

광원에 따른 조사거리의 증가가 복합레진의 중합도에 미치는 영향

김상배 · 박호원

강릉대학교 치과대학 소아치과학교실, 구강과학연구소

국문초록

최근에 소개된 single high-intensity LED 중합기는 이전의 LED 중합기에 비해 높은 광도를 가지며 짧은 중합시간에 적절한 물성을 가질 수 있다고 한다. 본 연구는 single high-intensity LED 중합기의 중합성능을 평가하기 위하여 거리에 따른 중합도를 조사하였다.

Mylar strip 사이에 복합레진(Filtek Z250)을 넣고 압접시켜 만든 얇은 필름형 시편을 LED 중합기(Elipar Freelight 2, 10초), 플라즈마 중합기(Flipo, 6초)와 할로겐 중합기(XL3000, 20초)를 사용해 0mm, 2mm, 4mm, 6mm에서 광도를 측정하고 중합시켰다. 중합된 시편을 Fourier Transform Infrared Spectrometer(FTIR)를 이용해 중합도를 측정 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 중합기에서 거리가 증가할수록 유의하게 광도가 감소하였으며 LED 중합기의 경우 6mm에서 다른 중합기에 비해 가장 많은 광도 감소율을 보였다($p < 0.05$).
2. 모든 중합기에서 거리가 증가함에 따라 4mm까지는 중합도가 감소하였지만 유의한 차이는 보이지 않았다($p > 0.05$). 하지만 4mm와 6mm사이에서는 모든 중합기에서 유의하게 감소하였다($p < 0.05$).
3. 각 거리에 따른 중합기간의 중합도 차이는 0mm, 2mm, 4 mm에서 LED 중합기가 다른 중합기보다 유의하게 높은 중합도를 보였으며($p < 0.05$) 플라즈마 중합기와 할로겐 중합기 사이에서는 유의한 차이가 없었다. 하지만 6 mm에서는 모든 중합기 사이에 유의한 차이를 보이지 않았다($p > 0.05$).

주요어 : LED 중합기, 플라즈마 중합기, 거리, 중합도, FTIR, 광도

I. 서 론

가시광선 광중합기는 접착수복 치과분야에 있어서 중요한 한 부분이다. 이러한 광중합기는 복합레진, compomer, sealant, RMGI, 일부 이장재와 임시 충전재, 일부 교정용 시멘트 등의 중합에 널리 사용되어지고 있다. 1970년대 후반에 소개된 할로겐 광중합기는 몇몇 단점에도 불구하고 지금까지 가장 널리 사용되고 있다.

Quartz tungsten halogen(QTH) 중합기는 tungsten-fila-

ment에 전류가 흘러 고온으로 가열되면 백색광을 생성한다. 이렇게 생성된 백색광은 filter를 거쳐 중합에 적절한 청색광으로 걸러져 방출된다. 하지만 제공된 대부분의 에너지는 열로 전환되며 소량만이 빛으로 전환되어 1% 미만의 에너지 전환율을 보인다. 할로겐 램프는 약 100시간 정도의 수명을 가지며 발생된 고열로 인해 시간이 지남에 따라 할로겐 광중합기의 구성요소들의 기능저하가 나타나며 중합기의 중합효율은 점점 감소된다²⁾. 이전의 연구에 의하면 진료실에서 사용되어지고 있는 많은 할로겐 중합기들이 중합을 위한 최소 광도를 갖지 못하고 있다고 한다³⁾. 또한 할로겐 중합기는 중합시간이 길어 소아환자의 행동조절에 어려움이 있을 수 있다.

이러한 할로겐 중합기의 단점을 극복하고 효과적인 중합과 중합시간 단축을 위해 최근 플라즈마램프나 LED등을 이용한 새로운 중합기들이 개발되어지고 있다.

