

# 臼齒部 陶材前裝鑄造冠 邊緣形態에 따른 應力分析

全北大學校 齒科大學 補綴學教室

金光錫 · 宋匡燁 · 朴贊云

## 目 次

- I. 緒 論
- II. 研究材料 및 方法
- III. 研究結果
- IV. 總括 및 考按
- V. 結 論
- 參考文獻
- 英文抄錄

## I. 緒 論

臼齒部 補綴物은 正常的인 咀嚼行爲만으로도 補綴物과 支臺齒 및 支持組織에 相當한 應力이 發生하므로 合理的인 應力分散을 얻을 수 있는 補綴物の 製作이 要求된다<sup>1)</sup>. 金冠加工義齒의 邊緣部 密着은 補綴物の 成敗를 左右하는 要素로써 그간 邊緣密着을 위한 많은 研究가 있었으며, 邊緣部 cement leakage의 要因의 하나로 邊緣部 應力集中에 의한 cement層의 機械的인 破切을 생각할 수 있다.<sup>2,3)</sup>

邊緣의 形態에 관한 研究에서 El-Ebrashi<sup>4)</sup>, Farah<sup>5)</sup>는 chamfer 邊緣과 round한 internal line angle을 同伴한 shoulder 邊緣에서 最少의 應力集中과 均一한 應力 分布像을 얻었고, Craig<sup>6,7)</sup> 등은 shoulder 邊緣에서 邊緣部 修復物の 두께를 增加시켜 引張應力의 再分散을 얻었다고 報告하였다. 邊緣의 適合度에 관한 研究에

서 Pascoe<sup>8)</sup>, Gavelis<sup>9)</sup>는 shoulder 邊緣을 推薦하였고, Shillingburg<sup>10)</sup>, Faucher<sup>11)</sup>는 陶材前裝鑄造冠의 反復燒成時 邊緣의 變形이 shoulder 邊緣에서 減少했다고 報告하였다.

現在까지 齒醫學 分野에 利用되어온 應力分析 方法에는 strain gauge 法<sup>12)</sup>, holography 法<sup>13)</sup>, brittle lacquer coating technique<sup>14)</sup>, 光彈性法<sup>4,6,7)</sup>, 그리고 有限要素法<sup>1,5)</sup> 등이 利用되었으나, 有限要素法을 除外한 方法들은 生體內에서 의 實驗이 制約을 받기 때문에 實物을 模倣한 模型에 對하여 實驗을 行한 것이 大部分이다. 그러나 齒牙와 齒牙 周圍의 支持組織은 多樣한 物理的 性質을 지닌 複合體이고, 應力은 齒牙의 形態와 物理的 性質에 依해 左右되므로 實物의 模倣 過程에서 어려운 點이 있다.

有限要素法은 限定된 크기의 連續體를 有限 個數의 集合體로 假定하고, 그 集合體에 限定된 數의 節點을 만들어 에너지 最少化 原理 또는 假想變位の 原理를 適用하여 節點 變位값을 求하여 連續體의 變形을 近似的으로 나타내는 數值解析 法으로써 模型說定의 自由度가 廣範圍하고 齒牙와 齒牙 周圍 組織같은 複合素材의 構造物에 成分材料의 物理的 性質을 考慮함으로써 實際 構造物의 舉動에 近似시킬 수 있는 長點이 있다<sup>15, 16,17)</sup>.

金冠加工義齒 또는 自然齒에 對하여 有限要素法을 利用한 應力分析에서 Farah<sup>5)</sup>, Anusavice<sup>18)</sup>는 各各 金冠加工義齒의 邊緣形態에 따른 應力分析과 陶材前裝鑄造冠의 邊緣形態에 따른

邊緣의 變形을 研究, 報告하였고, Craig<sup>19)</sup> 는 前齒部 陶材前裝鑄造冠의 荷重方向에 따른 應力 分析을 行하였으며, Wright<sup>20)</sup> 는 繼續 加工義齒의 大齒에 加해지는 應力을 分析, 報告하였다.

또한 Yettram<sup>1)</sup> 은 下顎 第2小臼齒의 自然齒와 金冠加工義齒에 對한 應力을 分析, 比較하였고, Rubin<sup>21)</sup> 은 三次元 有限要素法을 利用하여 下顎 第1大臼齒의 應力分析을 行하였다.

本 研究에서는 二次元 有限要素法을 利用하여 臼齒部 陶材前裝鑄造冠에 shoulder 邊緣, 30°, 45°, 60° bevel 을 가진 shoulder with a bevel 邊緣, chamfer 邊緣을 選擇한 뒤 垂直壓下의 變位, 邊緣部 應力 및 cement 層 應力分析을 行한 뒤 多小의 知見을 얻었기에 이를 報告하는 바이다.

## II. 研究材料 및 方法

下顎 第1大臼齒의 邊緣形態에 따른 變位와 應力分布의 特性을 把握하기 爲하여 陶材, 金屬象牙質 그리고 cement 層을 包含하는 有限要素模型을 設計하였고 下顎 第1大臼齒의 形態의 特徵 即, 齒冠部와 齒頸部에서의 半徑이 近遠心과 狹舌로 類似한 값을 가지고 있는 點을 考慮하여 理想化된 軸對稱 模型으로 設計하였다(Fig.1).

金屬의 두께는 0.4-0.45 mm, 陶材의 두께는 咬合面과 齒冠部에서 1.2 mm, 齒頸部에서 0.5-0.8

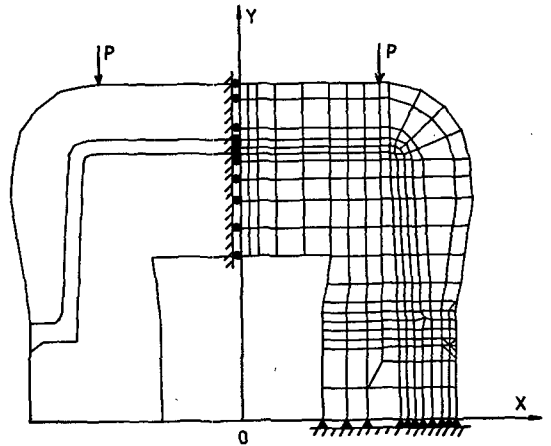


Fig. 1. Axisymmetric Finite Element Model with Shoulder & Bevel Marginal Configuration (45°).

mm가 되도록 하였고<sup>24,25,26)</sup>, cement 層의 두께는 bevel 部位에서 40 $\mu$ m<sup>9)</sup>, 그 外의 部位에서는 約 55 $\mu$ m가 되도록 設計하였다.

模型의 軸壁 傾斜角度는 2.5°로 設定하였고<sup>27)</sup>, 荷重은 金屬의 支持를 받고 있는 軸壁上의 咬合面에 50 Kg을 加하였다<sup>28)</sup>. 有限要素模型에서 對稱軸인 Y軸上的 各 節點은 垂直方向으로 變位가 可能하도록 支持하였고, 齒頸部 切斷面인 X軸上的 各 節點은 水平, 垂直方向의 變位를 모두 拘束하였다.

模型을 이루는 要素의 갯수는 shoulder 系統 邊緣과 chamfer 邊緣에서 各各 269個, 281個를, 그리고 節點의 數는 各各 303個, 315個가

Table 1. Numbers of Elements and Nodal Points.

Margin	Element number					Nodal point number
	Porcelain	Metal	Cement	Dentin	Total	
Shoulder	65	53	27	124	269	303
Shoulder with a bevel (30°)	65	57	27	120	269	303
Shoulder with a bevel (45°)	65	57	27	120	269	303
Shoulder with a bevel (60°)	65	57	27	120	269	303
Chamfer	69	53	26	133	281	315

되도록 分割하였다 (Table 1).

有限要素模型은 4個의 節點을 가지는 4角形 要素로 이루어졌고 (Fig.2), 各 要素의 節點에는 固有番號를 賦與하였으며, 變位는 各 節點의 水平, 垂直方向으로의 移動量을 觀察하였고, 應力 成分은 Gauss 積分選澤點에서의 結果를 利用하였다. 應力의 集中이 豫想되는 部位와 仔細한 觀察이 要求되는 部位는 要素를 細分하였다.

各 成分 材料의 物理的 性質을 나타내는 彈性 係數 (Young's modulus) 와 Poisson 比는 Table 2 와 같다.

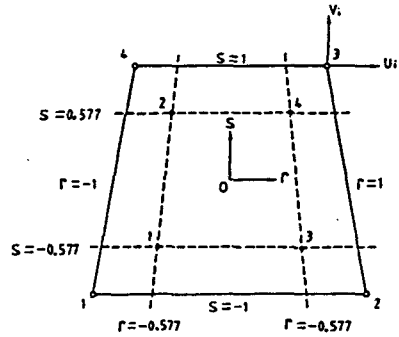


Fig. 2. 4-node Quadrilateral Element and Gaussian Points.

Table 2. Mechanical Properties for Materials.

Material	Young's modulus (Kg/mm <sup>2</sup> )	Poisson's ratio
Porcelain*	0.7 x 10 <sup>4</sup>	0.28
Zinc phosphate cement*	0.23 x 10 <sup>4</sup>	0.35
Dentin*	0.19 x 10 <sup>4</sup>	0.31
Ni-Cr Alloy**	0.22 x 10 <sup>4</sup>	0.30

\*Reinhart, R.A., Pao, Y.C., Krejci, R.F., J. Pros. Dent. 1987; 57; 281.

\*\*Craig, R.G., Restorative dental Materials, 7th ed. St. Louis, C.V. Mosby Co., 1985.

