

# 架工義齒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>

趙 元 行

目 次
第一章 緒 論
第二章 實驗資料 및 方法
第三章 實驗成績
第四章 總括 및 考按
第五章 結 論
參考文獻
英文抄錄

## 第一章 緒 論

架工義齒의 構造的 設計는 口腔內에서 生物學的, 審美的, 機械的 機能을 滿足시킬뿐아니라 工學的인 設計原則이 適用되어야만 한다. 通法에 依한 架工義齒의 構造 設計에 關한 Stress의 分析研究는 使用된 材料의 強度와 材料의 構成 成分에 根據를 둔 것이다.<sup>15,16)</sup> 架工義齒의 屈曲率은 半固定性架工義齒에서의 屈曲率이 固定架工義齒의 屈曲率보다 더 크다는 것이 判明되었다.<sup>5)</sup> 齒科 領域에서 架工義齒가 負荷를 받을때 抵抗할 수 있는 能力은 材料의 두께가 가장 重要한 要素라고 Brumfield<sup>3,9)</sup>가 理論的으로 糾明하였다. 補綴物의 設計와 齒牙修復材料와의 相互關聯性에 關하여 有限한 研究 報告가 傳來되어오고 있다.<sup>12,14,16)</sup> 1965年 最初로 Brittle Coating Technique 을 使用한 架工義齒에 加해지는 Stress 測定 報告<sup>17)</sup>가 있으며 金合金과 크로뮴合金을 使用한 架工義齒의 Stress 分散 樣相을 Strain gauge 를 使用하여 研究한 結果도 있다.<sup>19,20)</sup> 이와같이 補綴修復材料에 加해지는 Stress에 對한 研究는 Brittle lacquer-coating 方法<sup>17)</sup>과 Electronic Strain gauge<sup>22)</sup>를

使用하는 方法外에 光彈性學的 分析方法이 흔히 應用되고 있는 形便이다. 光彈性現象은 約 一世紀前에 英國의 David Brewster 가 처음 發見하여<sup>40)</sup> 여러 分野에서 많이 利用하고 있으나 近代의 光彈性學的 概念은 다음의 세가지 커다란 範圍內에서 研究할 수 있는데 첫째는 二次元的 模型 分析法 둘째는 三次元的 模型 分析法 셋째는 光彈性物質 塗布 分析法이라고 하겠다. 光彈性 研究가 齒科領域에 처음 應用된 것은 1949年 Noonan<sup>4)</sup>의 窩洞形成에 關한 研究에서 비롯되었고 以後 Castro,<sup>6)</sup> King,<sup>8)</sup> Mahler 外 1人<sup>10)</sup> Walton 外 1人<sup>11)</sup> Guard, 外 2人<sup>13)</sup> 등이 研究하였고 인레이 및 齒冠修復物에 對한 Craig, 外 3人<sup>20,21)</sup>의 研究, 隣接 邊緣에 關한 El-Ebrashi, 外 2人<sup>24)</sup>의 研究, 窩洞의 形態에 따라 三次元的으로 解明한 Johnson, 外 2人<sup>23)</sup>의 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, 外 2人<sup>25,26,27)</sup>의 研究, 架工義齒에 作用하는 Stress에 對한 El-Ebrashi, 外 2人<sup>28)</sup>의 研究가 있으며 陶材 燒付前裝金冠에 關한 Nally, 外 2人<sup>31)</sup> 및 Craig, 外 2人<sup>32)</sup>의 研究, 咬合力이 齒周組織에 미치는 影響에 關한 Glickman, 外 3人<sup>30)</sup>의 研究, 反射 偏光器<sup>40,42)</sup>를 使用해 架工義齒에 加해지는 Stress를 研究한 Farah, 外 1人<sup>33)</sup>의 研究가 있고 犬齒 矯正力에 關한 Caputo, 外 2人<sup>34)</sup>의 研究, 局部義齒에 對한 Kratochvil,<sup>35)</sup> Thompson,<sup>36)</sup> 등의 研究, 上顎 總義齒에 關해서 三次元的으로 研究한 Craig, 外 2人<sup>36)</sup>의 研究, 齒根傾斜에 對해 病理組織學 및 光彈性學的 關係를 研究한 Brodsky, 外 2人<sup>37)</sup>의 研究, 上顎의 局部義齒에 關한 Theodore Berg, 外 1人<sup>39)</sup>의 研究가 있으며 韓國에서는 尹<sup>43)</sup>의 齒冠補綴物에 關한 二次元的 方法에 依한 光彈性 研究가 있을 뿐이다.

著者는 靜的인 加壓狀態에서 二次元的 光彈性模型

分析法에 의하여 架工義齒의 構造의 設計를 變化시킨 下顎 臼齒部 架工義齒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 實驗資料 및 方法

二次元的 光彈性材料中에서<sup>2)</sup> 模型과 架工義齒 製作이 容易한 美國 Photolastic 社의 PSM 1과 PSM 5의 Standard Sheet를 使用<sup>40,41,42)</sup>하여 齒質과 彈性係數가 類似한 PSM 1(Poly-ester)을 Substructure(支台齒)로, 金屬과 類似한 彈性係數를 가진 PSM 5(Epoxy-resin)를 架工義齒의 構成要素(修復物)로 實驗에 利用하였다.<sup>24,41)</sup> 光彈性物質인 PSM 1 및 PSM 5의 양쪽에는 얇은 종이가 被蓋되어 있는데 여기에 鉛筆으로 願하는 模型을 그린다음 그려진 模型의 線보다 約 2mm 程度 크게 Bandsaw 등을 使用해 切斷한 後에 그려진 模型의 線과 一致하게 粗雜한 面을 매끄럽게 손질하였다.

이때 Stress가 들어가지 않도록 너무 지나친 힘으로 자르지 말아야하고 速回轉에 依한 過熱을 防止하기 爲해 充分한 冷水를 供給하며 操作하여야 한다. 이렇게 얻어낸 模型을 各各 偏光器에 넣어 보아 Stress-free인 가를 確認하였다.<sup>40,41,42)</sup>

이러한 方法으로 數個의 光彈性模型架工義齒를 製作하였다. 卽 Shoulderless margin인 同時에 咬合面을 解剖學的 形態로 削除한 것을 Model 1로 Rounded

shoulder 이고 咬合面을 平片하게 削除한 것을 Model 2로 Cantilever bridge를 Model 3으로 製作하고 또한 fixed joint 部位에 V-notch를 가지는 것과 不規則한 U-notch를 가지는 模型을 製作 比較하였다. (Fig. 1 참조) 實驗에 利用한 光彈性模型의 形態는 齒冠의 높이 및 近遠心幅徑이 各各 解剖學的 正常齒冠의 約 四倍가 되도록 擴大 設計하였다. Fixed joint 部位의 幅徑(d)과 彎曲半徑(r)間의 比率는  $r/d=0.392$ 가 되도록 하였으며 Modified Model에서는 joint의 彎曲形態를 V字型 및 U字型으로 變化시켜서 製作하였다. 이렇게 製作한 PSM 5와 PSM 1을 齒科用 硬石膏로 接着시켜 光彈性模型을 製作하였다.

製作된 光彈性模型을 偏光器<sup>40)</sup> (美國의 Photolastic 社 製品인 Model 061. Diffused Light Polaroscope)에 넣고 日製 KYOWA Self Balancing Indicator SLW-220PA를 使用해 各 模型의 架工齒에 荷重을 加하고 또한 Model 1 및 Modified Model 1과 Model 2 및 Modified Model 2에는 接觸되는 部位가 對合齒와 類似하게 7點에 接觸되도록 鉛으로 Multiple Contact "loader"를 만들어 125 pounds의 荷重을 加하여 直接 肉眼 및 黑白과 天然色 寫眞을 Dark field와 Light field에서 또 天然色일때 各 field에서 綠色 濾過裝置를 끼워 35mm의 標準寫眞機로 寫眞찍어서 加해진 Stress를 Shear difference method(grid method)로 計算하였으며,<sup>1)</sup> Stress-analysis 公式을 利用하여 나타낸 isochromatic fringe 數로 最大의 擱斷應力과 Principal

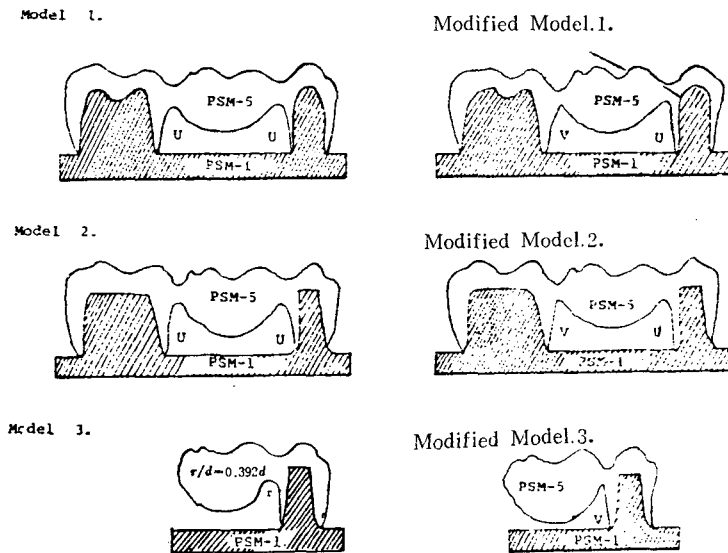


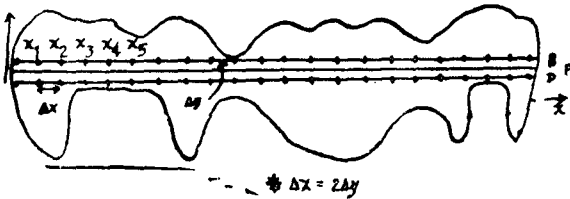
Fig. 1 光彈性模型 架工義齒

Stress의 크기를算出해 내었다.

