

## 광중합기에 따른 복합레진 중합시 온도 변화와 미세경도에 관한 연구

이동진 · 이광희 · 김대업 · 양영숙

원광대학교 치과대학 소아치과학교실 · 원광치의학연구소

### 국문초록

현재 복합레진의 중합에 사용되는 광원으로 할로겐광 중합기, 플라즈마 아크 중합기, 레이저, LED 등이 사용되고 있으나 광조사에 따른 온도 증가와 중합 깊이 등이 수복치과학의 오랜 관심이었다.

본 연구의 목적은 광원에 따라 얼마나 온도 증가가 일어나는지, 그리고 중합 깊이에 따른 표면경도를 측정함으로써 전통적인 할로겐광 중합기에 대해 새로 개발된 중합기의 중합능력을 비교 평가하는 것이다.

기존의 할로겐광 중합기(Optilux 360)에 대해 최근 시판되는 플라즈마 아크 중합기(Flipo), 열 발생을 감소시킨 플라즈마 아크 중합기(Aurys), LED(Starlight), 그리고 중합시간을 감소시킨 고강도 LED(Freelight 2) 등을 광원으로 사용하였다. 우선 상온(23℃)에서 각 중합기 표면의 온도를 측정한 후 각각 2, 3, 4mm의 테플론 mold에 레진(Z-100, A2 Shade)을 충전하고 하면에서 중합시 최고 온도를 측정하였으며 각 시편 상, 하면의 미세경도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중합기 표면의 온도를 측정 한 결과 Flipo가 평균 52.4℃로 가장 높았고 Freelight 2(37.86℃), Optilux 360(32.68℃), Aurys(32.34℃), Starlight(26.14℃) 순으로 낮게 나타났다.
2. 복합레진을 2, 3, 4 mm 테플론 mold에 채우고 중합시 온도 변화를 측정 한 결과 Flipo와 Freelight 2가 유사하게 가장 높았고 Optilux 360과 Aurys가 유사하게 그 다음이었으며 Starlight가 가장 낮게 나타났다.
3. 복합레진 상면의 미세경도는 전반적으로 유사하였으나 Aurys로 중합한 군에서 약간 낮게 측정되었다.
4. 복합레진 하면의 미세경도는 2, 3, 4mm 모두에서 Optilux 360과 Freelight 2로 중합한 군에서 유사하게 가장 높았고 그 다음이 Flipo, Starlight 순이었으며 Aurys로 중합한 군에서 가장 낮게 측정되었다.

연구 결과에서 볼 때 Flipo와 Freelight 2를 주의깊게 사용한다면 중합도와 시간면에서 임상적으로 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

**주요어** : 광중합기, 온도 변화, 미세경도

### 1. 서 론

1970년대 광중합 복합레진이 치과 분야에 소개된 이래로 여러 종류의 복합레진과 광중합기가 소개되고 있다. 광중합 복합레진의 중합은 레진 기질과 filler의 형태와 특성, 광조사시간,

레진 기질에 포함된 광개시제의 형태, 농도 및 광개시제가 활성화되는 파장범위에서의 광중합기의 출력과 에너지 분포에 크게 의존한다<sup>1)</sup>. 특히 광중합기에 관련된 중요한 요소로 광조사 동안 방출되는 적절한 파장의 광에너지가 중합성능에 영향을 미칠 수 있다<sup>2)</sup>.

광중합기는 초기에는 자외선 중합이었으나 자외선의 피부에 대한 유해성과 약한 투과력 등의 단점으로 가시광선 중합기가 개발된 이후 현재는 사용되지 않고 있다<sup>3)</sup>. 현재 가장 일반적으로 사용되는 것이 할로겐 광원을 이용한 가시광선 중합기이다. 그러나 할로겐 광원의 경우 다소 열이 발생하고 중합시간이 상대적으로 길어 적층 충전의 경우나 어린 환자의 치료에 있어 불

교신저자 : 이 광 희

전북 익산시 신용동 344-2

원광대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 063-850-1955

E-mail : kwhlee@wonkwang.ac.kr

편하며 비효율적인 면이 존재한다<sup>4,5)</sup>. 또한 시간이 지날수록 광출력이 감소되어 점차 사양화되어가는 추세이다. 그 후 아르곤 레이저가 청색광으로 복합레진 중합에 적절한 파장을 가지고 있어 복합레진 중합에 이용되었으나 높은 열 발생과 중합수축으로 인해 현재 거의 사용되지 않고 있다<sup>6,7)</sup>.

