

Effect of Various Surface Treatment Methods on Shear Bond Strength of Orthodontic Brackets to Aged Composite Resin

Jongcheol Park, Howon Park, Juhyun Lee, Hyunwoo Seo

Department of Pediatric Dentistry, Oral Science Research Center, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of various surface treatment methods on the shear bond strength of orthodontic brackets in vitro.

Ninety six specimens, 6 mm in diameter and 5 mm in height, were made with composite resin (Filtek™ Z350 XT, 3M ESPE, USA) and treated with an aging procedure. After aging, the specimens were randomly separated in six groups: (1) control with no surface treatment, (2) 37% phosphoric acid gel, (3) 4% hydrofluoric acid gel, (4) sodium bicarbonate particle abrasion, (5) diamond bur, and (6) 1 W carbon dioxide laser for 5s. The metal brackets were bonded to composite surfaces by means of an orthodontic adhesive (Transbond XT, 3M Unitek, USA). Shear bond strength values were evaluated with a universal testing machine (R&B Inc., Korea).

Analysis of variance showed a significant difference between the groups. Group 5 had the highest mean shear bond strength (11.9 MPa), followed by group 6 (11.1 MPa). Among the experimental groups, group 2 resulted in the weakest mean shear bond strength (5.22 MPa).

The results of this study suggest that the repair shear bond strength of the aged composite resin was acceptable by surface treatment with a carbon dioxide laser.

Key words : Carbon dioxide laser, Surface treatment, Shear bond strength, Orthodontic bracket

1. 서 론

교정치료가 필요한 성장기 아동이 외상이나 우식으로 인하여 전치부의 치질이 손상된 경우 복합레진을 이용하여 수복하게 된다. 복합레진의 물리적 성질이 향상되면서 전치부 수복뿐만 아니라, 교정용 브라켓이 부착하는 구치부 협면의 수복치료에 있어 레진의 사용이 증가하는 추세이다^{1,2)}.

복합레진 수복 후 몇 시간 이내에 교정용 브라켓을 부착한 경우에는, 건전한 치아 표면에 부착하는 경우와 전단응력의 차이가 없다. 하지만 레진 수복 후 몇 개월이 지나서 시효된 레진 수복물에 교정용 브라켓을 부착하는 경우 교정용 브라켓의 전단응력이 유의하게 감소하였다³⁾. 치아의 이동을 위해서는 충분한 교정력을 가해야 하지만, 복합레진으로 수복 후 오랜 시간이 지

난 레진 수복물에 통상의 방법대로 인산 부식 후 교정용 브라켓을 부착하는 경우 충분한 교정력을 얻을 수 없다. 이러한 이유는 복합레진 수복물이 구강내에서 시효되면서 새로운 복합레진과의 결합에 이용되는 이중결합이 감소하기 때문이다⁴⁾.

따라서 시효된 복합레진 수복물 표면과 교정용 브라켓 사이의 결합력을 증가시키기 위해 여러 가지 표면처리 방법들이 제안되었다. 인산으로 부식시키는 시간을 60초 정도로 증가시키는 방법⁵⁻⁸⁾, 불산을 이용하여 시효된 복합레진 수복물 표면을 부식시키는 방법^{8,9)}, 압축공기-입자 분사 연마(airborne-particle abrasion)를 이용하여 표면처리하는 방법^{8,10)}, 그리고 다이아몬드 버(bur)를 이용하여 표면 거칠기를 증가시키는 방법 등이 연구되었다^{11,12)}.

과절이나 이차우식 등의 이유로 시효된 레진 수복물을 재수

Corresponding author : Hyunwoo Seo

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University, 7 Jukheon-gil, Gangneung, 210-702, Korea

Tel: +82-33-640-2758 / Fax: +82-33-640-3113 / E-mail: hwseo@gwnu.ac.kr

Received December 31, 2013 / Revised March 14, 2014 / Accepted March 15, 2014

복합기 위해, 임상적으로 가장 많이 사용하는 방법은 다이아몬드 버로 삭제하는 것이다. 그러나 버를 이용하는 경우 수복에 필요한 부위만을 선택적으로 삭제할 수 없으며, 회전 절삭 기구를 이용하여 와동을 형성하는 경우 환자에게 통증을 유발할 수 있어 국소마취가 필요하다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 치과용 드릴을 대체할 수 있는 레이저에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다.

상용화된 치과용 레이저에는 이산화탄소 레이저, Nd:YAG 레이저, Er:YAG 레이저 등이 있다. 이러한 치과용 레이저를 이용하여 치수 조직에 열적 손상 없이 법랑질과 상아질을 삭제할 수 있으며¹³⁻¹⁵, 치질 강화작용을 통해 우식을 억제시킬 수 있다¹⁶. 이산화탄소 레이저¹⁷⁻²⁰ 또는 Nd:YAG 레이저²¹⁻²⁴를 치아 표면에 조사하여 법랑질 부식효과를 얻을 수 있다. 시효된 레진 수복물에 여러 가지 레이저를 이용하여 표면처리한 후 재수복한 레진 수복물의 전단응력을 측정 한 실험에서, 이산화탄소 레이저 또는 Nd:YAG 레이저를 이용한 표면처리 방법이 유의하게 높은 결합 강도를 보였다²⁵.