### 第三章 實驗成績

應力-分析(計算)公式에 依해서 最大の 擲斷應力量과 Principal Stress를 算出하는 計算 方法은 다음과 같다.

(1) AB와 CD線을 따라서 各  $x_1, x_2, x_3, \dots$ , 點에서 fringe數와  $\theta$ 를 求한다.



(2) 求해진 fringe數(N)와  $\theta$ 로 부터 Shear Stress ( $\tau_{xy}$ : 擲斷應力)를 計算하여 Plotting 한다.

(3)  $\Delta\tau_{xy}$ 를  $\frac{x_0+x_1}{2}, \frac{x_1+x_2}{2}, \frac{x_2+x_3}{2}, \dots$ 點에서 計算한다.

(4) OP線을 따라서  $\sigma_{xx}$ 를 計算한다.

(例)  $\sigma_{xx}/x_1 = 0 - 2 \cdot 2 = -4$

$\sigma_{xx}/x_2 = -4 - 2 \cdot 20 = -44.$

(5)  $\sigma_{yy}$ 를  $\sigma_{xx}$ 의 結果를 利用하여 計算한다.

※ (이때 N은 OP線을 따라서 測定된 값이다)

(例)  $\sigma_{yy}/x_1 = -4 - \frac{0.32 \times 60}{1} \cos. 2\theta$   
 $27.5$

$\sigma_{yy}/x_2 = -44. \dots$

OP線을 따라서 測定된 값이고  $\Delta x = 2\Delta y$ 로 했으므로

$\sigma_{xx}/x_1 = \sigma_{xx}/x_0 - 2\Delta\tau_{xy} / \frac{x_0+x_1}{2}$

$\sigma_{xx}/x_2 = \sigma_{xx}/x_1 - 2\Delta\tau_{xy} / \frac{x_1+x_2}{2}$

이때  $\Delta\tau_{xy} = \tau_{xy}/AB - \tau_{xy}/CD.$

$\sigma_{xx}/x_0 = 0$

$\tau_{xy} = -\frac{N \cdot f\sigma}{2 \cdot h} \sin. 2\theta$

※ 이 公式은 積分形態로 부터 나온 것이므로 誤差가 蓄積될 可能性이 없으므로 特別히 注意해야한다.

$\sigma_{yy} = \sigma_{xx} - \frac{N \cdot f\sigma}{h} \cos. 2\theta$

(6) 以上の 結果로 부터  $\sigma_1 \sigma_2$ 를 計算해 낸다.

$\sigma_1 = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \frac{N \cdot f\sigma}{h} \right)$

$\sigma_2 = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx} + \sigma_{yy} - \frac{N \cdot f\sigma}{h} \right)$

<가> Model 1에 50 pound의 靜的인 荷重을 架工齒에 加했을 때: (Fig.2, Fig.3 참조)

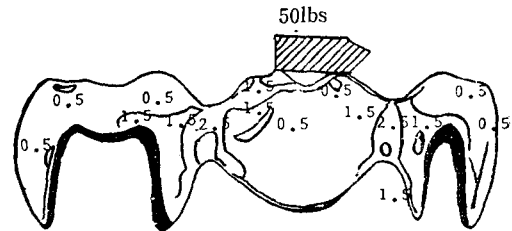


Fig.2 Model 1에 50 lbs의 靜的 荷重을 架工齒에 加했을 때의 fringe數를 그린것. (Light field에서)

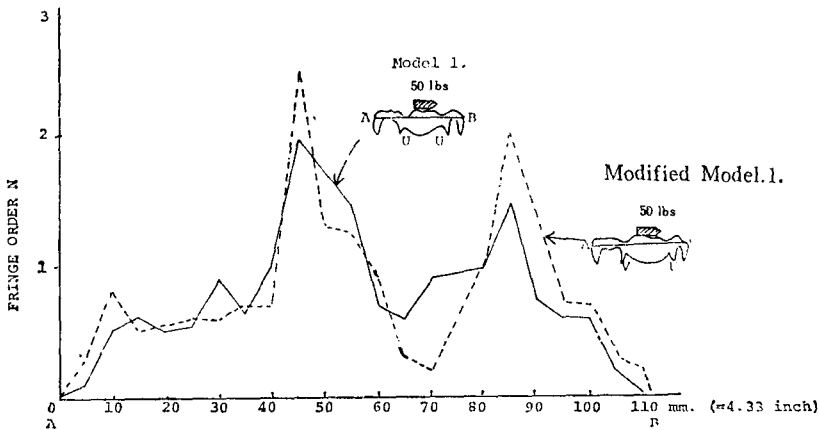


Fig.3 Model 1 및 Modified Model.1에 50 lbs의 靜的 荷重을 架工齒에 加했을 때의 fringe數 比較.

大白齒側 joint 部位에는 2個의 isochromatic fringe 가 나타나고 小白齒側 joint 部位에 1.5의 fringe 가 나타나 그림에서와 같이 이들 joint 部位가 他部位보다 많은 Stress 를 받고 있음을 알 수 있다. 앞의 公式과

Table 1 Dark field 와 Light field 에서의 fringe 數 比較.

Dark Field		Light Field	
Color	Fringe	Color	Fringe
Black	0	White	0
Straw-Yellow	0.39	Yellow	0.21
Yellow	0.53	Brown	0.35
Yellow-Orange	0.67	Brown-blue	0.46
Orange	0.74	Blue	0.62
Purple	0.98	Green	0.76
Blue	1.10	2nd Yellow	1.05
1st Green	1.23	Orange	1.23
2nd Yellow	1.54	Red	1.42
2nd Red	1.96	Purple	1.52
2nd Green	2.29	2nd Blue	1.61
3rd Yellow	2.61	2nd Green	1.84
3rd Red	2.93	3rd Yellow	2.09
3rd Green	3.33	Pink	2.28
		3rd Red	2.46
		3rd Blue-green	2.77
		4th Yellow	3.14
		4th Red	3.40

Table 1 을 利用해 fringe 數를 求하여 Stress 를 計算 한다. (Table 1 참조)

PSM 5의 Stress optical coefficient 는 60p.s.i./fringe/inch. 이고  $\frac{1}{4}$ "의 Standard Sheet 를 使用했으므로

$$\text{插斷應力은 } \tau_{xy} = \frac{N \cdot f \sigma}{2 \cdot h} \sin.2\theta = N \cdot \frac{60}{2 \cdot \frac{1}{4}} \sin.2\theta =$$

120 N sin.2θ 에 依해 求해진다. (Table 2, Table 3, Fig.4 참조)

大白齒側 joint 部位의 插斷應力은 AB 線을 따른곳 에서는 +129.4 psi 이고 CD 線을 따른곳에서는 +228 psi 였으며 小白齒側 joint 部位에서의 插斷應力은 AB 線을 따른곳에서는 +58.7 psi, CD 線을 따른곳에서는 +137.9 psi 이다. 또한 Principal Stress  $\sigma_1$  에 있어서 大白齒側 joint 部位에 +484 psi 의 引張을 받으며 小白齒側 joint 部位에서는 +345 psi 의 引張을 받는다. Principal stress  $\sigma_2$  는 x 軸의 1, 2, 5, 7, 8, 16, 17, 點에서 -10 psi 에서 -300 psi 의 壓縮을 받고 大白齒側 joint 部位에서 +76 psi 小白齒側 joint 部位에서 +105 psi 의 引張을 받고있다. (Table 4, Table 5, Fig.5 참조) Principal stress 의 差( $\sigma_1 - \sigma_2$ ) 即 插斷應力에 對해 보면 大白齒側 joint 部位에 +408 psi 小白齒側 joint 部位에 +240 psi 이다.

〈나〉 Modified Model. 1에 50 Pound의 靜的인 荷重을 架工齒에 加했을 때 : (Fig. 3, Fig.6, Fig.7, Table 6 참조)

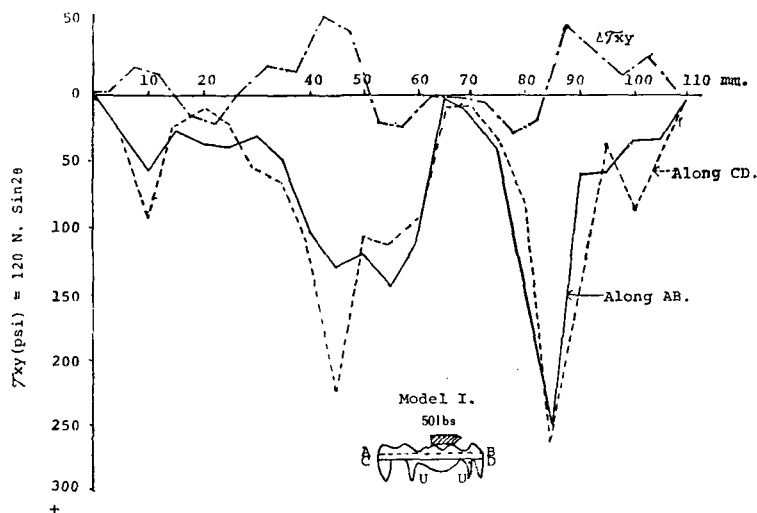


Fig. 4 Model 1에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 때의 插斷應力.

