

## 경화된 상아질의 접합 양상에 관한 주사전자현미경적 연구

전북대학교 치과대학 치과보존학교실 및 치의학연구소

\*서울대학교 치과대학 치과보존학교실

이 린 · 이형일 · 이광원 · 손호현\*

### Abstract

#### A SCANNING ELECTRON MICROSCOPIC STUDY OF BONDING ASPECTS TO THE SCLEROTIC DENTIN

Rin Lee, Hyeong-Il Lee, Kwang-Won Lee, Ho-Hyun Son\*

*Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry  
Chonbuk National University & Institute of Dental Science*

*\*Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University*

The changes of microstructures, morphology of sclerotic dentin and bonding aspects generated by an adhesive resin was investigated. Incisors and premolars showing natural cervical abrasions were collected and conditioned with 10% phosphoric acid or 10% maleic acid. The sclerotic dentin specimens were then rinsed and blot-dried and applied with dentin adhesive(All Bond 2) to the conditioned dentin surface. To examine the morphologic change of the sclerotic dentin specimen after etching and bonding procedure, the treated specimens were examined by SEM. To analyze the chemical composition of sclerotic dentin and crystals occluding dentinal tubules, the sclerotic dentin specimen was powdered and examined with X-ray Diffractometer. To investigate the Ca/P weight percent ratio within the dentinal tubules, the sclerotic dentin specimen was fractured perpendicularly to the long axis of the tooth from the center of cervical abrasion lesion and then examined with EDX(Energy Dispersive X-ray) microanalyzer.

The results were as follows :

1. The increased width of peritubular dentin and the depositions of the irregular amorphous materials within the dentinal tubules were showed in the sclerotic dentin specimens.
2. After the treatment of sclerotic dentin specimen with 10% phosphoric acid or 10% maleic acid, the lateral side of tubules rather than cross-sectional tubule openings was

showed exclusively at the incisal and gingival incline of the specimens.

3. After the treatment of sclerotic dentin specimen with 10% phosphoric acid or 10% maleic acid, the hybrid layer was not formed evidently and the resin tag was not formed or shortly penetrated into the tubules with the thinner diameter.
4. According to the results of XRD analysis of the sclerotic dentin specimen, Hydroxyapatite and Octacalcium phosphate were predominant, however, Whitlockite crystals were rare.
5. The mean Ca/P weight percent ratio analysed from 5 fractured sclerotic dentin specimens was  $2.322 \pm 0.170$  at the intertubular dentin,  $1.826 \pm 0.051$  within the dentinal tubule.

## I. 서 론

나이가 많은 사람에게서 흔히 볼 수 있는 치경부 마모 병소는 상아질 과민증에 의해서 또는 심미적인 이유로 수복이 필요하다<sup>1)</sup>. 과거에는 아말감이나 금 인레이등이 5급 와동의 수복재로 사용되어왔지만, 지금은 대부분 심미적으로 우수<sup>2,3)</sup>한 재료인 광중합 복합레진이 글래스 아이오노머 시멘트와 더불어 사용되고 있다. 현재 사용되어지는 복합레진은 Bowen<sup>4)</sup>이 개발한 이래 많은 연구와 관심속에서 현격한 물성의 개선을 보이며 발전되어왔다. 복합레진 물성의 발전과 함께 치질과 강한 접착을 유도하기 위해 법랑질과 상아질 접착 방법에 대한 연구도 활발히 진행되어왔다.

법랑질에서는 Buonocore<sup>5)</sup>가 제시한 산부식 방법으로 기계적 결합을 통한 유지력의 증가와 변연누출이 크게 억제됨<sup>6,7)</sup>을 볼 수 있었으나, 상아질에서는 구성성분과 표면처리후의 구조적 특성, 상아세관내의 수액이동, 중합체의 화학적 특성등 다양한 인자들<sup>8-10)</sup>을 고려해야하므로 법랑질에서와 같은 높은 결합력과 우수한 변연 적합성을 얻기 어렵다. 그래서 상아질에서 결합력을 향상시키려는 많은 연구가 시행되어 왔고 많은 방법들이 소개되어졌으나 아직까지도 많은 논란의 여지가 남아있다. 상품화된 상아질 접착제도 제1세대<sup>11,12)</sup>부터 시작되어 현재는 제4세대<sup>13)</sup> 접착제에 이르고 있으며, 이러한 많은 연구 결과 상당한 결합력의 개선을 보였다.

상아질은 나이가 들에따라 경화가 진행된다<sup>14)</sup>

<sup>15)</sup>. 관주 상아질의 폭이 증가하고 상아세관내에 무기염이 침착됨에 따라 자연히 유기질 부분은 감소하게 된다<sup>14-16)</sup>. 그리고 상아질의 전체 표면은 구강내 환경에 노출됨에 따라 점점 경화되어진다<sup>17)</sup>. 이러한 경화는 일반적으로 마모나 우식등을 가지는 치아에서 증가하며, 경우에 따라서는 이들이 없는 상황에서도 나타날 수 있다<sup>16)</sup>. 치경부 마모 병소에서 상아세관의 주행 방향과 표면 형태는 치경부의 위치에 따라 다양하게 나타난다. 상아세관의 주행은 치수에서 상아법랑경계쪽으로 진행하는데 치관부위에서는 S 곡선을 그리나 치근부위에서는 이를 잘 따르지 않는다<sup>18)</sup>. 한편, 치경부 마모 병소의 안쪽 경사면들이 이루는 각에 따라 다소 차이를 보이나, 상아질 표면은 상아세관의 횡절단 개구형태(cross-sectional tubule opening)보다는 상아세관의 측면(lateral side)를 보이게 된다<sup>19)</sup>. Gwinnett & Jendresen<sup>20)</sup>은 in vitro 에서 치경부 마모 병소를 인산으로 탈회시켰을 때 상아세관의 횡절단 개구형태가 병소의 치근쪽 부위에 주로 한정되어 나타난 반면, 병소의 교합면쪽에서는 상아세관이 경사져 잘려진 형태로 병소의 경사면과 평행하게 주행하면서 비어있는 상아세관도 관찰되었다고 하였으며, 경화된 상아세관내로의 레진 tag의 침투는 일차 상아질에서 보다 현저하게 적었다고 보고한 바 있다.

