

## 광원에 따른 중합광의 복합레진 중합 능력 비교

신혜진 · 김진우 · 조경모\*

강릉대학교 치과대학 치과보존학 교실

### ABSTRACT

#### POLYMERIZATION ABILITY OF SEVERAL LIGHT CURING SOURCES ON COMPOSITE RESIN

Hye-Jin Shin, Jin-Woo Kim, Kyung-Mo Cho\*

*Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry  
Graduate School, Kangnung National University*

The purpose of this study is to evaluate the polymerization ability of three different light sources by microhardness test. Stainless steel molds of 1, 2, 3, 4 and 5 mm in thickness of 7 mm in diameter were prepared. The hybrid composite Z100 was packed into the hole of the mold and curing light was activated for designated time. Three different light sources, conventional halogen, light emitting diode, and plasma arc, were used for curing of composite. Two different curing times applied: one is to follow the manufacturer's recommendation and the other is to extend the curing time of LED and plasma arc for balancing the light energy with halogen. Immediately after curing, the Vickers hardness was measured at the bottom of specimen.

The results were as follows.

1. The composite cured with LED showed equal to higher microhardness than halogen.
2. The composite was cured with plasma arc by manufacturer's recommendation showed lowest microhardness at all thickness. However, when curing time was extended, microhardness was higher than the others.

In conclusion, this study suggested that plasma arc needs properly extended curing time.

**Key words** : Light Transmittability, Halogen, LED, Plasma, Microhardness, Curing time

### I . 서 론

최근 치과용 수복재료의 심미성에 대한 관심이 높아지면서 광중합 복합레진의 사용이 증가되고 있다. 복합레진 수복물이 임상적으로 만족할 만한 결과를 얻기 위해서는 레진이 충분히 중합되어 적절한 물리적 성질과 색조 안정성을 가져야하며 중합에 사용되는 광원의 광도와 파장, 광 조사 시간이 중합도에 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 복합레진의 중합에 사용되는 광원의 종류와 광 조사 시간, 광 조사 방법이 다양하게 소개되고 있다.

현재까지 가장 널리 사용되고 있는 광원은 할로겐램프이

며 전기에너지로 텅스텐 필라멘트를 가열하여 빛을 생성한다. 이때 대부분의 전기에너지는 열로 전환되고 극히 일부분인 약 1%만이 빛으로 전환되며<sup>1)</sup>, 이 빛이 필터를 거치면서 다른 파장의 빛은 제거되고 청색광만이 방출되게 된다<sup>2)</sup>. 할로겐램프에서 방출되는 빛의 파장은 대부분 광중합 복합레진의 광개시제로 사용되고 있는 camphoroquinone이 가장 효과적으로 반응하는 470 nm 외에도, 넓은 영역의 파장을 포함하고 있기 때문에 중합 과정 중에 이것이 레진에 의해 흡수되어 치아와 레진에 상당한 열이 발생하며<sup>3)</sup>, 램프 자체에서 발생하는 열에 의한 전구와 필터의 노후로 50-100 시간 정도의 짧은 수명을 갖는 단점을 가지고 있다<sup>4)</sup>. 이러한

문제점을 개선하기 위하여 몇 가지 다른 광원이 개발되었으며 Light Emitting Diode(LED)램프와 플라즈마-아크(Plasma-arc)램프를 그 예로 들 수 있다.

LED램프는 할로겐램프에 사용되는 텅스텐 필라멘트 대신 반도체 접합 방식을 이용하여 청색광을 발생시키므로<sup>5)</sup> 필터가 필요하지 않으며 열 발생이 적고, 냉각팬이 없어 소음이 적으며, 수명은 광도의 감소 없이 수천 시간에서 만 시간 이상인 것으로 알려져 있다<sup>6)</sup>. 또한 470nm에 근접하는 좁은 영역의 파장을 갖는 빛을 방출하여 광개시제인 camphoroquinone을 보다 효과적으로 활성화 시킨다<sup>3)</sup>.