플라즈마 중합기는 Xenon gas가 들어있는 구 내부에 매우

교신저자 : 박 호 원

강원도 강릉시 지변동 123번지

강릉대학교 치과대학 소아치과학교실

Tel : 033-640-3157

E-mail : pedo@kangnung.ac.kr

가까이 위치하고 있는 전극사이의 전압차가 gas를 이온화시켜 백색광이 발생되어 filter를 통해 청색광으로 여과되어 방출된다⁴⁾. 높은 광강도로 중합시간을 상당히 감소시키지만 빠른 중합에 따른 중합수축과 열 발생, 출력감소 등 아직까지 논란의 여지가 있으며 할로겐 중합기에 비해 상당히 고가이다^{1,2,5)}.

1995년에 처음 소개된 LED 중합기는 할로겐 전구의 필라멘트 대신 반도체 조합내의 전자의 이동에 의해 청색광이 발생된다. LED는 과잉의 전자를 갖는 'n-doped'와 전자가 부족한 'p-doped' type의 두 개의 다른 반도체의 조합으로 구성되어 전자의 'hole'을 형성하게 된다. 이러한 반도체의 조합에 전압이 가해지면 'p-doped'로부터의 전자와 'n-doped'로부터의 'hole'이 연결되면서 특정 파장대의 빛이 방출된다⁶⁾. LED의 빛은 반도체의 화학적 조성에 의해 결정이 되며 gallium nitrate LED는 resin monomer의 중합개시제로 가장 널리 사용되는 camphoroquinone의 흡수파장에 근접한 좁은 파장대(400~500 nm)를 갖는다^{6,7)}.

LED는 청색광을 만들어내므로 filter가 필요 없으며 좁은 파장대의 빛만 발생시키므로 열을 발생시키는 적외선이 발생되지 않아 냉각팬이 필요 없어 부피가 작고 비교적 가벼우며 소음이 없다. 또한 에너지 소비량이 적어 전원을 무선화할 수 있고 이동성이 좋으며 광강도의 유의한 감소 없이 10,000시간 이상 수명이 지속된다. 또한 적은 열 발생으로 치은이나 치수 손상의 위험성을 감소시킬 수 있다⁸⁾.

이전의 연구에서는^{6,9)} 같은 광강도에서 LED 중합기는 할로겐 중합기와 유사하거나 좀더 나은 중합도와 중합깊이를 나타내었으며 상용화된 LED의 경우 기존의 할로겐 중합기에 비해 광강도가 낮으며 유사한 중합정도를 얻기 위해서는 좀 더 긴 중합시간이 필요하다고 하였다.

중합도란 레진 기질안의 메타크릴레이트족의 이중결합이 반응한 정도를 의미하며 색 안정성과 같은 물성과 강도, 경도, 마모저항성과 같은 기계적 성질 및 생체친화성에 영향을 주므로 매우 중요하다^{9,10)}. 이러한 중합도는 잔존 이중결합의 양, 중합깊이, 굴곡강도, 미세경도, 탄성을 및 중합수축 등의 방법을 이용하여 측정할 수 있다. 위의 방법 중 잔존 이중결합의 양을 측정하는 방법으로는 gas chromatography, 주사 열량 측정법, 핵 자기공명 분석법, 적외선 분광법, 라만 분광법 등이 있다¹¹⁾. Dewald와 Ferracane¹²⁾은 Fourier Transform Infrared Spectrometer(FTIR)이 중합도 측정에 가장 적절하다고 하였다.

최근에는 single high-intensity LED 중합기가 소개되어졌으며 제조사에 의하면 기존의 LED 중합기와는 달리 large semiconductor crystal을 사용하여 조사면적과 광강도를 증가시켜 중합시간을 50% 감소시켰다고 한다²⁾.

본 연구에서는 기존의 여러 개의 LED를 사용한 저광도의 LED중합기가 아닌 최근에 소개되어진 single high-intensity LED 중합기와 플라즈마 중합기, 할로겐 중합기를 이용해 거리에 따른 중합도를 FTIR을 사용하여 상호 비교하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

광중합 복합레진은 A2 색상의 Microhybrid resin인 Filtek™ Z250(3M Dental Products, U.S.A.)을 사용하였고 사용된 중합기는 Table 1과 같다.

광도는 Laser Power Meter(Power Max 600®, Molecron, U.S.A.)를 사용하여 측정하였다.

