

교정용 브라켓에 가해지는 힘의 방향에 따른 결합강도의 비교

이현정¹⁾ · 이형순¹⁾ · 전영미²⁾ · 김정기³⁾

본 연구는 교정용 금속 브라켓에 다양한 방향에서의 복합적인 응력을 가하여 힘의 방향과 적용점에 따른 교정용 브라켓의 결합강도를 비교하고, 브라켓의 유지력을 평가하는데 기준이 되는 최소결합강도의 특성에 대해 알아보고자 시행되었다. 일정한 표면특성을 갖는 금속봉에 Micro-Loc base, Chessboard base, Non-etched Foil-Mesh base 등 서로다른 기저면 형태를 가지는 3가지 종류의 금속 브라켓을 부착시키고, 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°의 peel 결합강도(₀PBS, ₁₅PBS, ₃₀PBS, ₄₅PBS, ₆₀PBS, ₇₅PBS, ₉₀PBS) 및 전단결합강도(SBS)와 인장결합강도(TBS)에 대한 브라켓의 결합강도를 측정하고, 각 브라켓의 기저면 면적을 고려하여 단위면적당 결합강도를 산출하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Micro-Loc base와 Chessboard base 및 Non-etched Foil-Mesh base 브라켓 모두에서 전단결합강도(SBS)가 가장 컸다($p < 0.01$).
2. Peel 응력의 방향 변화에 따른 peel 결합강도(PBS)의 변화양상은 Micro-Loc base와 Chessboard base, Non-etched Foil-Mesh base 브라켓 모두에서 유사하였으며($p > 0.05$), peel 응력의 적용 각이 증가할수록 peel 결합강도(PBS)는 감소하였고 60°에서 최저값을 보였다($p < 0.05$).
3. Micro-Loc base에서 최저 peel 결합강도(₆₀PBS)는 전단결합강도(SBS)의 29% 수준이었으며, 인장결합강도(TBS)에 대해서는 52% 수준이었고, Chessboard base에서 최저 peel bond strength(₆₀PBS)는 전단결합강도(SBS)의 34% 수준이었으며, 인장결합강도(TBS)에 대해서는 61% 수준이었으며, Non-etched Foil-Mesh base에서 최저 peel 결합강도(₆₀PBS)는 전단결합강도(SBS)의 34% 수준이었으며, 인장결합강도(TBS)에 대해서는 55% 수준이었다.
4. 단위면적당 결합강도에 있어서 전단결합강도(SBS)와 인장결합강도(TBS) 및 75°와 90° peel 결합강도는 Micro-Loc base와 Chessboard base에서 차이가 없었으며 Non-etched Foil-Mesh base에서 가장 작았고($p < 0.05$), 0°, 15°, 30°, 60° peel 응력을 적용한 결과 Chessboard base에서 가장 큰 peel 결합강도를, Non-etched Foil-Mesh base에서 가장 작은 결합강도를 보였다($p < 0.05$).

(주요 단어 : 전단결합강도, 인장결합강도, Peel 결합강도)

¹⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생.

²⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실 및 구강생체과학연구소, 조교수.

³⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실 및 구강생체과학연구소, 부교수.

교신저자 : 김정기

전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14

전북대학교 치과대학 교정학교실 / 063-250-2124

kjgortho@moak.chonbuk.ac.kr

원고접수일 : 2003년 4월 17일 심사통과일 : 2003년 7월 30일

I. 서 론

치아와 교정용 브라켓 사이의 접착(bonding)은 법랑질 표면과 브라켓 기저부에 형성된 요철구조 사이에 접착제가 개재하여 형성되는 기계적인 맞물림에 기초한 것으로, 결합력은 브라켓 기저부의 기계적인 요철구조와 화학적인 처리에 의해 크게 영향을 받는다.

Table 1. Bracket types used in this study (Mandibular anterior bracket, 022" standard).

Group	Products	Manufacturer	Base Configuration
ML	Microloc	Tomy	Micro-Loc base
CB	Archist	Daesung	Chessboard base
FM	Ultratrimm	Dentaurum	Non-etched Foil-Mesh base

Table 2. Number of samples used in this study.

Group	SBS	0°PBS	15°PBS	30°PBS	45°PBS	60°PBS	75°PBS	90°PBS	TBS
ML(Micro-Loc)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
CB(Chessboard)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
FM(Non-etched Foil-Mesh)	10	10	10	10	10	10	10	10	10

것으로 알려져 있으며, 성공적인 브라켓의 접착을 위해서는 치아법랑질면의 처리, 접착제, 브라켓 기저부의 디자인 등의 요건이 충족되어야 한다¹⁾.

브라켓의 결합강도는 치아에 교정력을 전달하는데 있어서 필수적인 요소로서²⁾, 최소한 교정력 및 교합력에 대응하여 브라켓을 유지할 수 있는 정도 이상이 되어야 하지만³⁾, 너무 큰 결합강도를 보이는 경우, 장치 제거 시 치아 법랑질 또는 치관 수복물의 손상 가능성이 클 뿐 아니라 브라켓 파절에 따른 장치 제거의 어려움을 야기할 수 있으므로 적절한 수준의 결합강도가 필요하다고 할 수 있다⁴⁾.

선학들의 연구 결과, 적절한 산부식 술식, 레진 접착제의 선택, 접착 계면에 적용되는 힘의 특성, 브라켓 기저부의 형태 등이 브라켓의 결합강도에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌으며⁵⁻⁷⁾, 이중 접착 계면에 적용되는 힘의 특성에 대한 연구는 특히 관심의 대상이 되어왔다. 브라켓의 결합강도를 평가하기 위해 Willems 등⁸⁾은 30° 방향의 전단/인장 복합응력을 사용하였고, Merrill 등⁴⁾은 전단, 인장, 뒤틀림 응력을, 이 등⁹⁾은 전단응력, 인장응력 및 45° 방향의 peel 응력을 사용한 바가 있으나, 대부분의 연구들이 전단결합강도 또는 인장결합강도의 평가에 국한되었다. 구강내에서 발휘되는 교정력 또는 브라켓을 제거할 때 사용되는 힘은 다양한 방향에서 적용된다는 점을 고려할 때 전단결합강도 또는 인장결합강도 보다는 복합적인 응력 또는 뒤틀림응력에 대한 접착부의 반응을 평가할 필요가 있을 것으로 생각되는데, 실제로 몇몇 연구에서 뒤틀림응력^{4,10,11)}이나, 복합적인 응력^{8,9,12)}을 적용하려는 시도

가 있었지만 이에 관한 연구는 매우 미진한 상태이다. 특히, 실제로 구강 내에서 교정력을 발휘하거나 브라켓을 제거할 때 사용되는 다양한 방향에서의 peel 접착강도를 비교한 연구는 거의 전무한 실정이다⁸⁾.

