

Evaluation of Shear Bond Strength of Various Orthodontic Bracket Bonding Agents

Youngjun Ham, Miran Han

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Dankook University, Cheonan, Republic of Korea

Abstract

Due to the development of properties of adhesive materials currently used in dentistry, the bonding ability between the brackets and the tooth enamel has been greatly improved. In general, in situations where cooperation can be obtained, adhesion of the orthodontic bracket through the conventional three-step process can show excellent bonding strength. However, if it is difficult to expect patient cooperation, as in the pediatric dentistry area, or if moisture isolation is not properly performed, the binding strength that does not reach the expected effect. As a result, various products that simplify the process for adhesion are being developed. The aim of this study was to evaluate and compare the shear bonding strength between the conventional 3-step adhesion system, self-etching primer system and one-step adhesion system that reduces the priming process. A total of 60 human maxillary, mandibular premolars were prepared. Group I (control group) were followed conventional 3-step bonding process. Group II were conditioned with self-etching primer. Group III were etched with 37% phosphoric acid and brackets were bonded with self-priming adhesive. The resultant shear bond strength of each group was measured and an adhesive remnant index (ARI) was recorded. The mean shear bond strength of group I, II, III were 14.69 MPa, 11.21 MPa and 12.21 MPa respectively. Significant differences could only be found between group I, II and group I, III ($p < 0.05$). The ARI indicated no significant difference among all groups. [J Korean Acad Pediatr Dent 2022;49(3):264-273]

Keywords

Shear bond strength, Orthodontic bracket, Conventional bonding system, Self-etched bonding system, Self-priming bonding system

서론

현재 치과에서 사용되고 있는 접착 재료들의 물성의 발달로 인해서 교정용 브라켓과 치

ORCID

Youngjun Ham

<https://orcid.org/0000-0001-5587-7713>

Miran Han

<https://orcid.org/0000-0003-0312-6023>

Article history

Received April 5, 2022

Revised May 13, 2022

Accepted May 30, 2022

© 2022 Korean Academy of Pediatric Dentistry

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Corresponding author: Miran Han

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Dankook University, 119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan, 31116, Republic of Korea

Tel: +82-41-550-0223 / Fax: +82-41-550-0118 / E-mail: miraneee@dankook.ac.kr

Funding information

The present research was conducted by the research fund of Dankook University in 2021.

아 법랑질 사이의 결합 능력이 크게 향상되었으며, 접착 레진의 다양한 재료들이 개발되면서 더욱 효과적으로 결합할 수 있게 되었다. 레진을 이용한 브라켓 접착 과정에서 법랑질의 산부식을 통한 전처리 과정이 안정적인 결합 능력의 향상을 위하여 필요하다[1,2]. 기존의 ‘산부식-프라이머 도포-접착’의 과정은 Buonocore[3]에 의하여 1955년에 처음으로 소개되었으며, 과거 85%의 인산을 이용하여 20초간 산부식을 하였을 때 접착 능력이 크게 향상된다고 하였다. 이는 산부식 과정을 통하여 법랑질 표면을 탈회시켜 접착제가 법랑질 표면에 침투할 수 있는 면적을 증가 시켜주기 때문이다. 그러나 이와 같은 과정에서 법랑질 표면의 손상 가능성이 있으며, 수세, 건조, 광중합 등 술식의 단계가 많아 임상적으로 복잡하고, 전반적 시술 시간이 길다는 단점이 있다[4,5].

일반적으로 협조가 원활하게 될 수 있는 상황에서 위와 같은 3단계 과정을 통한 교정용 브라켓의 접착은 훌륭한 결합력을 보일 수 있다. 그러나 소아치과 영역에서와 같이 환자의 협조를 기대하기 어렵거나, 수분 격리가 제대로 이루어지지 않을 경우, 술식의 단계가 많고 시술 시간이 길수록 기대하는 효과에 미치지 못하는 결합강도를 보여줄 수 있다. 소아 청소년 환자에서 치아 매복으로 개창술(Window opening)을 통한 교정적 견인이 필요한 경우도 마찬가지로, 긴 시술 시간과 함께 수분 격리가 제대로 이루어지지 않는다면 교정적 견인에 필요한 브라켓의 충분한 결합강도를 보이지 않을 수 있다[6,7].

개창술은 외과적 방법을 통하여 치아를 노출시키고, 노출된 치아 표면에 교정용 브라켓을 부착하는 과정으로 이루어진다[8]. 이 과정에서 노출된 치아 주변의 조직에서 나오는 혈액 및 타액에 의한 오염이 쉽게 발생할 수 있으며, Oonsombat 등[9]에 의하면 오염된 산부식 법랑질은 오염되지 않은 산부식 법랑질에 비하여 평균 전단 결합 강도가 약 50%까지 감소한다고 하였다. 따라서 통상적인 방법으로서의 교정용 브라켓 접착은 긴 술식 시간으로 인하여 혈액 및 수분에 오염될 가능성이 커진다. 개창술 과정에서 이러한 오염을 최소화하기 위해서는 술식 과정이 비교적 더 간단하고 짧은 접착제의 사용이 더 유리할 것으로 생각된다[10].

