

상아질에 대한 저점도 복합레진의 자가접착에 관한 연구

조태희 · 최경규 · 박상혁 · 박상진*

경희대학교 대학원 치의학과 치과보존학 전공

ABSTRACT

SELF-ADHESION OF LOW-VISCOSITY COMPOSITES TO DENTIN SURFACE

Tae-Hee Cho, Kyoung-Kyu Choi, Sang-Hyuk Park, Sang-Jin park*

*Department of Conservative Dentistry, Division of Dentistry,
Graduate School Kyung-Hee University.*

The objectiveness of this study was to evaluate whether low-viscosity composite can bond effectively to dentin surface without bonding resin. The low-viscosity composites being 50wt% filler content were made by the inclusion of bonding resin of two self-etching systems(Clearfil SE Bond, Unifil Bond) varied with contents as 0, 10, 20, 30, 40, 50wt%.

Exposed dentin surfaces of extracted 3rd molars are used. Dentin bond strengths were measured. The tests were carried out with a micro-shear device placed testing machine at a CHS of 1mm/min after a low-viscosity composite was filled into an iris cut from micro tygon tubing with internal diameter approximately 0.8mm and height of 1.0mm.

1. Flexural strength and modulus was increased with the addition of bonding resin.
2. Micro-shear bond strength to dentin was improved according to content of bonding resin irrespective of applying or not bonding resin in bonding procedure, and that of Clearfil SE Bond groups was higher than Unifil Bond.
3. There were no significant difference whether use of each bonding resin in bonding procedure for S-40, S-50, U-50($p>0.05$).
4. In SEM examination, resin was well infiltrated into dentin after primed with self-etching primer only for S-50 and U-50 in spite of the formation of thinner hybrid layer.

Low viscosity composite including some functional monomer may be used as dentin bonding resin without an intermediary bonding agent. It makes a simplified bonding procedure and foresees the possibility of self-adhesive restorative material.

Key words : Micro-shear bond strength, Low viscosity composite, Dentin bonding resin, Self-etching systems, Functional monomer, Self-adhesive material

I. 서 론

심미수복에 대한 기대와 수요의 증가는 수복치과학에 있어서 연구의 원동력이 되고 있으며 이는 복합레진과 상아질 접착제를 포함하는 접착성 수복재의 발전을 선도하고 있다. 접착성 수복재의 발전은 자연치의 재연성, 우수한 물리적

성질, 최소의 치질삭제 및 안정된 결합능력등의 향상된 물리적 성질을 통하여 구치부의 결손의 경우에도 아말감을 대체하고 전치부에선 도재에 의한 의존성이 배제될 수 있게 되었다¹⁾.

치과용 복합레진 수복의 성패는 복합레진의 중합과정에서 필연적으로 발생하는 중합수축과 이에 따른 응력에 의해 좌

우되며 치질에 대한 효과적이고 내구성 있는 결합능력에 의존하고 있다^{2,3)}. 법랑질에 대한 복합레진의 접착성은 산부식을 통한 표면의 미세 다공성을 부여하고 접착성 단량체가 이 미세다공성 부위에 침투하여 미세기계적인 유지효과를 발휘함으로써 임상적으로 신뢰할 만한 수준에 이르렀다^{4,5)}. 그러나 상아질 부위에서의 접착효과는 많은 유기질이 포함된 상아세관의 미세구조와 광화 및 습윤의 정도에 따라 다양한 접착양태를 보이기 때문에 아직도 상아질에 대한 접착효과는 정확히 예측할 수 없는 구조로 알려져 있다. 즉 상아질의 표면에 대한 전처리에 있어서 다양한 방법이 제시되고 있으며, 산부식제에 의해 도말층 및 표층 무기질을 제거하고 탈회된 표면내로 단량체 분자의 침투를 통한 접착방식과 기능성(산성) 단량체를 이용한 표층의 도말층을 용해시키거나 변형시켜 직접 접착하는 방식이 일반적인 상아질에 대한 접착방식이다. 따라서 상아질에 대한 접착기전은 삭제된 상아질 표면에 존재하는 도말층을 변형 또는 제거하고 친수성 단량체가 포함되어있는 접착강화제(이하 프라이머)를 도포하여 잔류 수분을 대체시킨 후 소수성의 레진계 접착제가 침투할 수 있는 환경을 조성하여 잔존 교원섬유와 함께 미세기계적 결합을 유도하여 혼성층(hybrid layer)을 형성하는 것이다⁶⁻⁸⁾.

최근 상용화된 상아질 접착시스템 중 5세대 시스템(self-priming system)이라 명명된 제품은 전통적인 3단계(etch-prime-bond) 접착술식을 갖는 4세대 접착시스템과 전체 산부식(total etching) 및 습윤접착(wet bonding) 술식은 동일하나, 프라이머 처리 및 접착제 도포를 동시에 시행하므로써 접착과정을 단순화하여 시술시간이 단축되어 결과적으로 타액이나 습기에 의한 오염을 줄일 수 있는 장점을 갖는다⁹⁾. 또 다른 5세대 접착제인 자가 산부식 시스템(self-etching system)은 산성의 기능성 단량체를 함유하고 있어 치아표면의 산부식과 전처리를 동시에 함으로서 접착제의 퍼짐성(wettability)을 향상시키고¹⁰⁾ 탈회된 상아질 내 레진이 불완전하게 침투되어 형성되는 hybridoid region의 형성을 방지하여 효과적이고 내구성있는 접착이 가능할 뿐 아니라, 수세 및 건조과정이 필요한 습윤성 접착과정이 생략되어 기술적 민감성(technical sensitivity)을 감소시키고 적용이 용이하며 치료시간을 단축하여 환자의 불편감을 줄일 수 있는 장점을 갖는다^{11,12)}.

접착과정의 단순화와 함께 치과용 수복재가 자가접착(self-adhesion) 능력을 갖는다면 시술시간을 단축시키고 기술적 민감성을 감소시킬 수 있게 되며, 이와 같은 수복시스템은 접착에 관한 연구 및 치과보존수복학 임상부분에 있어서 궁극적인 목표라 할 수 있다. 자가접착 능력을 갖는 치과용 복합레진은 두 가지의 형태로 생각할 수 있다. 첫 번째는 기존의 상아질 접착제에 필러를 첨가하여 접착성과 함께 물리적 성질을 개선하는 방법이고, 두 번째는 저점도의 복

합레진에 결합능력을 평가하고 기능성 단량체(HEMA, PENTA, Phenyl-P, 4-META, 4-MET, MAC-10, MDP, 4-AET)를 첨가하는 것이다. 전자에 대하여 Choi 등¹³⁾은 선행연구에서 수종의 5세대 상아질 접착제의 접착레진에 다양한 함량의 미세필러를 함입시키고 물리적 성질의 측정과 함께 상아질에 대한 결합능력을 미세인장강도 및 주사전자현미경 관찰을 통해 평가한 결과, Clearfil SE BondTM에 적정량의 필러를 첨가하였을 경우, 기계적 강도 및 상아질에 대한 결합강도가 증가됨을 확인하였으며 이는 Miyazaki 등¹⁴⁾의 연구와 유사한 결과로 나타났다. 그러나 그 이상의 필러를 포함하는 경우 기계적 강도는 증가하였으나 점도증가에 따른 와동에 대한 적합성이 저하되고 침투력의 제한으로 결합력은 오히려 감소하였다¹⁵⁾. 필러가 포함된 상아질 접착제는 깊고 큰 와동의 복합레진 수복에 있어서 이장재로서 뿐 아니라 작은 와동의 직접 충전을 위해 치질에 대한 결합능력과 함께 수복재로서의 충분한 물리적 성질을 가져야 한다.

