

복합레진 수복시 복합용기 및 단일용기 상아질 접착제의 미세변연누출에 관한 연구

류주희 · 박동성* · 권혁춘

서울대학교 치과대학 치과보존학교실, 삼성의료원 치과진료부 보존과*

ABSTRACT

MICROLEAKAGE OF CURRENT DENTIN BONDING SYSTEMS

Ju-Hee Ryu, D.D.S., M.S.D., Dong-Sung Park, D.D.S., Ph.D*, Hyuk-Choon Kwon., D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University

**Institute of Oral Health Science SamSung Medical Center*

The purpose of this study was to evaluate the microleakage of 5 current dentin bonding systems which are composed of 2 multi-bottle systems(Scotchbond Multi-Purpose, All Bond2) and 3 one-bottle systems(Single bond, One-Step, Prime & Bond). In this *in vitro* study, class V cavities were prepared on buccal and lingual surfaces of sixty extracted human premolars and molars on cementum margin. The experimental teeth were randomly divided into six groups of 10 samples (20 surfaces) each. Group 1 : Scotchbond Multi-Purpose ; Group 2 : All Bond 2 ; Group 3 : Single Bond ; Group 4 : One-Step ; Group 5 : Prime & Bond ; Group 6 : no bonding agent(control). The bonding agent and composite resin were applied for each group following the manufacturer's instructions. After 500 thermocycling between 5°C and 55°C, the 60 teeth were placed in 2% Methylene blue dye for 24 hours, then rinsed with tap water. The specimen were embedded in clear resin, then sectioned buccolingually through the center of restoration with a low speed diamond saw. The dye penetration on each of the specimen were then observed with a stereomicroscope at $\times 20$. The results of study were statistically analyzed using the Student-Newmann-Keul's Methods and the Mann-Whitney Rank Sum Test. The resin/dentin interfaces were examined under Scanning Electron Microscopy.

The results of this study were as follows.

1. None of the dentin bonding systems used in this study showed significant difference in leakage values at both the enamel and the dentin margins ($P > 0.05$).
2. In all groups except the control, leakage value seen at the enamel margin was significantly lower than that seen at the dentin margin ($P < 0.05$).
3. Compared to the control group, all the groups treated with dentin bonding systems showed significantly lower leakage value at both enamel and dentin margins ($P < 0.05$).
4. In the SEM view, gaps were observed in the composite resin / dentin interface in group 6 where no dentin bonding agent was used, and in all the other groups (group 1, 2, 3, 4, 5) composite resin, hybrid layer, and dentin were seen to be closely adhering to each other where there were no leakages. Well-developed resin tags 3~100 μm in length infiltrated dentinal tubules past the hybrid layer and a hybrid layer 1~5 μm thick had developed between the dentinal surface and the composite resin surface.

Key Words : multi-bottle dentin adhesive, one-bottle dentin adhesive, microleakage, class V cavity

I. 서 론

수복물과 치아의 완전한 결합은 수복학 분야에 있어서 가장 중요한 부분의 하나이며, 이를 이루기 위한 많은 연구가 있었으나 현재까지도 수복물과 치아를 완전하게 결합시키는 재료 및 방법은 개발되어 있지 않다. 복합레진은 우수한 심미성과 시술의 간편성 등 여러가지 장점을 가지고 있으나, 수복체의 선택에 있어 중요한 성질의 하나인 변연적합의 질과 지속성에 있어 문제가 제기되는데 이는 중합시에 발생하는 수축과 치아와 수복물간 열팽창계수의 차이 및 저작시 발생하는 응력에 의해 치아와 수복레진 사이에 결합이 실패하여 미세변연누출이 일어날 수 있기 때문이다¹⁾. 이런 미세변연누출로 구강내 타액이나 미생물이 침투하여 수복 후의 과민반응, 변연 변색, 이차 우식증, 충전물의 용해 및 파괴, 치수 병변 등이 유발될 수 있다^{2,3)}. 따라서 복합레진과 치아 사이를 개재하는 접착제가 중합 수축이나 온도 변화시 발생하는 응력 및 정상적인 교합 기능시에 발생하는 응력에 저항할 정도의 결합력을 가지고 있어야 변연누출이 감소될 수 있으며, 이에 필요한 치질과의 최소한 결합강도를 대략 18MPa 정도로 보고하고 있다⁴⁾. 상아질 접착제의 결합강도와 변연누출 정도와의 관계는 논란이 많으나 직접적인 반비례 관계는 아니며 미세변연누출에는 치질과의 결합강도외에 와동의 크기와 기하학적인 측면이나 술자의 기술적인 측면도 영향을 미친다고 보고되고 있다.

Buonocore⁵⁾에 의해 인산에 의한 범랑질 산부식법이 소개된 이래 복합레진과 범랑질간의 결합은 미세기계결합에 의해 적절하게 이루어져 변연누출이 크게 억제되었으나⁶⁾, 상아질과의 결합은 상아질의 구성성분, 상아세관의 밀도, 상아세관 내의 수액 이동, 상아질 투과도, 칼슘 농도, 도말층의 후경, 우식성 탈회 정도 및 경화성 상아질과 같은 기질적 요소에 영향을 받아 범랑질에서와 같은 높은 결합력과 우수한 변연 적합성을 이루지 못하고 있는 상태이다⁷⁻¹⁰⁾. 이러한 상아질 결합의 어려움을 극복하기 위해 많은 노력들이 행하여져 왔으며, 상아질 접착제는 결합강도의 개선과 그 개념의 발달에 따라 1, 2, 3, 4세대로 구분되며 현재는 제 5세대의 상아질 접착제까지 소개되어 있고 각 단계의 구분은 학자에 따라 약간의 차이가 있다¹¹⁻¹³⁾.

제 1세대 상아질 접착제에는 glycerophosphoric acid dimethacrylate, cyanoacrylate, N-phenylglycine and glycidyl-methacrylate(NPG-GMA) 등이 있으며, 상아질에 대한 결합강도는 2.0MPa에 불과하고¹⁴⁾ 그 결합강도의 지속성은 매우 낮아, 결과는 매우 불만족스러운 것이었으나 상아질과의 결합을 얻었다는 점에서 상아질 접착제로 인정받고 있다. 제 2세대 상아질 접착제는 상아질 표면의 도말층과 화학적 결합을 시도하였으나 4.0 ~ 6.0MPa의 낮은 결합강도를 나타내고¹⁵⁾ 변연누출의 문제점을 보이고 있다. 주로 phosphate ester를 기본으로 하여 인산기와 상아질내 칼슘과의 화학적 결합을 기

