

PIN修復物の 維持力과 應力分散에 關한 力學的 및 光彈性學的 研究

全南大學校 齒科大學 保存學教室

吳源萬 · 柳善烈

I. 緒 論

치아 우식증이나 외상 등에 의해 치질의 손상이 클 경우 여러가지 수복물에 의해 치아의 형태, 기능 및 심미성을 회복시켜 줌으로써 치아와 인접 경조직 및 연조직의 조화를 이루게하여 환자의 구강 건강과 기능을 유지시켜 줄 뿐만 아니라 전신 건강에 기여할 수 있다.⁴²⁾ 원래의 상태로 치아를 수복하기 위해서는 여러 종류의 수복물이 사용되는데 와동내에 添窩(undercut), slot 혹은 溝를 형성해 주거나⁴²⁾, 복합 resin과 같이 琺瑯質 酸腐蝕에 의한 기계적인 접착³⁾ 또는 잔존 치질의 마찰력을 이용하거나, 근관치료된 치아에 있어서는 post를 사용함으로써 치질의 보강 및 수복물의 유지력을 기하고 있다.³⁷⁾ 또한 치관부 치질의 결손이 큰 경우에는 여러가지 형태의 Pin을 사용하여 유지력을 증가시켜 줌으로써 원래 치아의 형태를 보존할 수가 있다.^{7,42)}

1897년 Arthur는 치질에 anchor screw를 사용했다고 보고하였고⁵⁹⁾, Bull¹⁾은 銀板(silver alloy plate)을 삽입하여 수복물의 인장강도가 증가됨을 관찰하였다.

한편 Markley²⁸⁾는 Pin의 직경보다 0.001~0.002 inch 큰 Pinhole을 가지는 cemented pin을 연구 개발하였고, Goldstein²⁴⁾은 Pin의 직경이 Pinhole의 직경보다 0.001 inch 큰 friction-locked pin을 소개하여 상아질의 彈性을 이용하였으며, Gling²²⁾은 self-threading pin을 소개하여 pin의 직경보다 0.0015~0.004 inch 작은 Pinhole에 나사(thread)를 이

용하여 Pin을 삽입시킴으로써 수복물의 유지력을 증가시켰다. Moffa등²⁹⁾은 유지력에 있어서 cemented pin보다 friction-locked pin이 2~3배 더 크다고 보고하였고, Pameijer등³⁴⁾은 self-threading pin의 삽입시에 상아세관에 압박을 가한다고 했으며, Perez등³⁵⁾은 Pin의 全幅이 상아질에 삽입되어 있지 않더라도 self-threading pin이 다른 형태의 pin보다 유지력이 가장 크다고 보고하였다.

Pin 수복물에 관한 역학적 연구로는 李⁵⁶⁾가 Pin의 유지력에 대해서 보고한 바 있고, 엄⁴⁷⁾은 amalgam과 Pin과의 접착관계에 관하여 연구하였으며, 조와 엄⁵⁹⁾은 鍍金된 cemented pin과 amalgam. 접촉면에 대한 연구를 함으로써 유지력 증가를 기하였다. White⁵⁰⁾, Smith와 Hoover³⁸⁾는 Pin이 amalgam의 파절이나 引張強度에 아무런 영향을 미치지 못한다고 하였고, Waston과 Gilmore⁴⁸⁾는 Pin이 amalgam의 인장강도와 壓縮強度를 약화시킨다고 보고했으나, 반면에 Mondelli와 Vieira³¹⁾는 Pin이 amalgam을 보강한다고 주장하였다.

이상과 같은 연구들을 통계적 또는 실험적으로 고찰하기 위한 應力分析方法들로는 Electronic strain gauge를 이용하는 방법, 有限要素法, Holography法 및 光彈性 分析法 등이 있다.^{9,30,45)} 광탄성분석법은 1816년 영국의 David Brewster²⁾가 偏光을 이용하여 광탄성 효과를 발견한 이래 많은 분야에 응용되고 있다. 응력에 대한 광탄성 분석법은 2차원적 분석법, 3차원적 분석법 및 광탄성 물질의 塗布分析法 등이 있으며, 치과 수복물에 관한 응력분석은 주

로 2차원적 및 3차원적 분석에 의해 이루어지고 있다. 치과 영역에 있어서 광탄성 분석법의 이용은 1935년 Zak⁵²⁾가 이 방법을 이용하여 치조골에 미치는 교정력에 관하여 최초로 연구한 이래, Noonan³³⁾은 와동 형성에 관하여 연구하였고 이후 inlay 및 치과 수복물에 관한 Craig^{10,11)}의 연구가 있었다. 또한 El-Brashi^{14,15,16,17,18)}, Tillitson⁴⁴⁾ 및 Nally³²⁾ 등은 치과 수복물에 대한 실험적 응력분석을 시행하여 흥미로운 결과를 얻었다. 국내에서는 金⁵³⁾이 구치부 inlay 수복물에 작용하는 응력에 대한 이차원적 광탄성 분석을 시행하였고, 李⁵⁵⁾, 林⁵⁸⁾, 趙⁶⁰⁾ 및 尹⁵⁴⁾ 등은 구치부 도재전장주조관, 치관 보철물의 인접변연부위, 가공의치 및 양측성 유리단 국소의치의 설계 변화에 따른 광탄성 응력분석 등에 관하여 보고하였다.

이상과 같이 많은 연구가 있었으나 Pin 수복물에 대한 역학적 연구나 Pin 수복물의 응력분산에 관한 광탄성학적 연구는 비교적 희귀하였다. 본 연구는 치질내 Pin의 수를 증가시킴으로써 얻을 수 있는 Pin 수복물의 유지력 변화와 하중을 가하였을 때 치질내에 발생하는 응력의 분산 양상을 구명하기 위하여, 引張試驗과 剪斷試驗을 시행하여 유지력량을 역학적으로 계측하였고 광탄성 모형에 하중을 가하여 응력분포상태를 광탄성학적 방법에 의하여 비교 분석하였다.

II. 實驗材料 및 方法

1. 實驗材料

역학적 계측 실험에 사용된 치아는 최근에 발거된 비교적 건전한 상·하악 구치 80개를 선택하여 생리 식염수에 저장하여 사용하였다. 절단된 치아에 TMS Pin(TRI-STAR, EDENTA AG, Switzerland)을 삽입한 후 치과용 resin(Jet acrylic, Lang Dental MFG CO., USA)에 매식하여 resin block을 제작하였다. 광탄성 재료는 光彈性感度 $\alpha = 0.95$, 彈性係數(Young's modulus) $E = 300 \text{ Kgf/mm}^2$ 인 Epoxy 樹脂平板(EP-10, Reiken Co., Japan, $30 \times 175 \times 6 \text{ mm}$)을 2급 와동형태로 절단하여 TMS Pin을 삽입한 다음 acrylic resin block을 결합시켜 시편을 제작하였다.

