

중합 광원과 중합 시간이 복합레진의 표면 경도에 미치는 영향

배상만 · 이광희 · 김대업 · 안호영

원광대학교 치과대학 소아치과학교실 · 원광치의학연구소

국문초록

플라즈마 아크 광원을 사용하는 광중합기를 저출력 할로겐 광원을 사용하는 전통적인 광중합기와 비교 평가하기 위하여, 세 종류의 복합레진을 두께가 2, 3, 4, 5mm인 몰드에 충전하고 레진 상면을 할로겐광으로 40초간, 플라즈마광으로 3, 6, 9 초간 조사한 후 레진 상면과 하면의 표면미세경도를 각각 측정하였다. 레진시편 상면의 표면경도와 하면의 표면경도 간의 차이는, 두께 2mm 시편에 할로겐광을 40초간 조사하였거나 플라즈마광을 9초간 조사한 경우들을 제외하고, 모두 유의하였다 ($P < 0.05$). 레진시편 상면의 표면경도는 전체 실험군들에서 서로 유의한 차이가 없었다. 레진시편 하면의 표면경도는 전체적으로 보아 할로겐광을 40초간 조사한 군들에서 가장 높았고 플라즈마광의 조사시간이 감소함에 따라 감소하였으며 레진시편의 두께가 증가함에 따라 감소하였다. 이상의 결과는 복합레진의 중합깊이 측면에서 볼 때 3, 6, 9초간 조사하는 고출력 플라즈마광의 중합능력이 40초간 조사하는 저출력 할로겐광의 중합능력에 미치지 못함을 시사한다.

주요어 : 플라즈마, 할로겐, 광중합, 복합레진, 표면경도

I. 서 론

광중합 복합레진은 1970년대에 실용화된 이후로 심미적 치과수복의 새로운 장을 열었으며 재료와 기술이 계속 진보되어 왔다¹⁾. 중합광으로서 처음에 채택된 자외선은 인체에 대한 유해성과 복합레진에 대한 약한 투과력 등의 단점이 있었기 때문에, 인체에 안전하고 자외선에 비해 더 짧은 시간에 더 깊이 중합할 수 있는 가시광선 영역의 할로겐광이 현재 일반적으로 사용되고 있다²⁾.

광중합 복합레진의 최적 중합을 위하여는 와동내 레진 하면에 중합광이 도달할 수 있도록 중합광의 강도가 충분해야 하고 또 레진층의 두께가 적절해야 한다. Fowler 등³⁾은 중합광 출력 감소가 중합깊이에 미치는 영향을 경도측정으로 평가하였을 때 레진시편 상면의 중합은 영향을 받지 않았으나 하면은 큰 영향을 받았으며 조사시간이 짧았을 때 그 영향이 더 컸다고 하였다. Rueggeberg 등^{4,6)}은 복합레진의 광중합에 영향을 끼치는 주된 요인은 레진의 두께이고 그 다음은 중합광의 조사시간 및 강도이며, 레진의 두께는 2mm를 초과하지 말아야 한다고 하였고, 최소한 400mW/cm²의 강도를 가진 광원으로 60초간 중합할 것을 권장하였다.

복합레진을 얇은 두께의 여러 층으로 나누어 충전하는 방법은 복합레진 재료의 주된 임상적 단점인 중합수축을 최소화할

수 있는 방법으로서 추천되어 왔지만⁷⁾ 할로겐광으로는 한 번에 40초 이상 중합해야 하므로 전체 시술시간이 늘어난다는 문제점이 있었다. 한편, Nomoto 등⁸⁾은 조사광의 강도와 총 조사시간을 곱하여 산출되는 총 조사량이 일정하면 중합의 깊이가 동일하다고 하였으며, 이것은 조사광의 강도를 증가시킴으로써 총 조사시간을 단축할 수 있음을 의미할 것이다.

조사광의 강도를 증가시키는 방법으로서 할로겐 광원보다 출력이 훨씬 강한 가시광선 파장대의 아르곤이온레이저를 사용하여 짧은 시간에 복합레진을 중합하는 기술이 연구되었고, 대부분의 연구자들이 긍정적인 결과를 보고하였다⁹⁻¹⁵⁾. 그러나, 아르곤이온레이저는 짧은 중합시간의 장점에도 불구하고 가격이 매우 높기 때문에 할로겐광 중합기에 비해 실용성이 매우 낮았다.

