

Self etching primer와 인산을 이용한 브라켓 접착시 광중합 방식에 따른 전단결합강도와 파절 양상의 비교

고려대학교 임상치의학 대학원 치과교정학과

이기영, 임용규, 이동렬

ABSTRACT

Effects of light curing methods on shear bond strength of composite resin conditioned with self etching primer and phosphoric acid

Department of Orthodontics, Graduate School of Clinical Dentistry
Korea University
Ki-Young Lee, Yong-Kyu Lim, Dong-Yul Lee

The purpose of this study was to evaluate the clinical usefulness of SEP(Self etching primer) and plasma arc light using shear bond strength and failure patterns of the brackets. Eighty extracted human premolars were randomly divided into 4 groups of 20 by enamel treatments and curing methods. (1) 37% phosphoric acid + Halogen light ; (2) 37% phosphoric acid + Plasma arc light ; (3) SEP + Halogen light ; (4) SEP + Plasma arc light.

All bonded specimens were stored for 24 hours at 37°C. The shear bond strength was tested by Instron Universal testing machine with a crosshead speed of 1 mm/min and the amount of residual adhesive remaining on the brackets after debonding was assessed with adhesive remnant index(ARI).

The results were as follows;

1. Curing with Halogen light, the group etched with phosphoric acid showed significantly higher shear bond strength than conditioned with SEP.
2. Curing with Plasma arc light, the group etched with phosphoric acid showed significantly higher shear bond strength than conditioned with SEP.
3. There was no significant difference in shear bond strength between the group (2) and (3). Both groups showed clinically useful shear bond strength. (more than 7MPa)
4. Evaluation of the ARI scores indicated there was a higher frequency of resin remnants remaining on the brackets in the groups conditioned with SEP.

Key words ; Self etching primer, Plasma arc light, shear bond strength, adhesive remnant index(ARI).

I. 서론

교정용 브라켓의 직접 부착은 산부식된 법랑질에 레진 접착제의 미세한 기계적 접착에 의해 얻을 수 있다. 1955년에 Buonocore¹에 의해 산부식 기술이 개발되고 Newman²이 에폭시 레진을 이용한 교정용 브라켓의 직접 부착을 최초로 보고한 이후 현재에 이르러서는 콤포짓 레진을 이용하여 브라켓을 법랑질 표면에 직접 부착하는 방법이 일반화 되었다.

그러나 브라켓의 직접 부착시 구강내 환경을 건조하게 유지하는 어려움과 작업 시간이 긴 단점이 지적되어 왔으며 이러한 단점들을 극복하기 위한 여러 노력들이 진행되고 있다. 브라켓 부착시 구강내 습기에 저항성을 갖는 친수성 monomer를 함유하는 분당제인 MIP(3M Unitek)가 소개되었으며^{3,4} 작업시간을 줄이기 위해서 산부식 과정과 priming 과정을 한단계로 만든 제품과 레진 중합시간을 줄이기 위한 광중합기의 개발이 있어 왔다. 산부식 과정과 priming 과정을 하나로 합치려는 노력은 수복치과 영역에서 시작되었고⁵ 최근에는 self etching primer가 교정용 브라켓 부착을 위하여 개발되었다. SEP(Transbond self etching primer, 3M Unitek)의 주성분은 methacrylated phosphoric acid ester이다^{6,7}. Primer의 acid 성분이 smear layer를 녹여서 혼합물로 합쳐 들어가며 상아질 또한 탈회시키고 교원질과 hydroxyapatite crystal을 encapsulation시킨다. 이처럼 동시에 이루어지는 conditioning과 priming이 monomer의 상아질 내로의 침투를 허용한다⁸⁻¹¹.

