

단결정형 세라믹 브라켓의 재접착 시 tribochemical silica coating이 전단접착강도에 미치는 영향

전영미^a · 손우성^b · 강상욱^c

본 연구는 탈락된 세라믹 브라켓을 tribochemical silica coating하고 nano-filled flowable composite resin (Transbond Supreme LV, 3M Unitek, Monrovia, Calif, USA)을 이용하여 재접착하였을 때 교정치료에 충분한 접착강도를 얻을 수 있는지 평가하기 위해 시행하였다. 총 60개의 소구치를 준비하여 다음의 4개 군으로 나누었다: Tribochemical silica coating (TC) + Transbond Supreme LV (LV), TC + Transbond XT (XT), Sandblast treatment (SA) + LV, SA + XT. 재처리된 세라믹 브라켓은 각각의 접착제를 이용하여 치아에 부착하였다. 시편들을 상온의 생리식염수에 1주일간 보관한 뒤 열순환을 시켰다. 만능시험기로 전단접착강도를 측정한 뒤 파절양상을 평가하였다. TC군은 임상적으로 충분한 강도를 보였다(TCLV: 10.82 ± 1.82 MPa, TCXT: 11.50 ± 1.72 MPa). 하지만 SA군은 TC군에 비하여 유의하게 낮은 전단접착강도를 보였다(SALV: 1.23 ± 1.16 MPa, SAXT: 1.76 ± 1.39 MPa, $p < 0.05$). LV군과 XT군의 전단접착강도는 유의한 차이가 없었다. TCLV, TCXT군 모두 시편의 77%가 접착제에서의 파절을 보였고, 각 군당 1개씩의 시편에서 법랑질 파절이 관찰되었다. SA군은 모든 파절이 브라켓과 접착제 계면에서 발생하였다. LV군과 XT군의 탈락양상에는 유의한 차이가 없었다. 이상의 연구 결과에서 보면 nano-filled flowable composite resin과 tribochemical silica coating 처리를 이용하여 세라믹 브라켓을 재접착하면 충분한 전단접착강도를 얻을 수 있다. 단 법랑질 파절의 가능성이 있으므로 탈접착 시 적절한 기구와 기술을 이용해 주의깊게 브라켓을 제거해야 한다. (대치교정지 2010;40(3):184-194)

주요 단어: Tribochemical silica coating, 세라믹 브라켓, 전단접착강도

서론

세라믹 브라켓은 금속 브라켓에 비하여 뛰어난 심미성으로 교정영역에서 널리 사용되고 있다. 특히 최근에 증가하고 있는 성인 환자들은 심미적인 장치에 대한 요구도가 크며, 이에 심미적인 세라믹 브라켓에 대한 수요가 더 커지고 있다.

교정 치료 중에 브라켓이 탈락되어 재접착을 해야하거나 잘못된 부위에 부착함으로써 브라켓을 재위치시켜야 하는 일은 드물지 않게 발생하는 일로,

이때 제거된 브라켓이 손상되지 않았다면 재사용이 가능하다.¹ 기능적인 치료 결과를 위해서 치아에 브라켓을 정확히 부착해야만 하며,² 브라켓 slot에 부여된 처방을 정확히 이용하고 활주역학의 장점을 이용하기 위해서는 브라켓이 부정확하게 부착된 경우 치료 중 재위치시켜야 한다.³ 치료 마무리 단계에서 브라켓이 탈락된 경우 탈락 전의 위치에 정확히 재부착하여야 치료기간이 늘어나지 않는다. 이때 재접착시킨 세라믹 브라켓은 교정 임상에 필요한 최소강도인 6 - 8 MPa⁴를 만족해야 한다. 세라믹 브라켓을 재접착 시 결합 강도에 브라켓의 종류,⁵ 재접착의 횟수,⁶ 브라켓 base의 처리방법^{5,7-10}들이 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 브라켓을 재접착하기 위해서는 브라켓 base의 재처리가 반드시 필요하다. Kew와 Djeng¹은 탈락된 화학적 유지형 세라믹 브라켓 base를 태워 접착제의 잔사를 제거한 후 다시 silane처리를 하는 방법을 소개하였다. 이

^a대학원생, ^b교수, ^c전공의, 부산대학교 치의학전문대학원 치과교정학교실.

교신저자: 강상욱.

경남 양산시 물금읍 범어리 부산대학교치과병원 치과교정과.

055-360-5153; e-mail, daniel.sw.kang@gmail.com.

원고접수일: 2010년 2월 2일 / 원고최종수정일: 2010년 4월 15일 /

원고채택일: 2010년 4월 19일.

DOI: 10.4041/kjod.2010.40.3.184

방법에 의한 연구결과⁷에 따르면 새 브라켓의 접착강도(16.9 MPa)에 비하여 다소 낮은 접착강도(9.1 MPa)가 나왔지만 임상적으로 수용할 수 있다고 하였으나 이 연구는 실제 상황을 고려한 열순환을 하지 않아 이를 실제 임상에 적용하기는 힘들다.^{11,12} 다른 연구^{7,9}에서는 탈락된 브라켓 base를 sandblast 처리한 후 불산(hydrofluoric acid)을 적용하였다. 불산에 의한 산부식은 crystalline과 glassy phases를 차등적으로 부식시켜 porcelain 표면의 거칠기를 증가시킨다.¹³ 그러나 porcelain의 성분 가운데 aluminum oxide의 비율이 높아질수록 화학적 안정성이 높아지기에 불산에 의한 산부식 효과는 떨어진다.¹⁴ 세라믹 브라켓은 aluminum oxide로 제조되므로¹⁵ 불산에 의한 산부식 효과가 감소할 것이다. 접착강도(0.7 - 1.6 MPa)도 유의하게 낮게 나와 임상적으로 추천할 수 없다.⁹ Silanecoupling agent는 임상에서 널리 사용되고 있는 adhesion promoters이다. Silane은 porcelain의 구성 성분 가운데 silica (silicon dioxide)와 반응하여 siloxane link를 형성하게 된다. 세라믹 브라켓은 siloxane link 형성에 필요한 silicon dioxide phase를 포함하고 있지 않다. 따라서 silane을 이용한 화학적 결합 효과는 기대하기 힘들다. 탈락된 세라믹 브라켓 base의 재처리에 silane을 사용하여 접착강도를 측정된 연구 결과들은 연구자들에 따라 다르게 보고되고 있다. Toroglu와 Yaylali¹⁰는 탈락된 세라믹 브라켓 base에 sandblast 처리 후 silane을 적용한 군의 접착강도(10.5 MPa)가 새 브라켓을 부착한 경우(12.0 MPa)보다 낮지만 유의한 차이는 없다고 보고하였다. 반면, Harris 등¹⁶은 탈락된 세라믹 브라켓 base에 silane을 적용하는 것은 접착강도(1.81 MPa)를 증가시키지 못한다고 보고하였다. 제거된 브라켓 base를 sandblast 처리하는 것은 잔여 접착제의 제거뿐 아니라 접착강도를 증가시키기 위해 표면을 거칠게 할 수 있다고 알려져 있다.¹⁷ Chung 등⁹은 탈락된 세라믹 브라켓의 base에 sandblast 처리만 한 군(2.97 MPa)은 새 브라켓(15.66 MPa)에 비하여 현저히 낮은 전단접착강도를 보였다고 했다. 따라서 세라믹 브라켓에 접착강도를 증가시키기 위하여 sandblast 처리만 하는 것은 추천되지 않는다.

