

## 광중합 광원의 종류와 조사시간에 따른 치면열구전색제의 미반응 모노머 용출

오유향 · 박윤경\* · 이난영 · 이창섭 · 이상호

조선대학교 치과대학 소아치과학교실 및 단백질소재연구센터\*

### 국문초록

본 연구에서는 기존의 할로겐 광과 보다 강한 강도와 짧은 조사시간을 갖는 아르곤 레이저와 플라즈마 광의 광중합도를 평가하기 위해 많은 양의 TEGDMA를 용출하는 치면열구전색제를 실험재료로 이용하여 각각의 중합시간과 용출시간에 따른 미반응 TEGDMA의 양을 측정, 비교 분석하여 중합도를 평가하였다.

광원에 따른 중합시간 당 각각 10개의 시편을 제작하여 3차 증류수에 넣은 후 바로 용출시킨 액을 0시간으로 하고 37℃ 항온기에서 10분, 1시간, 12시간, 24시간 동안 용출시켰다. 각 용출액의 20  $\mu$ l를 역상 크로마토그래피(RP-HPLC)에 적용시켜 미반응 모노머의 시간경과에 따른 용출량을 측정하였다.

이상의 실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

1. 할로겐 광은 중합시간이 증가할수록 TEGDMA의 초기 용출량 감소를 보였다( $p > 0.05$ ).
2. 플라즈마 광은 6초, 9초로 중합한 군에서는 TEGDMA의 용출량의 차이를 보이지 않았으나, 3초 중합 군에서는 6초와 9초 중합 군보다 초기 용출량이 크게 나타났다( $p < 0.05$ ).
3. 아르곤 레이저는 전반적으로 할로겐 광과 플라즈마 광보다 TEGDMA의 초기 용출량이 컸으며 조사시간이 증가할수록 용출량은 감소되었다( $p < 0.05$ ).
4. 광원의 제조회사에서 권장하는 최소 중합시간인 할로겐 광 20초, 플라즈마 광 3초, 아르곤 레이저 5초로 조사시 TEGDMA의 용출량은 할로겐 광, 플라즈마 광, 아르곤 레이저 순으로 용출량이 적었다( $p > 0.05$ ).
5. 제조회사의 권장 중합시간인 할로겐 광 40초, 플라즈마 광 6초, 아르곤 레이저 10초 조사시 할로겐 광 40초와 플라즈마 광의 6초의 TEGDMA의 용출량은 아르곤 레이저 보다 낮게 나타났다( $p > 0.05$ ).
6. 권장시간 이상인 할로겐 광 60초와 플라즈마 광 9초, 아르곤 레이저 20초 중합시 나타나는 TEGDMA의 용출량 간에는 유의할만한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

**주요어** : 광원, TEGDMA(Triethyleneglycol dimethacrylate), 역상 크로마토그래피(RP-HPLC)

### I. 서 론

교신저자 : **이 상 호**

광주광역시 동구 서석동 375번지

조선대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 062-220-3860 Fax : 062-225-8240

E-mail : shclee@chosun.ac.kr

1970년대에 소개된 광중합형 복합레진은 화학 중합형에 비해 조작시 기포발생이나 수복 후 변색이 적으며, 작업시간 조절이 가능하고 조작의 간편성 등으로 인해 수복분야에 지대한 공헌을 해왔다<sup>1)</sup>. 이후 수복재의 물리적 성질의 개선과 임상적 성공을 위한 연구가 활발히 지속되었으며, 특히 수복재료와 중합

\*이 논문은 과학기술부 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 레이저응용 신기술개발 연구센터의 2004년도 연구비 지원에 의해 연구되었음.

광원에 그 초점이 맞춰지고 있다.

현재 시간의 증가가 문제점으로 지적되고 있는데, 특히 행동적 문제를 가진 소아의 치료 시 문제는 심각해진다<sup>3)</sup>.

이러한 문제점을 극복하기 위한 대안으로 더 효율적인 중합 광원을 찾기에 이르렀는데, Nomoto 등<sup>4)</sup>은 조사광의 강도를 증가시키므로써 총 조사시간을 단축할 수 있음을 보고하였다. 조사광의 강도를 증가시키는 방법으로 할로겐 광보다 출력이 훨씬 강한 가시광선 파장대의 아르곤 레이저를 사용하여 짧은 시간에 복합레진을 중합하는 기술이 소개되었다<sup>5,7)</sup>. 그러나 아르곤 레이저는 짧은 중합시간의 장점에도 불구하고 가격이 매우 높기 때문에 할로겐 광중합기에 비해 임상적 실용성이 낮았다<sup>6,8,9)</sup>.

이후 1990년대 후반에 소개된 플라즈마 아크 광중합기(plasma arc light curing unit)는 아르곤 레이저에 비해 가격이 낮으면서도 그에 버금가는 강한 출력을 가지고 있으며 제조사에서는 3초 만에 광중합 복합레진을 충분히 중합시킬 수 있다고 주장하고 있으나 이를 증명 할 만한 연구들은 그리 많지 않다.

광중합형 레진의 중합에 영향을 미치는 요소들로는 광원의 파장, 강도, 노출시간<sup>10-12)</sup>과 복합레진의 부형제, 유형, 광투과도, 두께, 화학적 조성, 색 등이 있으며<sup>13,14)</sup> 광조사기 tip의 위치와 크기, 방향과 중합기의 상태 등도 중합에 영향을 미친다<sup>1,15)</sup>. 그 중 중합시간과 빛의 강도는 중합도에 영향을 미치는 가장 중요한 요소이다<sup>16,17)</sup>.