최근에 개발된 플라즈마 아크 중합기는 이온화된 분자와 전자의 기체상태의 혼합물로 구성된 glowing plasma로부터 빛이 방출되고 470nm 주위의 다소 좁은 파장범위에서 매우 높게 출력되며 그 광도가 1000mW/cm<sup>2</sup> 이상으로 중합시간을 현저히 단축시키고 광조사에 따른 출력의 변화가 거의 없다고 소개되었으나 열 발생량이 많은 것이 단점으로 지적되고 있다<sup>8)</sup>.

기존 중합기의 열 발생이나 출력 감소 등의 단점을 극복하기 위해 Light-emitting diode(LED)가 개발되었다. LED는 광을 형성하기 위해 반도체접합을 사용하며 광중합형 치과 재료에 적합한 파장인 465nm에 집중되어 있어 강도는 약하나 높은 중합심도와 전환율을 보인다. 또 시간의 증가에 따른 광방출의 유의한 감소 없이 지속되며 진동이나 충격에도 강한 장점을 가지고 있다<sup>5,9-13)</sup>.

새로운 중합기가 다양하게 개발되고 있으나 중합기 종류 및 강도에 따른 열 발생과 각 중합기에 따른 중합도에 대한 복합적 비교 연구가 부족하였다. 이에 저자는 중합기의 광원에 따른 복합레진 중합시 온도 상승량과 표면 미세경도를 측정함으로써 전통적인 할로겐광 중합기에 대해 새로 개발된 다양한 중합기의 중합 능력을 비교 평가하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

연구에 사용된 광중합기로는 전통적 저출력 할로겐광 중합기인 Optilux 360(Demetron, USA)과 일반 플라즈마 아크 중합기인 Flipo(Lokki, France), 저발열 플라즈마 아크 중합기인 Aurys(Degrè K, France), 저출력 LED광 중합기인 Starlight(Mectron, Italy), 고효율 LED광 중합기인 Freelight 2(3M ESPE, USA)등 5종을 사용하였다(Table 1).

## 2. 연구방법

### 1) 실험 I. 중합기에 따른 온도 변화 측정

#### ① 중합기 light guide tip에서의 온도

냉방기를 사용하여 실온을 23℃로 고정시킨 상태에서, 디지털 온도계(Digitron 2088T K-type Digital Thermometer, Digitron, UK)의 K-type thermocouple probe를 유리판 위에 투명 테이프로 붙인 후 광중합기의 light guide tip을 직접 대고 중합광을 조사하면서 최고 온도를 측정하였다.

#### ② 시편에서의 온도 측정

두께 2mm, 3mm, 4mm의 테플론 몰드에 내경 4mm의 구멍을 뚫어 각 중합기별로 표시하였다.

K-type thermocouple probe를 부착한 유리판 위에 커버 글라스를 깔고 각각의 테플론 몰드에 레진(Z-100, A2 shade, 3M, USA)을 충전하고 다시 커버 글라스를 덮은 후 중합기별 조사조건에 따라 중합광을 조사하면서 최고 온도를 측정하였다.

모든 온도 측정은 치수강내 최고 온도를 7회씩 측정한 후 최고 및 최저 측정치를 제외한 나머지 5개 측정치의 평균을 산출하였다.

### 2) 실험 II. 표면 미세경도 측정

실험 I에서 제작된 2mm, 3mm, 4mm 테플론 몰드 시편을 24시간 동안 암소에 보관한 후 시편의 상면과 하면의 미세경도를 Vicker's diamond indenter가 부착된 미세경도측정기(MXT 70, Matsuzawa, Japan)를 사용하여 측정하였다. 하중 100gm, 하중속도 0.3mm/sec, acting period 10초로 압흔을 주고 400배율로 크기를 계측하여 Vicker's hardness number를 산출하였다. 시편의 중앙부위에서 7회 이상 측정한 후 최고값과 최저값을 뺀 후 나머지 5개 측정치의 평균을 산출하였다.