2. 實驗方法

1) 維持力량의 力學的 計測試驗

인장시험을 위한 시편의 제작은 40개의 치아를 中心窩(central fossa)로부터 1.5mm되는 지점에서 disk을 이용하여 치아 장축에 수직으로 치아를 절단한 다음 치과용 resin에 매식하여 $15 \times 15 \times 20 \text{ mm}$ 의

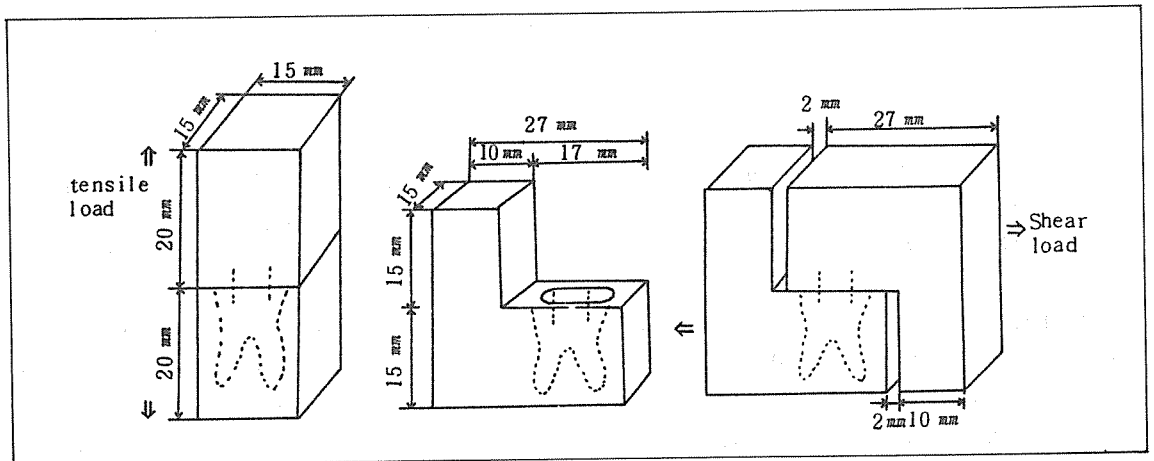


Fig. 1. Schematic drawing of specimen for tensile test.

Fig. 2. Schematic drawing of resin block.

Fig. 3. Schematic drawing of specimen for shear test.

resin block을 제작하였다.

Low speed contra-angle(Shorty, Midwest Co., USA)을 사용하여 TMS Pin을 치아의 咬頭部에 2 mm 깊이로 삽입하였고, 치아와 Pin을 제외한 치과용 resin에 paraffin wax를 얇게 도포한 다음 Pin 상방에 수복물의 代用材料로 동일한 resin을 사용하여 15×15×20mm의 resin block을 형성하여 시편을 제작하였다(Fig. 1). Pin을 각각 1, 2, 3 및 4개씩 삽입한 시편을 각각 10개씩 4군으로 분류하였다.

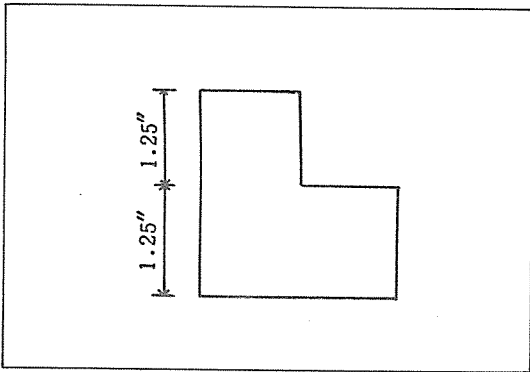


Fig. 4. Schematic drawing of epoxy plate.

전단시험을 위하여 나머지 40개의 치아는 중심으로부터 1.5mm 지점에서 치아를 절단한 다음 Fig. 2와 같이 resin block을 제작하였고, 위와 동일한 방법으로 Pin을 삽입한 후 수복물 대용 재료로 치과용 수지를 사용하여 시편을 완성하였다(Fig. 3). Pin을 각각 1, 2, 3 및 4개 삽입한 시편을 Universal testing machine(Instron Model 1115, Capacity 10T, Instron Co., England)에 장착한 후 인장력을 가한 경우 Pin 수복물의 유지력을 측정하기 위해서 cross head speed 1mm/min으로 하여 실험 시편 40개를 Pin의 장축에 평행이 되도록 인장력을 가하였고 나머지 실험 시편 40개는 Pin의 장축에 직각이 되도록 전단력을 가하였다. Pin 수복물의 유지력량은 Pin 수복물이 지탱하려는 최대하중값을 측정하여 기록하였다.

2) 光彈性學的 應力分析實驗

a) 실험 시편의 제작

Pin에 용이하게 하중을 가할 수 있도록 설계된 Epoxy 수지 평판을 상아질의 대용재료로서 Fig. 4와 같이 제작한 다음, Pinhole 형성시 發熱에 의한 응력 발생을 최소화시키기 위하여 증류수를 분사하

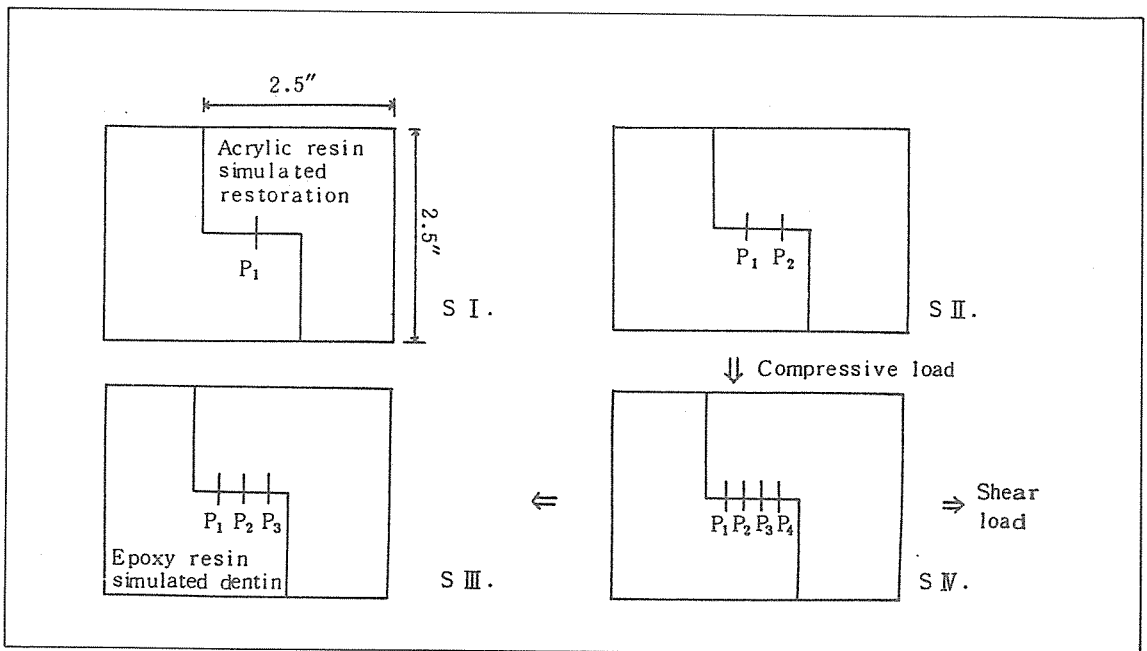


Fig. 5. Schematic diagram of the test specimens for photoelastic study.

