

## 유구치 I급 와동에서 와동벽 위치와 중합광원에 따른 Microtensile Bond Strength 비교 연구

이현현 · 장철호 · 김영재 · 김정욱 · 장기택

서울대학교 치과대학 소아치과학교실 및 임상치의학연구소

### 국문초록

이번 실험에서는 중합수축 응력이 가장 크게 나타나는 유구치 I급 와동에서 와동벽의 위치와 중합광원의 변화에 의해 다르게 나타나는 응력의 차이를 microtensile bond strength (MTBS)를 이용하여 알아보는 것을 목적으로 하였다.

교합면 법랑질을 제거한 하악 제 2유구치 30개를 준비하여 I급 와동을 형성하였다. 제조사의 지시에 따라 상아질 접착제를 도포 후 3가지 중합광원: 할로겐 램프, 플라즈마, 발광다이오드를 이용하여 10개씩 광중합하였다. 복합레진을 한꺼번에 충전 후 각각의 중합기로 광중합하였다. 동일 치아에서 각각 치수벽과 측벽의 MTBS 측정용 시편을 제작하고 각 군을 중합광원과 와동벽 위치에 따라 할로겐 램프 - 측벽군, 할로겐 램프 - 치수벽군, 플라즈마 - 측벽군, 플라즈마 - 치수벽군, 발광다이오드 - 측벽군, 발광다이오드-치수벽군의 6개 군으로 분류하였다. 만능시험기에서 MTBS를 측정하고 파절편과 와동의 단면을 SEM을 이용하여 관찰하였다. 동일 중합광원에서 와동벽 간 비교는 T-test, 동일 와동벽에서 중합광원 간 비교는 One-way ANOVA와 Tukey's post hoc test를 이용하였고 Weibull 분포분석을 하였다.

동일 중합광원 군간 비교에서 모두 치수벽 시편의 접착강도가 측벽 시편에 비해 유의하게 높았으며 동일 와동벽 군간 비교에서 모두 중합광원에 따른 접착강도가 유의한 차이를 보이지 않았다. 측벽 시편이 치수벽 시편보다 낮은 Weibull 변수(m)를 나타내었고 SEM 관찰 결과 측벽 시편에서 보다 더 불균일한 접착이 이루어진 것을 알 수 있었다.

**주요어** : Microtensile Bond Strength, 유구치, I급 와동, C-factor, 중합광원, Weibull 분포분석

### I. 서 론

복합레진이 중합반응하여 단량체가 중합체로 되는 과정에서 나타나는 수축은 이들 재료의 다양한 이점들을 위협하는 단점의 원인으로 지적되어 왔다<sup>1)</sup>. 이러한 중합수축은 수복물 전체에 응력(stress)으로 작용하여 수복물 실패를 일으키는 원인이 된다. 중합수축의 대부분은 수복재료의 겔화(gelation) 직후의 초기 중합기간 동안 일어나며 응력의 발생률은 시간이 경과되면

서 줄어든다. 겔화 이전의 상태에서 복합레진은 재료의 흐름성으로 인해 응력이 완화된다<sup>2,3)</sup>. 그러나 이 기간에 완화되지 못한 응력이 상아질 접착제의 접착강도를 능가할 경우 계면의 분리가 일어나게 되며 국소적 간극 형성, 치질의 파괴 또는 교두의 휨 등을 유발하게 된다. 계면의 분리나 치질의 파괴가 일어날 경우 미세누출이 일어나 타액과 미생물의 출입을 허용하게 된다. 이러한 누출은 계면의 변색, 이차 우식, 수복물의 수명 단축의 원인이 되며 짧은 기간 동안에는 술 후 민감성의 원인이 될 수 있다<sup>4)</sup>.

심미 수복재가 치질에 접착될 때 한 개 이상의 와동벽이 존재할 경우 상호작용으로 레진의 수축이 응력으로 전환되어 증폭되는 현상이 일어난다. 이러한 현상은 와동의 형태에 따라 결정되며 Feilzer와 de Gee<sup>5)</sup>는 C-factor라 지칭하였다. C-factor는 비부착면에 대한 부착면의 비율로 얻어지며 응력을 나타내

교신저자 : 장기택

서울시 종로구 연건동 28-1

서울대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel: 02-2072-3819

E-mail: jangkt@snu.ac.kr

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임 (03-PJ1-PG1-CH09-0001).

**Table 1.** Curing units

Type	Code	Wave Length	Intensity (nm)	Curing Time(s) (mW/Cm <sup>2</sup> )	Model & Manufacturer
Halogen	H	420-500	680-750	20	Curing Light 2500(3M ESPE)
Plasma	P	380-520	1900	5 <sup>†</sup>	Flipo(Lobel)
LED	L	440-490	800-980	15 <sup>‡</sup>	Elipar Freelight 2(3M ESPE)

\* The light intensity and wave length are based on manufacturers' data  
 † 3s at 50% power & 2s at 100% power  
 ‡ Exponential mode

는 간접적인 지표가 된다. Choi 등<sup>6)</sup>은 C-factor가 증가할수록 접착강도가 낮아지는 현상을 관찰하여 이들 간의 연관성을 제시하였다.

연구방법의 제한성 때문에 C-factor로 인한 접착강도의 변화를 알아내는 것은 쉽지 않은 일이었으나 Sano 등<sup>7)</sup>이 microtensile bond strength test(MTBS)를 제안한 이후로 많은 실험들이 이루어졌다. MTBS test는 1 mm<sup>2</sup>이내의 작은 면적에서의 인장강도 실험이 가능하며 하나의 치아에서 여러 개의 시편을 얻어 동시에 다른 부위의 접착강도 실험이 가능하다. 본 실험에서는 MTBS test를 이용하여 하나의 치아에서 두 가지 종류의 시편을 얻을 수 있는 설계가 가능하였고 시편 간 오차를 최대한 줄일 수 있었다.

