

브라켓 기저부 형태에 따른 전단, 인장, 전단/인장복합결합강도의 비교

이 춘 봉¹⁾ · 이 승 호¹⁾ · 김 정 기²⁾

금속 브라켓의 결합강도에 영향을 미치는 요소인 브라켓 기저부의 형태와 결합 부위에 적용되는 힘의 특성에 대해 알아보고자 연구를 시행하였다. 형태가 다른 5종의 금속브라켓의 기저부와 결합강도 측정후 접착파절양상을 stereoscope and scanning electron microscope를 통해 관찰하고 결합 부위에 적용되는 힘은 전단결합강도, 인장결합강도, 전단/인장복합결합강도로 구분하고 결합강도를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 브라켓 기저부 형태에 따른 모든 군에서 전단결합강도(SBS)가 제일 컸으며, 인장결합강도(TBS)는 SBS의 50%정도 수준이었고 전단/인장복합결합강도(S/TBS)는 전단결합강도(SBS)의 30%정도이었다.
2. 브라켓의 결합강도는 Micro-Loc base가 가장 크고(SBS:22.86±1.37kgf, TBS:11.37±1.43kgf, S/TBS:6.69±0.34kgf), Integral base가 가장 작았다(SBS:10.52±1.27kgf, TBS:4.27±1.08kgf, S/TBS:2.94±0.58kgf).
3. 단위면적당 결합강도 비교시, Integral base가 가장 작았고(p<0.05), 전단결합강도와 인장결합강도에서는 Micro-Loc과 Chessboard base간의 차이가 없었으며(p>0.05), Non-Etched Foil Mesh와 Micro-Etched Foil Mesh base간의 전단결합강도와 인장결합강도는 차이가 없었으나, 전단/인장복합결합강도에서는 Micro-Etched Foil Mesh base가 Non-Etched Foil Mesh base보다 더 크게 나타났다.
4. 전단, 인장, 전단/인장복합결합강도 측정후 접착파절은 브라켓/레진 계면에서 일어나 ARI score가 작게 나타났다.

주요단어 : 브라켓 기저부 형태, 전단결합강도, 인장결합강도, 전단/인장복합결합강도

I. 서 론

1965년 Newman¹⁾에 의해 치아의 산 부식과 epoxy resin을 이용한 브라켓의 직접 부착이 시도된 이후, 브라켓 기저부의 고안과 접착술의 발달은 브라켓의 치아면에 대한 결합 강도를 증가시켜 왔으며²⁻⁷⁾, 접착제의 발달로 브라켓 기저부의 크기를 줄일 수 있게 되었다⁸⁾. 결합강도에 영향을 미치는 요소들은 적절한 산 부식 기술, 레진 결합제의 특성, 결합부위에 적용

된 힘의 특성과 브라켓 기저부 형태라고 알려져 있다⁹⁻¹⁴⁾. 치면의 결합은 잘 부식되고 깨끗하며 잘 건조된 치면과 부식된 치면 내로 레진의 적절한 침투에 의해 결정되어 치면과 레진자체의 강도에 한정된다고 볼 수 있다¹⁵⁾.

금속 브라켓 기저부와 접착제와의 기계적인 유지력을 증가시키기 위해서 기저부 접착면적을 크게 형성해 주는 방법은 치아면의 손상과 심미적인 문제가 있기 때문에, 작은 접착면적으로 적절한 결합강도를 얻기 위한 다양한 형태의 브라켓 기저부가 개발되어 왔다. 그러나 Dickinson과 Powers¹⁶⁾는 브라켓 기저면의 면적과 인장결합강도와는 관계가 없다고 하였으

¹⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생

²⁾ 전북대학교 치과대학 교정학교실 및 구강생체파괴연구소, 부교수

며, MacColl 등¹⁷⁾은 기저면이 6.82mm²이상이면 전단 결합강도의 차이가 없다고 한바 있다. 또한 Smith와 Reynold¹⁸⁾, Willems 등¹⁹⁾은 금속 브라켓의 결합력은 기저부의 형태에 좌우된다고 하였다. 이 금속 브라켓 기저부의 형태로는 wire gauze, perforated base, foil mesh, cast integral, milling groove 등이 있고, 기저부 표면처리 방법으로는 photo-etched, porous coated, micro-etched, silaned 등이 있으며, 이들의 결합강도와 탈락 후 치아면에 잔존하는 접착제 양의 상호 비교 연구가 있었다^{8,15-21)}.

금속 브라켓의 결합강도에 관한 선학들의 연구는 주로 전단결합강도와 인장결합강도에 관한 것이었다. 그러나 구강 내에서 브라켓에 가해지는 응력은 순수한 전단력이나 인장력이기보다는 이들의 복합적인 전단/인장 복합 응력이 주로 작용되지만 이에 대한 연구는 거의 미진한 상태이다¹⁹⁾. 이에 본 연구에서는 형태가 다른 5종의 금속 브라켓 기저부 형태와 결합강도 측정후 접착파절양상을 stereoscope와 주사전자현미경으로 관찰하였고, 전단결합강도, 인장결합강도, 전단/인장복합결합강도의 특성을 비교하여 다소의 지견을 얻었기에 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

치아는 치관부에 우식병소나 수복물이 없는 건전한 상악 소구치를 사용하고, 브라켓은 Micro-Loc base, Chessboard base, Non-Etched Foil Mesh base, Micro-Etched Foil Mesh base, Integral base 등 5종의 하악철치부 022" standard 브라켓을 각각 30개씩 사용하였고 각 군은 전단결합강도, 인장결합강도, 전단/인장복합결합강도 실험군으로 나누어 각각 10개씩 사용하였다. 접착제는 Ortho-one(Bisco)의 비반죽형을 이용하였다. 표 1에 브라켓의 제조회사와 특성, 표 2에 이 연구에서 사용한 sample수를 요약하였다.

2. 실험 방법

1) 치아시편의 제작

치아는 교정치료를 위해 발거된 치관부에 우식병소나 수복물이 없는 상·하악 소구치를 부착된 잔사물을 제거하고 세균증식을 억제하기 위해 75% 에탄

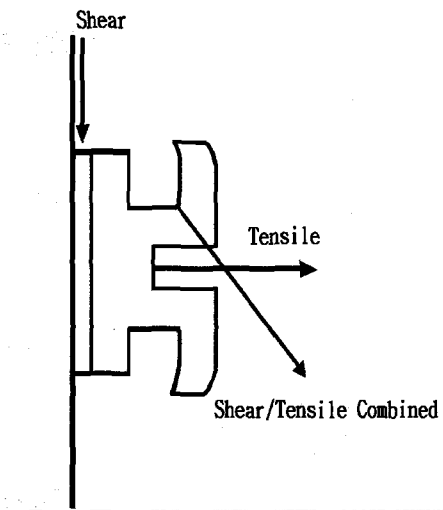


그림 1. 결합강도측정시 적용된 힘의 방향.

