

수중 교정용 접착제의 전단 접착강도 비교

유미희¹⁾ · 황충주²⁾

I. 서 론

교정치료시 술자가 의도한 교정력은 브라켓을 통해 치아에 전달되기 때문에 브라켓을 부착시키는 작업은 교정치료 전반에 걸쳐 가장 기본이 되는 중요한 단계라고 생각할 수 있다. 특히 오늘날에는 Straight Wire Appliance의 개발로 브라켓 안에 모든 정보가 포함되어 있으므로 정확히 브라켓을 위치시키는 것이 치료의 성공을 좌우한다고 해도 과언이 아니다.

교정치료 초기에는 band를 이용하여 브라켓을 치아에 위치시켰으며 현재는 원하는 때에 중합이 이루어지게 할 수 있는 광중합 접착제도 교정용 접착제로 개발되는 등 임상적으로 편리하게 사용할 수 있는 교정용 접착제의 많은 발달이 이루어졌으나, 기본이 되는 물리적 성질인 전단 접착강도가 임상적으로 사용하기에 충분한 지에 대해서는 논란이 있는 형편이다.

브라켓을 치아에 직접 부착시키기 위해 처음으로 접착제를 사용한 Newman²⁰⁾은 1955년 Bunocore³⁾가 발표한 산부식술에 힘입어 epoxy resin을 브라켓의 직접 접착(direct bonding)에 사용하였다. Epoxy resin은 최대강도에 도달하기까지의 느린 중합속도와 높은 열팽창계수로 인해 사용이 제한되었고²⁴⁾, 그 후에는 자외선에 의해 중합이 일어나는 교정용 접착제가 개발되

었으나 자외선 그자체가 해로운 요소가 되었다⁹⁾. Epoxy resin과 자외선 조사에 의한 접착제를 교정용 접착제의 1세대와 2세대로 분류한다면, 화학 중합법에 의한 composite resin은 3세대와 4세대로 분류할 수 있다. 3세대 교정용 접착제는 혼합해서 사용하는 paste/paste 형태나 powder/liquid 형태의 교정용 접착제를 일컫는 것이고, 4세대 교정용 접착제는 결합재료의 두가지 성분을 혼합할 필요가 없는 "no-mix" 형태의 접착제를 일컫는 것이다²³⁾. 그 중 3세대 접착제는 현재 교정용 장치의 직접 접착술식을 위해 널리 사용되고 있으며, 4세대 접착제는 교정용 장치의 직접 접착술식 뿐 아니라 간접 접착술식을 위해서 더 유용하게 사용되고 있다⁴⁾.

광중합 접착제는 충전분야에서는 화학중합 접착제를 대신하여 널리 사용되었으나, 교정영역에서는 그 사용이 제한되었는데 이는 금속 브라켓이 빛을 통과시키지 못하여 충분한 접착강도를 얻을 수 없었기 때문이었다. 그러나 Tavas와 Watts²⁹⁾는 1979년 교정용 장치의 부착을 위해 광중합 접착제의 사용을 처음으로 시도하였으며, 이때 금속성 교정장치에 광중합 접착제를 사용하기 위해서는 광선을 치아의 설측에서 조사하여 치질사이를 통과하는 광선에 의해 중합이 일어나는 transillumination 방법을 사용하여야 한다고 하였고, Read²⁵⁾는 광선을 치아의 장축 방향에서 조사하여야 한다고 하였다. 금속 브라켓에 사용하게 된 광중합 접착제의 전단 접착강도에 관한 연구중, O'Brien²¹⁾, Read²⁵⁾와 장 등³⁵⁾은 금속 브라켓에 광중합 접착제를 사용하였을 때

접수일 : 1994년 4월 1일

1) : 연세대학교 치과대학 교정학교실, 개원의

2) : 연세대학교 치과대학 교정학교실, 교수

의 평균 전단 접착강도는 화학중합 접착제를 사용하였을 때보다 낮았으나, 통계학적으로 유의성있는 차이는 없다고 하였으며, King 등¹⁵⁾도 광중합 접착제를 금속 브라켓에 접착했을 때 기존의 혼합형 접착제보다 결합력이 감소하지만, 교정적인 치아 이동과 저작력에 건디기에는 충분하다고 하였다. Greenlaw 등¹¹⁾도 비록 금속 브라켓에 대한 광중합 접착제의 접착강도가 화학 중합 접착제의 접착강도와 비교해서 30시간 후에는 $\frac{1}{2}$, 1시간 후에는 26% 밖에 안되지만, 이것이 임상적인 유용성이 낮다는 것을 의미하는 것은 아니라고 하였다. 그러나 Lovius 등¹⁷⁾은 광중합 접착제가 전치부에서는 무난히 사용될 수 있으나 제 2 소구치 부위에서는 광선의 접근이 어려워 낮은 접착강도를 나타내기 때문에 화학중합 접착제보다 탈락되는 비율이 높다고 하였다. 광중합 조사 시간에 대해서는 광선을 일정시간 이상 초과하여도 접착강도가 증가하는 것은 아니므로 40초의 조사시간이 임상적으로 가장 추천할 만하다고 Wang 등³²⁾이 보고하였다.

교정치료시 브라켓 주변의 탈석회화는 종종 관찰된다. 이러한 탈석회화의 빈도와 강도를 완화시키기 위해 불소를 함유하는 교정용 접착제에 대해 Phillips 와 Swartz²²⁾, Rawls and Zimmerman²⁴⁾, Underwood 등³⁰⁾이 지난 30년동안 연구를 했었으나 상품화가 된 것은 최근의 일이다. Sonis와 Snell²⁷⁾에 의하면 이러한 접착제에 의해서 교정용 브라켓 주변의 탈석회화가 없어졌다고 하였고, 통상 2년의 교정기간동안 기존의 교정용 접착제에 비해 떨어지지 않는 접착강도를 보여주고 있다고 하였다. 그의 Chan⁵⁾은 교정치료의 부작용으로 브라켓 주변의 탈석회화를 지적하면서, 불소 유리(fluoride-releasing) 교정용 접착제에 대해 소개하고 기존의 접착제보다 접착강도는 $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ 정도까지 낮게 나타나지만 우식이 예상되는 치아에는 많은 도움이 될 것이라고 하였다. Underwood³⁰⁾에 의하면 불소를 방출하는 접착제와 기존의 교정용 접착제의 접착강도를 임상적으로 비교해 보았을 때, 탈락율이 각각 10.8%와 7.3%로 커다란 차이를 나타내지 않았으며 구강내에서 탈락되는 주원인은 접착강도

때문이 아니라 그 부위에서 발생된 교합간섭 때문이라고 하였다.