복합레진의 중합에 사용되는 중합광원은 중합수축을 개시하는 요소이며 따라서 이를 조절하여 응력을 최소화하려는 노력이 많이 이루어졌다<sup>8-11)</sup>. 가장 널리, 오랫동안 사용되고 있는 할로젠-텅스텐 중합광원(Quartz Tungsten Halogen; QTH)은 비용이 저렴하고 광원의 스펙트럼이 넓어 다양한 종류의 광기시제 시스템에 적용이 가능하다. 그러나 사용하면서 광밀도가 감소하며 전구나 필터를 교체해야 하는 단점이 있다. 최근 주목 받는 광원의 하나인 플라즈마 광중합기(Plasma Arc Curing system; PAC)는 가장 높은 광밀도를 가지고 있어 중합시간을 단축시켜 주기 때문에 특히 소아치과 영역을 중심으로 빠르게 퍼져나가고 있다. 하지만 빠른 중합시간으로 중합수축이 증가하는 단점과 높은 구입비용이 할로젠을 빠르게 대체하는 데 걸림돌이 되고 있다. 가장 최근에 소개된 광원은 발광다이오드(Light Emitting Diodes; LED)로 470 nm 근처의 좁은 영역의 스펙트럼에서 높은 광밀도를 제공한다. 또한 반도체를 이용하여 광원을 만들어내기 때문에 시간이 지남에 따른 광밀도 감소가 일어나지 않고 냉각에 필요한 팬이 필요없어 소음이 없는 장점이 있다. 그러나 초기 1세대 중합광원의 경우 2 mm가 넘는 복합레진 시편을 충분히 중합시키지 못하는 광밀도를 보여 주었다. 현재의 2세대 제품들은 성능이 개선되어 할로젠 광중합기와 유사한 중합능을 보여주는 결과들이 나타나고 있다<sup>12)</sup>.

이번 실험에서는 높은 C-factor를 갖는 유구치 1급 와동을 형성한 후 한번에 충전하는 방법으로 최대응력이 발생할 때 와

동벽의 위치와 중합광원의 변화에 의해 나타나는 응력의 차이를 MTBS를 이용해 알아보고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 와동형성과 수복과정

건전하거나 법랑질에 제한된 우식 및 수복물이 있는 30개의 발거된 하악 제 2유구치를 준비하였다. 진료실 내에서는 포르말린 용액에 보관하였고 실험 1개월 전부터는 4℃의 0.5% Chloramine-T solution에 보관하였으며 모든 치아는 발거 후 6개월 이내의 것을 사용하였다. 이들은 2×2×2 Cm의 아크릴 몰드에 자가 중합형 교정용 상 레진(Ortho-Jet; Lang Dental Mfg Co. Inc., IL, USA)을 이용하여 교합면이 수평이 되게 치아를 고정시켰다. #500 grit의 SiC paper(Struers, Ballerup, Denmark)로 유수냉각 하에 연마하여 교합면 법랑질을 모두 제거하였다. 교합면 중앙에 원통형 다이아몬드 버(ISO SF-13, Mani, Japan)를 이용하여 약 2×4×2 mm(W×L×H)의 1급 와동을 형성하였다. 와동이 형성된 치아들은 임의로 3개의 군으로 나누어 각각 지정된 광중합기로 중합하였다. 실험에 사용하기 위하여 준비된 광중합기들을 다음에 나열하였다(Table 1). 제조사의 지시에 따라 35% 산부식제 (Scotchbond™ Etchant; 3M ESPE, MN, USA)로 15초간 산부식하고 10초간 수세한 후 압축공기로 잉여수분을 제거하였다. 상아질 접착제 (Adper™ Single Bond 2; 3M ESPE, MN, USA)는 제조사의 지시에 따라 10~15초 동안 2회 도포 후 5초 동안 압축공기로 용매를 증발시키고 각 광중합기로 중합하였다. 와동에 복합레진(Filtek™ Z250; 3M ESPE, MN, USA)을 한꺼번에 충전하고 각 광중합기로 중합하였다. 실온의 증류수에서 24시간 동안 보관 후 5~55℃ 열순환 500회(약 3분/회)를 시행하였다.

### 2. 시편 제작과정 및 시험과정

MTBS 시험용 시편을 제작하기 위해서 저속 다이아몬드 디스크(Isomat; Buehler Ltd. IL, USA)를 이용하여 치아를 근

**Table 2.** Grouping

	Axial Wall	Pulpal Wall
Halogen	HA	HP
Plasma	PA	PP
LED	LA	LP

원심 방향, 협설 방향으로 절단하여 4개의 치수벽 시편을 얻고 나머지를 교합면에서 치근 방향으로 절단하여 측벽 시편을 얻는다. 얻어진 시편은 중합된 광원, 와동벽의 위치에 따라 6개의 군으로 나누었다(Table 2). 모든 시편의 크기는 약 0.7×0.7×4 mm (W×L×H)인 막대 모양으로 하였고 접착면의 면적은 약 0.5 mm<sup>2</sup>이 되도록 유지하였다. 시편의 접착면은 전자식 캘리퍼를 이용하여 측정, 계산하였다. 시편을 얻는 과정을 Fig. 1에서 도식화 하였다.

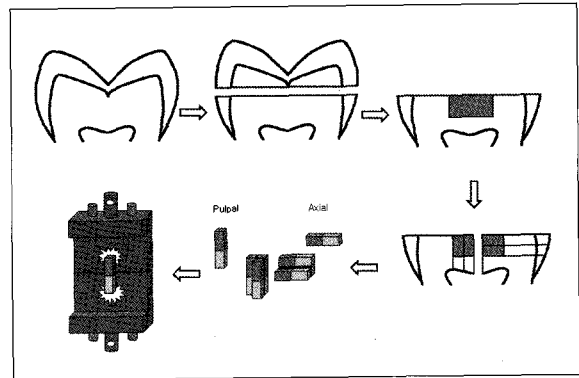
MTBS는 만능시험기 (LF-PLUS; Lloyd instrument, UK)에서 cross head speed 1 mm/min으로 하여 계측하였다. 시편은 특별히 제작된 알루미늄 홀더에 순간접착제로 부착한 후 측정하였다. 알루미늄 홀더는 마찰이 최소화된 내부 가이드 레일에 의해 내부 움직임이 제한된 상태로 상하운동만이 가능하도록 제작되었다. 계측 후에는 단면을 실체현미경(SZ60 series; Olympus optical Co. Ltd, Tokyo, Japan)으로 관측하여 파절 양상을 판별하였다.

### 3. SEM 관찰

각 시편의 파절면을 관찰하기 위해 주사전자현미경(FES-EM; S-4700, Hitachi Scientific Instruments, CA, USA)으로 촬영하였다. 파절편들을 직경 2.5 cm의 아크릴 디스크에 고정시킨 후 초음파 세척기에서 1분간 세척하고 완전 건조시켰다. Osmium peroxide를 도포한 후 관찰하였다. 파절 전의 접착양상 관찰을 위해서 시편제작 후 남은 절편들을 이용하였다. 시편은 아크릴 디스크에 고정된 상태로 초음파 세척하였고 0.2 N HCl에서 10초 산부식 처리 후 수세, 완전 건조, Osmium peroxide 도포 후 관찰하였다.

