

## 상아질 접착제의 중합 시간 조절에 따른 복합레진의 중합 수축 방향의 변화

배지현 · 오명환\* · 김창근\*\* · 손호현 · 엄정문 · 조병훈 · 권혁춘

서울대학교 치과대학 치과보존학교실, (주)베리콤\*, 중앙대학교 공과대학 화학공학과\*\*

### ABSTRACT

#### THE EFFECT OF ADHESIVE CURING TIMING ON THE DIRECTION OF POLYMERIZATION SHRINKAGE OF COMPOSITE RESIN

Ji-Hyun Bae, Byeong-Hoon Cho, Myung-Hwan Oh\*, Chang-Keun Kim\*\*,

Ho-Hyun Son, Chung-Moon Um, Hyuk-Choon Kwon

*Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Seoul National University*

*Vericom Co., Ltd.,\* Dept. of Chemical Engineering, Chung-Ang University\*\**

The purpose of this study was to evaluate the effect of adhesive curing timing on the direction of polymerization shrinkage of light-curing composite resin. In this study, the curing times of adhesive and composite resin were measured by differential scanning calorimeter(DSC). 28 extracted human molars were embedded in clear resin and box-type cavities were prepared. Based on DSC data, the experimental teeth were divided into 4 groups. Group 1: no bond; Group 2: late curing; Group 3: Intermediate curing; Group 4: Early curing. After treating with adhesive, the buccal cavities were filled with Z-100 hybrid composite resin and the lingual ones were filled with AEliteflo flowable composite resin. The depressions at the surface were measured by surface profilometer, then the specimens were embedded in clear resin and sectioned. Impressions were obtained and used to get epoxy resin replicas. The epoxy replicas were gold-coated and observed under SEM. Average Maximum Gap(AMG), Gap Proportion(GP), Average Marginal Index(AMI) were used to compare the shrinkage gap of each group. The results were statistically analyzed using the Kruskal-Wallis One Way ANOVA, Student-Newman-Keuls method.

The results of this study were as follows.

1. Average Maximum Gap, Gap Proportion, Average Marginal Index and depression at the surface of Z-100 hybride composite resin were smaller than those of AEliteflo flowable composite resin(P<0.05)
2. When the bonding between composite resin and tooth structure was strong, the shrinkage gap was small, and depression at the surface was deep(P<0.05).
3. In the well-bonded group, light-curing composite resin shrank toward bonded cavity wall, not toward light source.

The result suggested that the direction of polymerization shrinkage was affected by the quality of bonding in the dentin-resin interface. The strong was the bonding between composite resin and tooth structure, the smaller was the gap and the deeper was the depression at the surface. Then the flow to compensate the polymerization shrinkage proceeded from surface to bonded cavity wall.

**Key words** : Direction of polymerization shrinkage, Adhesive curing timing, Quality of bonding, Resin replica, Average Marginal Index, Depression at the surface

※ 본 연구는 보건복지부 보건의료기술 연구개발사업(HMP-99-E-01-0003)의 지원에 의하여 이루어진 것임.

## I. 서 론

오늘날 복합레진은 치과용 심미수복재료 중에서 사용의 편이성이나, 범용성 등의 장점으로 널리 사용되는 재료가 되었다. 그러나, 치과용 복합레진은 대부분의 경우 레진기질로 2,2-bis[4(2-hydroxy-3-meth acryloxy-propyloxy)-phenyl]propane (Bis-GMA)나 urethane dimethacrylate (UDMA)를 사용하므로 이들 고분자 화합물의 중합을 위해서는 이중 결합구조가 단일 결합구조로 바뀌어야 한다. 이때 0.3~0.4nm의 분자간 거리가 0.15nm의 일차 공유결합으로 줄어들기 때문에, Bis-GMA와 UDMA는 4.4% 정도의 수축이 일어난다<sup>1)</sup>. 구강내의 열악한 조건하에서 기능하기 위하여 복합레진에 무기질 충전제를 첨가하여 강도, 내마모성, 열팽창계수 등을 조절하고 있으나, 대부분의 시판중인 복합레진은 약 1.7%에서 7.1%에 이르는 중합수축을 보이고 있다<sup>1)</sup>. 이런 레진의 수축은 타액의 미세 누출, 변연 변색, 변연 파괴, 이차 우식, 술후 민감성, 치수 병변과 같은 많은 문제를 일으킨다<sup>2)</sup>.

일반적으로 자가중합형 복합레진은 중합시 수복물의 중심을 향하여 수축하고, 간극은 와동의 측면과 기저부에서 모두 관찰된다고 보고되었다<sup>3-5)</sup>. 반면에 광중합형 복합레진의 경우에는, 수축은 광조사 방향을 향하여 일어난다고 보고되었다<sup>3,5-7)</sup>. 이런 차이는 중합이 시작되는 부위와 중합시의 수축이 진행되는 방향의 차이에서 유래하는 것으로 해석되었다<sup>8)</sup>.

하지만 Fusayama 등<sup>6,7)</sup>은 만약 자가중합형 레진이 체온에 의해 와동 벽에서부터 중합되기 시작한다면 중합수축의 방향은 와동 벽을 향할 것이라는 가정을 제기하였다. Versluis 등<sup>9)</sup>은 유한요소법을 이용해서 자가중합형과 광중합형 레진의 수축 양상이 비슷하다는 것을 보여주었다. 자가중합형 레진은 치아와 레진 수복물 사이에 결합이 완벽하다면 중심을 향하여 수축하지 않고 와동벽을 향하여 수축하고, 광중합형 레진도 빛의 방향을 향해 수축하는 것이 아니라 와동벽을 향해 수축한다고 하였다. 그들은 수축의 방향은 결합의 질과 와동의 형태같은 boundary condition에 의해 결정된다고 하였다. Suh 등<sup>10)</sup>은 만약 레진 수복물과 치아 사이에 결합이 완벽하다면, 빛에 가까운, 결합되지 않은 표면이 중합시 발생하는 중합 수축력을 해소시키는 흐름을 제공한다고 하였다<sup>11-15)</sup>. 이런 보상적인 흐름에 의해 표면이 침하하여 오목한 형태를 보인다<sup>10)</sup>고 하였고, 이것은 광중합 레진은 빛을 향해 수축한다는 전통적인 개념에 반대된다. 이와 같이 광중합 레진의 중합 수축의 방향에 대한 의견은 여러 학자들에 따라 다르고 현재 학문적으로나 임상적으로 많은 관심을 모으고 있다.

