

수 종의 도재 수복물에 부착된 세라믹 브라켓의 전단접착강도와 파절양상에 열순환이 미치는 영향

강상욱^a · 손우성^b · 박수병^b · 김성식^c

본 연구는 도재 수복물에 부착된 단결정 세라믹 브라켓의 전단접착강도와 파절양상에 열순환과 도재 수복물의 종류가 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 시행되었다. 도재전장관에 사용되는 재료들 중 Ceramco 3, Empress II, Zi-ceram/Vintage ZR 세 가지를 선택하여 각 20개씩 총 60개의 시편을 원반형태(두께 2 mm, 직경 12 mm)로 제작하였다. 동일한 접착 술식으로 세라믹 브라켓을 부착한 후 열순환을 시행한 실험군과 시행하지 않은 대조군, 두 군으로 나누어 전단접착강도와 파절양상을 평가하였다. 열순환을 하지 않은 대조군의 전단접착강도는 Ceramco 3는 7.06 ± 1.76 MPa, Empress II는 7.55 ± 2.38 MPa 그리고 Zi-ceram/Vintage ZR은 7.19 ± 1.38 MPa로 추천되는 전단접착강도(6 - 8 MPa)에 적합한 강도를 보였으나 열순환을 시행한 실험군은 전단접착강도가 유의하게 감소하였으며($p < 0.05$) 열순환 후의 전단접착강도는 Ceramco 3는 4.88 ± 1.00 MPa, Empress II는 5.46 ± 1.35 MPa 그리고 Zi-ceram/Vintage ZR은 4.84 ± 1.01 MPa로 임상적으로 추천되는 것보다 다소 낮은 값을 보였다. 도재의 종류에 따른 전단접착강도에는 유의한 차이가 없었다. 파절양상은 대조군에서는 모두 브라켓 기저부와 접착제 사이에서 파절이 일어났으며, 실험군에서는 2개의 시편(Ceramco 3과 Zi-ceram/Vintage ZR군에서 각 1개)만이 접착제나 파절을 보였으며 28개의 시편은 브라켓 기저부와 접착제 사이에서 파절이 일어났다. 이상의 연구 결과에서 보았을 때 도재 수복물의 종류에 따른 차이는 없었으나 열순환에 의해 전단접착강도가 약화되므로 실제 임상에서 고려되어야 할 것이다. (대치교정지 2009;39(4):225-233)

주요 단어: 열순환, 세라믹 브라켓, 전단접착강도

서론

최근에 증가하고 있는 성인 환자들은 심미적인 장치에 대한 요구도가 크며, 이런 요구를 만족시키기 위하여 세라믹 브라켓이 널리 사용되고 있다.¹ 성인의 경우 구강 내에 보철 수복이 되어 있는 경우가 흔히 있는데 특히 상악 전치부의 전부도재관을 포함한 여러 심미보철물들은 대부분의 교정의들이 행하는 직접접착술식을 곤란하게 하고 있다.²

세라믹 브라켓은 제작 방법에 따라 단결정형(monocrystalline), 다결정형(polycrystalline)으로 나뉘며, 유지력을 얻는 방법에 따라 접착면에 요철 또는 undercut을 부여하여 기계적인 결합을 얻는 경우와 silane을 도포하여 화학적 결합을 얻는 경우로 분류할 수 있다.³ 접착강도는 화학적 결합을 하는 경우가 기계적인 결합을 하는 경우보다 높으며 접착강도가 지나치게 높은 경우에는 법랑질과 접착제 사이에서 파절이 일어나면서 법랑질 파절의 빈도가 증가하는 것으로 알려져 있다.⁴ 따라서 적절한 접착강도를 보이며 법랑질 파절의 빈도는 낮은 기계적인 결합 방식이 널리 추천되고 있다.⁵

도재 수복물에 교정용 장치를 부착하는 방법에 대해서 많은 연구가 있었다. Sand paper, stone point, diamond bur, sandblast 등과 같은 물리적인 방법을 이용하여 도재 표면의 거칠기를 증가시켜 기계적인 유지력을 증가시키는 방법,^{6,9} 불산(hydrofluoric acid, HF)이나 산성불화인산염(acidulated phosphate fluo-

^a대학원생, ^b교수, ^c부교수, 부산대학교 치의학전문대학원 치과교정학교실.
교신저자: 손우성.

부산시 서구 구덕로 305 부산대학교병원 치과교정과.

051-240-7445; e-mail, wsson@pusan.ac.kr.

원고접수일: 2009년 1월 29일 / 원고최종수정일: 2009년 5월 25일 /

원고채택일: 2009년 5월 30일.

DOI: 10.4041/kjod.2009.39.4.225

*이 논문은 부산대학교 자유과제 학술 연구비에 의하여 연구되었음.

ride, APF), 인산(phosphoric acid) 등을 이용하여 도재 표면의 거칠기를 증가시키는 방법,^{6,10} 그리고 도재 primer인 silane를 이용하여 접착강도를 증가시키는 방법들이 소개되었다.^{8,10-13} 그러나 Hayakawa 등¹⁴은 silane을 사용할 경우 과도한 접착강도로 도재의 표면 파열이 우려된다는 점을 지적하였으며 Zachrisson과 Büyükyilmaz³는 도재 표면을 sandblasting하여 deglazing하고 9.6% 불산을 이용해 2분간 산부식시킨 뒤 개시제와 접착제를 사용하는 방법을 추천하였다.