임상의에게는 브라켓 제거 후 건전한 법랑질 표면의 유지가 또 하나의 중요한 문제가 될 수 있다. Harris 등¹²은 산부식된 법랑질 표면의 깊이가 브라켓 제거 시 법랑질 파절의 원인이 될 수 있다고 보고하였다. Bishara 등¹³⁻¹⁵과 Yamada 등¹⁶은 SEP의 사용이 인산에 의한 법랑질 부식 깊이를 감소시키면서 임상적으로 유용한 결합강도를 유지한다고 보

고하였다.

초기에는 콤포짓 레진 중합 방법으로 자외선(UV)¹⁷이 소개되었으나 안정성의 문제로 1980년에 가시광선 중합기(halogen light)¹⁸가 소개되었다.

가시광선 중합기는 자외선보다는 더 깊은 중합 심도를 보이는데 그 이유는 레진에 있는 camphorquinone이 470nm 파장 범위에 있는 빛에 민감하기 때문이다. 중합 시간 단축을 위하여 1980년 중반부터 1990년 초반까지 argon laser가 사용되고¹⁹ 1990년 중반부터 xenon arc light 혹은 plasma arc light라 불리는 광원이 소개되었다^{20,21}. Plasma arc light는 camphorquinone의 활성화를 위한 470nm의 파장에 가시광선을 모으는 filter를 함유하여 고에너지, 고압력의 이온 가스가 레진 중합을 강화시키는 역할을 한다. 최근의 논문들도 plasma arc light에 관한 연구를 활발히 하고 있으며 Ishikawa²²는 한쪽 소구치에서 반대편 소구치까지 브라켓 부착시 가시광선 중합기가 14분 소요(치아당 40초 중합시)되는 것에 비하여 plasma arc light은 2분이 소요(치아당 3초 중합시)되는 것으로 보고하였다.

임상에서의 SEP과 plasma arc light의 사용은 종래의 산부식 방법의 단점과 작업시간을 획기적으로 줄여 줄 것으로 생각된다. 최근의 연구들^{14,20}도 각각의 임상적 유용성에 관하여 보고하고 있으나 SEP과 plasma arc light을 동시에 사용하는 방법에 대한 연구는 거의 부재한 실정이다.

이에 저자는 halogen light와 plasma arc light의 두 광원 조건하에서 인산에 의한 산부식 방법과 SEP을 사용했을 때의 브라켓 접착제의 전단결합강도와 접착 파절 양상을 비교함으로써 임상적 유용성을 평가하고자 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구 재료

교정 치료를 목적으로 발거된 80개의 소구치를 흐르는 물에 세척한 후 생리적 식염수에 보존하였

다. 법랑질 균열, 치아 우식증, 수복물이 없는 건전한 협면을 가진 치아를 선택하였으며 bracket은 .022 metal preadjusted twin bracket(3M Unitek, USA)을 이용하였다. 산부식에는 37% phosphoric acid(Bisco, USA)를, self etching primer로 Transbond self etching primer(3M Unitek, USA)를 사용하였다. Halogen light 중합기는 XL3000(3M ESPE), plasma arc light 중합기는 Flipo(Lobel France)를, 접착제는 Transbond XT(3M Unitek, USA)을 이용하였다.

2. 연구 방법

1) 시편제작과 실험군 분류

각 치아는 직경 30mm, 높이 20mm의 레진블록에 치아의 협면이 바닥에 평행하게 노출되도록 매몰하였다(Fig 1). 시편치아는 불소가 함유되지 않은 pumice로 치면 세마후 브라켓 접착전 준비를 하였다. 표본은 무작위로 20개씩 4개군으로 분류하였다.