시효된 복합레진 수복물 표면에 이산화탄소 레이저를 이용하여 처리한 경우, 교정용 브라켓의 충분한 결합력을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 이번 연구에서는 시효된 복합레진 표면에 교정용 브라켓 접착시 이산화탄소 레이저 조사를 통해 표면처리를 시행하는 것과 그 외의 다른 보편적인 방법과 비교 시 어떤 차이가 있는지 알아보려고 한다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 복합레진 시편 제작

복합레진(Filtek™ Z350 XT, 3M ESPE, USA)을 이용하여 직경 6 mm, 두께 5 mm의 시편을 96개 제작하였다. 테플론 주형에 복합레진을 충전하고, 충전된 레진 표면에 Mylar strip을 이용하여 덮은 후 유리판으로 표면이 수평이 되게 처리하였다. 최고출력 1200 mW/cm²의 LED(Light Emitting Diode) 광중합기(Bluephase, Ivoclar Vivadent, Austria)를 이용하여 표면에 90도의 각도로 2 mm의 일정한 거리에서 20초 동안 광중합하였다. 제작된 시편을 인공타액(Taliva Solution, Hanlim pharm. co., Korea)에 침적시켜 37℃의 온도로 2주 동안 시효처리 하였다. 2주간의 시효처리 후 모든 시편을 실온에서 24시간 동안 증류수에 보관하였다. 그 후 교정용 브라켓을 부착할 평활한 표면을 제외하고 나머지 부분을 아크릴릭 레진 블록에 매몰하였다.

2. 교정용 접착레진과 교정용 브라켓

시효된 복합레진에 교정용 브라켓을 접착시키기 위해서 접착레진(Transbond XT, 3M Unitek, USA)을 이용하였다. 베이스의 면적이 10.88 mm²인 상악 중절치용 브라켓(Mini Mater Series, American Orthodontics, USA)을 실험에 사용하였다.

3. 복합레진의 표면처리

96개의 시편을 무작위적으로 16개씩 6개의 군으로 나누었다.

1군은 표면처리를 하지 않았으며, 2군은 37% 인산(3M ESPE, USA)을 이용하여 60초 동안 부식시킨 후, 60초 동안 수세하였다. 3군은 4% 불산(Bisco, USA)을 이용하여 60초 동안 부식시킨 후, 2분 동안 수세하였고, 4군은 압축공기-입자 분사 연마(Air-Flow Handy, Switzerland)를 이용하여 15초 동안 수직방향에서 중탄산나트륨(sodium bicarbonate) 입자로 5기압과 10 mm 거리에서 분사하였다. 5군은 고속 다이아몬드 버(150 μm, 237/021, Japan)를 이용하여 주수 하에 표면을 거칠게 하였고, 6군은 이산화탄소 레이저(DS-40UB, Daeshin Enterprise, Korea)를 이용하여, 시편에 수직으로 2 cm의 일정한 거리에서 5초 동안 1 W의 강도로 표면을 거칠게 하였다.

각각 표면처리를 시행한 후, 각 군에서 15개의 시편에 교정용 접착레진을 이용하여 브라켓을 접착시켰다. LED 광중합기를 이용하여 20초 동안 교합면과 치은 방향으로, 두 가지 방향에서 광중합하여 브라켓을 접착하였다. 각 군에서 남은 1개의 시편을 이용하여 주사전자 현미경 촬영을 하였다.

4. 전단응력의 측정

전단응력은 만능 시험기(R&B Inc., Korea)을 이용하여 측정하였다(Fig. 1). 전단응력을 측정하기 위해서 1 mm/min의 속도로 교합면에서 치은 방향으로 힘을 가하였다. 복합레진 시편에서 브라켓이 탈락될 때의 최대 힘을 측정하였다. 힘은 kgf 단위로 측정되었으며, 브라켓의 면적으로 나누어 MPa 단위로 환산하였다.

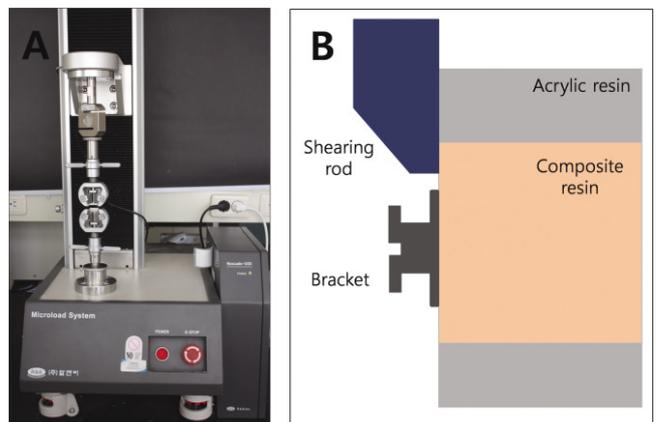


Fig. 1. Equipment and technique for measuring shear bond strength. A. Universal testing machine (R&B Inc., Korea), B. Schematic illustration of the shear bond strength test set-up.