다른 방법으로 저점도의 복합레진에 직접 기능성 단량체를 함입시켜 자가접착효과를 도모할 수 있다. Flowable composite은 저점도의 단량체와 더불어 혼합형 복합레진에 비하여 필러를 적게 포함하고 있어 기존의 복합레진에 비하여 점도가 낮아 와동에 대한 퍼짐성(wettability)이 우수하다. 또한 적은 필러함량으로 인하여 제반의 물리적 성질이 다소 열악하기 때문에 본래 치경부 결손부의 수복을 위하여 개발되었다. 즉 와동이 크기가 작거나 교합압이 직접 가해지지 않는 부위에 적용되며, 수복물의 수리 및 치면열구전색제 등 이용범위가 대단히 크다¹⁶⁾. 또한 저점도의 복합레진은 중합수축시 단량체 분자가 새로운 위치 및 방향으로 재배치(flow capacity)하여 내부응력이 감소될 뿐 아니라¹⁷⁾, 낮은 탄성계수로 인하여 hybrid와 condensable(packable) composite의 수복시 와동에 대한 적합성이 향상되고 접착제면 및 수복물내의 기포발생등의 결합이 예방되며, 혼합형 복합레진 사용시 고함량의 필러함입으로 발생하는 중합수축 응력을 완화 및 흡수하여 미세누출을 감소시키고자 널리 이용되고 있다^{18,19)}.

Frankenberger 등²⁰⁾은 치아표면의 전처리후 접착레진(bonding resin)을 대체하여 사용되는 저점도 복합레진으로 치표면을 도포하여 미세인장결합강도를 측정한 결과, 상아질에서는 혼성층 형성이 불충분하여 낮은 결합강도를 나타냈으나, Ultraseal XT Plus(Ultradent, USA)의 법랑질에 대한 결합강도는 접착레진을 사용한 대조군과 유사하게 나타나 접착레진의 대용으로 사용될 수 있음을 보고하였다. 따라서 수복용 저점도 복합레진은 자체로 법랑질 및 상아질에 대한 결합능력이 부족하여 치질과의 접착효과를 발휘하여 변연누출을 감소시키고 접착(결합)강도를 증가시키는 목적으로 이용하는데 한계가 있기 때문에 접착과정 또는

조성에서의 변화가 필요한 것으로 보인다.

이에 이 연구는 저점도의 복합레진을 실험적으로 제작하기 위하여 기능성 단량체를 갖는 2종의 자가부식형 접착시스템의 접착레진을 다양한 함량으로 첨가하여 이들 실험용 복합레진의 물리적 성질을 측정하고, 접착과정에서 접착레진의 사용 여부에 따른 저점도 복합레진의 상아질에 대한 미세전단 결합강도의 측정 및 접착계면에 대한 주사전자현미경 관찰을 통하여 저점도 복합레진의 치질에 대한 결합 및 기능성 단량체의 역할을 구명하므로써 최소한의 과정으로 접착효과를 나타내는 자가접착성 수복재의 개발을 도모하고자 시행하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

이 연구에 사용한 상아질 접착제 및 필러는 Table 1과 같다. 수종의 단량체를 이용하여 기질레진을 제작하고 모두 5세대의 자가부식형 접착시스템(self-etching system)인 Clearfil SE Bond(Kuraray cooperation, Osaka, Japan) 및 Unifil Bond(GC cooperation, Tokyo, Japan)를 상아질 접착효과를 발휘하도록 포함시켰으며, silanated quartz 및 aerosil silica 필러입자를 함입시켜 실험용 복합레진을 제작하였다 (Table 1).

2. 실험방법

A. 기질레진의 제작

점도가 다른 3종의 단량체 Bis-GMA, UDMA, TEGDMA (Esschem Inc. PA, USA)를 각각 동량(무게비 98.9%)으로 혼합하고 0.7%의 개시제(Camphoroquinone), 0.35%의 반응촉진제(DMAEMA) 및 0.05%의 반응 억제제(BHT)를 혼합하여 기질레진(base resin matrix)을 제작하고, 기능성 단량체가 포함된 상아질 접착제(Clearfil SE Bond, Unifil Bond)인 접착레진(bonding resin)을 각각 0, 10, 20, 30, 40, 50wt%를 추가 혼합하여 실험용 광중합형 기질레진을 제작하였다.

B. 실험용 저점도 복합레진의 제작 및 실험군의 분류
제작된 레진기질에 silane 처리된 평균 직경 1 μ m인 quartz 및 0.02 μ m aerosil silica 입자를 1:2로 혼합한 후 무게비 50%로 첨가하여 저점도 복합레진을 제작하였다. 이들 제작된 실험용 복합레진의 혼합과정에서 함입된 기포를 제거하기 위해 고열 감압(50 $^{\circ}$ C, -25psi)하였고, 암냉 보관하여 각각 실험에 사용하였다. 접착레진의 함량에 따라 제작된 실험군의 저점도 복합레진의 분류는 Table 2와 같다.

Table 1. The materials used in this study

Materials(batch No.)	Main Components	Manufacturer
Clearfil SE Bond Primer(00184A) Adhesive(00175A)	MDP, HEMA, CQ, H ₂ O MDP, Bis-GMA, HEMA, CQ, microfiller	Kuraray Co. (Osaka, Japan)
Unifil Bond Self-etching primer(9906291) Adhesive (9906251)	4-MET, HEMA, ethanol, H ₂ O UDMA, TEGDMA, HEMA, CQ, silica filler	GC Co. (Tokyo, Japan)
Filler particles	silanated quartz aerosil silica 0.02 μ m(OX 50)	3M Co. (MN, USA) Degussa (Hanau, Germany)

Table 2. Experimental composites classified by contents of bonding agent in this study.

Adhesive	Contents of bonding resin (wt%)					
	0(cont.)	10	20	30	40	50
Clearfil SE Bond(CB)	S-0*	S-10	S-20	S-30	S-40	S-50
Unifil Bond(UB)	U-0*	U-10	U-20	U-30	U-40	U-50

*S-0 and U-0 are same composite(cont. = control group).

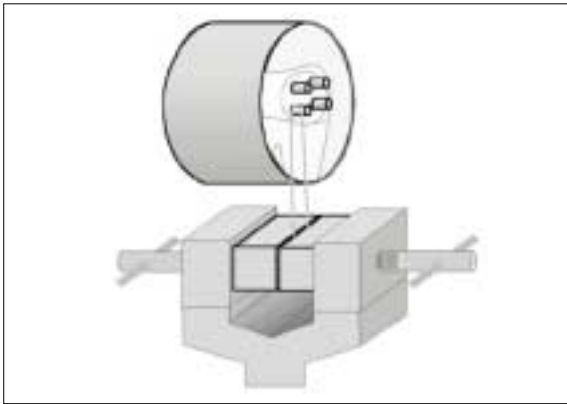


Fig. 1. Schematic diagram for micro-shear bond test.

C. 굴곡강도(flexural strength) 및 굴곡탄성계수(flexural modulus) 측정

국제표준규격 (ISO 4049)²¹⁾에 따른 3점 굴곡시험으로 굴곡강도 및 굴곡탄성계수(이하, 탄성계수)를 측정하였다. 분리가 가능한 스테인레스 스틸주형(25×2×2mm)에 제작된 저점도 복합레진을 충전하고 wide angle fiber tip이 부착된 광중합기를 이용하여 3부위를 상하로 각각 40초간 광조사하여 실험군의 복합레진 시편을 제작하였다. 각 실험군당 10개의 시편을 제작하여 37℃ 증류수에서 24시간 보관한 후 실험에 사용하였다. 3점 굴곡시험용 jig가 장착된 mechanical testing machine(EZ test, Shimadzu, Japan)에 시편을 위치시킨 후, 분당 하중속도 1mm로 수직하중을 가하고 시편이 파단될 때까지의 최대하중을 측정하였다. 한편, 응력-변형 곡선을 x-y record에 기록하여 탄성한도내의 기울기를 측정하고 탄성계수를 구하는데 이용하였다. 굴곡강도(F)는 다음의 공식에 의해 계산되었다.

$F = 3 P \cdot L / 2 b \cdot w^2$ (P : 파단될 때의 최대하중, L : span의 길이, b : 시편 두께, w : 시편 폭). 탄성계수(E)는 다음의 공식에 의해 계산되었다. $E = P \cdot L / 4 d \cdot b \cdot w$ (P : 하중의 변화, L : span의 길이, d : crosshead travel, b : 시편 두께, w : 시편 폭). 측정된 굴곡강도 및 탄성계수는 ANOVA/Tukey's test하여 유의수준 0.05에서 각각 비교 평가하였다.

