

## 광 전달 썬기를 이용한 중합 방법이 레진 충전물의 미세 누출과 미세 경도에 미치는 효과

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

서용석 · 김용기 · 김종수

Abstract

### THE INFLUENCE OF CURING WITH LIGHT TRANSMITTING WEDGE INSERTED INTO THE COMPOSITE RESIN BODY ON THE DEGREE OF MICROLEAKAGE AND MICROHARDNESS

Yong-Seok Suh, D.D.S., Yong-Kee Kim, D.D.S., Ph.D., Jong-Soo Kim, D.D.S., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University*

The purpose of this study was to test the hypothesis that the more thorough cure of light-activated composite resin could be obtained if a new way of delivering the light source deep through the resin body is developed when compared to the conventional bulk cure or incremental cure. Using cylindrical resin blocks and natural teeth, various curing conditions were tested for their effects on the degree of microleakage and microhardness. Data were analyzed statistically using One-Way ANOVA and Scheff's Multiple Range test. The results of the present study were as follows:

1. The increment of reduction in microhardness with depth was shown to be higher in group I and II than in group III and V.
2. At the level of lower inner surface and the bottom surface, significantly lower microhardness values were obtained in group I and II when compared to group III, IV and V. Group IV showed the lowest value among three groups(III, IV, V) representing the only statistically significant difference from group V( $p < .05$ ).
3. Differences between groups in the degree of microleakage detected were shown to be statistically significant ( $p < .05$ ) with the exception of group IV and V at both occlusal and gingival margins.
4. Based upon the above-mentioned results, commonly cited recommendation of incremental

curing is strongly supported and the light-transmitting wedge insertion method can be considered as a effective and feasible clinical procedure for the better curing of composite resin. However, more studies under a variety of conditions should be completed before this method is applied actually to the clinical setting.

**Key Words** : Composite resin, Light-curing, Light-transmitting wedge, Microhardness, Microleakage

## I 서 론

환자의 심미적 욕구가 증대되고 재료 자체의 기계적 성질이 향상됨에 따라 그 사용이 꾸준히 증가되고 있는 복합 레진은, 자연치에 가까운 색조를 재현할 수 있고 수은을 방출하지 않으며 치질과의 결합력이 타 재료에 비해 우수한 등의 장점을 지니지만<sup>1)</sup>, 기존의 아말감을 완전히 대체하기 위하여서는 충분한 마모저항, 형태의 재생력, 변연부의 완벽한 폐쇄능력, 방사선 불투과성 등의 요구조건이 구비되어야 하는 한계를 지지고 있다. 그 중에서도 변연부에 발생하는 미세 누출 현상은 치아와 수복물 사이의 세균이나 수분 또는 화학적인 이온과 분자의 통로로 정의되며<sup>2)</sup> 주로 모세관 현상, 변연부 파절, 인접부의 압력 변화, 수복물의 수축과 팽창에 의해 야기되는 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>. 이러한 변연 누출로 인한 수복물 주위의 이차 우식 병소나 변색을 흔히 발견하게 되며, 치질과의 미세 간극과 상아세관을 통과하여 치수조직으로 이입된 세균과 그 부산물이 수복술 후의 동통이나 과민반응 그리고 궁극적으로는 치수의 병변까지 야기하는 결과가 초래되기도 한다<sup>4)</sup>. 이와 같이 수복물의 변연 누출은 수복술의 임상적 성공에 대한 척도로 간주되며 치수의 생활력을 보존하기 위한 중요한 요소인 것이다.

전반적인 기계적 물성이 불량했던 초기의 레진은 그동안 지속적인 발전을 거듭해 왔으며 최근에는 광 중합형 레진 수복재가 개발되어 수복학 분야는 물론 예방 및 교정 분야에 이르기까지 폭넓게 사용되어지고 있다<sup>5)</sup>. 가시광선은 기존의 자외선에 비해 우수한 중합도와 안전성이 인정되

어 임상가들에 의해 선호되고 있으며, 현재 광 중합형 레진 자체의 물성 또한 부형재(filler)의 크기나 체적을 조절하여 재료의 조성을 변화시킴으로써 꾸준히 향상 되고 있다<sup>6)</sup>.

복합 레진의 미세 누출은 경화과정에서 발생하는 중합수축 현상에 기인하며<sup>7)</sup>, 이는 중합의 유형이나 기전에 관계없이 항상 발생하게 된다<sup>8)</sup>. 충전시 긴밀한 접촉을 이루었던 레진과 치질 사이에는 중합수축으로 인한 미세한 간극이 형성되며<sup>9)</sup> 이는 레진을 사용함에 있어 가장 심각한 임상적 문제로서 이를 극복하기 위한 많은 연구가 지속되고 있다. 레진의 점도나 강도 및 와동 벽에 대한 접착력의 향상에도 불구하고 중합시 발생하는 수축에 의한 변연 누출은 계속 존재하고 있다<sup>10)</sup>.

광 중합형 레진 수복시 변연 간극을 감소시키기 위해 다양한 임상적 방법이 소개된 바 있다. 적층 충전 및 중합법<sup>11)</sup>과, 광선을 전달할 수 있는 투명한 매트릭스 밴드나 썬기를 사용하여 인접면의 중합을 유도하는 방법 등이 추천된 바 있다<sup>12)</sup>. 적층법이 일괄법에 비해 훨씬 낮은 양의 중합수축을 나타낸다는 사실은 여러 실험실 및 임상적 연구에 의해 밝혀진 바 있으나<sup>13)</sup> 수축간극을 완전히 제거하지는 못하는 것으로 알려졌으며 Ericksen 과 Buonocore<sup>14)</sup>는 적층법의 사용이 간극의 형성에 별다른 영향을 주지 못하는 것으로 보고한 바 있다.

최근에는 광 중합기에 부착된 플라스틱 투명원추를 와동과 레진 내부에 삽입하여 수축에 의한 간극을 최소화 해보려는 연구가 시도된 바 있는데<sup>15)</sup>, 이들의 연구결과 투명원추의 사용에 의해 2급 와동의 치경부 수축간극이 약 1/2로 감소하였음을 보고하였다. Drexler 등<sup>16)</sup>도 동일한 투명원추

를 삽입하고 중합시킨 군의 표면강도가 대조군에 비해 훨씬 강하였다고 보고한 바 있다. 이 외에도 충전재료의 화학적 조성<sup>17)</sup>이나 색조<sup>18)</sup>, 광원의 강도<sup>19)</sup>나 조사시간 및 파장<sup>20)</sup>, 술자에 의해 결정되는 광원의 거리<sup>21)</sup>나 방향<sup>22)</sup>등은 중합의 정도나 복합 레진의 물성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다<sup>23)</sup>.

중합시 광 조사에 소요되는 시간은 임상가에게 상당한 의미를 지닌다. 일반적으로 광 조사시간이 증가할수록 중합의 정도가 증가하는 것으로 알려져 있으며, 실제 임상에서는 여러 요인에 의해 발생될지도 모를 불완전한 중합을 보상하기 위해 이차중합<sup>24)</sup>을 하거나 광 조사시간을 비례적으로 증가시키는 경우도 있다. 그러나 Yeam<sup>25)</sup>은 일단 상층부의 중합이 최고조에 도달하면 중합시간을 연장한다 하더라도 광선이 미치지 못하기 때문에 하부층의 중합을 연장시키기는 어렵다고 한 바 있다. 이것이 바로 깊은 와동의 중합시 적층 충전 및 중합법이나 또는 어떠한 방법으로도든 심층부에 광원을 도달시키는 방법을 고려해야 하는 이유로 인정된다. 이에 반하여 Baharav등<sup>26)</sup>은 깊은 부위에서도 이미 중합이 완료된 레진 층에 의해 광선의 일부가 흡수되어 다소의 중합이 이루어진다고 주장하였다. 그러나 중합이 이루어지는 깊이가 광 조사시간과 반드시 정비례 하지는 않는다는 점에는 견해를 함께 하였다.

레진의 중합도와 깊이를 평가하기 위해 사용되어 오고있는 실험적 방법에는: 칼로 중합된 재료를 긁어서 연화된 부분을 제거하고 남은 부위의 체적을 계산하여 평가하는 Scraping 방법<sup>27,28)</sup>, 광학 현미경을 사용하여 레진의 투명도의 변화를 측정하여 판정하는 방법<sup>29)</sup>, 적외선 spectroscopy의 사용법<sup>30)</sup>, 중합과정에서 발생하는 이중결합의 단일결합으로 반전되는 정도(%)를 측정하여 판정하는 방법<sup>31)</sup> 그리고 미세 경도를 측정하여 판정하는 방법<sup>32,33)</sup> 등이 있다. 이중에서도 미세 경도의 측정은 중합도 평가의 대표적인 방법으로 널리 사용되고 있으며, 일반적으로 경도가 높을수록 중합의 정도 역시 큰 것으로 인정되고 있다. 그러나 레진의 표층부의 미세 경도는 중합의 깊이를 직접적으로 표현하는 신빙성 있는 척도는 되지 않는다는 견해가 지배적이다<sup>34)</sup>. 이는 Drexler등<sup>16)</sup>의 의견과 맥을 같이 하는 것으로서, 재료 표면의 강도가 증가하

면 마모에 대한 저항성이 강해지는 중요한 임상적 의미를 지니게 되지만<sup>35)</sup> 그것이 레진의 효과적인 중합을 의미하는 것이라 단정지를 수 없다는 뜻으로 해석된다.