교정용 접착제의 접착강도의 증가를 위한 많은 노력에 반해, Moin 등¹⁹⁾은 접착강도의 무한정의 증가는 교정치료가 끝나고 치아로부터 교정용 장치를 분리시키고자 할 때 필요이상의 노력이 소모될 뿐이라고 지적하면서, 교정용 접착제 선택시 치료말기 교정장치를 제거하는 데 소모되는 힘을 고려하여서 적절한 접착강도를 가진 접착제를 정해야 한다고 역설하였다.

성공적인 교정치료를 위해서 브라켓을 치아에 부착시키는 접착제의 접착강도가 중요하고 교정치료가 장기간을 요하는 치료로서 그 접착강도가 시간과 온도변화에 의해 어느 정도의 변화를 보이는 지가 중요하므로, 본 연구에서는 임상가들이 사용하고 있는 교정용 접착제중 대표적인 접착제를 선택하여 구강내와 같은 환경하에서 시간과 온도변화에 따른 접착제의 전단 접착강도의 변화와 접착제의 종류에 따른 브라켓 탈락양상을 비교 연구하여 임상적 사용시 도움이 되고자 하는데 그 목적이 있다.

II. 연구재료 및 방법

가. 연구재료 및 시편제작

(1) 연구재료

실험에 사용된 치아는 교정 치료를 위해 발거한 제 1 소구치로, 발치시 치관의 손상이 없었으며 우식증이 없고 건전한 치질을 가진 120개를 연구 재료로 하였고, 발거 직후 부착된 이물질을 제거하고 생리적 식염수에 넣어 보관하였다. 브라켓은 foil mesh 기저부의 소구치 금속 브라켓 (UltratrimTM: 0.18 Standard edgewise bracket; Dentaaurum, Germany)을 사용하였다.

사용한 접착제는 3가지 종류의 대표적인 교정용 접착제인 Super C Ortho(혼합형 교정용 접착제), Mono-Lok²⁾(비혼합형 교정용 접착제), Transbond(광중합 접착제)와 불소를 함유한 치면열구 봉합제인 Fluorobond를 사용하였으며 상품명 및 혼합 상태는 Table 1에 나타난 바와 같다.

Table 1. Delivery system, manufacturer, and mixing type of adhesives

Adhesive	Delivery system	Manufacturer	Mixing type
Super C Ortho	powder/liquid self-cured	AMC Manufacturing, Philadelphia	Powder absorbed by liquid
Mono - Lok ²	paste/primer self-cured	Rocky Mountain/Orthodontics, Denver, Colorado	No
Transbond	one-paste light-cured	Unitek corporation, Monrovia, California	No
Fluorobond	Fluoride-contained sealant	Ormco corporation, Glendora, California	Yes

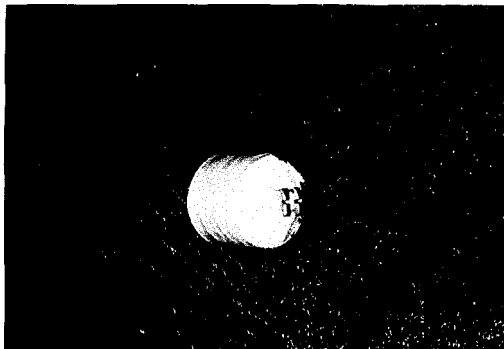


Fig. 1. Photograph of a premolar embedded in an acrylic block. Edgewise bracket bonded buccal surface of tooth.

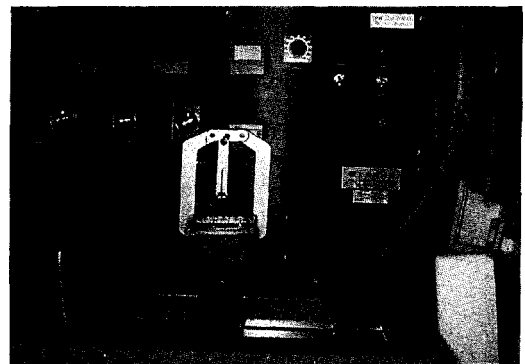


Fig. 2. Photograph of the thermocycling unit. Teeth were immersed for thirty seconds alternately water baths with temperatures of 5°C and 65°C

(2) 시편 제작

치아들의 치근을 330번 bur를 사용하여 절단하고 치관의 설측면에는 inverted cone bur를 사용하여 유지형태를 부여하였다. 절단된 치아를 자가중합 아크릴 레진을 이용하여 직경 1.3cm의 플라스틱관에 매몰하였고, 전단 접착강도의 측정시 강선고리가 잘 걸릴 수 있게 치관의 협면이 플라스틱관의 절단면과 평행되면서 플라스틱관의 절단에서 2mm 상방으로 돌출되게 하였다. 이후 매몰된 치아의 협면을 rubber cup과 불소가 함유되지 않은 pumice로 조심스럽게 연마하였

다. 제작한 120개의 시편은 Table 2 에서와 같이 분류하여 각 제조회사의 지시에 따라 부식액을 사용하여 부식하고 선택된 접착제로 금속 브라켓을 부착하였다(Fig.1). Transbond(광중합 접착제)는 제조회사의 지시에 따라 Optilux 400 (Denstron research co.)으로 치아의 원심쪽에서 20초, 근심쪽에서 20초간 광조사하였다. 특히 불소가 접착강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 D군에서는 불소를 함유한 치면열구 봉합제인 Fluorobond를 먼저 치아면에 도포하고 Super C Ortho(혼합형 고정용 접착제)를 이용하여 브라

Table 2. Classification of experimental group

Group	Adhesive	Subgroup	Storage hours	Thermocycling times
A	Super-C Ortho	1	1 hr	0
		2	24 hr	10
		3	24 hr	1800
B	Mono-lok ²	1	1 hr	0
		2	24 hr	10
		3	24 hr	1800
C	Transbond	1	1 hr	0
		2	24 hr	10
		3	24 hr	1800
D	Fluorobond + Super-C Ortho	1	1 hr	0
		2	24 hr	10
		3	24 hr	1800

켓을 부착하였다.