Table 1. Light curing units

Curing unit	Manufacturer	Country	Curing time (second)	Intensity (mW/cm <sup>2</sup> )	Type
Optilux 360	Demetron	USA	40	380	Halogen
Flipo	Lokki	France	5	1900	Plasma arc
Aurys	Degrè K	France	5	1650	Plasma arc
Starlight	Mectron	Italy	40	90	LED
Freelight 2	3M ESPE	USA	20	800	LED

3. 통계분석

윈도우용 SPSS 10.0을 이용하여 평균간의 차이의 유의성을 일원분산분석 및 최소유의차 사후검정(ANOVA/LSD)으로 유의수준 0.05에서 검정하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 실험 I. 중합기에 따른 조사단의 온도 변화(Table 2, Fig. 1)

중합기 조사단에서 측정된 온도는 Flipo가 52.94℃로 가장 높았고, 그 다음은 Freelight 2로서 37.86℃이었으며, Aurys의 32.34℃와 Optilux 360의 32.68℃ 사이에 유의한 차이가 없었고(P>0.05), Starlight가 26.14℃로 가장 낮았다.

2. 중합기에 따른 레진 중합시 온도 변화(Table 3, 4, Fig. 2)

레진 두께에 따라 살펴보면 2mm 두께에서는 Freelight 2의

32.74℃와 Flipo의 32.58℃가 유의차 없이 가장 높았고 Optilux 360의 30.68℃와 Aurys의 30.50℃가 유의차가 없이 그 다음이었으며 Starlight가 27.92℃로 가장 낮았다. 3mm 두께에서는 Flipo의 31.68℃와 Freelight 2의 31.56℃가 유의차 없이 가장 높았고 Optilux 360의 30.28℃와 Aurys의 30.04가 유의차 없이 그 다음이었으며 Starlight가 27.68℃로 가장 낮았다. 4mm 두께에서는 Freelight 2가 30.02℃로 가장 높았고 flipo 29.12℃, Optilux 360 28.92℃, Aurys 28.10℃, 그리고 Starlight 27.48℃의 순이었다.

3. 중합기에 따른 레진 상면의 미세경도(Table 5, 6, Fig. 3)

레진 상면의 미세경도를 측정된 결과 2mm에서는 Optilux 360이 가장 높았고 Flipo가 그 다음이었으며 Freelight 2와 Starlight가 유사하게 그 다음으로 나타났고 Aurys가 가장 낮게 나타났다. 그러나 3mm에서는 Freelight 2가 가장 높게 나타났고 그 다음으로 Optilux 360, flipo, Starlight, Aurys 순이었다. 4mm에서도 Freelight 2가 가장 높게 나타났고 그 다

Table 2. Temperature at light guide tip of curing units

Curing unit	Temperature(℃)
Optilux 360	32.68 ± 0.97*
Flipo	52.94 ± 2.20
Aurys	32.34 ± 0.84*
Starlight	26.14 ± 0.17
Freelight 2	37.86 ± 0.61

\* Room temperature = 23℃  
Difference between indicating \* was not statistically significant (P>0.05), ANOVA/LSD

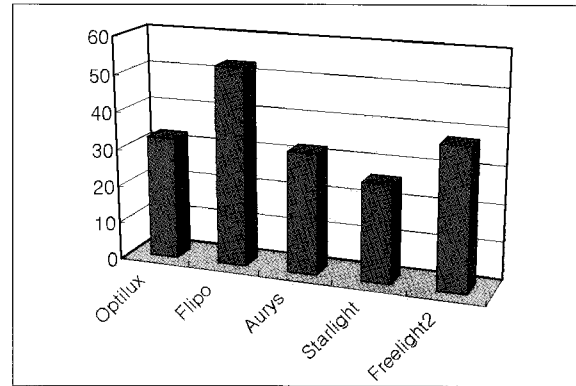


Fig. 1. Temperature at light guide tip of curing units

Table 3. Temperature at the bottom of taflon mold in resin curing

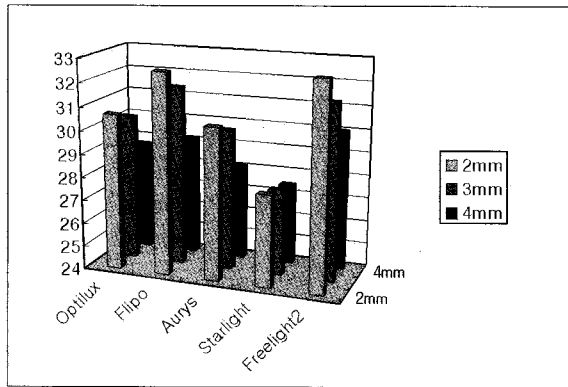
Curing unit	Temperature(℃)		
	2mm	3mm	4mm
Optilux 360	30.68 ± 1.03	30.28 ± 0.16	28.72 ± 1.06
Flipo	32.58 ± 1.57	31.68 ± 0.61	29.12 ± 1.77
Aurys	30.50 ± 1.27	30.04 ± 0.97	28.10 ± 0.51
Starlight	27.92 ± 0.23	27.68 ± 0.46	27.48 ± 0.19
Freelight2	32.74 ± 0.58	31.56 ± 1.59	30.02 ± 1.33