최근에 개발된 플라즈마 아크광 중합기(plasma arc light curing unit)는 아르곤이온레이저에 비해 가격이 낮으면서도 그에 버금가는 강한 출력을 가지고 있어서 광중합시간을 약 3초까지 단축할 수 있다고 선전되고 있다. 플라즈마 아크광 중합기에 관한 연구보고는 출시된 기간이 짧아 아직까지 세계적으로 희소한 편이다. 국내 연구에서 김¹⁶⁾은 중합방법과 중합시간이 치면열구전색제의 미세경도와 마모도에 미치는 영향에 관한 연구에서 유사한 표면경도를 얻기 위한 중합시간이 플라즈마광 중합기가 할로겐광 중합기보다 더 짧았다고 하였다. 국외 연구에서 Peutzfeldt 등¹⁷⁾, Roberts 등¹⁸⁾, Ergle과 Rueggeberg¹⁹⁾,

Burtscher 등²⁰⁾, Hofmann 등²¹⁾, Munksgaard 등²²⁾은 여러 기준에서 볼 때 플라즈마 중합기로 3초간 중합하는 것이 할로젠 중합기로 40초간 중합한 것에 미치지 못한다고 보고하였다.

플라즈마광 중합기를 사용하는 경우 복합레진의 최적 중합시간이 3초보다 길더라도 할로젠광 중합기의 40초 중합시간보다 훨씬 짧다면 실용적 가치가 있을 것이다. 또한 국내에서 일반 수복용 복합레진을 대상으로 플라즈마광 중합기의 중합력을 연구할 필요성이 있었다. 연구목적은 복합레진의 중합 깊이에 따른 중합 후 표면경도를 측정하는 방법으로 3초, 6초, 9초간 플라즈마 아크광 중합기로 중합한 경우와 전통적인 방법으로 40초간 할로젠광 중합기로 중합한 경우를 비교 평가함으로써 중합광원과 중합시간이 복합레진의 표면경도에 미치는 영향을 규명하는 것이었다.

II. 재료 및 방법

세 종류의 복합레진을 두께가 2, 3, 4, 5mm인 몰드에 충전하고 레진 상면을 할로젠광으로 40초간, 플라즈마광으로 3, 6, 9초간 조사한 후 레진 상면과 하면의 표면미세경도를 각각 측정하였다.

1. 레진시편의 제작

실험에 사용된 복합레진은 Z-100(shade A3, 3M, U.S.A.), Tetric Ceram(shade A3, Vivadent, Liechtenstein), SureFil(shade A, Dentsply, U.S.A.)로서, 각 제품의 설명서에 따르면 Z-100은 1회 중합 두께가 2.5mm, Tetric Ceram은 1회 중합 두께가 2.0mm, SureFil은 1회 중합 두께가 5mm이며, 광중합시간은 모두 40초이다.

내경이 4mm, 두께가 2, 3, 4, 5mm인 teflon mold에 레진을 충전하고 레진의 상면에 플라즈마광 중합기(Flipo, Lokki, France)로 3, 6, 9초간, 할로젠광 중합기(Optilux 360, Demetron, U.S.A.)로 40초간 중합광을 조사하였다(Table 2). 중합기의 light guide tip은 cover glass의 두께만큼 시편 상부 1mm에 위치하였다. 조사광의 강도는 Optilux 501(Demetron, U.S.A.)에 부착된 조도계(radiometer)로 측정하였을 때, 플라즈마광은 약 1,900mW/cm², 할로젠광은 약 370mW/cm²으로 나타났다.

광중합 후 1주일동안 실온의 암소에 보관하였다. 레진 종류(3개), 레진시편의 두께(4개), 중합광원 및 중합시간(4개)에 따른 48개 각 실험군당 5개의 시편을 제작하여 총 시편 수는 240개이었다.

2. 표면미세경도의 측정

Vickers diamond indenter가 부착된 미세경도측정기(MXT 70, Matsuzawa, Japan)를 사용하여 레진시편의 상면과 하면의 경도를 측정하였다. 하중 300gm, 하중속도 0.3mm/sec, acting period 10초로 압흔을 주고 400배율로 크기를 측정하여 Vickers Hardness Number를 산출하였다. 시편의 중앙부위에서 일정한 값이 측정될 때까지 반복 측정하였고 5개 시편 측정치의 평균을 각 실험군의 측정치로 하였다. 레진의 종류별 측정치를 하나로 통합하여 레진시편의 두께 및 중합광원-중합시간에 따른 16개 실험군별로 평균과 표준편차를 산출하였다.

