항미생물제제를 포함한 self-etching primer로 접착한 세라믹 브라켓의 전단 결합 강도

권태훈[a] · 강장미[a] · 장나영[b] · 강경화[c]

본 연구의 목적은 세라믹 브라켓의 종류에 따른 항미생물제제를 포함한 self-etching primer의 전단 결합 강도 차이를 평가하고, 접착제 잔류 지수(adhesive remnant index, ARI)를 기록하여 브라켓-접착제의 파절양상을 알아보는 것이다. 인간의 발치된 치아 90개를 세라믹 브라켓의 종류(단결정 혹은 다결정)와 primer의 종류(Transbond XT primer, Transbond Plus SEP, Clearfil Protect Bond)에 따라 임의로 6개 군으로 분류하여 각 군당 15개의 치아를 할당하였다. 전단 결합 강도를 측정 후 치면에 남아 있는 접착제의 양을 평가하였다. 세 종류의 primer 모두에서 다결정 세라믹 브라켓군이 단결정 세라믹 브라켓군보다 전단 결합 강도가 유의하게 높았다 ($p < 0.001$). 단결정과 다결정 세라믹 브라켓군 모두에서 Transbond XT primer를 이용하여 접착한 군이 Transbond Plus SEP이나 Clearfil Protect Bond를 이용하여 접착한 군보다 전단 결합 강도가 유의하게 높았다 ($p < 0.001$). 모든 군에서 모든 접착제가 치면에 남아 있거나 90% 이상 남아 있는 브라켓-접착제 계면의 파절이 관찰되었다. 적절한 전단 결합 강도와 파절 양상을 고려하여 단결정 세라믹 브라켓과 self-etching primer 조합이 추천된다. (**대치교정지** 2011;41(1):16-24)

주요 단어: 전단 결합 강도, 항미생물제제를 포함한 self-etching primer, 세라믹 브라켓, 브라켓-접착제 파절

서론

세라믹 브라켓은 교정 환자의 심미적 요구를 충족하기 위해 널리 사용되고 있다.[1] 이는 제작 방법에 따라 단결정형(monocrystalline)과 다결정형(polycrystalline)으로 나뉘며, 접착 방법에 따라 기계적 결합을 얻는 경우와 화학적 결합을 얻는 경우로 분류할 수 있다.[2]

세라믹 브라켓의 접착 강도는 화학적 결합을 하는 경우가 기계적 결합을 하는 경우보다 높으며 강도가 과도하게 높은 경우에는 법랑질과 접착제 사이의 파절로 법랑질 손상 가능성이 존재한다.[3] 임상적으로, 세라믹 브라켓은 강한 결합 강도와 잘 깨지는 성질로 인하여 브라켓 제거 과정에서 여러 가지 문제를 안고 있다.[4] 이를 극복하기 위해 특별한 플라이어를 고안하거나 초음파 제거 장치 및 레이저를 이용하기도 하였다.[5] 일부 학자들은 세라믹 브라켓의 접착에 있어서 높은 결합 강도를 갖는 접착제의 사용을 피하기도 하였다.[3]

교정용 재료와 술식의 발전에도 불구하고 고정식 교정치료는 법랑질 탈회와 이로 인한 백색 반점 병소에 이환되기 쉬운 환경에 놓일 수 있다. 고정식 교정치료 환자에게서 치료 시작 후 새롭게 발생한 법랑질 탈회의 유병률은 13 - 75% 범위에 이른다. 백색 반점 병소는 급속하게 발생하는 특징을 보이며, 상악 측절치, 하악 견치와 소구치의 협면에 호발한다.[6] 이러한 백색 병소는 치태 축적이 쉽게 되는 부위에서 증가하는 *Streptococcus mutans* (*S. mutans*)와 같은 미생물과 관련이 깊다.[7,8]

고정식 교정치료 시 발생하기 쉬운 탈회에 대한 예방책으로 다양한 방법이 제시되었다. 이러한 방법들은 주로 불소 적용에 의한 탈회 방지 효과에 주

[a]대학원생, [b]조교수, [c]부교수, 원광대학교 치과대학 치과교정학교실.
교신저자: 강경화.
전북 익산시 신용동 344-2 원광대학교 치과대학 치과교정학교실.
063-850-6635; e-mail, pigtail@wonkwang.ac.kr.
원고접수일: 2010년 3월 4일 / 원고최종수정일: 2010년 7월 12일 / 원고채택일: 2010년 7월 16일.
DOI:10.4041/kjod.2011.41.1.16
*본 논문은 2010년도 원광대학교 교비 지원에 의하여 수행됨.

