

가시광선 중합기의 조사강도 감소에 대한 조사시간 증가의 보상효과

조선대학교 치과대학 소아치과학교실

윤태원 · 이창섭 · 이상호

Abstract

COMPENSATION EFFECT OF EXPOSURE TIME INCREASE TO DECREASED LIGHT INTENSITY OF VISIBLE-LIGHT CURING UNIT

Tae-Won Yoon, D.D.S., Chang-Seop Lee, D.D.S., M.S.D.,
Sang-Ho Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Dept. of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Chosun University.

The purpose of this study was to evaluate the compensation effect of exposure duration increase to decreased light intensity of visible-light curing unit.

The specimen with 2mm thickness was made of Restorative Z-100™ (A2 shade, 3M Dental Products, U.S.A.) and cured with Optilux™ (Demetron Research Co. U.S.A.).

The light intensity was controlled to 420 mW/cm², 540 mW/cm², 630 mW/cm² and curing time, also, controlled to 40, 60, 80 seconds.

Cured specimen was stored in a light-proof container for 24 hours to post-irradiation was completed.

Microhardness of top and bottom surface of specimen were measured to evaluate the depth of cure.

The obtained results were as follows :

1. The microhardness of top and bottom surface of the composite resin specimen was increased significantly as light intensity and exposure time was increased ($P < 0.01$).
2. Light intensity was more correlated with bottom microhardness ($\gamma \geq 0.438$) than top microhardness ($\gamma \geq 0.213$), and exposure time was more correlated with top microhardness ($\gamma \geq 0.424$) than bottom microhardness ($\gamma \geq 0.335$).
3. The regressive equation was obtained in this study as follows :

$$H = 0.07 \times D + 0.012 \times I + 76$$

(H : Microhardness(KHN), D : Exposure time, I : Light intensity)

I. 서 론

1955년 Buonocore⁸⁾에 의해 산부식 방법이 개발된 이후로 복합레진은 현대 치의학 분야에서 가장 많이 사용되는 수복재료의 하나로서 그 가치를 인정받고 있다. 이러한 복합레진의 성공적인 수복을 위한 여러 가지 중합방법이 연구, 개발되어왔는데 1970년대에 자외선에 의해 중합되는 광중합형 복합레진이 개발됨으로써 그동안 화학중합형 복합레진이 가지고 있던 문제점들이 개선되었다. 특히, 작업시간, 색조의 안전성, 혼합시 발생하는 기포등의 문제점들이 많이 개선됨으로써 임상에서의 복합레진 사용에 많은 발전을 가져왔다³⁾. 하지만 중합에 이용되는 자외선의 인체에 대한 유해성⁵⁾과 중합된 복합레진의 물리적 성질의 저하등이 새로운 문제점들로 지적되어 최근에는 가시광선에 의해 중합되는 복합레진이 개발되었다.

복합레진의 중합에 이용되는 가시광선은 파장이 약 420-500nm인 청색 영역의 빛이며^{6, 10)} 복합레진내의 camphoroquinone과 tertiary amine에 반응하여 복합레진의 중합을 개시시킨다¹¹⁾. 이러한 가시광선은 자외선에 비해 복합레진 중합의 깊이가 깊고^{3, 31, 37, 43)}, 높은 투과상수를 가지고 있으며⁴³⁾, 범랑질을 통과하여 레진을 중합시킬 수도 있고³²⁾ 사용이 용이한 장점 때문에 현재 시판되고 있는 대부분의 복합레진 중합에 이용되고 있다. 그러나 가시광선 중합형 복합레진은 중합의 깊이가 한정되어 있고 광선이 조사되는 방향으로 수축이 많이 발생하는 단점^{38, 44)}을 가지고 있어 임상적으로 성공적인 수복을 위해서는 적절한 파장과 강도를 지닌 광선이 조사되어 충분한 깊이의 중합이 이루어져야만 한다. 그렇지 못한 경우, 수복물 자체의 강도나 경도등의 물리적인 성질이 저하되고⁴¹⁾, 특히 수복물의 기저부에서는 중합되지 않았거나 중합이 덜된 복합레진에 의해 치수에 대한 자극과 이차우식증을 유발하게 된다.¹⁴⁾

이러한 광중합형 복합레진의 중합의 깊이는 조사되는 광선의 강도, 조사시간, 수복물로부터의 조사거리등의 조사조건에 의해 많은 영

향을 받으며 이들의 변화에 따라 중합의 깊이가 다양하게 변화하게 된다. Killan(1979)²⁴⁾, Friedman등(1984)¹⁹⁾은 그의 연구에서 조사되는 광선의 강도가 증가함에 따라 복합레진의 중합의 깊이가 증가한다고 하였고 다른연구^{9, 13, 14, 17, 36, 44)}에서도 이와 비슷한 결과들이 보고되었다. Leung등(1982)²⁴⁾의 연구를 비롯한 많은 연구^{1, 22, 23, 25, 36, 39, 45)}에서는 조사시간을 연장시킴으로써 복합레진 중합의 깊이를 연장시킬 수 있다고 하였다. 또한 Pires등(1993)³³⁾은 수복물로부터의 조사거리가 증가할수록 조사광선의 강도가 약화됨으로써 복합레진의 미세경도가 감소한다고 하여 이전의 연구^{21, 22, 23, 41)}와 동일한 결과를 보고하였다. 복합레진의 중합은 이러한 조사조건에 따른 변화 외에도 복합레진 자체의 성분, 색조등에 의해서 영향을 받는다. DeWald등(1987)¹⁵⁾은 filler의 입자 크기가 광선의 파장의 크기와 비슷할 때 빛의 산란이 증가하며 이러한 산란은 복합레진에 투과되는 빛의 양을 감소시키는데 입자의 크기가 클수록 산란에 의한 영향이 적어 중합의 깊이가 증가한다고 하였으며 Takamizu등(1988)⁴²⁾은 레진의 색조가 어두울수록 색소가 빛을 흡수하여 중합의 깊이가 감소한다고 하였다.

