-16	+40	-47	-36	+11	-0	+38	-6
	2	+150	+33	-115	+23	+108	+21	+22	-39	+99	-36	-77
	3	+66	-9	-84	-9	+61	-20	-6	-1	-68	+26	+13
	4	+26	-103	-192	-89	+90	-118	-79	+11	+30	+46	-76
	5	+33	-50	-115	-44	+66	-27	-24	-43	-43	-25	-56
	6	+99	+46	-49	+32	+61	+17	+0	-6	-38	-44	+57
	7	+123	+42	-24	+47	+60	+65	+80	+23	-55	-40	+0
	8	+27	-21	-49	-14	+31	+11	+4	-15	+29	-21	+18
	9	+30	-46	-99	-38	+53	-12	-37	-16	+41	-37	+25
	10	+21	-169	-286	+44	+127	+4	-30	-260	+59	+60	+0
	11	+184	+19	+16	+9	-147	-51	-48	+70	+7	+163	-38
	12	+48	+7	-28	+9	+31	+29	-6	+12	-23	-24	-6
	13	+27	-20	-48	-13	+31	-3	-15	+16	-21	+11	+29
	14	+300	+87	-72	+105	+152	+174	+190	+57	+23	-174	+29

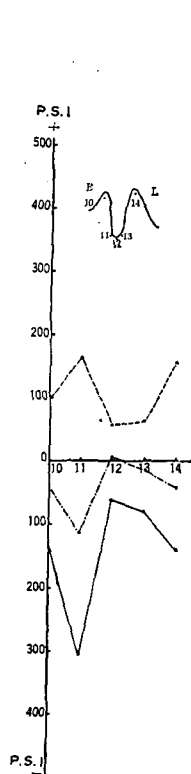
**Table 5.** Stress components in photoelastic analysis(p.s.i.)

		$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_{oct}$	$\sigma_{oct}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_z$	$\tau_{yz}$	$\tau_{zx}$	$\tau_{xy}$
Precision and sleeve attachment	1	+65	+12	-63	+4	+52	-27	-4	+0	-36	+47	-25
	2	+69	-79	-212	-73	+115	-103	-84	-0	-36	+85	-98
	3	+97	+42	-62	+25	+66	-3	+12	-32	+42	-39	-66
	4	+98	-5	-89	+1	+76	-22	+45	+22	-58	-63	-24
	5	+276	-99	-435	-86	+250	-16	-26	-136	-340	-8	-85
	6	+62	-5	-73	-5	+55	+14	-5	-23	-4	-62	-18
	7	+29	+7	-11	+8	+16	+12	+20	-4	-6	+13	-6
	8	+68	-89	-171	-64	+99	+44	+31	-117	+77	-63	+22
	9	+45	-26	-89	-23	+55	-0	-36	-14	+63	-15	-9
	10	+84	-45	-119	-26	-16	+75	+59	-102	-51	+84	-14
	11	+68	+31	-34	+22	-25	+19	+16	-29	-14	+42	+45
	12	+69	-26	-94	-17	+67	-3	-8	+18	+51	-55	+37
	13	+30	-1	-26	+0	+23	+14	+11	-9	+4	-25	+2
	14	+205	-227	-482	-168	+284	+136	+90	-376	-141	-199	+42