따라서 본 연구에서는 광중합형 복합레진의 수축의 방향은 광조사 방향을 향해 수축되는 것이 아니라 치아와 복합

레진 사이의 접착의 질에 따라 영향을 받을 것이라고 가정하였다. 최근의 보고에서와 같이 치아와 복합레진 사이의 접착이 우수한 경우에는 광중합형 복합레진은 와동의 벽을 향해서 수축할 것이고, 접착력이 수축응력을 견디기에 부족한 경우에는 복합레진은 와동 벽에서 분리되는 방향으로 수축하고 표면의 보상적인 흐름도 감소하게 될 것이다. 본 실험에서는 형성된 와동에 도포하는 상아질 접착제의 중합 방법과 중합 시간을 달리함으로써 접착의 질에 차이를 두었다. 그 후 접착제를 도포한 와동에 복합레진을 충전, 광중합하여 표면에서의 복합레진의 침하 깊이를 측정하고 주사 전자 현미경으로 접착 간극을 관찰하여 상아질 접착제의 접착의 질이 복합레진의 중합 수축 방향에 어떠한 영향을 미치는가를 관찰한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험에 사용된 재료는 Table 1과 같고, 치아는 우식이나 충전물이 없고 손상이 없는 발거된 지 한 달이 경과되지 않은 28개의 상, 하악 대구치를 선택하여 0.5% chloramine 용액에 넣어 4℃의 냉장고에 보관하여 실험에 사용하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 중합 시간 측정 및 중합 방법 설정

본 연구에서는 중합 시간의 조절을 통한 접착의 질에 차이를 두기 위하여 먼저 상아질 접착제와 복합레진의 중합 시간을 측정하였다. 시차 주사 열계량기 (DSC 7 system, Perkin-Elmer LLC, Norwalk, CT, USA)를 이용하여 상아질 접착제와 복합레진의 최대 발열 시간을 측정하였다. 이때 상아질 접착제는 자가중합, dual-cure, 및 광중합의 3종의 중합 방법에 따른 최대발열시간을 측정하였다.

광중합 조건에서는 각 재료를 시편팬에 담아 DSC cell 내에 위치시킨 후, 광조사기를 고정시키는 아크릴 유도기를 시편팬과 기준팬 위에 위치시켰다. 시편팬과 기준팬을 광조사기 (VIP, Bisco, Schaumburg, IL, USA)로 500 mW/cm<sup>2</sup>의 강도로 동시에 광조사 하였고, 최대발열시간을

Table 1. Materials tested in this study

Materials	Manufacturer	Batch No.
All-Bond 2	Bisco, USA	069268
Z-100	3M Dental Products, USA	5095
AEliteflo	Bisco, USA	H-671

기록하였다. 상아질 접착제는 20초동안 광조사 하였고, 복합레진은 40초 광조사 하였다. 자가중합 조건에서는 각 시편을 준비하여 DSC cell 에 위치시킨 후, DSC cell 뚜껑을 덮고 광조사 없이 최대발열시간을 측정하였다. 각 군별로 3회씩 측정, 평균하여 그 값을 각 군의 최대발열시간으로 하였고<sup>16-18)</sup>, 이 최대발열시간을 중합 시간으로 간주했다<sup>19-22)</sup>. 이를 바탕으로 중합 시간의 차이를 얻을 수 있는 4종의 중합 방법을 Table 2와 같이 설정하였다. 즉, 제1군(no bond)은 상아질 접착제를 사용하지 않고 복합레진을 충전하고 광중합하는 군, 제2군(late curing)은 광중합형 상아질 접착제를 도포하고 복합레진을 충전한 후 복합레진과 상아질 접착제를 같이 광중합하는 군, 제3군(intermediate curing)은 dual-cure형 상아질 접착제를 도포하고 화학중합만 개시시킨 상태에서 복합레진을 충전하고 복합레진과 상아질 접착제를 같이 광중합하는 군, 제4군(early curing)은 광중합형 상아질 접착제를 도포하고 광중합한 후 복합레진을 충전하고 복합레진을 최종적으로 광중합하는 군으로 구분하였다.

2) 간극 측정과 표면 침하 깊이 측정

준비된 대구치를 자가중합형 에폭시 레진에 매몰하여 회전 연마기 (Rotopol V, Struers Pedemat, WG)로 협면과 설면의 중앙 1/3을 노출시킨 뒤, 교합-치은 폭이 2mm, 근원심 폭이 2mm, 깊이 2mm의 와동을 형성하였다. 와동 형성은 고속 엔진용 No.557 carbide bur를 사용하였고 저속 엔진용 finishing bur로 와동 내면을 평활하게 마무리하였다. 전체 와동 변연을 따라 적어도 0.5mm의 법랑질 두께를 갖는 90도 butt-joint 법랑질 변연을 갖게 하였다. 이 치아들을 무작위로 4개의 실험군으로 나누고 각 군별로 Table 2와 같이 상아질 접착제로 처리한 후, 협면 와동은 탄성계수가 큰 Z-100 혼합형 복합레진으로 충전하였고 설면 와동은 탄성 계수가 작고 점도가 낮은 AEliteflo 유동형 복합레진으로 충전하였다. 복합레진은 와동 전체를 한번에 충전하였고(bulk-filling) 와동 변연에서 과량의 레진을 제거하고 cover glass로 덮고, 광조사기로 500mW/cm<sup>2</sup>의 강도로 중합시켰다.

표면 침하 깊이는 Surface Profilometer (Alpha-step 200, Tencor instrument Co., USA)를 이용하여 측정하

였다. 표면 침하의 깊이는 Kruskal-Wallis One Way ANOVA와 Student-Newman-Keuls법으로 각 군간의 비교를 하였고, 협면 와동과 설면 와동의 차이는 t-test로 비교 분석하였다.

중합 수축으로 발생한 와동벽의 간극을 측정하기 위하여 시편을 자가중합형 에폭시 투명레진에 매몰하고, diamond saw (Isomet, Buehler Co., USA)을 이용하여 수복물의 중앙을 지나게 근원심으로 치아 장축에 수직되게 절단하였다. 절단된 면은 도말층을 제거하기 위해 10% ortho-phosphoric acid로 3~5초간 처리하고, 수세한 후 건조시켰다<sup>23)</sup>. 실리콘 인상제 (Examix, GC Co., Japan)로 절단면의 인상을 채득하여 에폭시 레진 복제를 만들었다. 에폭시 복제는 금중착하였고<sup>24)</sup>, 각 복제는 와동벽에서의 간극을 주사 전자 현미경 (JSM-840A scanning microscope, JEOL Ltd., Japan)으로 관찰, 측정하였다.