조사되는 광선의 강도는 광중합기의 상태에 의해서 많은 영향을 받는다. Pires등(1993)³³⁾, Shortall등(1995)⁴⁰⁾은 광중합기의 광원의 노화, 여과기의 손상, curing tip의 파절이나 남아있는 수복물잔사등에 의해 광선의 강도가 감소된다고 하였다. 이 외에도 광중합기에 제공되는 전압⁴²⁾, curing tip의 직경¹⁹⁾, 광중합기 사용 시간²¹⁾ 등에 의해서도 광선의 강도는 변하게 된다. Berry등(1992)⁴⁾의 연구에 의하면 치과병원에서 사용되고 있는 광중합기의 56.2%가 부적절한 강도의 광선을 조사한다고 하였는데 이처럼 현재 실제 임상에서 이용되고 있는 광중합기의 많은 수가 이러한 다양한 원인에 의해 적절한 광선의 강도를 유지하지 못한 채 이용되고 있지만 술자들이 이를 인식하지 못하고 각 재료의 제조회사에서 추천한 시간동안만 광선을 조사함으로써 복합레진의 충분한 중합이 이루어지지 않아 복합레진 수복치료 실패의 한 원인으로

사료된다. 본 연구는 이러한 경우에 고가의 기구교체 없이 가장 조절하기 쉬운 조사시간을 연장하여 강도의 약화에 의한 복합레진 중합의 약화를 보상할 수 있는지의 여부 및 그 상관성을 규명하기 위해 조사강도와 조사시간의 변화에 의한 복합레진의 중합 후 미세경도를 측정, 비교 분석 함으로써 광중합형 복합레진의 성공적인 임상적 적용을 도모 하는데 다소의 지견을 얻었기에 이에 보고하고자 한다.

II. 연구재료 및 방법

1) 연구재료

본 연구에서 사용한 광중합형 복합레진은 혼합형 filler type으로써 제조회사에서의 추천 중합시간이 40초인 A2 색조의 Restorative Z-100™ (3M Dental Products, 1 U. S. A.)이었으며 가시광선형 광중합기로는 Optilux™ (Model No. VCL 401, Demetron Research Corporation, U. S. A.)를 사용하였다.

2) 연구방법

(1) 시편제작

광중합기의 조사강도를 변화시키기 위해 반투명 tape을 여과지로 사용하였는데 Curing Radiometer (Model 100, Demetron Research Corporation, U. S. A.)를 이용하여 조사강도를 예비 측정된 결과, 여과지를 사용하지 않은

경우의 강도가 $630\text{mW}/\text{cm}^2$, 3장을 사용한 경우가 $540\text{mW}/\text{cm}^2$, 6장을 사용한 경우가 $420\text{mW}/\text{cm}^2$ 이었다.

크기가 $1\text{cm} \times 3\text{cm} \times 2\text{mm}$ 인 아크릴판에 지름이 5mm인 구멍을 뚫어 주형을 제작한 후 미세경도기에서 측정이 가능한 평활한 면을 얻기 위해 주형 아래에 유리판과 mylar strip을 위치시키고 기포가 생기지 않도록 복합레진을 가압 충전한 후 다시 mylar strip과 유리판을 상부에 위치시켰다.

상부의 유리판을 제거하고 미리 준비된 여과지를 상부 mylar strip과 광중합기 사이에 위치시킨 후 각각 40초, 60초, 80초씩 수직으로 조사하였다. 각 군당 20개씩, 모두 180개의 시편을 제작한 후 빛이 들어오지 않는 암상자에 24시간 보관하여 잔여중합을 허락하였다.

(2) 미세경도 측정

제작된 시편의 표층면과 기저면의 미세경도를 측정하기 위해 미세경도 측정기(Microhardness Tester, Shimatzu, Japan)에 Knoop diamond 압흔자를 부착한 후 시편의 단면이 압흔자의 낙하 방향에 수직이 되도록 위치시키고 100g 하중을 15초간 가한 후 표면에 찍힌 압흔의 장축의 길이를 측정하여 Knoop 경도치로 환산하였으며 각 부위에서 3회 이상 측정, 그 평균값을 구하였다.