올 용액에 보관하였다. 치관 법랑질 표면에 직경 약 3-4mm의 평활한 면이 형성되도록 협면을 #220 grit의 탄화규소 연마지(Buehler, USA)로 연마한 다음, 치과용 고속 절삭 다이아몬드 wheel을 이용하여 치근을 절단하고 협설로 치관을 이등분하였다. 레진 블록 제작용 장치에 연마된 법랑질면이 노출되도록 고정하여 레진 블록을 만든 후, 시편의 길이가 약 12mm가 되도록 원형의 저속 다이아몬드절단기(Beuhler, USA)로 블럭 하단을 표면과 평행하게 절단하였다. 블럭을 표면연마용 장치에 고정하고 320, 400, 600 grit의 탄화규소 연마지로 연마한 다음, 1µm alumina(Buehler, USA)단계까지 최종 연마하여 치아면상의 긁힘(scratch)을 제거하였고 증류수하에서 10분간 초음파 세척하였다.

2) 브라켓의 접착과 결합강도의 측정을 위한 지그 제작
준비된 시편에 브라켓을 접착하기 위해 레진블럭에서 노출된 법랑질면을 37% 인산용액으로 30초간 부식시킨 후, 2분간 스프레이로 세척하여 인산과 부식산물을 제거한 후 건조시켰다. 제조사의 지시에 따라 브라켓을 법랑질면에 위치시키고 장치를 이용하여 560g의 균일한 하중을 15초 동안 가하여 브라켓을 접착하였으며, 브라켓 주위로 누출된 과잉의 접착제를 탐침으로 제거하였다. 접착이 완료된 시편은 실내에서 15분간 보관한 후 모든 시편을 37°C 증류수에서 24시간 저장하였다.

재료시험기(Instron Co, Model 4201, USA)에 시편

표 1. 본 연구에서 사용한 브라켓 종류(하악 전치부 브라켓, 022" standard)

Group	상품명	제조회사	Base configuration
ML	Microloc	Tomy	Micro-Loc base
CB	Archist	Daesung	Chessboard base
NFM	Ultratrimm	Dentaurum	Non-Etched Foil Mesh base
EFM	Mini St Edgewise	Ortho Organizers	Micro-Etched Foil Mesh base
IG	Mini Dyna-Lock	3M Unitek	Integral base

표 2. 본 연구에서 사용한 sample수

Group	전단결합강도	인장결합강도	복합결합강도
ML(Micro-Loc)	10	10	10
CB(Chessboard)	10	10	10
NFM(Non-Etched Foil Mesh)	10	10	10
EFM(Micro-Etched Foil Mesh)	10	10	10
IG(Integral)	10	10	10

을 고정시킨 지그를 위치시키고 분당 0.5mm의 crosshead speed로 용량 50Kg의 load cell을 이용하여 브라켓에 적용되는 힘의 방향에 따라 전단결합강도(SBS), 인장결합강도(TBS), 전단/인장복합결합강도(S/TBS)를 측정하였다(그림 1). 전단결합강도를 측정하기 위하여 incisal 부위에 힘이 가해지도록 하였고(그림 2.a), 전단/인장복합결합강도는 시편이 45°로 경사지도록 고정시키고 브라켓의 incisal wing에 0.120 inch stainless steel 철사를 걸어 당겨 측정하였다(그림 2.b), 인장결합강도를 측정하기 위하여 각 브라켓의 인상을 채득하여 Ni-Cr계 합금(Rexillum, USA)으로 브라켓 holder를 제작하여 이용하였다(그림 2.d).

3) 현미경 관찰

5종의 브라켓 기저부의 형태와 결합강도 측정후 브라켓 기저면을 주사전자현미경(Jeol, JSM-6400, Japan)을 통해 관찰하였다. 각 결합강도 측정후의 브라켓 기저면을 stereoscope(Nicon, III-650, Japan)으로 관찰하여 남아있는 레진의 양에 따라 Artun과 Bergland²⁴⁾의 접착제 잔류지수(ARI)를 이용하여 점수화 하였다.

접착제 잔류 지수(Adhesive Remnant Index)

- 0점 : 브라켓 기저면에 레진이 남아 있지 않은 경우
- 1점 : 브라켓 기저면에 레진이 반 이하 남아 있는 경우
- 2점 : 브라켓 기저면에 레진이 반 이상 남아 있는 경우
- 3점 : 브라켓 기저면에 모든 접착제가 남아 있는 경우

3. 통계처리

각 브라켓 기저부 형태에 따른 전단결합강도, 인장결합강도, 전단/인장복합결합강도를 비교하기 위하여 one-way ANOVA를 시행하여 통계적 유의성을 검증한 다음 Scheffe 다중범위검증법에 의해 각군간의 차이를 비교하였다.

III. 결 과

1. 브라켓 기저부의 형태에 대한 SEM 관찰(그림 3~7)

5종 브라켓에 대한 SEM 관찰을 통해 기저부 형태와 그 단면적을 측정하여 표 3과 4에 도시하였다. 접착부 면적은 Micro-Loc base(ML)가 9.91 mm²로 가장 크고 Micro-Etched Foil Mesh base(EFM)가 7.79