3. 자료분석

윈도우용 SPSS 9.0을 사용하여 자료를 분석하고 분산분석과 최소유의차검정 및 t검사를 통해 평균치간 차이의 유의성을 검정하였다.

III. 성 적

복합레진의 중합깊이를 기준으로 하였을 때 3, 6, 9초간 조사한 플라즈마광의 중합능력이 40초간 조사하는 저출력 할로젠광의 중합능력에 미치지 못하였다(Table 2). 레진시편 상면의 표면경도와 하면의 표면경도 간의 차이는, 두께 2mm 시편에 할로젠광을 40초간 조사하였거나 플라즈마광을 9초간 조사한 경우들을 제외하고, 모두 유의하였다(P<0.05, 이하 유의수준 같음) (Table 3).

레진시편 상면의 표면경도는 전체 실험군들에서 서로 유의한 차이가 없었다(Table 4, 5). 전체적으로 보아, 레진시편 하면의 표면경도는 할로젠광을 40초간 조사한 군들에서 가장 높았고 레진시편의 두께가 증가함에 따라 감소하였으며(Table 4) 플라즈마광의 조사시간이 감소함에 따라 감소하였다(Table 5). 레진시편 하면의 표면경도의 레진 두께에 따른 차이를 보면, 할로젠광을 40초 조사하였을 때 레진두께 2mm군과 3mm군을 제외하고 레진두께에 따른 군들간의 차이가 모두 유의하였고(P<0.05), 플라즈마광을 3, 6, 9초간 조사하였을 때 4mm군과 5mm군을 제외하고 모두 유의하였다(Table 5).

레진시편 하면의 표면경도의 조사 광원과 조사 시간에 따른 차이를 보면, 레진두께 2mm군에서 할로젠광 40초군과 플라즈마광 3초군간에 유의한 차이가 있었고, 레진두께 3mm군에서 할로젠광 40초군과 플라즈마광 3초군간, 할로젠광 40초군과 플라즈마광 6초군간, 플라즈마광 3초군과 플라즈마광 6초군간

Table 1. Light source and curing time

Light source	Manufacturer	Light intensity	Curing time
Plasma arc light	Flipo, Lokki, France	c. 1,900 mW/cm ²	3, 6, 9 sec
Halogen light	Optilux 360, Demetron, USA	c. 370 mW/cm ²	40 sec

Table 2. Surface hardness of composite resins cured by halogen or plasma light

Specimen thickness	Light source & curing time	N	Vickers Hardness Number		
			Top	Bottom	Mean
2mm	Halogen 40sec	15	30.27±9.74	26.40±7.68	28.33± 8.84
	Plasma 3	15	25.68±7.23	18.21±9.15	21.95± 8.95
	Plasma 6	15	27.23±6.73	21.97±6.96	24.60± 7.24
	Plasma 9	15	28.16±5.44	23.90±6.67	26.03± 6.36
3mm	Halogen 40sec	15	28.94±6.57	22.26±5.73	25.60± 6.94
	Plasma 3	15	26.73±7.82	11.26±5.28	19.00±10.23
	Plasma 6	15	26.66±5.99	17.68±5.49	22.17± 7.26
	Plasma 9	15	28.28±5.30	19.16±5.95	23.72± 7.22
4mm	Halogen 40sec	15	27.48±6.81	15.18±6.05	21.33± 8.90
	Plasma 3	15	25.50±6.29	5.42±0.73	15.46±11.12
	Plasma 6	15	27.32±4.64	7.71±3.43	17.51±10.74
	Plasma 9	15	27.88±5.08	10.30±3.76	19.09± 9.96
5mm	Halogen 40sec	15	25.35±6.60	9.65±4.02	17.50± 9.62
	Plasma 3	15	25.22±7.01	4.90±0.00	15.06±11.42
	Plasma 6	15	26.54±7.04	5.39±0.82	15.96±11.83
	Plasma 9	15	26.84±6.58	7.11±2.24	16.97±11.13
Totals	Halogen 40sec	60	28.01±7.58	18.37±8.75	23.18± 8.48
	Plasma 3	60	25.78±6.95	9.95±7.49	17.87±10.72
	Plasma 6	60	26.94±6.02	13.18±8.33	20.07±10.00
	Plasma 9	60	27.79±5.52	15.12±8.33	21.46± 9.49

Mean±SD; Values less than 5.0 (lower limit of measurement) were considered as 4.9

