

2단계 접착제의 상아질 결합강도에 대한 Er:YAG 레이저 조사 영향

송병춘¹ · 조영곤^{1*} · 이명선²

¹조선대학교 치과대학 치과보존학교실, ²서영대학교 치위생과

ABSTRACT

Effect of Er:YAG lasing on the dentin bonding strength of two-step adhesives

Byeong-Choon Song¹, Young-Gon Cho^{1*}, Myung-Seon Lee²

¹Department of Conservative Dentistry, Chosun University School of Dentistry,

²Department of Dental Hygiene, SeoYeong University, Gwangju, Korea

Objectives: The purpose of this study was to compare the microshear bond strength (μ SBS) and bonding interfaces of two-step total-etching and self-etching adhesive systems to three etch types of dentin either the acid etched, laser etched or laser and acid etched.

Materials and Methods: The occlusal dentinal surfaces of thirty human molars were used. They were divided into six groups: group 1, 37% H₃PO₄ + Single Bond 2 (3M ESPE); group 2, Er:YAG laser (KEY Laser 3, KaVo) + Single Bond 2; group 3, Er:YAG laser + 37% H₃PO₄ + Single Bond 2; group 4, Clearfil SE Primer + Bond (Kuraray); group 5, Er:YAG laser + Clearfil SE Bond; group 6, Er:YAG laser + Clearfil SE Primer + Bond. The samples were subjected to μ SBS testing 24 hr after bonding. Also scanning microscopic evaluations were made on the resin-dentin interfaces of six specimens.

Results: The μ SBS of group 2 was significantly lower than that of groups 1 and 3 in Single Bond 2 ($p < 0.05$). There were significant differences among the μ SBS of groups 4, 5, and 6 in Clearfil SE Bond ($p < 0.05$). Very short and slender resin tags were observed in groups 2 and 5. Long and slender resin tags and lateral branches of tags were observed in groups 3 and 6.

Conclusions: Treatment of dentin surface using phosphoric acid or self-etching primer improved the adhesion of Er:YAG lased dentin. [J Kor Acad Cons Dent 2011;36(5):409-418.]

Key words: Bonding interfaces; Er:YAG lasing; Microshear bond strength; Two-step adhesives

-Received 29 July 2011; revised 29 August 2011; accepted 29 August 2011-

서 론

최근 치과 접착술식의 경향은 단순화된 접착시스템을 사용하는 것이다. 기존에 사용되어 왔던 부식처리, 프라이밍

및 접착과정과 같은 3단계의 과정을 2단계로 단순화시킨 접착시스템이 현재 임상에서 널리 사용되고 있다. 이러한 시스템은 현재 단일병 전부식 접착시스템(single bottle total-etching adhesive system)과 자가부식 프라이머 접

¹Song BC, DDS, PhD, Graduate student; Cho YG, DDS, MSD, PhD, Professor, Department of Conservative Dentistry, Chosun University School of Dentistry

²Lee MS, RDH, Full Time Lecturer, Department of Dental Hygiene, SeoYeong University, Gwangju, Korea

*Correspondence to Young-Gon Cho, DDS, MSD, PhD.

Professor, Department of Conservative Dentistry, Chosun University School of Dentistry, 421 Seosuk-dong Dong-gu, Gwangju, Korea 501-825
TEL, +82-62-220-3845; FAX, +82-62-223-9064; E-mail, ygcho@mail.chosun.ac.kr

※ 이 논문은 2011년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

착시스템(self-etching primer adhesive system)으로 치과에 공급되고 있다.

복합레진의 접착을 향상시키기 위하여 치질의 표면은 적절히 처리되어야 한다. 이러한 처리는 흔히 전부식 접착시스템에 포함된 인산이나 자가부식 프라이머 접착시스템의 프라이머에 함유된 유기산과 산성 단량체와 같은 화학적인 성분에 의해 이루어지고 있으며, 이는 상아질의 표면을 탈회하여 콜라겐 섬유를 노출한다.¹ 탈회된 표면에 접착레진의 침투는 혼성층을 형성하게 되고 이는 복합레진과 치질 간에 긴밀한 접착을 이루도록 한다.²

또 다른 치질의 표면처리 방법으로 레이저와 같은 광선이 이용되고 있다. 여러 종류의 레이저 중 Er:YAG 레이저(Erbium doped, Yttrium-Aluminum-Garnet)는 가장 믿을 수 있는 레이저로써, Hibst 등에 의해 치과에서 처음으로 사용하였다. Er:YAG 레이저는 치수에 손상을 주지 않고 치아 경조직을 제거하는 능력을 가지고 있어 우식증의 제거, 와동형성, 치질의 표면처리 등에 사용되고 있다.^{3,4} 이러한 레이저는 와동형성 시 소음이 적고, 통증이 거의 없으므로 환자에게 안락한 치료를 제공할 수 있다.⁵ Er:YAG 레이저는 2.94 μm 의 파장을 방사하며, 수산화인회석에 포함된 물과 수산기에 의해 잘 흡수된다.⁶ 산파는 달리 Er:YAG 레이저는 치질의 미세 폭발을 일으키고 물을 증발시키면서 열 기계적인 작용에 의해 치질을 삭제하거나 치질의 표면을 변형한다.⁷

Er:YAG를 조사한 상아질의 표면형태는 비로 삭제한 표면과 아주 다르다. Er:YAG 레이저를 조사한 상아질의 표면은 도말층을 형성하지 않고 상아세관의 개방과 함께 미세 기계적인 양상을 나타내며, 이러한 양상은 복합레진과 접착을 이루기 위한 적절한 표면을 제공하게 된다.⁸ Er:YAG 레이저를 조사한 상아질 계면의 주사전자현미경적인 연구에서 Sassi 등은 Er:YAG 레이저는 접착시스템의 계면에 영향을 주고 혼성층의 형성을 방해하였다고 보고하였고, Giachetti 등은 Er:YAG 레이저로 조사된 상아질의 직하방에 약간의 미세파절을 나타내었다고 보고함으로써 Er:YAG 레이저는 상아질에 대한 복합레진의 접착에 역효과를 제공할 수 있음을 시사하였다.^{9,10}