앞서 언급한 점들 때문에 접착을 위한 술식 과정을 단순화시킨 다양한 제품들이 개발되고 있다. 자가 산부식 접착 프라이머(self-etching primer)는 기존의 산부식 과정과 프라이머를 바르는 과정을 하나로 결합함으로써 수세와 건조 과정이 생략되어 술식 시간을 줄일 수 있다[11]. 비록 기존의 복잡한 과정을

거치는 산부식 과정보다 자가 산부식 접착 프라이머를 이용하는 경우 브라켓의 결합 강도가 약하다는 연구들이 존재하지만 [12,13], Moninuola 등[14]과 Hadrous 등[15]의 연구에 따르면 임상적으로 브라켓 접착에 필요한 유의한 결합 강도는 6-8 MPa 정도이며, 자가 산부식 접착 프라이머는 이에 준하는 결합 강도를 유지한다고 하였다.

최근 산부식 과정은 유지하고, 접착 레진에 프라이머를 포함시켜 술식의 단계를 줄이는 제품으로 자가 프라이밍 접착제(self-priming adhesive)가 대표적이다. 이와 같은 one-step 교정용 접착 레진의 경우도 마찬가지로 자가 산부식 접착 프라이머를 사용하는 것처럼 더 빠르게 브라켓 접착을 시행할 수 있지만[16], 기존의 ‘산부식-프라이머-접착’ 과정의 술식보다 결합 강도가 약하다는 연구가 존재한다[17,18]. 각 술식들의 장, 단점이 명확하고 그 특징들을 이해할 수 있지만, 앞서 언급한 세 가지 접착 술식을 직접적으로 비교하여 브라켓 부착 시 소요되는 시간과 함께 결합 강도를 서로 비교하는 연구는 부족하다.

이에 본 연구에서는 기존의 산부식 레진 접착 술식과 자가 산부식 프라이머를 사용한 접착 술식 그리고 프라이밍 과정을 줄인 one-step 접착 술식 세 가지를 비교하여 치면에 부착되는 브라켓의 전단 접착 강도를 평가하고, 실험적으로 유의한 차이가 존재하는지 비교해보고자 한다.

연구 재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서는 본원에 내원한 환자로부터 발치한 표면에 우식증이나 수복물이 없으며 법랑질의 파절이 존재하지 않는 발거된 사람의 상, 하악 소구치 60개 치아를 대상으로 하였다. 교정용 브라켓의 접착을 위하여 사용된 제품으로는 기존의 Transbond™ XT Light cure Adhesive primer (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)와 함께 Transbond™ XT Light cure Adhesive paste (3M Unitek)를 대조군으로 사용하였다. 자가 산부식 프라이머를 사용한 접착 술식의 대표적인 제품으로써 가장 널리 사용되는 Transbond™ Plus Self Etching primer (3M Unitek)를 실험군으로 선택하였으며, 최근 국내 출시되어 접착 강도에 관한 연구가 상대적으로 부족한 GC Ortho-Connect™ Flow (GC Corporation, Tokyo, Japan)를 두 번째 실험군으로써 선택하였다(Table 1). 또한 산부식에는 37%

Table 1. Materials used in present study

	Materials	Manufacturer
Resin	Transbond™ XT Light cure Adhesive paste	3M Unitek, CA, USA
	GC ortho-Connect™ Flow	GC Corporation, Tokyo, Japan
Primer	Transbond™ XT Light cure Adhesive primer	3M Unitek, CA, USA
	Transbond™ Plus Self Etching primer	3M Unitek, CA, USA
Etchant	DenFil Etchant	VERICOM Corporation, Seoul, Korea

인산(Denfil etchant, Vericom Corporation, Seoul, Korea)을, 광중합기는 Elipar FreeLight 2 (3M ESPE, St. Paul, MN, USA)를 사용하였다. 접착된 교정용 브라켓은 mesh 형태의 하면을 가진 곡면이 있는 직경 3.5 mm의 브라켓(Tomy, Tokyo, Japan)이 사용되었다.

2. 연구방법

이 연구는 단국대학교 부속 치과병원의 임상 연구 윤리 위원회(Institutional Review Board, IRB)의 승인을 받아 시행되었다(IRB NO: DKUDH IRB 2021-9-006).

1) 실험 치아의 준비 및 시편 제작

발치 후 4개월이 지나지 않은 건전한 소구치 60개의 협면을 대상으로 하였다. 치아 표면에 남아있는 유기물 및 이물질들을 스케일러와 핀셋을 이용하여 제거하고, 불소가 포함되어 있지 않

은 퍼미스와 러버컵을 사용하여 10초간 세마하였다. 치경부 치근 1/3만 남도록 치근을 절단하고 실온의 멸균 증류수에 보관하였다.

