

## Halogen lamp 광조사기와 Plasma xenon arc lamp 광조사기에 의한 광중합 복합레진의 중합률 비교

이영준 · 정병초 · 최남기 · 양규호

전남대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치의학 연구소

### 국문초록

본 연구의 목적은 일반 halogen lamp 광조사기와 비교하여 plasma xenon arc lamp 광조사기의 광중합 능력을 평가하기 위한 것이다. 7mm의 내경과 1mm, 2mm, 3mm 두께를 갖는 레진 시편을 aluminum 주형상에서 제작하여 plasma xenon arc lamp 광조사기는 2초, 3초, 6초, halogen lamp 광조사기는 20초, 40초, 60초 동안 광조사한 후 Raman spectroscopy를 이용하여 레진 시편 표면과 후면의 중합률을 측정하였다. 표면 중합률은 광조사 시간이 증가함에 따라 halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기 모두에서 유의성있게 증가하였으며 전반적인 중합률은 halogen lamp 광조사기에서 더 높았으나 plasma xenon arc lamp 광조사기와 유의한 차이는 없었다. 광조사 시간이 증가함에 따라 halogen lamp 광조사기의 경우 후면 중합률은 모든 두께에서 점차 증가하였으나 1.2mm 두께에서는 유의한 차이가 없었으며 plasma xenon arc lamp 광조사기로 중합한 경우에는 모든 두께에서 조사시간이 증가할수록 중합률은 유의성있게 증가하였다. 이상의 결과로 plasma xenon arc lamp 광조사기의 강한 광도가 광조사 시간의 감소를 완전히 보상하지는 못하는 것으로 판단되므로 plasma xenon arc lamp 광조사기로 광중합 복합레진을 중합할 경우 2mm이내의 적층 충전이 요구되며 또한 재조회사가 제시한 조사 시간보다 추가적인 광조사가 필요할 것으로 판단된다.

**주요어** : 광중합형 복합레진, Halogen lamp 광조사기, Plasma xenon arc lamp 광조사기, 중합률

### I. 서 론

치과 임상에 복합레진이 소개된 이후 재료와 장비 및 접착기술의 발전은 복합레진의 물리적 성질을 향상시키고 임상적 사용범위를 광범위하게 확대시켜 오늘날 심미적 수복체로서 뿐만 아니라 이장재, 소와열구 전색제, 접착제 등으로 널리 사용되고 있다. 복합레진의 성분에 관한 연구는 심미성과 물리적, 기계적 성질을 향상시켰으며 법랑질의 산부식<sup>1)</sup>에서부터 근래의 상아질 접착제<sup>2)</sup>에 이르기까지 치아와 복합레진 간의 결합 및 효율적인 중합방법에 대한 연구가 계속되어왔다.

일반적으로 광중합 복합레진은 고분자 단량체인 Bis-GMA(bisphenol -A- glycidyl dimethacrylate), 희석제이며 가교제인 TEGDMA(triethylene glycol dimethacrylate)와 광중합 개시제 등이 포함된 기질과 물리적 성질을 개선하기 위한 필러(filler) 입자 및 기질과 필러 간의 화학적 결합을 도모하기 위한 결합제 등으로 구성되어 있다<sup>3)</sup>. 광중합 개시제로는 468nm의 파장에 활성화되는 camphoroquinone이 주로 사용된다. 광중합 복합레진의 중합반응은 광원에 의해 중합 개시제

인 camphoroquinone이 활성화되어 amine과 결합하여 자유 라디칼(free radical)을 형성하고, 이러한 자유 라디칼은 methacrylate group의 이중결합에 첨가되어 새로운 자유 라디칼을 형성함으로써 methyl methacrylate(MMA)가 연쇄적으로 결합되어 3차원적 구조를 갖는 다량체를 형성해가는 부가중합 반응이다<sup>4)</sup>. 교차결합 반응으로 만들어진 망상구조는 잔류 단량체를 고정하며 레진 기체의 점도도가 높아져 자유 라디칼의 확산 및 활동성을 제한하여 잔존 미반응 단량체의 반응진행을 억제함으로써 중합 후에도 미반응 단량체가 남게 된다. 또한 광조사가 끝난 후에도 미량의 중합이 계속되는 것으로 알려져 있다<sup>5)</sup>.

광중합 복합레진을 중합시키기 위한 광원으로 초기에는 자외선<sup>6)</sup>이 사용되었으나 투과력이 낮고 인체 유해성의 문제 등으로 점차 가시광선 중합형으로 개선되어 halogen lamp를 광원으로 하는 가시광선 조사기가 현재 널리 사용되고 있으며, 최근에는 레이저<sup>7)</sup>, plasma xenon arc lamp<sup>8)</sup>, Light Emitting Diode(LED)<sup>9)</sup> 등을 광원으로 이용한 방법들도 제시되고 있다. 이 중 plasma xenon arc lamp 광조사기는 고강도의 빛을 방

출하여 광중합 복합레진의 중합시간을 획기적으로 줄인 제품으로 소개되고 있다. 이러한 짧은 광조사 시간은 레진의 적층 충전이 요구되는 직접 수복술에서 뿐만 아니라 행동조절 및 타액 조절 등이 어려운 소아환자나 장애인환자에서 시술 시간을 단축시켜 임상적 관심을 일으키고 있다. Ishikawa 등<sup>10)</sup>과 국내의 김 등<sup>11)</sup>, 박 등<sup>12)</sup>은 plasma xenon arc lamp 광조사기를 이용한 교정용 브라켓 부착시 양호한 결과를 얻었다고 보고한 바 있으나 Peutzfeldt 등<sup>13)</sup>은 plasma xenon arc lamp 광조사기로 중합된 수복용 레진의 물성이 halogen lamp 광조사기로 중합된 레진보다 떨어진다고 보고하였다. 그러나 이러한 고강도의 광원이 짧은 조사 시간으로도 만족할 만한 기계적, 물리적 성질을 달성할 수 있는지에 대해서는 연구가 미진한 실정이다.

