

Plasma arc light curing unit을 이용한 광중합형 수복재의 중합양상

우연선 · 정태성 · 김 신

부산대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

본 연구는 할로젠광과 비교하여, 고강도의 단축된 중합 시간을 장점으로 하는 플라즈마광의 효율성을 평가할 목적으로, 컷재, 중합 시간과 중합 거리에 따른 중합도의 변화를 검토, 광조사 시간을 증가시킬 경우 특정거리 이상에서도 수복물 하층까지 충분한 중합이 이루어지는지 알아 보고, 둘째, 중합 반경에 따라 균일한 중합이 이루어지는지 보기 위해 광조사 부위의 중심부와 외측 변연부의 중합도 차이를 비교하였다. 2mm 두께의 복합레진 시편의 상·하면 미세경도 측정을 통해 중합도를 비교해 본 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 거리증가에 따른 상대광도의 감소는 할로젠광에 비해 플라즈마광에서 그 차이가 적었다($p < 0.05$).
2. 플라즈마광, 할로젠광 모두 상면의 미세경도는 중합거리 2mm 이상부터 유의하게 감소되었으며, 중합시간의 증가에 따라 증가되었다($p < 0.05$).
3. 플라즈마광 3초를 제외하고, 하면의 미세경도 변화는 4mm 이상에서 급격히 감소하였으며, 상면에 비해 중합시간과 거리의 영향을 많이 받았다($p < 0.05$).
4. 플라즈마광, 할로젠광 모두 조사시간의 증가에도 불구하고 4mm 와 6mm 사이에서 하면의 미세 경도차는 비교적 크게 나타났다($p < 0.05$).
5. 플라즈마광을 6~9초 적용한 때와 할로젠광을 40~80초 적용한 때의 미세경도치 및 거리에 따른 경도 변화는 유사하였다($p > 0.05$).
6. 플라즈마광, 할로젠광 모두 레진 시편의 중앙에서 외측으로 갈수록 미세경도는 유의하게 감소하였다($p < 0.05$).

주요어 : 플라즈마광, 복합 레진, 중합 시간, 중합 거리, 중합 반경

I. 서 론

1970년대에 소개된 광중합 복합레진은 화학중합형에 비해 기포발생이나 변색이 적으며, 충분한 작업시간과 조작의 간편성 등으로 인해 수복분야에 지대한 공헌을 해 왔다¹⁾. 이후 수복재의 물성 향상과 장기간의 임상적 성공을 위한 연구가 활발히 지속되었으며, 특히 수복재료와 중합광원에 그 초점이 맞추어지고 있다. 중합광원에 있어서는 초기의 자외선을 이용한 중합에서 깊은 중합심도와 단축된 중합시간을 장점으로 하는 가시광선으로 대체된 이후 현재까지 할로젠 램프를 이용한 가시광선 중합이 가장 많이 사용되고 있다²⁾.

그러나, 중합시간이 아무리 단축되더라도 가시광선 중합형 복합레진에는 최소한 40초 이상의 중합시간이 요구되며, 적응법이 필요한 깊은 와동에서는 오랜 중합시간이 문제되고, 행동적 문제를 가진 어린이에서는 더욱 그러하다. 따라서, 이러한

문제점들을 극복하기 위한 대안으로 더 효율적인 중합광원을 찾기에 이르렀다. 중합시간의 단축을 위해 아르곤 레이저(argon laser)가 1980년대 후반, 플라즈마광(plasma arc light)이 1990년대 후반에 소개되었다^{3,4)}.

최근에 개발된 플라즈마광은 이온화된 분자와 전자의 기체상태의 혼합물로 구성된 glowing plasma로부터 빛이 방출되며, 470nm 주위의 다소 좁은 파장범위에서 매우 높게 출력된다³⁾. 그 광도가 1000mW/cm² 이상으로, 중합시간을 현저히 단축시키고, 광조사에 따른 출력의 변화가 거의 없다고 소개되고 있으나, 기존의 할로젠 램프와 비교할 경우 광도를 증가시키고, 조사시간을 감소시킨 결과가 최적의 균일한 중합을 이루는데 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 아직 명백히 밝혀진 바가 없다.

