

세라믹 브라켓과 교정용 접착제에 따른 전단 결합 강도의 비교 연구

이 주 원¹⁾ · 유 동 환²⁾ · 김 상 철²⁾

여러 세라믹 브라켓과 접착제에 따른 전단 결합 강도를 비교하기 위하여, 영구 소구치 48개를 대상으로 베이스의 유지 형태가 다른 3종의 세라믹 브라켓을 광중합과 화학 중합을 포함한 3종의 교정용 접착제를 사용하여 접착하고 전단 결합 강도와 파절 양상을 관찰한 결과, 화학 중합형 레진으로 접착한 경우 광중합형으로 접착한 경우보다 결합 강도가 높았으며, 화학적 결합을 하는 Starfire 브라켓이, 기계적 결합을 하는 Transcend나, 복합형 결합인 Fascination 보다 전단 결합 강도가 낮았다. Transcend는 주로 범랑질과 레진(E/R)에서, Fascination은 범랑질, 레진, 브라켓 베이스에 혼합(COMB)되어 파절되며, Starfire는 레진과 브라켓 베이스(R/B)에서 파절이 나타났다.

(주요단어 : 세라믹 브라켓, 전단 결합 강도, 접착제)

I. 서 론

세라믹 브라켓은 70년대초 사용되었던 폴리카보네이트 브라켓의 단점을 보완하여 내구성을 증가시킨 것으로 1988년 Phillips¹⁾가 세라믹 브라켓의 출현을 언급한 바 있다. 세라믹 브라켓은 알루미늄 옥사이드(Al_2O_3)로 구성되어 플라스틱 브라켓의 심미성과 메탈 브라켓의 견고성의 장점을 지녔으며 증가 추세인 성인환자의 심미적 욕구를 충족시킬 뿐 아니라 확고한 결합력으로 정확한 치아이동을 가능케 한다^{1,2)}.

그러나 세라믹 브라켓은 Wire와의 활주 저항이 크며 치아와 교합 접촉이 있는 경우 치아 마모율이 높고 debonding시 치질 파절의 위험성이 있다³⁾. 이러한 문제점을 최소화하기 위해 많은 연구가 진행되고 있으며, 특히 debonding시 치질 파절의 위험성을 줄이기 위해 브라켓 접착 방법⁴⁾, 결합 강도⁵⁾, debonding technique⁶⁾, 브라켓 베이스 디자인⁷⁾에 대한 연구가

있었다. 즉, 브라켓 베이스를 silane coupling으로 처리하여 화학적 결합을 유도하거나 메탈 브라켓과 같이 undercut를 형성하여 유지를 얻기도 하며 이 2가지의 조합적 방법도 응용하였다⁸⁾. Guess등⁹⁾은 silane coupling의 효과를, Hyer¹⁰⁾는 기계적과 화학적 유지 형태를 보이는 브라켓의 결합 강도를 비교 보고하였고, Eliades⁸⁾는 편광현미경과 주사전자현미경을 사용하여 4종의 세라믹 브라켓에 대한 미세구조와 결합방식을 밝힌 바 있으며 최근 개발된 브라켓은 주로 미세한 기계적 유지 형태를 보인다고 시사하였다.

세라믹 브라켓은 크게 화학 중합과 광 중합의 2가지 방법에 의해 치면에 부착할 수 있다.

화학 중합에 사용되는 접착제에는 크게 아크릴릭 레진과 다이 아크릴릭 레진으로 나눌 수 있으며 이 두가지 레진은 필러의 함량에 따라 unfilled와 filled type으로 세분된다¹¹⁾.

Buzzitta등¹²⁾, Moin과 Dogon¹³⁾은 필러 함량에 따라서 메탈, 플라스틱, 세라믹 브라켓의 인장 강도를 평가하였는데 플라스틱과 세라믹 브라켓에서 unfilled resin이 filled resin보다 2배 정도의 높은 인장 강도를 보인다 하였고 이는 unfilled resin이 브라켓의 유지부

¹⁾ 원광대학교 치과대학 치과교정학교실, 대학원생

²⁾ 원광대학교 치과대학 치과교정학교실, 대학원생

³⁾ 원광대학교 치과대학 치과교정학교실, 교수

Table 1. Characteristics of Ceramic Brackets tested in this study.

Type of Bond	Mechanical	Combination	Chemical
Material	Polycrystal AL ₂ O ₃	Polycrystal AL ₂ O ₃	Single crystal
Color	Opaque	Translucent	Translucent
Base area(mm ²)	11.27	8.86	12.60/11.89/12.50*
Recommnd debonding instrument	Transcend series debonding instrument	Ceramicde debonding Unit	Starfire debonding -Plier
Debonding force applied	Tensile	- - - -	indirect tesile
Slot size	.022	.018	.022
Trade name	Transcend	Fascination	Stsrfire
Company	Unitek	Dentarum	"A" Company

* : Upper central/Upper lateral/Upper canine

를 투과가 쉽기 때문이라 언급한 바 있으며, 이에 반해 Ostertag⁵⁾, Newman¹⁴⁾은 필러의 함량이 증가할수록 결합강도는 증가하는 추세를 보인다 하였다.

1970년대 초반에 빛에 의해 활성화되는 레진이 수복치과영역에 소개되어, 교정영역에서는 설측보정장치¹⁵⁾의 부착에 널리 이용되었으나¹⁵⁾ 1979년 Tavas와 Watts¹⁶⁾는 교정용 브라켓에 광 중합형 레진을 적용할 수 있다고 하였다. Kohl¹⁷⁾은 광 중합에 자외선을 이용하였으나 자외선의 성질에 기인한 생물학적 위해성과 경화 깊이의 한계 때문에 근래에는 460-480 mm범위의 파장을 갖는 가시광선을 레진의 경화에 이용한다.

화학 중합 방법과 광 중합 방법간의 비교 연구에서, Swartz³⁾는 one-mix타입의 화학 중합제에서 중합 수축이 광범위하게 발생하므로 광 중합형 중합제를 권고하고 있으나 Joseph와 Rossouw¹⁸⁾는 세라믹 브라켓의 물리적 특성 때문에 화학 중합제가 더 높은 결합 강도를 보인다고 언급한 바 있다.

Ødegaard와 Segnar¹⁹⁾, Eliades²⁰⁾은 광 중합의 경우가 화학 중합 경우와 동일하거나 더 높은 결합 강도를 보이지만 통계적 유의성은 없다고 하였다.

임상 교정에서의 적절한 결합 강도에 대해 Reynolds¹¹⁾는 60-80Kg/cm²(5.88-7.84 MPa)이상이 되어야 한다고 하였고, debonding시 치질 파절경향에 대해 Greenlaw²¹⁾는 높은 결합 강도에서 파절은 증가하며 13.5MPa²²⁾ 정도에서 발생할 수 있다고 하였다.

세라믹 브라켓의 전단 결합 강도에 대한 많은 연구가 있었으나 브라켓 베이스 유지형태에 따른 화학 중합시와 광 중합시의 전단 결합 강도의 연구는 미비하며 또한 화학 중합시 접착제의 필러 함량에 따른

결합 강도와 파절 양상은 선학간의 다소의 차이를 보인다.

