

## 교정용 광중합형 및 화학중합형 레진접착제의 전단결합강도와 파절양상에 대한 연구

전남대학교 치과대학 소아치과학교실

\*전남대학교 치과대학 치과재료학교실

이민하 · 양규호 · 박영준\*

### Abstract

#### A STUDY OF SHEAR BOND STRENGTH AND FAILURE PATTERNS IN LIGHT-AND SELF-CURED ORTHODONTIC RESIN

Min-Ha Lee, Kyu Ho-Yang, Yeong-Joon Park\*

*Dept. of Pedodontics, College of Dentistry, Chonnam National University*

*\*Dept. of Dental Materials, College of Dentistry, Chonnam National University*

Light-cured orthodontic composite resin has been widely advertised recently for use in bonding brackets. However, the curability of light-cured resin when light waves are diffused through metal brackets is questionable.

The purposes of this study were to evaluate shear bond strength and failure patterns of visible light-cured resin(Lightbond) and chemically cured-resin(Mono-Lok 2), and to determine the relative value of light-cured resin as an alternative to conventional chemically-cured resin. Each of the two resins was tested on twenty extracted human first premolars. Standard edgewise metal brackets were bonded to the teeth in accordance with the manufacturers' recommendation. After bonding, the teeth were stored for 24 hours at 37°C, 100% humidity. The shear bond strength was tested with a universal testing machine(Instron 4302), at 0.5mm/min crosshead speed. After debonding, brackets and enamel surfaces were examined with a scanning electron microscope and a stereoscopic microscope.

The results were as follows :

1. Metal brackets bonded with Lightbond showed statistically higher shear bond strength than metal brackets bonded with Mono-Lok2.
2. The predominant failure site in Lightbond was the enamel-resin interface, and in Mono-Lok 2 it was the resin itself.
3. Enamel cracks were not found in any specimen.

The above results suggest that direct bonding of metal brackets to enamel with light-cured resin bonding agent can be used effectively in clinics.

## I. 서 론

교정치료에 있어서 가장 획기적인 변화중의 하나는 접착제로서 콤포지트 레진의 이용이다. Buonocore<sup>1)</sup>는 치아의 법랑질 표면을 산부식시켜 수복용 레진의 결합강도를 증가시킬 수 있다는 개념을 최초로 치의학 영역에 소개하였고, Newman<sup>2)</sup>과 Retief와 Dreyer<sup>3)</sup>가 에폭시 레진과 산부식법을 이용하여 플라스틱 브라켓을 치아에 직접 부착하여 교정치료에 이용한 이래, 재료학적인 발전에 힘입어 편의성, 효율성 및 심미성이 개선된 직접 접착법이 많이 사용되고 있다.

화학중합형 레진접착제는 two-paste system 이나 one-paste system<sup>4)</sup>으로 되어 있는데, 연화하는 즉시 중합반응이 일어나기 때문에 작업시간의 제한을 받게 되므로 치면에 브라켓의 위치나 정밀도에 영향을 미치게 되고 연화시에 생기는 기포나 불균일성으로 인해 접착강도가 떨어질 수 있다.

광중합형 레진접착제는 수복분야에서 작업시간의 제한을 받지 않는다는 잇점 때문에 화학중합형 레진접착제에 비하여 널리 사용되었는데, 초기에는 자외선을 이용하였으나 자외선 자체의 신체에 대한 위해성과 중합심도가 낮다는 단점이 보고<sup>5)</sup> 되었기 때문에, 이러한 문제점을 극복하기 위한 노력으로 가시광선을 도입한 결과 자외선과 비교시에 중합심도가 더 깊고<sup>6)</sup>, 법랑질을 통과해서도 중합이 가능하며<sup>7, 8)</sup>, 광원의 강도가 시간에 따라 변함없이 일정하다는 장점을 얻을 수 있었다.