2. 연구방법

1) 시편제작

전자저울(AG204®, METTLER TOLEDO, Switzerland)을 사용하여 측정된 0.025±0.001 g의 복합레진을 Mylar Strip사이에 놓고 일정한 하중을 가하여 필름형 시편을 제작하였다. 조사단과 시편사이의 거리가 0, 2, 4, 6mm인 상태에서 할로겐 중합기는 20초, 플라즈마 중합기는 6초, LED 중합기는 10초간 광조사하여 각 거리 당 8개의 시편을 제작하였다.

2) 거리에 따른 광도(intensity)의 측정

0, 2, 4, 6mm의 거리에서 각 중합기별로 10회씩 광도(Power Max 600®, Molecron, U.S.A.)를 측정하여 평균을 구하였다.

3) 중합율 측정

Fourier Transform Infrared Spectrometer(EQUINOX 55®, Bruker, Germany)를 사용하여 4000~400 Cm⁻¹범위의 파장대에서 해상도 4 Cm⁻¹, 32회의 주사회수로 투과도를 측정하여 흡수도로 변환시켜 중합 전, 후 복합레진 시편의 스펙트럼

Table 1. Light Curing Units

Code	Unit	Source	Tip diameter(mm)	Manufacturer
LED	Elipar Free light2	LED	8	3M, U.S.A.
PAC	Flipo	Plasma	8	LOKKI, France
QTH	XL 3000	Halogen	8	3M, U.S.A.

을 구하였다.

미중합 지방족 C=C량의 산출은 표준 기선법(standard baseline technique)을 사용해 먼저 미중합 시편의 방향족 C-C의 피크인 1609 cm⁻¹에서의 흡수도와 지방족 C=C의 피크인 1638 cm⁻¹에서의 흡수도의 비율을 구하여 미중합상태의 지방족 C=C/방향족 C-C의 비율을 구하여 상수로 사용하였다. 기선의 시작 및 끝점은 1655 cm⁻¹과 1591 cm⁻¹로 하였다. 중합 후 지방족 C=C/방향족 C-C의 비율을 구하여 중합 전 지방족 C=C/방향족 C-C 상수로 나누어 지방족 C=C의 비율을 구하였고 중합도는 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{중합도}(\%) = \left[1 - \frac{(\text{Aliphatic (C=C) abs./Aromatic (C-C) abs.})_{\text{polymer}}}{(\text{Aliphatic (C=C) abs./Aromatic (C-C) abs.})_{\text{monomer}}} \right] \times 100$$

4) 각 중합기의 시각적 확산을 확인하기 위해 광중합기 조사관 직경의 중앙을 가로지르도록 검은 종이를 위치시킨 후 사진 촬영을 하였다(Fig. 1).

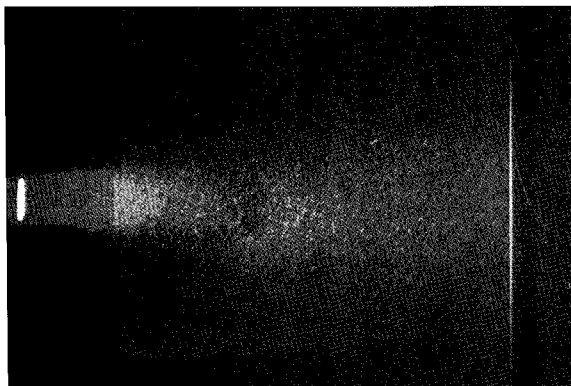


Fig. 1. Light diffusion.

3. 통계처리

각 중합기에서의 거리간 광도 차이와 중합도 차이 및 각 거리에서의 중합기간 중합도 차이를 비교하기 위해 SPSS 윈도우 버전 10.04를 사용하여 Oneway ANOVA로 통계처리하고 Scheffe의 다중 범위검증법을 이용하여 사후 검정하였다.

III. 연구 성적

1. 광도(intensity)(Table 2, Fig. 2)

광중합기의 조사단과 복합레진과의 거리가 0mm인 경우의 광도를 100으로 하고 각 거리에서 측정된 광도를 0mm를 기준으로 환산하여 상대광도를 구하였다.