### 4. 통계분석

각 군간 실험 데이터의 통계적 분석을 위하여 동일한 광중합기 중합군 내에서 와동벽에 따른 MTBS의 차이는 Student T-test(p<0.05)를 이용하여 검정하였다. 동일 와동벽 군에서 광중합기에 따른 MTBS 차이의 유의성을 검정하기 위해 One-way ANOVA (p<0.05)와 Tukey's post hoc test를 시행하였다. 통계 프로그램은 SPSS 12.0K for Windows(SPSS Inc., IL, USA)를 이용하였다. Weibull 분포분석을 위해서 각 군의 고유 강도인 So와 m 값을 구하였다.



**Fig. 1.** Schematic presentation of the preparation of specimens.

## III. 결 과

### 1. Microtensile Bond Strength

얻어진 MTBS 측정값을 Table 3과 Fig. 2에 나타내었다. 측벽에 비해 치수벽의 MTBS가 모든 군에서 유의하게 높았다 (p<0.05). 서로 다른 중합광원에 따른 치수벽의 MTBS는 LED에서 가장 높으며 PAC, QTH의 순서로 낮아졌으나 통계적으로 유의하지 않았다(p=0.973). 서로 다른 중합광원에 따른 측벽의 MTBS는 QTH에서 가장 높았고 LED, PAC의 순서로 낮아졌으나 역시 통계적으로 유의하지 않았다(p=0.480).

MTBS 시험의 경우 시편을 얻는 과정이 술자의 기술 숙련도에 매우 민감하며 시편의 크기가 작아 제작 과정에서 소실되는 경우가 많았다. 이번 실험에서도 제작과정에서 총 28개의 시편이 소실되었으며 이는 전체의 11.67%에 해당한다. 제작 과정 중 가장 많은 소실을 보인 것은 PA군이며 HA > PP > LP > LA > HP의 순서를 보였다. 와동벽으로 분류해 볼 경우 측벽에서 19개, 치수벽에서 9개의 소실을 보여 측벽 시편의 소실률이 더 높았다. 테스트 과정에서도 작은 크기로 인하여 마운팅하는 과정이나 순간접착제의 접착 오류로 실패하는 경우가 존재하였다. 테스트 과정 중 소실된 시편의 개수는 23개이며 이는 MTBS 측정시편들 중 10.85%에 해당하였다. 가장 높은 소실률은 LA군에서 보였으며 LP > HP > PP > HA > PA 순서의 소실률을 보였다. 와동벽으로 나눌 경우 측벽이 9개, 치수벽이 14개의 소실을 보여 MTBS 측정과정 중에서는 치수벽의 소실률이 더 높았다.

대부분의 시편들은 접착층 내에서 파절을 보였으며 상아질이나 레진으로 이어지는 양상으로 파절되었다. 상아질 내부 또는 레진 내부에서 파절을 보이는 것을 응집결합실패(cohesion failure)로 분류하였다. 그러나 레진 내에서 파절된 것은 관찰할 수 없었다. 시편 제작과정, MTBS test 도중에 파절된 것 중 총 37개의 시편이 응집파괴양상(cohesion failure mode)을 보였으며 측벽 시편이 59.46%로 치수벽 시편보다 높게 나타났다.

2. Weibull analysis

Weibull distribution 변수인  $S_0$ ,  $m$ , 상관계수(correlation coefficient:  $r$ )를 Table 4에 나열하였다. Fig. 3에서 모든 군의 Weibull 누적실패곡선을 나타내었고 Fig. 4, 5, 6에 각각의 중합광원별 Weibull 누적실패곡선(Weibull cumulative failure curves)을 나타내었다.

3. SEM

파절면의 SEM 촬영에서 대부분의 시편들이 접착실패양상에서 상아질이나 레진으로 뺏어나가는 양상이 관찰되었으며 접착

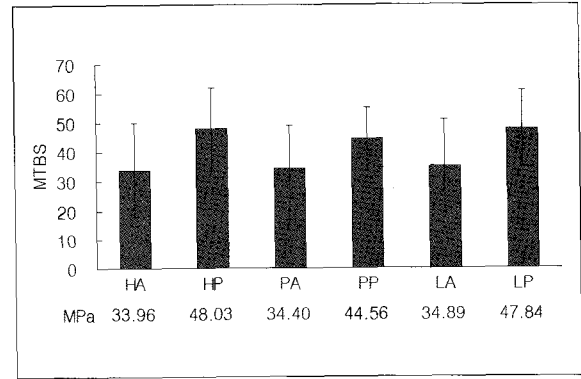


Fig. 2. Mean MTBS.

Table 3. MTBS results

Curing Unit	No of teeth used	Wall position	Total No. of specimens tested	Specimens excluded from results	Cohesive failure mode	Mean MTBS (MPa)	SD
QTH	10	A	32	2	8	33.96 <sup>A</sup>	16.17
		P	39	5	5	48.03 <sup>A</sup>	14.11
PAC	10	A	31	-	7	34.40 <sup>B</sup>	14.64
		P	35	4	6	44.56 <sup>B</sup>	10.74
LED	10	A	38	7	7	34.89 <sup>C</sup>	16.26
		P	37	5	4	47.83 <sup>C</sup>	13.02

\* The same superscripts indicate that the groups are significantly different ( $p < 0.05$ ).

Table 4. Weibull distribution

Groups	$n$	Weibull parameter $m$	Characteristic strength of $S_0$ (MPa)	Correlation coefficient $r$
HA	30	2.73	38.06	0.935
HP	34	3.67	53.38	0.992
PA	31	2.56	38.83	0.99
PP	31	4.73	48.72	0.982
LA	31	2.23	39.49	0.982
LP	32	4.14	52.68	0.993

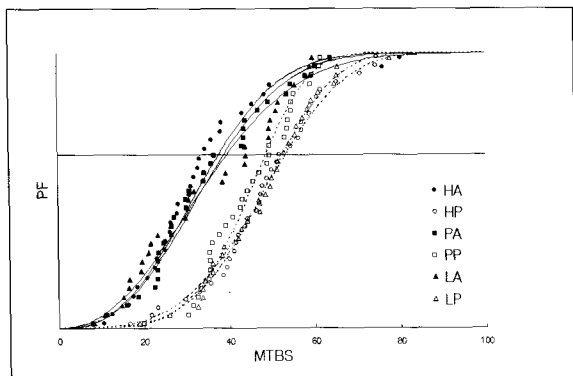


Fig. 3. The Weibull cumulative failure curves of all groups (PF: Probability of Failure).