다양한 광원의 광조사 시간과 빛의 강도에 따른 수복재의 중합도를 평가하는 방법으로는 레진 내의 미반응 모노머의 양을 측정하여 중합도를 알아보는 직접법<sup>18-21)</sup>과 투광도<sup>22)</sup>, 미세경도<sup>23)</sup>, 미세누출<sup>24)</sup> 등을 측정하는 간접법이 있다. 가시광선 중합형 복합레진의 중합완성도는 단량체에서 복합체(polymer)로의 변환율에 의해 결정되고 레진 내의 미반응 모노머의 양을 측정함으로써 중합의 상대적인 정도를 가장 객관적으로 평가할 수 있다<sup>25)</sup>.

미반응 모노머에 대한 여러 연구가 있었는데, Palasz 등<sup>26)</sup>은 물을 용매로 교정용 레진의 잔존 모노머를 용출시켰을 때 수용성의 TEGDMA가 가장 빨리 배출된다 하였고, Lawrence 등<sup>27)</sup>은 구강내로 용출된 TEGDMA의 세포독성에 대해 보고하였다. TEGDMA와 같은 수용성 모노머의 유출은 일반 복합레진보다 치면열구전색제와 같이 점도가 낮은 레진에서 더 많이 일어날 수 있다. 치면열구전색제는 최외층이 산소와 직접 접촉함으로써 경화되지 않는 층이 형성되며 이 층의 두께는 레진의 점도가 낮은 경우 약 100um까지도 될 수 있다<sup>28)</sup>. 이러한 산소 억제층인 최외층에는 다량의 TEGDMA가 함유되어 있다<sup>29)</sup>.

따라서 본 연구에서는 짧은 시간에 많은 양의 TEGDMA를 용출하는 치면열구전색제를 실험재료로 이용하여 기존의 할로겐 광과 보다 강한 강도와 짧은 조사시간을 갖는 아르곤 레이저와 플라즈마 광을 이용한 광중합도를 평가하기 위해 각각의 중합시간과 시간에 따른 TEGDMA의 용출량을 측정, 비교 분석하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험재료

광중합기로는 할로겐 광을 사용하는 XL3000(3M, USA)와 플라즈마 광을 사용하는 Flipo (LOKKI, France), 488nm의 가시광선 파장을 방출하는 continuous wave의 아르곤 레이저(HGM, SPECTRUM™, USA)를 선정하였다. 가시광선 중합기의 광도 측정은 Curing Radiometer™(Demetron co. USA)를 사용하였으며 플라즈마 광 및 아르곤 레이저의 중합기의 경우 파장대가 다르므로 일반 광량측정기로 측정할 수 없어서 제조사의 발표수치를 인용하였다. 충전재로는 광중합형 치면열구전색제(Ultraseal XT plus, Ultradent, USA)를 사용하였다.

미반응 모노머의 시간경과에 따른 용출 성분 및 양의 측정은 역상 크로마토그래피(RP-HPLC, SHIMADZU CO., KYOTO, JAPAN)을 이용하여 측정하였는데, 역상 크로마토그래피 상에서 용출된 모노머를 분석하기 위한 표준모노머로는 복합레진에 일반적으로 많이 함유 되어있는 Bis-glycidyl dimethacrylate(Bis-GMA, Kulzer Gmbh Co., Germany), Camphorquinone(CQ, MERCK-Schuchardt., Germany), Ethylenglycol dimethacrylate(EGDMA, MERCK-Schuchardt., Germany), Hydroxyethyl methacrylate(HEMA, MERCK-Schuchardt., Germany), Triethyleneglycol dimethacrylate(TEGDMA, SIGMA CO., USA.), Urethane dimethacrylate(UDMA, Kulzer Gmbh Co., Germany) 등을 사용하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 충전용 시편제작

광중합형 치면열구 전색제를 1.8mm 두께와 4.8mm 지름의 Teflon mold (PELCO® Microwell Staining Mold, Ted Pella Inc., U.S.A)에 위치시켜 일정한 양을 유지할 수 있게 한 후 다음과 같이 광조사를 시행하였다 (Table 1).

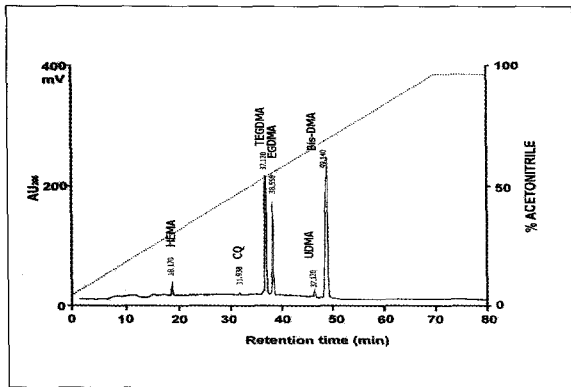
#### 2) 치면열구전색제의 미반응 모노머 용출량 측정

광원에 따른 중합시간 당 각각 10개의 시편을 제작하여 5 ml 의 3차 증류수에 넣은 후 바로 용출시킨 액을 0시간으로 하고 37℃ 항온기에서 10분, 1시간, 12시간, 24시간 동안 용출시켰다. 각 용출액의 20 μl를 역상 크로마토그래피에 적용시켜 모노머의 양을 분석 하였다.

