

# 齒冠補綴物の 隣接邊緣部位에 作用하는 Stress에 關한 光彈性學的 分析\*

서울대학교 大學院 齒醫學科 補綴學專攻

<指導教授 張 翼 泰>

林 政 奎

## 第一章 緒 論

齒冠修復物の 構造的 設計는 生物學的, 審美的, 機械的 要因을 充足시켜야 되며<sup>9)</sup> 構造的 設計와 失敗에 關한 問題는 數年동안 臨床齒科補綴分野의 研究의 對象이 되어 왔다. 特히 齒冠修復物の 邊緣에 關한 幾何學的 研究는 몇몇 先學들에 依해서 試圖된바 있는데 Mc Math<sup>1)</sup>는 形成된 支臺齒의 axiokingival line angle 에 維持溝를 賦與하여 維持力을 增進시키는 方法을 研究했으며, Fusayama<sup>2)</sup>와 Lucca<sup>4)</sup>는 金冠補綴物の 支臺齒邊緣部位의 形態는 chamfer가 좋으며, Kandars<sup>12)</sup>와 Smith<sup>13)</sup>는 knife 或은 feather edge가 齒周學的으로나 機械的으로 選擇할 수 있는 有利한 條件임을 研究結果에 依해서 報告한 바 있다.

Conond<sup>6)</sup>는 Jacket冠을 통한 支臺齒의 shoulder의 形態는 銳角 또는 直角이 鈍角보다 有利하다고 主張했으며, Wilson과 Lang<sup>16)</sup>은 marginal finish line을, Rosner<sup>17)</sup>는 金鑄造冠의 支臺齒邊緣形態는 bevel이 理想的이라고 主張했다.

一般的으로 stress 分析方法에 關한 研究는 brittle lacquer coating technics<sup>20)</sup>, electronic strain gauge<sup>25)</sup>와 photoelastic analysis 등이 있다. 光彈性現象은 約一世紀前에 英國의 David Brewster<sup>41)</sup>가 처음 發見하여 많은 分野에서 應用되고 있으며, 近代의 光彈性學的 概念은 二次元的 分析法과 三次元的 分析法 및 光彈性物質 塗布分析法에 根據를 두고 있다.

光彈性 現象을 처음 齒科領域에 應用한 것은 1949年 Noonan<sup>5)</sup>의 窩洞形成에 關한 研究에서 應用되었고 以後 inlay 및 齒冠 修復物에 對한 Craig<sup>23,24)</sup> 등의 研究, 窩洞軸壁의 平行關係 및 咬合面 削除와 隣接面削除에 關한 EL-Ebrashi, Craig, Peyton<sup>30,31,32)</sup>의 研究 陶材 燒付前裝金冠에 關한 Nally 및 Craig<sup>36,37)</sup>의 研究 反射偏光器를 使用하여 架工義齒에 加해지는 stress에 關한 Farah와 Craig<sup>37)</sup>의 研究가 있다.

韓國에서는 尹<sup>44)</sup>의 齒冠補綴物에 作用하는 stress에 對한 光彈性學的 分析과 趙<sup>45)</sup>의 架工義齒에 作用하는 stress에 關한 光彈性學的 分析이 있을 뿐이다.

著者는 靜的인 加力狀態에서 二次元的 光彈性 模型 分析法에 依해 齒冠部 隣接邊緣의 構造的 設計를 變形시킨 下顎 臼齒 齒冠 隣接 邊緣部에 加해지는 stress의 分散樣相을 研究하여 多少의 知見을 얻었기에 그 結果를 報告하는 바이다.

## 第二章 實驗材料 및 方法

Circular transmission polariscope는 isochromatic fringe와 isoclinic fringe를 記錄測定하는데 使用되는 偏光器의 一種이다(圖 1).

이 偏光器는 light source, polarizer 및 두개의 1/4 wave plate와 analyzer로서 構成되어 있다.

Polarizer와 analyzer가 直角으로 軸을 이룰때나 두개의 1/4 wave plate가 直角으로 軸을 이루면 dark field로서 또 各各의 filter 相互間에 平行關係의 軸을

\* 이 論文의 요지는 1980년 10월 31일 제23회 대한치과보철학회에서 발표 하였음.

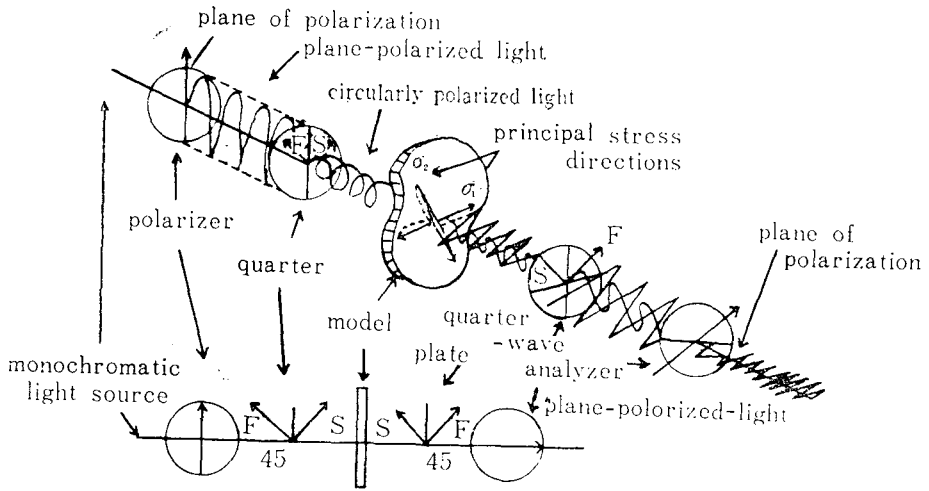


圖 1. Circular transmission polariscope

이때 light field로서 色相의 相互差를 寫眞으로 記錄할 수 있는 裝置이다.

