

## 구상형 실리카 필러가 실험적 복합레진의 물성에 미치는 효과

강승훈 · 박상진 · 민병순 · 최호영 · 최기운

경희대학교 치과대학 치과보존학교실

### ABSTRACT

### EFFECT OF SPHERICAL SILICA FILLER ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF EXPERIMENTAL COMPOSITES

Seung-Hoon Kang, Sang-Jin Park, Byung-Soon Min, Ho-Young Choi, Gi-Woon Choi

*Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Kyung-Hee University*

The purpose of this study was to investigate the physical properties of experimental composite resins made with the spherical and crushed fillers. The 14 experimental composite resins containing 0, 5, 10, 15, 20 and 25%(w/w) in spherical filler group and 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70%(w/w) in crushed filler group, incorporated in a Bis-GMA matrix (Aldrich Co., USA), were made with 1%  $\gamma$ -methoxy silane treated fillers. The polymer matrix was made by dissolving 0.7 %(w/w) of benzoyl peroxide(Janssen Chemical Co. Japan) in methacrylate monomer, whereupon 0.7%(v/v) N,N-dimethyl-p-toluidine(Tokyo Kasei Co. Japan) was added to the monomer. The weight percentage of each specific particle size distribution could be determined from a knowledge of the specific gravity, the weight(w/w), and corresponding volume %(v/v) of the filler sample in resin monomer. In crushed silica group and spherical silica group, the diametral tensile strengths and compressive strengths were measured with Instron Testing Machine(No.4467), and analyzed in 14 experimental composite resins made by filler fractions.

The shear bond strength of 14 experimental composite resins to bovine enamel was measured with universal testing machine(Instron No.4467).

The fracture surfaces were sputter-coated with a gold film and investigated by SEM.

The results were as follows:

1. The diametral tensile strength was tendency to increase in crushed silica group, but not in spherical silica group. The highest diametral tensile strength was found in 20% filler fractions of two groups.
2. The compressive strength was higher in 15%(w/w) and 20%(w/w) in spherical silica group than in crushed silica group, but not in spherical silica group.
3. The significant correlation was noticed in increase in shear bond strength in crushed silica group, but not in spherical silica group.
4. The significantly highest shear bond strength was noticed in 50% filler concentration in crushed silica group, and in 15% filler concentration in spherical silica group, it was not significant in relation.
5. In crushed silica group, cut surface of resin matrix and the interface between resin and filler is obvious. In spherical silica group, fractures that occurred through the filler particles were round in shape.

## I. 서 론

복합레진의 기본 조성은 레진기질, 필러 및 필러를 레진 기질과 결합을 유지시키는 결합제로 구성되며 이들은 중합 개시제 또는 중합촉진제에 의하여 중합 경화되어 치과수복재로 임상에 이용되고 있다. 복합레진의 레진기질은 Bowen<sup>1)</sup>이 개발한 epoxy 수지계통의 Bisphenol A와 Glycidyl methacrylate로 합성된 공중합체(comonomer)를 사용하면서 물리적 성질이 크게 향상되었다.

필러는 복합레진의 물리적 성질을 좌우하는 중요한 요소로서 복합레진의 기질을 강화시키는 역할을 한다. 그러나 레진 기질에 필러의 첨가방법은 복잡하고 많은 문제점을 야기시킨다. 복합레진에 사용되는 필러는 연삭 또는 침전방법으로 제작되며 필러입자의 크기, 분포, 형태, 입자 표면의 상태, 화학적 조성, 투명성 및 방사선 조영성 등에 따라 복합레진의 특성이 좌우된다<sup>1-14)</sup>.

연삭방법에 의한 필러입자의 크기는 0.2μm 미세입자로부터 100μm 이상의 커다란 입자로 구성되며 침전방법에 의한 제작으로는 20nm에서 40nm의 다양한 입자 크기로서 공급되고 있으며 입자의 분포, 형태 및 표면 특성에 따라 분쇄형 필러 배합 복합레진과 구상형 필러 배합 복합레진으로 분류하고 있다. 특히 입자의 분포는 필러의 배합율을 결정하며 거칠고 커다란 입자는 필러의 최대배합을 방해하여 레진 기질내에서 기포 및 구조적인 결함이 나타나게 된다. 입자의 배합을 최대한으로 증가시키기 위하여 입자의 기하학적인 형태가 중요하다. 따라서 다양한 필러 입자크기를 지닌 복합레진은 입자의 레진 기질내의 배합율을 증가시켜 물성을 향상시킬 수 있다<sup>15-17)</sup>.

최근 심미성 수복재의 대부분을 차지하고 임상에서 널리 사용되는 복합레진은 장기간 구강내의 환경에 노출되어 교모, 습도, 착색 및 교합압 등의 요인으로 수복물 표면의 마모와 변색 및 수복물 자체의 파괴가 발생될 수 있다. 따라서 이상과 같은 영향으로부터 복합레진의 파괴를 방지하고 구강내에서 장기간 유지되도록 하기 위하여 복합레진의 물성을 향상시킬 필요가 있다. 이에 복합레진의 물리적 성질을 개선시키기 위하여 수많은 기초적 연구<sup>1-14)</sup>가 진행된 결과 경도, 인장강도 및 압축강도의 부분에서는 레진 기질성분은 Bis-GMA에 기초를 둔 공중합체를 도입하여 상당 부분 해결되었으나 전치부는 물론 구치부에까지도 적용범위를 광범위하게 사용하기 위하여 아직도 개선될 여지가 많다.

즉 복합레진이 구치부에 사용될 경우, 취성재료(brITTLE material) 자체가 지닌 자체 물성이 취약하여 강력한 하중이 가해지는 부위에는 파괴를 야기시킬 가능성이 높아 사용이 극도로 제한되고 있다<sup>18-22)</sup>. 더욱이 금속재료에 비교하여 전연성 및 표면 연마성이 열악하여 이에 대한 적절한 물리적 성질을 향상시키는 방법이 함께 요구되고 있는 실정이

다. 특히 복합레진 수복 후 혼히 지적되는 변연부 및 체부파괴는 통상 수복물 내부의 결합으로 지적되고 있다. 즉 응력이 이 부위에 집중되면 결합부분에서 파괴에 대한 저항성이 낮아 파괴가 발생될 수 있다. 따라서 파괴저항성을 증가시키기 위하여 수복물이 지니게 될 물리적 성질을 강화시키는 방법이 요구되고 있다.

이 중 물성을 강화시키고 파괴저항성을 향상시키기 위한 직접적인 방법으로 레진 기질에 필러의 함량을 증가시키는 방법이나 레진 기질과 필러간의 계면에서 필러의 결합을 강화시키는 방법 등이 시도되어 왔다<sup>23-29)</sup>. Chung 과 Greener<sup>30)</sup>도 구치부용 복합레진에서 필러의 함량과 간접인장강도와의 긴밀한 상관관계를 보고하였으며, Johnson 등<sup>17)</sup>은 필러의 함량을 77-84%로 증가시 간접인장강도가 42.1-49.1MPa로 증가되었음을 보고한 바 있다.