Table 2 Model 1에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 때 各點에서의 fringe 數(N)와 角度( $\theta$ ). (公式 1)

A	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	B
fringe order	0	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.65	0.9	0.7	0.9	1.5	1.0	1.25	0.97	0	0.2	0.5	1.16	2.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0
$\theta$	20	30	54	79	71	75	8.5	18.5	53	67	47	52	35	53	22	22	38	29	39	53	17	54	80	

C	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	D
fringe order	0	0.35	0.8	0.3	0.1	0.3	0.5	0.64	1.0	1.9	1.1	1.0	0.82	0.2	0.08	0.38	0.75	2.2	1.5	0.85	0.73	0.5	0	
$\theta$	15	25	52	70	55	70	55	30.5	44.5	45	63	55	35	78	37	28	38	38	65	11	38	69	77	

Table 3 Model 1에 50 lbs의 負荷를 加했을 때의 各點에서의 擱斷應力(公式 2, 3)

$$\text{公式 2 : } \mathcal{F}_{xy} = \frac{N \cdot f \sigma}{2 \cdot h} \cdot \text{Sin. } 2\theta = N \cdot \frac{60}{2 \cdot 1/4} \cdot \text{Sin. } 2\theta = 120 N \cdot \text{Sin } 2\theta$$

AB	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	0	31.2	57	26.9	36.9	39	31.6	50.5	103.8	129.4	119.7	145.5	109.4	0	16.7	41.7	135	254.4	58.7	57.7	33.6	34.23	0
CD p.s.i.	0	32.2	93.1	23.1	11.3	23.1	56.4	67.2	119.9	223	106.8	112.8	92.5	9.8	9.2	37.8	87.3	256.2	137.9	38.2	84.9	40.1	0

$$\text{公式 3 : } \mathcal{F}_{xy} = \frac{X_0 + Y_1}{2}$$

(-2,) (-20,) (-14,) (14,) (22,) (-4,) (-22,) (-18,) (-58,) (22,) (24,) (0,) (6,) (30,) (18,) (-52,)

(-32,) (-14,) (-28,) (-4,)

Table 1 Model 1에 50 lbs의 負荷를 加할 때 公式 4, 5를 求한 數值.

$$\text{公式 4: } \sigma_{xx}/x_1 = \sigma_{xx}/x_0 - 2 \cdot \Delta T \cdot xy / \frac{x_0^2 + x_1^2}{2} = 0 - [2 \cdot (-2)] = 4$$

$\sigma_{xx}$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	4.	44.	72	44	0	8	52	88	204	296	252	201.	200.	193	128.	92.	196.	260.	288.	344.	352.	

$$\text{公式 5: } \sigma_{yy} = \sigma_{xx} - \frac{N \cdot f \cdot \sigma}{h} \cos 2\theta,$$

$$= 4 - \frac{0.33 \times 60}{\frac{1}{4}} \cos 2 \cdot (27.5) = -41.$$

$\sigma_{yy}$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	-41.	87	164	86	94	-65	-53	120.	356.	382.	331.	131.	215.	183.	120.	72.	-128.	254.	188.	203.	396.	352.

Table 5 Model 1에 50 lbs의 負荷를 加할 때의 Principal Stress 數值. 公式 6

$$\text{公式 6: } \sigma_1 = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \frac{N \cdot f \cdot \sigma}{h} \right) = \frac{1}{2} \left\{ 4 + (-41) + \frac{0.33 \times 60}{0.25} \right\} = 21.$$

$\sigma_1$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	21	144.	172.	101.	104.5	55.5	80	218.	484.	465.	427.	274.5	219.5	208.5	207.	215	264.	345.	305.5	320.	418.	352

$$\sigma_2 = \frac{1}{2} \left( \sigma_{xx} + \sigma_{yy} - \frac{N \cdot f \cdot \sigma}{h} \right) = \frac{1}{2} \left\{ 4 + (-41) - \frac{0.33 \times 60}{0.25} \right\} = -58.$$

$\sigma_2$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	-58.	-12.5	64.	29.	-10.5	-112.5	-81.	-10.	76.	213	156	60.5	195.5	174.5	101.	-15.	-300	105	142.5	171	322	352.

$$\sigma_1 - \sigma_2$$

$\sigma_1 - \sigma_2$	X	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	79	156.5	108.	72.	115	168	161	228	408	252.	271	214	24.	34.	106	230	564.	240	163	149.	96.	0

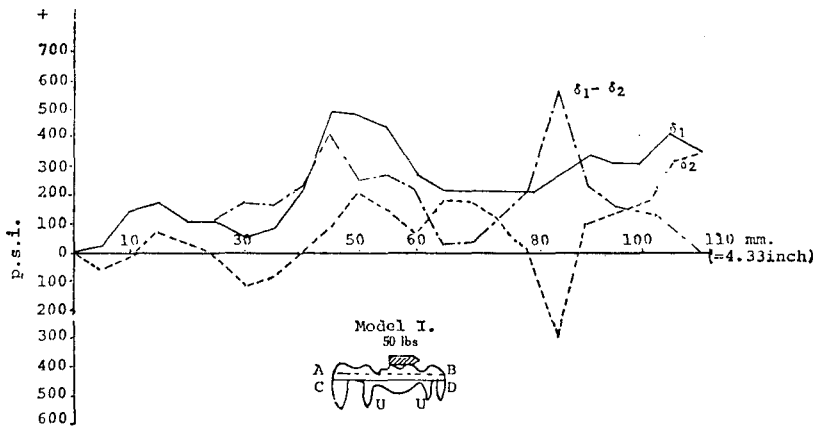


Fig. 5 Model 1에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 時의 Principal Stress의 計算值

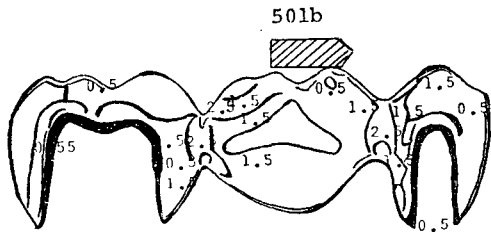


Fig. 6 Modified Model 1에 50 lbs의 靜的 負荷를 架工齒에 加했을 時의 fringe 數를 그린것. (Light field에서)

大臼齒側 joint 部位에는 2.5의 isochromatic fringe 가 나타나고 小臼齒側 joint 部位에 二個의 fringe 가 나타나 joint 部位가 他部位보다 많은 Stress를 받고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 大臼齒側 joint 部位에 +239.4 psi의 擲斷應力이 나타나며 小臼齒側 joint 部位에도 +239.4psi의 擲斷應力이 나타났다.

<다> Model 2에 50 pound의 負荷를 架工齒에 加했을 때 : (Fig. 8 참조)

大臼齒側 joint 部位에 2.24, 小臼齒側 joint 部位에 2.2의 fringe가 나타나 역시 荷重을 받고 있는 部位

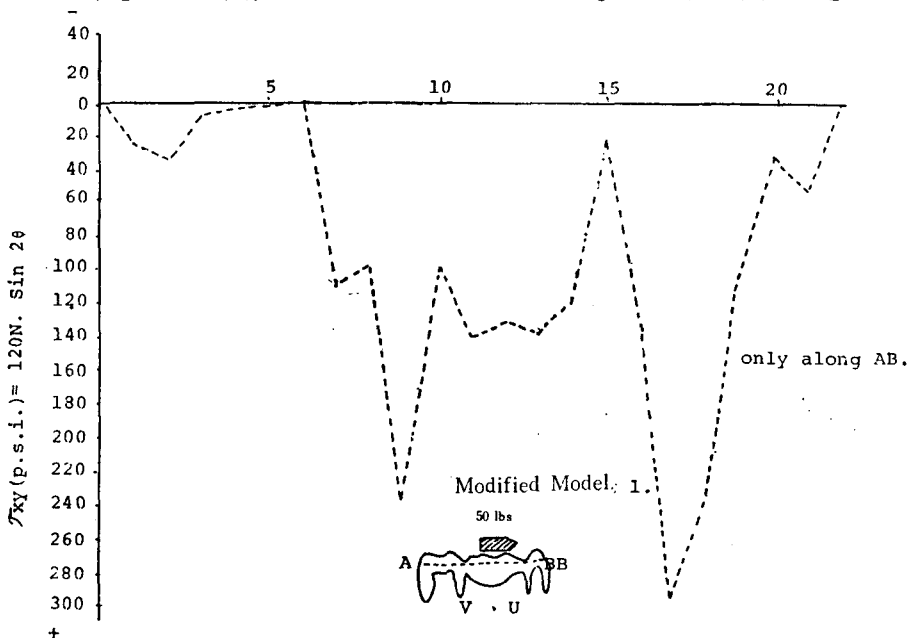


Fig. 7 Modified Model 1에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 時의 擲斷應力(AB線을 따라서만 測定可하다.)