(3) 통계처리

조사강도와 시간변화에 따른 표층면과 기저

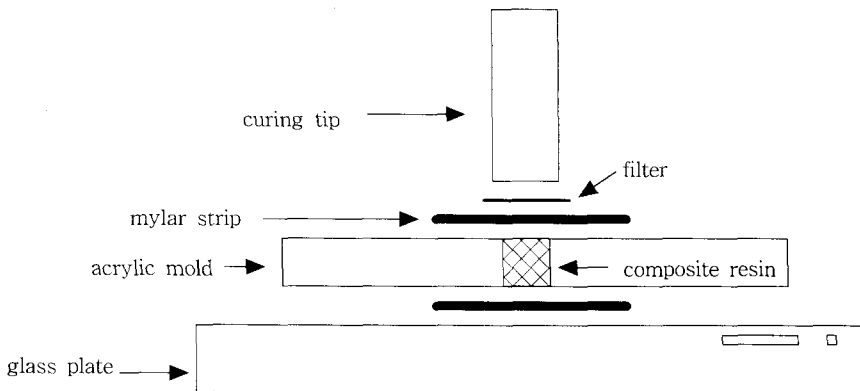


Fig. 1 Schematic drawing of composite resin specimen fabrication

면의 미세경도를 분석하기 위해 SAS (Stastical Analysis System) program을 이용하여 분산 분석으로 검정하였고 Tukey's multiple range test로 사후 검정을 시행하였으며 회귀분석을 이용하여 회귀방정식을 구하였다. 또한 구해진 회귀방정식에 의하여 조사강도-조사시간 추정표와 도표를 작성하였다.

III. 연구결과

복합레진의 중합에 이용되는 가시광선 중합기의 조사강도가 감소된 경우 조사강도를 증가함으로써 강도의 약화에 의한 복합레진 중합의 약화를 보상할 수 있는지의 여부 및 그 상관성을 규명하기 위해 조사강도와 조사시간의 변화에 의한 복합레진의 중합 후 미세경도를 측정, 비교한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 조사강도와 조사시간의 변화에 따른 표층면과 기저면의 미세경도

모든군에서 표층면 미세경도가 기저면 미세경도보다 높았고 조사강도와 조사시간이 증가

할수록 표층면, 기저면 모두 미세경도가 증가하였다($P < 0.01$). (Table 1, 2).

2. 조사강도의 변화에 따른 미세경도 비교

3가지 조사강도에 의해 중합된 복합레진의 미세경도를 측정한 결과 조사강도가 증가함에 따라 표층면, 기저면 미세경도가 증가하였으며 두 면간의 미세경도 차이는 모든 군에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(Fig.2). 각 면에서의 미세경도는 표층면에서는 420 mW/cm²군과 630 mW/cm²군간에, 기저면에서는 420

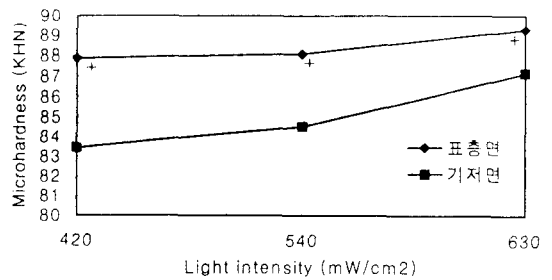


Fig. 2 Microhardness values for various light intensity
+ : significant at $p < 0.05$

Table 1. Mean microhardness values \pm standard deviation of top and bottom surface for various light intensity and exposure time

(단위: KHN unit)

Exposure time(sec)	40		60		80	
	top	bottom	top	bottom	top	bottom
420	86.01 \pm 1.89	80.95 \pm 3.76	88.00 \pm 2.03	83.48 \pm 4.09	89.47 \pm 2.00	85.72 \pm 2.85
540	86.48 \pm 1.58	84.38 \pm 2.29	88.38 \pm 2.74	83.76 \pm 2.71	89.88 \pm 3.43	86.10 \pm 2.69
630	88.83 \pm 2.61	85.56 \pm 2.28	88.92 \pm 1.70	86.66 \pm 2.21	90.06 \pm 2.42	88.22 \pm 1.94

Table 2. Two-Way ANOVA analysis between light intensity and exposure time at each surface

Source	df	P-Value for different surface	
		top	bottom
Intensity (A)	2	0.0061	0.0001
time (B)	2	0.0001	0.0001
Iteration (A \times B)	4	0.1793	0.0611

mW/cm²군과 630 mW/cm²군, 540 mW/cm²군과 630 mW/cm²군간에 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(P<0.05)(Table 3).

3. 조사시간의 변화에 따른 미세경도 비교

3가지 조사시간에 의해 증합된 복합레진의 미세경도를 측정된 결과 조사시간이 증가함에 따라 표층면, 기저면 미세경도가 증가하였으며 두 면간의 미세경도 차이는 모든 군에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(Fig. 3). 각 면에서의 미세경도는 표층면에서는 모든군간에, 기저면에서는 40초군과 80초군, 60초군과 80초군간에 통계학적으로 유의한 차이가 있었다(P<0.05) (Table 4).

4. 각 면에 대한 조사강도와 조사시간의 상관관계

각 면에 대한 조사강도와 조사시간의 상관

분석을 시행한 결과 조사강도의 변화는 표층면 미세경도($\gamma \geq 0.213$)보다 기저면 미세경도($\gamma \geq 0.438$)와 더 많은 상관관계를 보였고, 조사시간의 변화는 기저면 미세경도($\gamma \geq 0.335$)보다 표층면 미세경도($\gamma \geq 0.424$)와 더 많은 상관관계를 보였다(Table 5).