한편 필러의 형태와 필러의 표면처리 방법은 또 하나의 복합레진의 성질을 좌우하는 요인으로서 Miyasaka<sup>31)</sup>도 필러의 형태와 필러의 표면처리에 따른 복합레진의 기계적 성질이 변화되었음을 보고하였다. Jaarda 등<sup>32)</sup>도 필러의 함량과 복합레진의 마모저항성의 관계를 확인하였다. 그러나 이들 필러는 대부분 무기질의 silica입자를 연삭 제작하여 레진 기질내에 혼합하여 사용하는 분쇄형 필러로서 기하학적인 형태로 인하여 레진 기질내의 기포를 발생시킬 위험성이 증가하여 복합레진의 물리적 성질을 약화시킬 수 있다. 따라서 보다 임상에서 편리하게 사용되고 물성이 안정되고 표면 연마성이 뛰어나 심미성이 향상된 구상형 필러의 사용이 요구되고 있다.

구상형 필러가 배합된 복합레진에 대한 연구에서, Kim 등<sup>33)</sup>은 구상형 필러를 사용할 때, 필러의 함량을 0, 20, 40, 60 및 70%로 변화시키면 필러의 함량 증가에 따라 굴곡강도와 파괴저항성이 향상되는 양상을 관찰 보고하였으나, 국내에서는 구상형 필러를 이용한 복합레진의 각종 특성에 관한 연구는 보고된 바 없다. 이에 본 연구는 분쇄형 실리카필러와 구상형 실리카필러를 Bis-GMA기질에 혼합하여 실험적으로 복합레진을 제조한 후, 필러의 배합율, 간접인장강도, 압축강도 및 법랑질과의 전단결합강도 등을 측정비교함으로서 구상형 필러의 복합레진에서 물리적 성질의 변화를 분석 평가하기 위하여 계획되었다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

필러첨가에 의한 효과를 관찰하기 위하여 두 종류의 필러를 다양한 배합비로 첨가한 14종의 복합레진을 실험실에서 제조하여 본 실험에 사용하였다.

레진기질은 복합레진에 널리 사용되는 Bisphenol A gly-



Fig. 1. Powders of crushed silica( $\times 1500$ ).

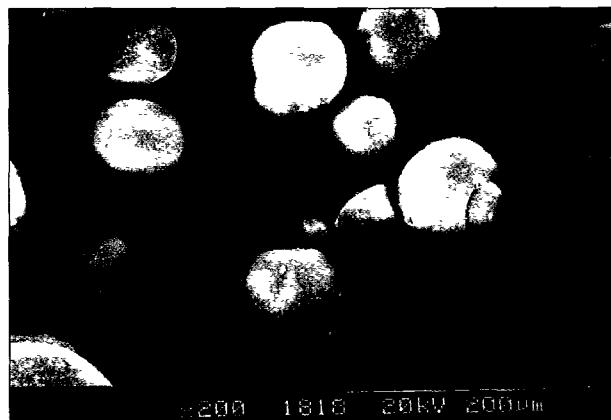


Fig. 2. Powders of spherical silica( $\times 200$ ).

cidyl methacrylate (Aldrich Co., USA) 단량체를 이용하였고, Bis-GMA의 화학중합을 위하여 반응촉진제로 N,N-dimethyl-p-toluidine (동경화성공업주식회사, 일본)을 이용하였으며, 반응개시제로 benzoyl peroxide (Janssen Chemical Co.)를 사용하였다. 반응촉진제와 반응개시제의 함량은 각각 0.7%로 하였고 이때 실험적으로 제조된 화학 중합형 복합레진의 경화시간은 3분이었다. 반응지연제는 첨가하지 않았고, 실온에서 보관가능기간은 2개월 이상이었다.

분쇄형 필러는 crushed silica(Junsei Chemical Co., Ltd., Japan)를 사용하였고, 구상형 필러는 spherical silica(Shinyo Pure Chemicals Co., Ltd., Japan)를 사용하였다. 실험에 사용된 두 가지 필러의 입자형태는 Fig. 1 그리고 Fig. 2와 같다.

1%  $\gamma$ -methoxy silane 용액에 필러입자를 침지시켜 필러의 실리카입자 표면을 실란(silane)처리하였고, 실란처리 후 60°C에서 용액을 증발시켜 필러를 분쇄하여 실험에 사용하였다.

각 실험은 2개의 검은 색 용기를 마련하여 A 용기에는 반응촉진제인 amine을 보관하고 B 용기에는 반응개시제인 BPO로 구분하여 준비 후, 실험시에는 각각 5 gram의 복합레진을 제조하여 실온에 보관 후 실험에 사용하였다.

분쇄형 실리카 필러 입자의 순비중은 2.4495인 반면, 1cc 용기에 분말을 채울 경우 겉보기 비중은 0.7989이었다. 그러나 구상형 실리카 필러 입자는 순비중이 1.8739이지만 겉보기 비중은 0.2932에 지나지 않았다. Bis-GMA의 비중은 1.1이었다.

따라서 분쇄형 실리카 필러는 입자사이에 공간비율이 67%(w/w)이고 구상형 실리카 필러는 입자사이의 공간비율이 84%(w/w)이다. 이 공간에 Bis-GMA 가 아닌 비중 1.0의 물을 주입한다고 가정한다면, 본 실험에서 사용된 분쇄형 실리카 필러의 이론적 최대배합가능비율은 54.3%

(w/w)이고, 구상형 실리카 필러의 이론적 최대배합가능비율은 25.7%(w/w)로 구상형 실리카 필러의 배합비율이 작게된다. 물론 필러입자크기의 분포를 넓게 하면 최대배합가능비율을 증가시킬 수 있다.

비중 측정값을 이용하여 무게비(w/w)를 부피비율(v/v)로 환산한 것을 Table 2에 요약하였다.

분쇄형 실리카에서 필러의 부피최대비율은 C-70군의 28.6%(v/v)이고, 구상형실리카군에서 필러의 최대비율은 S-25군의 13.3%(v/v)이다. C-10군과 S-10군을 비교하면 각각 부피비율로 4.1%(v/v)와 5.3%(v/v)로 S-10군의 필러부피가 다소 많으며, C-20군과 S-20군은 각각 8.2%(v/v)와 10.7%(v/v)로 역시 구상형실리카군의 필러의 배합부피비율이 다소 많음을 알 수 있다.

## 2. 실험방법

### 1) 실험군의 분류 :

본 실험에 사용된 필러의 형태에 따라 분쇄형 실리카와 구상형실리카군으로 나누어 실험을 실시하였으며 Bis-GMA 기질에 대한 필러의 배합비율은 무게비(w/w)를 이용하였다. 예비실험 결과 분쇄형 필러는 무게비로 70%(w/w)까지 배합이 가능하였고, 구상형 필러는 25%(w/w)까지 배합이 가능하였다.

분쇄형 필러를 배합한 복합레진은 필러배합비율을 0%부터 70%까지 10%씩 증가되도록 제조하여 8개의 실험소군으로 분류하였고, 구상형 필러를 배합한 복합레진은 필러배합비율을 0%부터 25%까지 5%씩 증가되도록 하여 6개의 실험소군으로 분류하여 실험을 실시하였다. 실험군수는 분쇄형실리카군의 복합레진이 8개소군, 구상형실리카군의 복합레진이 6개소군으로 모두 14개소군이었고, 이를 Table 1에 요약하였다.