D. 미세전단결합강도(micro-shear bond strength) 측정

72개의 발거된 건전한 대구치를 epoxy resin에 포매한 후 법랑질을 제거하고 #600 SiC paper까지 순차 연마하여 접착에 충분한 상아질표면을 노출시켰다. 상아질에 대한 전처리 또는 전처리 및 접착제를 도포한 후, 내경 0.8mm, 높이 1.0mm의 Tygon tube(Saint-Gobain Performance Plastic Co., USA)를 부착하고 치과용 프라이어로 고정하였다. 각 실험군의 접착제에 따른 접착레진의 도포는 제조

자의 지시에 따라 자가산부식제 및 접착레진을 도포하고 광중합후 실험용 복합레진을 충전하여 실험군의 시편을 제작하였으며, 접착레진을 도포하지 않은 대조군은 자가산부식제만 도포하고 20초 경과 후 건조하고 실험용 복합레진을 직접 충전하여 40초간 광중합하여 대조군의 시편을 제작하였다. Scalpel을 이용하여 Tygon tube를 제거하고 37℃ 증류수에서 대조군과 실험군의 시편을 24시간 보관한 후 미세전단결합강도를 측정하기 위한 지그(jig)가 부착된 mechanical testing machine에 시편(Fig. 1. 참조, 각 치아당 4개의 시편을 결합하고 각 군에 대하여 12개의 시편)을 위치시켰다. 교정용 ligature wire를 이용하여 치아의 표면에 밀착시킨 후 분당하중속도 1mm로 전단하중을 가하여 단위면적당 시편이 탈락되는 최대값을 결합강도로 정하고 평균값을 ANOVA/Tukey's 검정하여 유의수준 0.05에서 대조군 및 실험군의 복합레진 시편의 결합강도를 비교 평가하여, 통계 분석하였다.

E. 주사전자현미경 관찰

접착된 상아질 시편의 접착계면 관찰을 위하여 치아를 접착면에 대하여 수직으로 절단 분리하고 epoxy resin에 포매하였다. 노출된 접착표면을 #2,000 SiC paper 까지 최종 연마하고 diamond paste를 이용하여 다시 연마한 후, 상아질의 무기질 및 유기질을 용해하기 위하여 37%인산에 30초간 처리하고 이를 다시 1.5% NaOCl에 5분간 처리하였다. 건조 및 금이온 증착하여 자가 접착성 실험레진의 상아질 침투양상을 가속전압 20kvp에서 주사전자현미경(S-3200, Hitachi Co., Japan)으로 접착과정에서 접착레진의 도포 유무에 따라 S-0, U-0, S-20, U-20, S-50, U-50 등의 시편을 1,500배 또는 6,000배로 관찰하였다.

III. 실험성적

1. 굴곡강도 및 굴곡탄성계수

접착제가 포함된 대조군 및 실험군의 저점도 복합레진의 굴곡강도는 Table 3과 같으며 Fig. 2는 이들 값을 비교한 도표이다. 실험군 Clearfil SE Bond(CB)군이 Unifil Bond(UB)군보다 높은 값을 보였으며, 접착제가 포함되지 않은 대조군에 비하여 접착제의 함량이 증가할수록 CB군에서는 유의한 차이를 보였고, UB군에서는 점차 증가하는 양상을 나타내었다. CB군에서는 접착제의 함량이 50wt%인 군(S-50)에서 가장 높은 강도 99.8MPa를 나타내었고, UB군에서는 접착제 함량이 40wt%인 군(U-40)에서 가장 높은 76.8MPa를 보였다.

접착제 함량의 증가에 따른 대조군과 실험군의 탄성계수는 Table 4와 같다. 탄성계수 값은 접착제가 포함되지 않은

Table 3. Flexural strength of experimental composites(MPa±SD).

Contents of bonding agent(wt%)	Clearfil SE Bond(CB)	Unifil Bond(UB)
0		47.0±13.2 ^{aA}
10	85.7±12.0 ^b	58.1±12.5 ^{AB}
20	88.6±24.8 ^b	64.8±14.2 ^{AB}
30	88.9±17.3 ^b	73.5±15.7 ^B
40	82.1±12.3 ^b	76.8±8.3 ^B
50	99.8±33.9 ^b	80.0±19.7 ^B

*Same superscript means no statistical difference.

Table 4. Flexural modulus of experimental composites(GPa±SD).

Contents of bonding agent(wt%)	Clearfil SE Bond(CB)	Unifil Bond(UB)
0		1.02±0.18 ^{aA}
10	1.96±0.20 ^b	1.53±0.42 ^{AB}
20	2.49±0.59 ^{bc}	1.78±0.41 ^{BC}
30	2.68±0.34 ^{bc}	1.81±0.46 ^{BC}
40	3.05±0.31 ^{cd}	1.99±0.30 ^{BC}
50	3.50±0.61 ^d	2.31±0.30 ^C

*Same superscript means no statistical difference.

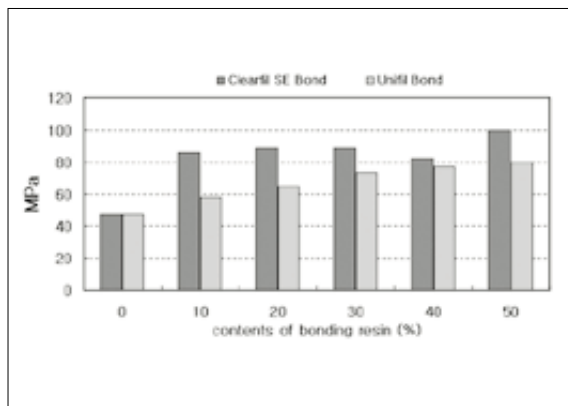


Fig. 2. Comparison of flexural strength.

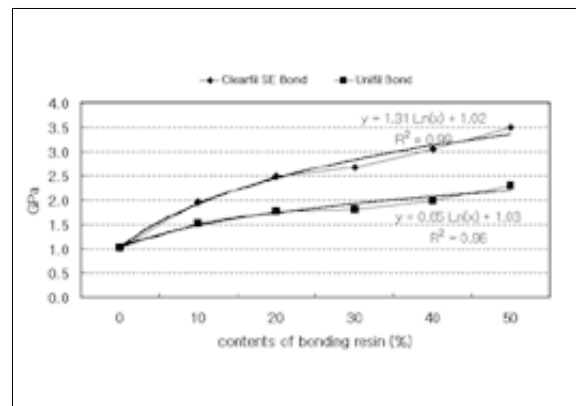


Fig. 3. Relation between contents of bonding resin and flexural

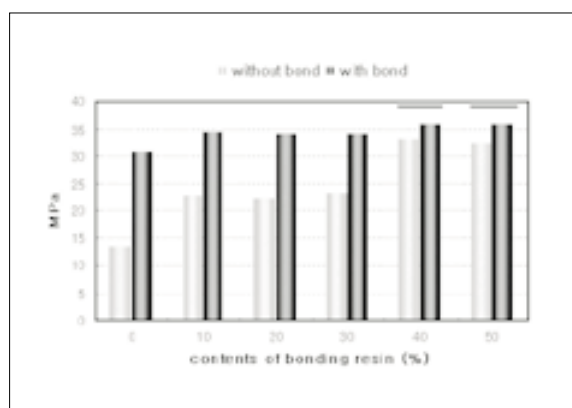
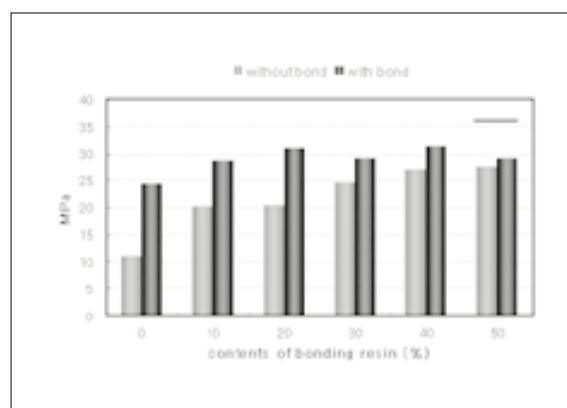
대조군(S-0 or U-0)보다 접착제를 포함한 실험군 CB군과 UB군에서 높은 값을 보였고 접착제의 함량이 증가할수록 탄성계수 값이 증가하였고, 접착제 함량이 50wt%군(U-50)에서 가장 높은 값을 보였다. Fig. 3은 이들 탄성계수 값을 회귀분석한 선형도표로서 CB군은 $y =$

$1.31\text{Ln}(x) + 1.02$ 의 관계로 $r^2 = 0.99$, UB군은 $y = 0.65\text{Ln}(x) + 1.03$ 의 관계로서 $r^2 = 0.96$ 의 상관관계를 보였고, 두 계열 모두 통계학적으로 유의한 상관성을 보여주었다.