* P₁, P₂, P₃, P₄ : Position of pins.

* SI, SII, SIII, SIV: Specimens.

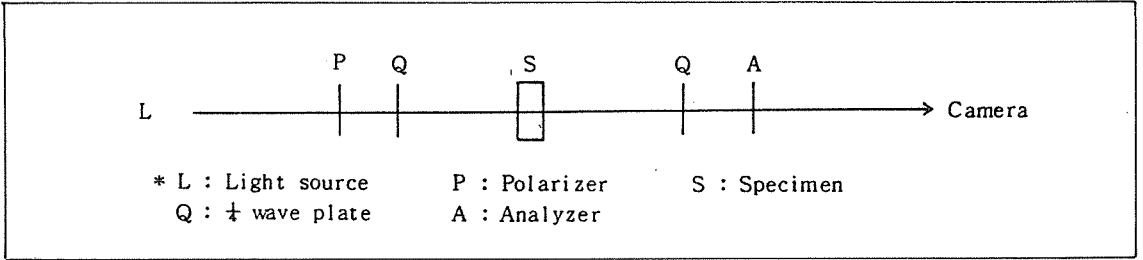


Fig. 6. Schematic diagram of the photoelastic equipment.

면서 TMS Pin을 Epoxy 수지 평판에 주의깊게 삽입하였다. 먼저 2mm 깊이의 Pinhole을 4mm 간격으로 형성한 후 각각 1, 2, 3 및 4개의 Pin을 삽입하여 4개의 Epoxy resin block을 제작하였다. Epoxy 수지와 수복물 간의 부착을 방지하기 위하여 paraffin wax를 얇게 도포한 다음 Pin이 삽입된 각각의 Epoxy 수지 평판에 수복물의 대응물로서 공업용 Acrylic 수지로 Pin 주위를 완전히 매식할 수 있도록 2급와동형태로 주의깊게 주입하여 4개의 시편을 제작하였다(Fig. 5).

b) 실험방법

응력분포상태를 可視化하기 위하여 偏光器 (Model PA-420, Reiken Co., Japan)를 사용하였다. 이는 光源, polarizer, 1/4 wave plate, 시편, 1/4 wave plate 및 analyzer로 구성되어 있다(Fig. 6). 편광기에서 analyzer와 polarizer가 직각으로 교차된 축을 이루면 dark field가 되고 축이 평행을 이루면 light field가 된다. 계측 기준은 dark field가 정배수의 fringe순서를 가짐으로써 측정기준으로 이용된다. 等色線(isochromatic fringe)은 主應力差의 恒數로서 fringe순서에 의해서 결정된다. 次數의 변화는 black이 0차, red와 첫번째 blue, green이 1차, 두번째 red와 두번째 green 사이가 2차 순으로, red와 함께 출현하는 색의 경계부위를 의미한다. 추정된 응력의 양은 다음과 같은 공식으로 구할 수 있다.

$$\delta \sigma_1 - \sigma_2 = \frac{n}{\alpha d}$$

$\sigma_1 - \sigma_2$ = deviatoric principal stress

n = fringe order

α = optical sensitivity

d = thickness

본 실험에서는 완성된 시편에 하중을 가했을 때의 응력분포상태를 고찰하기 위하여 Pin의 장축에 평행하게 15Kgf의 壓縮荷重과, Pin의 장축에 수직되게 7Kgf의 剪斷荷重을 각 시편에 가했고 편광기에서 白色光을 사용하여 isochromatic line을 추적하여 분석한 후 사진 촬영하였다.

III. 實驗成績

1. 維持力량의 力學的 計測實驗成績

1) 인장시험성적

40개의 시편에 인장력을 가한 경우 Pin 수복물의 유지력의 측정값과 평균값은 Table 1과 같았으며 유지력의 측정값의 분포정도는 Fig. 7과 같다. 각 군의 평균값은 Pin이 한 개인 경우 8.8 ± 2.4 Kgf, 두 개인 경우 18.6 ± 2.8 Kgf, 3개인 경우 29.7 ± 3.4 Kgf, 4개인 경우 38.7 ± 3.7 Kgf로 나타났으며, 모든 시편에서 Pin 한 개당 수복물 평균인장 유지력은 9.5Kgf로 산출되었다. 4군간의 평균값의 F검정에서는 유의성이 매우 높게 나타났으며($P < 0.01$), 상관계수 $\gamma = 0.97$ 을 나타냄으로써 Pin수의 증가에 따라 유지력은 대략 線形的으로 비례하여 증가된 것을 볼 수 있다.

2) 전단시험성적

나머지 40개의 시편에 전단력을 가한 경우 파절된 시편 3개를 제외한 나머지 시편 37개의 유지력에 대한 측정값과 평균값은 Table 2와 같으며 유지력의 측정값의 분포정도는 Fig. 7과 같다. 각 군의 평균값은 Pin이 한 개인 경우 9.9 ± 1.8 Kgf, 두 개인 경우 18.6 ± 2.7 Kgf, 3개인 경우 29.7 ± 4.3 Kgf, 4개인 경우 38.4 ± 5.3 Kgf였으며 모든 시편에서 Pin 한 개당 수복물 평균전단 유지력은 9.7Kgf로 산출되었

Table 1. Amount of retention and mean value of each specimen under tensile force. (Kgf)

Specimens \ No. of pins	1	2	3	4
A	8.2	25.0	33.5	43.5
B	10.8	17.7	26.3	35.0
C	8.7	16.0	29.8	40.6
D	5.5	18.9	25.0	35.7
E	6.5	19.5	32.1	37.0
F	9.0	15.7	33.8	35.1
G	7.5	17.7	24.5	46.0
H	10.5	21.0	30.3	38.5
I	7.5	16.5	32.3	39.3
J	14.0	18.0	29.0	36.1
mean	8.8	18.6	29.7	38.7
S.D.	2.4	2.8	3.4	3.7

* $\gamma = 0.97, P < 0.01$

다. 4군간의 평균값의 F검정에서는 인장력을 가한 경우와 같이 유의성이 매우 높게 나타났으며 ($P < 0.01$), 상관계수 $\gamma = 0.95$ 를 나타냄으로써 Pin수의 증가에 따라 유지력은 線形的으로 비례하여 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.

2. 光彈性學的 應力分析 實驗成績

1) Pin 삽입시의 초기응력상태.