시편을 위한 일정한 주형을 제작하기 위하여 Tinkercad (Autodesk®, San Francisco, CA, USA) 프로그램을 이용하여 가로 17 mm, 세로 17 mm, 높이 12 mm의 주형을 디자인하였으며, Poly lactic acid 필라멘트를 이용한 3D 프린터(DELTA KIT 250, S3D, Seoul, Korea)를 사용하여 플라스틱 주형을 제작하였다(Fig. 1, 2). 이후 치아를 주형 속에 협면만 보이도록 아크릴릭 레진으로 매몰하였다. 매몰 후에 하루 동안 차가운 증류수에 담가 레진의 경화열을 분산시킬 수 있도록 하였다. 레진의 충분한 경화가 이루어진 다음 직경 4.5 mm 이상의 평면이 만들어질 수 있도록 순서대로 220, 320, 600, 1200, 2400 grit 실리콘 카바이드 연마지로 연마하여 최종적인 시편의 범랑질면을 준비하였다. 이후 준비된 시편을 실온의 멸균 증류수에 보관하여 치아의 탈수를 예방하였다.

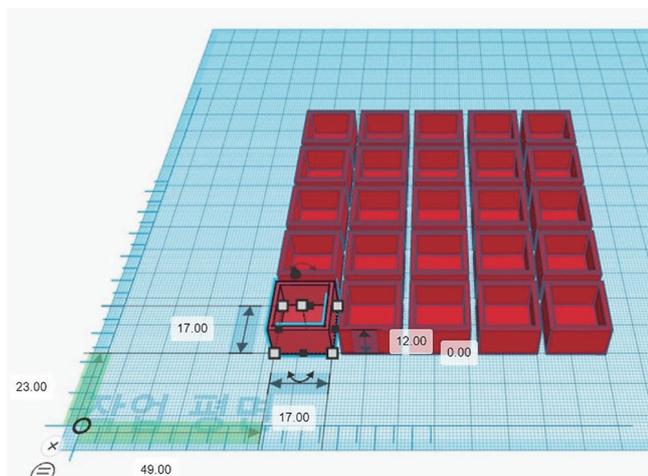


Fig. 1. Mold design for 3D printing with Tinkercad.



Fig. 2. Poly lactic acid mold.

2) 실험군의 분류

준비된 치아를 각 군당 20개씩 무작위로 선정하여 3개의 군으로 나누어 다음과 같은 방법으로 연구를 진행하였다(Table 2).

I군은 대조군으로 Transbond™ XT Light cure Adhesive primer와 Transbond™ XT Light cure Adhesive paste를 사용하였으며, 37% 인산으로 산부식하고 제조사의 지시에 따라 브라켓을 부착하였다. II군은 20초간 치면 세척 후에 Transbond™ Plus Self Etching primer를 적용하였다. III군은 GC Ortho-Connect™ Flow를 사용하였으며, 37% 인산으로 산부식하고 제조사의 지시에 따라 별도의 Primer의 적용 없이 해당 레진으로 브라켓 접착을 시행하였다. 타이머를 사용하여 각 군마다 제조사의 지시에 따라 브라켓 부착에 걸리는 평균 시간을 측정하였다(Table 3).

3) 열 순환 작업 및 보관

브라켓이 부착된 시편을 열순환기(Thermocycling machine, Tokyo Giken, Tokyo, Japan)를 사용하여 5°C와 55°C에서 각 30초간 총 500회의 열 순환 작업을 시행하였다. 과정이 끝난 후 하루 동안 상온의 증류수에 시편을 보관하였다.

4) 전단 접착 강도의 측정

연마된 치아의 법랑질 표면과 부착된 브라켓 사이의 접착 계면에 측정 기구의 장축이 평행이 되도록 시편을 고정하고, 만능시험기(Kyung-Sung Testing Machine Corporation, Ansan, Korea)를 사용하여 50 kgF의 힘으로 Cross head speed 1 mm/min 속도로 버튼이 탈락할 때까지의 최고 하중을 측정하였다. KgF 단위로 측정된 최고 하중값을 브라켓의 접촉 면적(9.6 mm²)으로 나누어 MPa (N/mm²) 단위로 환산하였다(Fig. 3, 4).