Silica coating은 다른 치과 영역에서는 많이 사용되어 왔다. 특히 보철 영역에서 aluminum oxide-based¹⁸ 세라믹이나 zirconium oxide-based 세라믹¹⁹과 같은 고강도의 세라믹 재료에 resin 접착제를 적용시키기 위해 사용되고 있다. 화학적으로 silica를 coating 시킨 aluminum oxide particle를 천금속, 귀금

속, titanium 뿐 아니라 composite resin, 세라믹 표면에 분사하여 micromechanical retention과 chemical adhesion을 얻을 수 있다.²⁰ Particle들이 부착부의 표면에 반응성 silica 층을 형성하고, 이 층과 composite resin의 화학적인 결합을 위해 silane을 적용하여야 한다.¹⁰ Toroglu와 Yaylali¹⁰는 세라믹 브라켓을 재접착할 때 silica coating과 sandblast 처리의 효과를 비교한 연구를 발표하였는데, 교정용 장치의 부착에 silica coating을 이용한 연구는 드문 실정이다.

브라켓의 접착강도에 영향을 미치는 또 다른 요소는 사용되는 접착제이다. 최근 flowable composite resin이 많은 임상 의들에 의해 교정 임상에 적용되고 있다. Flowable composite resin은 composite resin의 입자 크기는 유지하면서 resin의 기질을 증가시키고 filler의 양을 줄여 점도를 감소시켜 흐름성이 좋고 application tip을 이용하기에 조작성이 좋아 임상에서 사용 범위가 넓다.²¹ 교정 영역에서는 브라켓의 직접 부착에 이용하기도 하고,²² 우수한 흐름성과 낮은 점도를 이용하여 간접 부착 술식에 사용하기도 한다.²³ Flowable composite resin을 이용하여 브라켓을 접착한 뒤 접착강도를 측정된 기존의 연구^{22,24-27}에서는 금속 브라켓만을 이용하였으며 conventional composite resin과 접착강도를 비교한 결과도 연구 간에 차이가 있었다. 일반적으로 filler를 첨가함으로써 composite resin의 기계적 성질은 향상된다. Flowable composite resin은 기존의 hybrid composite resin과 같은 크기의 filler를 사용하며 기존의 composite resin에 비하여 filler 함량을 적게 하여 점도를 낮춘 것이다.²² 하지만 최근에 새로운 nano-filled flowable composite resin인 Transbond Supreme LV (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)가 소개되었다. Silica와 zirconia가 filler로 첨가되었으며 Bis-GMA, TEGDMA 그리고 Bis-EMA로 구성되어 있다. Filler의 크기는 5 - 75 nm 사이로 약 65%의 무게비율, 약 55%의 부피비율을 가진다. Filler의 크기가 작아 기존의 flowable composite resin에 비해 많은 양이 첨가될 수 있어 flowable composite resin의 기계적인 성질을 향상시킬 수 있다. 따라서, 향상된 기계적 성질로 교정용 브라켓을 접착 시 충분한 접착 강도를 얻을 수 있을 것이라 예상할 수 있다. 하지만 이 Transbond Supreme LV를 이용한 연구는 드문 실정이며 세라믹 브라켓의 재접착에 flowable composite resin을 이용하여 접착강도를 측정된 연구도 없다.

본 연구는 탈락된 세라믹 브라켓의 base에 silica coating과 silane 처리를 한 뒤 nano-filled flowable

composite resin인 Transbond Supreme LV로 접착하였을때 교정치료에 충분한 접착강도를 얻을 수 있는지 여부를 평가하고자 시행하였다.

연구방법

연구 재료

교정 치료 목적으로 발거된 치아 60개를 모아 생리식염수에 보관하였다. 치아는 균열이나 우식, 수복물이 없는 건전한 치질을 가진 것으로 선택하였다. 각 치아는 치관부의 협측과 설측을 주수 하에 2등분한 뒤 협측 절편을 resin disk (Ortho resin, Dentsply, York, PA, USA)에 포매하였다. 제작된 시편은 탈수를 막기 위해 생리식염수를 이용하여 100% 상대 습도 하에 보관하였다.

실험에 이용한 브라켓은 기계적 유지 형태를 가지는 단결정형 세라믹 브라켓(MISO, HT corp., Ansan, Gyeonggi-do, Korea)이었다. 이전의 실험에¹¹ 사용했던 것들 가운데 modified adhesive remnant index (ARI)²⁸가 1 또는 2이고, 브라켓의 파절이 없는 것들을 선택하여 60개의 세라믹 브라켓을 선택하여 준비하였다 (Fig 1). 사용된 접착제는 광중합형 resin인 Transbond XT adhesive paste (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)와 nano-filled flowable composite resin인 Transbond Supreme LV였다.