한편 교정영역에서는 그 사용이 제한되었는데 이는 빛이 금속 브라켓을 통과하지 못하여 충분한 접착강도를 얻을 수 없었기 때문이었다<sup>9)</sup>. 따라서 이러한 문제점을 극복하기 위한 많은 연구가 행해지게 되었는데, Silverman등<sup>10)</sup>과 Silverman과 Cohen<sup>11)</sup>은 Bis-GMA와 가시광선 중합 개시제를 이용한 광중합형 레진 접착제의 사용을 처음으로 시도하였고, Tavassoli와 Watt<sup>12)</sup>는 금속 브라켓에 광중합 접착제를 사용하기 위해서는 광선을 치아의 설측에서 조사하여 치질 사이를 통과하는 광선에 의해 중합이 일

어나는 transillumination 방법을 사용하였고, Read<sup>13)</sup>는 광선을 치아의 장축방향에서 조사해야 한다고 하였으나 Greenlaw등<sup>14)</sup>은 브라켓의 절단면과 치은측에 각각 20초씩 조사하였고, Wang과 Memng<sup>15)</sup>은 2mm의 거리에서 브라켓의 근원심측에 조사시켜 측정하여 충분한 전단결합강도를 얻을 수 있었다고 보고하였다.

금속 브라켓에 사용한 광중합형 레진접착제의 전단결합강도에 대한 연구중 King등<sup>16)</sup>과 Greenlaw등<sup>14)</sup>은 금속 브라켓을 광중합형 접착제를 이용하여 접착하였을 때 기존의 접착제보다 결합력이 적었다고 하였으나, Andreasen등<sup>17)</sup>과 Joseph와 Rossow<sup>18)</sup>는 두 접착제의 평균 전단결합강도가 통계학적으로 유의성 있는 차이가 없었다고 하였다. 한편 Tabor<sup>19)</sup>는 광중합형 레진접착제가 화학중합형에 비해 기포발생이나 미세누출이 적기 때문에 더 큰 결합력을 보인다고 하였고, Harris등<sup>20)</sup>도 광중합형 레진접착제가 더 큰 결합강도를 보인다고 하였다.

최근의 여러 연구에 의하면 교정치료시 교정용 밴드나 브라켓 하방에 우식증으로 변화할 수 있는 백색반점(white spot lesion)의 위험성을 강조하고 있고<sup>21, 22)</sup>, 실제 임상가들도 순면에 발생하는 이러한 백색반점이 대표적인 교정치료의 부작용 중의 하나로 인식하고 있다. 더욱이 1.5~2년의 기간 동안에 병소가 진행된 경우에는 수 백 microns에 해당될 정도로 깊기 때문에 완전한 재석회화를 기대하기란 매우 어렵다. 이러한 탈회화의 빈도와 강도를 완화시키기 위해 불소를 유리(fluoride-releasing)하는 교정용 접착제에 대해 Underwood등<sup>23)</sup>이 연구를 했었으나 상품화가 된 것은 최근의 일이다. Sonis와 Snell<sup>24)</sup>에 의하면 이러한 접착제를 이용하였을 경우 브라켓 주변의 탈회화가 없어졌고, 기존의 교정용 접착제에 비해서 뒤떨어지지 않는 접착강도를 보였다고 보고하였다.

본 연구의 목적은 이상의 연구에서와 같이 상반된 의견을 확인하고 불소 유리형 교정용 레진의 전단결합강도를 평가하기 위해 현재 임상가들이 사용하는 광중합형 레진접착제와 화학중합형 레진접착제 중에서 일종씩 사용하여

금속브라켓을 법랑질 표면에 접착 시켰을때 각각의 전단결합강도와 브라켓 탈락양상을 비교연구하여 임상적 적용시에 도움이 되고자 하는데 있다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 연구 재료

실험에 이용된 치아는 교정치료를 위해 발거된 제1소구치로 발거직후 화학제로 전처리하지 않고 실험에 이용될 때까지 생리식염수 속에 넣어 보관하였다. 광중합형 레진접착제로는 Lightbond Bonding System(Reliance Orthodontics, U.S.A.)을 연구대상으로 하였고, 이것은 no-mix type이며 불소유리형 단량체로 구성된 sealants와 adhesive paste로 구성되어 있다. 화학중합형 레진접착제로는 Mono-Lok 2 Bonding System(Rocky-Mountain Orthodontics, U.S.A.)을 사용하였으며 이것 역시 no-mix type으로 primer와 adhesive paste로 구성되어 있다. 금속 브라켓은 하악 전치용 표준형 에즈와이스 브라켓(Micro-Loc : Tomy, JAPAN)을 사용하였다. 광중합형 레진접착제의 중합을 위해서는 가시광선 조사기(Curing Light XL 1000, 3M Dental products, U.S.A.)를 사용하였다.