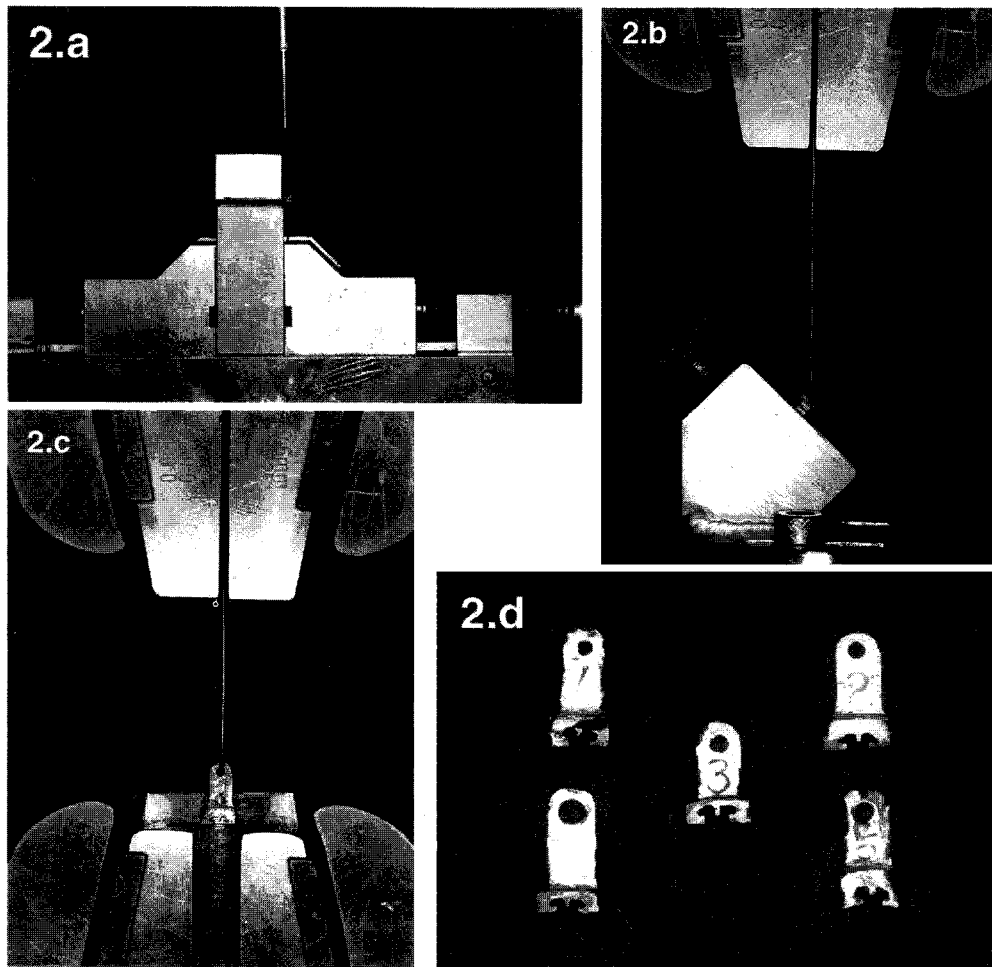


그림 2. a: 전단결합강도, b: 전단/인장복합결합강도, c: 인장결합강도
 d: 인장결합강도측정을 위해 Rexillum으로 주조하여 제작한 브라켓 holders.

mm²로 가장 작았다. Micro-Loc base는 500 μ m 직경의 구형의 함몰되어 표면이 미세 부식되어 거친 모습을 보이고 있으며(그림 3.a, b, c), Chessboard base(CB)는 표면은 처리되지 않아 평탄하고 92.8 μ m 폭의 깊고 얇은 구를 형성하기 위해 깎은 모습으로서 격자구조를 이루고 있었다(그림 4.a, b, c). Non-Etched Foil Mesh base(NFM)는 표면이 처리되어 있지 않은 132.3 μ m 직경의 철선으로(그림 5.a, b, c), Micro-Etched Foil Mesh base(EFM)는 기저부 중앙에 weld spot이 있고 표면이 미세 부식된 88.2 μ m 직경의 철선으로 구성된 단일층의 망이었으며(그림 6.a, b, c), Integral base(IG)는 270 μ m 폭의 깊은 세 개의 수평 구와 얇은 여러 개의 수직구를 가지고 있고 표면은 미세 부식되어 있었다(그림 7.a, b, c).

2. 브라켓간 결합강도와 결합강도간의 비교

표 5와 그림 8은 브라켓 접착 후 37 $^{\circ}$ C 증류수에 24시간 보관 후 측정된 결합강도이며 표 6과 그림 9는 측정된 결합강도를 브라켓 기저면의 면적으로 나눈 단위면적당 결합강도이다. ML이 가장 컸고(SBS : 22.86 \pm 1.37kgf, TBS : 11.37 \pm 1.43kgf, S/TBS : 6.69 \pm 0.34kgf), IG가 가장 작았으며(SBS : 10.52 \pm 1.27kgf, TBS : 4.27 \pm 1.08kgf, S/TBS : 2.94 \pm 0.58kgf), CB와 NFM의 전단결합강도와 인장결합강도가 EFM의 것보다 컸다(p<0.05). 단위면적당 결합강도에서도 IG가 가장 작았고(p<0.05), ML과 CB간의 차이가 없었으며(p>0.05), NFM과 EFM 간의 전단결합강도와 인장결합강도는 차이가 없었으나, 전단/인장복합결합강도에서는 EFM가 NFM보다 더 크게 나타났다(p<0.05). 표

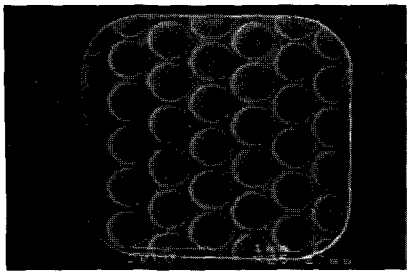
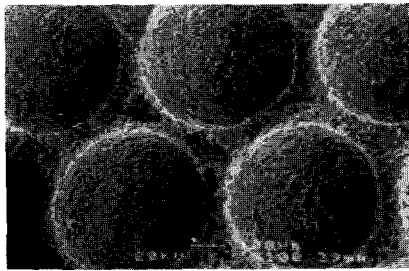
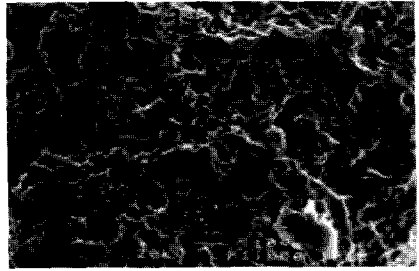


그림 3.a: ML, ×25.



b: ML, ×100.



c: ML, ×1000

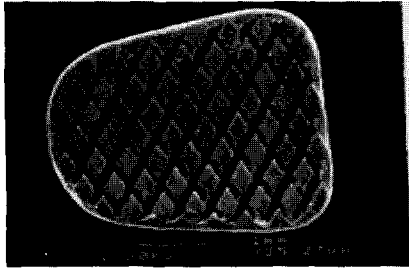
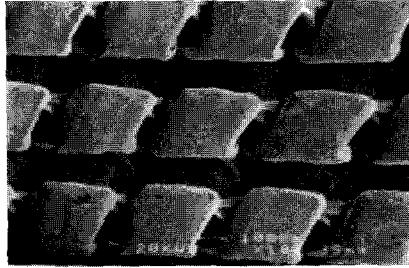


그림 4.a: CB, ×25.



b: CB, ×100.



c: CB, ×1000

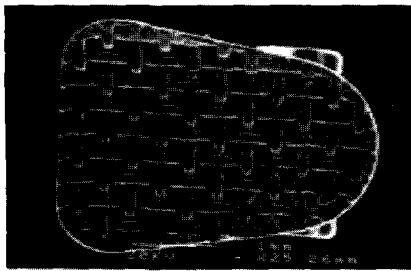
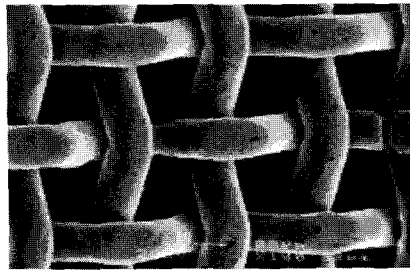
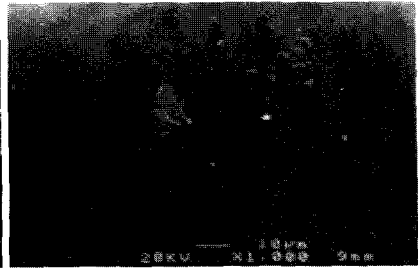


그림 5.a: NFM, ×25.