여러 선학들^{12,13,15-17}이 도재 수복물에 세라믹 브라켓을 부착하여 전단접착강도를 측정하였지만 이들 가운데 Zelos 등¹³의 연구를 제외하면 다른 조건을 동일시하고 실제 임상적인 상황에 유사하게 구강 내 온도 변화를 재현하는 열순환을 적용한 것은 없다. 도재, 접착제, 금속 간의 열팽창 계수의 차이는 응력을 야기하고 이는 피로를 유발한다.¹⁸ 따라서 열순환을 하지 않은 실험실적 연구결과는 실제 임상과 다를 수 있다. 이에 본 연구는 도재관 수복에 사용되는 여러 도재를 대상으로 기계적 유지 형태의 단결정형 세라믹 브라켓을 부착하여 열순환 시킨 군과 그렇지 않은 군의 전단접착강도를 비교하고 파절양상을 알아보고자 시행되었다.

연구방법

연구재료

실험에 사용된 세라믹 브라켓(상악 중절치용, MISO, HT corp., Ansan, Gyeonggido, Korea)은 silica coated base를 가진 단결정형 세라믹으로 브라켓 기저부에 silica particle를 분사한 뒤 고온의 열처리를 통해 particle를 고정시켜 기계적인 유지력을 얻는다 (Fig 1). 브라켓을 부착하기 위한 도재 시편은 conventional feldspathic porcelain의 한 종류인 Ceramco 3 (Dentsply, York, PA, USA)과 glass ceramic의 한 종류인 Empress II (Ivoclar, Ellwangen, Jagst, Germany), 심미성과 생체 친화성으로 최근 사용이 증가하고 있는 Zirconia의 한 종류인 Zi-ceram (Adens, Seoul, Korea)를 이용하여 각 군별로 20개씩, 총 60개를 제작하였다. 시편은 직경 12 mm, 두께 2 mm의 원반 형태로 제작하였으며 Zi-ceram군은 시편 상면에 0.5 mm 두께로 zirconia core 전용 도재인 Vintage ZR (SHOFU, Kyoto, Japan)을 축성하였다. Adhesive system은 Transbond XT primer, Transbond XT Adhesive

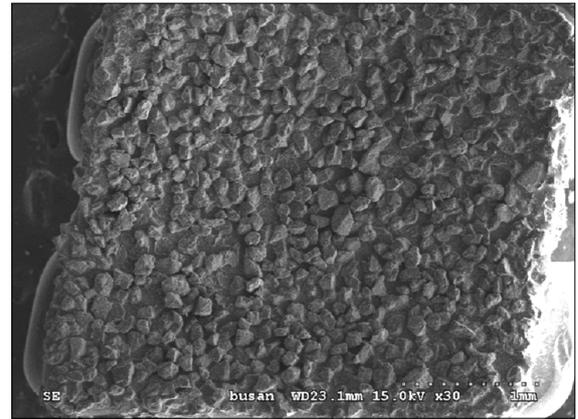


Fig 1. SEM photomicrograph of ceramic bracket base before bonding (magnification × 30). Silica particles can be seen.

paste (3M Unitek, St. Paul, MN, USA)를 이용하였다. 각 군의 20개 시편 가운데 무작위로 10개를 골라 열순환을 시행하고 나머지 10개는 열순환을 시행하지 않는 대조군으로 설정하였다.

도재 표면 처리와 브라켓 부착

각 도재 시편은 Zachrisson과 Büyükyilmaz⁹이 추천한 방법에 따라 처리하였다. 우선 microetcher (Danville engineering, San Ramon, CA, USA)를 이용해 시편면에 45° 각도로 10 mm 거리를 유지하며 5 초간 50 μm의 aluminium oxide powder를 분사해 deglazing을 하고, 9.6% 불산으로 2분간 산부식을 했다. 부식된 도재 표면 상에 Transbond XT primer (3M Unitek, St. Paul, MN, USA)를 도포하고 3-way syringe로 oil-free air를 분사하여 primer층이 얇고 균일하게 되도록 하였다. Transbond XT 접착제를 브라켓 기저부에 바른 뒤 브라켓을 시편에 수직으로 압력을 가하면서 부착하였다. 잉여 접착제는 스케일러를 이용하여 제거하였다. Ortholux LED 중합기 (3M Unitek, St. Paul, MN, USA)를 이용하여 브라켓에 수직으로 5초간 중합하였다. 제작된 시편은 상온의 증류수에 24시간 보관한 후 International Organization for Standardization (ISO TR 11405, 1994)¹⁹에 따라 5°C와 55°C의 열순환을 500회 시행하였으며 계류시간은 15초로 설정하였다.

연구방법

전단접착강도는 만능시험기(AIKOH Engineering, Tokyo/Daejeon, Japan/Korea)를 이용하여 측정하였다. 시편을 Fig 2와 같이 금속 기둥에 고정시키고 cross-head를 1 mm/min의 속도로 이동시켜 브라켓에 전단력을 가하였으며 탈락되는 순간의 하중을 Newton 단위로 기록하였다. 측정된 하중은 브라켓 기저부의 넓이로 나누어 다시 MPa 단위로 변환하였다. 도재 표면 처리 전과 처리 후, 그리고 전단접착강도의 측정 후 입체현미경(Stemi 2000-C, Carl Zeiss, Göttingen, Germany) 및 주사전자현미경(S3500N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 파절면을 관찰하였고 modified 접착제 remnant index (ARI)^{20,21}와 도재파절의 빈도를 기록하였다.