대하는 것과 polyurethane을 기본으로 하여 상아질의 유기질 및 무기질에 있는 hydroxyl group과의 공유 결합을 기대하는 것이 있다^{16,17)}. 제 3세대 상아질 접착제의 특징은 상아질 내의 교원 섬유와의 결합을 시도하였다는 점과 도말층을 용해시키거나 제거하여 상아질 표면의 변형을 시도하였다는 점이다¹⁸⁾. 접착 강화제(primer)에 친수성 단량체인 hydroxyethyl methacrylate(HEMA), N-tolyglycine-glycidyl methacrylate(NTG-GMA), pyromellite dimethacrylate(PMDM) 등을 첨가하여 교원 섬유의 hydroxyl group과의 결합을 시도해 10MPa 정도의 결합강도를 얻을 수 있었으나 이는 대부분 레진 tag에 의한 기계적인 결합에 의한 것이며 많은 연구들에서 접착레진의 상아세관 내 tag 형성만으로 결합력의 현저한 증가를 가져오지는 않는다고 보고하고 있다. 제 4세대 상아질 접착제에 이르러서야 진정한 의미의 상아질 결합이 가능하게 되었는데, total etch술식 및 혼성층(hybrid layer)과 습윤 접착(wet bonding)의 개념이 확립되었다. 이전부터 Fusayama 등¹⁹⁾에 의해 제기되어온 상아질 산부식 개념은 논란을 거듭하다 인정받게 되었고, 따라서 total etch 개념이 적용되어 상아질과 레진을 결합시키기 위해서는 상아질도 범랑질과 동일하게 산부식해 일정 깊이까지 상아질을 탈회시켜 교원 섬유를 노출시켜야 한다고 하였고, Nakabayashi 등²⁰⁾은 산부식법으로 도말층을 제거하고 탈회된 상아질의 교원 섬유의 망상 구조 사이로 친수성의 접착 단량체를 침투시켜 중합된 혼성층(hybrid layer)을 형성하여 미세기계결합에 의한 상아질과 레진의 결합을 얻을 수 있다고 하였다. Kanca⁴²⁾와 Gwinnett⁴³⁾은 탈회 후 상아질면의 건조는 교원 섬유층의 망상 구조를 지지하고 있던 수분을 증발시킴으로써 표면장력에 의해 교원 섬유가 수축 붕괴되는 결과를 초래하므로, 상아질 내 수분의 존재가 접착 레진의 침투에 긍정적으로 작용한다는 습윤 접착법을 제안하였다. 제 4세대 상아질 접착제는 상아세관 및 관간 상아질 모두로부터 결합력을 얻을 수 있으므로 결합력이 20MPa 정도로 극적으로 증가하였고 현재까지 이 개념이 상아질 결합의 주요 기전으로 인정받고 있다. 이 접착제에서는 3가지 단계, 즉 1) 상아질 산부식 2) 상아질 접착 강화제 도포 3) 상아질 접착레진 도포 과정을 거쳐야 하므로 그 술식이 복잡하고 시술 시간이 증가하였으며 술자의 숙련도에 민감하다는 단점이 있어 최근에는 이를 보완하기 위해 산부식제와 접착 강화제 또는 접착 강화제와 접착레진을 단일용기에 합한 제품들이 소개되고 있다. 즉, 제 5세대 단일용기 상아질 접착제는 제 4세대 복합용기 상아질 접착제에서의 복잡한 술식을 단순화시키고 술자의 숙련도에 대한 민감성을 감소시키는 방법의 일환으로 개발된 것이다^{21,22)}. 제 5세대 단일용기 상아질 접착제에서 상아질과 결합기전의 개념은 제 4세대 복합용기 상아질 접착제와 동일하고 구성 성분도 유사하다. 상아질과의 결합강도와 미세변연누출 정도가 비슷하고, 술자의 숙련도에 대한 민감성의 감소 및 시술시간의 감소 등의 효과가 일어난다면 임상에서 제

5세대 상아질 접착제의 사용이 활발할 것으로 예상된다.

Barkmeier²³⁾나 Prati²⁴⁾에 의하면 상아질 접착제의 *in vitro* 연구시 평가에 있어 가장 많이 사용되는 물성은 결합강도와 미세변연누출이라고 하였고, 제 4세대 및 제 5세대 상아질 접착제의 결합강도에 관한 연구는 비교적 다수 보고되고 있으나^{22,25-28)} 미세변연누출에 관한 연구보고는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 복합레진 충전 시술이 가장 보편적으로 많이 적용되는 제 5급 와동을 형성하여 시판되는 2종의 제 4세대 복합용기(multi-bottle) 상아질 접착제와 3종의 제 5세대 단일용기(one-bottle) 상아질 접착제를 처리해 복합레진의 충전, 중합 후 염색 용액의 침투도를 조사해 변연누출을 관찰, 비교 평가하였으며, 주사전자현미경을 통해 상아질에 대한 레진 침투 정도를 관찰하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

성별에 관계없이 우식증이나 충전물이 없고, 파절이나 손상이 없는 발거된 지 한 달이 경과하지 않은 60개의 상악, 하악 소구치와 대구치를 선택하여, 표면에 부착된 치주인대 등의 연조직과 치석을 제거한 후 실온의 생리식염수에 보관한 다음 실험에 사용하였다. 충전에 사용된 상아질 접착제와 복합레진은 복합용기(multi-bottle) 즉 제 4세대 상아질 접착제로는 Scotchbond Multi-Purpose에 Z-100(3M Dental Products, U.S.A.), All Bond 2에 \AE litefil(Bisco, Inc., U.S.A.)을, 단일용기(one-bottle) 즉 제 5세대 상아질 접착제로는 Single Bond에 Z-100, One-Step에 \AE litefil, Prime & Bond에 Spectrum (Dentsply Detrey, Germany)을 사용하였다 (Table 1). 상아질 접착제와 복합레진의 중합에는 가시광선 조사기구 Vislux 2(3M Co., U.S.A.)를 사용하였다.

Table 1. Dentin Bonding Systems used in this study

| Product | Component | | Composition | Manufacturer |
|--------------------------|---------------|---------------------|--|---|
| Scotchbond Multi-Purpose | Etchant | | 10% maleic acid | 3M Dental Products St. Paul, MN, U.S.A. |
| | Primer | | HEMA, Copolymer of polyalkenoic acid | |
| | Adhesive | | Bis-GMA, HEMA | |
| All Bond 2 | Etchant | | 10% phosphoric acid | Bisco, Inc., Itasca, IL, U.S.A. |
| | Primer | A | 2% NTG-GMA | |
| | | B | 16% BPDM | |
| Bonding resin | | Bis-GMA, UDMA, HEMA | | |
| Single Bond | Etchant | | 35% phosphoric acid | 3M Dental Products St. Paul, MN, U.S.A. |
| | Adhesive | | Bis-GMA, HEMA, Copolymer of polyalkenoic acid, GDMA, ethanol | |
| One-Step | Etchant | | 32% phosphoric acid | Bisco, Inc., Itasca, IL, U.S.A. |
| | Adhesive | | Bis-GMA, HEMA, BPDM, acetone | |
| Prime&Bond | Conditioner | | 36% phosphoric acid | LD Caulk / Dentsply Milford, DE, Germany |
| | Bonding resin | | PENTA, urethane-modified Bis-GMA, TEGDMA, acetone | |

Bis-GMA = Bisphenol-A glycidyl methacrylate

NTG-GMA = N-tolyglycine-glycidyl methacrylate

HEMA = Hydroxyethyl methacrylate BPDM = Bisphenyl dimethacrylate

UDMA = Urethane dimethacrylate GDMA = Glycerol dimethacrylate

PENTA = dipentacrythritol penta acrylate phosphoric acid ester

TEGDMA = triethylene glycol dimethacrylate

Table 2. Manufacturer's directions of Denting Bonding Systems. (Adhesive Procedures)

| Product | Etchant | Primer | Bonding resin |
|--------------------------|---|--|--|
| Scotchbond Multi-Purpose | Etch for 15s. Rinse for 15s. Dry for 5s. | Apply one coat. Dry gently for 5s. | Apply one coat. Light cure for 10s. |
| All Bond 2 | Etch for 15s. Rinse thoroughly. Lightly dry for 1s. Do not desiccate. | Apply 5 coats. Do not dry between coats. Dry for 5-6s. | Apply one coat. Light cure for 20s. |
| Single Bond | Etch for 15s. Rinse for 15s. Blot dry. | Apply two coats. Dry gently for 2-5s. Light cure for 10s. | |
| One - Step | Etch for 15s. Rinse thoroughly. Lightly dry for 1s. Do not desiccate. | Apply two coats. Dry gently for 2-5s. Light cure for 10s. | |
| Prime & Bond | Etch for 15s. Rinse for 15s. Blot dry. | Apply one coat and left undisturbed for 30s. Air-thinned by blowing. Light cure for 10s | |