Er:YAG 레이저로 조사한 치질에 대한 복합레진의 결합강도에 관한 다양한 연구보고가 있었지만, 연구의 결과는 서로 상이하게 나타나고 있다. Barceleiro 등, Dunn 등, Martinez-Insua 등 및 Ramas 등은 Er:YAG 레이저로 조사한 상아질에 대한 복합레진의 결합강도는 감소하였다고 보고한 반면, Visuri 등은 레이저로 조사한 상아질에서 결합강도가 뚜렷이 높게 나타났다고 하였고, Bertrand 등은 상아질에 레이저를 조사한 군과 조사하지 않는 군의 결합강도 간에 통계학적인 차이가 없다고 보고하였다.^{5,8,11-14}

한편 Er:YAG 레이저 조사 후 상아질의 부가적인 산부식

처리는 복합레진의 결합강도와 미세누출을 개선시키는 것으로 보고되고 있다. Van Meerbeek 등은 Er:YAG 레이저 조사 후 인산으로의 처리는 상아질에 대한 전부식 접착제(OptiBond FL)와 자가부식 프라이머 접착제(Clearfil SE Bond)의 미세인장 결합강도를 향상시켰다고 하였고, Eguro 등도 Er:YAG 레이저 조사 후 37% 인산으로 15초간 부가적인 산 처리는 Clearfil SE Bond의 미세인장 결합강도를 뚜렷이 개선하였다고 보고하였다.^{15,16} 또한 Bertrand 등, Bertrand와 Rocca, Ceballos 등은 Er:YAG로 와동형성한 후 인산의 부가적인 적용은 복합레진 수복물에 낮은 미세누출을 나타냈다고 하였다.^{14,17,18}

비록 레이저로 처리된 상아질에 대한 결합강도에 대해 여러 연구가 진행되었지만, Er:YAG 레이저를 이용한 표면처리가 결합강도에 미치는 영향에 대해서는 아직까지 연구가 부족한 실정에 있다. 따라서 본 연구의 목적은 상아질 표면에 Er:YAG 레이저를 조사하지 않는 군, 레이저를 조사한 군, 레이저를 조사한 후 부가적인 산처리를 한 군으로 분류하여 2단계 단일병 전부식 접착시스템과 자가부식 프라이머 접착시스템을 이용하여 복합레진을 접착하였을 때 이러한 표면처리가 복합레진의 미세전단 결합강도와 결합계면에 미치는 영향을 비교하기 위하여 시행하였다.

실험 재료 및 방법

1. 실험 재료

치관부에 우식, 파절 및 수복물이 없는 최근에 발거된 상, 하악 대구치 30개를 실험치아로 사용하였다.

실험에 사용된 재료는 2단계 단일병 전부식 접착시스템인 Single Bond 2 (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN, USA)와 2단계 자가부식 접착시스템인 Clearfil SE Bond (Kuraray Medical Inc., Okayama, Japan)를 사용하였고, 복합레진은 각각의 접착시스템과 동일회사 제품인 Z 250 (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN, USA)과 Clearfil AP-X (Kuraray Medical Inc., Okayama, Japan)를 사용하였다(Table 1).

접착제와 복합레진의 중합을 위한 광조사기는 Spectrum 800 (Dentsply Caulk, Milford, DE, USA)을 사용하였고 500 mW/cm²의 광 강도를 이용하였다.

2. 실험 방법

가. 미세전단 결합강도 측정을 위한 시편제작

1) 상아질 표면의 노출

발거된 상, 하악 대구치 24개를 선택하여 치아표면에 있는 연조직과 치석 등을 스켈러로 깨끗이 제거하였다. 혼합

한 경석고를 내경 20 mm, 높이 45 mm의 투명한 CBC 병에 채운 후, 각 대구치의 교합면이 지면에 수평이 되도록 치근을 매몰하였다.

경석고가 경화된 후 Isomet Low Speed Saw (Buehler Ltd., Lake Bluff, IL, USA)를 이용하여 교합면의 법랑상아경계 직 하방의 상아질 표면이 노출되도록 절단한 다음, 1.2 mm 하방에서 다시 절단하여 디스크 모양의 절편을 제작하였다. 각 절편에서 교합면측에 해당하는 상아질 표면을 물이 공급된 상태에서 600 grit silicone carbide (SiC) paper (Buehler R&B Inc., Daejeon, Korea)로 약 0.2 mm 정도 연마하였다.

2) 군 분류

24개의 절편을 무작위로 선택하여 상아질 표면의 처리방법과 사용한 접착시스템의 종류에 따라 다음과 같이 6개의 군으로 분류하였으며, 각 군당 4개의 절편을 배정하였다 (Table 2).

(1) 1군

1군은 제조사의 설명에 따라 Single Bond 2를 적용한 군이다. Scotchbond etchant (3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN, USA)로 상아질 표면을 15초간 산부식 처리한 후, water 시린지로 10초간 세척하고 air 시린지로 상아질 표면을 가볍게 건조하여 약간의 수분을 남겨두었다. Single Bond 2를 브러쉬에 충분히 적셔 상아질 표면에 2회 연속적으로 적용하여 표면에 반짝거림을 확인한 후 air 시린지로 2 - 5초간 가볍게 건조하고 Spectrum 800 광조사기로 10초간 조사하였다.

(2) 2군

2군은 Er:YAG 레이저인 KaVo KEY Laser 3 (Kaltenbach & Voight GmbH Bismarckring 39 D-88400 Biberach, Germany)를 이용하여 상아질 표면에 에칭처리하고, 1군과 동일한 방법으로 Single Bond 2를 적용하고 광조사하였다.

상아질 표면에 대한 Er:YAG의 조사는 KaVo KEY Laser 3의 etching mode (에너지 100 mJ, 주파수 6 Hz)를 선택한 후, 레이저 핸드피스 2060를 이용하여 spot size는 0.6 mm, focal distance는 1.0 mm, 물 스프레이를 분당 15 mL의 주입속도로 하여 시편의 모든 방향으로 한번씩 scanning하면서 전 표면을 균일하게 에칭하였다.

(3) 3군

3군은 Er:YAG 레이저로 상아질 표면을 에칭처리하고 다시 인산으로 부식처리한 후 Single Bond 2를 적용한 군이다. 2군과 동일한 방법을 이용하여 KaVo Key Laser 3로 상아질 표면을 에칭처리한 후, 다시 Scotchbond etchant로 15초간 산부식 처리하고 Single Bond 2를 적용하여 10초간 광조사하였다.