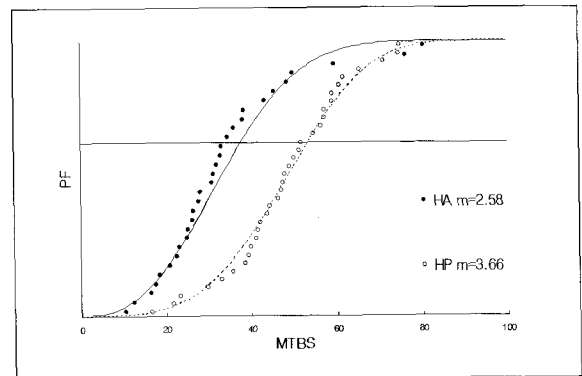
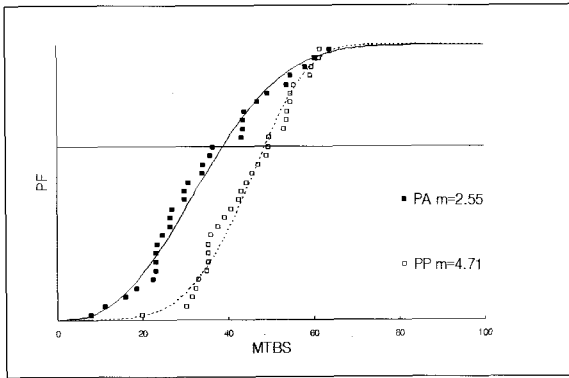


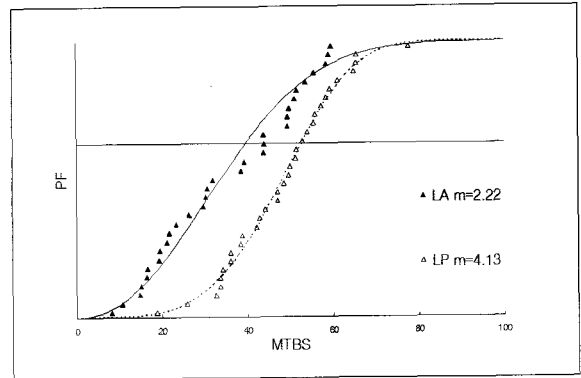
Fig. 4. The Weibull cumulative failure curves of QTH (PF: Probability of Failure).

층에 한정된 파절면은 관찰되지 않았다. 파절면 중 가장 많은 면적을 차지하는 것은 혼성층(hybrid layer) 상부와 접착층(adhesive layer) 사이였다. 파절면의 전형적인 SEM 양상은 축벽 시편(LP)의 파절면에서 잘 나타나고 있었다(Fig. 7, 8).

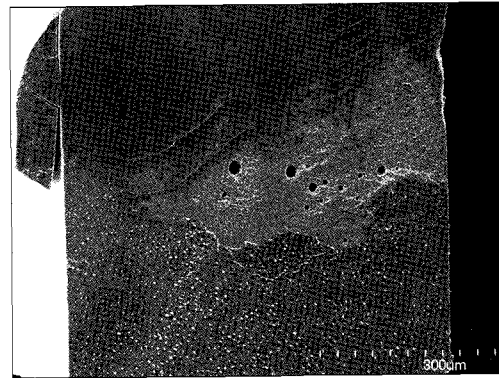
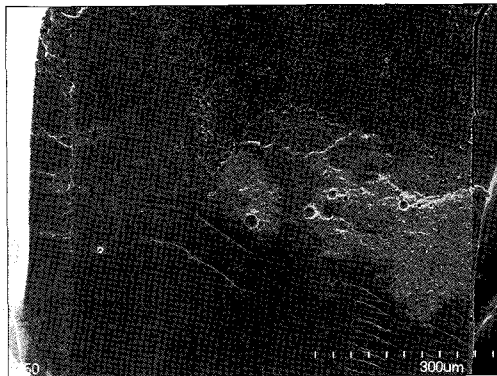
부서지기 쉬운 물질의 전형적인 파절 양상인 거울상, 깃털무늬 영역이 모두 관찰 되었다. 기포가 관찰되는 시편도 존재하였으며 이 경우 균열이 기포에서부터 시작되는 양상이 관찰되었다(Fig. 7). 기포가 존재하지 않으며 균일한 접착이 이루어진 경



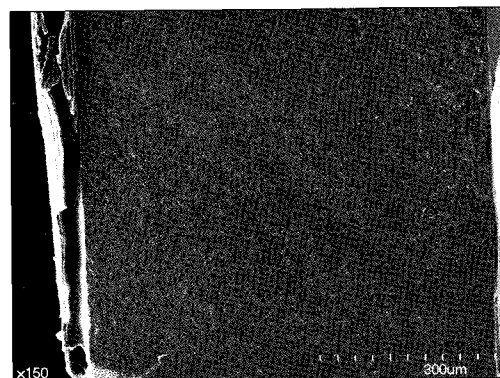
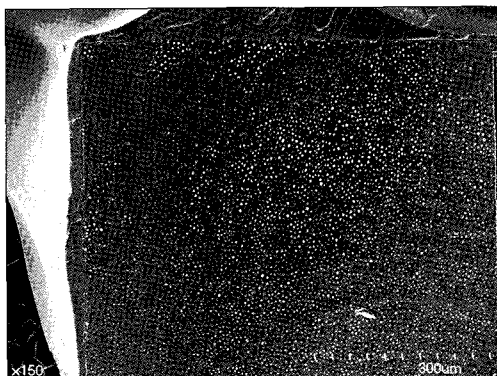
**Fig. 5.** The Weibull cumulative failure curves of PAC (PF: Probability of Failure).



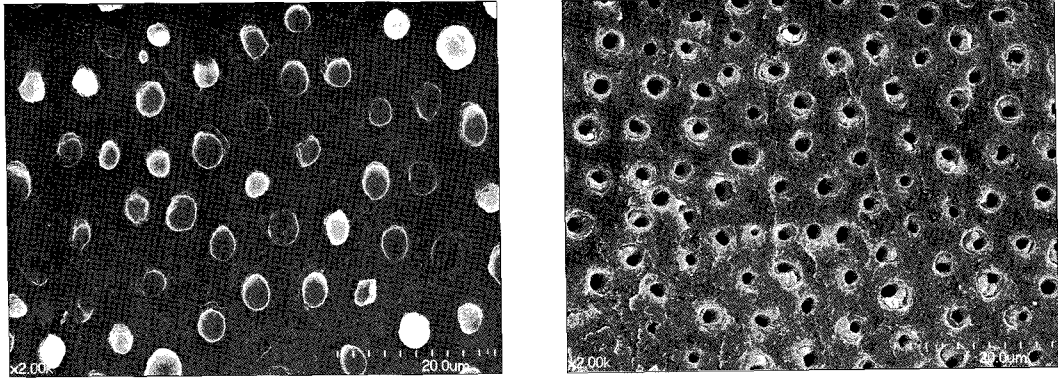
**Fig. 6.** The Weibull cumulative failure curves of LED (PF: Probability of Failure).