목하여 불소가 함유된 치약이나 젤, 구강 양치, 실란트 등을 이용하는 것이었다.[9] Geiger 등[10]에 의하면 불소 또는 클로르헥시딘 구강 양치가 탈회 방지에 효과적이기는 하지만 환자의 협조도는 약 15%라 하였다. 따라서 환자의 협조 없이 브라켓 인접부위의 탈회를 방지하기 위하여 글래스 아이오노머 시멘트, 레진 강화형 글래스 아이오노머 시멘트, 불소를 함유하는 컴포지트 레진과 같은 불소 유리 접착제들이 개발되었다.[11] 그러나 Derks 등[12]의 종설 연구에 의하면, 불소 유리 접착제는 거의 탈회 방지 효과가 없다고 하였다. 왜냐하면 불소는 pH 의존성을 갖는데 치태 내 세균의 산생성에 의하여 유발된 낮은 pH 환경에서는 불소의 재광화 효과가 떨어지기 때문이었다. Büyükyilmaz와 Øgaard[13]는 클로르헥시딘과 같은 항미생물제제가 치태 내 세균의 산생성을 억제하여 pH 감소를 방지한다는 점에 착안하여 불소와 항미생물제제의 조합을 제안하였다.[14]

최근 수복 치과학에서 항미생물제제를 포함한 self-etching primer인 Clearfil Protect Bond (Kuraray Medical, Okayama, Japan)가 소개되었다. 이 제품의 primer에 포함된 항미생물제제인 12-methacryloyloxydodecyl pyridinium bromide (MDPB)는 단시간 접촉에도 *S. mutans*와 같은 구강 내 세균 성장을 억제하는 효과를 보였다.[15,16]

이전 연구들에서 self-etching primer를 이용한 브라켓 접착은 적절한 결합 강도를 보였고, 통상적인 접착제와 비슷한 성공률을 보였다.[17,18] 항미생물제제이면서 self-etching primer인 Clearfil Protect Bond를 이용한 접착에서는 적절한 전단 결합 강도를 얻을 수 있다는 보고[19,20]와 높은 실패율을 보인다는 보고가 있었다.[21] 이와 같이 self-etching primer를 이용한 브라켓 접착 시 전단 결합 강도의 결과값이 다양하였고, 특히 새로 개발된 항미생물제제를 포함한 self-etching primer에 대하여 세라믹 브라켓 종류에 따른 전단 결합 강도를 측정한 연구는 없었다.

이에 본 연구는 (1) 세라믹 브라켓의 종류(단결정 혹은 다결정)에 따른 항미생물제제를 포함한 self-etching primer의 전단 결합 강도 차이를 평가하고, (2) 접착제 잔류 지수(adhesive remnant index, ARI)[22]를 기록하여 브라켓-접착제의 파절양상을 알아보고자 하였다.

연구방법

연구재료

교정 치료를 위해 발거된 총 90개의 건전한 상악 혹은 하악 소구치를 사용하였다. 치관 협면에 균열이나 우식, 수복물이 없고, 법랑질 발육부전 혹은 반상치와 같은 형태 이상이 없으며, 레진을 접착하거나 불소 처치를 받은 적이 없는 치아를 선택하였다. 치아는 발거된 직후 흐르는 물로 혈액이나 타액, 기타 이물질 등을 씻고 부착된 연조직을 제거하여 1주일 동안 0.5% chloramine T 용액에 보관한 다음 증류수에 넣어 4°C로 냉장 보관하였다. 세균의 증식을 최소화하기 위해 3일에 한 번씩 증류수를 교환하였다.[23]

실험은 단결정 세라믹 브라켓인 MISO (HT corp., Ansan-si, Korea)와 다결정 세라믹 브라켓인 Transcend series 6000 (3M Unitek, Monrovia, California, USA)을 사용하였고, 모두 0.022 × 0.028 인치 슬롯의 상악 소구치 브라켓이었다. 브라켓을 치면에 접착하기 위한 접착제로는 통상적인 primer인 Transbond XT primer (3M Unitek, Monrovia, California,

Table 1. Materials used in the study

Materials	Components	Chemical composition
Transbond XT primer (3M Unitek)	Primer	Triethylene glycol dimethacrylate, Bis-GMA
Transbond Plus (3M Unitek)	Primer and bond	Primer: fluoride, no filler
Self Etching Primer (3M Unitek)		Bond: methacrylate ester derivative
Clearfil Protect Bond (Kuraray medical)	Primer and bond	Primer: MDP, MDPB, HEMA, water, initiators
		Bond: MDP, HEMA, comonomers, initiators, functionalized sodium fluoride

Bis-GMA, Bisphenol A diglycidyl ether dimethacrylate; MDP, 10-methacryloxydecyl dihydrogen phosphate; MDPB, 12-methacryloyloxydodecyl pyridinium bromide; HEMA, hydroxylethyl methacrylate.

USA), self-etching primer인 Transbond Plus Self Etching Primer (SEP) (3M Unitek, Monrovia, California, USA), 항미생물제제를 포함한 self-etching primer인 Clearfil Protect Bond (Kuraray medical, Okayama, Japan)를 사용하였다. 이들 재료에 관한 자세한 정보는 Table 1에 제시하였다.