Table 2. Classification of control and experimental groups by bonding system

Group (N = 20)	Bonding system
I	Etchant + Transbond™ XT Light cure Adhesive primer + Transbond™ XT Light cure Adhesive paste
II	Transbond™ Plus Self Etching primer + Transbond™ XT Light cure Adhesive paste
III	Etchant + GC ortho-Connect™ Flow

Table 3. Application protocol in this study

Group (N = 20)	Etching	Rinsing & dry	Primer & dry	Curing	Button bonding & curing	Total time (sec)
I	30	25	5	20	25	105
II			17		25	42
III	30	25			25	80

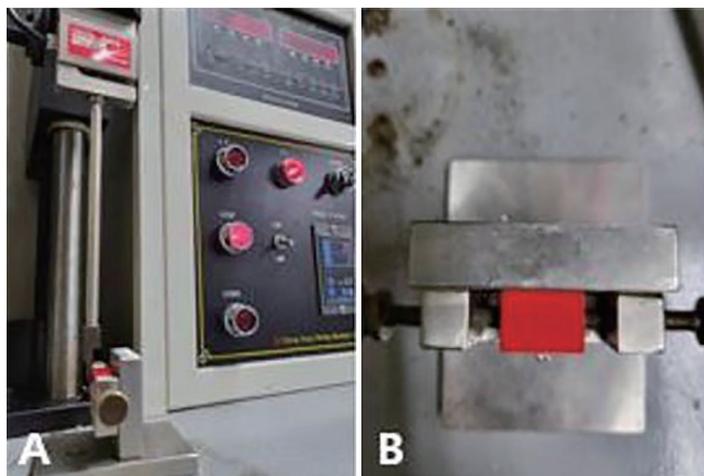


Fig. 3. Testing machine for measuring the shear bond strength.

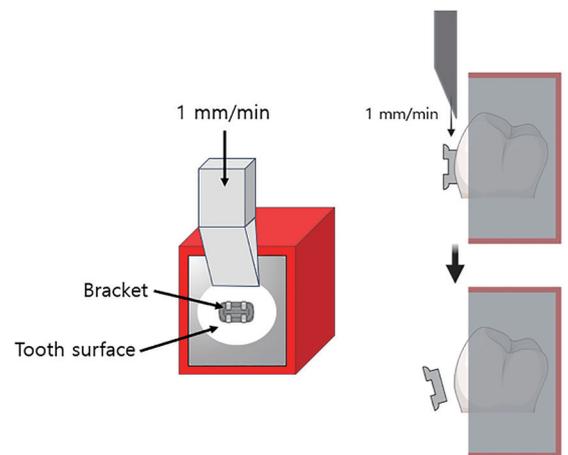


Fig. 4. Method for measuring the shear bond strength.

5) 접착면 파절 형태의 관찰

전단 강도 측정 후 브라켓에 잔존하는 접착 레진을 광학 현미경을 이용하여 10배 배율로 관찰하였다. 이후 접착 레진이 잔류하는 형태를 Årtun과 Bergland[19]의 접착제 잔류지수 (Adhesive Remnant Index, ARI)를 이용하여 기록하였다.

Score 0: 치면에 접착제가 남아있지 않은 경우

Score 1: 치면에 접착제가 1/2 이하로 남아있는 경우

Score 2: 치면에 접착제가 1/2 이상으로 남아있는 경우

Score 3: 치면에 접착제가 모두 남아있는 경우

3. 통계 분석

통계 분석을 위하여 SPSS 프로그램(Version 17.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 전단 접착 강도 측정값과 접착제 잔류 지수 관찰값을 분석하였다. 각 군의 전단 접착 강도 측정값을 일원배치분산분석(One-way ANOVA)을 통하여 유의성을 검증하였고, Tukey HSD를 사용하여 사후 검정을 시행하였다($\alpha = 0.05$). 또한 각 군의 접착제 잔류지수 기록값을 Kruskal-Wallis test를 통하여 통계적 유의성을 검증하였고, Mann-Whitney test를 사용하여 사후 검정을 시행하였다($\alpha = 0.05$).

연구 성적

1. 접착 술식 시간의 측정 결과

Table 4. Mean bonding time and mean total time of each groups

Group (N = 20)	Mean bond time \pm SD (sec)	Mean total time \pm SD (sec)
I	106.3 \pm 2.20	119.2 \pm 2.17
II	42.5 \pm 1.32	50.3 \pm 1.66
III	81.7 \pm 1.22	91.2 \pm 1.64

SD: Standard deviation.

Table 5. Mean shear bond strength and statistical comparison of each groups

Group	I	II	III
Mean \pm SD (MPa)	14.69 \pm 2.00 ^a	11.21 \pm 2.24 ^b	12.21 \pm 1.98 ^b

^{a, b}: The same character means no statistical difference ($p < 0.05$).

Different letters indicate statistically significant results using one-way ANOVA and Tukey test ($p < 0.05$).

SD: standard deviation.

타이머를 이용하여 제조사의 지시에 따라 측정된 브라켓 접착 술식에 따른 평균 접착 시간은 I군이 106.3초로 가장 길었으며 III군은 81.7초, II군은 42.5초로 가장 짧았다. 마찬가지로 전체 술식에 소요된 평균 시간은 I군이 119.2초로 가장 길었으며 III군은 91.2초, II군은 50.3초 순서로 짧게 측정되었다(Table 4).