5. 파절면의 관찰

브라켓이 탈락된 후 현미경(Olympus, Japan)을 이용하여 10배의 배율로 복합레진 시편의 파절면을 관찰하였다. 시편에 남아 있는 접착레진의 양을 Årtun과 Bergland²⁶⁾의 접착레진 잔류지수(ARI)를 이용하여 점수화하였다. 0점은 복합레진 시편 표면에 접착레진이 남아 있지 않은 경우, 1점은 복합레진 시편 표면에 접착레진이 50% 미만 남아 있는 경우, 2점은 복합레진 시편 표면에 접착레진이 50% 이상 남아 있는 경우, 3점은 복합레진 시편 표면에 브라켓 베이스의 메시(mesh) 자국과 함께 접착레진 전체가 남아 있는 경우로 평가하였다.

6. 주사전자 현미경을 이용한 시편 단면의 관찰

시효된 복합레진에 시행된 각각의 표면처리 양상을 비교하기 위해 전계방사형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope)으로 촬영하였다. 2주 동안 시효처리한 복합레진 시편을 각각의 방법에 따라 표면처리한 후 각 군에서 1개씩의 시편을 준비하였다. 표면처리된 시편을 2일 동안 순수 알코올에 보관하였으며, 2시간 동안 건조시켰다. 백금입자 코팅 장치(EM SCD005, Leica, Germany)를 이용하여 10 nm 백금입자를 코팅한 후 전계방사형 주사전자현미경(Inspect F, FEI, Netherlands)으로 관찰하였다. 시편의 90도 각도로 관찰하였으며, 500배의 배율로 촬영하였다.

7. 통계분석

통계분석은 SPSS V20.0 프로그램으로 수행하였으며, 각각의 군에서 평균과 표준편차를 표시하였다. 각 군 간의 표면처리에 따른 전단응력 값을 비교하기 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 이용하였으며, Tamhane test를 이용하여 사후검정을 시행하였다. 95% 신뢰구간으로 측정하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 이었다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 전단응력 측정 결과

각각의 실험군에서 측정된 전단응력 값을 표와 그림으로 나타내었다(Table 1, Fig. 2). 버를 사용한 5군이 가장 큰 전단응력 값을 보였으며, 이산화탄소 레이저를 사용한 6군이 그다음으로 큰 값을 보였지만, 5군과 6군은 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 버를 사용한 5군과 이산화탄소 레이저를 사용한 6군은 나머지 표면처리 방법들보다 통계적으로 유의하게 높은 전단응력 값을 보여주었다($p < 0.05$).

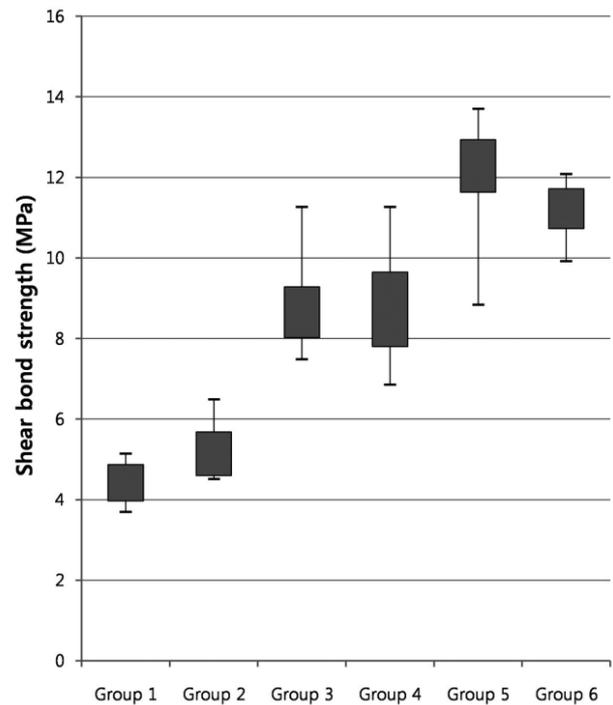


Fig. 2. The box plots showing the shear bond strength of orthodontic brackets bonded to aged composite resin restoration surfaces.

Table 1. Descriptive statistics of the shear bond strength values and results of the multiple comparison test

Group number	Surface treatment	Mean ± SD (MPa)	Minimal (MPa)	Maximal (MPa)	Tamhane*
1	No treatment	4.48 ± 0.50	3.7	5.14	A
2	37% phosphoric acid	5.22 ± 0.77	4.51	6.49	A
3	4% hydrofluoric acid	8.90 ± 1.20	7.48	11.27	B
4	Sodium bicarbonate particle abrasion	8.74 ± 1.31	6.85	11.27	B
5	Diamond bur	11.86 ± 1.55	8.83	13.7	C
6	Carbon dioxide laser	11.15 ± 0.70	9.91	12.08	C

SD : standard deviation

* : Groups shown with different letters were significantly different at the $p = 0.05$ level according to the Tamhane test.

Table 2. Frequency and percentage occurrence of the adhesive remnant index(ARI) scores

Group number	Surface treatment	ARI=0	ARI=1	ARI=2	ARI=3	Sample number
1	No treatment	15 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	15
2	37% phosphoric acid	15 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	15
3	4% hydrofluoric acid	15 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	15
4	Sodium bicarbonate particle abrasion	9 (60%)	6 (40%)	0 (0%)	0 (0%)	15
5	Diamond bur	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	15 (100%)	15
6	Carbon dioxide laser	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	15 (100%)	15

2. Adhesive Remnant Index(ARI)

1군, 2군, 3군에서는 모두 0점이었지만, 5군과 6군에서는 모두 3점의 점수를 보였다(Table 2). 1군, 2군, 3군에서는 복합 레진 수복물과 접착레진 간의 결합 실패를 보여주지만, 5군과 6군에서는 접착레진과 브라켓 간의 결합 실패를 보여준다.