Fujibayashi 등<sup>7,8)</sup>의 실험에 의하면 450 nm의 파장과 100 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 LED램프로 중합한 레진과 광도를 동일하게 조절한 할로겐램프로 중합한 레진의 중합 심도와 Knoop hardness를 비교한 결과 두 광원 사이에 차이를 나타내지 않았으며, LED램프의 파장을 470 nm로 조절하여 같은 실험을 하였을 때에는 LED램프로 중합한 레진에서 중합 심도와 단량체 전환율이 더 좋은 결과를 나타내었다. Mills와 Jandt등<sup>3)</sup>의 실험에서는 290 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 LED램프와 광조사량을 300 mW/cm<sup>2</sup>로 조절한 할로겐램프로 중합한 레진의 중합 심도를 비교한 결과 LED램프에서 더 좋은 결과를 나타내었다.

플라즈마-아크램프는 작은 간극으로 분리된 텅스텐 전극 간의 높은 전압차에 의해 발생된 스파크가 주변의 기체(Xenon)를 이온화시켜 생성되는 전도성 기체인 플라즈마로부터 빛이 방출되는 원리를 이용한 것으로, 발생되는 빛의 파장은 할로겐 보다 좁은 범위를 나타내며 특징적으로 1300-2300 mW/cm<sup>2</sup>의 매우 높은 광도를 가진다<sup>9)</sup>. 제조회사에 의하면 플라즈마-아크램프는 광도가 높기 때문에 1~5 초 정도의 짧은 시간 동안 중합하여도 충분한 중합 심도와 단량체 전환율을 얻을 수 있다고 한다. 그러나 이렇게 높은 광도로 짧은 시간 동안 중합된 레진이 만족할 만한 물리적 성질과 중합도를 갖는지는 아직 명확하지 않다.

Hofman등<sup>10)</sup>은 플라즈마-아크램프로 중합된 레진의 물리적 성질에 대한 연구에서 레진에 포함된 광개시제가 플라즈마-아크램프로 중합된 레진의 중합도와 물리적 성질을 결정한다고 보고하였으며, Munksgaard등<sup>11)</sup>은 제조사의 권장 시간에 따라 레진을 플라즈마-아크램프로 중합하였을 때 중합된 레진의 단량체 전환율이 불충분하다고 하였다.

이에 본 연구에서는 세 가지 다른 광원인 할로겐램프, LED램프, 플라즈마-아크램프의 중합 시간을 제조사의 지시대로 하였을 때와 총 에너지량이 할로겐램프와 동일하도록 LED램프와 플라즈마-아크램프의 중합 시간을 증가시켰을 때 여러 가지 두께의 레진 시편의 밀면에서 미세경도를 측정하여 광원과 중합 시간에 따른 중합광의 복합레진 투과 능력을 비교 평가하였다.

## Ⅱ. 실험 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

복합 레진은 A2 색조의 Z100 (3M, St. Paul, USA)을 사용하였으며 여러 가지 두께의 레진 시편 제작을 위하여 직경 7 mm의 hole을 가진 1, 2, 3, 4, 5 mm 두께의 스테인리스강 주형을 제작하였다.

광중합기는 할로겐램프로 XL3000 (3M, St. Paul, USA), LED램프로 Elipar Freelight (3M ESPE, St. Paul, USA), 플라즈마-아크램프로는 Flipo (Lokki, Vienne, France)를 사용하였다.

### 2. 실험 방법

#### 1) 시편 제작

레진 중합 후 시편의 용이한 분리를 위하여 슬라이드 글라스 위에 투명한 strip (Hawe striproll, Hawe-Neos Dental, Bioggio, Swiss)을 놓고 레진이 채워질 부분이 strip에 의해 덮이도록 각 두께의 주형을 위치시킨 후, 주형에 형성된 hole에 복합레진을 충전하였다. 충전된 레진 상방에 두 번째 strip을 덮고 다시 슬라이드 글라스를 덮은 후 힘을 가하여 과량의 레진을 제거하고 복합레진이 주형과 같은 두께가 되도록 하였다 (Fig. 1). 각 광중합 법마다 두께 별로 10개씩 총 250개의 시편을 제작하였다.