### 2. 연구방법

#### (1) 시편제작

치아들의 치근을 삭제한 후 2분할 stainless steel mold의 바닥면 중앙에 치관 순면이 하부를 향하도록 양면 테이프를 사용하여 고정시키고

자가중합 레진(Vertex SC, Dentimex Mfg, Holland)을 사용하여 포매하여 레진 블록을 제작하였다. 제작된 레진블록내의 치관순면을 금속 표면 연마기(Metaserv, Buehler Co, U.S.A.)상에서 240, 600 grit Sic 연마지를 사용하여 주수하에 연마하여 법랑질 표면을 편평하게 만들었다. 이때 레진블록의 옆면과 법랑질면이 수직이면서 균일하게 연마할 수 있도록 하기 위하여 242gm의 하중이 시편에 가해지는 연마용 장치에 위치시켜 연마하였다. 연마후 시편을 흐르는 물로 씻고 증류수로 1분간 초음파 세척하였다.

#### (2) 브라켓의 접착

화학중합형 레진접착제군은 부식된 법랑질 표면을 씻어내고, 고온 건조 압축공기로 건조시킨 후, 제조회사의 지시에 따라 브라켓을 접착하고, 정하중 압축 시험기를 이용하여 1.5 kg의 하중을 가하여 고정된 상태로 중합하였다. 광중합형 레진접착제군도 역시 같은 하중하에서 브라켓의 절단면, 근심면, 치은면과 원심면에 각각 10초씩 2mm의 거리를 두고 조사하여 중합하였다.

#### (3) 전단결합강도 측정

모든 시편은 37°C, 100% 상대습도에 24시간 보관후 만능물성 시험기(Universal testing machine : Instron 4302, Instron Co, England)를 사용하였다(Fig. 1). 레진블록에 포매된 연구용 시편을 전단응력 시험용 jig의 시편 holder에 고정시키고, 이것을 X-Y sliding micrometer table에 고정시켜 시편을 loading stylus에 대해 정렬시켰다. Cross-head speed를 0.5mm/min의 속도로 조절하고 치면에 평행하게 브라켓

Table 1. Materials used in this study

Materials	Manufacturer	Remarks
Lightbond	Reliance orthodontics, U.S.A.	Light-cured Fluoride-released No-mix type
Mono-Lok2	Rocky-Mountain orthodontics, U.S.A.	Chemically-cured No-mix type
Standard edgewise bracket	Tomy, JAPAN	Metal bracket
Curing light XL 1000	3M Dental products, U.S.A.	Visible light unit

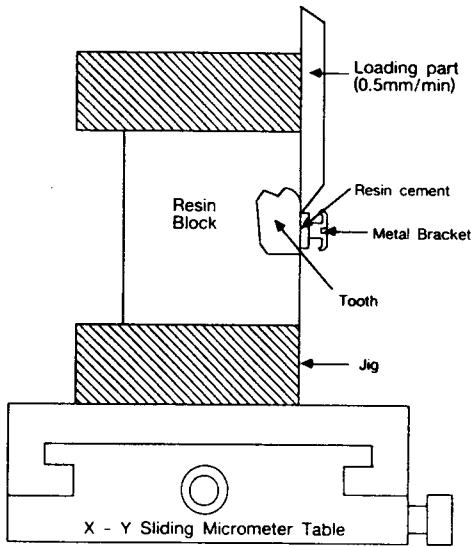


Fig. 1. Schematic illustration of a specimen and jig for measuring shear bond strength of the adhesive resin cement.

접착부에 하중을 가하여 접착이 파절되는 순간의 최고하중을 측정 한 후, 브래킷 베이스의 면적으로 나누어 평방 센티미터당 하중(kg/cm<sup>2</sup>)으로 환산하여 전단결합강도를 구하였다. 브래킷 베이스의 면적은 접착면을 400배 확대한 사진위에 방안지를 붙여서 외형에 따라 계산하였다.

#### (4) 파절양상의 관찰

탈락된 브래킷 기저부와 법랑질 표면의 탈락양상을 입체 현미경(AO Stereo Star; American Optical Co, U.S.A.)과 주사 전자현미경(JSM 5400; Jeol Co, JAPAN)으로 15배 확대하여 접착파절 양상을 관찰하여, 그 양상을 브래킷과 접착제 계면 파절형(bracket-resin interface failure), 법랑질과 접착제 계면 파절형(enamel-resin interface failure) 및 접착제 내부 파절형(resin itself failure)으로 분류하였고, 2 종류의 탈락 양상이 동시에 관찰된 경우에는 주된 양상을 기록하였다.