이상의 문헌고찰을 통하여 중합 시 광 조사 조건과 레진 충전물의 미세경도 및 변연 미세 누출 정도간의 상관관계에 대한 이견이 아직도 많이 존재하는 부분에 착안하여 본 실험을 구상하게 되었다. 비교적 짧은 시간의 광 조사를 시행하여 통상 추천되고 있는 적층법과 중합정도나 미세 누출 측면에서 별다른 차이가 나지 않는 방법이 개발된다면 임상가에게 현실적으로 많은 도움을 줄 것으로 사료되었다. 본 연구의 기본 목적은 통상적인 임상적 기준에서 적층 중합이 요구되는 정도의 깊은 와동이라 하더라도 중합과정에서 충전물의 심층내부에 광선을 직접 도달 시키는 방법이 있다면 기존의 적층 중합법에 비하여 우수한 중합도와 미세 누출 정도를 나타낼 것이라는 가설을 검증하기 위한 것이었다. 각 실험조건의 중합도에 관한 평가는, 중합된 레진의 표층과 기저부 및 내측면의 미세 경도를 측정하여 비교하고, 아울러 V급 레진 수복물 변연에 나타나는 미세누출 정도를 색소침투 평가방법으로 분석함으로써 시행하였다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

최근에 발거된 헵,설면에 우식이나 결손부위가 없는 건전한 영구 대구치 75개를 대상 치아로 선정하여 미세 누출 실험에 사용하였고, 미세 경도 측정에 사용할 복합레진 블록은 내경 5mm와 높이 4mm의 플라스틱 주형을 이용하여 제작하였다. 충전재료는 복합레진(Z-100, B-2 Shade, 3M, USA)을 사용하였고 충전재의 중합을 위해서는 광중합기(XL 3000, 3M, USA)를, 광원의 강도를 측정하기 위해서 복사계(Radiometer, DentAmerica, USA)를 각각 사용하였다.

2. 연구 방법

중합 조건에 따라 5개의 군을 설정하고 미세 경도 실험에는 각 군당 10개씩 총 50개의 복합레진 블록을 사용하였고, 미세 누출 실험에는 각 군당 15개의 치아를 배정하여 실험하였다.

1) 실험 I : 미세 경도 측정 실험

① 충전용 주형 제작

내경 5mm × 높이 4mm의 원추형 플라스틱 주형을 제작하고 광선의 차단을 위하여 외면을 검게 채색하였다.

② 레진 충전 및 광 중합(Fig. 1~Fig. 2)

준비된 50개의 주형을 무작위로 5개 군으로 나눈 다음, 슬라이드 글라스에 각 주형의 기저면을 접착용 왁스로 고정하였다. 눈금이 그려진 사각모는 종이판을 기저부에 깔고 그 위에 주형이 고

정된 슬라이드 글라스를 위치시킨 다음 각 군의 조건에 따라 다음과 같은 방법으로 각각 충전과 중합을 시행하였다.

(I 군) Teflon 피복 된 충전기를 사용하여 복합 레진을 주형의 내부를 한번에 충전한 뒤, 슬라이드 글라스로 표면을 압접하였다. 광 조사기를 레진 표면으로부터 2.5mm 떨어진 곳에 고정시키고 표본당 40초 동안 1회 중합하였다.

(II 군) I 군과 동일한 과정을 거치되 40초의 광 조사를 2회 시행하였다.

(III 군) 주형의 내부를 복합 레진으로 2단계로 나누어 충전하고 중합 하였다. 첫 번 층은 주형 깊이의 1/2인 2mm 까지 충전하고 광 조사기를 주형의 입구로부터 0.5mm 떨어진 곳에 위치시키고 (레진 표면으로부터 2.5mm) 40초간 중합한 다음, 나머지 공간도 동일한 방법으로 2차 충전 후 레진 표면으로부터 2.5mm의 거리에서 40초간 광 중합

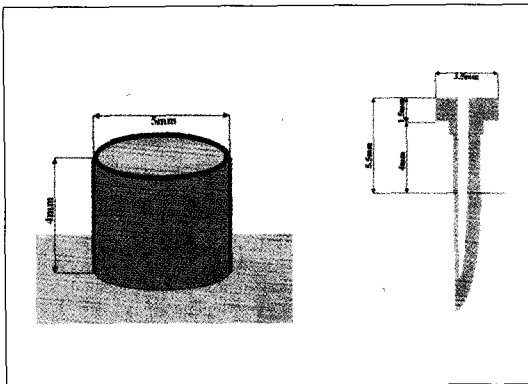


Fig. 1. Schematic drawing of plastic mold and light transmitting wedge with their actual sizes

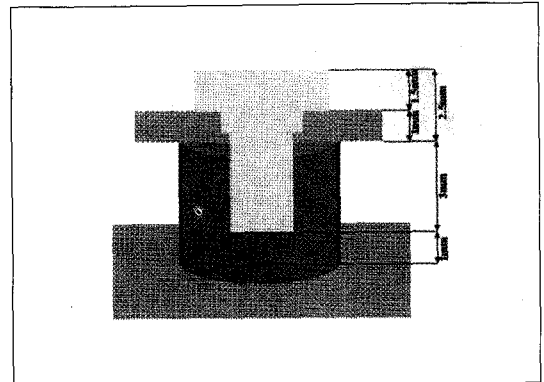


Fig. 2. Schematic drawings of light-transmitting wedge inserted into the resin filled in the plastic mold (for microhardness test)

Table 1. Distribution of groups and samples according to the various experimental conditions

Group	Curing Method	Curing Time (sec)	Microhardness		Microleakage	
			Test	Test	Test	Test
			Sample	Block(N)	Sample	Tooth(N)
I	Bulk Curing	40	10		15	
II	Bulk Curing	40+40	10		15	
III	Incremental Curing	40+40	10		15	
IV	Curing with LTW*	20+20	10		15	
V	Curing with LTW*	40+40	10		15	

\* Light Transmitting Wedge

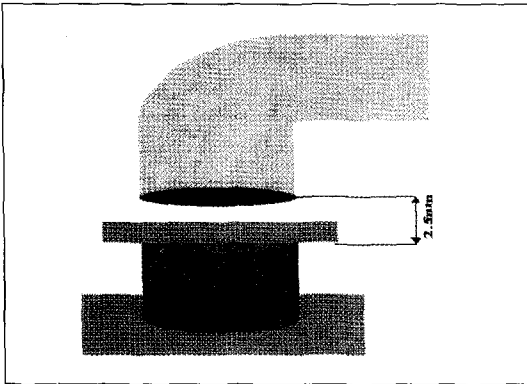


Fig. 3. Schematic drawing of light curing distance from the top surface of resin mold

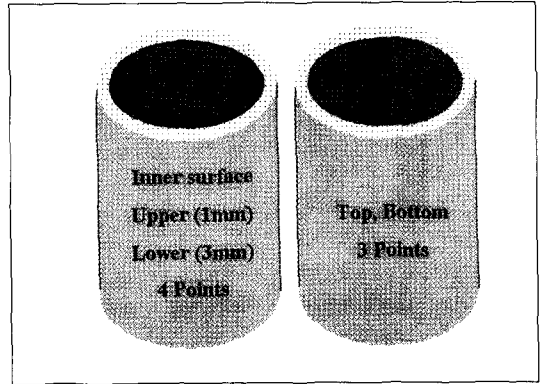


Fig. 4. Schematic drawings of resin section embedded into acrylic resin cylinder for polishing and microhardness measurement.

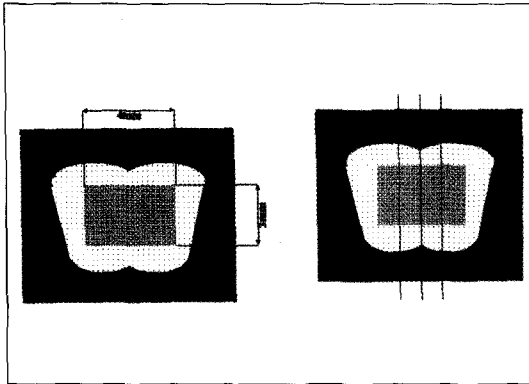


Fig. 5. Schematic drawings of tooth sectioning after dye penetration for microleakage evaluation

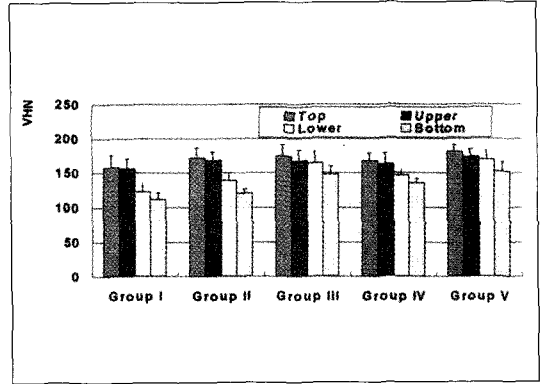


Fig. 6. Bar graph representing the measured microhardness values of each group at different measuring points

Table 2. Vicker's hardness values (Mean+S.D) measured from various measuring points in each group

	Top		Upper		Lower		Bottom	
	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D	Mean	S.D
G I	158.05	27.61	156.52	24.24	123.14	11.95	111.28	39.41
G II	171.77	15.04	167.73	23.05	139.32	20.37	119.92	26.45
G III	173.92	19.77	167.14	25.75	164.58	16.96	147.88	31.97
G IV	167.33	30.77	162.50	25.87	146.93	17.60	135.08	16.48
G V	180.71	31.01	173.58	30.90	169.35	24.44	152.19	13.24

을 시행하였다.