2. 전단 접착 강도의 측정 결과

총 60개의 준비된 시편을 3개의 군으로 나누어 만능 시험기를 이용하여 측정된 평균 전단 접착 강도는 I군이 14.69 MPa로 가장 높았고, III군은 12.21 MPa, II군은 11.21 MPa 순서로 낮게 측정되었다(Table 5). 일원배치분산분석을 통한 통계 결과로는 대조군과 실험군인 I군과 II군, I군과 III군 사이에서만 유의한 차이가 있었으며($p < 0.05$), II군과 III군 사이에는 유의한 차이가 없었다(Table 5).

3. 접착면 파절 형태

탈락된 브라켓의 접착면 파절 형태는 I군이 ARI 값이 평균 2.1로 접착 레진이 치면에 남아있는 경우가 가장 많았으며, III군이 1.8, II군이 1.6으로 치면에 접착 레진이 남아있지 않은 경우가 가장 많았다(Table 6). 세 군에서 모두 ARI 지수 사이에 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).

Table 6. Adhesive Remnant Index (ARI) and Mean score

Score \ Group	I	II	III
0	2	5	3
1	3	4	5
2	6	5	5
3	9	6	7
Mean score	2.1	1.6	1.8

총괄 및 고찰

교정용 브라켓을 치아의 법랑질 표면에 부착하기 위해서 다양한 접착 레진이 사용된다. 산부식 과정은 일반적으로 37%의 인산을 이용하여 법랑질의 다공성을 증가시켜 접촉하는 면적을 늘려줌으로써 교정용 브라켓의 기계적 결합 능력을 향상시켜 주며, 프라이머를 도포하는 단계에서 레진 프라이머의 완전한 중합은 산소에 의하여 억제될 수 있다. 산소의 이러한 중합 억제 효과는 모노머와 산소의 공중합체의 형성에 기초한다. 따라서 교정용 브라켓의 결합 강도는 이러한 불완전한 중합 과정에서 부정적인 영향을 받을 수 있다[20]. 기존의 3단계 교정용 브라켓 접착 시스템은 비교적 강한 결합력을 보이거나 술식 과정에서 소요되는 시간이 길고, 복잡한 과정을 거친다는 단점이 존재한다. 이에 따라 산성 프라이머를 사용함으로써 산부식과 프라이밍을 동시에 시행하여 술식 과정을 간소화 시키는 접착 방법이 개발되었다[21]. 기존의 연구 결과들에 따르면 이와 같은 자가 산부식 접착 프라이머를 사용한 브라켓 부착은 임상적으로 유의한 결합 강도를 보여준다고 하였으며[22,23], 별도의 산부식 제재를 사용하지 않기 때문에 간단하게 건조의 과정만 시행함으로써 다양한 임상적 상황에 따라 유용하게 사용될 수 있다[24]. 뿐만 아니라 자가 산부식 접착 프라이머 시스템은 기존의 3단계 접착 시스템에 비하여 술자의 기술에 덜 민감하다고 하였다[25].

앞서 언급한 임상적으로 사용할 수 있는 교정용 브라켓 접착 레진의 결합강도는 Hadrous 등[15]의 연구에서는 6 - 8 MPa 정도라고 하였고, 이 밖에도 Meehan 등[26]의 연구에 따르면 11.2 - 11.3 MPa가 적당하다고 하였다. 과도한 접착력은 향후 치질의 손상을 야기할 수 있기 때문에 주의해야 한다[27]. 접착 술식 과정과 술자의 기술에 따라 접착 레진의 결합 강도는 크게 달라질 수 있으며, 술식이 진행되는 상황에 따라 달라질 수 있다. 예를 들면 개창술을 시행하는 과정에서 수분, 타액 또는 혈액과 같은 물질에 오염되는 경우, 대부분의 접착 시스템에서 접착 실패 혹은 크게 감소된 접착력을 보여준다[28]. 따라서 상황에 따라 적절한 접착 방법을 선택하는 것이 중요할 것으로 사료된다. 이에 따라 본 연구에서는 step을 줄인 접착제들이 임상적으로 유의한 결합 강도를 보이는지 알아보고 접착 시스템들 사이의 결합 강도를 서로 비교해보는 것을 목적으로 하였다.

본 연구에서 대조군 및 실험군으로 사용된 서로 다른 교정용 브라켓 접착 시스템들의 평균 전단 접착 강도는 I군이 14.69

MPa, II군은 11.21 MPa 그리고 III군은 12.21 MPa 로 모든 군에서 임상적으로 유의한 수준의 접착력을 보여주었다. 기존의 3단계 술식 과정을 모두 시행한 대조군이 가장 높은 전단 접착 강도를 나타내었으며, 이를 통하여 온전히 모든 과정의 술식을 이상적인 조건에서 시행하였을 경우 가장 효과적인 접착이 가능함을 알 수 있었다. 실험군들 사이에는 전단 접착 강도 수치에 약간의 차이는 존재하였으나 유의한 차이는 보이지 않았다. 또한 각 집단의 표준편차를 비교하였을 때, II군의 표준편차가 2.24로 다른 집단보다 약간 더 큰 것으로 보아 다른 집단에 비하여 더욱 간소화된 술식 과정 및 술식 시간에서 짧은 시간 안에 브라켓을 접착하는 만큼 술자의 기술 혹은 미세한 접착 과정의 차이에 따라 접착력의 차이가 존재할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 해당 실험에서는 자가 부식 프라이머를 적용할 때 프라이머를 도포하는 술식과 건조하는 과정에서의 차이로 인하여 오류가 나타난 것으로 사료된다.