The modified 접착제 remnant index

1. 모든 접착제가 법랑질 상에 잔존하며 브라켓 기저부에는 접착제가 남아 있지 않은 경우
2. 접착제의 90% 이상이 법랑질 상에 남은 경우
3. 접착제의 10% 이상 90% 이하가 법랑질 상에 남



Fig 2. Application of shear debonding force.

- 은 경우
4. 접착제의 10% 이하만 법랑질 상에 남은 경우
 5. 모든 접착제가 브라켓 기저부에 남아있고 법랑질 상에는 접착제가 남아 있지 않은 경우

통계처리

SPSS 12.0K for windows (SPSS, Chicago, IL, USA)를 이용하여 측정된 값에서 각 군의 평균과 표준편차를 구하였다. 열순환 처리의 효과에 대해서는 독립표본 t-test (independent t-test)를 시행하여 유의수준 5%로 평가하였고, 시편에 따른 전단접착강도 차이는 일원분산분석(one-way ANOVA)을 시행하여 유의수준 5%에서 분석하였다. 그리고 열순환 처리와 도재 시편 간의 교호 작용 여부를 알아보기 위해 이원분산분석(two-way ANOVA)도 유의수준 5%에서 시행하였다. 각 군 간의 modified ARI는 Chi-square test를 통해 유의수준 5%에서 검증하였다.

연구성적

전단접착강도

측정된 각 군의 전단접착강도의 평균과 표준편차, 열순환에 의한 전단접착강도 감소 효과에 대한 독립표본 t-test 결과를 Table 1에 정리하였다. Ceramco 3, Empress II 그리고 Zi-ceram/Vintage ZR 모두 열순환을 시행한 군에서 유의하게 전단접착강도가 감소했다 ($p < 0.05$). 이원분산분석으로 열순환과 도재 수복물의 종류 간 교호 작용을 알아본 결과 p 값이 0.963으로 서로 교호 작용이 없음을 알 수 있었다 (Table 2). 그리고 전단접착강도에 미치는 도재 수복물의 영향을 알아보기 위해 일원분산분석을 시행하여 Fig 3, Table 3, 4와 같은 결과를 얻었다. 열순환을 시행한 군과 하지 않은 군을 나누어 비교한 결과 각 군내에서 세 가지 시편 간에 유의한 차이는

Table 1. Decrease of shear bond strength after thermocycling

	Thermocycled (n = 10)		Non thermocycled (n = 10)		t	p
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD		
Ceramco 3	4.88 ± 1.00	7.06 ± 1.76	-3.390	*		
Empress II	5.46 ± 1.35	7.55 ± 2.38	-2.402	*		
Zi-ceram/Vintage ZR	4.84 ± 1.01	7.19 ± 1.38	-6.151	*		

SD, standard deviation; * $p < 0.05$ (independent t-test).

Table 2. Two-way analysis of variance (ANOVA) of reciprocal action between porcelain and thermocycling

	Sum of squares	df	Mean square	F	p
Model	10,162.10	5	2,032.42	6.31	*
Porcelain disc (PD)	465.50	2	232.75	0.72	NS
Thermocycling (TC)	9,672.32	1	9,672.32	30.02	*
PD * TC	24.28	2	12.14	0.04	NS

NS, not significant; *p < 0.05.

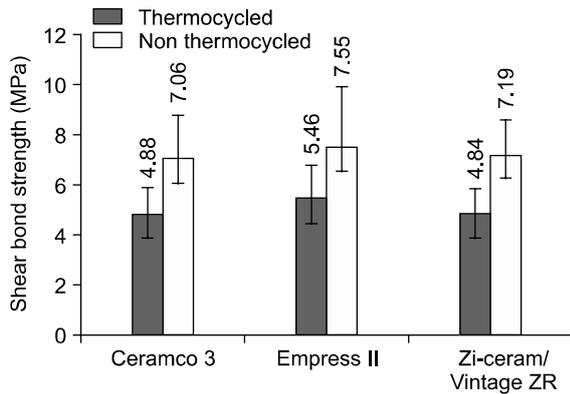


Fig 3. Shear bonding strength was significantly reduced in the thermocycled group.

없었다.

파절양상

브라켓의 탈락 후 파절양상을 관찰하였고 도재 표면에 잔존한 접착제의 양을 평가한 결과를 Table 5에 정리하였다. 총 60개의 시편 가운데 58개가 브라켓의 기저부와 접착제 사이의 계면에서 파절이 발생하였다 (Fig 4). 열순환 처리를 한 Ceramco 3 군과 Zi-ceram/Vintage ZR 군에서 각각 1개씩 접착제 내의 파절을 보였다(modified ARI score 2). Chi-square 검정 결과 p값이 0.530으로 각 군 간의 파절양상에 차이는 없었다. 브라켓의 탈락 후 도재 표면의 손상은 관찰되지 않았다.

고찰

현대 사회에 들어 삶의 질에 대한 대중의 관심이 증가하면서 치과치료에서도 기능적으로 만족스러운 수준을 넘어 자연치와 유사하게 치료하는 심미치료에 대한 환자의 수요가 증가했다. 따라서 도재

Table 3. One-way analysis of variance (ANOVA) of shear bond strength in the thermocycled group

	n	Mean ± SD	F	p
Ceramco 3	10	4.88 ± 1.00	0.94	NS
Empress II	10	5.46 ± 1.35		
Zi-ceram/Vintage ZR	10	4.84 ± 1.01		

SD, standard deviation; NS, not significant.