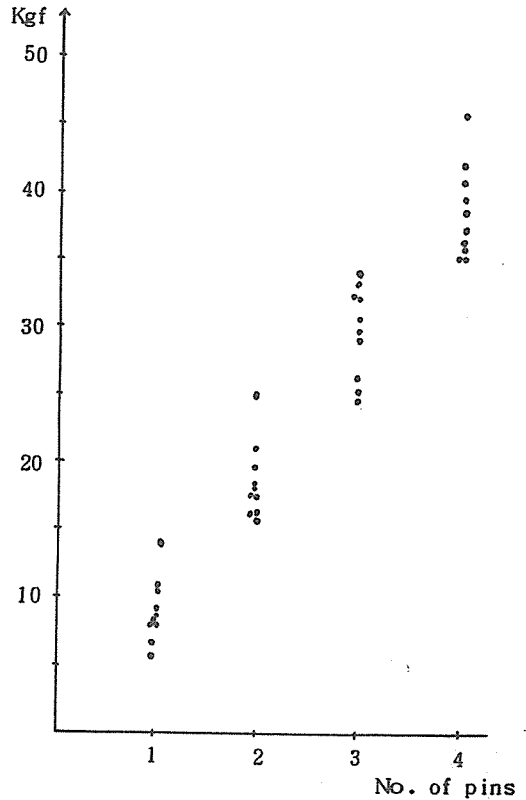


Fig. 7. Distribution of amount of retention of each specimen under tensile force.

Pin 삽입시 초기응력상태의 무늬차수는 Table 3과 같다(논문 사진부도 1, 2, 3, 4 참조). TMS Pin을 Epoxy 수지에 장착시 Pin의 첨부와 측방부위에 응력집중상태를 보여주고 있다. 각 시편의 응력집중 무늬차수의 평균치를 살펴보면 Pin의 첨부에서 시편 S I, S II, S IV는 0.5였고, 특히 S III에서는 2.3이었으며, Pin의 측방부위에서는 S I이 2, S II가 2, S III는 2.5, S IV에서는 1.5를 보임으로써 Epoxy 수지에 Pin이 견고하게 삽입된 시편 S III에서는 Pin의 첨부와 측방에 두드러진 응력집중현상을 보였고 견고하게 삽입치 못한 나머지 시편 S I, S II, S IV는 측방부위에만 상당한 응력집중을 보여주었으며, 또한 각 Pin에 있어서 응력분산 범위는 S I, S II, S IV에서는 약 4mm, S III에서는 약 8mm 정도로 나타났다.

Table 2. Amount of retention and mean value of each specimen under shear force.

Specimens \ No. of pins	(Kgf)			
	1	2	3	4
A	11.5	16.0	31.5	38.5
B	10.5	19.0	22.5	29.6
C	12.4	17.3	34.5	40.0
D	8.3	19.5	26.5	46.5
E	8.8	23.5	26.0	37.3
F	9.0	17.3	35.0	38.0
G	6.8	18.5	27.0	35.0
H	12.0	19.2	32.5	43.0
I	9.9	14.0	31.4	—
J	10.1	22.0	—	—
mean	9.9	18.6	29.7	38.4
S.D.	1.8	2.7	4.3	5.3

* $r = 0.95$, $P < 0.01$

2) 15Kgf의 압축하중시

압축하중을 가한 경우의 무늬차수는 Table 4와 같다(논문 사진부도 5, 6, 7, 8 참조).

순수한 압축하중에 의한 무늬차수는 압축하중을 가한 경우의 무늬차수에서 초기응력의 무늬차수를 뺀값으로 계산할 수 있는데, 압축하중시에 Pin의 침부에 응력집중현상을 보였고 측방부에서는 응력집중이 작음을 볼 수 있었다. 특히 시편 SI에서 Pin의 침부에 2.5정도의 큰 응력집중을 보였고 SII에

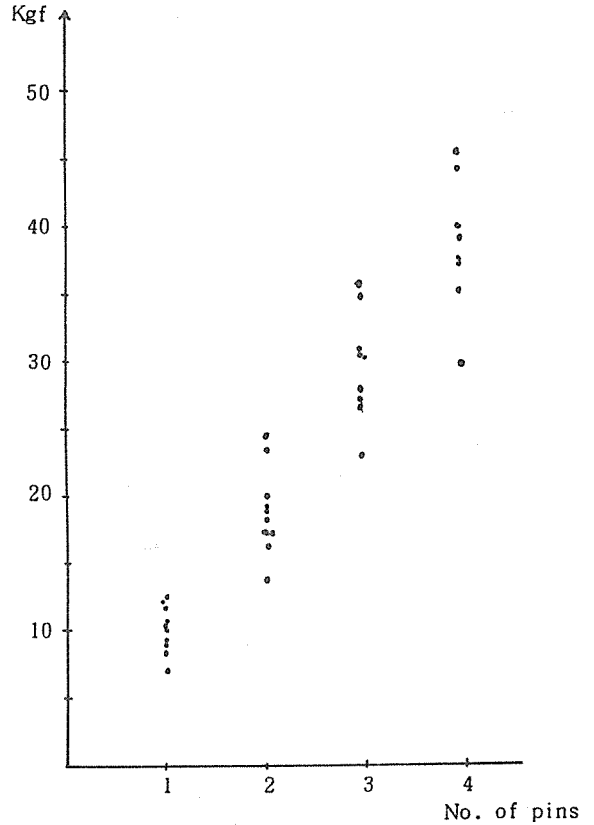


Fig. 8. Distribution of amount of retention of each specimen under shear force.

서는 초기응력상태로 있으며, SIII의 P₁에서 1정도가 증가, P₂에서는 0.5정도 증가, SIV의 P₁에서 2정도의 증가에 그쳐 Epoxy수지와 Acrylic수지의 접촉이 긴밀하지 못한 SI에서는 압축사중시에 두 재료 사이의 slip에 의해 두드러진 응력집중현상을 보였으며, 특히 같은 시편내의 Pin들이라도 Pin이 Epoxy수지에 견고하게 부착되어 있는 곳에 응력집중이 증가되는 것을 관찰할 수 있었다.