중합심도는 중합광의 강도, 광조사시간, 수복표면에서 조사단까지의 거리, 복합 레진 내에서의 빛의 산란, 흡수로 인한 감

쇠(attenuation)등 여러 요인에 의해 영향을 받으며, 빛의 강도는 수복재 표면으로부터 조사단까지의 거리가 멀어질수록 감소한다^{1,5-7)}. 일반적으로 수복재와 조사단간의 거리는 1mm 이내가 추천되지만, 모든 상황에서 최대한의 근접이 허용되지는 못한다. 예를 들면, 2급 와동에서 치은쪽을 수복하는 경우가 그러하며, 투명한 matrix band나 wedge 등을 사용해 빛이 도달되도록 하더라도, 조사단과의 거리는 여전히 임상적 문제로 남아 있게 된다⁸⁾. 기존의 가시광선을 이용한 광중합형 복합레진의 중합시간과 거리에 따른 중합도의 변화에 관한 안⁹⁾의 연구에서는, 조사시간의 증가에도 불구하고 특정거리 이상에서는 수복물 최하층의 중합도가 어느 수준 이하에 머물러 있음이 보고되었다.

또한, 현재 사용되고 있는 대부분의 중합기들에서 광강도는 점차 수렴되는 추세에 있으나, 이와는 별도로 광전달부에 있어서 빛이 들어가는 입구와 나오는 입구의 직경 차이로 인해 유도장치를 따라 넓은 부위로 퍼지면서 강도가 감소된다. 특히 유도장치의 중앙부는 빛의 집중력이 강하며 주변부에서는 급감하여 균일하지 못한 중합이 초래될 수 있다. 큰 수복물의 경우, 좁은 직경의 조사단으로 인해 제한된 부위에서만 중합이 이루어질 뿐 아니라, 중심부와 외측의 중합도에 있어서 현격한 차이가 발생할 수 있다. 최근에는 이러한 문제점을 보완하기 위해 더 큰 직경의 조사단을 가진 중합기기가 시판되고 있으며, 중합 방법도 광원을 수복물 상방에서 움직여 조사하거나 또는 몇 개의 부분으로 나눠 광원을 고정시키면서 중합하는 방법 등이 추천되고 있다^{9,10)}.

본 연구에서는 기존의 할로겐광과 비교하여, 비교적 새로운 중합광원인 플라즈마광의 효율성을 평가할 목적으로 시도되었다. 첫째, 일정 광도 하에서 중합시간과 거리에 따른 중합도의 변화를 검토함으로써 광조사시간을 증가시킬 경우 특정거리 이상에서도 수복물 하층까지 충분한 중합이 이루어지는지를 알아보고, 둘째, 광조사 부위의 중심부와 외측 변연부에서 균일한 중합이 이루어지는지 평가하기 위해서 미세경도를 측정하여 간접적으로 중합도를 평가해 본 결과, 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

광중합기로는 할로겐 램프를 사용하는 XL3000 (3M Dental Products, U.S.A.)과 plasma arc curing system을 사용하는 Flipo (LOKKI, France)를 선택하였고, 수복재로는 광중합형 복합레진인 Z-100 (3M Dental Products, U.S.A.)을 사용하였다. 광강도는 power MAX 600 laser fiber power meter (Molelectron, U.S.A.)로 측정하였고, 미세경도는 MVK-H1 (Akashi, Japan)으로 측정하였다.

2. 연구방법

실험 I. 중합시간과 중합거리에 따른 미세경도의 비교

1) 주형의 제작

수복재의 깊이를 부여하기 위해 2mm 두께의 가로 30mm, 세로 30mm의 불투명한 육면체의 아크릴 주형을 제작하고 중앙에 7mm 직경의 hole을 형성하여, 각 시간과 거리에 따라 5개씩 주형을 제작하였다.

2) 레진 시편의 제작 (Fig.1)

유리판 위에 놓인 주형안에 실험재료를 채워넣고 투명한 polyethylene strip으로 덮은 후 그 위에 다시 유리판을 위치시켜 편평한 면이 되도록 하였다.