(4) 4군

4군은 제조사의 설명에 따라 Clearfil SE Bond를 적용한 군이다. Clearfil SE Bond의 프라이머를 공급된 술에 적셔 상아질 표면에 적용하고 20초간 기다린 다음, air 시린지로 프라이머를 가볍게 건조하였다. Clearfil SE Bond의 접착제를 공급된 술에 적셔 상아질 표면에 적용하고, air 시린지로 가볍게 불어 상아질 표면에 충분히 퍼지도록 한 다음 10초간 광조사하였다.

Table 1. Adhesive systems and resin composite

Adhesive system	Resin composite	Manufacturers
Single Bond 2	Z 250	3M ESPE Dental Products, St. Paul, MN, U.S.A.
Clearfil SE Bond	Clearfil AP-X	Kuraray Medical Inc., Okayama, Japan

Table 2. Group classification by adhesive systems and etch types of dentin

Group	Adhesive systems	Etch types of dentin	No. of samples	No. of measurements
1	Single Bond 2	Acid etch	4	20
2	Single Bond 2	Laser etch	4	20
3	Single Bond 2	Laser + acid etch	4	20
4	Clearfil SE Bond	Self-etch	4	20
5	Clearfil SE Bond	Laser etch	4	20
6	Clearfil SE Bond	Laser + self-etch	4	20

(5) 5군

Er:YAG 레이저로 상아질 표면을 에칭처리한 후 Clearfil SE Bond를 적용한 군이다. 2군과 동일하게 KaVo Key Laser 3로 상아질 표면을 에칭처리한 후, Clearfil SE Bond의 접착제만을 적용하고 10초간 광조사하였다.

(6) 6군

6군은 Er:YAG 레이저로 상아질 표면을 에칭처리하고 다시 자가부식 프라이머로 부식처리한 후 Clearfil SE Bond를 적용한 군이다. 2군과 동일하게 KaVo Key Laser 3로 상아질 표면을 에칭처리한 후, 4군과 동일하게 Clearfil SE Bond의 프라이머로 자가부식 처리한 다음 Clearfil SE Bond를 적용하고 10초간 광조사하였다.

3) 복합레진의 접착

접착제가 적용된 각 군의 상아질 표면에 내경 0.7 mm, 높이 1 mm의 Tygon tube (Saint-Gobain Performance Plastics Co., U.S.A.)를 위치시킨 다음, 1군, 2군, 3군에서는 색조 A2의 Z 250을 충전하였고, 4군, 5군, 6군에서는 색조 A2의 Clearfil AP-X를 충전하여 20초간 광조사 하였다. 각각의 절단된 시편의 교합면측 상아질 표면에 모두 5개의 복합레진을 접착시켜 한 군당 모두 20개의 복합레진을 접착하였다(Table 2). 제작된 시편은 미세전단 결합강도를 측정하기 직전까지 증류수에 24시간동안 보관하였다.

4) 미세전단 결합강도의 측정과 파절양상 관찰

결합강도를 측정하기 전, 복합레진에 부착된 Tygon tube를 #15 blade로 제거하였다. 각 시편을 공업용 접착제로 시험장치(testing apparatus)에 부착시킨 후, 시험장치를 universal testing machine (EZ test, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)의 jig에 고정시켰다. 상부의 복합레진과 하부의 고정부위에 0.3 mm 굵기의 교정용 철사를 평행하게 걸고, 상아질 표면에 밀착시킨 후 복합레진이 파절될 때까지 분당 0.5 mm의 crosshead speed로 전단하중을 가하였다.

각 군의 시편에서 파절된 양상은 20배율의 광학입체현미경(Olympus LG-PS2, Olympus, Tokyo, Japan)하에서 관찰하여 접착성(adhesive), 응집성(cohesive) 및 혼합성(mixed)파절로 분류하여 기록하였다.

5) 통계분석

각 군의 미세전단 결합강도치에 대한 유의성 검증은 통계분석 프로그램인 SPSS (ver. 14.0)에서 비모수방법 중 Kruskal-Wallis 검정과 중위수 검정(median test)을 이용하여 비교 분석하였으며, 사후검정은 Mann-Whitney 방법을 이용하여 $p = 0.05$ 유의수준에서 분석하였다.

나. 주사전자현미경관찰을 위한 시편제작

받겨된 6개의 상, 하악 대구치는 주사전자현미경 관찰을 위해 사용되었다. 각 대구치를 결합강도 측정을 위한 시편 제작 방법과 동일하게 석고가 채워진 CBC 병에 매몰한 후 Isomet Low Speed Saw를 이용하여 교합면의 법랑상아경계 직 하방을 편평하게 절단하였다. 각각의 절편에서 교합면측의 상아질 표면을 물이 공급된 상태에서 600 grit SiC paper로 연마하였다.

각 군당 1개의 치아를 배정하고 Table 2와 같은 방법에 따라 1군부터 6군까지 상아질을 표면처리하고 접착제를 적용한 다음, 각 군의 복합레진을 각각 2 mm 두께로 축조하고 20초간 광조사한 후 다시 2 mm의 복합레진을 추가적으로 축조하여 광조사하였다.

각 군의 치아는 실온의 증류수에 24시간 동안 보관한 후 CBC 병의 상방에 있는 치관부를 Isomet Low Speed Saw를 이용하여 절단하였다. Acrylate 접착제(ALTECO Korea Inc., Pyungtaek, Korea)와 레진블록을 이용하여 시편을 접착하고, Isomet Low Speed Saw를 이용하여 시편의 중앙에서 근, 원심 방향으로 절단하여 한 군당 2개의 절편을 제작하였다. 각 시편의 절단된 표면을 600 grit SiC paper로 연마하고 초음파 세척기(JAC-Ultrasonic 1505, Kodo Technical Research Co., Whasung, Korea)에서 30초간 세척하였다.

6N HCl에서 각 시편을 5분간 탈회하고 5분간 물로 세척한 다음, 2.5% 차아염소산 나트륨용액에서 15분간 탈단백하였다. 각 시편은 stub에 부착하여 12 KV 전압 하에서 1분 동안 백금을 700 Å 두께로 도금하였다. FE-SEM (S-4800, Hitachi High Technologies Co., Tokyo, Japan)을 이용하여 각 군의 상아질과 복합레진 계면의 결합양상을 고배율로 관찰하였다.

결 과

1. 미세전단 결합강도와 파절양상

세 종류의 표면처리 후 Single Bond 2와 Clearfil SE Bond로 접착한 각 군의 상아질에 대한 미세전단 결합강도의 평균치와 표준편차 및 중위수는 Table 3에 나타났다.