분류된 실험군 중 A1, B1, C1, D1군의 시편은 37°C, 100% 습도 상태에서 1시간을 보관한 후 전단 접착강도를 측정하였으며, 그외의 시편은 37°C, 100% 습도 상태에서 24시간동안 보관하고, 실제 임상에서 치아에 브라켓이 부착되고 교정치료를 받는 동안 구강내의 온도변화에 의해 가속화되는 접착제의 노화과정을 재현해 주기 위해 thermocycling을 실시하였다(Fig. 2). 하루에 총10번의 온도변화가 있다고 생각하고 A2, B2, C2, D2군의 시편은 24시간 후의 변화를 알아보기 위해 2cycles/min 속도로 5°C- 65°C사이를 10회 thermocycling 하였으며, A3, B3, C3, D3군의 시편은 6개월 후로 예상되는 접착강도의 변화를 알아보기 위해 1800회 thermocycling을 실시하였다(Table 2).

나. 연구 방법

1. 전단 접착강도의 측정

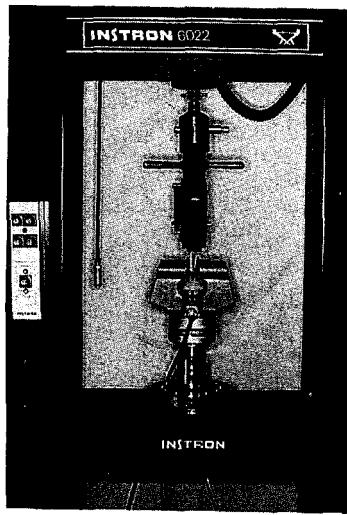
전단 접착강도의 측정은 만능시험기(Instron 6022, Instron Co., U.S.A)을 사용하였다(Fig.3).

치아가 매몰된 플라스틱관을 측정기구의 중앙에 고정시킨 후 0.7mm굵기의 강선 고리를 브라켓의 날개에 걸리게 하고 강선의 반대편은 다른 고정기구에 연결하였다. cross-head speed를 2 mm/min.으로 하여 브라켓이 탈락될 때까지의 전단 접착강도를 Kg f 단위로 기록하였다.

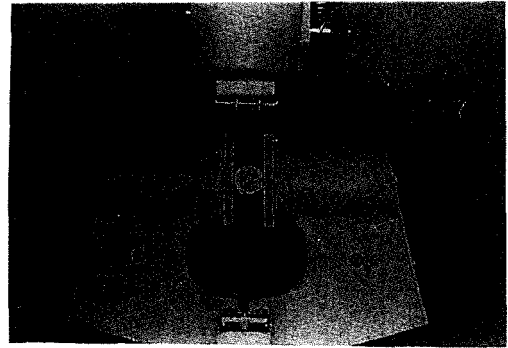
2. 브라켓 탈락 부위와 범랑질 계면 관찰

탈락된 브라켓 기저부와 범랑질 표면의 탈락 양상을 입체현미경 (Olympus Co., ×13)으로 관찰하여 그 양상이 브라켓과 접착제 경계부인 경우는 B/R(Bracket-Resin interface failure)로, 치아의 범랑질과 접착제 경계부인 경우는 T/R (Tooth-Resin interface failure)로 기록하였으며, 1개의 시편에서 2종류의 탈락 양상이 동시에 관찰된 경우에는 주로 차지하는 양상을 기록하였고 만약 약 50%씩 그 양상이 나타난 경우에는 T/B(almost same ratio of Tooth-resin interface failure and Bracket-resin interface failure)로 기록하였다.

3. 통계분석



A



B

Fig. 3. A, Photograph of Instron Model 6022 used in this study for measuring the shear strength. B, Close-up view of the upper and lower clamps of the Instron Model 6022. The tooth specimen ready to be tested. Note that 0.7mm wire secured in the upper clamp is looped around the bracket bonded to the premolar

접착제와 실험조건에 따른 전단 접착강도의 값과 브라켓 탈락 부위의 빈도를 SPSS(Statistical Package for the Social Science)/PC⁺ 방식을 이용하여 전산처리 하였다. 이때 접착제와 실험조건에 따른 전단 접착강도의 비교를 위해서 세 군 이상의 비교에 있어서는 크루스칼-월리스(Kruskal-Wallis) 비모수 분석방법을 사용하였으며, 두 군의 비교에 있어서는 맨-휘트니(Mann-Whitney) 비모수 분석방법을 사용하였다. 브라켓 탈락 양상과 접착제 종류간의 관련성 여부를 보기 위해서는 분할표 분석(Crosstabulation)방법을 시행하였다.

III. 연구 성적

가) 전단 접착강도

측정한 전단 접착강도의 평균값을 크루스칼-월리스(Kruskal-Wallis) 비모수 분석방법을 시행하여 유의성 여부를 검사한 결과, 각각 1, 2, 3군에서 접착제의 전단 접착강도를 비교했을 때 접착제 간의 전단 접착강도가 유의성있게 차이를 나타내어서, 1군에서는 Super C Ortho를 사

용했던 경우와 Fluorobond를 도포한 후 Super C Ortho를 사용했던 경우의 전단 접착강도가 유의성있게 높게 나타났으며, 2군에서도 Super C Ortho를 사용했을 때 접착강도가 가장 높게 나타났으나, 3군에서는 Mono-Lok²를 사용하였을 때 가장 높은 전단 접착강도를 나타내었다. 또한 각각의 접착제에서 시간과 온도변화에 따라 전단 접착강도의 변화를 나타내었는데, Super C Ortho, Transbond를 사용했던 경우에는 유의성있게 2군에서 가장 높은 전단 접착강도를 보이면서, 3군에서 가장 낮은 전단 접착강도를 보였으나, Mono-Lok²를 사용했을 때는 다른 접착제에서 3군의 실험군에서 가장 낮은 전단 접착강도를 보인것과는 달리 3군에서도 2군과 같이 높은 전단 접착강도를 보였고, Fluorobond를 도포한 후 Super C Ortho를 사용했던 경우에는 다른 접착제와 같이 시간과 온도변화에 따른 접착강도의 변화가 유의성있게 나타나지 않았으나 시간이 지남에 따라 전단 접착강도의 계속적인 감소를 나타냈다(Table 3).