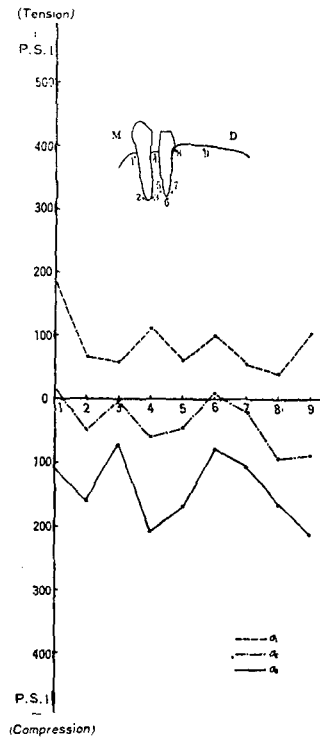
**Fig. 14.**

**Fig. 14.** Principal stresses in mesiodistal section; Model I (R.P.I. clasp)



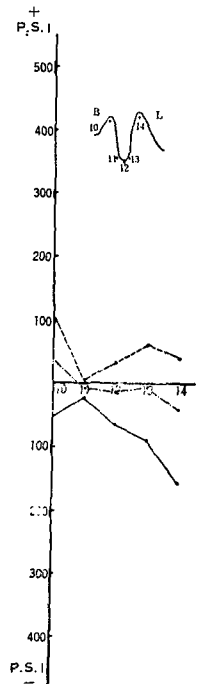
**Fig. 15.**

**Fig. 15.** Principal stresses in buccolingual section; Model I (R.P.I. clasp)



**Fig. 16.**

**Fig. 16.** Principal stresses in mesiodistal section; Model II (Dalbo attachment)



**Fig. 17.**

**Fig. 17.** Principal stresses in buccolingual section; Model II (Dalbo attachment)



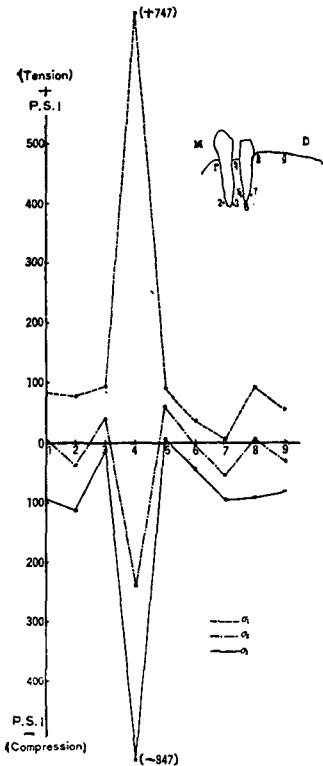


Fig. 18.

Fig. 18. Principal stresses in mesiodistal section; Model III (resilient Ceka attachment)

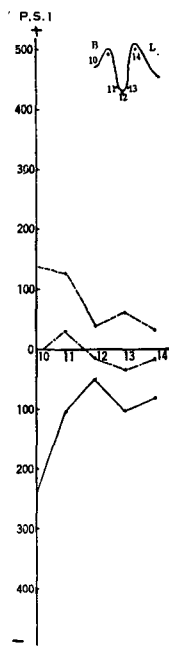


Fig. 19.

Fig. 19. Principal stresses in buccolingual section; Model III (resilient Ceka attachment)

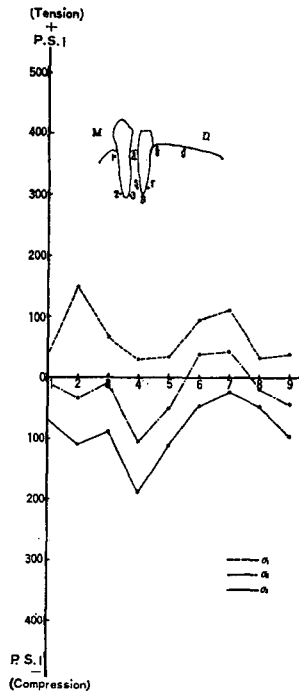


Fig. 20.

Fig. 20. Principal stresses in mesiodistal section; Model IV (rigid Ceka attachment)

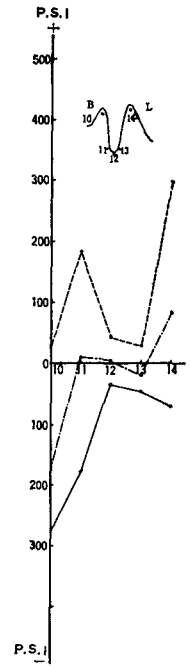


Fig. 21.

Fig. 21. Principal stresses in buccolingual section; Model IV (rigid Ceka attachment)

나타냈으나 협설평면은 매우 균일한 응력분포를 나타냈다(Fig. 18, 19).

#### 4) 실험모형 IV- Rigid Ceka attachment

근원심평면은 제 1 소구치 근심치조정은 압축응력이, 원심치조정은 인장응력이 크나 큰 차이는 없고 협설평면은 협측치조정에 압축응력이 설측치조정에는 인장응력이 크게 나타났다(Fig. 20, 21).

#### 5) 실험모형 V- Precision and sleeve attachment

근원심평면은 원심치조정과 근단부 근심축의 압축응력이 크게 나타났으며 협설평면은 설측치조정의 압축응력이 컸다(Fig. 22, 23).