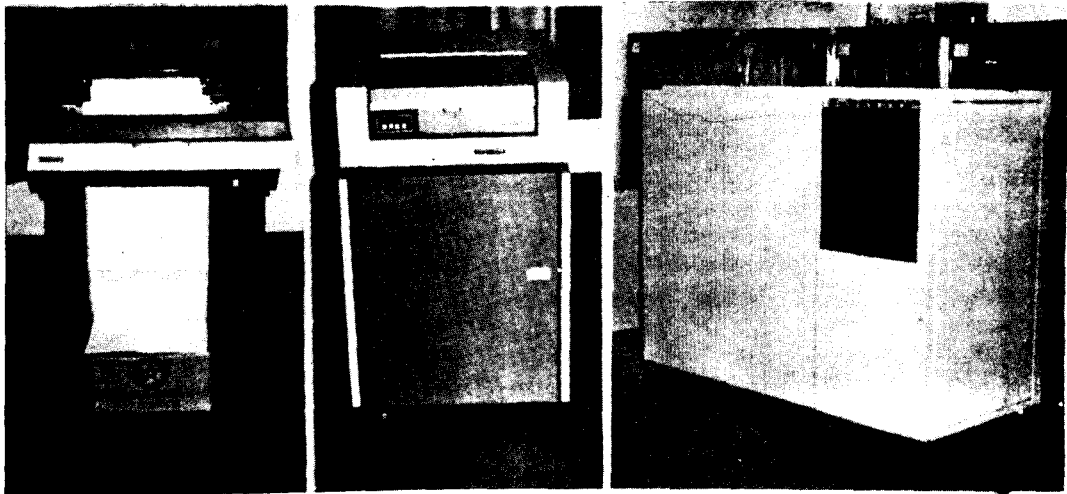
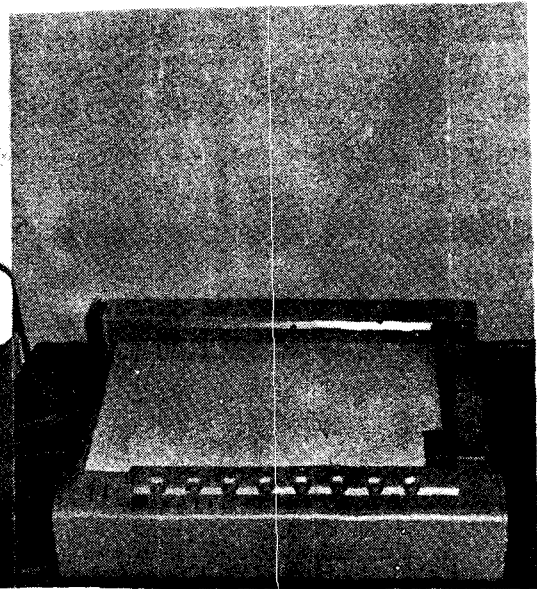


Photo 1. Computer System for Finite Element Program (PERKIN-ELMER 3252, C.P.U. 4 MB)



a, HP 9845 B Computer



b, HP 9872 C Plotter

Photo 2. Data Management System

有限要素 解釋을 爲해 使用한 컴퓨터는 Perkin-Elmer 3252(C.P.U. 4MB, Photo.1)이었으며, 應力解釋을 爲한 프로그램은 Hinton-Owen의 彈塑性 프로그램으로서 各 要素의 節點番號, 節點座標, 材料의 物性值, 荷重등을 入力시켜 變位와 應力成分을 얻었다. 變位는 各 節點의 水平, 垂直方向으로의 移動量을 500 倍 擴大하여 觀察하였고, 主應力 成分은 引張과 壓縮을 좌살표를 區別하여 表示하였으며, 邊緣部에서의 應力分布 特性을 把握하기 爲하여 出力結果를 HP 9845 B computer(Photo.2-a)에 入力시켜 HP 9872 C plotter 로 (Photo.2-b)로 圖示하였다.

$\mu\text{m}$ ,  $60^\circ$  bevel 邊緣에서  $-1.75\mu\text{m}$ 로서 bevel 角度增加에 따라 減少를 보였고, chamfer 邊緣에서  $-1.86\mu\text{m}$ 를 보였다.

邊緣部 金屬上緣 끝단에서의 水平變位는 shoulder 系統 邊緣에서 約  $0.20\mu\text{m}$ 로서 相互 類似한 값을 보였고, chamfer 邊緣에서  $0.27\mu\text{m}$ 를

### III. 研究結果

#### 1. 變 位

變位는 材料의 境界部位와 最外廓部의 節點 變位量을 500 倍 擴大하여 圖示하였고, 引長變位는 陽, 壓縮變位는 陰으로 表示하였다 (Fig.3-A, B, C, D, E).

最大 垂直變位는 shoulder 邊緣에서  $-1.77$

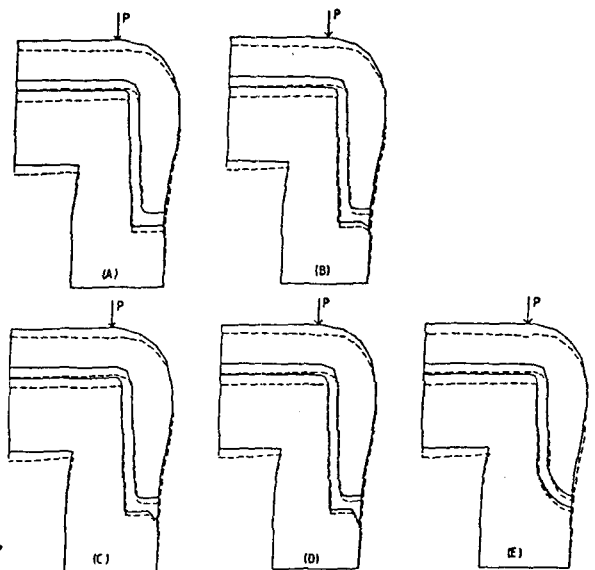


Fig. 3. Magnified Displacement by Loads. (x500)

보였으며, 垂直變位는 shoulder 邊緣에서  $-0.71\mu\text{m}$ ,  $60^\circ$  bevel 邊緣에서  $-0.68\mu\text{m}$ 로서 bevel 角度增加에 따라 減少를 보였고, chamfer 邊緣에서  $-0.07\mu\text{m}$ 를 보였다. 邊緣部 金屬下緣의 끝단에서 水平變位는 shoulder 邊緣에서  $0.20\mu\text{m}$ ,  $60^\circ$  bevel 邊緣에서  $0.22\mu\text{m}$ 로서 bevel 角度增加에 따라 增加하였고, chamfer 邊緣에서  $0.30\mu\text{m}$ 를 보였으며, 垂直變位는 shoulder 邊緣에서  $-0.67\mu\text{m}$ ,  $60^\circ$  bevel 邊緣에서  $-0.60\mu\text{m}$ 로서 減少하였고, chamfer 邊緣에서  $-0.75\mu\text{m}$ 를 보였다.

咬合面側의 各 材料의 垂直變位는 軸壁部와 邊緣部에 비해서 더 크게 나타났고, 邊緣部 끝단의 水平, 垂直變位는 shoulder 系統 邊緣에 비해서 chamfer 邊緣에서 더 크게 나타났으며, shoulder 系統 邊緣에서의 邊緣部 金屬上緣 끝단의 水平變位는 類似한 값을 보였으나, 下緣 끝단의 水平變位는 bevel 角度增加에 따라 增加하였다.

## 2. $45^\circ$ bevel 邊緣에서의 主應力 分析

模型의 全 斷面에서의 主應力 分析은  $45^\circ$  bevel 邊緣을 選擇하였다 (Fig. 4). 主應力 性分은 各 要素의 Gauss 積분 選擇點에서의 結果에 對해서 그 크기와 方向을 考慮하여 화살표를 區別하여 表示하였고, 그 크기가  $\pm 10 \text{ kg/cm}^2$  未滿인 境遇에는 圖示하지 않았으며, 陶材內에서는 荷重點 直下方에서  $-694.80 \text{ kg/cm}^2$  을 보였고, 荷重點 下方部位를 除外하고는 大體로 작은 壓縮應力을 보였으며, 金屬의 支持를 받지 못하는 齒冠部 金屬尖角部位에서 最大  $50.17 \text{ kg/cm}^2$  의 引張應力이 發生하였다.

金屬에서는 齒冠部の 金屬尖角部에서 最大  $-322.03 \text{ kg/cm}^2$  의 壓縮應力을 보였고, 軸壁部 金屬內에서는 上部에서 約  $-200.87 \text{ kg/cm}^2$ , 下部에서 約  $-127.91 \text{ kg/cm}^2$  로서 漸次 減少하였으며, axiokingival line angle 部位의 金屬尖角部에서는  $-193.09 \text{ kg/cm}^2$  의 壓縮應力을 보았다.