측정치의 평가를 위해서 Hansen과 Asmussen<sup>14,25)</sup>이 1987년에 도입한 변연지수(Marginal Index; MI)를 변형하여 사용하였다. 각 와동벽을 일정한 간격으로 5부분으로 나누어 각 부위에서 촬영한 500배 주사 전자 현미경 사진을 Adobe Photoshop 5.0 (Adobe System Inc., Mountain View, Ca, USA)에서 분석하여, 각 부위의 최대간극을 측정하였고, 이 다섯 값을 평균 내어 그 와동벽의 평균최대간극(Average Maximum Gap; AMG)을 구하였다. 100배 주사 전자 현미경 사진에서 Sigma Scan / Image ver 1.20 (Jandel Scientific Software, San Rafael, Ca, USA)을 이용하여 간극이 전체 와동 벽에서 차지하는 간극 비율(Gap proportion; GP)을 구하고, 평균변연지수(Average Marginal Index; AMI)는 AMG×GP/100로 계산하였다. 평균변연지수의 차이는 Kruskal-Wallis One Way ANOVA와 Student-Newman-Keuls법으로 통계처리하여 비교하였다. 와동내의 각 벽면에서의 평균변연지수의 비교와 협면 와동과 설면 와동의 평균변연지수의 비교는 t-test를 이용하여 분석하였다. 이때 각 군에서의 평균변연지수를 각 군의 간극을 대표하는 값으로 사용하기 위하여 평균최대간극과 평균변연지수 사이의 상관 관계를 Pearson Product Moment Correlation으로 평가하여 평균변연지수의 대표성을 확인하였다.

**Table 2.** The experimental group

Group	Adhesive curing	Adhesive application mode
1	No bond	No adhesive
2	Late	Primer + Adhesive (no Light-cure)
3	Intermediate	Primer + Adhesive + Pre-bond (no Light-cure)
4	Early	Primer + Adhesive (20s Light-cure)

3) 수축 방향의 평가

복합레진의 2차원적인 수축의 방향을 평가하기 위해서 평균최대간극과 표면 침하 깊이의 값을 Kruskal-Wallis One Way ANOVA와 Student-Newman-Keuls법으로 통계처리하여 비교하였고, 협면 와동과 설면 와동의 차이는 t-test로 비교 분석하였다.

III. 실험결과

1. 중합 시간 측정

시차 주사 열계량기를 이용하여 측정된 각 중합 방법에 관한 전형적인 열흐름 곡선은 Fig. 1~4에 예시하였고, 시차 주사 열계량기를 이용하여 측정된 최대발열시간은 Table 3과 같다. Primer와 adhesive의 혼합체는 광중합 하지 않은

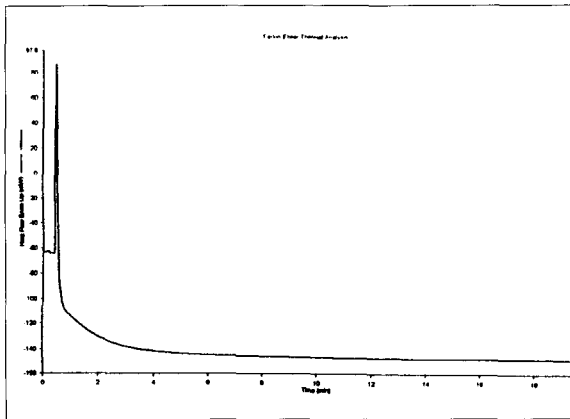


Fig. 1. DSC curve in the mixture of primer and adhesive was not light-cured.

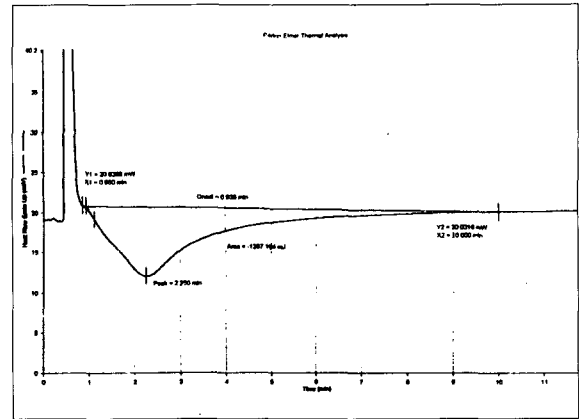


Fig. 2. DSC curve in the mixture of primer, adhesive and pre-bond was not light-cured.

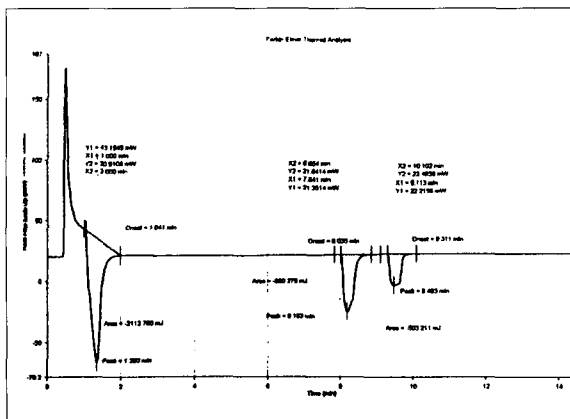


Fig. 3. DSC curve in the mixture of primer and adhesive was light-cured.

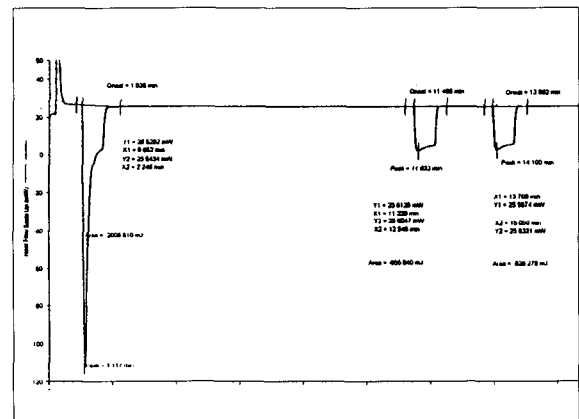


Fig. 4. DSC curve in the resin was light-cured.