Single Bond 2를 사용한 군에서 상아질의 처리방법에 따른 비교는 Kruskal-Wallis 검정을 실시하였으며, 2군의 결합강도는 1군과 3군에서 보다 통계학적으로 낮게 나타났다($p < 0.05$, Table 3). Clearfil SE Bond를 사용한 군에서 상아질의 처리방법에 따른 비교는 결합강도의 평균에 영향을 주는 이상치가 존재하였으므로 중위수 검정(median test)을 이용하였으며, 검정결과 4군과 5군 및 6군의 결합강도는 각각 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다($p < 0.05$, Table 3).

Table 3. Mean microshear bond strength (MPa) to dentin and failure mode

Group	μ SBS(mean \pm SD)	25%	Median	75%	Failure mode		
					adhesive	mixed	cohesive
1	24.29 \pm 9.65a	15.75	19.69	32.48	3(15%)	15(75%)	2(10%)
2	11.12 \pm 3.40b	8.72	10.29	12.59	14(70%)	6(30%)	0(0%)
3	20.68 \pm 9.83a	9.21	22.98	29.1	5(35%)	14(70%)	1(5%)
4	22.81 \pm 6.19a	18.14	21.92	26.57	4(20%)	13(65%)	3(15%)
5	11.54 \pm 6.06b	7.91	9.55	14.73	13(65%)	7(35%)	0(0%)
6	15.21 \pm 5.64c	12	14.78	17.11	6(30%)	13(65%)	1(5%)

G1, G4, Acid etch; G2, G5, Laser etch; G3, G6, Laser etch + acid etch.

G1, G2 and G3 used Single Bond 2. G4, G5 and G6 used Clearfil SE Bond.

Different superscripts indicate values of statistically significant difference by Kruskal-Wallis test, median test and Mann-Whitney test.

상아질의 동일한 처리방법에 따른 Single Bond 2와 Clearfil SE Bond의 비교는 Mann-Whitney 방법을 이용하여 검정하였으며, 1군과 4군 그리고 2군과 5군의 결합강도 간에는 통계학적인 차이가 없었지만, 3군과 6군의 결합강도 간에는 통계학적인 차이를 나타내었다($p < 0.05$, Table 3).

미세전단 결합강도를 측정한 후 광학입체현미경을 통하여 관찰한 각 군의 접착성, 응집성 및 혼합성 파절은 Table 3에 표시하였다. Single Bond 2를 사용한 군에서 1군과 3군은 대부분 혼합성 파절(70 - 75%)이 관찰되었지만, 2군은 대부분 접착성 파절(70%)이 관찰되었다. Clearfil SE Bond를 사용한 군에서 4군과 6군은 대부분 혼합성 파절(65%)이 관찰되었지만, 5군은 대부분 접착성 파절(65%)이 관찰되었다(Table 3).

2. 주사전자 현미경적 소견

각 군의 복합레진과 상아질 계면에서 다음과 같은 현미경적인 소견을 나타내었다.

1) 1군

상아질과 복합레진의 계면에서 긴밀한 접착과 함께 균일한 두께의 혼성층이 관찰되었다. 또한 상아질 측을 향해 taper한 모양의 레진테그가 다수 관찰되었고, 레진테그의 측방에서 다수의 짧은 측지(lateral branches)가 관찰되었다(Figure 1).

2) 2군

상아질과 복합레진의 계면에서 큰 간극이 관찰되었고, 혼성층이 관찰되지 않았다. 상아질 측을 향해 아주 짧고 가는

막대모양의 레진테그가 소수 관찰되었다(Figure 2).

3) 3군

1군과 마찬가지로 상아질과 복합레진 계면에서 긴밀한 접착을 이루었지만, 1군에 비해 균일하지 않는 혼성층과 적은 수의 레진테그가 관찰되었다. 레진테그는 더 가늘고 긴 막대모양으로 나타났으며, 레진테그의 측방에서 짧은 측지가 관찰되었다(Figure 3).

4) 4군

상아질과 복합레진의 계면에서 긴밀한 접착과 함께 균일한 두께의 혼성층이 관찰되었다. 또한 상아질 측을 향해 긴 막대모양의 레진테그가 다수 관찰되었으며, 레진테그의 측방에서 짧은 측지들이 관찰되었다(Figure 4).

5) 5군

상아질과 복합레진의 계면에서 미약한 간극이 관찰되었으며 혼성층이 관찰되지 않았다. 상아질 측을 향해 아주 짧고 가는 막대모양의 레진테그가 소수 관찰되었다(Figure 5).

6) 6군

상아질과 복합레진 계면에서 긴밀한 접착을 이루었지만, 4군에 비해 균일하지 않는 혼성층과 적은 수의 레진테그가 관찰되었으며, 레진테그는 더 가늘게 나타났다 (Figure. 6).

총괄 및 고찰

상아질에 대한 접착은 사용된 접착시스템의 종류, 상아질의 표면처리와 재료를 취급하는 숙련도, 열 순환, 와동의 형태 등 여러 요인에 의해 영향을 받을 수 있다.¹⁹⁻²¹

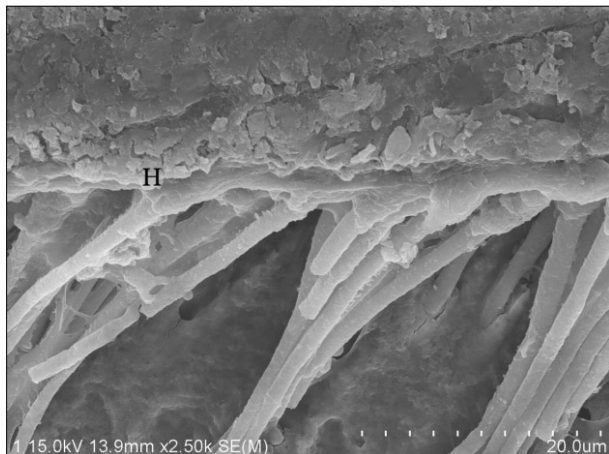


Figure 1. Scanning electron micrographic photograph showing the hybrid layer (H) and many taper resin tags with lateral branches (LB) in Group 1.