1군 : 37% 인산처리후 Halogen light 방식으로 부착

2군 : 37% 인산처리후 Plasma arc light 방식으로 부착

3군 : self etching primer로 처리후 Halogen light 방식으로 부착

4군 : self etching primer로 처리후 Plasma arc light 방식으로 부착

37% 인산 처리한 군은 제조사의 지시에 따라 20초간 법랑질을 산부식 시킨 후 1분간 철저히 수세하고 건조시켰다. primer 도포후 가볍게 공기를 분사하여 산부식 된 법랑질 표면으로의 primer 침투를 쉽게 하였다. 한명의 술자가 균일한 힘을 가하여 브라켓을 접착제로 부착하였다. 여분의 레진은 탐침으로 제거하고 각 군에 따라 광중합을 시행하

였다. self etching primer도 제조사의 지시대로 3초간 치아 협면에 도포한 후 가볍게 공기로 건조시키고 브라켓을 부착하였다. 광중합은 치아 장축에 수직으로 Halogen light 방식은 40초간, Plasma arc light 방식은 3초간 조사하였다. Radiometer (dentamerica, USA)로 광도를 측정 한 결과 Halogen light 방식은 420 mW/cm², plasma arc light 방식은 1,900 mW/cm²로 측정되었다. 접착이 완료된 시편은 Nigel 등²⁾의 연구에서와 같이 37°C, 100% 상대습도에서 24시간 보관하였다.

2) 전단결합강도의 측정

만능물성시험기(Instron 6022, U.K.)에 시편을 고정시키고 분당 1mm의 crosshead speed로 전단력을 치면에 평행하게 가하여 접착이 파절되는 순간의 최고 하중을 측정하였고(Fig 2) 이 측정치를 브라켓 면적(8.14mm²)으로 나누어 MPa로 환산하였다.

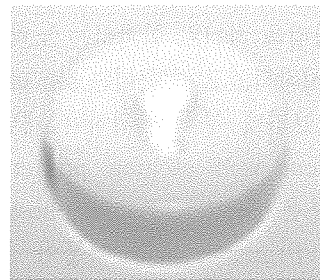


Fig 1. 레진블록

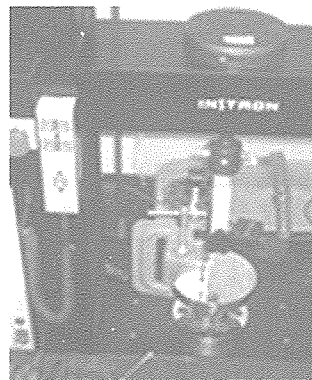


Fig 2. 만능물성시험기(Instron 6022, U.K.)

3) 브라켓 탈락양상의 관찰

전단결합강도 측정 후 브라켓 기저면을 광학 현미경인 Micro Hi-scope system (KH-1000, Hirox, Co. Ltd., Tokyo, Japan)(100배)과 영상분석기 (Image Pro Plus, Media Cybernetics, Inc. Silver Spring., MD., U.S.A.) 로 관찰하여 남아있는 레진의 양에 따라 접착제 잔류지수(Adhesive Remnant Index)²³를 이용하여 점수화 하였다.

- score 0 : 브라켓 기저면에 레진이 남아있지 않은 경우
- score 1 : 브라켓 기저면에 레진이 50% 이하로 남아있는 경우
- score 2 : 브라켓 기저면에 레진이 50% 이상 남아있는 경우
- score 3 : 브라켓 기저면에 레진이 100% 남아있는 경우

3. 통계처리

SAS 6.12 통계 프로그램을 이용하여 각 군의 전단결합강도의 평균치, 표준편차, 최대치, 최소치를 산출하였다. 전단결합강도의 군간 차이를 검정하기 위하여 두 군간의 비교에는 T-test를 시행하였으며, 세 군 이상의 비교에는 one-way ANOVA와 Tukey's studentized range test로 사후 검정하였다. 유의차 검증은 5% 유의수준에서 판정하였다 (Table 1 하단).

III. 연구 결과

1. 전단결합강도

각 군의 전단결합강도 측정 결과는 Table 1 및 Fig 3과 같았다.

1) 37% 인산으로 동일하게 표면처리 한 경우에는 Halogen 중합방식의 경우 24.3±6.0 MPa , Plasma arc light 방식의 경우 18.7±6.5 MPa 로서 Halogen 중합방식이 더 우수한 결합강도를 보였다(p<0.05).