이에 본 연구에서는 일반적인 halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기를 이용하여 각기 다른 두께를 가진 레진 시편을 광중합한 후 조사 시간에 따른 중합물의 차이를 측정함으로써 두 중합기의 중합능력을 비교 평가하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1) 광중합 복합레진

광중합 복합레진은 전치부 및 구치부 수복용으로 사용되는 Filtek™ Z250 (3M, USA)의 A3 shade를 사용하였다.

### 2) 광중합기

Halogen lamp 광조사기로는 Optilux 150(Demetron, USA)을 사용하였으며 plasma xenon arc lamp 광조사기로는 flipo(Lokki, France)를 사용하였다. 각각의 광조사기의 광도는 광도계(POWER MAX 600, Molectron, USA)를 이용하여 광도를 5회 측정 후 평균을 구하였고, Monochromator(Spectra Pro 500i, Acton Research Co, USA)와 Photo Diode Array Detector(IRY 1024G, Princeton Instrument Co, USA)를 사용하여 방출 조사광의 파장을 분석하였다.

### 3) 시편의 제작

외경이 28mm, 내경이 7mm인 알루미늄 주형을 1mm, 2mm, 3mm의 두께로 제작하였다. 레진 시편을 제작하기 위해 편평한 바닥 위에 slide glass를 위치시킨 후 알루미늄 주형을 놓고 내경 안에 레진 조작기구를 이용하여 복합레진을 충전하였다. 잉여 레진을 제거한 후 광중합을 방해하는 산소와의 접촉을 막고 매끄러운 평면을 얻기 위해 slide glass로 덮고 손가락으로 압박한 후 광조사기의 tip을 주형의 내경에 맞게 밀착시키고 정해진 시간 동안 광조사하였다. 각각의 두께와 조사 시간에 대해 각각 5개씩 총 90개의 시편을 제작하였다.

### 4) 레진 시편의 두께와 광조사 시간

1mm, 2mm, 3mm 두께의 레진시편을 각각의 두께에 대해

halogen lamp 광조사기는 20초, 40초, 60초를, plasma xenon arc lamp 광조사기는 2초, 3초, 6초 동안 광조사하였다.

### 5) 중합물의 측정

FT-Raman Spectrometer(DA-8, Bomem, Canada)를 이용하여 중합전 복합레진의 Raman peak intensity를 5회 측정하였다. 1mm 두께 시편의 중합표면을 이용하여 표면중합물을 측정하고 각각의 두께와 조사 시간대별 시편의 중합 후면 중합물을 측정하였다. FT-Raman spectrometer는 1064nm의 근적외선 파장을 갖는 CW Nd-YAG(T10 8S, Spectra-physics, USA) 레이저 광원과 Quartz beam splitter, 그리고 InGaAs detector로 구성되어 있다. 시료로부터 산란되어 나오는 Raman신호를 측정하기 위하여 시편의 표면에 직각으로 입사하여 180도로 산란되는 back scattering configuration방법을 사용하였으며, 1064nm의 강한 레이저 광원이 detector로 입사되는 것을 차단하기 위해 halographic filter가 사용되었다. 측정시 레이저 광원의 세기는 1.5W, 분해능은 2cm<sup>-1</sup>이었으며 128번 반복 scan하여 S/N(signal/noise)비를 높였다.

각 시편의 미중합 단량체의 양은 단량체의 지방족 C=C 이중결합의 Raman peak(1640cm<sup>-1</sup>)값의 중합 전과 중합 후의 비율로 계산하였으며 중합반응 동안 그 농도가 변하지 않는 방향족 C-C 결합의 Raman peak(1610cm<sup>-1</sup>)을 내부 기준점으로 사용하였다. 각 시편의 중합률은 완전 중합에서 미중합 단량체의 양을 감한 백분율로 나타내며 계산방법은 아래와 같다.

중합률(Degree of Conversion ; %)

$$= 100 * [ 1 - ( R_{중합후} / R_{중합전} ) ]$$

( R = 1640cm<sup>-1</sup> 에서의 peak / 1610cm<sup>-1</sup> 에서의 peak )

### 6) 통계처리

시편의 두께와 광조사 시간에 따른 중합률의 평균과 표준편차를 구하였고 t-test와 ANOVA를 사용하여 5% 유의수준으로 통계 처리하였다.

## III. 연구 성적

### 1) 광조사기의 광도와 파장

광도의 측정에서 halogen lamp 광조사기인 Optilux 150(Demetron, USA)은 472mW/cm<sup>2</sup>이었고 plasma xenon arc lamp 광조사기인 flipo (Lokki, France)는 1945mW/cm<sup>2</sup>이었다. 두 개의 광조사기 모두 파장의 범위는 370~520nm사이에 존재하였으며 470nm부위에서 최대의 강도를 보였다(Fig. 1).

### 2) 중합전 복합레진의 Raman peak intensity

Raman peak의 강도는 wavenumber 1640cm<sup>-1</sup>에서

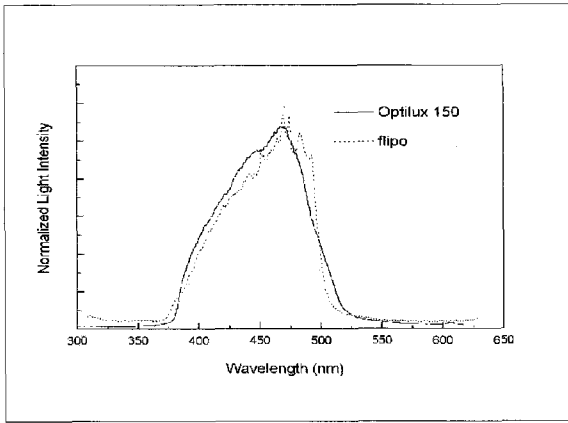


Fig. 1. Spectrum analysis of light from Optilux 150 and flipo.