모든 중합기에서 거리가 증가할수록 각 거리사이의 광도는 유의하게 감소하였다(p<0.05). 조사단과 시편의 거리가 6mm 일 때 LED 중합기에서 가장 많은 광도 감소가 있었으며 플라즈마 중합기에서 가장 작은 광도 감소를 보였다.

2. 빛의 확산도

LED광은 11°, 할로젠광은 7° 그리고 플라즈마광은 5.5°의 확산도를 보였다.

3. 거리에 따른 중합도

모든 중합기에서 거리가 증가할수록 중합도는 감소하였지만 4mm와 6mm 사이에서만 유의성 있는 감소를 보였다(p<0.05).

Table 2. Light intensity of light curing units according to distance

Distance(mm)	intensity(mW/cm ²) ± SD			Percentage of original intensity(%)		
	LED	PAC	QTH	LED	PAC	QTH
0	674.8±11.3	1861.4±18.2	720.50±24.5	100	100	100
2	615.1±6.3	1822.4±14.8	674.76±6.3	91	98	94
4	477.7±0.0	1757.4±13.4	617.04±0.0	70	94	86
6	358.3±0.0	1630.1±12.6	555.33±6.3	53	88	78

Table 3. Degree of conversion after irradiation with 3 type of curing light

Unit	Time(s)	Degree of Conversion(%) ± SD			
		0mm	2mm	4mm	6mm
LED	10	48.61±1.54	47.22±1.23	45.91±1.32	41.62±1.04
PAC	6	45.62±1.52	44.00±1.55	43.26±0.86	41.16±1.13
QTH	20	45.26±1.44	44.01±0.47	42.97±1.18	41.09±1.61

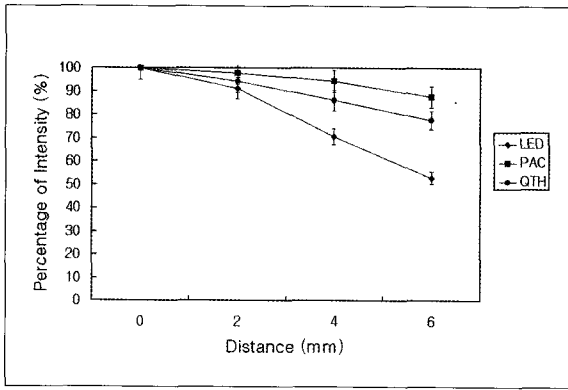


Fig. 2. Plotting of the mean percentage reduction in power output.

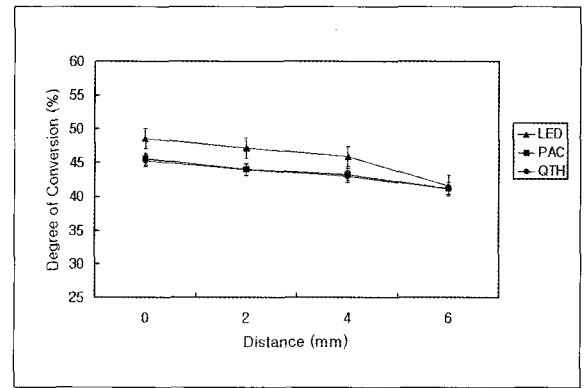


Fig. 3. Plotting of the mean percentage reduction in degree of conversion

4. 각 거리에 따른 중합기간 중합도 차이 (Table 3, Fig. 3)

0, 2, 4mm에서 LED와 플라즈마, LED와 할로겐 중합기 사이에서 유의한 차이를 보였고($p < 0.05$) 플라즈마와 할로겐 중합기 사이에는 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$). 6mm에서는 모든 중합기 사이에서 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

