

접착제의 다층적용이 복합레진의 전단결합강도에 미치는 영향

Influence of multiple adhesive coatings on the
shear bonding strength of composite resin

2006년 2월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

박 헌 동

접착제의 다층적용이 복합레진의 전단결합강도에 미치는 영향

지도교수 이 창 섭

이 논문을 치의학 박사학위 신청논문으로 제출함.

2005년 10월 일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

박 현 동

박현동의 박사학위논문을 인준함

위원장 부산대학교 교수 김 신 인

위 원 조선대학교 교수 이 상 호 인

위 원 조선대학교 교수 김 병 옥 인

위 원 조선대학교 교수 박 주 철 인

위 원 조선대학교 교수 이 창 섭 인

2005년 12월 일

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	iv
I. 서 론	1
II. 실험재료 및 방법	5
1. 실험재료	5
2. 실험방법	6
III. 연구성적	10
1. 혼성층과 Adhesive layer 두께 측정	10
2. 전단결합강도 측정	13
IV. 총괄 및 고안	15
V. 결 론	19
참고문헌	21

표 목 차

Table 1. Adhesive systems used in this study	6
Table 2. Application protocol in the study	8
Table 3. Thickness of adhesive layer according to bonding systems and application methods	10
Table 4. Thickness of hybrid layer according to bonding systems and application methods	12
Table 5. Shear bond strengths according to bonding systems and application methods	13

도 목 차

Fig. 1. Measurement of hybrid and adhesive layer.	7
Fig. 2. Mean and standard deviation of adhesive layer thickness according to bonding systems and application methods.	11
Fig. 3. Mean and standard deviation of hybrid layer thickness according to bonding systems and application methods.	12
Fig. 4. Mean and standard deviation of shear bond strength according to bonding systems and application methods.	14

ABSTRACT

Influence of multiple adhesive coatings on the shear bonding strength of composite resin

Park, Heon-Dong

Advisor : Prof. Lee, Chang-Seop, D.D.S., M.S.D..

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

The objective of this study was to evaluate the influence of multiple adhesive coatings on the thickness of hybrid and adhesive layer and shear bond strength (SBS) of self-etch adhesives and self-etch primer adhesives.

The buccal or lingual crown dentin of extracted human molars was used. Two self-etch adhesives-AdporTM PromptTM L-PopTM (3M ESPE, Germany) and Xeno[®] III (Dentsply, Germany), three self-etching primer adhesives-AdheSE[®] (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), Unifil[®] Bond (GC Corporation, Tokyo, Japan), and ClearfillTM SE Bond (Kuraray Medical Inc., Japan), a total etch system as control group-Scotchbond Multipurpose PlusTM (3M ESPE, Germany) were applied to 600-grit abraded dentin.

Self-etch adhesives or self-etch primer adhesives were applied 1, 2, and 3 times on the dentin before light curing. In another group adhesives

were re-applied after light curing first layer. Treated surfaces were prepared to measure the thickness of hybrid and adhesive layer with SEM, and shear bond strength to dentin using an Instron machine.

The following results were obtained:

1. The adhesive layers increased with the number of coatings($p < 0.05$) with all adhesives. Adpor Prompt L-Pop and Xeno III were significantly thinner than self-etch primer adhesives ($p < 0.05$).
2. The thickness of hybrid layers increased with the number of coatings ($p < 0.05$) as $1.07\mu\text{m}$, $1.51\mu\text{m}$, and $2.05\mu\text{m}$ in Adpor Prompt L-Pop, $0.45\mu\text{m}$, $1.10\mu\text{m}$, and $1.32\mu\text{m}$ in Xeno III, but there was no change in self-etch primer adhesives.
3. The shear bonding strength of Unifil Bond and Clearfill SE Bond were higher than Scotchbond Multipurpose Plus and Adpor Prompt L-Pop($p < 0.05$), and similar with Xeno III.
4. The shear bond strength increased significantly with the number of coatings in Adpor Prompt L-Pop($p < 0.05$), increased no significantly in Xeno III and UniFil Bond and there was no change in Clearfill SE Bond, but decreased at 3times in AdheSE Bond.
5. In Adpor Prompt L-Pop and Xeno III, the shear bond strength decreased when adhesives were re-applied after curing the first adhesive layer.

I. 서 론

Buonocore¹⁾가 85% 인산을 이용하여 법랑질 표면적을 증가시키는 산부식술을 소개한 이후 접착시스템의 발달은 많은 량의 치질을 삭제하던 기존의 와동형성의 설계를 좀더 보존적인 형태를 이룰 수 있도록 하였으며, 복합레진이 갖고 있는 심미성과 치질과의 직접적인 접촉성으로 인하여 다른 수복 물질을 빠르게 대체하고 있다.

인산을 이용한 법랑질의 산부식법은 법랑질에 대한 복합레진의 우수한 접착을 제공하지만 상아질과 복합레진의 접착은 법랑질과 달리 많은 어려움이 있다. 그 이유로 상아질에서는 무기성분이 법랑질에 비해 적으며 불규칙하게 배열되어 있고, 상아질에는 상아세관이 존재하며 상아세관 내에는 상아세관액이 존재하기 때문이다. 또한 상아질을 삭제하는 과정에서 형성되는 도말층도 상아질과 복합레진 간의 결합을 어렵게 한다²⁻⁵⁾.

1979년 Fusayama 등⁶⁾은 상아질을 산부식함으로써 결합력이 증가되었다고 보고하였으며, 1982년 Nakabayashi 등⁷⁾은 산부식제로 상아질을 탈회한 후 interfibrilar microporosity를 갖는 교원섬유의 망상구조(collagen fibril network)가 노출되면 노출된 교원섬유기질(collagen matrix) 내로 접착제가 침투하여 레진-상아질 사이에 혼성층(hybrid layer)이 형성된다고 보고하였다. 이후 혼성층 형성에 근거한 많은 연구가 진행되었으며⁶⁻¹²⁾, 그 결과 현재 이용되고 있는 상아질 결합제의 주된 결합기전은 미세기계적 결합(micro-mechanical interlocking)에 기초하며, 여기에 기본적으로 사용하는 술식이 법랑질과 상아질을 동시에 산부식시키고 상아질의 도말층을 제거하는 'total-etch' technique과 상아질 표면이 젖어있는 상태로 소수성 및 친수성의 프라이머와 접착제를 도포하여 상아질과 교원섬유내로 레진의 침투를 용이하게 하는 습윤접착법(wet bonding technique)이 이용되고 있다.