이에 본 연구에서는 베이스 유지 형태가 다른 3종의 세라믹 브라켓을 필러 함량과 크기가 다른 2종의 화학 중합형 레진과 1종의 광 중합형 레진을 사용하여 부착하고 전단 결합 강도를 측정하였으며 SEM을 이용하여 파절 양상과 레진의 결합 양상을 관찰하고, 다소의 지견을 얻었기에 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

교정 치료의 목적으로 발거된 정상적인 형태의 영구 소구치를 대상으로 3종의 세라믹 브라켓 (Table 1)을 3종의 접착제(Table 2)로 부착하였다.

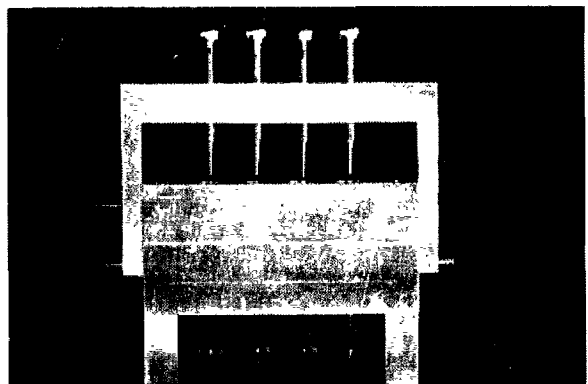
2. 연구방법

1) 시편의 제작

건전한 법랑질을 갖는 영구 소구치 48개의 대상으로 협측 치면의 잔사물을 퍼미스로 제거하고 증류수에 보관 후 Coreil의 방법²³⁾을 응용하여, 치경부를 절단하고 치관부의 치수를 제거한 후 레진 블록을 형성하였다. 브라켓을 붙이기 위한 치면부는 균일한 평면을 유지하기 위해 200grit의 silicone carbide paper (Beuhler, USA)로 법랑질을 일부 삭제하여 최소한의 면적이 약 13mm²가 되도록 형성하였다(Fig. 1).

Table 2. Characteristics of Adhesives used in this study.

Type of curing	light-curing	chemical-curing	chemical-curing
Percent of Filler (Wt%)	56%	28%	75%
Composition of Filler	Silica	Silica glass	Quarts
Fill Particle Size(μ m)	0.01-0.09	0.3	3-20
Acid Etchant Used	37% phosphoric acid	37% phosphoric acid	37% phosphoric acid
Trade name	Silux-Plus	Endur	Concise
Company	3M	Ormco	3M

**Fig. 1.** Grinding of tooth.**Fig. 2.** The apparatus for making resin block.

레진 블록용 장치(Fig. 2)에 연마된 치면이 장치 하부에 위치하도록 고정한 후 클리어 레진을 사용하여 블록을 형성하고 시편의 길이가 15mm가 되도록 원형의 저속 다이아몬드절단기(Beuhler, USA)로 블록의 상하면이 평행하게 절단하였다. 블록을 표면 연마용 장치에 고정하여 320grit, 400grit, 600grit 순으로 silicone carbide paper로 미세 연마하여 치면의 불규칙성을 최소로 하였다. 모든 시편은 브라켓 부착 직전 약 5분간의 초음파 세척을 하였다. 총 48개의 시편 중 전단 결합 강도 측정에 45개의 시편을 이용하였으며 실험 후 치면과 브라켓 베이스에서의 파절 양상을 SEM으로 관찰하였고, Transcend로 부착한 나머지 3개의 시편은 cross-section 후 SEM상에서 브라켓, 레진, 치면의 결합양태를 관찰하기 위해 사용되었다.

2) 브라켓의 접착

준비된 시편 중 30개의 2가지 종류의 화학적 접착제로 브라켓을 부착하였다. 제조사의 지시에 따라 37%인산으로 60-90초간 치면을 부식하였고 20초간

흐르는 물에 washing하였다.

나머지 15개의 시편은 광 중합방식(Visilux2, 3M)을 사용하였다. 치면 처리는 화학 중합시와 같게 37%인산으로 동일시간 동안 처리하였으며 20초간 washing하고 adhesive curing을 10초간 실시 후 Silux-plus를 20초간 transillumination 방법으로 광 중합하였다.

브라켓을 접착시 균일한 힘이 브라켓에 수직으로 가하도록 하여 20초간 유지하였으며(Fig. 3) 여분의 레진은 explorer를 사용하여 경화전에 제거하였다.

브라켓을 접착한 후 경화를 촉진하기 위해 15분간 실내에서 보관 후 37°C의 증류수에 넣어 24시간동안 유지하였다.

3) 전단 결합 강도의 측정

만능 시험기(Instron Co. Model 4201, Fig. 4)에 전단 시험용 장치를 부착한 후 1mm/min의 crosshead speed로 브라켓 슬롯에 수직으로 힘을 가해 브라켓 탈락시의 전단 결합 강도를 평가하였다.

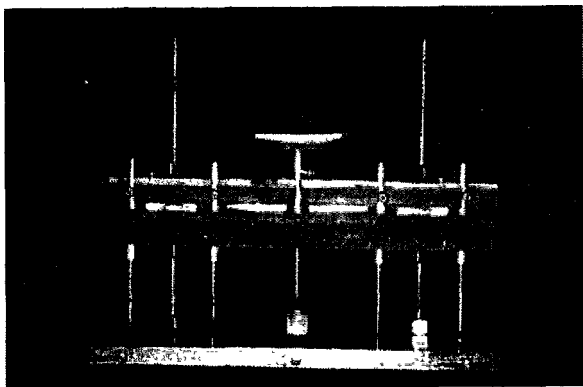


Fig. 3. The device for constant loading

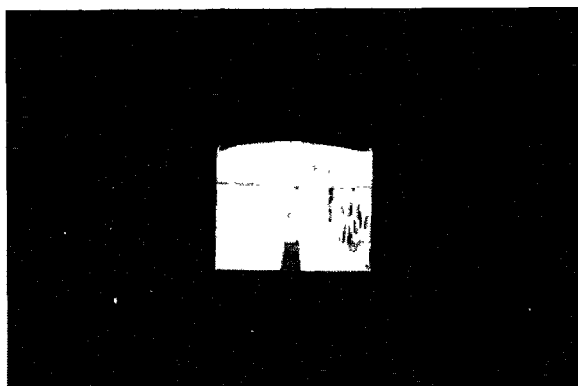


Fig. 6. Specimen for examination using SEM

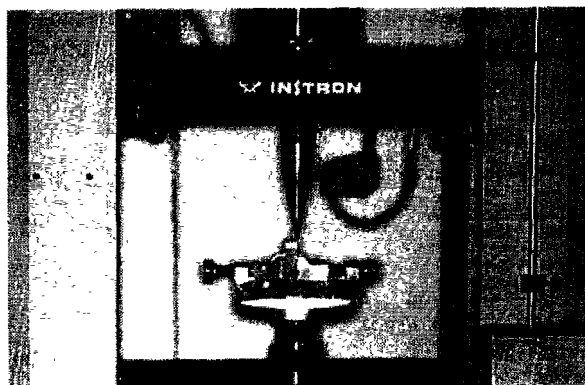


Fig. 4. Instron(Instron Co. Model 4201)



Fig. 5. Image analyzer(Beuhler, USA).