\* Room temperature = 23℃

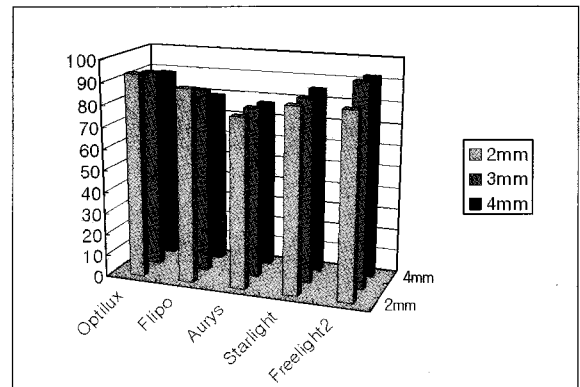
**Table 4.** Results of inter-group comparisons examined by ANOVA/LSD

	Optilux	Flipo	Aurys	Starlight	Freelight2
Optilux					
Flipo	* †				
Aurys		* †			
Starlight	* † ‡	* † ‡	* †		
Freelight2	* †	†	* † ‡	* † ‡	

\* : statistically significant(p<0.05) in 2mm  
 † : statistically significant(p<0.05) in 3mm  
 ‡ : statistically significant(p<0.05) in 4mm



**Fig. 2.** Temperature at the bottom of teflon mold in resin curing



**Fig. 3.** Vicker's hardness numbers of top surface

**Table 5.** Vicker's hardness numbers of top surface

Curing unit	Vicker's hardness number		
	2mm	3mm	4mm
Optilux 360	93.66 ± 3.75	91.56 ± 1.29	88.56 ± 2.78
Flipo	88.92 ± 4.82	85.16 ± 1.25	79.42 ± 3.45
Aurys	78.14 ± 1.51	78.44 ± 1.67	77.20 ± 2.16
Starlight	84.68 ± 8.12	84.56 ± 2.12	85.48 ± 2.41
Freelight 2	84.84 ± 3.52	93.60 ± 10.15	92.30 ± 1.53

**Table 6.** Results of inter-group comparisons examined by ANOVA/LSD

	Optilux	Flipo	Aurys	Starlight	Freelight2
Optilux					
Flipo	† ‡				
Aurys	* † ‡	* †			
Starlight	* †	†	* ‡		
Freelight 2	* †	† ‡	* † ‡	† ‡	

\* : statistically significant(p<0.05) in 2mm  
 † : statistically significant(p<0.05) in 3mm  
 ‡ : statistically significant(p<0.05) in 4mm

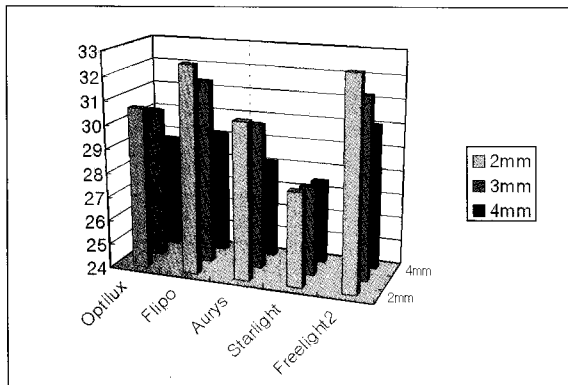
**Table 7.** Vicker's hardness numbers of bottom surface

Curing unit	Vicker's hardness number		
	2mm	3mm	4mm
Optilux 360	89.18 ± 3.42	90.12 ± 1.65	70.46 ± 3.34
Flipo	78.74 ± 1.88	80.18 ± 1.44	51.10 ± 1.44
Aurys	48.40 ± 1.75	40.58 ± 2.21	14.16 ± 3.36
Starlight	69.78 ± 1.52	67.94 ± 3.29	40.18 ± 1.10
Freelight 2	88.14 ± 1.32	86.72 ± 1.12	76.18 ± 4.65

**Table 8.** Results of inter-group comparisons examined by ANOVA/LSD

	Optilux	Flipo	Aurys	Starlight	Freelight2
Optilux					
Flipo	* † ‡				
Aurys	* † ‡	* † ‡			
Starlight	* † ‡	* † ‡	* † ‡		
Freelight 2	† ‡	* † ‡	* † ‡	* † ‡	

\* : statistically significant(p<0.05) in 2mm  
 † : statistically significant(p<0.05) in 3mm  
 ‡ : statistically significant(p<0.05) in 4mm



**Fig. 4.** Vicker's hardness numbers of bottom surface

음으로 Optilux 360, Starlight, flipo, Aurys 순이었다.