시편 처리 및 브라켓의 재접착

60개의 치아 시편의 법랑질은 oil과 불소가 함유되지 않은 pumice와 rubber cup을 이용하여 10초간 세마하였다. 물로 세척하고 oil-free air spray를 이용

하여 건조하였다. 브라켓의 부착 부위를 37% phosphoric acid (Ultra-Etch, Ultradent Product, South Jordan, UT, USA)로 30초간 산부식한 후 물로 충분히 세척하고 oil-free air spray를 이용하여 건조하였다. Transbond XT primer (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)를 산부식된 부위에 제조사의 지시에 따라 도포한 뒤 전체 시편을 브라켓 base 처리 방법과 사용된 접착제의 종류에 따라 4개의 군(각 군당 15개씩)으로 나누었다.

1. Silica coating with 30 μ m silicon dioxide + silane, Transbond Supreme LV paste (TCLV)
2. Silica coating with 30 μ m silicon dioxide + silane, Transbond XT paste (TCXT)
3. Sand blasting with 50 μ m aluminum oxide + silane, Transbond Supreme LV paste (SALV)
4. Sand blasting with 50 μ m aluminum oxide + silane, Transbond XT paste (SAXT)

Silica coating은 intraoral sandblaster (MicroEtcher, Danville engineering, San Ramon CA, USA)를 이용하여 30 μ m silicon dioxide (CoJet sand, 3M ESPE, Seefeld, Germany)를 브라켓 base에 직각으로 10 mm 거리에서 10초간 분사해 시행하였고, 마찬가지로 50 μ m aluminum oxide를 10초간 분사하여 sandblast 처리를 하였다. 네 개의 그룹 모두 처리된 브라켓 base에 silane (ESPE-Sil, 3M ESPE, Seefeld, Germany)을 도포하였고 5분간 건조시켰다. 건조된 브라켓 base에 각각의 접착제를 바른 뒤 브라켓을 치아에 수직으로 압력을 가하면서 부착하였다. 잉여 접착제는 스케일러를 이용하여 제거하였다. Ortholux LED 중합기(3M Unitek, St.Paul, MN, USA)

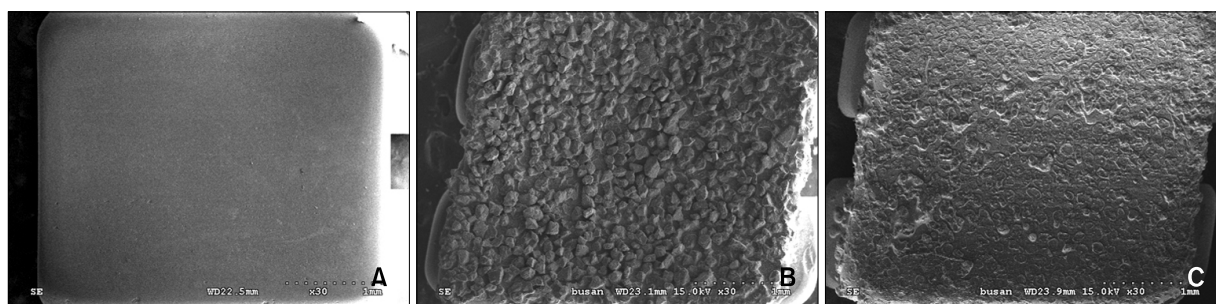


Fig 1. SEM photomicrograph of ceramic bracket base (magnification x 30). **A**, New bracket, silica powders uncoated; **B**, new bracket, silica powders can be seen; **C**, silica powders were removed from the bracket base after debonding (modified ARI score 1).

를 이용하여 브라켓에 수직으로 5초간 중합하였다. 제작된 시편은 상온의 생리식염수에 1주일간 보관 후 5°C와 55°C의 열순환을 500회 시행하였으며 계류 시간은 15초로 설정하였다.

전단접착강도의 측정

전단접착강도는 만능시험기(AIKOH Engineering, Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 시편을 Fig 2와 같이 금속 기둥에 고정시키고 cross-head를 1 mm/min의 속도로 이동시켜 브라켓에 전단력을 가



Fig 2. Application of shear debonding force.

하였으며 접착된 브라켓이 탈락되는 순간의 최고 하중을 측정하였다. 측정된 하중은 브라켓 base의 넓이로 나누어 다시 MPa 단위로 변환하였다.

파절면의 관찰

전단접착강도의 측정 후 입체 현미경(Stemi 2000-C, Carl Zeiss, Gottingen, Germany) 및 주사전자현미경(S4700, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 파절면을 관찰하였고 modified ARI를 기록하였다.

The modified adhesive remnant index (ARI)의 설명

1. 모든접착제가 법랑질 상에 잔존하며 bracket base에는 접착제가 남아 있지 않은 경우
2. 접착제의 90% 이상이 법랑질 상에 남은 경우
3. 접착제의 10% 이상 90% 이하가 법랑질 상에 남은 경우
4. 접착제의 10% 이하만 법랑질 상에 남은 경우
5. 모든 접착제가 bracket base에 남아있고 법랑질 상에는 접착제가 남아 있지 않은 경우