12개 실험군간의 전단 접착강도의 유의차를 Mann-Whitney 비모수 분석방법으로 검정한 결

Table 3. Mean values of shear bond strength of adhesives (unit : Kg.F)

group	adhesive	Super C Ortho	Mono-Lok ²	Transbond	Fluorobond+Super C	p-value
group 1		16.109 ± 2.838	11.514 ± 1.718	13.915 ± 1.838	16.789 ± 0.788	0.0001**
group 2		18.440 ± 2.829	16.768 ± 2.800	15.327 ± 2.487	15.560 ± 2.209	0.035*
group 3		12.275 ± 3.882	16.835 ± 2.12	12.293 ± 2.72	12.768 ± 3.537	0.0058**
p-value		0.0017**	0.0004**	0.0079**	0.0583	

** : significantly different, p<0.01

* : significantly different, p<0.05

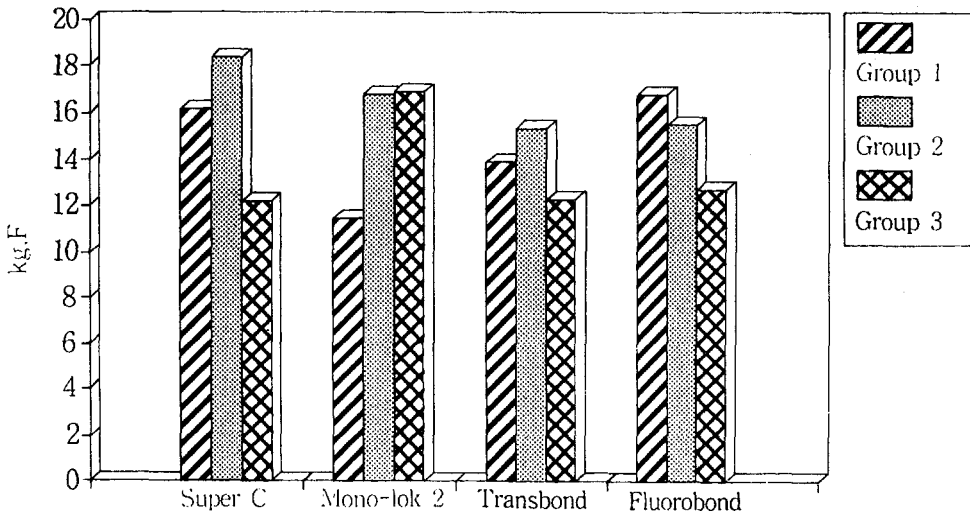


Fig.4. Shear bond strength of adhesives

과 1군에서는 대체로 모든 접착제 간에 유의차가 나타났으며, 2군에서는 A2를 제외한 다른 접착제 간에는 유의차가 없었고, 3군에서는 B3를 제외한 다른 접착제 간에는 유의차가 없었다 (Table 4).

나. 브라켓 탈락 양상

브라켓 탈락 양상을 나타낸 Table 5 를 살펴보면, Super C Ortho는 브라켓과 접착제 경계부에서의 탈락이 40%이고 법랑질과 접착제 경계부에서 탈락이 46.7%로 두가지 양상이 비슷하게 나타났으며, Mono-Lok², Transbond, Fluorobond+Super C ortho는 법랑질과 접착제 경계

부에서의 탈락이 각각 86.7%, 80%, 90%로 대부분을 차지하고 있었다.

세가지 탈락 양상중 법랑질과 접착제 경계부에서의 탈락이 78.5%로 가장 많았고, 그 탈락 양상 중에서는 Fluorobond+Super C ortho의 경우가 29.7%로 가장 높은 비율을 차지했으며 전체 탈락 양상에서는 22.5%를 차지하였다.

분할표 분석방법을 실행해본 결과로는 접착제의 종류에 따라 브라켓 탈락 양상이 유의성있게 차이가 있는 것으로 나타났다(p<0.01).

Fig. 5는 입체 현미경으로 관찰된 탈락된 브라켓 기저부의 형태를 보여주고 있는데, A는 Super C ortho에서 가장 많이 일어난 탈락 양상의

Table 4. Comparison of shear bond strengths by Mann-Whitney analysis

Grop	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3
A1	--	**	*	ns	ns	--	--	--	*	--	--	--
B1		--	**	**	--	**	--	--	--	**	--	--
C1			--	**	--	--	ns	--	--	--	*	--
D1				--	--	--	--	ns	--	--	--	*
A2					--	*	*	*	**	--	--	--
B2						--	ns	ns	--	ns	--	--
C2							--	ns	--	--	**	--
D2								--	--	--	--	ns
A3									--	**	ns	ns
B3										--	**	*
C3											--	ns
D3												--

* : significantly different, p<0.05
 ** : significantly different, p<0.01
 ns : not significantly different

Table 5. Failure patterns of adhesives

failure site	adhesive				Col Tot
	%	Super	Mono-Lok ²	Transbond	
B/R	Row (%)	63.2	10.5	15.8	10.5
	Col (%)	40.0	6.7	10.0	6.7
	Tot (%)	10.0	1.7	2.5	1.7
					(15.8%)
T/B	Row (%)	40.0	20.0	30.0	10.0
	Col (%)	13.3	6.7	10.0	3.3
	Tot (%)	3.3	1.7	2.5	0.8
					(8.3%)
T/R	Row (%)	15.4	28.6	26.4	29.7
	Col (%)	46.7	86.7	80.0	90.0
	Tot (%)	11.7	21.7	20.0	22.5
					(75.8%)
Row Tot		30 (25%)	30 (25%)	30 (25%)	30 (25%)
			Chi-Square 21.58704	DF 6	Significance 0.00144**

Col:collum, Tot:total, B/R:Bracket-Resin interface failure, T/B:almost same ratio of Tooth-resin interface failure and Bracket-resin interface failure, T/R:Tooth-Resin interface failure