#### 2) 광중합

레진 충전 직후 각 광중합기의 끝이 충전된 레진을 모두 덮도록 위치시켜 광중합을 시행하였다. 광중합 시간은 두

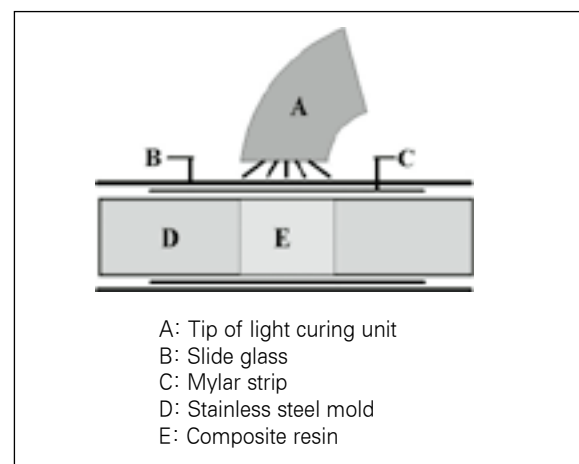


Fig. 1. Schematic drawing of constructed device used to prepare resin sample

가지 방법을 사용하였는데, 첫 번째 방법은 제조회사의 지시에 따라 할로겐램프 40초, LED램프 40초, 플라스마-아크램프 3초 중합하는 것이며 두 번째는 할로겐램프로 40초 중합하였을 때와 총 에너지량이 동일하게 되도록 LED램프와 플라스마램프의 중합시간을 증가시켜 LED램프로 70초, 플라스마-아크램프로 14초 중합하는 것이다 (Table 1). 각 광원의 광도는 실험 전 PowerMax 600 (Molelectron Inc, Portland, USA)을 이용하여 측정하였다.

### 3) 미세경도 측정

광중합 직 후 주형을 분리하고 중합된 레진 하방의 중앙 세 부분에서 CCD 카메라가 연결된 Hardness testing machine (Zwick, Ulm, Germany)과 TestXpert (Zwick, Ulm, Germany) 프로그램을 사용하여 20초 동안 200g의 하중을 가한 뒤 Vickers hardness를 측정하고 그 평균을 각 시편의 미세경도 값으로 정하였다.

### 4) 통계

각 군에서 측정된 미세경도 값은 SPSS ver 10.0 (SPSS

Inc, Chicago, USA)을 이용하여 Two-way ANOVA를 사용하여 비교하였으며 Scheffe test로 95% 유의수준에서 사후 검정하였다.

## III. 실험결과

광도 측정 결과 할로겐램프는 800 mW/cm<sup>2</sup>, LED램프는 450 mW/cm<sup>2</sup>, 플라스마-아크램프는 2250 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 나타내었다.

광원의 종류와 레진의 두께에 따른 미세 경도 값의 평균과 표준편차는 Table 2와 같으며 모든 광원에서 레진의 두께가 증가함에 따라 미세경도가 감소하였다.

각각의 두께에서 광원에 따른 미세경도는 에너지를 할로겐램프와 동일하게 조절한 4군 (L70)의 2mm 두께에서 1군 (H40)과 2군 (L40), 5군 (P14)의 2mm 두께에서 2군 (L40) 사이를 제외한 모든 두께에서 가장 높은 값을 나타내었으며 ( $p < 0.05$ ), 두 군 사이에서는 모든 두께에서 차이를 보이지 않았다. 1군 (H40)과 2군 (L40)은 모든 두께에서 중합시간이 연장된 4군 (L70)과 5군 (P14) 다음으

**Table 1.** Experimental groups designated with different light curing units and curing times

Group	n	Curing Unit	Classification	Irradiance (W/cm <sup>2</sup> )	Curing time (s)	Energy Density(J/cm <sup>2</sup> )*
1 (H40)	50	XL3000	Halogen	800	40	32
2 (L40)	50	Elipar freelight	LED	450	40	18
3 (P 3)	50	Flipo	Plasma	2250	3	6.75
4 (L70)	50	Elipar freelight	LED	450	70	31.5
5 (P14)	50	Flipo	Plasma	2250	14	31.5