연구방법

시편의 제작

전단 결합 강도의 측정을 위하여 직경 30 mm, 높이 25 mm의 원주형 polyvinyl chloride tube에 소구치의 협면이 원주형 몰드의 바닥에 수직이 되도록 치과용 초경석고로 매몰하였다. 제작된 시편은 증류수를 이용하여 100% 상대 습도 하에 보관하였다.[23]

브라켓의 접착

90개의 소구치 법랑질 표면을 불소와 기름이 함유되지 않은 퍼미스(Whip-mix Co., Louisville, USA)와 러버컵을 이용하여 10초간 세마하였다. 10초간 충분한 양의 물로 세척하고, 10초간 압축 공기로 건조하였다. 브라켓의 종류(Mono 군 - 단결정 세라믹 브라켓, Poly 군 - 다결정 세라믹 브라켓)와 primer의 종류(XT 군 - Transbond XT primer, SEP 군 - Transbond Plus SEP, Protect 군 - Clearfil Protect Bond)에 따라 실험군을 6개로 분류하였다 (Table 2). 각 군당 15개의 시편을 무작위로 배정하고 제조사에서 권장하는 방법에 따라 브라켓을 부착하였다.

Group 1, 4 (Transbond XT Primer). 37% 인산용액(Etch-37, BISCO, Schaumberg, USA)으로 20초간 산부식시킨 후, 10초간 충분한 양의 물로 세척하고 10초간 압축 공기로 건조시켰다. 산부식된 법랑질 표면에 Transbond XT Primer (3M Unitek, Monrovia, California, USA)를 적용하고, 기름과 수분이 포함되지 않은 공기를 분사하여 primer 층이 얇고 균일하게 되도록 하였다. 광중합형 레진(Transbond XT Adhesive, 3M Unitek, Monrovia, California, USA)을 두 종류의 브라켓(Mono 군, Poly 군) 베이스에 바른 뒤 소구치의 교두정에서 4.5 mm 떨어진 부위에 수직으로 압력을 가하면서 부착하였다. 이때 잉여 접착제는 스케일러를 이용하여 제거하였다. 광중합기(Ortholux LED Curing Unit, 3M Unitek, Monrovia, California, USA)를 이용하여 세라믹 브라켓에 5초간 광중합하였다.

Group 2, 5 (Transbond Plus SEP). 법랑질 표면에 Transbond Plus SEP (3M Unitek, Monrovia, California, USA)의 primer와 bond를 혼합하여 이를 압력을 가해 5초간 문지른 후 기름과 수분이 포함되지 않은 공기로 1 - 2초간 가볍게 건조시켰다. Group 1, 4와 같은 방식으로 광중합형 레진을 두 종류의 브라켓 베이스에 바른 뒤 소구치의 교두정에서 4.5 mm 떨어진 부위에 부착한 후, 잉여 접착제는 제거하고 5초간 광중합하였다.

Group 3, 6 (Clearfil Protect Bond). 법랑질 표면에 Clearfil Protect Bond (Kuraray medical, Okayama, Japan)의 primer를 브러쉬로 가볍게 적용하여 균일한 얇은 막이 형성되도록 하였다. 20초 경과 후, 기름과 수분이 포함되지 않은 공기로 가볍게 건조시켜 용매제가 증발하도록 하였다. Bond를 적용하고 다시 공기로 가볍게 불어준 뒤 10초간 광중합하였다. Group 1, 4와 같은 방식으로 광중합형 레진을 두 종류의 브라켓 베이스에 바른 뒤 소구치의 교두

Table 2. Experimental groups

Group	Bracket type	Primer type
1 Mono-XT	Monocrystalline Bracket (MISO)	Transbond XT primer
2 Mono-SEP		Transbond Plus Self Etching Primer
3 Mono-Protect		Clearfil Protect Bond
4 Poly-XT	Polycrystalline Bracket (Transcend 6000 series)	Transbond XT primer
5 Poly-SEP		Transbond Plus Self Etching Primer
6 Poly-Protect		Clearfil Protect Bond

Mono, Monocrystalline bracket; Poly, polycrystalline bracket; XT, transbond XT primer; SEP, transbond plus self etching primer; Protect, clearfil protect bond.

정에서 4.5 mm 떨어진 부위에 부착한 후, 잉여 접착제는 제거하고 5초간 광중합하였다.