Table 3. Significance of difference in hardness between top and bottom

	2mm	3mm	4mm	5mm	Totals
H40	NS	*	*	*	*
P 3	*	*	*	*	*
P 6	*	*	*	*	*
P 9	NS	*	*	*	*

t-test, 2-tailed

* : P<0.05; NS : Not Significant

Table 4. Significance of difference in hardness between resin thickness groups

	Halogen 40sec			Plasma 3sec			Plasma 6sec			Plasma 9sec		
	Top	Bottom	Mean	Top	Bottom	Mean	Top	Bottom	Mean	Top	Bottom	Mean
2mm	a*	a	a	a	b	a	a	b	a	a	b	a
3	a	a	a	a	c	ab	a	c	ab	a	c	a
4	a	b	b	a	a	b	a	a	bc	a	a	b
5	a	c	b	a	a	b	a	a	c	a	a	b
F	1.169	22.959	9.140	0.129	20.692	2.877	0.060	41.365	5.359	0.204	36.522	6.553
Sig	0.330	0.000	0.000	0.943	0.000	0.039	0.980	0.000	0.002	0.893	0.000	0.000

* : Values in columns having the same letter were not significantly different (P>0.05) by the LSD test

Table 5. Significance of difference in hardness between light source and curing time groups

	2mm			3mm			4mm			5mm			Totals		
	Top	Bottom	Mean	Top	Bottom	Mean	Top	Bottom	Mean	Top	Bottom	Mean	Top	Bottom	Mean
H40	a*	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	a	a	b	a
P 3	a	b	a	a	c	b	a	b	b	a	a	a	a	c	b
P 6	a	ab	b	a	b	ab	a	bc	ab	a	a	a	a	a	bc
P 9	a	a	b	a	ab	a	a	c	ab	a	c	a	a	a	ac
F	0.994	3.037	3.418	0.460	10.199	3.631	0.502	16.702	1.771	0.218	12.666	0.289	1.418	11.006	6.157
Sig	0.402	0.036	0.020	0.711	0.000	0.015	0.682	0.000	0.157	0.884	0.000	0.834	0.238	0.000	0.000

* : Values in columns having the same letter were not significantly different (P>0.05) by the LSD test

에 각각 유의한 차이가 있었으며, 레진두께 4mm군에서 할로겐광 40초군과 플라즈마광 3초군간, 할로겐광 40초군과 플라즈마광 6초군간, 할로겐광 40초군과 플라즈마광 9초군간, 플라즈마광 3초군과 플라즈마광 9초군간에 각각 유의한 차이가 있었고, 레진두께 5mm군에서는 플라즈마광 3초군과 플라즈마광 6초군간을 제외하고 나머지 군들간에 모두 유의한 차이가 있었다(Table 5).

IV. 고 찰

복합레진의 중합광은 먼저 레진의 중합 유도가 가능한 파장 범위에 속해야 하고 다음으로 충분한 강도를 가져야 한다. Nomoto²³⁾는 410~550nm 범위의 빛이 레진의 중합을 일으키며 가장 효율적인 파장은 470nm이고 가장 적절한 파장은 450~490nm의 범위에 있다고 하였다. 연구에 사용된 플라즈마광중합기 Flipo는 제품 설명서에 따르면 380~520nm의 파장영역을 가지며 그 중 50%가 440~510nm에 집중되어 있고 정점은 475nm인 청색광을 내는 것으로 되어 있다. Hofmann 등²¹⁾은 플라즈마 아크광 중합의 적합성은 복합레진이 함유하고 있는 photoinitiator에 달려 있다고 하였다. Photoinitiator로서 camphoroquinone만 함유한 레진의 경우에, 플라즈마 아크광으로 3초간 두 번 중합한 경우에 중에너지(550mW/cm²) 가 시광선으로 중합한 경우와 표면경도가 대등하였으나 더 짧은 파장(370~450nm)을 흡수하는 photoinitiator를 함께 함유하고 있는 레진의 경우에는 가시광선으로 중합한 경우보다 열등한 결과를 낳았다.

연구에 사용된 플라즈마광의 강도는 1,900mW/cm²으로서 할로겐광의 강도 370mW/cm²의 약 5배에 해당하였다. 조사광의 강도와 총 조사시간을 곱하여 산출되는 총 조사량이 일정하면 중합의 깊이가 동일하다고 한 Nomoto 등⁸⁾의 이론을 따른다면 플라즈마광의 적절한 중합시간은 할로겐광의 최소 중합시간 40초의 약 5분의 1인 8초 이상이 될 것이다. 이것은 고강도의 플라즈마광이라 하더라도 3초의 중합시간은 최적의 중합을 일으키기에는 너무 짧으며 이 연구에서 설정한 9초에 가까워야 한다는 것을 시사한다. 그러나, 조사광의 강도와 조사시간 외에

도 플라즈마광과 할로겐광의 파장대 분포가 다르다는 점과 중합 기전이 상이할 가능성 등 기타 요인들도 고려하여야 한다.