Table 4. One-way analysis of variance (ANOVA) of shear bond strength in the non-thermocycled group

	n	Mean ± SD	F	p
Ceramco 3	10	7.06 ± 1.76	0.18	NS
Empress II	10	7.55 ± 2.38		
Zi-ceram/Vintage ZR	10	7.19 ± 1.38		

NS, not significant.

수복물을 널리 사용하게 되었고, 도재에 브라켓을 직접 부착해야 하는 경우가 증가했다. 도재에 브라켓을 직접 부착하는 방법과 접착강도 대한 많은 연구⁶⁻¹¹들이 있었고, 특히 성인들이 선호하는 심미적인 세라믹 브라켓을 이용한 연구^{12,13,15-17}들도 보고되었다.

Reynolds²²는 정상적인 교정력을 견딜 수 있는 접착강도가 60 - 80 kg/cm²이라고 보고하였으며 Whitlock 등¹²은 이를 바탕으로 6 - 8 MPa이 교정장치에 적절한 접착 강도라 보고하였다. 세라믹 브라켓을 도재 수복물에 부착하여 연구한 보고들 가운데 Zelos 등¹³은 전단접착강도가 평균 13.6 kg이라고 보고하였으나 도재 수복물의 표면 전처리 방법과 브라켓 기저부의 면적에 대한 언급이 없어 본 실험 결과와 직접적인 비교는 어려웠다. Whitlock 등¹²은 광중합형 접착제를 사용하였으며, silane을 사용하지 않은

Table 5. Modified adhesive remnant index scores for the groups tested

	1	2	3	4	5	p
Ceramco 3 (T)	9	1	-	-	-	NS
Ceramco 3 (NT)	10	-	-	-	-	
Empress II (T)	10	-	-	-	-	
Empress II (NT)	10	-	-	-	-	
Zi-ceram/Vintage ZR (T)	9	1	-	-	-	
Zi-ceram/Vintage ZR (NT)	10	-	-	-	-	

T, thermocycled; NT, non thermocycled; NS, not significant. $\chi^2 = 4.138$.

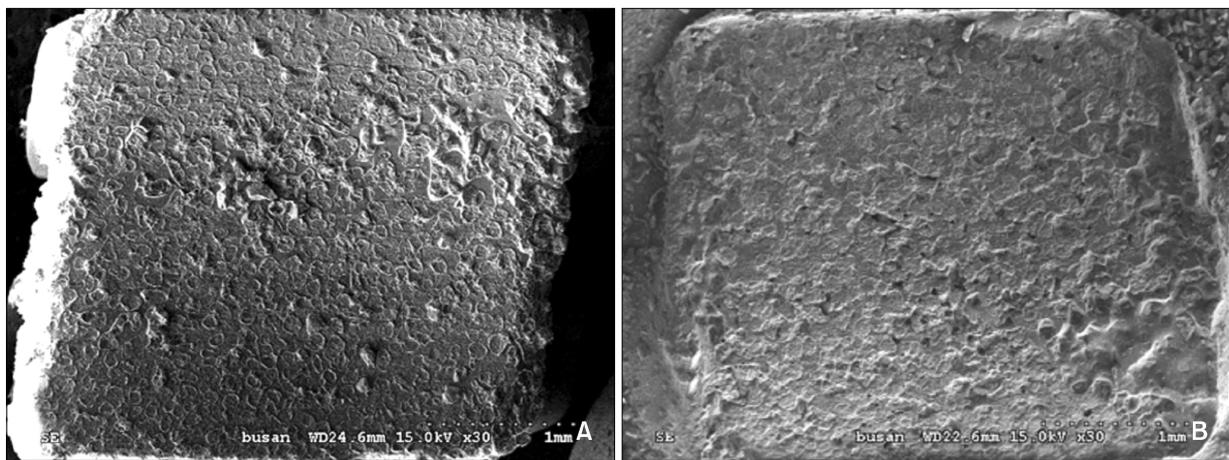


Fig 4. SEM photograph of failure site (magnification $\times 30$). **A**, Silica particles were removed from the bracket base; **B**, the rest of the adhesive can be seen attached to the porcelain surface.

군의 평균 전단접착강도가 2.6 MPa이라고 보고하였다. 하지만 이는 deglazing 과정이 포함되지 않았고 9.6% 불산 대신 37% 인산을 사용하였다. 일부 연구^{13,23}에서 deglazing 과정 없이 silane을 도포하여 적절한 접착 강도를 얻은 보고도 있으나 Zachrisson 등¹⁸은 일부 과도하게 glazing된 도재에서는 silica의 함량이 적어 silane의 효과가 감소함을 언급하고 microetcher를 이용해 deglazing을 시행하고 9.6% 불산을 사용할 것을 추천하였다. Silane은 화학적인 반응을 통하여 전단접착강도를 높일 수 있으나 높은 전단접착강도는 debonding 시 도재 표면의 파절을 유발시킬 수 있고 silane을 사용한 군과 사용하지 않은 군의 임상적인 접착 실패율이 유사하다는 연구^{3,14,20}가 있었기에 본 연구에서 silane 처리는 하지 않았다. 한편 Lee와 Lee¹⁵는 sandblasting 후 8% 불산, silane으로 표면 처리한 군의 전단접착강도가 7.33 MPa이라고 보고하였다. 하지만 이 연구는 열순환

을 시행하지 않았다.