3) 7Kgf의 전단하중시

전단하중을 가한 경우의 무늬차수는 Table 5와 같다(논문 사진부도 9, 10, 11, 12 참조). 전단하중을 가한 경우 모든 시편의 Pin 침부에서는 응력집중현상이 작았으나 측방부위에서는 큰 응력집중현상을

Table 3. Initial fringe orders

Pin Specimen		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
S I	A	0.5			
	L	2			
S II	A	0.5	0.5		
	L	2	2		
S III	A	1.5	3.5	2	
	L	2	3	2.5	
S IV	A	0.5	0.5	0.5	0.5
	L	1	1.5	2.5	2.5

A : Apex of pin

L : Lateral side of pin

Table 4. Fringe orders under 15 Kgf of compressive load

Pin Specimen		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
S I	A	3			
	L	3			
S II	A	0.5	0.5		
	L	2	2.5		
S III	A	2.5	4	2.5	
	L	2.5	3.5	3	
S IV	A	2	0.5	0.5	1.5
	L	2	1.5	1.5	1

A : Apex of pin

L : Lateral side of pin

보였다. 전단하중시의 무늬차수에서 초기응력의 무늬차수를 뺀 값으로 순수한 전단력에 의한 응력의 크기를 계산할 수 있다. 측방부위에 순수한 전단력에 의한 응력집중의 무늬차수의 평균치는 시편 S I (2.0), S II (1.25), S III (1), S IV (0.75)을 보여 Pin의

Table 5. Fringe orders under 7 Kgf of shear load

Pin Specimen		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
S I	A	0.5			
	L	4.0			
S II	A	1	1		
	L	3.5	3		
S III	A	2	4	2	
	L	3.5	4.0	3	
S IV	A	1.5	1	1	0.5
	L	3	2.5	2.5	2.5

A : Apex of pin

L : Lateral side of pin

수가 많은 경우 전단하중이 가해지는 부위의 맨 앞에 있는 Pin에 응력분포가 컸음을 볼 수 있었다.

IV. 總括 및 考察

치과 보존치료시 Pin을 사용하는 목적은 치질의 결손부분을 수복함에 있어서 수복물의 파절과 탈락을 방지하기 위함이다. 일반적으로 Pin을 사용함으로써 수복물의 유지를 증가시키는 장점이 있으나 반면에 수복물의 물리적 성질을 저하시키는 경향이 있고 Pin을 치질내에 삽입하는 과정에서 상아질과 치수조직에 손상을 가할 수 있는 단점이 있다.²⁷⁾

임상에 사용되고 있는 Pin의 형태에는 self-threading pin, friction-locked pin 및 cemented pin의 세가지 종류가 있으며, Dilt¹³⁾, Taklan⁴³⁾ 및 Moffa²⁹⁾ 등은 치질내에서 가장 큰 유지력을 가지는 것은 self-threading pin이었고, amalgam에 있어서도 friction-locked pin보다 self-threading pin이 유지력이 더 크다고 보고하였다. Pin을 사용할 때 Pin의 邊緣 漏出이 생길 수 있으며 이로 인해 Pin의 부식이 야기되어 유지력이 약화되거나 치수에 영향을 미칠 수 있다. Chan⁶⁾은 여러 종류의 Pin의 변연 누출에 대한 실험 결과, TMS Pin이 변연 누출이 가장 작았고 인산 아연 시멘트로 접착된

cemented pin이 가장 큰 변연 누출을 보였으며 varnish는 변연 누출의 방지에 큰 도움이 되지 않았다고 보고하였다.

Pin 수복물의 물리적 성질에 관해서는 많은 연구가 진행되어 왔으며 Going등²³⁾, Welk와 Dilt⁴⁹⁾ 및 Moffa등^{29,30)}은 Pin 수복물의 압축강도에 관하여, Going등²³⁾은 Pin 수복물의 인장강도에 관하여, Cecconi⁵⁾는 압축강도와 인장강도에 관하여, Welk와 Dilt⁴⁹⁾는 Pin 수복물의 전단강도에 관하여 연구 보고한 바 있다. 이러한 실험을 통하여 Pin이 amalgam의 압축강도, 인장강도 및 파절에 대한 抵抗力에 대하여 영향을 미치지 않았으며^{8,38,50,57)}, 수복물의 유지력만을 증가시켰다고 보고하였다.¹⁹⁾ 반면에 Cecconi⁵⁾는 Pin 사용시 궁극적으로 인장강도를 감소시키지만 Pin이 amalgam내에서 인장력과 평행한 방향으로 위치할 경우에는 인장강도에 변화가 없다고 하였고, Welk와 Dilt⁴⁹⁾, Wing⁵¹⁾ 및 Watson과 Gilmore⁴⁸⁾는 Pin수복물의 압축강도와 인장강도를 측정 한 결과 Pin이 오히려 amalgam을 약화시켰다고 보고하였다.

한편 Pin과 수복물의 물리적 성질에 따라 Pin과 amalgam간의 부착력에 차이가 나타날 수 있다. Khawassah와 Denehy²⁶⁾에 의하면 spherical alloy, spherical alloy+conventional alloy가 conventional alloy 보다 Pin에 대한 부착력이 우수하다고 하였다. Garlindo등²⁰⁾, 엄⁴⁷⁾은 Pin과 amalgam 사이에 금속 결합이 있으면 amalgam의 전단강도의 감소를 줄일 수 있고 유지력을 증가시킬 수 있을 뿐만 아니라 Pin 때문에 발생하는 amalgam 수복물의 응력을 감소시킬 수 있다고 하였다. 조와엄⁵⁹⁾, Garlindo등²¹⁾은 cemented pin과 amalgam 접촉면에 대한 실험연구에서 금도금된 Pin이 은 도금된 Pin보다 접착력이 저하된다고 보고하였다.

본 실험에서는 Pin 수복물의 유지력량을 역학적으로 측정하기 위하여 치질내에 각각 1, 2, 3 및 4개의 Pin을 삽입한 다음 치과용 수지를 수복물로 사용하여 제작된 시편에 인장력과 전단력을 가한 결과, Pin의 수가 증가함에 따라 유지력량이 대략 선형적으로 비례하여 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 pin이 수복물의 유지력을 증가시킨다는 Enoch⁴⁹⁾, Welk와 Dilt⁴⁹⁾의 보고와 유사한 결과를 보여주었으며, Pin의 수가 많을수록 유지력량의 最大値와 最小

値 間의 차이가 크게 나타난 것은 pinhole 형성과 삽입시 정밀성의 문제와 치아 자체의 석회화 정도에 따른 강도의 차이 탓으로 발생한 결과라고 사료된다. 따라서 Pin의 수를 증가시키므로써 Pin 수복물의 유지력을 증가시킬 수 있으나 修復物의 물리적 성질을 약화시킬 수 있고 치수와 치질에 인위적인 손상이 초래될 수 있으므로 단순히 유지력을 증가시키기 위하여 Pin의 수를 증가시키는 것은 한계가 있으며 치질 결손부의 위치와 형태 등을 고려하여 결정되어야 할 것으로 사료된다.