** : significantly different, p<0.01

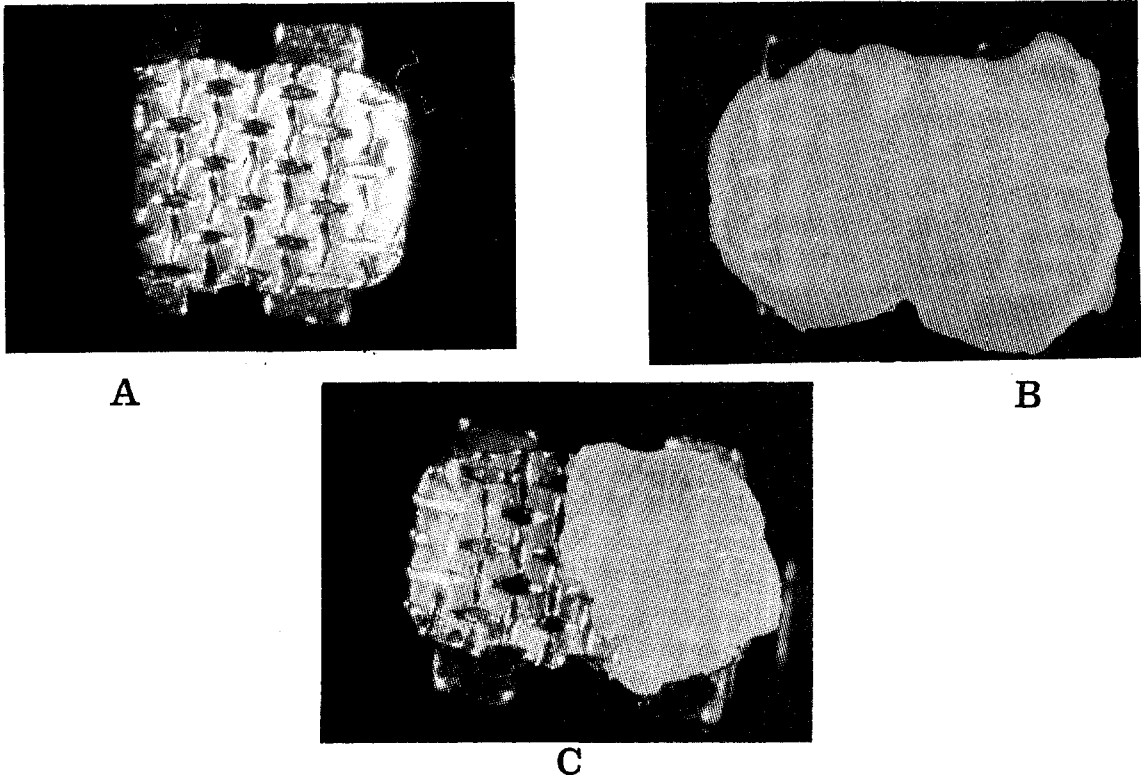


Fig.5. Stereoscopic microscope of the bracket bases of failure, A: bracket-resin interface failure, B: tooth-resin interface failure, and C: tooth-resin interface failure and bracket-resin interface failure.

로 브라켓 기저부와 접착제 경계부에서 탈락이 일어나 브라켓 표면에 더 이상 접착제가 남아있지 않은 상태이고, B는 그밖의 접착제에서 주로 일어난 탈락양상으로 치아와 접착제 경계부에서 탈락이 일어나 접착제가 브라켓 표면에 모두 남아 있는 상태이다.

C는 A와 B의 형태가 동시에 비슷한 정도로 나타난 상태이다.

IV. 총괄 및 고찰

일반적으로 성공적인 교정용 접착재료는 형태적으로 안정되어야 하고, 충분한 점주도를 가져서 법랑질 표면을 침투할 수 있어야 하며, 우수한 접착강도를 지니면서 임상적으로 사용하기에 편리해야 하고, 또한 교정 치료가 끝나고 교정

장치를 치아로부터 제거할 때 가능한 한 법랑질 표면에 손상을 입히지 않아야 한다²⁸⁾. 현재 이러한 요구조건을 충족시키고자 교정용 접착제가 여러 종류 개발되어 있고 본 연구는 이러한 접착제의 요구조건중 접착제 종류에 따른 접착강도의 크기를 비교하고 법랑질 손상에 영향을 미칠 수 있는 브라켓 탈락 양상을 알아보기 위한 실험이었다. 또한 실험군을 1군(브라켓 부착 1시간 후), 2군(브라켓 부착 24시간 후, thermocycling 10회 실시), 3군(브라켓 부착 24시간 후, thermocycling 1800회 실시)으로 분류해서 전단 접착강도를 비교해 보았는데 이는 1시간 후와 시간이 어느정도 경과한 24시간 후에는 접착제의 중합이 완성되는 정도에 차이가 있을 것이고, 3군에서 thermocycling을 1800회 실시한 것은 실제 구강내에서 커피나 뜨거운 국을 마신다든가

냉수를 마신다든가 해서 일어나는 온도변화가 평균 하루에 10회 일어난다고 예상하고 약 6개월로 예상되는 기간의 온도 변화를 재현해 주기 위한 것이었는데, 이는 교정치료가 장기간을 요하는 치료로서, 접착제가 구강내에서의 온도변화에 따른 노화과정으로 접착강도의 변화를 보일 수 있기 때문에 이를 비교해보기 위한 것이었다. Tavassoli와 Watts⁷⁾도 광중합 접착제의 24시간 경과 후의 접착강도와 5분 후의 접착강도를 비교해 보았는데 그 접착강도의 차이가 크다고 한 바 있고, 실제 환자에서 브라켓이 탈락하는 빈도를 연구한 O'Brien²¹⁾도 브라켓이 탈락하는 경우에 82%가 브라켓 부착 후 처음 6개월 이내에 일어난다고 하면서 그 때까지의 접착강도를 강조한 바 있다.

연구에 사용한 각 접착제의 특성과 실험결과를 살펴보면, 비혼합형 교정용 접착제(Mono-Lok²⁾의 특성은 중합이 이루어지지 않은 primer가 치아면에 위치하게 되고, 브라켓에는 중합 촉진제가 포함된 복합 레진이 위치하게 되어서 이것을 치아면에 밀착시키면 비로소 브라켓 하방에서 중합이 개시되는 특성을 지닌 접착제이다. 따라서 치은 부종과 백색 반점(white spot)의 문제를 일으키는 브라켓 주변의 여분의 접착제에서는 중합이 거의 일어나지 않기 때문에 쉽게 제거할 수 있다는 장점이 있다. 또한 비혼합형 교정용 접착제는 브라켓의 간접 접착술식에 사용할 수 있다는 커다란 장점을 지니고 있다. 브라켓의 간접 접착술식이란 치아 모형상에서 브라켓을 위치시키고 이것을 트레이를 이용하여 환자의 구강내로 이동하여 술자가 원하는 위치에 접착하는 방법으로 좀 더 정확한 위치에 브라켓을 부착시킬 수 있는 방법이다. Proffit²³⁾에 의하면 비혼합형 교정용 접착제가 혼합형 교정용 접착제에 비해서 물리적 성질이 떨어진다고 하였고, Evans⁷⁾의 연구결과에서도 혼합형 교정용 접착제가 비혼합형 교정용 접착제에 비해서 전단 접착강도의 수치가 높게 나타났다. 그러나 Delport⁶⁾에 의하면 3개의 혼합형 접착제와 4개의 비혼합형 접착제의 인장 접착강도의 비교시 유의성있는 차이가 나타나지 않았다고 하였다.