(IV 군) 주형의 내부를 I, II 군과 동일한 방법으로 한번에 레진으로 충전한 다음, 썰기가 삽입되는 지점의 표준화를 위해 미리 제작된 중앙부에 구멍이 뚫린 유리판을 레진 표면 위에 위치시

키고 구멍을 통하여 조심스럽게 썰기를 삽입하였다. 광 전달 썰기는 칙단이 주형의 기저부에서 1mm 상방에 위치하도록 미리 길이를 변형시켜 사용하였다. 광 조사기를 썰기의 끝 부분에 대고(레진으로부터의 거리는 2.5mm) 20초 동안 1차 중합

한 다음, 썬기를 조심스럽게 제거 하였다. 유리판을 떼어내고 썬기가 제거된 공간을 레진으로 일괄충진한 다음 다시 20초 동안 광 중합하였다.

(V 군) IV 군과 동일한 방법으로 시행하되 1, 2차 광 조사시간을 각각 40초로 총 80초의 중합을 시행하였다.

③ 표본의 보관

중합이 완료된 각 군의 모든 표본은 증류수에 담가 37°C에 고정된 항온기에 48시간 보관하였다.

④ 미세 경도 측정

보관된 표본을 경조직 절삭기로 수직으로 2등분하여 1개의 표본당 2개의 박편을 준비하였다. 1개의 박편은 다시 수평 2등분하여 각각 상층면과 기저면의 미세 경도를 측정하는데 사용하고 나머지 박편은 내측 절단면의 경도 측정에 사용하였다. 직경 7mm의 원추봉에 각 박편의 높이만큼의 공간을 남기고 교정용 레진을 주입한 다음, 박편을 경도 측정면이 노출되도록 레진 위에 위치시키고 나머지 부분을 교정용 레진으로 다시 채워 고정시켰다. 원추봉을 실리콘 카바이드 페이퍼가 부착된 연마기에 대고 현미경상에서 소상(scratch)이 관찰되지 않을 때까지 지속적인 물의 분사아래 연마하였다. 원추형의 공간이 뚫린 20×20×40mm의 철근을 특수 제작하고 그 속에 원추 플라스틱 봉을 끼워 고정한 다음, 이를 다시 미세 경도 측정기에 부착하여 흔들림이 없도록 하였다. 미세 경도 (Vickers Hardness Number)는 50g의 하중으로 5 초간 접촉하여 측정하였다. 모든 시편을 동일한 조건과 방법으로 측정하고 측정 점 또한 표준화하려 노력하였다. 표본 당 2개의 박편 중 1개는 표면과 기저면의 미세 경도를 측정하는데 사용하고, 나머지 1개는 표면으로부터의 수직거리가 각각 1mm와 3mm 떨어진 지점의 내면 미세 경도를 측정함에 사용하였다. 표면과 기저부는 각각 6 점을 측정하고, 내면은 6점씩 총 12점의 경도를 측정하도록 하였다(1표본 당 24점).

2) 실험 II : 미세 누출 실험

① 와동 형성

최근 발거 된 대구치 중에서 건전한 협설면을 지닌 치아를 선택하여 디스크로 치관을 분리한 다음, 표면에 부착된 유기물을 스케일러로 제거하고

불소가 함유되지 않은 퍼미스로 세마하여 증류수에 보관하였다. 교정용 레진에 치아의 협면이 노출 되도록 매몰한 다음 표준화 된 와동 형성을 위해 특수 제작된 장치에 각 레진 블록을 고정하였다. 4×3mm의 창이 형성된 접착용 테이프를 노출된 협면에 부착하고 고속 치아 절삭기에 장착된 #690 고속용 바를 이용하여 치아 당 1개씩의 V 급 와동(4×3×4mm)을 형성하였다. 테이프를 제거하고 불소가 함유되지 않은 퍼미스로 다시 치면을 세마하고 증류수로 깨끗이 세척한 다음, 불순물이 섞이지 않은 온풍(Clean WarnerR, 세제상사, 한국)으로 건조시켰다.

② 레진 충전 및 중합

10% 말레 산(Scotch bond MP, 3M, USA)을 15 초 동안 형성된 와동 내면과 와동 변연 법랑질 2mm에 적용하고, 20초 동안 물 분사기로 수세한 다음 건조하였다. Primer와 접착제를 제조자의 지시에 따라 균일하게 적용하고 10초동안 광 중합하였다. 각 군의 조건에 따라 다음과 같은 방법으로 충전과 중합을 시행하였다.

I 군

와동 내부를 레진으로 테프론이 피복된 충전기구를 사용하여 한번에 충전 한 뒤, Matrix tape(3M)으로 압착한 상태에서 광 조사기를 레진 표면으로부터 2.5mm 떨어진 곳에 고정시키고 40 초 동안 중합하였다. 입자의 크기가 다른 연마용 디스크 (SoflexR disc, 3M, USA)를 저속 앵글에 부착하고 물의 분사 하에서 단계적으로 사용하여 변연을 연마하였다.

II 군

I 군과 동일하며 다만 광 중합만 80초 시행하였다.

III 군

와동 내부를 레진으로 2단계로 나누어 충전, 중합하였다. 첫번 층은 와동 깊이의 1/2인 2mm 까지 충전하고 광 조사기를 와동의 입구에서 0.5mm 떨어진 곳에 위치시키고 40초간 중합한 다음, 나머지 와동 공간을 동일한 방법으로 2차 충전하고 2.5mm 의 거리에서 40초 간 중합을 시행하였다. 1군과 동일한 방법으로 연마를 시행 하였다.

IV 군

와동 내부를 1군과 동일하게 한번에 충전하고

Matrix tape으로 압착한 다음 떼어냈다. 기성의 제품을 변형시킨 광 전달 썸기틀 와동의 중앙부에 삽입하였다. 이때 삽입 위치를 표준화하기 위하여 원형의 창이 형성된 1mm 두께의 유리판을 제작하며, 썸기틀의 후미 날개 부위를 제외한 전장이 4mm가 되게 조절하여 삽입 시 썸기틀이 와동의 기저부에서 1mm 떨어지도록 하였다. 유리판을 와동 위에 위치하고 창을 통해 썸기틀을 삽입한 다음, 광 조사기(3M XLT)를 광 전달 썸기틀의 후미에 대고 20초 동안 1차 중합하였다. 썸기틀을 How plier로 조심스럽게 제거해 내고 나머지 와동 공간을 레진으로 한번에 충전한 다음 다시 20초 동안 2차 광 중합을 시행하였다.

V 군

IV군과 동일한 방법으로 시행하되 1, 2차 광 조사시간을 40초로 시행하였다. 광 중합기의 사용은 매 10개의 표본을 중합한 후 Radiometer를 사용하여 광원의 강도를 측정하여 지속적이고 일률적인 광 중합을 도모하였다.

③ Thermocycling

중합이 완료된 모든 표본은 증류수에 넣어 24시

간동안 37°C로 고정된 항온기에 보관하였다. Thermocycling Unit(동경 기연, 일본)에 넣고 5°C와 55°C에서 각각 30초 동안 침지시키는 방법으로 총 1000cycle을 시행하였다.

④ 색소침투

충전물과 그 변연 1mm를 제외한 모든 노출 측면을 내산성의 네일 바니쉬로 3회 도포하여 충분히 건조시켰다. 0.5% basic fuchsin용액에 24시간동안 침지시켜 37°C로 고정된 항온기에 보관하였다.