중령과 관계되어 나타나는 치경부 마모 병소에서 보이는 상아질은 정상적 구조의 상아질(unaffected normal dentin)과는 다른 구조와

구성을 보인다. 실제 경화된 상아질을 가지는 치경부 마모 병소의 복합레진 수복시 다른 부위의 수복에 비해 쉽게 탈락하는 경향이 있다. Duke와 Lindemuth<sup>21, 22)</sup>는 상아질 경화가 접착제와의 결합을 어렵게 한다고 보고한 바 있다. 유사하게도 Mjor<sup>23)</sup>는 임상적인 결과를 토대로 정상 상아질과 비교할 때, 상아질 접착제의 적용후 결합의 낮은 성공율이 상아질의 경화로 인한 상아질의 구조와 구성의 심한 변화에 기인한다고 하였다. Heymann<sup>24)</sup> 등은 나이가 많은 환자에서 나타나는 이러한 수복실패는 대부분 경화된 상아질내의 화학적, 구조적 변화에 기인한다고 하였으며, 이러한 변화가 결과적으로 기질(substrate)과 상아질 접착제와의 반응성을 미약하게 한다고 보고하였다<sup>24, 25, 26)</sup>. 또 다른 원인으로서는 나이가 많은 환자에서 치주조직의 지지 부족으로 인한 증가된 치아굴절률(increased tooth flexure)<sup>27)</sup>, 그리고 나이와 관련되어 나타나는 마모(abrasion)의 증가와 외력에 의해 많은 미세파절(microfracture)을 가지는 법랑질이 상악악 치아의 기능적 운동에 의한 굴절에 귀속되어 변형(abfracture)에 대한 민감성이 높게 증가된다고 보고하였다<sup>27)</sup>. 이렇듯이 증령에 관계되어 나타나는 치경부 마모 병소는 때때로 상아질 파민성을 동반하면서 심미적 치료를 요하는 곳이지만 상아질 자체의 미세 구조적 변화에 의해 경화되지 않은 상아질과는 달리 상아질 접착레진 수복의 수명이 감소되어진다<sup>28)</sup>. 이러한 치경부 마모에서 나타나는 경화된 상아질에서도 효과적인 접착이 요구되어지며, 이를 위해서는 먼저 상아질에 대한 기질상태의 이해가 선행되어야 한다. 하지만, 치경부 마모 과정의 진행과 동반되는 상아질의 구성성분과 형태학적 변화에 대해서는 거의 알려져 있지 않다.

이에 본 연구에서는 썩기모양의 치경부 마모를 보이는 발거된 치아에서 병소표면의 형태와 산 표면처리후의 변화, 그리고 상아질 접착제 도포후의 변화를 주사전자현미경을 이용하여 정상 상아질에서의 접합 양상과 비교하고, X-선 회절 분석과 EDX(Energy Dispersive X-ray)분석을 이용하여 상아세관내 결정

구조들의 성분을 분석하여 다소의 지견을 얻었기에 이를 보고하고자 한다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

치아우식증과 수복물이 없으면서, 건조시에 도 표면이 윤택하고 전형적인 썩기 모양의 치경부 마모 병소를 보이는, 발거한지 일주일 이상 경과되지 않은 상악악 전치 및 소구치 30개와 교정을 목적으로 발거된지 일주일 이상 경과되지 않은 치아로 치질의 결손이나 수복물이 없는 건전한 소구치 10개를 선택하여 치아표면에 부착된 유기 잔사와 치석을 제거한 뒤 실험 치아로 사용하였다. 산 표면처리제로는 10% 말레인산(Scotchbond Multi-purpose, 3M Dent. Prod, USA)과 10% 인산(All Bond 2, Bisco, USA)을 사용하였으며, 상아질 접착제로는 All Bond 2 (Bisco, USA)를 이용하였다. Z-100(Shade : A3.5, 3M Dent. Prod, USA) 수복 레진을 상아질 접착제가 도포된 치면위에 충전한 뒤 가시광선 조사기(Curing light XL 3000, 3M Dent. Prod, USA)를 사용, 광중합하여 전자현미경 관찰을 위한 모체(base)로 이용하였다.

### 2. 실험방법

가. 주사전자 현미경 관찰을 위한 시편제작  
발거된 치경부 마모 치아 20개(실험군)와 건전한 치아 10개(대조군)를 선택하여 실험군 치아는 썩기모양의 결손부위의 교합쪽 경계 1mm 상방과 치은쪽 경계 1mm 하방을 Diamond saw (Isomet, Buehler Co. USA)를 사용 주수하에서 횡절단하였다(Fig. 1). 대조군 치아는 상아질이 완전히 노출되고 주위 가장자리 부위에만 법랑질이 잔존되는 2mm두께의 상아질 판을 얻기 위해 교두정에서 2.5-3.0mm되는 부위에 Diamond saw를 이용 주수하에서 일차 횡절단한 후 여기에 평행하게 재절단하고 노출된 상아질 표면을 주수하에서 #300, #600

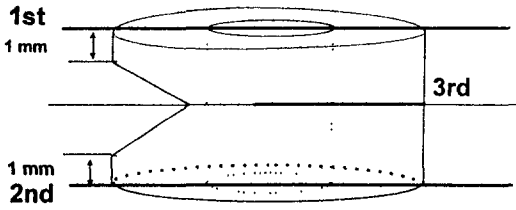


Fig. 1. Schematic illustration of dentinal preparation of tooth exhibiting cervical abrasion for SEM examination

silicone carbide 연마지를 사용하여 순차적으로 연마하였다(Fig. 2). 이후, 마련된 시편들은 생리식염수로 채워진 용기속에 넣어 37°C oven에 24시간 보관시켜 시편들이 충분히 수화될 수 있게 한 뒤 시편들을 무작위로 선택하여 다음과 같이 처리하였다.

### 1) 표면 형태 관찰

경화 상아질 시편은 설측에서 저속의 diamond disc를 이용하여 마모 결손부의 중심과 같은 높이에서, 잘려진 교합면에 평행하게 결손구(Depth of groove)의 약 2mm후방까지 절단하고, 건전 상아질 시편은 상아질판의 치은쪽에서 판의 중양을 지나는 약 1mm깊이의 홈을 형성하였고(Fig. 1, 2), 형성된 홈에 chisel을 삽입하여 약간의 압력을 가해 파절시켰다.

### 2) 산 표면 처리후 변화 관찰

경화 상아질 시편은 썩기모양으로 마모되어진 상아질의 표면에, 건전 상아질 시편은 상아질판의 교합면에 10% 말레인산과 10% 인산을 20초동안 각각 적용하고 20초 수세후 공기를 분사하여 건조시킨 뒤 1)에서와 같은 방법으로 파절시편을 제작하였다.

### 3) 상아질 접착제 도포후 변화 관찰

#### • 파절면 관찰을 위한 시편 제작

경화 상아질 시편은 썩기모양의 병소부위에, 건전 상아질 시편은 상아질판의 교합면에 10% 말레인산과 10% 인산을 20초동안 각각 도포

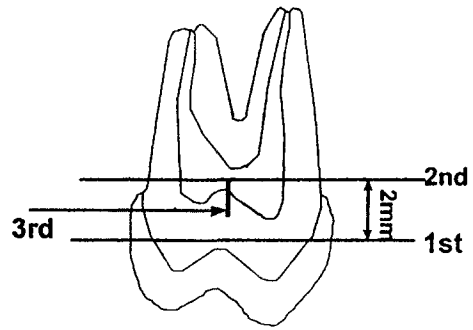


Fig. 2. Schematic illustration of dentinal preparation of sound tooth for SEM examination

하고 20초 수세한 후 여과지를 사용하여 과량의 수분만을 제거하고 접착강화제를 3-5회 연속 도포하였다. 표면이 윤택해짐을 확인한 후 압축공기로 건조시킨 후 접착레진을 균일한 층으로 도포하고 20초동안 광중합시켰다. 이후 실험1)과 같은 방법으로 파절시켜 시편을 제작하였다.