이동상(mobile phase)에는 0.1%의 TFA(Trifluoroacetic acid)를 함유한 아세토니트릴(Acetonitrile)을 사용하였고 분리, 분석을 위한 농도구배(gradient)는 70분간 5%에서 95%로 증가하게 설정하였다. 이동상의 흐름속도는 분당 1 ml 이었으며 분리된 모노머는 흡광도 205 nm의 파장에서 검출되

**Table 1.** Light sources and curing time

Light source	Manufacturer	Light intensity (mW/cm <sup>2</sup> )	Curing time (sec)
Halogen light	XL3000 ,3M, USA	480	20, 40, 60
Plasma arc light	Flipo, LOKKI, France	1900	3, 6, 9
Argon laser	HGM, SPECTRUMTM, USA	600	5, 10, 20



**Fig. 1.** Chromatogram of the standard mixture used for identification of the different substance contained in the composit.

었다. 역상 크로마토그래피를 분석하기 위한 컬럼으로 C18 silica gel(VP-ODS, SHIMADZU, KYOTO, JAPAN)이 사용되었다.

같은 조건의 역상 크로마토그래피에 먼저 6가지 표준 모노머 (Bis-GMA, CQ, EGDMA, HEMA, TEGDMA, UDMA)를 주입하여 각각에 대한 분리시간(retention time)을 알아내었다 (Fig. 1). 이를 기준으로 용출액 속 물질들의 성분을 분석하며 크로마토그램상에서 height를 기준으로 정성분석 하였다.

3) 통계분석

광원별 조사시간 및 시간에 따른 TEGDMA의 용출량의 차이를 검증하기 위하여 본 연구에서는 다변량 분산분석(MANOVA: Multi-variate Analysis of Variance) 및 Turkey post-hoc test를 실시하였다. 또한 반응시간별 조사조건에 따른 광원별 TEGDMA의 용출량의 차이를 검증하기 위하여 Kruskal-Wallis 검증을 실시하였다. 다변량 분산분석 및 Kruskal-Wallis Test를 수행하기 위하여 SPSS 11.5를 사용하였다.

Ⅲ. 실험성적

중합 후 TEGDMA의 초기 용출량은 할로겐 광, 플라즈마 광, 아르곤 레이저 모두 중합시간이 증가할수록 감소하였으며

할로겐 광으로 20초, 플라즈마 광으로 9초, 아르곤 레이저로 20초 조사 시 나타나는 초기 용출량이 유사하였다.

광원의 중합시간에 따른 반응시간의 TEGDMA의 용출량은 증가되었으나 할로겐 광으로 20초, 40초, 60초로 조사 할 때와 플라즈마 광으로 9초 조사시 24시간의 시간구간에서 용출량은 감소되었다(Fig. 2~4). 할로겐 광에서 각기 다른 중합시간에 따른 용출된 미반응 모노머의 양에는 유의차가 없었다. 반응시간대별 차이는 최초 0분과 나머지 시간에 용출된 양에 차이가 있었으며 10분 이후 용출된 양의 차이는 유의하지 않는 것으로 나타났다.

플라즈마 광으로 3초 중합 했을 때 용출량과 나머지 6초, 9초 조사 했을 때의 용출량에 차이가 있었고 6초와 9초간의 용출량 차이는 없었다. 반응시간대별 차이는 최초 0분과 10분과 1시간 12시간, 그리고 12시간에서 24시간의 시간구간에서 용출량에 서로 차이가 있는 것으로 나타났다.

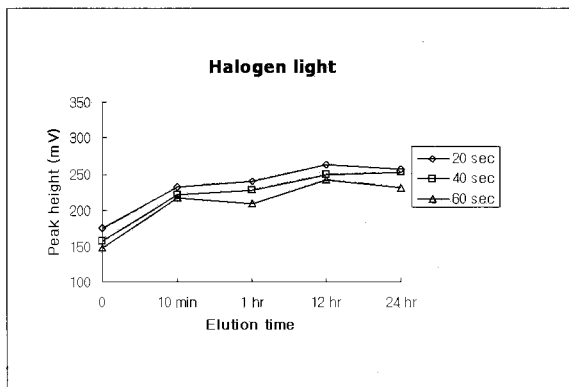
아르곤 레이저의 중합시간에 따른 용출량은 5초로 조사 했을 때 용출량과 20초 조사했을 때 용출량에 차이가 있었고 10초와 20초간의 용출량 차이는 없었다. 반응시간대별 차이는 최초 0분과 나머지 반응시간대와 용출량에 서로 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 2).

제조회사의 권장시간 이하인 할로겐 광 20초, 플라즈마 광 3초, 아르곤 레이저 5초를 조사 했을 때 용출량은 플라즈마 광 1시간 구간의 용출량을 제외하고는 모두 반응시간별로 증가되었으며 초기값은 할로겐 광 20초가 가장 적었고 플라즈마 광 3초, 아르곤 레이저 5초순으로 많았다(Fig. 5). 반응시간 및 조사시간에 따른 광원별 미반응 모노머 용출량은 유의한 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ )(Table 3).

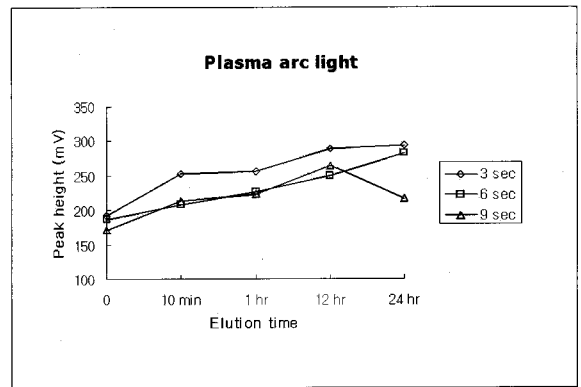
광원의 제조회사의 권장시간에 따른 반응시간별로의 TEGDMA의 용출량을 비교 하였을 때 초기 용출량은 할로겐 광 40초 조사 군이 가장 작았고 플라즈마 광 6초, 아르곤 레이저 10초순으로 용출량이 많았다(Fig. 6). 할로겐 광 40초와 플라즈마 광 6초 중합 시 10분 이후로의 TEGDMA의 용출량은 유의수준 0.05에서 유의한 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ )(Table 4). 제조회사의 권장시간 이상인 할로겐 광 60초, 플라즈마 광 9초, 아르곤 레이저 20초로 중합 시에 나타나는 TEGDMA의 용출량은 유의한 차이를 보이지 않았다( $p>0.05$ )(Fig. 7, Table 5).