IV. 총괄 및 고찰

복합레진의 중합은 중합기, 중합시간, 조사단과 복합레진 사이의 거리, 광도 등에 의해 영향을 받는다^{3,4,14,15}. 그 중 광도는 복합레진 표면 하방으로 갈수록 레진에 의해 흡수되고 분산되어 감소되며 광중합기의 조사단이 복합레진 표면으로부터 멀어질수록 감소된다^{3,14-16}. 일반적으로 광도는 광원과 중합표면간 거리의 제곱에 반비례한다고 하지만¹⁷ Rueggeberg 등¹⁸은 치과용 광중합기에는 이 원리가 적용되지 않으며 조사단과 수복물의 거리가 10mm를 넘지 않으면 광도감소는 크지 않다고 하였다. Myer 등¹⁹에 의하면 조사단과 중합체간의 거리가 증가할수록 LED중합기에서 할로겐 중합기보다 더 많은 광도의 감소를 보인다고 하였다. 본 실험에서는 3개의 중합기 모두 거리가 증가함에 따라 유의하게 광도가 감소하였다. 그 중 LED 중합기의 경우 0mm에 대한 6mm에서의 상대광도가 52.9%로 가장 작게 나타났으며 플라즈마 중합기의 경우 87.6%로 가장 크게 나타났다. 이는 광원에 따라 빛의 확산정도가 다르기 때문으로 생각되어진다. 본 실험에서도 정밀한 측정은 아니었지만 LED광의 경우 시각적 확산 정도가 11°로 가장 컸으며 플라즈마광의 경우 5.5°로 가장 작은 값을 보였다. 이는 각 중합기의 광도의 감소경향과 일치하는 것이다. 하지만 좀더 정밀한 빛의 확산정도를 측정하는 방법이 필요하다고 생각된다.

이전의 연구에^{4,20} 의하면 플라즈마광으로 3초간 중합된 레진은 할로겐광으로 중합한 경우보다 복합레진의 경도가 유의하게 낮았으며 유출성 단량체가 4배정도 많았다고 하였다. Brackett 등²¹은 플라즈마광은 10초 이상의 중합시간이 필요하다고 하였

으며 Hofmann 등²²은 플라즈마광으로 3초씩 두 번 중합시 할로겐광으로 중합한 경우와 비교시 표면경도가 유사하다고 하였다. 이번 연구에서 시편 중합시 중합시간은 중합기 제조사의 권장에 따라 LED 중합기는 FilteckTM Z250(3M Dental Products, U.S.A.)의 권장 중합시간의 1/2인 10초를 조사하였고 할로겐 램프는 20초를 조사하였다. 반면 플라즈마 중합기는 제조사에서는 3초 중합을 권장하고 있지만 이전의 연구들을 고려하였고 실제 임상에서 널리 사용되는 3초간 두 번의 중합 방법을 사용하였다.

미반응 단량체의 양을 측정하여 중합도를 알아보기 위해 표준 기선법(standard baseline method)이 필요한데 각 흡수대에서 흡수값을 정하는 방법으로는 흡수대의 peak를 측정하는 방법과 흡수대의 면적을 측정하는 방법이 있다⁹. Pianelli 등¹³은 peak를 측정하는 방법이 면적을 계산하는 방법보다 탄소이중결합의 농도와 적외선 흡수도를 반영하는 것이라고 하였으며 본 실험에서도 이에 근거하여 각 시편의 중합도를 구하였다.

레진이 중합하는데 있어 탄소-탄소 이중결합을 100% 단일결합으로 바꾸는 것을 의미하는 100% 중합도는 치과용 복합레진에서 얻는 것은 불가능하며 항상 미반응 단량체는 상당량 존재하게 된다. 이전의 연구들에 의하면^{23,24} Bis-GMA계 레진 및 복합레진의 중합도는 할로겐 중합기로 중합시 44~75%라고 하였다. 본 연구는 0mm에서의 모든 중합기에서 얻어진 중합도가 45.6~48.6%로 이전의 연구에 비해 다소 낮게 나타났다. Fan과 Stanford²⁵는 생체외에서 레진 중합에 관한 연구시에 중합될 시편이 놓인 배경의 반사정도에 따라 중합도와 경도는 영향을 받으며 흰색의 배경이 검은색의 배경보다 25~40% 정도의 경도 감소를 보인다고 하였으며 이번 연구에서는 시편 제작시 흰색 여과지를 배경으로 사용하였기 때문에 다소 중합도가 낮았던 것으로 생각된다. 또한 Ferracane과 Greener⁹는 KBr 투과법과 Thin film법을 비교하여 두 방법 모두 유용하나 KBr 투과법에서 전환도가 더 크게 나왔다고 하였다. 이번 실험에서는 시편제작의 편의를 위해 Thin film법을 사용하였으며 이러한 이유로 다소 낮은 중합도가 나왔으리라 생각된다.