본 연구는 일정한 표면특성을 갖는 금속봉에 서로 다른 기저부 형태를 가진 3가지 종류의 금속브라켓을 부착시키고 다양한 방향에서의 복합적인 응력을 가한 후 힘의 방향과 적용점에 따른 금속 브라켓의 결합력을 비교평가하고 구강 내에서 교정력이나 교합력이 가해질 때 브라켓의 유지력을 평가하는데 기준이 되는 최소결합강도의 특성을 연구하고자 시행되었다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

금속봉은 70×7×7mm의 크기로 밀링하여 사용하였고, 브라켓은 Micro-Loc base(Tomy Co, Japan)와 Chessboard base(Daesung Co, Korea), Non-etched Foil-Mesh base(Dentaurum, Germany)의 하악 절치부 022" standard 브라켓을 각각 90개씩 사용하였으며, 각 금속 브라켓은 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° peel 결합강도(0°PBS, 15°PBS, 30°PBS, 45°PBS, 60°PBS, 75°PBS, 90°PBS)와 전단결합강도(SBS), 인장결합강도(TBS)군으로 나누어 각각 10개씩 사용하였다. 접착제는 Ortho-one(Bisco Co)의 비반죽형을 이용하였다. Table 1에 본 연구에서 사용된 금속 브라켓의 제조회사와 특성, Table 2에 사용한 표본의 수를 요약하였다.

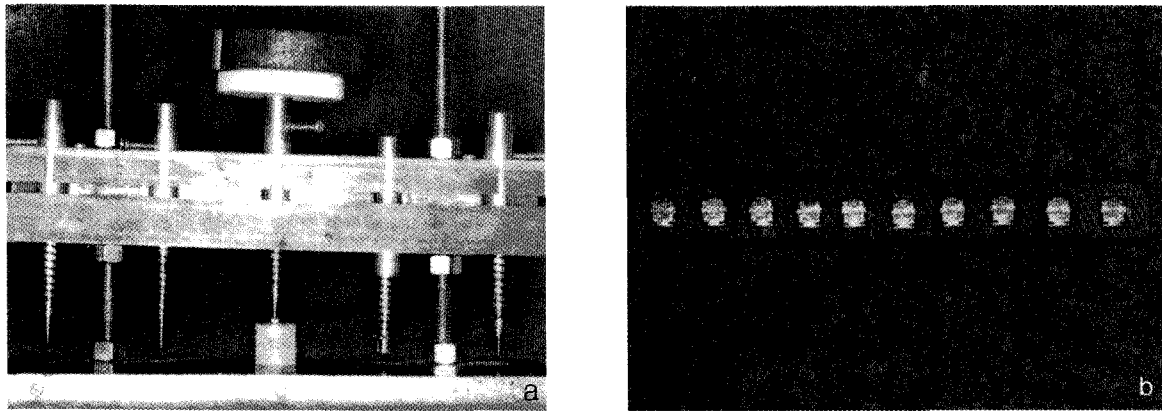


Fig. 1. Bonding the bracket to the metal bar. a: bracket bonding device, b: metal bar with bonded bracket.

2. 실험 방법

1) 금속봉의 제작

금속봉은 70×7×7mm의 크기로 각 면이 서로 수직이 되도록 밀링하였고, 금속봉의 표면 거칠기를 증가시키기 위해서 격자모양으로 일정한 구를 형성하였으며, 염산에 8시간 담가두어 밀링 과정과 구 형성 단계에서 발생한 불순물을 제거하였다. 마지막으로 공업용 sandblaster를 이용해 금속봉의 표면을 sandblasting 하였다. 예비실험을 진행하여 구 형성, 부식, sandblast의 3가지 조건을 모두 시행한 경우에 결합력이 가장 크다는 결과를 얻었으며, 결합 파절 부위를 평가하여 접착 파절이 레진 접착제와 금속봉 사이에서 발생하지 않고 레진 접착제와 브라켓 기저부 사이에서 발생한다는 것을 확인하였다.

2) 브라켓의 접착과 결합강도의 측정

준비된 금속봉(70×7×7mm)에 브라켓을 접착하기 위해 먼저, 금속접착용 프라이머(Tokuyama Co, Japan)를 금속봉에 도포 하였고, 제조자의 지시에 따라 브라켓을 금속봉의 표면에 위치시키고 균일한 하중을 줄 수 있는 정하중 장치(Fig. 1a)를 이용하여 15초 동안 560g의 하중을 가해 브라켓을 접착하였으며, 브라켓 주위로 누출된 과잉의 접착제를 탐침으로 제거하였다. 각 금속봉에는 일정한 간격으로 10개의 브라켓을 접착하였고 접착이 완료된 금속봉은 상온에서 24시간 보관하였다(Fig. 1b).

재료시험기(Instron Co, Model 4201, USA)에 시편을 고정시키고 분당 0.5mm의 crosshead speed로 용량 50kg의 load cell을 이용하여 각각의 방향으로의

peel 결합강도(PBS)와 전단결합강도(SBS) 및 인장결합강도(TBS)를 측정하였다.

전단결합강도(SBS)를 측정하기 위하여 브라켓의 절단부측 기저면에 힘이 가해지도록 하였고(Fig. 2a), 인장결합강도(TBS)를 측정하기 위하여 브라켓의 인상을 채득하여 Ni-Cr계 합금(Rexillum, USA)으로 브라켓 홀더를 제작하여 이용하였으며(Fig. 2b, 2c), peel 결합강도의 측정을 위해 특별히 제작된 장치의 홈에 브라켓이 부착된 금속봉을 고정시키고 금속봉이 각각 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°로 경사지도록 조정된 후, 브라켓의 절단측 wing에 0.012" 스테인레스 스틸 철사를 걸어 당겨 측정하였다. PBS 측정장치의 각 눈금은 5°간격으로 구성되어 있으며, 수평면에 대해 브라켓의 각도를 변화시켜 브라켓에 적용되는 응력의 방향을 조절하였다(Fig. 2d).

Peel 응력 적용 시 힘의 방향에 따라 0°peel bond strength(₀PBS), 15°peel bond strength(₁₅PBS), 30°peel bond strength(₃₀PBS), 45°peel bond strength(₄₅PBS), 60°peel bond strength(₆₀PBS), 75°peel bond strength(₇₅PBS), 90°peel bond strength(₉₀PBS)로 구분하였으며(Fig. 3a), ₀PBS와 SBS 및 ₉₀PBS와 TBS는 각각 힘의 방향이 같지만 다른 적용점을 가지는 힘으로 구분하였다(Fig. 3b).

3) 현미경 관찰

실험에 사용된 금속 브라켓의 기저부의 형태적인 특성과 단면적을 측정하기 위해서 결합강도 측정전의 금속 브라켓 기저부 형태를 주사전자현미경(Jeol, JSM-6400, Japan)을 통해 관찰하였다.