4) 브라켓 면적의 측정

실험재료로 사용된 3가지 타입의 브라켓은 Stereoscope (American optical Co.)로 1배 확대 촬영하였으며 촬영된 사진을 Image analyzer(Beuhler, USA)

로 분석하여 면적을 측정하였다(Fig. 5).

5) 파절 양상 관찰

진단 결합강도 측정후 파절 양상은 Stereoscope (American optical Co.)로 브라켓 베이스와 치면을 관찰하여 브라켓에 레진이 2/3이상 잔존한 경우를 범랑질과 레진간 파절(E/R), sealant와 레진 또는 레진과 레진간이 분리된 경우를 레진간 파절(R/R), 치면에 레진이 2/3이상 잔존한 경우를 레진과 브라켓간 파절(R/B), 치면과 브라켓 베이스에 레진이 거의 동일 양 잔존한 경우를 혼합파절(COMB)로 분류하였으며 그 전형적인 파절 양상을 판단하기 위해 광학 현미경으로 분석하였고 치면과 탈락된 브라켓 브라켓 베이스의 미세구조를 Scanning electron Microscope(SEM)으로 관찰하였다.

6) 결합 양상 관찰

Transcend를 부착한 3개의 시편에서 치면, sealant, 레진, 브라켓의 결합 형태를 관찰하기 위해 저속 다이아몬드 절삭기(Beuhler, USA)를 사용하여 브라켓 베이스에 수직으로 cross-section하였고 alumina powder(0.1-0.5 μ m)를 사용하여 미세 연마하며 표면을 매끈하게 처리하였으며 금(Au)을 증착시킨 후 SEM(Hitachi-640, JAPAN)으로 관찰하였다(Fig. 6).

III. 연구성적

1. 세라믹 브라켓 베이스의 특징

본 연구에 사용된 Transcend는 그 베이스가 미세한 기계적 결합을 가능케 하는 90-150 μ m 직경의 다

Table 3. Shear bond strength of brackets-adhesives combinations (MPa).

AD.	BR	Transcend	Fascination	Starfire	P-value
		$\bar{x} \pm SD$ Duncan G	$\bar{x} \pm SD$ Duncan G	$\bar{x} \pm SD$ Duncan G	
Silus-plus		17.32±2.96 B	15.82±1.86 B,C	10.99±3.09 C	P<0.05
Endur		17.89±3.06 B	25.12±4.52 A	15.44±7.65 B,C	P<0.05
Concise		23.92±3.43 A	27.85±4.14 A	17.94±5.08 B	P<0.05
P-value		0<0.05	P<0.05	P<0.05	



Fig. 6. Surface characteristics of Transcend bracket.

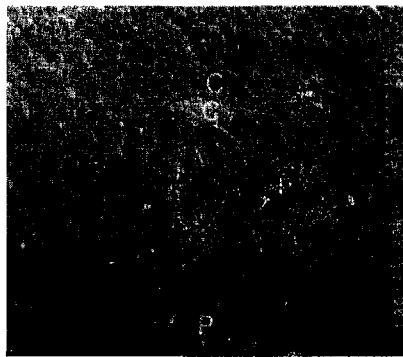


Fig. 7. Surface characteristics of Fascination bracket.
(C : central. P : periphery)

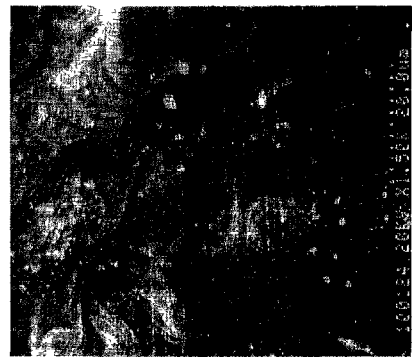


Fig. 8. Surface characteristics of Starfire bracket.

각형 결정체로 구성되어 거친 표면을 보이며(Fig. 6), Fascination은 측방 변연부쪽은 매끄러운 기질로 silane 처리되어 있고 중앙 부위는 좀더 거친 부위로 구성되어 있다. 그러나 그 경계는 다소 모호하며 중앙 부에서 눈이 가림에 말라버린 듯한 현상이 좀더 강조되어 나타난다(Fig. 7). Starfire는 가공면이 무질서한 요철 구조를 가지며, 부분적으로는 계단형성의 일정한 물결 문양을 가지는 양상을 보이고 있다(Fig. 8).

2. 전단 결합 강도의 평가

3가지의 브라켓과 3가지의 접착제를 조합하여 9개 군의 전단 결합 강도를 평가한 결과 Transcend-Concise(Tc)에서 23.92±3.43MPa, Fascination-Endur(Fe)에서 25.12±4.52MPa, Fascination-Concise(Fc)에서 27.85±4.14MPa로 다른 군에 비해 높은 결합 강도를 보였으며 이원 분산결과 브라켓과 접착제간 각각에서 결합 강도의 유의한 차이를 보였으나 브라켓과 접착제의 교호 작용은 없었다(Table 3).

브라켓은 Transcend와 Fascination으로 접착한 경우가 Starfire의 경우보다 높은 결합 강도(P<0.05)를 나타냈으며 접착제는 concise와 Endur를 사용한 경우가 Silux-plus의 경우보다 높은 결합 강도(P<0.05)를 나타냈다(Table 4, 5).

3. 파절 양상 관찰

Transcend는 주로 법랑질과 레진간(E/R)에서 파절이 나타났으나, Endur는 접착시 레진과 레진간(R/R) 파절이 많았으며, Fascination은 주로 혼합 파절(COME) 양상이 나타났지만, Concise로 접착시 레진과 브라켓간(R/B)의 양상이 나타났고, Starfire는 거의 레진과 브라켓간(R/B)에서 파절 되었다(Table 6).

파절양상을 SEM을 이용하여 관찰한 결과, Transcend 브라켓의 파면은 베이스가 관찰되지 않고 레진이 두꺼운 층을 형성하여 베이스를 덮고 있다. 치면의 파면은 치면에 소주가 관찰되며 레진이 거의 관찰되지 않았다(Fig. 9:A,B). Fascination 브라켓의 파면은

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

BRACKET	N	Mean±SD	Duncan group	P-value
Transcend(mech.)	15	19.71±4.25	A	P<0.05
Fascination(comb.)	15	22.93±6.34	A	
Starfire(chem.)	15	14.79±5.97	B	

Table 5. Comparison of shear bond strength according to adhesive types (MPa)

ADHESIVE	N	Mean±SD	Duncan group	P-value
Silus-plus(light)	15	14.71±5.78	B	P<0.05
Endur(chemical)	15	19.49±6.58	A	
Concise(chemical)	15	23.24±5.78	A	

Table 6. Failure mode of brackets and resins combination.