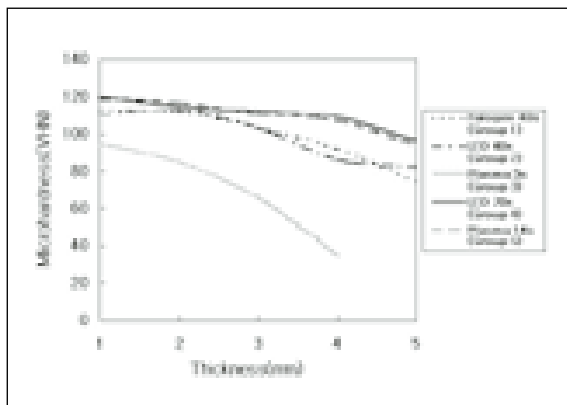
\* : Watts  $\times$  seconds/cm<sup>2</sup> = Joules/cm<sup>2</sup>

**Table 2.** Means and standard deviation (SD) of microhardness

Group	1 ( H 40 )	2 ( L 40 )	3 ( P 3 )	4 ( L 70 )	5 ( P 14 )
Thickness	Mean(SD)	Mean(SD)	Mean(SD)	Mean(SD)	Mean(SD)
1 mm	113.43 (5.78)	111.37 (2.95)	96.00 (4.80)	120.97 (4.07)	119.74 (3.14)
2 mm	112.23 (4.34)	113.67 (2.96)	85.37 (2.81)	115.75 (1.62)	117.07 (0.92)
3 mm	103.17 (5.54)	103.97 (2.94)	66.97 (6.88)	112.43 (1.31)	111.37 (0.78)
4 mm	92.97 (6.48)	86.73 (7.56)	35.10 (6.09)	109.54 (0.75)	107.73 (2.04)
5 mm	75.87 (2.86)	82.20 (3.23)	Unmeasureable	96.17 (4.35)	94.83 (1.31)

**Table 3.** Significance testing of mean microhardness of each light source within each depth

	1mm					2mm					3mm					4mm					5mm				
	HL	L	P	L	P	H	L	P	L	P	H	L	P	L	P	H	L	P	L	P	H	L	P	L	P
	40	40	3	70	14	40	40	3	70	14	40	40	3	70	14	40	40	3	70	14	40	40	3	70	14
H40	/					/					/					/					/				
L40																									
P3																									
L70																									
P14	/					/					/					/					/				

\* : not statistically significant ( $p > 0.05$ )**Fig. 2.** Microhardness of each light source at each thickness

로 높은 미세경도를 나타내었으며( $p < 0.05$ ), 5mm 두께에서는 2군 (L40)이 1군 (H40)보다 높은 미세 경도를 나타내었고 ( $p < 0.05$ ), 나머지 두께에서는 두 군 사이에 유의성이 있는 차이를 보이지 않았다. 3군 (P3)은 모든 두께에서 가장 낮은 미세경도를 나타내었다. Table 3에 각각의 두께에서 광중합법간 미세경도 차이의 유의성을 나타내었다.

각 광원별로 레진의 두께에 따른 미세경도를 비교해 보면, 1군 (H40)의 1 mm와 2 mm사이, 2군 (L40)의 1 mm와 2 mm, 4 mm와 5 mm 사이를 제외하고는 두께가 증가함에 따라 미세 경도가 감소하였다 ( $p < 0.05$ ).

Fig. 2는 레진의 두께에 따른 미세경도 감소를 나타낸 그래프이며 1군 (H40)과 2군 (L40), 4군 (L70)과 5군 (P14)이 유사한 양상을 나타내었으며, 플라즈마-아크램프 3초군 (3군)은 나머지 광중합법에 비해 두께에 따른 미세경도 감소폭이 큰 것으로 나타났다.