### IV. II 안

국소의치가 기능운동을 할 때 지대치와 잔존치조정에 발생하는 응력은 많은 선학들의 관심사였으며 직접유지장치의 변형에 따라 지지조직에 미치는 영향은

다각적으로 연구되어왔다.

R.P.I. 클래스프나 backaction 클래스프와 같이 근심 테스트로 구성된 직접유지장치가 지대치에 근심축으로의 변위나 압력을 나타낸다는 사실은 Kratochvil<sup>74)</sup>, Cecconi<sup>13, 75)</sup>, Christidou<sup>22)</sup>, 엄<sup>76)</sup>, 이<sup>77)</sup>, 윤<sup>71)</sup> 등이 행한 생체 및 실험실 연구에서 입증되었다. 이런 현상에 대해 Christidou나 Cecconi는 잔존치조정의 경사도에서 영향을 받고 있다고 설명했으나 본 실험의 결과로 보아 정밀부착형 유지장치에서는 근심축 torque를 볼 수 없으므로 Kratochvil이나 엄, 이, 윤등의 보고와 같이 레스트의 위치가 근심축에 있기 때문에 R.P.I. 클래스프가 지대치에 근심축 torque를 일으키는 것으로 사료된다.

그러나 R.P.I. 클래스프에 의한 근심축 torque는 인접치아에 의해 보상될 수 있고 국소의치 금속구조물의 전방 장치부 설계에 의해 저지될 수 있으므로 지대치에 해로운 영향을 미치지 않는다고 하였다.<sup>13, 74)</sup>

Dalbo attachment는 잔존치조제로의 응력이 가장 컸

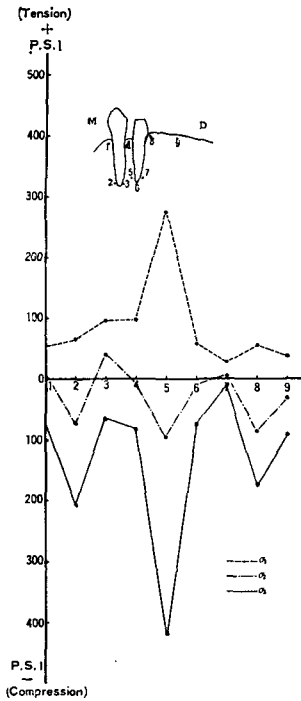


Fig. 22.

Fig. 22. Principal stresses in mesiodistal section; Model V (precision and sleeve attachment).

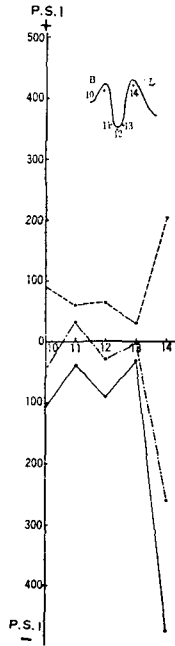


Fig. 23.

Fig. 23. Principal stresses in buccolingual section; Model V (precision and sleeve attachment).

고 지대치에서 근원심이나 협설방향으로 매우 고른 응력분포를 나타냈다. Dalbo attachment의 우수한 완압 효과는 Ceconi 등<sup>13)</sup>, White<sup>14)</sup>, 및 Kratochvil 등<sup>12)</sup>의 연구에서도 보고되었는데, Mensor<sup>9)</sup>는 이것이 Dalbo attachment의 vertically resilient hinge에 의한 기능에서 비롯된다고 밝혔다.

White<sup>14)</sup>는 광탄성 응력분석실험 결과 conventional Dalbo attachment에 spring이 없을 경우 있을 때보다 유리한 응력분포를 나타낸다고 하였다. 본 실험에서는 spring이 없는 miniature type을 사용했는데, 이런 경우에도 지대치에 대한 완압효과는 충분한 것으로 나타났다. 또한 miniature type은 임상치관의 높이가 낮은 경우에 적합하기 때문에 임상에서의 응용이 높아지고 있다.

Resilient Ceka attachment는 잔존치조제에의 응력분산이 고르게 이루어지긴 하나 Dalbo attachment에 비해 낮은 응력전달을 나타냈다. 이는 Dalbo attachment가 원심으로의 점진운동이 크게 일어나는 데 반해, resilient Ceka attachment는 0.3mm의 space maintainer에 의해 4cm의 치상에서 2mm의 회전운동이 가능하

고<sup>78)</sup> 그 이상의 운동은 metal ring에 의해 제한되기 때문이다<sup>79)</sup>.