분쇄형실리카군에서 필러의 최대배합가능비율이 C-70군

Table 1. Experimental Composite Resins classified by filler concentration(w/w)

|                | Filler Content | 0 %  | 10 % | 20 % | 30 % | 40 % | 50 % | 60 % | 70 % |
|----------------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                |                | Code | C-0  | C-10 | C-20 | C-30 | C-40 | C-50 | C-60 |
| Crushed Silica | Filler Content | 0 %  | 5 %  | 10 % | 15 % | 20 % | 25 % | -    | -    |
|                | Code           | S-0  | S-5  | S-10 | S-15 | S-20 | S-25 | -    | -    |

\* Weight ratio

Table 2. Converted Volumetric Ratio of Fillers in Experimental Composite Resins

|                  | Code         | C-0 | C-10  | C-20  | C-30   | C-40   | C-50   | C-60   | C-70   |
|------------------|--------------|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                  | Volume Ratio | 0 % | 4.1 % | 8.2 % | 12.2 % | 16.3 % | 20.4 % | 24.5 % | 28.6 % |
| Spherical Silica | Code         | S-0 | S-5   | S-10  | S-15   | S-20   | S-25   | -      | -      |
|                  | Volume Ratio | 0 % | 2.7 % | 5.3 % | 8.0 %  | 10.7 % | 13.3 % |        |        |

의 70%(w/w)인 반면, 구상형실리카군의 필러의 배합율이 S-25군에서 25%(w/w)인 것은 분쇄형 실리카 필러의 입자크기 분포는 다양한 반면, 구상형 실리카 필러입자는 구상형으로서 기하학적으로 일정한 크기를 지녀 구상형필러 입자사이에 공간이 형성되어 배합율이 작아지게 되기 때문이다.

## 2) 간접인장강도

내경 6mm, 높이 3mm의 몰드를 유리판에 위치시키고 실험적으로 제조된 14종의 복합레진을 혼합하여 주입한 후 다른 유리판을 덮고 수지압으로 눌러 경화시켰다. 10분이 경과한 후  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  수조에 침지시켜 24시간을 보관하여 간접인장강도 측정용 시편을 제작하였다.

제작된 시편을 수조로부터 꺼내어 만능시험기에 위치시키고 분당 1mm의 하중속도로 시편이 파괴될 때까지 곡선을 얻은 후 최대하중을 시편의 파괴하중으로 하였다. 이때 load cell은 300kg의 것을 이용하였고, 다음 공식을 이용하여 파괴하중으로부터 간접인장강도를 구하였다.

$$\text{DTS} = 2P / \pi dL$$

DTS = Diametral tensile strength

P = Break force

d = Diameter

L = Length

## 3) 압축강도

내경 3.5mm, 높이 7mm의 원기둥 형태를 가진 몰드에 복합레진을 혼합하여 주입한 후 다른 유리판을 덮고 수지압으로 눌러 경화시켰다. 10분이 경과한 후  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  수조에 침지시켜 24시간을 보관하여 압축강도 측정용 시편을 제작하였다.

제작된 압축강도 측정용 시편을 수조로부터 꺼내어 만능시험기에 위치시키고 분당 1mm의 하중속도로 시편이 파괴될 때까지 곡선을 얻은 후 최대하중을 시편의 파괴하중으로 하였다. 이때 load cell은 300kg의 것을 이용하였고, 다음 공식을 이용하여 파괴하중으로부터 압축강도를 구하였다.

$$\text{CS} = 4P / \pi d^2$$

CS = Compressive strength

P = Break force

d = Diameter

## 4) 전단결합강도

소의 하악중절치를 편착면으로 이용하였다. 내경 2.5cm 깊이 2.0cm의 몰드 정중앙에 치아의 순면을 위치시킨 후 에폭시레진을 주입하여 경화시켰다.

에폭시레진내에 포매된 법랑질을 경조직 연마기에서 연마하여 직경 3mm 이상의 법랑질 평활면이 노출되도록 하였다. 법랑질면은 최종적으로 600번 SiC로 거칠기를 부여하였고, 37% 인산 수용액으로 1분간 산부식한 후 수세 및 건조하였다.

노출된 법랑질 표면에 내경 3mm, 두께 1mm의 금속몰드를 부착하고 각 14개의 실험소군의 복합레진을 충전하여 10분간 실온에서 경화시킨 후  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  항온수조에 침지시켜 24시간 보관하여 전단결합강도 측정용 시편을 제작하였다. 전단결합강도의 측정은 법랑질 접착면에 일치하는 방향으로 하중을 가하여 시편이 법랑질로부터 분리될 때의 최대하중을 구하였다. 각각의 14개 실험소군에서 측정된 최대하중의 평균과 편차를 구하여 전단결합강도로 정하였다.

### III. 실험성적

#### 1. 간접인장강도

14개 실험소군의 복합레진의 간접인장강도는 Table 3과 같다.

필러를 배합하지 않은 분쇄형실리카군 즉 C-0군의 복합레진의 간접인장강도는 9.27MPa였으나, 필러를 10%배합한 C-10군의 간접인장강도가 11.3MPa였고, 20%의 배합비율인 C-20군에서는 18.5MPa였으며, C-30군의 30%에서는 15.9 MPa, 40%에서는 28.7MPa였다. 50%에서는 26.1 MPa, 60%에서는 29.8MPa였으며, 70%에서는 32.9MPa였다.

구상형실리카군에서는 필러의 배합비율이 5%, 10%, 15%, 20%, 25%로 증가됨에 따라 32.2MPa, 23.9MPa, 26.5MPa, 37.8MPa 그리고 30.5MPa의 간접인장강도를 보였다.

Fig. 3은 측정된 간접인장강도를 비교한 것이다. 분쇄형 실리카군에서는 필러함량의 증가에 따른 간접인장강도의 증가 양상이 일정한도로 관찰되고 있으나, 구상형실리카군에서는 필러함량의 증가에 따른 간접인장강도의 변화가 불규칙하게 나타나고 있다.

분쇄형실리카군에서 가장 높은 간접인장강도를 보인 실험소군은 필러함량 70%인 C-70군에서 나타났으며, 구상형 실리카군에서는 필러함량 20%인 S-20군에서 나타났다. 구상형실리카군의 경우에서 분쇄형실리카군에 비하여 간접

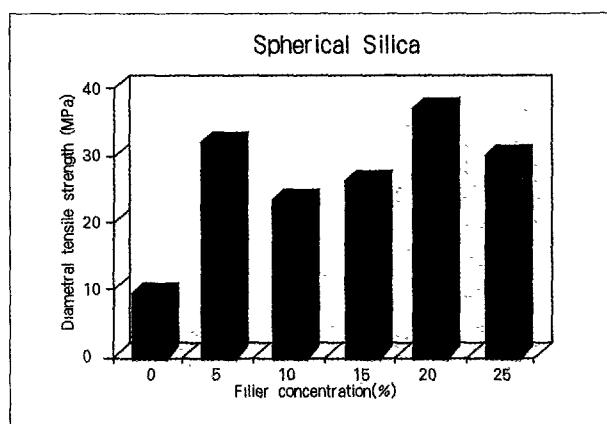
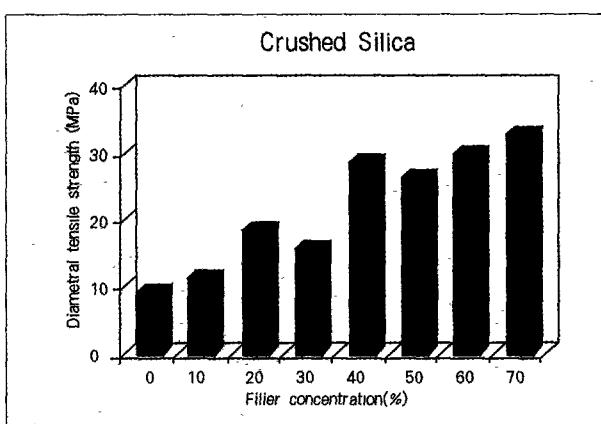


Fig. 3. Comparison of diametral tensile strength of 14 experimental composite resins. Increase pattern of diametral tensile strength were observed on crushed silica, however on spherical silica, there was no regular pattern by the increase of filler contents (left: crushed silica, right: spherical silica).