모든 브라켓의 접착은 한 명의 교정의가 시행하였다. 각 시편은 37°C, 100% 상대습도에서 24시간 보관 후 실험에 사용하였다.[23]

전단 결합 강도 측정

500 N의 load cell이 부착된 만능 시험기(Zwick Z020, Ulm, Einsingen, Germany)로 측정하였다. 시편을 Fig 1과 같이 고정시키고, 1 mm/min crosshead의 속도로 전단 하중을 가하여 브라켓이 치면으로부터 탈락되는 순간의 하중을 Newton 단위로 기록하였다. 이 측정된 값을 각각 브라켓 베이스의 면적(Mono 군 - 11.52 mm^2, Poly 군 - 12.09 mm^2)으로 나누고 MPa 단위로 변환하여 전단 결합 강도를 구하였다.[23]

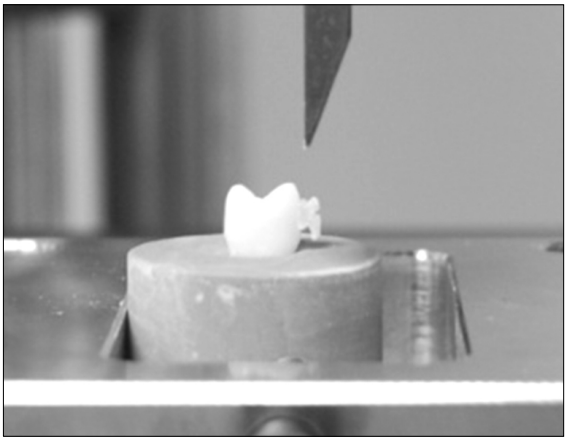

Fig 1. Experimental set-up for shear bond strength measurement.

접착제 잔류 지수 평가

접착된 브라켓의 제거 후에 접착 파절 양상을 관찰하기 위하여 10배의 광학현미경(Axiotech microscope, Carl Zeiss, Jena, Germany)으로 치면에 남아 있는 접착제의 양을 관찰하였고, ARI[22]를 평가하였다; 1. 모든 접착제가 치면에 남아 있음; 2. 접착제가 치면에 90% 이상 남아 있음; 3. 접착제가 치면에 10 - 90% 남아 있음; 4. 접착제가 치면에 10% 이하로 남아 있음; 5. 접착제가 치면에 남아 있지 않음. 접착제 잔류 지수의 평가는 한 명의 관찰자에 의해 시행되었고, 2주 간격으로 재평가되었다.

통계분석

SPSS version 17.0 (SPSS, Chicago, IL, USA)을 이용하여 측정된 값에서 각 군의 평균과 표준편차를 구하였다. 세라믹 브라켓의 종류에 따른 전단 결합 강도에 대한 차이를 평가하기 위해서는 독립표본 T 검정(independent *t*-test)을 시행하여 유의확률 0.001로 평가하였고, primer의 종류에 따른 전단 결합 강도에 대한 차이는 일원분산분석(one-way ANOVA)을 시행하여 유의확률 0.001로 평가하고, 사후검정(Duncan's multiple range test)을 시행하였다.

연구성적

세라믹 브라켓 종류에 따른 전단 결합 강도의 차이

세 종류의 primer 모두에서 다결정 세라믹 브라켓 군이 단결정 세라믹 브라켓군보다 전단 결합 강도가 유의하게 높았다 ($p < 0.001$) (Table 3).

Table 3. Comparison of shear bond strength values (MPa) according to bracket types

Group (n = 15)	Mean ± SD (MPa)	Group (n = 15)	Mean ± SD (MPa)	*t*-value
1 Mono-XT	12.12 ± 1.72	4 Poly-XT	25.71 ± 5.51	-9.109*
2 Mono-SEP	7.07 ± 2.39	5 Poly-SEP	18.33 ± 3.64	-9.988*
3 Mono-Protect	6.56 ± 2.61	6 Poly-Protect	13.10 ± 3.00	-6.355*

Mono, Monocrystalline bracket; Poly, polycrystalline bracket; XT, transbond XT primer; SEP, transbond plus self etching primer; Protect, clearfil protect bond; SD, standard deviation. *$p < 0.001$.

Table 4. Comparison of shear bond strength values (MPa) according to primer types

Group (n = 15)	Mean ± SD (MPa)	Group (n = 15)	Mean ± SD (MPa)	Group (n = 15)	Mean ± SD (MPa)	*F*-value
1 Mono-XT	12.12 ± 1.72[b]	2 Mono-SEP	7.07 ± 2.39[a]	3 Mono-Protect	6.56 ± 2.61[a]	27.390*
4 Poly-XT	25.71 ± 5.51[b]	5 Poly-SEP	18.33 ± 3.64[a]	6 Poly-Protect	13.10 ± 3.00[a]	34.259*

Mono, Monocrystalline bracket; Poly, polycrystalline bracket; XT, transbond XT primer; SEP, transbond plus self etching primer; Protect, clearfil protect bond; SD, standard deviation. Groups with the same letters are not significantly different from each other at the level of $p < 0.001$ (a < b). *$p < 0.001$.