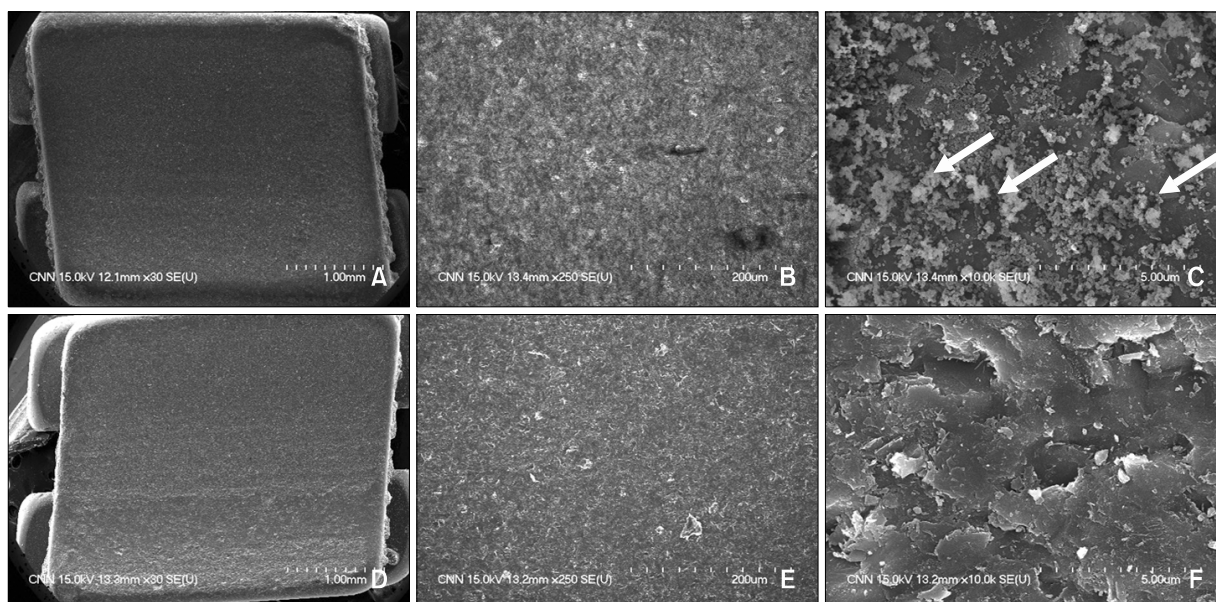


Fig 3. SEM photomicrograph of re-treated ceramic bracket base. A, B, C, Silica coated ceramic bracket. Silica particles can be seen (arrow)(magnification $\times 30$, $\times 250$, $\times 10,000$); D, E, F, sandblasted ceramic bracket (magnification $\times 30$, $\times 250$, $\times 10,000$).

통계처리

SPSS 12.0 for windows (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하여 측정된 값에서 각 군의 평균과 표준편차를 구하였다. 등분산 검정 결과 정규분포를 이루었기에 silica coating 처리의 효과와 사용된 접착제의 종류에 따른 전단접착강도 차이를 보기 위하여 독립표본 *t*-test (independent *t*-test)를 유의수준 0.05에서 이용하였다. Silica coating과 접착제 간의 교호작용 여부를 알아보기 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)도 유의수준 0.05에서 시행하였다. 각 군 간의 modified ARI는 Fisher의 정확 검정법을 통해 유의수준 0.05에서 검정하였다.

연구성적

재처리

Silica coating 처리한 군과 sandblast 처리한 군 모두 재처리 후에 육안으로 보았을 때 base 표면 형태가 매끄러워졌다. 하지만 SEM으로 관찰 시 두 실험군의 표면 양상은 달랐다. 두 실험군 모두 표면이 거칠어졌고 그 양상은 sandblast 처리군이 좀 더 거

칠었다. Silica coating 군의 경우 거칠어진 표면에 silica 입자가 coating되어 있는 것을 육안적으로 확인할 수 있었다 (Fig 3). 또한, energy dispersive X-ray 분석을 한 결과 silica coating군의 표면에서 Si (silicon)이 검출되어 silica coating이 되었음을 알 수 있었다 (Fig 4).

전단접착강도

측정된 각 군의 전단접착강도의 평균과 표준편차, silica coating에 의한 전단접착강도 증가 효과, 그리고 접착제의 종류에 따른 접착강도 차이 여부에 대한 independent *t*-test 결과를 Table 1에 정리하였다. TCLV, TCXT군 모두 silica coating을 시행 시 sandblast 처리를 시행한 것에 비하여 전단접착강도가 유의하게 높았다 ($p < 0.05$). Silica coating 군과 sandblast 처리한 군을 나누어 비교한 결과 접착제의 종류에 따른 유의한 차이는 없었다 ($p > 0.05$). Silica coating과 접착제의 종류 간 교호작용을 알아보기 위해 two-way ANOVA를 하였고 *p*값이 0.849으로 서로 교호작용이 없음을 알 수 있었다 (Table 2).

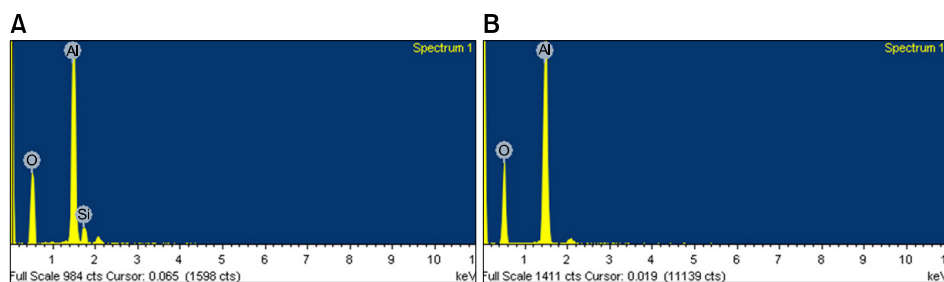


Fig 4. Energy dispersive X-ray analysis. A, Silica coated bracket base surface; B, sandblasted bracket base surface.

Table 1. Comparative mean shear bond strength according to the two surface coating methods and the two types of resin adhesives

	Silica coated (MPa)		Sandblasted (MPa)		<i>t</i>	<i>p</i>
	Mean	SD (n = 13)	Mean	SD (n = 15)		
Transbond Supreme LV	10.82	± 1.82	1.23	± 1.16	17.127	< 0.0001
Transbond XT	11.50	± 1.72	1.76	± 1.39	17.027	< 0.0001
<i>t</i>	-1.049		-1.122			
<i>p</i>	0.303		0.271			

SD, Standard deviation.

Table 2. Two-way analysis of variance (ANOVA) for analysis of reciprocal action between silica coating and adhesive type

	Sum of squares	Df	Mean square	F	p
Model	1,406.249	3	468.75	195.148	< 0.0001
Silica coating (SC)	1,400.700	1	1,400.70	583.133	< 0.0001
Type of adhesive (A)	5.460	1	5.460	2.273	0.137
SC * A	0.088	1	0.09	0.037	0.849

Df, Degree of freedom.