4. 중합기에 따른 레진 하면의 미세경도(Table 7, 8, Fig. 3)

레진 하면의 미세경도를 측정 한 결과 2mm에서는 Optilux 360이 가장 높았고 Freelight 2, Flipo, Starlight 순이었으며 Aurys가 가장 낮게 나타났다. 3mm에서도 Optilux 360이 가장 높게 나타났고 그 다음으로 Freelight 2, flipo, Starlight, Aurys 순이었다. 그러나 4mm에서는 Freelight 2가 가장 높게 나타났고 그 다음으로 Optilux 360, Starlight, flipo, Aurys 순이었다.

IV. 총괄 및 고찰

광중합형 레진의 중합에 영향을 미치는 요소들로는 광원의 파장, 강도, 노출시간<sup>14-16)</sup>과 복합레진의 부형제 유형, 광투과도, 두께, 화학적 조성, 색 등이 있으며<sup>17,18)</sup>광조사기 조사단의 위치와 크기, 방향과 중합기의 상태 등도 중합에 영향을 미친다<sup>19,20)</sup>. 그 중 중합시간과 빛의 강도는 중합 수축에 있어 가장 중요한 요소이다. Sakaguchi 등<sup>21)</sup>은 광원의 강도와 중합 수축 간에는 선형 관계를 갖는다고 하였으며, Lovell 등<sup>22)</sup>은 강도가 증가함에 따라 중합속도가 증가한다고 하였다.

복합레진의 광중합시에는 조사된 중합광의 흡수 에너지와 열반응에 의해서 온도가 상승하게 된다<sup>23-26)</sup>. 그 밖의 열 발생요인에는 중합시간, 상아질 두께, 거리, 필터, 와동면적, 재료성분 등이 포함 된다<sup>27,28)</sup>. 또한, 표준 light guide에 비해 turbo light guide 사용시 온도가 더 상승하며<sup>29)</sup>, 중합 깊이의 증가에 따라 온도 상승도 증가한다고 보고되었다<sup>30)</sup>.

Bennett 등<sup>31)</sup>, Thompson 등<sup>32)</sup>은 발거된 치아에서 레진의 광중합시, 치수강의 온도 상승이 1.5~4℃이었다고 하였고, Hussey 등<sup>33)</sup>은 생체 내에서 레진의 광중합시, 레진내 온도 상승이 5.4℃로서 치수 손상의 가능성이 있다고 하였다.

광중합기의 출력 또는 조사(照射) 강도가 증가함에 따라 복합레진의 광중합시 치수에 대한 열손상이 일어날 가능성이 커지고 있다. Hannig와 Bott<sup>34)</sup>는 종래의 중합광에 비해, 고에너지 출력을 가진 중합기가 유의하게 더 높은 치수강 온도 변화를 일으켰다고 보고하였고, Christensen 등<sup>35)</sup>은 레이저와 플라즈마 아크광이 표면 및 레진내 온도 상승이 컸고 할로젠 광은 치수강

내 온도 상승이 컸다고 하였다. 최근에 개발된 청색광 LED (Light Emitting Diode, 발광 다이오드) 중합기는 기존의 할로젠 중합기에 비해서 치수에 대한 열손상의 가능성이 낮다는 것이 장점으로 알려져 있다<sup>5)</sup>. LED 중합기는 할로젠 중합기보다 조사량이 적어서 조사시간이 더 길어야 하지만, 할로젠 중합기와 대등한 레진중합능력을 가지고 있으며, 할로젠 중합기와는 달리 시간경과에 따른 성능 감소가 적다고 보고되었다<sup>10)</sup>.