본 연구에서는 Mono-Lok²⁾의 1군과 2군의 전단 접착강도는 Super C Ortho의 전단 접착강도에 비해서 유의성있게 낮았으나, 3군의 전단 접착강도는 실험에 사용한 다른 모든 접착제보다 유의성있게 가장 높게 나타났다($p < 0.05$). 이는 장기간의 교정 치료시 장점으로 여겨질 수 있다.

광중합 접착제(Transbond)의 경우도 중합시간을 마음대로 조절할 수 있으며, 브라켓 주변의 여분의 접착제를 광선을 조사하기 이전에 쉽게 제거할 수 있어서 화학 중합 접착제보다도 브라켓을 정확한 곳에 위치시킬 수 있는 장점이 있다. 광중합 접착제의 전단 접착강도에 대해서 King 등¹⁵⁾은 광중합 접착제를 금속 브라켓에 접착시 화학중합 접착제에 비해서 낮은 강도를 보인다고 보고한 바 있고, Greenlaw¹¹⁾는 30시간 후의 광중합 접착제의 전단 접착강도가 화학중합 접착제에 비해서 $\frac{1}{2}$ 밖에 안된다고 하였으며, Lovius 등¹⁷⁾은 임상에서 사용할 때 소구치 부위에서 탈락율이 더 높다고 보고한 바 있다. 본 연구에서는 광중합 접착제를 제조회사의 지시에 따라 근심에서 20초간 원심에서 20초간 광선을 조사하여 전단 접착강도를 측정된 결과 대체로 다른 접착제에 비해서 높지 않은 접착강도를 나타내었다. 실제 구강내에서 소구치에 광중합 접착제를 이용하여 브라켓을 부착한다면, 광선을 조사하는 것이 실험에서 하듯이 쉽지는 않을 것이므로 더 낮은 접착강도를 나타내리라 예상할 수 있다. 따라서 광범위하고 심한 부정교합의 치료시 주의를 요하리라 사료된다.

Kohavi¹⁶⁾는 불소를 도포한 후 접착제를 중합시키는 경우에 치아 법랑질과 불소사이에서 형성된 반응 부산물 때문에 법랑질 표면의 미세한 공간이 메꾸어지므로 접착강도의 저하를 가져온다고 하였고, McCourt¹⁸⁾도 불소를 방출하는 광중합 접착제와 기존의 광중합 접착제의 전단 접착강도를 비교시 불소를 방출하는 광중합 접착제의 경우 기존의 광중합 접착제보다 현저히 낮은 접착강도를 나타내어 교정용 접착제로 사용하기에는 적절치 못하다고 하였으며, Chan⁵⁾도 불소를 유리하는 교정용 접착제는 기존의 화학중합 접착제에 비해서 접착강도가 $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ 까지 줄

어든다고 하였다.

본 연구에서 Fluorobond를 치아면에 먼저 도포하고 Super C Ortho를 중합시킨 경우의 전단 접착강도는 대조군으로 불소를 도포하지 않고 그대로 Super C Ortho를 사용한 전단 접착강도에 비해서 1군과 3군의 전단 접착강도는 유의성 있는 차이가 없었으나 2군의 전단 접착강도는 유의성있게 낮게 나타났다($p < 0.05$). 다른 접착제에서 1군이나 3군보다는 2군의 전단 접착강도가 가장 높은 접착강도를 보인 것과는 달리 Fluorobond를 사용했을 때는 시간과 온도변화가 진행됨에 따라 계속적인 접착강도의 감소를 보였는데, 이는 McCourt¹⁸⁾의 연구에서 시간이 경과함에 따라 불소를 방출하는 접착제의 접착강도가 낮아진 것과 같은 결과를 나타냈다.

브라켓 탈락 양상에 대해서는 Powers¹⁹⁾, Gwinnett¹²⁾, Joseph¹⁴⁾ 등, 윤³³⁾과 장과 이³⁵⁾ 등은 금속 브라켓의 경우, 브라켓 기저부에 응력이 집중되기 때문에 기저부의 형태나 접착제의 종류에 관계없이 주로 브라켓 기저부와 접착제의 경계부에서 탈락이 일어난다고 하였으나, O'Brien²¹⁾은 기저부의 형태나 접착제의 종류에 따라 다른 탈락 양상을 보인다고 주장하였다. 본 연구에서 Super C Ortho를 사용한 경우는 브라켓과 접착제 경계부에서의 탈락과 접착제와 치아 경계부에서의 탈락이 비슷한 정도로 일어났고, 그 외의 접착제를 사용한 경우는 대부분 치아와 접착제 경계부에서 탈락이 일어났는데, 분석 결과 접착제 종류와 브라켓 탈락 양상간에 통계적으로 유의한 관련성이 나타났다($p < 0.01$). Mono-Lok²⁾를 사용한 경우와 불소를 포함한 치면열구불합제인 Fluorobond를 치아면에 먼저 도포하고 Super C Ortho를 사용한 경우에 주로 치아와 접착제 경계면에서 탈락이 일어난 이유는, 각 primer와 sealant가 치아면과 접착제 사이에 개입되어 전체 다른 중합 부위보다는 분리되기 쉬운 상태에 놓여있기 때문으로 사료된다. Evans⁷⁾의 연구에서도 혼합형 교정용 접착제를 구강과 같은 환경에서 primer만을 치아면에 도포하고 방치한 후 시간이 경과한 후에 paste를 중합시켜 보면, 시간이 경과할수록 접착강도가 감소하였고 접착강

도가 감소함에 따라 치아와 접착제 경계부에서 브라켓이 탈락하는 비율이 높아짐을 보고하였다. 즉 비혼합형 접착제에서는 primer와 paste의 경계부가 분리되기 쉬운 지점이고 이 부위에서의 결합 상태가 접착강도를 좌우한다고 볼 수 있는 것으로 사료된다. 광중합 접착제를 사용한 경우도 O'Brein²¹⁾과 Bradburn²⁾ 등이 보고한 바와 같이 치아 법랑질과 접착제 경계부에서 탈락이 발생하였는데, 이는 광중합 접착제가 높은 점도로 인해 브라켓 기저부에 비해 미세하게 부식된 치아면을 잘 침투하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.⁸⁾

브라켓이 치아 법랑질과 접착제 경계부에서 탈락되었더라도 법랑질 자체의 파절은 나타나지 않았으므로 연구에 사용한 접착제의 브라켓 탈락 양상이 크게 임상적인 중요성을 내포하지 않는 것으로 사료된다.