Table 3. Modified adhesive remnant index scores for the groups tested

	N	1	2	3	4	5	BF	EF
TCLV	15	1	1	4	6	1	1	1
TCXT	15	0	0	6	4	3	1	1
SALV	15	15	0	0	0	0	0	0
SAXT	15	15	0	0	0	0	0	0

TCLV, Tribochemical silica coating + Transbond Supreme LV; TCXT, tribochemical silica coating + Transbond XT; SALV, sandblast + Transbond Supreme LV; SAXT, sandblast + Transbond XT; BF, bracket fracture; EF, enamel fracture.

Table 4. Comparison of adhesive remnant index scores of rebonded brackets according to silica coating, and adhesive type

Retreatment method		p
Silica coated	Sandblasted	
TCLV	SALV	< 0.0001
TCXT	SAXT	< 0.0001

Adhesive type		p
Transbond Supreme LV	Transbond XT	
TCLV	TCXT	1.000
SALV	SAXT	-

Same abbreviations as Table 3; -, not applicable.

파절양상

각 실험군의 modified ARI scores를 Table 3, 4에 정리하였다. 접착제에 따른 탈락양상은 차이가 없었다. Silica coating을 한 군과 sandblast 처리한 군을 비교시 탈락양상에 유의한 차이가 있었다 ($p <$

0.001). Silica coating군의 경우 복합적인 탈락 양상을 보였다. TCLV군은 31%는 modified ARI score 3, 46%는 score 4를 보였다. TCXT 군은 46%가 score 3, 31%는 score 4, 23%는 score 5를 보였다. Sandblast 처리군의 경우 모든 시편이 modified ARI score 1을 기록했다. Silica coating 한 군에서 각 접착제당 1개 씩의 enamel fracture와 bracket fracture가 있었다.

고찰

성인 환자의 증가에 따라 교정 임상에서 세라믹 브라켓의 사용 빈도가 증가하였다. 교정 치료 시 브라켓의 탈락이나 브라켓 재위치를 위한 의도적인 제거는 빈번한 일로, 비용-효율 측면에서 브라켓의 재접착을 종종 고려하게 된다.⁵ 하지만 세라믹 브라켓을 재접착하여 접착강도를 알아본 연구는 제한적이며 각 연구마다 브라켓 base의 재처리 방법이 다른 경우가 많았다. Aluminum oxide에 silica coating을 하면 브라켓 base는 micromechanical retention과 chemical adhesion을 얻을 수 있게 된다. 이 연구는 단결정형 세라믹브라켓을 재접착할 때 silica coating의 효과와 silica coating으로 형성되는 브라켓 base의 표면 형상에 대한 nano-filled composite resin의

접착강도를 평가하기 위해 시행되었다.

실험에 이용된 단결정형 세라믹브라켓은 base에 silica powder를 분사한 뒤 고온의 열처리를 통해 silica powder를 고정시켜 기계적인 유지력을 얻는다 (Fig 1A). 이 브라켓은 탈락 시 base에서 silica powder가 제거되면서 파절이 일어나 대부분의 접착제가 치면에 잔존하게 된다.^{5,11} 탈락된 브라켓의 base를 육안적으로 보았을 때는 silica coating한 군과 sandblast 처리한 군 모두 매끄러웠다. 그러나 제조 공정에서 silica powder 분사 과정을 거치지 않은 브라켓 base (Fig 1A)와 SEM으로 비교해보면 두 군 모두 표면이 거칠어졌음을 알 수 있고 sandblast 처리한 군이 좀 더 거친 표면을 보였다. Silica coating 군은 거칠어진 표면에 silica particle이 coating되어 있었다. 하지만 이런 micromechanical retention은 다른 연구^{9,14}에서 밝혀진 바와 같이 그 자체로는 접착강도의 증가를 가져올 수 없다. 따라서 silane을 이용하여 접착강도를 증가시키고자 한 연구^{5,7,9,10,16}들이 있었다. Sung과 Kang⁵은 탈락된 세라믹 브라켓을 재접착 시에 브라켓의 종류, 브라켓의 제거 방법, 브라켓 base의 처리 방법에 따른 전단접착강도의 차이를 연구하였는데 재처리 방법 가운데 브라켓 base를 sandblast 처리 후 silane 처리한 군이 가장 높은 접착강도(26.0 1 - 29.08 MPa, 대조군: 12.38 - 23.85 MPa)를 보였다고 보고하였다. Chung 등⁹은 탈락된 세라믹 브라켓 base의 재처리 방법에 따른 전단접착강도를 비교하여 sandblast 처리 후 silane을 적용한 군(5.94 MPa)은 대조군인 새 브라켓(15.66 MPa)에 비하여 낮은 전단접착강도가 측정되었으며, silane 처리가 재접착된 세라믹 브라켓의 전단접착강도를 유의하게 증가시키지 못한다고 하였다. Harris 등¹⁶도 탈락된 세라믹 브라켓에 silane 처리하는 것(1.81 MPa, 대조군: 12.94 MPa)은 전단접착강도를 증가시키지 못한다고 보고했다. 반면 Gaffey 등⁷은 탈락된 세라믹 브라켓 base에 silane 처리를 하면(12.7 MPa, 대조군: 16.9 MPa) 임상적으로 적합한 전단 접착 강도를 얻을 수 있다고 보고하였다. 하지만 이들 연구^{5,7,9,16}들은 모두 열순환을 하지 않았다. 치아에 부착되어 있는 브라켓의 접착강도에는 온도변화, 외력, 습도, 산도, 치태 등 다양한 요소가 작용한다. 열순환은 다양한 요소 중 구강 내의 온도변화를 재현하기 위해 실험대상을 뜨거운 물과 차가운 물에 반복적으로 담그는 것이다.¹¹ 접착제, 세라믹 브라켓, 그리고 치아 간의 서로 다른 열팽창계수는 재료 내부에 피로를 유발하게 되고 Kang 등¹¹