#### • 접착면 관찰을 위한 시편 제작

파절면 관찰을 위한 시편제작과 동일하게 시편을 제작한 후 파절시키지않고, 경화 상아질 시편은 마모 결손부를 포함하는 협면과 근원심 전체에, 건전 상아질 시편은 교합면쪽에 약 2mm두께로 Z-100 복합 수복레진을 적용하여 전자현미경 관찰을 위한 모체(base)를 형성하였다. 각각의 시편을 근원심의 중양 1/2을 지나도록 주수하에서 diamond saw를 사용하여 절단하고 #300, 600 silicone carbide 연마지에 절단면을 차례로 연마한다음 0.5M EDTA용액에 20분동안 보관하였다. 또 한편으로 실험군에서는 근원심면을 제외하고 마모 결손부를 포함하는 협면에만, 대조군에서는 교합면쪽에 2mm두께의 레진을 덧붙여 모체(base)를 형성한 후 절단을 시키지 않은 상태로 8% nitric acid용액에 4일 보관하였다. 하루 간격으로 용액을 교환하고 주기적으로 용기를 흔들어 주었다. 4일 보관후 10% NaOCl용액에 보관하여 시편의 치질부분을 모두 제거하고 레진부분만을 남게 하였다.

이후 제작된 모든 시편들을 에탄올 용액으로 50%에서 100%까지 순차적으로 탈수시키고, 7일동안 낮에는 자연광에서 저녁에는 건조기에 넣어 수분을 제거하였으며, 금증착후 가속전압 20KV하에서 주사전자현미경(Hitachi S-450 SEM, Japan)으로 관찰하였다.

#### 나. 화학적 성분분석을 위한 시편 제작

##### 1) XRD 분석

치경부 마모를 보이는 5개의 치아 췌기모양 병소의 경계면 상하 1mm부위에서 diamond saw를 이용하여 평행하게 절단한 뒤 법랑질부 위는 고속의 diamond point를 이용하여 조심스럽게 일차 제거하였으며, 잔여 법랑질은 #300, 600 연마지에 수분을 적셔 연마하고 제거하여 상아질만의 시편을 제작하였다. 시편은 다시 생리식염수에 넣어 100% 습도가 유지된 37°C 항온기에 보관한 뒤, 에탄올을 이용하여 50%에서 100%까지 순차적으로 탈수하고 임계점 건조를 시행하였으며 80-120mg의 무게로 분말화 시켜 X-ray Diffractometer (Riaku D/max-III A, Japan) sample holder에 위치시킨뒤 0-35° 2θ의 영역에서 분당 1/8도의 주사 속도로 분석하였다.

##### 2) EDX 분석

파절면 관찰을 위한 시편 제작과 동일한 방법으로 시편을 제작하였으며 상아질의 산 표면처리나 상아질 접착제의 도포는 적용하지 않았다. 파절된 시편의 관간 상아질층과 상아세관내의 결정구조들에 electron probe를 위치시켜 각 부위에서 칼슘/인의 무게비를 EDX (Quantum Dry Fisons, Keve Co., U.S.A)를 이용하여 분석하였다.

### III. 실험 결과

#### 가. 주사전자 현미경 관찰

##### 1. 표면과 파절면 형태 관찰

경화 상아질 시편의 표면에서는 아주 균일하고 치밀한 무정형의 구조물들이 상아질 표

면을 피개하는 양상이, 파절면에서는 상아세관이 불규칙적인 결정체들에 의해서 폐쇄된 양상이 관찰되었고, 건전 상아질 시편은 치아 절단시 형성된 도말층이 거칠게 상아질 표면을 피개하고 있었다(Fig. 9, 10).

##### 2. 산 표면 처리후 변화 관찰

경화 상아질 시편에서는 건전 상아질 시편의 교합면측에서 볼 수 있었던 원형에 가까운 상아세관의 개방형태와는 달리 규칙적이지는 않지만 표면과 평행으로 주행하는 것으로 보이는 상아세관의 측면형태가 관찰되었는데 탈회의 양이 건전 상아질에서 보이는 것과는 달리 요철의 양이 적었다(Fig. 11, 12). 경화 상아질과 건전 상아질 시편 모두에서 10% 인산 처리군과 10% 말레인산 처리군간의 형태학적 변화는 명확히 구분될 수 없었으나, 10% 인산 처리 시편에서 비교적 도말층의 제거 및 상아세관 개방과 요철이 뚜렷이 관찰되었다.

##### 3. 상아질 접착제 도포후 변화 관찰

###### 1) 파절면 관찰

상아질 접착제 도포후 경화 상아질 시편의 파절면에서는 접합레진과 경화된 상아질 사이에서 하이브리드층 형성이 거의 관찰되지 않았고 상아세관내로의 레진 tag 형성 역시 미약하게 나타나고 있었으나(Fig. 13, 14), 건전 상아질의 시편에서는 4-5μm 두께의 명확한 하이브리드층과, 약 3-4μm 지름으로 상아세관을 채우는 레진 tag의 절단 형태가 명확하게 관찰되었다.

###### 2) 0.5M EDTA 처리후 접착면 관찰

경화 상아질 시편에서는 불규칙적으로 드문 드문, 짧게 형성된 레진 tag가 어렵게 관찰되었다(Fig. 15, 16). 건전 상아질의 시편에서는 약 4-5μm 두께로 균일하게 형성된 하이브리드층과 비교적 잘 발달된 레진 tag가 관찰되었다(Fig. 19, 20).

3) 8% Nitric acid 와 10% NaOCl 처리후 접착면 관찰

경화 상아질 시편에서는 산 표면처리 후에 보였던 상아세관의 측면형태와 드물게 보이는 원형의 상아세관 개방형태, 그리고 비스듬히 잘려진 형태로 요철부위를 채우는 레진 tag와 이들의 측방분지들이 관찰(Fig. 17, 18)된 반면, 건전 상아질 시편에서는 경화된 상아질과는 대조적으로 아주 잘 발달되어진 레진 tag가 관찰되었다(Fig. 21, 22).

경화 상아질과 건전 상아질 시편 모두에서 10% 말레인산과 10% 인산 처리 시편간의 형태학적 변화는 명확히 구분될 수 없었으나, 10% 인산 처리 시편에서 상아세관의 개방과 도말층의 제거가 명확하였고 레진 tag형성 또한 두텁고 길게 형성된 것으로 관찰되었다(Fig. 19, 20, 21, 22).