2. 실험 방법

(1) 시편 제작

고속 엔진용 No. 701 bur를 이용하여 치경부측에서 치은 변연부가 백아-법랑 경계 1mm 하방의 백악질에 위치하도록 제 5급 와동을 실험 치아의 협면과 설면에 각각 형성하고 Extra-fine diamond point(ISO 176/016, N.B.MANI)를 사용하여 와동 내면을 평활하게 하였다. 와동의 크기는 교합-치은 폭이 3mm, 근원심 폭이 3mm, 깊이는 2mm로 형성하였다. 사용하는 재료에 따라서 60개의 치아를 10개씩(20면) 무작위로 6개의 군으로 나누어 각각 제조 회사의 지시에 따라서 다음과 같이 상아질 접착제 도포 및 복합레진 충전을 시행하였다(Table 2).

가. 제 1군 : Scotchbond Multi-Purpose를 도포한 군
각 치아의 협측 및 설측 와동을 10초간 압축공기로 건조시킨 뒤 Scotchbond Multi-Purpose etchant (10% maleic acid)로 15초간 산 처리하였다. 15초간 수세하고 5초간 과량의 수분만 제거한 후 Scotchbond Multi-Purpose primer를 1회 도포하여 건조시키고 표면이 윤택하지 않고 건조된 부위가 잔존해 있으면 1회 재도포하여 건조시켰다. Adhesive를 균일한 층으로 도포하여 10초간 광중합하고 동일 제조 회사의 복합레진인 Z-100을 와동 내 분할 충전 후 광중합하고, 연마한 후에 생리식염수에 보관하였다.

나. 제 2군 : All Bond 2를 도포한 군
각 치아의 협측 및 설측 와동을 10초간 압축공기로 건조시킨 뒤 All-Etch (10% phosphoric acid)로 15초간 산 처리

하였다. 완전히 수세하고 1초간 과량의 수분만 제거한 후 Primer A와 B를 혼합한 뒤 5회 연속 도포한 다음 5 - 6초간 건조시켰다. Dentin/Enamel Bonding Resin을 균일한 층으로 도포하여 20초간 광중합하고 동일 제조 회사의 복합레진인 \AE litefil을 와동 내 분할 충전 후 광중합하고, 연마한 후에 생리식염수에 보관하였다.

다. 제 3군 : Single Bond를 도포한 군
각 치아의 협측 및 설측 와동을 10초간 압축공기로 건조시킨 뒤 Single Bond etchant (35% phosphoric acid)로 15초간 산 처리하였다. 15초간 수세하고 5초간 과량의 수분만 제거한 후 Single Bond adhesive를 균일한 층으로 2회 도포하고 2 - 5초간 살짝 건조시켜 10초간 광중합하였다. 동일 제조 회사의 복합레진인 Z-100을 와동 내 분할 충전 후 광중합하고, 연마한 후에 생리식염수에 보관하였다.

라. 제 4군 : One-Step을 도포한 군
각 치아의 협측 및 설측 와동을 10초간 압축공기로 건조시킨 뒤 Uni-Etch (32% phosphoric acid)로 15초간 산 처리하였다. 완전히 수세하고 1초간 과량의 수분만 제거한 후 One-Step adhesive를 균일한 층으로 2회 도포하고 2 - 5초간 살짝 건조시켜 10초간 광중합하였다. 동일 제조 회사의 복합레진인 \AE litefil을 와동 내 분할 충전 후 광중합하고, 연마한 후에 생리식염수에 보관하였다.

마. 제 5군 : Prime & Bond를 도포한 군
각 치아의 협측 및 설측 와동을 10초간 압축 공기로 건조시킨 뒤 DeTrey conditioner (36% phosphoric acid)로 15초

간 산 처리하였다. 완전히 수세하고 과량의 수분만 제거한 후 Prime & Bond를 균일한 층으로 도포하고 30초간 방치해 두었다가 살짝 건조시켜 10초간 광중합하였다. 동일 제조 회사의 복합레진인 Spectrum을 와동 내 분할 충전 후 광중합하고, 연마한 후에 생리식염수에 보관하였다.

바. 제 6군 (대조군) : 상아질 접착제를 도포하지 않은 군 (No bonding agent)

대조군인 제 6군에서는 다시 세부적으로 5개의 군으로 나누어서 (6-1, 6-2, 6-3, 6-4, 6-5), 위의 제 1군에서 제 5군 까지 사용한 산 부식제 및 복합레진의 종류와 충전 방법은 동일하게 하고 primer 및 adhesive를 도포하는 과정만을 제외 하였다.

이때, 모든 군에서 사용된 연마 기구는 Extrafine diamond point (ISO 293/014, N.B. MANI)와 Sof-Lex disc (3M Dental Products)를 이용하였다. 완료된 시편을 실온의 생리 식염수에서 7일간 보관한 후, 5℃와 55℃의 수조에서 번갈아 1분씩 총 500회의 온도 변화를 주며 thermocycling을 실시 하고 근침 부위를 Vitrebond (3M Dental Products)로 폐쇄 한 후, 수복 와동 변연 1mm를 제외한 전 표면에 nail varnish 를 2회 도포하였다. 2% Methylene blue 염색 용액에 24시간 담그고, 그 후 흐르는 물에 염색 용액을 세척한 후 시편을 투명 레진에 매몰하였다. 매몰된 시편을 Diamond saw (Isomet, Buehler Co., U.S.A.)를 사용하여, 협설측으로 치 아 장축에 평행하게 절단하여 절단면을 회전연마기구 (Struers Pedemat, W.G)로 연마하였다.

(2) 염색 용액의 침투도 관찰

입체 현미경 (Stereo Zoom Microscope, OLYMPUS, Japan)을 사용하여 ×20 배율로 염색 용액의 침투도를 관찰 하였으며, 통계분석은 Student-Newman-Keuls Method와 Mann-Whitney Rank Sum Test를 사용하였다(유의수준 P=0.05).

염색 용액의 침투 정도는 다음과 같이 판정하였다.

- 0 - 염색 용액의 침투가 전혀 없는 경우
- 1 - 염색 용액의 침투가 와동 깊이 (와동 변연에서 측벽까지)의 높을 넘지 않는 경우
- 2 - 염색 용액의 침투가 와동 깊이의 2/3를 넘지 않는 경우
- 3 - 염색 용액의 침투가 와동 깊이의 1/3를 넘는 경우

염색 용액의 침투 정도는 범랑질 변연과 상아질 변연에서 각각 측정 후 기록하였다.

(3) 주사전자현미경 관찰

입체 현미경으로 염색 용액의 침투도를 측정된 후 각 군의 대표적인 시편을 선택하여 15초간 32% phosphoric acid를 도포하여 연마시의 표면 잔사를 수세한 다음 건조기에 위치시

켜 수분을 제거하였다. 시편을 스테르에 고정된 후 금증착(Gold coating)하여 주사전자현미경 (JSM-840A Scanning Microscope, JEOL Ltd., Japan)에서 10 KVp의 가속전압으로 상아질 표면과 접착제와의 계면을 관찰하고 polaroid 667 필름(Kodak Co., U.S.A.)으로 촬영하였다.