3. 주사전자 현미경 분석

각각의 표면처리 방법에 따른 표면 변화를 관찰하였다(Fig. 3). 레진 표면에 아무 처리를 하지 않은 1군과 비교 시 인산 부식 처리를 한 2군에서 표면의 차이가 거의 없다. 불산을 이용하여 부식 처리를 한 3군에서는 1군과 2군에 비해 충전재 (filler) 의 탈락으로 더 많은 홈(pore)이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있다. 버를 사용하여 표면처리를 한 5군에서 가장 거친 표면을 확인할 수 있으며, 미세기계적 결합을 형성하는 요철구조가 형성되어 있다. 이산화탄소 레이저를 이용한 6군에서도 5군과 비슷한 거친 표면을 형성하고 있으며, 5군은 규칙적인 버 자국을 보이나, 6군에서는 불규칙한 요철 구조를 보이고 있다.

IV. 총괄 및 고찰

복합레진 수복물 표면에 교정용 브라켓을 부착하기 위해서는 접착레진을 사용한다. 이때 레진 기질과 충전재에 의한 화학적 결합과 함께, 레진 기질의 미세 균열 속으로 침투한 모노머에 의한 미세기계적 결합도 발생한다. 이러한 미세기계적인 결합이 복합레진 수복물과 접착레진 간의 결합력을 증가시키는 매우 중요한 요소이다^{27,28}. 임상적으로 복합레진과 교정용 접착레진이 결합하는 이유는 복합레진의 표층에 미반응 폴리머가 존재하는 산소억제층(oxygen-inhibited layer)이 있기 때문이다²⁹.

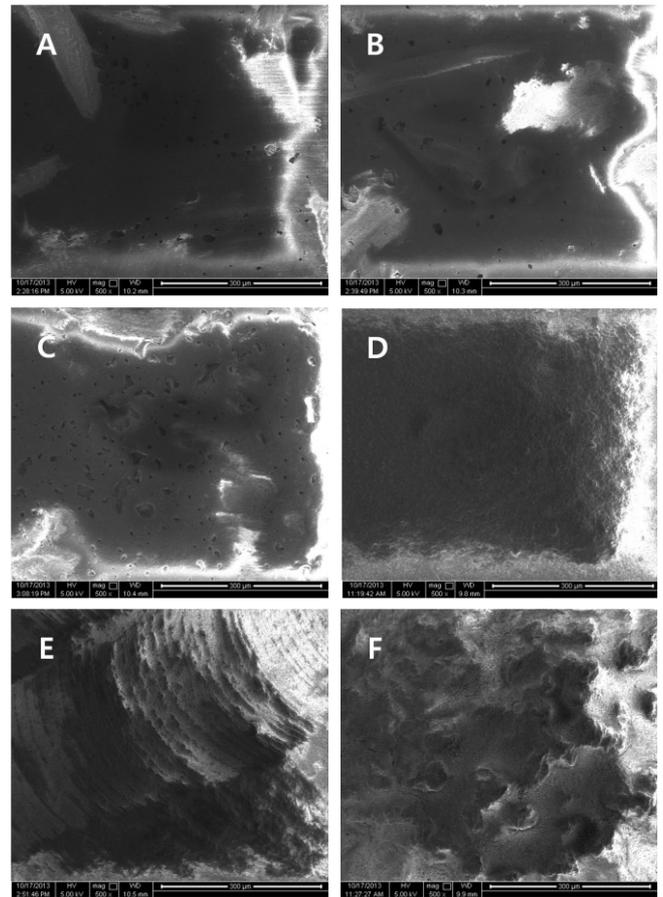


Fig. 3. Scanning electron microscope images of the composite surfaces after the application of various surface preparation methods: (A) Control, (B) 37% phosphoric acid, (C) 4% hydrofluoric acid, (D) sodium bicarbonate particle abrasion, (E) diamond bur, (F) carbon dioxide laser. SEM image revealed production of pitting irregularities on the CO₂ laser-irradiated surface. The microretentive morphology produced on the composite resin surface increased the shear bond strength of orthodontic bracket.

그러나 시효된 레진에는 표층에 미반응 폴리머층이 없으며, 미반응 메타크릴레이트 기(metacrylate group)는 시간이 지나면서 감소하기 때문에, 시효된 복합레진 수복물에 접착하는 경우 결합력이 감소한다^{30,31}. 따라서 복합레진 수복물의 시효 여부는 브라켓 접착에 매우 중요한 고려사항이다.

이전의 연구에서 Hajrassie 등³²은 여러 가지 표면처리에 따른 교정용 브라켓의 전단응력을 측정하여 평균 7.21~10.61 MPa이라고 보고하였으며, Schwartz 등¹¹과 Eslamian 등³³은 레진 수복물에 부착한 교정용 브라켓의 전단응력을 측정한 연구에서 각각 평균 10.3~10.5 MPa과 평균 13.1~19.4 MPa 정도라고 보고하였다. 이번 연구에서도 여러 가지 표면처리 후 측정된 교정용 브라켓의 전단응력은 5.22~12.86 MPa이었으며, 이전의 연구에서 시행된 표면처리 방법에 따른 전단응력 값과 유사하였다.