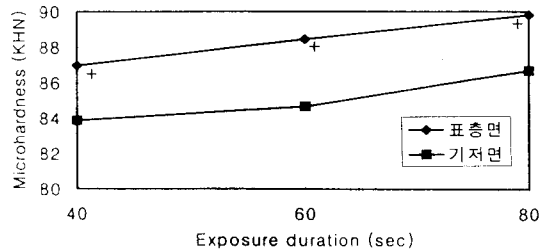


Fig. 3 Microhardness value for various exposure time

+ : significant at $p < 0.05$

Table 3. Stastical analysis of microhardness values for various light intensity

	Light intensity (mW/cm ²)	Light intensity (mW/cm ²)		
		420	540	630
Top	420	—	NS	S
	540		—	NS
	630			—
Bottom	420	—	NS	S
	540		—	S
	630			—

S : significant at $p < 0.05$

NS : non significant

Table 4. Stastical analysis of microhardness values for various exposure time

	Exposure time (sec)	Exposure time (sec)		
		40	60	80
Top	40	—	S	S
	60		—	S
	80			—
Bottom	40	—	NS	S
	60		—	S
	80			—

S : significant at $p < 0.05$

NS : non significant

Table 5. Correlation of light intensity and exposure time to top and bottom surface

Source	Correlation coefficient	
	top	bottom
Intensity	$\gamma \geq 0.213$	$\gamma \geq 0.438$
time	$\gamma \geq 0.424$	$\gamma \geq 0.335$

γ : Pearson's correlation coefficient

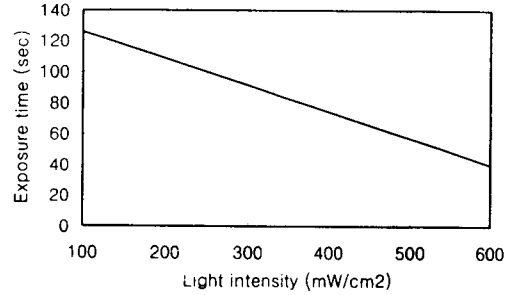


Fig. 4 Compensation line for constant microhardness(86 KHN)

Table 6. Probability chart for various light intensity and exposure time

(단위 : KHN unit)

Exposure time (sec)	10	20	30	40	50	60	70	80
Light intensity (mW/cm ²)								
200	79.1	79.8	80.5	81.2	81.9	82.6	83.3	84.0
300	80.3	81.0	81.7	82.4	83.1	83.8	84.5	85.2
400	81.5	82.2	82.9	83.6	84.3	85.0	85.7	86.4
500	82.7	83.4	84.1	84.8	85.5	86.2	86.9	87.6
600	83.9	84.6	85.3	86.0	86.7	87.4	88.1	88.8

5. 조사강도와 조사시간의 변화에 대한 회귀방정식

조사강도와 조사시간의 변화에 대한 회귀분석을 시행한 결과 $H = 0.07 \times D + 0.012 \times I + 76$ (H : Microhardness(KHN), D : Exposure Time, I : Light Intensity)의 회귀방정식을 구하였고 이 방정식에 의하여 조사강도와 조사시간의 변화에 따른 미세경도 추정표를 구하였다(Table 6). 이 표를 이용하여 조사강도 600 mW/cm²와 A2 색조의 추천조사 시간인 40초에서의 미세경도 86 KHN을 얻기 위한 조사강도와 조사시간의 관계를 도표화 하였다.

IV. 총괄 및 고안

치과치료에 대한 심미적인 요구도가 높아짐에 따라 복합레진도 그에 상응하여 많은 발전을

해왔다. 초기에 개발된 화학중합형 복합레진은 3차 아민(주로 N,N-dihydroxyethyl-p-toluidine)과 같은 경화촉진제가 benzoyl peroxide와 같은 중합개시제에 의해 활성화되어 중합이 이루어진다¹⁾. 이들은 보통 두 개의 paste를 혼합하여 사용되었는데 혼합시 공기가 유입되어 기공이 많이 생기고³⁴⁾ 짧은 작업시간과 긴 중합시간으로 인해 수복물의 물리적 성질이 저하되었으며 복잡하거나 다수의 치아에 한번에 충전하기가 어려웠다. 그 후에 빛에 의해 중합되는 광중합형 복합레진이 개발됨으로써 화학중합형 복합레진의 단점들이 극복되었고 치과에서의 복합레진 사용이 더욱 증가하게 되었다.

복합레진의 중합에 이용되는 광선은 파장이 320nm-400nm인 자외선과 420nm-500nm의 파장을 가진 청색 가시광선이다. De Lange등

(1980)¹⁴⁾, Tirtha등(1982)⁴³⁾과 Newman등(1983)¹³⁾은 자외선과 가시광선의 중합형태를 비교한 연구에서 가시광선에 의해 중합된 복합레진의 중합깊이가 더 깊었다고 하였다. 이러한 문제점 외에도 자외선의 인체에 대한 위해작용이 있음이 보고되었는데 Birdsell등(1979)⁵⁾은 자외선에 의해 피부암이나 눈의 손상등의 부작용을 초래할 수 있다고 하였다. 이에 의해 자외선의 사용은 점차 제한되었고 현재에는 거의 모든 광중합형 재료의 중합에 가시광선이 이용되고 있다.