邊緣部 金屬上 에서는  $-78.81 \text{ kg/cm}^2$  의 壓縮應力이 發生하였고, 下緣에서는  $-74.42 \text{ kg/cm}^2$

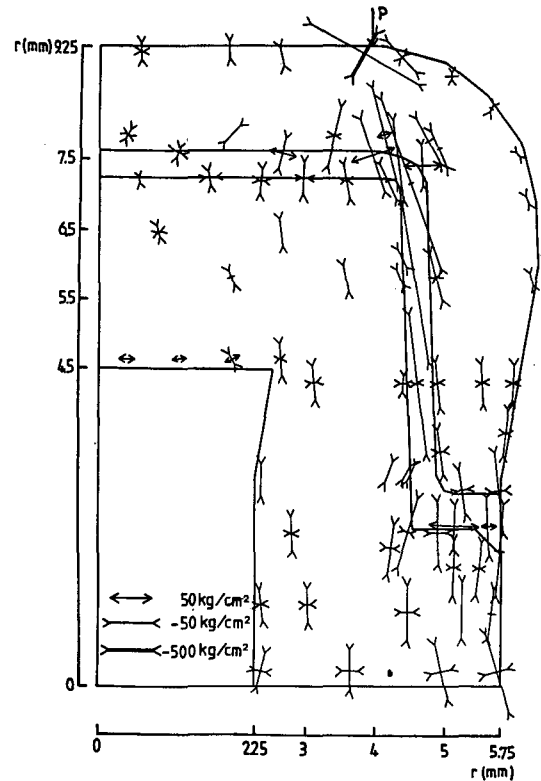


Fig. 4. Principal Stress Distribution for Shoulder & Bevel Margin. ( $45^\circ$ )

의 壓縮應力과  $67.00 \text{ kg/cm}^2$  의 引張應力이 發生하였으며, 邊緣部 끝단의 bevel 尖角部에서  $-122.20 \text{ kg/cm}^2$ , 끝단 上部에서  $-111.26 \text{ kg/cm}^2$  의 壓縮應力을 보였다.

象牙質에서는 axiokingival line angle 下方에서  $-84.27 \text{ kg/cm}^2$ , bevel 尖角部 下方에서  $-80.07 \text{ kg/cm}^2$  을 보였고, 그 外의 部位에서는 比較的 작은 壓縮應力을 보였다.

最大 應力은 荷重點 直下方에서 發生하였고, 軸壁部 金屬部位에서 높은 壓縮應力이 發生하였으며, 材料에 따라서 尖角을 보이고 있는 齒冠部 line angle 部位, axiokingival line angle 部位, 그리고 金屬 bevel 部位에서 應力의 集中을 보였다.

## 3. 邊緣部에서의 研究 結果

邊緣部에서의 剪斷應力, 最大 主應力 그리고

最少 主應力 變化를 알아보기 위하여 齒頸部 切斷面에 平行한 6 種類의 lines(A,B,C,D,E,F)을 設定하되 A line과 B line은 邊緣部 金屬 上緣으로부터 各各 2 mm, 0.25 mm 上方에, C line은 切斷面으로부터 4.8 mm 上方에 그리고, D,E,F line은 各各 30°, 45°, 60°의 金屬 bevel 中央을 지나도록 定하였으며 (Fig.5), 各 lines에서의 剪斷應力과 主應力の 最大값을 表로 나타내었다 (Fig.6-20, Table 3-6).

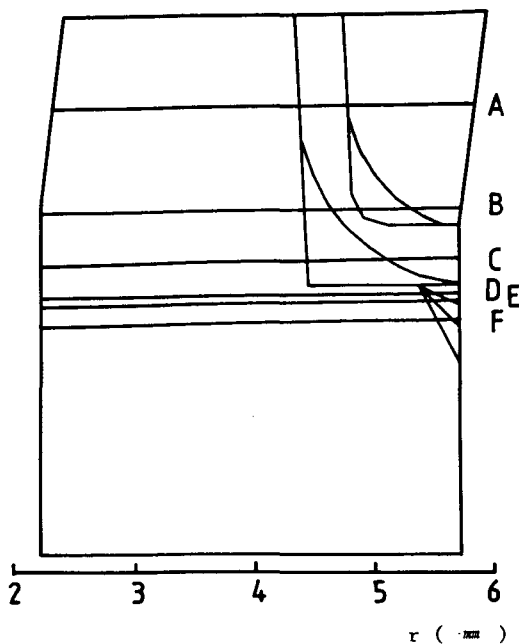


Fig. 5. Specified 6 Lines around Margins

### 1) 象牙質에서의 應力變化

A line의 境遇 剪斷應力成分은 chamfer 邊緣에서 最大  $-6.12\text{kg/cm}^2$  를 보였고, 最大 主應力成分은 60° bevel 邊緣에서 最大  $-6.28\text{kg/cm}^2$  를 보였으며, 最少 主應力成分은 chamfer 邊緣에서  $-70.64\text{kg/cm}^2$  를 보였다.

B line에서 剪斷應力成分은 60° bevel 邊緣에서 最大  $-10.80\text{kg/cm}^2$  으로서 邊緣의 形態에 關係없이 類似한 크기를 보였고, 最大 主應力成分과 最少 主應力成分은 chamfer 邊緣에서 各

各 最大  $8.20\text{kg/cm}^2$  과  $-54.24\text{kg/cm}^2$  를 보였다.

C line에서 剪斷應力成分과 最大 主應力成分은 60° bevel 邊緣에서 各各 最大  $-16.24\text{kg/cm}^2$  를 보였고, 最少 主應力成分은 chamfer 邊緣에서  $-75.08\text{kg/cm}^2$  를 보였다.

D,E,F line에서 剪斷應力成分은 最大  $-17.52\text{kg/cm}^2$ , 最大 主應力成分은  $-17.68\text{kg/cm}^2$  그리고 最少 主應力成分은  $-83.52\text{kg/cm}^2$  로서 30° bevel 邊緣에서 가장 크게 나타났으며, bevel 角度增加에 따라 漸次 減少하였다.

A,B,C line에서 剪斷應力成分과 最大 主應力成分은 內側部 ( $r < 3\text{mm}$ ) 에서 거의 應力이 作用하지 않았으나, 이후의 領域에서 漸次 增加하여 大體로 cement 層에 隣接한 部位에서 最大값을 보였고, 最少 主應力成分은 A,B line 에서 半徑의 增加에 따라 減少를 보였으나 C line 에서는 약간의 增加를 보였고, D,E,F line 에서는 axiokingival line angle 下方에서 最大를 보인후 漸次 減少하였다.

### 2) 金屬內에서의 應力變化

A line에서 剪斷應力成分은 60° bevel 邊緣에서  $8.88\text{kg/cm}^2$  으로서 shoulder 系統 邊緣에서 類似한 크기를 보였으나 chamfer 邊緣에서는  $-5.80\text{kg/cm}^2$  을 보였고 最大 主應力成分은 chamfer 邊緣에서  $-7.24\text{kg/cm}^2$  을 보였으며, 最少 主應力成分은 shoulder 邊緣에서 最大  $-156.84\text{kg/cm}^2$  을 보였다.

B line에서 剪斷應力成分과 最大 主應力成分은 60° bevel 邊緣에서 各各  $-10.72\text{kg/cm}^2$  과  $-8.48\text{kg/cm}^2$  으로서 shoulder 系統 邊緣에서 類似한 크기를 보였으나, chamfer 邊緣에서는 各各  $7.52\text{kg/cm}^2$  과  $-6.48\text{kg/cm}^2$  를 보였으며 最少 主應力成分은 30° bevel 邊緣에서  $-131.88\text{kg/cm}^2$  로서 bevel 角度增加에 따라 減少하였다.

C line에서 剪斷應力成分은 shoulder 邊緣에서 最大  $11.32\text{kg/cm}^2$  를 보였고, 最大 主應

力成分은 45° bevel 邊緣에서 最大 21.16kg/cm<sup>2</sup> 를 보이면서 shoulder 系統 邊緣에서 큰 差異를 보이지 않았으나 chamfer 邊緣에서는 5.64kg/cm<sup>2</sup> 로서 減少하였고, 最少 主應力成分은 30° bevel 邊緣에서 最大 -187.88kg/cm<sup>2</sup> 를 보였다.

D, E, F line 에서 剪斷應力成分은 -34.32kg/cm<sup>2</sup>, 最大 主應力成分은 36.44kg/cm<sup>2</sup>, 그리고 最少 主應力成分은 -126.12kg/cm<sup>2</sup> 로서 30° bevel 邊緣에서 最大값을 보였다.

Shoulder 系統 邊緣에서 A, B, C line 상의 모든 應力成分은 類似한 變化樣相을 보였으나, C line 에서 가장 큰 變化를 보였고, chamfer 邊緣에서는 line 에 따라서 큰 差異를 보이지 않았다.

### 3) 陶材內에서의 應力變化

A line 에서 剪斷應力成分은 60° bevel 邊緣에서 最大 5.24kg/cm<sup>2</sup> 를 보였고, 最大 主應力成分과 最少 主應力成分은 chamfer 邊緣에서 各 最大 -6.80kg/cm<sup>2</sup> 와 -62.56kg/cm<sup>2</sup> 로서 邊緣形態에 따라 큰 差異를 보이지 않았다.

B line 에서 剪斷應力成分은 60° bevel 邊緣에서 5.56kg/cm<sup>2</sup>, 最大 主應力成分은 -9.84kg/cm<sup>2</sup>, 그리고 最少 主應力成分은 -93.48kg/cm<sup>2</sup> 로서 60° bevel 邊緣에서 最大값을 보였고, 邊緣의 形態에 따라 큰 差異를 보이지 않았다.

### 4. 邊緣部에서의 主應力 分布

邊緣部에서의 主應力 分布를 알아보기 위하여 陶材, 金屬, 象牙質에 應力成分을 圖示하되 壓縮과 引張을 區別하여 圖示하였다.(Fig.21-A, B, C, D, E).