치아에 부착되어 있는 브라켓의 접착강도에는 온도 변화, 외력, 습도, 산도, 치태 등 다양한 요소가 작용한다. 열순환은 다양한 요소 중 구강 내의 온도 변화를 재현하기 위해 실험 대상을 뜨거운 물과 차가운 물에 반복적으로 담그는 것이다. Composite의 중합 수축, 수화 팽창, 열팽창 계수의 차이는 도재에 대한 접착력을 약화시킨다.¹⁸ 따라서 열순환을 하지 않은 실험실적 연구에서는 높은 접착 강도를 보이겠지만 이를 실제 임상에 적용하기는 힘들 것이다.³⁹ 따라서 도재 수복물에 대한 세라믹 브라켓의 전단접착강도를 실험한 연구들 가운데 Zelos 등¹³의 연구를 제외하면 열순환을 시행하지 않은 나머지 연구들^{12,15-17}의 결과는 실제적인 임상상황과 다를 수 있다. 열순환을 시행하는 실험실적 연구는 온도의 범위, 노출 시간, 횟수를 고려하여야 하는데 최근의 연구²⁴⁻²⁶는 대부분 계류 시간 30초 이내, 온

도 범위는 최저 4 - 5°C, 최고 50 - 60°C 이루어지고 있다.²⁷

열순환을 시행하지 않은 군의 전단접착강도 측정 결과 Ceramco 3는 7.06 ± 1.76 MPa, Empress II는 7.55 ± 2.38 MPa 그리고 Zi-ceram/Vintage ZR은 7.19 ± 1.38 MPa으로 Lee와 Lee¹⁵의 연구결과와 유사하게 나왔으며 Reynolds²²와 Whitlock 등¹²이 추천한 접착 강도에 만족하였으나, 열순환을 시행한 군은 Ceramco 3는 4.88 MPa, Empress II는 5.46 MPa 그리고 Zi-ceram/Vintage ZR은 4.84 MPa으로 열순환을 시행하지 않은 군에 비해 유의하게 전단접착강도가 감소하였으며 6 MPa에 미치지 못해 임상적으로 추천되는 전단접착강도보다 작았다.

본 연구의 탈락 양상을 보면 열순환을 시행한 Ceramco 3 군과 Zi-ceram/Vintage ZR 군에서 각각 1 개씩의 시편만 접착제 내 파절(modified ARI grade

2)을 보였고 나머지는 모든 접착제가 도재 표면에 남아있었다. 이는 silane을 사용하지 않아도 접착제와 브래킷 기저부 간의 결합강도보다 더 강한 도재와 접착제 간에 결합 강도를 얻을 수 있다는 것이다. 여러 저자^{6,23}들이 브래킷의 탈락 시 도재표면의 손상에 대하여 보고하였는데 본 연구에서는 대부분의 파절이 브래킷 기저부와 접착제 사이에서 일어나 접착제가 도재 표면에 잔존함에 따라 도재 표면의 손상은 없었고 2개의 접착제 내 파절을 보인 시편에서도 도재 표면의 파절 여부는 관찰되지 않았다. 이와 같은 탈락 양상을 보인 것은 실험에 사용된 브래킷이 기계적인 유지를 위해 base에 silica powder를 coating하는데 base에 대해 예각을 이루고 있는 silica 입자에 응력이 집중되면서 브래킷 기저부와 접착제 사이에서 쉽게 파절이 일어났기 때문인 것으로 판단된다.⁵