한편 하중을 가했을 경우에 있어서 치질내에 발생하는 응력의 분포 양상을 규명하기 위하여 Stanklee등³⁹⁾은 endodontic post에 의한 응력 분산에 대한 연구에서 post design이 응력 분산에 영향을 미치며 응력이 post shoulder하방에 집중되는 경향이 있다고 하였고; 광탄성 연구에서는 dull drill이 상아질에 lateral crack을 야기시켰으며, cemented pin에서는 상아질에 손상이 없었다고 하였다.⁴⁰⁾ 또한 큰 응력은 self-threading pin과 friction-locked pin에 많이 발생되었고 friction-locked pin에 있어서는 응력이 측방으로 많이 발생하는 반면에 self-threading pin은 측방과 Pin의 첨부에 집중되는 현상을 보였다고 보고하였다.⁴¹⁾ Khera등²⁵⁾은 Pin간의 간격이 Pin 주위의 미세균열에 미치는 영향을 연구하여 pin의 간격이 좁고 직경이 클수록 미세균열의 유발이 컸다고 보고하였으며, Dhuru등¹²⁾은 amalgam 내의 Pin에 의해 발생하는 응력 집중에 관한 광탄성 연구에서 Pin이 응력 집중을 강화시키는 것은 Pin의 axial stiffness와 amalgam의 결합력에 의해 영향을 받는다고 보고했다. Pin을 치아에 삽입시키는 경우에 상아질, 치수조직에 醫因性 損傷을 초래할 수 있으며 Pin삽입 과정 중에 응력이 상아질을 통하여 치수로 전달되는 경우에는 齒髓 病變의 원인이 될 수 있다.²⁷⁾ Trabert등⁴⁶⁾은 Pin에 의해 발생된 응력의 치수 전달에 대한 광탄성학적 연구에서 cemented pin에서는 Pin이 치수에 인접한 경우에 응력이 가장 컸다고 했으며 self-threading pin에서는 pin이 치수에 직각으로 삽입되는 경우에 가장 큰 응력을 보였다고 보고하였다.

본 실험에서 Pin 삽입시의 초기응력을 살펴보면 같은 TMS Pin이라도 시편 SIII와 같이 Pin이 2mm 全長으로 삽입된 경우 Pin의 측방부위에 첨부에 응

력집중현상을 보였으며, 시편 S I, S II, S IV와 같이 Pin이 2mm 전장으로 삽입되지 않은 경우에 Pin의 측방부위에 응력집중현상을 관찰할 수 있었으며, 이는 Standlee등⁴¹⁾에 의한 Pin 장착시 생기는 광탄성학적 연구와 유사한 결과를 나타낸 것으로 사료되며, 각 Pin의 응력 분산 범위는 S I, S II, S IV에서 약 4mm, S III에서 약 8mm 정도로 나타남으로써 Pin 삽입시에 인접 Pin에서 발생하는 응력의 영향을 받지 않기 위해서는 Pin간의 간격이 최소한 4mm 이상되어야 할 것으로 사료된다.

한편 압축하중을 가했을 경우에 있어서 시편 S I, S II, S IV에서는 Epoxy resin과 Acrylic resin의 접착면이 긴밀하게 밀착된 경우에는 아크릴의 응고시에 발생하는 重合反應熱에 의해 밀착부위에 응력집중현상을 보였고, Pin 측방부위에서는 초기응력 때와 비슷한 응력분포 양상을 나타냈으며 Pin 접부에서 어느 정도의 응력집중이 관찰되었는데 이는 압축하중을 가한 경우에 세가지 형태의 Pin 모두에서 Pin 접부에 응력집중현상을 보였다는 Caputo⁴⁾의 실험과 유사한 결과를 나타낸 것으로 사료된다. 반면에 시편 S I은 Epoxy resin과 Acrylic resin 사이에 긴밀한 밀착이 없고 Pin수가 1개이기 때문에 부분적인 slip에 의해 현저한 응력집중현상을 보여주었다. 따라서 수복물과 상아질 사이에 긴밀한 밀착이 없는 경우 Pin의 수가 적을수록 Pin 주위에 가해지는 응력집중현상은 커지며, 긴밀한 밀착이 있는 경우에는 Pin의 수에 따라 별다른 차이가 없는 것으로 사료된다. 또한 본 실험에서 전단하중을 가했을 경우 전단

응력이 가해지는 각 Pin의 좌측부에 引張應力이 발생되었고 Pin의 우측에서는 壓縮應力이 발생됨을 관찰할 수 있었다. Caputo⁴⁾은 전단하중을 가했을 때 Pin 측방에 주로 응력집중이 발생한다고 하여 본 실험 결과와 일치되는 소견으로 사료된다. pin의 수가 증가함에 따라 각 pin에 발생하는 응력의 집중현상이 감소되는 경향을 보임으로써 전단하중시에는 Pin의 수에 따라 應力集中現象이 변하는 것으로 사료되며 더불어 전단하중이 가해지는 방향쪽의 Pin측방부에 응력집중이 컸으며 반대 방향으로 갈수록 응력집중이 감소됨을 볼 수 있었다(논문 사진부도 9, 10, 11, 12 참조)

본 연구는 보존 임상에서 사용되고 있는 Pin의 증가에 따른 유지력의 변화를 역학적으로 계측하였고

Pin 수복물의 응력분산 양상을 광탄성학적으로 비교 분석하여, Pin 수를 증가시키므로써 Pin 수복물의 유지력을 증가시킬수 있으나 수복물의 약화와 치수 및 치질 손상의 우려가 있으므로 단순히 유지력을 증가시키기 위해 Pin의 수를 증가시키는 것은 한계가 있고, 각 Pin의 응력분산 범위는 4~8mm 정도로 나타나 Pin간의 간격이 최소한 4mm 이상이어야 할 것으로 생각된다. 향후 다양한 Pin의 종류, 修復材料 및 窩洞形態에 따라 유지력을 포함한 물리적 성질의 변화와 응력분포 상태를 비교 연구함으로써 치아의 형태, 기능 및 審美性을 회복 및 유지시켜줄 수 있을 것으로 생각되며, Pin 자체의 변성 가능성이나 적절한 形態 附與 등의 문제점을 해결하고 殘存齒質과 치수조직에 무해하며 수복물의 유지와 물리적 성질을 강화시켜줄 수 있는 재료와 術式을 개발하기 위한 다각적인 연구를 계속하여 임상에 올바르게 적용함으로써 보다 바람직한 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

V. 結 論

Pin수의 증가에 따른 Pin 수복물의 유지력의 변화와 응력분산양상을 究明하기 위하여 치아에 각각 1, 2, 3 및 4개의 Pin을 삽입하여 resin block을 형성한 다음 引張試驗과 剪斷試驗을 시행하여 維持力量을 측정하였으며, 또한 epoxy resin 平板에 TMS Pin을 각각 1, 2, 3 및 4개 삽입하여 2급와동형태의 Acrylic resin을 접합시킨시편을 제작한 후에 15Kgf의 압축하중과 7Kgf의 인장하중을 가하여 응력분포 상태를 광탄성학적으로 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 引張試驗과 剪斷試驗 결과 Pin수의 증가에 따라 유지력량은 대략 線形的으로 비례하여 증가하였다.
2. 引張試驗 結果 Pin 수복물의 유지력의 평균값은 Pin이 한 개인 경우가 8.8 ± 2.4 Kgf, 2개인 경우 18.6 ± 2.8 Kgf, 3개인 경우 29.7 ± 3.4 Kgf, 4개인 경우 38.7 ± 3.7 Kgf였으며 따라서 모든 시편에서의 Pin 한개당 평균인장 유지력은 9.5Kgf 정도의 값이 산출되었다.
3. 剪斷試驗 結果 수복물의 유지력의 평균값은 Pin이 한 개인 경우가 9.9 ± 1.8 Kgf, 2개인 경우 18.