#### 나. 화학적 성분 분석

##### 1) XRD 분석

실험된 5개 상아질 시편의 결정 성분의 분석 결과, 수산화인회석 결정을 제외한 성분들의 일정한 결정구조의 존재는 나타나지 않았으나 (Fig. 3),  $4.74^\circ 2\theta$ 에서 강한 peak (150 CPS)를 보이며  $25-30^\circ 2\theta$ 영역에서 수산화인회석 결정의

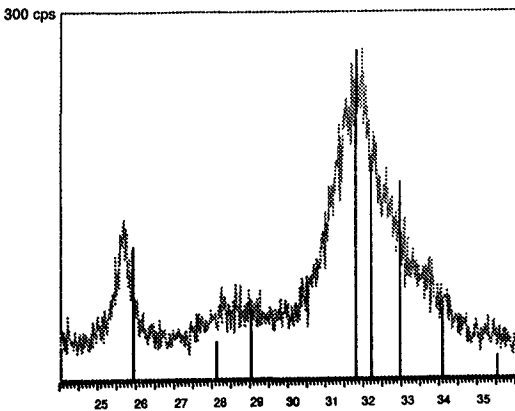


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of human sclerotic dentin within the range of  $25-30^\circ 2\theta$  (Index Bar : peak patterns of hydroxyapatite within the range of  $25-35^\circ 2\theta$ )

diffraction pattern과 유사한 파형을 가지는 Octacalcium Phosphate 결정의 존재를 일부분의 시편에서 보여주었다(Fig. 4, 5). 그러나  $20-35^\circ 2\theta$ 영역에서 여러개의 강한 peak를 가지는 Whitlockite 결정의 파형은 모든 시편의 분석결과에서 일치되는 부분이 거의 존재하지 않았으며, 다만  $29^\circ 2\theta$ 에서 파형이 Whitlockite 결정의

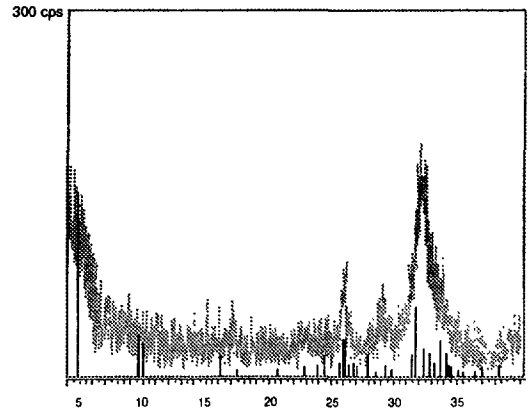


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of human sclerotic dentin within the range of  $5-35^\circ 2\theta$  (Index Bar : peak patterns of octacalcium phosphate within the range of  $5-35^\circ 2\theta$ )

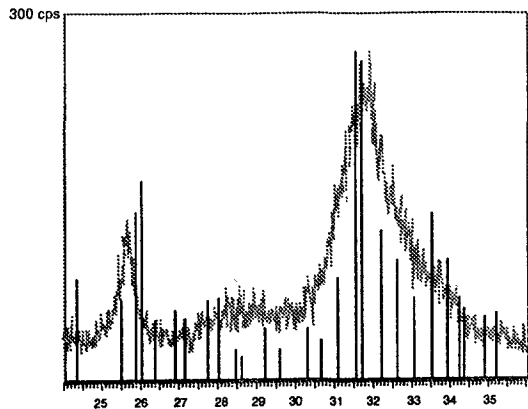


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of human sclerotic dentin within the range of  $25-35^\circ 2\theta$  (Index Bar : peak patterns of octacalcium phosphate within the range of  $25-35^\circ 2\theta$ )

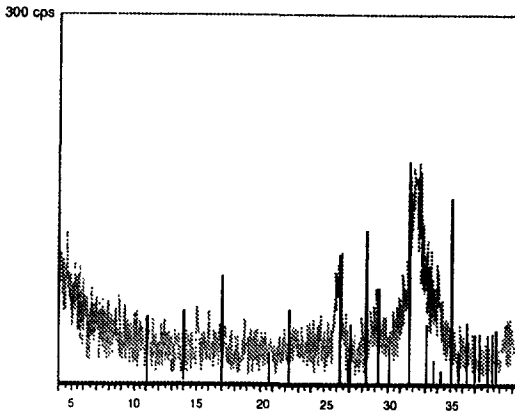


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of human sclerotic dentin within the range of 5-35° 2θ (Index Bar : peak patterns of whitlockite within the range of 5-35° 2θ)

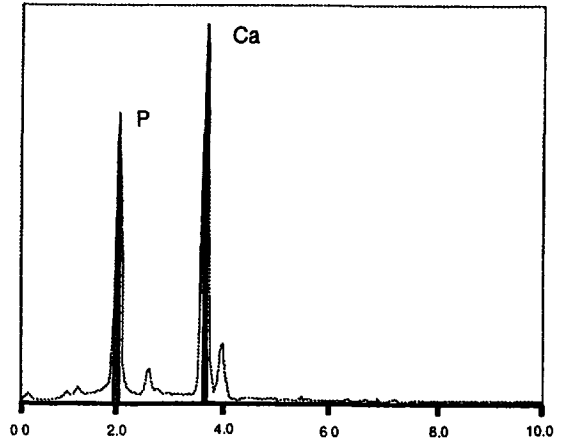


Fig. 8. Typical curve of the amorphous crystals occluding dentinal tubules drawn from EDX

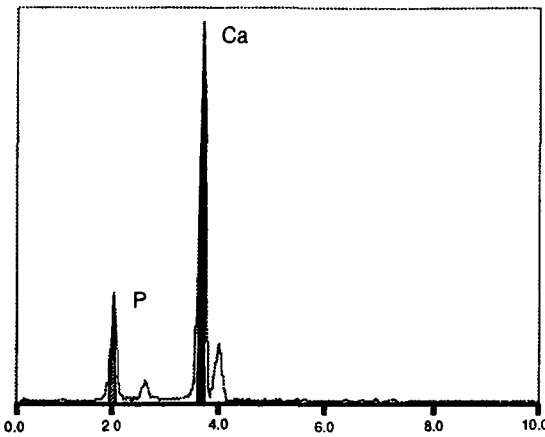


Fig. 7. Typical curve of the intertubular dentin drawn from EDX

결정의 peak와 일치하고 있었으나 그 강도(75 CPS)는 매우 미약하였다(Fig. 6).

## 2) EDX 분석

파절된 5개의 시편으로부터 분석되어진 칼슘/인의 평균 무게비는 관간 상아질층에서  $2.322 \pm 0.170$ 을 나타내었으며(Fig. 7), 상아세관내층에서는  $1.826 \pm 0.051$ 의 칼슘/인 무게비를 나타내었다(Fig. 8).

## IV. 총괄 및 고안

치아는 맹출한 직후부터 구강내적인 요인과 외적인 요인에 의해 영향받고 변화하게 된다. 이는 시간이 경과하면서 다양한 자극에 의해 대다수의 치아가 빠르게 또는 서서히 원래의 형태와 기능을 상실함을 의미한다. 실제로, 발거된 영구치의 약 20%에서 나타난다고 보고<sup>29)</sup>된 바 있는 치경부 마모증은 화학적, 기계적 자극에 대한 치아의 과민성, 마모의 심화 방지, 심미적 증진, 그리고 국소의치의 제작을 돕기 위한 보조적 수단등 다양한 이유들로 인해 많은 경우 수복이 필요로 된다<sup>1)</sup>. 과거에는 아말감 또는 금인레이 등을 이용한 5급외등으로 수복되었지만 현재는 심미성이 크게 부각되면서 심미적으로 우수<sup>2,3)</sup>한 재료인 복합레진과 글래스아이노머 시멘트등이 치질의 삭제를 최소화 하면서 또는 삭제없이 직접 치질과 결합하는 방식으로 이들 병소의 수복재료로 이용되고 있다.