**Table 2.** Statistical analysis of Time-related TEGDMA release from the different light sources

Light sources	Treat-ment	Sig.	Post-Hoc Analysis (Tukey HSD)				
			time	N	Subset		
					1	2	3
Halogen light	Curing time	0.68	60 s	15	207580.9		
			40 s	15	218906.6		
			20 s	15	238963.1		
	Elution time	0.00	0 min	9	148368.5		
			10 min	9		215858.8	
			1 hr	9		231626.8	
			12 hr	9		253891.7	
Plasma arc light	Curing time	0.00	9 s	15	205868.7		
			6 s	15	215601.3		
			3 s	15		243649.3	
	Elution time	0.00	0 min	9	165296.7		
			10 min	9		202105.2	
			1 hr	9		223052.2	
			12 hr	9			258738.4
Argon laser	Curing time	0.02	20 s	15	233552.6		
			10 s	15	247327.6		247327.6
			5 s	15		269057.6	
	Elution time	0.00	0 min	9	181118		
			10 min	9		244663.6	
			1 hr	9		257904.6	
			12 hr	9		277249.8	
24 hr	9		288960.2				



**Fig. 2.** Amount of TEGDMA release from specimens cured by halogen light according to curing and elution time.



**Fig. 3.** Amount of TEGDMA release from specimens cured by plasma arc light according to curing and elution time.

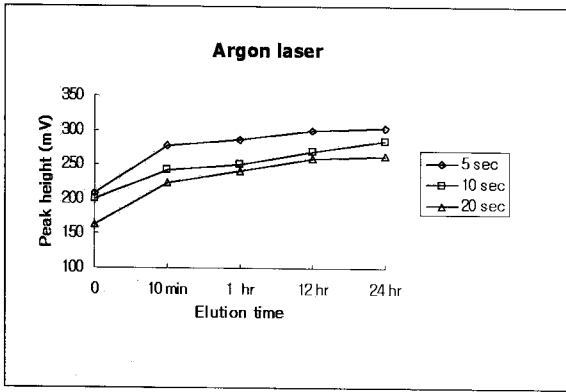


Fig. 4. Amount of TEGDMA release from specimens cured by argon laser according to curing and elution time.

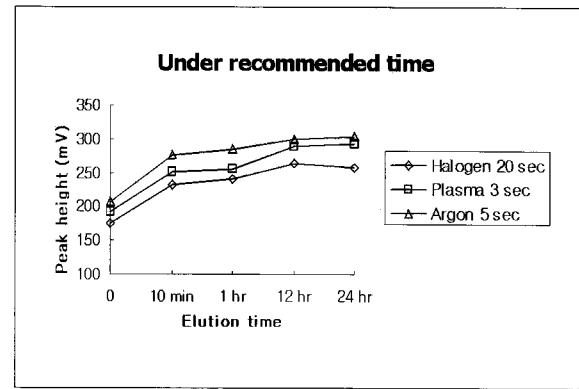


Fig. 5. Time-related release of TEGDMA from under recommended time of different light sources.

Table 3. Statistical analysis of quantities of TEGDMA released from under recommended time of different light sources

Elution time	Light sources	Curing time (Sec.)	Mean Ranking	Sig.
0 min	Halogen	20	4.00	.430
	Plasma arc	3	4.33	
	Argon laser	5	6.67	
10 min	Halogen	20	4.00	.193
	Plasma arc	3	3.67	
	Argon laser	5	7.33	
1 hr	Halogen	20	4.33	.597
	Plasma arc	3	4.33	
	Argon laser	5	6.33	
12 hr	Halogen	20	4.33	.587
	Plasma arc	3	4.33	
	Argon laser	5	6.33	
24 hr	Halogen	20	3.67	.193
	Plasma arc	3	4.00	
	Argon laser	5	7.33	

Table 4. Statistical analysis of quantities of TEGDMA released from recommended time of different light sources

Elution time	Light sources	Curing time (Sec.)	Mean Ranking	Sig.
0 min	Halogen	40	3.33	.396
	Plasma arc	6	5.33	
	Argon laser	10	6.33	
10 min	Halogen	40	5.00	.329
	Plasma arc	6	3.33	
	Argon laser	10	6.67	
1 hr	Halogen	40	5.33	.252
	Plasma arc	6	3.00	
	Argon laser	10	6.67	
12 hr	Halogen	40	5.33	.561
	Plasma arc	6	3.67	
	Argon laser	10	6.00	
24 hr	Halogen	40	3.67	.288
	Plasma arc	6	4.33	
	Argon laser	10	7.00	

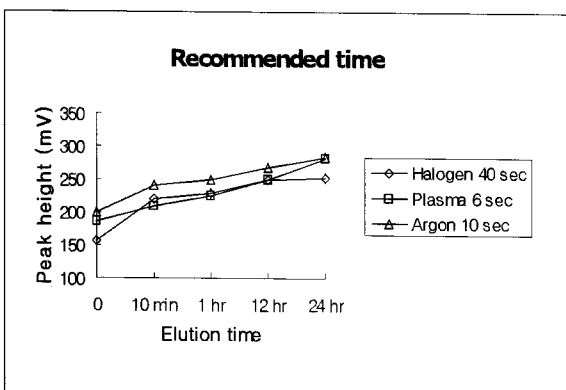


Fig. 6. Time-related release of TEGDMA from recommended time of different light sources.