二次元的 光彈性 模型分析法에서 볼 수 있는 isochromatic fringe는 principal stress差( $\sigma_1 - \sigma_2$ )가 恒數에 一致하도록 나타나며 恒數는 fringe 數에 依해서 左右된다.

Isoclinic pattern은 principal stress( $\sigma_1$  또는  $\sigma_2$ )의 方向에 關聯된 fringe pattern을 뜻하는 것이다.

Stress의 分散樣相을 研究할때 使用되는 偏光器는 白色과 單色相의 光線을 利用하는데 白色光線은 isoclinic을 區別할 수 있게 하며 principal stress의 方向을 決定한다. 또 物體의 色相을 天然色으로 나타나게 할 수도 있다. 그러나 單色相의 光線은 fringe를 알아 낼 수 있기 때문에 많이 利用된다.

二次元的 光彈性 材料中<sup>2)</sup> 模型製作이 容易한 美國 Photoelastic 社의 PSM-1과 PSM-5 standard sheet(10×10' thickness 1/4inch)를<sup>41,42,43)</sup> 使用하여 齒質과 彈性係數가 類似한 PSM-1(polyester)를 支臺齒로 金屬과 類似한 彈性係數를 가진 PSM-5(epoxy resin)을 修復物로 實驗에 使用하였다.<sup>32,42)</sup>

實驗模型은 兩面에 종이가 被蓋되어 있는 光彈性 物質 PSM-1과 PSM-5에 먹지를 데고 模型을 그린 다음 band saw를 使用하여 切斷했다.

이때는 stress가 들어가지 않도록 너무 過度한 힘을 주지 않아야 하며, 過熱을 防止하기 爲하여 充分한 冷却水를 供給해야 된다.

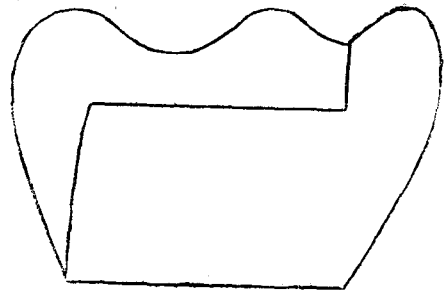
模型이 完成되면 偏光器에 넣어 應力이 殘在되지 않았음을 確認했다.<sup>41,42,43)</sup>

이러한 方法으로 七種의 光彈性 實驗模型을 製作 하였다(圖 2).

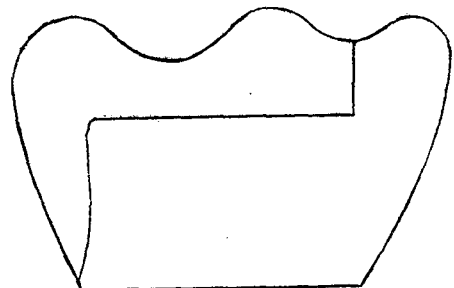
이때 邊緣部位의 shoulder의 크기 形態는 全部 一定한 形態이며 模型의 軸壁은 垂直關係이고 pulpal floor는 平面이 되고 axiokingival line angle은 圓形으로 되도록 한다.

實驗模型의 修復物은 下顎臼齒의 近心 咬合面을 被蓋하도록 한다.

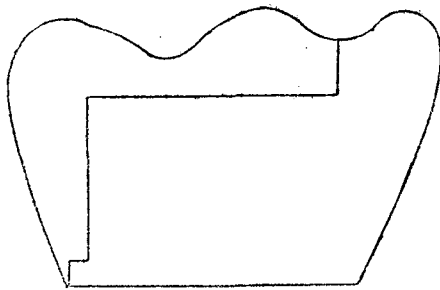
圖 2.



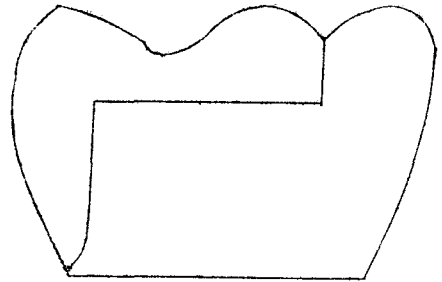
MODEL 1 Knife edge or shoulderless.



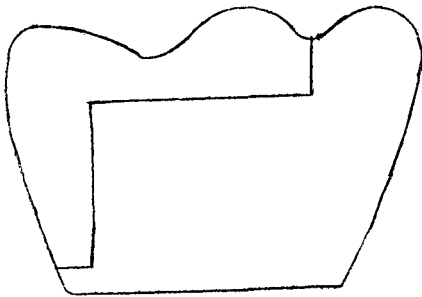
MODEL 2 Chamfer



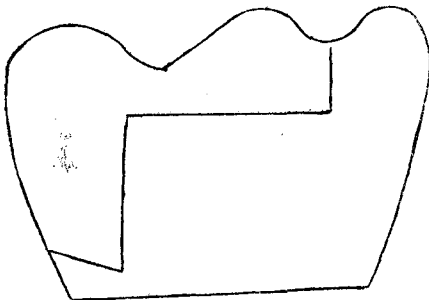
MODEL 3 Round shoulder (no sharp angle between the axial wall and gingival floor.)



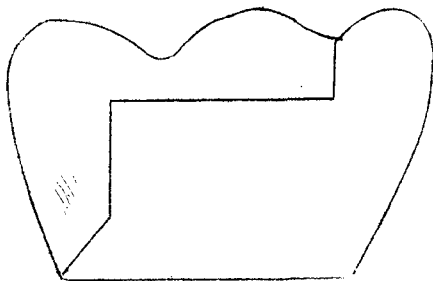
MODEL 7 Flat shoulder bevel 45°



MODEL 4 Flat shoulder axial wall is at a right angle to the gingival wall.