가시광선 중합형 복합레진은 470nm에서 최고의 흡수를 보이는 diketone 중합개시제인 camphroquinone과 경화촉진제인 3차 아민(N,N-dimethyl aminoethyl methacrylate)이 halogen lamp에서 나오는 청색영역의 가시광선에 반응하여 free radical을 생성하고 이것이 기질의 중합을 유도한다¹¹⁾. 가시광선 중합형 복합레진은 많은 장점에도 불구하고 화학중합형 복합레진에 비해 균일하지 못한 중합을 보이는 단점을 가지고 있다. 복합레진의 중합의 정도는 주로 중합의 깊이(Depth of cure)로 평가되는데 중합의 깊이 평가는 시편의 미세경도를 측정하여 중합의 깊이를 비교하는 방법^{9, 18, 26, 43)}, 탐침으로 중합되지 않은 레진에 구멍을 뚫어 중합된 레진과 중합되지 않은 레진의 경계선을 결정한 후 광학 현미경으로 관찰하는 방법^{29, 31)}, 중합되지 않은 레진을 날카로운 기구로 제거한 후 그 깊이를 측정하는 scrapping 방법^{10, 17)}, 중합중 이중결합에서 단일결합으로 치환되는 탄소의 양을 적외선 spectroscope로 검사하는 방법^{2, 18, 36, 37)} 등 4가지 방법에 의해 주로 측정되는데 scrapping 방법과 광학 현미경 관찰은 그 값이 과장되어 나타나는 경향을 보인 반면²⁸⁾ 미세경도 측정법과 탄소의 치환양 측정법은 비교적 정확한 중합의 깊이를 나타낸다. Asmussen(1982)²⁾ 역시 복합레진의 미세경도가 중합 정도와 비례한다고 하였다. 본 연구에서도 가장 일반적으로 이용되고 측정이 용이한 미세경도기 측정법을 이용하여 중합의 깊이를 측정하였다.

광중합형 복합레진의 중합의 깊이는 조사되는 광선의 강도, 조사시간등 조사되는 광선에 의해

많은 영향을 받게된다. Friedman등(1984)¹⁹⁾은 조사강도가 다른 5가지 광중합기로 복합레진을 중합시켜 미세경도를 측정한 결과 조사강도가 가장 높은 광중합기가 가장 깊은 중합깊이를 보였다고 하였으며 그 영향은 표층면보다 기저면에서 더 컸다고 하였다. 다른 연구에서도 비슷한 결과들이 보고되었으며 본 연구 역시 복합레진의 표층면에서는 조사강도를 420mW/cm²에서 630mW/cm²로 증가시킨 경우 미세경도가 유의한 차이를 보이며 증가하였고(P<0.05) 기저면에서는 540mW/cm²에서 630mW/cm²로, 420mW/cm²에서 630mW/cm²로 증가시킨 경우에서 유의한 미세경도의 증가가 나타남으로써 이전의 연구들을 뒷받침 하였다. (P<0.05) (Table 2). 이러한 미세경도의 증가 효과는 표층면보다 기저면에서 더 크게 나타났는데 이는 실제 임상에서 광중합기의 조사강도가 여러 원인에 의해 감소되었을 경우 복합레진 충전물의 표층면보다 기저면에서의 중합이 더욱 약화됨을 의미하며 성공적인 복합레진 수복을 위해서는 충분한 강도의 광선을 유지가 필수적임을 보여주는 것으로 사료된다. (Fig. 2)

수복물로 부터의 조사거리가 증가할수록 조사강도는 감소하게 된다. Pires등(1993)³³⁾은 광중합기의 curing tip이 수복물로부터 2mm, 6mm, 12mm 떨어지면 조사강도가 76.5%, 45.4%, 24.7%로 감소한다고 하였으며 그 결과 복합레진 중합의 깊이도 감소한다고 하였다. 본 연구에서도 이러한 조사거리에 의한 조사강도의 감소를 최소화 하고자 시편의 중합시 상부 유리판을 제거하였다. 이러한 조사거리의 영향은 특히 구치부 인접면 복합레진 수복과 같이 curing tip을 근접시키기 어려운 경우에 중요한 요소로 작용하며 이를 극복하기 위해 투명한 wedge의 사용등 여러 가지 방법들이 제시되어있다.

조사강도는 또한 광중합기의 상태에 의해서도 영향을 받는다. Shortall등(1995)⁴⁰⁾은 광중합기 광원의 노화, 여과기의 손상, curing tip의 파절이나 tip에 묻어있는 수복물 잔사등에 의하여 광선의 강도가 감소한다고 하였다. Fan등(1987)¹⁷⁾과 Takamizu등(1988)⁴²⁾은 광중합기에 제

공되는 전압이 높을수록 광선의 강도도 증가한다고 하였다. Berry등(1992)⁴⁾은 미국의 51개 치과에서 사용되는 101개의 광중합기를 조사하였는데 그중 단지 43.6%만이 중합에 적절한 강도를 가지고 있었고 56.4%의 광중합기가 조사시간을 연장하거나 광원을 교체해야 한다고 하였다. 이러한 실정은 우리 나라도 마찬가지일 것이라 사료되며 그보다 더 큰 문제점은 광중합기를 사용하는 술자가 이러한 상황을 인식하지 못한 채 복합레진을 비롯한 광중합형 재료의 중합에 이러한 광중합기를 사용함으로써 치료 실패의 한 요인으로 작용하는 것이다.

Leung등(1983, 1985)^{26,27)}, Swartz등(1983)⁴¹⁾과 Hansen등(1983)²⁰⁾은 광선이 조사된 후에도 복합레진은 계속적으로 중합하며 20분에서 1시간 사이에 미세경도가 급격히 증가하여 24시간 후에 최고 경도치에 도달한다고 하였다. 본 연구에서도 이러한 잔여 중합을 허락하기 위하여 24시간 후에 미세경도를 측정하였다.