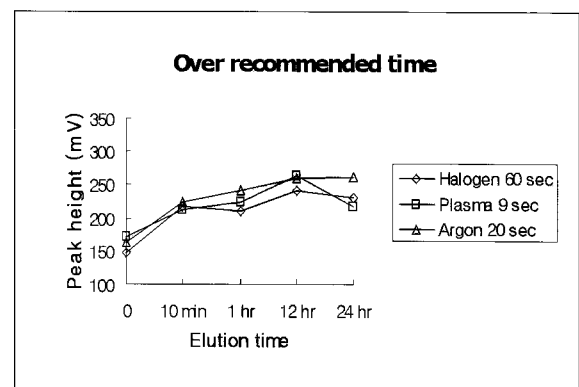


Fig. 7. Time-related release of TEGDMA from over recommended time of different light sources.

**Table 5.** Statistical analysis of quantities of TEGDMA released from over recommended time of different light sources

Elution time	Light sources	Curing time (Sec.)	Mean Ranking	Sig.
0 min	Halogen	60	4.00	.670
	Plasma arc	9	5.00	
	Argon laser	20	6.00	
10 min	Halogen	60	5.33	.393
	Plasma arc	9	3.33	
	Argon laser	20	6.33	
1 hr	Halogen	60	4.33	.733
	Plasma arc	9	4.67	
	Argon laser	20	6.00	
12 hr	Halogen	60	5.33	.875
	Plasma arc	9	3.67	
	Argon laser	20	6.00	
24 hr	Halogen	60	4.67	.252
	Plasma arc	9	3.33	
	Argon laser	20	7.00	

IV. 총괄 및 고찰

모든 복합레진의 중합은 자유기 중합방식(free radical polymerization mechanism)으로 가시광선 중합형의 경우에는 적절한 파장의 빛이 α-diketone(주로 camphoroquinone)에 의해 흡수되어 amine reducing agent와 반응하고 이것이 자유기를 형성한다<sup>30)</sup>. 이렇게 형성된 자유기가 methacrylate group의 중합을 개시하여 polymeric matrix와 가교(cross link)를 형성함으로써 중합이 이루어진다<sup>31)</sup>. 또한 광원의 광도와 파장에 따라서 화학반응에 의한 중합이 이루어지는 시간이 각각 다르다. 따라서 레진 수복재의 중합도는 조사 광도와 광원의 파장 그리고 중합시간과 밀접한 관계를 갖는다고 할 수 있다<sup>1)</sup>. 광원과 중합시간에 따른 중합도의 평가로 미반응 모노머의 양을 측정하는 직접법을 사용한 연구는 그리 많지 않다.

이에 본 연구에서는 할로겐 광과 플라즈마 광, 아르곤 레이저의 각기 다른 조사 시간을 적용한 후 시간에 따른 미반응된 TEGDMA의 용출량을 평가하였다. 할로겐 광 20초, 40초, 60초 중합시 중합시간이 증가할수록 초기 용출량 감소를 보였으나 유의할만한 차이는 없었다. 플라즈마 광의 6초, 9초로 중합한 군에서는 유사한 용출량을 보였으며 3초 중합군에서는 6초와 9초 중합군보다 초기 용출량이 많이 나타났다(p)0.05). 아르곤 레이저는 전반적으로 할로겐 광과 플라즈마 광보다 높은 초기 용출량을 보였으며 아르곤 레이저 5초군과 10초, 20초군 사이의 용출량에는 유의할만한 차이가 있었다. 이러한 결과로 미루어보아 할로겐 광은 중합시간에 따라 중합의 정도가 큰 차이가 없으며 플라즈마 광으로 3초 조사시 중합의 정도가 6초와 9초에 비해 감소됨을 알 수 있었다. 아르곤 레이저로 5초 조사한 것은 가장 높은 초기 용출량을 보여 10초와 20초로 조사한 군에 비해 적절한 중합이 이뤄지지 않았음을 알 수 있었다. 이

는 광원의 중합시간에 따른 미세경도를 측정하여 중합도를 평가한 다수의 연구<sup>32-35)</sup>와 유사한 결과로 같은 조건 하에서 중합 후 미세경도와 TEGDMA의 용출량 간의 상관관계가 존재한다고 할 수 있다.

광원의 제조회사에서 권장하는 최소 중합시간인 할로겐 광 20초, 플라즈마 광 3초, 아르곤 레이저 5초 에서 조사시 미반응 모노머의 용출량을 비교하였을 때 통계학적인 유의차는 존재하지 않았으나 할로겐 광, 플라즈마 광, 아르곤 레이저 순으로 용출량이 적었다. 권장 중합시간인 할로겐 광 40초, 플라즈마 광 6초, 아르곤 레이저 10초에서는 할로겐 광 40초와 플라즈마 광 6초의 시간에 따른 미반응 모노머의 용출량이 유사하였으며 아르곤 레이저 10초군은 이들보다 용출량이 높게 나타났다. 권장 시간 이상인 할로겐 광 60초와 플라즈마 광 9초, 아르곤 레이저 20초 중합시 나타나는 미반응 모노머의 용출량간에는 유의할만한 차이가 없었다. 따라서 제조회사의 최소 권장중합시간인 할로겐 20초, 플라즈마 광 3초, 아르곤 레이저 5초의 적용은 미반응 모노머의 용출량을 증가시켜 적절한 중합이 이루어지지 않음을 알 수 있다.