은 열순환에 의해 전단 접착강도는 감소한다고 보고했다. 따라서 다른 연구에서 측정된 접착강도를 본 연구의 결과와 직접적으로 비교하기는 힘들다. 한편 Toroglu와 Yaylali¹⁰는 탈락된 세라믹 브라켓 base를 재처리하고 silane을 적용하여 접착시킨 후 열순환을 시행한 연구를 발표하였는데 sandblast 처리한 군의 경우 10.5 MPa로 대조군인 새 브라켓 (12.0 MPa)과 비교 시 낮지만 유의한 차이는 없다고 하였으며 silane을 적용한 각 연구마다 다른 결과가 나오는 이유로 다음의 3가지를 언급하였다. 1) Silane의 용매가 쉽게 휘발하는 성질을 가지고 있기 때문에 성질이 변한 silane을 사용했을 가능성. 2) 제조사에 따라 silane의 화학구조가 다를 수 있고 (예: γ -methacryloxy propyltrimethoxy silane 또는 3-trialkoxysilylpropyl methacrylate), silane을 특정 bonding-agent와 섞어 사용해야 하는 경우(예: Clearfil Porcelain Bond Activator와 Clearfil SE Bond; Kuraray, Osaka, Japan).²⁹ 3) 습도에 예민한 silane의 특성. 따라서 본 연구에서는 브라켓의 접착에 사용한 접착제와 같은 제조사의 silane을 사용하였으며, silane의 적용 후 제조사에서 권장하는 데로 5분간 건조시켰으며 치아에 접착 시 시편을 충분히 건조시킨 후 재접착하였다. 하지만 본 연구 결과, SALV 군은 1.23 ± 1.16 MPa, SAXT군은 1.76 ± 1.39 MPa로 교정용 브라켓에 요구되는 6 - 8 MPa에 미치지 못하는 낮은 전단접착강도를 보였다. 이는 본 연구와 실험 조건이 유사했던 Toroglu와 Yaylali¹⁰의 연구 결과와 큰 차이를 보이는 점이다. SALV군, SAXT군 모두 modified ARI score 1로 브라켓 base와 접착제 사이에서 파절이 일어났다. 이는 접착제와 법랑질 간의 접착강도가 접착제와 브라켓의 접착강도보다 강하다는 것을 의미하며 탈접착 시에 법랑질의 파절을 막을 수 있다는 점에서는 바람직하다 할 수 있다. Sandblast 처리한 군에서 silane 처리를 했음에도 낮은 전단접착강도를 보이는 것은 브라켓의 성분과 관련이 있을 것이다. Silane은 porcelain의 silica와 화학적으로 결합하여 siloxane link를 형성하는데 앞서 설명했듯이 세라믹 브라켓은 aluminum oxide로 제작된다. 따라서 silane은 세라믹 브라켓과 siloxane link를 형성할 수 없어 sandblast 처리한 군이 낮은 전단 접착강도를 보이는 것으로 생각된다.

TCLV군은 10.82 ± 1.82 MPa, TCXT군은 11.50 ± 1.72 MPa으로 임상적으로 이용하기에 충분한 전단 접착강도가 측정되었다. 이는 Toroglu와 Yaylali¹⁰의 연구 결과(Silica coating 후 silane 처리: 12.7 MPa)와

유사하다. 재처리 후 브라켓 base를 SEM으로 관찰 시 silica particle이 브라켓 base에 coating된 것을 볼 수 있고, energy dispersive X-ray analysis한 결과 silica coating군에서 Si (silicon)이 검출되었다. 이 silica-modified surface는 silane과 반응하여 composite resin과 화학적으로 결합할 수 있다.¹⁹ Silica coating 군은 복합적인 탈락 양상을 보였다. TCLV군은 약 77%가 modified ARI score 3 또는 4를 보였고 TCXT군은 약 77%가 score 3 또는 4, 나머지 23%는 score 5를 기록하였다. 이는 50% 이상의 접착제가 범랑질면에 잔존한다는 것을 의미한다. 이런 경우 브라켓이 탈락 시에 stress가 접착제와 범랑질 사이에 집중되면서 범랑질 파절의 위험성이 증가한다. 실제 본 연구에서도 TCLV군에서 1개, TCXT군에서 1개씩 범랑질의 파절이 일어났다. Kitahara-Céia 등³⁰은 화학적 유지형 세라믹 브라켓의 제거 후 범랑질의 손상이 polymer base 브라켓이나 기계적 유지형 세라믹 브라켓에 비하여 유의하게 많았다고 보고하였다. 그러나 Habibi 등³¹은 금속 브라켓과 기계적 유지형 세라믹 브라켓, 화학적 유지형 세라믹 브라켓의 탈락 강도와 탈접착후 범랑질의 손상 여부에 대하여 보고하였는데 세 그룹간 범랑질 손상 여부에 유의한 차이가 없었고 탈락 강도는 금속브라켓 군이 유의하게 높았으며 기계적 유지형 세라믹 브라켓과 화학적 유지형 세라믹 브라켓 간에는 유의한 차이가 없었다. 탈접착 시 사용했던 기구가 두 연구간에 차이를 유발한 것으로 생각된다. Kitahara-Céia 등³⁰은 Weingart plier나 Howes plier를 이용하여 브라켓을 squeezing 하였으나 Habibi 등³¹은 sharp-edged bracket removal plier를 이용하였다. Sharp-edged bracket removal plier의 얇은 blade는 상대적으로 작은 contact area를 형성하고 이는 접착제의 파절을 일으키기에 충분하다.³² 한편 Andreasen과 Stieg³³는 탈접착 시 peeling tensile pull technique을 추천하였는데, 이 technique은 composite의 변연부에 stress를 유발하고,³⁴ 브라켓은 낮은 힘에도 제거될 것이다.³⁵ Testing machine에 의해 브라켓에 적용되는 전단력은 실제 임상에서 수조작으로 유의하게 브라켓을 제거할 때 발생하는 힘과 그 양상이 다르다.¹⁴ 또한 대부분의 경우 재접착된 치아의 접착강도는 처음 부착하였을 때의 접착강도보다 약하다.^{36,37} 따라서 적절한 기구와 technique으로 재처리된 세라믹 브라켓을 제거한다면 범랑질의 손상은 문제가 되지 않을 것이다.