교정용 브라켓은 치료 기간 동안 교정력에 견딜 수 있을 정도로 충분한 결합력을 가져야 한다. 금속 교정용 브라켓을 법랑질 표면에 부착할 때 최소한 8 MPa 이상의 결합력이 추천된다³⁴. 이번 실험 결과 2군에서는 교정력에 견딜 수 있는 충분한 전단응력을 보이지 않았다. 반면 3군, 4군, 5군과 6군에서는 임상적으로 유용한 전단응력 값을 보여주었다.

브라켓 접착 파절 양상은 레진 수복물과 접착레진의 결합력, 접착레진과 브라켓 사이의 결합력, 접착레진과 브라켓 재료의 화학적, 기계적 특성에 영향을 받으며, 파절시 접착레진의 잔존량과 전단 결합 강도는 관련이 없다²⁸. 브라켓 접착 계면의 파절 양상을 관찰하면 접착 과정에 대한 유용한 정보를 얻을 수 있다. ARI 평가에서 2군의 모든 시편에서 복합레진 수복물과 접착레진 사이에서 결합 실패가 발생하여, 2군에서는 시효된 복합레진 수복물과 접착레진 사이에 결합력이 약하다는 것을 알 수 있다. 반면 5군과 6군에서는 모든 시편에서 브라켓과 접착레진 사이에서 결합 실패가 발생하여, 버와 이산화탄소 레이저 표면 처리 방법을 통해 시효된 복합레진 수복물과 접착레진간 강력한 결합을 형성함을 알 수 있다.

일반적인 교정용 브라켓 부착 방법은 37%의 인산을 이용하여 법랑질 표면을 부식시켜 결합력을 얻는다. 그러나 37%의 인산으로는 시효된 복합레진 수복물의 표면을 부식시킬 수 없다⁸. 이번 실험에서도 표면처리 방법 중에서 인산을 이용하여 표면을 부식시킨 2군에서 가장 낮은 전단 응력 값을 보였으며, 대조군과 결합력의 유의한 차이가 없어 인산을 통한 표면처리 방법은 시효된 레진의 결합력을 증가시키는 효과가 없었다.

불산은 복합레진 충전제의 유리 입자를 용해해 미세한 틈을 만들기 때문에, 미세기계적인 결합을 증가시킨다³⁵. 주사전자 현미경 사진에서 인산보다는 불산을 사용하는 경우 충전제의 탈락이 더 많아 구멍과 미세한 틈이 더 많이 관찰되었다. 이전 연구결과와 같이 이번 실험에서도 인산을 사용하여 표면처리한 2군보다, 불산을 사용하여 표면처리한 3군에서 전단응력 값이 더 크게 측정되었다. 인산보다는 불산을 이용한 화학적 부식 방법이 더 큰 결합 강도를 보이지만, 진료실에서 불산이 구강내 연조직에 접촉하는 경우 화학적 화상 위험이 있어 임상적으로

사용 시 주의가 필요하다³³.

중탄산 나트륨을 이용하여 복합레진 수복물의 표면을 처리한 4군의 경우 2군보다는 미세기계적 결합이 증가하였지만, 3군과 비슷한 정도의 전단응력 값을 보였다. 또한, 4군의 경우 5군과 6군보다 유의하게 낮은 결합 강도를 보였다. 주사전자 현미경에서 중탄산 나트륨을 이용한 표면처리 방법은 레진 표면에서 요철 구조를 형성하나, 5군과 6군에 비해 표면 거칠기가 작았다. 그리고 구강내에서 입자 분사 연마를 이용한 표면처리시 중탄산 나트륨 입자들이 눈과 코 및 구강내 연조직에 자극을 줄 수 있어 적용 방향 및 사용방법에 각별한 주의가 필요하다³³.

이번 실험에서 버를 사용하여 표면처리를 한 5군에서 가장 큰 전단응력 값을 보였다. 버를 이용하는 경우에는 불산이나 입자 분사 연마처럼 연조직에 위해 작용은 없으며 진료실에서 간편히 사용할 수 있는 방법이다. 그러나 버를 이용하여 표면처리하는 경우 기존 레진 수복물에 손상을 주며, 술자에 따라 삭제 깊이가 다를 수 있다는 단점이 있다³⁶.

레이저를 레진 수복물 표면에 조사하면 표면을 거칠게 하는 효과(roughened effect)와 수복물 표층 일부를 제거하는 효과(glazed effect)가 있어, 이러한 표면의 형태 변화가 결합력을 증진시킬 수 있다²⁵. 주사전자 현미경 사진에서 이산화탄소 레이저를 이용한 표면처리 시 표면이 매우 불규칙한 형태를 보인다. 이러한 불규칙한 유지형태가 표면적을 증가시키며, 표면적이 증가하면 결합면적도 증가하여 기존 레진과 새로운 레진과의 결합 계면에서 응력 분산효과가 있어 결합 강도가 증가하는 것이다³⁷.