Table 5. Frequency distribution of the adhesive remnant index (ARI) scores

Group	N	ARI scores* (%)				
		1	2	3	4	5
1 Mono-XT	15	6 (40.0)	5 (33.3)	2 (13.3)	1 (6.7)	1 (6.7)
2 Mono-SEP	15	4 (26.7)	5 (33.3)	2 (13.3)	3 (20.0)	1 (6.7)
3 Mono-Protect	15	7 (46.7)	6 (40.0)	-	1 (6.7)	1 (6.7)
4 Poly-XT	15	5 (33.3)	5 (33.3)	2 (13.3)	-	3 (20.0)
5 Poly-SEP	15	9 (60.0)	4 (26.7)	1 (6.7)	-	1 (6.7)
6 Poly-Protect	15	7 (46.7)	4 (26.7)	-	1 (6.7)	3 (20.0)

Mono, Monocrystalline bracket; Poly, polycrystalline bracket; XT, transbond XT primer; SEP, transbond plus self etching primer; Protect, clearfil protect bond. *ARI scores: 1, All of the adhesive remains on the tooth; 2, more than 90% of the adhesive remains on the tooth; 3, more than 10% but less than 90% of the adhesive remains on the tooth; 4, less than 10% of the adhesive remains on the tooth; 5, no adhesive remains on the tooth.

Primer의 종류에 따른 전단 결합 강도의 차이

단결정과 다결정 세라믹 브라켓군 모두에서 Transbond XT primer를 이용하여 접착한 군이 Transbond Plus SEP이나 Clearfil Protect Bond를 이용하여 접착한 군보다 전단 결합 강도가 유의하게 높았다 ($p < 0.001$) (Table 4).

접착제 잔류 지수의 평가

법랑질 파절이 발생한 시편은 없었고, 모든 군에서 모든 접착제가 치면에 남아 있거나 90% 이상 남아 있는 경우(ARI score 1 또는 2)가 대부분인 브라켓-접착제 계면의 파절이 관찰되었다 (Table 5).

고찰

세라믹 브라켓은 치료 종료 후 뿐만 아니라 치료 과정 중에도 심미적으로 보이기를 원하는 교정 환자의 요구를 만족시키기 위하여 1980년대에 개발되었다.[1] 베이스에 실란(silane) 처리를 한 화학적 결합형의 경우는 강한 결합 강도로 인하여 브라켓을 제거 시 법랑질의 균열 및 파절이 발생할 가능성이 있다.[3] 이를 예방하기 위하여 언더컷과 홈을 이용한 기계적 결합형의 세라믹 브라켓이 개발되었다.[24] 본 연구에 사용된 세라믹 브라켓은 기계적 결합형으로 제조사에 의하면 단결정 브라켓은 베이스 표면에 micro-protuberance가, 다결정 브라켓은 micro-crystalline이 있어 기계적인 유지를 제공한다고 한다.

인산을 이용한 보편적인 법랑질의 부식 과정은 표면의 칼슘 성분을 용해시킴으로써 법랑질 표면을 거칠게 하여 형성된 레진 tag로 유지를 얻는다. 이와 같은 과정은 브라켓의 부착에 있어서 적절한 결합 강도를 제공하여 주지만 법랑질 손상을 야기할 위험이 있으며 탈회와 백색 반점 병소의 유발 가능성을 증가시킨다는 주장도 있다.[25]

한편 self-etching primer는 산부식과 primer의 기능을 동시에 가지고 있다. 따라서 산부식 후 수세하는

과정 없이 적용 후 공기로 건조시키는 방법으로 진료시간과 술자의 번거로움을 줄일 수 있다. 하지만 본 연구에 사용된 Clearfil Protect Bond의 경우에는 Bond 적용 후 광중합이 필요하므로 진료시간 단축이란 측면에서의 장점은 다소 감소할 수 있다.

또한 self-etching primer는 보편적인 인산 부식에 비해 부식 양상이 경미하여 법랑질 손상 가능성을 줄일 수 있다.[26] Self-etching primer로 접착한 브라켓의 전단 결합 강도는 다양하지만 일부 연구들에서 인산 부식에 비하여 유의하게 낮으면서도 임상적으로 적용이 가능한 전단 결합 강도를 보고하였다.[25,27] 이러한 특성은 세라믹 브라켓의 강한 결합 강도에 따른 법랑질 손상을 줄이는데 이용할 수 있다.

교정용 접착제는 저작력이나 아치와이어로 전달되는 힘에 탈락되지 않을 정도의 충분한 결합 강도를 가져야 한다. 동시에 브라켓의 제거 시 법랑질 표면에 손상을 야기할 정도로 강한 결합 강도를 가져서도 안된다. 임상적으로 수용 가능한 최소 결합 강도는 5.9 - 7.8 Mpa라고 제시되었고, 법랑질에 손상을 야기하지 않는 범위에서의 최대 결합 강도는 14.5 Mpa라고 제시되었다.[28,29] 본 연구는 모든 군에서 임상적으로 요구되는 수준 이상인 6.56 - 25.71 Mpa의 전단 결합 강도를 보였다. 모든 군에서 다결정 세라믹 브라켓군이 단결정 세라믹 브라켓 군보다 전단 결합 강도가 유의하게 높았는데 ($p < 0.001$) (Table 3), 이는 이전의 Klocke 등[30]의 연구 결과와 일치하지 않는 것이었다. 이러한 차이는 광원, 접착제, 단결정 세라믹 브라켓의 베이스 차이 등에 기인하였다고 생각할 수 있다.