⑤ 미세 누출의 평가

색소침투가 완료된 표본을 꺼내어 흐르는 물에 세척하고 건조한다음, 경조직 절삭기(Velrus,Japan)와 Abor diamond wafering blade(Buehler Isomet,USA)로 충전물이 포함되도록 협설 방향으로 절단하여 각 치아 당 약 200um 두께의 절편을 3개씩 취하였다. 800-1000 grit의 실리콘 카바이드 페이퍼로 연마하고 CCD 촬영기가 장착된 입체 현미경을 통해 영상을 컴퓨터에 입력하였다. 화상분석 프로그램(Image Pro PlusTM,USA)을 이용하

Table 3. Statistical analysis between groups on from the top

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)
I	II	-13.72
	III	-15.87
	IV	-9.18
	V	-22.66*
II	I	13.72
	III	-2.15
	IV	4.44
	V	-8.94
III	I	15.87
	II	2.15
	IV	6.59
	V	-6.79
IV	I	9.28
	II	-4.44
	III	-6.59
	V	-13.38
V	I	22.66*
	II	8.94
	III	6.79
	IV	13.38

\* : Statistically significant(p<.05) from Scheffe's test

Table 4. Statistical analysis between groups on microhardness values of middle inner surface at 1mm microhardness values of top surface

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)
I	II	-11.21
	III	-10.62
	IV	-5.98
	V	-17.06
II	I	11.21
	III	0.59
	IV	5.24
	V	-5.84
III	I	10.62
	II	-0.59
	IV	4.64
	V	-6.44
IV	I	5.98
	II	-5.24
	III	-4.64
	V	-11.08
V	I	17.07
	II	5.84
	III	6.44
	IV	11.08

여, 전체 와동 벽 전체의 길이에 대한 색소침투의 비율을 교합면과 치은면으로 나누어 백분율로 산출한 다음 그 평균값을 각 절편의 대표값으로 산정 하였다. 각 군의 표본들은 무작위로 재편성한 다음 이에 대한 사전 지식이 전혀 없는 1인의 술자에 의해 평가하였다.

⑥ 통계분석

얻어진 자료는 SPSS Version 7.0 프로그램을 이용하여 평균 및 표준편차를 산출한 다음 One-Way ANOVA 및 Scheffe's Multiple range test 를 시행하여 유의성을 검정하였다.

III. 연구 성적

1. 미세 경도 측정결과

각 군에서 측정된 미세 경도치의 평균과 표준편차를 Table 2에 나타내었고 이를 막대 그래프로 Figure 6에 표시하였다. 측정부위와 관계없이 모든 측정 점에서 V군이 가장 높고 I군이 가장 낮은 평균 경도 치를 나타냈다. 표면(Top)의 미세 경

도는 I군과 V군 사이에서만 유의 차를 보였을 뿐 (p<.05) 다른 군간에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다(p>.05, Table 3). 내측 상부(Upper inner)면의 미세 경도는 군 간에 서로 유의한 차이를 나타내지 않았던 반면(Table 4), 내측 하부(Lower inner)면의 경우에서는 I군과 II군, II군과 IV군, III군과 IV군 그리고 III군과 V군간에 유의 차를 보이지 않았다(p>.05, Table 5). 그리고 기저부(Bottom)의 측정치는 I군과 II군, III군과 IV군 및 III군과 V군간을 제외한 모든 군간에 유의 차를 보였다 (p<.05, Table 6). 각 군내에서 측정부위에 따른 미세 경도의 차이를 통계 처리하여 그 유의성을 검증한 결과는 Table 7 - Table 11과 같다. I군에서는 표층과 내측 상부, 기저부와 내측 하부 사이에서, II군에서는 표면과 내측 상부 사이에서 각각 유의 차를 보이지 않았다. III군에서는 표층과 기저부 사이에서만 유일하게 유의 차를 보였던 반면, IV군에서는 각각 표층과 내측 상부, 기저부와 내측 하부 사이에서 유의차를 보이지 않았다. V군

Table 5. Statistical analysis between groups on microhardness

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)
I	II	-16.17
	III	-41.44*
	IV	-23.79*
	V	-46.21*
II	I	16.16
	III	-25.26*
	IV	-7.61
	V	-30.04*
III	I	41.17*
	II	25.26*
	IV	17.65
	V	-4.77
IV	I	23.79*
	II	7.61
	III	-17.65
	V	-22.42*
V	I	46.21*
	II	30.04*
	III	4.77
	IV	22.42*

\* : Statistically significant(p<.05) from Scheffe's test

Table 6. Statistical analysis between groups values of middle inner surface at 3mm from the top on microhardness values of bottom surface

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)
I	II	-8.65
	III	-36.61*
	IV	-23.81*
	V	-40.91*
II	I	8.65
	III	-27.96*
	IV	-15.15*
	V	-32.27*
III	I	36.61*
	II	27.96*
	IV	12.80
	V	-4.31
IV	I	23.81*
	II	15.16*
	III	-12.80
	V	-17.11*
V	I	40.91*
	II	32.27*
	III	4.31
	IV	17.11*

\* : Statistically significant(p<.05) from Scheffe's test



Table 7. Statistical analysis within each group on the difference of microhardness values according to the measuring points(G-I)

Area (I)	Area (J)	Mean Difference (I-J)
Top	Upper	1.53
	Lower	34.90*
	Bottom	46.77*
Upper	Top	-1.53
	Lower	33.38*
	Bottom	45.24*
Lower	Top	-34.90*
	Upper	-33.38*
	Bottom	11.87
Bottom	Top	-46.77*
	Upper	-45.24*
	Lower	-11.87

\* : Statistically significant( $p < .05$ ) from Scheffe's test

Table 9. Statistical analysis within each group on the difference of microhardness values according to the measuring points (G-III)

Area (I)	Area (J)	Mean Difference (I-J)
Top	Upper	6.78
	Lower	9.34
	Bottom	26.03*
Upper	Top	-6.78
	Lower	2.56
	Bottom	19.26
Lower	Top	-9.34
	Upper	-2.56
	Bottom	16.70
Bottom	Top	-26.03*
	Upper	-19.26
	Lower	-16.70

\* : Statistically significant( $p < .05$ ) from Scheffe's test

의 경우는 기저부와 다른 모든 측정 점간에 유의차가 있는 것으로 나타났다. Fig. 7은 각 군의 측정 점에 따른 전반적인 변화를 도표로 나타낸 것으로서, 일반적으로 심층부로 갈수록 낮아지는 경향을 보였으며 그 변화의 정도는 I, II, III 군에서 비교적 심하였던 반면에 췌기를 삽입하고 중합한 IV, V군의 경우에는 그러한 변화가 둔화되는 양상을 보였다.

Table 8. Statistical analysis within each group on the difference of microhardness values according to the measuring points (G-II)

Area (I)	Area (J)	Mean Difference (I-J)
Top	Upper	4.03
	Lower	32.45*
	Bottom	51.84*
Upper	Top	-4.03
	Lower	28.42*
	Bottom	47.11*
Lower	Top	-32.45*
	Upper	-28.42*
	Bottom	19.40*
Bottom	Top	-51.84*
	Upper	-47.81*
	Lower	-19.50*

\* : Statistically significant( $p < .05$ ) from Scheffe's test

Table 10. Statistical analysis within each group on the difference of microhardness values according to the measuring points (G-IV)

Area (I)	Area (J)	Mean Difference (I-J)
Top	Upper	4.83
	Lower	20.40*
	Bottom	32.24*
Upper	Top	-4.83
	Lower	15.57*
	Bottom	27.41*
Lower	Top	-20.40*
	Upper	-15.57*
	Bottom	11.85
Bottom	Top	-32.24*
	Upper	-27.41*
	Lower	-11.85

\* : Statistically significant( $p < .05$ ) from Scheffe's test

## 2. 미세 누출 측정결과

각 군당 30개(15×2)의 시편에서 각각의 영상을 획득하여 컴퓨터에서 화상분석 프로그램을 사용하여 색소가 침투된 길이를 백분율로 환산한 값의 평균값을 그 대표값으로 하였으며 그 결과는 Table 12와 같다. 전반적으로 치은 변연에 비해 교

합면 변연이 낮은 미세 누출 정도를 나타냈다. 교합면측 변연과 치은측 변연 모두에서 일괄 중합한 I 군이 다른 모든 군과 비교해 가장 높은 미

Table 11. Statistical analysis within each group on the difference of microhardness values according to the measuring points (G-V)

Area (I)	Area (J)	Mean Difference (I-J)
Top	Upper	7.13
	Lower	11.36
	Bottom	28.52*
Upper	Top	-7.13
	Lower	4.22
	Bottom	21.39*
Lower	Top	-11.36
	Upper	-4.22
	Bottom	17.16*
Bottom	Top	-28.52*
	Upper	-21.39*
	Lower	-17.16*

\* : Statistically significant(p<.05) from Scheffe's test

Table 12. Data representing the degree of dye penetration in each group(Mean+S.D, %)

	Occlusal		Gingival	
	Mean	S.D	Mean	S.D
Group I	41.89	11.39	71.95	12.29
Group II	35.22	11.62	61.18	13.42
Group III	23.89	6.15	46.20	13.46
Group IV	17.03	6.17	28.50	8.28
Group V	14.70	6.03	23.69	6.99

\* : Statistically significant(p<.05) from Scheffe's test

세 누출 양상을 보였고 그 다음 II, III, IV, V군의 순서로 감소하였으며, IV군과 V군간만 제외하고는 모든 구간에서 유의한 차이를 나타냈다 (p<.05, Table 13-14). 40초를 조사한 IV군이 80초를 조사한 V군과 유사한 결과를 보임으로써 췌기를 사용할 경우 광 조사 시간은 별다른 영향을 주지 않는 것으로 평가되었다.