6±2.7Kgf, 3개인 경우 29.7±4.3Kgf, 4개인 경우 38.4±5.3Kgf였으며 따라서 모든 시편에서의 Pin한 개당 평균전단 유지력은 9.7Kgf 정도의 값이 산출되었다.

4. 光彈性實驗에서 동일한 TMS Pin이라든 epoxy resin에 Pin이 全長으로 견고하게 삽입된 경우에는 초기응력이 Pin의 尖部와 側方部位에 큰 應力集中이 생겼고, 각 Pin의 應力分散 範圍는 4~8 mm 정도로 나타났다.

5. 15Kgf 壓縮荷重時 주로 Pin의 첨부에 응력집중이 있었으며, epoxy resin과 acrylic resin이 긴밀하게 밀착된 경우에는 접촉부위에 압축응력이 고루 분산되므로 Pin의 수가 응력집중에 큰 영향을 미치지 못하였다.

6. 7Kgf 剪斷荷重時 주로 Pin의 측방부위에 응력집중이 있었으며, Pin의 수가 증가될수록 응력이 각 Pin에 점진적으로 분산되므로 전단력에 대한 支持度가 증가했음을 볼 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Bull, F.A.: Constructing amalgam fillings by reinforcement to approximate strength of cast gold, J. Am. Dent. Assoc., 23: 1655, 1936.
2. Bulletin SFC-200: Photoelastic stress analysis, Photoelastic Inc. Malvern, P.A., U.S.A.
3. Buonocore, M.G.: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface, J. Dent. Res., 34:849, 1955.
4. Caputo, A.A., Stnadlee, J.P., and Collard, E.W.: The mechanics of load transfer by retentive pins, J. Prosthet. Dent., 29:442, 1973.
5. Cecconi, B.T.: Pins in amalgam: A study of reinforcement, J. Prosthet. Dent., 26: 159, 1971.
6. Chan, K.C., and Svare, C.W.: Leakage around various types of retention pins, J. Prosthet. Dent., 33(2):191, 1975.
7. Charbeneau, C.T., and others: Principles and Practice of Operative Dentistry, ed. 2, Philadelphia, 1981, Lea & Febiger Co.
8. Charlich, R.E.: Crushing strength of dental amalgam containing pins, Masters thesis, University of Michigan, April, 1967.
9. Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Measurement of strains in fixed bridges with electronic strain gauges, J. Dent. Res., 46(3): 615, 1967.
10. Craig, R.G., EI-Ebrashi, M.K., Le Peak, P.J., and Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of dental restorations, I. Two dimensional photoelastic stress analysis, J. Prosthet. Dent., 17:277, 1967.
11. Craig, R.G., EI-Ebrashi, M.K., and Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of dental restorations, II. Two-dimensional photoelastic stress analysis of crown, J. Prosthet. Dent., 17:292, 1967.
12. Dhuru, V.B., McLachlan, K., and Kasloff, Z.: A photoelastic study of stress concentrations produced by retention pins in amalgam restoration, J. Dent. Res., 58(3):1060, 1979.
13. Dilts, W.E., Welt, D.A., and Stovall, J.: Retentive properties of pin retained silver amalgam restorations, J. Am. Dent. Assoc., 77:1085, 1968.
14. EI-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. Prosthet. Dent., 22:33, 1967.
15. EI-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of dental restoration, Part IV. The Concept of parallelism of axial walls, J. Prosthet. Dent., 22:346, 1969.
16. EI-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. Prosthet. Dent.*, 22:567, 1969.
17. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of dental restorations, Part VI. The concept of proximal reduction in compound restorations, *J. Prosthet. Dent.*, 22:663, 1969.
 18. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of restorations, Part VII. Structural design and stress analysis of fixed partial dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 23:177, 1970.
 19. Enoch, J.D.: Retention of dental amalgam by stainless steel pins, Masters thesis, University of Michigan, April, 1963.
 20. Garlindo, Y., McLachlan, K., and Kasloff, Z.: Microscopic study of smooth silver-plated retention pins in amalgam, *J. Dent. Res.*, 59:124, 1980.
 21. Garlindo, Y., McLachlan, K., and Kasloff, Z.: Mechanical tests of smooth silver-plated retention pins in amalgam, *J. Dent. Res.*, 59:620, 1980.
 22. Going, R.E.: Pin-retained amalgam, *J. Am. Dent. Assoc.* 73:691, 1966.
 23. Going, R.E., Moffa, J.P., Nostrant, G.W., and Johnson, B.E.: The strength of dental amalgam as influenced by pins, *J.A.D.A.*, 77:1331, 1968.
 24. Goldstein, P.M.: Retention pins are friction-locked without use of cement, *J. Am. Dent. Assoc.*, 73:1103, 1966.
 25. Khera, S.C., Chan, K.C., and Rittman, B.R.: Dentinal crazing and interpin distance, *J. Prosthet. Dent.*, 40:538, 1978.
 26. Khowassah, M.A., and Denehy, G.E.: A qualitative study of the interface between different dental amalgams and retentive pins, *J. Prosthet. Dent.*, 30:289, 1973.
 27. Langeland, K., Dowden, W.E., Tronstuds, L., and Langeland, L.K.: Human pulp changes of iatrogenic origin, *Oral Surg.*, 32:943, 1971.
 28. Markley, M.R.: Pin reinforcement and retention of amalgam foundations and restorations, *J. Am. Dent. Assoc.*, 56:675, 1958.
 29. Moffa, J.P., Razzano, M.R., and Doyle, M.G.: Pins—a comparison of their retentive properties, *J. Am. Dent. Assoc.*, 78:529, 1969.
 30. Moffa, J.P., Going, R.E., and Gentleman, L.: Silver pins: Their influence on the strength and adaptation of amalgam, *J. Prosthet. Dent.* 28:491, 1972.
 31. Mondelli, J., and Vieira, D.F.: The strength of class II amalgam restorations with and without pins, *J. Prosthet. Dent.*, 30:179, 1972.
 32. 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. Prosthet. Dent.*, 25:307, 1971.
 33. Noonan, M.A.: The use of photoelasticity in a study of cavity preparations, *J.D. Child.*, 16:24, 1949.
 34. Pameijer, J.W., and Stallard, R.E.: Effect of self-threading pins, *J. Am. Dent. Assoc.*, 85:897, 1972.
 35. Perez, R.E., Schoeneck, A.G., and Yanahara, M.H.: The adaptation of non-cemented pins, *J. Prosthet. Dent.*, 26:631, 1971.
 36. Shames, I.H.: Introduction to solid mechanics, Prentice Hall Inc., 1975.
 37. Shillingburg, H.T., and Kessler, J.C.: Restoration of the Endodontically Treated Tooth,