할로겐광의 문제점 중의 하나는 할로겐 전구의 임상적 수명은 약 40~110시간으로 제한되어 있으며 시간이 경과함에 따라 중합효율이 감소한다는 것이다²⁴⁻²⁸⁾. Solomon과 Osman²⁹⁾은 치과진료실에서 사용되는 광중합기를 검사한 결과, 사용자의 100%가 주관적 만족을 표시하였으나, 실제로는 45.7%가 적정 강도 300mW/cm²에 미치지 못하였다고 보고하였다. 반면에, 플라즈마 아크 전구는 교환이 필요없고 시간의 경과에 따라 출력이 감소되지 않는 특성이 있으므로 중합광의 강도를 유지하는 측면에서 장점을 가진다.

복합레진의 광중합에서 중합광선의 광원에 따른 중합의 질을 비교 평가하기 위하여 흔히 사용되는 방법은 중합깊이(depth of cure)의 측정으로서, 중합깊이는 다양한 방법으로 측정될 수 있다³⁰⁾. 중합깊이를 측정하기 위하여 ISO 4049에 제시된 scrape test³¹⁾는 중합되지 않은 레진을 술자가 긁어내는 방법으로서 단순하고 정성적인 pass/fail 검사이며 술자의 주관적 판단에 따르고 재현도 즉 신뢰도가 낮다는 단점이 있다고 평가되었다³²⁾. Harrington과 Wilson³³⁾의 방법은 1,250g 하중의 침(針)이 레진에 침투한 깊이를 측정하는 penetrometer를 사용하는 것으로서, scrape test보다는 객관적이고 신뢰도가 높으나 역시 일정한 기준에 맞춘 정성적 검사이다. 정량적 방법으로는 이 연구에서 사용한 방법과 같이 다양한 두께의 레진시편 상면에 중합광을 조사한 후 레진 상면과 하면의 표면 미세경도를 측정하여 상대적으로 비교하는 것이 많이 사용되고 있다.

Kanca³⁴⁻³⁶⁾는 레진시편을 여러 조건으로 중합한 다음 시편의 상면과 하면의 경도 차이를 조사한 실험에서 노출시간을 증가시키고 광원과의 거리가 짧을수록 경도 차이가 작다고 하였다. Rueggeberg 등⁴⁻⁶⁾은 레진의 광중합에 영향을 끼치는 주된 요인은 레진의 두께로서, 2mm 이상의 레진 두께에서는 중합이 불완전하고 광강도와 조사시간의 변화에 매우 민감하므로 레진의 두께는 2mm를 초과하지 말아야 하며, 1mm 두께의 레진층을 400mW/cm² 이상의 강도를 가진 광원으로 60초간 중합해야 한다고 하였다. 저자의 연구성적에서, 레진 두께가 2mm인 경우에 할로겐광 40초군과 플라즈마광 9초군은 모두 레진 상면과

하면간에 경도의 유의한 차이가 없었으나 플라즈마광 3초군과 6초군에서는 유의한 차이가 있었다. 이것은 일반적으로 권장되는 1회 광중합을 위한 레진층의 두께인 2mm의 경우에도 플라즈마광 3초나 6초의 중합은 레진하면의 불완전한 중합을 일으킬 수도 있음을 시사한다.

또한, 저자의 연구성적에서, 레진 상면의 경도는 군간에 유의한 차이가 없었으나 레진 하면의 경도는 레진의 두께가 증가할수록 뚜렷하게 감소하였고 특히 플라즈마 3초군은 할로겐광 40초군에 비해 매우 낮은 경도를 보였다. 다만 플라즈마 9초군은 레진 두께가 2mm와 3mm일 경우 할로겐광 40초군과 대등한 성적을 나타냈다. Tanoue 등^{37,38)}, Matsumura 등³⁹⁾은 보철용 복합레진을 휴대용 할로겐광 중합기와 기공용 xenon광 중합기로 각각 중합하였을 때 할로겐광이 더 깊은 중합을 일으켰다고 하였다. 김¹⁶⁾은 열구전색재에서 유사한 표면경도를 얻기 위한 중합시간이 플라즈마광 중합기가 할로겐광 중합기보다 더 짧았다고 하였으나 두께 1mm의 시편을 사용하였기 때문에 두께의 영향은 없었다고 생각된다.