한편 지대치에서는 근심 치조정에 강한 응력이 나타났으나 치근의 근원심간, 협설면 사이의 무리가 균등하고 근단부에 치축방향의 무리가 나타났으며, isostatic diagram도 치근 좌우측이 균일한 응력선을 보이므로 장축방향의 응력이 가해졌다고 사료된다. De Van<sup>80)</sup>, Glickman<sup>44)</sup>에 따르면 치아는 측방압보다 치축방향의 힘에 훨씬 저항력이 커 resilient Ceka attachment가 지대치에 손상을 준다고 생각되지 않는다.

Rigid Ceka attachment는 precision and sleeve attachment와 같이 가압부보다 원심축에 응력이 전달되나 그보다는 낮은 응력이 나타났다. 지대치 근원심 평면에서는 대체로 낮은 응력분포를 나타내나 협설 평면에서는 협축 torque를 예측할 수 있었다. Ceka attachment는 그 형태가 원형이며 장축을 중심으로 모든 방향으로의 응력 전달이 가능하므로 Preiskel<sup>3)</sup>은 설측 파지부의 설치를 권장 했는데, rigid Ceka attachment의 협축 torque는 이와같은 설측 파지효과를 기대할 수 없어 지대치에 매우 불리하다고 생각된다.

Precision and sleeve attachment는 협설면에서 볼 때 rigid Ceka attachment와 달리 지대치 설측 치조정에 큰 압축응력을 나타냈다. 그러나 설측 torque는 인접치 아와의 splinting<sup>4)</sup>이나 금속구조물의 설측 파지부에 의해 감소된다고 사료된다.

근원심평면에서 지대치 원심축 치조정과 근단부 근심축에 강한 압축응력이 발생했고 이런 현상은 지대치에 해로운 것으로 사료된다. 치조제에서도 가압부보다 원심축에 더 큰 응력이 나타났다.

Precision and sleeve attachment는 치관내 비원압형 attachment로서 Chayes, McCollum, Baker 등의 설계와 유사한데, Kabcenell<sup>9)</sup>에 따르면 이와같은 비원압형 attachment는 의치상과 지대치가 고정되어 있어 외력이 가해지면 지대치 치근 내의 fulcrum을 중심으로 원심축 회전운동이 일어나 지대치에는 치축 방향이 아닌 oblique한 방향의 응력이 가해지고 잔존치조제에서는 근심축보다 원심축에 더 큰 압력을 받는다고 말했다. Shohet<sup>10)</sup>의 연구에서도 비원압형 attachment는 지대치에 원심축 응력을 가하며 이는 근심축 torque보다 지대치에 불리할 것이라고 보고했다.

이상에서 보는 바와같이 유지장치는 그 형태, 기능, 유지력을 얻는 방법 등에 따라 지대치와 잔존치조제에의 응력분포양상이 다르게 나타났다. 일반적으로 완압형 attachment는 잔존치조제와 지대치에 고른 응력분

포를 나타냈고 비완압형 attachment는 지대치에 불리한 방향의 torque를 나타냈다.

## V. 결 론

저자는 삼차원 광탄성 응력분석법을 이용하여, R.P.I. 클래스프, Dalbo(miniature) attachment, resilient Ceka attachment, rigid Ceka attachment 및 precision and sleeve attachment를 응용한 양측성 유리단 국소의치 지대치와 잔존치조제에 전달하는 응력을 분석 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 완압형인 Dalbo attachment와 Ceka attachment는 잔존치조제의 가압부에서, 비완압형인 Ceka attachment와 precision and sleeve attachment는 의치상 후방 끝에서, R.P.I. 클래스프는 의치상 전방에 최대응력이 나타났다.

2) 완압형인 Dalbo attachment는 잔존치조제에 대한 응력이 가장 컸고 지대치에서 가장 균등한 응력분포가 이뤄지고 있으며, 완압형 Ceka attachment는 지대치와 잔존치조제의 응력분포가 비교적 균등하게 나타났다.

3) 비완압형인 Ceka attachment는 지대치 협축 치조경에서, precision and sleeve attachment는 원심축 치조경과 근단부 근심축에 압축응력이 크게 나타났다.