Table 3. Diametral Tensile Strength(MPa) in two groups

| Group            | Code | Filler Concentration(%) | Mean | Standard Deviation | Coefficient of Variation (%) |
|------------------|------|-------------------------|------|--------------------|------------------------------|
| Crushed Silica   | C- 0 | 0                       | 9.27 | 0.59               | 6.39                         |
|                  | C-10 | 10                      | 11.3 | 1.75               | 15.5                         |
|                  | C-20 | 20                      | 18.5 | 8.45               | 45.8                         |
|                  | C-30 | 30                      | 15.9 | 2.10               | 13.2                         |
|                  | C-40 | 40                      | 28.7 | 11.8               | 41.1                         |
|                  | C-50 | 50                      | 26.1 | 4.14               | 15.9                         |
|                  | C-60 | 60                      | 29.8 | 9.59               | 15.9                         |
|                  | C-70 | 70                      | 32.9 | 7.90               | 24.0                         |
| Spherical Silica | S- 0 | 0                       | 9.27 | 0.59               | 6.39                         |
|                  | S- 5 | 5                       | 32.2 | 19.4               | 60.2                         |
|                  | S-10 | 10                      | 23.9 | 4.01               | 16.8                         |
|                  | S-15 | 15                      | 26.5 | 12.5               | 47.1                         |
|                  | S-20 | 20                      | 37.8 | 15.0               | 39.7                         |
|                  | S-25 | 25                      | 30.5 | 12.3               | 40.3                         |

Table 4. Result of Statistical Analysis of Diametral Tensile Strength in crushed and spherical silica group

| Source of Variation | Sum of squares | DF | Mean Square | F     | Signif. of F |
|---------------------|----------------|----|-------------|-------|--------------|
| Main Effects        | 2642.876       | 7  | 377.544     | 6.933 | .000         |
| X1                  | 2642.876       | 7  | 377.544     | 6.93  | .000         |
| Explained           | 2642.876       | 7  | 377.544     | 6.933 | .000         |
| Residual            | 1742.576       | 32 | 54.456      |       |              |
| Total               | 4385.452       | 39 | 112.447     |       |              |
| Crushed Silica      |                |    |             |       |              |
| Source of Variation | Sum of squares | DF | Mean Square | F     | Signif. of F |
| Main Effects        | 576.212        | 4  | 144.053     | .780  | .552         |
| X1                  | 576.212        | 4  | 144.053     | .780  | .552         |
| Explained           | 576.212        | 4  | 144.053     | .78   | .552         |
| Residual            | 3695.970       | 20 | 184.799     |       |              |
| Total               | 4272.182       | 24 | 178.008     |       |              |
| Spherical Silica    |                |    |             |       |              |

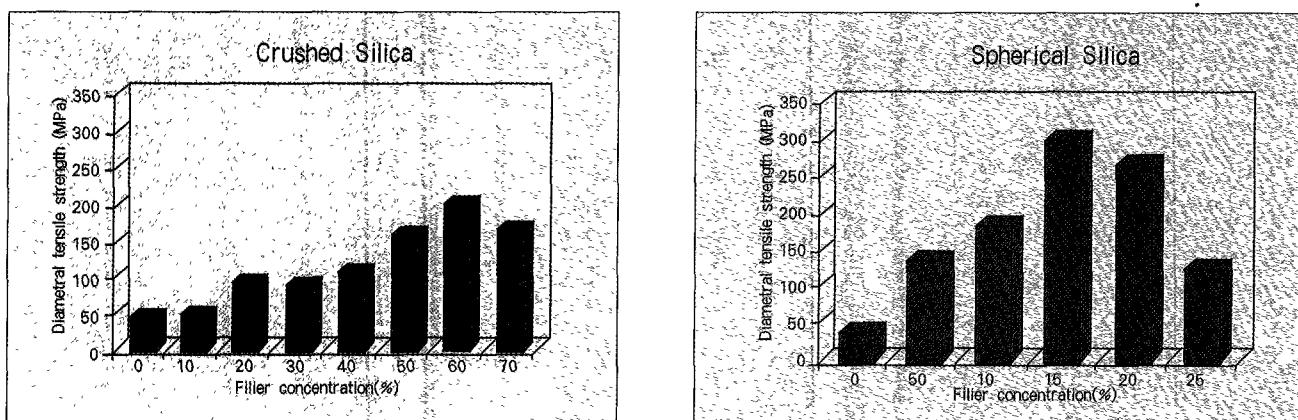


Fig. 4. Comparison of compressive strength of 14 experimental composite resins. Spherical silica filled composite showed the higher values at 15% and 20% incorporation (left: crushed silica, right: spherical silica).

인장강도가 다소 높게 나타났으나, 통계적 유의성은 없었다 ( $p>0.05$ ).

Table 4는 통계처리 결과이다. 분쇄형실리카군에서는 필러함량에 따라 간접인장강도가 크게 영향을 받는 것으로 나타났으나( $p<0.001$ ) 구상형실리카군에서는 필러함량에 대해 간접인장강도가 전혀 영향을 받지 않는 것으로 나타났다 ( $p=0.552$ ).

분쇄형실리카군 중에서 통계적으로 유의하게 높은 간접인장강도를 보인 것은 필러함량 40%부터 70%까지였고, 구상형실리카군 중에서는 유의하게 높은 값을 보인 실험군은 관찰되지 않았다.

## 2. 압축강도

총 14개 실험소군의 복합재진의 압축강도는 Table 5와

같다.

분쇄형실리카군의 필러를 배합하지 않은 C-0군의 복합재진의 압축강도는 42.5MPa였으나, 필러배합 10%인 C-10군에서 압축강도가 48.2MPa였고, 20%배합인 경우는 89.4MPa였으며, 30%에서는 86.0MPa, 40%에서는 112.5MPa이였다. 50%에서는 157.3MPa, 60%에서는 201.8MPa였으며, 70%에서는 다시 낮아진 167.9MPa였다.

구상형실리카군에서는 필러배합비율이 5%, 10%, 15%, 20%, 25%로 증가됨에 따라 139.5MPa, 186.2MPa, 298.9MPa, 270.1MPa 그리고 130.2MPa의 압축강도를 보였다.

Fig. 4는 압축강도를 비교한 그림이다. 분쇄형실리카군에서는 필러함량의 증가에 따라 압축강도가 현저히 증가된 후 70%에서 감소되었으나, 구상형 실리카군의 경우는 15%에



Fig. 5. Fracture surface of crushed silica group. Cut surface of resin matrix and the interface between resin and filler is obvious ( $\times 1500$ ).