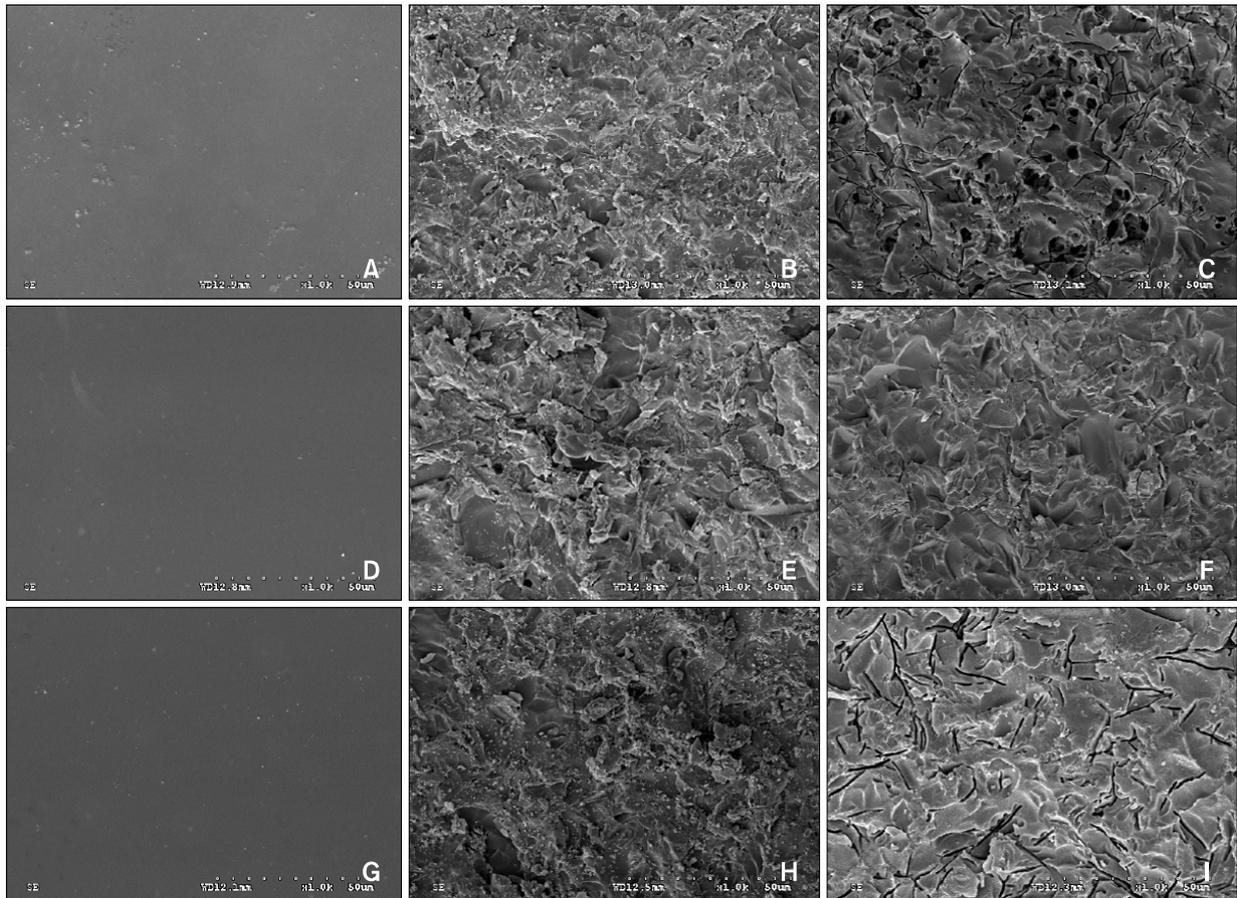


Fig 5. SEM photograph of porcelain disc (magnification × 1,000). **A, D, G,** Glazed porcelain surface; **B, E, H,** airborne-particle abrasion with 50 μm Al₂O₃; **C, F, I,** surface etched with 9.6% hydrofluoric acid for 2 min (Ceramco 3: **A, B, C,** Empress II; **D, E, F,** Zi-ceram/Vintage ZR; **G, H, I,** Ceramco 3).

과거에는 전부도재관(all ceramic crown)의 심미적인 장점에도 불구하고 파절에 대한 취약성으로 인해 임상에서 그 사용이 제한되었으나²⁸ 최근에는 수종의 전부도재관 제품이 강도를 보강하여 소개되고 있으며 그 사용범위가 전치부뿐 아니라 구치부까지 확대되었다.²⁹ 전부도재관에 사용되는 도재는 강도를 증가시키기 위해 다양한 방법들을 사용하고 있는데 본 연구에 사용된 Empress II는 백류석을 첨가시켜 강도를 증가시켰다. Zirconia는 최근 전부도재관의 core로서 충분한 강도를 가지면서도 심미성과 생체 친화성을 보여 사용이 증가하고 있는데 단독으로 전부도재관을 제작하는 것은 절삭이 힘들어 시간이 많이 소요되고 대합치의 마모, 색조 문제 등이 있어 아직까지 사용되지 않으며³⁰ zirconia core에 zirconia 전용 도재를 축성해 사용하고 있다. 많은 도재들이 화학적으로는 비슷하나 조성, 결정 구조, 입자크기, 소성 방법 그리고 산부식된 표면 양상이 다르다.³¹ 본 연구 결과, deglazing 후에 도재 표면을 주사전자현미경으로 관찰했을 때 표면의 거칠기 양상은 각 도재 간 큰 차이가 없었으나, 불산으로 산부식한 후에 관찰했을 때는 표면의 거칠기 양상이 다소 달랐다 (Fig 5). 따라서 전단접착강도가 도재별로 다를 수 있음을 예상해볼 수 있다. Kao와 Johnston³²과 Zelos 등¹³은 두 종류의 conventional feldspathic porcelain을 이용한 연구에서 alumina가 많이 포함된 도재가 silica 함량이 작아 불산에 의한 산부식 효과가 낮고 접착 강도도 낮다고 보고하였다. Kern과 Thompson³³은 silica based ceramic이 아닌 slip-cast alumina 도재는 tribochemical silica coating system 처리 후 Bis-GMA계열 레진 시멘트를 사용해야 장기적이고 안정적인 결합을 얻을 수 있다고 하였다. Kim 등³⁴은 Empress II에 불산과 silane 처리 후 높은 결합강도를 얻었음을 보고하였다. 반면 Elham과 Ahed³⁵은 conventional feldspathic porcelain과 Empress II, alumina의 함량이 높은 In-Ceram을 비교한 연구에서 Empress II의 전단접착강도가 나머지 두 군에 비해 유의하게 낮았음을 보고하였다. 본 실험에서 산부식된 도재 표면의 양상이 도재별로 차이가 있었으나 세 종류 모두 비슷한 전단접착강도를 보여 도재의 종류에 따른 유의한 차이는 확인할 수 없었다.