기존의 술식에 비하여 간소화된 단계의 접착 시스템은 비록 더 낮은 접착 강도를 보였으나, Rotta 등[29]의 연구에 따르면 자가 부식 접착 시스템의 산부식 방식 혹은 세기에 따라 다양한 접착 강도를 보일 수 있다고 하였다. 또한 필요에 따라 부가적인 법랑질 표면 전처리 과정을 통하여 접착 강도를 증가시킬 수 있다고 하였다. 이는 근본적인 접착 강도를 증가시키기 위해서는 접착 레진이 법랑질의 산부식된 표면으로 잘 침투할 수 있어야 하기 때문이고, 이에 따라 상대적으로 흐름성이 더 좋은 III군의 접착 레진이 II군에 비하여 좀 더 높은 전단 접착 강도를 나타낸 것으로 사료된다.

교정용 브라켓의 접착 술식에 따른 접착 강도를 비교한 다른 연구들에서 다양한 제품의 접착력을 비교한 사례가 존재한다. Faltermeier 등[30]에 의하면 all-in-one system의 1-step adhesive 중 Rely X Unicem (3M ESPE, Seefeld, Germany)와 Maxcem (Kerr, Orange, CA, USA)를 사용하였을 때의 평균 전단 접착 강도는 7.12 ± 0.69 MPa와 7.06 ± 0.74 MPa로 다른 실험군과 비교하였을 때 상대적으로 낮은 전단 접착 강도를 보여준다고 하였다. 또한 Multilink primer (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein)와 adhesive를 이용한 자가 산부식 프라이머 2-step 접착 술식에서는 9.40 ± 0.74 MPa로 all-in-one adhesive system보다 약간 더 큰 전단 접착 강도를 보여준다고 하였다[30,31]. 해당 연구에서는 1-step system의 전단 접착 강도에서만 유의한 차이가 있다고 하였다($p < 0.05$). 이는 접착의 단계를 매우 간소화시킨 1-step 접착제의

경우 매복 치아의 견인을 위한 브라켓 부착과 같은 술식을 진행할 때 접착의 시간을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 의미하지만, 견인을 위한 충분한 접착력이 얻어질 수 있는지 비교가 필요할 것으로 사료된다.

일반적으로 개창술과 브라켓 부착을 통한 매복 치아의 교정적 견인을 위해 필요한 접착 강도는 상대적으로 적다[32]. 이는 아직 출은 하지 않은 매복치아에 가해지는 교합력과 같은 부가적인 저항이 출은한 치아를 배열할 때와 비교하여 더 적기 때문이다. 몇몇 사례 보고에서 매복치아의 교정적 견인을 위하여 적용하는 힘의 크기는 30 - 60 g 정도라고 언급하고 있다[10,33]. 따라서 개창술을 시행할 때 혈액 및 수분에 의한 오염이 쉽게 일어날 수 있기 때문에 비교적 적은 결합 강도를 나타내더라도 술식의 단계를 줄여 짧은 시간에 시행할 수 있는 접착 시스템의 사용이 유용할 것으로 보인다. 또한 II군과 III군을 비교하였을 때, 임상적으로 유의한 접착 강도의 차이는 없었기 때문에 접착 시스템의 차이와 접착 레진의 조작성 등 술자의 기호에 따라 적절한 접착 시스템을 선택하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

ARI 점수의 경우, 강한 접착력을 보인 대조군에서 가장 높은 수치를 보여 주었다. 이는 접착력이 강한 만큼 브라켓 제거 시 치면에 남아 있는 접착 레진이 가장 많을 수 있으며, 브라켓 제거 시 추가적인 레진의 제거 과정이 필요함을 의미한다. 치면에 접착 레진이 오랜 기간 부착되어 있는 경우, 브라켓의 제거 과정에서 다양한 문제들이 발생할 수 있다. Arhun 등[34]의 연구에 의하면, 산부식 과정을 통한 강한 접착력의 결과로서 법랑질의 white-spot 및 탈회가 발생할 수 있다고 하였으며, 이러한 문제들은 step을 간소화 시킨 접착 과정을 통하여 감소할 수 있다고 하였다.