Table 3. Peak-times in the reaction of test materials measured with DSC (sec)

Materials & Curing methods	Peak-time(sec)
Primer + Adhesive (no Light-cure)	∞
Primer + Adhesive + Pre-bond (no Light-cure)	141.6±6.0
Primer + Adhesive (20s Light-cure)	20.4±1.0
Resin (40s Light-cure)	7.0±0.0

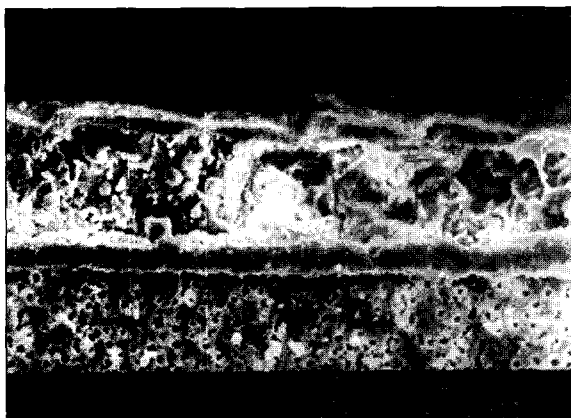
**Table 4.** Average Marginal Gap(AMG), Gap Proportion(GP), and Average Marginal Index(AMI), and Depression at the surface of the composite fillings (Numbers in parentheses are standard deviation, n=7)

		Mesial & Distal			Floor			Total			Depth ( $\mu$ )
		AMG( $\mu$ )	GP(%)	AMI	AMG( $\mu$ )	GP(%)	AMI	AMG( $\mu$ )	GP(%)	AMI	
Z-100	group 1	11.67 (4.62)	49.50 (13.21)	6.00 (3.08)	32.16 (15.16)	87.80 (13.92)	<u>29.63</u> (17.22)	18.67 (7.22)	64.10 (12.68)	12.52 (6.37)	2.14 (0.19)
	group 2	2.51 (1.28)	18.57 (10.24)	0.54 (0.48)	23.9 (5.82)	61.66 (15.82)	<u>14.77</u> (5.08)	9.71 (2.43)	33.66 (11.12)	<u>3.40</u> (1.70)	<u>6.21</u> (1.61)
	group 3	1.70 (1.59)	16.20 (13.48)	0.46 (0.50)	18.02 (10.92)	64.10 (22.77)	<u>13.59</u> (11.67)	7.12 (4.01)	33.65 (12.69)	2.78 (2.44)	<u>5.71</u> (0.78)
	group 4	0.62 (0.95)	4.65 (8.28)	0.09 <sup>§</sup> (0.19)	4.15 (2.59)	15.18 (10.12)	<u>0.82<sup>§</sup></u> (0.95)	1.80 (1.22)	7.86 (6.42)	<u>0.21</u> (0.24)	<u>7.41</u> (0.63)
AEliteflo	group 1	14.45 (3.58)	50.00 (15.57)	7.52 (3.74)	52.71 (12.37)	100.00 (0.00)	<u>52.71</u> (12.37)	27.89 (5.26)	68.24 (9.80)	19.10 (4.98)	6.34 (1.07)
	group 2	6.55 (6.41)	20.28 (18.43)	2.09 (2.69)	50.16 (19.10)	85.82 (13.09)	<u>44.68</u> (20.77)	20.90 (7.28)	44.68 (10.34)	<u>9.52</u> (5.09)	<u>12.95</u> (3.08)
	group 3	3.18 (3.36)	17.91 (17.89)	0.73 (0.88)	40.22 (14.28)	75.31 (23.92)	<u>32.26</u> (18.68)	15.84 (6.09)	39.68 (17.72)	6.88 (4.91)	<u>10.69</u> (1.31)
	group 4	0.63 (0.66)	10.30 (9.82)	0.11 (0.12)	12.42 (11.34)	43.29 (21.65)	<u>6.63</u> (6.95)	4.56 (3.65)	21.89 (10.20)	<u>1.11</u> (0.78)	<u>12.96</u> (3.30)

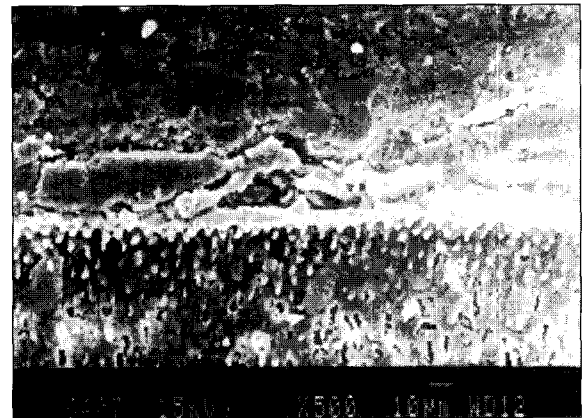
§ : no significant difference (P>0.05).

Vertical bar : groups connected by a vertical bar are not significantly different (P>0.05).

Underlines : significant differences between the AMIs of the buccal cavities and those of the lingual cavities (P<0.05).



**Fig. 5.** SEM photo of group1 of Z-100 (×500).



**Fig. 6.** SEM photo of group2 of Z-100 (×500).

경우 중합 반응을 보이지 않았고, 실험 시간인 20분이 지난 후에도 여전히 액체 상태였다. 이것을 광중합한 경우 광중합 시작후 빠른 시간 내에 최대 발열에 도달하였다. 하지만 primer와 adhesive를 Pre-bond와 혼합하여 화학중합시킨 경우는 최대 발열에 도달하는데 상대적으로 많은 시간이 소요되었다.

## 2. 간극 측정과 표면 침하 깊이 측정

상아질 접착제의 중합 방법에 따라 복합레진 충전물 주위에 나타나는 간극의 측정치는 평균최대간극, 간극비율, 및 평균변연지수로 Table 4에 표시하였다. Fig. 5~12는 각군의 대표적인 주사 전자 현미경상을 보여준다.

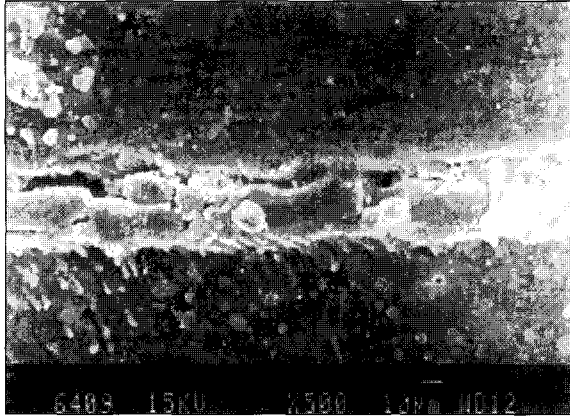


Fig. 7. SEM photo of group3 of Z-100 (×500).

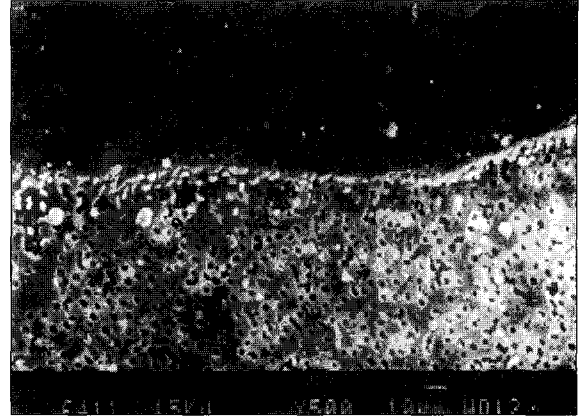


Fig. 8. SEM photo of group4 of Z-100 (×500).