Table 5. Micro-shear bond strength with or without applying bonding procedure (MPa \pm SD).

Bonding agent contents (wt%)	Regular bonding procedure		Without bonding resin	
	Clearfil SE Bond	Unifil Bond	Clearfil SE Bond	Unifil Bond
0	30.6 \pm 6.8	24.5 \pm 6.2 ^a	13.2 \pm 6.1 ^a	11.2 \pm 4.8 ^A
10	34.3 \pm 7.1	28.7 \pm 4.3 ^{ab}	22.6 \pm 6.5 ^b	20.2 \pm 5.1 ^B
20	34.1 \pm 6.9	30.9 \pm 6.7 ^b	22.2 \pm 7.7 ^b	20.4 \pm 6.8 ^B
30	34.1 \pm 5.9	29.1 \pm 5.4 ^{ab}	23.2 \pm 7.3 ^b	24.7 \pm 7.0 ^{BC}
40	35.8 \pm 8.1	31.2 \pm 4.8 ^b	33.1 \pm 12.5 ^c	26.8 \pm 4.0 ^C
50	35.9 \pm 6.8	29.2 \pm 5.4 ^{ab}	32.3 \pm 8.2 ^c	27.6 \pm 8.9 ^C

*Same superscript means no statistical difference.

**Fig. 4.** Comparison between bond strength with or without applying bonding resin for Clearfil SE Bond.**Fig. 5.** Comparison between bond strength with or without applying bonding resin for Unifil Bond.

2. 미세 전단 결합강도

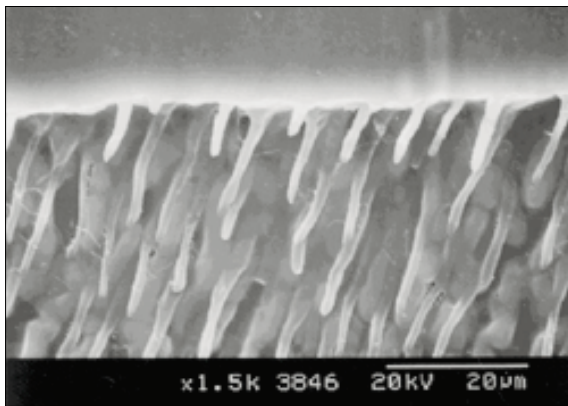
Table 5는 접착과정에서 접착레진의 사용 유무에 따라 다양한 함량의 접착레진을 포함한 저점도 복합레진의 미세전단 결합강도를 보여주며, 이들 상호간에 비교는 Fig. 4 및 Fig. 5의 도표에서 나타나고 있다. 접착레진 포함유무 또는 사용여부에 무관하게 CB군의 결합강도는 UB군에 비하여 동일조건에서 높게 나타났다. 제조자의 지시에 따른 접착과정에서, 복합레진내 접착레진의 포함유무에 따라 CB군에서는 유의한 차이를 보이지 않았으나, UB군에서는 접착레진의 함량이 20wt%(U-20) 및 40wt%(U-40)에서 유의한 증가를 나타내었다. 자가산부식제만 시행하고 접착레진을 사용하지 않은 접착과정에서, 실험용 복합레진에 포함된 Clearfil SE Bond 및 Unifil Bond의 접착레진의 증량에 따라 결합강도는 유의한 증가를 나타내었다. CB군의 접착과정에서 S-0에서 S-30까지는 접착레진을 사용하지 않았을 경우 유의하게 낮은 결합강도를 보였으나 40wt% 이상

(S-40, S-50)에서는 접착레진의 사용 여부에 따른 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$, Fig. 4). UB군의 접착과정에서 접착레진을 사용하지 않았을 경우 40wt% 이하(U-0에서 U-40까지)에서는 유의하게 낮은 결합강도를 보였으나 U-50에서는 접착레진의 사용 여부에 따른 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$, Fig. 5).

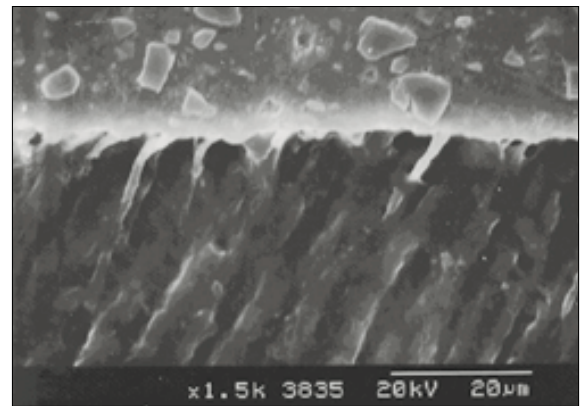
3. 주사전자현미경 관찰

Fig. 6~8은 Clearfil SE Bond에 의한 접착을, Fig. 9~11은 Unifil Bond에 의한 접착에 있어 상아질과 실험레진간의 접착계면에 대한 주사전자현미경 관찰상이다. Fig. 6(a), 7(a), 8(a), 9(a), 11(a)는 제조자의 지시에 따라 자가산부식후 접착제를 도포한 후 실험레진을 결합하였고 Fig. 6(b), 7(b), 8(b), 9(b), 10(a,b), 11(b)은 자가산부식만을 시행한 후 실험레진을 직접 결합하였다.

Clearfil SE Bond를 이용한 CB군에 있어서, 접착레진이

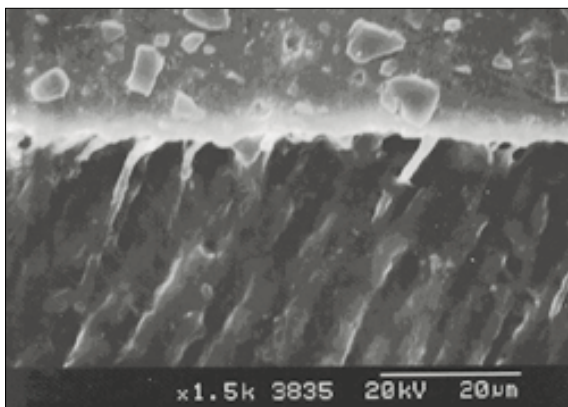


(a)

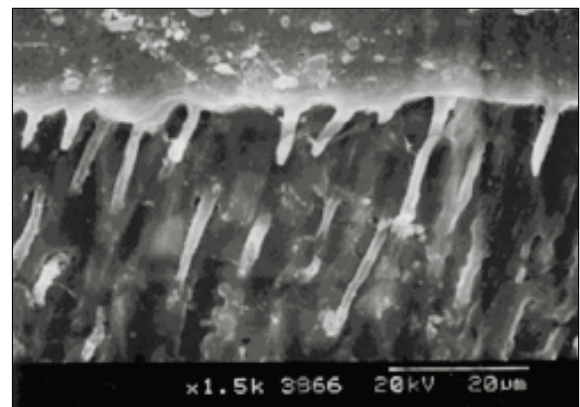


(b)

Fig. 6. SEM image of interfaces bonded with Clearfil SE Bond. (a) as the manufacturer's instruction and bonded with S-0 resin. Note the well-formed resin tags with lateral branches and homogeneous thicker hybrid layer. (b) Specimen primed with SE Primer without bonding resin applied and bonded with S-0 resin directly. An inconsistent and thinner hybrid layer and a decreased number of tags were formed.