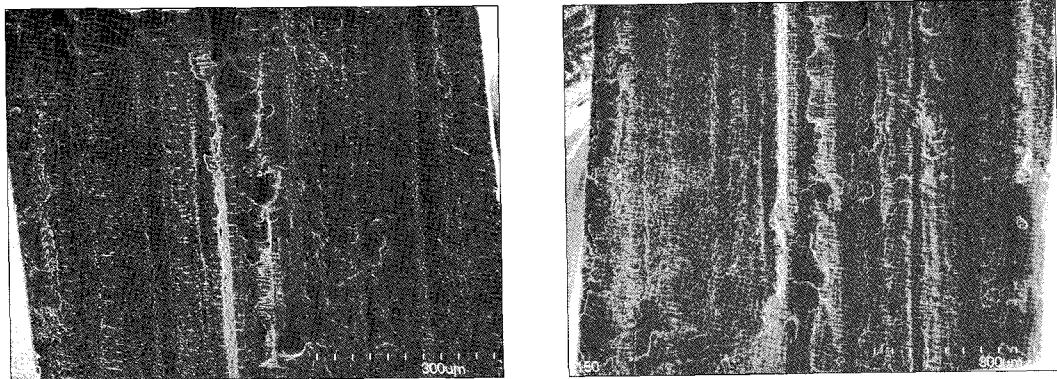
**Fig. 7.** SEM of both opposite fracture surface of pulpal wall specimen(LP) at 150 $\times$ . Specific features of MTBS test specimen were observed: voids, hackle shape, mirror, dentinal tubules, resin micro tags.



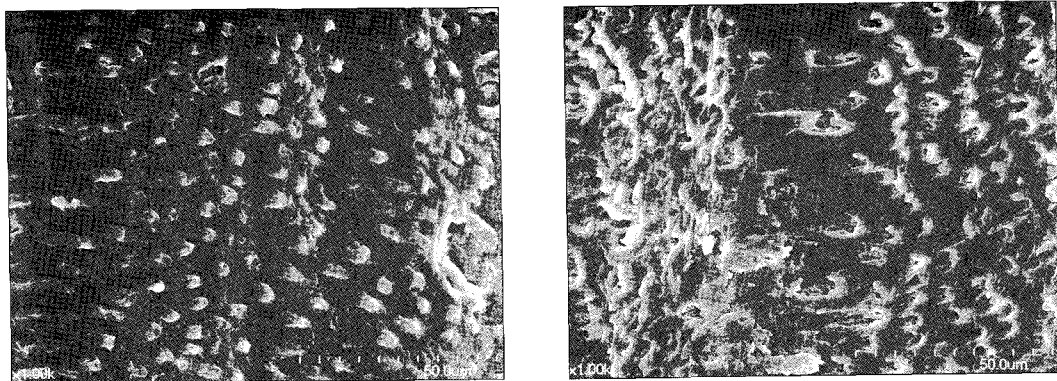
**Fig. 8.** SEM of both opposite fracture surface of pulpal wall specimen(LP) at 150 $\times$ .



**Fig. 9.** SEM of each specimen of Fig. 7 at 2000 $\times$ . Left) Resin micro tags, Right) Dentinal tubules.



**Fig. 10.** SEM of both opposite fracture surface of axial wall specimen(LA) at 150 $\times$ . Specific features were observed; voids, bur scratch patterns.



**Fig. 11.** SEM of each specimen of Fig. 10 at 1000 $\times$ . Left) Short & oblique resin micro tags, Right) Oblique patterns of dentinal tubules.

우 가장 약한 부위인 혼성층 상방에서 파절이 진행되는 것을 잘 관찰할 수 있었다(Fig. 8, 9). 측벽 시편(LA)의 파절면에서는 다이아몬드 버로 인해 굽힌 자국의 형상이 잘 관찰되었으며 불규칙한 면 때문에 생긴 큰 기포가 관찰되었다(Fig. 10). 상아세관은 사선방향을 보였으며 이에 따라 레진 미세돌기도 짧은 사

선형을 보여주었다. 접착층을 관찰하기 위한 시편의 경우 치수벽의 접착층은 균일한 두께를 유지하며 상아세관 내로 미세돌기가 잘 형성되어 있는 것을 보이는 반면 측벽 시편의 접착층은 불균일한 상아질의 요철을 따라 얇게 형성되어 있었다(Fig. 11).

IV. 총괄 및 고찰

C-factor가 서로 다른 경우 응력 집중현상으로 접착강도에 차이가 나타나는 것은 많은 연구에서 알려져 있다<sup>13-17)</sup>. 특히 I급 와동에서 복합레진이 일시에 충전되고 광중합될 경우 매우 많은 응력이 발생한다<sup>1-3)</sup>. 전체 산부식 시스템하에서 I급 와동(C-factor=5)이 적용될 경우 평활면(C-factor=0.2)인 경우와 비교하여 MTBS가 24% 감소한다는 연구도 보고되었다<sup>6)</sup>.

이번 실험으로 얻어진 MTBS의 결과는 매우 넓은 분포를 보이고 있으며 이는 상아질 접착제나 MTBS test의 시술 민감도, 상아질의 복합적인 구조 등에 기인한다. 실험에 사용된 몇몇 유구치의 경우 그 크기의 제한으로 인하여 상방의 범람질을 제거한 후 깊이 2 mm의 와동을 형성하는 과정에서 남은 치수벽 상아질의 양이 매우 적어져 시편을 얻을 수 없는 경우도 나타났다. 서로 다른 상아질 깊이에 따른 접착강도 차이에 대한 연구들을 보면 깊은 상아질에서는 높은 접착강도를 얻을 수 없는 것으로 알려져 있다<sup>18-23)</sup>. 또한 유구치의 경우 영구치와는 달리 탈락시기의 유구치 치관을 이용하여 실험에 사용하기 때문에 상아질 및 상아세관의 변성이 존재할 것으로 추정되며 이에 따른 영향을 무시할 수는 없다. 이러한 원인들이 넓은 접착강도 분포를 설명할 수 있을 것이다.