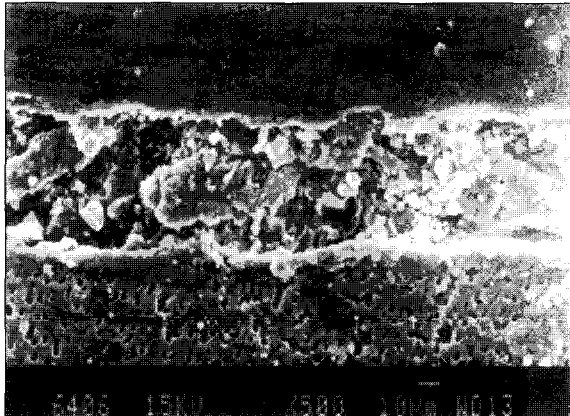


Fig. 9. SEM photo of group1 of AEliteflo (×500).

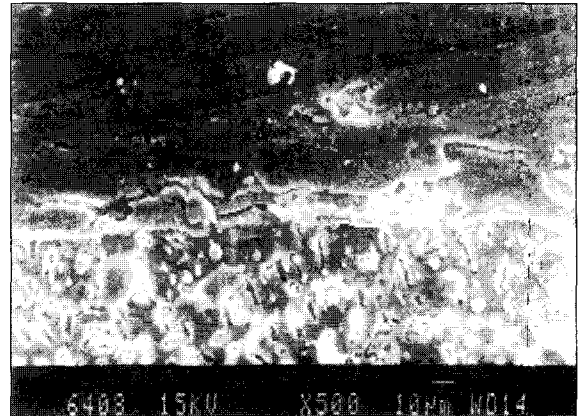


Fig. 10. SEM photo of group2 of AEliteflo (×500).



Fig. 11. SEM photo of group3 of AEliteflo (×500).

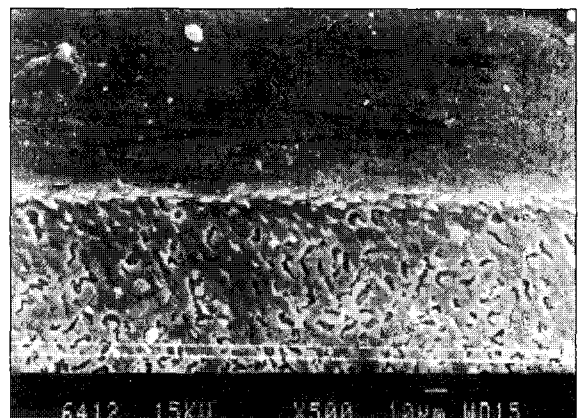


Fig. 12. SEM photo of group4 of AEliteflo (×500).

각 군의 개개의 와동벽, 즉 근원심면, 치수면, 및 전체의 평균변연지수에 대한 평균최대간극의 상관관계는 Table 5 와 같다. Z-100으로 충전한 제2군의 치수면( $r=0.7288$ ,  $p=0.0632$ )을 제외한 나머지 모든 와동벽에서 평균최대간

극과 평균변연지수의 상관관계를 확인하였다( $P<0.05$ ).

Z-100으로 충전한 헵면 와동의 경우, 제1군은 근원심면 과 전체에서 유의성있게 높은 평균변연지수를 보였으나 ( $P<0.05$ ), 치수면의 평균변연지수는 제4군을 제외한 나군

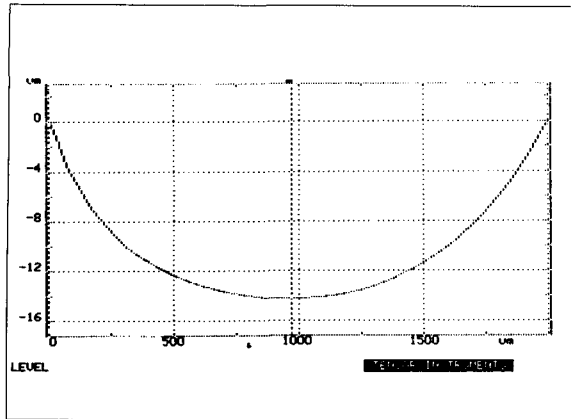


Fig. 13. Typical surface profilometer curve.

과는 유의한 차이를 확인할 수 없었다. 제4군은 모든 와동 면에서 다른 군에 비해 유의성있게 낮은 평균변연지수를 보

였다(P<0.05). 제2군과 제3군은 평균최대간극, 간극비율, 및 평균변연지수에서 차이가 없었다. 제4군(p=0.0699)을 제외한 모든 군에서 근원심면이 치수면에 비해 유의성있게 낮은 평균변연지수를 보였다(P<0.05).

AEliteflo로 충전한 설면 와동의 경우에는 제1군은 근원심면에서 유의성있게 낮은 평균변연지수를 보였고, 제4군은 치수면에서 다른 군에 비해 유의성있게 낮은 평균변연지수를 보였다(P<0.05). 모든 군에서 근원심면에서 치수면에 비해 유의성있게 낮은 평균변연지수를 보였다(P<0.05).

모든 군에서 치수면에서의 간극은 Z-100으로 충전한 협면 와동이 AEliteflo로 충전한 설면 와동보다 유의성있게 낮은 평균변연지수를 보였다(P<0.05)(Table 4). 그러나 근원심면과 전체의 간극은 협면 와동과 설면 와동에서 차이를 보이지 않았다.

Surface profilometer를 이용해 측정된 전형적인 표면 조도 곡선은 Fig. 13과 같고, 이를 이용해 구한 시편의 최대

Table 5. Pearson Product Moment Correlation between the AMG and AMI at the walls of each cavity.