#### (5) 통계분석

각각의 실험군에서 전단결합강도의 평균치, 표준편차 및 변이계수를 산출하였으며, 전단결합강도에 미치는 브래킷 및 레진접착제의

영향과 전단결합강도의 평균값에 대한 유의성을 검정하기 위해 grouped t-test를 시행하였고, 유의성 검정은 1% 유의수준에 판정하였다.

### III. 연구성적

#### 1. 전단결합강도

광중합형군의 평균 전단결합강도는 240.90 ± 31.93 kg/cm<sup>2</sup>이었고, 화학중합형 군의 평균 전단결합강도는 191.96 ± 39.27 kg/cm<sup>2</sup>로, 광중합형 레진접착제로 접착한 것이 화학중합형 레진접착제로 접착한 것보다 크게 나타났다(P < 0.01). (Table 2)(Fig. 2)

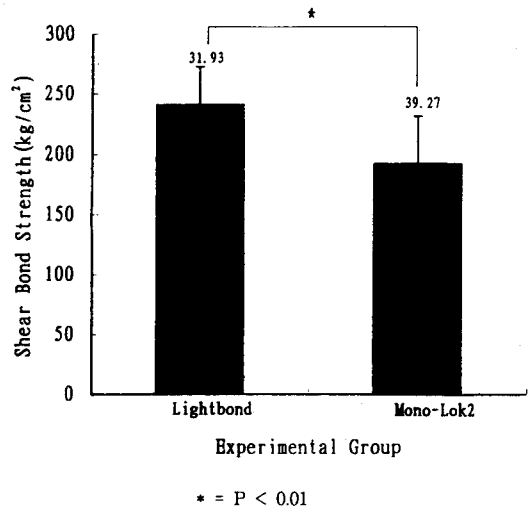


Fig. 2. Mean shear bond strengths of the experimental groups. Vertical lines denote standard deviations.

#### 2. 주사 전자현미경 관찰조건 및 파절양상

광중합형 레진 접착군에서는 세가지 탈락양상 중 법랑질과 접착제 계면 파절이 85%로 가장 많았고, 접착제 내부의 파절은 15%이었으며, 반면에 화학중합형 레진접착군에서는 접착제 내부의 파절이 80%, 법랑질과 접착제 계면 파절은 15%이었다. 두 군 모두에서 브래킷과 접착제 계면 파절은 거의 관찰되지 않았다(Table 3, Fig. 4). Fig. 4는 주사 전자현미경으로

Table 2. Shear bond strength values of adhesives(kg/cm<sup>2</sup>)

Number of specimen	Lightbond	Mono-Lok2
1	236.24	175.54
2	225.24	248.27
3	211.62	143.31
4	211.85	254.40
5	261.55	156.59
6	277.54	222.51
7	251.56	176.10
8	159.20	207.41
9	266.88	135.94
10	265.74	148.42
11	195.85	223.08
12	272.32	211.96
13	261.21	150.35
14	263.36	186.32
15	224.78	230.46
16	204.81	188.36
17	268.81	234.65
18	275.84	137.75
19	247.48	237.15
20	237.72	170.66
Mean	240.90	191.96
S.D.	31.93	39.27
Range	159.2-277.54	135.942254.4

Table 3. Distribution of failure patterns of adhesives

Failure Site	Lightbond	Mono-Lok2
Bracket-resin interface failure	0(0%)	1(0.5%)
Resin itself failure	3(15%)	16(80%)
Enamel-resin interface failure	17(85%)	3(15%)
Total	20(100%)	20(100%)

관찰된 탈락된 브라켓 기저부의 형태를 보여 주고 있는데, A는 브라켓 기저부와 접착제 계면에서 탈락이 일어나 브라켓 표면에 접착제가 거의 남아있지 않은 상태이고, B는 광중합형

접착제에서 주로 일어난 탈락양상으로 치아와 접착제 경계부에서 탈락이 일어나 접착제가 브라켓 표면에 모두 남아있는 상태이다. C는 접착제 내부의 파절형이다.