이산화탄소 레이저는 9.3~10.6 μm 범위의 파장을 가지고 있어, 법랑질과 상아질 같은 치아 경조직에 잘 흡수되어 증산(ablation)의 원리로 삭제력을 가진다³⁸. 이러한 장점으로 이산화탄소 레이저는 치아에 수복 재료를 접착하거나, 수복 재료간의 결합력을 향상시킬 목적으로 사용되고 있다. 이산화탄소 레이저로 지르코니아 세라믹을 표면처리한 후 레진과의 결합력을 측정된 실험에서 불산이나 입자 분사 연마를 이용한 표면처리 방법보다 통계적으로 유의하게 더 높은 결합강도를 보였다³⁹. 이번 실험에서도 시효된 레진에 이산화탄소 레이저로 표면처리한 후 브라켓을 부착하였을 때, 불산이나 입자 분사 연마를 이용한 표면처리 방법보다 유의하게 더 높은 결합강도를 보였다.

레이저를 치아표면에 조사할 때 가장 고려할 문제점은 온도 상승으로 인한 치수의 손상이다. Akova 등⁴⁰은 2 W의 이산화탄소레이저를 20초간 치아 표면에 조사하였을 때 치수강내 온도가 0.2 $^{\circ}\text{C}$ 상승하였고, 이는 치수 손상이 일어날 수 있는 온도에 미치지 못하는 증가라고 보고하였다. 또한 Zach 등⁴¹은 외부 열이 치아에 전달되어 치수내 온도가 1.8 $^{\circ}\text{C}$ 상승하였음에도 치수 손상이 발생하지 않았다고 보고하였다. 이번 실험에서 사용한 이산화탄소 레이저 조사 조건은 Akova 등의 연구에서의 조사조건 보다 작은 1 W의 세기로 5초 동안이었으며, 이러한 조건으로 레진 수복물 표면에 조사하는 경우 치수내 온도 상승은 더욱 적을 것이다. 또한, 시효된 레진 수복물 표면에 이산화탄소 레이저를 조사한 경우 치수내 온도 변화가 어느 정도인지를

알아보는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

표면 거칠기를 증가시켜 레진의 결합력을 증가시키는 방법은 기존 레진 수복물에 손상을 일으킨다. 그러므로 교정치료 후 브라켓을 떼어낼 때, 복합레진 수복물 표면에 표면처리를 하였다면, 복합레진 수복물 표면에 남아있는 접착레진을 주의 깊게 제거해야 하며, 거칠어진 표면에 연마를 시행하여 활택한 표면을 회복시켜주어야 한다. 버를 사용하는 경우 깊게 파인 곳을 수복하기 위해서는 재수복을 해주어야 하는 경우도 있으나, 레이저의 경우 수 마이크로미터의 깊이에서만 영향을 미치기 때문에, 추후 브라켓 제거 후에도 연마하여 활택한 표면을 얻는 것이 용이하다²⁵⁾. 따라서 구강내에서 오래된 레진 수복물에 교정 치료를 위한 브라켓을 부착하기 위해서 이산화탄소 레이저를 이용하여 표면을 처리하는 것이 적절한 방법이 될 수 있다. 그러나 레이저를 진료실에서 사용하는 경우, 치료도구나 거울 등과 같이 반사가 큰 표면들은 레이저의 경로를 변경할 수 있으므로, 이를 차단할 수 있는 부가적인 도구 및 주의가 필요하다. 이번 연구는 실험실에서 시행되어 구강내 환경을 정확히 재현할 수 없었으며, 구강내에서 표면처리를 위한 시술 환경과 실험실에서 기구조작 환경의 차이가 있었다. 접착레진의 부착 강도가 실험실 연구에 비해 임상 결과에서 떨어지는 경우가 보고 되고 있는데, 이는 구강 내 환경이 습기가 많고 타액이나 혈액 등에 의한 오염 가능성이 존재하기 때문이다⁴²⁾. 또한 구강 내에서 시효되고 타액 속의 성분들이 수복물에 축적되면서 기존 수복물과 새로운 수복물 간의 결합력은 시간이 지나면서 감소한다고 보고되고 있다⁴³⁻⁴⁵⁾. 따라서 시효된 레진 수복물에 다양한 표면처리 후 구강내에서 측정된 브라켓의 전단응력에 대한 연구가 추후 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

시효된 복합레진 수복물 표면에 교정용 브라켓을 부착하기 위해서는 교정력에 견딜 수 있는 정도의 전단응력이 필요하다. 이번 실험에서 시효된 복합레진에 여러 가지 표면처리를 시행하고, 표면처리 방법에 따른 교정용 브라켓의 전단응력을 측정하였다.

임상적으로 적용 가능한 전단응력 값을 보여주는 표면처리 방법은 불산, 중탄산 나트륨 입자 분사 연마, 다이아몬드 버, 이산화탄소 레이저를 이용하는 방법 등이 있다. 인산 또는 불산을 이용하여 화학적으로 표면처리를 하는 경우 복합레진 수복물과 접착레진 사이에서 결합 실패가 발생하였지만, 버 또는 이산화탄소 레이저를 이용하여 표면처리 하는 경우에는 브라켓과 접착레진 사이에서 결합 실패가 발생하였다. 또한, 주사전자 현미경 사진을 통해 분석한 결과 버와 레이저를 이용하여 표면처리 한 경우에 표면이 가장 거칠었으며, 미세기계적인 결합에 기여하는 불규칙한 요철구조가 형성되었다. 레이저를 사용한 표면처리 방법은 버를 사용한 표면처리 방법과 비슷한 정도의 전단응력 값을 얻을 수 있다.