		Mesial & Distal		Floor		Total	
		r	p	r	p	r	p
Z-100	group 1	0.8994	0.0058	0.9935	<0.0001	0.9821	<0.0001
	group 2	0.8683	0.0112	0.7288	0.0632	0.8869	0.0078
	group 3	0.9777	0.0001	0.9754	0.0002	0.9518	0.0010
	group 4	0.8696	0.0110	0.8590	0.0133	0.9218	0.0031
AEliteflo	group 1	0.9179	0.00355	1.0000	0.0000	0.8289	0.0212
	group 2	0.9395	0.0017	0.9756	0.0002	0.8738	0.0101
	group 3	0.8761	0.0097	0.9445	0.0014	0.9296	0.0024
	group 4	0.9859	<0.0001	0.9851	<0.0001	0.9926	<0.0001

Table 6. Average Marginal Gap(AMG) and depression at the surface of the composite fillings

Z-100	Depth(μ)	M&D(μ)	Floor(μ)	AEliteflo	Depth(μ)	M&D(μ)	Floor(μ)
Group 1	<u>2.14</u>	11.67	<u>32.16</u>	Group 1	<u>6.34</u>	14.45	<u>52.71</u>
	(1)	(5.45)	(15.03)		(1)	(2.28)	(8.31)
Group 2	<u>6.21</u>	2.51	<u>23.92</u>	Group 2	<u>12.95<sup>§</sup></u>	6.55 <sup>§</sup>	<u>50.16</u>
	(1)	(0.4)	(3.85)		(1)	(0.51)	(3.87)
Group 3	<u>5.71</u>	1.7	<u>18.02</u>	Group 3	<u>10.69</u>	3.18	<u>40.22</u>
	(1)	(0.3)	(3.16)		(1)	(0.3)	(3.76)
Group 4	<u>7.41</u>	0.62	4.15	Group 4	<u>12.96<sup>§</sup></u>	0.63	12.42 <sup>§</sup>
	(1)	(0.08)	(0.56)		(1)	(0.05)	(0.96)

§ : no significant difference (P>0.05).

Vertical bar : groups connected by a vertical bar are not significantly different (P>0.05).

Underlines : significant differences between buccal cavities and lingual cavities (P<0.05).

표면 침하 깊이는 모든 실험군에 있어서 AEliteflo로 충전한 시편에서 Z-100으로 충전한 시편보다 유의성있게 깊었다( $P<0.05$ ). Z-100으로 충전한 경우, 제1군이 유의성있게 얕았고( $P<0.05$ ), 제4군이 유의성있게 깊었으며( $P<0.05$ ), 제2군과 제3군에서는 통계적인 차이가 없었다( $P>0.05$ ). 반면에 AEliteflo로 충전한 경우에는, 제1군이 다른 군에 비해 침하정도가 적었다(Table 4).

### 3. 수축 방향의 평가

복합레진의 2차원적인 수축의 방향을 평가하기 위해서 평균최대간극과 표면 침하 깊이의 값을 비교하였다(Table 6). 괄호 안의 숫자는 각 군의 표면 침하 깊이를 1로 보았을 때 상대적인 와동벽의 평균최대간극이다.

표면 침하 깊이, 치수면의 평균최대간극의 실제값은 Z-100의 경우가 AEliteflo에 비해 모두 통계적 유의성이 있게 작았다. 그러나 표면 침하 깊이를 기준으로 계산한 비율은 Z-100과 AEliteflo가 각 군별로 비슷한 양상을 보였다. 이것은 각 군이 2차원적으로 비슷한 수축의 방향성을 갖는다는 것을 의미한다. 즉 제1군에서는 와동벽과의 결합이 없으므로, 광원에 가까워서 초기에 에너지를 많이 받는 표면이 먼저 중합되고 따라서 표면의 상대적인 흐름이 감소하고 치수면의 복합레진에서 많은 흐름이 제공되므로 치수면의 간극이 크다. 제2군과 제3군에서는 접착제는 적용되어 있으나 복합레진의 광중합 전에는 접착제가 중합이 시작되지 않아서 수축에 대해 저항하지 못하다가 복합레진의 중합과 동시에 중합이 개시되면서 수축에 대한 저항을 시작하는 경우이거나 이미 접착이 시작되었으나 아직 수축 응력을 극복하기에는 약한 접착 상태를 보이는 경우이므로 근원심면과 치수면의 수축의 실제값과 비율 모두, 제1군에 비해 크게 감소하였다. 임상적인 상황과 같은 제4군에서는 복합레진을 적용하기 전에 접착제를 중합하여 수축 응력에 저항할 수 있는 충분한 수준의 접착을 확보하였으므로 근원심면과 치수면에서의 흐름은 적고 표면에서 제공되는 흐름이 크게 된다. 즉 접착의 질이 우수한 경우에는 전체의 복합레진은 접착이 있는 근원심 및 치수면의 와동벽을 향하여 중합되는 것으로 평가되었다.

## IV. 총괄 및 고안

현재 치료에 있어서 레진 치료의 적응증이 많고 또 점점 넓어지고 있다. 레진의 중합 수축은 재료 자체의 문제이기 때문에 없앨 수는 없고 중합 수축을 적게 하기위해 노력하고 있다. 즉 재료학적으로는 재료 자체의 무기질 충전재의 함유량을 늘리고 레진기질의 비율을 줄이거나, 중합시에 팽창하는 레진 단량체를 첨가함으로써 재료 자체의 중합

수축율을 감소시키기 위한 시도가 진행되고<sup>26)</sup>, 임상적으로는 탄성계수가 낮은 중간층을 적용하여 중합수축에 의한 응력을 완충하거나<sup>27)</sup>, 광중합 광도를 줄임으로써 중합 속도를 지연시켜 접착계면에서 발생하는 중합 수축을 보상할 수 있는 레진기질의 흐름을 제공하거나<sup>10,28)</sup>, 적층법을 통하여 수축응력을 점진적으로 완화시키는 등<sup>3,29)</sup>의 여러 방법이 제안되었다. 특히 광중합형 복합레진 중합 수축은 광원의 방향으로 일어난다는 보고에 근거하여 투명 매트릭스 밴드와 투명 wedge를 사용하고 치아의 협면이나 설면, 또는 치은 변연쪽에서 광중합하여 수축의 방향을 와동벽으로 유도하고자 시도되기도 하였다<sup>3)</sup>.

하지만 최근에 여러 학자들이 광중합 복합레진은 광중합 시 빛을 향해 광중합한다는 기존의 생각과 상반되는 의견을 제시하고 있다. Versluis 등<sup>9)</sup>은 유한요소법을 이용하여 화학중합형 복합레진과 광중합형 복합레진 모두 치아와 결합이 없는 경우에는 중심을 향하여 수축하지만 치아와 결합이 완벽한 경우에는 빛의 방향에 관계없이 와동벽을 향하여 수축하는 것을 제시하였다. Suh 등<sup>10)</sup>은 레진 수복물과 치아 사이에 결합이 완벽하다면, 빛에 가까운, 결합되지 않은 표면이 중합시 발생하는 중합 수축력을 해소시키는 흐름을 제공하여 오목한 표면을 보이고, 중합 수축은 와동벽을 향하여 수축할 것이라는 가설을 제기하였다.

만약 광중합 복합레진이 빛의 방향을 향해 수축하지 않고 그들의 생각대로 와동벽을 향해 수축한다면, 임상 적용시 고려할 점이 많이 바뀌게 될 것이다. 이는 C-factor와 관련하여 광중합 복합레진의 충전 방법에 영향을 줄 수 있고, 2급 와동의 치은변연의 변연누출을 줄이기 위해 광중합 방향을 조절하지 않고, 강한 상아질 접착제를 사용하게 될 것이고, 상아질 접착제의 결합 강도를 높이기 위해 노력할 것이다.