Ⅲ. 실험결과

1. 각 실험군의 미세변연누출도 관찰

시편 처리에 따른 염색 용액의 침투도와 각 실험군의 평균 값의 비교는 Table 3 및 Table 4에 표시하였고, Fig. 1과 Fig. 2는 이를 도표로 나타낸 것이다. 입체 현미경을 사용하여 ×20 배율로 관찰한 각 군의 대표적인 시편 촬영 사진은 Fig. 3~8에 나와 있다.

(1) 범랑질에 대한 염색 용액의 침투도

상아질 접착제를 도포하지 않은 제 6군을 제외한 나머지 모든 군에서 범랑질 변연이 상아질 변연보다 유의성 있게 낮은 미세변연누출을 보였으며(P<0.05), 제 6군에서는 범랑질과 상아질 변연의 미세변연누출이 유의할 만한 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 상아질 접착제를 도포하지 않은 제 6군이 제 1군, 제 2군, 제 3군, 제 4군, 제 5군에 비해 가장 심한 미세변연누출을 보였으며 유의할 만한 차이가 있었고(P<0.05), 실험에 사용된 재료간의 미세변연누출에 대한 차이는 통계적으로 유의성이 없었다(P>0.05), (Table 3, Fig. 1). 다만, 유의성은 없으나 All Bond 2의 제 2군과 One-Step의 제 4군이 다소 큰 표준편차의 값을 나타냈다.

(2) 상아질에 대한 염색 용액의 침투도

상아질 접착제를 도포하지 않은 제 6군이 제 1군, 제 2군, 제 3군, 제 4군, 제 5군에 비해 가장 심한 미세변연누출을 보였으며 유의할 만한 차이가 있었고(P<0.05), 실험에 사용된 재료간의 미세변연누출에 대한 차이는 통계적으로 유의성이 없었다(P>0.05), (Table 4, Fig. 2). 즉, 동일 제조 회사의 제 4세대 복합용기제품과 제 5세대 단일용기제품간에서 유의할 만한 미세변연누출의 차이를 보이지 않았으며(P>0.05), 제 4세대 복합용기제품간에서도 유의할 만한 미세변연누출의 차이를 보이지 않았고(P>0.05), 제 5세대 단일용기제품간에서도 유의할 만한 미세변연누출의 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 다만, 유의성은 없으나 All Bond 2의 제 2군, One-Step의 제 4군 및 Prime & Bond의 제 5군이 다소 큰 표준편차의 값을 나타냈다.

Table 3. Number of specimens in each score and mean leakage score on enamel margin

| | Score | | | | No. | Mean | S. D. |
|------------------------------------|-------|---|---|----|-----|------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | | |
| group 1 (Scotchbond Multi-Purpose) | 18 | 2 | 0 | 0 | 20 | 0.1 | 0.308 |
| group 2 (All Bond 2) | 17 | 2 | 0 | 1 | 20 | 0.25 | 0.716 |
| group 3 (Single Bond) | 17 | 2 | 1 | 0 | 20 | 0.20 | 0.523 |
| group 4 (One-Step) | 16 | 3 | 0 | 1 | 20 | 0.30 | 0.733 |
| group 5 (Prime & Bond) | 17 | 3 | 0 | 0 | 20 | 0.15 | 0.366 |
| group 6 (No bonding agent) | 1 | 1 | 6 | 13 | 20 | 2.45 | 0.826 |

Table 4. Number of specimens in each score and mean leakage score on dentin margin

| | Score | | | | No. | Mean | S. D. |
|------------------------------------|-------|---|---|----|-----|------|-------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | | | |
| group 1 (Scotchbond Multi-Purpose) | 10 | 7 | 2 | 1 | 20 | 0.70 | 0.865 |
| group 2 (All Bond 2) | 9 | 8 | 1 | 2 | 20 | 0.80 | 0.951 |
| group 3 (Single Bond) | 9 | 8 | 2 | 1 | 20 | 0.75 | 0.851 |
| group 4 (One-Step) | 10 | 7 | 0 | 3 | 20 | 0.80 | 1.056 |
| group 5 (Prime & Bond) | 9 | 9 | 0 | 2 | 20 | 0.75 | 0.910 |
| group 6 (No bonding agent) | 0 | 0 | 3 | 17 | 20 | 2.85 | 0.366 |

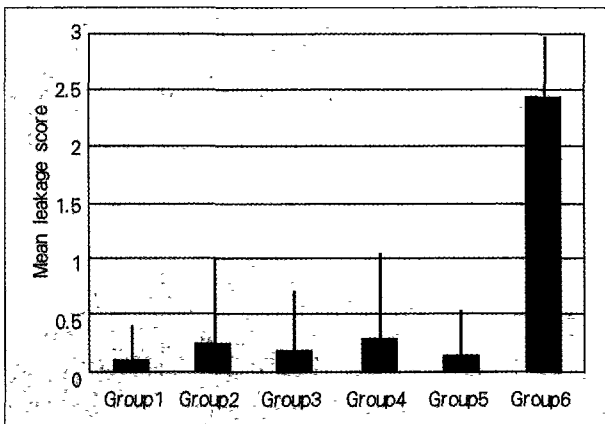


Fig. 1. Mean leakage values of each group on enamel

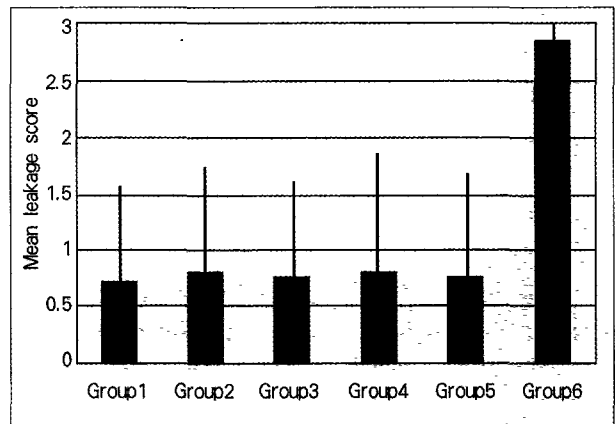


Fig. 2. Mean leakage values of each group on dentin

2. 주사전자현미경 관찰

주사전자현미경 관찰시 수직으로 절단된 시편의 절단면에 32% 인산을 15초간 처리하였다. 절단면의 상아질 표면에 도말층이 완전히 제거되고 상아세관이 개방된 형태를 보인 시편도 있었으나 부분적으로 도말층이 덜 제거된 시편도 관찰되었다. 상아질 접착제를 도포하지 않은 제 6군에서는 법랑질과 상아질 모두에서 간극이 관찰되었다(Fig. 9). 반면 상아질 접착제를 도포한 나머지 군에서는 변연누출이 없는 경우 모두 복합레진 및 상아질 접착제가 상아질 면과 긴밀히 접착되어 있

는 것이 관찰되었고(Fig. 10~14), 상아질 면과 복합레진 사이에 1~5 μ m 두께의 혼성층이 형성되어 있었으며 혼성층을 지나 상아세관 내로 함입된 다양한 길이(3~100 μ m)의 레진 tag가 관찰되었다.