Flowable composite resin은 흐름성과 조작성이 좋

아 임상에 광범위하고 사용되고 있다. Flowable composite resin을 교정용 접착제로 사용한 연구^{22,24,26}가 여러 연구자들에 의해 보고되었다. 하지만 연구마다 flowable composite resin과 conventional composite resin을 비교 시 다른 결과들을 보고하고 있다. Flowable composite resin의 전단접착강도가 대조군에 비해 유의하게 낮아 교정용 접착제로 사용할 수 없다고 주장한 연구²⁴가 있고 대조군보다 낮은 전단접착강도를 보이지만 임상적으로 수용할 수 있다고 보고한 연구²⁵도 있다. 반면, flowable composite resin이 대조군과 유사한 전단접착강도를 보였거나 더 높은 전단접착강도를 보였다고 보고한 연구^{22,26,27}들도 있다. 이들 연구들은 모두 대조군으로 Transbond XT를 사용했다. 각 연구마다 실험 설계가 다르기에 전단접착강도를 직접적으로 비교할 수는 없으나 대조군과 비교한 결과가 차이를 보이는 것은 사용한 flowable composite resin의 종류가 달랐기 때문이라고 생각된다. 본 연구에서는 기존의 flowable composite resin에 비해 작은 크기의 filler를 사용한 flowable composite resin을 사용하였는데, silica coating 군과 sandblast 군 모두 Transbond XT를 사용한 대조군과 유의한 차이를 보이지 않았다. Ostertag 등³⁸은 같은 크기의 filler를 이용해 접착강도에 대한 filler concentration의 영향을 보고하였는데, 연구 결과 접착제의 filler concentration이 증가할수록 전단, 비틀림접착 강도도 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구에 사용한 Transbond Supreme LV는 기존의 flowable composite resin에 첨가된 filler보다 크기가 작은 nano-filled flowable composite resin이다. 작은 크기의 filler를 이용하기에 기존의 flowable composite resin보다 낮은 점조도를 유지하면서도 많은 양의 filler를 첨가시킬 수 있다.²² Filler의 양이 증가되었기에 대조군과 동등한 전단접착강도를 나타낸 것으로 보인다. 하지만 같은 실험 조건하에서 진행된 것이 아니기에 각 flowable composite resin끼리 비교하는 추가적인 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 결과 탈락된 세라믹 브라켓을 silica coating 처리 시 충분한 전단접착강도를 보였으나 이는 실험실적 연구결과이다. 열순환을 하였다고는 하나 장기간에 걸친 온도 변화, 습도, 저작력 등에 의한 접착강도의 감소가 고려되지 않았기 때문에 한계가 있다. 특히 silica coating 처리법은 장기간(42일 - 2년)에 걸쳐 aging한 결과 접착강도가 유의하게 감소하였다는 보고³⁹가 있어 추가적인 연구가 필요하다.

결론

본 연구는 탈락된 세라믹 브라켓을 silica coating 과 silane 처리를 한 뒤 nano-filled flowable composite resin으로 접착하였을 때 교정치료를 위한 충분한 접착강도를 얻을 수 있는지 평가하기 위해 시행하였고, 그 결과를 바탕으로 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 탈락된 세라믹 브라켓 base를 sandblasting 한 뒤 silane 처리하는 것으로는 적절한 전단접착강도를 얻을 수 없었다.
2. 탈락된 세라믹 브라켓 base를 silica coating 한 뒤 silane 처리한 결과 적절한 전단접착강도를 얻을 수 있었다.
3. Conventional composite resin (Transbond XT)과 nano-filled flowable composite resin (Transbond Supreme LV) 사이에 전단접착강도의 유의한 차이는 없었다.
4. 재접착을 위한 브라켓 base의 처리 방법과 사용한 접착제 간의 교호 작용은 없었다.