Cehreli와 Akca<sup>24)</sup>는 유구치의 상아세관 방향에 따른 MTBS 접착강도 비교실험에서 C-factor의 영향 없이 동일 조건에서 측정할 경우 상아세관의 방향에 따라 수평으로 잘린 시편에서 가장 높은 MTBS를 얻었다고 발표하였다. 그러나 이 결과는 표준편차가 매우 크고 대부분의 결합력이 20 MPa 이하를 보이고 있어 단순 비교로만 이 결과를 평가하는 것은 무리가 있다. 보다 신뢰성 있는 결과 분포와 분석방법을 사용한 다른 결과가 없어 C-factor가 작용하지 않을 때의 접착강도와 본 실험을 비교할 수 있는 연구가 추후 필요하다.

레진이 중합수축 될 때 광원의 방향이 아닌 부착면의 방향으로 수축이 일어난다<sup>25,26)</sup>. Suh와 Wang<sup>26)</sup>은 C-factor가 증가함에 따라 비부착면이 감소되어 수축량은 더욱 증가한다고 하였다. 광탄성 분석(photoelastic analysis)을 이용한 응력집중 연구에서 I급 와동에 스트레스가 가장 많이 집중되는 곳은 선각(line angle)부분으로 나타나며 가장 늦게 중합되는 부위이기 때문에 원인을 설명하고 있다<sup>27)</sup>. 가장 늦게 중합이 되는 부분은 중합수축을 해소하는 역할을 하지만 반대로 높은 C-factor가 존재하는 경우 부착된 면으로 인해 최종 응력이 해소될 수 없어 내부응력이 집중되어 가장 높은 응력이 발생하는 부위가 된다.

Yoshikawa 등<sup>14)</sup>에 의하면 와동벽에 응력이 형성될 경우 위치에 따른 응력 차이도 존재하지만 결합강도 차이에 의한 응력 집중 현상도 나타난다고 하였다. 동일한 응력이 분포될 경우 보다 높은 결합강도를 갖는 부위에서는 결합의 고정원 역할을 하며 가장 약한 곳으로 응력이 모두 전달되어 결합을 더욱 약화시키는 결과를 가져온다고 주장하였다.

중합수축을 완화시키는 방법 중 탄성층을 이용하는 방법이 많이 소개되었고 최근 접착층 자체가 이러한 역할을 한다는 많은 연구들이 있었다<sup>6,28,29)</sup>. Choi 등<sup>6)</sup>은 I급 와동에서 중력에 의한 상아질 접착제의 흐름을 예상하였으며 따라서 측벽의 접착층은 얇아져서 응력이 집중될 수 있다고 하였다. 본 실험의 SEM 관찰 결과에서 치수벽의 접착층은 균일한 두께로 형성되면서 잘 발달된 혼성층을 보이는 반면 측벽의 접착층은 와동을 형성하는데 사용되었던 다이아몬드 버의 진행 흔적으로 인해 불규칙한 요철이 형성되었으며 이를 따라서 불균일한 홈을 메우는 양상으로 adhesive가 분포되었다(Fig. 12). 홈을 메우는 모양의 접착층은 부위에 따라 5 μm 미만의 매우 얇은 부위도 관찰 되었다. 이러한 부분에 응력이 집중되어 측벽의 MTBS가 약화되는 원인으로 설명할 수 있을 것이다<sup>28)</sup>.

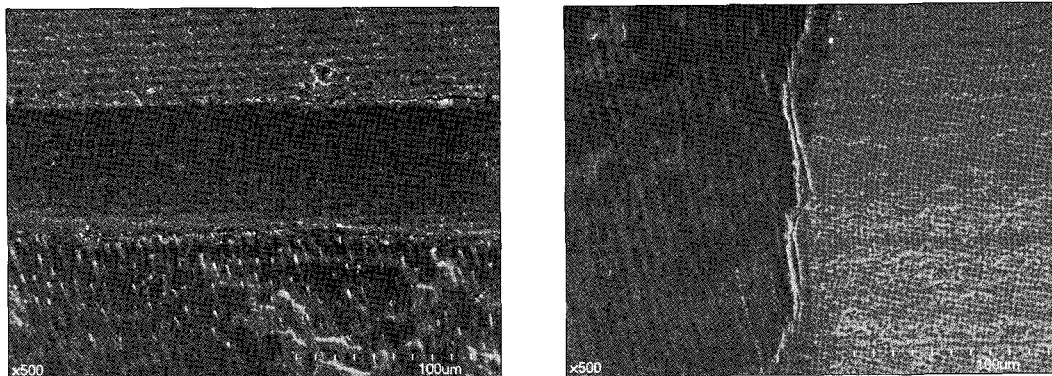


Fig. 12. SEM of adhesive layer at 500x. (Left) Pulpal wall side, (Right) Axial wall side.

중합광원의 차이에 따른 수축양상은 광원의 광밀도와 파장특성에 기인한다. 일반적으로 광원의 광밀도가 클수록 중합이 빠르게 일어나며 이것이 수축응력의 증가에 원인이 된다. 단순한 광밀도의 차이뿐만 아니라 파장특성도 중요하며 이는 광밀도는 낮지만 camphoroquinone(CQ)에 특화된 파장을 갖는 LED의 경우에서 높은 효율을 갖게 한다. 많은 실험에서 여러 중합모드에 따른 수축응력발생 차이들이 연구되어 왔다<sup>12,29-35</sup>. 이들의 연구에 의하면 광원의 종류에 상관없이 높은 광밀도를 갖는 광원에서 높은 스트레스가 발생하였다. 하지만 김 등<sup>36</sup>은 통계적으로 유의성은 없으나 PAC보다 QTH에서 높은 응력이 발생한다고 보고하였으며 유사한 연구들을 소개하였다.

응력을 감소시키기 위해서는 선겔화시간(pre-gelation time)을 증가시키는 soft-start regimen이 추천되는데 본 실험에서는 할로젠 광원을 제외한 플라즈마 광원과 LED 광원에서는 모두 이러한 regimen이 사용되었다. 그 결과 가장 높은 응력을 보여서 낮은 결합강도를 가질 것으로 예상하였던 PAC에서의 MTBS와 나머지 광원에서의 MTBS가 통계적으로 유의하지 않는 유사한 결합강도를 갖게 되었다. 따라서 soft-start regimen을 사용할 경우 세 가지 종류의 광원은 유사한 중합효율을 가진다고 설명할 수 있다.