Table 1. Comparison of the degree of conversion at exposed surface (n=5, unit=%)

Time(sec)	Unit	Optilux 150	flipo	Unit	Time(sec)
20		61.6±2.5	57.5±6.4		2
40		64.2±4.5	60.7±1.5		3
60		69.3±1.1	66.6±0.4		6

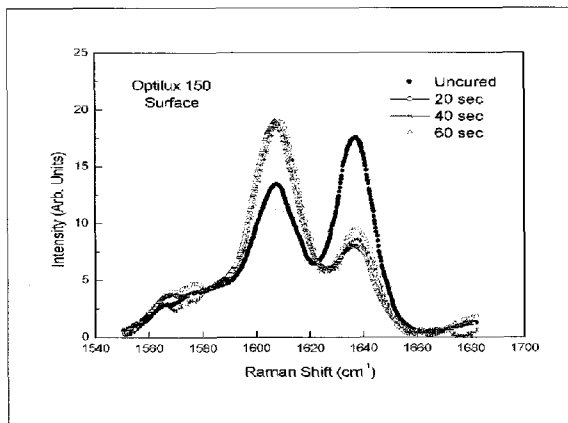


Fig. 2. Raman spectra of the exposed surface in Optilux 150.

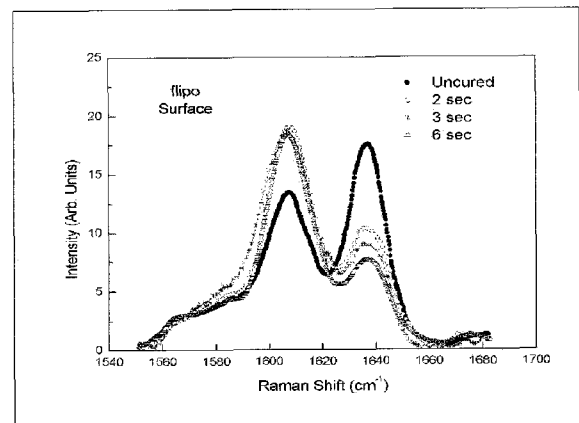


Fig. 3. Raman spectra of the exposed surface in flipo.

18.7359이고 1610cm<sup>-1</sup>에서 12.6386으로 증합전 레진의 지방족 탄소 이중결합의 Raman peak / 방향족 탄소결합의 Raman peak는 1.4824이었다.

3) 중합표면 중합률의 비교

Halogen lamp 광조사기는 20초, 40초, 60초 조사시에 각각 61.6±2.5%, 64.2±4.5%, 69.3±1.1%의 중합률을 보였고 조사 시간이 증가할수록 유의성있게 증가하였다(P<0.01). Plasma xenon arc lamp 광조사기는 2초, 3초, 6초 조사시에 각각 57.5±6.4%, 60.7±1.5%, 66.6±0.4%의 중합률을 보여 광조사 시간이 증가할수록 유의성있게 증가하였으며 (P<0.01) 2초와 6초간에 큰 차이를 보였다(P<0.01). 전반적인 중합률은 halogen lamp 광조사기에서 더 높았으나 plasma xenon arc lamp 광조사기와 유의한 차이는 없었다(Table 1, Fig. 2, 3)

4) Halogen lamp 광조사기에 의한 두께와 광조사 시간에 따른 중합률의 비교

후면 중합률은 모든 두께에서 광조사 시간이 증가함에 따라 증가하였으나 1mm, 2mm 두께에서는 조사 시간의 증가에 따른 중합률의 유의한 차이를 발견할 수 없었다(Table 2). 3mm 두께의 경우 20초 조사시 45.0±5.6%, 40초 조사시 48.7±9.3%, 60초 조사시 57.9±1.0%의 중합률을 보여 20초와 40초간에는 유의한 차이가 없었으나 20초와 60초, 40초와 60초간에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(P<0.01, Fig. 4, 5, 6).

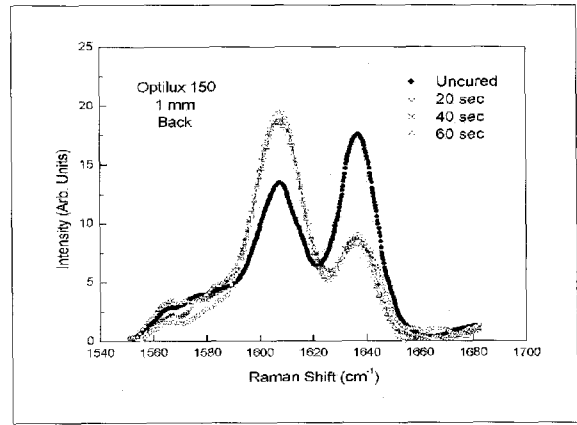
5) Plasma xenon arc lamp 광조사기에 의한 두께와 광조사 시간에 따른 중합률의 비교

1mm, 2mm 후면의 중합률은 광조사 시간이 증가함에 따라 유의성 있는 증가를 나타냈다(P<0.01). 특히 3mm 후면의 경우 2초, 3초, 6초의 조사 시간에 대해 중합률은 각각 23.1±0.9%, 28.2±1.5%, 46.8±4.2%로 1.2mm 두께에 비해 중