본 연구에서도 플라즈마 아크광인 Flipo와 turbo light guide와 집적된 diode를 갖는 Freelight 2에서 높은 조사단 온도를 보였다. 특히 Flipo는 tip의 온도가 52.94℃로 매우 높아 사용시 주의해야 할 것으로 보인다. 그러나 2mm 이상의 레진 통과시에는 Flipo보다는 Freelight 2의 온도가 높은 것으로 볼 때 LED의 높은 투과도를 알 수 있고 2mm 에서의 온도와 4mm에서의 온도를 비교해 볼 때 Flipo가 가장 큰 차이를 보이는 것으로 보아 Flipo의 투과도가 낮은 것을 알 수 있다. 그리고 저출력 LED인 Starlight의 경우 조사단의 온도보다 레진 하면에서의 온도가 높은 것으로 볼 때 중합기의 열 뿐만 아니라 레진의 중합열에 의해서도 온도가 상승된다는 것을 반증해 준다.

복합레진이 최대의 중합과 장기적인 임상적 성공을 거두기 위해서는 적절한 파장의 범위 안에 있는 광선이 광중합 수복물의 모든 부분에 도달해야 한다. 중합의 깊이는 광원의 강도, 조사시간, curing tip의 위치, 그리고 복합레진에 의한 회색 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다<sup>14-19)</sup>. 광원의 강도로 중합정도를 정확히 예측할 수 없지만 중합의 깊이는 빛의 강도가 높을수록 일반적으로 증가한다<sup>14-16)</sup>.

플라즈마광은 할로젠광보다 높은 광강도로 매우 짧은 시간에 광중합이 가능한데, 복합레진을 중합하면 먼저 광개시제가 영향을 받아 할로젠광을 사용할 때보다 광개시제가 빠르게 라디칼을 형성하므로 중합속도가 빨라진다. 그러나 짧은 중합시간 때문에 복합레진의 용적 내부까지 광에너지의 전달이 불충분하여 생성된 라디칼의 일부는 긴 사슬 중합체를 형성하기 어려우며, 라디칼 자체의 반응능력이 소실되어 레진 단량체와의 결합력이 떨어질 수 있다. 따라서 플라즈마광의 짧은 중합시간으로 인해 할로젠광을 사용할 경우보다 미반응 레진 단량체를 더 많이 남기게 된다<sup>36)</sup>. 본 연구에서 사용된 플라즈마 중합기 중 Flipo는 표면 미세경도는 우수하였으나 4mm에서는 낮은 강도를 보여 투과력이 낮은 것으로 보인다. 이에 플라즈마 중합기를 사용할 경우 적은 양을 자주 적층 충전해야 함을 보여준다. 또 저발열 플라즈마 중합기인 Aurys는 Flipo와 같은 조건으로 중합할 경우 현저히 낮은 미세경도를 보여 Flipo보다 더 장시간의 중합이 필요할 것으로 생각된다.

할로젠광 중합기의 열발생 및 시간에 따른 출력감소의 단점을 극복하기 위해 개발된 LED는 강도가 90mW/cm<sup>2</sup>로 할로젠에 비해 현저히 낮지만 에너지가 camphroquinine의 최고 흡수 파장 영역인 450~470nm 사이에 분포하여 투과도가 높고 기존 할로젠광과 유사한 중합도를 보인다<sup>5,13)</sup>. 본 연구에서도 저출력 LED인 Starlight의 표면 미세경도는 상면에서는 할로젠광

인 Optilux360과 유사하였고 하면에서는 약간 낮게 측정되었다. 그러나 고강도 LED인 Freelight 2는 상면 미세강도 뿐만 아니라 하면에서도 높은 미세경도치를 보여 임상적으로 매우 유용하다고 생각되었다.

위의 결과들을 종합해 볼 때 기존의 할로젠광의 불편함을 개선하기 위해 다양한 광중합기가 개발되었고 연구 결과 플라즈마 아크 광중합기인 Flipo와 고강도 LED인 Freelight 2가 우수한 결과를 보였다. Flipo는 짧은 중합시간에 비해 우수한 중합율을 보였고 Freelight 2는 무선의 장점과 짧은 중합시간, 높은 중합율 등의 장점이 발견되어 임상적으로, 특히 소아치과 영역에서 짧은 진료시간에 의해 행동조절에 많은 도움이 되리라 생각된다. 그러나 두 중합기 모두 열이 다소 발생하므로 깊은 와동의 경우 주의 깊은 처치가 필요하고 Flipo의 경우 투과도가 낮으므로 적은 양의 적층 충전이 필요하다고 생각되었다. 그러나 이는 실험상의 수치이고 다양한 조사조건의 변화, 그리고 실제 치아에 대한 연구가 더 필요할 것으로 보인다.