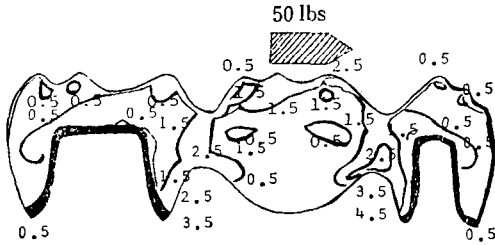


Fig. 3 Model 2에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 때의 fringe 數.(Light field에서)

는 joint 部位을 알 수 있다. (Fig. 9 참조) 또한 大臼齒側 joint 部位에는 AB 線을 따라 +218.2 psi의 擗斷應力이 나타나고 CD 線을 따라서는 +265.9 psi의 擗斷應力이 나타나며 小臼齒側 joint 部位에는 AB 線을 따라 +112.7 psi CD 線을 따라서는 +212.7 psi의 擗斷應力이 나타났다. (Table 7, 8, 9, 10 참조)

Principal stress  $\sigma_1$ 의 경우 大臼齒側 joint 部位에 +826 psi 小臼齒側 joint 部位에서는 +482 psi의 引張을 받으며 principal stress  $\sigma_2$ 는 大臼齒側 joint 部位에 +310 psi 小臼齒側 joint 部位에 +122.5 psi의 引張應力을 받으며  $\sigma_1 - \sigma_2$  即 擗斷應力은 大臼齒側 joint 部位에서 +516 psi, 小臼齒側 joint 部位에서 +360 psi이다. (Fig. 10, 11 참조)

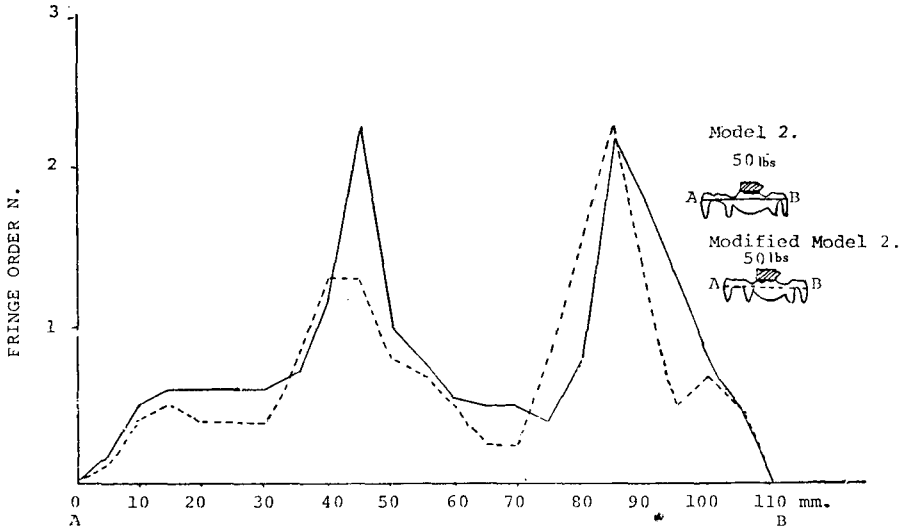


Fig. 9 Model 2 및 Modified Model 2의 架工齒에 50 lbs의 負荷를 加했을 때의 fringe 數 比較.

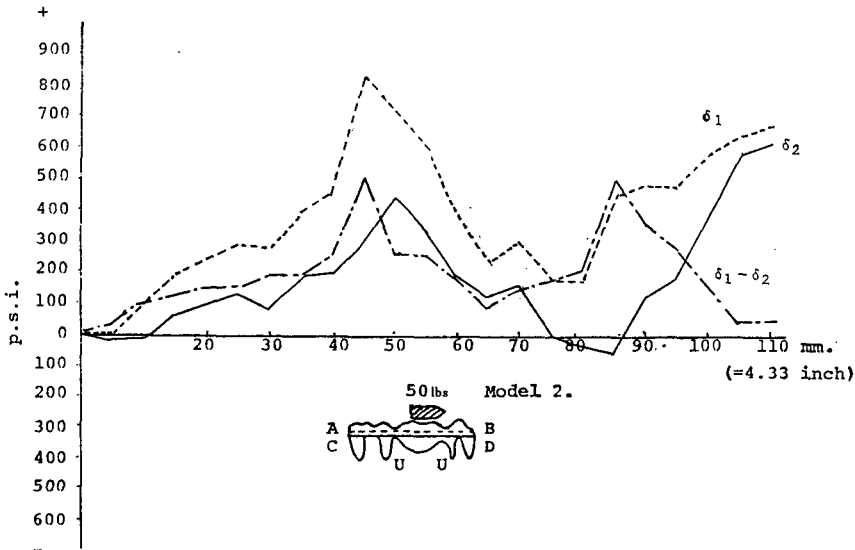


Fig. 10 Model 2에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 때의 Principal stress 數值.



Table 6 Modified Model 1에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 때 各點에서에 fringe 數(N)와 角度( $\theta$ ) 및 描斷應力.

N: fringe order

AB	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
N	0	0.25	0.29	0.24	0.1	0	0	0.94	0.94	2.0	1.0	1.19	1.22	1.21	1.0	0.54	1.0	2.5	2.0	0.86	0.5	0.5	0
$\theta$	12	30	49	82	82	63	15	40	30	43	63	49	58	54	46	9	37	49	43	45	16	60	84

$$J_{xy} = 120N \cdot \sin 2\theta.$$

AB	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	0	25.9	34.5	7.9	3.3	0	0	111.1	97.7	239.4	97.1	141.4	131.6	138.1	119.9	20	115.4	297	239.4	103.2	31.8	51.9	0

Table 7 Model 2에 50 lbs의 負荷를 加했을 때 各點에서에 fringe 數(N)와 角度( $\theta$ ).

A	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
N	0.1	0.1	0.23	0.4	0.7	0.7	1.0	0.85	1.0	2.1	1.2	1.3	1.0	0.5	0.8	0.9	1.1	2.0	1.0	1.1	0.7	0.1	0
$\theta$	5	15	58	65	60	80	0	15	30	60	65	50	40	15	70	20	5	30	35	0	25	40	65

C	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
N	0	0.15	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	1.2	2.25	1	0.8	0.55	0.35	0.5	0.6	0.8	2.2	1.8	1.3	0.8	0.5	0
$\theta$	0	15	35	45	60	60	45	35	30	50	60	50	30	10	85	60	30	45	50	10	30	50	5

O	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
N	0.1	0.1	0.4	0.5	0.65	0.8	0.8	1.1	2.15	1.1	1.1	0.78	0.45	0.65	0.75	0.9	2.1	1.5	1.2	0.75	0.2	0.25	
$\theta$	2.5	15	46.5	55	60	70	22.5	25	30	55	62.5	50	35	12.5	77.5	40	17.5	37.5	42.5	5	27.5	45	35

Table 8 Model 2에 50 lbs의 負荷를 加했을 때의 補斷應力.

AB	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	2.1	6.0	24.8	36.8	72.7	28.7	0	51	103.9	218.4	110.3	153.6	118.2	30	61.7	69.4	22.9	207.8	112.7	0	64.3	11.8	0
CD																							
p.s.i.	0	9	56.4	72	62.4	62.4	72	78.9	124.7	265.9	103.9	94.5	57.2	14.4	10.4	62.4	83.1	264	212.7	53.4	83.1	59	0
$\overline{ATxy}$	-2	-16	-32	-12	-12	-52	-50	-24	-40	-12	32	61	42	33	29	-26	-52	-76	-80	-36	-34	-23	0

Table 9 Model 2에 50 lbs의 負荷를 架工橋에 加했을 때의 公式 4.5를 求한 數值.

$\sigma_{xx}$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	4	36	100	124	148	252	352	407	487	501	440	318	231	168	110	162	266	318	478	550	618	664
$\sigma_{yy}$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	-16	41	141	202	267	117	229	268	656	655	486	251	136	309	79	-15	136	287	195	447	618	644

Table 10 Model 2에 50 lbs의 負荷를 架工橋에 加했을 때의 Principal stress 計算值.

$\sigma_1$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	6	86.5	180.5	241	285.5	280.5	386.5	466	826	711.5	595	380	239	316.5	184.5	181.5	453	482.5	480.5	588.5	642	684
$\sigma_2$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	-18	-9.5	60.5	85	129.5	88.5	194.5	202	310	447.5	331	192.5	131	160.5	4.5	-34.5	-51	122.5	192.5	408.5	594	624
$\sigma_1 - \sigma_2$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	24	96	120	156	156	192	192	264	516	264	264	187.5	108	156	180	216	504	360	288	180	48	60

Table 11 Modified Model 2에 50 lbs의 負荷를 架工處에 加했을 때 各點에서의 fringe 數(N)와 角度( $\theta$ ).

A	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
N	0	0.19	0.8	0.75	0.6	0.87	0.89	0.68	1.0	1.5	1.77	1.62	0.5	0.5	0.5	1.0	1.5	1.5	0.81	0.28	0.45	0.35	0
$\theta$	15	26	79	3	29	23	71	76	84	62	71	60	42	15	18	13	26	36	43	77	24	45	69
C																							
N	0	0.1	0.5	0.17	0.21	0.54	0.6	30.75	1.64	1.5	1.8	2.0	0.42	0.36	0.7	1.0	1.61	2.1	0.81	0.5	0.5	0.5	0
$\theta$	86	3	20	75	79	83	83	63	55	38	84	78	56	48	38	25	26	45	44	58	24	67	88
D																							
N	0	0.15	0.65	0.46	0.41	0.71	0.72	1.32	1.5	1.79	1.81	0.46	0.43	0.6	1.0	1.56	1.8	0.81	0.39	0.48	0.43	0	
$\theta$	50.5	14.5	49.5	39	54	53	77	69.5	69.5	50	77.5	69	49	31.5	28	19	26	40.5	43.5	67.5	24	56	78.5

Table 12 Modified Model 2에 50 lbs의 負荷를 加했을 때의 補斷應力 및 公式 4.5의 數值.