- 2) Self etching primer로 동일하게 표면처리 한 경우에는 Halogen 중합방식의 경우 18.8±6.9 MPa , Plasma arc light 방식의 경우 10.1±4.0 MPa 로서 Halogen 중합방식이 더 우수한 결합강도를 보였다(p<0.05).
- 3) Halogen으로 동일하게 중합한 경우에는 인산으로 표면처리 한 경우 24.3±6.0 MPa , self etching primer로 표면처리 한 경우 18.8±6.9 MPa로서 인산으로 표면처리 한 경우가 더 우수한 결합강도를 보였다(p<0.05).
- 4) Plasma arc light으로 동일하게 중합한 경우에는 인산으로 표면처리 한 경우 18.7±6.5 MPa, self etching primer로 표면처리 한 경우 10.1±4.0 MPa로서 인산으로 표면처리 한 경우가 더 우수한 결합강도를 보였다(p<0.05).
- 5) 37% 인산처리후 Plasma light 방식으로 부착한 경우(18.7±6.5 MPa)와 self etching primer

Table 1. Shear bond Strengths in each group(MPa)

Group(Tx)(n)	Mean	SD	Minimum	Maximum	Group*
1. (E+H)(20)	24.3	6.0	15.3	39.3	A
2. (E+P)(20)	18.7	6.5	9.3	30.2	B
3. (S+H)(20)	18.8	6.9	8.5	37.8	B
4. (S+P)(20)	10.1	4.0	3.7	22.1	C

*groups with the same letters are not significantly different from each other (Tukey, p<0.05) ANOVA ; F = 19.69, p<0.05
E ; 37% 인산 H ; Halogen light S ; Self etching primer P ; Plasma arc light

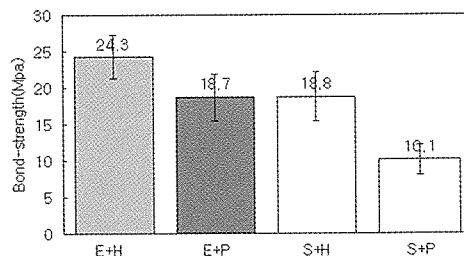


Fig 3. Diagram of the shear bond strength
E : 37% 인산 H : Halogen light S ; Self etching primer P ; Plasma arc light

로 처리후 Halogen light 방식으로 부착한 경우(18.8±6.9 MPa)에는 유의한 접착강도의 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

2. 접착파절양상(Table 2)

Self etching primer로 표면 처리한 경우에는 90% 이상의 시편이 브라켓 표면에 레진이 50% 이상(ARI score 2,3) 남아 있었고, 37% 인산처리후 Halogen light 방식으로 부착한 경우에는 50%에서 ARI score 2(브라켓 기저면에 레진이 50% 이상 남아있는 경우)를 나타내었다. 37% 인산 처리후 Plasma arc light 방식으로 부착한 경우에는 45%가 ARI score 1(브라켓 기저면에 레진이 50% 이하로 남아있는 경우)을 나타내었다.

Table 2. Frequency of adhesive remnant index Scores(%)

Group(Tx)	ARI=0	ARI=1	ARI=2	ARI=3
1. (E+H)	1(5%)	6(30%)	10(50%)	3(15%)
2. (E+P)	3(15%)	9(45%)	5(25%)	3(15%)
3. (S+H)		2(10%)	10(50%)	8(40%)
4. (S+P)		1(5%)	11(55%)	8(40%)