인산 부식을 시행한 군(Mono-XT: 12.12 Mpa, Poly-XT: 25.71 Mpa)이 self-etching primer를 적용한 2개군(Mono-SEP: 7.07 Mpa, Mono-Protect: 6.56 Mpa, Poly-SEP: 18.33 Mpa, Poly-Protect: 13.10 Mpa)에 비하여 전단 결합 강도가 유의하게 높았는데 ($p < 0.001$) (Table 4), 이는 Buyukyilmaz 등[25]과 Bishara 등[26]의 연구 결과와 일치하는 것이었다. 다결정 세라믹 브라켓을 인산 부식으로 접착할 경우의 최대값은 30 MPa 이상으로 브라켓 제거 시 법랑질에 손상을 야기할 수도 있는 가능성이 존재한다. 따라서 다결정 세라믹 브라켓 제거 시에는 법랑질 손상을 예방하기 위하여 특별한 주의를 기울일 필요가 있으며, 임상적으로 적절한 전단 결합 강도를 위하여 단결정 세라믹 브라켓과 self-etching primer의 조합을 추천한다.

Imazato[31]은 항미생물제제인 MDPB를 self-etching primer 및 접착제에 혼합하는 연구를 시행해왔다. MDPB는 중합된 후 다른 모노머와 공중합체(copolymer)를 형성하여 접착제에 잔류하면서 세균이 치아 표면에 접착하지 않도록 방해하는 역할을 하고 글루칸 합성 및 세균의 성장을 억제하였다.[32] MDPB의 항미생물 효과는 불소유리 접착제의 불소유리 효과와는 다르게 브라켓 주변으로 크게 확대되지 못하는 한계점을 갖는다. 그러나 Artun과 Brobakken[33]에 의하면, 백색 반점 병소가 보통 브라켓 주위나 하방에서 높은 빈도로 발생된다는 점으로 미루어 MDPB의 이러한 한정적인 특징이 오히려 브라켓 주위의 세균부착을 방지하는 장점이 될 수 있다고 하였다.

Arhun 등[34]은 Clearfil Protect Bond를 브라켓 접착에 사용 시 산부식이 임상적으로 필요하지 않다고 하여 본 연구도 Clearfil Protect Bond 적용 전에 산부식을 생략하였다. 항미생물제제를 포함한 self-etching primer인 Clearfil Protect Bond를 이용한 금속 브라켓의 접착은 9.6 - 14.60 Mpa의 전단 결합 강도를 보여주었다.[19,20,35] 본 연구 결과도 이전 연구들과 비슷한 6.56 - 13.10 Mpa의 전단 결합 강도를 보였다.

법랑질에 접착되어 있는 브라켓을 제거할 경우의 파절 양상은 브라켓 자체, 브라켓-접착제 계면, 접착제 자체, 접착제-법랑질 계면 사이에서 일어난다. 본 연구는 브라켓의 제거 후에 접착 파절 양상을 관찰하였고, 잔여 접착제의 양을 정량화하기 위하여 Bishara와 Trulove[22]의 ARI를 이용하였다 (Table 5).

브라켓 제거 시 접착 파절 양상에 관하여 2가지 견해가 있다. 첫 번째 견해는 법랑질 표면에 주로 접착제가 남아있는 브라켓-접착제 계면에서의 파절이 유리하다는 것이다. 이는 산부식으로 형성된 법랑질의 미세소공을 막아주며 브라켓 제거 시 법랑질의 손상을 적게 하기 때문이다.[35,36] 이는 우리의 견해 및 결과와 일치하였다 (Table 5).

두 번째 견해는 법랑질 표면에 거의 접착제가 남아있지 않은 접착제-법랑질 계면에서의 파절이 유리하다는 것이다. 이는 임상에서 브라켓 제거 후에 잔여 접착제 제거의 시간을 단축시키기 때문이다.[21,37] 그러나 이는 세라믹 브라켓처럼 강한 결합 강도를 가지는 경우에서 법랑질 손상의 위험이 있을 수 있다.

본 연구는 소구치 협면 법랑질의 해부학적 변이로 인한 전단 결합 강도의 차이는 고려하지 못하였으며, 브라켓 접착 시 결합 강도에 영향을 미치는 법랑질 표면 처리 방법, primer와 다른 회사 레진 접

착제 간의 상호작용, 레진 접착제의 종류, 브라켓 베이스의 디자인, 브라켓의 종류, 브라켓의 제거 방법, 광원의 종류, 광중합 시간 중 일부만 선정하여 시행한 한계를 가지고 있다. 또한 *in-vitro* 연구의 한계로 인하여 전단 결합 강도의 평가에 있어서 타액, 온도 변화, 저작압과 같은 구강 내 환경 요인들에 대한 고려가 부족하였다.[38] 하지만 이러한 *in-vitro* 연구 결과를 통하여 얻은 결론은 교정의가 실제로 임상에서 브라켓과 접착제를 선택하는데 도움이 되리라 생각된다.