(a)



(b)

Fig. 7. The adhesive interfaces with Clearfil SE Bond. (a) as the manufacturer's instruction and bonded with S-20 resin. Hybrid layer was formed uniformly and resin tags were infiltrated into dentinal tubules deeply. (b) Specimen primed with SE Primer without bonding resin applied and bonded with S-20 resin directly. Note few tags relatively and uneven hybrid layer.

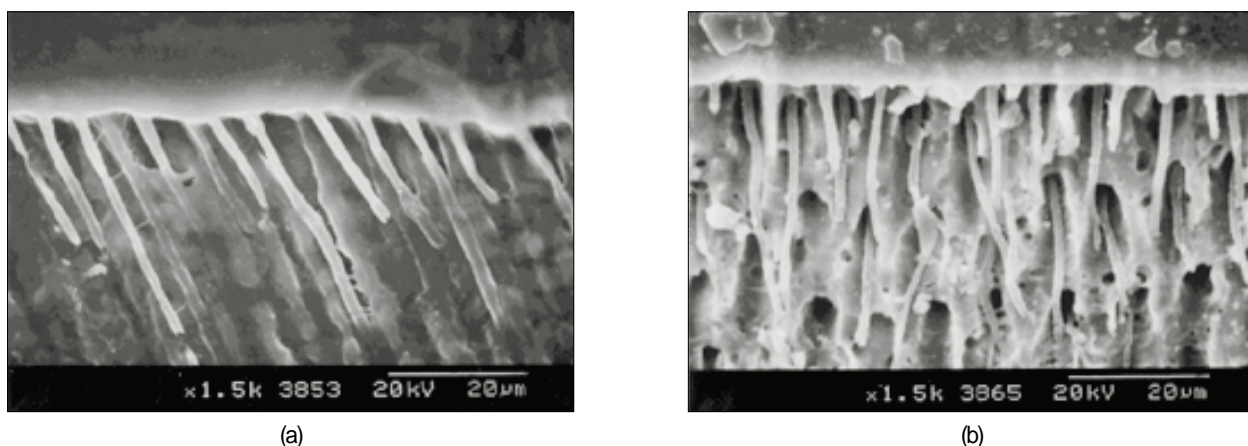


Fig. 8. The adhesive interfaces with Clearfil SE Bond. (a) as the manufacturer's instruction and bonded with S-50 resin. Hybrid layer was well-formed uniformly and a number of resin tags and canaliculi were observed. (b) Specimen primed with SE Primer without bonding resin applied and bonded with S-50 resin directly. In spite of thinner hybrid layer relatively, the presence of a great number of long tags were observed.

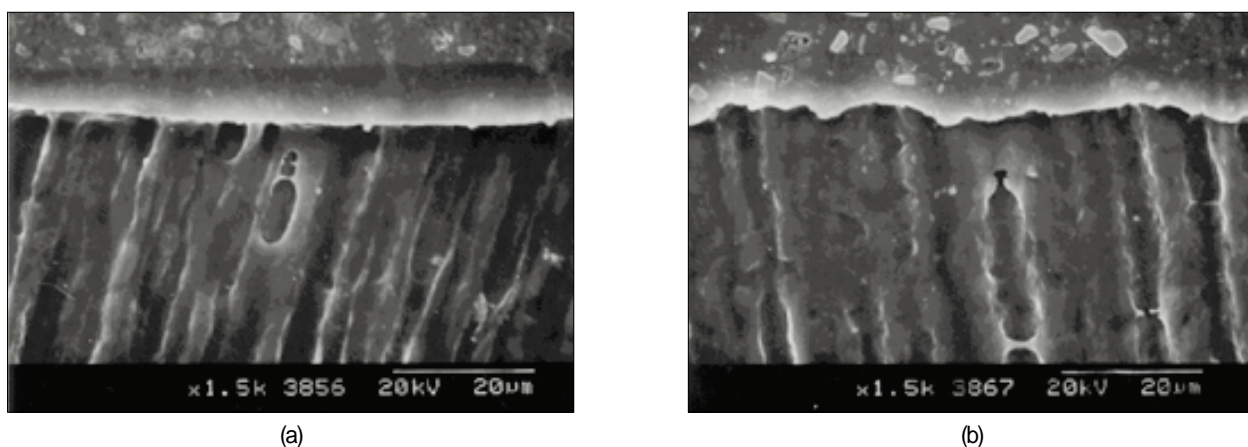


Fig. 9. SEM image of interfaces bonded with Unifil Bond. (a) as the manufacturer's instruction and bonded with U-0 resin. Note uniform hybrid layer but the poorly-formed resin tags. (b) Specimen primed with self-etching primer of Unifil Bond without bonding resin applied and bonded with U-0 resin directly. Hybrid layer was thin and inconsistent and there was scarcely any tag.

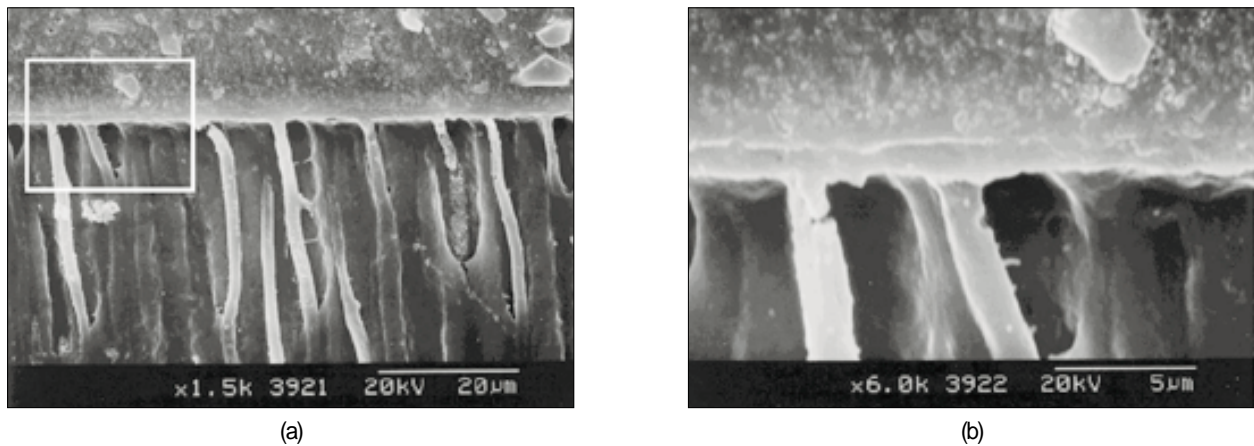


Fig. 10. SEM image of interfaces primed with self-etching primer of Unifil Bond and bonded with U-20 resin replacing the bonding resin. (a) Note resin infiltrated into dentinal tubule very well and lateral braches at 1,500X of magnification. (b) Magnified(X6,000) image of white box area in (a) micrograph. The hybrid layer is approximately 1~2μm thick, the resin tags exhibit some few tags relatively thinner hybrid layer

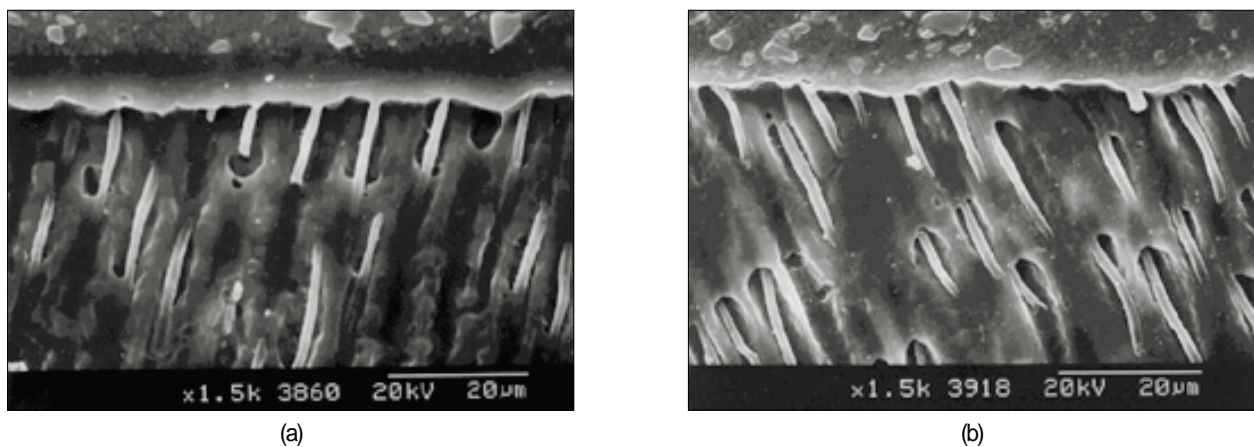


Fig. 11. The adhesive interface with Unifil Bond. (a) as the manufacturer's instruction and bonded with U-50 resin. Hybrid layer was well-formed uniformly and a number of resin tags were observed. (b) Specimen primed with self-etching primer of Unifil Bond without bonding resin applied and bonded with U-50 resin directly. In spite of thinner hybrid layer relatively, the presence of a great number of long tags were observed.