MODEL 5 +15° angulation.



MODEL 6 -15° angulation.

이와같이設計된 模型의 PSM-1 과 PSM-5를 齒科用 硬石膏(Velmix)로 接着시켜 光彈性 模型을 完成하였다.

製作된 光彈性 模型을 偏光器(美國, Photoelastic社, MODEL 061, circular transmission polariscope)에 넣고 日製 Kyowa self balancing indicator, SLW-220pA를 使用하여 各 模型의 咬頭에 對合齒와 類似하게 接觸되도록 loader를 製作하여 100 pounds의 荷重을 加하여 直接 肉眼 및 天然色 寫眞을 通하여 dark field와 light field에서 加해진 stress를 shear difference method(grid method)<sup>2)</sup>로 計算하였으며 stress analysis 公式을 利用하여 stress를 加했을때 나타난 isochromatic fringe數로 stress concentration factor를 求했으며 Model 2를 選擇하여 principal stress의 크기를 算出했다.

### 第三章 實驗 成績

Stress analysis 公式에 依해 最大의 擱斷應力( $\mathcal{F}_{max} = \frac{Nf}{t}$ )과 principal stress( $\sigma_1 - \sigma_2$ ) 및 stress concentration factor(K)를 求한다(Table 2).

N : fringe order  
 f : stress optical coefficient(PSM-II, 60 psi-inch/fringe)  
 t : thickness(1/4" standard sheet)  
 D : load  
 A : b·t(b : width, 0.6inch = 15mm)  
 fringe數를 求하는 것은 그림과 같다(圖 3).

變形된 7種의 光彈性模型에서의 fringe數와 最大應力 및 K-factor는 別表에서 보는 바와 같다(Table 2, 4).

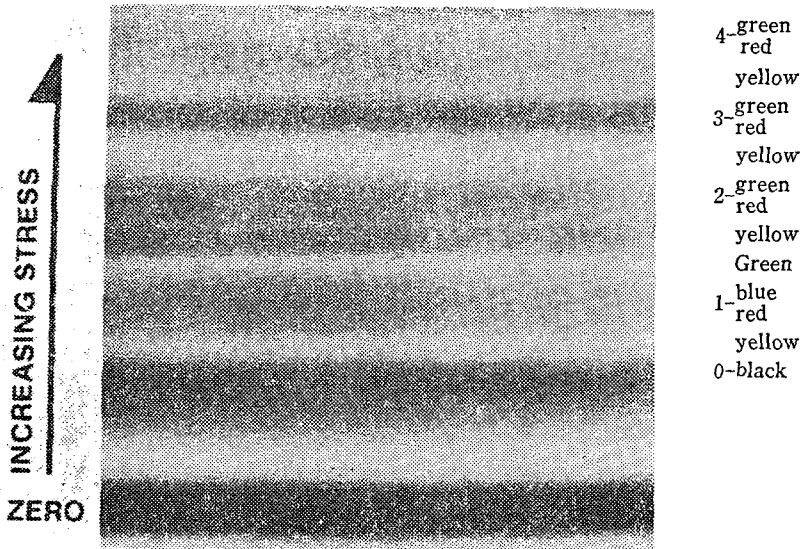


图 3. Fringe order

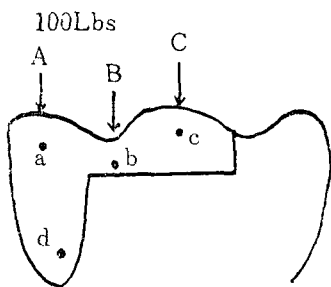


Table 1. Fringe order when loaded at each point with 100 pound load.

		Load A	Load B	Load C
Model 1	a	7	0.5	0.1
	b	1.5	6	1.5
	c	0.5	0.1	6
	d	7.5	2	1.5
Model 2	a	5	0.5	0
	b	1.5	5	1
	c	0.5	0.5	5
	d	3.1	1	0.5
Model 3	a	5	0.5	0.1
	b	1	5	1
	c	0.5	1	5
	d	3	0.5	0.5
Model 4	a	5	0.5	0.5
	b	1	5	1.2
	c	0.5	1	5
	d	4.5	1.5	0.5

Model 5	a	5	0.5	0.3
	b	1	6	1.1
	c	0.3	1	5
	d	5.5	2	1
Model 6	a	5	0	0
	b	0.5	5	1.5
	c	0.1	0.5	5
	d	3.5	1	0.5
Model 7	a	6	0.5	0.3
	b	1	5.5	1.1
	c	0.5	1	5
	d	5.5	2	1

Table 2. Fringe order, maximum tensile stress, principal stress and stress concentration factor at each model.

	Mo- del 3	Mo- del 2	Mo- del 6	Mo- del 4	Mo- del 5	Mo- del 7	Mo- del 1
fringe order	3	3.1	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5
$T_{max}$ $= \frac{Nf}{t}$	720 psi	744 psi	840 psi	1080 psi	1320 psi	1560 psi	1800 psi
$\sigma_1 = 2T_{max}$	1440 psi	1488 psi	1680 psi	2160 psi	2640 psi	3120 psi	3600 psi
$\sigma_{mean}$ $\frac{D}{A} = \frac{100}{b \cdot t}$	667 psi	667 psi	667 psi	667 psi	667 psi	667 psi	667 psi
$K = \frac{\sigma_1}{\sigma_{mean}}$	2.16	2.23	2.52	3.23	3.96	4.67	5.39