AB	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	0	17.97	35.96	9.41	61.06	75.1	63.75	38.31	24.95	149.23	130.7	168.4	59.7	30	35.27	52.6	141.8	172	97	14.7	40.1	42	0
CD																							
p.s.i.	0	1.25	38.57	10.2	9.4	15.7	18.3	72.8	185	175	45	97.6	47	43	81.5	91.9	152	252	97.1	54	44.5	60	0
$\Delta T_{xy}$	0	7	6	-2	25	56	53	2	-98	-98	26	76	41	0	-30	-42	-24	-40	-34	-24	-22	-9	-11
$\sigma_{xx}$																							
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22		
p.s.i.	-14	-26	-22	-72	-184	-290	-94	-98	98	46	-106	-188	-188	-128	-44	4	84	152	200	244	262	284	
$\sigma_{yy}$																							
p.s.i.	-45	-2	-45	-42	-137	-135	-164	141	161	-343	217	-173	-235	-209	-233	-227	16.5	142	266	167	300	284	

Table 13 Modified Model 2에 50 lbs의 負荷를 加했을 때의 Principal stress 計算值.

$\sigma_1$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	-11.5	64	21.5	8	-75.5	-126	-143	180	309.5	66.5	273	-125	-160	-96	-18.5	76	266	244	280	263	334	284
$\sigma_2$																						
p.s.i.	-47.5	-92	-89	-106	-246	-299	-316	-137	-50.5	-364	-162	-236	-263	-240	-259	-298	-166	50	186	148	228	284
$\sigma_1 - \sigma_2$																						
p.s.i.	36	155	110	98	170	173	173	317	360	430	435	110	103	141	240	374	432	194	94	115	106	0

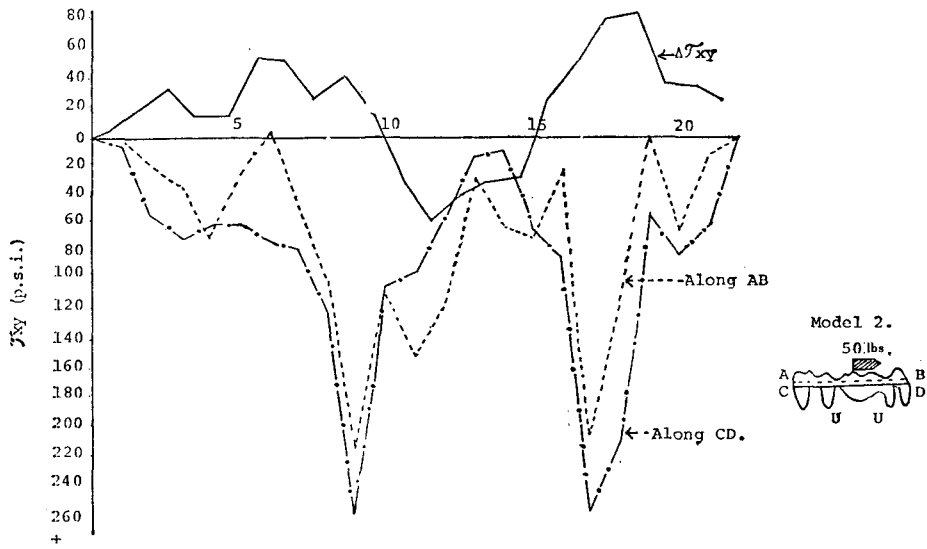


Fig. 11 Model 2에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 때의 縮斷應力.

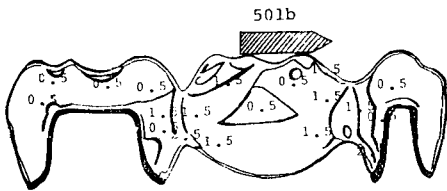


Fig. 12 Modified Model 2에 50 lbs의 負荷를 架工齒에 加할때의 fringe 數를 그린것. (Light Field에서)

<라> Modified Model 2에 50 pound의 荷重을 加했을 때 : (Fig.12 참조)

大白齒側 joint 部位에 1.3의 fringe. 小白齒側 joint 部位에는 2.29의 fringe가 나타나고, 大白齒側 joint 部位에 AB線을 따라 +149.23 psi의 縮斷應力이 CD線을 따라서 +174.6 psi의 縮斷應力이 나타나고 小白齒側 joint 部位에서 AB線을 따라 +96.96 psi CD線을 따라서 +97.14 psi의 縮斷應力이 나타났다. (Table 11, 12, 13 참조) 또한 Principal stress  $\sigma_1$ 은 大白齒側 joint

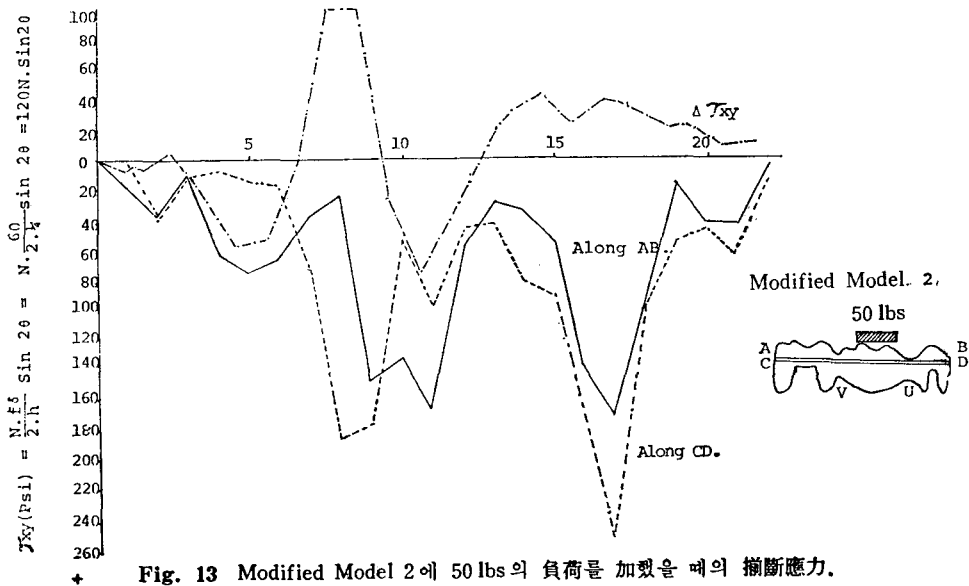


Fig. 13 Modified Model 2에 50 lbs의 負荷를 加했을 때의 縮斷應力.

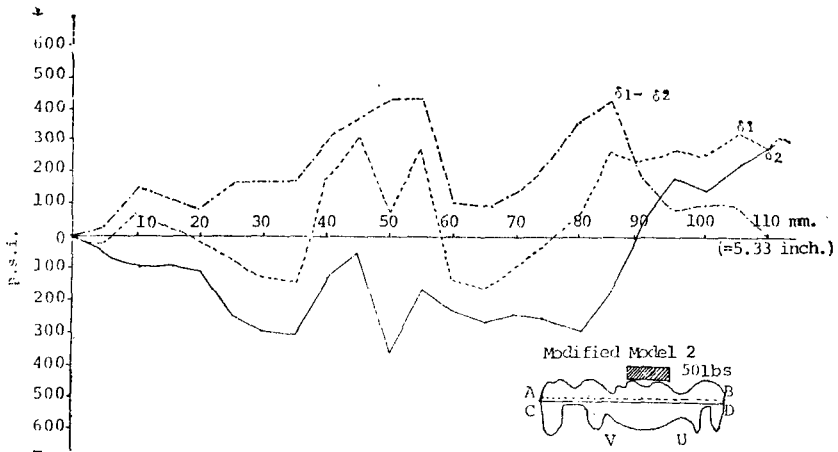


Fig. 14 Modified Model 2에 50 lbs의 負荷를 加했을 때의 Principal Stress의 計算值.

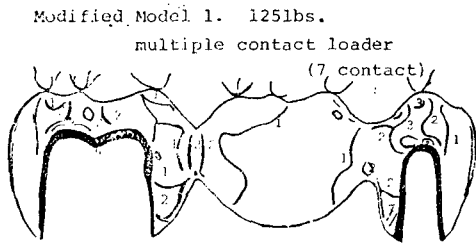


Fig. 15 Modified Model 1에 multiple contact loader로 125 lbs의 負荷를 加했을 때의 fringe 數. (Dark field)

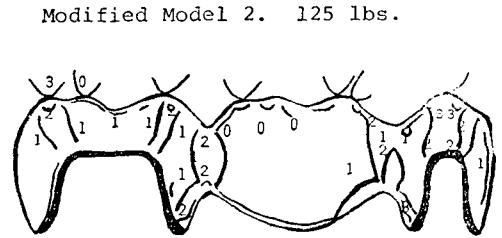


Fig. 16 Modified Model 2에 125 lbs의 負荷를 加했을 때 나타난 fringe 數(Dark field)