조사단과의 거리가 0, 1, 2, 4, 6mm인 상태에서 plasma arc lamp로는 3, 6, 9초간, halogen lamp로는 40, 60, 80초간 광조사를 시행하였다. 광도는 광도측정계를 이용하여 mW/cm^2 의 단위로 측정하였는데 조사단과의 거리가 0mm인 경우의 광도를 100으로 하고 각 거리에서 얻은 값을 환산하여 상대광도(%)를 얻었다.

각 시편은 광조사후의 경화를 고려하여 광중합 후 24시간동안 실온의 암소에 보관하였다.

3) 표면 미세경도의 측정

미세경도 측정기를 사용하여 레진 시편의 상면과 하면의 경도를 측정하였다. 하중 300gm, acting period 10초로 압흔을 주고 400배율로 크기를 계측하여 Vickers Hardness Number (VHN)를 구하였다. 재료의 표층과 내층의 중합도의 차이를 알아보기 위해 시편의 상면과 하면의 중앙부위에서 3회 반복 측정하였다.

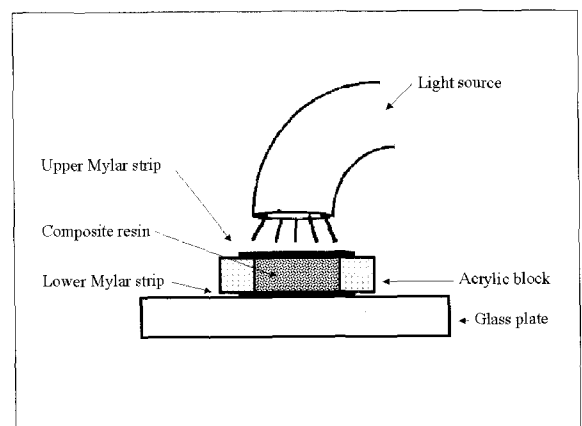


Fig. 1. Diagram of acrylic plastic mold showing light tip in position over resin sample.

4) 통계분석

SPSS Statistical Package (version 10.0)을 사용하여 자료를 분석하였다. 중합시간과 거리에 따른 경도 차이의 유의성을 검정하기 위해 two-way ANOVA를, 각 군간의 유의성의 검정을 위해 Tukey post-hoc test를 적용하였으며, 유의 수준은 0.05를 기준으로 하였다.

실험 II. 중합반경에 따른 미세경도의 비교

1) 주형 및 시편의 제작

실험 I 에서와 같이 레진을 주형에 충전하고 과잉의 레진을 제거한 후 최대 근접하여 plasma arc lamp로는 3초간, halogen lamp로는 40초간 중합을 하고, 실온의 암소에 24시간동안 보관하였다.

2) 표면 미세경도의 측정

시편의 중앙과 중앙에서 각각 1, 2mm 떨어진 부위 및 외측 경계에 근접한 부위에서 경도를 측정하였다.

3) 통계분석

중앙과 외측에서의 경도차를 비교하기 위해 one-way ANOVA 및 Tukey post-hoc test를 시행하고 유의수준 0.05에서 유의성을 검정하였다.

III. 연구성적

실험 I. 중합시간과 중합거리에 따른 미세경도의 비교

1) 상대광도 (Table 1)

조사단과의 거리가 0mm인 경우의 광도를 100으로 하고 각 거리에서 얻은 값을 환산하여 상대광도(%)를 얻었으며, 각 거

리에서 10회씩 측정하여 평균치를 구하였다. 플라즈마광의 강도는 기존의 할로겐 램프의 3.5~5 배에 이르렀고, 조사거리의 증가에 따른 상대광도의 감소가 적었으며, 플라즈마광에서는 4mm 이상, 할로겐광에서는 2mm 이상에서 상대광도의 감소가 급격히 일어났다(p<0.05).

2) 중합시간과 중합거리에 따른 미세경도의 비교 (Table 2)

플라즈마광, 할로겐광 모두 조사거리가 증가함에 따라 상면과 하면의 미세경도는 감소하였다.