본 연구에서는 여러 학자들이 이론적으로 제시한 가설을 증명하기 위하여 광중합 복합레진을 중합시킨 후 치아와의 간극과 표면에서의 침하 깊이를 측정하여 이를 수치화하여 비교하였다. 간극의 비교는 Hansen, Asmussen 등이 도입한 변연지수(Marginal Index: MI)를 변형하여 사용하였다. 그들은 변연 중 가장 큰 간극의 값을 측정하여 구한 최대간극(Maximum Gap: MG)과 간극비율(Gap Proportion: GP)을 곱하여 변연지수를 구하였다<sup>14,25)</sup>. 한 부분에서만 측정된 최대값이 전체를 대표하기에는 부족하여 본 연구에서는 이런 단점을 보완하기 위하여 일정한 간격을 두고 다섯 부분에서 최대값을 측정하고 평균내어 평균최대간극(Average Maximum Gap: AMG)을 구하고 간극비율(Gap Proportion: GP)을 곱하여 평균변연지수(Average Marginal Index: AMI)를 구하였다. 각 군에서의 평균변연지수를 각 군의 간극을 대표하는 값으로 사용하기 위하여 평균최대간극과 평균변연지수 사이의 상관 관계



를 Pearson Product Moment Correlation으로 평가하여 평균변연지수의 대표성을 확인한 결과 Z-100으로 충전한 제2군의 치수면( $r=0.7288$ ,  $p=0.0632$ )을 제외한 나머지 모든 벽면에서 평균최대간극과 평균변연지수의 상관관계를 확인하였다( $P<0.05$ ).

AEliteflo 복합레진의 경우에 있어 Z-100 복합레진에 비해 중합 수축에 의한 평균최대간극, 간극비율, 평균변연지수, 및 표면 침하의 양이 컸다. 이런 차이는 재료 자체의 수축의 차이 때문인 것으로 해석된다. AEliteflo는 유동성 복합레진이다. 유동성 복합레진은 전통적인 혼합형 복합레진과 같은 미세 입자형이지만 무기 충전재의 양을 줄여 점도를 줄인 것이다. Z-100은 80%정도의 무기 충전재를 가지지만, AEliteflo는 60%정도의 무기 충전재 함량을 보인다. 무기 충전재의 양이 혼합형 레진보다 20~29%정도 적으므로 AEliteflo의 수축이 Z-100보다 크다<sup>30)</sup>.

간극은 상아질 접착제의 중합 방법에 의해 영향을 받았다. 간극은 상아질 접착제를 쓰지 않은 경우 가장 크게 나타났고, 상아질 접착제를 먼저 광중합 한 경우가 가장 작았고, 상아질 접착제를 레진과 같이 광중합 시킨 경우와 dual-cure형 상아질 접착제를 화학중합하여 사용한 경우가 중간 값을 보였다. 이것은 표면 침하 깊이에서도 역순으로 같은 양상을 보였다. 복합레진과 상아질 사이의 결합이 잘 이루어질수록 간극이 적게 발생하고 표면에서의 침하가 컸다.

상아질 접착제를 사용하지 않은 제1군은 표면 침하도 발생했고, 근원심벽의 간극도 컸기 때문에 중심을 향하여 수축한다고 해석한다. 광중합시에는 표면에서 먼저 빛을 받으므로 짧은 시간의 차이지만 빛의 침투력에 따라 표면에서부터 중합되기 시작하므로 표면의 상대적인 흐름이 감소하고 치수면의 복합레진에서 많은 흐름이 제공되므로 치수면의 간극이 크다. 광중합형 상아질 접착제를 적용한 후 광중합하지 않고, 복합레진을 충전한 후 복합레진과 상아질 접착제를 같이 광중합한 제2군, dual-cure형 상아질 접착제를 적용하고 화학중합만 개시시킨 상태에서 복합레진을 충전하고 복합레진과 상아질 접착제를 같이 광중합한 제3군은 접착제는 적용되어 있으나 복합레진의 광중합 전에는 접착제가 중합이 시작되지 않아서 수축에 대한 저항을 하지 못하다가 복합레진의 중합과 동시에 중합이 개시되면서 수축에 대한 저항을 시작하는 경우이거나 이미 접착이 시작되었으나 아직 수축 응력을 극복하기에는 약한 접착 상태를 보이는 경우이므로 치수면의 수축의 실제값과 비율 모두, 제1군에 비해 크게 감소하였다. 상아질 접착제를 먼저 광중합시킨 제4군은 복합레진을 적용하기 전에 접착제를 중합하여 수축 응력에 저항할 수 있는 충분한 수준의 접착을 확보하였으므로 근원심면과 치수면에서의 흐름은 적고 표면에서 제공되는 흐름이 크게 된다. 복합레진과 상아질 사이의 접착제에 의한 결합이 잘 이루어져 있어 간극이 적게 생

고 침하가 많이 되어, 보상을 위한 흐름이 표면에서 와동벽을 향하여 진행하고 복합레진은 와동벽을 향하여 수축한다. 즉 접착의 질이 우수한 경우에는 전체의 복합레진은 접착이 있는 근원심면 및 치수면의 와동벽을 향하여 중합된다는 것을 알 수 있다.

그럼 왜 강한 결합이 일어나면 수축이 그 방향으로 일어날까? 복합레진을 중합시키면 gel point에 도달하기 전까지 결합하지 않은 면에서 흐름이 생기고<sup>11-13)</sup>, 상아질 접착제는 중합이 진행되어 먼저 강도를 얻어 결합을 유지시키며 line angle에서 23MPa정도되는 레진의 중합 수축<sup>3)</sup>을 극복한다. 상아질 접착제의 중합이 늦게 시작된 경우에는, 상아질 접착제가 충분한 강도를 갖기 전에 레진의 중합수축이 발생하여 결합이 파괴된다.

임상적으로 복합레진과 치아 사이의 결합을 좋게하기 위해서는 광중합 상아질 접착제를 먼저 광중합 한 후 복합레진을 적용하여 광중합을 시키는 방법을 택해야 한다. dual-cure resin cement 사용시에도 dual-cure형보다는 광중합형을 사용하는 것이 수복물 적합시의 문제만 없다면, 수축의 방향의 관점에서는 더 유리하다. 본 실험에서는 복합레진과 치질사이의 접착만 완전하다면 광중합의 방향은 중합수축의 방향에 영향을 미치지 않는다는 것을 알았다. 그리고, 유동성 복합레진의 수축이 혼합형에 비해 치수면에서 2~3배에 해당되므로 본 실험의 결과만으로는 유동성 복합레진의 임상적인 의의가 의심스럽다.