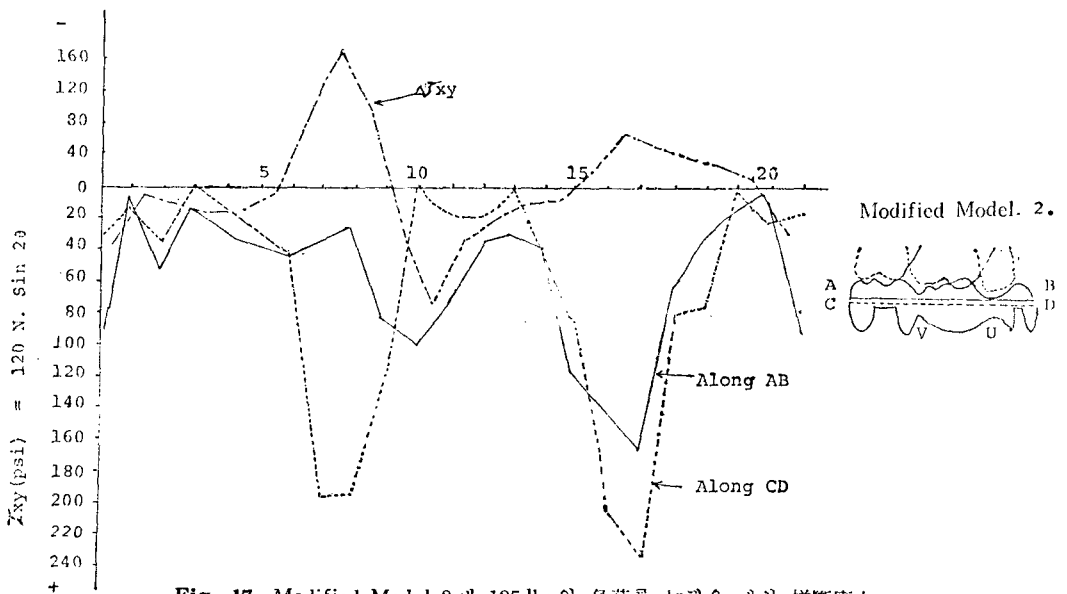


Fig. 17 Modified Model 2에 125 lbs의 負荷를 加했을 때의 剪斷應力.

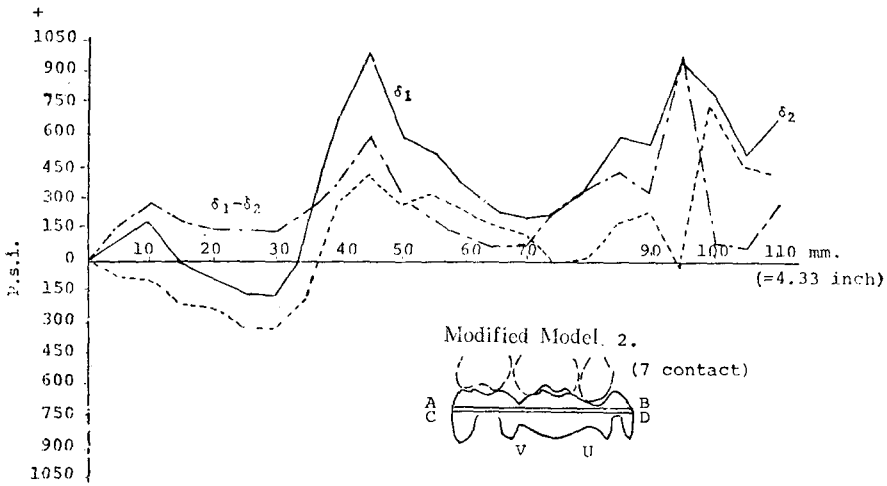


Fig. 18 Modified Model 2에 125 lbs의 負荷를 加했을 때의 Principal stress 計算值.

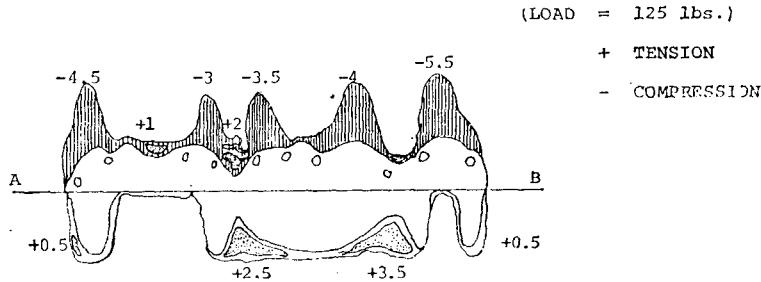


Fig. 19 Modified Model 2에 125 lbs의 負荷를 加했을 때 各點에 free boundary를 따라 나타난 fringe 數를 그린것. (+)는 引張 (-)는 壓縮을 나타냄.

部位에서 +309.5 psi 小臼齒側 joint 部位에서는 +244 psi의 引張應力이 나타나며  $\sigma_2$ 에서는 大臼齒側 joint 部位에는 -50.5 psi의 壓縮應力이 나타나고 小臼齒側 joint 部位에는 +50 psi의 引張應力이 나타나며  $\sigma_1 - \sigma_2$ 는 大臼齒側 joint 部位에서 +360 psi 小臼齒側 joint 部位에 +194 psi의 引張이 일어났다((Fig. 13, 14 참조)

<마> Modified Model 2에 multiple contact loader를 사용해 125 pound의 荷重을 加했을때 : (Fig. 15, Fig. 16 참조)

大臼齒側 joint 部位에서는 AB線을 따라 +83.4 psi의 擗斷應力이 나타나고 CD線을 따라서 +119.3 psi의 擗斷應力이 나타나며 小臼齒側 joint 部位에서는 AB線을 따라 +66.3 psi CD線을 따라 +82.2 psi의 擗斷應力이 나타났다. (Fig. 17 참조)

또한  $\sigma_1$ 에 있어서는 大臼齒側 joint 部位에서 +1016.5 psi 小臼齒側 joint 部位에서는 +565 psi의 引張

이 일어났으며  $\sigma_2$ 에서는 大臼齒側 joint 部位에 +416.5 psi 小臼齒側 joint 部位에 +248 psi이고  $\sigma_1 - \sigma_2$ 에 있어서는 大臼齒側 joint 部位에 +600 psi 小臼齒側 joint 部位에 +317 psi이다. (Fig. 18 참조)

이때에는 isochromatic fringe가 매우 複雜하기 때문에 模型의 free boundary를 따라 fringe 數를 그려 나타내보면 模型의 上, 下 部位에 引張과 壓縮이 交代로

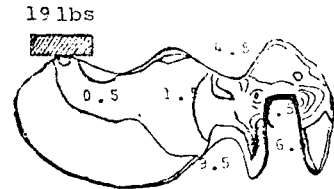


Fig. 20 Model 3에 19 lbs의 負荷를 架工齒에 加했을 때의 fringe 數를 그린것. (Light Field에서)

Table 14 Modified Model 2에 125 lbs의 負荷를 加했을 때 fringe 數 (N)과 角度( $\theta$ ).

	A	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
N	2.0	0.74	1.23	1.10	0.76	0.76	0.76	0.39	1.52	4.0	1.65	1.05	0.62	0.61	0.35	1.5	1.23	1.54	1.26	2.21	1.75	0.30	1.05	
$\theta$	13	88	80	87	80	12	15	24	86	85	75	73	75	78	34	35	49	57	13	6	88	6	64	
C																								
N	2.0	0.74	1.04	0.5	0.53	0.53	0.52	1.63	1.72	1.0	1.0	0.66	0.38	0.06	0.35	1.0	1.75	2.0	1.37	2.06	1.05	0.21	1.05	
$\theta$	4	86	82	0	5	13	23	43	56	42	0	83	77	6	37	27	40	52	75	9	89	31	86	
O																								
N	2.0	0.74	1.14	0.8	0.65	0.65	0.64	1.01	1.62	2.5	1.33	0.86	0.5	0.34	0.35	1.03	1.49	1.77	1.32	2.14	1.40	0.26	1.05	
$\theta$	9	87	81	44	43	13	19	34	71	64	38	78	76	42	36	31	45	55	44	8	88	19	75	

Table 15 Modified Model 2에 125 lbs의 負荷를 加했을 때 補斷應力 및 公式 4.5의 計算值.

	AB	X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	105.2	6.2	50.5	13.8	31.2	37.1	45.6	34.8	25.4	83.4	99	70.5	37.2	29.8	38.9	118.4	146.2	168.8	66.3	55.1	14.6	7.5	99.3	
CD																								
p.s.i.	33.4	12.4	34.4	0	11.0	27.9	44.9	195.1	191.4	119.3	0	19.2	19.9	1.5	40.4	97.1	206.8	232.9	82.2	76.4	4.4	22.6	17.5	
$A/xy$	36	5	12	16	15	6	-88	-164	-104	26	76	35	21	12	10	-14	-64	-42	-30	-16	-4	30		
$\sigma_{xx}$																								
p.s.i.	-72	-82	-106	-138	-168	-180	-4	324	532	480	328	258	216	192	172	200	328	412	472	504	512	452		
$\sigma_{yy}$																								
p.s.i.	105	178	-113	-149	-308	-301	-95	630	901	403	517	364	207.5	166	56	200	473	401	-22	893	463	670.		

Table 16 Modified Model 2에 125 lbs의 負荷를 加했을 때 Principal stress 計算值.