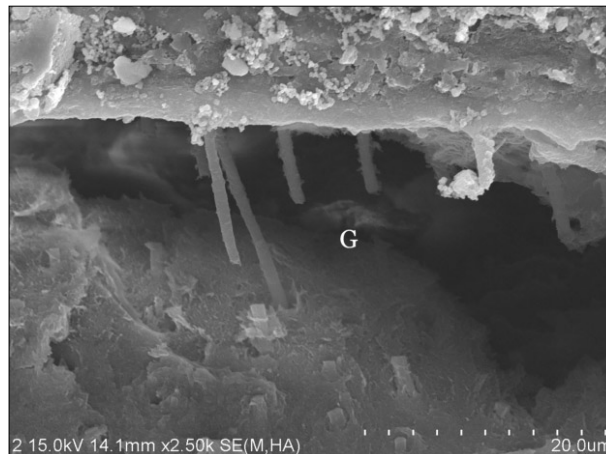


Figure 2. Scanning electron micrographic photograph showing the wide gap (G) and few short and slender resin tags in Group 2.

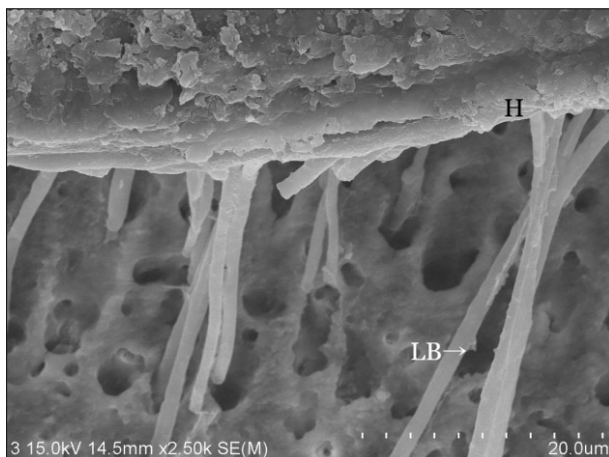


Figure 3. Scanning electron micrographic photograph showing the hybrid layer (H), slender and long rod shaped resin tags with lateral branches (LB) in Group 3.

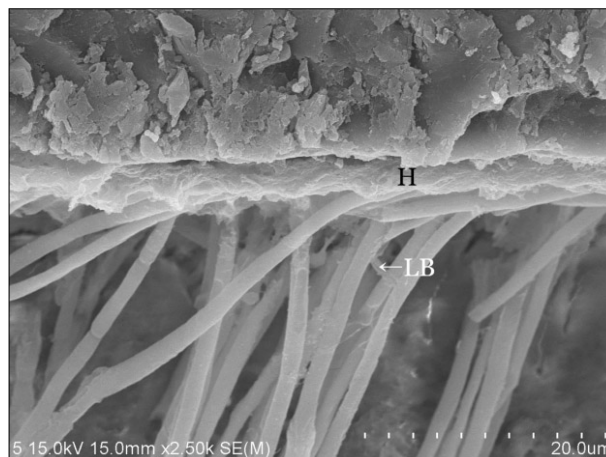


Figure 4. Scanning electron micrographic photograph showing the hybrid layer (H) and many long rod shaped resin tags with lateral branches (LB) in Group 4.

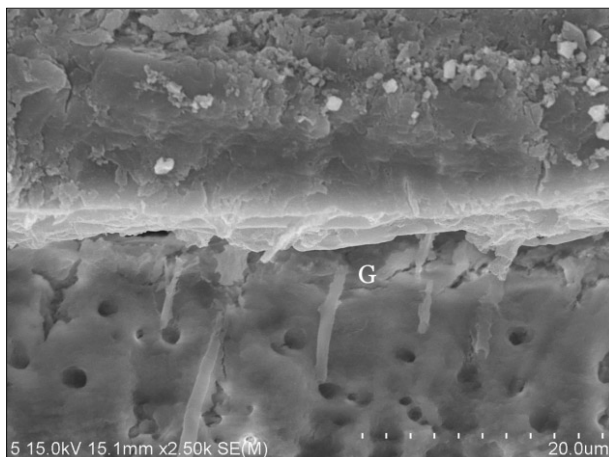


Figure 5. Scanning electron micrographic photograph showing the small gap (G) at the resin-dentin interface and short and slender resin tags in Group 5.

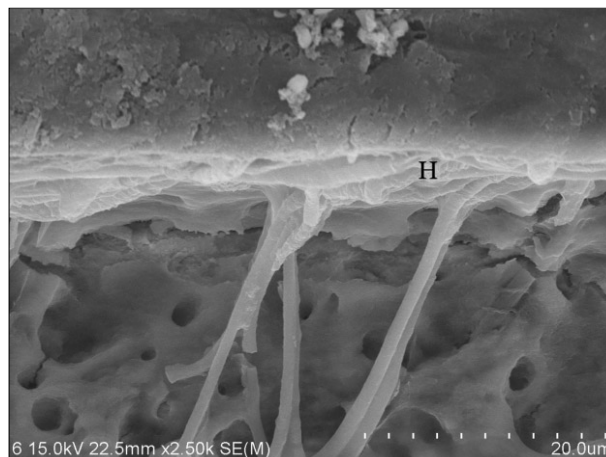


Figure 6. Scanning electron micrographic photograph showing the hybrid layer (H) and few slender and long resin tags in Group 6.

본 연구에서는 2단계 접착시스템으로 단일병 전부식 접착 시스템인 Single Bond 2와 자가부식 프라이머 접착시스템인 Clearfil SE Bond를 선택하여 사용하였으며, 이들은 우수한 결합강도와 안정적인 임상적 결과 등으로 인하여 임상에서 흔히 사용되고 있는 접착시스템이다.²² 이러한 두 접착시스템의 중요한 차이점은 상아질의 표면을 처리하기 위한 산부식 과정이며, Single Bond 2는 인산을 이용한 산부식 과정이 요구되는 반면, Clearfil SE bond는 자가부식 프라이머를 이용하여 상아질의 표면을 부식 처리하면서 동시에 접착을 촉진하는 과정을 수행한다.

인산에 의한 상아질의 산부식 처리는 도말층의 제거와 함께 상아질을 탈회하여 두꺼운 혼성층을 형성하지만, 자가부식 프라이머에 의한 상아질의 처리는 도말층을 남기고 하방의 상아질을 얇게 탈회하여 비교적 얇은 혼성층을 형성한다.^{12,13} 한편, 치질의 표면처리에 이용되는 Er:YAG 레이저는 산부식 처리한 상아질의 표면과 다르게 나타난다.