IV. 총괄 및 고안

외동의 치은 변연이 상아질이나 백악질에 위치하는 제 5급 외동의 경우에는 복합레진 수복시 치은 변연의 결합력 감소나 미세변연누출이 문제점으로 보고되고 있다. 이를 최소화하기

위해 복합레진과 상아질 사이에 개재하는 상아질 접착제의 물성 및 결합강도의 향상을 위한 끊임없는 연구들이 행해져 왔으며, 3단계 술식이 요구되는 복합용기 상아질 접착제에 이르러서는 상아질을 산부식시켜 도말층을 제거하고 탈회된 상아세관 및 교원섬유의 망상구조 사이로 친수성의 레진을 침투시켜 혼성층을 형성해 미세변연누출 및 결합력의 극적인 개선을 가져왔으며 상아질내 적절한 수분의 존재가 교원 섬유층을 지지해 결합에 긍정적으로 작용한다는 습윤 접착의 개념이 확립되었다. 소위 제 5세대 상아질 접착제에 해당하는 단일용기 상아질 접착제는 복합용기 상아질 접착제와 상아질 결합기전 및 구성 성분은 유사하나 복잡한 술식을 단순화하고 술자의 숙련도에 의한 민감성을 감소시키기 위한 일환으로 나온 것이다. 본 실험에서는 복합용기 제품 즉, Scotchbond Multi-Purpose와 All Bond 2 사이에 유의할 만한 미세변연누출의 차이를 보이지 않았다. 이는 Fortin^{30,31)}의 연구보고와 유사하지만 Reeves^{3,32-34)}은 상아질 변연에서 Scotchbond Multi-Purpose가 All Bond 2 보다 더 큰 미세변연누출을 보인다고 보고했다. 복합용기제품과 단일용기제품간에 미세변연누출 정도를 비교한 연구보고는 많지 않으나, 대부분 제 5세대 단일용기 상아질 접착제가 제 4세대 복합용기 상아질 접착제에 비해 유의할 만하게 높은 미세변연누출을 보이지는 않으며^{33,35)} 결합력과 미세변연누출의 상관관계에 관해 논란은 많으나 상아질과의 결합강도에 있어서도 뒤지지 않는다고 보고하고 있다. 본 실험에서도 위와 유사한 결과가 나왔으며, 단일용기제품간 즉, Single Bond, One-Step, Prime & Bond 사이에서도 유의할 만한 차이를 보이지 않았다. 다만, All Bond 2와 One-Step, Prime & Bond가 유의성은 없으나 다소 큰 표준편차 값을 나타냈는데, 이는 이 제품들이 술자의 숙련도에 민감하며 상아질의 습윤 상태에 민감하다고 볼 수 있다. 위의 세가지 제품은 아세톤을 용매로 한 접착 강화제로 구성되어 상아질이 건조할 경우, 습윤 상태에 비해 급속하게 결합력이 감소하기 때문에 해석되며^{36,37)} Scotchbond Multi-Purpose와 Single Bond에는 물이 용매로서 약간 함유되어 있다.

Scotchbond Multi-Purpose의 접착 강화제와 Single Bond의 Adhesive에는 HEMA와 polyalkenoic acid copolymer가 함유되어 있으며 HEMA는 친수성 단량체로 분자량이 작고 점도가 낮아 상아질 내로 레진의 침투와 확산을 용이하게 하고³⁸⁾ 건조해서 수축, 붕괴된 교원 섬유층일지라도 re-expansion시켜 탈회된 상아질의 심부까지 접착레진이 침투할 수 있도록 하고³⁹⁾, polyalkenoic acid는 접착레진의 습윤성을 증가시켜 수분의 유해작용에 저항한다⁴⁰⁾. 또한 Scotchbond Multi-Purpose군에서 산부식제로 10% maleic acid를 사용하였고 인산과 비교시 범랑질에서의 산부식효과는 더 적으나 상아질에서는 비슷하고 인산에 비해 상아질의 투과도를 더 증가시켜 변연 폐쇄가 부적절한 경우에 있어 유해한 효과가 더

크게 나타날 수 있다⁴⁰⁾.

All Bond 2의 접착 강화제에는 HEMA와 유사한 기능을 가진 친수성 단량체인 NTG-GMA가 primer A에 포함되어 있고, Scotchbond Multi-Purpose와 All Bond 2의 접착레진 및 Single Bond, One-Step, Prime & Bond의 Adhesive에는 공통적으로 HEMA와 Bis-GMA가 포함되어 있다. 비교적 단단하고 분자량이 큰 Bis-GMA를 많이 포함할수록 중합 수축이 적고 분자량 및 강도가 높아지지만⁴¹⁾, 반면 점도가 높아져 침투력이 떨어지고 중합 반응시 free radical의 확산이 제한되어 중합률이 감소될 수 있으므로 HEMA와의 적절한 조성 비율을 유지할 필요가 있다. 이 부분에 있어 복합용기 상아질 접착제와 단일용기 상아질 접착제가 차이를 나타내는데, 복합용기 상아질 접착제의 경우 접착 강화제와 접착레진이 따로 있어 앞에서 설명한 조성상의 한계를 어느정도 해결하였으나, 단일용기 상아질 접착제의 경우 접착 강화제와 접착레진이 혼합된 형태이므로 분자량이 작고 점도가 낮은 HEMA를 상대적으로 더 많이 포함하고 있어 높은 중합률을 보이지만 그에 따른 중합 수축률도 커지므로 혼성층 및 접착층에 국소적인 응력을 더 많이 주어 복합레진의 중합 수축력에 대한 저항력이 감소되고 이로 인해 간극이 형성되어 변연누출이 발생할 수 있다. 따라서 단일용기 제품은 제조 회사의 지시대로 2회 이상 도포하여 어느 정도 후경을 부여하는 것이 산소에 의한 중합 방해도 줄여주고 응력에 대한 저항력도 증가시켜 변연누출 감소에 기여할 것으로 사료된다.

본 실험에서 사용한 All Bond 2, One-Step, Prime & Bond는 순수한 아세톤을 용매로 하고 있으며, Scotchbond Multi-Purpose와 Single Bond는 아세톤을 용매로 하고 있으나 약간의 수분이 용매로 첨가되어 있다. 이들 모두에서 아세톤은 수분 추적제(water-chaser) 역할을 하여 습윤 상아질 내의 미세 공간에 존재하는 수분이 아세톤의 높은 증기압에 의해 외측으로 분산되거나 함께 휘발되고, 대신 그 자리에 접착레진이 확산되어 들어가 결합에 기여한다^{42,43)}. 이때 상아질 내 수분의 존재 및 그 양이 매우 중요한 의미를 가지는데, 건조 상아질에서는 수분의 부족으로 탈회된 교원 망상층이 수축, 붕괴되어 그 부분으로의 접착레진 침투가 불완전하게 일어나 이른바 "hybridoid zone"이 생긴다고 한다. 이 부위는 혼성층 내 weak zone으로 미세변연누출을 초래할 수 있다⁴⁴⁾. Sano⁴⁵⁾는 변연 간극이 없는 상태에서도 산부식된 탈회 상아질과 레진과의 계면 사이에 불연속적 은이온 침투를 관찰했으며, 이는 혼성층이 균일하게 형성되어 있지 못하고 레진 침투가 불완전하여 그 하방으로 많은 미세 공간이 존재해 미세변연누출의 주요한 통로가 될 수 있음을 의미하며 이를 "nanoleakage"로 설명하고 있는 바, 위에서 설명한 "hybridoid zone"도 이러한 공간으로 설명할 수 있다. 한편, 상아질 내 수분이 과다한 경우에는 아세톤 등에 의해 대치된 수분이 상아질 표면으로 넘쳐 흘러나와 접착레진과 엉겨서 중합되어, 혼성층 표면에서 물질

모양의 공간이나 레진구(resin globules)를 형성하게 되어, 저작 등의 힘이 가해질 때 이 부분에 응력이 생겨 결합실패 및 변연누출이 야기될 수 있다. 이러한 현상은 접착레진과 혼성층 사이의 계면에서 관찰되며 "overwet phenomenon"이라 한다^{39,40}). 따라서, 본 실험에서 사용한 복합용기 및 단일용기 상아질 접착제 도포시 제조 회사의 지시에 따라 세심한 주의 기울여 상아질 내 적절한 수분량을 유지시키기 위해 노력하는 것이 필요하리라 사료된다.