- ed. 1, Chicago, Illinois, 1982, Quintessence Publishing Co.
38. Smith, J.R., and Hoover, D.E.: Fracture resistance of pin retained amalgam, I.A.D.R., Abstr. No. 352, p. 125, 1967.
 39. Standlee, J.P., and others: Analysis of stress distribution by endodontic posts, *Oral Surg.*, 33:952, 1972.
 40. Standlee, J.P., Collard, E.W., and Caputo, A.A.: Dentinal defects caused by some twist drills and retentive pins, *J. Prosthet. Dent.*, 24(2):185, 1970.
 41. Standlee, J.P., Caputo, A.A., and Collard, E.W.: Retentive pin installation stresses, *Dent. Pract. Dent. Rec.*, 21:417, 1971.
 42. Sturdevant, C.M., and others: *The Art and Science of Operative Dentistry*, ed. 2, St. Louis, 1985, The C.V. Mosby Co.
 43. Taklan, S.P.: Extensive study and evaluation of the different types of retentive pins used in amalgam restorations, M.S. thesis, University of Iowa, College of Dentistry, July, 1967.
 44. Tillitson, E.W., Craig, R.G., and Farah, J.W.: Experimental stress analysis of dental restorations, Part VII. Surface strains on gold and chromium fixed partial denture, *J. Prosthet. Dent.*, 24:174, 1970.
 45. Timoshenko, S.P.: *Theory of Elasticity*, McGraw Hill Ltd., 1970.
 46. Trabert, K.C., and others: Stress transfer to the dental pulp by retentive pins, *J. Prosthet. Dent.*, 30:808, 1973.
 47. Um, C.M.: A study on the contact surface between amalgam and pins, *J. Kor. Dent. Assoc.*, 22:323, 1984.
 48. Waston, P.A., and Gilmore, H.W.: Use of pins for retaining amalgam restorations: A synopsis. *J. Can. Dent. Assoc.*, 36:30, 1970.
 49. Welk, D.A., and Dilts, W.E.: Influence of pins in the compressive and transverse strength of dental amalgam and retention of pins in amalgam, *J.A.D.A.*, 78:101, 1969.
 50. White, G.E.: Research into pin-retained amalgam, *Dent. Stud. Mag.*, 45:360, 1967.
 51. Wing, G.: Pin-retentive restorations, *August. Dent. J.*, 10:6, 1965.
 52. Zak, B.: Photoleastische analyse in der orthodontischen mechanik, *A. Stomatol.*, 33:22, 1935.

– ABSTRACT –

MECHANICAL AND PHOTOELASTIC STUDY ON THE AMOUNT OF RETENTION AND THE STRESS DISTRIBUTION OF PIN RETAINED RESTORATION

Won Mann Oh, D.D.S., Sun Youl Ryu, D.D.S., M.S.D., Ph. D.

Department of Operative Dentistry Division of Dentistry Chonnam National University

This study was executed to evaluate the amount of retention of pin-retained restoration in relation to the numbers of pin and the stress distribution on tooth substance inserted with retentive pins.

The author embedded teeth inserted one, two, three and four retentive pins in resin block, and then, measured the amount of retention of pin-retained restoration under tensile and shear test.

For photoelastic study, complete specimens were constructed by additionally pouring acrylic resin on the epoxy resin plates which were already inserted with one, two, three and four retentive pins.

The pattern of stress distribution around pins in specimens was studied by photoelastic analysis under 15 Kgf of compressive and 7 Kgf of shear load.

The results were as follows:

1. As the result of tensile test and shear test, the amount of retention of pin-retained restoration increased with an approximate direct linear relationship according to the increase of pins.
2. The mean values of the amount of retention of pin-retained restoration as the result of tensile test were 8.8 ± 2.4 Kgf in a pin, 18.6 ± 2.8 Kgf in two pins, 29.7 ± 3.4 Kgf in three pins and 38.7 ± 3.7 Kgf in four pins. And the total mean value of the amount of retention per a pin in all specimens was 9.5 Kgf.
3. The mean values of the amount of retention of pin retained restoration as the result of shear test were 9.9 ± 1.8 Kgf in a pin, 18.6 ± 2.7 Kgf in two pins, 29.7 ± 4.3 Kgf in three pins and 38.4 ± 5.3 Kgf in four pins. And the total mean value of the amount of retention per a pin in all specimens was 9.7 Kgf.
4. In the photoelastic study, a greater stress was found to concentrate around the apical and lateral portion of the retentive pins which were inserted tightly with the entire length on the epoxy resin plates in spite of using the same T.M.S. pin, and the ranges of stress distribution around each pin were found to be about four to eight mm.

5. Under 15 Kgf of compressive load, the stress was concentrated primarily around the apical portion of retentive pins and when the epoxy resin and teh acrylic resin were contacted tightly each other, the number of pins had not great effect on the ştress concentration because the compressive stress was distributed evenly on the contact surface.
6. Under 7 Kgf of shear load, there was a stress concentration primarily around the lateral portion of the retentive pins. As the number of pins increased, the supportability of shearing force was elevated owing to the gradual distribution of stress on each pin.

EXPLANATION OF FIGURES

- Fig. 1.** Initial stress distribution around a pin inserted.
There is a stress concentration primarily on the lateral portion around pin.
- Fig. 2.** Initial stress distribution around two pins inserted.
There is a stress concentration primarily on the lateral portion around pins.
- Fig. 3.** Initial stress distribution around three pins inserted.
There is a great stress concentration on the apical and lateral portion around pins.
- Fig. 4.** Initial stress distribution around four pins inserted.
There is a stress concentration primarily on the lateral portion around pins.
- Fig. 5.** Stress distribution under 15 Kgf of compressive load in the case in inserting one pin.
- Fig. 6.** Stress distribution under 15 Kgf of compressive load in the case of inserting two pins.
There is a little concentration on the apical portion around pins.
- Fig. 7.** Stress distribution under 15 Kgf of compressive load in the case of inserting three pins.
The increase of stress concentration is observed on the apical and lateral portion around pins.
- Fig. 8.** Stress distribution under 15 Kgf of compressive load in the case of inserting four pins.
The increase os stress concentration is observed on the apical and lateral portion around pins.
- Fig. 9.** Stress distribution under 7 Kgf of shear load in the case of inserting one pin.
There is a great stress concentration primarily on the lateral portion around pin.
- Fig. 10.** Stress distribution under 7 Kgf of shear load in the case of inserting two pins.
There is a great stress concentration primarily on the lateral portion around pins.
- Fig. 11.** Stress distribution under 7 Kgf of shear load in the case of inserting three pins.
There is a great stress concentration primarily on the lateral portion around pins.
- Fig. 12.** Stress distribution under 7 Kgf of shear load in the case of inserting four pins.
There is a little stress concentration primarily on the lateral portion around pins.