b: NFM, ×100.



c: NFM, ×1000

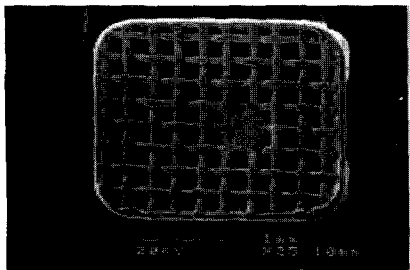
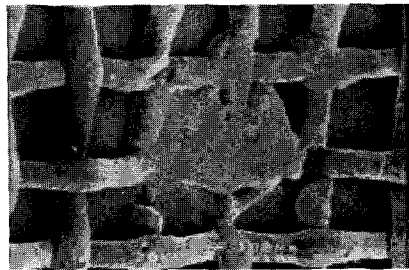
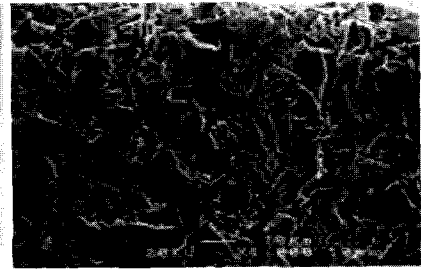


그림 6.a: EFM, ×25.



b: EFM, ×100.



c: EFM, ×1000

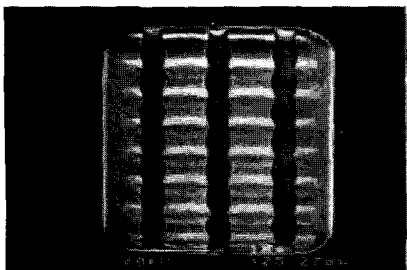
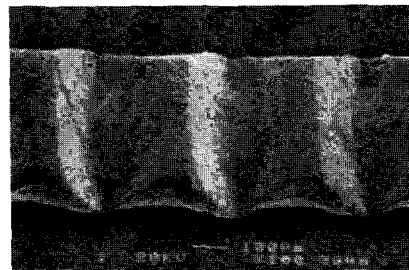
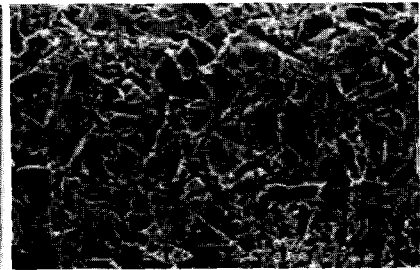


그림 7.a: IG, ×25.



b: IG, ×100.



c: IG, ×1000

그림 3~7. 브라켓 기저부의 형태에 대한 SEM 관찰.

표 3. 5종 브라켓에 대한 SEM 관찰을 통한 기저부 형태

Group	Base configuration	Microscopic feature
ML	Micro-Loc base	Etched surface, 500 μ m diameter spherical indentation
CB	Chessboard base	92.8 μ m width deep and shallow grooves in different direction
NFM	Non-Etched Foil Mesh base	Monolayer mesh pattern with 132.3 μ m diameter smooth wires
EFM	Micro-Etched Foil Mesh base	Monolayer mesh pattern with 88.2 μ m diameter etched surface wires
IG	Integral base	Etched surface, three deep(270 μ m width) horizontal and shallow vertical grooves

표 4. 5종 브라켓의 단면적(mm²)

Group	ML	CB	NFM	EFM	IG
Area	9.91	8.28	9.16	7.79	8.00

표 5. 브라켓 집착 후 37°C 증류수에 24시간 보관 후 측정된 결합강도.

Group	SBS(kgf)				TBS(kgf)				S/TBS(kgf)			
	Mean	\pm	SD	Scheffe Grouping	Mean	\pm	SD	Scheffe Grouping	Mean	\pm	SD	Scheffe Grouping
ML	22.86	\pm	1.37		11.37	\pm	1.43		6.69	\pm	0.34	
CB	17.96	\pm	1.23		9.71	\pm	1.09		5.14	\pm	0.06	
NFM	15.87	\pm	0.91		9.79	\pm	0.94		5.41	\pm	0.80	
EFM	13.91	\pm	1.16		7.37	\pm	0.79		5.50	\pm	0.60	
IG	10.52	\pm	1.27		4.27	\pm	1.08		2.94	\pm	0.58	

SBS: Shear Bond Strength, TBS: Tensile Bond Strength, S/TBS: Shear/Tensile combined Bond Strength. Items with vertical bar are homogeneous subsets at p<0.05

표 6. 측정된 결합강도를 브라켓 기저면의 면적으로 나눈 단위면적당 결합강도

Group	SBS(kgf/mm ²)				TBS(kgf/mm ²)				S/TBS(kgf/mm ²)			
	Mean	\pm	SD	Scheffe Grouping	Mean	\pm	SD	Scheffe Grouping	Mean	\pm	SD	Scheffe Grouping
ML	2.30	\pm	0.13		1.14	\pm	0.14		0.67	\pm	0.03	
CB	2.16	\pm	0.14		1.17	\pm	0.13		0.62	\pm	0.07	
NFM	1.73	\pm	0.09		1.06	\pm	0.10		0.59	\pm	0.08	
EFM	1.78	\pm	0.14		0.94	\pm	0.10		0.70	\pm	0.07	
IG	1.31	\pm	0.15		0.53	\pm	0.13		0.36	\pm	0.07	

SBS: Shear Bond Strength, TBS: Tensile Bond Strength, S/TBS: Shear/Tensile combined Bond Strength. Items with vertical bar are homogeneous subsets at p<0.05

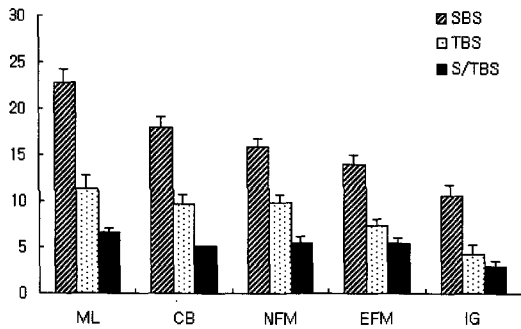


그림 8. 브라켓 접착 후 37°C 중류수에 24시간 보관 후 측정된 결합강도

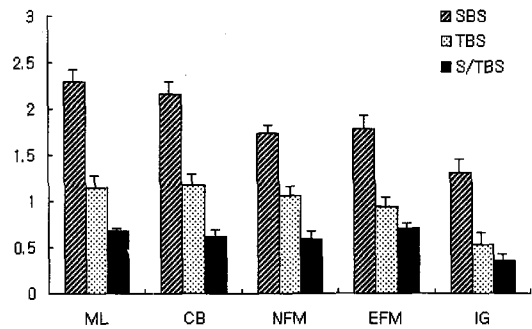


그림 9. 브라켓 기저면의 면적으로 나눈 단위면적당 결합강도

표 7. 결합강도간의 차이 비율(%)

	ML	CB	NFM	EFM	IG	Average
TBS/SBS	50	54	62	53	41	52
S/TBS/TBS	59	53	55	75	69	62.2
S/TBS/SBS	34.2	34.9	29.3	25.3	35.8	31.9

7은 결합강도간의 차이 비율이다. 브라켓 기저부 형태에 따른 모든 군에서 전단결합강도가 제일 컸으며 ($p < 0.05$), 평균적으로 인장결합강도는 전단결합강도의 50%정도 수준이었고 전단/인장복합결합강도는 전단결합강도의 30%정도이었다. 전단결합강도에 대한 인장결합강도의 비에서 NFM이 가장 컸으며 IG가 가장 작았고, 인장결합강도에 대한 전단/인장복합결합강도의 비에서는 EFM이 가장 컸으며 CB가 가장 작았고, 전단결합강도에 대한 전단/인장복합결합강도의 비에서는 IG가 가장 컸으며 EFM이 가장 작았다.