교정 임상에서 브라켓에 작용하는 힘의 양상은 전단력 뿐만 아니라 인장력, 회전력 등 다양하다. 브라켓의 접착강도를 약화시키는 구강 내 요소로서 온도 변화 외에 저작력과 같은 주기적인 힘이 접착

강도를 감소시킨다고 보고가 있고,³⁶ 음식물에 포함된 여러 성분들 가운데 ethanol이 접착강도를 감소시킨다고 보고도 있다.³⁷ 앞으로 이러한 요소들을 고려한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

결론

기계적 유지 형태의 단결정형 세라믹 브라켓을 수종의 도재 수복물에 부착한 뒤 열순환이 전단접착강도와 파절양상에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 실험을 진행하였다. Ceramco 3, Empress II, Zi-ceram/Vintage ZR 세 가지를 각 20개씩 총 60개의 시편을 제작하였다. 세라믹 브라켓을 부착한 후 2가지 군으로 나누어 실험군만 열순환을 시행한 뒤 전단접착강도와 파절양상을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대조군의 전단접착강도 측정 결과 Ceramco 3는 7.06 ± 1.76 MPa, Empress II는 7.55 ± 2.38 MPa 그리고 Zi-ceram/Vintage ZR는 7.19 ± 1.38 MPa이었다. 세 군 모두 열순환에 의해 전단접착강도가 유의하게 감소하였으며 ($p < 0.05$) 열순환 후의 전단접착강도는 각각 4.88 ± 1.00 MPa, 5.46 ± 1.35 MPa, 4.84 ± 1.01 MPa로 임상적으로 추천되는 것(6 - 8 MPa)보다 작은 전단접착강도를 보였다.
2. 대조군은 모두 브라켓 기저부와 접착제 사이에서 파절이 일어났으며 실험군은 2개의 시편(열순환 시행한 Ceramco 3과 Zi-ceram/Vintage ZR군에서 각 1개)만이 접착제 내 파절을 보였으며 나머지 28개의 시편은 모두 브라켓 기저부와 접착제 사이에서 파절이 일어났다.
3. 도재의 종류에 따른 전단접착강도에는 차이가 없었다 ($p > 0.05$).

이와 같은 결과를 근거로 본 실험에 사용된 도재 수복물에 기계적 유지 형태의 세라믹 브라켓을 접착할 때에는 열순환에 의한 접착강도 감소를 고려하여야 하겠다.

참고문헌

1. Kocadereli I, Canay S, Akça K. Tensile bond strength of ceramic orthodontic brackets bonded to porcelain surfaces. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001;119:617-20.
2. Kim SG, Sung JH. Effect of surface treatment of porcelain on