본 연구의 한계점은 치아 표본을 만들어 이상적인 접착 환경에서 시행하였기 때문에 실제 술식을 진행할 때의 온도, 습도와 같은 부가적인 요소들을 완벽하게 재현하지 못하여 실제 임상에서 적용하였을 때의 결과와 다를 수 있다는 점이다. 또한 브라켓을 표본에 부착할 때의 강도가 모든 표본에서 일정할 수 없어 차이가 있을 수 있으며, 실제 구강 내에서 브라켓을 부착할 때와 강도가 다를 수 있다. 이와 같은 오차들이 존재할 수 있으므로 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

결론

본 연구는 기존의 산부식 레진 접착 술식(I군)과 자가 산부식

접착 술식(II군) 그리고 프라이머를 접착 레진과 합친 one-step 술식(III군)을 사용하여 브라켓 부착에 걸리는 시간과 함께 전단 접착 강도를 비교하여 평가한 것으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

기존의 산부식 레진 접착 술식(I군)에서 평균 14.69 MPa로 가장 높은 전단 접착 강도를 보였으며, 다른 실험군(II군, III군)과 유의한 차이가 존재하였다($p < 0.05$). 다음으로는 실험군 중 프라이머를 접착 레진과 합친 one-step 술식(III군)에서 평균 12.21 MPa, 자가 산부식 접착 술식(II군)에서 평균 11.21 MPa 순으로 높은 전단 접착 강도를 보였으며, II군과 III군 사이에 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$). 접착면 파절 형태를 관찰하였을 때, ARI 지수는 I군에서 평균 2.1로 가장 높았으며, II군이 평균 1.6으로 가장 낮게 측정 되었다. 그러나 모든 군에서 ARI 지수 사이에 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).

Acknowledgments

The present research was conducted by the research fund of Dankook University in 2021.

Conflicts of Interest

The authors have no potential conflicts of interest to disclose.

References

1. Reynolds IR : A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod*, 2:171-178, 1975.
2. Reynolds IR, Von Fraunhofer JA : Direct bonding of orthodontic attachments to teeth: The relation of adhesive bond strength to gauze mesh size. *Br J Orthod*, 3:91-95, 1976.
3. Buonocore MG : A Simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*, 34:849-853, 1955.
4. McCarthy MF, Hondrum SO : Mechanical and bond strength properties of light-cured and chemically cured glass ionomer cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 105:135-141, 1994.

5. Proffit WR, Fields Jr HW, Sarver DM : Contemporary Orthodontics, 3rd ed. Mosby, St. Louis, 2000.
6. Retief DH, Sadowsky PL : Clinical experience with the acid-etch technique in orthodontics. *Am J Orthod*, 68:645-654, 1975.
7. Kaban LB, Needleman HL, Hertzberg J : Idiopathic failure of eruption of permanent molar teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 42:155-163, 1976.
8. Nielsen IL, Prydso U, Winkler T : Direct bonding on impacted teeth. *Am J Orthod*, 68:666-670, 1975.
9. Oonsombat C, Bishara SE, Ajlouni R : The effect of blood contamination on the shear bond strength of orthodontic brackets with the use of a new self-etch primer. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 123:547-550, 2003.
10. Shin JS, Kim JS : A study of shear bond strength of orthodontic bracket under blood-contaminated conditions. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 32:191-199, 2005.
11. 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 Dentofacial Orthop*, 119:621-624, 2001.
12. Bhattacharjee D, Sharma K, Sahu R, Neha K, Kumari A, Rai A : Comparative Evaluation of shear bond strength of brackets bonded with self etch primer/adhesive and conventional etch/primer and adhesive system. *J Pharm Bioallied Sci*, 13(Suppl 2): S1168-S1173, 2021.
13. Bishara SE, Ajlouni R, Laffoon JF, Warren JJ : Comparison of shear bond strength of two self-etch primer/adhesive systems. *Angle Orthod*, 76:123-126, 2006.
14. Moninuola AE, Da Costa OO, Isiekwe MC : A review of orthodontic bond failure using a chemical cure adhesive. *Odontostomatol Trop*, 33:35-40, 2010.
15. Hadrous R, Bouserhal J, Osman E : Evaluation of shear bond strength of orthodontic molar tubes bonded using hydrophilic primers: An in vitro study. *Int Orthod*, 17:461-468, 2019.
16. Yoshiyama M, Matsuo T, Ebisu S, Pashley D : Regional bond strengths of self-etching/self-priming adhesive systems. *J Dent*, 26:609-616, 1998.
17. Ok U, Aksakalli S, Eren E, Kechagia N : Single-component orthodontic adhesives: comparison of the clinical and in vitro performance. *Clin Oral Investig*, 25: 3987-3999, 2021.
18. Shapinko Y, Eleftheriadi I, Brosh T, Adler-Abramovich L, Davidovitch M, Sella-Tunis T, Sarig R, Shpack N : Evaluation of an orthodontic adhesive with combined primer and composite. *Open J Stomatol*, 8:205-216, 2018.
19. Artun J, Bergland S : Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod*, 85:333-340, 1984.
20. Coreil MN, McInnes-Ledoux P, Ledoux WR, Weinberg R : Shear bond strength of four orthodontic bonding systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 97:126-129, 1990.
21. Turk T, Elekdag-Turk S, Isci D : Effects of self-etching primer on shear bond strength of orthodontic brackets at different debond times. *Angle Orthod*, 77:108-112, 2007.
22. Barkmeier WW, Los SA, Triolo Jr PT : Bond strengths and SEM evaluation of clearfil liner bond 2. *Am J Dent*, 8:289-293, 1995.
23. Hayakawa T, Kikutake K, Nemoto K : Influence of self-etching primer treatment on the adhesion of resin composite to polished dentin and enamel. *Dent Mater*, 14:99-105, 1998.
24. Yamada R, Hayakawa T, Kasai K : Effect of using self-etching primer for bonding orthodontic brackets. *Angle Orthod*, 72:558-564, 2002.
25. Fritz UB, Diedrich P, Finger WJ : Self-etching primers - an alternative to the conventional acid etch technique? *J Orofac Orthop*, 62:238-245, 2001.
26. Meehan MP, Foley TF, Mamandras AH : A comparison of the shear bond strengths of two glass ionomer cements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 115:125-132, 1999.
27. Retief DH : Failure at the dental adhesive - etched enamel interface. *J Oral Rehabil*, 1:265-284, 1974.
28. Bishara SE, Olsen ME, Damon P, Jakobsen JR : Evaluation of a new light-cured orthodontic bonding adhesive. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 114:80-87, 1998.