	E/R	R/R	R/B	COMB
Ts	3	1	1	
Te		3		2
Tc	2		1	2
Fs	1		1	3
Fe	2			3
Fc		1	3	1
Ss			4	1
Se			4	1
Sc	1		4	

T : Transcend , F : Fascination , S : Starfire
 s : Silux-plus , e : Endur , c : Concise
 E/R : 법랑질과 레진간 파절 , R/R : 레진간 파절
 R/B : 레진과 브라켓간 파절 , COMB : 혼합파절

베이스의 중간부에서 레진이 찢어진 형태로 관찰되며 치면의 파면에서도 똑같이 관찰된다(Fig. 10:A,B). Starfire 브라켓의 파면은 거의 레진이 남아있지 않으며 치면에 두꺼운 레진층이 잔존되어 있다(Fig 11:A, B).

Transcend-Concise(Tc)에서 나타난 법랑질과 레진간(E/R) 파절 양상을 1500배 SEM에서 치면과 브라켓 베이스면을 관찰했을 때 치면에서는 Silverstone²⁷⁾의 분류에 의한 type 1 부식 패턴을 보여주며 prism center에 레진이 일부 함입되어 있다(Fig 12:

A). 브라켓의 베이스는 법랑질의 prism periphery의 형상이 레진에 나타나며 치면의 prism center부위에서 떨어져 나간 레진이 honey comb의 양상이 균일하게 나타난다(Fig 12:B)²⁵⁾. Transcend-Endur(Te)의 파절 양상은 치면에 부식 패턴은 관찰되지 않고 레진이 떨어져 나가 충상을 이루고 있으며(Fig. 13:A), 브라켓의 베이스에서도 honey comb양상과 베이스의 거친 표면은 관찰되지 않고 레진이 불규칙하게 산재되어 있다(Fig. 13:B).

Fascination-Silux(Fs)에서 나타나는 혼합 파절(COMB)의 양상을 치면에서 500배로 조사하였을 때 레진이 거의 없는 enamel prism과 불규칙한레진이 보이며 그 사이에 광 중합된 adhesive가 나타난다(Fig. 14:A). 브라켓 베이스는 200배로 조사한 결과 레진과 베이스의 특성이 나타나고 수개의 기공도 존재한다(Fig. 14:B). 레진과 브라켓간(R/B) 파절 양상을 보이는 Fascination-Concise(Fc)의 치면과 브라켓 베이스를 1500배로 관찰한 결과, 치면에서 레진층이 갈라진 딱지형상으로 나타나며(Fig. 15:A), 브라켓 베이스에서는 하부에 브라켓의 특성이 나타나고 레진이 얇게 베이스를 덮고 있는 양상을 보여준다(Fig. 15:B).

Starfire-Endur(Se)의 파절 양상을 1500배로 관찰한 결과, 치면에서 부식 패턴은 나타나지 않고 약한 구릉의 형태로 레진이 덮여있으며 브라켓 베이스의 특성을 그대로 반영하고 있다(Fig. 16:A). 브라켓 베이스에서 레진은 관찰되지 않으며 계단형의 물결문양은 거의 나타나지 않으며 silane layer의 다양한 두

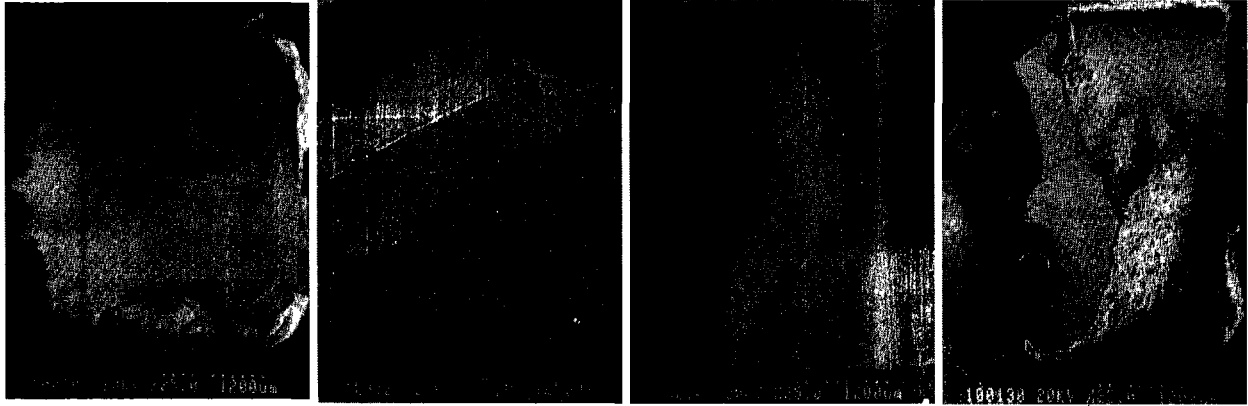


Fig.9 A:Bracket base surface of Transcend Fig.9 B:Tooth surface of Transcend. Fig.10 A:Bracket base surface of Fascination Fig.10 B:Tooth surface of Fascination

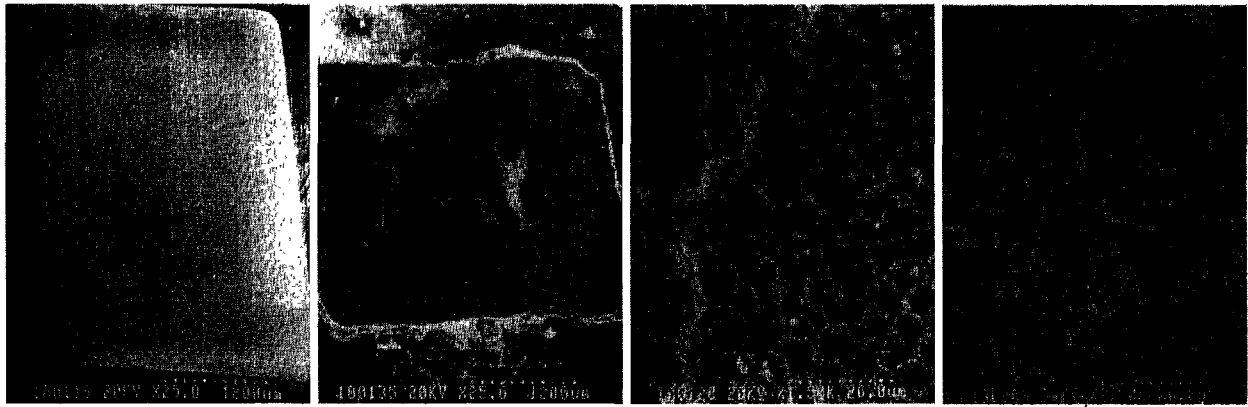


Fig.11 A:Bracket base surface of Starfire Fig.11 B:Tooth surface of Starfire Fig.12 A:Tooth surface of Tc group(x 1500) Fig.12 B: Bracket base of Tc group(x1500)