이번 연구 결과 시효된 복합레진 수복물에 교정용 브라켓을

접착할 때, 이산화탄소 레이저를 이용한 표면처리 방법은 교정용 브라켓과 시효된 복합레진 표면 간의 적절한 결합강도를 제공함을 알 수 있다. 따라서 시효된 복합레진 표면에 브라켓의 결합강도를 증가시키기 위해서 이산화탄소 레이저 표면처리 방법은 사용 가능한 치료 대안이 될 것이라 생각하며, 차후 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각한다.

References

1. Emre O, Meric K, Gunduz B, *et al.* : Two-year follow-up of fractured anterior teeth restored with direct composite resin : report of three cases. *Dent Traumatol*, 24:589-592, 2008.
2. Brunthaler A, Lucas T, Sperr W, *et al.* : Longevity of direct composite in posterior teeth. *Clin Oral Investig*, 7:63-70, 2003.
3. Maijer R, Smith DC : Variables influencing the bond strength of metal orthodontic bracket bases. *Am J Orthod*, 79:20-34, 1981.
4. Van Kerckhoven H, Lambrechts P : Unreacted methacrylate groups on the surfaces of composite resins. *J Dent Res*, 61:791-795, 1982.
5. Kao EC, Eliades T, Rezvan E, *et al.* : Torsional bond strength and failure pattern of ceramic bracket bonded to composite resin laminate veneers. *Eur J Orthod*, 17:533-540, 1995.
6. Chunhacheevachaloke E, Tyas MJ: Shear bond strength of ceramic brackets to resin-composite surface. *Aust Orthod J*, 15:10-15, 1997.
7. Lai PY, Woods MG, Tyas MJ : Bond strength of orthodontic brackets to restorative resin composite surface. *Aust Orthod J*, 15:235-245, 1999.
8. Viwattanatipa N, Jermwivatkul W, Nanthavanich N, *et al.* : The effect of different surface preparation techniques on the survival probabilities of orthodontic brackets bonded to nanofill composite resin. *J Orthod*, 37:162-173, 2010.
9. Viwattanatipa N, Prasertsangwal J, Juntavee N : Weibull analysis of shear/peer bond strength of orthodontic buccal tubes bonded to five resin composites. *Orthod Waves*, 67:120-127, 2008.
10. Bishara SE, Ajlouni R, Oonsombat C : Bonding orthodontic brackets to composite using different surface preparations and adhesive/primers: a comparative study. *World J Orthod*, 4:343-347, 2003.
11. Schwartz RE, Tyas MJ, West VC : The bonding of orthodontic brackets to composite resin surfaces. *Aust Orthod J*, 35:472-473, 1990.

12. Eslamian L, Borzabadi-Farahani A, Ghasemi A, *et al.*: The effects of various surface treatments on the shear bond strengths of stainless steel brackets to artificially aged composite restorations. *Aust Orthod J*, 27:28-32, 2011.
13. Kinersly T, Jarabak JP, Dement J, *et al.*: Laser effects on tissue and materials related to dentistry. *J Dent Res*, 47:311-317, 1972.
14. Lukac M, Hocevar F, Nemes K, *et al.*: Effects of pulsed CO₂ and Er:YAG lasers on enamel and dentin. *Lasers Surg Med*, 1880:169-175, 1993.
15. Ertl T, Muller G: Hard tissue ablation with pulsed CO₂ lasers. *Lasers Surg Med*, 1880:176-181, 1993.
16. Featherstone JDB, Fried D, Seka W: Effect of pulse duration and repetition rate on CO₂ laser effects. *J Dent Res*, 51:455-460, 1972.
17. Walsh LJ: Clinical evaluation of dental hard tissue applications of carbon dioxide lasers. *J Clin Laser Med Surg*, 12:11-15, 1994.
18. Walsh LJ, Abood D, Brockhurst PJ: Bonding of resin composite to carbon dioxide laser-modified human enamel. *Dent Mater*, 10:162-166, 1994.
19. Walsh LJ: Split-mouth study of sealant retention with carbon dioxide laser versus acid etch conditioning. *Aust Dent J*, 41:124-127, 1996.
20. Cooper LF, Myers ML, Mowery AS, *et al.*: Shear strength of composite bonded to laser-pretreated dentin. *J Prosthet Dent*, 60:45-49, 1988.
21. Fraunhofer JA, Allen DJ, Orbell GM: Laser etching of direct bonding. *Angle Orthod*, 63:73-76, 1992.
22. Roberts-Harry D: Laser etching of teeth for orthodontic bracket placement: a preliminary clinical study. *Lasers Surg Med*, 12:467-470, 1992.
23. Caneppele TM, Borges AB, Torres CR, *et al.*: Influence of Nd:YAG or Er:YAG laser surface treatment on microtensile bond strength of indirect resin composites to resin cement. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, 20:135-140, 2012.
24. Mansore M, Esmail Y, Nasim C, *et al.*: Effect of laser treatment of surface morphology of indirect composite resin: scanning electron microscope evaluation. *Lasers Med Sci*, 4:92-95, 2013.
25. Parnian AO, Narmin M, Maryam S, *et al.*: Effect of surface treatment with Er:Cr:YSSG, Nd:YAG, and CO₂ lasers on repair shear bond strength of a silorane-based composite resin. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*, 7:61-66, 2013.
26. Årtun J, Bergland S: Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 85:333-340, 1984.
27. Brosh T, Pilo R, Bichacho N, *et al.*: Effect of combination of surface treatment and bonding agents on the bond strength of repaired composites. *J Prosthet Dent*, 77:122-126, 1997.
28. Lee HS, Kim JS, Yoo SH: A comparative study of the shear bond strength and adhesive failure pattern of metal brackets bonded on natural teeth and porcelain teeth. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 35:195-204, 2008.
29. Li J: Effects of surface properties on bond strength between layers of newly cured dental composites. *J Oral Rehabil*, 24:358-360, 1997.
30. Ferracane JL, Marker VA: Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. *J Dent Res*, 71:13-19, 1992.
31. Ozcan M, Barbosa SH, Melo RM, *et al.*: Effect of surface conditioning methods on the microtensile bond strength of resin composite to composite after aging conditions. *Dent Mater*, 23:1276-1282, 2007.
32. Hajrassie MKA, Khier SE: In-vivo and in-vitro comparison of bond strengths of orthodontic brackets bonded to enamel and debonded at various times. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 131:384-390, 2007.
33. Eslamian L, Mousavi N, Ghasemi A, *et al.*: The effects of various surface treatments on the shear bond strengths of stainless steel brackets to artificially-aged composite restorations. *Aust Orthod J*, 27:28-32, 2010.
34. Brantley WA: Orthodontic materials: scientific and clinical aspects. *Thieme*, 105-122, 2001.
35. Swift EJ, Le Valley BD, Boyer DB: Evaluation of new methods for composite repair. *Dent Mater*, 8:362-365, 1992.
36. Mehmet B, Cemal Y, Metin N, *et al.*: Shear bond strength of orthodontic brackets to aged resin composite surfaces: effect of surface conditioning. *Eur J Orthod*, 33:174-179, 2011.
37. Fawzy AS, El-Askary FS, Amer MA: Effect of surface treatments on the tensile bond strength of repaired water-aged anterior restorative micro-fine hybrid resin composite. *J Dent*, 36:969-976, 2008.
38. Featherstone JDB, Nelson DGA: Laser effects on dental hard tissues. *Adv Dent Res*, 1:21-26, 1987.
39. Gagri U, Tolga K, Murat K: The effect of laser