자유기의 연쇄반응에 의한 복합레진의 중합은 광개시제가 빛으로부터 에너지를 흡수하며 직·간접적으로 시작된다. Camphoroquinone은 가장 널리 사용되어지는 광개시제로서 450~480nm 파장의 청색광에서 활성화되며 468nm에서 최대 흡수도를 보인다²⁶⁾. LED 중합기는 460~490nm의 파장대를 가져 낮은 광도에도 불구하고 넓은 파장대를 가진 할로겐 중합기나 본 연구에 사용된 플라즈마 중합기 Flipo(380~520nm)보다 효과적인 중합을 할 수 있다^{1,27)}. Daniel 등⁷⁾은 450~500nm의 파장대에서 camphoroquinone의 흡수 파장대와 일치하는 비율이 LED 광의 경우 78~95%이며 할로겐 광 경우 56%라고 하였다. Jandt 등²⁷⁾은 최대파장의 1/2에서 광원 파장의 폭을 구하였는데 할로겐광의 경우 40.6nm(463~504nm)이고 LED광은 23nm(449~472nm)라고 하였다. 이번 연구에서는 조사단과 시편의 거리가 0, 2, 4mm에서 10초간 중합한 LED의 중합도가 할로겐 중합기(20초)와 플라즈마 중합기(6초)보다 유의하게 높았다(p<0.05). Nomoto²⁸⁾는 450~490nm의 파장대내에서 중합도는 파장보다는 광도에 더 영향을 받으며 이 파장대 밖에서는 파장에 더 영향을 받는다고 하였다. 이번 실험에 사용된 LED 중합기(Elipar Freelight 2, 3M ESPE, USA)는 이전의 LED 중합기들과 달리 할로겐 중합기와 유사한 정도의 높은 광도를 보였으며 이와 같은 450~490nm 파장대 내에서의 광도 증가가 다소 짧은 중합시간에도 불구하고 할로겐 중합기나 플라즈마 중합기보다 유의하게 높은 중합도를 보인 것으로 판단된다. 하지만 6mm 거리에서는 세 중합기 모두 유의성 있는 중합도 감소를 보였으나 세 중합기 사이의 유의한 차이는 없었다. 이는 조사단과 중합체의 거리를 증가시킬 때 6mm의 거리에서 4mm의 거리에서보다 급격한 광도, 미세경도와 중합도가 감소되었다는 이전의 연구들과 일치하는 것이다^{18,19,29,30)}. 4mm의 거리까지는 할로겐 중합기와 플라즈마 중합기보다 유의성 있게 높은 중합도를 보이던 LED 중합기가 6mm에서 다른 중합기와 유사한 중합도를 보인 것은 앞서 언급한 것과 같이 6mm에서 다른 중합기에 비해 LED광에서 더 현저한 광도의 감소를 보였으며 이러한 광도의 감소가 중합도 감소의 원인이 되었으리라 판단된다. 이러한 현저한 광도감소에도 불구하고 유사한 중합도를 보인 것은 낮은 광도에도 할로겐 중합기와 유사한 중합도를 보였던 이전의 연구와 부합되는 것이다⁶⁻⁸⁾.

전체적으로 single high-intensity LED 중합기는 비교적 짧은 중합 시간으로 기존의 할로겐 중합기나 플라즈마 중합기보다 더 나은 중합효율을 보여 이전의 LED 중합기가 가졌던 낮은 광도와 그에 따른 긴 중합시간의 단점을 극복하였다고 생각되며 LED 중합기 고유의 우수한 물리적 특성과 편의성에 더한 이러한 광도증가와 중합시간의 단축은 소아치과 영역에서 유용하게 적용될 수 있으리라 생각된다. 그러나 4mm까지는 다른 중합기들에 비해 높은 중합도를 보이지만 4mm이상에서는 거리 증가에 따른 중합도의 감소율이 현저하며 다른 중합기들과 유사한 중합도를 보여 임상에서 불가피하게 수복물과의 거리가

증가될 경우 이러한 LED 중합기의 특성을 고려해야 할 것이다.