3. ARI score

표 8은 결합강도 측정 후 브라켓 기저면을 stereoscope으로 관찰하여 접착제의 잔존양에 따라 점수를 준 ARI score의 분포를 도시한 것이다. 접착파절은 브라켓/레진 계면에서 일어나 ARI score가 작게 나타났다. IG는 전단, 인장, 전단/인장복합결합강도에서의 ARI score가 0에 거의 모두 분포하였고, 전단/인장복합결합강도에서 ML을 제외하고 CB, NFM, EFM, IG는 ARI score가 0과 1에 높게 분포하고 그 비율도 유

표 8. 결합강도 측정후 브라켓 기저면상의 접착제 잔존양을 나타내는 ARI score

Group	Debond Mode	ARI score				Sum
		0	1	2	3	
ML	Shear	0	6	3	1	10
	Tensile	6	1	3	0	10
	S/TCombined	4	4	2	0	10
CB	Shear	3	7	0	0	10
	Tensile	4	1	2	3	10
	S/TCombined	8	2	0	0	10
NFM	Shear	0	4	4	2	10
	Tensile	9	0	1	0	10
	S/TCombined	9	0	1	0	10
EFM	Shear	3	5	2	0	10
	Tensile	1	8	1	0	10
	S/TCombined	8	2	0	0	10
IG	Shear	10	0	0	0	10
	Tensile	9	1	0	0	10
	S/TCombined	8	2	0	0	10

사하였다. 전단결합강도에서 IG를 제외하고 ML, CB, NFM, EFM는 ARI score가 1과 2에 높게 분포하였다. ARI score중 3이 측정된 경우는 ML의 전단결합강도, CB와 NFM의 인장결합강도이었다.



그림 10.a: ML, SBS, ×25.



b: ML, SBS, ×200.

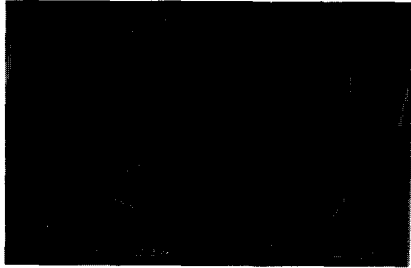
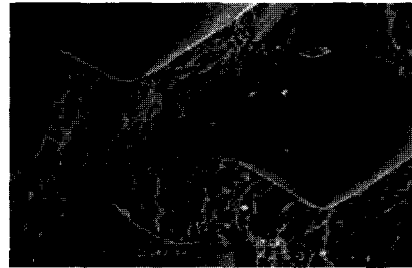


그림 11.a: CB, SBS, ×25.



b: CB, SBS, ×150.

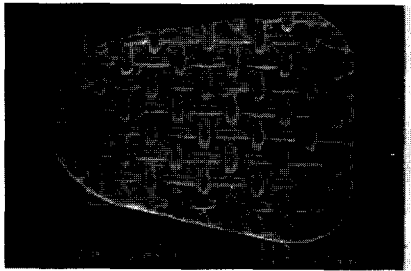
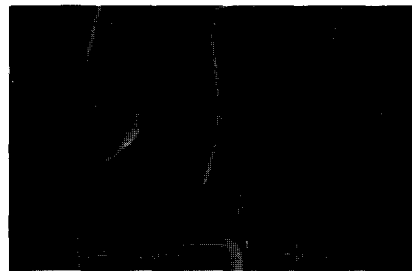


그림 12.a: NFM, S/TBS, ×25.



b: NFM, S/TBS, ×150.

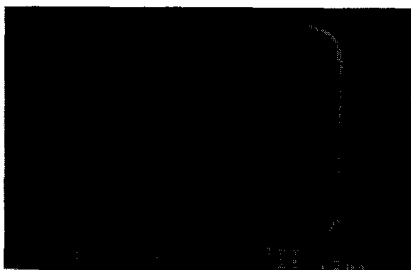
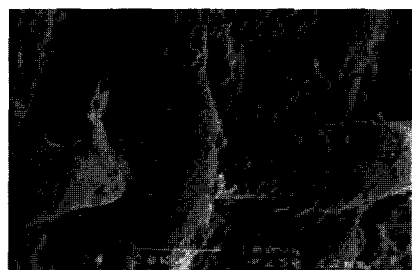


그림 13.a: EFM, TBS, ×25.



b: EFM, S/TBS, ×250.

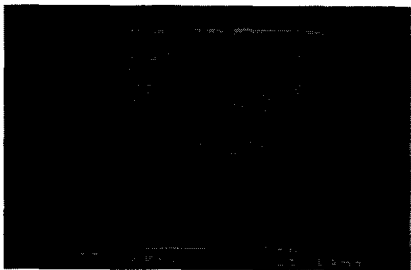


그림 14.a: IG, SBS, ×25.



b: IG, SBS, ×150.

그림 10~14. 접착파절면에 대한 SEM 관찰.

4. 접착파절면에 대한 SEM 관찰(그림 10~14)

그림 10~14는 결합강도 측정후 브라켓 기저면의 SEM사진이다. 대체로 접착파절면은 브라켓 기저부 금속 표면이 노출되어 있었고(그림 10a, 11a, 12a, 13a, 14a), 함몰이나 구, mesh 하방에는 많은 레진이 남아 있었다(그림 10b, 11b, 12b, 13b, 14b). ML의 원형의 함몰에는 다수의 레진내 기포가 관찰되었다(사진 10a, 10b). 표면이 처리된 ML, EFM, IG의 표면에는 레진 잔사가 남아 있으나(그림 10b, 13b, 14b), 표면이 처리되지 않은 CB, NFM의 표면에는 레진 잔사가 남아 있지 않았다(11b, 12b).

V. 총괄 및 고안

교정용 금속 브라켓의 접착력은 보통 요철구조를 갖는 접착부의 기계적 유지력에 의해 얻어지는데²⁾, 이러한 접착력에 대한 연구는 브라켓과 접착제의 종류, 접착부의 형상 및 접착기전에 따라 다양하게 보고 되고 있다^{8,15-29)}. 본 연구에서는 금속 브라켓 기저부 형태에 따른 결합강도 차이 및 접착부의 파절양상을 조사하였다.