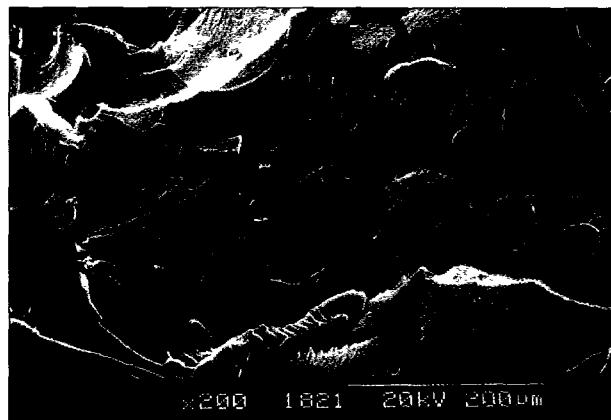


Fig. 6. Fracture surface of spherical silica group. Fractures that occurred through the filler particles were round in shape ( $\times 200$ ).

Table 5. Compressive Strengths(MPa) in two groups

| Group            | Code | Filler Concentration(%) | Mean  | Standard Deviation | Coefficient of Variation (%) |
|------------------|------|-------------------------|-------|--------------------|------------------------------|
| Crushed Silica   | C-0  | 0                       | 42.5  | 15.5               | 36.4                         |
|                  | C-10 | 10                      | 48.2  | 7.78               | 16.1                         |
|                  | C-20 | 20                      | 89.4  | 32.6               | 36.5                         |
|                  | C-30 | 30                      | 86.0  | 19.2               | 22.3                         |
|                  | C-40 | 40                      | 112.5 | 42.6               | 37.9                         |
|                  | C-50 | 50                      | 157.3 | 36.4               | 23.1                         |
|                  | C-60 | 60                      | 201.8 | 89.9               | 44.5                         |
|                  | C-70 | 70                      | 167.9 | 97.2               | 57.9                         |
| Spherical Silica | S-0  | 0                       | 42.5  | 15.5               | 36.4                         |
|                  | S-5  | 5                       | 139.5 | 59.8               | 42.9                         |
|                  | S-10 | 10                      | 186.2 | 103.1              | 55.3                         |
|                  | S-15 | 15                      | 298.9 | 101.6              | 34.0                         |
|                  | S-20 | 20                      | 270.1 | 90.9               | 33.7                         |
|                  | S-25 | 25                      | 130.2 | 23.7               | 18.23                        |

서 최대값을 보였고, 그후에는 다시 감소하였다.

분쇄형실리카군 중에서 가장 높은 압축강도를 보인 실험 소군은 필러함량 60%인 C-60군이었으며, 구상형실리카군 중에서는 필러함량 15%인 S-15군에서 나타났다. 구상형 실리카군의 경우가 분쇄형실리카군에 비하여 압축강도가 높게 나타났다.

Table 6은 통계처리 결과이다. 분쇄형 실리카( $p<0.001$ ) 와 구상형 실리카( $p=0.002$ ) 공히 압축강도가 필러함량에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

분쇄형실리카군 중에서 통계적으로 유의하게 높은 압축강도를 보인 것은 필러함량 50%부터 70%까지였고, 구상형 실리카군 중에서는 15%와 20%가 유의하게 높은 압축강도

를 보였고, 구상형의 것이 분쇄형의 압축강도에 비해 높았다.

### 3. 전단결합강도

필러의 종류와 함량을 달리하여 제조된 14개 실험소군의 복합레진의 37%인산 부식된 소의 법랑질에 대한 전단결합 강도의 평균과 편차를 Table 7에 요약하였고 Fig. 7에 비교하였다.

분쇄형실리카군의 경우 필러를 전혀 배합하지 않은 C-0 군에서는 9.3MPa의 전단결합강도를 나타내었고, 필러의 배합 증량에 따라 7.7MPa, 8.1MPa, 9.3MPa, 8.6MPa,

Table 6. Result of Statistical Analysis of Compressive Strength in crushed and spherical group

| Source of Variation | Sum of squares | DF | Mean Square | F     | Crushed Silica |
|---------------------|----------------|----|-------------|-------|----------------|
|                     |                |    |             |       | Signif. of F   |
| Main Effects        | 145420.455     | 7  | 20774.351   | 7.430 | .000           |
| X1                  | 145420.455     | 7  | 20774.351   | 7.430 | .000           |
| Explained           | 145420.455     | 7  | 20774.351   | 7.430 | .000           |
| Residual            | 125816.769     | 45 | 2795928     |       |                |
| Total               | 271237.224     | 52 | 5416.100    |       |                |

| Source of Variation | Sum of squares | DF | Mean Square | F     | Spherical Silica |
|---------------------|----------------|----|-------------|-------|------------------|
|                     |                |    |             |       | Signif. of F     |
| Main Effects        | 144239.821     | 4  | 36059.955   | 5.628 | .002             |
| X1                  | 144239.821     | 4  | 36059.955   | 5.628 | .002             |
| Explained           | 144239.821     | 4  | 36059.955   | 5.628 | .002             |
| Residual            | 179387.682     | 28 | 6406.703    |       |                  |
| Total               | 323627.504     | 32 | 10113.359   |       |                  |

Table 7. Shear Bond Strength(MPa) in two groups by filler concentration

| Group            | Code | Filler Concentration(%) | Mean | Standard Deviation | Coefficient of Variation (%) |
|------------------|------|-------------------------|------|--------------------|------------------------------|
| Crushed Silica   | C-0  | 0                       | 9.3  | 3.87               | 41.5                         |
|                  | C-10 | 10                      | 7.7  | 1.94               | 25.1                         |
|                  | C-20 | 20                      | 8.1  | 2.05               | 25.2                         |
|                  | C-30 | 30                      | 9.3  | 2.39               | 25.7                         |
|                  | C-40 | 40                      | 8.6  | 1.67               | 19.3                         |
|                  | C-50 | 50                      | 13.8 | 5.44               | 39.4                         |
|                  | C-60 | 60                      | 9.0  | 0.95               | 10.55                        |
|                  | C-70 | 70                      | 11.8 | 1.29               | 10.94                        |
| Spherical Silica | S-0  | 0                       | 9.3  | 3.87               | 41.5                         |
|                  | S-5  | 5                       | 9.8  | 1.02               | 10.4                         |
|                  | S-10 | 10                      | 12.7 | 3.27               | 25.8                         |
|                  | S-15 | 15                      | 13.1 | 5.08               | 38.9                         |
|                  | S-20 | 20                      | 12.7 | 1.96               | 15.5                         |
|                  | S-25 | 25                      | 8.8  | 2.74               | 31.0                         |

13.8MPa, 9.0MPa 그리고 11.8MPa의 전단결합강도를 보였다. 가장 높은 전단결합강도를 보인 실험소군은 분쇄형 실리카군의 필러 배합율 50%인 C-50군이었다.

구상형실리카군에서는 필러함량의 증가에 따라 전단결합강도가 9.3MPa, 9.8MPa, 12.7MPa, 13.1MPa, 12.7MPa 그리고 8.8MPa로 다양하게 나타났다. 구상형실리카군의 경우는 필러배합율 15%인 S-15군에서 가장 높은 전단결합강도를 보였다.

분쇄형실리카군에서는 C-50군에서 13.8MPa의 전단결합강도를 나타내었고, 구상형 필러군의 필러 함량 15%인 S-15군에서 13.1MPa의 전단결합강도를 보였다. 분쇄형 실리카군에서는 필러배합율이 증가함에 따라 전단결합강도가 다소 높게 나타났으나, 통계학적 유의성은 없었다.