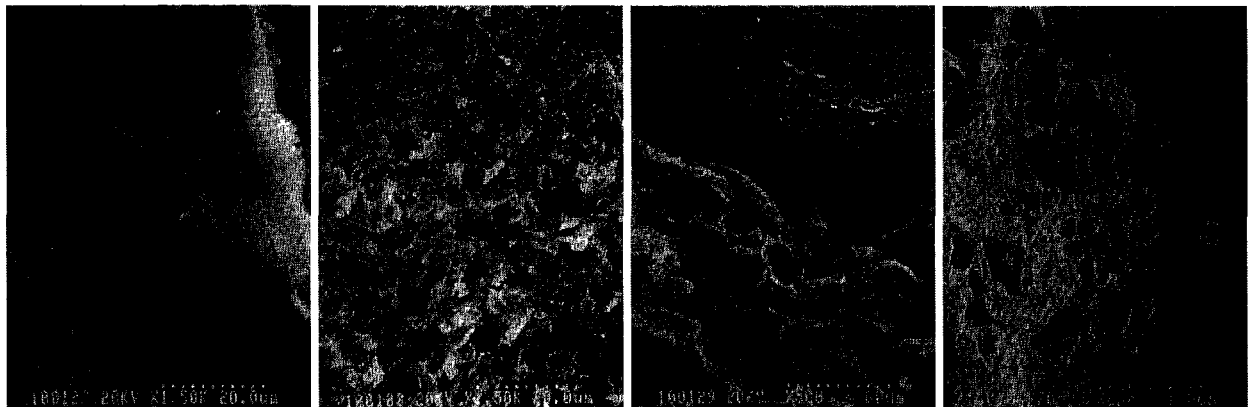


Fig.13 A: Tooth surface of Te group(x 1500) Fig.13 B: Bracket base of Te group(x 1500) Fig.14 A: Tooth surface of Fs group(x 500) Fig.14 B: Bracket base of Fs group(x 200)

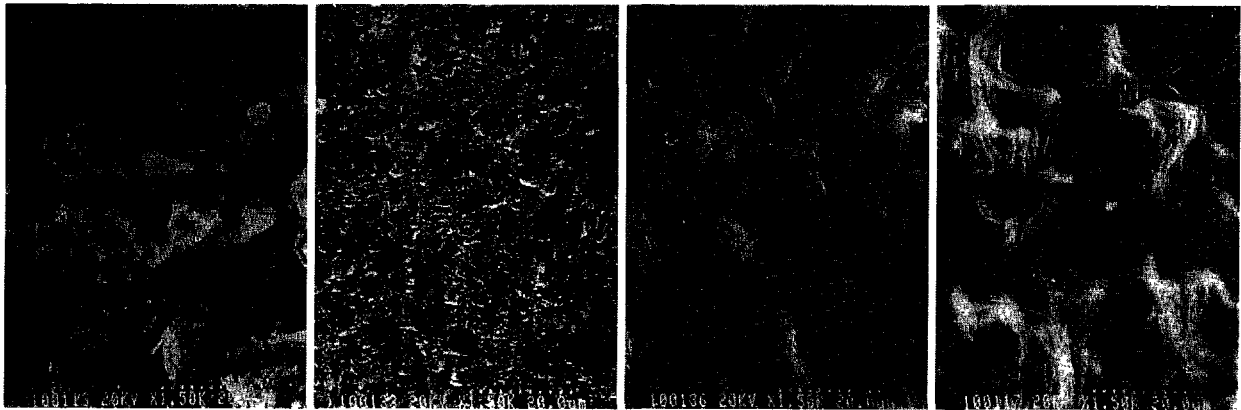


Fig. 15 A: Tooth surface of Fc group(x 1500) Fig. 15 B: Bracket base of Fc group(x 1500) Fig. 16 A: Tooth surface of Se group(x 1500) Fig. 16 B: Bracket base of Se group(x 1500)

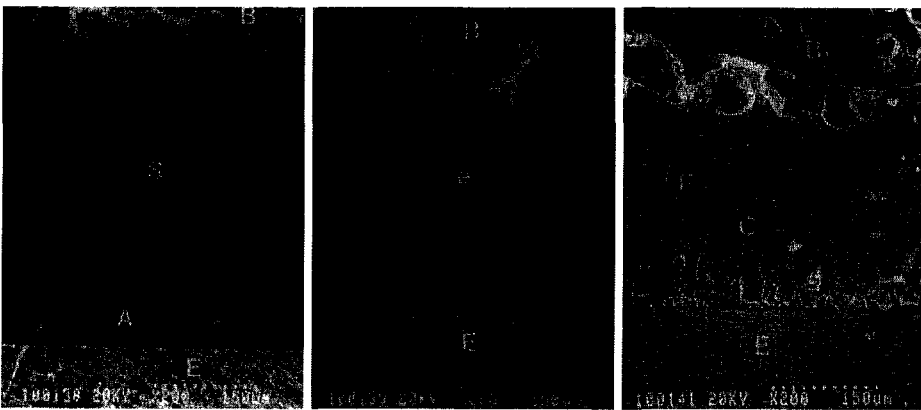


Fig. 17 A: Cross-section of Ts group(x 200) Fig. 18 A: Cross-section of Te group(x 200) Fig. 19 A: Cross-section of Tc group(x 200)
 B; Bracket, S;Silux-plus, B; Bracket, e.Endur, B. Bracket, C.Concise,
 A;Adhesives, E;Enamel E.Enamel E.Enamel, F.Filler

Transcend-Endur(Te)의 결합 양상으로 Transcend-Silux(Ts)와 달리 광 중합된 adhesive층이 나타났지 않으며 Endur 내에 0.3 μ m의 필러는 관찰되지 않는다(Fig. 18).

Transcend-Concise(Tc)의 결합 양상을 200배로 조사한 것으로 Concise의 3-20 μ m의 필러가 브라켓 베이스 유지 형태 사이에 산재되어 있는 것이 관찰된다(Fig. 19).

깨와 투과 광선의 다중 굴절에 의한 표면 특성이 심한 요철의 형태로 나타나 있다(Fig. 16:B).

4. Transcend군에서의 결합 양태 관찰
 Transcend-Silux(Ts)의 결합 양상을 판단하기 위해 cross-section후에 브라켓 베이스와 레진, 치면을 관찰한 결과 Transcend 베이스의 불규칙한 표면이 잘 나타나 있고 레진이 약간 검게, Scitcbond의 adhesive가 좀더 어둡게 레진 하부에 나타나 있다. 레진층에 나타난 대각선들은 아마 section하는 동안 diamond wheel에서 생긴 scratch인 듯하다(Fig. 17).

IV. 총괄 및 고찰

실험대상으로 채취한 치아의 교정치료시 높은 빈도로 발치되어 채득이 쉬운 소구치를 선정하였다. 치면에 균열이 있거나 과도한 수복물로 충전된 치아, 비정상적인 해부학적 형태를 지닌 치아는 시편에서 제외되었다. 접착에 사용된 브라켓중 Transcend와 Fascination은 소구치용 브라켓을 사용하였으나 Starfire는 제품 구입상의 어려움으로 상악 중절치, 측절치, 견치를 혼용사용하였다. 그러나 전단 결합 강도가 단위 면적당 힘으로 평가되므로 정확성을 기하기 위

해 모든 브라켓 베이스의 면적을 Image analyzer를 사용하여 계산하였다.