## V. 결 론

본 연구에 사용된 광중합기로는 전통적 저출력 할로젠광 중합기인 Optilux 360(Demetron, USA)과 일반 플라즈마 아크 중합기인 Flipo(Lokki, France), 저발열 플라즈마 아크 중합기인 Aurys(Degrè K, France), 저출력 LED광 중합기인 Starlight(Mectron, Italy), 고출력 LED광 중합기인 Freelight 2(3M ESPE, USA) 등 5종을 사용하였다. 우선 상온(23℃)에서 각 중합기 표면의 온도를 측정 후 각각 2, 3, 4mm의 테플론 mold에 레진(Z-100, A2 Shade)을 충전하고 하면에서 중합시 최고 온도를 측정하였으며 각 시편 상 하면의 미세경도를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중합기 표면의 온도를 측정한 결과 Flipo가 평균 52.4℃로 가장 높았고 Freelight 2(37.86℃), Optilux 360(32.68℃), Aurys(32.34℃), Starlight(26.14℃) 순이었다.
2. 레진을 2, 3, 4 mm 테플론 mold에 채우고 중합시 온도 변화를 측정한 결과 Flipo와 Freelight 2가 유사하게 가장 높았고 Optilux 360과 Aurys가 유사하게 그 다음이었으며 Starlight가 가장 낮게 나타났다.
3. 레진 상면의 미세경도는 전반적으로 유사하였으나 Aurys로 중합한 군에서 약간 낮게 측정되었다.
4. 레진 하면의 미세경도는 2, 3, 4mm 모두에서 Optilux 360과 Freelight 2로 중합한 군에서 유사하게 가장 높았고 그 다음이 Flipo, Starlight 순이었으며 Aurys로 중합한 군에서 가장 낮게 측정되었다.

## 참고문헌

1. 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 Sci*, 108:341-345, 2000.
2. Martin FE : A survey of the efficiency of visible light curing units. *J Dent*, 26:239-243, 1998.
  3. Marray GA, Yates JL : Ultraviolet light and ultraviolet light activated composite resin. *J Prosthet Dent*, 46:167-170, 1981.
  4. Leung R, Fan P, Johnson W : Post-irradiation polymerization of visible light activated composite resin. *J Dent Res*, 62:363-365, 1983.
  5. Fujibayashi K, Ishimaru K, Takahashi N, et al. : Newly developed curing unit using blue light-emitting diodes. *Dentistry in Japan*, 34:49-53, 1989.
  6. 주상호, 최형준, 김성오 등 : 아르곤레이저를 이용한 광중합 수복재의 물리적 성질에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 25:368-382, 1998.
  7. Vargas MA, Cobb DS, Schmit JL : Polymerization of composite resin : argon laser vs conventional light. *Oper Dent*, 23:87-93, 1998.
  8. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater*, 16:330-336, 2000.
  9. Nomoto R : Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater*, 16:60-73, 1997.
  10. Mills RW, Jandt KD, Ashworth SH : Dental composite depth of cure with halogen and blue light emitting diode technology. *Br Dent J*, 186:388-391, 1999.
  11. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, et al : Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). *Dent Mater*, 16:41-47, 2000.
  12. Stahl F, Ashworth SH, Jandt KD, et al : Light-emitting diode (LED) polymerization of dental composites: flexural properties and polymerisation potential. *Biomaterials*, 21: 1379 - 1385, 2000.
  13. Leonard DL, Charlton DG, Roberts HW, et al : Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent*, 14:286-295, 2002.
  14. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr : Effects of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent*, 19:26-32, 1994.
  15. Silikas N, Eliades G, Watts DC : Light intensity effects on resin-composite degree of conversion and shrinkage strain. *Dent Mater*, 16:292-296, 2000.
  16. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr : Factors affecting cure at depth within light activated resin composites. *Am J Dent*, 6:91-95, 1993.
  17. Frodin D, Vargas HA : The spectrum of composites: New techniques and materials. *J Am Dent Assoc*, 131:26-30, 2000.
  18. Condon JR, Ferracane JL : Assessing the effect of composite formulation on polymerization stress. *J Am Dent Assoc*, 131:497-503, 2000.
  19. Piers JAF, Cvitko E, Denehy GE, et al : Effects of Curing tip distance on the light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int*, 24:517-521, 1993.
  20. Davidson-Kaban SS, Davidson CL, Feilzer AJ et al. : 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.
  21. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MRB : Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent*, 20:183-188, 1992.
  22. Lovell LG, Newman SM, Dowman CN : The effect of light intensity, temperature & monomer composition on the polymerization behavior of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res*, 78:1469-1476, 1999.
  23. McCabe JF : Cure performance of light-activated composites by differential thermal analysis(DTA). *Dent Mater*, 1:231-234, 1985.
  24. Lloyd CH, Joshi A, McGlynn E : Temperature rises produced by light sources and composites during curing. *Dent Mater*, 2:170-174, 1986.
  25. Masutani S, Setcos JC, Schnell RJ, et al : Temperature rise during polymerization of visible light-activated composite resins. *Dent Mater*, 4:174-178, 1988.
  26. Strang R, Patterson CJW, McLundie AC, et al : In vitro temperature rises produced by five polymerising light sources. *Restorative Dent*, 4:33-35, 1988.
  27. Goodis HE, White JM, Andrews J, et al. : Measurement of temperature generated by visible-light-cure lamps in an in vitro model. *Dent Mater*, 5:230-234, 1989.
  28. Shortall AC, Harrington E : Temperature rise during polymerization of light-activated resin composites. *J Oral Rehabil*, 25:908-913, 1998.
  29. Loney RW, Price RB : Temperature transmission of high-output light-curing units through dentin. *Oper*