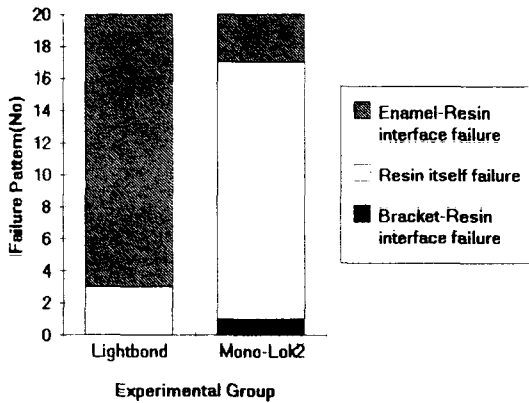
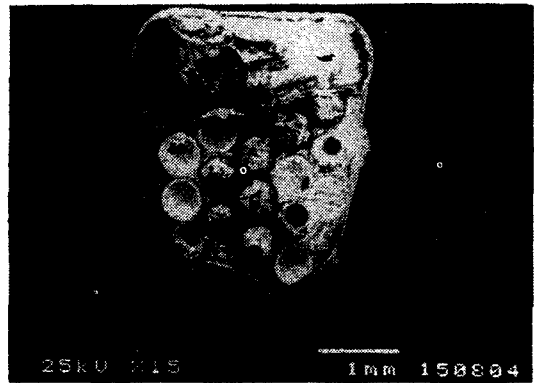


Fig. 3. Distribution of failure patterns.

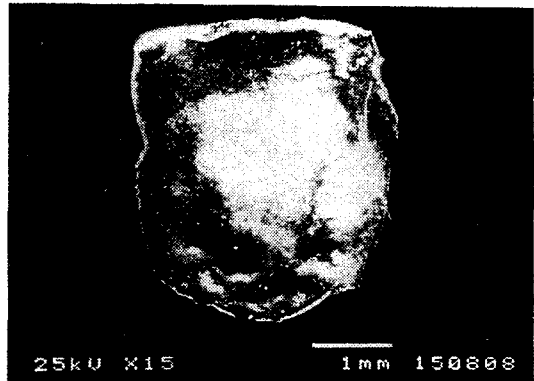
#### IV. 총괄 및 고찰

이상적인 교정용 레진 접착제는 우수한 접착강도를 지니며, 임상적으로 사용하기 편리해야 하고, 충분한 점주도를 가지며, 형태적으로 안정되어야 하고, 치아의 탈회를 일으키지 않으며, debonding시에 접착레진이 법랑질의 표면에서 깨끗이 분리되어야 하고 가능한 법랑질 표면에 손상을 입히지 않아야 한다<sup>25,26</sup>. 교정 치료에 있어서 중요한 브라켓의 치아에 대한 최소의 결합력은 사용된 레진의 종류, 브라켓 베이스의 디자인, 법랑질의 성질, 교합, 브라켓의 위치, 장치에 작용되는 힘, 부식에 대한 법랑질의 저항력 등에 의해 좌우되기 때문에 아직까지도 정확한 수치가 알려져 있지 않지만, Keizer등<sup>27</sup>에 의하면 교정용 브라켓이 생리적이고 기계적인 힘을 견디기 위해 최소 29kg/cm<sup>2</sup>가 필요하다고 하였으며, Lopez<sup>28</sup>는 60-80kg/cm<sup>2</sup>, Reynold<sup>29</sup>는 50kg/cm<sup>2</sup>가 필요하다고 하였다.

광중합형 레진접착제의 전달경합강도에 대한 연구를 살펴보면, King등<sup>16</sup>은 광중합형 접착제를 사용하여 금속 브라켓을 접착시 화학중합형 접착제에 비해서 낮은 강도를 보인다고 보고한 바 있고, Greenlaw등<sup>14</sup>은 접착 30시간 후의 광중합형 접착제의 전달결합강도가 화학중합형 접착제에 비해서 1/2밖에 안된다고 하였으며, Lovis등<sup>30</sup>은 임상에서 사용할때 전치부에 비해



A



B



C

Fig. 4. Scanning electron micrographs of failed bonded orthodontic brackets, : A) bracket-resin interface failure : B) enamel-resin interface failure : and C) resin itself failure.

서 광선의 접근이 비교적 어려운 소구치 부위에서 탈락율이 높다고 보고한 바 있다. 그러나 본 연구의 결과를 살펴볼 때 광중합형 접착제와 화학중합형 접착제를 사용하여 부착한 금속 브라켓의 법랑질 표면에 대한 전단결합강도는 광중합형 접착제가 크게 나타났다( $P < 0.01$ ). 표준편차는 대개 두군이 비슷하였고, 전단결합강도치의 편차는 실험과정 중 시편의 위치, 접착레진 두께의 변화, 접착중에 생긴 기포, 미세누출의 가능성, 부식양상과 깊이, 광원의 강도, 광원의 투과깊이에 영향을 받은 것 같다.