Swartz등(1983)⁴¹⁾은 복합레진의 색조에 따른 연구에서 색조가 밝을수록 중합깊이가 증가한다고 하였다. 이는 어두운 색조일수록 색소가 흡수하는 빛의 양이 더 많기 때문이며 밝은 색조에 비해 광선의 강도에 더 많은 영향을 받음을 의미한다. 그러나, Ferrance등(1986)¹⁸⁾, Takamizu등(1988)⁴²⁾의 연구에서는 회색(gray) 색조의 레진이 황색(yellow) 색조의 레진보다 깊은 중합을 보여 황색 색소가 청색의 가시광선을 더 많이 흡수한다고 하였다. Ruyter등(1982)³⁷⁾은 filler 입자의 크기가 조사되는 광선 파장의 1/2이 되었을 때 가장 많은 빛의 산란을 일으킨다고 하였고 DeWald등(1987)¹⁵⁾ 역시 입자의 크기가 조사광선의 파장과 비슷할수록 산란 효과가 크다고 하였다. 이는 가시광선의 파장이 420nm-500nm임을 고려할 때 미세입자형 복합레진이나 혼합형 복합레진이 거대입자형 복합레진에 비해 빛이 산란량이 증가하여 중합의 깊이가 감소한다는 것을 나타낸다. 그러므로 복합레진 수복시 사용되는 레진의 성분과 색조에 따른 조사강도와 조사시간의 조절이 성공적인 복합레진 수복에 필수적이라 하겠다.

이처럼 여러 원인에 의하여 조사강도가 감소되었을 경우 약화된 중합의 깊이를 보상하기 위해서는 조사시간을 증가시켜야 한다. Leung등(1982)²⁵⁾을 비롯한 많은 연구에서 조사시간의 증가가 복합레진의 중합깊이를 증가시킨다고 하였다. 본 연구에서도 조사시간을 40초, 60초, 80초로 증가할수록 미세경도가 표층면에서는 모든 군간에 유의한 증가를 보였고($P < 0.05$) 기저면에서는 40초에서 60초로 증가시킨 군을 제외한 모든 군간에 유의한 증가를 보였다($P < 0.05$). 이러한 영향은 다른 광중합형 재료에도 영향을 미치는데 Murchison등(1992)³⁰⁾은 조사시간이 증가하고 curing tip의 거리가 짧을수록 광중합형 이장재의 미세경도가 증가한다고 하였다.

Sakaguchi등(1992)³⁸⁾은 광선의 강도가 감소되었을 때 조사시간을 연장하여 약화된 물리적 성질을 개선해야 한다고 하였다. 조사시간의 조절은 술자가 가장 손쉽게 할 수 있는 방법이고 고가의 장비를 교체하지 않더라도 조사강도의 감소를 보상할 수 있는 방법으로 사료되나 아직까지 조사강도 감소 정도에 따라 시간을 어느정도 증가해야 만이 강도가 감소되기 전의 중합을 얻을 수 있는가를 알지 못하였다. 본 연구에서는 이러한 조사강도와 조사시간의 관계를 알아보기 위해 회귀분석을 이용하여 회귀방정식을 구하였는데 이 식에 의하면 조사강도가 100mW/cm² 감소할 때마다 약 17초의 시간을 증가하여야 강도가 감소되기전과 동일한 미세경도를 얻을 수 있을 것이라 추정되었다. 그러나 실제 임상에서 이용되고 있는 광중합기의 시간조절이 대부분 10초 단위로 이루어지므로 조사강도가 100mW/cm² 감소할 때마다 20초의 시간을 증가하면 약화된 중합을 보상할 수 있을 것으로 사료되며 시간의 증가정도를 쉽게 구할 수 있도록 조사강도와 조사시간의 변화에 따른 미세경도 추정표를 작성하였다(Table 6). 본 연구에 앞서 구입한지 1개월 미만의 광중합기의 조사강도를 조사한 결과 평균 약 600mW/cm²의 조사강도를 보였는데 본 연구에 이용된 A2색조의 Restorative Z-100의 중합시간이 40초임을 감안하여 추정표에 의하여

조사강도 600mW/cm², 조사시간 40초에서의 미세경도 값이 86KHN임을 알 수 있었다. 그리고 조사강도가 감소함에 따라 이러한 미세경도 86 KHN을 얻기 위한 조사시간의 증가량을 나타 내주는 보상선(compensation line)을 구하였다 (Fig. 4). 그러나 추정표와 보상선은 본 연구에 사용된 광중합기와 복합레진에 해당되는 것으로서 다른 재료들에 대한 연구가 더욱 많이 시행되어야 할 것으로 사료된다.

하지만 시간증가에 의한 보상도 한계가 있는데 Rugeberg등(1994)³⁶⁾은 조사강도가 233 mW/cm²이하로 감소된 경우에는 중합의 보상이 어렵기 때문에 광원을 교체해야 한다고 하였다. 본 연구에 이용된 광중합기의 제조회사인 Demetron 사의 지침에 의하면 curing radiometer를 이용하여 측정한 조사강도 값이 200-300 mW/cm²인 경우에는 시간의 증가에 의한 보상이 가능하지만 200mW/cm²이하로 감소된 경우에는 광원을 교체해야 한다고 하였다. 또한 현재 임상에서는 환자의 진료시간을 최대한 단축시키려고 노력을 하고 있기 때문에 지속적인 조사시간의 연장은 이러한 점에서도 한계가 있으므로 가장 효율적인 조사시간의 연장정도에 관한 연구가 필요하리라 사료된다.