#### IV. 총괄 및 고안

복합 레진이 개발 된 이래 부형재의 첨가 비율을 높이고 레진 자체의 화학적 조성을 변형시키는 등의 노력으로 물성이 향상 되고 상당한 부분의 임상적 결점이 보완되었음에도 불구하고 이차우식증, 불완전한 중합, 변색, 파절 또는 변연 누출 등의 발생은 여전히 해결해야 할 문제점으로 지적되고 있다<sup>28,36)</sup>.

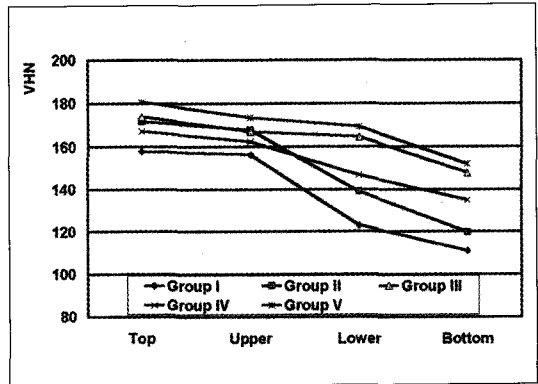


Fig. 7. Line graph representing the patterns of reduction of microhardness values according to depth of measurements in each group

Table 13. Statistical analysis between groups on the difference of the degree of microleakage at occlusal margin

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)
I	II	6.67*
	III	18.00*
	IV	24.86*
	V	27.19*
II	I	-6.67*
	III	11.33*
	IV	18.19*
	V	20.52*
III	I	-18.00*
	II	-11.33*
	IV	6.86*
	V	9.19*
IV	I	-24.86*
	II	-18.19*
	III	-6.86*
	V	2.33
V	I	-27.19*
	II	-20.52*
	III	-9.19
	IV	-2.33

\* : Statistically significant(p<.05) from Scheffe's test

이 중에서도 변연 누출 현상은 복합 레진이 중합되는 과정에서 항상 발생하는 중합수축에 의해 치질과 수복물 사이에 미세한 수축간극이 형성됨으로써 야기되는데 우수한 상아질 결합체계의 사용에도 불구하고 완전히 해결되지 않고 있다<sup>37)</sup>. 재료의 점도나 강도 또는 와동 벽에 대한 레진의 접

Table 14. Statistical analysis between groups on the difference of the degree of microleakage at cervical margin

Group (I)	Group (J)	Mean Difference (I-J)
I	II	10.77*
	III	25.75*
	IV	43.45*
	V	48.26*
II	I	-10.77*
	III	14.98*
	IV	32.68*
III	V	37.49*
	I	-25.75*
	II	-14.98*
IV	IV	17.70*
	V	22.51*
	I	-43.45*
V	II	-32.68*
	III	-17.70*
	V	4.81
	I	-48.26*
V	II	-37.49*
	III	-22.51*
	IV	-4.81

\* : Statistically significant(p<.05) from Scheffe's test

착력 등이 향상되고 있음에도 불구하고 간극의 형성과 이에 따른 누출 현상은 흔히 관찰되며, 이는 구치부 2급 와동에서의 치경부 변연에서 특히 심하다<sup>38)</sup>.

충전물과 치질사이에서 발생하는 미세 누출 현상에 의해 야기되며 복합레진 수복물을 재 제작해야 하는 가장 주된 원인으로 지적되는 것은 다름 아닌 수복물 변연에 발생하는 이차 우식증의 발생이다. 색소 침투법에 의해 시험관 실험에서 관찰된 바에 의하면 이러한 미세 누출은 거의 모든 와동 벽에서 발견된다고 한다<sup>39)</sup>. 이와 같은 사실은 수복한지 4년이 경과한 모든 구치부 레진 수복물의 48%가 불량한 변연 적합도를 보였다고 한 Wilson 등<sup>40)</sup>의 연구보고에서도 잘 나타나고 있다. 그러나 이러한 실험 결과는 항상 일치되는 것은 아니며, 그 일례로 Jordan<sup>1)</sup>은 레진 수복물의 90% 정도가 5년이 경과한 후에도 임상적으로 아무 문제가 없음을 보고한 바 있다. 이와 같이 재료의 유형이나 관찰 기간 등의 임상적 기준에 의해 다양한 실패율이 보고되고 있으나, 상당한 비율의 수

복물이 불량한 변연 적합이나 미세 누출에 의해 많은 문제점을 나타내고 있는 것은 사실임에 틀림없으며<sup>41)</sup>, 마모에 대한 저항은 아말감에 근접한 레진이 개발되고 있는 상태인데 비해 변연의 부적절한 적합은 아직도 해결되지 않은 채 재 수복의 주된 원인이 되고 있는 것이다.

수복재가 경화하는 동안 과다한 수축을 일으키는 것은 와동 벽에 대한 적합이 손상을 받게되므로 바람직하지 못하다<sup>42)</sup>. 이와 같은 변연 밀봉의 장애는 상아질이나 법랑질 와동 벽과 수복물 사이의 결합에 의해 상쇄될 수 있다. 이러한 결합은 법랑질의 산 부식법이나 다양한 상아질에 대한 결합제에 의한 미세-기계적 유지에 의해 제공된다.

중합수축의 크기는 복합레진과 치질 사이의 결합력에 영향을 미친다. 산 부식법에 의해 형성된 복합레진과 법랑질 간의 결합이 수축을 충분히 견딜 만 하므로 변연 누출은 발생하지 않는 것으로 널리 알려져 있다<sup>43)</sup>. 그러나 이러한 수축력은 상당히 하여 와동의 법랑질 변연을 손상시킬 수 있으며 2급 와동에서 치아를 만곡(distortion)시킬 수도 있다<sup>44)</sup>. 지금까지 알려진 바로는 상아질과의 결합력이 법랑질의 결합력보다 낮으며, 직경 2mm 깊이 1.5mm보다 큰 상아질 와동에서는 상아질 접착제의 종류와 무관하게 변연 간극의 형성을 방지할 수 없다고 하였다<sup>37)</sup>. 이에 대한 유일한 대응책으로는 레진 내부에서 발생하는 체적 중합수축의 양을 감소시키는 것이다.

일반적으로 알려진 바에 의하면, 중합이 진행될 분자의 크기가 클수록 해당 monomer의 체적에 대한 중합수축이 낮고 레진 내부의 부형재의 체적 마찰(volume friction)- 부형재의 첨가가 클수록 중합수축은 낮아지며 변환의 정도가 높아질수록 수축도 커진다. 중합수축은 복합 레진의 경화와 관련된 교차결합의 반응산물이다. 수축의 양은 존재하는 이중결합의 양과 경화반응의 양에 의해 좌우된다. 어느 특정한 가시광선 중합형 복합 레진의 경우, 부형재의 첨가와 이중결합의 양은 일정하므로 결과적으로 중합수축은 광원의 노출이 이뤄지는 중합과정의 질에 의해 결정된다고 보아진다. 광선이 재료의 총 깊이를 통과하지 못할 경우 기저부에는 완전히 중합되지 않은 레진이 남게되는데, 이때 flow가 가능하게 되므로 오히려 중

합에 의한 수축은 적어진다<sup>42)</sup>.

재료마다 서로의 중합수축 정도가 다소간의 차이를 보이지만, 궁극적으로 변연의 안정성은 결합계면 부위에서 발생하는 응력에 기인한다<sup>45)</sup>. 이는 단순한 체적수축(volumetric shrinkage)에 의한 응력 이라기보다는 여러 요인들 간의 복잡한 상호반응에 의한 것이다. 높은 탄성계수는 수축에 의한 응력을 증가시킨다<sup>46)</sup>. 이러한 높은 탄성계수는 상아질 접착력은 분명히 증가시키나 와동 내의 변연 적합도에는 좋지 않은 방향으로 작용한다<sup>45)</sup>. 자가중합용 레진에서 측정되는 응력은 중합역학과 관련된 것으로 나타났다. 이러한 재료에 있어서는 수축과정동안 발생하는 탄성계수가 응력의 발생에 영향을 주는 것으로 입증되었다<sup>46)</sup>.

중합수축에 의한 응력을 최소화하기 위한 다양한 방법으로서 광 전달 썸기, 광 조사기의 위치 변경법, 적층 중합법, spot-cure법, 투명 매트릭스 밴드의 사용이 추천되어왔다. 이와 같은 치경부 수축간극의 형성을 줄이기 위하여 인접면 사이로 빛을 전달할 수 있는 투명한 썸기들의 사용이 시도된 바 있다<sup>23)</sup>. 또한 최근에는 투명한 원추를 통하여 중합광선을 와동과 레진 내부로 전달함으로써 II급 와동의 치경부 수축간극을 반감시켰다는 결과가 보고되어 주목을 받은 바 있다<sup>15)</sup>. 본 실험에서 사용된 광 전달 썸기는 본래 인접면 삽입용으로 시판되는 제품의 길이만을 변형시켜 와동 내부에 삽입하도록 고안된 것이다. 결과적으로 광 전달 썸기를 Ericson<sup>15)</sup>이 사용한 투명원추 대신 광선 전달 매체로 선택하였던 것이며, 이를 와동 내부에 삽입하였을 때 삽입하지 않은 다른 방법에 비해 그들의 연구결과와 유사한 미세 누출 감소 효과가 나타나는지를 검증하도록 고안되었다. 저자의 소견으로는 이와 같은 본 실험의 방법이 Ericson<sup>15)</sup>이 사용한 투명 원추 삽입법과 이론적으로는 충분히 같은 효과를 나타낼 것으로 가정하였으며, 실험 여건 상 가장 실용적인 방법으로 사료되어 이를 선택하게 되었다.