할로겐 광 40초, 플라즈마 광 6초 조사시 나타나는 미반응 모노머의 용출량에서 큰 유의차가 없다면 시술시간을 단축시킬 수 있는 플라즈마 광 6초의 적용이 임상적으로 더 유용하게 사용될 수 있다. 아르곤 레이저의 경우 플라즈마 광보다 미반응 모노머의 용출량이 많으며 중합시간도 플라즈마 광보다 많으며 고가의 장비와 설비의 까다로움 등으로 임상적인 면에서 보다 덜 실용적이라고 사료된다.

Hume 등<sup>29)</sup>은 산소억제층인 최외층에는 TEGDMA가 다량 함유되어 있다고 하였다. 특히 치면열구전색제는 최외층의 산소와 TEGDMA가 반응하여 경화되지 않는 층을 형성하고 이는 산소와의 교차결합으로 인해 안정된 층으로 나타나며 산소가 TEGDMA의 용출량에 영향을 미친다고 보고하였다. 본 실험에서는 3차 증류수에 시편을 넣고 반응시간별로 용출량을 측정하였는데 이때 물에 의해 산소가 차단되어 최외층에 존재하는 TEGDMA와 산소와의 접촉을 억제하여 산소와 반응하지 않은 TEGDMA가 용출되므로 시간에 따라 용출량이 증가하였던 것으로 사료된다.

할로겐 광으로 20초와 40초 조사시 초기부터 1시간까지 반응시간에서는 TEGDMA의 용출량은 증가하였으나 24시간에서는 감소하였고 60초 조사시 1시간과 24시간에서 감소됨을 보였다. 또한 플라즈마 광으로 9초 조사 시 TEGDMA의 초기 용출량은 할로겐광 20초 조사 했을 때와 유사하였으며 1시간까지의 반응시간에서는 증가하다가 24시간에는 감소하였다.

이와 같이 24시간대에서 TEGDMA의 용출량이 감소하는 것은 용존산소량(BPG)의 영향으로 사료되는데, 용출시간이 지날수록 공기 중의 산소가 물로 다시 녹아 산소의 양이 증가 하게 되고 증가된 산소는 TEGDMA와 반응함으로 용출량의 감소를 가져오는 것으로 생각된다. 따라서 할로겐 광 40초 이상, 플라즈마 광 6초 이상과 같은 광조사 시간을 적용하는 것은 미반응

모노머의 초기 용출량이 적고 시간에 따른 용출량의 감소를 보임으로 다른 중합시간에 비해 나은 중합도 완성면에서 유리하다고 할 수 있다. 또한 반응 시간별로 용출되는 미반응 모노머의 양을 비교하였을 때 할로겐광은 초기 미반응 모노머의 용출량과 비교하여 10분 이후에 용출된 미반응 모노머의 양 사이엔 유의차가 없었다. 플라즈마 광에서는 초기 용출량과 10분, 1시간의 용출량, 12시간 과 24시간의 용출량 사이에서 유의할만한 차이가 있었다. 아르곤 레이저는 초기 미반응 모노머의 용출량이 나머지 시간대에 비해 용출량에서 유의할만한 차이를 보였고 10분 이후의 시간대에서 나타나는 미반응 모노머의 용출량 사이엔 유의할만한 차이가 없었다. 따라서 중합 후 산소억제층을 제거와 같은 임상적으로 미반응 모노머의 초기 용출량을 감소시키는 방법이 제시된다면 국소적, 전신적으로 유입되는 미반응 모노머의 양을 감소시킬 수 있다.

Ferrancane과 Codon<sup>36)</sup>은 물과 75% 에탄올을 용매로 하여 24시간 후에 레진에 존재하는 미반응 모노머를 완전히 제거했다고 보고한 바 있으나 이러한 유기용매를 이용하여 모노머를 완전히 제거하기 위하여 환자의 구강 내에 적용할 수는 없다. Rueggerberg 등<sup>28)</sup>은 기계적인 제거방법을 이용하여 표면의 미반응 모노머의 제거 효과를 평가한 바 러버컵과 퍼미스를 이용한 경우 95% 이상의 잔존 모노머를 제거하였다고 발표하였다. 설<sup>37)</sup>의 연구에서 물로 10초간 세척한 레진의 용출액을 세포에 적용시 세포 증식률이 다른 군에서 보다 높게 나타난 것으로 보아 상당량의 TEGDMA가 제거되어 세포성장에도 영향을 주었다고 보고하고 있다. Jontell 등<sup>38)</sup>은 임파구를 이용한 수종의 레진 성분(UDMA, Bis-GMA, TEGDMA, BPA)의 세포독성에 관한 연구에서 낮은 농도의 모노머에서 임파구의 증식을 촉진시킨다고 보고하였다. Geurtsen 등<sup>39)</sup>은 EGDMA와 TEGDMA가 *Lactobacillus acidophilus*와 *Streptococcus sobrinus*의 증식을 촉진시킨다고 했으며 낮은 농도의 TEGDMA가 인간의 치은 섬유모세포를 증식시켜 치은의 염증반응에 기여 할 것이라고 보고하였다.