이러한 이론을 근거로 한 4세대 상아질 접착제는 치질의 처리(conditioning),

priming 및 접착제의 도포와 같은 3단계의 적용과정을 통하여 치질과 복합레진의 접착을 얻게 되었다^{13,14}. 그 이후에 적용과정을 단순화하여 소개된 5세대 상아질 접착제인 단일병 접착제(one bottle adhesive)는 치질을 산부식한 후 프라이머와 접착제를 혼합한 단일용액을 도포함으로써 적용과정을 2단계로 단축하였다¹⁵. 그러나 이러한 4세대와 5세대 접착제의 사용은 total-etching과 wet-bonding 과정에서 술자에 따라 그 결과가 달라지는 문제점들을 지니고 있다¹⁶. 산처리에 의한 상아질의 과도한 부식은 상아질의 침투성을 증가시키고, 탈회된 상아질 기저부의 콜라겐 섬유에 레진이 불완전하게 침투되어 접착을 약하게 한다^{17,18}. 또한 탈회된 상아질의 과도한 건조로 인한 콜라겐의 붕괴와 과습윤(overwetting)도 접착력의 저하를 초래한다^{18,19}.

최근에 치질과의 접착과정을 단순화하여 시술 중에 발생할 수 있는 상아질의 과도한 건조와 과습윤 등의 오류를 피할 수 있고 치료시간을 단축시키기 위한 새로운 접착시스템이 소개되었으며, 일반적으로 자가산부식 접착제(self-etching adhesive, all-in-one 혹은 one-step adhesive system)과 자가산부식 프라이머(self-etching primer adhesive 혹은 two-step adhesive system)로 분류된다. 자가산부식 접착제는 Pheny-P 혹은 MDP 등과 같은 산성의 phosphonated resin을 함유하고 있어 상아질의 도말층을 제거함과 동시에 상아질의 표면을 탈회시켜 레진성분이 침투한 다음, 광중합에 의해 중합체를 이루어 혼성층을 형성한다²⁰. 자가산부식 프라이머 시스템은 상아질의 도말층을 변형 또는 용해시키고 상아질면을 탈회시켜, 다음에 적용되는 접착제에 의해 혼성층이 형성된다²¹. 이 두 시스템 모두 인산을 이용하는 접착제와는 달리 세척이 필요하지 않은 것이 특징이며²², 인산을 이용하여 산부식하는 접착제가 4-5 μ m의 혼성층을 형성하는 반면, 1-2 μ m 두께의 얇은 혼성층을 형성한다고 보고되고 있다²³.

상아질 접착에서 혼성층은 복합레진이 상아질에 긴밀히 결합하여 내산성이 강하고, 수복물의 보호 장벽 역할을 하며, 탄력성이 높아 복합레진의 중합수축과 관련된 스트레스를 경감시켜 강한 결합을 이룰 수 있도록 하는 구조물로서 혼성층의 두께와 결합강도사이의 연관성은 많은 논란이 있다. Gwinnett²⁴은 혼성층

의 형성이 상아질 접착의 근간이 된다고 하였으나, 다른 연구에서 이들 사이에 직접적인 상관관계가 없다고 하였으며²⁵⁾, 다른 연구에서 이와 유사한 연구결과를 보고하였다²⁶⁻²⁸⁾. 그러나 Frankenberger 등²³⁾은 두꺼운 혼성층이 결합강도를 증가시킨다고 보고한 바 있다.

한편 all-in-one 접착 시스템인 자가산부식 접착시스템에 대한 상아질과의 결합강도는 total-etch 접착시스템보다 낮은 결합강도를 보이며²⁹⁾, 2단계 자가산부식 프라이머 시스템보다도 낮거나 같다고 보고된 바 있다^{18,30)}. 최근에 보고된 몇몇 연구에서는 all-in-one 접착시스템(Adper Prompt L-Pop)을 여러 번 도포한 경우 상아질에 대한 미세인장결합강도가 증가한다고 보고된 바 있으며³¹⁻³⁴⁾, 이는 all-in-one 접착시스템을 여러 번 도포한 경우 혼성층의 두께가 증가하고 결합강도도 증가하는 것으로 보인다²³⁾. 그러나 Nakaoki 등³⁵⁾은 여러 종류의 all-in-one 접착시스템에서 접착제를 1회 도포한 결합강도와 2회 도포한 결합강도의 통계학적 차이는 없었다고 보고한 바 있다.

한편 Zheng 등³⁶⁾은 혼성층의 두께가 얇은 경우 두꺼운 혼성층에서처럼 복합레진의 중합수축으로 발생하는 스트레스를 분산시키는 기능이 없을 것으로 가정하고 두꺼운 adhesive layer가 이러한 스트레스를 분산시킴으로써 결합강도를 증가시킬 수 있다는 것을 언급하였다. 또한 Hashimoto 등³⁷⁾은 total-etch 시스템에서 결합제를 여러 번 도포함으로써 결합강도를 증가시키고 nanoleakage를 감소시킨다고 보고한 바 있다.

자가산부식 접착제와 자가산부식 프라이머 접착제가 산부식 단계와 물로 세척하고 가볍게 건조하는 단계가 생략되어 간편화됨으로써 자극에 민감하고 행동조절에 어려움이 있는 소아환자의 복합레진 수복과정에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 생각되지만, 자가산부식 접착제의 상아질에 대한 결합강도는 많이 연구된 반면, 자가산부식 접착제와 자가산부식 프라이머 접착제에 대한 혼성층 및 adhesive layer 형성양상과 결합강도에 대한 상호 비교에 관한 연구는 미진한 상황이다.

본 연구에서는 자가산부식 접착제와 자가산부식 프라이머 접착제를 이용하여

접착제의 도포회수와 방법에 따른 형성된 혼성층 및 adhesive layer의 두께와
상아질에 대한 전단결합강도를 비교 평가하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

우식이나 결함이 없는 영구 구치 140개의 치아를 실험재료로 사용하였다. 전단결합강도를 측정하기 위하여 치아을 근원심으로 분할한 후 215개의 치아 절편을 협면 혹은 설면이 노출되도록 원통형의 플라스틱 통에 교정용 레진을 이용하여 매몰한 다음 400grit silicon carbide paper를 이용하여 약 5mm 직경의 상아질이 노출될 때까지 grinding 한 후 600, 800 grit 순서로 연마하였다. 혼성층의 두께와 adhesive layer의 전자현미경 관찰을 위하여 근원심으로 분할된 63개 치아 절편의 협면 혹은 설면의 상아질이 노출되도록 범랑질을 제거하고 600, 800 grit 순서로 연마하였다.

본 실험에서 사용된 자가산부식 접착시스템(all-in-one system)은 AdporTM PromptTM L-PopTM (3M ESPE, Germany)와 Xenor[®] III (Dentsply, Germany)을 이용하였고, 자가산부식 프라이머 접착시스템(self-etching primer adhesive system)은 AdheSE[®] (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), Unifil[®] Bond (GC Corporation, Tokyo, Japan), 그리고 ClearfillTM SE Bond (Kuraray Medical Inc., Japan) 등을 이용하였고, 대조군으로 total-etch system인 Scotchbond Multipurpose PlusTM (3M ESPE, Germany)을 이용하였으며(Table 1), 수복용 복합레진은 Z-250 (3M ESPE, USA)을 이용하였다. 접착제와 복합레진의 광중합을 위한 광조사기는 광강도 600 mW/cm²의 Optilux 501 (Kerr, USA)을 사용하였다.