E ; 37% 인산 H ;Halogen light S ; Self etching primer
P ; Plasma arc light

IV. 총괄 및 고찰

브라켓의 직접부착이 일반화 되어 있는 교정 치료시 임상적으로 유용한 결합강도를 유지하면서 치아 표면처리의 단순화와 중합시간의 단축이 갖는 의미는 술자와 환자 모두에게 크다고 볼 수 있다. 임상적으로 유용한 결합강도에 관한 수치는 아직까지 명확히 알려져 있지 않다. Meehan 등²⁵ 과 Lalani 등²⁶은 Transbond XT로 metal bracket을 광중합하는 경우 11.23-11.31 MPa의 결합강도를 가진다고 하였으며, Reynolds²⁷는 6-8MPa, Knoll 등²⁸은 7 MPa이 임상적으로 유용한 결합강도라고 보고하였다. 7MPa을 임상적으로 유용한 결합강도라고 볼 때 이번 실험에서는 1, 2, 3 군에서 실험 치아 모두가 7 MPa

이상의 결합강도를 보여주었고, 4군에서는 80%가 유용한 결합강도를 갖는 것으로 조사되었다. 하지만, 이러한 결합강도를 측정하는 실험이 갖는 한계를 생각해보면, 첫째로 이러한 구강내의 복잡한 구강환경(온도, 스트레스, 습도, 산도)을 재현하지 못한다는 것이다. Buonocore²⁹는 표본들의 thermal cycling(구강 조건과 유사한 한계적 온냉의 상태를 반복시킴)을 충고하였다. 둘째, 법랑질 형태, 실험 기계, 브라켓 기저면의 형태, 접착제의 종류, 치아 보관 용액, debonding 방법, cross head speed, 사람의 치아인지 혹은 다른 동물의 치아인지, curing time, 시편 갯수 등이다.

Fox 등³⁰은 in vitro bond strength testing에서 유용한 결론이 얻어지려면 최소한 20개의 표본(30개가 바람직)이 사용되어야 함을 지적하였다. 이에 본 실험에서는 20개 썩의 표본을 이용하여 실험하였다.

Self etching primer(SEP)는 수복치과 영역에서 5세대 1-bottle systems(primer+adhesive)과 self etching primer bonding systems이 개발되면서 교정 영역에 도입되었다. 즉 acidic gel의 rinsing 과정을 없애고 collagen collapse의 위험성을 감소시킴으로써 작업시간을 줄였으나³¹ 결합력이 떨어지는 것이 단점이었다.

이번 실험에서 self etching primer와 plasma arc light 중합방식에 의한 전단결합강도 비교시 1군(37% 인산처리후 Halogen light 방식으로 부착)이 가장 높은 결합강도(24.3±6.0 MPa)를 보였다. 3군(self etching primer로 처리후 Halogen light 방식으로 부착)이 두 번째로 높은 결합강도 (18.8±6.9 MPa)를 보였으며 2군(37% 인산처리후 Plasma light 방식으로 부착)이 18.7±6.5 MPa로 세 번째로 나타났고 4군(self etching primer로 처리후 Plasma arc light 방식으로 부착)이 10.1±4.0 MPa로서 제일 낮은 결합강도를 보였다(Table 1).

동일한 표면 처리에서는 Halogen 중합방식이 높은 결합강도를 보여주었고(p<0.05), 같은 중합방식

에서는 인산으로 처리한 경우가 더 높은 결합강도를 보여주었다($p < 0.05$). 따라서 본 실험에서는 할로젠으로 중합하는 경우 표면처리 방법에 관계없이 우수한 결합강도를 보임을 알 수 있었다.

브라켓 탈락 양상을 현미경으로 관찰하여 ARI score로 분석하는 것은 같은 결합강도를 보인 경우에 있어서도 접착 파절 양상이 다르다면 임상적인 의미가 다르다고 할 수 있다. 첫째, 치아면에 남아 있는 레진이 많을수록 브라켓과 레진 계면의 결합 강도보다 치아면과 레진 계면의 결합 강도가 크다고 해석할 수 있다.