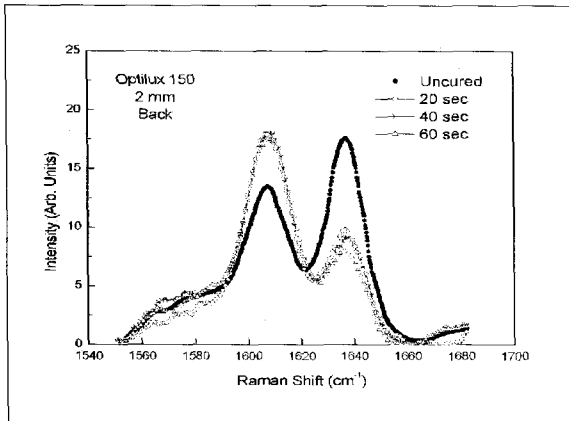
**Table 2.** The degree of conversion according to thickness and exposure time in Optilux 150. (n=5, unit=%)

Thickness(mm)	Time (sec)		
	20	40	60
1	59.6±1.2	60.4±1.1	62.0±5.4
2	57.2±6.6	58.9±2.6	59.3±5.8
3	45.0±5.6	48.7±9.3**	57.9±1.0****

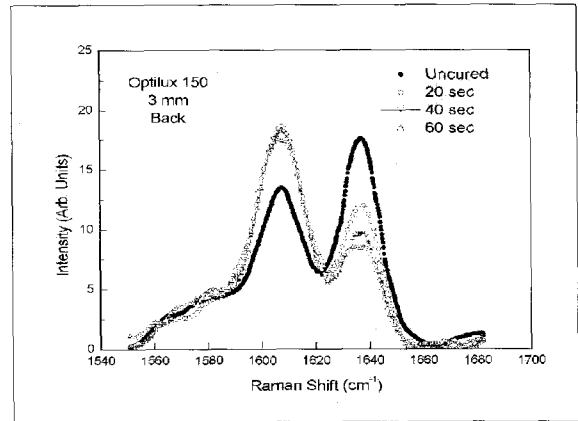
\*\* : P<0.01 compared with 20 seconds  
 \*\* : P<0.01 compared with 40 seconds



**Fig. 4.** Raman spectra of the unexposed surface in thickness of 1mm at intervals of 20sec, 40sec and 60sec with Optilux 150.



**Fig. 5.** Raman spectra of the unexposed surface in thickness of 2mm at intervals of 20sec, 40sec and 60sec with Optilux 150.

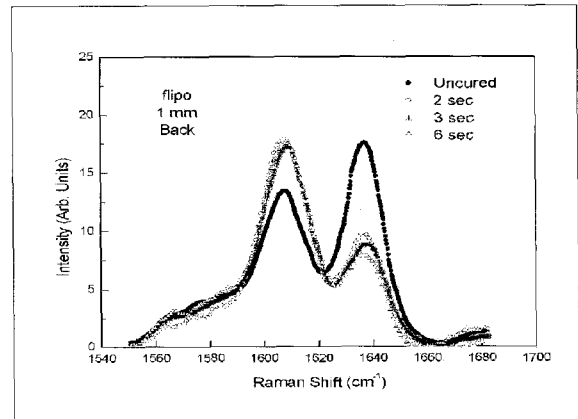


**Fig. 6.** Raman spectra of the unexposed surface in thickness of 3mm at intervals of 20sec, 40sec and 60sec with Optilux 150.

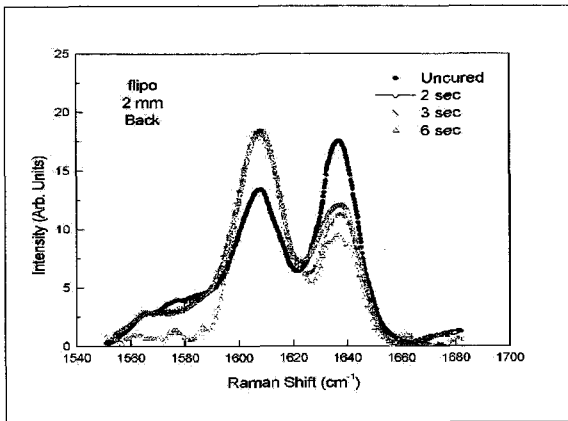
**Table 3.** The degree of conversion according to thickness and exposure time in flipo. (n=5, unit=%)

Thickness(mm)	Time (sec)		
	2	3	6
1	51.4±4.6	59.1±5.5*	61.4±2.9*
2	47.3±2.3	50.3±5.2*	57.9±2.0**
3	23.1±0.9	28.2±1.5*	46.8±4.2**

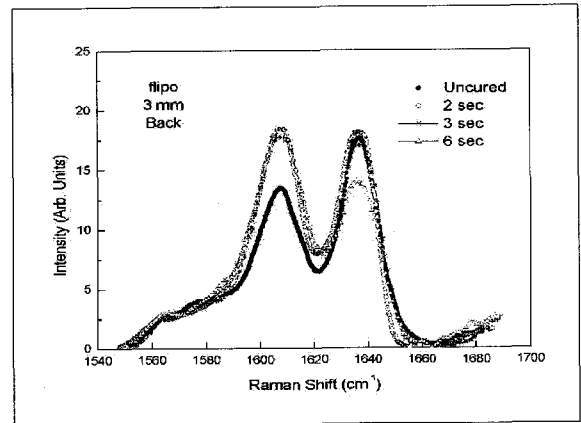
\* : P<0.05 compared with 2sec  
 \* : P<0.05 compared with 3sec



**Fig. 7.** Raman spectra of the unexposed surface in thickness of 1mm at intervals of 2sec, 3sec and 6sec with flipo.



**Fig. 8.** Raman spectra of the unexposed surface in thickness of 2mm at intervals of 2sec, 3sec and 6sec with flipo.



**Fig. 9.** Raman spectra of the unexposed surface in thickness of 3mm at intervals of 2sec, 3sec and 6sec with flipo.

합률은 급격히 감소하였으며 2초와 3초, 2초와 6초, 3초와 6초 간에도 유의한 차이를 보였다( $P < 0.01$ , Table 3, Fig. 7, 8, 9).

6) Halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기의 중합 후면의 두께와 광조사 시간에 따른 중합률의 비교

모든 후면에서 plasma xenon arc lamp 광조사기의 2초, 3초, 6초보다 halogen lamp 광조사기의 20초, 40초, 60초의 중합률이 더 높게 나타났다. 1mm, 2mm 후면의 경우 halogen lamp 광조사기의 20초와 plasma xenon arc lamp 광조사기의 2초를 제외한 halogen lamp 광조사기 40초와 plasma xenon arc lamp 광조사기 3초, halogen lamp 광조사기 60초와 plasma xenon arc lamp 광조사기 6초의 중합률간에는 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 3mm 후면에서는 halogen lamp 광조사기 20초와 40초의 중합률이 plasma xenon arc lamp 광조사기 2초, 3초의 중합률보다 유의성있게 높았다 ( $P < 0.01$ ). Halogen lamp 광조사기의 60초와 plasma xenon arc lamp 광조사기의 6초간에도 유의한 차이가 있었다 ( $P < 0.05$ ).

두께가 증가할수록 중합률은 halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기 모두에서 점차 감소하였으나 halogen lamp 광조사기의 중합률이 더 높게 나타났다. Halogen lamp 광조사기의 20초와 40초에서는 깊이의 증가에 따른 중합률의 유의한 감소가 있었으나( $P < 0.05$ ) 60초에서는 유의한 차이가 없었다. Plasma xenon arc lamp 광조사기는 모든 광조사 시간에서 깊이의 증가에 따른 중합률의 유의한 감소가 있었다( $P < 0.01$ ).

IV. 총괄 및 고찰

광중합형 복합레진은 청색 가시광선으로 활성화된 자유 라디칼에 의해 단량체가 다량체로 전환되는 부가중합 반응으로 경화되는 수복재로서 camphoroquinone과 amine의 화학 반응에 기초를 두고 있다. 중합반응시 모든 단량체가 다량체로 전환되는 것이 바람직하나 반드시 잔류 미반응 단량체가 수복물내에 존재하게 되며<sup>14)</sup> 이러한 잔류 단량체는 최종적인 수복물의 물리적 성질 및 생체친화성에 영향을 미친다<sup>15,16)</sup>.

화학중합형 레진은 수복물 전체에 걸쳐 균일한 중합반응이 일어나는 반면, 광중합 복합레진은 레진제품 자체의 화학적 조성<sup>17,18)</sup>(필러, 중합체 기질)뿐만 아니라 레진의 색조나 투명도<sup>19)</sup>, 광원의 광도<sup>20)</sup>와 파장의 범위<sup>21)</sup>, 광조사 시간<sup>22)</sup>, 광원과 복합레진과의 거리<sup>23)</sup>, 광조사기 tip의 직경이나 방향과 위치<sup>24)</sup>, 와동의 크기와 위치<sup>25)</sup> 등에 따라 중합 깊이의 한계를 가지고 있다.

복합레진의 중합률을 측정하는 방법에는 micro-hardness test, scraping test, optical microscopy, gas chromatography와 적외선을 이용한 Fourier 변환 적외선 분광법 (Fourier transform infrared spectroscopy : FTIR)<sup>26)</sup>이나 Raman spectroscopy<sup>27)</sup>와 같은 vibration method 등이 있으며 이러한 vibration method가 미중합 단량체의 측정에 가장 일반적으로 이용되고 있다<sup>28)</sup>. Dewald와 Ferracane은<sup>29)</sup> optical microscopy와 scraping test는 중합 깊이를 과도하게 측정하는 경향이 있고 FTIR이 중합 깊이의 측정에 가장 적절하다고 하였다. Vibration method의 또 다른 방법은 Raman spectroscopy이며 본 연구에서 중합률의 측정에 이용된 방법이다. 두 방법 모두 적외선 파장 내에서 특정 분자의 진동특성을 이용한 방법으로 진동수는 wavenumber로서  $cm^{-1}$  단위로 나타낸다. 광중합 복합레진의 중합시 단량체의 지방족 탄소 이중결합

이 다량체로 전환되어 중합전과 중합후의 단량체 내의 탄소 이중결합이 감소되는 비율을 측정하여 미반응 단량체의 양을 측정하는 방법으로 중합률(degree of conversion)은 지방족 탄소 이중결합이 단일결합으로 변하는 %로 정의된다<sup>27)</sup>. 적외선 분광법에서 지방족 탄소 이중결합(C=C)은 1640cm<sup>-1</sup>에서 peak를 나타내고 방향족 탄소 결합(C=C)은 1610cm<sup>-1</sup>에서 peak를 보이는데 방향족 탄소결합은 중합반응에 관여하지 않으므로 이를 내부 기준점(internal baseline)으로 사용한다. FTIR이 특정 분자의 에너지 흡수를 이용하는 반면 Raman spectroscopy는 에너지의 산란을 이용하는 차이점이 있으며 FTIR보다 시편 처리가 간편하고 H<sub>2</sub>O 분자의 영향이 적으며 spectral band 분석이 용이하다는 장점이 있다<sup>30)</sup>.