	$\sigma_1$	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22
p.s.i.	105.5	185	-13.5	-65.5	-160	-163.5	71.5	671.5	1061.5	601	525.5	371	253	221	237.5	379	613	565	964	840	518.5	687	
$\sigma_2$																							
p.s.i.	-72.5	-89	205.5	-222	-316	-318	-176	283	417	282	320	251	171	137	-9.5	21	188	248	-32	756	457	435	
$\sigma_1 - \sigma_2$																							
p.s.i.	178	274	192	156	156	154	247	389	600	319	206	120	82	84	247	358	425	317	996	84	62	252	

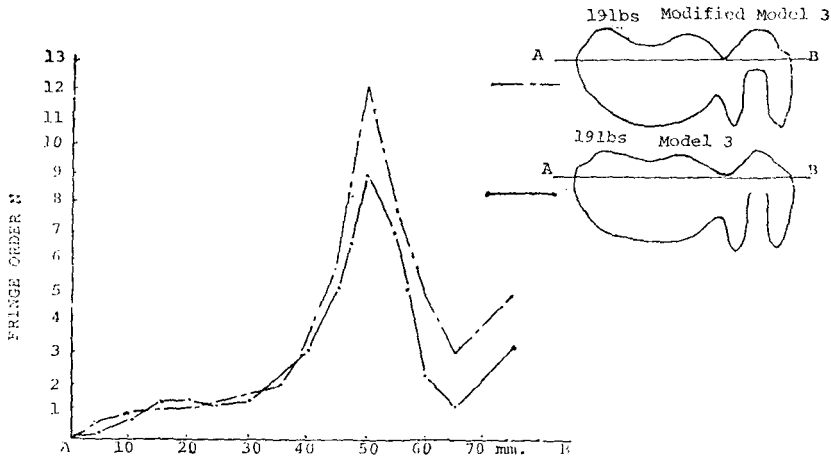


Fig. 21 Model 3 및 Modified Model 3에 19 lbs의 荷重을 加했을 때의 fringe 數.

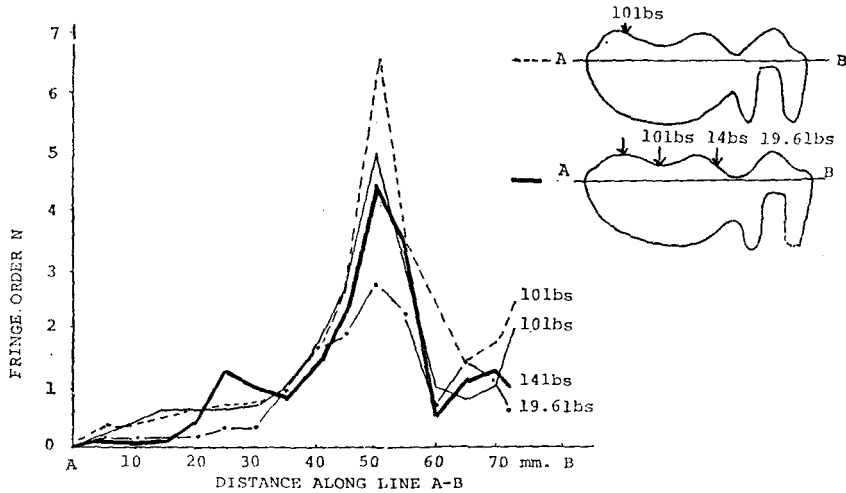


Fig. 22 Model 3 및 Modified Model 3에 10 lbs의 荷重을 架工齒 끝 部位에 加했을 때의 fringe 數 와 Model 3에 14 lbs와 19.6 lbs의 荷重을 架工齒에 加했을 때의 fringe 數

나타남을 알 수 있다. (Fig. 19 참조) (Table 14, 15, 16 참조)

〈바〉 Model 3 및 Modified Model 3에 19 pound의 屈曲率을 부여할때 : (Fig. 20, 21, 22 참조)

Model 3의 joint(U-形)에는 9개의 fringe가 나타나고 Modified Model 3에서는 (V-形) 12개의 fringe가 나타나 V-notch인 경우에 U-notch보다 많은 stress를 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 Model 3에서 荷重이 걸리는 部位를 세군데 變化시켜 可能한 限 거의 같은 屈曲率을 加해본 結果 10 pound에서는 架工齒의 끝 部分에서 荷重을 加할때 joint 部位에 5개의 fringe가 나타나고 架工齒의 中間部에서 14 pound의 荷重을 加할경우 joint 部位에 4.5개의 fringe가 나타나며 joint에

가까운 架工齒에 19.6 lbs의 荷重을 加하면 2.75의 fringe가 나타났다.

#### 第四章 總括 및 考按

臨床齒科補綴 領域에서 架工義齒 製作에 있어 支台齒의 咬合面 形態나 隣接邊緣 形態 및 joint 部位의 形態는 生物學的, 機械的, 工學的 見地에서 重要한 意味를 가진다.

一般의으로 物體에 加해진 外力은 物體의 形態나 物體를 支持하고 있는 方法 如何에 따라서 負荷된 外力의 方向에 依한 分散되는 內部 變形力을 誘發시킨다.

負荷된 外力의 程度가 클수록 物體의 變形과 破折을



招來할 可能性은 크다. 더욱이 齒科補綴分野에서 齒質 削除한 然後에 製作, 裝着한 補綴物의 경우는 支台齒와 修復材料와의 相互 內部變形力의 分布狀況이 變化되고 支台齒의 削除 方法에 따라서는 새로운 變形力을 보이게 된다. 따라서 補綴修復材料의 永久 變形 및 破折을 防止할 수 있는 齒質削除形態는 臨床的으로 制限을 받게되며 修復物은 적절한 크기를 維持하여 變形力에 依한 破折을 防止할 수 있도록 크기와 모양이 設計될 때에 理想的이라 하겠다. 齒醫學 分野에서의 光彈性學의 研究는 齒牙, 組織 및 修復材料의 變形을 招來하는 Stress의 樣相을 究明하는 實驗方法이며 補綴物에 負荷된 힘의 程度 및 補綴物의 形態(크기)가 三次元的 構造를 가짐에도 不拘하고 簡便한 二次元的 光彈性分析法이 研究에 흔히 應用되는 것이다.

El-Ebrashi, 외 2人<sup>28)</sup>의 研究에서는 Modified Model 2에 150pound의 multiple contact loader에 依한 荷重을 받을 때 +410 psi의 擱斷應力을 보였으며 U字型의 正常 joint 部位에서의 +150 psi의 擱斷應力이 發生하였으나 本人의 實驗에서 125 pound의 荷重을 加했을 때 Modified Model 2에서 +119.3 psi, U字型의 joint 部位에서는 +82.2 psi의 擱斷應力을 觀察하였다. 여기에서의 研究 結果는 構造의 設計와 荷重의 差異로 因해서 相互比較할 수는 없었지만 類型에 있어서 는 類似한 結果를 觀察했다.

Model 1과 Modified Model 1에 50 pound의 荷重을 加했을 때 Modified Model 1에 있어서는 AB線을 따르는 곳에서만 擱斷應力을 算出할 수 있었는데 이것은 模型 製作時 設計가 잘못되어 CD線의 通過에 있어 不連續的인 된데에 基因한다. 何如間 joint 部位에 fringe가 많이 나타나 이들 joint 部位에서 많은 stress를 받고 있음을 알 수 있었고 또 Model 1의 AB線을 따르는 joint 部位에서의 擱斷應力은 +129.4 psi Modified Model 1에서는 +239.4 psi의 擱斷應力이 나타나 joint를 V-形態로 해주면 U-形態로 해주었을 때보다 約 二倍의 擱斷應力이 나타난다. 따라서 fixed joint 部位에 많은 引張 및 擱斷應力이 나타나므로 可能한 限 V-形態의 joint는 해주지 말아야 하며 반드시 U-形態로 해주어야 한다. Modified Model 2에 上顎齒牙의 接觸部位와 類似하게 7點에서 接觸되게 multiple contact loader를 鉛으로 만들어 125 pounds의 荷重을 加해보면 V-形態의 joint가 U-形態의 joint보다 約 2倍의 擱斷應力을 받는다. (V-形態의  $\sigma_1 - \sigma_2$ 는 +680 psi U-形態의  $\sigma_1 - \sigma_2$ 는 +317 psi)

또 이때에는 isochromatic fringe가 매우 複雜하기

때문에 模型의 free boundary를 따라 fringe數를 그려보면 模型의 上, 下部位에 壓縮 및 引張이 交代로 나타나

Model 3의 實驗에서는 微弱한 stress인 경우에는 無關하나 stress를 若干만 增加시켜도 硬石膏가 깨지거나 하여 fringe數만 測定하였다. 여기서도 V-形態의 joint 部位에서 U-形態보다 많은 stress를 받았다는 것을 알 수 있다. 一般的으로 fixed joint 部位에서의 fringe數는 Model 1, 2 보다 Model 3이 더 많았다.

## 第五章 結 論

二次元的 光彈性物質 PSM 1과 PSM 5를 使用하여 光彈性 架工義齒를 製作하여 靜的인 狀態에서 加해진 stress를 分析한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 架工義齒는 multiple contact load를 加하면 對稱的으로 屈曲되지 않고 引張 및 壓縮된 部位가 交代로 나타났다.
2. fixed joint 部位가 臼齒部 架工義齒의 여러 部位中에서 가장 弱한 部位였다.
3. ① 50 pound의 荷重에서 Model 1(U-形態)에서는 129.4 psi Modified Model 1(V-形態)에서는 239.4 psi의 擱斷應力이 나타나 V-形態가 U-形態보다 約 二倍 많은 stress를 받았다.  
② 125 pound의 荷重에서 Modified Model 2의 V-形 joint 部位에 600 psi의  $\sigma_1 - \sigma_2$ 가 나타났고 U-形 joint 部位에 317 psi의  $\sigma_1 - \sigma_2$ 가 나타나 V-形에서 約二倍의 stress를 받았다.
4. Cantilever Bridge는 兩端이 固着된 架工義齒보다 joint 部位에서 많은 stress를 받았다.

(本 論文을 始終 指導鞭撻하여 주신 張翼泰 指導教授님께 深謝하며, 張完植 教授님과 補綴學 教室의 教授님들께 感謝드리며, 機械使用에 많은 도움을 주신 K.I.S.T. 精密機械室員께도 感謝드립니다.)