Shoulder 邊緣의 陶材에서는 金屬과의 外側 境界部位에서 -75.94kg/cm<sup>2</sup> 로서 最大값을 보인 反面, 그 外的 部位에서는 -48.34 ~ 67.65(kg/cm<sup>2</sup>) 로서 比較的 均一한 크기를 보였다. 金屬部位에서의 壓縮, 引張應力은 axiokingival line angle 部位의 尖角部에서 各 各 -192.05kg

/cm<sup>2</sup>, 82.66kg/cm<sup>2</sup> 으로 最大값을 보였고, 引張應力은 最外廓 邊緣部에서 15.48kg/cm<sup>2</sup> 으로 減少하였다.

象牙質에서의 應力은 axiokingival line angle 下方에서 -85.85kg/cm<sup>2</sup> 으로 最大값을 보였고 最外廓 部位에서 -63.47kg/cm<sup>2</sup> 으로 減少하였다.

Shoulder with a bevel 邊緣에서는 shoulder 邊緣과 比較할 때 陶材와 象牙質에서 매우 類似한 分布樣相을 보였다.

Chamfer 邊緣의 陶材에서는 金屬과의 外側 境界部位에서 -87.36kg/cm<sup>2</sup> 로서 最大값을 보인 反面, 그 外的 部位에서는 -53.67 ~ 77.39(kg/cm<sup>2</sup>) 으로 shoulder 系統 邊緣과 比較的 類似한 變化幅을 보였다. 金屬部位의 最外廓 部位에서 -85.61kg/cm<sup>2</sup> 의 크기를 보였고, 그 外的 部位에서는 -66.87 ~ -84.30(kg/cm<sup>2</sup>) 의 값을 보였고, 象牙質에서는 -56.87 ~ -77.57(kg/cm<sup>2</sup>) 의 크기를 보였다.

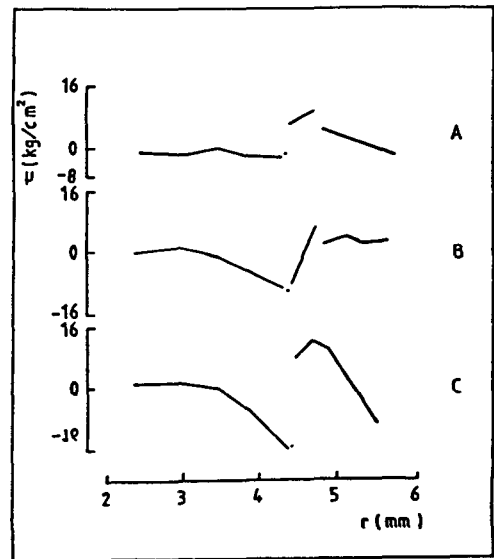


Fig. 6. Shear Stresses along Specified Lines for Shoulder Margin. (A, B, C)

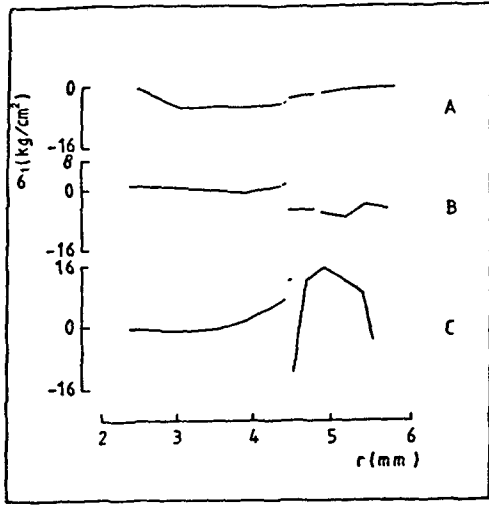


Fig. 7. Maximum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder Margin. (A, B, C)

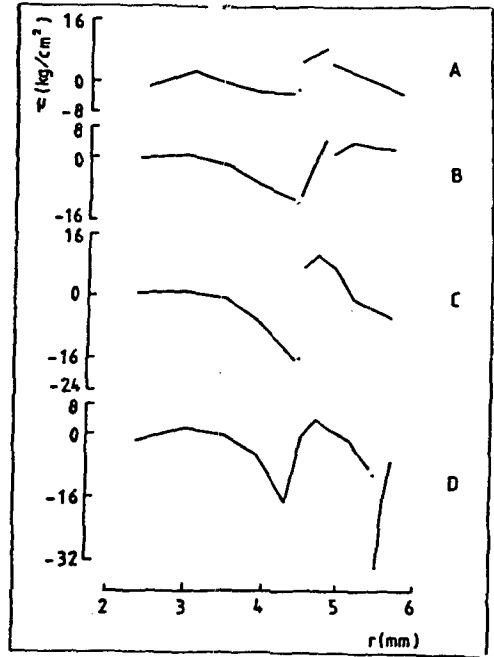


Fig. 9. Shear Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin ( $30^\circ$ ). (A, B, C, D)

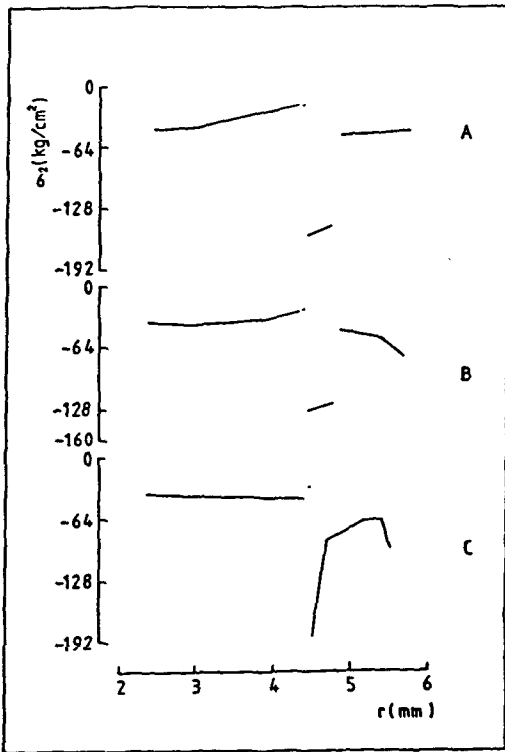


Fig. 8. Minimum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder Margin. (A, B, C)

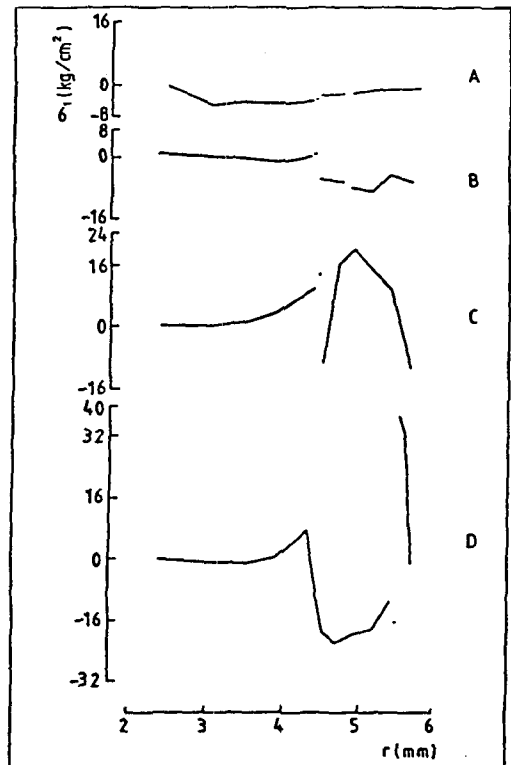


Fig. 10. Maximum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin ( $30^\circ$ ). (A, B, C, D)



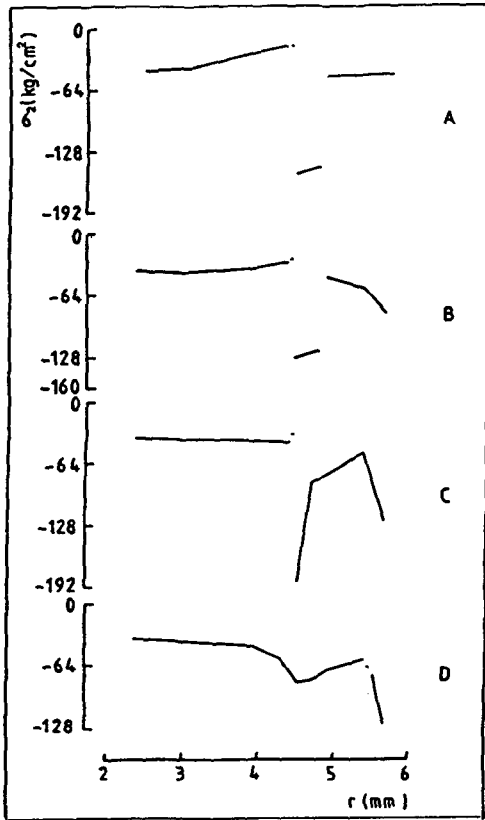


Fig. 11. Minimum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin (30°). (A, B, C, D)

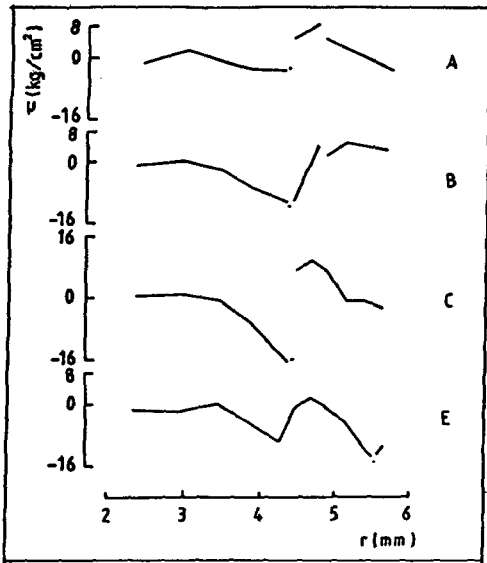


Fig. 12. Shear Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin (45°). (A, B, C, E)