포함되지 않은 대조군의 실험레진(S-0)은 두꺼운 접착제층과 더불어 균질의 혼성층이 형성되어 있고 레진 tag이 잘 형성되어 있으며 부세관으로 레진의 침투가 잘되어 있으나(Fig. 6-a), 산부식만을 시행한 경우, 상아질내로 레진의 침투가 불완전하고 불규칙한 혼성층이 관찰되며 저점도 복합레진내 혼합형 필러입자가 잘 관찰되었다(Fig. 6-b). 접착레진이 20wt% 포함된 실험군(S-20)의 경우, 혼성층이 잘 형성되어 있고 상아질내 충분한 레진의 침투가 관찰되며(Fig. 7-a), 산부식만을 시행한 경우 비교적 짧고 적은 레진 tag이 형성되어 있고 불규칙한 혼성층이 관찰되었다(Fig. 7-b). 접착레진이 50wt% 포함된 실험군(S-50)의 경우, 균질의 혼성층과 더불어 레진의 침투가 충분히 이루어져 있고(Fig. 8-a), 산부식만을 시행한 경우에도 충분한 레진의 침투와 많은 레진 tag이 길게 형성되어 있다(Fig. 8-b).

Unifil Bond를 이용한 UB군에 있어서, 접착레진이 포함되지 않은 실험레진(U-0)은 얇고 균일한 혼성층이 관찰되지만 레진 tag의 형성이 거의 나타나지 않았고(Fig. 9-a), 산부식만을 시행한 경우에는 상아질내로 레진의 침투 및 혼성층을 관찰할 수 없었다(Fig. 9-b). 자가산부식을 시행하고 직접 U-20로 접착한 경우, 상아세관 내로 레진의 침투가 비교적 잘되어 있었고 부세관이 관찰되며, 고배율($\times 6,000$) 관찰시 혼성층은 약 $1\sim 2\mu\text{m}$ 로 얇게 형성되어 있고 실험레진의 미세필러와 거대필러가 관찰되었다(Fig. 10-a,b).

접착레진이 50wt% 포함된 실험군(U-50)의 경우, 접착레진의 도포 여부에 무관하게 균일하고 얇은 혼성층과 함께 다수의 레진 tag이 상아질내로 깊게 침투되어 있었다(Fig. 11-a,b).

IV. 총괄 및 고안

치질에 대한 간단한 접착술식(simplified bonding procedure)과 함께 자가접착능력이 있는 수복(self-adhesive restoration)을 통하여 기술적 민감성을 감소시킬 수 있는 수복시스템을 모든 임상가는 기대하고 있으며 이에 대한 연구 및 개발이 진행되고 있다. 이는 필러를 포함하는 접착제 또는 기능성 단량체를 포함하는 저점도 복합레진의 변형된 조성으로서 기술적 민감성을 다소 해소할 수 있다^{13,14,20}. 필러를 포함하는 접착제는 점도가 증가되고 이 결과 두꺼운 접착제층을 형성하여 복합레진의 중합 또는 기능시에 발생하는 내부 또는 외부응력을 분산하고 흡수(stress absorber)할 수 있는 역할을 한다²²⁻²⁴. 그러나 높은 점도로 인하여 접착제내에 함유된 휘발성 용매의 완전한 제거가 어렵고 방사선 불투과성은 있으나 방사선상 진단에 필요한 조영성을 나타내지 못한다. 만일 필러가 교원섬유 사이로 충분히

침투한다면 혼성층의 인장강도를 증가시켜 강한 결합을 유지할 수 있지만 미세 나노필러는 이 공간에 침투하지 못하고 응집되거나 덩어리로 잔존되는 경우가 많다^{25,26}.

이 실험은 저점도의 복합레진에 기능성 단량체를 포함시켰을 경우 치질에 대한 접착능력이 있는지 알아보려고 하였다. 또한 접착능력을 갖는다면 적정량은 얼마이며 어떠한 접착제에서 효과적인지, 접착과정을 단축시킬 수 있는지 등을 알아보기 위해 시행하였다. 제작된 저점도 복합레진의 기질단량체는 동량의 Bis-GMA, UDMA, TEGDMA 등과 함께 자가산부식형 상아질 접착제(Clearfil SE Bond; CB, Unifil Bond; UB)의 접착레진을 다양한 비율로 혼합하여 제작되었다. 일반적으로 상용되는 저점도 복합레진(flowable composite)의 필러함량은 50~62wt%이며¹⁶, 이 실험에서는 입자크기 $0.02\sim 1.0\mu\text{m}$ 의 실리카 필러를 무게비 50%로 혼합하여 저점도 복합레진을 제작하였다.

접착제가 포함된 저점도 복합레진의 굴곡강도 및 탄성계수는 접착제가 포함되지 않은 대조군에 비하여 접착제의 함량에 따라 각각의 수치가 비례하였다. 즉 복합레진에서 필러의 함량은 기계적 강도 및 탄성계수와 매우 높은 상관성이 있는 바^{27,28}, 이 실험에 사용된 두 접착레진에는 소량의 미세필러(10wt% 내외)가 포함되어 있기 때문에 접착레진이 50wt% 포함된 실험군의 경우 실제 필러함량은 약 55wt% 정도라 할 수 있다. CB군이 UB군보다 높은 값을 나타냈으며, 이는 CB군의 Clearfil SE Bond에는 고점도/고분자의 Bis-GMA가 포함되어 있는 반면, UB군 Unifil Bond에는 저점도의 UDMA 및 TEGDMA가 포함되어 있기 때문이다. 이 등²⁹은 기질레진의 조성에 따른 물리적 성질에 관한 연구에서, Bis-GMA 함량이 높은 고점도의 레진이 높은 물리적 성질을 갖는다고 보고하였다. 즉, 필러함량의 증가 및 고분자 단량체에 기인한 물리적 성질의 증가로 인하여 실험레진의 탄성계수는 접착레진의 함량에 따라 통계학적으로 유의한 매우 높은 상관관계(SE: $r^2=0.99$, UB: $r^2=0.96$)를 나타내었다. Bayne 등¹⁶이 측정 한 55.2~68.4wt%의 필러를 갖는 flowable composites의 굴곡강도는 94.1~144.9MPa인데 반하여, 이 실험에서 가장 높은 굴곡강도는 실험군의 S-10군으로 99.8MPa 보였으며, 이는 필러 함량의 차이로 인한 것으로 사료된다.

이 실험에 이용된 미세전단 결합강도의 측정은 최근에 보고된 실험방법으로³⁰, 기존의 전단결합강도 측정에 비하여 적은 접착면(1.0mm^2)에 대한 결합능력을 효과적으로 평가할 수 있다는 장점이 있다. 즉 접착면적이 작으면 응력의 분포가 균일해지며 이에 따라 응집성 파괴가 발생되지 않기 때문에 접착제의 순수한 결합능력을 평가할 수 있다³¹. 또한, 복합레진의 결합과정 및 측정이 비교적 용이하고 동일한 치아의 상아질 표면에서 서로 다른 실험군에 대하여 측정 비교할 수 있어, Pashley 등³²이 제시한 결합강도의 통

계를 위한 최소의 시편수 20개의 조건을 쉽게 충족할 수 있다. 미세인장 결합강도 측정에 있어서 결합력이 약한 수복재의 경우 시편제작시 실패 가능성이 높으나, 미세전단 결합강도 측정은 이러한 단점을 보완할 수 있고 재료의 소모가 적어 새로운 재료의 개발 등에 유용하다³⁰⁾.