참고문헌

1. Kew KK, Djeng SK. Recycling ceramic brackets. *J Clin Orthod* 1990;24:44-7.
2. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod* 1972;62:296-309.
3. McLaughlin RP, Bennett JC. Finishing and detailing with a preadjusted appliance system. *J Clin Orthod* 1991;25:251-64.
4. Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod* 1975;2:171-8.
5. Sung JY, Kang KH. Shear bond strength of rebonded ceramic brackets. *Korean J Orthod* 2009;39:234-47.
6. Martina R, Laino A, Cacciafesta V, Cantiello P. Recycling effects on ceramic brackets: a dimensional, weight and shear bond strength analysis. *Eur J Orthod* 1997;19:629-36.
7. Gaffey PG, Major PW, Glover K, Grace M, Koehler JR. Shear/peel bond strength of repositioned ceramic brackets. *Angle Orthod* 1995;65:351-7.
8. Yim JB, Lee JW, Cha KS. Shear bond strength of recycled orthodontic brackets treated by variable reconditioning methods. *Korean J Orthod* 1996;26:569-79.
9. Chung CH, Friedman SD, Mante FK. Shear bond strength of rebonded mechanically retentive ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:282-7.
10. Toroglu MS, Yaylali S. Effects of sandblasting and silica coating on the bond strength of rebonded mechanically retentive ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:181e1-7.
11. Kang SW, Son WS, Park SB, Kim SS. Effect of thermocycling on shear bond strength and mode of failure of ceramic orthodontic brackets bonded to different porcelain restorations. *Korean J Orthod* 2009;39:225-33.
12. Zachrisson BU, Büyükyılmaz T. Bonding in orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig WL editor. *Orthodontics: current principles & techniques*. 4th ed. St Louis: Mosby; 2005. p. 579-659.
13. Shahverdi S, Canay S, Sahin E, Bilge A. Effects of different surface treatment methods on the bond strength of composite resin to porcelain. *J Oral Rehabil* 1998;25:699-705.
14. Zachrisson YO, Zachrisson BU, Büyükyılmaz T. Surface preparation for orthodontic bonding to porcelain. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:420-30.
15. Birnie D. Ceramic brackets. *Br J Orthod* 1990;17:71-4.
16. Harris AM, Joseph VP, Rossouw PE. Shear peel bond strengths of esthetic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1992;102:215-9.
17. Calamia JR. Etched porcelain veneers: the current state of the art. *Quintessence Int* 1985;16:5-12.
18. Kern M, Thompson VP. Bonding to glass infiltrated alumina ceramic: adhesive methods and their durability. *J Prosthet Dent* 1995;73:240-9.
19. Amaral R, Ozcan M, Bottino MA, Valandro LF. Microtensile bond strength of a resin cement to glass infiltrated zirconia-reinforced ceramic: the effect of surface conditioning. *Dent Mater* 2006;22:283-90.
20. Matinlinna JP, Vallittu PK. Silane based concepts on bonding resin composite to metals. *J Contemp Dent Pract* 2007;8:1-8.
21. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ Jr, Stamatiades P, Wilkerson M. A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent Assoc* 1998;129:567-77.
22. D'Attilio M, Traini T, Di Iorio D, Varvara G, Festa F, Tecco S. Shear bond strength, bond failure, and scanning electron microscopy analysis of a new flowable composite for orthodontic use. *Angle Orthod* 2005;75:410-5.
23. Miles PG. Indirect bonding with a flowable light-cured adhesive. *J Clin Orthod* 2002;36:646-7.
24. Uysal T, Sari Z, Demir A. Are the flowable composites suitable for orthodontic bracket bonding? *Angle Orthod* 2004;74:697-702.
25. Ryou DB, Park HS, Kim KH, Kwon TY. Use of flowable composites for orthodontic bracket bonding. *Angle Orthod* 2008;78:1105-9.
26. Tecco S, Traini T, Caputi S, Festa F, de Luca V, D'Attilio M. A new one-step dental flowable composite for orthodontic use: an in vitro bond strength study. *Angle Orthod* 2005;75:672-7.
27. Bishara SE, Ajlouni R, Soliman MM, Oonsombat C, Laffoon JF, Warren J. Evaluation of a new nano-filled restorative material for bonding orthodontic brackets. *World J Orthod* 2007;8:8-12.
28. Bishara SE, VonWald L, Olsen ME, Laffoon JF. Effect of time on the shear bond strength of glass ionomer and composite orthodontic adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1999;116:616-20.
29. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent* 2003;89:268-74.
30. Kitahara-Céia FM, Mucha JN, Marques dos Santos PA.

- Assessment of enamel damage after removal of ceramic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;134:548-55.
31. Habibi M, Nik TH, Hooshmand T. Comparison of debonding characteristics of metal and ceramic orthodontic brackets to enamel: an in-vitro study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007;132:675-9.
 32. Bishara SE, Fehr DE, Jakobsen JR. A comparative study of the debonding strengths of different ceramic brackets, enamel conditioners, and adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993;104:170-9.
 33. Andreasen GF, Stieg MA. Bonding and debonding brackets to porcelain and gold. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988; 93:341-5.
 34. Katona TR, Moore BK. The effects of load misalignment on tensile load testing of direct bonded orthodontic brackets--a finite element model. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994; 105:543-51.
 35. Oilo G. Bond strength testing--what does it mean? *Int Dent J* 1993;43:492-8.
 36. Bishara SE, VonWald L, Laffoon JF, Warren JJ. The effect of repeated bonding on the shear bond strength of a composite resin orthodontic adhesive. *Angle Orthod* 2000;70:435-41.
 37. Bishara SE, Laffoon JF, VonWald L, Warren JJ. The effect of repeated bonding on the shear bond strength of different orthodontic adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;121: 521-5.
 38. Ostertag AJ, Dhuru VB, Ferguson DJ, Meyer RA Jr. Shear, torsional, and tensile bond strengths of ceramic brackets using three adhesive filler concentrations. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:251-8.
 39. Smith RM, Barrett MG, Gardner WA, Marshall T, McLean MJ, McMichael DW, et al. Effect of environmental stress and surface treatment on resin-to-metal bonding. *Am J Dent* 1993;6:111-5.

Effect of tribochemical silica coating on the shear bond strength of rebonded monocrystalline ceramic brackets

Young-Mi Jeon, DDS, MSD,^a Woo-Sung Son, DDS, MSD, PhD,^b Sang-Wook Kang, DDS, MSD^c

Objective: The purpose of this study was to investigate the effect of tribochemical silica coating on the shear bond strength (SBS) of rebonded ceramic brackets using nano-filled flowable composite resin. **Methods:** A total of 60 premolars were prepared and divided into 4 equal groups as follows: Tribochemical silica coating (TC) + Transbond XT (XT), TC + Transbond supreme LV (LV), Sandblast treatment (SA) + XT, SA + LV. Treated ceramic brackets were rebonded on the premolars using each adhesive. All samples were tested in shear mode on a universal testing machine. **Results:** SBS of silica coated groups were high enough for clinical usage (TCLV: 10.82 ± 1.82 MPa, TCXT: 11.50 ± 1.72 MPa). But, SBS of the sandblast treated groups had significantly lower values than the tribochemical silica coated groups (SALV, 1.23 ± 1.16 MPa; SAXT, 1.76 ± 1.39 MPa; $p < 0.05$). There was no difference between the shear bond strength by type of adhesive. In the silica coated groups, 77% of the samples showed bonding failure in the adhesive. In the sandblast treated group, all bonding failures occurred at the bracket-adhesive interface. **Conclusions:** The result of this study suggest that newly introduced nano-filled flowable composite resin and tribochemical silica coating application on debonded ceramic bracket bases can produce appropriate bond strengths for orthodontic bonding. (*Korean J Orthod* 2010;40(3):184-194)

Key words: Tribochemical silica coating, Ceramic bracket, Shear bond strength

^aGraduate Student, ^bProfessor, ^cResident, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Pusan National University.

Corresponding author: **Sang-Wook Kang.**

Department of Orthodontics, Pusan National University Hospital, Beomeo-ri, Mulgeum-eup, Yangsan 626-770, Korea.
+82 55 360 5153; e-mail, daniel.sw.kang@gmail.com.

Received February 2, 2010; Last Revision April 15, 2010; Accepted April 19, 2010.