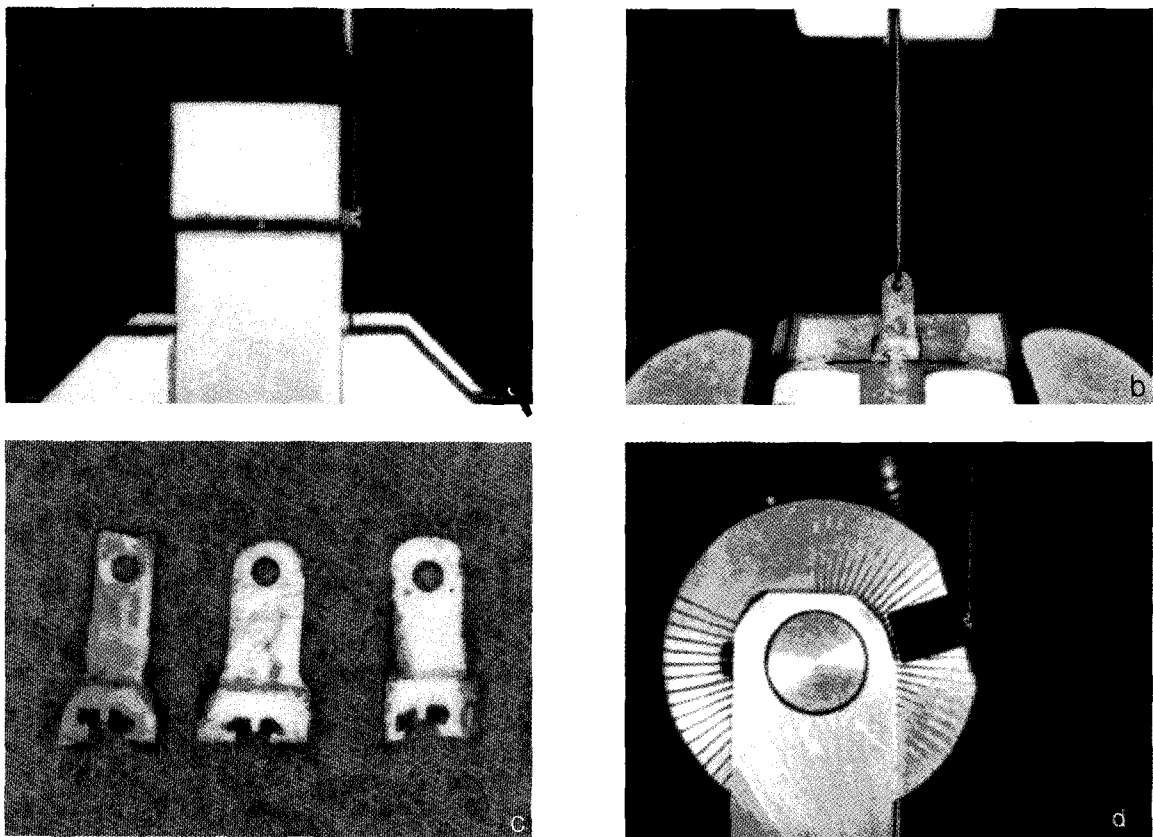


Fig. 2. Bond strength testing devices. a : shear bond strength testing, b : tensile bond strength testing, c : jigs for tensile bond strength testing, d : peel bond strength testing device.

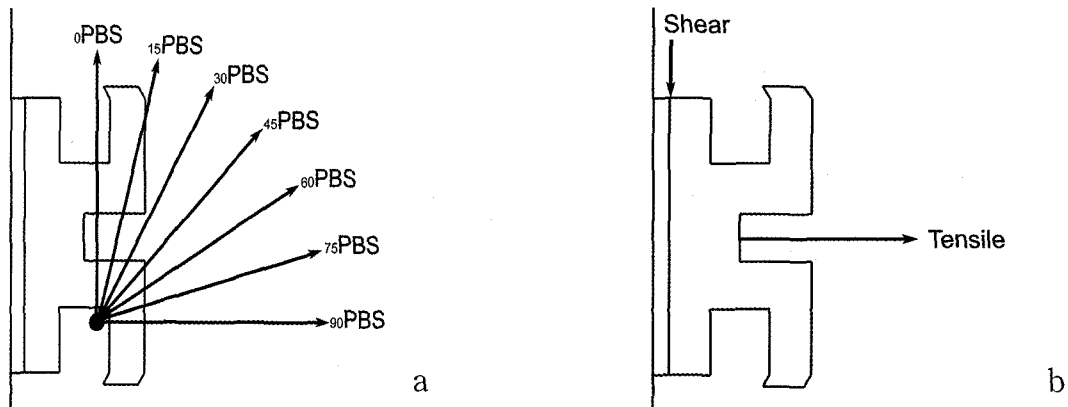


Fig. 3. Force direction used in this study. a: peel bond strength, b: tensile and shear bond strength.

4) 통계 처리

브라켓의 결합강도에 기저면의 면적이 미치는 영향을 배제하기 위하여, 측정된 결합강도를 기저면의

면적으로 나눈 후 중력가속도를 곱하여 단위면적당 결합강도를 산출하여 통계처리 하였다. 통계처리에는 SPSSWIN 프로그램을 이용하였으며, 힘의 방향에 의

Table 3. Characteristics of bracket base.

Group	Configuration	Area (mm ²)	Characteristics
ML	Micro-Loc base	9.91	Etched surface, 500μm diameter spherical indentation
CB	Chessboard base	8.28	92.8μm width deep and shallow grooves in different direction
FM	Non-etched Foil Mesh base	9.16	Monolayer mesh pattern with 132.3μm diameter smooth wires

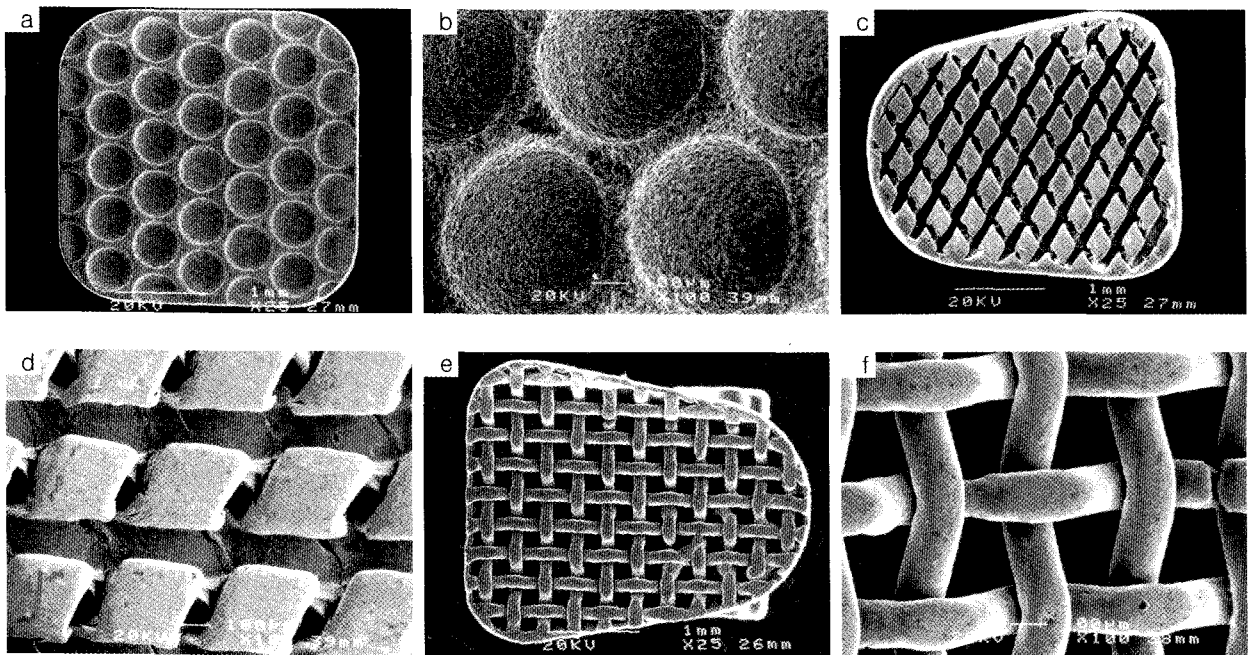


Fig. 4. SEM images of the surface configurations of the brackets used in this study.

a : ML ×25, b : ML ×200, c : CB ×25, d : CB ×250, e : FM ×25, f : FM ×100.