상면의 미세경도는 플라즈마광, 할로겐광 모두 중합거리 2mm 이상부터 유의하게 감소하였으며, 중합시간이 길어질수록 증가하였다(p<0.05). 하면의 미세경도 변화는 상면에 비해 중합시간과 거리의 영향을 많이 받았으며, 플라즈마광 3초를 제외하고, 4mm 이상에서 급격히 감소하였다(p<0.05).

플라즈마광을 3초 적용한 경우의 미세경도는 다른 군들에 비해 떨어졌는데, 상면에서는 거리가 2mm 이상, 하면에서는 각각 거리의 증가에 따른 미세경도 간에 유의한 차이가 있었다(p<0.05).

플라즈마광을 6~9초 적용한 때와 할로겐광을 40~80초 적용한 때의 미세경도치 및 거리에 따른 경도 변화는 유사하게 나타났다. 특히 상면에서는 플라즈마광을 6초 적용한 경우와 할로겐광을 40초 적용한 경우가, 하면에서는 플라즈마광을 9초 적용한 경우와 할로겐광을 40초 적용한 경우의 미세경도치가 유사하였다.

상면과 하면의 미세경도차는 중합거리가 멀어질수록 증가하였는데, 플라즈마광을 3초 적용한 경우 1mm와 2mm 사이에서, 나머지는 4mm와 6mm 사이에서 그 차이가 유의하였다. 그리고 조사시간의 증가에도 불구하고 플라즈마광, 할로겐광 모두 중합거리가 4mm와 6mm 사이에서 하면 미세경도의 차이가 비교적 크게 나타났다(p<0.05).

Table 1. Light intensity of light curing units according to various distance

Light source	Distance(mm)	Light intensity(mW/cm ²)	Relative light intensity(%)
plasma arc light	0	1932±2.09	100
	1	1911±2.27	98.9±0.61
	2	1874±3.02	97.0±0.82
	4	1789±2.49	92.6±0.68
	6	1553±3.06	80.4±0.83
conventional halogen light	0	605±2.28	100
	1	584±2.30	96.5±0.62
	2	550±2.50	90.6±0.68
	4	426±2.49	70.4±0.68
	6	368±3.02	60.8±0.82

Mean ±SD

Table 2. Surface microhardness(Vickers hardness number) of composite resins cured with halogen or plasma arc light

Light source	Curing time(sec)		Distance (mm)				
			0	1	2	4	6
plasma arc light	3	top	113.99±1.06	112.91±1.41	112.08±1.27	109.77±1.22	101.27±2.44
		bottom	106.49±1.44	104.87±1.46	99.34±1.46	94.51±0.75	87.58±0.83
	6	top	118.35±1.07	117.39±1.66	116.45±0.80	115.20±0.99	111.71±2.36
		bottom	114.23±1.79	113.19±1.16	111.94±0.97	110.15±1.53	105.51±3.17
	9	top	119.59±1.32	119.35±1.18	117.92±2.17	116.11±1.99	113.85±1.35
		bottom	116.66±1.67	116.31±1.28	114.57±1.39	112.04±1.84	107.57±1.43
conventional halogen light	40	top	118.37±1.55	117.75±1.56	116.22±1.20	115.48±1.79	114.51±1.28
		bottom	116.37±1.13	115.54±0.99	113.70±0.89	112.67±1.90	108.65±1.44
	60	top	118.99±1.48	118.87±0.85	117.97±1.13	117.27±1.32	116.05±0.92
		bottom	116.41±1.10	115.93±0.87	114.43±1.32	113.77±1.01	109.81±1.31
	80	top	120.10±1.14	119.32±1.42	117.82±0.94	117.35±1.16	116.66±1.31
		bottom	117.34±1.19	116.81±1.61	116.17±0.90	115.47±0.71	112.29±0.88

Mean ±SD

Table 3. Surface microhardness of composite resins cured with halogen or plasma arc light according to distance from the center