금속 브라켓의 결합강도에 관한 선행학들의 연구는 주로 전단결합강도^{8,15,17,21,25,28,29,31,38)}와 인장결합강도^{2,5,16,18,22,23,30,32,33,36)} 그리고 비틀림(torsion)결합강도³⁾에 관한 것이었다. 그러나 구강내에서 브라켓에 가해지는 응력은 순수한 전단력이나 인장력이기보다는 이들의 복합적인 전단/인장복합 응력이 주로 작용되지만 이에 대한 연구는 거의 미진한 상태이다¹⁹⁾. 이에 본 연구에서는 브라켓 접착력 평가에 전단/인장복합 결합강도를 포함하여 전단결합강도와 인장결합강도를 측정하였다. 전단/인장복합력은 방향에 따라 여러 각도가 있지만, 본 연구에서는 대표적으로 45° 방향의 전단/인장복합의 힘을 이용하였다.

어떤 브라켓이 구강내에 잘 유지될 수 있을지를 평가하기 위해서는 그 브라켓이 발휘할 수 있는 강한 결합강도보다는 최소 결합강도가 기준이 되어야 한다. 이런 점에서 전단결합강도나 인장결합강도보다는 비교적 약한 전단/인장복합결합강도가 상당히 중요한 것이다. 본 연구에서 모든 종류의 브라켓과 모든 시험 조건에서 전단결합강도가 가장 컸으며 다음은 인장결합강도, 그리고 가장 작은 것은 전단/인장복합강도이었는데, 전단/인장복합결합강도는 전단결합강도의 1/3 수준이었다. 또한 Reynold 등²⁾은 대부분의

임상 교정에서 필요로 하는 최소 결합강도는 5.9 ~ 7.8 Mpa정도로 충분하다고 보고하였고, MacColl 등¹⁷⁾과 Proffit 등³⁵⁾은 임상에서 성공적으로 사용하기 위한 브라켓의 결합강도는 교합력 등을 고려하여 5 ~ 15 kg 정도라고 하였다. 본 연구에서는 전단/인장 복합결합강도에서 평균 2.94 kgf의 integral base를 제외하고는 임상적으로 교합력에 대한 브라켓의 결합강도를 보여주고 있는 것으로 생각된다.

브라켓의 결합강도에 대한 많은 연구가 있지만, 여러 가지 형태의 브라켓에 서로 다른 접착제를 이용하기 때문에 상호 비교하기에는 곤란하다. Kinami 등^{22,23)}은 foil mesh base와 micro-loc base사이의 인장 결합강도의 차이를 보이지 않는다고 했으며, Siomka와 Powers³⁰⁾는 grooved base, mesh base, photoetched base 사이에 인장결합강도의 차이가 없다고 하였으나, Odegaard와 Segner³¹⁾, Smith와 Reynolds¹⁸⁾, Regan과 Noort 등³²⁾은 foil mesh base 브라켓이 integral(groove) base 브라켓보다 결합강도가 더 크다고 하였다. 본 연구에서 5종의 금속 브라켓을 no-mix형 레진 접착제(Bisco)로 접착시, 결합강도는 micro-loc base인 ML이 가장 컸으며, foil mesh base인 NFM과 EFM이 integral base인 IG보다 컸다. Mesh base의 결합강도에 대한 연구로 Maijer와 Smith¹⁵⁾는 70 μm 이하의 fine mesh 보다는 80 ~ 100 μm의 굵은 mesh가 더 큰 전단결합강도를 보인다고 하였으며, Reynolas 등²⁾도 굵은 mesh가 더 강한 인장결합강도를 보인다고 하였으나, Dickinson과 Powers¹⁶⁾는 mesh size와 인장결합강도와는 무관하다고 하였다. 그리고 Maijer와 Smith⁸⁾, Dickinson과 Powers¹⁶⁾, Gwinnett 등^{38, 40)}은 mesh wire를 고정하기 위해 사용한 weld spot이 부식을 형성하여 결합강도를 감소시킨다고 했다. 본 연구에서 2가지 종류 mesh base 브라켓을 사용하였는데, NFM은 132.3 μm의 굵은 철선과 spot weld이 없고, EFM은 88.2 μm의 상대적으로 얇은 철선과 spot weld가 있는 mesh base 이었다. 이들의 결합강도는 대체로 NFM이 EFM보다 크게 나타나, 굵은 mesh가 더 높은 결합강도를 보인다는 이전의 연구들과 일치하였고, weld spot이 있는 EFM이 weld spot이 없는 NFM보다 작은 결합강도를 보였다.

Dickinson과 Powers¹⁶⁾, Lepez³⁰⁾는 브라켓 기저면의 면적과 결합강도와는 관계가 없다고 하였고, MacColl 등¹⁷⁾은 기저면이 6.82 mm² 이상이면 전단결합강도의 차이가 없다고 한바 있다. 또한 Smith와

Maijer¹⁵⁾는 bracket base상에 금속성 또는 세라믹 입자들을 결합시켜 100%의 결합력을 증가시켰다고 했으며, Siomka와 Powers³⁰⁾는 grooved base의 표면을 부식시키면 인장결합강도가 증가된다고 하였고, MacColl 등¹⁷⁾은 mesh base의 표면을 미세부식시키면 전단결합강도가 증가된다고 하였다. 본 연구에 사용된 브라켓은 모두 6.82 mm² 이상의 기저면이었기 때문에 면적차이에 의한 결합강도의 차이를 인정하지 않는다면, 브라켓간 결합강도의 차이는 브라켓 기저부의 형태와 표면처리 양상에 의한 차이라고 생각할 수 있다. 특히 NFM과 EFM의 단위면적당 결합강도가 비슷한 것은, EFM의 mesh는 가는 반면, EFM은 기저면 표면이 미세 부식되어 있기 때문이라고 생각된다. Regan과 Noort^{33,34)}는 주조한 grooved base가 밀링한 것보다 결합강도가 크다고 하였다. 그러나 본 연구에서 사용한 grooved base 브라켓들 중, 주조로 구를 형성하고 부식으로 미세요철을 만들어준 IG보다 미세요철이 없이 밀링하여 구를 만들어준 CB가 훨씬 높은 결합강도를 보였다. 이는 본 실험에서 사용된 CB의 기저면은 밀링한 깊은 구가 촘촘하고 격자형으로 존재하는 반면, IG의 기저면에는 넓고 깊은 3개의 구외에는 얇은 구들만 있기 때문에 비록 표면이 미세부식이 되어있다 할지라도 결합강도가 떨어지는 것으로 생각된다.