본 연구는 단면적인 실험(cross-sectional test)이기 때문에, 치아 자체의 표면 상태의 차이, 치아의 산부식의 정도, 균일하지 못한 접착제의 두께, 실험편이 측정기구내에서 얼마나 정확히 위치되어 있었는지의 여부, 접착제내의 기포의 양, 치아에 부착된 브라켓의 위치 등과 같은 변이가 있을 수 있는데, 동일한 실험자가 가능한 변이를 줄이기 위해 노력하였으며, 좀 더 정확한 연구결과를 얻기 위해서는 더 많은 시편을 가지고 실험을 해서 통계적으로 편차를 줄여야 할 것이며, 또한 교정용 접착재료에 대해서도 앞으로 장기간에 걸친 많은 연구가 시행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

교정 치료시 교정력은 브라켓을 통해 치아에 전달되기 때문에 브라켓을 부착시키는 작업은 교정 치료 전반에 걸쳐 기본이 되는 중요한 단계라고 생각할 수 있고, 성공적인 교정 치료를 위해서 교정용 접착제의 접착강도가 중요하고, 교정 치료가 장기간을 요하는 치료이기 때문에 그 접착강도가 시간과 온도변화에 의해 어느정도의 변화를 보이는 지가 중요하다고 할 수 있다. 이

에 본 연구에서는 임상가들이 사용하고 있는 교정용 접착제 중 Super C Ortho(혼합형 교정용 접착제), Mono-Lok²(비혼합형 교정용 접착제), Transbond(광중합 교정용 접착제)와 Fluorobond(불소를 함유한 sealant)를 대표적으로 선택하여, 구강내와 같은 환경에서 시간과 온도변화에 따른 접착제의 접착강도의 변화를 알아보기 위해 실험군을 1군(브라켓 부착 1시간 후), 2군(브라켓 부착 24시간 후, thermocycling 10회 실시), 3군(브라켓 부착 24시간 후, thermocycling 1800회 실시)으로 분류하여 접착제의 전단 접착강도를 측정 비교하고, 접착제의 종류에 따른 브라켓 탈락 양상을 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 1군에서는 Super C Ortho를 사용했던 경우와 Fluorobond를 도포한 후 Super C Ortho를 사용했던 경우의 전단 접착강도가 높게 나타났으며, 2군에서도 Super C Ortho를 사용했을 때 접착강도가 가장 높게 나타났으나, 3군에서는 Mono-Lok²를 사용하였을 때 유의성 있게 가장 높은 전단 접착 강도를 보여주었다 ($p < 0.05$).
2. 시간과 온도변화에 따라, Super C Ortho, Transbond를 사용했던 경우에는 2군에서 가장 높은 전단 접착강도를 보였고 3군에서 가장 낮은 전단 접착강도를 보였으나, Mono-Lok²를 사용했을 때는 3군에서도 2군에서와 같이 높은 전단 접착강도를 보였고, Fluorobond를 도포한 후 Super C-Ortho를 사용했던 경우에는 시간이 지남에 따라 전단 접착강도의 지속적인 감소를 나타냈다.
3. 브라켓 탈락 양상이 Mono-Lok², Transbond, Fluorobond를 도포한 후 Super C Ortho를 사용했던 경우에는 주로 치아와 접착제 경계부에서 탈락이 일어났으나, Super C Ortho를 사용했던 경우에는 브라켓 기저부와 접착제의 경계부에서의 탈락과 치아와 접착제 경계부에서 탈락이 비슷한 정도로 일어났다.

이상의 결과로 볼 때 브라켓 부착시 접착제

의 선택에 있어 시간과 온도 변화에 따른 접착제의 전단 접착강도의 차이를 고려하여야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Bishara, S.E., Swift, E.J. and Chan, D.C.N.: Evaluation of fluoride release from an orthodontic bonding system, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 100:106-109, 1991.
2. Bradburn, G. and Pender, N.: An in vitro study of the bond strength of two light-cured composites used in the direct bonding of orthodontic brackets to molars, *Am. J. Orthod. Dentofac.Orthop.*, 102: 418-426, 1992.
3. Buonocore, M.G.: A simple method of increasing the adhesive of acrylic filling materials to enamel surfaces, *J.Dent.Res.*, 34:849-853, 1955.
4. Buzzitta, V.A.J., Hallgren, S.E. and Powers, J.M.: Bond strength of orthodontic direct bonding cement-bracket systems as studied in vitro, *Am. J. Orthod.*, 81:87-92, 1982.
5. Chan, D.C.N., Swift,E.J., and Bishara,S.E.: In vitro Evaluation of a Fluoride-releasing Orthodontic Resin, *J.Dent.,Res.*, 69:1576-1579, 1990.
6. Delpont, A. and Grobler, S.R.: A laboratory evaluation of the tensile bond strength of some orthodontic bonding resins to enamel, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 93:133-137, 1988.
7. Evans, L.B. and Powers, J.M: Factors affecting in vitro bond strength of no-mix Orthodontic cements, *Am. J. Orthod.*, 87: 508-512, 1985.
8. Faust, J.B., Grego, G.N., Fan, P.L. and Powers, J. M.: Penetration coefficient, tensile strength, and bond strength of thirteen direct bonding orthodontic cements, *Am. J. Orthod.*, 73:512-525, 1978.
9. Garn, N.M.: Direct bonding: A clinical study using an ultraviolet-sensitive adhesive system, *Am. J. Orthod.*, 69:455-463, 1976.
10. Godoy, F.G., Hubbard, G.W. and Storey, A.T.: Effect of a fluoridated etching gel on enamel orthology and shear bond strength of orthodontic brackets, *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 100:163-170, 1991.
11. Greenlaw, R.,Way, D.C. and Galil, D.A.: An in vitro evaluation of a visible light cured resin as an alternative to conventional resin bonding systems,