부서지기 쉬운 물질의 기계적 특성을 연구할 때에는 실험 결과 값에서 큰 편차를 갖게 된다. 재료의 강도에 따른 분포함수를 결정하는 것은 주어진 응력에 따른 실패확률(probability of failure: PF)을 예측할 수 있게 해주기 때문에 매우 유용한 정보가 된다. Weibull 분포는 이러한 실패확률을 계산할 수 있도록 고안된 것이며 경험적으로 얻어진 Weibull 방정식으로 고유강도(Characteristic strength:  $S_0$ : 63%의 시편이 파절된 강도), Weibull 계수( $m$ )를 얻을 수 있다<sup>37-40</sup>. 높은 Weibull 계수가 바람직하며 이는 결점 집단에서의 균질성이 높음을 의미하기 때문이다. 따라서 보다 더 예상 가능한 분포를 갖게 되며 균일한 물성을 간접적으로 설명해준다. 반대로 낮은 Weibull 계수는 data의 분포가 넓으며 파괴양상의 예상 가능한 정도가 낮다고 할 수 있다. Table 4와 Fig. 4, 5, 6을 보면 모든 군에서 치수벽이 축벽보다 높은  $m$ 값을 갖는다. 이는 축벽의 결합양상이 치수벽과 비교하여 균질하지 못한 접착을 나타낸다고 설명할 수 있다. 이는 SEM의 관찰 결과와도 일치한다(Fig. 10).

실제 임상에서 나타날 수 있는 높은 C-factor 모델을 통한 상아질 접착의 실패가 축벽에 집중되는 것을 관찰할 수 있었다. 여러 원인이 복합되어 나타난 결과이므로 어떤 요소가 더 결정적으로 작용했는지는 이번 실험만으로는 알 수 없었다. 기존의 많은 연구에 의해 높은 C-factor를 감소시키는 적층법 등을 적용시킬 경우 분명히 응력이 감소되는 것은 잘 알려져 있지만 C-factor 감소 이외의 응력감소 방법은 뚜렷이 제시된 것이 없다. Choi 등<sup>6</sup>은 축벽의 접착층 두께를 증가시키는 방법으로 어느 정도 응력감소에 효과적이라고 주장하였으나 이것이 얼마나 효과적일지는 의견이 분분하다. Hashimoto 등<sup>41</sup>은 접착층을 여러 번 도포하는 것에 대해 이것이 응력감소에 크게 효과적이

지 못하다고 주장하였다. 접착층을 여러 번 도포하는 것은 혼성층(Hybrid layer)을 강화시키는 효과는 있으나 이것이 접착층의 두께를 증가시키지는 못한다고 설명한다. 그러나 몇몇 연구에서 접착층의 두께가 증가할수록 응력감소에 효과적이라는 결과들이 나타나고 있어 이런 효과를 무시할 수는 없을 것이다<sup>42,43</sup>.

이번 연구에서 나타난 축벽의 응력증가에 가장 중요한 원인은 축벽 접착층의 얇은 두께와 와동벽의 불균일성으로 추정된다. 이에 따라 축벽 접착층을 증가시킬 경우와 축벽부분의 불균일성을 제거하였을 때 이들이 응력감소에 효과적일지는 추가적인 연구가 필요하다.

## V. 결 론

유구치의 1급 와동에서 와동벽, 중합광원에 따른 복합레진의 MTBS 비교 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 중합광원의 차이에 상관없이 모든 치수벽 시편군들에서의 MTBS가 축벽 시편군들에 비해 유의하게 높았다( $p < 0.05$ ).
2. 동일 와동벽군간의 비교에서 중합광원 간의 차이는 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ).
3. 축벽 시편군들이 치수벽 시편군들에서보다 낮은 Weibull 변수( $m$ )를 나타내어 보다 더 불균일한 접착을 보였다.
4. SEM 관찰 결과 축벽 시편에서 보다 더 불균일한 파절면이 관찰되었다.

## 참고문헌

1. Ferracane JL : Developing a more complete understanding of stress produced in dental composites during polymerization. Dent Mater, 21:36-42, 2005.
2. Davidson CL, de Gee AJ : Relaxation of polymerization contraction stress by flow in dental composites. J Dent Res, 63:146-148, 1984.
3. Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL : Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. Dent Mater, 6:167-171, 1990.
4. Davidson CL, de Gee AJ, Feilzer AJ : The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. J Dent Res, 63:1396-1399, 1984.
5. Feilzer AJ, de Gee AJ : Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. J Dent Res, 66:1636-1639, 1987.
6. Choi KK, Ferracane JL, Ryu GJ, et al. : Effect of cavity configuration on composite restoration. Oper Dent, 29:462-469, 2004.
7. Sano H, Shono T, Sonoda H, et al. : Relationship