#### IV. 총괄 및 고찰

대부분의 광중합 레진은 광개시제로 camphoroquinone을 포함하고 있으며, 이것은 400-500 nm의 파장을 가진 빛을 흡수하게 되면 여기 (excitation)되어 아민 (amine)과 함께 자유라디칼을 형성하게 되고 레진 단량체의 중합이 일어난다. Nomoto등<sup>12)</sup>에 의하면 camphoroquinone의 활성화에 가장 효과적인 파장은 470 nm이며 450-490 nm 범위의 파장을 가진 광원이 레진의 중합에 적당하다고 하였다. 광중합기가 광개시제의 최대 흡수 파장을 가진 빛을 충분히 공급하는 능력은 중합 후 레진의 물리적 성질에 큰 영향을 미치며 불충분하게 중합된 레진은 물리적 성질 및 유지력이 떨어지고 용해도가 증가하며 미중합 단량체에 의해 치수에 유해한 영향을 미칠 수 있다.

camphoroquinone의 흡수 파장과 할로겐램프에 의해 방출된 빛의 파장을 비교해 보면, 할로겐램프로부터 방출된 빛의 일부 파장만이 레진의 중합에 이용된다는 것을 알 수 있다. 할로겐램프의 필라멘트는 600-700 nm에서 최대 광량을 나타내는 넓은 파장의 빛을 방출하기 때문에 400 nm 이하, 500 nm 이상의 파장의 빛을 filter를 통해 제거한 후 레진의 광중합에 이용된다. 할로겐램프와 달리 LED램프는 에너지 밴드 (energy band)간의 전자 변이와 재조합을 통하여 빛에너지가 생성되고 밴드간의 에너지 차이가 방출되는 빛의 파장을 결정하게 되며 이 에너지 차이는 반도체 접합에 의해 명확히 결정되므로 그 파장이 camphoroquinone의 최대 흡수 파장에 근접한 좁은 범위를 나타낸다.

LED 광원의 중합심도와 중합된 레진의 물리적 성질에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다. Jandt등<sup>13)</sup>의 실험에 의하면 755 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 할로겐램프와 350 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 LED램프를 이용하여 레진을 40 초씩 동일하게 중합한 뒤 penetrometer를 이용하여 측정

한 중합 심도에서 할로겐램프가 더 우수한 결과를 나타내었으며 압축강도에서는 통계적 유의성을 나타내지 않았다. 또한 각각 561, 831, 122 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 LED램프와 532 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 할로겐램프로 중합한 레진의 중합 심도와 압축 강도에 관한 Mills등<sup>14)</sup>의 실험에서는 122 mW/cm<sup>2</sup>의 LED램프로 중합된 레진은 할로겐램프 보다 중합심도와 압축강도가 떨어졌으나, 나머지 두 가지 광도의 LED램프로 중합된 레진은 할로겐램프와 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다.

본 연구에서는 복합레진의 중합도를 간접적으로 판단하는데 이용되어지는 미세경도측정법을 사용하여 제조사의 지시에 따라 할로겐램프와 LED램프로 40초씩 레진의 중합을 시행하고 미세경도를 측정된 결과 LED램프의 광도가 할로겐램프보다 크게 낮음에도 불구하고 5 mm를 제외한 모든 두께에서 미세경도에 통계적으로 유의성 있는 차이가 나타나지 않았으며, 오히려 5 mm 두께에서는 LED램프가 할로겐램프 보다 높은 미세 경도 값을 나타내었다 (Table 2). 이러한 결과는 Jandt의 실험과는 차이가 있으나 Mills의 실험과는 유사한 결과를 보인다.

LED램프의 중합시간을 연장하여 할로겐과 에너지량을 동일하게 한 경우에는 모든 두께에서 할로겐램프 보다 유의성 있게 높은 미세경도 값을 나타내었다 (Table 2). 이러한 결과가 나타나는 이유는 LED램프에서 방출되는 빛의 파장과 광개시제의 최대 흡수 파장이 일치되기 때문일 것으로 추측된다. 그러나 이러한 좁은 파장으로 인해 레진에 포함된 광개시제가 camphoroquinone이 아닌 경우는 중합이 일어나지 않을 수 있다고 한다<sup>15)</sup>.