Table 1. Adhesive systems used in this study

Bonding system (Manufacturer)	Classification	Composition	pH primer	Lot number
Scotchbond Multi-Purpose Plus (3M ESPE, USA)	Two-step total-etch system	Etchant: Phosphoric acid (35%), silica, water Bond: bis-GMA, dimethacrylate, HEMA, polyalkenoic acid copolymer, initiator, water, ethanol		4BK
Adpor Prompt L-Pop (3M ESPE, Germany)	One-step self-etch system	Liquid 1: Methacrylated phosphoric esters, BIS-GMA, camphorquinone, stabilizers Liquid 2: Water, HEMA, polyalkenoic acid, stabilizers	0.41	217988
Xeno III (Dentsply, Germany)	One-step self-etch system	Liquid 1: HEMA, aerosil R-947, BHT(stabilizer), ethanol, water Liquid 2: Pyro-EMA-SK, PEM-F, UDMA, BHT, camphorquinone, p-dimethyl amine ethyl benzoate	0.98	0506002930
Unifil Bond (GC Corporation, Japan)	Two-step self-etch system	Primer: Polycarboxylic acid monomer, HEMA, ethanol, water Bond: Urethan dimethacrylate, dimethacrylate, HEMA, silica filler	2.20	0508011
Clearfill SE Bond (Kuraray Medical Inc., Japan)	Two-step self-etch system	Primer: 10-MDP, HEMA, hydrophilic dimethacrylate, photoinitiator, water Bond: 10-MDP, Bis-GMA, HEMA, hydrophilic dimethacrylate, microfiller	1.92	51337
AdheSe (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein)	Two-step self-etch system	Primer: Dimethacrylate, phosphoric acid, acrylate, initiatorsstabilizers, water Bond: HEMA, dimethacrylate, silicon dioxide, initiators	1.69	G15066

2. 실험방법

1) 혼성층과 adhesive layer 두께의 측정

교합면 상아질이 노출된 63개의 치아 절편을 무작위로 6개 군으로 분류하여 대조군으로 3개의 치아에 37% acid etching agent을 이용하여 15초 동안 산부식 후 single bonding agent (Scotchbond Multi-Purpose Plus, 3M ESPE, USA)를 제조사의 지시대로 도포한 후 복합레진(Z-250, 3M ESPE, USA)를 약 1.5mm 두께가 되도록 충전한 후 40초간 광중합하였다. 나머지 60개의 치아는 각각의 self-etching bonding system에 12개씩 배분한 후 각각 1회 도포군, 2회 도포군, 3회 도포군, 그리고 1회 도포한 다음 10초간 광중합 후 다시 결합제를 도포한 군으로 구성되었다. 결합제를 재도포하는 경우 5초 동안 도포하였다. 결합제를 도포하고 10초간 광조사를 시행한 다음 대조군과 같이 복합레진을 적용하고 40초간 광중합하였다(Table 2).

모든 치아는 레진-상아질 경계의 직각으로 치아의 중심을 통과하도록 diamond wheel saw (South Bay Technology Inc., USA)를 이용하여 이등분한 후 한쪽 절편을 800, 1000, 1200, 2400, 4000 grit silicon carbide paper를 이용하여 순서대로 연마하였다. 다음에 증류수에 넣고 3분 동안 초음파 세척한 후 6N HCl에 20초, 5% NaOCl에 2분 동안 담근 후에 1분간 초음파 세척하였다.

레진-상아질경계의 혼화층에 대한 주사전자현미경 관찰을 위해 준비된 각 치아절편은 60%, 70%, 80%, 90%, 100%의 에탄올에 10분씩 넣어 탈수한 후 2Kv와 20mA의 전압과 4×10^{-2} bar/pa의 진공상태에서 금도금 처리하였다. 각 시편은 주사전자현미경 (JSM-840A Scanning Microscope JEOL Ltd., U.S.A.) 하에서 관찰하여 Polaroid 667 film (Kodak Co., USA)으로 촬영한 후 레진 수복물과 상아질 사이의 혼성층 및 adhesive layer의 두께를 측정하였다(Fig. 1).



Figure 1. Measurement of hybrid layer and adhesive layer.

Table 2. Application protocol in the study

Bonding system (Code)	Treatment group(Code)	Procedure
Scotchbond Multi-Purpose Plus (SMP)	Control group	Etch with 34% phosphoric acid for 15s, rinse, dry gently, apply bond, gently air dry, light-cure for 10s
Adpor Prompt L-Pop (PLP)	Single coat (PLP1)	Apply for 20s, gently air dry, gently air dry, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (PLP2)	Apply for 20s, gently air dry, gently air dry, reapply continuously, light cure for 10s
	Multiple coats (3 times) (PLP3)	Apply for 20s, gently air dry, gently air dry, reapply continuously 2 times, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (PLP2.1)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, light cure for 10s, reapply, light cure for 10s
Xeno III (XN)	Single coat (XN1)	Apply for 20s, gently air dry, gently air dry, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (XN2)	Apply for 20s, gently air dry, gently air dry, reapply continuously, light cure for 10s
	Multiple coats (3 times) (XN3)	Apply for 20s, gently air dry, gently air dry, reapply continuously 2 times, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (XN2.1)	Apply for 20s, gently air dry, gently air dry, light cure for 10s, reapply, light cure for 10s
Unifil Bond (UF)	Single coat (UF1)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (UF2)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, reapply continuously, light cure for 10s
	Multiple coats (3 times) (UF3)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, reapply continuously 2 times, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (UF2.1)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, light cure for 10s, reapply, light cure for 10s
Clearfill SE Bond (CF)	Single coat (CF1)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (CF2)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, reapply continuously, light cure for 10s
	Multiple coats (3 times) (CF3)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, reapply continuously 2 times, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (CF2.1)	Apply for 20s, gently air dry, apply bond, gently air dry, light cure for 10s, reapply, light cure for 10s
AdheSe(ADH)	Single coat (ADH1)	Apply for 30s, gently air dry, apply bond, gently air dry, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (ADH2)	Apply for 30s, gently air dry, apply bond, gently air dry, reapply continuously, light cure for 10s
	Multiple coats (3 times) (ADH3)	Apply for 30s, gently air dry, apply bond, gently air dry, reapply continuously 2 times, light cure for 10s
	Multiple coats (2 times) (ADH2.1)	Apply for 30s, gently air dry, apply bond, gently air dry, light cure for 10s, reapply, light cure for 10s

2) 전단결합강도 측정

(1) 시편제작

전단결합강도를 측정하기 위해 협측 혹은 설측 상아질이 노출된 215개의 치아는 60개씩 무작위로 5개 군으로 분류하였으며, 이는 다시 15개씩 소그룹으로 분류하였다. 나머지 15개의 치아는 대조군으로 37% acid etching agent을 이용하여 15초간 산부식한 후 single bond agent를 도포하고 10초간 광중합한 후 직경 4mm, 길이 2mm의 투명한 원통형 플라스틱 내에 복합레진을 충전하여 도포된 접착제 부위에 압접한 후 40초간 광중합하였다. Table 2에서와 같이 각각 1회 도포군, 2회 도포군, 3회 도포군, 그리고 1회 도포한 다음 10초간 광중합 후 다시 결합제를 도포한 군으로 구성되었다. 결합제를 재도포하는 경우 5초 동안 도포하였다. 결합제를 도포한 후 10초간 광조사를 시행한 다음 대조군과 같이 복합레진을 적용하고 40초간 광중합하였다.