Fig. 7은 두군에서 나타난 전단결합강도를 막대그래프로 비교한 것이다. 왼쪽이 분쇄형실리카군이고, 오른쪽이 구상형실리카군이다.

분쇄형실리카군의 경우는 필러함량 50%와 70%에서 비교적 높은 전단결합강도를 나타내고 있고, 구상형실리카군에서는 10%, 15%, 20%에서 다소 높은 전단결합강도를 보이고 있다.

Table 8은 분쇄형실리카군과 구상형실리카군에서 필러함량을 달리한 경우에서 측정된 전단결합강도를 통제처리한

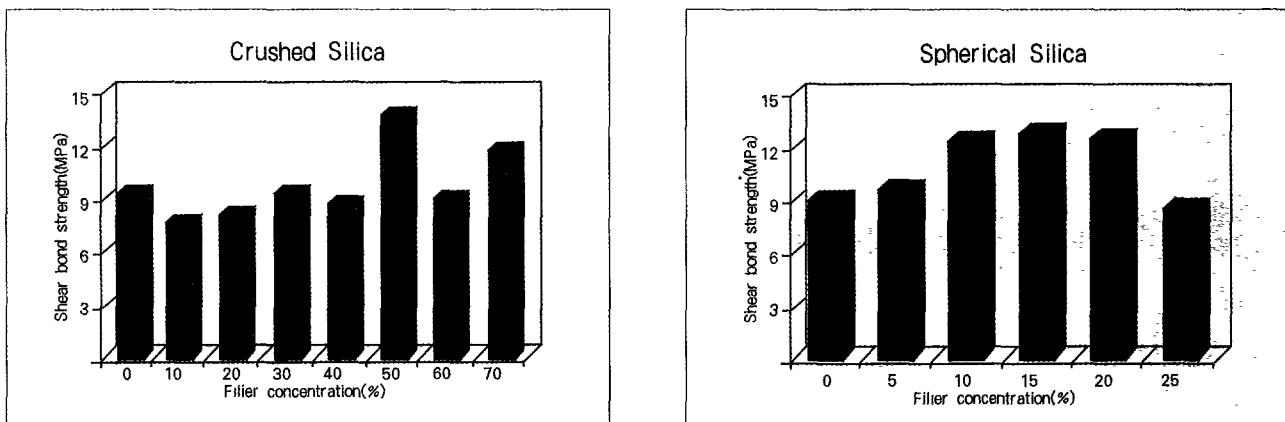


Fig. 7. Comparison of the shear bond strength of 14 experimental composite resins made with two kinds of silica fillers. Crushed silica (left side) and spherical silica (right side).

Table 8. Result of Statistical Analysis of Shear Bond Strength in crushed and spherical group

| Source of Variation | Sum of squares | DF | Mean Square | Crushed Silica |              |
|---------------------|----------------|----|-------------|----------------|--------------|
|                     |                |    |             | F              | Signif. of F |
| Main Effects        | 147.430        | 7  | 21.061      | 2.646          | .028         |
| X1                  | 147.430        | 7  | 21.061      | 2.646          | .028         |
| Explained           | 147.430        | 7  | 21.061      | 2.646          | .028         |
| Residual            | 254.689        | 32 | 7.959       |                |              |
| Total               | 402.119        | 39 | 10.311      |                |              |

| Source of Variation | Sum of squares | DF | Mean Square | Shperical Silica |              |
|---------------------|----------------|----|-------------|------------------|--------------|
|                     |                |    |             | F                | Signif. of F |
| Main Effects        | 76.132         | 4  | 19.033      | 1.945            | .142         |
| X1                  | 76.132         | 4  | 19.033      | 1.945            | .142         |
| Explained           | 76.132         | 4  | 19.033      | 1.945            | .142         |
| Residual            | 195.712        | 20 | 9.786       |                  |              |
| Total               | 271.844        | 24 | 11.329      |                  |              |

결과이다. 분쇄형실리카군에서는 필러함량에 따라 전단결합강도가 영향을 받는 것으로 나타났으나( $p=0.028$ ), 구상형실리카군에서는 필러함량이 전단결합강도의 증감에 영향을 주지 않는 것으로 나타났다( $p=0.142$ ).

분쇄형실리카군 중에서 필러함량이 C-50군의 50%인 경우와 C-70군의 70%인 경우가 다른 군에 비하여 통계학적으로 유의하게 높은 전단결합강도를 나타내었다.

#### IV. 총괄 및 고안

복합레진에서 필러의 배합율을 증가시켜 파괴에 대한 저항성이 증가될 수 있는 기전은 표면 상태가 평탄한 경우, 거칠은 요철부분으로 이루어진 복합레진의 경우와 비교하여 평탄한 표면에서 파괴에 대한 저항성이 높아져 발생되고 있으며 필러의 배합율을 상승시킬 경우 항복강도가 상승되고

필러 입자크기가 미세하고 고울 경우, 파괴에 대한 저항성이 증가됨은 주지의 사실이다.

그러나 Setz 등<sup>34)</sup>은 무기질 필러의 함량을 80%까지 증가시켜도 광중합형 복합레진의 물성을 증가시키지 못하였음을 보고하여 필러의 함량증가는 적절한 양의 조절이 필요함을 주장하고 있다.

이와 같이 복합레진에서의 필러의 증량은 파괴를 촉진시키는 역할로도 작용될 수 있다. 또 Munksgaard 등<sup>35)</sup>은 필러의 함량이 증가되더라도 복합레진의 수축이 발생되는 것은 영향이 없었으나 다른 형태의 필러를 혼합시킬 경우 중합수축을 다소 감소시킬 수 있다고 보고한 바 있다.

본 실험에서는 필러를 분쇄형과 구상형실리카의 두 종류로만 단순배합하여 필러의 다양한 배합에 따른 수축량과 물성과의 관계를 평가하지 못하였으나 George와 Eichmiller<sup>36)</sup>는 필러의 조성과 형태 등을 변화시켜 제조한

실험복합레진에서의 간접인장강도가 시판중인 복합레진과 비교하여 크게 증가될 수 있음을 보고하고 있다. 따라서 복합레진에서 필러는 다양한 크기로 혼합사용할 경우 복합레진의 물성이 향상될 수 있다.

또 본 실험에서 압축강도에 대한 평가에서 분쇄형실리카군과 비교하여 구상형실리카군에서 다소 높게 나타났다. 이 결과는 Kawaguchi 등<sup>37)</sup>의 보고에서 나타난 바와 같이 필러의 함량이 증가되면 중합 심도는 낮아지고, 필러의 형태는 거대입자일수록 중합심도가 깊어졌음을 보고한 바 있어 구상형에서 필러입자와 기질간의 비율이 크고, 필러입자의 밀도가 낮아 광조사시 광의 침투가 용이하여 광이 깊게 침투되어 중합심도가 깊어지고 압축강도가 증가되어 나타난 결과로 해석할 수 있다.

그러나 필러의 크기가 작아지면 중합심도가 낮아지고 수분흡수도 낮아져 압축강도도 감소된다는 연구<sup>4,6,14-18)</sup>가 있어 필러의 미세화로 물성이 저하되는 것을 알 수 있다. 본 실험에서도 구상형실리카군에서는 필러함량증가에 따라 압축강도가 일정비율로 증가되지 않았으나, 분쇄형실리카군의 60%까지 필러함량을 증가시에는 압축강도의 직선적인 증가양상으로 나타났다.