조사강도의 측정을 위해서는 특별한 측정기계가 필요한데 본 연구에 이용된 Curing Radiometer(Demetron Co.)를 비롯한 최근에 소개된 측정기구들은 가격이 비싸지 않고 크기가 작으며 비교적 광선의 강도를 정확하게 나타내어 주기 때문에 임상에서 유용하게 사용할 수 있다^{35, 40)}. 이러한 측정기구를 이용하여 광중합기의 조사강도를 주기적으로 검사함으로써 강도의 감소에 의한 중합의 약화를 최대한 예방하여야 하겠다.

중합에 이용되는 청색 가시광선은 가시광선 중에서 짧은 파장과 높은 광자에너지를 가지고 있어서 만성적인 노출시 망막 세포에 유해한 작용을 하기 때문에 항상 보안경을 착용하여야 한다^{11, 12, 16)}. 또한 광중합기를 쉬지 않고 계속 사용할 경우 조사강도가 감소되고 curing tip 주변의 온도상승과 기계의 과열로 인해 치수에 자극을 가할 수 있으며 기계의 수명을 단축시킬

수 있으므로 이러한 점들을 고려하여 사용해야 한다.^{8, 21, 38)}

최근에는 새로운 중합방법으로 Argon 레이저와 같이 가시광선과 비슷한 파장을 갖는 레이저가 복합레진의 중합에 이용되기 시작하였으며⁴⁶⁾ 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나 고가의 장비와 인체에 대한 유해성이 규명되지 않아 아직까지 일반적으로 상용되지는 못하고 있는 실정이지만 복합레진 수복의 궁극적인 성공을 위하여 가시광선과의 비교연구가 더 많이 시행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

조사강도가 감소되었을 경우 조사시간을 연장함으로써 복합레진 중합의 약화를 보상할 수 있는지의 여부 및 그 상관성을 규명하기 위하여 조사강도를 420mW/cm², 540mW/cm², 630mW/cm²로 변화시키고 조사시간을 40초, 60초, 80초로 변화시켜 광조사를 시행한 후 시편의 표층면과 기저면의 미세경도를 측정, 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사강도와 조사시간이 증가할수록 복합레진의 표층면, 기저면 모두 미세경도가 증가하였다. ($P < 0.01$)
2. 조사강도의 변화에 따른 미세경도와의 상관관계는 기저면의 상관계수($\gamma \geq 0.438$)가 표층면의 상관계수($\gamma \geq 0.213$)보다 크게 나와 더 많은 상관관계를 보였고 조사시간의 변화에 의해서는 표층면의 상관계수($\gamma \geq 0.424$)가 기저면의 상관계수($\gamma \geq 0.335$)보다 크게 나와 더 많은 상관관계를 보였다.
3. 조사강도와 조사시간의 변화에 의한 복합레진의 미세경도 측정에서 다음과 같은 회귀방정식을 구하였고 이에 따른 조사강도-조사시간 추정표를 작성하였다.

$$H = 0.07 \times D \times 0.012 \times I + 76$$

(H : Microhardness(KHN), D : exposure time, I : Light Intensity)

참 고 문 헌

1. 장기택, 이광수, 이상훈 : 아르곤 레이저와 가시광선의 복합레진 및 Glass ionomer 중합에 관한 연구, 대한소아치과학회지, 23, 136-144, 1996.
2. Asmussen, E. : Restorative resins : Hardness and strength vs Quantity of remaining double bonds, Scand. J. Dent. Res., 90,484-489, 1982.
3. Bassiouny, M.A. and Grant, A.H. : A visible light cured composite restoration, Br. Dent. J., 145,327-330, 1978.
4. Berry, T.G., Barghi, N., Godwin, J.M. and Hunter, K. : Measurement of intensity of curing light units in dental office, J. Dent. Res., 71, abst.no. 442, 1992.
5. Birdsell, D.C., Bannon, P.J. and Webb, P.B. : Harmful effects of near ultraviolet radiation used for polymerisation of sealant and a composite resin, J.A.D.A., 94,311-314, 1977.
6. Blankenau, R.J., Cavel, W.T., Kelsey, W.P. and Blankenau, P. : Wavelength and intensity of seven systems for visible light-curing composite resins : a comparison study, J.A.D.A., 106,471-474, 1983.
7. Bodkin, J. and Share, J. : Heat generation by composite light curing units tested in vitro, J. Dent. Res., 63,abst. no. 259, 1984.
8. Buonocore, M.G. : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface, J. Dent. Res., 43, 849-853, 1955.
9. Cook, W.D. : Factors affecting the depth of cure of UV-polymerized composites, J. Dent. Res., 59,800-808, 1980.
10. Cook, W.D. : Spectral distribution of dental photopolymerization source, J. Dent. Res, 61,1436-1438, 1982.
11. Council on dental materials, Instruments, and Equipment : Visible light-cured composites and activating units, J.A.D.A., 110, 100-103, 1985.
12. Davis, L.G., Baker, W.T. and Cox, E.A., Marshall, J. and Moseley, T.J. : Optical hazards of blue light curing units, Preliminary results, Br. Dent. J., 159, 259-262, 1985.
13. De Backer, J., Dermaut, L. and Bruynooghe, W. : The depth of polymerization of visible light-cured composite resins, Quint. Int., 16,693-701, 1985.
14. De Lange, C., Bausch, J.R. and Davidson, C.L. : The curing pattern of photo-initiated dental composites, J. Oral Rehabil., 7, 369-377, 1980.
15. DeWald, J.P. and Ferracane, J.L. : A comparison of four modes of evaluating depth of cure of light-activated composites, J. Dent. Res., 66,727-730, 1987.
16. Elington, O.L., Landry, R.J. and Bostrom, R.G. : An evaluation of optical radiation emissions from dental visible photopolymerization devices, J.A.D.A., 112,67-70, 1986.
17. Fan, P.L., Wozniak, W.T., Reyes, W.D. and Stanford, J.W. : Irradiation of visible light-curing units and voltage variation effects, J.A.D.A., 115,442-445, 1987.
18. Ferracane, J.L., Aday, P., Matsumoto, H. and Marker, V.A. : Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins, Dent. Mater., 2,80-84, 1986.
19. Friedman, J. and Hassan, R. : Comparison study of visible curing lights and hardness of light-cured restorative materials, J. Prosthet. Dent., 52,504-506, 1984.
20. Hansen, E.K. : After-polymerization of visible light activated resins, surface hardness vs. light source, Scand. J. Dent. Res., 91,406-410, 1983.
21. Harrington, E. and Wilson, H.J. : Determi-