(2) 전단결합강도 측정

준비된 시편을 5도 - 60도에서 30초씩 60회의 thermocycling을 시행하였다. 시편을 만능재료측정기(AGS-100A, Shimazu, Japan)를 사용하여 50 kg의 하중에서 2 mm/min의 cross-head 속도로 전단결합강도를 측정하였다.

6) 통계처리

Window용 SPSS 7.5 통계패키지를 이용하여 One-way ANOVA 분석을 통하여 각 실험군의 전단결합강도와 혼성층의 두께, 그리고 adhesive layer의 두께 사이의 유의차 검증을 시행하였으며, 사후 검증은 Scheffe test을 이용하여 시행하였다.

III. 연구성적

1) 혼성층과 adhesive layer 두께 측정

Table 3과 Fig. 2는 adhesive layer의 두께를 나타낸 것으로 모든 접착제에서도 도포횟수가 증가함에 따라 adhesive층의 두께도 증가하였다($p < 0.05$). 자가산부식 접착시스템인 PLP와 XN의 adhesive layer가 자가산부식 프라이머 접착시스템에 서보다 얇게 나타났다($p < 0.05$). Two step인 자가산부식 프라이머 접착시스템에 서 도포회수에 따른 adhesive layer의 두께는 큰 폭으로 증가한 반면 XN에서는 증가폭은 크지 않았다.

Table 3. Thickness of adhesive layer according to bonding systems and application methods (Mean \pm SD) (Unit : μm)

Groups	Subgroups : Mean (SD)				Total mean (SD)
	1	2	3	2.1	
PLP	8.55 (2.68) ^a	24.58 (11.64) ^b	77.06 (12.22) ^c	29.75 (12.44) ^{bd}	35.18 (27.29) ^A
XN	8.71 (2.79) ^a	18.46 (6.06) ^b	31.75 (9.48) ^c	24.01 (8.20) ^{bd}	20.94 (10.30) ^A
UF	31.49 (12.77) ^a	127.24 (37.53) ^b	312.57 (116.84) ^c	102.42 (42.03) ^{bd}	110.51 (104.75) ^{BC}
CF	47.17 (18.07) ^a	153.71 (18.68) ^b	337.57 (181.61) ^c	177.00 (114.08) ^{bd}	159.94 (135.67) ^B
ADH	56.11 (13.41) ^a	84.98 (17.73) ^a	236.59 (76.69) ^b	209.17 (55.40) ^{bc}	133.14 (89.47) ^B
SMP	30.17 (10.83)				30.17 (10.83) ^{AC}

The same lowercase letters are not significantly difference for each subgroup within a bonding system ($p < 0.05$).

The same capital letters are not significantly difference for each bonding system ($p < 0.05$).

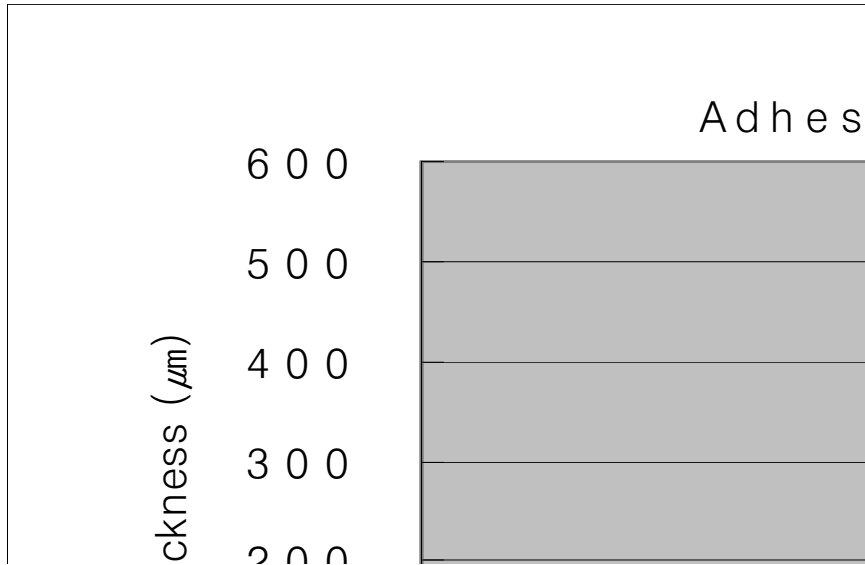


Figure 2. Mean and standard deviation of adhesive layer thickness according to bonding systems and application methods.

Table 4와 Fig. 3은 혼성층의 두께를 나타낸 것으로 SMP에서 2.29 μm 로 가장 두꺼웠으며 one-step self-etch system인 PLP에서는 도포횟수가 증가함에 따라 혼성층의 두께도 증가하였다($p < 0.05$). XN에서는 1회 도포 때보다 2회 도포한 경우 유의하게 증가하였고($p < 0.05$) 2회와 3회 사이에는 증가하는 경향이 있었으나 통계적으로 유의하지 않았다($p > 0.05$). 또한 XN에서보다 PLP에서 혼성층의 두께가 더 넓었으며, 증가 폭도 크게 나타났다($p < 0.05$). 반면에 two-step self-etch primer 접착시스템에서는 접착제의 도포횟수에 관계없이 혼성층의 두께는 일정하였으며, one-step adhesive system과 비교할 때 좁은 혼성층을 형성하였으며 ($p < 0.05$), UF의 경우 0.49 μm 로 two-step adhesive system 중 통계적으로 유의하게 좁은 혼성층을 형성하였고, CF와 ADH에서는 유사한 두께의 혼성층이 형성되었다.

Table 4. Thickness of hybrid layer according to bonding systems and application methods (Mean±SD) (Unit : μm)

Groups	Subgroups : Mean (SD)				Total mean (SD)
	1	2	3	2.1	
PLP	1.07 (.31) ^a	1.51 (.29) ^b	2.05 (.46) ^c	1.56 (.22) ^{bd}	1.57 (.49) ^A
XN	.45 (.15) ^a	1.10 (.27) ^b	1.32 (.16) ^{bc}	.92 (.26) ^{bd}	.93 (.37) ^B
UF	.49 (.19)				.49 (.19) ^C
CF	.73 (.18)				.73 (.18) ^D
ADH	.71 (.20)				.71 (.20) ^D
SMP	2.29 (.72)				2.29 (.72) ^E

The same lowercase letters are not significantly difference for each subgroup within a bonding system ($p < 0.05$).

The same capital letters are not significantly difference for each bonding system ($p < 0.05$).