4) R.P.I. 클래스프는 지대치의 근심축 치조경에 압축응력이 컸으나 이는 인접치아에 의한 지지로 보상될 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Steffel, V.L.; Fundamental principles involved in partial denture design, J.A.D.A., 42;534, 1951.
2. Henderson, D., and Steffel, V.L.; McCracken's partial prosthodontics, ed. 6, St. Louis, Mosby, p.63, 1981.
3. Preiskel, H.W.; Precision attachment in dentistry, ed. 3, St. Louis, Mosby pp.66-155, 1979.
4. Baker, J.L., and Goodkind, R.J.; Theory and practice of precision attachment removable partial dentures, ed. 1, St. Louis, Mosby, pp. 18~26, pp.190~197, 1981.
5. Weinberg, L.A.; Lateral forces in relation to the denture base and clasp design, J.P.D., 6;785, 1956.
6. Preiskel, H.W.; Precision attachment for free-end saddle prostheses, Br.D.J., 18;462, 1969.
7. Preiskel, H.W.; Impression techniques for attachment-retained distal extension removable partial denture, J.P.D., 25;620, 1971.
8. Mensor, M.; The rationale of resilient hinge action stressbreakers, J.P.D., 20;204, 1968.
9. Kabcenell, J.L.; Stress breaking for partial dentures, J.A.D.A., 18;593, 1961.
10. Shohet, H.; Relative magnitude of stress on abutment teeth with different retainers, J.P.D., 21;267, 1969.
11. Nally, J.N.; Methods of handling abutment teeth in Class I Partial dentures, J.P.D., 30;561, 1973.
12. Kratochvil, F.J., Thompson, W.D., Caputo, A.A.; Photoelastic analysis of stress patterns on teeth and bone with attachment retainers for removable partial dentures, J.P.D., 46;21, 1981.
13. Cecconi, B.T., Kaiser, G., and Rahe, A.; Stress-breakers and the removable partial denture, J.P.D., 34;145, 1975.
14. White, J.T.; Visualization of stress and strain related to removable partial denture abutments, J.P.D., 40,143, 1978.
15. Steiger, A.A., and Boitel, R.M.; Precision work for partial dentures, Zurich, 1955, Stebo, pp.143-144. cited from 4., 6.
16. Thompson, W.D., Kratochvil, F.J., and Caputo, A.A.; Evaluation of photoelastic stress patterns produced by various designs of bilateral distal extension removable partial dentures, J.P.D., 38; 261, 1977.
17. Frechette, A.R.; The influence of partial denture design on distribution of force to abutment teeth, J.P.D., 6;195, 1956.
18. Kaires, A.K.; A Study of partial denture design and masticatory pressures in a mandibular bilateral distal extension case, J.P.D., 8;340, 1958.
19. Metty, A.C.; Obtaining efficient soft tissue support for the partial denture base, J.A.D.A., 56;679, 1958.
20. Holmes, J.B.; Influence of impression procedures and occlusal loading of partial denture movement, J.P.D., 15;474, 1965.
21. Clayton, J.A., and Jaslow, C.; A measurement