1970년대에 소개된 광중합 복합레진의 광원은 자외선을 발생시키는 소위 UV lamp<sup>31)</sup>였으며 피부암, 각막의 손상, 유전자 손상 등과 같은 인체 유해성과 낮은 침투력으로 충분한 중합을 얻을 수 없다는 단점이 있었다. 그 후 개발된 가시광선 조사는 레진을 중합시키는 방법으로 현재까지 다른 어떤 방법보다 광범위하게 사용되어 왔으나 중합 깊이의 한계를 갖는 광중합 복합레진의 특성상 깊은 수복물의 경우 적층 층진이 요구되며 각각의 층마다 개별적인 광조사가 필요하므로 실제 임상에서 환자와 치과의사 모두에게 불편감과 시술 시간의 증가를 초래하는 문제점이 있다. 이외에도 전압이나 램프의 상태, 반사경, filter, 광섬유의 파괴, light guide tip의 이물질 침착 등으로 방출광선의 강도가 감소될 수 있다<sup>32)</sup>. Barghi 등<sup>33)</sup>은 치과용 광조사의 30% 정도가 광중합에 부적절한 200mW/cm<sup>2</sup>이하의 출력을 나타냈으며 사용중인 치과의사도 이러한 사실을 알지 못하고 있다고 보고하였다. 따라서 적절한 파장 범위와 출력을 가진 광조사와 적절한 중합시간의 사용이 필수적이다. 동일한 복합레진이라도 사용하는 광조사기에 따라 그 중합률은 차이를 보이는데<sup>24)</sup> 이는 사용된 광조사의 강도 및 파장의 범위 등과 같은 광원의 특성과 종류의 영향을 받기 때문이므로 광조사의 발전도 최종 수복물의 물리적 성질을 개선시킬 수 있는 방법의 한 축이라 할 수 있다.

최근에 개발된 plasma xenon arc lamp 광조사기<sup>34)</sup>는 고강도의 광원을 사용하여 획기적으로 짧은 광조사 시간으로 광중합 복합레진의 최적의 물리적 성질을 달성할 수 있다고 소개되고 있다. Plasma xenon arc lamp 광조사기는 이온화된 분자와 전자의 가스성 혼합체로 구성된 강렬한 plasma에서 고강도의 빛을 방출하며 470nm 주변에 집중된, 보다 좁은 파장 영역의 출력이 특징으로 광중합 개시제인 camphoroquinone의 활성화에 보다 민감하고 효과적으로 작용하는 것으로 알려져 있다<sup>35)</sup>. 대부분의 복합레진은 광개시제로 청색 가시광선에 민감한 camphoroquinone을 가지고 있으며 Nomoto<sup>21)</sup>에 따르면 가장 효과적인 파장은 470nm이며 적절한 파장은 450~490nm의 범위라고 하였다. 또한 중합 초기 단계동안 camphoroquinone의 흡수가 중합에 강한 영향을 미친다고 하였으며 광조사시간이 짧은 경우 중합률은 파장에 영향을 받았으나 광조사 시간이

길어질수록 파장의 영향은 점차 감소한다고 하였다. Kurachi 등<sup>9)</sup>은 halogen lamp 광조사기에서 방출되는 에너지의 80% 이상이 중합에 유용한 파장의 범위 밖에 존재하여 강도보다 광원의 파장 영역이 중요한 변수라고 하였다. Halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기를 사용하여 레진 중합표면과 후면의 경도를 비교 평가한 Sharkey<sup>35)</sup> 등도 두 광원의 큰 차이점은 적절한 파장범위 내에서의 광원의 세기이며, 따라서 plasma xenon arc lamp 광조사기가 halogen lamp 광조사기보다 광중합 복합레진의 중합에 적절한 파장범위를 가진 더욱 많은 에너지를 전달한다고 보고하였다. Laser를 이용한 광중합시 높은 중합률도 레이저의 좁은 파장영역에 집중된 에너지로 설명할 수 있다<sup>7)</sup>.

본 연구에 사용된 plasma xenon arc lamp 광조사기인 flipo(Lokki, France)는 제조회사에 따르면 1,900mW/cm<sup>2</sup>의 이상의 광도와 380~1520nm의 파장 영역을 갖고 70,000회 이상 사용시에도 lamp를 교환할 필요가 없어 반영구적이며 최대 3.6mm의 중합 깊이를 가지고 있으며 3초의 광조사 시간이 일반 halogen lamp 광조사의 40초에 해당한다고 소개되고 있다. 본 실험에서는 제조사의 제안대로 일반 halogen lamp 광조사의 40초와 flipo 3초를 기준으로 광조사 시간을 설정하였다. 광도계를 이용하여 광도를 측정할 결과 Optilux 150는 472mW/cm<sup>2</sup>이었고 flipo는 1945mW/cm<sup>2</sup>이었으며 방출 광선의 파장 분석시 모두 470nm 부위에서 최대 강도를 보였고 전체적인 파장영역은 370nm~520nm 사이에 존재하여 큰 차이가 없었다.