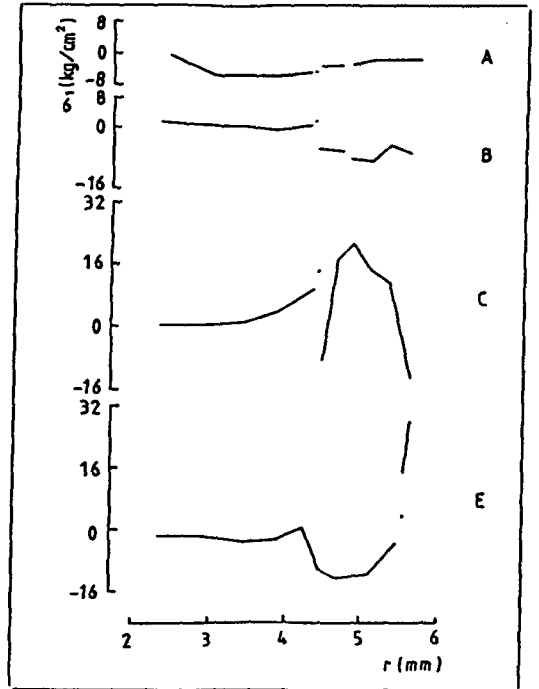


Fig. 13. Maximum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin (45°). (A, B, C, E)

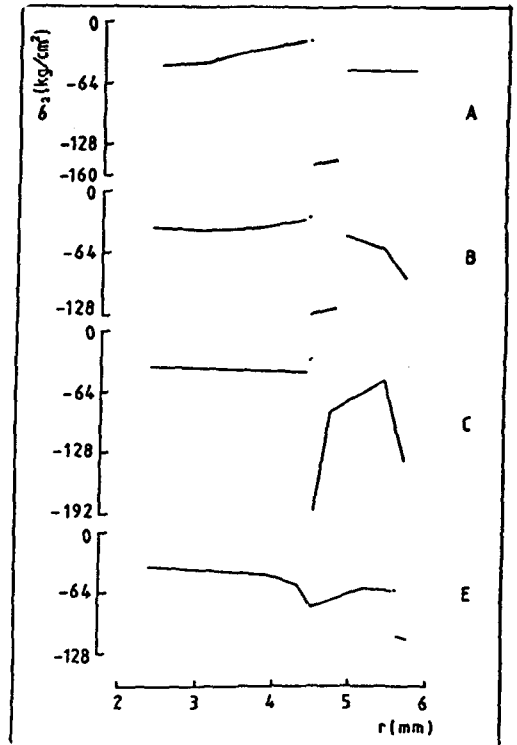


Fig. 14. Minimum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin (45°). (A, B, C, E)

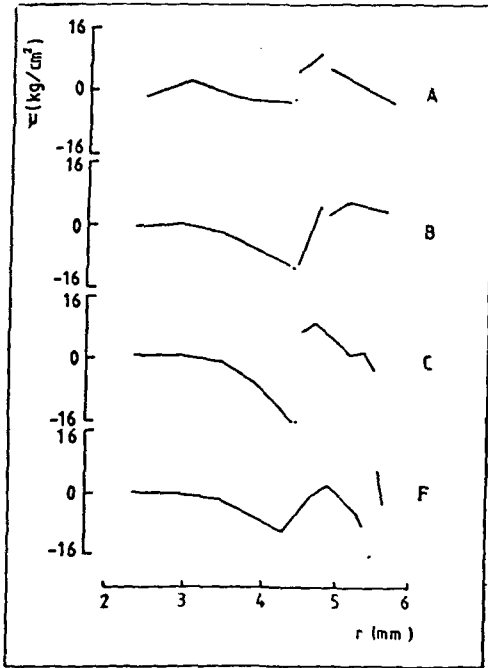


Fig. 15. Shear Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin ( $60^\circ$ ). (A, B, C, F)

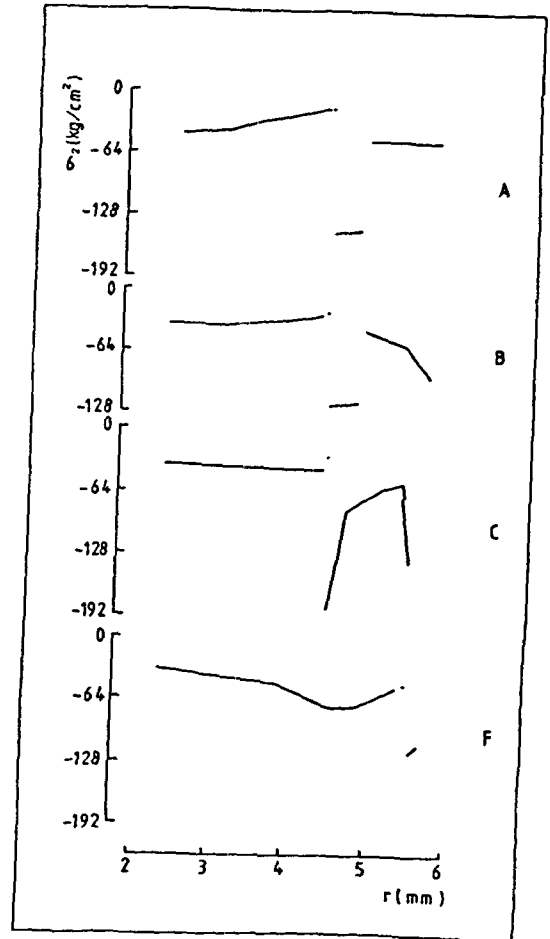


Fig. 17. Minimum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin ( $60^\circ$ ). (A, B, C, F)

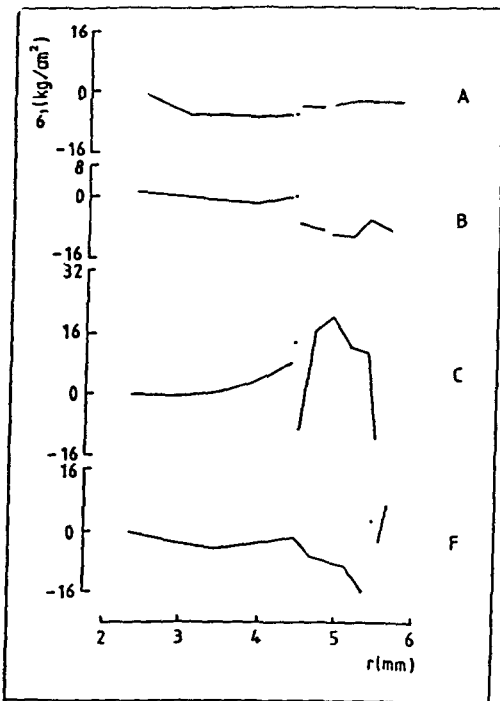


Fig. 16. Maximum Principal Stresses along Specified Lines for Shoulder & Bevel Margin ( $60^\circ$ ). (A, B, C, F)

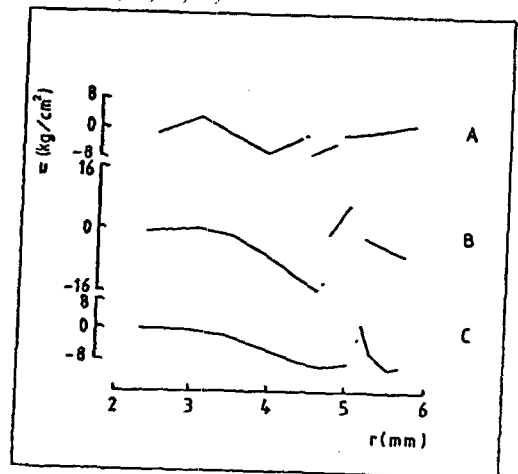


Fig. 18. Shear Stresses along Specified Lines for Chamfer Margin. (A, B, C)

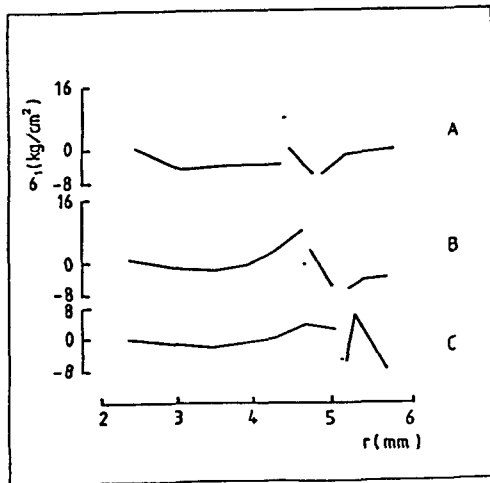


Fig. 19. Maximum Principal Stresses along Specified Lines for Chamfer Margin. (A, B, C)

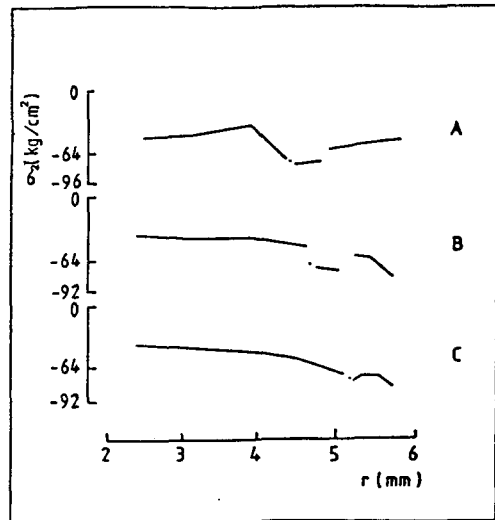


Fig. 20. Minimum Principal Stresses along Specified Lines for Chamfer Margin. (A, B, C)

Table 3. Maximum Shear and Principal Stresses in Line A.