## V. 결 론

광중합 복합레진 수복시 상아질 접착제의 중합 방법과 중합 시간의 차이에 의한 접착의 질적인 차이가 중합 수축의 방향에 미치는 영향을 알아보기 위해 먼저 시차 주사 열계량기를 이용하여 상아질 접착제와 복합레진의 중합 방법에 따른 중합 시간을 측정하였고, 이 결과를 이용하여 상아질 접착제의 중합 시기를 4군으로 나누었다. 28개의 발거된 상, 하악 대구치를 투명레진에 매몰하여 협설면 중앙에 와동을 형성하고, 상아질 접착제의 중합 방법을 다르게 적용하여, no bond, late-curing, intermediate-curing, early-curing으로 각각 중합 시간을 조절하고 협면 와동은 Z-100, 설면 와동은 AEliteflo 레진으로 충전하여 광중합 하였다. 표면 침하 정도를 surface profilometer로 측정하고, 각 시편을 투명레진에 매몰하여 근원심으로 절단하고 주사전자 현미경으로 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Z-100 복합레진은 AEliteflo 복합레진에 비해 중합 수축에 의한 평균최대간극, 간극비율, 평균변연지수, 및 표면침하 깊이가 작았다( $P<0.05$ ).
2. 복합레진과 상아질의 결합이 잘 이루어진 군에서 간극이 적게 발생하였고 표면에서의 침하가 컸다( $P<0.05$ ).

3. 접착이 잘 이루어진 경우, 광중합시의 중합수축의 방향은 광원의 방향이 아닌 접착이 이루어진 외동벽을 향하는 것으로 평가되었다.

위 결론은 광중합시의 중합 수축의 방향은 상아질-레진 계면에서 접착의 질에 따라 영향을 받으며, 접착이 잘 이루어진 경우, 보상을 위한 흐름이 표면에서 외동벽을 향하여 진행되는 것을 의미한다.

### 참고문헌

1. Peutzfeldt A. Resin composites in dentistry: the monomer systems. *Eur J Oral Sci* 1997;105:97-116.
2. Retief DH. Do adhesive prevent microleakage? *Int Dent J* 1994;44:19-26.
3. Lutz F, Krejci I, Luescher B, Oldenburg TR. Improved proximal margin adaptation of Class II composite resin restorations by use of light- reflecting wedges. *Quint Int* 1986; 17:659-664.
4. Kinomoto Y, Torii M, Takeshige F, Ebisu S. Comparison of polymerization contraction stresses between self- and light-curing composites. *J Dent* 1999; 27:383-389.
5. Hasen EK. Visible light-cured composite resins: polymerization contraction, contraction pattern and hygroscopic expansion. *Scand J Dent Res* 1982;90:329-335.
6. Fusayama T. Indications for self-cured and light-cured adhesive composite resins. *J Prosthet Dent* 1992; 67:46-51.
7. Fusayama T. Biologic problems of the light-cured composite resin. *Quint Int* 1993;24: 225-226.
8. Imai Y, Kadoma Y, Kojima K, Akimoto T, Ikakura K, Ohta T. Importance of polymerization initiator systems and interfacial initiation of polymerization in adhesive bonding of resin to dentin. *J Dent Res* 1991;70(7): 1088-1091.
9. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH. Do dental composites always shrink toward the light? *J Dent Res* 1998; 77:1435-1445.
10. Suh BI. Composite shrinkage stress and its relaxation by the pulse cure technique. *Cabon's proceedings from the 2<sup>nd</sup> international symposium*, 1997:26-32.
11. Davidson CL and de Gee AJ. Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 1984;63(2):146-148.
12. Davidson CL, de Gee AJ, and Feilzer A. The competition between the composite- dentin bond strength and the polymerization contraction stress. *J Dent Res* 1984;63:1396-1399.
13. Feilzer A, de Gee AJ, and Davidson CL. Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 1987;66:1636-1639.
14. Uno S and Asmussen E. Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at reduced rate. *Scand J Dent Res* 1991;99:440-444.
15. Prati C Early marginal microleakage in class II resin composite restorations. *Dent Mater*1989;5:392-398.
16. McCabe JF and Wilson HJ. The use of differential scanning calorimetry for the evaluation of dental materials. *J Oral Rehab* 1980;7:103-110.
17. Vaidyanathan J, Vaidyanathan TK. Computer-controlled differential scanning calorimetry of dental composites. *IEEE trans on biomedical engineering* 1991;38: 319-325.
18. Vaidyanathan J, Vaidyanathan TK, Wang Y, Viswanadhan T. Thermo analytical characterization of visible light cure dental composites. *J Oral Rehab* 1992;19:49-64.
19. Griggs JA, Shen C, and Anusavice KJ. Sensitivity of catalyst/base ratio on curing of resin luting agents: Polymerization exotherm analysis. *Dent Mater* 1994;10:314-318.
20. Lloyd CH, Joshi A, McGlynn E. Temperature rises produced by light sources and composites during curing. *Dent Mater* 1986;2:170-174.
21. Masutani S, Setcos JC, Schnell RJ, Phillips RW. Temperature rise during polymerization of visible light-activated composite resins. *Dent Mater* 1988;4: 174-178.
22. Lloyd CH, Brown EA. The heats of reaction and temperature rises associated with the setting of bonding resins. *J Oral Rehab* 1984;11:319-324.
23. Goracci G, Giovanni Mori. Scanning electron microscopic evaluation of resin-dentin and calcium hydroxide- dentin interface with resin composite restorations. *Quint Int* 1996;27:129-135.
24. Prati C, Chersoni S, Cretti I, Mongiorgi R. Marginal morphology of class V composite restorations. *Ame J Dent* 1997;10:231-236.
25. Hansen EK, Asmussen E. Effect of postponed polishing on marginal adaptation of resin used with dentin-bonding agent. *Scand J Dent Res* 1988; 96:260-264.
26. Stansbury JW. Synthesis and evaluation of new oxaspiro monomers for double ring-opening polymerization. *J Dent Res* 1992;71:1408-1412.
27. Kemp-Scholte CM, Davidson CL. Complete marginal seal of class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 1990; 69:1240-1243
28. Feilzer AJ, Dooren LH, de Gee AJ, Davidson CL. Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. *Eur J Oral Sci* 1995;103:322-326.
29. Hansen EK. Effect of cavity depth and application technique on marginal adaptation of resins in dentin cavities. *J Dent Res* 1986;65:1319-1321.
30. Bayne SC, Thompson JY, Swift E, Stamatides P. A characterization of first-generation flowable composites. *JADA* 1998;129:567-577.