결론

세라믹 브라켓(단결정 혹은 다결정)과 primer (Transbond XT primer, Transbond Plus SEP, Clearfil Protect Bond) 종류에 따른 전단 결합 강도 차이를 평가하고, ARI를 통한 브라켓-접착제의 파절양상을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 세 종류의 primer 모두에서 다결정 세라믹 브라켓군이 단결정 세라믹 브라켓군보다 전단 결합 강도가 유의하게 높았다 ($p < 0.001$).
2. 단결정과 다결정 세라믹 브라켓군 모두에서 Transbond XT primer를 이용하여 접착한 군이 Transbond Plus SEP이나 Clearfil Protect Bond를 이용하여 접착한 군보다 전단 결합 강도가 유의하게 높았다 ($p < 0.001$).
3. 모든 군에서 모든 접착제가 치면에 남아 있거나 90% 이상 남아 있는 브라켓-접착제 계면의 파절이 관찰되었다.

세라믹 브라켓은 2종류의 self-etching primer를 이용하여 임상적으로 적절한 범위의 결합 강도를 나타내었다. 적절한 전단 결합 강도와 파절 양상을 고려할 때 단결정 세라믹 브라켓과 self-etching primer 조합이 추천된다.

참고문헌

1. Bishara SE, Ostby AW, Laffoon J, Warren JJ. Enamel cracks and ceramic bracket failure during debonding in vitro. Angle Orthod 2008;78:1078-83.
2. Swartz ML. Ceramic brackets. J Clin Orthod 1988;22:82-8.
3. Bishara SE. Ceramic brackets and the need to develop national standards. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2000;117:595-7.
4. 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.
5. Strobl K, Bahns TL, Willham L, Bishara SE, Stwalley WC. Laser-aided debonding of orthodontic ceramic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1992;101:152-8.
6. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. Am J Orthod 1982;81: 93-8.
7. Øgaard B, Larsson E, Henriksson T, Birkhed D, Bishara SE. Effects of combined application of antimicrobial and fluoride varnishes in orthodontic patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001;120:28-35.
8. Scheie AA, Arneberg P, Krogstad O. Effect of orthodontic treatment on prevalence of Streptococcus mutans in plaque and saliva. Scand J Dent Res 1984;92:211-7.
9. Tuncer C, Tuncer BB, Ulusoy C. Effect of fluoride-releasing light-cured resin on shear bond strength of orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;135:14.e1-6.
10. Geiger AM, Gorelick L, Gwinnett AJ, Benson BJ. Reducing white spot lesions in orthodontic populations with fluoride rinsing. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1992;101:403-7.
11. Sfondrini MF, Cacciafesta V, Pistorio A, Sfondrini G. 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.
12. Derks A, Katsaros C, Frencken JE, van't Hof MA, Kuijpers-Jagtman AM. Caries-inhibiting effect of preventive measures during orthodontic treatment with fixed appliances. A systematic review. Caries Res 2004;38:413-20.
13. Büyükyilmaz T, Øgaard B. Caries-preventive effects of fluoride-releasing materials. Adv Dent Res 1995;9:377-83.
14. Rölla G, Melsen B. On the mechanism of the plaque inhibition by chlorhexidine. J Dent Res 1975;54 Spec No B:B57-62.
15. Imazato S, Ebi N, Takahashi Y, Kaneko T, Ebisu S, Russell RR. Antibacterial activity of bactericide-immobilized filler for resin-based restoratives. Biomaterials 2003;24:3605-9.
16. Imazato S, Ebi N, Tarumi H, Russell RR, Kaneko T, Ebisu S. Bactericidal activity and cytotoxicity of antibacterial monomer MDPB. Biomaterials 1999;20:899-903.
17. Asgari S, Salas A, English J, Powers J. Clinical evaluation of bond failure rates with a new self-etching primer. J Clin Orthod 2002;36:687-9.
18. Pandis N, Polychronopoulou A, Eliades T. Failure rate of self-ligating and edgewise brackets bonded with conventional acid etching and a self-etching primer: a prospective in vivo study. Angle Orthod 2006;76:119-22.
19. Bishara SE, Soliman M, Laffoon J, Warren JJ. Effect of antimicrobial monomer-containing adhesive on shear bond strength of orthodontic brackets. Angle Orthod 2005;75:397-9.
20. Korbmacher HM, Huck L, Kahl-Nieke B. Fluoride-releasing adhesive and antimicrobial self-etching primer effects on shear bond strength of orthodontic brackets. Angle Orthod 2006;76: 845-50.
21. Paschos E, Kurochkina N, Huth KC, Hansson CS, Rudzki-Janson I. Failure rate of brackets bonded with antimicrobial and fluoride-releasing, self-etching primer and the effect on prevention of enamel demineralization. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2009;135:613-20.