- of clasp forces on teeth with different clasp design on abutment tooth movement, J.P.D., 25:21, 1971.
22. Christidou, L., Osborne, J., Chamberlain, J.; The effects of partial denture design on the mobility of abutment teeth. *Br. Dent. J.*, 135:9, 1973.
  23. Tebrock, O.C., Rohen, R.M., and Fenster, R.K.; The effect of various clasping systems on the mobility of abutment teeth for distal extension removable partial denture, J.P.D., 41:511, 1979.
  24. McCartney, J.W.; Motion vector analysis of an abutment for a distal extension removable partial denture; A pilot study, J.P.D., 43:15, 1980.
  25. Maxfield, J.B., Nicholls, J.I., and Smith, D.E.; The measurement of forces transmitted to abutment teeth of removable partial dentures, J.P.D., 41:134, 1979.
  26. Wright, Mech, and Yettram; Reactive force distributions for teeth when loaded singly and when used as fixed partial denture abutments, J.P.D., 42:411, 1979.
  27. Hood, J., Craig, R.G., and Farah, J.W.; Modification of stresses in alveolar bone induced by a tilted molar, J.P.D., 34:415, 1975.
  28. Craig, R.G., and Farah, J.W.; Stress from loading distal extension removable partial denture, J.P.D., 39:274, 1978.
  29. Takahashi, Kitagami, and Komori; Analysis of stress on a fixed partial denture with a blade-vent implant abutment, J.P.D., 40:186, 1978.
  30. Mahler, D.B., and Peyton, F.A.; Photoelasticity as a research technic for analyzing stresses in dental structures, *J. Dent. Res.*, 34:831, 1955.
  31. Walton and Levan; A preliminary report of photoelastic tests of strain patterns within jacket crowns, *J.A.D.A.*, 50:44, 1955.
  32. Mahler, D.B.; An analysis of stresses in dental amalgam restoration, *J. Dent. Res.*, 37:516, 1958.
  33. Craig, R.G., El-Ebrashi, M.K., and Peyton, F.A.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part I. Two-dimensional photoelastic stress analysis of inlays, J.P.D., 17:277, 1967.
  34. Craig, R.G., El-Ebrashi, M.K., and Peyton, F.A.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part II. Two-dimensional photoelastic stress analysis of crown, J.P.D., 17:292, 1967.
  35. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part III. The concept of the geometry of proximal margins, J.P.D., 22:333, 1969.
  36. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part IV. The concept of parallelism of axial walls, J.P.D., 22:346, 1969.
  37. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part V. The concept of occlusal reduction and pins, J.P.D., 22:565, 1969.
  38. El-Ebrashi, M.K., and Craig, R.G.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part VI. The concept of proximal reduction in compound restorations, J.P.D., 22:663, 1969.
  39. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part VII. Structural design and stress analysis of fixed partial dentures, J.P.D., 23:177, 1970.
  40. Tillitson, E.W., Craig, R.G., Farah, J.W., and Peyton, F.A.; Experimental stress analysis of dental restorations. Part VIII. Surface strains on gold and chromium fixed partial dentures, J.P.D., 24:174, 1970.
  41. Nally, J.N., Farah, J.W., and Craig, R.G.; Experimental stress analysis of dental restorations, Part IX. Two-dimensional photoelastic stress analysis of porcelain bonded to gold crowns, J.P.D., 25:307, 1971.
  42. Baeton, L.R.; Canine retraction; A photoelastic study, *Am. J. Orthod.*, 67:11, 1975.
  43. Fisher, D.W., Caputo, A.A., Shillingburg, Jr.H. T., and Duncansen, Jr.M.G.; Photoelastic analysis of inlay and onlay preparations, J.P.D., 33:47, 1975.
  44. Glickman, I., Roeber, F.W., Brion, M., and Pameijer, J.H.; Photoelastic analysis of internal stresses in the periodontium created by occlusal forces, *J. Periodontol.*, 41:30, 1970.
  45. Rodriguez, C.A., and Arrechea; Periodontal distribution of occlusal forces; photoelastic study, J.