- nation of radiation energy emitted by light activation unit, *J. Oral Rehabil.*, 22,377–385, 1995.
22. Kanka, J. : Visible light-activated posterior composite resins-A comparison of surface hardness and uniformity of cure, *Quint. Int.*, 16,345–347, 1985.
 23. Kanka, J. : Visible light-activated posterior composite resins-A comparison of surface hardness and uniformity of cure. *Update, Quint. Int.*, 16,687–690, 1985.
 24. Killan, R.J. : Visible light cured composite : Dependence of cure on light intensity, *J. Dent. Res.* 58, Abst. no. 603, 1979.
 25. Leung, R.L., Fan, P.L. and Johnstone, W. M. : Exposure time and thickness on polymerization of visible light composite *J. Dent. Res.*, 61, abst. no. 623, 1982.
 26. Leung, R.L., Fan, P.L. and Johnstone, W. M. : Post-irradiation polymerization of visible-activated composite resin, *J. Dent. Res.*, 62,363–365, 1983.
 27. Leung, R.L., Adishian, S.R. and Fan, P.L., : Postirradiation comparison of photoactivated composite resin, *J. Prosthet. Dent.*, 54,645–649, 1985.
 28. McCabe, J.F. and Carrick, T.E. : Output from visible-light activation units and depth of cure of light activated composite, *J. Dent. Res.*, 68,1534–1539, 1989.
 29. Moseley, H., Strang, R. and Stephen, W. : An assessment of visible-light polymerizing source, *J. Oral Rehabil.*, 13,215–224, 1986.
 30. Murchison, D.F. and Moore, B. : Influence of curing time and distance of microhardness of eighty light-cured liners. *Oper. Dent.*, 17,135–141, 1992.
 31. Newman, S.M., Murray, G.A. and Yates, J.L. : Visible light and visible-light activated composite resin, *J. Prosthet. Dent.*, 50, 31–35, 1983.
 32. Phillips, R.W. : *Skinner's science of dental materials*, Philadelphia, W.B. Saunders Co., P.226,1982.
 33. Pires, J.A.F., Cvitko, E., Denehy, G.E. and Swift, E.J. : Effects of tip distance on light intensity and composite resin microhardness, *Quint. Int.*, 24,517–521, 1993.
 34. Reinhardt, J.W. : Porosity in composite resin restoration, *Oper. Dent.*, 7,82–85, 1982.
 35. Rueggeberg, F.A. : Precision hand-held dental radiometers, *Quint. Int.*, 24,391–396, 1993.
 36. Rueggeberg, F.A., Caughman, W.F. and Curtis, J.W. : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite, *Oper. Dent.*, 19,26–32, 1994.
 37. Ruyter, I.E. and, ys d, H. : Conversion in different depths of ultraviolet and visible light activated composite materials *Acta. Odont. Scand.*, 40,179–192, 1982.
 38. Sakaguchi, R.L., Douglas, W.H. and Peters, M.C.R.B. : Curing light performance and polymerization of composite restorative materials, *J. Dent.*, 20,183–188, 1992.
 39. Salako, N.O. and Cruickshanks-Boyd, D.W. : Curing depths of materials polymerised by ultra-violet light. *Br. Dent. J.*, 146, 375–379, 1979.
 40. Shortall, A.C., Harrington, E. and Wilson, H.J. : Light curing unit effectiveness assessed by dental radiometers, *J. Dent.*, 23, 227–232, 1995.
 41. Swartz, M.L., Phillips, R.W. and Rhodes, B. : Visible-light activated resins-depth of cure, *J.A.D.A.*, 106,634–637, 1983.
 42. Takamizu, M., Moore, B.K., Setcos, J.C. and Phillips, R.W. : Efficacy of visible-light generators with changes on voltage, *Oper. Dent.*, 13,173–180, 1988.
 43. Tirtha, R., Fan, P.L., Dennison, J.B. and Powers, J.M. : In vitro depth of cure of

- photo-activate composites, *J. Dent. Res.*, 61,1184–1187, 1982.
44. Unterbrink, G.L. and Muessner, R. : Influence of light intensity on two restorative systems, *J. Dent.*, 23,183–189, 1995.
45. Watts, D.C., Amer, O. and Combe, E.C. : Characteristics of visible-light activated composite system, *Br. Dent. J.*, 156;209–215, 1984.
46. Wiliam, P.K. and Richmond, J.B. : Enhancement of physical properties of resin restorative materials by laser polymerization, *Lasers Surg. Med.*, 9,623–627, 1989.