22. Bishara SE, Trulove TS. Comparisons of different debonding techniques for ceramic brackets: an in vitro study. Part I. Background and methods. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1990;98:145-53.
23. International Organization for Standardization. ISO/TS 11405: 2003(E). Dentistry: Dental materials-testing of adhesion to tooth structure. Geneva, Switzerland: WHO; 2003.
24. Wang WN, Meng CL, Tarng TH. Bond strength: a comparison between chemical coated and mechanical interlock bases of ceramic and metal brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1997;111:374-81.
25. Buyukyilmaz T, Usumez S, Karaman AI. Effect of self-etching primers on bond strength--are they reliable? Angle Orthod 2003;73:64-70.
26. 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 2001;119: 621-4.
27. Uysal T, Ustdal A, Kurt G. Evaluation of shear bond strength of metallic and ceramic brackets bonded to enamel prepared with self-etching primer. Eur J Orthod 2010;32:214-8.
28. 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 1976;3:91-5.
29. Bowen RL, Rodriguez MS. Tensile strength and modulus of elasticity of tooth structure and several restorative materials. J Am Dent Assoc 1962;64:378-87.
30. Klocke A, Korbmacher HM, Huck LG, Ghosh J, Kahl-Nieke B. Plasma arc curing of ceramic brackets: an evaluation of shear bond strength and debonding characteristics. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2003;124:309-15.
31. Imazato S. Antibacterial properties of resin composites and dentin bonding systems. Dent Mater 2003;19:449-57.
32. Ebi N, Imazato S, Noiri Y, Ebisu S. Inhibitory effects of resin composite containing bactericide-immobilized filler on plaque accumulation. Dent Mater 2001;17:485-91.
33. Artun J, Brobakken BO. Prevalence of carious white spots after orthodontic treatment with multibonded appliances. Eur J Orthod 1986;8:229-34.
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 2006; 129:547-50.
35. Eminkahyagil N, Korkmaz Y, Gokalp S, Baseren M. Shear bond strength of orthodontic brackets with newly developed antibacterial self-etch adhesive. Angle Orthod 2005;75:843-8.
36. Elekdag-Turk S, Isci D, Ozkalayci N, Turk T. Debonding characteristics of a polymer mesh base ceramic bracket bonded with two different conditioning methods. Eur J Orthod 2009; 31:84-9.
37. Martin S, Garcia-Godoy F. Shear bond strength of orthodontic brackets cemented with a zinc oxide-polyvinyl cement. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1994;106:615-20.
38. Pickett KL, Sadowsky PL, Jacobson A, Lacefield W. Orthodontic in vivo bond strength: comparison with in vitro results. Angle Orthod 2001;71:141-8.

Shear bond strength of ceramic brackets bonded with antimicrobial monomer-containing self-etching primer

Tae-Hun Kwon, DDS, MSD,[a] **Jang-Mi Kang,** DDS, MSD,[a] **Na-Young Chang,** DDS, MSD,[b] **Kyung-Hwa Kang,** DDS, MSD, PhD[c]

Objective: The purpose of this study was to determine (1) the shear bond strength (SBS) of an antimicrobial monomer-containing self-etching primer according to ceramic bracket types and (2) the bracket-adhesive failure mode using an adhesive remnant index (ARI). **Methods:** A total of 90 extracted human teeth were randomly divided into 6 groups. Each group consisted of one of two ceramic brackets (monocrystalline, polycrystalline) and one of three primers (Transbond XT primer, Transbond Plus SEP, Clearfil Protect Bond) with each group containing 15 specimens. The SBS was measured, and adhesive residues left on the tooth surface were assessed. **Results:** The SBS of polycrystalline ceramic bracket groups was significantly higher than that of the monocrystalline ceramic bracket groups ($p < 0.001$). The SBS of Transbond XT primer groups was significantly higher than those of Transbond Plus SEP groups and Clearfil Protect Bond groups ($p < 0.001$). All the groups showed bonding failures between the bracket base and adhesive. **Conclusions:** The combination of a self-etching primer with a monocrystalline bracket is recommended for clinical use, considering its acceptable SBS and mode of failure. **(Korean J Orthod 2011;41(1):16-24)**

Key words: Shear bond strength, Antimicrobial monomer-containing self-etching primer, Ceramic bracket, Bracket-adhesive failure

[a]Graduate Student, [b]Assistance Professor, [c]Associate Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Wonkwang University.
Corresponding author: Kyung-Hwa Kang.
Department of Orthodontics, School of Dentistry, Wonkwang University, 344-2 Shinyong-dong, Iksan 570-749, Korea. +82 63 850 6635; e-mail, pigtail@wonkwang.ac.kr.
Received March 4, 2010; Last Revision July 12, 2010; Accepted July 16, 2010.