Keizer 등³⁶⁾은 브라켓 접착제면의 파절양상은 법랑질과 접착제 사이의 결합력, 접착제와 브라켓 사이의 결합력, 접착제와 브라켓 재료의 화학적, 기계적 특성 등의 영향을 받는다고 하였다. Kinami 등^{22,23)}은 브라켓 기저부 형태와 치면에 남아 있는 접착제의 양과의 관계에서 브라켓 기저부 형태의 고안시 특히 기저부의 큰 곡면이 잔존 접착제 량을 감소시킨다고 했다. O'Brien 등⁴¹⁾은 접착파절(debonding)시 잔존 접착량과 전단결합강도는 관련이 없다고 했다. Harris 등²⁸⁾은 접착파절(debonding)시 법랑질의 손상을 줄이기 위해 접착제와 브라켓 계면의 파절이 바람직하다고 하였다. Oliver³⁷⁾는 금속 브라켓에서 레진 접착제의 filler 함량을 감소시키면 접착파절 위치가 법랑질/레진 계면에서 레진/브라켓 계면으로 바뀐다고 하였으며, Odegaard와 Segner³¹⁾는 세라믹 브라켓은 법랑질/레진 계면에서, 금속 브라켓은 레진/브라켓 계면에서 접착파절이 일어난다고 하였다. 본 연구에서도 이전의 연구들과 마찬가지로 낮은 ARI score를 보여 브라켓/레진계면에서 접착파절이 일어나 기저면 금속 표면이 드러났다. 가장 작은 결합강도의 IG는 전단,

인장, 전단/인장복합결합강도에서의 ARI score가 0에 거의 모두 분포한 것은 브라켓 기저부의 형태에 따른 유지력이 작은 것으로 생각된다. 또한 전단/인장복합결합강도에서 ML을 제외하고 CB, NFM, EFM, IG는 ARI score가 0과 1에 높게 분포하고 그 비율도 유사한 것은 브라켓 기저부의 undercut의 형태에 관계없이 전단/인장복합결합강도에 약한 것으로 생각된다. 그리고 전단결합강도에서 IG를 제외하고 ML, CB, NFM, EFM은 ARI score가 1과 2에 높게 분포한 것은 브라켓 기저부의 undercut의 형태가 전단결합강도에 강한 것으로 생각된다. 브라켓 기저부의 함몰이나 구와 mesh 하방에는 많은 레진이 남아 있었다. 결합강도가 가장 큰 micro-loc base와 가장 작은 integral base 비교시 undercut 하방에 남아있는 레진의 양이 micro-loc base가 많은 것을 보여 주고 있었다. 금속 표면이 부식 처리된 ML, EFM, IG는 금속 표면의 미세요철과 레진이 잘 적합되어 접착 파절 후 금속 표면에 레진 잔사가 많이 남아 있었으나 평탄한 표면을 가진 CB, NFM은 금속과 레진 사이에 뚜렷한 경계와 틈이 있어 접착 파절 후 금속 표면에 레진 잔사가 남아 있지 않았다.

이상의 결과로 미루어 볼 때, 교정용 브라켓 기저부의 형태에 따라, 결합 부위에 적용되는 힘에 따라 결합강도의 차이를 보이고 있었다. 그리고 어떤 브라켓이 구강내에 잘 유지될 수 있을지를 평가하기 위해서는 그 브라켓이 발휘할 수 있는 강한 결합강도보다는 최소 결합강도가 기준이 되어야 한다. 이런 점에서 전단결합강도나 인장결합강도보다는 비교적 약한 전단/인장복합결합강도가 상당히 중요할 것이다. 실제로 구강내에서 브라켓 탈락시 다양한 방향의 전단력과 인장력이 작용될 수 있지만 본 연구에서는 대표적으로 45° 방향의 전단/인장복합결합강도를 측정하였다. 앞으로 다양한 방향의 전단/인장복합결합강도의 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

기저부형태가 다른 5종의 금속브라켓인 Micro-Loc, Chessboard, Non-Etched Foil Mesh, Micro-Etched Foil Mesh, Integral base에 결합강도를 평가하기 위해 결합 부위에 적용되는 힘을 전단결합강도, 인장결합강도, 전단/인장복합결합강도로 구분하여 결합강도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 브라켓 기저부 형태에 따른 모든 군에서 전단결합강도가 제일 컸으며($p < 0.05$), 인장결합강도는 전단결합강도의 50%정도 수준이었고 전단/인장복합결합강도는 전단결합강도의 30%정도이었다.
2. 브라켓의 결합강도는 Micro-Loc base가 가장 크고(SBS : 22.86 ± 1.37 kgf, TBS : 11.37 ± 1.43 kgf, S/TBS : 6.69 ± 0.34 kgf), Integral base가 가장 작았다(SBS : 10.52 ± 1.27 kgf, TBS : 4.27 ± 1.08 kgf, S/TBS : 2.94 ± 0.58 kgf)($p < 0.05$).
3. 단위면적당 결합강도 비교시, Integral base가 가장 작았고($p < 0.05$), 전단결합강도와 인장결합강도에서는 Micro-Loc and Chessboard base 간의 차이가 없었으며($p > 0.05$), Non-Etched Foil Mesh와 Micro-Etched Foil Mesh base간의 전단결합강도와 인장결합강도는 차이가 없었으나, 전단/인장복합결합강도에서는 Micro-Etched Foil Mesh base가 Non-Etched Foil Mesh base보다 더 크게 나타났다($p < 0.05$).
4. 전단, 인장, 전단/인장복합결합강도 측정후 접착파절은 브라켓/레진 계면에서 일어나 ARI score가 작게 나타났다.