- Periodontol 44:485, 1973.
46. Rodriquez, C.A., and Vazques, M.; Experimental approximation to the determination of the true axial forces, J. Periodontol, 45:110, 1974.
  47. Kratochvil, F.J., and Caputo, A.A.; Photoelastic analysis of pressure on teeth and bone supporting removable partial dentures, J.P.D., 32:52, 1974.
  48. Craig, R.G. Farah, J.W., and El-Tahawi, H.M.; Three-dimensional photoelastic stress analysis of maxillary complete dentures, J.P.D., 34:122, 1974.
  49. Chaconas, S.S., Caputo, A.A., and Hayashi P.K.; Effects of wire size, loop configuration, and gabbling on canine retraction springs, Am. J. Orthod. 65:58, 1974.
  50. Caputo, A.A., and Chaconas, S.S.; Photoelastic visualization of orthodontic forces during canine retraction, Am. J. Orthod., 65:252, 1974.
  51. Hayashi, R.K., Chaconas, S.S., and Caputo, A.A.; Effects of force direction on supporting bone during tooth movemetn, J.A.D.A., 90:1012, 1975.
  52. Brodsky, J.F., Caputo, A.A., and Furstman, L.L.; Root tipping: A photoelastic-histopathologic correlation, Am. J. Orthod., 67:1, 1975.
  53. Ralph, and Caputo, A.A.; Analysis of stress patterns in the human mandible, J. Dent. Res., 54:814, 1975.
  54. Warren, A.B., and Caputo, A.A.; Load transfer to alveolar bone as influenced by abutment designs for tooth-supported dentures, J.P.D., 33:137, 1975.
  55. Thayer, H.H., and Caputo, A.A.; Effects of overdentures upon remaining oral structures, J.P.D., 37:374, 1977.
  56. Berg, T., and Caputo, A.A.; Anterior rests for maxillary removable partial denture, J.P.D., 39:139, 1978.
  57. White, J.T.; Abutment stress in overdenture, J.P.D., 40:13, 1978.
  58. Lopuck, S., Smith, J., and Caputo, A.; Photoelastic comparison of posterior denture occlusions, J.P.D., 40:18, 1978.
  59. Thayer, H.H., and Caputo, A.A.; Occlusal force transmission by overdenture attachment, J.P.D., 41:286, 1979.
  60. Farah, J.W., and MacGregor, A.R.; Stress analysis of disjunct removable partial denture, J.P.D., 42:271, 1979.
  61. Sulik, W.D., and White, J.T.; Modification of stresses surrounding abutment teeth for fixed partial dentures induced by various levels of periodontal support; A photoelastic study, J.P.D., 46:32, 1981.
  62. Chaconas, S.J., and Caputo, A.A.; Observation of orthopedic force distribution produced by maxillary orthodontic appliances, Am. J. Orthod., 82:492, 1982.
  63. Reitz, P.V., Sanders, J.L., and Caputo, A.A.; A photoelastic study of a split palatal major connector, J.P.D., 51:19, 1984.
  64. Reitz, P.V., and Caputo, A.A.; A photoelastic study of stress distribution by a mandibular split major connector, J.P.D., 54:220, 1985.
  65. 윤성일 : 치과보철물에 작용하는 stress에 관한 광탄성학적분석, 대한치과의사협회지, 17:47, 1979.
  66. 조원행 : 가공의치에 작용하는 stress에 관한 광탄성학적분석, 대한치과보철학회지, 18(1):7, 1980.
  67. 김준연 : 구치부 inlay 수복물에 작용하는 stress에 관한 광탄성분석, 대한치과의사협회지, 19:593, 1981.
  68. 임정규 : 치과보철물의 인접변연부에 작용하는 stress에 관한 광탄성학적 분석, 대한치과의사협회지 12:15, 1982.
  69. 이동악 : 구치부 도재전장주조관의 stress에 관한 광탄성 분석, 대한치과의사협회지 20:699, 1982.
  70. 조인호 : 총의치 조합형태에 따른 삼차원적 광탄성 응력분석, 대한치과의사협회지 20:945, 1982.
  71. 윤성일 : 양측성 유리단 국소의치의 설계변화에 따른 광탄성 응력분석에 관한 연구, 대한치과의사협회지, 23(1):45, 1985.
  72. 김동원 : 각종형태의 골내 임플란트와 해부학적 치형에 관한 광탄성응력분석, 대한치과교합학회지 3(1):25, 1984.
  73. Dally, J.W., and Riley, W.F.; Experimental stress analysis, ed. 2, New York, McGraw-Hill Book Company., pp. 490~521.
  74. Kratochvil, F.J.; Influence of occlusal rest position and clasp design on movement of abutment teeth,

- J.P.D., 13:114, 1963.
75. Cecconi, B.T., Asgar, K., and Dootz, E.; Removable partial denture abutment tooth movement as influenced by inclination of residual ridge and type of loading, J.P.D., 25:375, 1971.
76. 엄영배 : Occlusal rest의 설치에 따라 지대치와 피하조직에 가해지는 stress의 분석에 관한 연구, 대한치과의사협회지 12(1); 1974.
77. 이병태 : Clasp의 변형에 따른 유지가 지대치 운동에 미치는 영향에 관한 연구, 대한치과의사협회지, 14:147, 1976.
78. Box, A., and Kröly, H.; The universal Ceka attachment system: Handbook for the laboratory, Antwerpen, Ceka n.u., p.10, 1979.
79. Waltz, M.E.; Ceka extracoronaral attachments, J.P.D., 29:167, 1973.
80. De Van, M.M.; The nature of partial denture foundation suggestions for its preservation, J.P.D., 2:210, 1952.