Margin	Stress	Material			
		Dentin	Cement	Metal	Porcelain
Shoulder	Max. shear stress	-3.44	-2.96	8.24	3.72
	Max. tensile stress	0	0	0	0
	Max. compressive stress	-46.08	-21.96	-156.84	-52.28
Shoulder with a bevel (30°)	Max. shear stress	-3.48	-2.96	8.36	4.24
	Max. tensile stress	0	0	0	0
	Max. compressive stress	-45.92	-21.12	-153.04	-52.76
Shoulder with a bevel (45°)	Max. shear stress	-3.44	-2.96	8.52	4.68
	Max. tensile stress	0	0	0	0
	Max. compressive stress	-45.92	-21.36	-150.44	-53.32
Shoulder with a bevel (30°)	Max. shear stress	-3.36	-2.84	8.28	5.24
	Max. tensile stress	0	0	0	0
	Max. compressive stress	-45.40	-20.96	-147.56	-54.08
Chamfer	Max. shear stress	-6.12	-1.56	-5.80	1.84
	Max. tensile stress	0	7.72	0	0
	Max. compressive stress	-70.64	-72.52	-76.20	-62.56

(kg/cm<sup>2</sup>)

Table 4. Maximum Shear and Principal Stresses in Line B.

Margin	Stress	Material			
		Dentin	Cement	Metal	Porcelain
Shoulder	Max. shear stress	-10.40	-11.20	-9.08	2.92
	Max. tensile stress	0.80	0	0	0
	Max. compressive stress	-41.36	-26.92	-131.88	-75.92
Shoulder with a bevel (30°)	Max. shear stress	-10.64	-11.48	-9.92	3.96
	Max. tensile stress	0.84	0.44	0	0
	Max. compressive stress	-41.16	-26.84	-129.56	-84.12
Shoulder with a bevel (45°)	Max. shear stress	-10.76	-11.64	-10.40	4.76
	Max. tensile stress	0.84	0.64	0	0
	Max. compressive stress	-41.04	-26.72	-127.16	-88.96
Shoulder with a bevel (60°)	Max. shear stress	-10.80	-11.68	-10.72	5.56
	Max. tensile stress	0.84	0.68	0	0
	Max. compressive stress	-40.68	-26.44	-123.48	-93.48
Chamfer	Max. shear stress	-10.48	-12.72	7.52	-4.96
	Max. tensile stress	2.36	0	2.88	0
	Max. compressive stress	-54.24	-71.56	-77.32	-85.92

(kg/cm<sup>2</sup>)

Table 5. Maximum Shear and Principal Stresses in Line C.

Margin	Stress	Material		
		Dentin	Cement	Metal
Shoulder	Max. shear stress	-16.20	-15.88	11.32
	Max. tensile stress	7.28	12.16	15.20
	Max. compressive stress	-44.32	-30.44	-96.04
Shoulder with a bevel (30°)	Max. shear stress	-16.16	-15.84	10.80
	Max. tensile stress	0	13.04	19.88
	Max. compressive stress	-44.00	-29.92	-187.88
Shoulder with a bevel (45°)	Max. shear stress	-16.20	-15.88	9.98
	Max. tensile stress	8.60	13.52	21.16
	Max. compressive stress	-43.84	-29.68	-187.68
Shoulder with a bevel (60°)	Max. shear stress	-16.24	-15.92	8.88
	Max. tensile stress	8.96	13.88	20.88
	Max. compressive stress	-43.40	-29.28	-136.08
Chamfer	Max. shear stress	-8.36	2.40	-8.68
	Max. tensile stress	2.96	0	5.64
	Max. compressive stress	-75.08	-77.80	-84.32

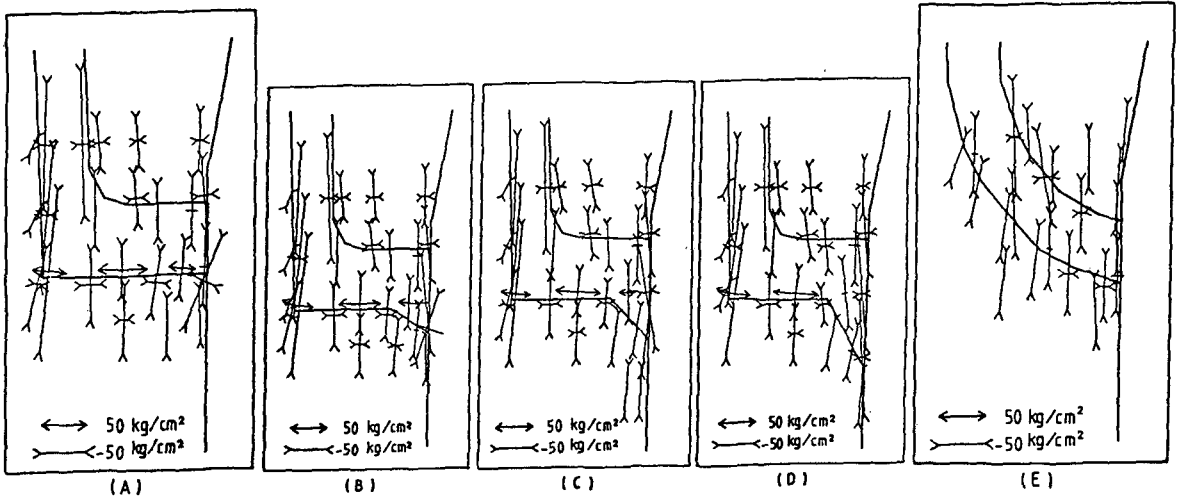


Fig. 21. Principal Stresses Distributions by Marginal Configurations.

### 5. Cement 層에서의 主應力 變化

Cement 層에서의 主應力 變化를 알아보기 위하여 咬合面側과 軸壁部에 各各 3個 그리고, 邊緣部에 2個의 應力成分을 圖示하되 壓縮과 引張을 區別하여 圖示하였으며 (Fig.22), 最外廓 邊緣部 cement 層에서의 最大 剪斷應力, 最大引張應力과 壓縮應力값을 Table 7에 나타내었다.

Shoulder 邊緣에서는 咬合面側의 cement 層에서  $-50.92 \sim -37.61 (kg/cm^2)$ 의 값을 보였고, 荷重點에서 먼 距離에 位置할 수록 應力값의 減少를 보였고, 軸壁部에서는 最上部에서  $-53.16 kg/cm^2$ 의 크기를, 中央部位에서  $-23.33 kg/cm^2$ 의 값을 보였으며, 最下部에서  $-42.43 kg/cm^2$ 의 값을 나타냄으로써 上下 尖角部位에서 增加한 反面, 中央部位에서는 減少하는 傾向을 보였다. 그리고, 邊緣部 中央部位에서의 主應力

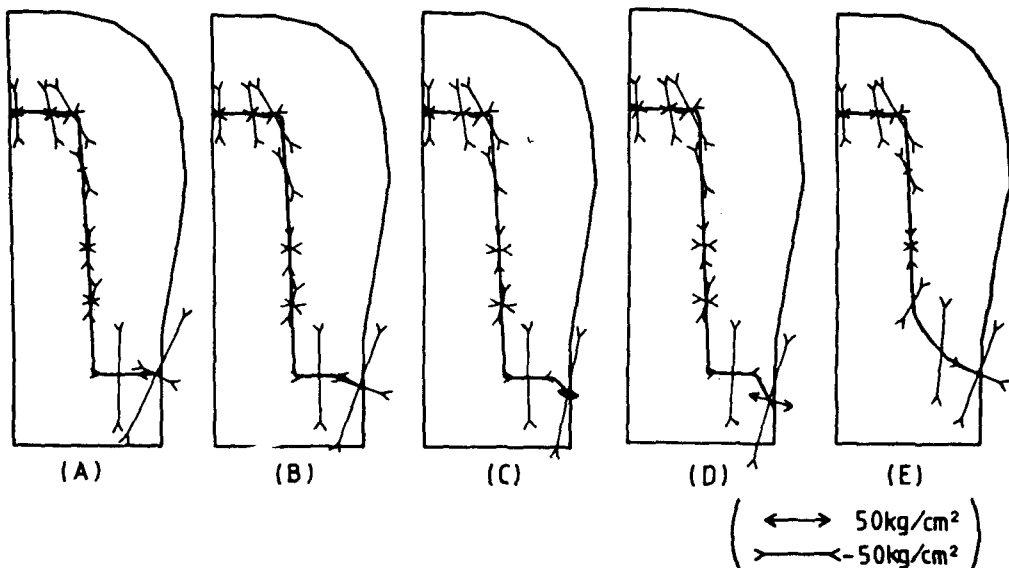


Fig. 22. Principal Stress Distributions in 5 Cement Layers.

8/11/2022

Table 6. Maximum Shear and Principal Stresses in Lines D, E, F.