- tensile bond strength. *Korean J Orthod* 1996;26:301-8.
3. Zachrisson BU, Büyükyılmaz T. Bonding in orthodontics. In: Graber TM, Vanarsdall RL, Vig WL editors. *Orthodontics: current principles & techniques*. St Louis: Mosby; 2005. p. 579-659.
 4. Joseph VP, Rossouw E. The shear bond strengths of stainless steel and ceramic brackets used with chemically and light-activated composite resins. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;97:121-5.
 5. Viazis AD, Cavanaugh G, Bevis RR. Bond strength of ceramic brackets under shear stress: an in vitro report. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1990;98:214-21.
 6. Wood DP, Jordan RE, Way DC, Galil KA. Bonding to porcelain and gold. *Am J Orthod* 1986;89:194-205.
 7. Lacy AM, LaLuz J, Watanabe LG, Dellings M. Effect of porcelain surface treatment on the bond to composite. *J Prosthet Dent* 1988;60:288-91.
 8. Smith GA, McInnes-Ledoux P, Ledoux WR, Weinberg R. Orthodontic bonding to porcelain - bond strength and refinishing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:245-52.
 9. Zachrisson BU, Büyükyılmaz T. Recent advances in bonding to gold, amalgam, and porcelain. *J Clin Orthod* 1993;27:661-75.
 10. Barbosa VL, Almeida MA, Chevitaress O, Keith O. Direct bonding to porcelain. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:159-64.
 11. Newman SM, Dressler KB, Grenadier MR. Direct bonding of orthodontic brackets to esthetic restorative materials using a silane. *Am J Orthod* 1984;86:503-6.
 12. Whitlock BO 3rd, Eick JD, Ackerman RJ Jr, Glaros AG, Chappell RP. Shear strength of ceramic brackets bonded to porcelain. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:358-64.
 13. Zelos L, Bevis RR, Keenan KM. Evaluation of the ceramic/ceramic interface. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1994;106:10-21.
 14. Hayakawa T, Horie K, Aida M, Kanaya H, Kobayashi T, Murata Y. The influence of surface conditions and silane agents on the bond of resin to dental porcelain. *Dent Mater* 1992;8:238-40.
 15. Lee JN, Lee CW. Shear bond strength and debonding failure mode of ceramic brackets according to the surface treatment of porcelain. *Korean J Orthod* 1998;28:803-12.
 16. Jost-Brinkmann PG, Böhme A. Shear bond strengths attained in vitro with light-cured glass ionomers vs composite adhesives in bonding ceramic brackets to metal or porcelain. *J Adhes Dent* 1999;3:243-53.
 17. Türkkahraman H, Küçükemen HC. Porcelain surface-conditioning techniques and the shear bond strength of ceramic brackets. *Eur J Orthod* 2006;28:440-3.
 18. Zachrisson YO, Zachrisson BU, Büyükyılmaz T. Surface preparation for orthodontic bonding to porcelain. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1996;109:402-30.
 19. International Organization for Standardization. ISO TR 11405 dental materials - guidance on testing of adhesion to tooth structure. Geneva, Switzerland: WHO, 1993.
 20. Artun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984;85:333-40.
 21. 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.
 22. Reynolds IR. A review of direct orthodontic bonding. *Br J Orthod* 1975;2:171-8.
 23. Eustaquio R, Garner LD, Moore BK. Comparative tensile strengths of brackets bonded to porcelain with orthodontic adhesive and porcelain repair system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988;94:421-5.
 24. Sparrius O, Grossman ES. Marginal leakage of composite resin restorations in combination with dental and enamel bonding agents. *J Prosthet Dent* 1989;61:678-84.
 25. Shin WC, Kim JS, Kim JG. The effects of mechanical and thermal fatigue on the shear bond strength of orthodontic adhesives. *Korean J Orthod* 1996;26:175-86.
 26. Tanaka T, Kamada T, Matsumura H, Atsuta M. A comparison of water temperatures for thermocycling of metal-bonded resin specimens. *J Prosthet Dent* 1995;74:345-9.
 27. Son JH, Hwang HS. Change of fracture mode of orthodontic resin bracket wings under water immersion and thermocycling. *Korean J Orthod* 2000;30:475-81.
 28. Southan DE, Jorgensen KD. An explanation for the occurrence of internal faults in porcelain jacket crowns. *Aust Dent J* 1973;18:152-6.
 29. Grey NJA, Piddock V, Wilson MA. In vitro comparison of conventional crowns and a new all-ceramic system. *J Dent* 1993;21:47-51.
 30. Jeong HC. Fracture strength of zirconia monolithic crowns. *J Korean Acad Prosthodont* 2006;44:157-64.
 31. Sorensen JA, Engelman MJ, Torres TJ, Avera SP. Shear bond strength of composite resin to porcelain. *Int J Prosthodont* 1991;4:17-23.
 32. Kao EC, Johnston WM. Fracture incidence on debonding of orthodontic brackets from porcelain veneer laminates. *J Prosthet Dent* 1991;66:631-7.
 33. Kern M, Thompson VP. Bonding to glass infiltrated alumina ceramic: adhesive methods and their durability. *J Prosthet Dent* 1995;73:240-9.
 34. Kim JS, Hwang HS, Jeong CM, Jeon YC. A study on the bond strength of resin cements to Empress 2 ceramic. *J Korean Acad Prosthodont* 2001;39:184-96.
 35. Elham S J Abu Alhaija, Ahed M S Al-Wahadni. Shear bond strength of orthodontic brackets bonded to different ceramic surfaces. *Eur J Orthod* 2007;29:386-9.
 36. Soderquist S, Drummond J, Evans C. Bond strength evaluation of ceramic and stainless steel bracket bases subjected to cyclic tensile loading. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:175.e7-175.e12.
 37. Akova T, Ozkomur A, Aytutuldu N, Toroglu MS. The effect of food simulants on porcelain-composite bonding. *Dent Mater* 2007;23:1369-72.

Effect of thermocycling on shear bond strength and mode of failure of ceramic orthodontic brackets bonded to different porcelain restorations

Sang-Wook Kang, DDS, MSD,^a Woo-Sung Son, DDS, MSD, PhD,^b
Soo-Byung Park, DDS, MSD, PhD,^b Seong-Sik Kim, DDS, MSD, PhD^c

Objective: The purpose of this study was to investigate the effect of thermocycling and type of porcelain restoration on shear bond strength (SBS) and mode of failure of monocrystalline ceramic brackets. **Methods:** A total of 60 porcelain discs were made and divided into three equal groups as follows: Ceramco 3, IPS Empress II, Zi-ceram/Vintage ZR. ceramic brackets were bonded to the prepared porcelain surfaces in the same manner. Each group was divided randomly into two subgroups: thermocycled group and non-thermocycled group (control). All samples were tested in shear mode on an universal testing machine. **Results:** SBS of the non-thermocycled group was clinically acceptable (Ceramco 3: 7.06 ± 1.76 MPa, IPS Empress II: 7.55 ± 2.38 MPa, Zi-ceram/Vintage ZR: 7.19 ± 1.38 MPa). But, SBS of the thermocycled group was significantly reduced (Ceramco 3: 4.88 ± 1.00 MPa, IPS Empress II: 5.46 ± 1.35 MPa, Zi-ceram/Vintage ZR: 4.84 ± 1.01 MPa, $p < 0.05$). There was no difference between the shear bond strength by type of porcelain restoration. All bonding failure occurred between bracket base and adhesive, except for 2 samples. **Conclusions:** The results of this study suggest that the type of porcelain restoration did not affect SBS, but thermocycling weakened SBS. Therefore, the effect of thermocycling should be considered when using ceramic brackets in practice. (*Korean J Orthod* 2009;39(4):225-233)

Key words: Thermocycling, Ceramic bracket, Shear bond strength

^aResident, ^bProfessor, ^cAssociate Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Pusan National University.
Corresponding author: **Woo-Sung Son.**

Department of Orthodontics, Pusan National University Hospital, 305, Gudeok-ro, Seo-gu, Busan 623-739, Korea.
+82 51 240 7445: e-mail, wsson@pusan.ac.kr.

Received January 29, 2009; Last Revision May 25, 2009; Accepted May 30, 2009.