한 결합강도의 차이를 평가하고, 동일한 힘의 방향 및 형태에 대하여 브라켓 기저면의 형태에 따른 결합강도의 차이를 평가하기 위하여 각 힘의 방향 및 브라켓 기저부 형태에 따른 일원분산분석(One way ANOVA)을 각각 실시하였고, 사후 검정을 위해서는 Duncan의 다중범위검증법을 이용하였다($p < 0.05$).

III. 결 과

1) 브라켓 기저부의 형태에 대한 SEM 관찰

본 연구에 사용된 세 종류의 브라켓 기저부 형태를

주사전자현미경으로 관찰하고 단면적을 측정하였다 (Table 3). Micro-Loc base(ML)의 접착면은 500μm 직경의 구형 함몰구조가 연속적으로 배치되어 있었고 표면이 미세 부식된 거친 모습이었으며, 접착부 면적은 9.91mm² 였다(Fig. 4a, b).

Chessboard base(CB)의 접착부 표면은 대체로 평탄하였고, 92.8μm 폭의 깊고 얇게 깎인 구가 격자구조를 이루고 있었으며, 접착부 면적은 8.28mm² 였다 (Fig. 4c, d).

Non-etched Foil-Mesh base(FM)의 기저면은 132.3μm 직경의 매끄러운 철선으로 이루어진 단층의 격자 그물망이 표면에 부착된 형태를 보였으며, 접착부 면적은 9.16mm² 였다(Fig. 4e, f).

Table 4. Peel bond strength of Micro-Loc and Chessboard base bracket after storing 24 hours in dry condition.

	ML		CB		FM	
	Mean ± SD(kg)	Group	Mean ± SD(kg)	Group	Mean ± SD(kg)	Group
SBS	18.84 ± 1.43		15.50 ± 0.98		12.26 ± 0.38	
0°PBS	13.06 ± 0.67		11.97 ± 1.13		6.91 ± 0.39	
15°PBS	8.60 ± 0.29		8.06 ± 0.71	B	5.29 ± 0.28	B
30°PBS	6.72 ± 0.46	B	6.46 ± 0.39		4.96 ± 0.38	A
45°PBS	5.99 ± 0.29	A	5.73 ± 0.63	A	4.71 ± 0.42	A
60°PBS	5.52 ± 0.47	A	5.27 ± 0.48	A	4.21 ± 0.22	
75°PBS	6.86 ± 0.54	B	5.47 ± 0.51	A	4.78 ± 0.33	A
90°PBS	6.79 ± 0.75	B	5.28 ± 0.27	A	5.30 ± 0.22	B
TBS	10.65 ± 1.15		8.59 ± 1.12	B	7.71 ± 0.30	

PBS : Peel Bond Strength, Items with same letter are homogeneous subsets at $p < 0.05$

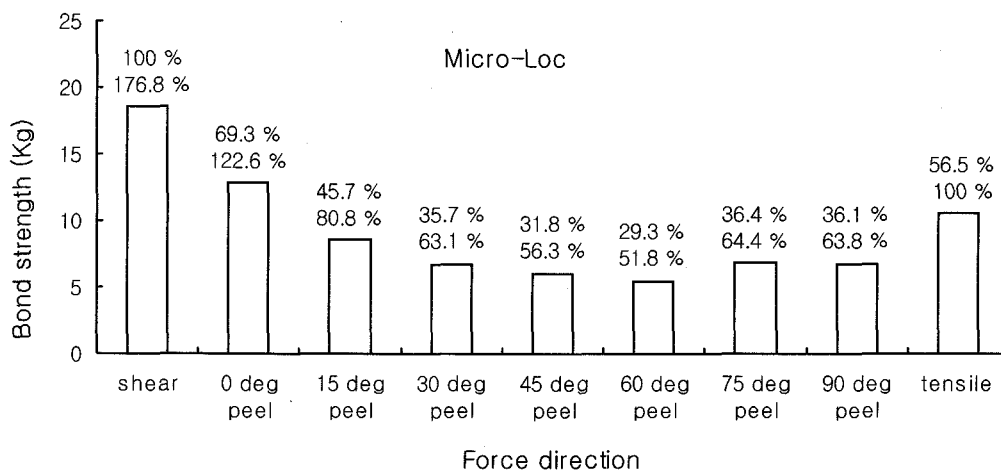


Fig. 5. Peel bond strength/SBS, TBS in Micro-Loc base.

2) 응력 적용 방향에 따른 결합강도의 비교

Table 4는 브라켓을 부착하고 24시간 동안 상온에 보관한 후 측정된 결합강도이다. 세 군 모두 전단결합강도가 가장 컸으며(ML : 18.84±1.43kg CB : 15.49±0.98kg, FM : 12.26±0.38kg, $p < 0.01$), peel 응력의 방향 변화에 따른 PBS의 변화양상은 세 종류의 브라켓에서 모두 유사하였고, peel 응력의 적용 각이 증가할수록 PBS는 감소하였으며 60°에서 최저값을 보였다 ($p < 0.05$).

동일한 기저면 형태에 적용된 peel 응력의 방향에 따른 결합강도의 차이를 비교한 결과, 0°PBS가 ML에서 13.06±0.67kg, CB에서 11.97±1.13kg, FM에서 6.91±0.39kg으로 다른 방향에서의 peel 결합강도보다 컸으며($p < 0.05$), ML에서 30°PBS(6.72±0.46kg), 75°PBS(6.86±0.54kg), 90°PBS(6.79±0.75kg)는 통계적으로 유사하였고($p > 0.05$), 최소결합강도인 60°PBS(5.52±0.47kg)는 45°PBS(5.99±0.29kg)와 유사하였다($p > 0.05$). CB의 최소결합강도인 60°PBS(5.27±0.48kg)는 45°PBS(5.73±0.63kg) 및 75°PBS(5.47±0.51kg), 90°

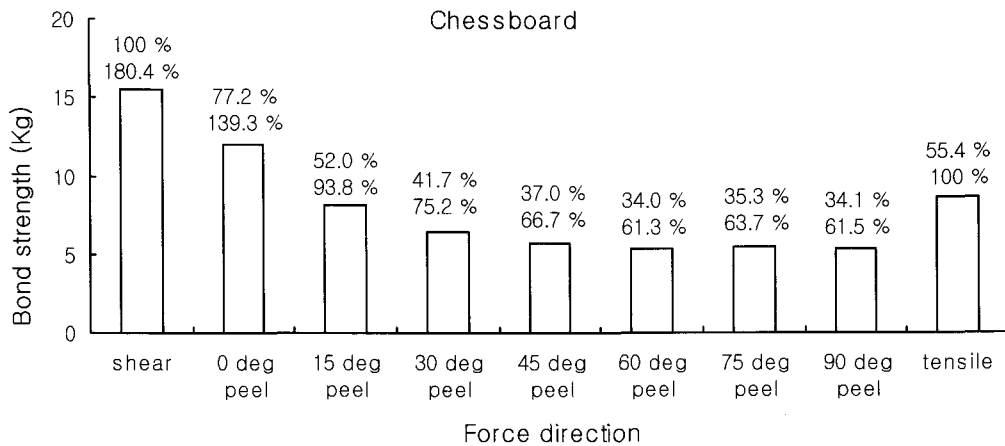


Fig. 6. Peel bond strength/SBS, TBS in Chessboard base.