레이저를 조사한 상아질 표면은 탈회되지 않고 도말층이 없는 거친 표면을 형성한다.¹⁸ 그동안 상아질과 복합레진의 접착관계를 평가하기 위한 실험실적인 연구에서 상아질 표면을 규격화하고 도말층을 형성하기 위하여 SiC Paper가 사용되었으며,²³ 본 연구에서도 모든 시편의 상아질 표면을 600 grit SiC Paper로 연마한 후 Er:YAG 레이저를 이용한 에칭처리의 유무에 따라 2단계 접착시스템의 미세전단 결합강도와 결합계면을 상호 비교하였다.

비록 몇몇 선행들의 연구에서 Er:YAG 레이저를 조사한 상아질의 복합레진에 대한 결합강도가 산부식 처리된 상아질에서 보다 높게 나타났다고 보고되었지만,⁸ 본 연구의 결과에서는 레이저로 상아질 표면을 에칭처리한 후 Single Bond 2와 Clearfil SE Bond를 적용한 2군과 5군의 미세전단 결합강도가 레이저를 사용하지 않는 1군과 4군의 결합강도보다 통계학적으로 낮게 나타났다($p < 0.05$, Table 3). 이러한 연구 결과는 Kameyama 등과 de Oliveira 등의 연구결과와 일치하였다.^{22,24}

본 연구의 주사전자현미경 소견에서 레이저로 에칭처리한 2군과 5군의 상아질과 복합레진의 계면에서 간극이 관찰되었으며 혼성층은 관찰되지 않았다. 또한 레진테그는 레이저를 사용하지 않는 군에 비해 아주 짧고 가는 막대모양으로 나타났으며, 레진테그의 측지도 관찰되지 않았다(Figures 2 and 5).

이러한 소견은 접착레진이 상아질로 충분히 침투하지 못하였기 때문으로, 이는 2군과 5군에서 낮은 결합강도를 초래한 이유가 될 것이다. 한편 Ceballos 등¹⁸은 상아질에 대한 레이저 조사는 콜라겐 섬유를 융합시켜 섬유사이의 공간을 부족하게 하고 이는 하방의 관간 상아질에 레진의 확산을 저해하여 낮은 결합강도를 초래한다고 하였다.

본 연구의 현미경적인 소견에서 레이저를 사용하지 않은

1군과 4군의 상아질과 복합레진의 계면에서 긴밀한 접착과 혼성층의 형성 및 다수의 레진테그와 레진테그의 측지가 관찰되어(Figures 1 and 4) 접착레진과 상아질 간에 강한 미세기계적인 결합을 이루고 있는 것을 확인할 수 있었다. Sassi 등⁹은 상아질 표면을 Er:YAG 레이저나 산으로 처리한 후 전부식 접착제와 자가부식 접착제를 적용한 시편의 계면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과, 산 처리후 접착제를 적용한 군에서는 균일한 혼성층과 레진테그가 관찰되었지만 레이저로 처리한 상아질은 일반적으로 혼성층이 관찰되지 않았고, 상아질 면과 접착제 간에 간극과 소수의 레진테그가 관찰되었다고 하여 본 연구의 결과와 일치하였다.

레이저 에칭은 상아질 표면을 탈회하지 않기 때문에 콜라겐 섬유가 노출되지 않는다.

따라서 레이저로 처리된 상아질에 대한 접착은 상아세관에 침투된 레진테그와 레이저로 형성된 상아질의 미세-불규칙한 표면에 접착성 레진이 침투됨으로써 기계적인 유지를 이룬다고 볼 수 있다. 본 연구에서 미세전단 결합강도를 측정한 후 파절시편을 관찰한 결과 레이저 에칭만을 시행한 2군과 5군은 대부분 접착성 파절이 나타난 반면, 레이저를 사용하지 않은 군에서는 대부분 혼합성 파절이 관찰되었다(Table 3). 이러한 결과는 Er:YAG 레이저 조사된 상아질에서 Clearfil SE Bond의 파절양상이 비교적 높은 빈도의 접착성 파절을 나타냈다고 보고한 Van Meerbeek 등의 연구결과와 일치하였다.¹⁵

이처럼 레이저를 조사한 상아질의 낮은 결합강도를 향상시키기 위해 상아질 표면을 산으로 처리하는 방법이 연구되었다. Dunn 등¹¹은 상아질 표면을 Er:YAG laser 조사 후 37% 인산으로 부식처리한 군이 레이저 에칭만 한 군보다 통계학적으로 높은 전단결합강도가 나타났다고 하였고, 주사전자현미경사진에서 레이저로 에칭처리한 상아질은 매우 불규칙한 표면과 갈라진 틈(fissure)이 관찰되었고 관주 상아질 주변을 따라 표면 비늘(surface scaling)과 flaking(눈송이)이 나타났지만, 레이저 조사 후 산부식 처리한 상아질 표면에서는 이러한 소견들이 훨씬 감소되었다고 하였다. 또한 Eguro 등도 레이저만 적용한 군과 레이저 조사 후 인산 처리한 상아질의 현미경적인 비교에서 Er:YAG 레이저 적용 군은 개방된 상아질과 비늘과 눈송이 같은 상아질 표면을 보였고, 레이저 조사 후 인산을 적용한 군에서는 명확하게 개방된 상아세관과 내부 벽에 섬유성 구조가 관찰되어 레이저 조사 후 인산의 적용은 결합강도를 개선할 수 있을 것이라고 하였다.¹⁶

본 연구에서 레이저 에칭처리한 후 상아질에 산부식 처리를 시행한 3군과 6군은 레이저 에칭처리만 한 2군과 5군보다 뚜렷한 미세전단 결합강도의 증가를 보였고($p < 0.05$) 상아질의 파절시편에서도 대부분 혼합성 파절이 관찰되었다(Table 3). 본 연구의 주사전자현미경 소견에서 레이저