미세변연누출에 대한 실험 방법도 논란의 여지가 있으며 많은 변수들로 인하여 아직까지 표준화된 방법은 없다. 본 실험에서는 2% Methylene blue solution을 이용해 염색 용액 침투도를 조사한 바 이는 미세변연누출 정도를 정성적으로 평가할 수 있으나, 구체적으로 어떤 계면 사이에 미세변연누출의 통로가 있는지에 대한 정보는 얻을 수 없다. 앞에서 설명한 "nanoleakage"에 관한 정보나 구체적인 미세변연누출의 통로에 관한 정보는 세균보다 더 작은 직경의 질산은 염색법을 통해 주사전자현미경 상에서 은이온 침투를 관찰해 평가하는 것이 좋으리라 사료되며, 세균의 독소와 동일한 직경을 가진 tracer의 개발 및 사용 또한 추천될 수 있겠다.

본 실험의 주사전자현미경 상에서 대조군을 제외한 모두에서 대표적 시편을 관찰한 결과 상아질 변연에서 국소적인 간극이 관찰되었을 뿐(Fig. 9), 그 외에는 잘 발달한 혼성층과 레진 tag가 관찰되었고 복합레진, 혼성층 및 상아질 면이 대체적으로 긴밀한 접착을 보였다(Fig. 10~14). 레진 tag의 길이는 다양하며 혼성층을 지나 상아세관 내로 함입되어 있는 양상을 보이고 길게는 100 μ m 정도까지도 뻗어있는 양상을 보였으며, 여러 연구에 의하면 이러한 tag의 형성이 결합력에 있어 현저한 증가를 가져오지는 않는다고 한다. 실험에 사용한 상아질 접착제의 결합에 대한 평가는 혼성층 및 레진 tag와 adhesive lateral branch가 얼마나 긴밀하게 잘 형성되어 있는지와 밀접하게 관련이 있으리라 사료되며, 침투된 레진 자체의 물성도 결합강도에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다.

본 실험에서는 단일용기 상아질 접착제가 복합용기 상아질 접착제와 유사한 미세변연누출을 보였지만 장기간에 걸친 임상결과에 대한 평가가 더 필요하고, 생체 내 실험에 대한 보고도 더 필요하다고 사료된다. 즉, 실제 임상에서는 저작압이나 시술시 타액에 의한 접촉, 상아세관 내 수액의 흐름, 구강 내 여러 화학 성분 및 와동의 크기나 위치 등이 영향을 주어 실험상의 연구결과와 차이를 보이는 요인으로 작용할 수 있으므로⁴⁰) 이에 관한 더 자세한 연구보고가 필요할 것으로 사료된다.

앞에서 언급한 바와 같이 단일용기 상아질 접착제가 가지고 있는 조성상의 한계에 의한 중합 수축이나 국소적인 응력에 관한 문제에 대해 보다 자세한 연구가 필요하다고 사료되며, 아울러 치질과 단일용기 상아질 접착제의 결합에 관한 연구외에 제 4세대 복합용기 상아질 접착제가 효과적으로 결합하고 있다고 보고되고 있는 다른 분야 즉, 도재나 금관 수복 분야에 있

어서도 미세변연누출이나 단일용기 상아질 접착제가 이와 유사하게 결합하는지에 대한 연구도 필요하리라 사료된다.

V. 결 론

복합레진 수복시 수종의 복합용기 및 단일용기 상아질 접착제에 따른 미세변연누출 정도를 알아보기 위하여 60개의 발거된 소구치와 대구치의 치경부 협, 설측에 백악-법랑 경계 1mm 하방의 백악질에 치은 변연부가 위치하도록 제 5급 와동을 형성하고, Scotchbond Multi-Purpose, All Bond 2, Single Bond, One-Step, Prime & Bond 등 5종의 상아질 접착제와 Z-100, Aelitefil, Spectrum 등 3종의 복합레진을 사용하여 와동을 수복하였다. 상아질 접착제를 사용하지 않은 군을 포함해 총 6개의 군으로 나누어 실험하였다. 모든 시편을 thermocycling을 시행하고, 2% Methylene blue 염색 용액에 24시간 동안 담그어 수세 후 투명 레진에 매몰하였다. 매몰된 시편을 협설측으로 치아 장축 방향으로 평행하게 절단하여 염색 용액의 침투도를 관찰하고, 주사전자현미경으로 레진과 상아질간 경계면을 비교, 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 법랑질과 상아질 변연 모두에서 복합용기 및 단일용기 상아질 접착제간의 미세변연누출 정도는 유의성 있는 차이를 보이지 않았다($P>0.05$).
2. 상아질 접착제를 도포하지 않은 대조군을 제외하고 모든 실험군에서는 법랑질 변연이 상아질 변연보다 유의성있게 낮은 미세변연누출을 보였다($P<0.05$).
3. 법랑질과 상아질 변연에서 상아질 접착제를 도포한 모든 실험군이 대조군인 상아질 접착제를 도포하지 않은 군보다 유의성 있게 낮은 미세변연누출을 나타냈다($P<0.05$).
4. 주사전자현미경 상에서 상아질 접착제를 도포하지 않은 대조군에서는 상아질과 복합레진 사이에 간극이 관찰되었으며, 실험군에서는 미세변연누출이 없는 경우 복합레진과 혼성층 및 상아질 면이 긴밀하게 접착되어 있는 것이 관찰되었고, 상아질 면과 복합레진 사이에 1 - 5 μ m 두께의 혼성층이 형성되어 있었으며 혼성층을 지나 상아세관 내로 함입된 다양한 길이(3~100 μ m)의 레진 tag가 관찰되었다.

참고 문헌

1. Seltzer, S. : The penetration of micro-organism between the tooth and direct resin fillings., J. Am. Dent. Assoc., 51 : 560-566, 1955.
2. Philips R.W. : Skinner's Science of Dental Materials 8th ed. Philadelphia : WB Saunders Co., p.58, 1982.
3. G.W. Reeves : Microleakage of new dentin bonding systems using human and bovine teeth., Oper. Dent., 20 : 230-235, 1995.
4. Philips R.W. : Bond strength and microleakage with dentin bond systems., Oper. Dent., 15 : 53-60, 1990.