이 경우 임상적으로 브라켓 제거시 치관 파절의 위험성을 감소시킬 수 있으나 레진 제거의 수고가 더해지는 단점이 있다¹⁵. 이번 실험에서는 브라켓에 레진이 50% 이하로 남아있는 경우가 브라켓에 레진이 남아있지 않은 경우를 포함하여(ARI score 0,1) 1군은 35%의 분포를 보였고, 2군은 60%의 분포를 보였다(Table 2). 둘째, 브라켓에 남아 있는 레진이 많을수록 치아면과 레진 계면의 결합 강도보다 브라켓과 레진 계면의 결합 강도가 크다고 해석할 수 있다. 임상적으로 레진 제거시 수고가 덜게 되는 장점이 있으나 치관 파절의 위험성이 증가하는 단점이 있다.

이번 실험에서는 SEP으로 처리한 경우 90% 이상이 ARI score 2,3을 보였는데 인산처리에 비해 법랑질과 레진 계면에서의 결합강도가 약하기 때문이라고 볼 수 있다. SEP의 경우처럼 치아면과 레진 계면의 결합 강도가 크지 않은 경우에는 브라켓 제거시 치관 파절의 위험성이 높지 않으나, 세라믹 브라켓을 사용하고 치아면과 레진 계면의 결합 강도도 높은 경우에는 브라켓 제거시 브라켓과 레진 계면에서 접착 파절이 일어나지 않는다면 치관 파절의 가능성이 증가한다고 볼 수 있다.

Fox 등³⁰은 레진블록에 매몰된 enamel curvature 가 실험결과에 영향을 미친다고 하였으며 O'Brien 등³²은 ARI score가 브라켓 기저면 형태, 접착제 종류에 따라 달라지고(단지 계면사이의 결합강도가

아니라) 그 판정이 주관적이라고 하였다. 그러나 접착 파절 계면의 분포를 확인하는 의미는 있으며 SEP의 경우처럼 법랑질과 레진사이의 접착 실패는 primer의 완전한 침투가 이루어지지 못했기 때문인 것으로 해석할 수 있다.

V. 결론

이번 연구에서는 브라켓 접착을 위해 halogen light와 plasma arc light의 두 광원 조건하에서 인산에 의한 산부식 방법과 SEP(Self etching primer)을 사용했을 때의 전단결합강도와 접착 파절 양상을 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Halogen light 방식으로 중합시킨 경우에는 인산으로 표면처리한 군이 SEP으로 표면 처리한 군보다 더 우수한 전단결합강도를 나타냈다.
2. Plasma arc light 방식으로 중합시킨 경우에도 인산으로 표면처리한 군이 SEP으로 표면 처리한 군보다 더 우수한 전단결합강도를 나타냈다.
3. 인산처리 후 Plasma arc light 방식으로 부착한 군과 SEP로 처리한 후 Halogen light 방식으로 부착한 군의 전단결합강도는 유의성 있는 차이를 보이지 않았고, 두 군 모두 임상적으로 유용한 결합강도를 보여주었다.(7Mpa 이상)
4. ARI score 분석에서는 SEP으로 표면처리한 군의 90% 이상에서 대부분의 레진이 브라켓에 남아있는 score 2,3을 보여주었다.

이상의 실험 결과는 self etching primer로 표면 처리후 halogen light 방식으로 중합시킨 경우와 인산 처리후 plasma arc light 방식으로 중합시킨 경우 모두 임상적으로 유용한 결합강도를 보임으로써 임상적용의 사용가능성을 제시하며, self etching primer와 plasma arc light 방식의 조합의 경우에는

임상 적용에 좀 더 많은 연구와 발전이 요구됨을 시사한다.