에칭 후 산부식 처리한 군에서는 레이저를 사용하지 않는 1군과 4군에서와 마찬가지로 긴밀한 접착과 혼성층이 관찰되었고, 레이저 에칭만 시행한 2군과 5군보다 더 긴 레진테그와 레진테그의 측지가 관찰되었다(Figures 3 and 6). 이러한 결과는 인산이나 자가부식 프라이머에 의해 상아질의 탈회와 일어나고 콜라겐 섬유가 노출됨으로써 접착레진이 상아질로 잘 침투되어 혼성층의 형성과 함께 미세기계적인 접착을 이루었기 때문으로 생각된다. Ceballos 등은 레이저 조사 후 산부식 처리한 상아질에 Single Bond 2를 적용한 시편에서 복합레진과 상아질의 전 계면을 따라 혼성층이 관찰되었고, 길고 얇은 레진테그와 주로 레진테그의 기저부를 따라 측지가 관찰되었다고 하여 본 연구의 3군에서 관찰된 현미경적인 소견과 일치하였다.¹⁸

한편 본 연구에서 Single Bond 2는 레이저 에칭의 유무에 관계없이 인산을 사용한 1군과 3군의 결합강도 간에 통계학적인 차이가 없었지만, Clearfil SE Bond를 사용한 군에서는 6군의 결합강도가 4군보다 통계학적으로 낮게 나타났다($p < 0.05$, Table 3). 또한 본 연구에서 상아질의 동일한 처리방법에 따른 Single Bond 2와 Clearfil SE Bond의 결합강도를 비교한 결과, 1군과 4군 그리고 2군과 5군의 결합강도는 두 접착제 간에 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 6군의 결합강도는 3군보다 통계학적으로 낮게 나타났다($p < 0.05$, Table 3). Ramos 등은 Single Bond와 Clearfil SE Bond를 상아질에 제조사의 설명대로 접착한 군과 상아질에 Er:YAG 레이저 조사 후 제조사의 설명에 따라 접착한 군의 결합강도를 비교한 결과 Clearfil SE Bond는 Single Bond에 비해 레이저 조사에 영향을 많이 받아 아주 약한 접착을 초래하였다고 하여 본 연구의 결과와 일치하였다.¹³ 그러나 Gurgan 등은 2단계 자가부식 프라이머 접착시스템(AdheSE)의 전단결합강도는 레이저 조사 군과 레이저를 조사하지 않는 군 간에 통계학적인 차이가 없다고 보고하여 본 연구의 결과와 다르게 나타났다.²⁵ 이러한 연구결과의 차이는 실험에 사용된 접착시스템과 Er:YAG 레이저 장비의 차이 때문으로 생각된다.

Er:YAG 레이저로 에칭처리된 상아질에 접착 전에 산부식을 수행하면 인산은 레이저에 의해 광화된 상아질을 제거하고, 하방의 상아질 구조를 탈회하고 상아세관의 입구를 확대하여 증가된 접촉면을 제공할 것이다.²⁶ 반면에 Clearfil SE Bond의 프라이머는 인산에 비해 높은 pH (1.9)를 갖기 때문에 레이저 에칭에 의한 광화된 상아질을 충분히 탈회시키지 못하게 될 것이다. 이러한 차이로 인하여 Clearfil SE Bond를 사용한 군에서는 레이저 에칭처리 후 프라이머를 적용한 6군이 레이저를 사용하지 않고 프라이머를 적용한 4군보다 낮은 결합강도를 초래하였을 것으로 생각된다.

본 연구의 결과를 종합하면, 2단계 단일병 전부식과 자가부식 프라이머 접착시스템을 사용할 경우 Er:YAG 레이저

를 이용한 상아질의 표면처리는 결합강도를 감소시켰고, 복합레진과 상아질 계면에서 간극과 함께 소수의 짧은 가는 레진테그가 관찰되었다. 또한 레이저 에칭처리한 후 부가적인 산 처리는 2단계 접착시스템의 결합강도를 증가시켰지만 접착시스템의 종류에 따라 통계학적인 차이는 다르게 나타났다. 상아질과 복합레진 계면에서 긴밀한 접착과 혼성층이 관찰되었으며 길고 가는 레진테그와 측지가 관찰되었다.

서로 다른 상아질의 표면처리 후 접착시스템을 이용하여 복합레진으로 수복한 치아는 구강상태에서 온도변화, 저작, 타액 등의 여러 요인에 의해 결합강도에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 본 연구의 결과를 임상적으로 적용하기 위해서는 향후 임상적인 연구가 추가적으로 더욱 진행되어야 할 것으로 생각된다.

결론

2단계 접착시스템을 사용할 경우 Er:YAG 레이저를 이용한 상아질의 표면처리는 결합강도를 감소시켰고, 복합레진과 상아질 계면에서 간극과 함께 소수의 짧은 가는 레진테그가 관찰되었다. 레이저 처리 후 부가적인 산 처리는 레이저로 에칭처리한 상아질에 비해 결합강도의 증가와 함께 긴 레진테그와 레진테그의 측지가 관찰되었다.

Conflict of Interest: No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

REFERENCES

1. Tay FR, Carvalho R, Sano H, Pashley DH. Effect of smear layers on the bonding of a self-etching primer to dentin. *J Adhes Dent* 2000;2:99-116.
2. Prati C, Chersoni S, Mongiorgi R, Pashley DH. Resin-infiltrated dentin layer formation of new bonding systems. *Oper Dent* 1998;23:185-194.
3. Hibst R, Keller U, Steiner R. Die wirkung gepulster Er:YAG Laserstrahlung auf zahngeewebe. *Lasers Sur Med* 1988;4:163-165.
4. Sakakibara Y, Ishimaru K, Takamizu M. A study on bond strength to dentin irradiated by Erbium:YAG laser. *Jpn J Conservative Dent* 1998;41:207-219.
5. Barceiro MO, de Mello JB, de Mello GS, Dias KR, de Miranda MS, Filho HRS. Hybrid layer thickness and morphology: the influence of cavity preparation with Er:YAG laser. *Oper Dent* 2005;30:304-310.
6. Gimbel CB. Hard tissue laser procedures. *Dent Clin North Am* 2000;44:931-953.
7. Keller U, Hibst R. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances:II. Light microscopic and SEM investigations. *Lasers Surg Med* 1989;9:345-351.
8. Visuri SR, Gilbert JL, Wright DD, Wigdor HA, Walsh JT Jr. Shear strength of composite bonded to Er:YAG laser-prepared dentin. *J Dent Res* 1996;75:599-605.