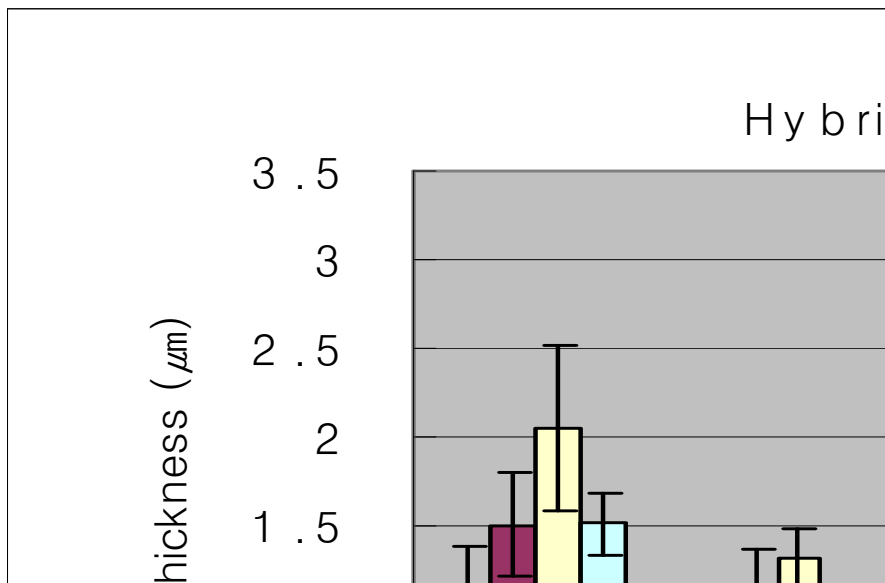


Figure 3. Mean and standard deviation of hybrid layer thickness according to bonding systems and application methods.

2) 진단결합강도 측정

Table 5와 Fig. 3은 접착제의 도포횟수와 적용방법에 따른 진단결합강도의 평균과 표준편차를 나타낸다. UF, CF의 진단결합강도는 PLP와 ADH의 진단결합강도 보다 높게 나타났으며($p < 0.05$), total-etch system인 SMP보다 높은 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다. PLP에서는 도포횟수의 증가에 따라 진단결합강도가 증가하는 경향을 보였으며, 1회도포한 경우보다 3회 도포한 경우 통계적으로 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). 그러나 PLP와 같은 접착시스템인 XN에서는 도포횟수에 따라 진단결합강도가 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다. 자가산부식 프라이머 접착제인 UF, CF, ADH에서 결합강도는 도포횟수에 따른 변화가 없었으며, ADH에서는 오히려 3회 도포한 군에서 결합강도가 감소하는 경향을 보였다($p > 0.05$). 또한 PLP, XN, 그리고 ADH에서 한번 도포하고 중합한 후 접착제를 다시 도포한 경우 오히려 진단결합강도가 감소하는 경향을 보이며, PLP에서는 통계적으로 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 반면에 UF와 CF에서 도포방법은 결합강도에 어떤 영향도 주지 않았다.

Table 5. Shear bond strengths according to bonding systems and application methods (Mean \pm SD) (Unit : MPa)

Groups	Subgroups : Mean (SD)				Total mean (SD)
	1	2	3	2.1	
PLP	9.87 (2.04) ^a	10.67 (3.05) ^{ac}	13.27 (2.41) ^{bc}	7.13 (2.43) ^a	10.22 (3.27) ^A
XN	13.27 (4.47)	13.28 (4.86)	15.54 (6.09)	10.05 (3.39)	13.08 (5.01) ^{AB}
UF	13.36 (3.82)	15.45 (5.76)	15.72 (6.43)	16.06 (5.37)	15.23 (5.40) ^{BC}
CF	14.98 (6.14)	14.33 (5.49)	14.95 (5.52)	15.62 (6.53)	14.94 (5.76) ^{BC}
ADH	11.69 (3.03)	12.31 (5.54)	9.27 (3.42)	7.97 (1.80)	10.61 (4.07) ^{AD}
SMP	11.76 (4.66)				11.76 (4.66) ^{AB}

The same lowercase letters are not significantly difference for each subgroup within a bonding system ($p < 0.05$).

The same capital letters are not significantly difference for each bond system ($p < 0.05$).

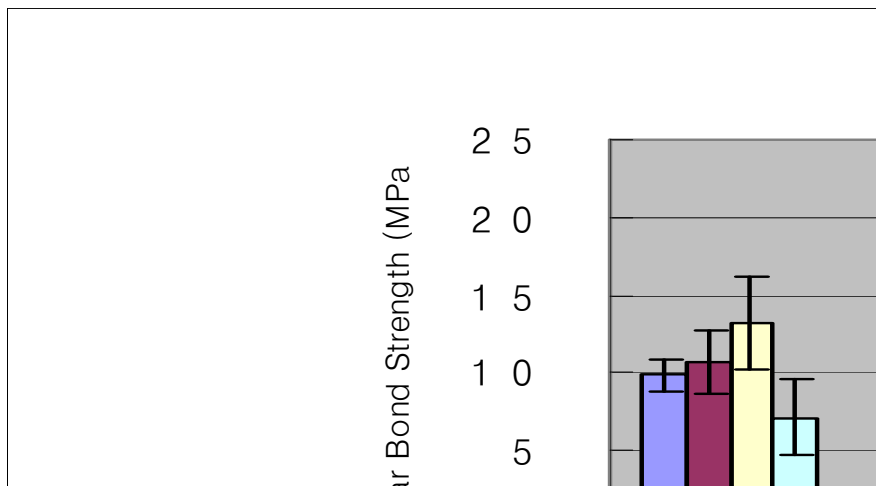


Figure 4. Mean and standard deviation of shear bond strength according to bonding systems and application methods.

IV. 총괄 및 고안

자가산부식 접착 시스템은 접착과정을 최소화함으로써 기술적 민감성 (technical sensitivity)을 감소시킬 수 있으며, 세척과 건조가 필요하지 않으므로 인산을 이용한 산부식의 문제점인 술후 민감성을 줄일 수 있으며, 최대의 결합력을 얻을 수 있다고 보고되고 있다³⁸⁻⁴⁰⁾. 또한 불소를 포함시킬 수 있어 이차우식의 방지와 치질의 재광화를 증진시킬 수 있는 장점이 있다⁴¹⁾. 이러한 접착제는 산성의 단량체를 가지고 있어 도말층의 무기물을 용해하고 하방의 건전한 상아질까지 침투하여 혼성층을 형성하며, 치질의 탈회와 레진의 침투가 동시에 이루어지도록 하여 치질과 접착제 간에 연속체를 형성하는 것으로 알려져 있다¹⁵⁾.

복합레진 수복과정에서 발생하는 중합수축력은 치아와 수복물 사이의 계면에 집중되며, 만약 상아질에 대한 이들 스트레스가 접착제의 결합강도를 초과하면 치질과 레진수복물간의 결합이 실패하게 되며, 이로 인하여 상아질과민, 치수 자극, 이차우식 등이 발생된다⁴¹⁾. 중합수축에 대한 혼성층의 elasticity의 역할과 adhesive layer의 완충효과에 대해 많은 연구가 이루어져 왔으며^{23,31,32,34,37)}, 이들은 adhesive layer 두께를 증가시켜 복합레진의 중합시 발생하는 스트레스를 완충하려 하였다. 그러나 Hilton과 Schwartz⁴³⁾는 복합레진에 비해 adhesive의 물성이 약하므로 가능한 adhesive layer 두께를 최소화하는 것이 유리하다고 주장한 바, 결합강도와 adhesive layer 두께와의 관계는 아직도 논란이 있는 것으로 보인다.