복합레진의 중합율이 중합기의 성능을 대변할 수 있는 지표는 아니며 광도가 증가되고 중합도가 증가할수록 중합수축 또한 증가되므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다. 또한 본 실험은 복합레진의 표면에 대한 중합도를 측정하는 것과 동일하며 두께에 따른 밀면의 중합도에 대한 추가적인 연구도 필요할 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 single high-intensity LED 중합기의 중합 성능을 평가하기 위하여 거리에 따른 중합도를 조사하였다.

Mylar strip사이에 복합레진(Filtek Z250)을 넣고 압접시켜 만든 얇은 필름형 시편을 LED 중합기(Elipar Freelight 2, 10초), 플라즈마 중합기(Flipo, 6초)와 할로겐 중합기(XL3000, 20초)를 사용해 0mm, 2mm, 4mm, 6mm에서 광도를 측정하고 중합시켰다. 중합된 시편을 FTIR을 이용해 중합도를 측정 한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 모든 중합기에서 거리가 증가할수록 유의하게 광도가 감소하였으며 LED 중합기의 경우 6mm에서 다른 중합기에 비해 가장 많은 광도 감소율을 보였다(p<0.05).
2. 모든 중합기에서 거리가 증가함에 따라 4mm까지는 중합도가 감소하였지만 유의한 차이는 보이지 않았다(p>0.05). 하지만 4mm와 6mm사이에서는 모든 중합기에서 유의하게 감소하였다(p<0.05).
3. 각 거리에 따른 중합기간의 중합도 차이는 0mm, 2mm, 4mm에서 LED 중합기가 다른 중합기들보다 유의하게 높은 중합도를 보였으며(p<0.05) 플라즈마 중합기와 할로겐 중합기 사이에서는 유의한 차이가 없었다. 하지만 6mm에서는 모든 중합기사이에 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05).

참고문헌

1. Burgess JO, Walker RS, Porche CJ, et al. : Light Curing-An Update. Compendium, 23:889-906. 2002
2. Elipar Freelight 2 LED Curing light, 3M technical product profile, 5-15, 2002
3. Dunne SM, Davies BR, Miller BJ : A survey of the effectiveness of dental light curing units and a comparison of light testing device. Br Dent J, 180:411-416, 1996
4. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing unit. Dent Mater, 16:330-336, 2000.
5. Blankenau R, Erickson RL, Rueggeberg F : New