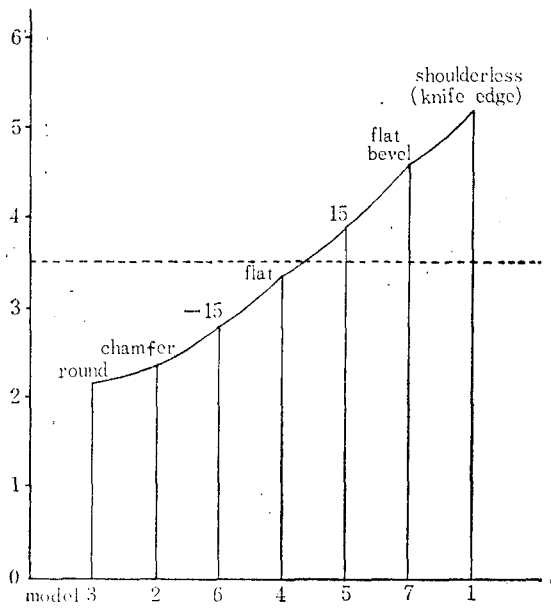


圖 4. Stress concentration factor (K)

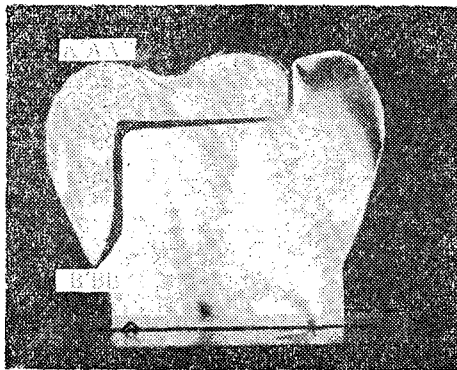


圖 5.

Table 3.  $\tau_{xy} = -\frac{Nf}{2t} \sin 2\theta$

$A'-B'$	$A'$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$B'$
$N$	4	4	3.2	3	2.4	2.1	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
$\theta$	50	30	2	-5	-10	-13	-17	-23	-28	-25	-40
$\tau_{xy}'$	-473	-416	-27	63	99	110	141	190	219	271	295

$A''-B''$	$A''$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$B''$
$N$	9	8	4.5	4	2.6	2.3	2	2.4	2.6	3	3.2
$\theta$	0	-17	-14	-14	-18	-22	-22	-20	-20	-21	-21
$\tau_{xy}''$	0	537	254	225	183	192	167	185	201	241	257

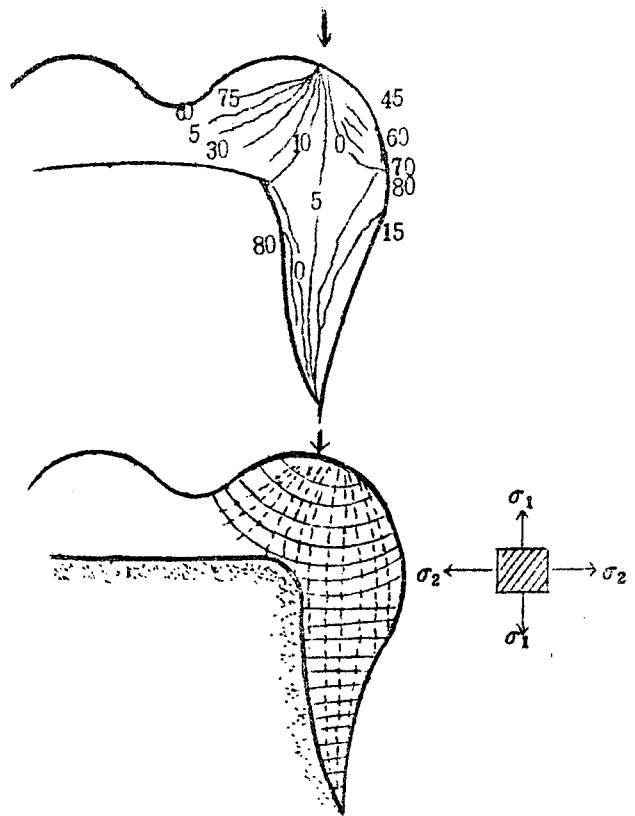


圖 6. Composite isoclinic pattern(upper) and isostatics(lower) for Model 2.

Model 2를選擇하여各點에서의 principal stress 크기를 stress analysis의公式에<sup>27)</sup>依해計算한다.

1)  $A'B'$ ,  $A''B''$ 를따라서  $A', X_1 X_2 \dots$ 點에서의 fring數와  $\theta$ 를求하여 tensile stress를( $\tau_{xy}$ )求한다.

2)  $\Delta \mathcal{F}_{xy}$ 를  $\frac{A + X_1}{2}, \frac{X_1 + X_2}{2}, \dots, \frac{X_9 + B}{2}$ 에서 계산한다.

Table 4.  $\Delta \mathcal{F}_{xy} = \mathcal{F}_{xy}' - \mathcal{F}_{xy}''$

$\mathcal{F}_{xy}'$	-445	-222	18	81	105	126	166	205	245	283
$\mathcal{F}_{xy}''$	269	369	240	204	188	180	176	193	221	249
$\Delta \mathcal{F}_{xy}$	-714	-591	-222	-123	-83	-54	-10	12	24	34

3) AB를 따라  $\frac{Nf}{t}$ 와  $\frac{Nf}{t} \cos 2\theta$ 를 계산한다.

Table 5.

$A-B$	$A$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$B$
$N$	16	7	4.3	3.5	2.6	2.3	2.3	2.3	2.3	2.5	3
$\theta$	0	18	-8	-18	-19	-25	-40	74	60	58	50
$\frac{Nf}{t}$	-3840	-1680	-1032	-840	-624	-552	-552	-552	-552	-624	-724
$\frac{Nf}{t} \cos 2\theta$	-3840	-1360	-992	-680	-492	-355	-276	+468	276	274	125

4) AB를 따라  $\sigma_x$ 를 계산한다.