Light source	Curing time(sec)		Distance from the center (mm)			
			0 (center)	1	2	periphery
plasma arc light	3	top	114.05±0.43	111.50±0.89	108.51±1.54	103.64±2.59
		bottom	106.49±0.62	103.77±0.94	99.97±0.90	88.65±0.95
conventional halogen light	40	top	118.34±0.77	115.09±1.46	112.99±1.25	111.81±1.21
		bottom	116.35±0.46	113.33±0.68	110.21±1.18	108.97±1.21

Mean ±SD

실험 II. 중합반경에 따른 미세경도의 비교(Table 3)

플라즈마광, 할로젠광 모두 레진 시편의 중앙에서 외측으로 갈수록 미세경도는 유의하게 감소하였으며(p<0.05), 플라즈마광을 적용한 시편의 하면에서, 중앙으로부터 2mm 떨어진 부위와 외측경계간의 미세경도의 차이가 현저하였다(p<0.05).

IV. 총괄 및 고찰

Plasma는 전기적 방전으로 인해 생기는 전하를 띤 양이온과 전자들의 집단으로 정의되며, 기체가 더 큰 에너지를 받았을 때 상전이와는 다르게 생성되는 전체적으로 전기적 중성을 띄는 물질의 제 4상태이다¹¹⁾.

중합시간의 단축과 관련, 최근에 개발된 고강도의 plasma arc lamp는 양 전극 사이에서 전자장이 형성되고 lamp내의 xenon gas가 가열되어 강력한 빛을 내는 plasma가 형성되는 원리를 이용한 것으로, 낮은 압력하에서는 청백색의 광을 방출하고 높은 압력하에서는 일광과 유사한 파장의 빛을 방출하며, 470nm 주위의 다소 좁은 파장범위에서 매우 높게 빛을 방출한다^{3,4,12)}. 그러므로, 적절히 여과된 고강도의 플라즈마광은 복합레진의 빠른 중합에 유용하며, 시간경과에 따라 출력이 감소되

지 않는 특성이 있으므로 중합광의 강도를 유지하는 측면에서 할로젠광에 비해 장점을 가진다.

광중합 복합레진의 최적의 균일한 중합을 위해서는 와동내 레진 하면에 중합광이 도달할 수 있도록 중합광의 강도가 충분해야 되고 또 레진층의 두께가 적절해야 한다. 중합광의 강도는 광중합기기 자체와 수복재 표면과 조사단과의 거리에 의해서 영향을 받는다. 일반적으로 거리가 증가하면 거리의 제곱에 반비례하여 강도가 감소한다¹³⁾고 알려져 있으나, Rueggeberg와 Jordan¹⁴⁾에 의하면 치과용 광중합기는 이 원리를 따르지 않으며, 본 연구에서도 이 원리와는 다르게 나타났다. 본 연구 성적에서 플라즈마광의 강도는 기존의 할로젠 램프의 약 3.5~5배에 이르렀고, 조사거리의 증가에 따른 상대광도의 감소가 비교적 적게 나타났다.

광조사 시간 역시 복합레진의 중합에 중요한 요소로, 레진의 두께가 증가할수록¹⁵⁾, 광중합기기의 출력상태가 최적이지 아닐수록 조사시간을 늘려야 한다. 그러나, 조사시간의 증가는 표층의 중합도에 더 많은 영향을 미치고, 실제로 복합 레진을 통과하면서 빛의 감쇠가 일어나므로 하층의 중합도에 더 큰 영향을 미치는 것은 중합광의 강도이다¹¹⁾. Caughman 등⁶⁾은 광조사시간은 충분한 광도를 얻을 수 있는 경우에만 고려될 요소이며, 조사단과 수복재 표면과의 거리는 6mm 이하, 수복재 각 층의