본 실험에서는 광원과 조사시간을 달리하여 TEGDMA의 용출량을 비교하여 중합도를 평가하였는데 향후에는 용출물을 치아우식 유발세균에 적용하여 각 군에서 용출된 미반응 모노머가 세균에 어떤 영향을 미치는지와 섬유모세포와 같은 구강 내 세포에 미치는 영향에 대한 연구가 같이 이루어짐으로 구조적 안정성과 생물학적 적합성을 동시에 갖는 광원과 중합시간을 찾을 수 있을 것으로 사료된다. 또한 향후 미반응 모노머의 제거를 위해 임상에서 가장 쉽게 적용할 수 있는 방법인 air spray를 이용한 세척방법과 세척 시간, 간격, 횟수에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

### V. 결 론

본 연구에서는 치면열구전색제를 실험재료로 이용하여 기존의 할로겐 광과 보다 강한 강도와 짧은 조사시간을 갖는 아르곤

레이저와 플라즈마 광을 이용한 광중합도를 평가하기위해 각각의 조사시간과 반응시간에 따른 TEGDMA의 용출량을 측정, 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 할로겐 광은 중합시간이 증가할수록 TEGDMA의 초기 용출량 감소를 보였다(p>0.05).
2. 플라즈마 광은 6초, 9초로 중합한 군에서는 TEGDMA의 용출량의 차이를 보이지 않았으나, 3초 중합 군에서는 6초와 9초 중합 군보다 초기 용출량이 크게 나타났다(p<0.05).
3. 아르곤 레이저는 전반적으로 할로겐 광과 플라즈마 광보다 TEGDMA의 초기 용출량이 컸으며 조사시간이 증가할수록 용출량은 감소되었다 (p<0.05).
4. 광원의 제조회사에서 권장하는 최소 중합시간인 할로겐 광 20초, 플라즈마 광 3초, 아르곤 레이저 5초로 조사시 TEGDMA의 용출량은 할로겐 광, 플라즈마 광, 아르곤 레이저 순으로 용출량이 적었다(p>0.05).
5. 제조회사의 권장 중합시간인 할로겐 광 40초, 플라즈마 광 6초, 아르곤 레이저 10초 조사시 할로겐 광 40초와 플라즈마 광의 6초의 TEGDMA의 용출량은 아르곤 레이저 보다 낮게 나타났다(p>0.05).
6. 권장시간 이상인 할로겐 광 60초와 플라즈마 광 9초, 아르곤 레이저 20초 중합시 나타나는 TEGDMA의 용출량 간에는 유의할만한 차이가 없었다(p>0.05).

본 연구의 결과에 따르면 제조회사의 권장중합시간을 준수할 경우 중합률에 차이는 없었다. 할로겐 광과 플라즈마 광의 경우 권장 중합시간 이상으로 중합시에 모노머의 용출량의 감소로 중합도가 보다 증가함을 알 수 있었다. 따라서 광중합기로 권장 중합시간 이상 조사한다고 하였을 때 플라즈마 광의 사용이 짧은 조사 시간으로 전체적인 시술시간의 감소를 가져와 임상적으로 유리하다고 판단된다.

### 참고문헌

1. Pires JF, Cvitko E, Denehy GE, et al. : Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. Quintessence Int, 24:517-521, 1993.
2. McCabe JE, Carrick TE : Output from visible-light activation units and depth of cure of light-activated composites. J Dent Res, 68:1534-1539, 1989.
3. Leung R, Fan P, Johnson W : Post-irradiation polymerization of visible light activated composite resin. J Dent Res, 62:363-365, 1983.
4. Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T : Effect of light intensity on polymerization of light-cured composite resins. Dent Mater J, 13:198-205, 1994.
5. Shanthala BM, Munshi AK : Laser vs visible-light cured composite resin: an in vitro shear bond study.