Table 6.

$A-B$	$A$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$B$
$\Delta \mathcal{F}_{xy}$		-714	-591	-222	-123	-83	-54	-10	12	24	34
$\sigma_x$	-3840	-3126	-2535	-2314	-2191	-2108	-2054	-2044	-2056	-2080	-2114

$$\begin{aligned}
 (\sigma_x)X_1 &= (\sigma_x)A - (\Delta \mathcal{F}_{xy}) \frac{A + X_1}{2} \\
 (\sigma_x)X_2 &= (\sigma_x)X_1 - (\Delta \mathcal{F}_{xy}) \frac{X_1 + X_2}{2} \\
 &\vdots \\
 (\sigma_x)B &= (\sigma_x)X_9 - (\Delta \mathcal{F}_{xy}) \frac{X_9 + B}{2}
 \end{aligned}$$

5) AB를 따라  $\sigma_y$ 를 계산한다.

Table 7.  $\sigma_y = \sigma_x - \frac{Nf}{t} \cos 2\theta$

$A-B$	$A$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$B$
$\sigma_x$	-3840	-3126	-2535	-2314	-2191	-2108	-2054	-2044	-2056	-2080	-2114
$\frac{Nf}{t} \cos 2\theta$	-3840	-1360	-992	-680	-492	-355	-276	468	276	274	125
$\sigma_y$	0	-1766	-1543	-1634	-1699	-1753	-1778	-2512	-2332	-2354	-2239

6) 以上の計算으로부터  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ 를 計算한다.

**Table 8.**  $\sigma_1 = \frac{1}{2} \left( \sigma_x + \sigma_y + \frac{Nf}{t} \right)$   
 $\sigma_2 = \frac{1}{2} \left( \sigma_x + \sigma_y - \frac{Nf}{t} \right)$

A-B	A	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	B
$\sigma_x$	-3840	-3126	-2535	-2314	-2191	-2108	-2054	-2044	-2056	-2080	-2114
$\sigma_y$	0	-1766	-1543	-1634	-1699	-1753	-1778	-2512	-2332	-2354	-2239
$\frac{Nf}{t}$	-3840	-1680	-1032	-840	-624	-552	-552	-552	-552	-624	-720
$\sigma_1$	-3840	-3286	-2555	-2394	-2257	-2207	-2192	-2554	-2470	-2529	-2536
$\sigma_2$	0	-1606	-1523	-1554	-1623	-1655	-1640	-2002	-1918	-1905	-1816

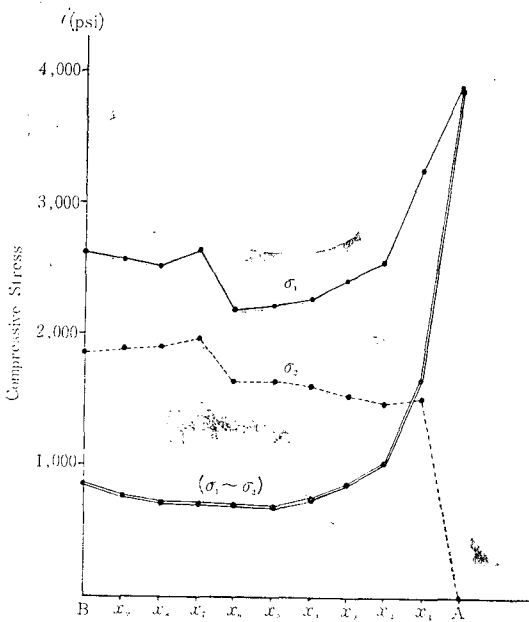


圖 7. Separation of principal stress in Model 2 (chamfer) along line AB.

#### 第四章 總括 및 考按

修復齒科 領域에서 齒科 修復物의 設計는 咬合面의 形態, 隣接邊緣部 形態 및 連結部位의 形態가 幾何學 및 構造上의 差異에 따라서 生物學的, 機械的, 審美的 要因에까지 影響을 미칠 수 있다.<sup>9)</sup>

大體로 物體에 加해진 外力은 物體의 形態나 支持하고 있는 狀態에 따라서 外力의 方向에 比例하는 內部 變形力을 誘發시키고 外力의 程度가 크면 클수록 物體의 變形과 破切을 招來하게 된다.

특히 齒質 削除後 製作 裝着한 修復物은 齒牙와 修復材料의 相互 內部 變形力의 差異에 따라서 相異한 stress의 分散狀態를 惹起시킨다. 경우에 따라서는 支臺齒에 對한 工學的 設計는 修復物의 永久 變形 或은 破切에 對應할 수 있는 要素라고 하겠다.

臨床에서 齒牙 削除量을 可及的 最少로 하고 修復物은 適切한 크기와 모양으로 維持됐을때 咬合壓에 依해서 變形 破切되는 것을 防止할 수 있다.

齒醫學 分野에서의 光彈性學의 研究는 外力에 依한 齒牙組織 및 修復材料의 變形樣相을 二重屈折의 特性을 所有한 透明性 固形物體를 利用하여 研究하는 方法인데 修復材에 負荷된 外力의 크기와 修復物의 形態가 實際로 三次元的 特性임에도 不拘하고 二次元的 光彈性分析法이 研究에 많이 活用되고 있다.

Rosner<sup>12)</sup>는 齒冠 補綴物의 邊緣形態는 bevel이 理想的이라 했고 維持力과 適合度의 增進을 爲해서 bevel의 角度는 30°~45°로 賦與할 것을 勸奨했다.

그런데 最近 Miller 外 1人<sup>21)</sup>은 支臺齒 形成後 邊緣部位의 形態는 優先的으로 齒周組織의 健康度를 考慮할때 full shoulder가 바람직하고 이는 齒髓를 避하여 齒牙削除를 할 수 있는 研究의 結果로 나타났다.