수복물과 치질의 접착기전에 있어서 범랑질은 Buonocore<sup>9)</sup>에 의해 소개된 산부식방법을 이용하여 기계적인 결합을 얻을 수 있는 반면, 상아질은 여러가지 면에서 범랑질의 접착기전과는 달리 어려움이 있다<sup>30,31,32)</sup>.

상아질은 치수 상아질 복합체의 경조직 부분으로 성숙한 상아질은 중량비로 약 70% 무기질과 20%의 유기질 그리고 약 10%의 수분으로 구성되어있다<sup>31)</sup>. 무기질은 주로 수산화인회석,  $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ 으로 구성되며 유기질은 거의가(약 90% 이상) 제1형 교원질이고 나머지는 비교적 단백질로 구성되어있다<sup>32)</sup>. 상아질의 주된 구조물로는 상아질의 특징적인 구조라 할 수 있는 상아세관과 그 내용물, 관주 상아질, 그리고 관간 상아질이 있다. 또한, 상아질은 치아 외형의 완성후에도 계속해서 치수강의 크기의 감소를 초래하는 2차 상아질의 형성과 외부자극에 대한 방어기전의 형태로써 3차 상아질과 경화 상아질을 형성하게된다. 이처럼 상아질은 법랑질에 비해서 상당히 복잡한 구조를 가지며 그 구성과 미세구조가 계속적인 생리적, 병리적인 변화를 보이는 동적인 기질이라고 할 수 있다<sup>30, 24)</sup>. 결과적으로 임상에서 직면하게되는 상아질은 건전 상아질(unaffected normal dentin)과는 상당히 다른 양상을 보인다. 이러한 상아질의 변화들 중에서 상아질의 경화는 관주 상아질의 침착의 증가, 상아세관내 광물질 결정의 침착등으로 인한 상아세관의 폐쇄를 야기하고 이는 관간 상아질과 유사한 반사율(refractive index)을 보이게되어 유리처럼 투명한 상아질을 만들기도 한다<sup>22, 23, 35, 36)</sup>. 이러한 상아질 경화의 원인은 아직까지도 명확히 규명되지는 않았지만 나이의 증가와 크게 관련되어 증가한다는데 많이 동의하고 있다<sup>14-17)</sup>. 이러한 상아질의 경화는 일반적으로 치경부 마모나 우식등을 가지는 치아에서 증가하지만, 경우에 따라서는 이들이 없는 상황에서도 나타날 수 있다<sup>16)</sup>. 우식과 관련되어 나타나는 상아질의 경화에 대해서는 비교적 많은 연구<sup>37, 38)</sup>가 있었던 반면, 치경부 마모 병소와 관련되어 나타나는 상아질의 경화에 대한 연구는 비교적 많지가 않다<sup>21, 22)</sup>. 치경부 마모는 많은 환자에서 흔히 접하게 되지만 높은 조기 탈락율을<sup>28)</sup> 보여 많은 임상가를 당황하게 하기도 한다.

본 연구에서는 심미적으로 우수한 재료인 복합레진을 상아질 접착과정을 통해 치경부

마모 병소 수복에 이용시 높은 실패율의 원인으로 작용하는 경화된 상아질의 구성과 형태 변화 및 상아질 접착제와의 접합 양상을 건전 상아질과 비교하여 알아보려고 최근에 발거된 치아로 치경부 마모 병소를 보이는 전치와 소구치를 실험군으로, 건전한 소구치를 대조군으로 이용하였다. 상아질 처리제로는 10% 인산과 함께 SBMP의 상아질 처리제인 10% 말레인산을 이용하여 그 효과를 비교해 보았고, 상아질 접착제로는 가장 최근에 소개되었고 현재 보편화되어 널리 사용되고 있는 All Bond 2를 이용하였다. 제조자의 지시대로 따라 최대 접착 효과를 얻을 수 있다고 보고된 산 표면 처리후 상아질 표면의 습윤상태(과량의 수분만을 제거)에서 상아질 접착강화제를 도포하고, 계속해서 결합레진을 적용하였다. 실험군의 시편은 치경부 마모 병소의 중심(depth of groove) 부위에서 파절시켜 교합면측 1/2과 치은측 1/2을 이용하였다. 주사전자현미경을 이용 이들 경화된 상아질의 관찰 결과 경화된 상아질 표면하방에는 관주 상아질 두께의 증가, 불규칙한 광물질의 상아세관내 침착이 현저하여 거의 폐쇄되어있는 양상이 관찰되었으며, 레진과의 접합에서는 하이브리드층 형성이나 상아세관내로의 레진 tag의 형성은 미약하였다. 이는 경화된 상아질에서는 극히 제한된 두께의 resin-dentin interdiffusion zone(접합 확산층) 또는 hybrid layer(하이브리드층)가 형성되고, 증가된 관주 상아질과 상아세관내의 광물질 침착, 그리고 sclerotic casts등으로 인한 상아세관의 폐쇄와 미약한 상아세관내로의 레진 tag 형성을 보고한 Van Meerbeek등<sup>24, 25, 39, 40, 41)</sup>의 연구결과와도 일치하는 소견이다. 한편, Gwinnett과 Jendresen<sup>20)</sup>은 병소의 교합면측 경사면에서는 비스듬히 잘려진 형태의 상아세관의 개구형태와 경사면에 평행하게 주행하면서 측면형태를 보이는 상아세관이, 치은측 경사면에서는 횡절단 형태의 상아세관 개구형태가 관찰되었다고 보고하였으며, Mixon<sup>19)</sup>등도 치경부 마모 병소의 교합면측 사면에서는 상아세관의 측면형태를, 치은측 사면에서는 비교적 횡절단 형태의 상아세관 개구형태가 더 많이



관찰되었다고 하였다. 그러나 치은 변연부위에서는 주로 상아세관의 측면 형태가 주로 나타난다고 하였다. 본 연구에서는 교합면측 사면과 치은측 사면 모두에서 원형 또는 비스듬히 잘려진 상아세관의 개구형태보다는 각각의 경사면에 비교적 평행하게 주행하는 상아세관의 측면형태를 관찰할 수 있었다. 보고되어진 연구결과들과 약간의 차이는 있지만 이는 치경부 마모 병소의 마모 정도에 따른 교합면측과 치은측의 경사면이 이루는 각에 따라 경화된 상아질 표면에서 상아세관의 주행 방향이 차이를 보이는 것으로 사료되어진다.