9. Sassi JF, Chimello DT, Borsatto MC, Corona SA, Pecora JD, Palma-Dibb RG. Comparative study of the dentin/adhesive systems interface after treatment with Er:YAG laser and acid etching using scanning electron microscope. *Laser Surg Med* 2004;34:385-390.
10. Giachetti L, Scaminaci Russo D, Scrpelli F, Vitale M. SEM analysis of dentin treated with the Er:YAG laser: a pilot study of the consequences resulting from laser use on adhesion mechanism. *J Clin Laser Med Surg* 2004;22:35-41.
11. Dunn WJ, Davis JT, Bush AC. Shear bond strength and SEM evaluation of composite bonded to Er:YAG laser-prepared dentin and enamel. *Dent Mater* 2005;21:616-624.
12. Martínez-Insua A, Da Silva Dominguez L, Rivera FG, Santana-Penin UA. Differences in bonding to acid-etched or Er:YAG-laser-treated enamel and dentin surfaces. *J Prosth Dent* 2000;84:280-288.
13. Ramos RP, Chinelatti MA, Chimello DT, Borsatto MC, Pecora JD, Palma-Dibb RG. Bonding of self-etching and total-etch systems to Er:YAG laser-irradiated dentin. Tensile bond strength and scanning electron microscopy. *Braz Dent J* 2004;15(Spec No):SI9-20.
14. Bertrand MF, Semez G, Leforestier E, Muller-Bolla M, Nammour S, Rocca JP. Er:YAG laser cavity preparation and composite resin bonding with a single-component adhesive system: relationship between shear bond strength and microleakage. *Laser Surg Med* 2006;38:615-623.
15. Van Meerbeek B, De Munk J, Mattar D, Van Landuyt K, Lambrechts P. Microtensile bond strength of an etch&rinse and self-etch adhesive to enamel and dentin as a function of surface treatment. *Oper Dent* 2003;28:647-660.
16. Eguro T, Maeda T, Otsuki M, Nishimura Y, Katsuumi I, Tanaka H. Adhesion of Er-YAG laser-irradiated dentin and composite resins: application of various treatments on irradiated surface. *Laser Surg Med* 2002;30:267-272.
17. Bertrand MF, Rocca JP. Er:YAG laser and conservative dentistry. *EMS-Stomatologie* 2005;1:104-115.
18. Ceballos L, Osorio R, Toledane M, Marshall GW. Microleakage of composite restorations after acid or Er:YAG laser cavity treatments. *Dent Mater* 2001;17:340-346.
19. Moon YH, Kim JR, Choi KK, Park SJ. The Effect of thermocycling on the durability of dentin adhesive systems. *J Kor Acad Cons Dent* 2007;32:222-235.
20. Kim CY, Shin DH. Microleakage of composite resin restoration according to the number of thermocycling. *J Kor Acad Cons Dent* 2007;32:377-384.
21. Kim YM, Park JW, Lee CY, Song YJ, Seo DK, Rho BD. The influence of cavity configuration on the microtensile bond strength between composite resin and dentin. *J Kor Acad Cons Dent* 2008;33:472-480.
22. Kameyama A, Aizawa K, Kato J, Hirai Y. Tensile bond strength of single-step self-etch adhesives to Er:YAG laser-irradiated dentin. *Photomed Laser Surg* 2009;27:3-10.
23. Oliveira DC, Manhães LA, Marques MM, Matos AB. Microtensile bond strength analysis of different adhesive systems and dentin prepared with high-speed and Er:YAG laser: a comparative study. *Photomed Laser Surg* 2005;23:219-224.
24. de Oliveira MT, de Freitas PM, de Paula Eduardo C, Ambrosano GM, Giannini M. Influence of diamond sono-abrasion, air-abrasion and Er:YAG laser irradiation on bonding of different adhesive systems to dentin. *Eur J Dent* 2007;1:158-166.
25. Gurgan S, Kiremitci A, Cakir FY, Yazici E, Gorucu J, Gutknecht N. Shear bond strength of composite bonded to erbium:yttrium -aluminum-garnet laser-prepared dentin. *Lasers Med Sci* 2009;24:117-122.
26. Bertrand MF, Hessleyer D, Muller-Bolla M, Nammour S, Rocca JP. Scanning electron microscopic evaluation of resin-dentin interface after Er:YAG laser preparation. *Laser Surg Med* 2004;35:51-57.

국문초록

2단계 접착제의 상아질 결합강도에 대한 Er:YAG 레이저 조사 영향

송병춘¹ · 조영곤^{1*} · 이명선²

¹조선대학교 치과대학 치과보존학교실, ²서영대학교 치위생과

연구목적: 이 연구는 상아질 표면에 Er:YAG 레이저를 조사하지 않는 군, 레이저를 조사한 군, 레이저를 조사한 후 부가적인 산처리를 한 군으로 분류하여 2단계 단일병 전부식 접착시스템과 자가부식 프라이머 접착시스템을 이용하여 복합레진을 접착하였을 때 이러한 표면처리가 복합레진의 미세전단 결합강도와 결합계면에 미치는 영향을 비교하기 위하여 시행하였다.

연구 재료 및 방법: 32개의 발거된 대구치의 교합면측 상아질을 이용하였고, 상아질의 표면처리는 1군과 4군에서 각각 인산과 자가부식 프라이머로 하였으며, 2군과 5군은 Er:YAG 레이저로 에칭처리하였고, 3군과 6군은 레이저로 에칭한 후 다시 각각 인산과 자가부식 프라이머로 하였다. 1군, 2군, 3군은 Single Bond 2와 Z 250 (3M ESPE)을 이용하였고, 4군, 5군, 6군은 Clearfil SE Bond와 Clearfil AP-Z (Kuraray)을 이용하여 상아질 면에 Tygon tube를 접착하였다. 각 군의 미세전단 결합강도를 측정 후 통계 처리하였고, 또한 6개의 시편에서 복합레진과 상아질 계면을 주사전자현미경하에서 관찰하였다.

결과: Single Bond 2를 사용한 군에서 2군의 결합강도는 1군과 3군보다 통계학적으로 낮게 나타났으며, Clearfil SE Bond를 사용한 군에서 4군, 5군, 6군의 결합강도는 각각 통계학적으로 유의한 차이를 나타내었다($p < 0.05$). 2군과 5군은 아주 짧고 가는 레진테그가 관찰되었고, 3군과 6군은 길고 가는 레진테그와 레진테그의 측지가 관찰되었다.

결론: 레이저로 에칭 처리한 상아질에 대한 부가적인 산 처리나 자가부식 프라이머의 처리는 상아질의 접착력을 향상시켰다.

주요단어: 결합계면; 미세전단 결합강도; 2단계 접착제; Er:YAG 레이저 조사