특히 陶材를 應用한 修復物에서의 支臺齒 邊緣部 形態는 幾何學的 側面에서 볼때 좋은 維持와 強力한 適合을 爲해서 shoulder로 削除하는 것이 通念이다. 本 實驗에서도 齒牙削除를 相互差異를 두고 設計한 修復物에서 stress의 測定과 分布狀況을 究明하고 臨床에서 活用할 수 있는 適切한 設計의 原理를 提示하고자 하는데 큰 意義를 두고 있다.

本 實驗에서 100 pounds의 荷重을 加했을때 round shoulder와 knife edge의 實驗模型에서 各各 3과 7.5의 fringe를 보이므로 後者의 경우는 應力을 많이 받

고 있음을 意味한다(圖8.10)

-15° shoulder 와 flat shoulder 의 實驗模型은 3.5 및 4.5 의 fringe 를 나타냈다(圖9.11)

El-Ebrashi 의 研究結果는 round shoulder 에서 10 fringe, knife edge 에서 17 fringe 를 보이므로 亦是 前者의 경우 적은 應力 蓄積 現象을 나타냈다. fringe 數의 差는 構造設計의 差異에 따라서 나타나는 現象이기 때문에 直接的 比較는 어려우나 亦是 本 實驗과 類似한 結果를 보였음에 틀림 없다.

또 荷重을 加할때 部位에 따라서도 Fringe 數는 相異하게 나타날 수 있는데 一般的으로 負荷된 部位와 修復物의 邊緣部位가 垂直線에 있을때는 fringe 數는 많아진다고 하겠다.

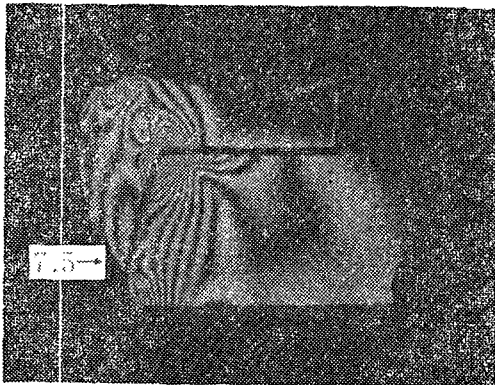
垂直線上에서 應力의 蓄積現象을 觀察한 結果를 보면 stress concentration factor(S.C.F)가 round shoulder 에서 2.16, chamfer 에서 2.23, -15° shoulder

에서 2.52, flat shoulder 에서 3.23, +15° shoulder 에서 3.96, 45° bevel 에서 4.67, knife edge 에서 5.39 로 各各 算出됐다.

S.C.F가 크다는 것은 stress 의 方向과 程度가 크다는 結果임을 類推할 수 있겠다. 그런데 EL-Ebrashi 外 2人<sup>23)</sup>의 研究에서도 K-factor는 各各 round margin 이 2.4, chamfer는 2.5, -15° shoulder는 2.9, flat shoulder는 3.2, +15° shoulder는 3.8, 45° bevel은 3.6, knife edge는 5.1로서 knife edge에서 最高 値를 보였다.

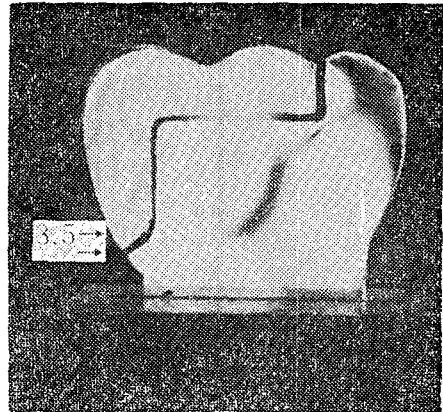
臨床的 意味에서는 K-factor가 圖 4에서와 같이 點線 以下에서는 큰 問題를 惹起시키지 않는다고 報告되고 있다.

따라서 實驗模型의 設計가 round, chamfer, -15° shoulder, flat bevel은 바람직한 形態로 보는 見解가 支配的이라고 하겠다.



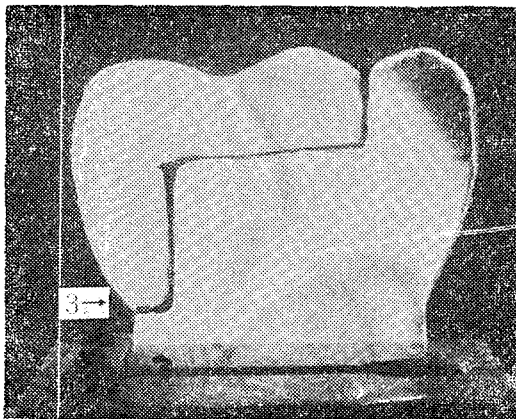
MODEL 1의 fringe order

圖 8



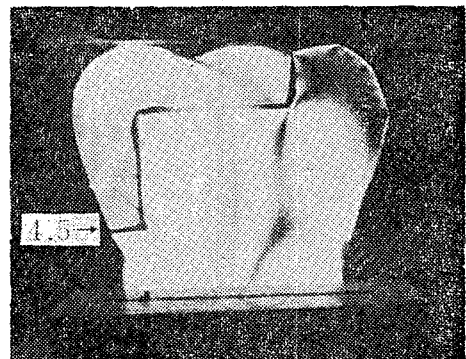
MODEL 6의 fringe order

圖 9



MODEL 3의 fringe order

圖 10



MODEL 4의 fringe order

圖 11



## 第五章 結 論

著者は 二重屈折 物質인 光彈性 材料 PSM-1(polyester)과 PSM-5(epoxy resin)를 使用하여 修復物 邊緣 周圍에 發生 되는 stress의 樣相을 究明코져 實驗模型 上에서 修復齒의 邊緣部의 形態를 7種으로 變形시키고 靜的 狀態에서 100 pounds의 荷重을 加했을때의 二次元的 模型 分析法에 依한 stress의 傳達方向 및 分散 樣相을 circular transmission polariscope로서 研究한 結果 다음의 結論을 얻었다.