광 중합용 복합 레진은 자가중합형에 비해 기포와 변색이 적고 작업시간이 길며 조작하기 쉽다는 장점을 지닌다. 그러나, 최대의 중합과 장기적인 임상적 성공을 거두기 위해서는 적절한 파장의 범위 안에 있는 광선을 광 중합 수복물의 모든

부분에 도달해야 한다.

중합의 깊이는 광원의 강도나 조사시간, 중합기의 침단으로부터의 거리 그리고 복합 레진에 의한 광선의 회석(감쇠)등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다<sup>21)</sup>. 광원의 밝기나 강도가 중합의 완성도를 정확히 예측할 수는 없으나, 중합의 깊이는 광도가 높을수록 일반적으로 증가한다. 광 조사시간 또한 중합의 깊이 변화에 관련되며, 조사시간의 증가는 중합정도의 증가를 야기했으나 정비례하지는 않는 것으로 보고된 바 있다<sup>26)</sup>. Strang<sup>47)</sup>은 광 조사기의 침단으로부터의 거리가 멀어질수록 조사도(irradiance)는 감소하고 따라서 경화시간은 증가하게된다고 한 바 있다. 통상적인 광 조사기의 위치는 1mm가 추천되고 있으나 항상 가능한 것은 아니다.

중합의 깊이에 영향을 주는 다른 요인들로서는 레진의 화학적 조성, 실험용 주형의 재질이나 직경 등이 있으며, 그 외에 복합 레진의 투과성 및 광원의 파장에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다<sup>27)</sup>. 치과용 복합레진 자체의 부형재 입자의 크기는 중합깊이와 직접 연관된다. 광선의 분산은 중합의 깊이에 영향을 주며, 입자가 큰 재료일수록 광 분산의 영향을 덜 받게 되므로 레진 내에서 전달성이 높으므로 결과적으로 중합의 깊이나 정도가 증가한다<sup>30)</sup>. 그러므로 다양한 종류의 레진을 비교하여 보는것도 의미가 있을 것으로 사료된다.

실험용 주형으로는 스테인레스 스틸이나 동(brass), 테프론, 아크릴, 치아 등 다양한 종류의 주형이 사용되어 왔으며, Polypropylene이나 polytetrafluoroethylene 주형은 실제보다 다소 과다한 중합의 깊이를 나타낸다고 한다<sup>27)</sup>. 그러나 이들간의 확실한 차이와 그 효과는 밝혀진바 없다. 그러나 일반적으로 실험에서 연고자 하는 것이 무엇인가에 따라 어느것을 사용할 것인가가 결정되어진다. 따라서 본 실험에서는 치아를 미세 경도 실험에는 사용하지 않고 깊이에 따른 경도의 차이를 측정하기에 용이한 플라스틱 주형을 사용하였으며 또한 연마과정에 따른 결과의 변위를 최소화하려는 의도였다. 그러나 실험실에서 주형을 사용하여 측정된 중합도는 자연치의 투명도 등의 요소가 고려되지 않은 상태이므로 실제 임상과는 다소의 차이가 있음을 인정해야 할 것이다.

중합에 유용한 에너지는 450-500 nm의 파장 범위 내에서만 존재한다. Photoinitiator (camphorquinone)의 흡수 파장이 470 nm에서 가장 크며 이 지역 내에 존재하기 때문이다. 그러나 중합의 깊이와 470 nm에서의 광도사이의 상관성은 생각보다는 약하다<sup>21)</sup>.

일반적으로 제조사가 지정하는 광 조사시간 내에 충분한 중합이 이뤄지지 않는 것을 관찰할 수 있다. 적층 중합이 3-4mm 깊이의 와동에서는 가장 권장된다고 하였다<sup>48)</sup>. 이처럼 일반적으로 제조사가 추천하는 광 조사시간은 광 조사기의 성능이 적합할 때를 기준으로 한 것이며, 적정수준 이하의 성능인 경우에는 완벽한 물성을 기대하지 못하게 된다<sup>49)</sup>. 광 섬유의 파손, 할로겐 전구의 손상, 필터의 결함, 광 조사기 끝에 묻은 레진, 부주의로 인한 광 전달기의 파손 또는 균열 등이 광 중합의 깊이에 영향을 줄 수 있다. 광 조사기의 상태는 광원의 강도와 직접 관련되며 중합에 있어 어떤 요소보다도 더욱 중요한 요인이다<sup>50)</sup>. 그러므로 광 중합을 시행하기 전에 광도 측정기를 사용함으로써 레진의 변환도(degree of conversion)를 예측 해보는 것은 실질적인 면에서 상당한 도움이 될 것이다<sup>51)</sup>. 본 연구에서는 실험상의 오차를 줄이기 위해 이러한 사항의 점검을 게을리 하지 않았고 특히 광 중합 과정에서 광도 측정기를 사용하여 광도를 주기적으로 평가함으로써 광도의 차이가 실험결과에 영향을 주지 않도록 배려하였다. 광 조사기와 시편을 일정한 거리에 고정하여 광원에서 재료간의 거리를 항상 일정하게 하였으며, 그 거리를 2.5mm로 선택한 이유는 광 전달 췌기를 삽입할 경우 췌기와 슬라이드 글라스의 두께로 인해 최단 거리가 2.5mm이었으므로 대조군이나 타 실험군도 이와 동일한 조건을 부여하기 위함이었다.

중합과정에서 수복물의 심층부가 표층에 비해 중합의 정도가 낮다는 사실은 이미 알려진 사실로서, 이러한 문제점을 극복하기 위해 임상에서 통상적으로 사용되는 대표적인 방법은 와동의 내부를 그 깊이에 따라 여러 층으로 나누어 충전하고 중합하는 적층법(incremental layering technic)이 있다<sup>11)</sup>. 이 방법은 상아질을 포함한 깊은 와동의 경우에는 필히 사용하도록 현재 임상에서 추천되고

있으나, 일괄 중합법에 비해 작업시간이 상당히 오래 소요된다는 것이 가장 큰 단점으로 지적되고 있다. 또한 적층법이 간극 형성의 증감에는 별다른 영향을 주지 않는다는 결과도 보고된 바 있다<sup>14)</sup>. 이는 본 실험결과와 일치하는 것으로서, 적층법이 대조군이나 일괄 중합군 보다는 우수하였으나 췌기 삽입군에 비해서는 중합시간에 무관하게 오히려 심한 미세 누출을 보인 것은 췌기 삽입이나 원추 삽입 등의 레진 내부에 광을 전달하는 이론이 설득력이 있음을 시사하고 있다.

광 중합형 레진의 최종 탄성계수는 중합을 위해 사용되는 광선의 강도에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려졌다. 높은 광도의 광선을 사용할 경우 레진의 탄성계수가 증가하여 결과적으로 변연의 간극이 증가하게 된다는 이론이다. 이와 같은 맥락으로 일반적으로 광도가 높은 광선으로 중합을 시행할 경우에 중합의 깊이가 증가한다는 연구결과<sup>32,33)</sup>들이 주종을 이루고 있다. 반면, 광도가 중합 깊이의 결과에 별다른 영향을 주지 못한다는 상반된 연구 결과도 있다<sup>54)</sup>.

일반적으로 아주 높은 광도의 광원이 레진의 중합에 추천되고 있으며, 이는 레진의 물성과 중합 깊이를 고려한 것에 기인한 것으로 판단되나 응력의 발생이라는 또 다른 요인은 간과하는 경향이 있는 듯 하다. 실제로 다소 저하된 광도의 광선으로 중합을 시작하는 것이 변연의 적합도 면에서는 우수한 결과를 가져온다는 최근의 보고<sup>55)</sup>는 주목할 가치가 있다. 본 연구에서 췌기 사용군이 적층 중합군이나 대조군에 비하여 낮은 미세 누출 정도를 나타낸 것은 광 전달 췌기를 사용함으로써 광원의 중심점을 와동 내부 깊은 부위로 이동시킬 수 있었기 때문에 광원에 보다 가까워진 심층부 레진의 수축을 감소시킬 수 있었으며 충전물의 중앙에 췌기가 위치하여 중합수축의 방향을 변환하는 효과를 나타낼 수 있었던 것으로 추이할 수 있다. 그러나 췌기를 통과한 광선의 광도가 감소된 요인도 분명히 작용하였으리라 추론할 수 있다.