- treatment on bonding between zirconia ceramic surface and resin cement. *Acta Odontologica Scandinavica*, 68:354-359, 2010.
40. Akova T, Yoldas O, Uysal H, et al. : Porcelain surface treatment by laser for bracket-porcelain bonding. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 107:159-164, 2005.
 41. Zach L, Cohen G : Pulp response to externally applied heat. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 19: 515-530, 1965.
 42. 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.
 43. Boyer DB, Chan KC, Reinhardt JW : Build-up and repair of light-cured composites: bond strength. *J Dent Res*, 63:1241-1244, 1984.
 44. Chiba K, Hosoda H, Fusayama T : The addition of an adhesive composite resin to the same material: bond strength and clinical techniques. *J Prosthet Dent*, 61:669-675, 1989.
 45. Kao EC, Pryor HG, Johnston WM : Strength of composites repaired by laminating with dissimilar composites. *J Prosthet Dent*, 60:328-333, 1988.

국문초록

시효된 복합레진 표면에 다양한 표면 처리 후 부착한 교정용 브라켓의 전단응력

박종철 · 박호원 · 이주현 · 서현우

강릉원주대학교 치과대학 소아치과학교실 및 구강과학연구소

이 연구의 목적은 시효된 복합레진 수복물에 이산화탄소 레이저로 표면처리한 경우와 기존의 여러 가지 표면처리 방법에 따른 교정용 브라켓의 전단응력을 측정하여 비교하기 위함이다.

복합레진을 이용하여 직경 6 mm, 두께 5 mm의 시편을 96개 제작하였다. 제작된 시편을 인공타액에 침적시켜 37℃의 온도로 2주 동안 시효처리 하였다. 그 후 96개의 시편을 무작위적으로 16개씩 6개의 군으로 나누었다. 1군은 표면처리를 하지 않았고, 2군은 37% 인산으로, 3군은 4% 불산으로, 4군은 입자 분사 연마로, 5군은 고속 다이아몬드 버로, 6군은 이산화탄소 레이저로 표면처리하였다. 만능 시험기를 이용하여 전단응력을 측정하였으며, 주사전자 현미경을 이용하여 표면처리 양상을 관찰하였다.

버를 사용한 5군이 가장 큰 전단응력 값을 보였으며, 이산화탄소 레이저를 사용한 6군이 그다음으로 큰 값을 보였다. 버를 사용한 5군과 이산화탄소 레이저를 사용한 6군은 나머지 표면처리 방법들보다 통계적으로 유의하게 높은 전단응력 값을 보여주었다($p < 0.05$). 또한, 주사전자 현미경 사진을 통해 분석한 결과 레이저를 이용한 6군에서 표면이 가장 거칠었으며 불규칙한 요철구조가 형성되었다.

이산화탄소 레이저를 이용한 표면처리 방법은 브라켓 접착시 적절한 결합강도를 제공하므로, 시효된 레진 수복물에 교정용 브라켓을 접착하기 위한 유용한 방법이 될 수 있다.

주요어: 이산화탄소 레이저, 표면처리, 전단응력, 교정용 브라켓