1) Proximal marginal ridge 部位에 垂直壓力이 加해질때 修復物 邊緣周圍에는 壓縮應力이 나타났다.

2) 修復齒의 隣接部 邊緣形態는 chamfer 또는 round shoulder가 理想的 이었다.

邊緣形態가 round 할때의 stress concentration factor는 2.16이었으나 knife edge 일때는 5.39로 約 2倍 以上の 增加된 應力蓄積現象을 나타냈다.

3) 修復物 邊緣部의 齒齦部位가 應力の 最大 蓄積 部位였다.

(끝으로 本 論文을 始終 指導鞭撻하여 주신 張翼泰 教授님께 眞心으로 感謝드리며, 많은 助言을 해주신 補綴學 教室의 教授님들께도 感謝드리며, 또 機械 使用에 도움을 주신 K.I.S.T. 精密機械室員들께도 感謝를 드립니다).

## References

- 1) Mc Math, J.F.: The Gingival Groove in Gold Inlay Preparations, D.Cosmos. 67 : 1162-1164, 1925.
- 2) Frocht, M.M.: Photoelasticity, New York, J. Wiley & Sons. Vol. 1, and Vol. 2, 1941, 1948.
- 3) Fusayama, T.: Chamferless Preparation of Veneer Three-Quarter Crowns, Shikaitenho(Nippon D. Rev.) 5 : 17-22, 1948.
- 4) Lucca, J.J.: The Tube Impression Technique, D. Clin. North America, 113-123, March 1959.
- 5) Noonan, M.A.: The Use of Photoelasticity in a Study of Cavity Preparations, J.D. Child, 16 : 24-28, 1949.
- 6) Conond, H.: Etude sur la Couronne Jacquette, Acta Odontostomatol. 14 : 193-231, 1951.

- 7) Castro, M.E.: Photoelasticity Applied in a Comparative Study of Four Types of Cavity Preparations for Primary Molars. Thesis, The University of Michigan, Ann. Arbor, 1952.
- 8) King, R.M.: A Method for the Photolastic Study of Stresses Developed in Dental Structures, Thesis, The University of Michigan, Ann. Arbor, 1953.
- 9) Ward, N.L., and Campbell, V.P.: Design and Construction of Bridges, Dent. Pract. 4 : 104-115, 1953.
- 10) Mahler, D.B., and Peyton, F.A.: Photoelasticity as a Research Technique for Analyzing Stresses in Dental Structures, J. Dent. Res, 34 : 831-838, Dec. 1955.
- 11) Walton, C.B. and Leven, M.M.: A Preliminary Report of Photoelastic Tests of Strain Patterns within Jacket-Crown, J.A.D.A., 50 : 44-48, Jan., 1955.
- 12) Kanders, R.F.: Simple Technic for Improving the Gingival Bevel of Gold or Acrylic Crowns. New York Univ. J. Dent. 15 : 107-108, 1957.
- 13) Smith, G.P.: The Marginal Fit of the Full Cast Shoulderless Crown, J. Prosthodont. 7 : 231-243, 1957.
- 14) Mahler, D.B., and Terka, L.G.: Analysis of Stress in Dental Structures, Dent. Clin. N. Amer. Nov. pp.789-798. 1958.
- 15) Guard, W.F., Haack, D.C., Ireland, R.L.: Photoelastic Stress Analysis of Buccolingual Sections of Class II Cavity Restorations, J.A.D.A., 57 : 631-635, Nov. 1958.
- 16) Wilson, W.H., and Lang R.L.: Practical Crown and Bridge Prosthodontics, New York, McGraw-Hill Book Company. Inc., pp. 100-103. 1962.
- 17) Rosner, D.: Function Placement, and Reproduction of Bevels for Gold Castings. J. Prosthet. Dent. 13 : 1160-1166, 1963.
- 18) Rosenstiel, E.: Marginal Fit of Inlays and Crowns, Brit. D.J. 117 : 432-442, 1964.
- 19) Mahler, D.B. and Terka, L.G.: Relationship of Cavity Design to Restorative Materials, Dent. Clin. N. Amer, March pp.149-157, 1965,
- 20) Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Measurement