Peutzfeldt 등¹⁷⁾은 3초간 플라즈마광 중합의 중합깊이는 40초간의 할로겐광 중합에 비해 얇았다고 하였으며 중합된 깊이가 4mm 미만이었으므로 이 중 절반이 적절하게 중합되었다고 가정하면 2mm를 초과하지 않게 레진을 축성해야 한다고 하였다. Roberts 등¹⁸⁾은 플라즈마광으로 3초간 중합한 레진은 할로겐광으로 40초간 중합한 레진에 비해 시편의 상하면 경도가 모두 낮았다고 하였으며, Ergle과 Rueggeberg¹⁹⁾도 3초간 플라즈마광으로 중합한 경우에 아르곤레이저나 할로겐광으로 중합한 경우보다 레진의 경도가 유의하게 낮았다고 하였다. Burtscher 등²⁰⁾은 최소한 3회의 플라즈마광 중합이 레진의 완전한 중합에 필요하였다고 하였고, Hofmann 등²¹⁾은 플라즈마광으로 3초간 두 번 중합한 경우에 중에너지(550mW/cm²) 가시광선으로 중합한 경우와 비교해서 표면경도가 대등하였다고 하였다. Munksgaard 등²²⁾은 플라즈마광으로 중합된 복합레진에서 용리(熔離)된 단량체의 양이 할로겐광 중합군에 비해 4배 많았다고 하였다.

한편, 고강도 중합광을 조사할 때 복합레진 중합과 관련하여 발생하는 다른 문제들이 존재한다. 가장 큰 것은 복합레진 고유의 문제인 중합수축이 고강도 중합광에 의해 더 커짐으로써 수복물의 변형 적합도를 악화시키고 미세누출을 증가시킬 수 있다는 점이다⁴⁰⁻⁴⁴⁾. 이에 대한 해결책 중의 하나로서 광중합을 처음 시작할 때에는 저출력으로 조사하고 그 후에 고출력으로 조사하는 2단계 중합방법(soft-start polymerization)이 제안되고 있다⁴⁵⁻⁵⁰⁾. Pires 등⁵¹⁾은 레진표면에서 광조사기의 말단을 10mm 떨어지게 하면 표면의 강도는 약 50%로 감소하므로 2단계 중합장치가 내장되어 있지 않은 중합기도 정확하게 취급한다면 2단계 중합광으로 중합할 수 있다고 하였다.

총괄하여 볼 때, 복합레진의 두께 또는 깊이의 증가에 따른 레진 하면의 적절한 중합 여부 측면에서 볼 때 저자의 연구 결과는 3초간의 플라즈마광 중합이 40초간의 할로겐광 중합에 미

치지 못한다는 선행들의 연구결과와 일치하며, 강도가 매우 높은 고출력 광중합기의 경우에도 충분한 조사시간이 필요하다는 것을 강조한다. 저자의 연구결과에 근거하여 본다면 레진의 두께가 3mm 이내인 경우에는 플라즈마광을 3초간 3회 즉 9초간 조사함으로써 할로겐광을 40초간 조사하는 것과 대등한 중합을 일으킬 수 있다고 할 수 있다. 플라즈마광 중합기에 대한 정확한 평가를 위해서는 저자의 연구방법 외의 다른 접근 방법들을 사용한 연구들이 수행될 필요가 있다고 사료된다.

V. 결 론

플라즈마 아크 광원을 사용하는 광중합기를 저출력 할로겐 광원을 사용하는 전통적인 광중합기와 비교 평가하기 위하여, 세 종류의 복합레진을 두께가 2, 3, 4, 5mm인 몰드에 충전하고 레진 상면을 할로겐광으로 40초간, 플라즈마광으로 3, 6, 9초간 조사한 후 레진 상면과 하면의 표면미세경도를 각각 측정하였다.

1. 레진시편 상면의 표면경도와 하면의 표면경도 간의 차이는, 두께 2mm 시편에 할로겐광을 40초간 조사하였거나 플라즈마광을 9초간 조사한 경우들을 제외하고, 모두 유의하였다(P<0.05).
2. 레진시편 상면의 표면경도는 전체 실험군들에서 서로 유의한 차이가 없었다.
3. 레진시편 하면의 표면경도는 전체적으로 보아 할로겐광을 40초간 조사한 군들에서 가장 높았고 플라즈마광의 조사시간이 감소함에 따라 감소하였으며 레진시편의 두께가 증가함에 따라 감소하였다.