- J Clin Pediatr Dent, 19:121-125, 1995.
6. Vargas MA, Cobb DS, Schmit JL : Polymerization of composite resins: argon laser vs conventional light. Oper Dent, 23:87-93, 1998.
  7. Fleming MG, Maillet WA : Photopolymerization of composite resin using the argon laser. J Can Dent Assoc, 65:447-450, 1999.
  8. Powell GL, Blankenau RJ : Laser curing of dental materials. Dent Clin North Am, 44:923-930, 2000.
  9. Nazir L, Timothy F, Robert V, et al. : Polymerization with the argon laser: Curing time and shear bond strength. Angle Orthod, 70:28-33, 2000.
  10. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW : Effects of light intensity and duration on cure of resin composite. Oper Dent, 19:26-32, 1994.
  11. Silikas N, Eliades G, Watts DC : Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. Dent Mater, 16:292-296, 2000.
  12. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr : Factors affecting cure at depth within light activated resin composites. Am J Dent, 6:91-95, 1993.
  13. Fortin D, Vargas HA : The spectrum of composites : New techniques and materials. J Am Dent Assoc, 131:26-30, 2000.
  14. Condon JR, Ferracane JL : Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress. J Am Dent Assoc, 131:497-503, 2000.
  15. Davidson-Kaban SS, Davidson CL, Feilzer AJ : The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites. Dent Mater, 13:344-352, 1997.
  16. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MB : Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. J Dent, 20:183-188, 1992.
  17. Lovell LG, Newman SM, Dowman CN : The effects of light intensity, temperature & comonomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. J Dent Res, 78:1469-1476, 1999.
  18. Nomoto R, Hirasawa T : Residual monomer and pendant methacryloyl group in light-cured composite resins. Dent Mater J, 11:177-88, 1992.
  19. Kawaguchi M, Fukushima T, Horibe T : Effect of monomer structure on the mechanical properties of light-cured unfilled resins. Dent Mater J, 7:174-81, 1988.
  20. Noda M, Komatsu H, Sano H : HPLC analysis of dental resin composites components. J Biomed Mater Res, 47:374-378, 1999.
  21. Dulik D, Bernier R, Brauer GM : Effect of diluent monomer on the physical properties of bis-GMA-based composites. J Dent Res, 60:983-9, 1981.
  22. Leung RL, Kahn RL, Fan PL : Comparison of depth of polymerization evaluation method for photo-activated composite. J Dent Res spec, #1095, 1984.
  23. Rueggeberg FA, Craig RG : Correlation of parameter used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. J Dent Res, 67:932-937, 1988.
  24. Loesche GM, Schurg C, Roulet JF : Influence of curing light intensity on marginal adaptation of composite fillings. J Dent Res, 72:abstr 1284, 1993.
  25. 이동수, 정대성, 김신 : 복합레진 중합용 가시광선 광중합기의 적정 광강도 유지를 위한 임상적 고찰. 대한소아치과학회지, 28:363-368, 2001.
  26. Palasz MV, Gerzina TM, Hume WR : Cytotoxic and quantitative evaluation of leachable components from orthodontic adhesives(abstract). J Dent Res, 73:436, 1994.
  27. Lawrence WH, Bass GE, Purcell WP, et al. : Use of mathematical models in the study of structure-toxicity relationships of dental components. I. Esters of acrylic and methacrylic acids. J Dent Res, 51:526-535, 1972.
  28. Rueggeberg FA, Dlugokinski M, Ergle JW : Minimizing patient's exposure to uncured components in a dental sealant. J Am Dent Assoc, 130:1751-1757, 1999.
  29. Hume WR, Gerzina TM, Roise SR : TEGDMA concentration and cytotoxicity in aqueous eluates of resin composite(abstract). J Dent Res, 71:162, 1992.
  30. Watts DC, Amer O, Combe EC : Characteristics of visible light-activated composite systems. Br Dent J, 156:209-215, 1984.
  31. Yearn JA : Factors affecting cure of visible light activated composites. Int Dent J. 35:218-225, 1985.
  32. Ergle JW, Rueggeberg FA : Composite depths of cure using a variety of curing sources(abstract). J Dent Res, 79:1804, 2000.
  33. Burtscher P, Salz U, Rheinberger V : Curing ability of a plasma lamp(abstract). J Dent Res, 79:1531, 2000.
  34. Hofmann N, Hugo B, Schubert K : Comparison between a plasma arc light source and conventional halogen curing units regarding flexural strength, modulus, and hardness of photoactivated resin com-



- posites. Clin Oral Investing, 4:140-147, 2000.
35. Roberts SB, Puckett AD, Inman CC : Comparison of plasma arc and conventional halogen light-curing units(abstract). J Dent Res, 79:1802, 2000.
  36. Ferracane JL, Condon JR : Rate of elution of leachable components from composite. Dent Mater. 6:282-287, 1990.
  37. 설재현 : 광중합형 치면열구전색제에서 이중합모노머층의 제거방법. 조선대학교대학원 석사학위 논문, 2001.
  38. Jontell M, Hanks CT, Bratel J, et al. : Effects of unpolymerized resin components on the function of accessory cells derived from the rat incisor pulp. J Dent Res, 74:1162-1167, 1995.
  39. Geurtsen W, Lehnann F, Spahl W, et al. : Cytotoxicity of 35 dental resin composite monomers/additives in permanent 3T3 and three human primary fibroblast culture. J Biomed Mater Res, 41:474-480, 1998.

Abstract

ELUTION OF RESIDUAL MONOMER ACCORDING TO VARIOUS LIGHT SOURCES AND CURING TIME ON THE POLYMERIZATION OF PHOTOACTIVATED PIT AND FISSURE SEALANTS

You-Hyang Oh, Yoonkyung Park\*, Nan-Young Lee, Chang-Seop Lee, Sang-Ho Lee

*Department of Pediatric Dentistry, Research Center for Proteineous Materials\*,  
College of Dentistry, Chosun University*

The purpose of this study was to measure and compare the amount of unreacted TEGDMA from pit and fissure sealants cured with three different light sources: conventional halogen light curing unit, plasma arc light curing unit and argon laser. The specimens were eluted in distilled water for different time intervals. The time-related release of TEGDMA were analyzed by reverse-phase high performance liquid chromatography(HPLC).

The result of present study can be summarized as follows:

1. The time-related release of TEGDMA decreased with increasing curing time in conventional halogen light, however, that not statistically significant difference( $p>0.05$ ).
2. The elution from the specimens cured for 6 and 9 seconds with plasma arc light was similar results corresponding with the time-related TEGDMA release, and was significantly lower than that cured for 3 seconds( $p<0.05$ ).
3. The elution of TEGDMA from the specimens cured with argon laser was significantly higher than that cured with halogen and plasma arc light( $p<0.05$ ).
4. The elution of TEGDMA from under recommended time of three different light sources were showed to be no statistically significant difference( $p>0.05$ ).
5. In time-related release of TEGDMA from recommended time of each light sources, the results correspond to 40 seconds of halogen light and 6 seconds of plasma arc light were similar( $p>0.05$ ).
6. The elution of TEGDMA from over recommended time of three different light sources were showed to be no statistically significant difference( $p>0.05$ ).

In this study, I suggest that curing time of plasma arc light is 6 and/or 9 seconds in the field of clinical pediatric dentistry claiming its effectiveness in optimal polymerization and reduced chair time.

**Key words** : Light sources, TEGDMA(Triethyleneglycol dimethacrylate), Reverse-phase high performance liquid chromatography(RP-HPLC).