미세전단 결합강도 측정한 결과, 복합레진내 접착레진의 포함유무 및 접착과정에서 접착레진의 사용여부에 무관하게 CB군이 UB군에 비하여 높게 나타났다. 이는 상기한 바와 같이 각 접착제내 포함된 기능성 단량체의 역할과 더불어 각 저점도 복합레진의 물리적 성질에 기인하는 것으로, Hasegawa 등³³⁾이 보고한 바와 같이 상아질 접착제의 결합강도는 사용된 복합레진의 인장강도($r^2=0.506$), 굴곡강도($r^2=0.871$) 및 탄성계수($r^2=0.712$)와 높은 상관성에 의하여 설명될 수 있다.

제조자의 지시에 따른 접착과정에서, 복합레진내 접착레진의 함량이 증가함에 따라 두 실험군(CB군 및 UB군)접착제군 모두에서 결합강도의 상승이 있었지만, CB군에서는 유의한 차이를 보이지 않았고 UB군에서는 접착레진이 포함되지 않은 대조군(U-0)에 비하여 함량이 20wt%(U-20) 및 40wt%(U-40)에서 유의한 증가를 나타내었다. 주사전자현미경 관찰을 통하여 두 실험군의 접착레진의 동일한 함량수준에서 각각 비교하였을 경우 CB군은 UB군에 비해 두꺼운 접착층을 가지며 잘 발달된 혼성층과 함께 상아세관내 길고 많은 레진 tag를 형성하고 있어 결합강도의 실험성적을 설명할 수 있다. 즉 높은 결합강도를 위해서는 탈회된 관간 및 관주상아질 표면에 일정두께의 혼성층이 형성되고 상아세관으로 레진의 침투가 잘 되어야 한다^{11,12,34)}. 그러나 자가산부식만 시행하고 접착레진을 사용하지 않은 접착과정에서, 실험용 복합레진에 접착레진이 포함되지 않은 대조군의 경우(S-0, U-0), 결합강도는 현저히 낮았으나, 실험군에서 접착레진의 증량에 따라 결합강도는 유의한 증가를 나타내었다($p<0.05$).

CB군의 접착과정에서 접착레진을 포함시키지 않은 대조군의 경우 사용하지 않았을 때, S-0~S-30군은 유의하게 낮은 결합강도를 보였으나 40wt% 이상(S-40, S-50)에서는 접착레진의 사용 유무에 따른 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$, Fig. 4). UB군의 접착과정에서 접착레진을 사용하지 않았을 경우 40wt% 이하(U-0 ~ U-40군)에서는 유의하게 낮은 결합강도를 보였으나, U-50에서는 접착레진의 사용 유무에 따른 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$, Fig. 5). 이는 접착레진의 함량이 40wt% 또는 50wt% 이상될 때 접착과정에서 접착레진의 도포를 생략할 수 있음을 시사한다. 이와 같은 결과는 상아질의 자가산부식후 저점도의 복합레진을 직접 도포하므로써 필러가 포함된 접착레진(filled adhesive)의 역할을 하기때문으로 사료된다. 주사전자현미경 관찰상에서 접착제를 도포하지 않은 S-50군

(Fig. 8-b) 및 U-50군(Fig. 11-b)에서 혼성층은 비록 얇게 관찰되었지만($1\sim2\mu m$) 형성은 뚜렷하였고 저점도 복합레진이 직접 결합하고 있는 양상을 나타내어 상아세관내로 레진이 충분히 침투한 소견이었다. Choi 등¹³⁾은 접착레진에 10wt% 미세필러를 함입시켰을 때 결합강도는 다소 증가하였으나 그 이상의 필러함입은 점도증가와 더불어 레진의 침투력 저하로 오히려 감소됨을 보고하였다. 그러나 이 실험에서 일정한 필러함량(50wt%)을 유지하였고 CB군의 접착레진의 점도는 기질레진 보다 높았고 UB군에서는 오히려 낮았으나 이러한 점도의 차이가 결합강도와 연관성을 갖지는 않았기 때문에 상아질내 침투되는 정도는 저점도 복합레진의 점도보다는 접착레진내 포함되어 있는 기능성 단량체와 관련이 있는 것으로 추론할 수 있다.

상아질 접착제의 프라이머와 접착레진에 일반적으로 포함되어 있는 기능성 단량체인 HEMA(2-hydroxyethyl methacrylate)는 친수성 및 소수성의 이중기능기(bifunctional activity)를 갖고 있어 상아질내로 침투가 용이하고 혼성층 형성을 도모하며 레진단량체의 확산을 촉진시키는 역할을 한다³⁵⁾. CB군의 Clearfil SE Bond의 프라이머 및 접착레진에는 기능성 인산단량체 MDP(10-methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate)와 HEMA가 모두 포함되어 있고, UB군의 Unifil Bond의 프라이머에는 4-MET(4-methacryloyloxyethyl trimellitic acid)와 HEMA, 접착레진에는 HEMA 만 포함되어 있다. 산성 기능성 단량체 MDP와 4-MET는 본래 상아질의 무기성분과 결합을 위해 개발되었고 각각 인산기와 카르복실기를 가지며 치아의 표면에 적용했을 때 자가산부식을 유도할 수 있으며 교원섬유의 펩타이드간 수소결합을 파괴하여 섬유를 분리하고 공간내 확산되어 침투된다^{15,36,37)}. CB군의 결합강도가 UB군에 비해 높은 이유 중 하나는 CB군에는 기능성 단량체 HEMA/MDP가 포함되어 있는 반면, UB군에는 HEMA만 포함되기 때문으로 사료된다.

이 연구는 저점도 복합레진의 단량체 조성변화를 통하여 접착과정을 단순화시키고 상아질에 대한 자가접착 능력을 부여할 수 있는가를 알아보고자 시행하였다. 비록 접착과정이 완전히 배제된 수복형태(Zero-step bonding)는³⁸⁾ 아닐지라도 최소한의 상아질 전처리후 저점도 복합레진이 직접 결합된다면 빠르고 편리한 수복이 가능해질 것이다.

상아질 접착제에 필러를 포함시켜 결합능력을 평가한 선행연구와 함께 이 연구는 자가접착성 수복재의 연구 및 개발에 또 다른 접근방법을 제시하고자 실험을 실시하였다. 자가접착성이 있는 저점도 복합레진의 개발에 있어서 만일 50% 이상 접착레진을 함유시킬 경우, 또한 접착레진내 포함된 것이 아닌 순수한 기능성 단량체로서 첨가할 경우, 또는 기질단량체의 조성을 변화시킬 경우 등에 관하여 향후 계속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

V. 결 론

접착치과학의 미래는 새로운 수복재 및 접착제의 개발에 의해 좌우되며 복합레진에 있어서 중합수축의 문제가 해결되면 접착과정의 단순화 및 이의 필요성에 대한 기대와 연구가 필연적으로 제기되고 있다. 이 연구는 자가접착형 (self-adhesive) 복합레진 수복재의 개발 가능성에 대하여 알아보고자 기질레진에 자가부식형 상아질 접착제의 접착레진을 다양한 함량(0, 10, 20, 30, 40, 50wt%)으로 함입시켜 대조군 및 실험군(Clearfil SE Bond군 및 Unifil Bond군)의 저점도 복합레진을 제작하여 이들의 굴곡강도 및 탄성계수를 측정하였고 접착과정에서 접착레진의 사용여부에 따른 상아질에 대한 결합능력을 측정 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저점도 복합레진의 굴곡강도는 접착레진의 첨가에 의해 증가하였고, 탄성계수는 접착레진의 첨가에 따라 유의한 상관관계를 나타내었다($p < 0.01$).
2. 저점도 복합레진의 상아질에 대한 미세전단 결합강도는 접착레진의 첨가에 의해 증가하는 양상을 보였고 Clearfil SE Bond 군이 Unifil Bond 군에 비해 높게 나타났다.
3. 접착과정에서 상아질 전처리만 시행한 경우, 접착레진을 포함한 저점도 복합레진의 미세전단 결합강도는 유의한 증가를 보였다($p < 0.05$).
4. 접착레진을 포함한 저점도 복합레진의 결합강도는 접착과정에서 접착레진의 사용에 의해 유의한 증가를 보였으나, Clearfil SE Bond 군은 40wt% 이상에서 Unifil Bond 군은 50wt% 이상에서 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).
5. 주사전자현미경 소견에서 상아질에 대하여 자가산부식만 시행하고 50wt%의 접착레진을 포함한 저점도 복합레진을 결합시켰을 경우 얇은 혼성층에도 불구하고 상아질내로 충분한 레진의 침투가 관찰되었다.