과거 중합용으로 사용되던 자외선은 사용할수록 그 방출이 약해지는 반면에 현재 각광을 받고 있는 가시광선의 램프는 비교적 지속적인 출력을 유지함으로써, 광도의 변화에 따른 중합의 문제점

을 감소시키고 있다. 아울러 자외선에 비해 보다 두터운 두께의 레진을 중합시키는 능력을 보유한 것으로 알려져 있다. 중합의 정도는 레진의 색조에 의해서도 변화되는데 밝은 색조의 중합도가 어두운 색조에 비해 우수하다고 알려져 있으나, 색조와는 무관하게 광 조사시간이 증가할수록 중합의 정도 또한 일반적으로 증가하는 것으로 알려져 있으며 표면으로부터 멀어질수록 그 부분의 경도는 감소된다<sup>56)</sup>. 레진의 중합정도가 감소되면 레진의 다른 물성 또한 분명히 저하된다. 그 예로 Tirtha등<sup>58)</sup>은 횡단강도가 감소함을 밝힌 바 있다. 이처럼 불완전한 중합으로 인해 레진 수복물의 기저부에 완전히 중합되지 못한 레진이나 미 반응 분자가 존재하게 되면 여러 가지 바람직하지 못한 결과가 초래된다. 기계적으로는 레진 재료의 강도와 경도가 감소하게 된다. Inoue & Hayashi등<sup>59)</sup>은 미 반응 산물이 수복물에서 유리되어 조직에 국소적인 자극을 주게되어 이차 우식 발생의 결과를 낳을 수도 있다고 한 바 있다.

중합깊이를 판정하기 위한 방법을 고안하기 위해 많은 학자들이 다양한 방법을 사용하였다. 첫째, 특정 점의 경도를 측정하여 간접적으로 중합깊이를 평가하는 방법을 Scraping 방법이라 하는데 이는 중합이 완료된 시편의 기저부를 칼로 긁어내어 모든 중합이 되지 않은 부위의 재료를 제거하고 남은 부위의 깊이를 측정하는 방법이다<sup>27,28)</sup>. 둘째로는 광학 현미경을 이용하여 레진 투명도의 변화를 측정하여 중합의 깊이를 결정하는 방법이며, 탐침을 이용하여 미 중합된 레진 표면에 구멍을 내는 방법으로 중합 레진과 미 중합 레진의 경계선을 구분하였다<sup>29)</sup>. 셋째 방법으로서 적외선 분광기를 사용하여 직접 측정하는 방법이 있으며, 중합반응에서 탄소의 이중결합이 단일결합으로 전환되는 양을 %로 나타낸 변환도를 측정하기 위해 사용된다<sup>30)</sup>. 미세 경도를 측정하는 방법은 가장 널리 선호되고 있는 방법으로서 중합의 정도를 판정하는데 유용하다<sup>21,30)</sup>. 일반적으로 경도가 클수록 중합정도 역시 큰 것으로 인정된다<sup>30)</sup>. 그러나 일반적으로 표면의 미세 경도와 중합의 깊이간에는 직접적인 상관관계는 성립되지 않는다는 견해가 지배적이다<sup>34)</sup>. 이는 Drexler<sup>16)</sup>의 의견과 일치하는 것으로서, 재료 표면의 강도가 증가하면 마모에 대

한 저항성이 강해지는 중요한 임상적 의미를 지니게 되지만<sup>35)</sup> 그것이 레진의 효과적인 중합을 의미하는 것이라고 단정지을 수는 없다는 의미로 해석된다. 반면 Skeeters등<sup>60)</sup>은 중합의 깊이는 레진의 표층부위에서 측정된 경도의 최소한 90%에 해당하는 경도를 유지하는 지점까지로 정의한 바 있다. Scraping과 광학현미경 사용법은 중합정도를 과다하게 평가하는 경향이 있고 실용적이지 못한 것으로 인정되었다. 본 실험에서 미세 경도 측정과 미세 누출 측정을 병행한 것은 그 중 어느 하나만으로는 실험조건외의 효과를 충분히 평가할 수가 없다는 판단에서였다. 또한 표층과 기저부의 경도 측정만으로는 중합의 깊이나 정도를 대표할 수 없으므로 내면의 경도를 함께 측정하려 시도하였다. 경도측정을 위해 필수적인 연마과정이나 절단과정에서 발생하는 열의 영향이나 오차를 완전히 배제할 수 없음이 단점으로 지적될 수 있으나 본 실험의 결과에 유의한 영향을 미치지 않았을 것으로 사료되었다.

실험의 방법상 측면에서 췌기가 삽입되는 III, IV군의 경우 미세 경도의 측정 지점을 결정함에 다소 어려움을 겪었다. 왜냐하면 췌기가 삽입되었던 부분의 경도는 해당 군의 경도를 대표할 수는 없는 것으로 사료되었으며, 따라서 그 부분을 제외한 나머지 부위의 경도를 측정하기로 하였던 것이다. 가능한 지점 등을 표준화하려 노력하였으므로 그와 관련된 실험의 오차는 비교적 적었으리라 평가된다. 다만 시편과 측정 점의 수와 측정 횟수가 많았던 실험상의 문제만 아니었다면 췌기의 위치로부터 일정한 간격을 두고 외측을 향하여 수평적으로 측정하고 싶었던 점이 아쉽다.

미세 누출의 경우에는 전반적으로 다소 예상보다 높은 누출정도를 보였으나 각 군의 조건에 따른 변화는 다른 연구<sup>11,12,15)</sup>의 결과와 유사하였다. 특이한 것은 III, V군보다 낮은 미세 경도를 나타내어 중합의 정도 또한 낮은 것으로 평가된 IV군이 가장 낮은 미세 누출을 보인 점이다. 낮은 누출을 보인 이유는 III, V군의 경우 IV군에 비해 중합시간이 길었으므로 이중결합의 변환율이 상대적으로 높아 그에 의한 중합수축이 빠르고 많이 발생되어 치질과의 결합이 분리되는 누출현상이 IV군보다 많았던 것으로 해석된다. 그러나 이는 쉽

사리 결론지을 수 없는 것으로서 화학적 분석이 함께 시행되어야 명확한 분석이 가능할 것으로 사료된다. 본 실험 결과를 분석함에 있어 가장 혼동되었던 것은 레진의 완전한 중합이 이상적인 목표이지만 미세 누출의 측면에서는 반드시 그렇지 않다는 점이었다. 과연 임상가에게 추천할 재료나 방법을 선정함에 있어 그 기준을 어느 쪽에 두어야 할지 판단하기 어려운 것이 사실이다.

본 연구의 결과를 종합하여 볼 때, 3mm 이상의 깊은 와동에서 일괄충진 및 중합방법은 피해야 하며 적층 중합이 권장된다. 임상적인 측면을 고려하여 광 조사시간을 단축시키려는 의도에서 설정하였던 IV군의 결과가 실질적인 대조군 이었던 적층 중합 군에 비해 미세 정도 측면에서도 크게 떨어지지 않고 미세 누출 면에서는 유의성은 없으나 오히려 우수하였으므로 임상적용의 가능성이 인정된다. 그러나 본 실험의 조건만으로는 그 결과를 단정짓기는 어려우며 이에 관한 보다 많은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

본 연구의 기본 목적은 통상적인 임상적 기준에서 적층 중합이 요구되는 정도의 깊은 와동이라 하더라도 중합과정에서 충전물의 심층내부에 광선을 직접 도달시키는 방법이 있다면 기존의 적층 중합법에 비하여 우수한 중합도와 미세 누출 정도를 나타낼 것이라는 가설을 검증하기 위한 것이었다. 각 실험조건의 중합도에 관한 평가는, 중합된 레진의 표층과 기저부 및 내측면의 미세 정도를 측정하여 비교하고, 아울러 V급 레진 수복물의 변연에 나타나는 미세 누출 정도를 색소침투 평가방법으로 분석함으로써 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중합방법에 관계없이 상층 표면으로부터의 거리가 증가할수록 미세 정도는 전반적으로 감소하는 양상을 보였으나 상층표면과 상부(1mm지점)의 정도는 유의차를 보이지 않았다( $p>.05$ ).
2. 깊이의 증가에 따른 미세 정도 감소 양상은 전반적으로 I, II군이 가장 뚜렷하였고 III, V군이 가장 미약하였다.

3. 내측 하부(3mm)와 기저면에서는 I, II군이 III, IV, V군에 비해 현저히 낮은 미세 정도를 나타냈다. III, IV, V 군 간의 비교에서는 IV군이 V군에 비해 낮은 정도를 보였으나( $p<.05$ ), III군과는 유의차가 없었다( $p>.05$ ).
4. 모든 군에서 치은측 변연이 교합면측보다 높은 미세 누출 양상을 나타냈다.
5. 측정된 미세 누출의 평균값(%)은 I, II, III, IV, V 군의 순서로 높게 나타났으며, 통계학적 유의 차는 양측 변연 모두 IV-V군간을 제외한 모든 군간에서 발견되었다( $p<.05$ ).
6. 이상의 결과를 토대로 한다면, 깊은 와동을 광중합형 레진으로 수복하는 경우에 일괄-중합법의 사용은 피해야할 것으로 사료된다. 본 실험에서 적층 중합법과 비교된 광 전달 썬기 삽입법의 효과는 특히 미세 누출 면에서 우수한 것으로 평가되어 임상적용의 가능성은 충분히 인정되나 보다 많은 연구의 선행이 요구된다.