Margin	Stress	Dentin	Material	
			Cement	Metal
Shoulder with a bevel (30°)	Max. shear stress	-17.52	-10.08	-34.32
	Max. tensile stress	6.44	0	36.44
	Max. compressive stress	-83.52	-66.84	-126.12
Shoulder with a bevel (45°)	Max. shear stress	-13.32	-14.24	-12.52
	Max. tensile stress	0.08	3.44	27.60
	Max. compressive stress	-79.76	-61.40	-112.68
Shoulder with a bevel (60°)	Max. shear stress	-10.08	-15.84	5.88
	Max. tensile stress	0	2.76	6.80
	Max. compressive stress	-72.88	-49.36	-118.44

(kg/cm<sup>2</sup>)

Table 7. Maximum Shear and Principal Stresses in 5 Marginal Cement Layers.

Stress	Margin				
	Shoulder margin	Shoulder with a bevel margin (30°)	Shoulder with a bevel margin (45°)	Shoulder with a bevel margin (60°)	Chamfer margin
Max. shear stress	-22.96	-13.12	-17.7	26.32	-10.7
Max. tensile stress	0	0	4.06	23.70	0
Max. compressive stress	-85.84	-83.06	-89.86	-97.47	-70.12

(kg/cm<sup>2</sup>)

은 -65.50kg/cm<sup>2</sup>의 크기를, 그리고 最外廓 邊緣部에서 -85.84kg/cm<sup>2</sup>의 값을 보였다.

Shoulder with a bevel 邊緣에서는 shoulder 邊緣과 比較할 때 咬合面側과 軸壁部에서 매우 類似한 크기와 變化樣相을 보였고, bevel 角度增加에 따라 60° bevel의 邊緣部 中央部位에서 應力成分은 -54.44kg/cm<sup>2</sup>로서 漸次 減少하였으며, 最外廓 邊緣部에서는 -97.47kg/cm<sup>2</sup>로서 增加하는 傾向을 보였으며, bevel 角度增加와 함께 最大 主應力은 壓縮에서 引張으로의 應力成分 變化를 보였다.

Chamfer 邊緣에서는 shoulder 系統 邊緣과 比較할 때 咬合面 部位와 軸壁部에서 매우 類似

한 樣相을 보였으나, 邊緣의 中央部位와 最外 邊緣部에서 各各 -88.89kg/cm<sup>2</sup>, -70.12kg/cm<sup>2</sup>의 값을 보였고, 最外廓 邊緣部에서는 shoulder 系統 邊緣보다 減少된 壓縮應力을 보였다.

#### IV. 總括 및 考按

齒牙와 齒牙周圍 組織은 軟組織과 硬組織이 共存하는 狀態이며, 여기에 補綴物이 位置할 境遇 複雜한 構造物로 變化된다. 齒牙에 加해지는 荷重의 方向과 크기는 一定하지 않으며, 荷重은 特定部位에 局限되어 加해지지 않으므로 傳達되는

樣相도 齒牙의 한 斷面을 통해서 傳達되지 않을 것이다. 有限要素法은 修復된 齒牙와 같은 復合素材로 構成된 構造物의 應力分析에 有利하며, 컴퓨터의 發達과 함께 여러 方面의 프로그램이 開發되고 있으며, 構造解釋 以外에도 連續體力學(彈塑性體, 粘彈性體, 熱 및 流體)의 數值解釋法으로 使用되고 있다<sup>15,16,17</sup>.

臼齒部에서의 biting force는 約 45~68kg이며 咀嚼習慣, 人種, 年齡, 飲食, 顏貌에 따라서 變化될 수 있으며<sup>28,29,30</sup>, 繼續加工義齒, 局部義齒, 總義齒의 境遇에는 自然齒에서의 biting force에 비해 減少된 크기를 보이지만, 本研究에서는 下顎 第1大白齒에 單純 陶材前裝鑄冠을 適用하였으므로 本研究에서 利用한 有限要素模型에는 50kg을 加하였다.

有限要素模型에 使用된 要素의 數는 shoulder系統 邊緣에서 269個로서 材料에 따라 應力の 集中이 豫想되는 部位는 要素를 細分하였는데, Farah<sup>5</sup>는 模型을 過度하게 많은 要素로 分割하여도 一定 갯수를 超過하면 結果에 있어 거의 差異를 보이지 않는다고 하였다. 本有限要素模型은 齒髓를 包含하고 있지 않으며, Rubin<sup>21</sup>은 材料의 彈性係數와 關聯하여 齒髓는 거의 荷重에 對抗하지 못하는 것으로 생각하여 結果에 있어 거의 差異를 보이지 않는다고 하였고, Farah<sup>5</sup>는 齒髓를 包含시킨 境遇 輕微한 應力값의 增加를 얻었다고 하였다.

全 模型에 圖示된 應力은 主應力 成分으로서, 垂直荷重의 크기와 方向을 考慮할 때 壓縮應力の 發生으로 因한 各 材料들의 破切은 豫想되지 않는 反面, 齒冠部 金屬 尖角部の 陶材內에서의 引張應力은 金屬의 形態와 不充分한 支持에 起因한 發生으로 생각되며, 理想화된 本研究模型에서는 齒冠部 陶材破切의 好發部位로 생각된다.

Craig<sup>6</sup> 등은 咬合面側 金屬形態에서 咬頭的 充分한 削除로 金冠咬頭部位의 金屬 두께를 賦與함으로써 咬頭尖角部位에서의 應力集中을 減少시킬 수 있으며, 咬合面上的 窩와 溝의 깊이를 減少시킴으로써 陶材破切의 直接의 原因이 되는 引

張應力の 發生을 防止할 수 있다고 하였다.

本研究模型의 咬合面側 金屬部位는 荷重點과 近接한 位置에 있으나 軸壁部 金屬과 比較할 때 顯著한 壓縮應力の 差異를 보이고 있으며, 이는 咬合面側 金屬이 垂直荷重을 吸收, 分散하여 下方 齒質에서 減少된 應力이 發生하였으나, 軸壁部 金屬은 垂直荷重을 단지 邊緣側으로 전달시켜 주는 機能을 가진 것으로 생각된다. 邊緣部 陶材內에서의 應力은 荷重點과 隣接한 部位를 除外한다면 다른 部位보다 增加된 樣相을 보였고, shoulder의 幅이 減少하거나 feather邊緣形態일 境遇 應力の 集中을 豫想할 수 있으며 그에 따른 陶材의 破切 可能性은 增加할 것이다.

邊緣部 主應力 分布에서는 shoulder系統 邊緣에서 邊緣部 金屬의 外形이 垂直荷重에 대해서 陶材를 支持하기 좋은 形態로 되어있으므로, 邊緣部 陶材에서 陶材의 物理的 性質을 滿足시켜 주는 壓縮應力을 觀察할 수 있었다.

Chamfer 邊緣에서 역시 shoulder系統 邊緣과 類似한 크기의 應力이 發生하고 있는데 이는 本研究 模型中 chamfer의 幅을 shoulder幅과 同一하게 設計했기 때문으로 생각된다. 陶材에 대한 金屬의 良好한 支持形態를 얻기 爲해서는 金屬이 水直壓에의 抵抗이 좋은 形態를 가져야 되며, 陶材와 金屬이 butt joint로 結合되면 有利하다. shoulder系統 邊緣은 axiogingival line angle과 같은 尖角을 가지고 있기 때문에 이로 因한 應力集中을 보였고, Craig<sup>4</sup>는 shoulder邊緣形態에서 axiogingival line angle을 둥글게 形成할 境遇 應力の 集中을 1/2程度 減少시킬 수 있다고 했다. Chamfer 邊緣部の 金屬에서는 shoulder系統 邊緣과 比較할 때 顯著한 應力값의 減少를 보였고, 邊緣部の 陶材와 象牙質의 應力이 큰 差異를 보이지 않음으로써 均一한 應力分散을 얻을 수 있는 邊緣으로 생각되며, 이는 Farah<sup>5</sup>의 研究와 一致하고 있다. 그러나, Shillingburg<sup>10</sup>, Faucher<sup>11</sup>는 陶材前裝鑄冠 燒成 後 邊緣의 變形이 shoulder系統 邊緣보다 chamfer邊緣에서 增加했다

고 했으며, 燒成時 陶材의 收縮에 의한 變形을 考慮한다면 邊緣部 金屬의 두께를 增加시킬 수 있는 邊緣形態를 생각해야 될 것이다.

Shoulder 系統 邊緣의 軸壁部에서 顯著한 壓縮應力의 增加는 金屬의 높은 彈性係數와 軸壁의 垂直荷重에 對한 非抵抗 形態에 起因한 것으로 생각되고, 이러한 樣相은 모두 軸壁部에서 나타났으며, 尖角部位에 隣接한 上下部의 軸壁部에서 增加하는 傾向을 보였다.

邊緣下方의 象牙質에서의 應力分布는 Farah의 研究<sup>5)</sup>에서와 같이 注目할 程度의 差異를 보이지 않았다. Shoulder 系統 邊緣에서는 axiokingival line angle 下方에서 多少의 增加가 있었고, bevel 角度增加에 따라 bevel 尖角部의 下方 象牙質에서도 역시 增加하는 傾向을 보였으며, chamfer 邊緣에서는 블록한 金屬의 形態로 因해서 注目할만한 應力增加는 보이지 않았다.

咬合面側의 cement 層은 上部 金屬과 類似한 應力 크기와 方向을 보이고 있는데, 두 材料의 類似한 彈性係數를 考慮해볼 때 이 現狀은 咬合面側에서 金屬과 cement 層을 單一 材料로 생각할 수 있으며, 咬合面側 金屬의 機能을 cement 層에서도 發揮할 수 있을 것으로 생각된다<sup>31)</sup>.