치면 부식은 37% 인산을 사용하여 Endur 제품의 지시에 따라 60-90초간 실시하였으나 Surmont²⁷⁾은 15초간 60초간 차이가 없다하였고, Diedrich²⁸⁾은 2분이상 부식시 retentive etching pattern이 감소하고 microcleft가 없는 granulated porous zone이 증가되거나 유지력에 있어 1분과의 통계적 유의성은 없다 하였다.

완성된 시편을 실험전까지 보관하는 본 연구에서는 Lopez²⁹⁾의 방법에 따라 증류수에 보관하였으나 Joseph과 Rossouw¹⁸⁾은 70% ethylalcohol을, Diedrich²⁸⁾은 5% formaldehyde을, Bishara³⁰⁾ Surmont²⁷⁾는 thymol용액을, Phillips³¹⁾는 생리 식염수에 저장하는 방법도 제시하고 있다.

Lopez³⁰⁾는 치아 표면에 브라켓을 접착한 시편을 37°C 증류수에 24시간, 30일 동안 각각 보관후 결합 강도를 측정하였을 때 그 차이는 없다고 보고하고 있다. 따라서 본 실험에서도 일정한 결합 강도를 측정하기 위해 브라켓을 접착하고 24시간이 지난 후 결합 강도를 측정하였다.

최근 몇년동안 개발된 새로운 방법과 재료들은 교정적 문제를 해결하는데 중요한 역할을 하였다. weldable stainless steel, bonding technique, 3D brackets, titanium alloy가 이 범주에 들어가며 근래에는 세라믹 브라켓이 포함되었다. 세라믹 브라켓은 미세 구조와 결합방식에 따라 기계적 유지형태, 화학적 유지형태, 조합형태의 3가지로 분류된다. 기계적 유지형태를 보이는 브라켓은 베이스에 microspheres 또는 microcrystal이 형성되어 있고, 화학적 유지 형태를 보이는 브라켓은 silane layer로 처리되어 chemical adhesion을 이루며, 복합 형태는 2가지가 혼합되어 있다.

Starfire 미세구조에 대해 Eliades³⁾은 무지개 색으로 코팅되어 물결 형태를 보이며 어떤 점 주위의 줄무늬들은 silane layer의 다양한 두께를 의미하는 듯하고 투사광선의 다중 굴절에 의해 여러 층으로 나타난다고 하였다. 화학 결합 형태로서 이용된 silane coupling agent는 *t*-methacryloxypropyltrimethoxysilane으로 구성되어 세라믹 브라켓의 접착 강도를 증가시키기 위해 molecular bridge를 형성하며⁹⁾ 교정용 접착제의 methacrylate group에 공유 결합을 형성한다⁸⁾.

화학 중합제는 polymer, benzoyl peroxide, dime-

thylaniline, filler로 구성되어 아크릴릭과 다이 아크릴릭 레진으로 분류되며 아크릴릭 레진은 methyl-metacrylate monomer와 ultrafine powder로 구성되어 linear polymer를 형성하며 다이 아크릴릭 레진은 bis-GMA 혹은 Bowen's resin으로 이루어져 cross-linking에 의한 3차원적으로 중합이 이루어진다.

Newman¹⁴⁾은 화학 중합 접착제를 water immersion시켰을 때 1시간 최대의 전단 강도를 보이며 24시간후 최대 전단 강도의 2/3정도를 유지한다고 하였다.

현재 교정 영역에서 가장 많이 사용되는 다이 아크릴릭 레진의 광 중합에는 364-367nm인 자외선과 440-480nm인 가시광선을 이용한다. 그러나 자외선 조사에 의해 중합되는 접착제는 여러 단점으로 인해 사용되지 않으며 주로 가시광선이 사용된다. 화학 중합제는 중합을 위해 peroxide-amine induction system을 사용하는 것에 반해 광 중합형은 촉매제로 α -diketone과 amine을 이용하여 특정파장의 광선이 조사되었을 때 이들의 작용에 의해 중합된다³¹⁾.

본 연구에 사용된 Visilux 2(3M)는 유효 파장이 460-480nm내에 분포되어 있으며 광도가 90.43mW/cm²로 Cure master A(Nakanisi), Spectra Lite(Pentron), Optilux(Demetron), Heliomat(Vivadent), Translux(Kulzer)등의 여타 기구보다 강했으며 silux-plus에 20초간 조사시 평균 2.98±0.06mm의 깊이가 중합된다³²⁾.

장콰이³³⁾는 금속 브라켓을 광 중합형과 화학 중합형 레진으로 접착하여 결합 강도를 평가하였는데 각 중합형간의 결합 강도차이는 나타나지 않는다고 하였다.

세라믹 브라켓의 결합 강도를 메탈 브라켓의 결합 강도와 비교한 실험에서, 세라믹 브라켓에서 22.5MPa³⁴⁾, 18.8MPa, 21.7-27.7MPa^{18,36)}, 14.7-20.2MPa³⁴⁾, 12.9MPa³⁵⁾, 12.3-17.0MPa^{18,36)}을 보여 학자마다 결합 강도의 차이는 보이나 세라믹 브라켓의 경우가 메탈 브라켓에 비해 높은 결합 강도를 나타낸다.

부식된 치면과 레진과 결합 양상에도 활발한 연구가 있어, Silverstone²⁴⁾은 부식 패턴을 Center etch type, Peripheral etch type, Granulated shape, Star-like pattern의 4가지로 분류한 바 있고, 부식된 치면에 레진의 결합력을 증가시키기 위한 sealant의 점도 연구에서 Dogon³⁷⁾은 점도가 약할수록 결합력이 높다고 하였으나 Diedrich²⁸⁾, Buonocore³⁸⁾는 점도와 무관하다고 하였다. Hicks³⁹⁾는 부식된 치면과 레진의

interface에 대한 SEM 관찰을 하였다.

본 연구에서는 세라믹 브라켓을 사용하여 전단 결합 강도를 평가하는데, 광 중합형 레진으로 접착한 경우 화학 중합형 레진으로 접착하였을 때보다 모두 낮은 결합 강도를 보이고 있고($P < 0.05$), 이는 광 중합형과 화학 중합형간 차이가 없다고 한 Joseph과 Rossouw¹⁸⁾, Ødegaard와 Segnar¹⁹⁾, Alexandre등⁴⁰⁾과는 다른 결과를 보이고 있으나 Greenlaw²¹⁾, Coreil²³⁾의 결과와는 일치하고 있다. 학자들 간의 이러한 이견은 사용된 중합제의 필러 함량, 광원의 투과 정도와 파장, 치면 부식제의 종류등에 따라 다소의 차이를 보인다고 사료된다.