그러나 이와 같은 결과에 대하여 S derholm<sup>23)</sup>은 복합레진에서 필러함량을 증가시켜도 직접 압축강도가 증가되지 않으며, 단지 필러 표면의 silane처리 여부에 따라 복합레진의 물성을 좌우하는 요인이라고 주장하고 있다.

한편 Braem 등<sup>38)</sup>과 Pallav 등<sup>39)</sup>은 복합레진의 기계적 성질 중 마모저항성은 필러의 함량에 따라 좌우된다고 하였고 더욱이 거대입자와 미세필러 입자의 배합비율은 간접인장강도에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. Lang 등<sup>40)</sup>도 필러입자크기가 복합레진의 물성을 좌우한다고 하였으며 필러입자가 미세할수록 복합레진의 마모저항은 낮아진다고 보고한 바 있다.

그러나 Cross 등<sup>16)</sup>은 복합레진에서 더욱 중요한 인자로 필러와 레진기질간의 배합율이며 이러한 배합율이 필러의 탈락 가능성을 좌우하며, 결국 필러함량과 복합레진의 물성 간의 연관성이 더욱 중요하다고 지적하였다.

이상의 연구보고는 복합레진의 재료에 대한 물성의 개선과 평가시에, 간접인장강도가 마모저항 등의 평가에는 유용한 정보를 제공하지 못한다는 것을 의미한다고 할 수 있으며, 단지 임상에서 재료의 취급과 작업의 용이성을 판가름 하는 정보로서는 가치가 있다고 할 수 있다.

물론 Kalachandra<sup>41)</sup>는 필러가 함유된 복합레진에서는 수분의 흡수가 증가되어 필러의 탈락과 물성이 취약해질 수 있기 때문에 반드시 silane 등의 결합제로 필러표면을 결합 처리하여 필러-기질간의 계면에서 수분의 흡수를 최소한으로 방지하여 주어 마모저항을 증가시켜야 한다고 강조하고 있다. 본 실험에서는 복합레진의 흡수율은 평가되지 않았으

나 silane으로 필러를 처리하였기 때문에 실험기간 중 필러의 탈락과 수분흡수 등의 영향은 무시할 수 있었다.

Bhosale 등<sup>41)</sup>은 미세입자의 필러 함량을 0-50 %로 변화시킬 경우, 간접인장강도가 33-48MPa로 다양한 강도로 나타났음을 보고하였으나, 본 연구에서는 9.27-37.8MPa로 다소 낮은 강도로 나타난 결과는 본 연구가 필러의 함량과 크기가 간접인장강도에 영향을 미치고, 또한 본 실험에 사용된 기질레진의 강도 차이로 나타난 결과로 사료된다.

한편 전단결합강도는 본 실험에서는 분쇄형실리카군의 필러함량 50%(20.4 v%)에서 가장 높은 13.8MPa의 전단결합강도를 나타내었고 구상형실리카군에서는 필러함량이 15%의 경우, 가장 높은 13.1MPa를 나타내고 있다.

또 본 실험에서 분쇄형실리카군의 필러함량이 10%인 C-10군에서 가장 낮은 전단결합강도를 보였으나, Miyazaki 등<sup>42)</sup>도 광중합복합레진에서 필러함량을 증가시켜도 전단결합강도를 증가시킬 수 없음을 보고하였으나, 전단결합강도와 중합수축과의 연관성을 주장하였으며 중합수축은 필러함량이 증가됨에 따라 감소되며 임상에서 외동의 크기 및 형태에 따라 중합수축은 크게 좌우된다고 주장한 바 있다.

이에 대하여 Pacropsis와 Ibsen<sup>43)</sup>은 상아질과 복합레진간의 전단결합강도에 필러의 입자크기가 거대입자인 고밀도 층전형으로 연구 보고한 실험에서도 본 실험의 결과와 유사한 전단결합강도로 나타났으나, 필러의 크기와 전단결합강도의 연관성을 대하여 통계학적인 유의성을 없었음을 보고하여 상아질에 대하여는 적절한 접착효과를 지니고 있으면서 임상에서 사용하기에 적합한 물성을 지닌 필러의 크기, 형태 및 배합량이 표준화된 복합레진의 개발이 절실히 요구되고 있다.

## V. 결 론

본 연구는 분쇄형 실리카 필러 대신에 구상형 실리카 필러를 배합할 경우, 복합레진의 물리적 특성과 상아질 접착성에 대한 특성변화를 평가하기 위하여 레진 기질인 Bis-GMA에 분쇄형실리카군에서는 필러배합율을 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% 및 70% 배합한 복합레진과 구상형실리카군에서는 필러함량을 0%, 5%, 10%, 15%, 20% 및 25% 배합한 복합레진 등 모두 14종의 실험적 복합레진을 제조하였다.

복합레진의 물성에 대한 분석은 필러배합율, 간접인장강도, 압축강도 및 법랑질에 대한 전단결합강도를 측정하여 평가하였다. 필러배합율은 중량비와 체적비를 함께 측정하였으며, 간접인장강도와 압축강도는 만능시험기(Instron testing machine No.4467)로 측정하였다.

전단결합강도는 37%인산으로 1분간 산부식된 소의 법랑질에 실험적으로 제작된 상기의 14종의 복합레진간의 전단

결합강도를 측정하였다. 14개 실험소군당 시편수는 10개였고, 시편제작 24시간 후 전단결합강도 측정과 파단면을 관찰(SEM), 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 간접인장강도는 분쇄형실리카군의 경우 필러함량증가에 따라 증가하는 양상을 보였으나, 구상형실리카군에서는 증가되지 않았다. 모든 실험적 복합레진 중 구상형 필러가 20%배합된 경우 가장 높은 간접인장강도를 보였다.
  2. 압축강도는 구상형실리카군의 15%와 20%의 것이 분쇄형실리카군에 비하여 높게 나타났다.
  3. 분쇄형실리카군의 필러배합량의 증가는 복합레진의 전단결합강도에 영향을 미치는 것으로 나타났으나, 구상형 실리카필러군의 배합량은 복합레진의 전단결합강도에 영향을 미치지 않았다.
  4. 분쇄형실리카군에서 50%의 필러를 배합한 경우 가장 높은 전단결합강도를 보인 반면, 구상형실리카군에서 가장 높은 전단결합강도는 15% 배합한 경우 다소 높은 전단결합강도를 보였으나, 통계적 유의성은 없었다( $P>0.05$ ).
  5. 파단면은 분쇄형실리카군에서 예리한 반면, 구상형실리카군의 경우 요철이 나타나지 않고 둥근 필러의 형태를 확인할 수 있었다.
- 구상형 실리카 필러는 분쇄형 실리카에 비해 최대배합가능비율과 간접인장강도 그리고 전단결합강도는 영향이 거의 없는 것으로 나타났으나, 압축강도를 다소 높이는 효과가 있음이 확인되었다.