본 연구에서 일반 halogen lamp 광조사기인 Optilux 150과 plasma xenon arc lamp 광조사기인 flipo의 광중합 능력을 비교 측정할 결과 중합표면에서 halogen lamp 광조사의 20초, 40초, 60초가 plasma xenon arc lamp 광조사의 2초, 3초, 6초보다 더 높은 중합률을 보였으나 유의한 차이는 없었다. 두께 1mm, 2mm, 3mm 후면에서도 halogen lamp 광조사가 plasma xenon arc lamp 광조사기보다 높은 중합률을 보였다. Plasma xenon arc lamp 광조사의 중합률이 halogen lamp 광조사기보다 낮은 이유중의 하나로 Sharkey 등<sup>35)</sup>은 plasma xenon arc lamp 광조사의 강한 광도로 인해 중합의 속도가 빨라져 3차원적 망상구조의 형성이 초기에 종결되기 때문이라고 설명하였다. 시편의 두께가 증가할수록 후면의 중합률은 halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기 모두에서 감소하였으나 plasma xenon arc lamp 광조사기에서 감소의 경향이 더 컸으며 특히 2초, 3초로 중합한 경우, 3mm 후면의 중합률은 2mm 후면의 중합률에 비해 45~50% 정도 현저히 감소하였다. 1, 2mm 후면 중합률은 halogen lamp 광조사의 20초와 plasma xenon arc lamp 광조사의 2초를 제외한, halogen lamp 광조사의 40, 60초와 plasma xenon arc lamp 광조사의 3, 6초의 중합률간에는 유의한 차이가 없었다. 중합률에 대한 광조사 시간의 영향은 halogen lamp 광조사기보다 plasma xenon arc lamp 광조사기에

서 더 크게 나타났으며 두께가 증가함에 따라 그 영향은 더욱 커졌다. 두께 1.2mm에서 halogen lamp 광조사기의 40초와 60초의 중합률이 plasma xenon arc lamp 광조사기의 3초, 6초의 중합률과 유의한 차이가 없는 것으로 보아 plasma xenon arc lamp 광조사기가 임상적으로 유용한 것으로 평가될 수 있으나 3mm 두께에서는 그 중합률이 현저히 감소하므로 plasma xenon arc lamp 광조사기를 이용하여 레진수복술을 시행할 때는 1-2mm 범위 내의 두께로 적층 충전을 시행하고 제조사의 지시보다 추가적인 광조사가 필요할 것으로 판단된다. Plasma xenon arc lamp를 광원으로 사용하는 광중합기도 제조사마다 광원의 특성이 다르므로 레진 제품을 선택하는 데도 이러한 점을 고려하여야 할 것이다. 또한 plasma xenon arc lamp 광조사기나 halogen lamp 광조사기 모두 광조사 시간을 증가시키기보다는 충전의 두께를 감소시키는 것이 적절한 중합을 위한 보다 확실한 임상적 방법으로 판단된다. 중합률이 레진의 모든 물성을 나타내는 지표는 아니므로 앞으로 다른 여러 물질들에 대한 평가와 plasma xenon arc lamp 광조사기의 특성에 의한 빠른 중합의 속도가 미치는 영향에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### V. 결 론

Halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기를 이용하여 광중합 복합레진의 두께와 광조사 시간에 따른 중합률을 비교 평가하였다. 레진의 두께는 1mm, 2mm, 3mm였으며 halogen lamp 광조사기는 20초, 40, 60초를 조사하였고, plasma xenon arc lamp 광조사기는 2초, 3초, 6초를 광조사한 후 Raman spectroscopy로 중합 표면과 후면의 중합률을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 광도의 측정에서 halogen lamp 광조사기(Optilux 150, Demetron, USA)는 472mW/cm<sup>2</sup> 이었고 plasma xenon arc lamp 광조사기(flipo, Lokki, France)는 1945 mW/cm<sup>2</sup> 이었으며 광원의 파장 범위는 370~520nm로 470nm부위에서 최대 강도를 나타냈다.
2. 표면 중합률은 광조사 시간이 증가함에 따라 halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기 모두에서 유의성있게 증가하였으며(P<0.01) 전반적인 중합률은 halogen lamp 광조사기에서 더 높았으나 plasma xenon arc lamp 광조사기와 유의한 차이는 없었다.
3. 시편의 두께가 증가할수록 halogen lamp 광조사기와 plasma xenon arc lamp 광조사기에서 중합률은 유의성있게 감소하였으며(P<0.05) plasma xenon arc lamp 광조사기의 경우 1.2mm 두께에 비해 3mm 두께에서 중합률의 감소가 현저하였다(P<0.01).
4. 광조사 시간이 증가함에 따라 halogen lamp 광조사기의 경우 후면 중합률은 모든 두께에서 점차 증가하였으나 1.2mm

두께에서는 유의한 차이가 없었으며 plasma xenon arc lamp 광조사기로 중합한 경우에는 모든 두께에서 조사 시간이 증가할수록 중합률은 유의성있게 증가하였다(P<0.01).

이상의 결과로 plasma xenon arc lamp 광조사기의 강한 광도가 광조사 시간의 감소를 완전히 보상하지는 못하는 것으로 판단되므로 plasma xenon arc lamp 광조사기로 광중합 복합레진을 중합할 경우 2mm 이내의 적층 충전이 요구되며 또한 제조회사가 제시한 조사 시간보다 추가적인 광조사가 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. Bunocore MG : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface. J Dent Res 34:849-853, 1955.
2. Swift EJ, Perdigao J, Heymann HO : Bonding to enamel and dentin : A brief history and state of the art. 1995. Quint Int 26:95-106, 1995.
3. Ruyter IE, Sjovik IH : Composition of dental resin and composite materials. Acta Odontol Scand 39: 133-146, 1981.
4. Vehhoven BAM, de Gee AJ, Davison CL : Light initiation of dental resin : dynamics of the polymerization. Biomaterials 17:2313-2318, 1996.
5. Leung RL, Fan PL, Johnston WM : Post-irradiation polymerization of visible-light activated composite resin. J Dent Res 62:363-365, 1983.
6. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M : The influence of Ultraviolet radiation intensity on curing depth of photo-activated composite veneering materials. J Oral Rehabil 25:770-775, 1998.
7. Tarle Z, Meniga A, Ristic M, et al. : Polymerization of composites using pulsed laser. Eur J Oral Sci 103:394-398, 1995.
8. Millar BJ, Nicholson JW : Effect of curing with a plasma light on the properties of polymerizable dental restorative materials. J Oral Rehabi 28:549-552, 2001.
9. Kurachi C, Tuboy AM, Magalhaes DV, et al. : Hardness evaluation of a dental composite polymerized with experimental LED-based devices. Dent Mater 17:309-315, 2001.
10. Ishikawa H, Komori A, Kojima I, et al. : Orthodontic bracket bonding with a plasma-arc light and resin-reinforced glass ionomer cement. Am J Orthod Dentofacial Orthop 120:58-63, 2001.
11. 김정윤, 김종수, 권순원 : Plasma arc curing system을