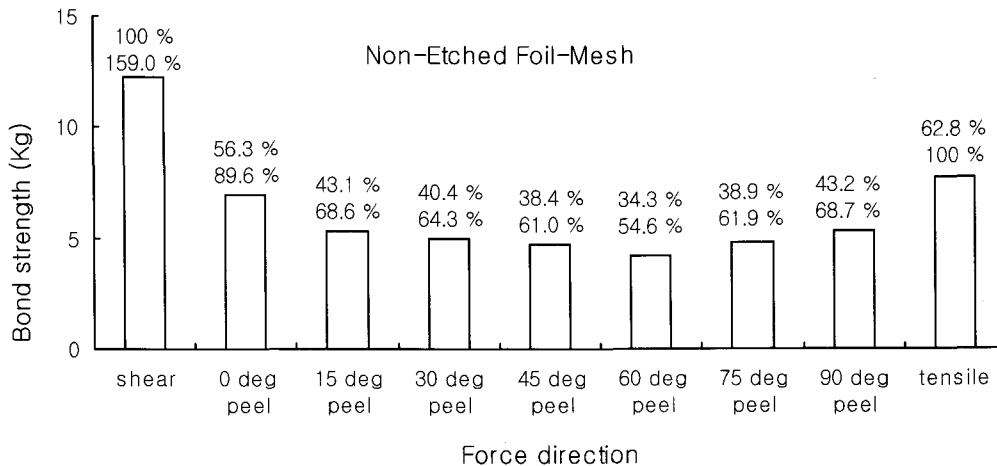


Fig. 7. Peel bond strength/SBS, TBS in Non-etched Foil-Mesh base.

PBS(5.28±0.27kg)와 유사한 값을 보였다($p>0.05$). FM에서 15°PBS(5.29±0.28kg)는 90°PBS(5.30±0.22kg)과 유사하였고 30°PBS(4.96±0.38kg), 45°PBS(4.71±0.42kg) 및 75°PBS(4.78±0.33kg)는 이보다 낮은 수준에서 유사한 결과를 보였으며($p<0.05$), 역시 60°PBS(4.21±0.22kg)에서 최소결합강도를 나타내었다($p<0.05$).

Fig. 5-7은 각 브라켓에 대한 PBS와 SBS, TBS의 비율을 나타내주는 그래프로서 ML에서 최저 PBS($_{60}$ PBS : 5.52±0.47kg)는 SBS(18.84±1.43kg)의 29% 수준이었으며, TBS(10.65±1.14kg)에 대해서는 52% 수준이었다. CB에서 최저 PBS($_{60}$ PBS : 5.27±0.48kg)

는 SBS(15.49±0.98kg)의 34% 수준이었으며 TBS(8.59±1.11kg)의 61% 수준이었다. FM에서 최저 PBS($_{60}$ PBS : 4.21±0.22kg)는 SBS(12.26±0.38kg)의 34% 수준이었으며 TBS(7.71±0.29kg)의 55% 수준이었다.

3) 브라켓 기저면 형태에 따른 단위면적당 결합강도의 비교

측정된 결합강도를 브라켓의 기저면 면적(ML : 9.91mm², CB : 8.28mm², FM : 9.16mm²)으로 나누어 단위면적당 결합강도를 산출한 후, 동일한 응력 조건에서의

Table 5. Bond strength per unit area of Micro-Loc and Chessboard base bracket in various force direction after storing 24 hours in dry condition.

	ML	CB	FM
	Mean ± SD(MPa)	Mean ± SD(MPa)	Mean ± SD(MPa)
SBS	18.64 ± 1.41	18.35 ± 1.16 ††	13.12 ± 0.40 °°
0°PBS	12.92 ± 0.66 *	14.18 ± 1.34 ††	7.39 ± 0.42 °°
15°PBS	8.51 ± 0.29 **	9.54 ± 0.84 ††	5.66 ± 0.30 °°
30°PBS	6.65 ± 0.45 **	7.65 ± 0.46 ††	5.30 ± 0.41 °°
45°PBS	5.93 ± 0.29 **	6.79 ± 0.75 ††	5.04 ± 0.45 °°
60°PBS	5.46 ± 0.46 **	6.24 ± 0.57 ††	4.50 ± 0.23 °°
75°PBS	6.79 ± 0.53	6.48 ± 0.60 ††	5.11 ± 0.35 °°
90°PBS	6.72 ± 0.74	6.26 ± 0.32 †	5.67 ± 0.24 °°
TBS	10.54 ± 1.13	10.17 ± 1.32 ††	8.25 ± 0.31 °°

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$ between ML & CB
 † $p < 0.05$ †† $p < 0.01$ between CB & FM
 ° $p < 0.05$ °° $p < 0.01$ between FM & ML

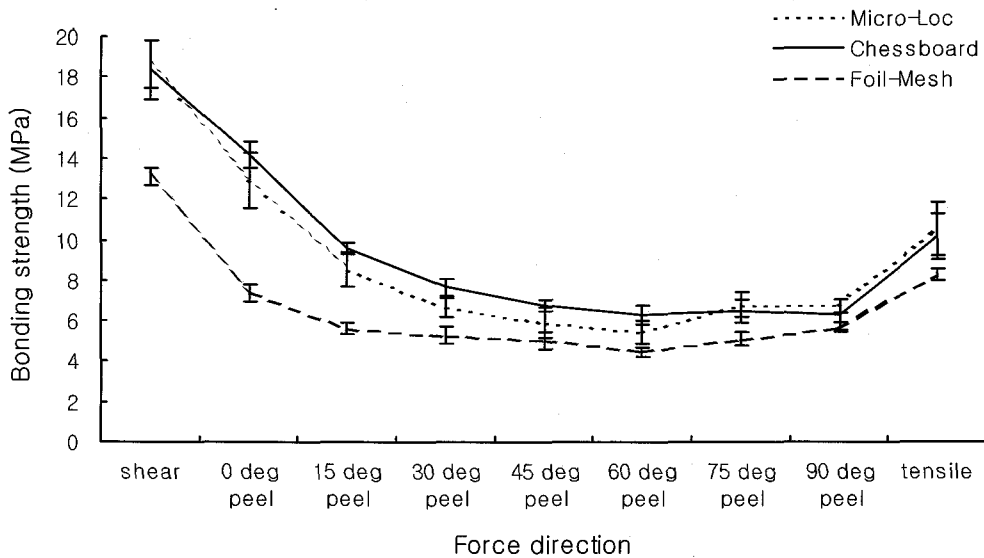


Fig. 7. Peel bond strength/SBS, TBS in Non-etched Foil-Mesh base.

브라켓 기저면 형태에 따른 결합강도의 차이를 비교한 결과, ML 및 CB의 단위면적당 전단결합강도 및 인장결합강도(ML : SBS 18.64±1.41MPa, TBS 10.54±1.13MPa, CB : SBS 18.35±1.16MPa, TBS 10.17±1.32MPa)는 FM의 단위면적당 전단결합강도(13.12±0.40MPa) 및 인

장결합강도(8.25±0.31MPa)보다 각각 컸으며($p < 0.01$), ML과 CB에서는 서로 유사하였다($p > 0.05$). 최소결합강도인 단위면적당 60°PBS는 FM에서 4.50±0.23MPa로 가장 작았으며, CB에서 6.24±0.60MPa로 가장 컸다($p < 0.01$). 단위면적당 75°PBS와 90°PBS는 ML과 CB

에서 유사하였으며($p>0.05$), FM에서 가장 작았다($p<0.05$). 단위면적당 0° PBS, 15° PBS, 30° PBS 및 45° PBS는 FM에서 가장 작고 CB에서 가장 큰 값을 보여 최소결합강도인 60° PBS와 유사한 양상을 보였다($p<0.05$)(Table 5, Fig. 8).