참고문헌

1. Fortin D, Vargas MA : The spectrum of composites: new techniques and materials. J Am Dent Assoc 131(Suppl):26-30, 2000.
2. Tirtha R, Fan PL, Dennison JB, Powers JM : In vitro depth of cure of photo-activated composites. J Dent Res 61:1184-1187, 1982.
3. Fowler CS, Swartz ML, Moore BK : Efficacy testing of visible-light-curing units. Oper Dent 19:47-52, 1994.
4. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW, Davis HC : Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. Am J Dent 6:91-95, 1993.
5. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davis HC : A predictive model for the polymerization of photo-activated resin composites. Int J Prosthodont 7:159-166, 1994.

6. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis Jr JW : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 19:26-32, 1994.
7. Eick JD, Welch FH : Polymerization shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quint Int* 17:103-111, 1986.
8. Nomoto R, Uchida K, Hirasawa T : Effect of light intensity on polymerization of light-cured composite resins. *Dent Mater J* 13:198-205, 1994.
9. 장기택, 이광수, 이상훈 : 아르곤 레이저와 가시광선의 복합레진 및 glass ionomer 증합에 관한 연구. *대한소아치과학회지* 23:136-137, 1996.
10. 전상언, 김용기 : 가시광선과 아르곤 레이저에 의한 복합레진 증합효과의 비교 연구. *대한소아치과학회지* 23:327-346, 1996.
11. 주상호, 최형준, 김성오, 이종갑 : 아르곤 레이저를 이용한 광증합 수복재의 물리적 성질에 관한 연구. *대한소아치과학회지* 25:368-382, 1998.
12. Kelsey WP, Blankenau RJ, Powell GL, et al : Power and time requirements for use of the argon laser to polymerize composite resins. *J Clin Laser Med Surg* 10:273-278, 1992.
13. 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.
14. Vargas MA, Cobb DS, Schmit JL : Polymerization of composite resins: argon laser vs conventional light. *Oper Dent* 23:87-93, 1998.
15. Fleming MG, Mailliet WA : Photopolymerization of composite resin using the argon laser. *J Can Dent Assoc* 65:447-450, 1999.
16. 김정옥 : 증합방법과 증합시간이 치면열구전색재의 미세경도와 마모도에 미치는 영향. *서울대학교 대학원 박사학위논문*, 2000.
17. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater* 16:330-336, 2000.
18. Roberts SB, Puckett AD, Inman CC, Fitchie GJ : Comparison of plasma arc and conventional halogen light-curing units. *J Dent Res* 79 (special issue): abstract no.1802, 2000.
19. Ergle JW, Rueggeberg FA : Composite depths of cure using a variety of curing sources. *J Dent Res* 79(special issue):abstract no.1804, 2000.
20. Burtscher P, Salz U, Rheinberger V : Curing ability of a plasma lamp. *J Dent Res* 79(special issue):abstract no.1531, 2000.
21. 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.
22. 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.
23. Nomoto R : Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. *Dent Mater J* 16:60-73, 1997.
24. Barghi N, Berry T, Hatton C : Evaluating intensity output of curing lights in private dental offices. *J Am Dent Assoc* 125:992-996, 1994.
25. Rueggeberg FA, Twiggs SW, Caughman WF, Khajotia S : Life time intensity profiles of 11 light-curing units. *J Dent Res* 75(special issue):abstract no.2897, 1996.
26. Poulos JG, Styner DL : Curing lights: changes in intensity output with use over time. *Gen Dent* 45:70-73, 1997.
27. Martin FE : A survey of the efficiency of visible light curing units. *J Dent* 26:239-243, 1998.
28. Miyazaki M, Hattori T, Ichiishi Y, et al : Evaluation of curing units used in private dental offices. *Op Dent* 23:50-54, 1998.
29. Solomon CS, Osman YI : Evaluating the efficacy of curing lights. *SADJ* 54:357-362, 1999.
30. 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.
31. International Standards Organisation Technical Committee 106 - Dentistry. Draft International Standard DIS 4049, 1998.
32. Jandt KD, Mills RW, Blackwell GB, Ashworth SH : Depth of cure and compressive strength of dental composites cured with blue light emitting diodes (LEDs). *Dent Mater* 16:41-47, 2000.
33. Harrington E, Wilson HJ : Depth of cure of radiation-activated materials. Effect of mould material and cavity size. *J Dent* 21:305-311, 1993.
34. Kanca J III : Visible light-activated posterior composite resins - a comparison of surface hardness and uniformity of cure. *Quintessence Int* 16:345-7,