## 참고문헌

1. Bowen, R.L. : Dental filling material comprising vinyl-silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bisphenol and glycidyl methacrylates. *U.S. Patent. 3066112, 1962.*
2. Bowen, R.L., and Cleek, G.W : X-ray opaque reinforcing fillers for composite materials. *J. Dent. Res.*, 48 : 79-82, 1968.
3. Ishijima, H. : The synthesis of monodispersed spherical silica as a filler to be used in the manufacture of composite resins. *Shigaku*, 73 : 1133-1164, 1985.
4. Kalachandra, S. : Influence of filler on the water sorption of composite. *Dent. Mater.*, 9 : 283-288, 1989.
5. Muller, G. : Glass ceramics as composite fillers. *J. Dent. Res.*, 53 : 1342-1345, 1974.
6. Swartz, L.Y., Phillips R.W., Moore B.K., and Roberts T.A. : Effect of filler content and size on properties of composites. *J. Dent. Res.*, 64 : 1396-1401, 1985.
7. Söderholm, K.J.M. : Degradation of glass filler in experimental composites. *J. Dent. Res.*, 60 : 1867-1875, 1981.
8. Beech, D.R., and Brown, D. : The role of the filler-matrix interface in composite restorative materials based on poly(methacrylate). *Br. Dent. J.*, 133 : 297-300, 1972.
9. Bowen, R.L. : Effects of particle shape and size distribution in a reinforced polymer. *J. Am. Dent. Assoc.*, 69 : 481-495, 1964.
10. Dennison, J.B., Fan, P.L., and Powel, J.M. : Surface roughness of microfilled composites. *J. Am. Dent. Assoc.*, 102 : 859-862, 1979.
11. Dennison, J.B. : Status report on microfilled composite restorative resins. *J. Am. Dent. Assoc.*, 105 : 488-492, 1982.
12. Ehrnfors, L. : Composite resins with a condensable inorganic phase. *J. Dent. Res.*, 60 : 1759-1766, 1981.
13. Jacobsen, P.H. : The current status of composite restorative materials. *Br. Dent. J.*, 150 : 15-18, 1981.
14. Söderholm, K.J.M. : Filler system and resin interface. p.139-159. In Guido V. (ed.), *Posterior composite resin dental restorative materials.*, Peter Szulc Publishing Co., Netherlands, 1985.
15. Chung, K.H. : Effect of filler concentration on the properties of experimental composite resins. *Chung Hua Ya I Hsueh Hui Tsa Chih*, 76 : 6-12, 1988.
16. Cross, M., Douglas, W.H., and Fields, R.P. : The relationship between filler loading and particle size distribution in composite resin technology. *J. Dent. Res.*, 62(7) : 850-852, 1983.
17. Johson, W.W., Dhuru, V.B., and Brantley, W.A. : Composite microfiller content and its effect on fracture toughness and diametral tensile strength. *Dent. Mater.*, 9 : 95-98, 1993.
18. Lutz, F. et al : In vivo and in vitro wear of potential posterior composites. *J. Dent. Res.*, 63 : 914-920, 1984.
19. Morin, D., Delong, R., and Douglas, W.H. : Cusp reinforcement by the acid-etch technique. *J. Dent. Res.*, 63 : 1075-1078, 1984.
20. Phillips, R.W. et al : Observation on a composite resin for class II restoration : Three-year report. *J. Prosthe. Dent.*, 30 : 891-897, 1973.
21. Simonsen, R.J. : Preventive resin restorations : Three-year results. *J. Am. Dent. Assoc.*, 100 : 535, 1980.
22. Snead, W.D., and Draughn, R.A. : Effect of alcohol on the strength of a composite resin. *Oper. Dent.*, 5 : 47, 1980.
23. Söderholm, K.J.M. : Relationship between compressive yield strength and filler fractions of PMMA composites. *Acta. Odontol. Scand.*, 40 : 145-150, 1982.
24. Söderholm, K.J.M. : Influence of silane treatment and filler fraction on thermal expansion of composite resins. *J. Dent. Res.*, 63(11) : 1321-1326, 1984.
25. Buonocore, M.G. : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J. Dent. Res.*, 34 : 849-853, 1955.
26. Craig, R.G., and Powers, J.M. : Wear of dental tissues and materials. *Internat. Dent. J.*, 26 : 121-133, 1976.
27. Hembree, J.H. : Marginal leakage of microfilled composite resin restorations. *J. Prosthe. Dent.*, 50 : 632-635, 1983.
28. Söderholm, K.J.M. : Leaking of fillers in dental composites. *J. Dent. Res.*, 62 : 126-130, 1983.
29. Dickson, G. : Physical and chemical properties and wear. *J. Dent. Res.*, 58 : 1535-1543, 1979.
30. Chung, K.H., and Greener, E.H. : Correlation between degree of conversion, filler concentration and mechanical properties of posterior composite resins. *J. Oral Rehabil.*, 17 : 487-494, 1990.
31. Miyasaka, T. : Effect of shape and size of silanated fillers on mechanical properties of experimental photo cure composite resins. *Dent. Mater. J.*, # 2, 15 : 98, 1996.
32. Jaarda, M.J., Wang R.F., and Lang B.R. : A regression analysis of filler particle content to predict composite wear. *J. Prosthet. Dent.*, 77 : 57-67, 1997.
33. Kim, K.H., Park, J.H., Imai, Y., and Kishi, T. : Microfracture mechanisms of dental resin composites containing spherically-shaped filler particles. *J. Dent. Res.*,

- 73(2) : 499-504, 1994.
- 34. Setz, J., Geis-Gerstorfer, J., and Lin, W. : The effect of inorganic fillers on the properties of light-curing composites. *Dtsch. Zahnärztl. Z.*, 46 : 657-660, 1991.
  - 35. Munksgaard, E.C., Hansen, E.K., and Kato, H. : Wall to wall polymerization contraction of composite resins versus filler content. *Scand. J. Dent. Res.*, 95 : 526-531, 1987.
  - 36. George, L.A., and Eichmiller, F.C. : DTS and hardness of composite containing a novel filler. *J. Dent. Res., Abstract #1028*, 75 : 146, 1996.
  - 37. Kawaguchi, M., Fukushima, T., and Horibe, T. : Effect of filler type on the cure depth of lightcured composite resin. *J. Dent. Res., Abstract #992*, 69 : 232, 1990.
  - 38. Braem, M., Van Doren, V.E., Lambrachts, P., and Vanherle, G. : Determination of Young's modulus of dental composites : a phenomenological model. *J. Mater. Sci.*, 22 : 2037-2042, 1987.
  - 39. Pallav, P., De Gee, A.J., Davidson, C. L., Erickson R.L., and Glasspoole E. A. : The influence of admixing microfiller to small- particle composite resin on wear, tensile strength, hardness, and surface roughness. *J. Dent. Res.*, 68(3) : 489-490, 1989.
  - 40. Lang, B.R., Jaarda, M. , and Wang, R.F. ' Filler particle size and composite resin classification systems. *J. Oral Rehabil.*, 19 : 569-584, 1992.
  - 41. Bhaosale, G., Dhuru, V., Heinrich ,S., and Ziebert, G. : Effect of microfiller content on mechanical properties of hybrid composites. *J. Dent. Res., Abstract # 242*, 71 : 136, 1992.
  - 42. Miyazaki, M., Hinoura, K., Onose, H., and Moore, B.K. : Effect of filler content of light -cured composites on bond strength to bovine enamel. *J. Dent. Res.*, 19 : 301-303, 1991.
  - 43. Pacropis, D.R., and Ibsen, R.L. : Effect of filler particle size in composites on bond strengths. *J. Dent. Res., Abstract # 1176*, 71 : 662, 1992.