IV. 총괄 및 고찰

교정용 브라켓의 결합강도는 바람직한 힘이 치아에 전달되도록 하는데 있어서 필수적인 요소로서²⁾, 치아에 적절한 교정력을 전달하기 위해서 충분한 결합강도를 필요로 하는 반면³⁾, 결합강도가 너무 큰 경우에는 브라켓을 제거할 때 치아 법랑질의 파절, 수복물의 손상, 브라켓의 파절 등을 야기할 수 있으므로 적절한 결합강도의 범위에 대해서는 신중한 고려가 필요하다⁴⁾.

브라켓 결합강도에 대한 대부분의 연구에서는 교정 치료를 위해 발거된 인간의 치아를 사용하여 왔는데, 치아마다의 다양한 법랑질 표면 특성으로 인해 결과에서 큰 오차를 나타내는 단점이 보고되었으며⁸⁾, 실험재료와 방법이 다양하여 상호간의 결합강도의 비교가 불가능하다는 점 등의 문제점이 나타났다^{13,14)}. 이러한 한계를 극복하기 위하여 Willems 등⁸⁾은 치아대신 표면특성의 균일화가 용이한 스테인레스 스틸 금속봉을 사용하여 브라켓을 부착하였으며, 금속봉의 표면 거칠기를 증가시켜 브라켓과의 결합강도를 증가시키기 위해 금속봉 표면을 sandblasting 한 후 silane을 도포하여 실험에 이용하였다. 이러한 과정을 통해 silanated bar와 브라켓 사이의 결합력이 증가함으로써 두 계면 사이에서 파절이 발생하지 않고 브라켓과 레진 접착제 계면에서 파절이 발생하여 브라켓 기저면의 결합강도를 정확히 측정할 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 Willems 등⁸⁾이 제안한 바와 같이 접착 표면의 특성을 표준화하기 위하여 금속봉을 이용하였다. 금속봉의 결합력을 증가시키기 위해서 다양한 조건의 예비실험을 실시한 결과, 금속봉의 표면에 격자모양의 구를 형성하고 염산으로 부식시킨 후 sandblasting 했을 때 결합강도가 가장 크게 나타났고, 결합부의 파절 위치가 금속봉과 레진 계면이 아닌 브라켓과 레진 계면이라는 것을 확인한 후 본 연구를 시행하였다.

결합강도는 치아의 법랑질 표면에 인산탈회에 의해 형성된 미세한 요철구조와 교정용 부착물의 기저부에 형성된 기계적인 요철구조 사이에서 형성된 접착제의 기계적인 결합에 의해 발생하며¹⁾, 법랑질 표

면 처리에 영향을 미치는 산부식 술식, 레진 접착제 자체의 강도 및 물성, 접착 계면에 적용되는 힘의 특성, 브라켓 기저부의 기계적 형태 등에 영향을 받는다⁵⁻⁷⁾. 다양한 실험재료와 방법을 표준화시키기 위해서 Fox 등¹³⁾은 결합강도 측정의 표준적인 방법을 제안하였으며, Willems 등⁸⁾은 30° 방향의 전단/인장 복합 응력을 사용하여 브라켓과 접착제의 종류에 따른 전단/인장 복합결합강도를 측정 비교하였고, Merrill 등⁴⁾은 세라믹 브라켓에 전단, 인장, 뒤틀림 응력을 가하여 세라믹 브라켓을 제거할 때 이상적인 힘을 찾으려 하였고, 이 때 전단결합강도보다 인장결합강도가 더 작다고 하였다. 이 등⁹⁾은 여러 가지 종류의 금속 브라켓에 전단응력, 인장응력, 45° 방향의 peel 응력을 가하여 그 결합강도를 비교하고 45° peel 결합강도가 가장 작다고 하였다. 브라켓의 결합강도에 관한 대부분의 연구는 전단결합강도¹⁵⁻¹⁸⁾와 인장결합강도¹⁹⁻²⁴⁾에 관한 것이며, 비틀림 결합강도^{4,10,11)} 또는 특정 방향에서의 peel 결합강도^{8,9,12)}에 대한 몇몇 연구가 시도되긴 하였으나, 복잡한 응력 양상에 대한 결합강도의 특성에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다⁸⁾. 구강내에서 발생하는 힘은 매우 다양하여 전단력 또는 인장력 외에 다양한 방향에서의 peel 응력과 뒤틀림 응력 등의 복합적 양상을 보이므로, 브라켓이 탈락할 가능성을 평가하기 위하여는 좀더 복잡한 여러 힘에 대한 결합강도의 평가가 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 교정용 브라켓에 전단응력, 인장응력 및 7가지 방향에서의 peel 응력 등 다양한 힘을 적용하여 이에 대한 결합강도를 평가하였으며, 브라켓 기저부 형태에 따른 영향을 평가하기 위하여 Micro-Loc base(ML)와 Chessboard base(CB), Non-etched Foil-Mesh base(FM) 등 서로 다른 기저부 형태를 가진 세 종류의 브라켓을 실험에 사용하였다. 또한, 인장결합강도 측정에 있어 조절되지 않은 peel 응력이 발생하는 것을 방지하기 위하여 Littlewood¹⁴⁾가 제시한 바와 같이 힘의 방향을 일정하게 하기 위한 지그를 사용하였다.

이 등⁹⁾이 언급했던 것처럼 어떤 브라켓이 구강내에 잘 유지될 수 있을지를 평가하기 위해서는 그 브라켓이 발휘할 수 있는 최대 결합강도보다는 가장 취약한 응력방향에 대한 최소 결합강도가 기준이 되어야 한다. 이런 점에서 peel 응력의 방향이 결합강도에 미치는 영향에 대한 연구는 중요하다 할 수 있다. 본 연구 결과 ML에서의 최저 PBS($_{60}$ PBS : 5.52 ± 0.47 kg)는 전단결합강도(SBS : 18.84 ± 1.43 kg)의 29% 수준이었으며, 인장결합강도(TBS : 10.65 ± 1.14 kg)에 대해서는