순수한 인산칼슘 화합물의 XRD 분석결과로부터 분석된 peak들과 경화된 상아질 시편의 diffraction pattern들을 비교 분석한 결과, 경화된 상아질은 Hydroxyapatite(HA)와 Octacalcium phosphate(OP) 결정이 대부분을 이루고 Whitlockite(W)결정은 미약하게 존재하는 것으로 유추할 수 있었다. 한편 EDX분석을 통해 알아본 경화된 상아질에서의 칼슘/인 무게비는 관간 상아질측에서  $2.322 \pm 0.170$ , 상아세관내측에서는  $1.826 \pm 0.051$  으로, 이들 결과를 순수한 인산칼슘 화합물 형태의 칼슘/인 무게비(HA : 2.15, OP : 1.72, W : 1.94)<sup>42)</sup>에 견주어 비교할 때 관간 상아질측은 Hydroxyapatite에 근접하였으나, 상아세관내측은 Octacalcium Phosphate와 Whitlockite의 중간값을 보여 특정 결정형태가 상아세관을 폐쇄한다고 단정지어 말할 수는 없었다.

결론적으로, 치경부 마모 병소에서는 경화된 상아질이 보이는 표면 최상층의 치밀하고 균일한 무정형의 구조물, 불규칙한 결정체에 의해 폐쇄된 상아세관, 두꺼워진 관주 상아질, 마모 병소의 경사면에서의 상아세관의 형태 그리고 증가된 광물질의 함량등은 상아질 접착제와 레진의 접착을 어렵게 하는 조건들을 갖추고 있다. 이러한 조건들로 인해 나타나는 치경부 마모 병소의 레진 수복시 높은 실패율을 감소시키기 위하여 여러 방법들이 제시되고 있다. 경화된 상아질면의 바깥 표면을 bur를 이용한 삭제후 산 표면처리<sup>43)</sup>, 산 표면처리제 적용시간의 연장, 강력한 산 표면처리제 사용등이

고려되고 있다<sup>39)</sup>. 또다른 심미성 수복재인 광중합 글라스 아이오노머 시멘트를 단독으로 사용하거나 Mclean<sup>44)</sup>에 의해서 소개된 "Sandwich" 방법을 적용 복합레진과 함께 충전하는 방법이 미세누출의 감소를 보이고 치질과 복합레진과의 결합강도를 증가시킨다는 보고에 따라 그 사용이 추천되고 있다. 하지만 이들 재료는 여전히 중합 수축과 미세누출을 보이고 술후 과민증과 이차 우식증, 탈락 현상을 보이고 있다.

지금까지 살펴본 바와 같이 치경부 마모 병소는 변화된 구성과 형태를 가지는 경화된 상아질을 보이고 있다. 또한 상아질 접착제는 범랑질과는 달리 다양한 기질 형태를 보이는 상아질에서 결합에 한계를 보이고 있다. 심미적인 재료인 레진과 글라스 아이오노머등의 재료는 중합 수축, 결합 강도등 여러면에서 문제점이 남아있다. 이처럼 결합을 어렵게 하는 경화된 상아질의 구성성분과 형태, 특히 상아세관을 막고 있는 결정 구조의 생성 기전, 성분과 형태에 대하여 앞으로도 계속적인 연구가 진행된다면 이들 경화된 상아질을 포함, 다양한 상아질 기질과 잘 반응하여 효과적인 접착을 할 수 있는 상아질 접착제의 개발이 가능하리라 생각되며, 더불어 단점을 보완한 수복재의 개발도 계속되어야 한다고 사료된다.

## V. 결 론

건전 상아질과 비교하여 경화된 상아질의 구성과 형태의 변화 및 레진과의 접합 양상을 관찰하기 위하여 치경부 마모 병소를 가지는 전치와 소구치를 선택한 뒤 10% 인산과 10% 말레인산을 사용하는 상아질 접착제를 경화된 상아질 표면과 건전한 상아질 표면에 적용하고 이를 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다. 상아세관내 결정구조들의 화학적 성분분석을 위하여 범랑질을 제거한후 얻어진 상아질 시편을 분말화하여 X선 회절분석하였으며, 치경부 마모 병소의 중심에서 치아 장축에 수직인 방향으로 시편을 파절시켜 상아세관을 노출시킨 뒤 상아세관내 결정구조들의 칼슘/인 무게비를

분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 경화된 상아질 표면 하방에서는 관주 상아질의 두께의 증가, 불규칙한 광물질의 상아세관내 침착이 현저하였다.
2. 산 표면처리후 치경부 마모 병소의 절단측과 치은측 표면에서 원형의 상아세관 개방형태보다, 상아세관의 측면형태가 높은 빈도로 관찰되었다.
3. 경화된 상아질 표면에 적용되어진 10% 인산처리군과 10% 말레인산 처리군 모두에서 하이브리드층 형성이나 상아세관내로의 레진 tag의 형성은 미약하였다.
4. 경화된 상아질의 X선 회절분석 결과 Hydroxyapatite 결정과 Octacalcium Phosphate 결정이 대부분을 이루고 있었으며, Whitlockite 결정의 존재는 미약하였다.
5. 파절된 5개의 시편으로부터 분석되어진 칼슘/인의 평균 무게비는 관간 상아질층에서  $2.322 \pm 0.170$ 를 나타내었으며, 상아세관내측에서는  $1.826 \pm 0.051$ 의 칼슘/인 무게비를 나타내었다.

#### 참고 문헌

1. Tyas MJ, Beech DR. Clinical performance of three restorative materials for non-undercut cervical abrasion lesions. *Aust Dent J* 1985; 30 : 260-264.
2. Balanko M, Suzuki M and Jordan RE. Universal Bond Resin Class 5 Restoration. *J Esth Dent* 3 : 121-125, 1991.
3. Jordan RE and Balank M. Esthetic Conservative Restoration of Cervical Erosion. *J Esth Dent* 2 : 74-78, 1990.
4. Bowen RL. Properties of silica reinforced polymer for dental restorations. *J. Am. Dent. Assoc* 66 : 57-64. 1962.
5. Buonocore MG. Simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34 : 849, 1955.
6. Phair CB & Fuller JL. Microleakage of composite resin restorations with cementum margins. *J Prosthet Dent* 53 : 361-364, 1985.
7. 박정애. Sandwich 술식과 통상적인 술식으로 충전된 광중합형 복합레진의 미세 변연 누출에 대한 비교연구. 연세치과논문집 6 : 93-102, 1991.
8. Phillips RW. Advancements in adhesive restorative dental material. *J Dent Res Supplement* 6 45 : 1662, 1966.
9. Buonocore MG. Principles of adhesive retention and adhesive restorative materials. *JADA* 67 : 382, 1963.
10. Hollinger JD, Moore Jr. EM. Adhesion and Dentin. *Oper Dent* 4 : 9, 1979.
11. Swift EJ, Perdigao J and Heymann HD. Bonding to enamel and dentin-A brief history and state of the art. *Quint Int* 26 : 95-110, 1995.
12. Barkmeier WW and Cooley RL. Laboratory evaluation of adhesive systems. *Operative Dent (Supplement 5)* : 50-61, 1992.
13. Suh BI. All-Bond -- Fourth Dentin Bonding System. *J Esth Dent* 22 : 139-137, 1991.
14. Vasiliadis L, Darling AI, Levers GH. The amount and distribution of sclerotic human root dentin. *Archs Oral Biol* 28 : 645-649, 1983.
15. Vasiliadis L, Darling AI, Levers BGH. The histology of sclerotic human root dentin. *Archs Oral Biol* 28 : 693-700, 1983.
16. Azaz B, Michaeli Y, Nitzan D. Aging of tissues of the roots of nonfunctional human teeth (impacted canines). *Oral Surg* 43 : 572-578, 1977.
17. Mjör IA. Reaction patterns of dentin. In : Thylstrup A. Dentin and dentin reactions in the oral cavity. Washington DC, IRL Press : 27-31 1987.