- Dent, 26:516-520, 2001.
30. Hansen EK, Asmussen E : Correlation between depth of cure and temperature rise of a light-activated resin. Scand J Dent Res, 101:176-179, 1993.
  31. Bennett GE, Blank FJ, Robertello FJ, et al. : Thermal effects of visible-light and chemically cured resins. J Dent Res, 63(special issue):199, abstr no 259, 1984.
  32. Thompson HF, Gomez HF, Puckett AD : Pulpal temperature changes after exposure to a light curing source. J Dent Res, 76(special issue):79, abstr no 524, 1997.
  33. Hussey DL, Biagioni PA, Lamey PJ : Thermographic measurement of temperature change during resin composite polymerization in vivo. J Dent, 23:267-271, 1995.
  34. Hannig M, Bott B : In-vitro pulp chamber temperature rise during composite resin polymerization with various light-curing sources. Dent Mater, 15:275-281, 1999.
  35. Christensen RP, Palmer TM, Ploeger BJ, et al. : Resin polymerization problems—are they caused by resin curing lights, resin formulations, or both? Compend Contin Educ Dent Suppl, 25:S42-54; quiz S74, 1999.
  36. 문현정, 임범순, 이용근 등 : 콤포짓트 레진의 중합체계에 따른 중합률 및 잔류 단량체의 유출. 대한치과기재학회지, 28:169-178, 2001.



Abstract

THERMAL CHANGE AND MICROHARDNESS IN CURING COMPOSITE RESIN  
ACCORDING TO VARIOUS CURING LIGHT SYSTEM

Dong-Jin Lee, D.D.S., M.S.D., Kwang-Hee Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,  
Dae-Eop Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Yong-Sook Yang, D.D.S., M.S.D.

*Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry,  
Wonkwang Dental Research Institute, Wonkwang University*

The purpose of this study was to compare curing efficiency of newly developed curing units to traditional halogen curing unit by measuring thermal change and surface microhardness according to curing light system.

*Materials and methods* : The types of curing units were traditional low intensity halogen light(Optilux 360), plasma arc light(Flipo), low heat plasma arc light(Aurys), low intensity LED(Starlight), and high intensity LED(Freelight2). Temperature at the tip of light guide was measured by a digital thermometer using K-type thermocouple. And after resin was filled to 2, 3, 4mm teflon mold, buttom temperature measured during curing. After 24 hours, microhardness of top surface and buttom surface of each resin specimen were measured.

*Results* : The result of this study can be summarized as follows.

1. As measuring temperature of curing unit tips, Flipo is the highest as 52.4℃, Freelight2(37.86℃), Optilux 360(32.68℃), Aurys(32.34℃), and Starlight(26.14℃) were followed.
2. Flipo and Freelight2 were the highest similarly, and Optilux360 and Aurys were similarly next and Starlight was lowest in temperature of buttom surface of resin mold.
3. Microhardness of top surface were generally similar, and Aurys was relatively low.
4. Optilux 360 and Freelight2 were the highest, and Flipo, Starlight, and Aurys were followed in microhardness of buttom surface.

*Conclusions* : The results suggest that careful use of Flipo and Freelight2 might be able to cure greater depth of resin composite and do not cause thermal problems than other curing units.

**Key words** : Curing light, Thermal change, Microhardness