광중합형 레진접착제는 diketone과 amine이 중합개시제인데, diketone이 420-480nm 파장의 광선에 의해 자유라디칼을 형성하여 중합반응이 개시되므로 광원에 노출되는 시간이 중요하지 않을 수 없다. 이점에 대해 Wang과 Meng<sup>15)</sup>은 광원에 40초, 또는 60초 노출된 광중합형 레진접착제가 20초 노출된 때와 화학중합형 레진접착제를 사용했을 때보다 더 결합강도가 우수하다고 보고하였고, 한쪽에만 조사하는 것 보다는 4면의 브라켓 주변을 모두 중합시켜야 한다고 하였다. 또한 40초와 60초 중합시 결합강도가 서로 비슷한 것을 관찰하고, 광선을 일정시간 이상 초과하여도 접착강도가 증가하는 것이 아니므로 40초의 조사시간이 임상적으로 가장 추천할 만하다고 하였다. 이것은 120초를 중합시켜야 한다는 King<sup>16)</sup>의 주장과는 상반된 것이긴 하지만, 실제 임상에서는 작업시간의 감소가 중요하므로 본 연구에서도 절단면, 근심면, 치은면과 원심면에서 각각 10초씩 조사하였다.

불소유리 광중합형 접착제는 교정치료 동안에 브라켓 주변과 band하방의 탈석회화를 막아 우식의 발달을 방지한다고 알려져 있는데, Ella등<sup>30)</sup>에 의하면 불소는 수분 내에서 유리되고, 적어도 2년동안 지속성을 가지며, 불소는 glass filler 입자에 결합되지 화학결합에는 참여하지 않기 때문에 결합력이 화학중합형 접착제에 비해 떨어지지 않는다고 하였다. 본 연구에 사용한 Lightbond도 불소 유리형으로서 Chan등<sup>30)</sup>은 불소유리 광중합형 접착제가 화학중합형 접착제보다 접착강도가 낮다고 하였지

만, 본 연구의 결과는 Sonis와 Snell<sup>24)</sup>, Ella등<sup>30)</sup>의 결과와 일치하였다.

치아와 브라켓 파절양상에 관하여 Dickinson등<sup>33)</sup>과 Knoll등<sup>34)</sup>은 금속 브라켓의 경우, 브라켓 기저부에 응력이 집중되기 때문에 기저부의 형태나 접착제의 계면에서 탈락이 일어난다고 하였으나, O'Brien등<sup>35)</sup>은 브라켓 접착면의 디자인과 사용된 접착제의 종류에 따라 각기 서로 다른 탈락양상을 보인다고 주장하면서 광중합형 접착제는 법랑질과 접착제 계면에서 주로 탈락한다고 하였다. Maskeroni등<sup>36)</sup>은 자연치아에서 금속 브라켓의 제거시에 브라켓과 접착제 계면에서 분리가 일어나 대부분의 레진이 치아에 남는다고 했으며, 도재 브라켓은 법랑질과 접착제 계면에서 일어난다고 하였다. 또한 Wang과 Meng<sup>15)</sup>은 브라켓 파절양상을 브라켓과 접착제, 접착제 자체, 법랑질과 접착제 사이로 구분하여 관찰하였는데, 광중합 및 화학중합형 접착제 모두 세가지 양상에서 유의성 있는 차이를 발견하지 못했다. 본 연구에서는 광중합형 레진접착군에서는 주로 법랑질과 접착제 계면, 화학중합형 레진접착군에서는 접착제 내부의 파절이 많은 것으로 보아서 접착제 종류에 따라 브라켓 파절 양상이 달라짐을 알 수 있었다. 광중합형 접착군에서 주로 법랑질과 접착제 계면 파절이 많은 이유는 광중합형 접착제가 점도가 높기 때문에 브라켓 기저부에 비해 미세하게 부식된 치아면을 잘 침투하지 못하기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 이 결과는 결합력이 증가함에 따라 법랑질과 접착제 계면의 파절이 증가한다는 선행들의 보고<sup>33, 37, 38)</sup>와 일치하였다.