복합레진과 상아질 접착제가 하나의 시스템으로 이용된다면 접착치과 분야에 새로운 전기를 가져올 것이며, 이 연구결과는 저점도 복합레진에 기능성 단량체의 함입으로 접착과정을 간소화하고 나아가 자가접착성 수복재 개발을 위한 기초 자료로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

1. Ferracane JL : Current trends in dental composites. *Crit Rev Oral Med*, 6 : 302-318, 1995.
2. Perdigao J, Lambrechts P, van Meerbeek B, Bream M, Yildiz E, Yucel T and Vanherle G : The interaction of adhesive systems with human dentin. *Am J Dent*, 9 : 167-173, 1996.
3. Davidson CL, De Gee AJ and Feilzer AJ : The compe-

4. Bounocore MG : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*, 34 : 849-854, 1955.
5. Perdigao J, Frankenberger R, Rosa BT and Breschi L : New trends in dentin/ enamel adhesion. *Am J Dent*, 13 : 25-30, 2000.
6. Hulmes DJS, Wess TJ, Prockop DJ and Fratzl P : Radial packing, order and disorder in collagen fibrils. *J Biophys*, 68 : 1661-1670, 1995.
7. Nakabayashi N. and Pashley D H : Hybridization of dental hard tissues. *Quintessence Publishing Co.*, 1-107, 1998.
8. van Meerbeek B, Perdigao J, Lambrechts P and Vanherle G : The clinical performance of adhesives. *J Dent*, 26 : 1-20, 1998.
9. Fritz UB, Finger WJ and Stean H : Salivary contamination during bonding procedures with a one-bottle adhesive system. *Quintessence Int*, 29(9) : 567-572, 1998.
10. Hayakawa T, Kikutake K and Nemoto K : Conformational and quantum analysis of dental adhesive carboxylic acid and carboxylic acid anhydride monomers. *Dent Mater J*, 20(1) : 1-15, 2001.
11. Tay FR, Gwinnett AJ, Pang KM and Wei SH : Resin permeation into acid- conditioned, moist and dry dentin: a paradigm using water-free adhesive primers. *J Dent Res*, 75(4) : 1034-1044, 1996.
12. Prati C, Chersoni S, Mongiorgi R and Pashley DH : Resin-infiltrated dentin layer formation of new bonding systems. *Oper Dent*, 23 : 185-194, 1998.
13. Choi KK, Kim SW and Choi HY : Effect of filler addition to bonding agents on the physical properties and the bond strength to bovine teeth. The First International Congress on Adhesive Dentistry(IAD, Program and Abstracts), 434, 2002.
14. Miyazaki M, Platt JA, Onose H and Moore BK : Influence of dentin primer application methods on dentin bond strength. *Oper Dent*, 21 : 167-172, 1996.
15. Imai T, Itoh K, Tani C, Manabe A, Yamashita T, Hisamitsu H, and Wakumoto S : Effectiveness of simplified dentin bonding systems. *Dent Mater J*, 17(1) : 1-10, 1998.
16. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, Stamatiades P and Wilkerson M : A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent Assoc*, 129(5) : 567-577, 1998.
17. Feilzer AJ, De Gee AJ and Davidson CL : Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater*, 6 : 167-171, 1990.
18. Unterbrink GL and Liebenberg WH : Flowable resin composites as "filled adhesives": Literature review and clinical recommendations, *Quint Int*, 30 : 249-257, 1999.
19. 최수진, 김미자, 권혁춘 : 제 2급 와동에서 구치부 복합레진의 미세변연누출에 관한 연구. *대한치과보존학회지*, 27(3) : 249-256, 2002.
20. Frankenberger R, Lopes M, Perdigao J, Ambrose WW and Rosa BT : The use of flowable composites as filled adhesives. *Dent Mater*, 18 : 227-238, 2002.
21. ISO 4049 : International Standard Dentistry -Resin-based dental filling materials. 1988.
22. Kemp-Scholte CM, and Davidson CL : Complete mar-

- ginal seal of class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res*, 69 : 1240-1243, 1990.
23. Choi KK, Condon JR, and Ferracane JL : The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composites. *J Dent Res*, 79 : 812-817, 2000.
24. Montes MA, de Goes MF, da Cunha MR and Soares AB : A morphological and tensile bond strength evaluation of an unfilled adhesive with low-viscosity composites and a filled adhesive in one and two coats. *J Dent*, 29(6):435-441, 2001.
25. Tay FR, Moulding KM and Pashley DH : Distribution of nanofillers from a simplified- step adhesive in acid-conditioned dentin. *J Adhesive Dent*, 2 : 103-117, 1999.
26. Perdigao J, Lambrechts P, van Meerbeek B, Tome AR, Vanherle G, and Lopes AB : Morphological field emission-SEM study of the effect of six phosphoric acid etching agents on human dentin. *Dent Mater*, 12(4) : 262-71, 1996.
27. Willems G, Lambrechts P, Braem M, Celis JP and Vanherle G : A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics. *Dent Mater*, 8 : 310-319, 1992.
28. Braem M, Ringer W, van Doren V, Lambrechts P and Vanherle G : Mechanical properties and filler fraction of dental composites. *Dent Mater.*, 5 : 346- 349, 1989.
29. 이연진, 최경규, 박상진 : 기질레진의 조성에 따른 복합레진의 물리적 성질에 관한 연구. *대한치과보존학회지*, 27(1) : 77-86, 2002.
30. Shimada Y, Antonucci JM, Schumacher GE, McDonough WG and Tagami J. International symposium: Advanced adhesive dentistry: Effects of regional tooth structure and sectioning orientation on micro-shear bond strength. Kuraray Co. Ltd., pp 91-103, 1999.
31. Sano H, Shono T, Sonoda H, Takatsu T, Ciucchi B, Carvalho RM and Pashley DH : Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength - evaluation of a micro-tensile bond tests. *Dent Mater*, 10 : 236-240, 1994.
32. Pashley DH, Carvalho RM, Sano H, Nakajima M, Yoshiyama M, Shono Y, Fernandes CA and Tay F : The microtensile bond test: a review. *J Adhes Dent*, 1(4) : 299-309, 1999.
33. Hasegawa T, Itoh K, Koike T, Yukitani W, Hisamitsu H, Wakumoto S and Fujishima A : Effect of mechanical properties of resin composites on the efficacy of the dentin bonding system. *Oper Dent*, 24(6) : 323-30, 1999.
34. Frankenberger R, Perdigao J, Rosa BT and Lopes M : "No-bottle" vs "multi- bottle" dentin adhesives--a microtensile bond strength and morphological study. *Dent Mater*, 17(5) : 373-80, 2001.
35. Nakabayashi N and Takarada K : Effect of HEMA on bonding to dentin. *Dent Mater*, 8 : 125-132, 1992.
36. Wang T, Nikaido T and Nakabayashi N : Photocure bonding agent containing phosphoric methacrylate. *Dent Mater*, 7(1) : 59-62, 1991.
37. Igarashi K, Toida T and Nakabayashi N : Effect of phenyl-P/HEMA primer on bonding to demineralization dentin by phosphoric acid. *Dent Mater J*, 16 : 55-60, 1997.
38. Hume R, Bayne SC and Duke ES : What is the future of amalgam? *Quint Inter*, 27 : 136-141, 1996.

박 상 진

경희대학교 치과대학 보존과 교수

서울특별시 동대문구 회기동 1 경희대학교 치과대학 보존학교실

Tel : 02-958-9335

E-mail : psangjin@khu.ac.kr