또한 Transcend와 Fascination 브라켓을 사용하였을 때 Starfire의 브라켓을 사용하였을 때 보다 높은 결합력($P < 0.05$)을 보이며 이는 silane과 레진의 methacrylate간의 공유결합이 브라켓 베이스와 레진의 기계적 결합보다 낮은 결합력을 나타내는 듯하다. Ostertag등⁵⁾, Bordeaux등⁷⁾, Franklin과 Garcia²⁶⁾도 기계적 유지형태를 보이는 브라켓에서 높은 결합력을 보인다고 하였으나 Bishara등³⁰⁾은 복합형 유지형태를 보이는 브라켓에서 Chaconas등⁴¹⁾은 화학적 유지형태를 보이는 브라켓에서 높은 결합력을 보인다 하였다. Reynolds¹¹⁾은 임상에 적용할 수 있는 최소 결합 강도를 $60-80\text{Kg/cm}^2$ (5.88-7.84 MPa)로 발표한 바 있으며 이 기준으로 볼때 9개군으로 가장 결합력이 약한 Ss군($10.99 \pm 3.09\text{MPa}$)이 임상적용에 문제되지 않는 것 같다. 오히려 강한 접착력이 debonding시 enamel tearing을 가중시킬 수 있다고 주장한 Greenlaw등²¹⁾, Retief²²⁾, Bishara등³⁰⁾의, 의견을 고려해볼때 Ss군에서 치질 손상의 가능성이 최소일 수 있다.

Transcend는 필러의 함량과 크기가 큰 Conicise에서 Endur에 비해 높은 결합력을 보이고 있고 ($P < 0.05$), 이는 필러의 함량의 증가가 결합 강도와 비례한다고 한 Sam⁴²⁾의 연구와 일치하며 필러가 레진내에서 core역할을 하여 결합 표면적을 증가시키고 파괴를 억제하므로 결합 강도가 증가한 것으로 사료된다. Fascination과 Starfire에서도 필러의 함량과 크기가 큰 Conicise에서 결합력이 대체로 높았으나 유의성있는 차이는 나타나지 않았다.

브라켓과 접착제 조합에서 파절 양상은 Transcend가 주로 법랑질과 레진간(E/R)에서 파절이 되었으나 Endur로 접착한 경우 예외적으로 레진과 레진간(R/P)에서 파절되었다. 주된 법랑질과 레진간(E/R)의 파

절은 Joseph과 Rossouw¹⁸⁾, Harris등³⁶⁾, Sam등⁴²⁾의 결과와 같으나 Ostertag등⁵⁾, Bordeaux등⁷⁾ μm , Franklin과 Garcia²⁶⁾은 레진과 브라켓간(R/B), 혼합파절(COMB)이 일어난다고 상반된 의견을 제시하였다.

Fascination은 주로 혼합 파절(COMB)의 양상이 나타나 Ostertag등⁵⁾과 일치하나 레진과 브라켓간(R/B)에서 80%가 파절된다고 한 Bordeaux등⁷⁾과는 다른 결과를 보였다. 그러나 Fascination-Concise(Fc)의 조합에서는 본 연구에서도 레진과 브라켓간(R/B) 파절 양상이 주로 나타났다.

Starfire는 레진과 브라켓간(R/B)에서 파절되었으며 Ostertag등⁵⁾, Bordeaux등⁷⁾, Franklin과 Garcia²⁶⁾의 결과와 일치한다.

Zachrisson등⁴⁾은 본 연구에 사용된 2종의 화학 중합제를 이용하여 금속 브라켓에 접착하고 치은염과 프라그 침착정도를 평가하였는데 필러의 함량이 적고 입자가 미세한 Endur에서 more hygienic하다고 하였다. 따라서 필러 입자가 크고 많은 Concise에서 결합력은 높은 편이나 치은 건강적인 면을 고려해보면 Endur가 우수하다 사료된다.

본 연구는 치면, 레진, 브라켓간의 정확한 결합 강도를 파악하기 위해 힘을 가했을 때 세라믹 브라켓 wing 파절 염려가 없는 전단력을 사용하여 결합 강도를 평가하였다.

Ostertag등⁵⁾ 브라켓의 wing 파절때문에 전단력을 적용해야 한다고 하였으나, Borseux등⁷⁾은 브라켓 결합 양상을 인장력과 전단력을 적용하여 평가하였고 전단력을 적용시 7.0-22.3MPa, 안장력을 적용시 2.6-5.5MPa의 강도를 보여 치질 손상의 가능성이 적은 인장력을 적용해야 한다 하였다. 이는 13.5MPa에서 치질이 파절될 수 있다는 Retief²²⁾의 의견을 고려해볼때 전단력보다는 인장력이 치아에 안정하다고 사료된다.

Bishara와 Trulove⁶⁾는 debonding방법에 있어 conventional, ultrasonic, eletrothermal method을 이용하여 브라켓의 파절 발생 비율과 debonding time등을 비교하였는데 conventional method에서 브라켓 파절율이 가장 높았고(10-35%), debonding time은 ultrasonic method에서 가장 길다고 보고하고 있다.

V. 결 론

여러 세라믹 브라켓과 접착제에 따른 전단 결합 강도를 비교하기 위하여, 영구 소구치 48개를 대상으로

베이스의 유지형태가 다른 3종의 세라믹 브라켓을 광 중합과 화학 중합을 포함한 3종의 교정용 접착제를 사용하여 접착하고 전단 결합 강도와 파절 양상을 관찰하였다.

1. 화학 중합형 레진으로 접착한 경우가 광 중합형으로 접착한 경우보다 결합 강도가 높았다.
2. 화학적 결합을 하는 Stafire 브라켓이, 기계적 결합을 하는 Transcend나, 복합형 결합인 Fascination 보다 전단 결합 강도가 낮았다.
3. Transcend는 주로 범랑질과 레진(E/R)에서, Fascination은 범랑질, 레진, 브라켓 베이스에 혼합(COMB)되어 파절되며, Stafire는 레진과 브라켓 베이스(R/B)에서 파절이 나타났다.