사 진 부 도

1. Photoelastic stress distribution(x1)

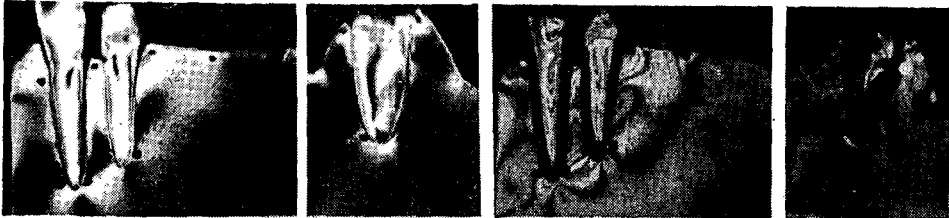
2. Isochromatic fringe pattern(x9)

• Mesiodistal section

• Buccolingual section

• Mesiodistal section

• Buccolingual section



Model I; R.P.I. clasp



Model II; Dalbo attachment



Model III; Resilient Ceka attachment



Model IV; Rigid Ceka attachment



Model V; Precision and sleeve attachment

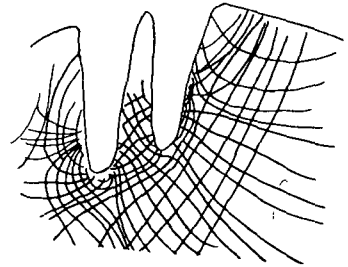
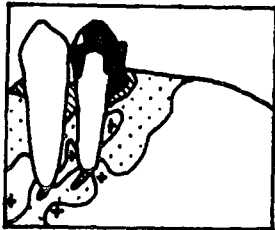
3. Diagrammatic sketch of isochromatic fringe pattern

4. Isostatic diagram (constructed from the composite isoclinic fringe pattern)

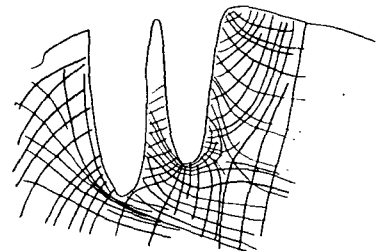
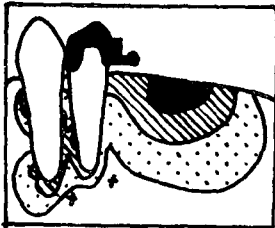
• Mesiodistal section

• Buccolingual section

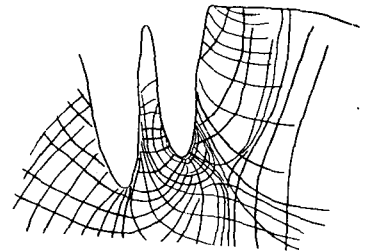
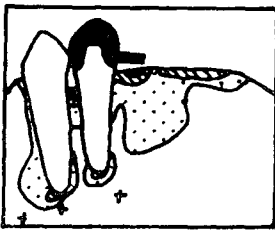
• Mesiodistal section



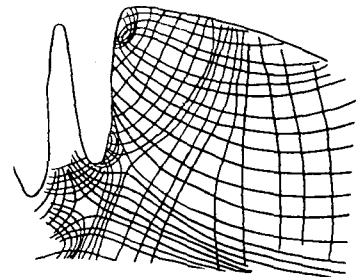
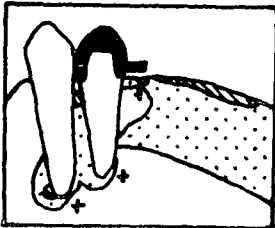
Model I; R.P.I. clasp



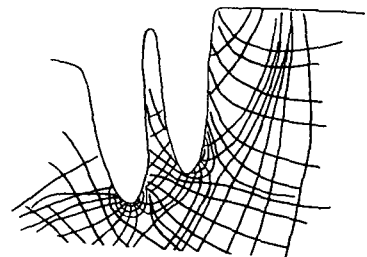
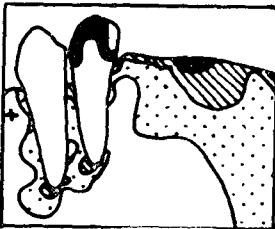
Model II; Dalbo attachment



Model III; Resilient Ceka attachment



Model IV; Rigid Ceka attachment



Model V; Precision and sleeve attachment