참 고 문 헌

1. Newman GV. Epoxy adhesive for orthodontic attachment : Progress report. Am J Orthod 1965;15:901-912.
2. Reynolds IE, Von Fraunhofer JA. Direct bonding of orthodontic mesh size. Br J Orthod 1976;3:91-95.
3. Thanos CE, Munholland T, Caputo AA. Adhesion of mesh-base direct bonding brackets. Am J Orthod 1979;7:421-430.
4. Gorelick L. Bonding metal brackets with a self-polymerizing sealant composite : a 12-month assessment. Am J Orthod 1977;71:542-553.
5. Zachrisson BU, Brobakken BO. Clinical comparison of direct vs indirect bonding with different bracket types and adhesives. Am J Orthod 1978;74:62-77.
6. Wickwire NA, Rentz. Enamel pretreatment : A critical variable in direct bonding systems. Am J Orthod 1973;64:499-512.
7. Retief DH. The mechanical bond. Int Dent J 1978;28:18-27.
8. Maijer R, Smith DC. Variables influencing the bond strength of metal orthodontic bracket bases. Am J Orthod 1981;79:20-35.
9. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 1955;34:849-853.
10. Buonocore MG, Sheykhoslam Z, Glana R. Evaluation of an enamel adhesive to prevent marginal leakage: An in vitro study. J Dent Child 1973;40:119-124.
11. Gwinnett AJ, Matsuo A. A study of enamel adhesives: The physical relationship between enamel and adhesive. Arch Oral Biol 1967;12:1615-1620.
12. Retief DH. A comparative study of three etching solutions: Effects on contact angle rate of etching and tensile bond strength. J Oral Rehabil 1974;381-390.
13. Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, and Fejerskov O. Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. Caries Res 1975;9:373-387.
14. Ten Cate JM, Keizer S, and Arends J. Polymer adhesion to enamel: The influence of viscosity and penetration. J Oral Rehabil 1977;4:149-156.
15. Smith DC, Maijer R. Improvements in bracket base design. Am J Orthod 1983;83(4):277-281.
16. Dickinson PT, Powers JM. Evaluation of fourteen direct-bonding orthodontic. Am J Orthod 1980;78:630-639.
17. 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;113:276-281.
18. Smith NR, Reynolds IR. A comparison of three bracket bases : an in vitro study. Br J Orthod 1991;18:29-35.
19. Willems G, Carels CE, Verbeke G. In vitro peel/shear bond strength evaluation of orthodontic bracket base design. J Dent 1997;25:271-278.
20. Eversoll D.K, and Moore R.N: Bonding orthodontic acrylic resin to enamel, Am J Orthod 1988;93:477-485.
21. Bishara SE, Olsen M, Von Wald L. Comparisons of shear bond strength of precoated and uncoated brackets. Am J Orthod Dentofac Orthop 1997;112:617-621.
22. Hideo Kinami, Masahito Sugimura, Kenji Takada, Mamoru Sakuda, Masayuki Okazaki, Hiroshi Kimura. Suppression of remaining resin on the tooth surfaces in debonding of orthodontic brackets. Part 1. Destruction Behaviors of Adhesion System. J Osaka Univ Dent Sch 1988;28:171-187.
23. Hideo Kinami, Masahito Sugimura, Kenji Takada, Mamoru Sakuda, Masayuki Okazaki, Hiroshi Kimura. 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;28:189-198.
24. Årtun J, Bergland S. Clinical trials with crystal growth conditioning as an alternative to acid-etch enamel pretreatment. *Am J Orthod* 1984;85:333-340.
 25. Britton JC, McInnes P, Weinberg R, Leodoux WR. Shear bond strength of ceramic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1990;98:348-353.
 26. Bishara SE, Jakobsen JR. A comparative study of the debonding strengths of different ceramic brackets, enamel conditioners, and adhesives. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1994;104:170-179.
 27. Iwamoto H, Kawamoto T, Kinoshita Z. Bond strength of new ceramic brackets as studied in vitro. [Abstract]. *J Dent Res* 1987;66:928.
 28. Harris AMP, Joseph VP, Rossouw PE. Shear peel bond strength of esthetic orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1992;102:215-219.
 29. Viazis AD, Cavamangh G, Bevis RR. Bond strength of ceramic brackets : an in vitro study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1990;98:214-221.
 30. Siomka LV, Powers JM. In vitro bond strength of treated direct-bonding metal bases. *Am J Orthod* 1985;88:133-136.
 31. Odegaard J, Segner D. Shear bond strength of metal brackets compared with a new ceramic bracket. *Am J Orthod* 1988;94:201-206.
 32. Regan D, LeMasney B, van Noort R. The tensile bond strength of new and rebonded stainless steel orthodontic brackets. *Eur J Orthod* 1993;15:125-135.
 33. Regan D, van Noort R, O'keeffe C. The effects of recycling on the tensile bond strength of new and clinically used stainless steel orthodontic brackets : an in vitro study. *Br J Orthod* 1990;17:137-145.
 34. Regan D, van Noort R. Bond strength of two integral bracket-base combinations : an in vitro comparison with foil-mesh. *Eur J Orthod* 1989;11:144-153.
 35. Proffit WR, Field HW, Nixon WL. Occlusal forces in normal and long faced adults. *J Dent Res* 1983;62:566-570.
 36. Keizer S, Ten Cate JM, Arends J. Direct bond of orthodontic brackets. *Am J Orthod* 1976;69:318-327.
 37. Oliver RG. The effect of different methods of bracket removal on the amount of residual adhesive. *Am J Orthod* 1988;93:196-200.
 38. Lopez TI. Retentive shear strength of various bonding attachment bases. *Am J Orthod* 1980;77:669-678.
 39. Gwinnett AJ, Ceen RF. Plaque distribution of bonded brackets. *Am J Orthod* 1979;75:667-678.
 40. Gwinnett AJ. Corrosion of resin bonded Orthodontic brackets. *Am J Orthod* 1982;81:444-446.
 41. O'Brien KD, Watts DC, Read MJF, Residual debris and bond strength - Is there a relationship ? *Am J Orthod* 1988;94:222-230.

- ABSTRACT -

Comparison of shear, tensile and shear/tensile combined bonding strengths in bracket base configurations

Choon-Bong Lee, Seong-Ho Lee, Jong-Ghee Kim

*Department of Orthodontics, School of Dentistry, Institute of Oral bioscience
Chonbuk National University*

The purpose of this study was to evaluate shear, tensile and shear/tensile combined bond strengths(SBS, TBS, S/TBS) in various orthodontic brackets bonded to human teeth with chemically cured adhesive (Ortho-one, Bisco, USA). Five types of metal brackets with various bracket base configurations (Micro-Loc base(Tomy, Japan), Chessboard base(Daesung, Korea), Non-Etched Foil Mesh base(Dentaram, Germany), Micro-Etched Foil Mesh

base(Ortho Organiners, USA), Integral base(Unitek, USA)) were used in this study. Shear, tensile and shear/tensile combined bond strengths according to the direction of force were measured by universal testing machine. The bracket base surface after bond strength test were examined by stereoscope and scanning electron microscope. The assessment of resin remnant on bracket base surface was carried out by ARI(adhesive remnant index).

The results obtained were summarized as follows ;

1. In all brackets, SBS was in the greatest value($p < 0.05$), TBS was in 50% level and S/TBS was in 30% level of SBS.
2. In bond strength, Micro-Loc base bracket showed the maximum bond strength(SBS : 22.68 ± 1.37 kgf, TBS : 11.37 ± 0.42 kgf, S/TBS : 6.69 ± 0.34 kgf) and Integral base bracket showed the minimum bond strength(SBS : 10.52 ± 1.27 kgf, TBS : 4.27 ± 1.08 kgf, S/TBS : 2.94 ± 0.58 kgf) ($p < 0.05$).
3. In bond strength per unit area, Integral base bracket showed the minimum value, Micro-Loc base and Chessboard base brackets were in similar value($p > 0.05$). Non-Etched Foil Mesh base and Micro-Etched Foil Mesh base bracket were similar in SBS and TBS($p > 0.05$), but Micro-Etched Foil Mesh base bracket was greater than Non-Etched Foil Mesh base bracket in S/TBS($p < 0.05$).
4. Bond failure sites were mainly between bracket base and adhesive, therefore ARI scores were low.

KOREA. J. ORTHOD. 1999 ; 29 : 599-611

※ **Key words** : Bracket base configurations, shear bond strength, tensile bond strength, shear/tensile combined bond strength