한편 軸壁部의 cement 層은 金屬과 顯著한 壓縮應力의 差異를 보이고 있으며, 이는 cement 層과 金屬間의 壓縮程度의 差異에 따라서 cement 層 破切을 促進시킬 수 있을 것으로 생각되며, 齒冠部 金屬尖角部位와 axiokingival line angle 部位에서보다 큰 幅의 差異를 보임으로써 軸壁의 中央部位보다는 上·下端 軸壁部에서의 破切이 好發될 수 있다고 생각된다.

軸壁部 下端의 cement 層과 金屬에서 發生한 剪斷應力은 두 材料의 占有面積과 彈成係數를 考慮할 때, 相互 逆方向을 보이는 部位에는 cement 層의 龜裂을 促進할 수 있을 것으로 생각된다.

Cement 層만의 應力 크기를 볼 때는 axiokingival line angle 部位의 cement 層을 除外

한다면 邊緣部에서 가장 높은 增加를 보였고, 특히 bevel 角度增加에 따라서 壓縮成分이 引張成分으로 變化되는 것에 注目해야 되며 邊緣의 適合만을 위한 過度한 bevel 의 角度增加는 오히려 cement 層의 機能喪失을 惹起할 수 있으며 反復燒成時 bevel 의 不充分한 金屬의 두께로 因한 邊緣의 變形도 考慮해야 할 것이다<sup>10,11)</sup>. 더우기 邊緣部位에서는 唾液에 對한 cement 의 溶解가 常存하고 있는 것과 關聯해 볼 때 邊緣部 cement 層의 機能維持는 邊緣의 適合도와 邊緣形態에 따른 주된 應力의 發生을 同時에 考慮해야 될 것으로 思料된다.

## V. 結 論

臼齒部 陶材前裝鑄造冠의 邊緣部位에 發生하는 應力의 크기와 分散을 研究하기 위해서 下顎 第1大白齒에 5種類의 邊緣形態를 選擇하여, 有限要素模型을 設計하였고, 各 模型에는 金屬의 支持를 받는 軸壁上의 陶材 部位에 50kg의 荷重을 咬合面에 垂直으로 加하였다. 邊緣形態에 따른 齒牙의 變位와 應力의 크기 및 分布를 把握하기 위해서 有限要素法을 適用한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 金屬의 支持가 不充分한 齒冠部 line angle 部位의 陶材에서 높은 引張 應力을 보였다.
2. 邊緣部 金屬外型이 垂直荷重에 對하여 陶材를 支持하는 形態일 境遇 邊緣部 陶材에서 均一한 크기의 壓縮應力이 發生하였다.
3. Shoulder with a bevel 系統 邊緣의 邊緣部 金屬下緣에서 發生한 引張應力은 bevel 部位로 移行됨에 따라 減少하였다.
4. Chamfer 邊緣의 邊緣部 金屬部位의 主應力은 shoulder 系統 邊緣에 比해서 減少하였다.
5. Shoulder 系統 邊緣의 境遇 軸壁部 金屬과 隣接 cement 層間에 顯著한 壓縮應力의 差異를 보였다.
6. 邊緣部 cement 層에서의 主應力은 咬合面과 軸壁部 cement 層에 比해서 높게 나타났다.



## REFERENCES

1. Yettram, A.L., Wright, K.W.J., and Pickard, H.M.: Finite element stress analysis of the crowns of normal and restored teeth. *J. Dent. Res.* 55: 1004, 1976.
2. Pascoe, D.F.: An evaluation of the marginal adaptation of extracoronary restorations during cementation. *J. Pros. Dent.* 49: 657, 1983.
3. Ishikiriama, A., Oliveira, J., Vieira, D.F., and Mondelli, J.: Influence of some factors on the fit of cemented crowns. *J. Pros. Dent.* 45: 400, 1981.
4. 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. Pros. Dent.* 22: 333, 1969.
5. Farah, J.W., Craig, R.G.: Finite element stress analysis of a restored axisymmetric first molar. *J. Pros. Dent.* 53: 859, 1974.
6. El-Ebrashi, M.K., Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of dental restorations. Part II. Two-dimensional photoelastic stress analysis of crowns. *J. Pros. Dent.* 17: 292, 1967.
7. 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. Pros. Dent.* 22: 663, 1969.
8. Pascoe, D.F.: Analysis of the geometry of finishing lines for full restoration. *J. Pros. Dent.* 40: 157, 1978.
9. Gavelis, J.R., Morency, J.D., Riley, E.D., and Sozio, R.B.: The effect of various finish line preparations on the marginal seal and occlusal seat of full crown preparation. *J. Pros. Dent.* 45: 138, 1981.
10. Shillingburg, H.T., Hobo, S. and Fisher, D.W.: Preparation design and margin distortion in porcelain-fused-to-metal restorations. *J. Pros. Dent.* 29: 276, 1973.
11. Faucher, R.R., Nicholl, J.I.: Distortion related to margin design in porcelain-fused-to-metal restorations. *J. Pros. Dent.* 43: 149, 1980.
12. Tillitson, E.W., Craig, R.G., Farah, J.W., Peyton, F.A.: Experimental stress analysis of dental restorations. Part VIII. Surface strains on gold and chromium fixed partial dentures, *J. Pros. Dent.* 24: 174, 1970.
13. Pryputniewicz, R.J., Burstone, C.J. and Bowley, W.W.: Determination of arbitrary tooth displacement. *J. Dent. Res.* 57: 663, 1978.
14. Craig, R.G., and Peyton, F.A.: Measurement of stresses in fixed bridge restorations using a brittle coating technique. *J. Dent. Res.* 44: 756, 1965.
15. Zienkiewicz, D.C.: *The Finite Element Method*, 3rd., McGraw-Hill, 1977.
16. Chandrakant S. Desai, and John F. Abel.: *Introduction to the Finite Element Method*. Van Nostrand Reinhold Company, 1972.
17. 任尚典, 郭柄晚, 李柱成: 有限要素法 入門 東明社, 1985.
18. DeHoff, P.H. and Anusavice, K.J.: Effect of metal design on marginal distortion of metal-ceramic crowns. *J. Dent. Res.* 63: 1327, 1984.
19. Farah, J.W., and Craig, R.G.: Distribution of stress in porcelain-fused-to-metal and porcelain jacket crowns. *J. Dent. Res.* 54: 255, 1975.
20. Wright, K.W.J., Yettram, A.L.: Reactive force distributions for teeth when loaded singly and when used as fixed partial denture abutments. *J. Pros. Dent.* 42: 411, 1979.
21. Rubin, C., Kishanamurthy, N., Capilouto, E. and Yi, H.: Stress analysis of the human tooth using a three-dimensional finite element model. *J. Dent. Res.* 62: 82, 1983.
22. de Vree, J.H.P., Spierings, Th. A.M. and Plasschaert, A.J.M.: A simulation model for transient thermal analysis of restored teeth. *J. Dent. Res.* 62: 756, 1983.
23. Wheeler, R.C.: *An Atlas of Tooth Form*, Philadelphia: W.B. Saunders Co., 1969.
24. Mclean, J.W.: *The Science and Art of Dental Ceramics*, Vol. I. The Nature of Dental Ceramics and their clinical Use. Quintessence Co., 1979.
25. Mclean, J.W.: *The Science and Art of Dental Ceramics*, Vol. II. Bridge Design and

- Laboratory Procedures in Dental Ceramics. Quintessence Co., 1980.
26. Johnston's: Modern Practice in Fixed Prosthodontics. 6th ed. W.B. Saunders Co., 1986.
  27. 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. Pros. Dent.* 22: 346, 1969.
  28. Ramfjord, S.P., and Ash, M.M.: Occlusion. 3rd ed. Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1983.
  29. Craig, R.G.: Restorative Dental Materials. 7th ed. St. Louis, C.V. Mosby Co., 1985.
  30. Proffit, W.R., Fields, H.W., Nixon, W.L.: Occlusal forces in normaland long-face adults. *J. Dent. Res.* 62: 566, 1983.
  31. 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. Pros. Dent.* 25: 307, 1971.

— Abstract —

## **Stress Analysis of Posterior Porcelain-Fused-to-Metal Crown by Marginal Configurations**

**Kwang Seok Kim, D.D.S., Kwang Yup Song, D.D.S., M.S.D.**

**Charn Woon Park, D.D.S., Ph.D.**

*Dept. of Prosthodontics, School of Dentistry, Chon Buk National University*

To study the mechanical behaviors of the margins of porcelain-fused-to-metal crown on the posterior teeth, 5 types of margins on the lower first molar were chosen, and then the finite element models were constructed. 50kg forces were applied to the porcelain on the axial wall supported by the metal vertically.

The displacements and stresses of the porcelain-fused-to-metal crown were analyzed to investigate the influence of the type of margins.

The results were as follows;

1. High tensile stresses were exhibited on the porcelain of the portion of the coronal line angle insufficient metallic support.
2. In case metal coping had a good supporting form to vertical force, uniform compressive stresses were exhibited on their supporting form.
3. Tensile stresses in the inframetallic margin on the series of the shoulder with a bevel margins were decreased in the bevel portion.
4. Principal stresses on the metal of the chamfer marginal portion were decreased comparing with the series of the shoulder margins.
5. The noticeable compressive stress gradients were exhibited between axial cement layer and metal on the series of the shoulder margins.
6. The principal stresses on the marginal cement layer were higher than that of the occlusal surface and axial wall.