52% 수준이었다. CB에서 최저 PBS($_{60}$ PBS : 5.27 ± 0.48 kg)는 전단결합강도(SBS : 15.49 ± 0.98 kg)의 34% 수준이었으며 인장결합강도(TBS : 8.59 ± 1.11 kg)의 61% 수준이었고, FM에서 최저 PBS($_{60}$ PBS : 4.21 ± 0.22 kg)는 전단결합강도(SBS : 12.26 ± 0.38 kg)의 34% 수준이었으며 인장결합강도(TBS : 7.71 ± 0.29 kg)의 55% 수준이었다. 또, 응력의 방향은 같지만 힘의 적용점이 다른 $_{60}$ PBS와 전단결합강도를 비교한 결과, ML의 $_{60}$ PBS (13.06 ± 0.67 kg)는 전단결합강도(18.84 ± 1.43 kg)의 69% 수준을, CB의 $_{60}$ PBS(11.97 ± 1.13 kg)는 전단결합강도(15.49 ± 0.98 kg)의 77% 수준을, FM의 $_{60}$ PBS(6.91 ± 0.39 kg)는 전단결합강도(12.26 ± 0.38 kg)의 56% 수준을 보였다. 또한, $_{90}$ PBS와 인장결합강도를 비교한 결과, ML의 $_{90}$ PBS(6.79 ± 0.75 kg)는 인장결합강도(10.65 ± 1.14 kg)의 64% 수준을, CB의 $_{90}$ PBS(5.28 ± 0.27 kg)는 인장결합강도(8.59 ± 1.11 kg)의 62% 수준을, FM의 $_{90}$ PBS(5.30 ± 0.22 kg)는 인장결합강도(7.71 ± 0.29 kg)의 69% 수준을 보여, 동일한 응력의 방향을 가지더라도 힘의 적용점 및 방법에 따라 브라켓의 결합강도는 달라지는 결과를 나타내었다. 임상적 적용의 예로서 브라켓의 제거 시 치아 법랑질이나 수복물의 손상을 줄이기 위해서 최소 결합강도를 발휘하는 방향으로 탈락시키려는 힘을 적용시켜야 하므로 60°의 peel 응력을 가하여 제거하는 것이 가장 유리하다고 할 수 있을 것이다.

Reynold와 Von Fraunhofer¹⁾는 임상교정에서 브라켓을 유지하기 위해서는 최소 5.9-7.8MPa의 결합강도가 요구된다고 하였고, MacColl 등²⁵⁾과 Proffit 등²⁶⁾은 임상에서 성공적으로 교정치료를 하기 위해서는 결합강도가 교합력 등을 고려하여 5-15kg 정도여야 한다고 하였다. 본 연구결과 교정치료에 적절한 결합강도를 보이는 것이 임상적으로 입증되어 있는 FM의 최소결합강도는 선학들이 제시한 결합강도보다 낮았으나, 선학들에 의해 제시된 결합강도가 본 연구에서와 다른 조건에서 평가된 것이므로 이에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

브라켓 기저면의 형태가 결합강도에 미치는 영향을 평가하고자 할 때 서로 다른 형태를 지닌 브라켓을 사용하므로 기저면의 면적에 대한 고려가 이루어져야 한다. 기저면의 면적에 관한 연구에서 Dickinson과 Powers¹⁹⁾는 브라켓 기저면의 면적과 결합강도가 관계가 없다고 하였고, MacColl 등²⁵⁾은 기저면이 6.82mm² 이상이면 전단결합강도의 차이가 없다고 하였으나, 본 연구에서는 브라켓 기저부의 면적 차이가 결합강도에 영향을 미칠 가능성을 배제하기 위하여 단

위면적당 결합강도를 이용하여 브라켓 기저부 형태에 따른 결합강도의 차이를 평가하였다. 브라켓의 기저면의 형태가 결합강도에 미치는 영향에 대해서 Kinami 등^{21,22)}은 foil mesh base와 ML 사이에 인장결합강도의 차이를 보이지 않는다고 하였고 Siomka와 Powers²³⁾는 grooved base, mesh base, photoetched base 사이에 인장결합강도의 차이가 없다고 하였으나, Odegaard와 Segner¹⁸⁾, Smith와 Reynolds²⁰⁾, Regan과 Noort 등²⁴⁾은 foil mesh base가 intergral (groove) base보다 결합강도가 더 크다고 하였고, 이등⁹⁾은 5종의 금속 브라켓을 접착하였을 때 Micro Loc base의 결합강도가 가장 크고, intergral base가 가장 작다고 하였다. 본 연구에서는 단위면적당 전단결합강도, 인장결합강도 및 75°와 90° peel 결합강도는 ML과 CB에서는 유사하였으나, FM에서는 다른 두 군보다 작았으며 ($p < 0.05$), 나머지 방향에서의 peel 결합강도는 ML에서 가장 컸고 FM에서 가장 작았다 ($p < 0.05$). 기저면의 면적을 고려하지 않은 결합강도 측정 결과에서 모든 방향의 힘에 대한 결합강도가 CB에서 ML보다 작았던 점을 고려할 때, 기저면의 면적은 브라켓의 결합강도에 영향을 미치는 것으로 생각되며, Smith와 Maijer²⁾는 브라켓 기저면에 금속성 또는 세라믹 입자들을 결합시켜 100% 결합력을 증가시켰다고 했으며, Siomka와 Powers²³⁾는 브라켓 기저부의 요철구조 표면을 부식시키면 인장결합강도가 증가된다고 함으로써 기저면의 표면적을 증가시켜 결합강도를 증가시킬 수 있다고 한 바와 같이, 본 연구 결과에서의 단위면적당 결합강도의 차이는 브라켓 기저부의 표면처리 양상에 의한 차이라고 할 수 있을 것이다.

이상의 결과에서, 교정용 브라켓에 가해지는 힘의 종류 및 방향에 따라 결합강도는 차이를 나타내며, 브라켓 기저부의 형태 및 면적에 관계 없이 60°의 peel 응력을 적용하였을 때 최소결합강도를 보인 것을 고려할 때, 브라켓의 구강내 유지력을 평가하기 위해서는 $_{60}$ PBS가 기준이 되어야 할 것으로 생각되며, 브라켓을 치면에서 제거할 때에도 이와 유사한 방향의 힘을 적용하는 것이 유리하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 브라켓의 종류에 따른 결합강도의 차이를 비교하기 위하여 브라켓 기저면의 형태와 표면처리, 기저면 면적을 고려하였으나, peel 응력이 적용되는 부위의 기저면으로부터의 거리 및 peel 응력이 적용되는 절단축 wing 부위의 형태 등이 브라켓에 따라 다르므로, 이러한 요인에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 교정용 금속 브라켓에 다양한 방향에서의 복합적인 응력을 가하여 힘의 방향과 적용점에 따른 교정용 브라켓의 결합강도를 비교하고, 브라켓의 유지력을 평가하는데 기준이 되는 최소결합강도의 특성에 대해 알아보려고 시행되었다. 일정한 표면특성을 갖는 금속봉에 Micro-Loc base, Chessboard base, Non-etched Foil-Mesh base 등 서로다른 기저면 형태를 가지는 3가지 종류의 금속 브라켓을 부착시키고, 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°의 peel 결합강도(₀PBS, ₁₅PBS, ₃₀PBS, ₄₅PBS, ₆₀PBS, ₇₅PBS, ₉₀PBS) 및 전단결합강도(SBS)와 인장결합강도(TBS)에 대한 브라켓의 결합강도를 측정하고, 각 브라켓의 기저면 면적을 고려하여 단위면적당 결합강도를 산출하여 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Micro-Loc base와 Chessboard base 및 Non-etched Foil-Mesh base 브라켓 모두에서 전단결합강도(SBS)가 가장 컸다($p < 0.01$).
2. Peel 응력의 방향 변화에 따른 peel 결합강도(PBS)의 변화양상은 Micro-Loc base와 Chessboard base, Non-etched Foil-Mesh base 브라켓 모두에서 유사하였으며($p > 0.05$), peel 응력의 적용 각이 증가할수록 peel 결합강도(PBS)는 감소하였고 60°에서 최저값을 보였다($p < 0.05$).
3. Micro-Loc base에서 최저 peel 결합강도(₆₀PBS)는 전단결합강도(SBS)의 29% 수준이었으며, 인장결합강도(TBS)에 대해서는 52% 수준이었고, Chessboard base에서 최저 peel bond strength(₆₀PBS)는 전단결합강도(SBS)의 34% 수준이었으며, 인장결합강도(TBS)에 대해서는 61% 수준이었으며, Non-etched Foil-Mesh base에서 최저 peel 결합강도(₆₀PBS)는 전단결합강도(SBS)의 34% 수준이었으며, 인장결합강도(TBS)에 대해서는 55% 수준이었다.
4. 단위면적당 결합강도에 있어서 전단결합강도(SBS)와 인장결합강도(TBS) 및 75°와 90° peel 결합강도는 Micro-Loc base와 Chessboard base에서 차이가 없었으며 Non-etched Foil-Mesh base에서 가장 작았고($p < 0.05$), 0°, 15°, 30°, 60° peel 응력을 적용한 결과 Chessboard base에서 가장 큰 peel 결합강도를, Non-etched Foil-Mesh base에서 가장 작은 결합강도를 보였다($p < 0.05$).