- 1985.
35. Kanca J III : Visible light-activated composite resins for posterior use - a comparison of surface hardness and uniformity of cure. Update. Quintessence Int 16:687-90, 1985.
 36. Kanca J III : The effect of thickness and shade on the polymerization of light-activated posterior composite resins. Quintessence Int 17:809-811, 1986.
 37. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M : Curing depth of a composite veneering material polymerised with seven different laboratory photo-curing units. J Oral Rehabil 25:199-203, 1998.
 38. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M : Curing depth of four different composite veneering materials polymerised with different laboratory based photo-curing units. J Oral Rehabil 25:348-352, 1998.
 39. Matsumura H, Tanoue N, Atsuta M : Depth of cure of prosthetic composite materials polymerized with laboratory and handheld photocuring units. J Oral Rehabil 26:698-703, 1999.
 40. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MCRB : Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. J Dent 20:183-188, 1992.
 41. Bouschlicher MR, Vargas MA, Boyer DB : Effect of composite type, light intensity, configuration factor and laser polymerization on polymerization contraction forces. Am J Dent 10:88-96, 1997.
 42. Feilzer AJ, Dooren LH, de Gee AJ, Davidson CL : Influence of light intensity on polymerization shrinkage and integrity of restoration-cavity interface. Eur J Oral Sci 103:322-326, 1995.
 43. Unterbrink GL, Muessner R : Influence of light intensity on two restorative systems. J Dent 23:183-189, 1995.
 44. 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.
 45. Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH : Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without 'softstart-polymerization'. J Dent 25:321-330, 1997.
 46. Kanca J III, Suh BI : Pulse activation: reducing resin-based composite contraction stresses at the enamel cavosurface margins. Am J Dent 12:107-112, 1999.
 47. Oberlander H, Friedl KH, Schmalz G, et al : Clinical performance of polyacid-modified resin restorations using "softstart-polymerization". Clin Oral Investig 3:55-61, 1999.
 48. Koran P, Kurschner R : Effect of sequential versus continuous irradiation of a light-cured resin composite on shrinkage, viscosity, adhesion, and degree of polymerization. Am J Dent 11:17-22, 1998.
 49. Burgess JO, DeGoes M, Walker R, Ripps AH : An evaluation of four light-curing units comparing soft and hard curing. Pract Periodontics Aesthet Dent 11:125-132, 1999.
 50. Rueggeberg FA, Caughman WF, Chan DC : Novel approach to measure composite conversion kinetics during exposure with stepped or continuous light-curing. J Esthetic Dent 11:197-205, 1999.
 51. Pires JAF, Cvitko E, Denehy GE, Swift Jr EJ : Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. Quintessence Int 24:517-521, 1993.

Abstract

INFLUENCE OF LIGHT SOURCE AND CURING TIME
ON SURFACE HARDNESS OF RESIN COMPOSITES

Sang-Man Bae, D.D.S., M.S.D., Kwang-Hee Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,
Dae-Eup Kim, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Ho-Young Ahn, D.D.S., M.S.D.

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

The purpose of study was to compare the plasma arc light with the halogen light in composite resin curing. Three composite resin materials (Z-100, 3M, USA; Tetric Ceram, Vivadent, Liechtenstein; SureFil, Dentsply, USA) were filled in the teflon molds (4mm in diameter and 2, 3, 4, 5mm in thickness) and cured with either the conventional low-intensity light curing unit with a halogen lamp (Optilux 360, Demetron, U.S.A.) for duration of 40 seconds or with the high-intensity light curing unit with a plasma arc lamp (Flipo, Lokki, France) for duration of 3, 6, and 9 seconds. The intensity of halogen light was about 370mW/cm² and that of plasma light was about 1,900mW/cm². After one week, the surface hardnesses of both the top and the bottom of the resin samples were measured with a microhardness tester (MXT70, Matsuzawa, Japan). There were significant differences in the hardness between the top and the bottom of the resin samples except the 2mm thickness samples cured by halogen light for 40s or by plasma light for 9s. There was no significant difference between the hardness values of the top surfaces of the thickness groups. The hardness values of the bottom surfaces decreased as the curing time decreased and as the thickness of resin samples increased, and the three kinds of resin composites showed similar patterns. The results suggest that the halogen light for 40 seconds might be able to cure greater depth of resin composites than the plasma light for 3, 6, or 9 seconds.

Key words : Plasma, Halogen, Light-curing, Composite resin, Surface hardness