- light curing options for composite resin restorations. *Compendium*, 20:122-135, 1999.
6. Mills RW, Uhl A, Jandt KD : Optical power outputs, spectra and dental composite depths of cure, obtained with blue light emitting diode(LED) and halogen light curing units(LCUs). *Br Dent J*, 193:459-463, 2002.
 7. Daniel LL, David GC, Howard WR, et al : Polymerization efficiency of LED curing lights. *J Esthet Restor Dent*, 14:287-295, 2002.
 8. 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.
 9. Ferracane JL, Greener EH : Fourier Transform Infrared Analysis of degree of polymerization in unfilled resins-methods comparison. *J Dent Res*, 63:1093-1095, 1984.
 10. 황경란, 이용근, 임범순 등 : 광에너지 총량에 따른 광중합 콤포지트레진과 콤포머의 중합도에 관한 연구. *대한치과기재학회지*, 27:357-373, 2000.
 11. Ruyter IE, Svendsen SA : Remaining methacrylate groups in composite restorative materials. *Acta Odontol Scand*, 36:75-82, 1977.
 12. 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.
 13. Pianelli C, Devaux J, Bebelman S, et al. : The micro-roman spectroscopy, a useful tool to determine the degree of conversion of light-activated composite resins. *J Biomed Mater Res*, 48:675-681, 1999.
 14. Yearn JA : Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J*, 35:218-225, 1985.
 15. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent*, 19:26-32, 1994.
 16. Cook WD, Standish PM : Cure of resin based restorative materials. II. White light photopolymerized resins. *Aust Dent J*, 28:307-311, 1983.
 17. Phillips RW : *Skimmer's science of dental materials*. Saunders, Philadelphia, 230, 1982.
 18. Rueggeberg FA, Jordan DM : Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont*, 6:364-370, 1993.
 19. Meyer GR, Ernst CP, Willershausen B : Decrease in power output of new light emitting diode(LED) curing devices with increasing distance to filling surface. *J Adhes Dent*, 4:107-204, 2002.
 20. 문현정, 임범순, 이용근 등 : 콤포지트 레진의 중합체계에 따른 중합율 및 잔류 단량체 유출. *대한치과기재학회지*, 28:169-178, 2001.
 21. Brackett WW : Effect of plasma arc curing on the microleakage of class V resin-based composite restorations. *Am J Dent*, 13:121-122, 2000.
 22. 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 composites. *Clin Oral Investig*, 4:140-147, 2000.
 23. Rueggeberg FA, Craig RG : Correlation of parameters used to estimate monomer in a light cured composite. *J Dent Res*, 67:932-937, 1988.
 24. Tarle Z, Meniga A, Knezevic A, et al. : Composite conversion and temperature rise using a conventional, plasma arc, and an experimental blue LED curing unit. *J Oral Rehabil*, 29:662-667, 2002.
 25. Fan PL, Stanford CM : Effect of backing reflectance and mold size on polymerization of photo-activated composite resin. *J Dent Res*, 63:1245-1247, 1984.
 26. Stansbury JW : Curing dental resins and composites by photopolymerization. *J Esthet Dent*, 12:300-308, 2000.
 27. 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.
 28. Nomoto R : Effect of light wavelength on polymerization of light cured resins. *Dent Mater*, 16:60-73, 1997.
 29. Caldas DBM, Almeida JB, Correr-Sobrinho L, et al. : Influence of curing tip distance on resin composite Knoop hardness number, using three different light curing units. *Oper Dent*, 28:315-320, 2003.
 30. 안명기, 정태성, 김신 : 광중합 복합레진의 중합시간과 거리에 따른 중합도의 변화. *대한소아치과학회지*, 28:293-230, 2001.

Abstract**INFLUENCE OF TIP DISTANCE ON DEGREE OF CONVERSION OF COMPOSITE RESIN IN CURING WITH VARIOUS LIGHT SOURCES**

Sang-Bae Kim, Ho-Won Park

Department of Pediatric Dentistry, Oral Science Research Center, College of Dentistry, Kangnung National University

Recently, newly developed single high-intensity LED curing lights for composite resins are claimed to have a higher intensity than previous LED curing lights and to results in optimal properties and short curing time.

The purpose of this study was to determine the curing effectiveness of the curing units and to evaluate the relationship between the degree of polymerization and distance from curing light tip end to resin surface.

One composite resin was tested(Filtek Z250). Thin film specimens were cured with a LED curing unit(Elipar Freelight 2, 10s), Plasma Arc curing unit(Flipo, 6s), Halogen curing light(XL3000, 20s) at four curing light tip to the resin surface(0 mm, 2mm, 4mm, 6mm). Degree of conversion of composite resins were determined by a Fourier Transform Infrared Spectrometer(FTIR).

From the present study, the following results were obtained.

1. In all curing units, relative light intensity was significantly decreased according to the increase of distance of light tip to the resin surface($p < 0.05$). LED curing units showed a higher percentile decrease in intensity than other curing units.
2. In all curing units, degree of conversion was decreased as increase of the distance but no statistically significant difference($p > 0.05$) except between 4mm and 6mm($p < 0.05$).
3. When comparing degree of conversion of light curing units at each distance(0mm, 2mm, 4mm, 6mm), LED curing light had a higher degree of conversion than plasma arc and halogen curing lights at 0, 2, 4mm($p < 0.05$). At 6mm, there was a no significant difference among the curing units($p > 0.05$).

Keywords : LED curing light, Plasma Arc curing light, Distance, Degree of conversion, FTIR, Light intensity