5. Buonocore M.G. : Simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface., *J. Dent. Res.*, 34 : 849, 1955.
6. Phair C.B. & Fuller J.L. : Microleakage of composite resin restoration with cementum margins., *J. Prosthet. Dent.*, 53 : 361-364, 1985.
7. Prati C., Pashley D.H. & Montanari G. : Hydrostatic intrapulpal pressure and bond strength of bonding systems., *Dent. Mater.*, 7 : 54-58, 1991.
8. Pashley E.L., Taiman R., Homer J.A. & Pashley D.H. : Permeability of normal versus carious dentin., *Endodont. Dent. Traumatol.*, 7 : 207-211, 1991.
9. Perinka L. & Sano H. : Dentin thickness, hardness and Ca²⁺ concentration vs. bond strength of dentin adhesives., *Dent. Mater.*, 8 : 229-233, 1993.
10. Elkins C.J. & McCourt J.W. : Bond strength of dentinal adhesives in primary teeth., *Quint. Int.*, 24 : 271-273, 1993.
11. M. Miyazaki : Dentin Bonding System. Part I : Literature review., *Bio-Med. Mater. and Eng.*, 6(1) : 15-31, 1996.
12. G. Freedman : Fifth generation bonding systems., *Canadian Dent. Assoc.*, 63(6) : 439-443, 1997.
13. Setcos J.C. : Dentin bonding in perspective., *Am. J. Dent.*, 1 : 173-175, 1988.
14. Harris R.K. : An evaluation of two resin systems for restoration of abraded areas. *J. Prosthet. Dent.*, 31 : 537-546, 1974.
15. Causlon B.E. : Improved bonding of composite resin to dentin., *Br. Dent. J.*, 156 : 93, 1984.
16. Feelings. : Transverse resistance of composite restorations on dentin., *Dent. Mater.*, 5 : 27-30, 1989.
17. Dentin bonding agents., *The Dental Advisor*, 12 : 1-8, 1995.
18. Triolo P.T. : Shear bond strength of ten dentin adhesive systems., *Dent. Mater.*, 8 : 370-374, 1992.
19. Fusayama : Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative system., *J. Dent. Res.*, 58 : 1364-1370, 1979.
20. Nakabayashi : The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates., *J. Bio-med. Mater. Res.*, 16 : 265-273, 1982.
21. Ferrari : Bonding mechanism of three "one-bottle" systems to conditioned and unconditioned enamel and dentin., *Am. J. of Dent.*, 10(5) : Oct. : 224-230, 1997.
22. Tjan : Bond strength of multi-step and simplified-step systems., *Am. J. of Dent.*, 9(6) : 269-272, 1996.
23. Barkmeier : Shear bond strength, microleakage and SEM study of the XR bond adhesive system., *Am. J. Dent.*, 2 : 111-115, 1989.
24. Prati C. : Shear bond strength and microleakage of dentin bonding systems., *J. Prosthet. Dent.*, 65 : 401-407, 1991.
25. EL. Kalla : Saliva contamination and bond strength of single-bottle adhesives to enamel and dentin., *Am. J. Dent.*, 10(2) : 83-87, 1997.
26. Ramos : Bond strengths and SEM morphology of dentin-amalgam adhesives., *Am. J. Dent.*, 10(3) : 152-158, 1997.
27. Kanca : One-Step bond strength to enamel and dentin., *Am. J. Dent.*, 10(1) : 5-8, 1997.
28. Swift : Shear bond strengths of one-bottle dentin adhesives using multiple applications., *Oper. Dent.*, 22 : 194-199, 1997.
29. Tay : Ultrastructure of the resin-dentin interface following reversible and irreversible rewetting., *Am. J. Dent.*, 10(2) : 1997.
30. Fortin : Bond strength and microleakage of current dentin adhesives., *Dent. Mater.*, 10 : 253-258, 1994.
31. Holtan : Microleakage of five dental adhesives., *Oper. Dent.*, 19 : 189-193, 1993.
32. Linden & Swift : Microleakage of two new dentin adhesives., *Am. J. Dent.*, 7 : 31-34, 1994.
33. Holtis : 6 simplified adhesives compared to 3 multi-bottle adhesives., *J. Dent. Res.*, 76 : 80, 1997(Abstr.).
34. Prati : Marginal morphology of class V composite restorations., *Am. J. Dent.*, 10 : 231-236, 1997.
35. Settembrini : A single-component bonding system microleakage study., *Gen. Dent.*, July-August : 341-343, 1997.
36. Bisco, INC. : *Bisco One-Step Universal Dental Adhesive System Technical Product Profile.*, Itasca, IL., 1995.
37. Kulton : Moist bonding vs dry bonding for three dental bonding systems., *J. of Dent. Res.*, 75 : Abstr 2999, 1996.
38. Nakabayashi : Effect of HEMA on bonding to dentin., *Dent. Mater.*, 8 : 125-130, 1992.
39. Tay : Resin penetration into acid-conditioned, moist, and dry dentin., *J. Dent. Res.*, 75(4) : 1034-1044, 1996.
40. Saunders : Microleakage of bonding agents with wet and dry bonding techniques., *Am. J. Dent.*, 9(1) : 34-36, 1996.
41. Burrow : Early tensile bond strength of several enamel and dentin bonding systems., *J. Dent. Res.*, 73 : 522-528, 1994.
42. Kanca : Effect of resin primer solvents and surface wetness on resin composite bond strength to dentin., *Am. J. Dent.*, 5 : 213-215, 1992.
43. Gwinett : Micromorphology of the bonded dentin interface and its relationship to bond strength., *Am. J. Dent.*, 5 : 73-77, 1992.
44. Tay : Micromorphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free, acetone-based, single-bottle primer/adhesives., *Dent. Mater.*, 12 : 236-244, 1996.
45. Sano : Nanoleakage, leakage within the hybrid layer., *Oper. Dent.*, 20 : 18-25, 1995.
46. S. derholm : Correlation of *in vivo* and *in vitro* performance of adhesive restorative materials., *Dent. Mater.*, April : 74-83, 1991.

Explanation of Figures

- Fig. 3. Dye penetration in group 6. (Control group) (Stereomicroscope, ×20)
- Fig. 4. Dye penetration in group 1. (Scotchbond Multi-Purpose) (Stereomicroscope, ×20)
- Fig. 5. Dye penetration in group 2. (All Bond2) (Stereomicroscope, ×20)
- Fig. 6. Dye penetration in group 3. (Single Bond) (Stereomicroscope, ×20)
- Fig. 7. Dye penetration in group 4. (One-Step) (Stereomicroscope, ×20)
- Fig. 8. Dye penetration in group 5. (Prime & Bond) (Stereomicroscope, ×20)
- Fig. 9. Resin/Dentin interface in group 6. (Control group) (SEM, ×500)
- Fig. 10. Resin/Dentin interface in group 1. (Scotchbond Multi-Purpose) (SEM, ×1000)
- Fig. 11. Resin/Dentin interface in group 2. (All Bond2) (SEM, ×1000)
- Fig. 12. Resin/Dentin interface in group 3. (Single Bond) (SEM, ×1000)
- Fig. 13. Resin/Dentin interface in group 4. (One-Step) (SEM, ×1000)
- Fig. 14. Resin/Dentin interface in group 5. (Prime & Bond) (SEM, ×1000)