참 고 문 헌

- Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955;34:849-53.
- Newman GV. Epoxy adhesives for orthodontic attachments-progress report. *Am J Orthod* 1965 51;901-12.
- Grandhi RK, Combe EC, Speidel TM. Shear bond strength of stainless steel orthodontic brackets with a moisture-insensitive primer. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001 119(3):251-5.
- Bishara SE, Olsen ME, Damon P, Jakobson JR. Evaluation of a new light-cured orthodontic bonding adhesive. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992;101:187-9.
- Rosa BT, Perdigão J. Bond strengths of non-rinsing adhesives. *Quintessence Int* 2000;31:353-8.
- Tay FR, Pashley DH. Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I : Depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dent Mater* 2001;17:296-308.
- Pashley DH, Tay FR. Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives. Part II : Etching effects on unground enamel. *Dent Mater* 2001;17:430-44.
- Cinader D. Chemical processes and performance comparisons of transbond plus self etching primer. *Orthodontic perspectives volume III No.1.*
- Chigira H, Koike T, Hasegawa T, Itoh K, Wakumoto S, Hyakawa T. Effect of the self etching dentin primers on the bonding efficacy of dentin adhesives. *Dent Mater J* 1989;8;86-92.
- Nishida K, Yamauchi J, Wada T, Hosoda H. Development of a new bonding system. *J Dent Res* 1993;72:137.
- Nakabayashi N. Dentinal bonding mechanism. *Quint Int* 1991;22:73-4.
- Harris AM, Joseph VP, Rossouw PE. Shear peel bond strength of esthetic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992;102:215-9.
- Bishara SE, VonWald L, Laffoon JF, Warren JJ. Effect of a self-etch primer/adhesive on the shear bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001 119:621-4.
- Bishara SE, Gordon VV. Effect of an acidic primer on shear bond strength of orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1998;114:243-7.
- Bishara SE, Gordan VV, Vonwald L, Jakobsen JR. Shear bond strength of composite, glass ionomer, and acidic primer adhesive system. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999;115:24-8.
- Yamada R, Hayakawa T, Kasai K. Effect of using self-etching primer for bonding orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2002 72:558-64.
- Buonocore MG, Davila J. Restoration of fractured anterior teeth with ultraviolet-light-polymerized bonding materials : a new technique. *J Am Dent Assoc* 1973;86:1349-54.
- Tirtha R, Fan PL, Dennison JB, Powers JM. In vitro depth of cure of photo -activated composites. *J Dent Res* 1982;61:1184-7.
- Blankenau RJ , Kelsey WP, Powell GL et al. Degree of composite resin polymerization with visible light and argon laser. *Am J Dent* 1991;4:40-2.
- Sfondrini MF. Effects of conventional and high intensity light curing on enamel shear bond strength of composite resin and resin-modified glass-ionomer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001;119:30-5.
- 박영철, 유형석 외. Plasma arc light을 이용한 bracket 부착시의 전단결합강도와 파절 양상의 유형. *대치 교정지* 2001;31:261-70.
- Ishikawa H. Orthodontic bracket bonding with a plasma arc light and resin reinforced glass

참고 문헌

- ionomer cement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2001;120:58-63.
23. Årtun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etching enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984;85:333-40.
 24. Nigel AF, John FM, John GB. A critique of bond strength testing in orthodontics. *Br J Orthod* 1994;21:33-43.
 25. Meehan MP, Foley TF, Mamandras AH. A comparison of bond strength of two glass ionomer cements. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1999;115:125-32.
 26. Lalani N, Foley T, Voth R, Banting D, Mamandras AH. Polymerization with the argon laser: curing time and shear bond strength. *Angle Orthod* 2000;70:28-33.
 27. Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod* 1975;2:171-8.
 28. Knoll M, Gwinnett AJ, Wolf MS. Shear strength of brackets bonded to anterior and posterior teeth. *Am J Orthod* 1986;89:476-9.
 29. Buonocore MG. Retrospectives on bonding. *Dent Clin North Am* 1981;25:241-55.
 30. Fox NA, McCabe JF, Buckley JG. A critique of bond strength testing in orthodontics. *Br J Orthod* 1994;21:33-43.
 31. Watanabe I, Nakabayashi N. Bonding durability of photocured Phenyl-P in TEGDMA to smear layer-retained bovine dentin. *Quint Int* 1993;24:335-42.
 32. O'Brien RD, Watts DC, Read MJF. Residual debris and bond strength-Is there a relationship? *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988;94:222-30.