광중합형 접착제는 법랑질과 접착제 계면부에서 주된 파절양상을 보인것과 filler 함량이 적은 점을 고려할때, 잔존 레진 제거시에 hand instrument만으로도 충분하므로 회전기구에 의한 법랑질 손상이 더 적을 것으로 사료된다. 화학중합형 접착제는 주로 접착제 내부의 파절이 많고 filler 함량이 많기 때문에 debonding과 세마시에 회전기구의 사용이 불가피함에 따라 법랑질 손실이 더 클 것으로 예견되고, 이것은 곧 Pus와 way<sup>39)</sup>의 의견과 일치된다.

본 연구에서 광중합형 접착제인 Lightbond는 브라켓이 주로 법랑질과 접착제 경계부에서 탈락되며 법랑질 자체의 파절은 나타나지 않았으므로, 연구에 사용된 접착제의 브라켓 탈락양상이 임상적으로 debonding시 바람직한 결과를 보일 것으로 사료된다. 광중합형접착제가 화학중합형 접착제에 비해 접착 24시간 후의 전단결합강도가 유의성 있게 크게 나타난 결과로 보아 광중합형 접착제를 금속브라켓 접착에 사용시 광조사하기 전에는 경화되지 않기 때문에 브라켓을 정확히 위치시킬 수 있고, 과도한 flash의 제거와 칩결이 용이하므로 임상적 효율성이 크다고 볼 수 있다. 그러나 모든 치아에 광중합형 레진접착제를 이용하여 한번에 브라켓을 접착하는 경우에는 화학중합형 보다 더 많은 시간이 소요될 수 있으므로 앞으로 이점에 대해 장기간에 걸친 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

광중합형 레진접착제인 Lightbond bonding system(Reliance orthodontics, USA)과 화학중합형 레진접착제인 Mono-Lok2 bonding system(Rocky-Mountain orthodontics, USA)을 선택하여 건전한 제1소구치가 매몰된 레진블록상에 금속브라켓을 접착한 후 37°C, 100% 상대습도에 24시간 경과시키고 만능물성 시험기를 이용하여 전단결합강도를 측정하고, 파절양상을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평균 전단결합강도가 광중합형 레진접착제에서  $240.90 \pm 31.93 \text{ kg/cm}^2$ , 화학중합형 레진접착제에서는  $191.96 \pm 39.27 \text{ kg/cm}^2$ 로 광중합형 레진접착제를 사용했을 때가 크게 나타났다( $p < 0.01$ ).
2. 브라켓 파절양상은 광중합형 레진접착제에서는 주로 법랑질과 접착제 계면이었고, 화학중합형 레진접착제에서는 접착제 내부의 파절이 많았으며, 두군 모두 브라켓과 접착제 계면의 파절은 거의 관찰되지 않았다.

3. 모든 시편에서 법랑질 균열(crack)은 관찰되지 않았다.

이상의 결과로 볼때 광중합형 레진접착제를 이용한 금속 브라켓의 직접접착은 임상에서 충분히 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 참고문헌

1. Buonocore MG. : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface, J. Dent. Res., 43 : 849-853, 1955.
2. Newman GV. : Epoxy adhesives for orthodontic attachments : progress report, Am. J. Orthod., 51 : 901-912, 1965.
3. Retief DH, Dreyer CJ. : The direct bonding of orthodontic attachments to teeth by means of an epoxy resin adhesive, Am. J. Orthod., 58 : 21-40, 1970.
4. Phillips RW. : Skinner's science of dental materials, 8th ed. Philadelphia. : WB Saunders, 216-247, 1982.
5. Newman SM, Murray GA, Yates JL. : Visible lights and visible light-activated composite resins, J. Prosthet. Dent., 50 : 31-35, 1983.
6. Ruyter IE, Øysaer H. : Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials, Acta odontol. Scand., 40 : 179-192, 1982.
7. Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B. : Visible light-activated resins : depth of cure, J. Am. Dent. Assoc., 106 : 634-637, 1983.
8. Reynolds IR. : A Review of direct bonding, Br. J. Orthod., 2 : 171-178, 1975.
9. Ødegaard J, Segner D. : The use of visible light-curing composites in bonding ceramic brackets, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 97 : 188-193, 1990.
10. Silverman E, Cohen M, Gianelly AA, Dietz VS. : A universal direct bonding system