## 참 고 문 헌

1. Jordan RE, Suzuki M : Posterior composite restorations; where and how they work best. J Am Dent Assoc 122:31-7, 1991.
2. Bauer JF, Henson JL : Microleakage around dental restorations; a summarizing review. J Am Dent Assoc 87:1349-57, 1972.
3. Bullard RH, Leinfelder KF, Russell CM : Effect of coefficient of thermal expansion on microleakage. J Am Dent Assoc. 116:871-4, 1988.
4. Bergenholtz G : Reactions of the dental pulp to microbial provocation of calcium hydroxide treated dentin. In Endodontics. 3rd Ed. Philadelphia, Lea & Febiger 330, 1985.
5. Kanca J : Visible light-activated posterior composite resins- A comparison of surface hardness and uniformity of cure. Quint Int 5:345, 1985.
6. St. Germain H, Swartz ML, Phillips RW et al. : Properties of microfilled composites resins as influenced by filler content. J Dent Res 64:155-60, 1985.

7. Craig RG : Dental restorative materials. St. Louis, Mosby 262, 1987.
8. Walls AW, McCabe JF, Murray JJ : The polymerization contraction of visible-light composite resins. J Dent 16:177-81, 1988.
9. Feilzer AJ, DeGee AJ, Davidson CL : Curing contraction of composite and glass ionomer cements. J Prosthet Dent 59:297-300, 1988.
10. Gross JD, Retief DH, Bradley EL : Microleakage of posterior composite restorations. Dent Mater 1:7-10, 1985.
11. Hassan K, Mante F, List G, Dhuru V : A modified incremental filling technique for class II composite restorations. J Prosthet Dent 58:153-6, 1987.
12. Lutz F, Krejci I, Oldenburg TR : Elimination of polymerization stresses in the margins of posterior composite resin restorations; a new restorative technique. Quint Int 17:777-84, 1986.
13. Bowen RL, Rapson JE, Dickson G : Hardening shrinkage and hygroscopic expansion of composite resins. J Dent Res 61:654-8, 1982.
14. Ericksen HM & Buonocore MG : Marginal leakage with different composite restorative materials: Effect of restorative techniques. J Am Dent Assoc 93:1170, 1976.
15. Ericson D, Derand T : Reduction of cervical gaps in class II composite resin restorations. J Prosthet Dent 65:33-7, 1991.
16. Drexler P, Garcia-Godoy F, Boj JR : Surface hardness of a resin composite cured with a transparent cone. Pediatr Dent 19:419-20, 1997.
17. Boyer DB, Chalkley Y, Chan KC : Correlation between strength of bonding to enamel and mechanical properties of dental composites. J Biomed Mater Res 16:775-83, 1982.
18. Harrington L, Wilson HJ : Determination of radiation energy emitted by light activation units. J Oral Rehabil 22:377-85, 1995.
19. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Operative Dent 19:26-32, 1994.
20. Lee SY, Chiu CH, Boghosian A, Greener EH : Radiometric and spectroradiometric comparison of power outputs of five visible light-curing units. J Dent 21:373-7, 1993.
21. Pires JA, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ Jr. : Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. Quintessence Int 24:517-2, 1993.
22. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MC : Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. J Dent 20:183-8, 1992.
23. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, et al. : Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. Am J Dent 6:91-5, 1993.
24. Wendt SL Jr. : The effect of heat used as secondary cure upon the physical properties of three composite resins. II. Wear, hardness, and color stability. Quintessence Int 18:351-6, 1987.
25. Yearn JA : Factors affecting cure of visible light activated composites. Int Dent J 35:218-25, 1985.
26. Baharav H, Abraham D, Cardash HS et al. : Effect of exposure time on the depth of polymerization of a visible light-cured composite resin. J Oral Rehabil 15:167-72, 1988.
27. COOK, W. : Factors Affecting the Depth of Cure of Ultraviolet-Polymerized Composites, J Dent Res 59:800-808, 1980.
28. Tirtha R, Fan PL, Dennison JB et al. : In Vitro Depth of Cure of Photo-activated Composites. J Dent Res 61(10): 1184-1187, 1982.
29. Murray GA, Yates JL, Newman SM : Ultraviolet Light and Ultraviolet Light-activated Composite Resins, J Prosthet Dent 46:167-170, 1983.
30. DeWald JP & Ferracane JL : A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites. J Dent Res 66:727-



- 730, 1987.
31. Ruyter IE & Oysaed H : Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials. *Acta Odontol Scand* 40: 179-182, 1982.
  32. DeLange C, Bausch JR, Davidson CL : The curing pattern of photo-initiated dental composites. *J Oral Rehabil* 7:369-377, 1980.
  33. Watts DC, Amer O, Combe EC : Characteristics of visible-light-activated composite system. *Br Dent J* 156: 209-215, 1984.
  34. Hansen EK and Asmussen E : Correlation between depth of cure and surface hardness of a light-activated resin. *Scand J Dent Res* 101:62-4, 1993.
  35. Jorgensen KD : Restorative resin:abrasion vs. mechanical properties. *Scand J Dent Res* 88:557-68, 1980.
  36. Leinfelder KF : Evaluation of criteria used for assessing the clinical performance of composite resin in posterior teeth. *Quintessence Int* 18:531-6, 1987.
  37. Munksgaard EC, Hansen EK, Asmussen E : Effect of five adhesives on adaptation of resin in dentin cavities. *Scand J Dent Res* 92:544-8, 1984.
  38. Davidson CL, De Gee AJ, Feilzer AJ : The competition between the composite-dentin bond strength and the polymerization contraction stress. *J Dent Res* 63:1396-9, 1986.
  39. Gordon M, Plasschaert AJM, Stark MM : Microleakage of several tooth-coloured restorative materials in cervical cavities. A comparative study in vitro. *Dent Mater* 2:228-31, 1986.
  40. Wilson MA, Norman RD : An investigation into the incidence of voids in indirect composite inlays formed using different packing techniques *J Dent* 19: 296-300, 1991.
  41. Dijkman GEHM & Arends J : Secondary Caries in situ around fluoride-releasing light-curing composites: A quantitative model investigation on four materials with a fluoride content between 0 and 26 vol%. *Caries Res* 26:351-57, 1992.
  42. Walls AWG, McCabe JF, Murray JJ : The polymerization contraction of visible light activated composite resins. *J Dent* 16:177-81, 1988.
  43. Going RE : Reducing marginal leakage: a review of materials and techniques. *J Am Dent Assoc* 99:646-51, 1979.
  44. Jorgensen KD, Asmussen E, Shimokobe H : Enamel damages caused by contracting restorative resins. *Scand J Dent Res*, 83:120-22, 1975.
  45. Unterbrink GL, Mueschner R : Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent*, 23:183-9, 1995.
  46. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL : Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69:36-9, 1990.
  47. Strang R, McDonald I, O'Hagan S et al : Variations in performance of curing light units by determination of composite resin setting time. *Br Dent J* 62:63-65, 1987.
  48. Matsumoto H, Gres JE, Marker VA et al : Depth of cure of visible light-cured resin: Clinical simulation. *J Prosthet Dent* 55:574-8, 1986.
  49. Baharav H, Brosh T, Pilo R et al : Effect of irradiation time on tensile properties of stiffness and strength of composites. *J Prosthet Dent* 77(5):471-4, 1997.
  50. Yearn JA : Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J* 35:218-25, 1985.
  51. Peutzfeldt A : Correlation between recordings obtained with a light-intensity tester and degree of conversion of a light-curing resin. *Scand J Dent Res* 102:73-5, 1994.
  52. Itoh K, Yanagawa T, Wakumoto S : Effect of composition and curing type of composite and adaptation to dentin cavity wall. *Dent Mater* 5:260-266, 1986.
  53. Loesche GM, Schurg C, Roulet JF : The in-

- fluence of curing light intensity on marginal adaptation of composite fillings. *J Dent Res* 72:(special issue)(abstr 1284), 1993.
54. Unterbrink GL and Muessner R : Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 23:183-9, 1995.
55. Uno S & Asmussen E : Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at a reduced rate. *Scand J Dent Res* 99:440-44, 1991.
56. Young KC and others : The performance of ultraviolet lights to polymerize fissure sealants. *J Oral Rehabil* 4(2):181-191, 1977.
57. Inoue K, Hayashi I : Residual monomer (Bis-GMA) of composite resins. *J Oral Rehabil* 9:493-7, 1982.
58. Ferracane JL : Correlation between hardness and degree of conversion during the setting reaction of unfilled dental restorative resins. *Dent Mater* 1: 11-14, 1985.
59. Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B : Visible light-activated resins-depth of cure. *J Amer Dent Assoc* 106:634-7, 1983.
60. Skeeters TM, Timmons JG, Mitchell RJ : Curing depth of visible light cured composite resin. *J Dent Res* 62:219, Abst. No. 448 (AADR), 1983.