- Am.J.Orthod. Dentofac. Orthop., 96:214-220, 1989.
12. Gwinnett, A.J.: A comparison of shear bond strengths of metal and ceramic brackets, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 93:346-348, 1988.
 13. Jassem, H.A., Retief, and Jamison, H.C.: Tensile & shear strength of bonded & rebonded orthodontic attachments, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 79: 661-668, 1981.
 14. Joseph, V.P. and Rossouw, P.E.: The shear bond strengths of stainless steel orthodontic brackets bonded to teeth with orthodontic composite resin and various fissure sealants, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 99:66-71, 1990.
 15. King, L., Smith, R.T., Wendt, S.L. and Behrents, R. G.: Bond strengths of lingual orthodontic brackets bonded with light-cured composite resins cured by transillumination, Am. J.Orthod. Dentofac. Orthop., 91:312-315, 1987.
 16. Kohavi, D., Gedalia, I. and Anaise, J.: Effect of conditioning with fluoride and phosphoric acid on enamel surfaces as evaluated by scanning electron microscopy and fluoride incorporation, J. Dent. Res., 54:304-309, 1975.
 17. Lovius, B.B.J., Pender, N., Hewage, S., O'Dowling, L. and Tomkins, A.: A Clinical Trial of a Light Activated Bonding Material over an 18 month Period, Br.J.Orthod. 14:11-20, 1987.
 18. McCourt, J.W., Cooley, R.L. and Barnwell, S.: Bond strength of light-cure fluoride releasing base-liners as orthodontic bracket adhesives, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 100: 47-52, 1991.
 19. Moin, K. and Dogon, I.L.,: An evaluation of shear strength measurements of unfilled and filled resin combinations, Am.J.Orthod., 74:531-536, 1978.
 20. Newman, G.V. : Epoxy adhesives for orthodontic attachments: Progress report, Am. J. Orthod., 51: ,901-912, 1965.
 21. O'Brien, K.D., Read, M.J.F., Sandison, R.J., and Roberts, C.T.: A visible light-activated direct-bonding material: An in vivo comparative study, Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop., 95:348-351, 1989.
 22. Phillips, R.W. and Swartz, M.L.: Effect of Certain Restorative Materials on Solubility of Enamel, J. Prosthet. Dent., 54:645-649, 1957.
 23. Proffit, W.R.: Contemporary Orthodontics, 1st ed.: 294-297, St Louis, CV Mosby, 1986.
 24. Rawls, H.R. and Zimmerman, B.F.: Fluoride-exchange Resins for Caries Protection, Caries Res., 17:32-43, 1983.
 25. Read, M.J.F.: The bonding of orthodontic attachments using a visible light cured adhesive., Br. J. Orthod., 11:16-20, 1984.
 26. Phillips, R.W.: Skinner's Science of Dental Materials, 7th ed.:228-230, Philadelphia Saunders Co. 1973.
 27. Sonis, A.L. and Snell, W.: An Evaluation of a Fluoride-releasing, Visible Light activated Bonding System for Orthodontic Bracket Placement, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 95: 306-311, 1989.
 28. Surmont, P., Dermaut, L., Martens, L., and Moors, M.: Comparison in shear bond strength of orthodontic brackets between five bonding systems related to different etching times: An in vitro study, Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop., 101:414-419, 1992.
 29. Tavas, M.A. and Watts, D.C: Bonding of orthodontic brackets by transilluminations of a light activated composite: an in vitro study, Br. J. Orthod., 6:207-208, 1979.
 30. Underwood, M.L.: Clinical evaluation of a fluoride-exchanging resin as an orthodontic adhesive, Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop., 96:93-99, 1989.
 31. Wang, W.N., and Tarng, T.H.: Evaluation of the sealant in orthodontic bonding, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 100:209-211, 1991.
 32. Wang, W.N., and Meng, C.L.,: A study of bond strength between light- and self-cured orthodontic resin, Am.J.Orthod.Dentofac.Orthop., 101:350-354, 1992.
 33. 윤정진, 유영규: Metal bracket과 Ceramic bracket의 전단 접착강도와 debonding 상태에 관한 연구, 대한치과 교정학회지, 22:327-337, 1992.
 34. 이승진, 장영일: 도재 브라켓의 전단접착강도에 관한 실험적 연구, 대한치과교정학회지, 22:449-470, 1992.
 35. 장영일, 이승진: 광중합 접착제로 접착된 금속 브라켓의 전단 접착강도에 관한 연구, 대한치과교정학회지, 22:289-295, 1992.

-ABSTRACT-

A COMPARISON OF SHEAR BOND STRENGTH OF VARIOUS ORTHODONTIC ADHESIVES

Mi-Hee You, D.D.S, Chung-Ju Hwang, D.D.S., Ph.D.

Department of Dental Science, College of Dentistry, Yonsei University

Bonding of brackets is one of the essential factors for successful orthodontic treatment, so bond strength of orthodontic adhesives are very important. The purposes of this research were to compare shear bond strength of various orthodontic adhesives and to evaluate failure sites. One-hundred twenty extracted human first premolars were prepared for bonding and premolar brackets were bonded to prepared enamel surfaces with Super C Ortho, Mono-Lok², Transbond, and Super C Ortho after applying Fluorobond. After bonding of brackets, teeth specimens were divided into 3 groups. In group 1 specimens were stored at humidior 37°C in 1 hour, in group 2 specimens were stored at humidior 37°C in 24 hours, thermocycled 10 times and in group 3 specimens were stored at humidior 37°C in 24 hours, thermocycled 1800 times. Then the universal testing machine Instron 6022, Instron Co., U.S.A. was used to test the shear bond strength of brackets to enamel. After debonding, brackets and enamel surfaces were examined under stereoscopic microscope to determine the failure sites

The results were as follows:

1. Shear bond strength was significantly highest of using Super C Ortho after applying Fluorobond and Super C Ortho In group 1, was highest of using Super C Ortho in group 2, and was highest of using Mono-Lok² in group 3.
2. According to time and temperature change, in using Super C Ortho the group 2 had significantly highest strength and group 3 had lowest strength, in using Mono-Lok² the group 2 and had higher strength than group 1 and in using Super C Ortho after applying Fluorobond shear bond strength decreased constantly.
3. The failure sites were tooth-resin interface in Super C Ortho after applying Fluorobond, Mono Lok² and Transbond and were at almost same ratio bracket base-resin interface and tooth-resin interface in Super C Orth.

KOREA J. ORTHOD 1994 ; 24(2) : 433-445.

Key words : Shear bond strength, Adhesive, Failure site