## REFERENCES

- 1) Frocht, M.M.: The Shear-Difference Method. Proc. 13th Eastern Photoelasticity Conference, pp.51-95, Jun, 1941.
- 2) Frocht, M.M.: Photoelasticity, New York: J Wiley and Sons, Vol.1 and Vol.2, 1941, 1948.
- 3) Brumfield, R.C.: Dental Gold Structures, Ann Arbor, 1949, Edwards Bros., pp.29-72

- 4) Noonan, M.A.: *The Use of Photoelasticity in a Study of Cavity Preparations*, *J.D. Child.* 16:24-28, 1949.
- 5) Smyd, E.S.: *Mechanics of the Dental Structures: Guide to Teaching Dental Engineering at Undergraduate Level*, *J. Pros. DENT.* 2:668-692, 1952.
- 6) Castro, M.E.: *Photoelasticity Applied in a Comparative Study of Four Types of Cavity Preparations for Primary Molars*, Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, 1952.
- 7) Ward, N.L., and Campbell, V.P.: *Design and Construction of Bridges*, *Dent. Pract.* 4:104-115, 1953.
- 8) King R.M.: *A Method for the Photoelastic Study of Stresses Developed in Dental Structures*, Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, 1953.
- 9) Brumfield, R.C.: *Load Capacities of Posterior Dental Bridges*, *J. Pros. DENT.* 4:530-547, 1954.
- 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 Crowns*, *J.A.D.A.* 50:44-48, Jan. 1955.
- 12) Mahler, D.B., and Terka, L.G.: *Analysis of Stress in Dental Structures*, *Dent. Clin. N. Amer.*, Nov., 1958, pp.789-798.
- 13) Guard, W.F., Haack, D.C., and Ireland, R.L.: *Photoelastic Stress Analysis of Buccolingual Sections of Class II Cavity Restorations*, *J.A.D.A.* 57:631-635, Nov. 1958.
- 14) Tylman, S.D.: *Relationship of Structural Design of Dental Bridges to their Supporting Tissues*, *Int. Dent. J.* 13:303-317, 1963.
- 15) Brumfield, R.C.: *Fundamental Mechanics of Dental Bridges*, in Tylman, S.D., and Tylman, S.G., *Theory and Practice of Crown and Bridge Prosthodontics*, ed. 5, St. Louis, 1965, The C.V. Mosby Company, p.1118-1196.
- 16) Mahler, D.B., and Terka, L.G.: *Relationship of Cavity Design to Restorative Materials*, *Dent. Clin. N. Amer.*, March, 1965, pp.149-157.
- 17) 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.
- 18) Barnett, R.L.: *Survey of Optimum Structural Design*, *Experimental Mechanics* 6: 19A-26A, 1966.
- 19) Tillitson, E.W., Craig, R.G., and Peyton, F.A.: *Experimental Stress Analysis of Gold and Chromium Alloy Bridges*, I.A.D.R. *Dental Materials Microfilm*, Washington, D.C., March, 1967.
- 20) Craig, R.G., El-Ebrashi, M.K., Le Peak, P.J., and Peyton, F.A.: *Experimental Stress Analysis of Dental Restorations: Two-Dimensional Photoelastic Stress Analysis of Inlays*, *J. Pros. DENT.* 17:277-291, 1967.
- 21) Craig, R.G., El-Ebrashi, M.K., and Peyton, F.A.: *Experimental Stress Analysis of Dental Restorations: Two-Dimensional Photoelastic Stress Analysis of Crowns*, *J. Pros. DENT.* 17:292-302, 1967.
- 22) 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.
- 23) Johnson, E.W., Castaldi, C.R., and Wysocki, G. P.: *Stress Pattern Variations in Operatively Prepared Human Teeth, Studied by Three-Dimensional Photoelasticity*, *J. Dent. Res.* 47:548-558, 1968.
- 24) 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. Pros. DENT.* 22:333-345, 1969.
- 25) 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. Pros. DENT.* 22:346-353, Sep. 1969.
- 26) 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. Pros. DENT.* 22:565-577, Nov. 1969.
- 27) El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.: *Experimental Stress Analysis of Dental Restora-*

- tions. The Concept of Proximal Reduction in Compound Restorations, *J. Pros. DENT.* 22:663-670, Dec. 1969.
- 28) 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. Pros. DENT.* 23:177-186, Feb. 1970.
  - 29) 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. Pros. DENT.* 24: 174-180, Aug. 1970.
  - 30) Irving Glickman, Fred W. Roeber, Monique Brion, and Jan H.N. Pameijer.: Photoclastc Analysis of Internal Stresses in the Periodontium Created by Occlusal Forces, *J. Periodontol.* 41: 30-35, 1970.
  - 31) 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. Pros. DENT.* 25:307-316, Mar. 1971.
  - 32) Craig, R.G., El-Ebrashi, M. K., and Peyton, F. A.: Stress Distribution in Porcelain-Fused-to-Gold Crowns and Preparations Constructed with Photoelastic Plastics, *J. DENT. Res.* 50(5):1278-1283, 1971.
  - 33) Farah, J.W., and Craig, R.G.: Reflection Photoelastic Stress Analysis of a Dental Bridge, *J. DENT. Res.* 50(5):1253-1259, 1971.
  - 34) Caputo, A., Chaconas, S., and Hayashi, R.: Photoelastic Visualization of Orthodontic Forces During Canine Retraction, *Am.J. ORTHOD.* 65: 250-259, 1974.
  - 35) Kratochvil, F.J., and Caputo, A.A.: Photoelastic Analysis of Pressure on Teeth and Bone Supporting Removable Partial Dentures, *J. Pros. DENT.* 32(1): 52-61, 1974.
  - 36) Craig, R.G., Farah, J.W., and El-Tahawi, H.M.: Three-Dimensional Photoelastic Stress Analysis of Maxillary Complete Dentures, *J. Pros. DENT.* 31(2):122-129, Feb. 1974.
  - 37) Brodsky, J.F., Caputo, A.A., and Furstman, L. L.: Root Tipping: A Photoelastic-Histopathologic Correlation, *Am. J. ORTHOD.* 67: 1-10, Jan. 1975.
  - 38) 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. Pros. DENT.* 38: 261-273, 1977.
  - 39) Theodore Berg, Jr., and Caputo, A.A.: Anterior Rests for Maxillary Removable Partial Dentures, *J. Pros. DENT.* 39(2):139-146, Feb. 1978.
  - 40) Bulletin SFC-200: Photoelastic Stress Analysis. Photolastic Inc, Malvern, PA. U.S.A.
  - 41) Bulletin IB-P-330R: Instructions for making Photoelastic Models, Photolastic Inc, Malvern, PA. U.S.A.
  - 42) Bulletin P-1120-2: Materials for Photoelastic Coatings, Photoelastic Models, Photolastic Inc. Malvern, PA. U.S.A.
  - 43) Sung-Ii, Youn.: Photoelastic Stress Analysis of the Crown Restorations, *J.K.D.A.* 17(1):47-52, Jan. 1979.

## Photoelastic Stress Analysis of Fixed Partial Dentures.

Cho, Won-Haeng, D.D.S., M.S.D.

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

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

### \*Abstract\*

The purpose of this study was to investigate stresses in the various components of fixed partial dentures restoring the posterior teeth of the lower jaw, and to measure quantitatively the effects of certain modifications in structural design on the stresses in the restorations using two-dimensional photoelasticity. Two-dimensional photoelastic methods were used in this study. Several models of fixed partial dentures were constructed. Shoulderless margins and anatomic occlusal reduction were incorporated in Model 1. Rounded shoulders and flat occlusal reduction were incorporated in Model 2, while Model 3 was a cantilever fixed partial denture. Other similar fixed partial dentures were constructed with V and U notches deliberately included in the region of the fixed joints for comparative reasons.

The birefringent materials used in this study were PSM-1 and PSM-5 in standard sheets.

PSM-1 was used for constructing the substructure, and PSM-5 was used in making the components of the fixed partial dentures. The two materials were used in the construction of composite photoelastic models. Improved artificial stone was used to represent dental cement in luting the composite photoelastic models. Static loading procedures were used at preplanned sites to represent occlusal loads in the mouth. 35 mm color and B/W film were used to record isochromatics in accordance with photoelastic procedures.

Data reduction was performed using the grid method, which helped in the mathematical integration procedure (Shear difference method) to separate the principal stresses.

The results were as follows.

1. Fixed partial dentures do not function in bending as a symmetrical beam. Alternate areas of tension and compression were demonstrated when multiple contact loading was used.
2. The weakest part in posterior fixed partial dentures is the fixed joint.
3. (1) Models I and modified Model I were loaded on the pontic using a 50 pound vertical static load. The shear stress near the posterior fixed joint in Model 1 (U notches) was +129.4 p.s.i., and at the same fixed joint in modified Model 1 (V notches) was +239.4 p.s.i. The concentration of stress in fixed joint was reduced by 50% when U notches replaced the V notches.  
(2) Modified Model 2 was loaded using a multiple contact loader at a total load of 125 pounds. The difference between the principal stresses ( $\sigma_1 - \sigma_2$ ), shear stress, at the V notches was +600 p.s.i., and at the U notches was +317 p.s.i. The shear stress was reduced by 50% when U notches replaced the V notches.

V-grooves at the fixed joints should be avoided, and should be replaced by regular shaped U-grooves.

4. Cantilever fixed partial dentures had much higher stresses at the fixed joint than fixed partial dentures that were attached at both ends.