참 고 문 헌

1. Phillips, H. W. : The advent of ceramics, Editor' s Coner, J. Clin. Ortho., 22:69-70, 1988.
2. Dobrin, R. J., Kamel, I. L. Musich, D. R.: Losd-deformation characteristics of polycarbonate orthodontic brackets, Am. J. Ortho., 67:24-33, 1975.
3. Swartz, M.L. : Ceramic brackets. J. Clin. 22:83-8, 1988.
4. Zachrisson, B. U., Brobakken, B. O. : Clinical comparison of direct versus indirect bonding with diffrent bracket types and adhesives. Am.J.Ortho., 74:62-78, 1978.
5. Ostertag,A.J., Dhuru, V.B., Ferguson, D, J., Meyer, R.A. : Shear, torsional, and tensile bond strengths of ceramic brackets using three adhesive filler concentrations, Am. J. Ortho., 100:251-8, 1991.
6. Bishara, S.E.,Trulove, T.S. : Comparisons of different debonding techniques for ceramic brackets : An in vitro study. Am. J. Ortho., 98:263-73, 1990.
7. Bordeaux,J.M., Moore,R.N., Bagby, M. D.: Comparative evaluation of ceramic bracket base designa. Am. J. Ortho., 105:552-60, 1994.
8. Eliades, T., Lekka, M., Eliades, G., Brantley, W.A : Surface characterization of ceramic brackets : A multitechnique approch, Am.J.Otho., 105:10-18, 1994.
9. Guess,M.B., Watanabe, L.G., Beck, F.M., Crall, M. G: The dffect of silane coupling agents on the bond strength of polucrystalline ceramic bracket, J.Clin.Ortho., 22:788-792, 1988.
10. Hyer,K.E : An in vitro study of shear and tensile bond strengths comparing mechanically and bondes ceramic brackets with three bonding agents [Masters thesis] Iowa citt, University of Iowa, 1989.
11. Reynolds, I. R.:A review of direct orthodontic bonding, Br. J. Ortho., 2:171-8, 1979.
12. Buzzitta,V.A., Hallgran, S. E., Powers,J.M : Bond strength of orthodontic direct-bonding cement-bracket systems as studied in vitro, Am.J.Ortho., 81:87-92, 1982.
13. Moin, k., Dogon, I, L.: An evaluation of shear strength measurements of unfilled and filled resin combination, Am. J. Ortho., 74:531-536, 1978.
14. Newman,G.V.,Snyder,W.H, Wilson Jr,C.E.: Acrylic adhesives for bonding attachments to tooth surfaces Angle Orthod., 38:12-8, 1968.
15. Reed,M.J.F. : The bonding of orthodontic attachments using a visible light cured adhesive, Br.J.Orhtod., 11:16-20. 1984.
16. tavas,MA., Watts,D.C.: Bonding of orthodontic brackets transilluminasin of a lightactivated composite:an in vitro study, Br.J.Orthod., 6:207-8. 1976.
17. Cohl, M.E., Green,L.J., : Bonding of clear plastic orthodontic brackets using an ultraviolet-sensitive adhesive. Am. J. Ortho., 62:400-11, 1972.
18. Joseph, V.P., Rossouw,E. : The shear bond strengths of stainless steel and ceramic brackets uesd wuth chemically and light-activated compostie resins, Am.J.Ortho., 97:121-5, 1990.
19. φdegaard, J., Segnar,D. : The uesd of visible light-curing composites in bonging ceramic brackets, Am. J. Otheo., 97:188-93, 1990.
20. Eliades,T.,Viazis,A.D., Eliades,G. : Bonding of ceramic brackets to enamel : morphologic and structural considerations, Am.J.Ortho., 99:369-375, 1991.
21. Greenlaw,R., Way,D.C., Galil,K.A : An in vitro evaluation of a visible light-cured resin as an alternative to conventional resin bonding system. Am.J.Ortho., 96:214-20, 1989.
22. Retidf,D.H:The mechanical bond. Int.Dent.J., 28:18-27, 1978.
23. Coreil,M.N., Ledoux,P.M., Ledoux, W.R., Weinberg,R. : Shear bond strength of four orthodontic bonding systems. Am. J. Ortho., 97:126-9, 1990.
24. Siverstone,L.M. : The acid etch techqur:In vitro studies with special reference to the enamel surface and the enamel-resin interface, Proceedings of an International symposium on the Acid etch technique, St.Paul.1975, North Central Publishing Compant, pp 13-39.
25. Caspersen,I : Residual acrylic adhesive after removal of plastic orthodontic brackets : A scanning electron microscopic study. Am.J.Ortho., 71:637-50, 1977.
26. Franklins, S., Garcia-godoy,F.:Shear bond strengths and dffects on Enamel of two ceramic brackets, J. Clin. Ortho., 27:83-8, 1993.
27. Surmont,P., Dermout,L., Martens,L.,Moors,M.: Comparision in shear bond strength of orthodontic brackets between five bonding systems related to different etching times : An in vitro study, Am.J. Ortho., 101-414-9, 1992.
28. Diedrich,P:Enamel alterations from barcket bonding and debonging:A stdy with the scanning electron microscope. Am.J.Ortho., 70:500-21, 1981.

29. Lopez, J.I.: Retentive shear strengths of various bonding attachment bases, *Am.J.Ortho.*, 77:669-78, 1980.
30. Bishara, S.E., Fehr, D.E., Jakobsen, J.R.: A comparative study of the debonding strengths of different ceramic brackets, enamel conditioners, Adhesives, *Am.J.Ortho.*, 104:170-9, 1993.
31. Phillips, R.W.: Skinner's science of dental materials, 8th Ed., W.B.Saunders Co., Philadelphia, 1982.
32. 이체경, 허복 : 가시광선의 파장과 광도가 광 중합형 복합레진의 경화에 미치는 영향, *대한치과 보존 학회지*, 14:149-58, 1989.
33. 장영일, 이승진 : 광 중합 접착제로 접착된 금속 브라켓의 전단 접착 강도에 관한 연구, *대한 치과 교정 학회지*, 22:289-95, 1992.
34. degaard, J., Segner, D.: Shear bond strength of metal brackets compared brackets, *Am.J.Ortho.*, 93:346-348, 1988.
35. Gwinnett, A.J.: A comparison of shear bond strengths of metal & ceramic brackets, *Am.J.Ortho.*, 93:346-348, 1988.
36. Harris, A.M.P., Joseph, V.P., Rossou, W.E. : Comparison of shear bond strengths of orthodontic resins to ceramics & metal brackets, *J. Clin. Orth.*, 24:725-728, 1990.
37. Dogon, I.L.: Studies demonstrating the need for an intermediary resin of low viscosity for acid etch technique. Pro-ceeding of an international symposium on the acid etch technique, St.Paul, 1975, North central publishing company.
38. Buonocore, M. G.: Adhesives in the prevention of caries, *J. Am. Assoc.* 87:1000-5, 1973.
39. Hicks, M.J.: Preventive resin restoration : etching pattern, resin morphology and the enamel-resin interface, *Journal of Dentistry for Children*, 51(2):116-23, 1984.
40. Alexandre, P., Young, J., Sandrik, J.L., Bowman, D.: A bond strength of three orthodontic adhesives, *Am.J. Ortho.*, 79: 653-9, 1981.
41. Chaconas, S.J., Caputo, A.A., Niu, G. Shi-Lin. Bond strength of ceramic brackets with various bonding systems. *Angle Orthod.*, 61:35-42, 1990.
42. Sam, W.H., Chao, S.Y., Chung, K.H. : Shear bond strength of ceramic brackets with two bonding Adhesives, *Br.J.Orthod.*, 20:225-229, 1993.

- ABSTRACT -

A COMPARATIVE STUDY OF THE SHEAR BOND STRENGTH OF DIFERENT CERAMIC BRACKETS AND ADHESIVES

Joo-Won Lee, D.D.S., Dong-Hwan Yoo, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Sang-Cheol Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Wonkwang University

The purpose of this study was to evaluate the shear bond strength of three kinds of different ceramic brackets with three different bonding adhesives. 5 specimens for each combination were tested for shear bond strength using Instron and for fracture site using SEM. And 3 specimens were cross-sectioned for SEM examination of bonding pattern between bracket, resin and enamel surface.

The results were as follows

1. The shear bond strength of chemical curing adhesives were higher than that of light curing adhesives.
2. The shear bond strength of Starfire bracket, chemical-bonded type, was lower than that of Transcend bracket, mechanical-bonded type, and Fascination bracket, combined type.
3. Fracture site of each bracket and tooth surface was examined under a light optical stereoscopic microscope, Transcend groups were mainly at the E/R interface. Fascination groups were mainly at the COMB interface and Starfire groups were mainly at the R/B interface.

KOREA J. ORTHOD. 1997 ; 27 : 315-326

* **Key words** : Ceramic brackets, Shear bond strength, Adhesives.