29. Rotta M, Bresciani P, Moura SK, Grande RHM, Hilgert LA, Baratieri LN, Loguercio AD, Reis A : Effects of phosphoric acid pretreatment and substitution of bonding resin on bonding effectiveness of self-etching systems to enamel. *J Adhes Dent*, 9:537-545, 2007.
30. Faltermeier A, Behr M, Müssig D : A comparative evaluation of bracket bonding with 1-, 2-, and 3-component adhesive systems. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 132:144.E1-144.E5, 2007.
31. Ahmed T, Rahman NA, Alam MK : Assessment of in vivo bond strength studies of the orthodontic bracket-adhesive system: A systematic review. *Eur J Dent*, 12:602-609, 2018.
32. Tanaka E, Watanabe M, Nagaoka K, Yamaguchi K, Tanne K : Orthodontic traction of an impacted maxillary central incisor. *J Clin Orthod*, 35:375-378, 2001.
33. Cuoghi OA, Bertoz FA, De Mendonça MR, Santos EC, An TL : Extrusion and alignment of an impacted tooth using removable appliances. *J Clin Orthod*, 36:379-383, 2002.
34. Arhun N, Arman A, Sesen C, Karabulut E, Korkmaz Y, Gokalp S : Shear bond strength of orthodontic brackets with 3 self-etch adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 129:547-550, 2006.

수종의 교정용 브라켓 접착 레진의 전단 강도 평가

함영준 · 한미란

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

치과에서 사용하는 재료들의 물성의 발달로 인하여 브라켓과 치아 사이의 결합 능력도 크게 향상되었다. 그러나 소아치과 영역에서와 같이 환자의 협조를 기대하기 어렵거나, 수분 격리가 제대로 이루어지지 않을 경우 기대하는 효과에 미치지 못하는 결합강도를 보여 줄 수 있다. 본 연구의 목적은 세 가지의 접착 술식을 비교하여 브라켓의 전단 접착 강도를 평가하고, 임상적으로 유의한 차이가 존재하는지 비교하는 것이다. 우식증이나 수복물이 없는 상, 하악 소구치 60개 치아를 대상으로 하였다. Group I은 대조군으로서 기존의 3 step 접착 방식에 따라 브라켓을 부착하였고, Group II는 self-etching primer system을 이용하여 부착하였다. Group III는 self-priming adhesive를 이용하여 브라켓을 부착하였다. 각 group의 전단 결합 강도를 측정하고 접착제 잔류지수(ARI)를 기록하였다. 각 group I, II, III의 평균 전단 결합 강도는 14.69 MPa, 11.21 MPa 그리고 12.21 MPa로 측정되었다. Group I과 II, group I과 III에서만 유의한 차이가 존재하였으며($p < 0.05$), ARI 값은 모든 group에서 유의한 차이가 존재하지 않았다. [J Korean Acad Pediatr Dent 2022;49(3):264-273]

원고접수일 2022년 4월 5일
 원고최종수정일 2022년 5월 13일
 원고채택일 2022년 5월 30일

© 2022 대한소아치과학회
 © 이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아
 저작자표시-비영리 4.0 대한민국
 라이선스에 따라 이용하실 수 있습니다.

교신저자 한미란

(31116) 충남 천안시 동남구 단대로 119 단국대학교 치과대학 소아치과학교실
 Tel: 041-550-0223 / Fax: 041-550-0118 / E-mail: miranee@dankook.ac.kr