Nara 등³¹⁾ all-in-one 접착시스템(Adper Prompt L-Pop)을 여러 번 도포한 경우 상아질에 대한 미세인장결합강도가 증가한다고 보고한 바 있으며, Frankenberger 등²³⁾과 홍 등³³⁾은 all-in-one 접착시스템인 Prompt L-Pop을 여러 번 도포한 경우 혼성층의 두께가 증가하고 결합강도도 증가한다고 보고하였으며, Pashley 등³²⁾은 첫 층을 중합한 후 두 번째의 adhesive layer를 도포하는 것이 결합력을 더욱 향상시킨다고 보고하였다. Ito 등³⁴⁾도 세 번의 접착제 도포까지는 접착강도

가 증가하였으며, 특히 1회 도포 후 광중합하고 접착제를 재도포한 경우 결합강도가 크게 증가하였으며, nanoleakage는 감소하였다고 보고하였다. Choi 등⁴⁴⁾에 의하면 total-etch 시스템에서 결합강도를 향상시키는 데는 두 가지 방법이 있다. 한가지 방법으로는 첫 번째 접착제를 도포한 후 광중합하지 않고 연속적으로 접착제를 다층 적용할 경우 adhesive layer 두께의 증가보다는 혼성층에서 레진의 침투가 증가하고 잔존 수분을 완전히 제거함으로써 결합강도를 증가시킬 수 있다는 것이며, 다른 방법으로 첫 층을 도포하고 광중합한 다음 두 번째 층의 접착제를 도포한 경우로 혼성층의 질(quality)의 변화는 없고 adhesive layer의 두께가 증가하여 탄성이 커짐으로 레진 중합 과정에서 발생하는 스트레스를 분산시킴으로써 결합강도를 증가시키는 것이다.

본 연구에서 PLP는 도포횟수를 증가함으로써 결합강도가 유의하게 증가하는 것으로 나타났으며, XN, UF 등에서도 접착제의 도포횟수가 증가함에 따라 결합강도가 증가하는 경향을 보였지만 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 Nara 등³¹⁾, Frankenberger 등²³⁾, 그리고 Ito 등³⁴⁾의 연구결과와 유사하였다. 또한 adhesive layer는 자가산부식 접착시스템인 PLP와 XN에서 매우 얇게 나타났으나 도포횟수가 증가함에 따라 유의하게 증가한 것을 볼 수 있었다. 자가산부식 프라이머에서는 1회의 도포에서도 충분한 두께의 adhesive layer가 형성되었으며, 도포횟수의 증가에 따라 과도하게 넓은 adhesive 층을 볼 수 있었다. 한편 PLP와 XN는 점도가 낮아 adhesive layer의 두께가 얇으며 이로 인해 레진의 중합수축으로 발생하는 스트레스를 충분히 흡수하지 못하여 결합강도가 감소될 수 있으며, 다층 적용으로 더 두꺼운 adhesive layer를 형성함으로써 중합과정에서 발생하는 스트레스를 분산시킴으로써 결합강도가 증가되는 것으로 보인다. 또한 현재 사용하고 있는 대부분의 단량체는 공기 중의 산소가 중합억제층을 형성한다고 알려져 있으며, 산소 중합억제층의 두께는 저점도일 때 더 두꺼워진다⁴⁵⁾. 또한 공기를 분사해서 수분을 증발시키는 과정에서 adhesive layer가 과도하게 얇아지고 중합억제층을 확산시켜 전단결합강도를 약화시킨다⁴³⁾. 이 경우 접착제의 다층 적용이 adhesive layer를 증가시킴으로써 중합억제층의 효과가 많이 감소되

였을 것으로 생각된다. 한편 자가산부식 프라이머 시스템인 UF, CF에서는 도포 횟수에 따라 adhesive layer의 두께도 증가하였으나 전단결합강도에는 영향을 미치지 않은 것으로 보이지만, ADH에서는 세 번째 층을 도포한 경우 전단결합강도가 감소하는 경향을 보임으로써 ADH에서는 adhesive layer의 두께가 증가함으로써 오히려 상아질 결합강도는 감소하는 것으로 생각된다. 이는 Zheng 등³⁶⁾의 보고와 같이 자가산부식 프라이머 접착시스템인 Liner Bond 2V 접착제의 경우 adhesive layer의 두께를 증가시킴으로써 접착강도가 증가되었으나, 인산을 이용한 Single Bond 접착제에서는 adhesive layer의 두께가 증가함으로써 오히려 상아질 결합강도는 감소하였다고 보고한 바와 같이 접착제의 종류에 따라 다르게 나타난 것으로 보인다.

Bouillaguet 등¹⁸⁾은 자가산부식 프라이머가 all-in-one 접착제보다 건전한 상아질에 대한 접착강도가 높다고 보고한 바 있으며, Inoue 등²⁹⁾은 자가산부식 접착시스템이 total-etch 접착시스템보다 낮은 미세인장결합강도를 보였다고 보고한 바 있다. De Munk 등³⁰⁾은 자가산부식 접착시스템과 자가산부식 프라이머 시스템의 결합강도를 비교한 결과 자가산부식 프라이머 접착시스템이 자가산부식 접착시스템의 결합강도와 같거나 높다고 하였다. 본 연구에서 접착제를 1회 도포한 경우 PLP는 SMP보다 전단결합강도가 낮게 나타났으나 이외의 접착시스템에서는 SMP와 유사하거나 높은 전단결합강도를 보였다. 또한 접착제를 다층 적용한 경우 ADH를 제외한 다른 접착제에서는 SMP보다 높은 전단결합강도를 보였으며, 자가산부식 프라이머인 UF와 CF에서는 자가산부식 접착시스템인 PLP보다 유의하게 높은 전단결합강도를 보여 다른 연구들과 유사한 결과를 보였다. 반면 XN에서는 ADH보다 높은 전단 결합강도를 보였으며, 자가산부식 프라이머인 UF와 CF의 전단결합강도와 유사한 결과를 보여 다른 연구결과들과 다른 양상을 보였다. 한편 첫 층 도포 후 광중합한 다음 두 번째 층을 도포한 경우 PLP와 XN에서는 오히려 결합강도가 감소함으로써, 첫 층 중합 후 두 번째의 adheve를 도포하는 것이 결합력을 더욱 향상시킨다는 Pashley 등³²⁾의 보고와는 상반되는 결과를 보였다. 또한 ADH에서는 세 번째 층을 도포한 군과 첫 층 도포한 후 광

중합한 다음 두 번째 층을 도포한 경우 결합강도가 감소하는 양상을 보여 다른 군들과 다른 결과를 보였다.