- for both metal and plastic brackets, Am. J. Orthod., 62 : 236-244, 1972.
11. Silverman E, Cohen M. : Current adhesives for indirect bracket bonding, Am. J. Orthod., 65 : 76-84, 1974.
  12. Tavas MA, Watt DC. : The bonding of Orthodontic brackets by transillumination of a light activated composite : An *in vitro* study, Br. J. Orthod., 6 : 207-208, 1979.
  13. Read MJF. : The bonding of orthodontic attachment using a visible light cured adhesive, Br. J. Orthod. 11 : 16-20, 1984.
  14. Greenlay R, Way DC. : 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.
  15. Wang WN, Meng CL. : A study of bond strength between light-and self-cured orthodontic resin, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 101 : 350-354, 1992.
  16. King L, Smith RT, Wendt SL, Behrents RG. : Bond strength of lingual orthodontic brackets bonded with light-cured composite resins cured by transillumination, Am. J. orthod. Dentofac. Orthop., 91 : 312-215, 1987.
  17. Andreasen G, Fah CJ, Bishara S. : Autopolymerized and light-cured composite resin used for orthodontic bonding : Shear bond strength comparison, IADR abstracts, 295, 1984.
  18. Joseph UP, Rossow E. : The shear bond strengths of stainless steel and ceramic brackets used with chemically and light-activated composite resins, Am. J. Orthod., 97 : 121-125, 1990.
  19. Tabor BA. : A histologic comparison of microleakage under ultraviolet light-polymerizing and auto-polymerizing direct bond systems performed *in vivo*, Am. J. orthod., 70 : 221, 1976.
  20. Harris AMP, Joseph VP, Rossouw E. : Comparison of shear bond strengths of orthodontic resins to ceramic and metal bracket, J. Clin. Orthod., 24 : 725-728, 1990.
  21. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. : Incidence of white spot formation after bonding and banding. Am. J. Orthod. Dentofacial. Orthop., 81 : 93-98, 1982.
  22. Mizrahi E. : Surface distribution of enamel opacities following orthodontic treatment, Am. J. Orthod., 84 : 232-331, 1983.
  23. Underwood ML, Rawls HR. : Clinical evaluation of a fluoride-exchanging resin as an orthodontic adhesive, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 96 : 93-99, 1989.
  24. Sonie AL, 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.
  25. Surmont P, Dermaut L, Marten L, 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.
  26. Brown : Orthodontic mat. update, Br. J. Orthod., 15 : 277-279, 1988.
  27. Keizer S, Ten Cate JM, Arends J. : Direct bonding of orthodontic brackets, Am. J. Orthod., 69 : 318-27, 1976.
  28. Lopez JL. : Retentive shear strengths of various bonding attachment bases, Am. J. Orthod., 77 : 669-78, 1980.
  29. Reynolds JR. : A review of direct orthodontic bonding, Br. J. Orthod., 2 : 171-8, 1975.
  30. Lovius BBJ, Pender N, Hewage SO, O'Dowling I, Tomkins A. : A clinical trial of a light activated bonding material over an 18 months period, Br. J. Orthod., 14 : 11-20, 1987.

31. Ella A, Ng'ang'a PM, Dahn S. : Tensile bond strength of orthodontic brackets bonded with a fluoride-releasing light-curing adhesive. : An *in vitro* comparative study. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 104 : 48 – 50, 1993.
32. Chan DCN, Swift EJ, Bishara SE. : *In vitro* evaluation of a fluoride releasing orthodontic resin, J. Dent. Res., 69 : 1576–1579, 1990.
33. Dickinson PT, Powers JM. : Evaluation of fourteen direct bonding orthodontic bases, Am. J. Orthod., 78 : 630–639, 1980.
34. Knoll M, Gwinnett AJ, Wolff MS. : Shear strength of brackets bonded to ant. and post. teeth, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 89 : 476–479, 1986.
35. O'Brien KD, Read MJF, Sandison RJ, Roberts CT. : A visible light activated direct bonding material : An *in vivo* comparative study, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 95 : 348–351, 1989.
36. Maskeroni AJ, Meyers CE, Lorton L. : Ceramic bracket bonding : A comparison of bond strength with polyacrylic acid and phosphoric acid enamel conditioning, Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop, 97 : 136–143, 1990.
37. Majjer R, Smith DC. : Variables influencing the bond strength of metal orthodontic bracket bases, Am. J. Orthod., 75 : 121 – 137, 1979.
38. Pender N, Dresner E, Wilson S, Bowles R. : Shear strength of orthodontic bonding agent, Eur. J. Orthod., 10 : 374–379, 1988.
39. Pus MD, Way DC. : Enamel loss due to orthodontic bonding with filled and unfilled resins using various clean-up techniques, Am. J. Orthod., 77 : 269–283, 1980.