또 다른 광원인 플라즈마-아크램프는 할로겐램프 보다 훨씬 높은 광도 (2250 mW/cm<sup>2</sup>)의 빛을 방출하며 가장 효과적인 470 nm 근처의 파장에 있어서도 할로겐램프 보다 더 많은 양의 빛을 방출한다. 본 실험 결과 플라즈마-아크램프를 제조사의 지시에 따라 3초간 사용한 경우는 중합된 복합레진 하방의 미세경도가 모든 두께에서 다른 두 광원보다 낮은 값을 나타내었으나, 에너지량을 동일하게 조절한 경우는 모든 두께에서 할로겐보다 높은 미세경도 값을 나타내었다. 이번 실험의 결과는 플라즈마-아크램프의 중합 효율에 관한 많은 연구들의 결과와 대부분 일치한다. 즉, Sharkey등<sup>16)</sup>의 연구에 의하면 할로겐램프와 플라즈마-아크램프로 몇 가지 복합레진을 중합한 후 Vickers 경도를 측정된 결과 할로겐램프에서 유의성 있게 높은 값을 얻었으며 Hofman등<sup>10)</sup>의 실험에서는 플라즈마-아크램프로 3초 중합한 레진은 할로겐램프보다 낮은 경도를 나타내었으나 6초 중합 시는 할로겐램프와 거의 유사한 경도를 나타내었다. Massino등<sup>17)</sup>의 연구에 의하면 플라즈마-아크램프로 중합한 경우 물리적 성질에 있어서는 할로겐램프와 유의성 있는 차이가 없었으나 2 mm 이상의 깊이에서 미중합 단량체의 양이 유의성 있

게 높았다. Peutzfeldt등<sup>9)</sup>의 연구 의하면 480 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 할로겐램프와 1370, 980 mW/cm<sup>2</sup>의 광도를 갖는 플라즈마-아크램프를 이용하여 40초, 3초, 10초의 중합시간으로 여러 가지 복합레진을 중합하고 단량체 변환률과 중합심도, 굴곡 강도 그리고 수축률을 비교 평가한 결과 고광도의 플라즈마-아크램프로 단시간 중합한 경우 레진의 종류에 따라 약간의 차이가 있었으나 대체적으로 단량체 변환률과 중합심도가 낮은 값을 나타내었다.

본 연구의 결과로 볼 때 레진의 중합도는 총 에너지량 (광도 X 중합시간)과 광원의 파장이 광개시제의 요구파장에 합치되는지에 의해 결정되는 것으로 생각되며 레진의 중합에 있어서 높은 광도가 짧은 중합시간을 보상하지 못하는 것으로 생각된다.

이번 연구에서 광투과에 의한 레진의 중합도를 평가하는 기준으로 미세경도를 사용하였는데 이것은 레진의 중합심도와 광원의 효율을 평가하는 기준으로 널리 이용되고 있다. 높은 광도로 짧은 시간 중합된 레진에서 경도 등 물리적 성질이 저하되는 이유는 중합체 사슬 (polymer chain)의 생성이 초기에 종료되어 사슬 길이가 짧아지고 중합 후기에 일어나는 가교 (cross-linking) 형성이 적기 때문인 것으로 여겨지고 있다<sup>15,18-20)</sup>. 그러나 미세경도는 레진의 중합도를 직접적으로 나타내는 것이 아니기 때문에 중합도의 정확한 평가를 위해서는 미중합 단량체의 양을 HPLC (High performance liquid chromatography)를 이용하여 측정하거나 FTIR (Fourier transform infrared) spectroscopy 등을 이용하여 단량체 전환률을 측정하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

할로겐램프와 LED램프, 플라즈마-아크램프를 제조사가 추천하는 방법과 에너지량이 동일하도록 중합시간을 조절하여 1-5 mm 두께의 레진을 중합하고 밀면의 미세경도를 측정된 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. LED램프를 제조사의 지시대로 사용한 경우 레진의 두께와 관계없이 할로겐램프와 유사한 미세 경도를 나타냈으며 중합시간을 연장한 경우 할로겐램프 보다 더 높은 미세경도를 나타내었다.
2. 플라즈마-아크램프를 제조사의 지시대로 사용한 경우 레진의 두께와 관계없이 다른 두 광원에 비해 낮은 미세 경도를 나타내었으나 총 에너지량이 동일하게 되도록 중합시간을 연장한 경우에는 할로겐램프보다 높은 미세경도를 나타내었다.