Inai 등²⁶⁾과 Perdiāgo 등²⁷⁾은 혼성층의 두께가 결합강도에 직접적인 영향을 미치지 않는다고 보고하였으며, Hashimoto 등²⁸⁾은 장시간의 산부식에 의한 혼성층의 두께증가가 오히려 결합강도를 감소시킨다고 보고하였다. 그러나 Frankenberger 등²³⁾은 Prompt L-Pop을 이용한 연구에서 두꺼운 혼성층이 결합강도를 증가시킨다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 혼성층의 두께는 SMP에서 가장 넓게 나타났으며, 자가산부식 접착시스템인 PLP와 XN, 그리고 자가산부식 프라이머 접착시스템인 ADH, CF, UF 순으로 나타났으며, 이는 표 1에서와 같이 접착제가 지니고 있는 산도의 순서와 일치하였다. Nakaoki 등³⁵⁾은 자가산부식 접착시스템의 다층 적용이 전단결합강도를 유의하게 증가시키지 않았지만 전자현미경을 이용한 연구에서 PLP의 강한 산성이 상아질의 깊은 탈회를 발생시키지만 1회만 도포한 경우 레진 단량체가 하부까지 완전하게 침투하지 못하였으며, 부가적인 도포로 탈회된 관간상아질까지 레진 단량체가 충분히 침투하였다고 보고하였다. 본 연구에서 PLP 및 XN에서 접착제를 여러 번 도포한 경우 혼성층의 두께는 물론 adhesive layer의 두께도 유의하게 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 PLP에서는 SMP의 $2.29\mu\text{m}$ 에 가까운 $2.05\mu\text{m}$ 의 혼성층이 형성되었다. 이는 Frankenberger 등²³⁾과 홍 등³³⁾의 연구결과와 유사하였으며, 자가산부식 접착제가 지니고 있는 산도의 영향으로 보이며, Nakaoki 등³⁵⁾의 주장과 같이 2회, 3회 도포함으로써 적용시간의 증가와 접착제의 산도를 유지시켜 지속적인 상아질 탈회가 일어나고 레진단량체가 치질로 충분히 침투한 것으로 보인다. 자가산부식 프라이머 시스템에서는 산부식 능력을 지니고 있는 프라이머를 한번만 도포하고 adhesive만을 다층 도포했기 때문에 이러한 효과는 기대할 수 없다고 생각되며, 향후 자가산부식 프라이머를 여러 번 도포함으로써 결합강도를 증가시킬 수 있는지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다. 또한 혼성층의 두께 및 adhesive layer의 두께와 결합강도와의 상관관계에 대한 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 자가산부식 접착시스템과 자가산부식 프라이머 접착시스템의 다층 적용이 혼성층 및 adhesive layer의 형성 양상, 그리고 전단결합강도에 미치는 영향 등을 비교 평가하기 위하여 시행되었다.

연구 구치 140개의 치아를 근원심으로 분할하여 협면 혹은 설면의 상아질을 이용하였으며, 자가산부식 접착시스템(all-in-one system)으로 AdporTM PromptTM L-PopTM (3M ESPE, Germany)와 Xeno[®] III (Dentsply, Germany)을 이용하였고, 자가산부식 프라이머 접착시스템(self-etching primer adhesive system)으로는 AdheSE[®] (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein), Unifil[®] Bond (GC Corporation, Tokyo, Japan), 그리고 ClearfillTM SE Bond (Kuraray Medical Inc., Japan) 등을 이용하였고, 대조군으로 total-etch system인 Scotchbond Multipurpose PlusTM (3M ESPE, Germany)을 이용하였다. 각 접착시스템을 1회, 2회, 3회 도포, 그리고 1회 도포 후 광중합한 후 1회의 추가 도포한 군으로 분류하였다. 전단결합강도와 혼성층 및 adhesive layer 두께를 측정하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 접착제에서 도포횟수가 증가함에 따라 adhesive layer의 두께가 증가하였으며($p < 0.05$), Adper Prompt L-Pop과 Xeno III에서는 자가산부식 프라이머 시스템에서보다 작게 나타났다($p < 0.05$).
2. Adper Prompt L-Pop에서 혼성층은 1회 도포한 경우 $1.07\mu\text{m}$, 2회 도포한 경우 $1.51\mu\text{m}$, 3회 도포한 경우 $2.05\mu\text{m}$ 두께였으며, Xeno III에서는 각각 $0.45\mu\text{m}$, $1.10\mu\text{m}$, $1.32\mu\text{m}$ 의 혼성층이 형성되어 도포회수에 따라 혼성층의 두께도 증가하였다 ($p < 0.05$). 그러나 자가산부식 프라이머접착시스템에서는 도포횟수에 따른 혼성층의 두께는 변화가 없었으며, Scotchbond Multi-Purpose Plus에서는 $2.29\mu\text{m}$, Clearfill SE Bond $0.73\mu\text{m}$, AdheSE $0.71\mu\text{m}$, Unifil Bond $0.49\mu\text{m}$ 의 혼성층을 형

성하였다.

3. Unifill Bond와 Clearfill SE Bond 의 전단결합강도는 Scotchbond Multi-Purpose Plus와 Adper Prompt L-Pop에서보다 높게 나타났으며($p < 0.05$), Xeno III와는 유사하였다.
4. Adper Prompt L-Pop은 접착제의 도포횟수가 증가함에 따라 전단결합강도는 유의하게 증가되었으며($p < 0.05$), Xeno III와 Unifill Bond에서는 전단결합강도가 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다($p > 0.05$). 반면 Clearfill SE Bond에서는 도포횟수에 따른 전단결합강도의 변화는 없었으며, AdheSE에서는 3회 도포한 경우 전단결합강도가 감소하는 경향을 보였다($p > 0.05$).
5. Adper Prompt L-Pop과 Xeno III에서 첫 층을 중합한 후 두 번째 층을 추가 도포한 경우 전단결합강도는 감소하였다($p < 0.05$).

이상의 결과를 요약하면 자가산부식 접착시스템은 인산을 이용한 total-etch 접착시스템과 전단결합강도가 유사하거나 높게 나타났으며, 임상가는 각 접착시스템의 특성을 파악하여 임상에 응용함으로써 전단결합강도를 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Buonocore M : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 34:849-853, 1955.
2. Frankenberger R, Kramer N, Petschelt A : Fatigue behaviour different dentin adhesives. Clin Oral Investig 3:11-17, 1999.
3. Tay FR, Gwinnet JA, Wei SH : Micromorphological spectrum of acid-conditioned dentin following the application of a water-based adhesive. Dent Mater 14:329-388, 1998.
4. Walshaw PR, McComb D : Clinical considerations for optimal dentinal bonding. Quintessence Int 27:619-625, 1996.
5. Philips RW : Advancements in adhesive restorative dental materials. J Dent Res, 75:1396-1403, 1996.
6. Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Iwaku M : Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin. J Dent Res 58:1364-1370, 1979.
7. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E : The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. J Biomed Mater Res 16:265-273, 1982.
8. Eick JD, Robinson SJ, Chappell RP, Cobb CM, Spencer P : The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part III. Quintessence Int. 24(8):571-582, 1993.8
9. Erickson RL : Mechanism and clinical implications of bond formation for two dentin bonding agents. Am J Dent, 2:117-123,1989.
10. Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Horner JA : Permeability of dentin to adhesive agents. Quintessence Int. 24:618-31, 1993.
11. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G :

- Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *Dent Res.* 71:1530-40, 1992.
12. Kanca J 3rd : Resin bonding to wet substrate. 1. Bonding to dentin. *Quintessence Int.* 23:39-41, 1992.
 13. Besnault C, Attal JP : Influence of a simulated oral environment on microleakage of two adhesive systems in Class II composite restorations. *J Dent* 30:1-6, 2002.
 14. Li H, Burrow MF, Tyas MJ : The effect of loading cycling on the nanoleakage of dentin bonding systems. *Dent Mater* 18:111-119, 2002.
 15. Yoshiyama M, Urayama A, Komochi T, Matsuo T, Pashley DH : Comparison of conventional vs self-etching adhesives bonds to caries-affected dentin. *Oper Dent* 25:163-169, 2000.
 16. Miyazaki M, Onose H, Moore BK : Effect of operator variability on dentin bond strength of two-step bonding system. *Am J Dent* 13:101-104, 2000.
 17. Sonoda H, Sasafuchi Y, Kitasako Y, Arakawa M, Otsuki M, Tagami J : Pulpal response to a fluoride-releasing all-in-one resin bonding system. *Oper Dent Special issue* 13:25-30, 2000.
 18. Bouillaguet S, Gysi P, Wataha JC, Ciucchi B, Aattanni M, Godin CH, Meyer JM : Bond strength of composite to dentin using conventional one-step and self-etching adhesive systems. *J Dent* 29:55-61, 2001.
 19. Tay FR, Gwinnett JA, Wei SHY : Micromorphological spectrum from overdrying to overwetting acid-conditioned dentin in water-free, acetone-based, single bottle primer/adhesives. *Dent Mater* 12:236-244, 2001.
 20. Chigara H, Yukitani W, Hasegawa T, Manabe A, Itoh K, Hayakawa T,

- Debari K, Wakumoto S, Hisamitsu H : Self-etching dentin primers containing phenyl-P. *J Dent Res* 73:1088-1095,1994.
21. Watanabe I, Nakabayashi N, Pashley DH : Bonding to ground dentin by a Phenyl-P self-etching primer. *J Dent Res* 73:1212-1220, 2000.
 22. Rosa BT, Perdigao J : Bond strengths of nonrinsing adhesives. *Quintessence Int* 31:353-358, 2000.
 23. Frankenberger R, Perdiago J, Rosa BT, Lopes M : 'No-bottle' vs 'multi-bottle' dentin adhesives—a microtensile bond strength and morphological study. *Dent Mater* 17:373-380, 2001.
 24. Gwinnett AJ : Quantitative contribution of resin infiltration/hybridization to dentin bonding. *Am J Dent* 6:7-9, 1993.
 25. Gwinnett AJ : Altered tissue contribution to interfacial bond strength with acid conditioned dentin. *Am J Dent* 7:243-246, 1994.
 26. Inai N, Kanemura N, Tagami J, Watanabe LG, Marshall SJ, Marshall GW : Adhesion between collagen depleted dentin and dentin adhesive. *Am J Dent* 11:123-127, 1998.
 27. Perdiago J, May KN Jr, Wilder AD Jr, Lopes M : The effect of depth of dentin demineralization of bond strengths and morphology of the hybrid layer. *Oper Dent* 25:186-194, 2000.
 28. Hashimoto M, Ohno H, Endo K, Kaga H, Sano H, Oguchi H : The effect of hybrid layer thickness on bonding strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. *Dent Mater* 16:406-411, 2000.
 29. Inoue S, Vargas MA, Abe Y, Yoshida Y, Lambrechts P, Vanherle G : Microtensile bond strength of eleven contemporary adhesives to dentin. *J Adhesive Dent* 3:237-245, 2001.
 30. De Munk J, Van Meerbeek B, Inoue S, Vargas M, Yoshida Y, Armstrong S : Micro-tensile bond strength of one- and two-step self-etch

- adhesives to bur-cut enamel and dentin. *Am J Dent* 16:414-420, 2003.
31. Nara Y, Nagakura Y, Ito Y, Suzuki T, Kimishima T : Tensile bond strength of all-in-one self-etch adhesive system to cervical abrasion lesion dentin. *J Dent Res* 81:B-55[Abstract], 2003.
 32. Pashley EL, Agee KA, Pashley DH, Tay FR : Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive on dentin bonding. *J Dent* 30:83-90, 2002.
 33. 홍상진, 박종휘, 박현동 등 : 유치에서 All-in-one system의 적용시간과 적용횟수에 따른 전단결합강도 및 혼성층 형성에 관한 연구. *대한소아치과학회지* 30:263-271, 2003.
 34. Ito S, Tay FR, Hashimoto M, Yoshiyama M, Saito T, Brackett WW, Waller JL, Pashley DH : Effects of multiple coatings of two all-in-one adhesives on dentin bonding. *J Adhes Dent* 7:133-141, 2005.
 35. Nakaoki Y, Sasakawa W, Horiuchi S, Nagano F, Takatsumi I, Tanaka T : Effect of double-application of all-in-one adhesives on dentin bonding. *J Dent* 33:765-772, 2005.
 36. Zheng L, Pereira PN, Nakajima M, et al. : Relationship between adhesive thickness and microtensile bond strength. *Oper Dent* 26:97-104, 2001.
 37. Hashimoto M, Sano H, Yoshida E, Hori M, Kaga M, Oguchi H, Pashley DH : Effects of multiple adhesive coatings on dentin bonding. *Oper Dent* 29:416-423, 2004.
 38. Frankenberger R, Kramer N, Petschelt A, Technical sensitivity of dentin bonding: effect of application mistake on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 25:324-330, 2000.

39. Nakaoki Y, Nikaido T, Burrow MF, Tagami J : Effect of residual water on dentin bond strength and hybridization of one bottle adhesive system. *Oper Dent* 27:563-568, 2002.
40. Ferrari M, Tay FR : Technical sensitivity in bonding to vital, acid-etched dentin. *Oper Dent* 28:3-8, 2003.
41. Han L, Edward C, Okamoto A, Iwaku M : A comparative study of fluoride-releasing adhesive resin materials. *Dent Mater J* 46:247-276, 2002.
42. Van Meerbeek B, Vagas MA, Inoue S, Yoshida Y, Peumans M Lambrechts P : Adhesives and cements to promote prevention dentistry. *Oper Dent Suppl.*6:119-144, 2001.
43. Hilton TJ, Schwartz RS : The effect of air thinning on dentin adhesive bond strength. *Oper Dent* 20:133-137, 1995.
44. Choi KK, Codon JR, Ferracane JL : The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res* 79:812-817, 2000.
45. Rueggeberg FA, Margeson DH : The effect of oxygen inhibition on an unfilled/filled composite system. *J Dent Res* 69:1652-1658, 1990.