18. Avery JK. Dentin. In : Bhaskar SN. Orban's oral histology and embryology. 11th ed. St. Louis : Mosby Year Book, Inc., 1990 ; 107.
19. Mixon JM, Spencer P, Moore DL. Surface morphology and chemical characterization of abrasion/erosion lesions. *Am J Dent* 8 : 5–9, 1995.
20. Gwinnett AJ, Jendresen MD. Micromorphologic features of cervical erosion after acid conditioning and its relation with composite resin. *J Dent Res* 57 : 543–549, 1978.
21. Duke ES and Lindemuth JS. Polymeric adhesion to dentin : contrasting substrates. *Am J Dent* 3 : 264–270, 1990.
22. Duke ES and Lindemuth JS. Variability of clinical dentin substrates. *Am J Dent* 4 : 241–246, 1991.
23. Mjör I. Reaction patterns of dentin. In : Thylstrup A, Leach SA and Qvist V(eds), *Dentin and Dentin Reactions in the Oral Cavity*. Oxford. IRL Press. pp 27–31, 1987.
24. Heymann HO, Sturdevant JR, Brunson WD, et al. Twelve-month clinical study of dentinal adhesives in Class V cervical lesions. *J Am Dent Assoc* 116 : 179–183, 1988.
25. Lambrechts P, Braem M, Vanherle G. Evaluation of clinical performance for posterior composite resins and dentin adhesives. *Oper Dent* 12 : 53–78, 1987.
26. Erickson RL. Surface interactions of dentin adhesive materials. *Oper Dent Suppl* 5 : 81–94, 1992.
27. Heymann HO, Bayne SC. Current concepts in dentin bonding : Focusing on dentinal adhesion factors. *J Am Dent Assoc* 124 : 27–36, 1993.
28. Duke ES, Robbins JW, Snyder DS. Clinical evaluation of a dental adhesive system-3 year results. *Quint Int* 22 : 889–893, 1991.
29. Xhonga FA, Wolcott RV, Sognnaes RF. Dental erosion II. Clinical measurement of dental erosion progress. *J Am Dent Assoc* 84 : 571–576, 1972.
30. Pashley DH. Dentin : a dynamic substrate-a review. *Scan Microsc* 3 : 161–172, 1989.
31. Ten Cate AR. *Oral histology : development, structure and function*. 3rd ed. St. Louis, MO : The CV. Mosby Company, pp. 157–196, 1989.
32. Söderholm K-JM. Correlation of in vivo and in vitro performance of adhesive restorative materials : a report of the ASC MD156 task Group on test methods for the adhesion of restorative materials. *Dent Mater* 7 : 74–83, 1991.
33. Linde A. Dentin : Structure, chemistry and formation. In Thylstrup A, Leach SA, Qvist V. *Dentin and dentin reactions in the oral cavity*. Oxford : IRL Press, 17–26, 1987.
34. Stanley HR, Pereira JC, Spiegel E et al. The detection and prevalence of reactive and physiologic sclerotic dentin, reparative dentin and dead tracts beneath various types of dental lesions according to tooth surface and age. *J Oral Pathol* 12 : 257–289, 1983.
35. Yoshiyama M, Masada J, Uchida A et al. Scanning electron microscope characterization of sensitive vs. insensitive human radicular dentin. *J Dent Res* 68 : 1398–1502, 1989.
36. Yoshiyama M, Noiri Y, Ozaki K et al. Transmission electron microscopic characterization of hypersensitive human radicular dentin. *J Dent Res* 69 : 1293–1297, 1990.
37. Fusayama T. Two layers of carious dentin : diagnosis and treatment. *Oper Dent*

- 4 : 63-70, 1979.
38. Ogawa K, Yamashita Y, Ichijo T et al. The ultrastructure and hardness of the transparent layer of human carious dentin. *J Dent Res* 62 : 7-10, 1983.
  39. Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vamherle G. Morphological characterization of the interface between resin & sclerotic dentin. *J Dent* 22 : 141-146, 1994.
  40. Duke E. Clinical studies of adhesive systems. *Oper Dent Suppl* 5 : 103-110, 1992.
  41. Richards ND, McEvoy SA, McConnell TA, et al. Effects of subject age on dentin-bonded restorations. *J Dent Res* 71 : 139 (Abstr 265), 1992.
  42. 이종훈, 김종수. 구강 생리학. 3판. 신광출판사, pp. 262-285, 1989.
  43. Gwinnett AJ, Kanca III J. Interfacial morphology of Resin Composite and shining erosion lesions. *Am J Dent* 5 : 315-317, 1992.
  44. Mclean JW, Prosser HJ, Wilson AD. The Use of Glass-ionomer Cements in Bonding Composite Resin to Dentin. *Br Dent J* 158, 1985.

## 사진 부도 설명

- Fig. 9. SEM view at the outer surface of sclerotic dentin specimen showing cervical abrasion. (X 2300)
- Fig. 10. SEM view at the fractured surface of sclerotic dentin specimen showing cervical abrasion. (X 2300)
- Fig. 11. SEM view at the occlusal dentin surface of unaffected normal dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid. (X 2300)
- Fig. 12. SEM view at the dentin surface of gingival incline of sclerotic dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid. (X 2300)
- Fig. 13. SEM view at the interface between adhesive resin and sclerotic dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid. (X 2300)
- Fig. 14. SEM view at the interface between adhesive resin and another sclerotic dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid. (X 2300)
- Fig. 15. SEM view of bonding aspects in the sclerotic dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid after the treatment with 0.5M EDTA solution. (X 2300)
- Fig. 16. SEM view of bonding aspects in another sclerotic dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid after the treatment with 0.5M EDTA solution. (X 2000)
- Fig. 17. SEM view of bonding aspects in the sclerotic dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid after the treatment with 8% nitric acid & 10% NaOCl solution. (X 1500)
- Fig. 18. SEM view of bonding aspects in another sclerotic dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid after the treatment with 8% nitric acid & 10% NaOCl solution. (X 3000)
- Fig. 19. SEM view at the fractured surface of unaffected normal dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid / applied with bonding agent. (X 1200)
- Fig. 20. SEM view at the fractured surface of unaffected normal dentin specimen conditioned with 10% maleic acid / applied with bonding agent. (X 1200)
- Fig. 21. SEM view of bonding aspects in the unaffected normal dentin specimen conditioned with 10% phosphoric acid / applied with bonding agent after the treatment with 8% nitric acid & 10% NaOCl solution. (X 1500)
- Fig. 22. SEM view of bonding aspects in the unaffected normal dentin specimen conditioned with 10% maleic acid / applied with bonding agent after the treatment with 8% nitric acid & 10% NaOCl solution. (X 1500)