사진부도 ①

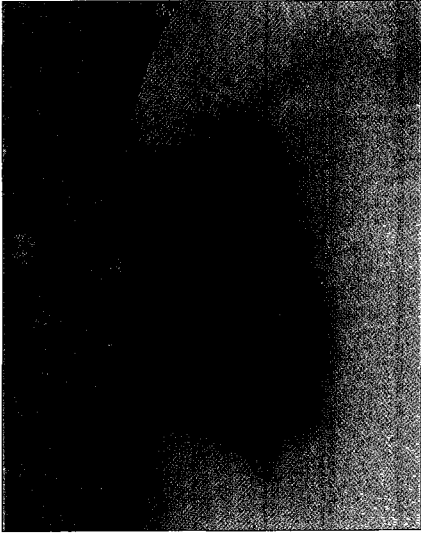


Fig. 3

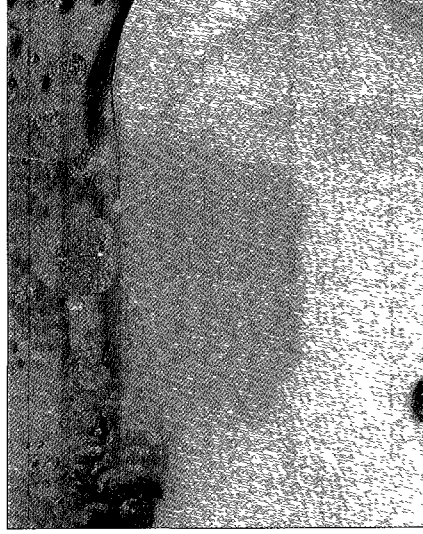


Fig. 4

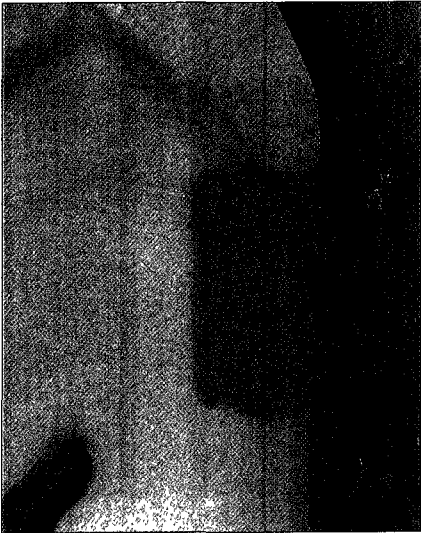


Fig. 5

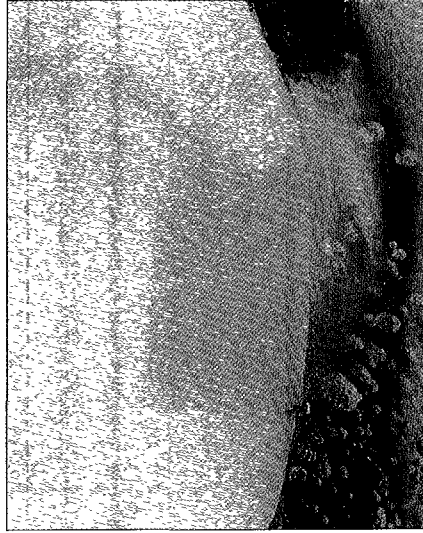


Fig. 6



Fig. 7



Fig. 8

사진부도 ②

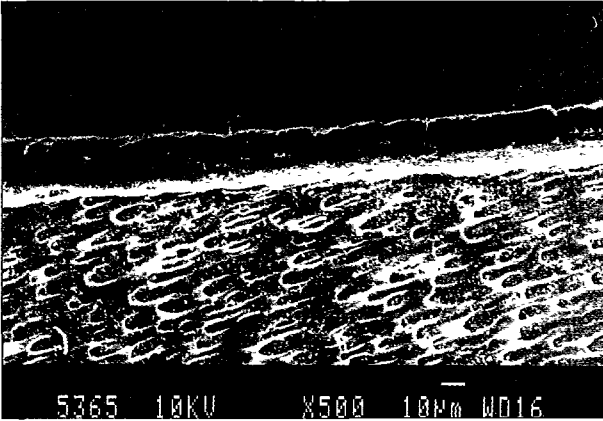


Fig. 9

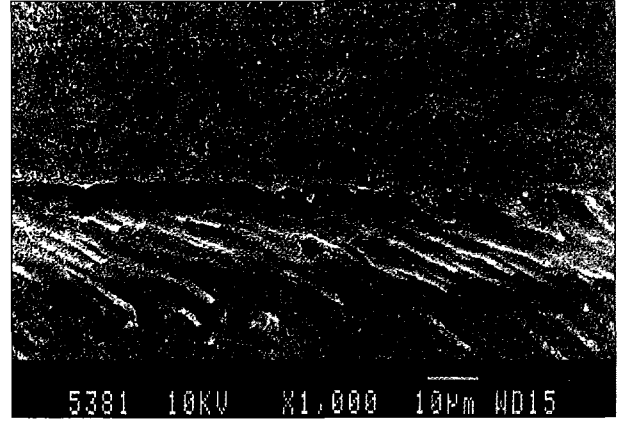


Fig. 10

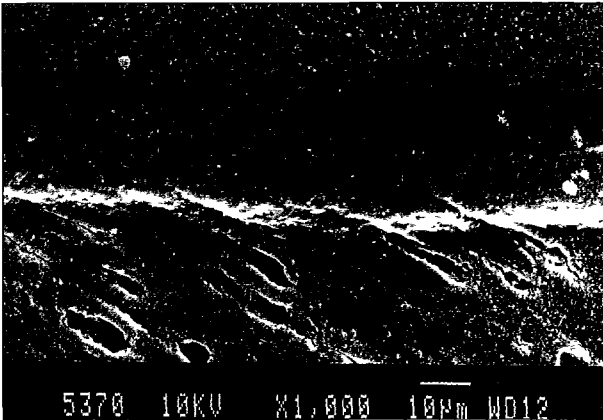


Fig. 11

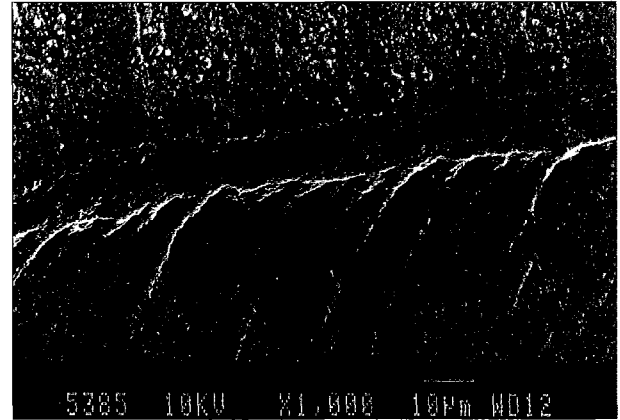


Fig. 12

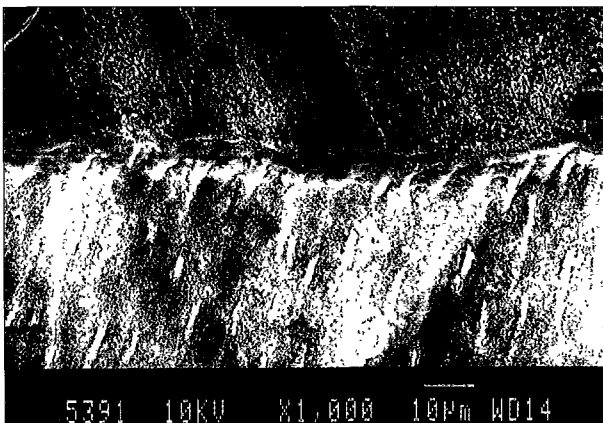


Fig. 13

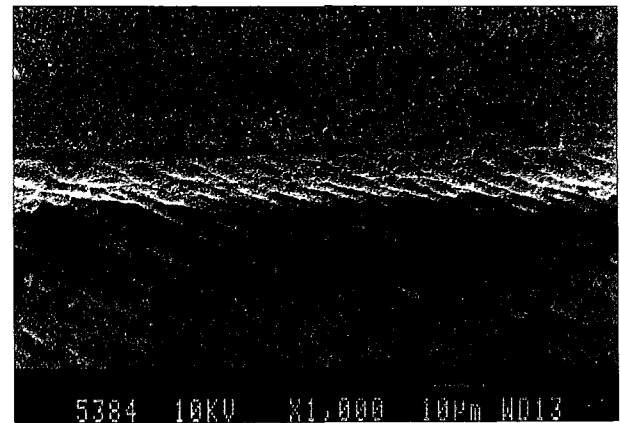


Fig. 14