- 이용한 브라켓의 접착에 관한연구. 대한소아치과학회지 28:638-642, 2001.
12. 박영철, 유형석, 오영근, 등. : Plasma arc light를 이용한 bracket 부착시의 전단결합강도와 파절양상의 유형. 대한치과교정학회지 31:261-270, 2001.
  13. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing unit. Dent Materials 16:330-336, 2000.
  14. 최경규, 민병순 : 치과용 가시광선중합형 복합레진의 잔류 단량체 정량 분석에 관한연구. 대한치과보존학회지 17:181-189, 1992.
  15. 노병덕, 박성호, 이정석 : 수중 이원중합 레진 시멘트의 중합률 및 세포 독성에 관한 실험적 연구. 대한치과보존학회지 20:33-53, 1995.
  16. Inokusi S, Iwaku M, Fusayama T : Pulpal response to a resin adhesive restorative resin. J Dent Res 61:1014-1019, 1982.
  17. Yoshida K, Greener EH : Effect of photoinitiator on degree of conversion of unfilled light-cured resin. J Dent 22:296-299, 1994.
  18. Atmadja G, Bryant RW : Some factors influencing the depth of cure of visible light-activated composite resins. Aust Dent J 35:213-218, 1990.
  19. Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H, et al. : Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resin. Dent Mater 2:80-84, 1986.
  20. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. Oper Dent 19:26-32, 1994.
  21. Nomoto R : Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. Dent Mat J 16:60-73, 1997.
  22. 김경현, 권오승, 김현기, 등. : 수중 광중합 복합 레진의 중합 깊이와 광조사 시간에 따른 중합률에 관한 연구. 대한치과보존학회지 22:35-60, 1997.
  23. Park SH, Lee CS : The difference in degree of conversion between light-cured and additional heat-cured composites. Oper Dent 21:213-217, 1996.
  24. Friedman J, Hassan R : Comparison study of visible curing lights and hardness of light-cured restorative materials. J Prosth Dent 52:504-506, 1984.
  25. Harrington E, Wilson HJ : Depth of cure of radiation - activated materials - effect of mold material and cavity size. J Dent 21:305-311, 1993.
  26. Guerra RM, Duran I, Ortiz P : FTIR monomer conversion analysis of UDMA-based dental resin. J Oral Rehabil 23:632-637, 1996.
  27. Pianelli C, Devaux J, Bebelman S, et al. : The micro-Raman spectroscopy, a useful tool to determine the degree of conversion of light-activated composite resins. J Biomed Mater Res 48:675-681, 1999.
  28. Ruggeberg FA, Craig RG : Correlation of parameter used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. J Dent Res 67:932-937, 1988.
  29. 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.
  30. Tsuda H, Arends J : Raman spectroscopy in dental research : a short review of recent studies. Adv Den Res 11:539-47, 1997.
  31. Roberts MW, Moffa JP : Restoration of fractured incisal angles with an ultraviolet activated sealants and a composite resin. A case reports. Journal of Dentistry for Children. 39:364-365, 1972.
  32. Fowler CS, Swartz ML, Moore BK : Efficacy testing of visible-light- curing units. Oper Dent 19:47-52, 1994.
  33. Barghi N, Berry T, Hatton C : Evaluating intensity output of curing lights in private dental offices. J Am Dent Assoc 125:992-996, 1994.
  34. Munksgaard EC, Peutzfeldt A, Asmussen E : Elution of TEGDMA and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light. Eur J Oral Sc 108:341-345, 2000.
  35. Sharkey S, Ray N, Burke F, et al. : Surface hardness of light-activated resin composites cured by two different visible-light sources : an in vitro study. Quint Int 32:401-405, 2001.



Abstract

COMPARISON OF THE DEGREE OF CONVERSION IN LIGHT-CURED  
COMPOSITE RESIN CURED BY HALOGEN AND PLASMA  
XENON ARC LAMP CURING UNIT

Young-Jun Lee, Byung-Cho Jeong,  
Nam-Ki Choi, Kyu-Ho Yang

*Department of Pediatric Dentistry, Dental Science Research Institute,  
College of Dentistry Chonnam National University*

Recently, new light curing unit utilizing the plasma xenon arc lamp is introduced. This curing unit is operated at relatively high intensity, so shortening the curing time significantly. The aim of this experiment was to estimate curing capability of plasma xenon arc lamp curing unit compared to traditional halogen lamp curing unit. Degree of conversion was evaluated by Raman spectroscopy after irradiation of specimens with halogen lamp curing unit(Optilux 150, Demetron, USA) for 20s, 40s, 60s and plasma xenon arc lamp curing unit(flipo, Lokki, France) for 2s, 3s, 6s. The results showed that strong light intensity of plasma xenon arc lamp curing unit did not compensate for short exposure time completely. So, Multi-layered curing within 2mm thickness and additional exposure time is recommended when light-cured composite resin is polymerized with plasma xenon arc lamp curing unit.

**Key words** : Light-cured composite resin, Halogen lamp curing unit, Plasma xenon arc lamp curing unit, Degree of conversion