논문 사진 부도 ①

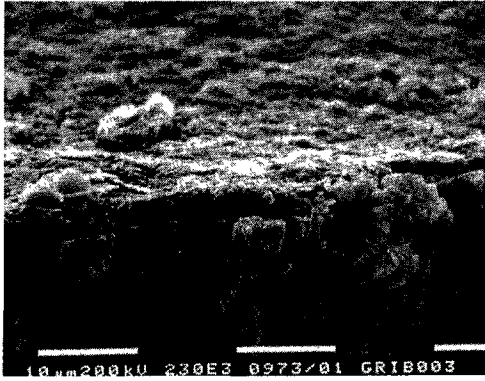


Fig. 9

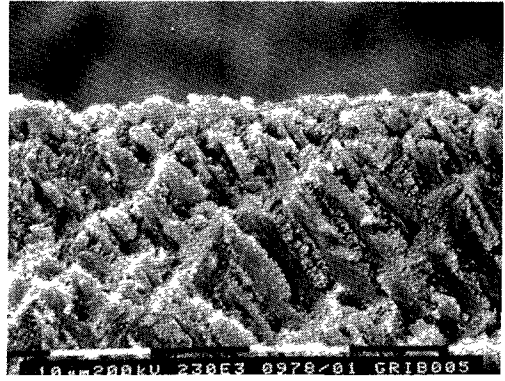


Fig. 10

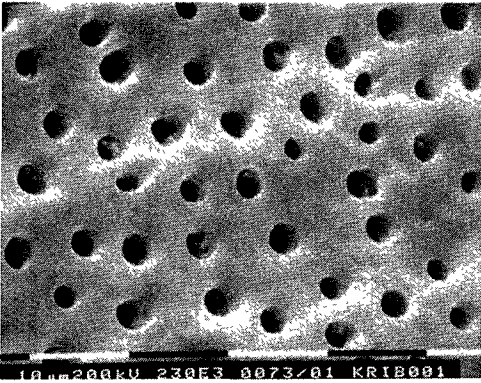


Fig. 11

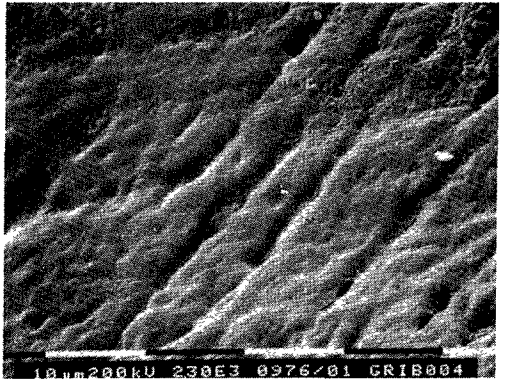


Fig. 12

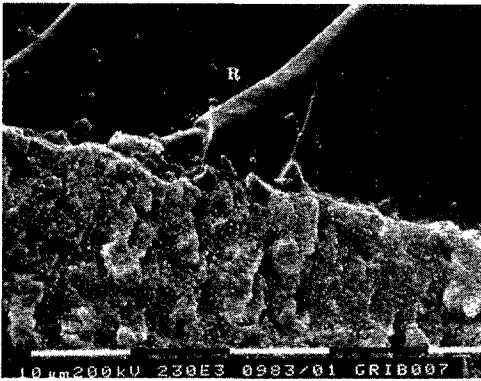


Fig. 13

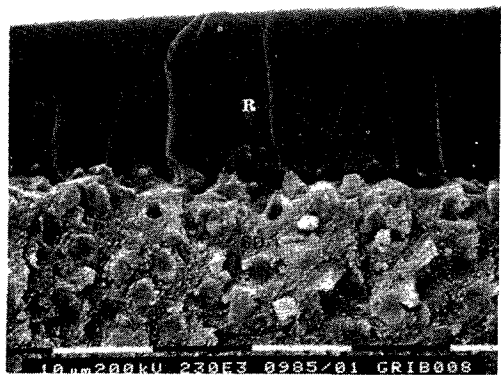


Fig. 14

논문 사진 부도 ②

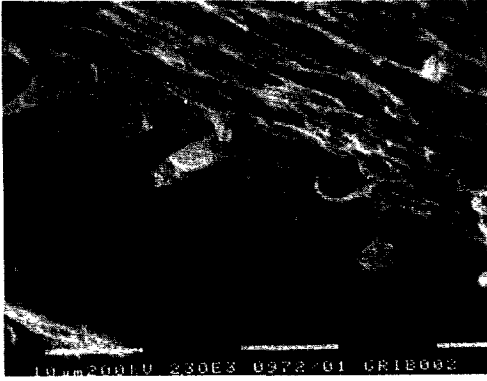


Fig. 15



Fig. 16



Fig. 17



Fig. 18

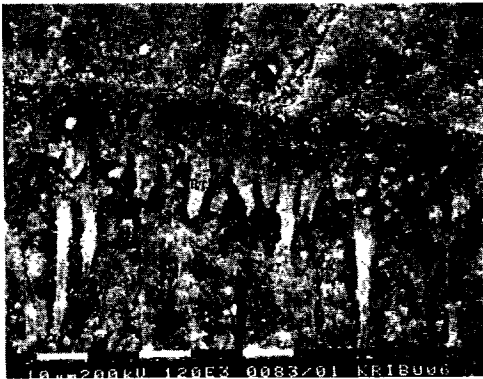


Fig. 19

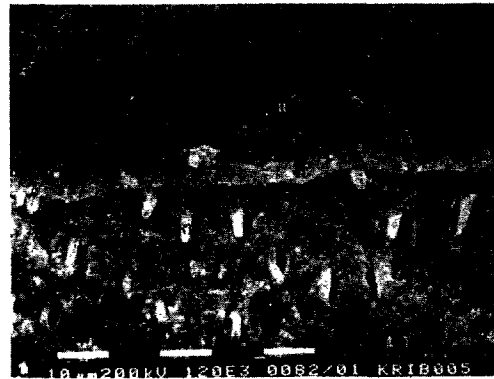


Fig. 20

논문 사진 부도 ③



Fig. 21

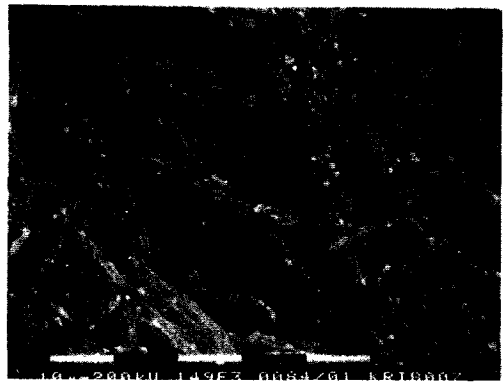


Fig. 22