이상의 결과로 볼 때 레진에 포함된 광개시제의 흡수 파장이 LED램프가 방출하는 빛의 파장과 일치하는 경우 제조사의 지시에 따라 LED램프를 임상 적용하는 것이 유용

할 것으로 생각되며, 플라즈마-아크램프 사용 시는 레진의 충분한 중합을 위하여 제조사의 지시보다 긴 중합시간이 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Althoff O and Hartung M: Advances in light curing. *Am J Dent* 13 (special no.):77D-81D, 2000.
2. Franka S, Ashworth SH, Jandt KD and Mills RW: Light-emitting diode (LED) polymerization of dental composites: flexural properties and polymerization potential. *Biomaterial* 21:1379-385, 2000.
3. Mills RW, Jandt KD and Ashworth SH: Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. *British Dent J* 186(8):388-391, 1999.
4. Rueggeberg FA, Twigg SW, Caughman WF and Khajotia S: Lifetime intensity profiles of 11 light curing units. *J Dent Res* 75:380, 1996.
5. Nakamura S, Mukai T and Senoh M: Candela-class high brightness InGaN/AlGaIn double heterostructure blue-light-emitting diodes. *Appl Phys Lett* 64:1687-1689, 1994.
6. Haitz RH, Craford MG and Wiessman RH: Devices, measurements and properties. Handbook of optics. Vol 2. New York, McGraw-Hill, 12:1-39, 1995.
7. Fujibayashi K, Ishimaru K and Kohno A: A study on light activation units using blue light-emitting diode. *J Jap Dent Pres Acad* 39:180-188, 1996.
8. Fujibayashi K, Ishimaru K, Takahashi N and Kohno A: Newly developed curing unit using blue light-emitting diode. *Dent Jap* 34:49-53, 1998.
9. Peutzfeldt A, Sahafi A and Asmussen E: Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units *Dent Mater* 16:330-336, 2000.
10. Hofman N, Hugo B, Schubert K and Klaiber B: Comparison between a plasma arc light source and conventional halogen curing units regarding flexural strength, modulus, and hardness of photoactivated resin composites. *Clin Oral Invest* 4:140-147, 2000.
11. Munksgaard EC, Peutzfeldt A and Asmussen E: Elution of TEGDMA and BisGMA from a resin and a resin composite cured with halogen or plasma light. *Eur J Oral Sci* 108:341-345, 2000.
12. Nomoto R: Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater J* 16(1):60-73, 1997.
13. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB and Ashworth SH: Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). *Dent Mater* 16:41-47, 2000.
14. Mills RW, Uhl A, Blackwell GB and Jandt KD: High power light emitting diode (LED) arrays versus halogen light polymerization of oral biomaterials: Barcol Hardness, compressive strength and radiometric properties. *Biomaterials* 23:2955-2963, 2002.
15. St-Georges AJ, Swift EJ, Thompson JY and Heymann: Curing light intensity effects on wear resistance of two resin composite. *Oper Dent* 27:410-417, 2002.
16. Sharkey S, Ray N, Burke F and Ziada H: Surface hardness of light-activated resin composites cured by two different visible-light sources: An *in vitro* study. *Quint Int* 32:401-405, 2001.
17. Gagliani M, Fadini L and Ritzmann RM: Depth of cure efficacy of high-power curing devices vs traditional halogen lamps. *J Adhes Dent* 4:41-47, 2002.
18. Kne evi A, Tarle Z, Meniga A, Sutalo J, Pichler G and Ristic M: Photopolymerization of composite resins with plasma light. *J Oral Rehabil* 29:782-786, 2002.
19. Kelsey WP, Blankenau RJ, Powell GL, Barkmeier WW and Stromberg EF: Power and time requirements for use of the argon laser to polymerize composite resin. *J Clin Laser Med Surg* 10:273-278, 1992.
20. Koliniotou-Kubia E and Jacobson PH: The effect of irradiation time on the physical properties of light-cured resins. *Clin Mater* 6:21-28, 1990.

### 조 경 모

강릉대학교 치과대학 치과보존학교실 전임강사  
강원도 강릉시 지변동 강릉대학교 치과병원 보존과  
Tel : 033-640-3156 Fax : 033-640-3113  
E-mail : drbozon@kangnung.ac.kr