- of Stresses in Fixed Bridge Restorations Using a Brittle-Coating Technique, *J. Dent. Res.*, 44 : 756-762, 1965.
- 21) Miller, I.F. and Belsky, M.W. : The Full Shoulder Preparation for Periodontal Health, *D. Clin. North America*, 83-102, March, 1965.
  - 22) Chilton, N.W. : Studies in Design and Analysis of Dental Experiments, II. A Four-Way Analysis of Variance, *J. Dent. Res.* 39 : 344-360, 1960.
  - 23) Craig, R.G., El-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 : 277-291, 1967.
  - 24) Craig, R.G., El-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 : 292-302, 1967.
  - 25) Craig, R.G., and Peyton, F.A. : Measurement of Strains in Fixed Bridges with Electronic Strain Gauges, *J. Dent. Res.*, 46(3) : 615-619, 1967.
  - 26) Dally, J.W. and Riler, W.F. (Principal Stress Analysis.) *Experimental Stress Analysis*, McGraw Hill Book Company, 1965.
  - 27) Hetengi, M., Editor: *Handbook of Experimental Stress Analysis*, ed. 3, New York, Jon Wiley & Sons. in comp. pp.828-970. 1950,
  - 28) Juvinall, R.C. : *Engineering Considerations of Stress, Strain, and Strength*, New York, McGraw-Hill Book Company, Inc. pp.467-485. 1967,
  - 29) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations. The Concept of Parallelism of Axial Walls *J. Prosthet. Dent.* 22 : 346-353, Sep. 1969.
  - 30) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations. The Concept of Occlusal Reduction and Pins, *J. Prosthet. Dent.*, 22-565-577, Nov. 1969.
  - 31) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations. The Concept of Proximal Reduction in Compound Restorations, *J. Prosthet. Dent.*, 22 : 663-670, Dec. 1969.
  - 32) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations. The Concept of the Geometry of Proximal Margins, *J. Prosthet. Dent.*, 22 : 333-345, 1969.
  - 33) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A., Experimental Stress Analysis of Dental Restorations. Structural Design and Stress Analysis of Fixed Partial Dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 23 : 177-186, Feb. 1970.
  - 34) Tillitson, E.W., Craig, R.G., Farah, J.W., and Peyton, F.A. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations. Surface Strains on Gold and Chromium Fixed Partial Dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 24 : 174-180, Aug. 1970.
  - 35) Irving Glickman, Fred W. Roeber, Monique Brian, and Jan. H.N. Pameijer: Photoelastic Analysis of Internal Stresses in the Periodontium Created by Occlusal Forces, *J. Periodontol.*, 41 : 30-35, 1970.
  - 36) Nally, J.N., Farah, J.W., and Craig, R.G. : Experimental Stress Analysis of Dental Restorations. Two-Dimensional Photoelastic Stress Analysis of Porcelain Bonded to Gold Crowns, *J. Prosthet. Dent.* 25 : 307-316, Mar. 1971.
  - 37) Farah, J.W., and Craig, R.G. ; Reflection Photoelastic Stress Analysis of a Dental Bridge, *J. Dent. Res.*, 50(5) : 1253-1259, 1971.
  - 38) Caputo, A., Chaconas, S., and Hayashi, R. : Photoelastic Visualization of Orthodontic Forces During Canine Retraction, *Am. J. Orthod.*, 65 : 250-259, 1974.
  - 39) Kratochvil, F.J., and Caputo, A.A. : Photoelastic Analysis of Pressure on Teeth and Bone Supporting Removable Partial Dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 32(1) : 52-61, 1974.
  - 40) Craig, R.G., Farah, J.W., and El-Tahawi, H.W. : Three Dimensional Photoelastic Stress Analysis of Maxillary Complete Dentures, *J. Prosthet. Dent.*, 31(2) : 122-129, Feb. 1974.
  - 41) Bulletin SFC-200: Photoelastic Stress Analysis, Photoelastic Inc. Malvern, P.A., U.S.A.
  - 42) Bulletin IB-P-33OR: Instructions for Making Photoelastic Models, Photoelastic Inc. Malvern, P.A., U.S.A.
  - 43) Bulletin P-1120-2: Materials for photoelastic Coatings, Photoelastic Models, Photoelastic Inc. Malvern, P.A., U.S.A
  - 44) 尹聖逸 : 齒冠補綴物에 作用하는 Stress 에 對한 光彈性學的分析, 大韓齒科醫師協會誌, 제 17 권 제 1 호 pp.47-52, 1979.
  - 45) 趙元行 : 架工義齒에 作用하는 Stress 에 關한 光彈性學的分析, 大韓齒科補綴學會誌, 제 18 권 제 1 호 pp.7-27, 1980.

## Photoelastic Stress Analysis of Proximal Margins in Dental Restorations

Chung Kyu Lim, D.D.S., M.S.D.

*Dept. of Prosthodontics, Graduate School, Seoul National University.*

*(Directed by Associate Professor Ik Tae Chang, D.D.S., M.S.D., Ph. D.)*

=Abstract=

The purpose of this study was to investigate the stresses in different proximal margins and to measure, quantitatively, the effect of different modifications in the design of preparations on the stresses using two-dimensional photoelasticity.

Photoelastic stress analysis is based on the phenomenon, exhibited by most transparent solids, of becoming birefringent, or doubly refracting, when strained.

Two birefringent materials were used in this study, PSM-1 and PSM-5 in standard sheet ( $10'' \times 10'' \times \frac{1}{4}''$  thickness), PSM-1 (polyester) was used for constructing the substructure, and PSM-5 (epoxy resin) was used in making the restorations to be investigated.

Two birefringent materials were used in the construction of composite photoelastic model.

Seven variable models were constructed. The peripheral dimensions of all model were constant and the models represent an occlusomesial section of a lower posterior molar. Model 1 represents the knife edge margin (shoulderless), Model 2 represents the chamfer, Model 3 represents a rounded shoulder (no sharp angle between the axial wall and gingival floor), Model 4 represents a flat shoulder (axial wall is a  $90^\circ$  angle to the gingival wall), Model 5 represents  $+15^\circ$  angulation, Model 6 has a  $-15^\circ$  angulation, and Model 7 is the same as Model 4 except that it has a  $45^\circ$  bevel. Improved artificial stone was used to represent dental cement in luting the composite photoelastic model.

Static loading procedures (100 pounds) were used at preplanned sites.

The results were as follows;

1. The stresses in the proximal portion of all tested models were compressive in nature when the proximal shoulders were loaded vertically on the same proximal marginal ridge.
2. The round and chamfered preparations were the optimum designs in proximo-occlusal restorations. They showed the lowest stress concentration factor, i.e. 2.16 and 2.23, respectively. The knife edged shoulder had the highest value,  $K=5.39$ . Round type shoulder geometry experiments reduced the stress concentration factor (S.C.F.)
3. The gingival portion of proximal shoulder geometry was a critical location for stress concentration.