참 고 문 헌

1. 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.
2. Smith DC, Maijer R. Improvements in bracket base design. Am J Orthod 1983; 83: 277-81.
3. Delport A, Grobler SR. A laboratory evaluation of the tensile bond strength of some orthodontic bonding resins to enamel. Am J Orthod Dentofac Orthop 1988; 93: 133-7.
4. Merrill SW, Oesterle LJ, Hermes CB. Ceramic bracket bonding: a comparison of shear, tensile, and torsional bond strengths of ceramic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1994; 106: 290-7.
5. Buonocore MG, Sheykhleslam Z, Glana R. Evaluation of an enamel adhesive to prevent marginal leakage: an in vitro study. ASDC J Dent Child 1973; 40: 119-24.
6. Gwinnett AJ, Matsui A. A study of enamel adhesives. The physical relationship between enamel and adhesive. Arch Oral Biol 1967; 12: 1615-20.
7. Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. Caries Res 1975; 9: 373-87.
8. Willems G, Carels CE, Verbeke G. In vitro peel/shear bond strength evaluation of orthodontic bracket base design. J Dent 1997; 25: 271-8.
9. 이춘봉, 이승호, 김정기. 브라켓 기저부 형태에 따른 전단, 인장, 전단/인장복합결합강도의 비교. 대치교정지 1999; 29: 599-612.
10. 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 Dentofac Orthop 1991; 100: 251-8.
11. Gunn S, Powers JM. Strength of ceramic brackets in shear and torsion tests. J Clin Orthod 1991; 25: 355-8.
12. Gaffey PG, Major PW, Glover K, Grace M, Koehler JR. Shear/peel bond strength of repositioned ceramic brackets. Angle Orthod 1995; 65: 351-7.
13. Fox NA, McCabe JF, Buckley JG. A critique of bond strength testing in orthodontics. Br J Orthod 1994; 21: 33-43.
14. Littlewood SJ, Redhead A. Use of jigs to standardise orthodontic bond testing. J Dent 1998; 26: 539-45.
15. Bishara SE, Olsen M, Von Wald L. Comparisons of shear bond strength of precoated and uncoated brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 1997; 112: 617-21.
16. Britton JC, McInnes P, Weinberg R, Ledoux WR, Retief DH. Shear bond strength of ceramic orthodontic brackets to enamel. Am J Orthod Dentofac Orthop 1990; 98: 348-53.
17. Harris AM, Joseph VP, Rossouw PE. Shear peel bond strengths of esthetic orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 1992; 102: 215-9.
18. Odegaard J, Segner D. Shear bond strength of metal brackets compared with a new ceramic bracket. Am J Orthod Dentofac Orthop 1988; 94: 201-6.
19. Dickinson PT, Powers JM. Evaluation of fourteen direct-bonding orthodontic bases. Am J Orthod 1980; 78: 630-9.
20. Smith NR, Reynolds IR. A comparison of three bracket bases: an in vitro study. Br J Orthod 1991; 18: 29-35.
21. Kinami H, Sugimura M, Takada K, Sakuda M, Okazaki M, Kimura H. Suppression of remaining resin on the tooth surfaces in debonding of orthodontic brackets. Part 1. Destruction behaviors of adhesion sys-

- tem. J Osaka Univ Dent Sch 1988 : 28 : 171-87.
22. Kinami H, Sugimura M, Takada K, Sakuda M, Okazaki M, Kimura H. Suppression of remaining resin on the tooth surfaces in debonding of orthodontic brackets. Part 2. Correlation between bracket base form design and remaining resin on the tooth surfaces. J Osaka Univ Dent Sch 1988 : 28 : 189-98.
23. Sionka LV, Powers JM. In vitro bond strength of treated direct-bonding metal bases. Am J Orthod 1985 : 88 : 133-6.
24. Regan D, LeMasney B, van Noort R. The tensile bond strength of new and rebonded stainless steel orthodontic brackets. Eur J Orthod 1993 : 15 : 125-35.
25. MacColl GA, Rossouw PE, Titley KC, Yamin C. The relationship between bond strength and orthodontic bracket base surface area with conventional and microetched foil-mesh bases. Am J Orthod Dentofac Orthop 1998 : 113 : 276-81.
26. Proffit WR, Fields HW, Nixon WL. Occlusal forces in normal- and long-face adults. J Dent Res 1983 : 62 : 566-70.

- ABSTRACT -

Comparison of bracket bond strength in various directions of force

Hyun-Jung Lee, Hyung-Soon Lee, Young-Mi Jeon, Jong-Ghee Kim

Departments of Orthodontics, School of Dentistry, Institute of Oral Bioscience, Chonbuk National University

The purpose of this study was to evaluate the bond strength of orthodontic brackets bonded to metal bar with chemically cured adhesive (Ortho-one, Bisco Co, USA) in various types and directions of force application. Three types of metal bracket with different bracket base configurations; Micro-Loc base(Tomy Co, Japan), Chessboard base(Daesung Co, Korea), Non-etched Foil-Mesh base(Dentaurum, Germany); were used in this study. Peel, shear, tensile bond strengths were measured by universal testing machine and compared each other. The peel force directions applied were 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°. And then, in consideration of the different surface area of the bracket bases, the bond strength per unit area were calculated and compared.

The results obtained were summarized as follows :

1. The bond strengths according to the types and the directions of the forces were greatest at the shear forces in all three bracket base configuration groups($p < 0.01$).
2. As the peel force direction grew higher in degree, peel bond strength decreased. The patterns of peel bond strength change according to force direction was similar in all three bracket base configurations. The minimum bond strength was 60 degree peel bond strengths in all three bracket base configurations.
3. In Micro-Loc base group, minimum peel bond strength($_{60}$ PBS) was in 29% level of shear bond strength and 52% level of tensile bond strength. In Chessboard base group, $_{60}$ PBS was in 34% level of shear bond strength and 61% level of tensile bond strength. In Non-etched Foil-Mesh base group, $_{60}$ PBS was in 34% level of shear bond strength and 55% level of tensile bond strength.
4. The bond strengths per unit area were lowest in Non-etched Foil-Mesh base group and highest in Chessboard base group($p < 0.05$). However, there were no differences in shear bond strength, tensile bond strength, $_{75}$ PBS and $_{90}$ PBS per unit area between Micro-Loc and Chessboard base groups.

KOREA. J. ORTHOD. 2003 : 33(5) : 359-70

※ Key words : Tensile bond strength, Shear bond strength, Peel bond strength