- between surface area for adhesion and tensile bond strength - Evaluation of micro-tensile bond test. *Dent Mater*, 10:236-240, 1994.
8. 한미란, 권순원, 김종수 : 초기 저광도 광중합이 레진 수복물의 결합강도에 미치는 영향에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 28:45-53, 2001.
  9. Burgess JO, Walker RS, Porche CJ, *et al.* : Light curing - an update. *Compend Contin Educ Dent*, 23:889-908, 2002.
  10. Caughman WF, Rueggeberg FA : Shedding new light on composite polymerization. *Oper Dent*, 27:636-638, 2002.
  11. 박성진, 이광희, 김대엽 : 수종의 광중합기에 의한 복합레진 중합 시 미세누출에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 32:604-610, 2005.
  12. Park SH, Kim SS, Cho YS, *et al.* : Comparison of linear polymerization shrinkage and microhardness between QTH-cured & LED-cured composites. *Oper Dent*, 30:461-467, 2005.
  13. Sakaguchi RL, Peters MC, Nelson SR, *et al.* : Effects of polymerization contraction in composite restorations. *J Dent*, 20:178-182, 1992.
  14. Yoshikawa T, Sano H, Burrow MF, *et al.* : Effects of dentin depth and cavity configuration on bond strength. *J Dent Res*, 78:898-905, 1999.
  15. Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB : Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. *Am J Dent*, 10:88-96, 1997.
  16. Kinomoto Y, Torii M, Takeshige F, *et al.* : Polymerization contraction stress of resin composite restorations in a model Class I cavity configuration using photoelastic analysis. *J Esthet Dent*, 12:309-319, 2000.
  17. Nikolaenko SA, Lohbauer U, Roggendorf M, *et al.* : Influence of c-factor and layering technique on microtensile bond strength to dentin. *Dent Mater*, 20:579-585, 2004.
  18. Causton BE : Improved bonding of composite restorative to dentin. *Br Dent J*, 156:93-95, 1984.
  19. Suzuki T, Tao L, Pashley DH : Dentin adhesives: site of dentin vs. bonding of composite resins. *Dent Mater*, 4:379-383, 1988.
  20. Tagami J, Tao L, Pashley DH : Correlation among dentin depth, permeability and bond strength of adhesive resins. *Dent Mater*, 6:45-50, 1990.
  21. Perinka L, Sano H, Hosoda H : Dentin thickness, hardness and Ca-concentration vs. bond strength of dentin adhesives. *Dent Mater*, 8:229-233, 1992.
  22. Prati C, Pashley DH : Dentin wetness, permeability and thickness and bond strength of adhesive systems. *Am J Dent*, 5:33-38, 1992.
  23. Burrow MF, Takakura H, Nakajima M, *et al.* : The influence of age and depth of dentin on bonding. *Dent Mater*, 10:241-246, 1994.
  24. Cehreli ZC, Akca T : Effect of dentinal tubule orientation on the microtensile bond strength to primary dentin. *J Dent Child*, 70:139-144, 2003.
  25. Purk JH, Dusevich V, Glaros A, *et al.* : In vivo versus *in vitro* microtensile bond strength of axial versus gingival cavity preparation walls in class II resin-based composite restorations. *JADA*, 135:185-193, 2004.
  26. Suh BI, Wang Y : Determining the direction of shrinkage in dental composites by changes in surface contour for different bonding configurations. *Am J Dent*, 14:109-113, 2001.
  27. Kinomoto Y, Torii M : Photoelastic analysis of polymerization contraction stresses in resin composite restorations. *J Dent*, 26:165-71, 1998.
  28. Zheng L, Pereira PNR, Nakajima M, *et al.* : Relationship between adhesive thickness and microtensile bond strength. *Oper Dent*, 26:97-104, 2001.
  29. Miguez PA, Pereira PNR, Foxton RM, *et al.* : Effects of flowable resin on bond strength and gap formation in class I restorations. *Dent Mater*, 20:839-845, 2004.
  30. Emani N, Söderholm KJM, Berglund LA : Effect of light power density variations on bulk curing properties of dental composites. *J Dent*, 31:189-196, 2003.
  31. Hofmann N, Renner J, Hugo B, *et al.* : Elution of leachable components from resin composites after plasma arc vs. standard or soft-start halogen light irradiation. *J Dent*, 30:223-232, 2002.
  32. Asmussen E, Peutzfeldt A : Light-emitting diode curing : Influence on selected properties of resin composites. *Quintessence Int*, 34:71-75, 2002.
  33. Aw TC, Nicholls JI : Polymerization shrinkage of composite resins using plasma-arc photocuring. *Gen Dent*, 49:473-479, 2001.
  34. Hofmann N, Hugo B, Klaiber B : Effect of irradiation type (LED or QTH) on photo-activated composite shrinkage strain kinetics, temperature rise, and

- hardness. *Eur J Oral Sci*, 110:471-479, 2002.
35. Ilie N, Felten K, Trixner K, *et al.* : Shrinkage behavior of a resin-based composite irradiated with modern curing units. *Dent Mater*, 21:483-489, 2005.
  36. 김윤철, 김종수, 권순원 등 : 스트레인 게이지법을 이용한 복합레진과 컴포머의 중합수축 평가에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 29:19-29, 2002.
  37. Dickens SH, Cho BH : Interpretation of bond failure through conversion and residual solvent measurement and Weibull analysis of flexural and microtensile bond strength of bonding agents. *Dent Mater*, 21:354-364, 2005.
  38. Bona AD, Anusavice KJ, Mecholsky Jr JJ : Failure analysis of resin composite bonded to ceramic. *Dent Mater*, 19:693-699, 2003.
  39. Armstrong SR, Vargas MA, Chung I, *et al.* : Resin-dentin interfacial ultrastructure and microtensile dentin bond strength after five-year water storage. *Oper Dent*, 29:705-712, 2004.
  40. Robin C, Scherrer SS, Wiskott HWA, *et al.* : Weibull parameters of composite resin bond strength to porcelain and nobel alloy using the Rocatec system. *Dent Mater*, 18:389-395, 2002.
  41. Hashimoto M, Sano H, Yoshida E, *et al.* : Effects of Multiple adhesive coatings on dentin bonding. *Oper Dent*, 29(4):416-423, 2004.
  42. Alster D, Feilzer AJ, de Gee AJ, *et al.* : Polymerization contraction stress in thin resin composite layers as a function of layer thickness. *Dent Mater*, 13:146-150, 1997.
  43. Choi KK, Condon JR, Ferracane JL : The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res*, 79:812-817, 2000.

Abstract

MICROTENSILE BOND STRENGTH ACCORDING TO DIFFERENT DENTIN WALL POSITIONS  
AND CURING LIGHTS IN CLASS I CAVITY OF PRIMARY MOLAR

Hyeon-Heon Lee, Chul-Ho Jang, Young-Jae Kim, Jung-Wook Kim, Ki-Taeg Jang

*Department of Pediatric Dentistry, Graduate School, College of Dentistry, Seoul National University*

The purpose of present study was to determine whether different kinds of curing lights can alter microtensile bond strength (MTBS) of class I cavity pulpal and axial wall specimens in primary molar.

Thirty clean mandibular 2nd primary molar's occlusal enamel were removed and class I cavity, size of  $2 \times 4 \times 2$  mm was prepared. Dentin bonding agent was applied according to manufacturer's manual. Each group was cured with Halogen Curing Unit, Plasma Curing Unit and LED Curing Unit. Composite resin was bulk filled and photo cured with same curing unit. MTBS specimens which size is  $0.7 \times 0.7 \times 4$  mm were prepared with low speed saw. Specimens were coded by their curing lights and wall positions (Halogen - Axial wall group, Halogen - Pulpal wall group, Plasma - Axial wall group, Plasma - Pulpal wall group, LED - Axial wall group, LED - Pulpal wall group). MTBS were tested at 1 mm/min cross Head speed by Universal Testing Machine. Fractured surface and bonding surface was observed with SEM. T-test between axial and pulpal specimens in each curing lights, one-way ANOVA among different curing light specimens in each wall positions were done. Weibull distribution analysis was done.

The results were as follows: Mean MTBS of pulpal wall specimens were significantly greater than that of axial wall specimens at each curing units ( $p < .05$ ). There was no significant difference in the MTBS among three curing units at axial wall and pulpal wall. In Weibull distribution, pulpal wall specimens were more homogeneous than axial wall specimens.

**Key words** : Microtensile bond strength, Primary molar, Class I cavity, C-factor, Light curing unit, Weibull distribution analysis