두께는 2mm 이하에서 60초간 광조사를 시행할 것을 추천하였고, Fowler 등¹⁶⁾은 중합광 출력감소가 중합깊이에 미치는 영향을 경도측정으로 평가하였을 때 레진시편 상면의 중합은 영향을 받지 않았으나 하면은 큰 영향을 받았으며 조사시간이 짧았을 때 그 영향이 더 컸다고 하였다. Kanca¹⁷⁻¹⁹⁾는 레진시편을 여러 조건으로 중합한 다음 시편의 상면과 하면의 경도 차이를 조사한 실험에서 노출시간을 증가시키고 광원과의 거리가 짧을수록 경도 차이가 작다고 하였다. Rueggeberg 등^{14,20-22)}은 레진의 광중합에 영향을 끼치는 주된 요인은 레진의 두께로서, 2mm 이상의 레진 두께에서는 중합이 불완전하고 광도와 조사시간의 변화에 민감하므로 레진의 두께는 2mm를 초과하지 말아야 하며, 1mm 두께의 레진층을 400JW/cm² 이상의 강도를 가진 광원으로 60초간 중합해야 한다고 하였다. 본 실험에서는 조사시간을 늘릴 경우, 그 효과가 떨어진 조사거리 및 감소된 광도를 극복할 수 있는지 확인하기 위해 플라즈마광에서는 9초까지, 할로겐광에서 80초까지 증가시킨 경우에도 4mm 와 6mm 사이에서의 하면의 미세경도 차이가 비교적 크게 나타나 조사시간이 감소된 광도를 보상하는 데에 한계가 있음을 알 수 있었으며, 광중합형 재료의 중합에 필요한 광도의 임계점이 존재하여 이 이하에서는 조사시간의 증가와 중합도의 증가는 무관하다는 선행²³⁾의 연구 결과와 일치하였다.

Peutzfeldt 등³⁾, Roberts 등²³⁾, Ergle과 Rueggeberg²⁴⁾, Burtscher 등²⁵⁾, Hofmann 등¹²⁾, Munksgaard 등²⁶⁾은 중합심도에 있어서 플라즈마광으로 3초간 중합하는 것이 할로겐광으로 40초간 중합한 것에 미치지 못한다고 보고하였다. Peutzfeldt 등³⁾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 등²³⁾은 플라즈마광으로 3초간 중합한 레진은 할로겐광으로 40초간 중합한 레진에 비해 시편의 상,하면 경도가 모두 낮았다고 하였으며, Ergle과 Rueggeberg²⁴⁾도 3초간 플라즈마광으로 중합한 경우에 아르곤레이저나 할로겐광으로 중합한 경우보다 레진의 경도가 유의하게 낮았다고 하였다. Burtscher 등²⁵⁾은 최소한 3회의 플라즈마광 중합이 레진의 완전한 중합에 필요하였다고 하였고, Hofmann 등¹²⁾은 플라즈마광으로 3초간 두 번 중합한 경우에 중에너지(550mW/cm²) 가시광선으로 중합한 경우와 비교해서 표면경도가 유사하였다고 하였다. 본 연구에서는 플라즈마광 3초 적용시의 미세경도는 다른 군들에 비해 현저히 낮았으며, 플라즈마광을 6~9초 적용한 때와 할로겐광을 40~80초 적용한 때의 미세경도치 및 거리에 따른 경도 변화는 유사하게 나타났다. 특히 상면에서는 플라즈마광을 6초 적용한 때와 할로겐광을 40초 적용한 때가, 하면에서는 플라즈마광을 9초 적용한 때와 할로겐광을 40초 적용한 때의 미세경도치가 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

한편, 빛이 조사된 부위의 중앙과 외측에서 균일한 중합이 이루어지는지 평가하기 위해 플라즈마광 3초, 할로겐광 40초 적

용한 후 중합 반경에 따른 미세경도치의 변화를 알아본 결과, 모두 중앙에서 외측으로 갈수록 미세경도의 감소가 유의하게 나타났으며, 특히 플라즈마광을 적용한 시편의 하면에서, 중앙으로부터 2mm 떨어진 부위와 외측경계간의 미세경도차가 현저했는데, 이는 짧은 조사시간의 영향인 것으로 사료되었다. Jennifer 등¹⁰⁾은 빛의 집중력의 불균일성 즉, 중심부에서 광도가 크고, 외측으로 갈수록 광도가 저하되는 이러한 양상을 conical pattern이라 하였다. 이것은 특히 조사단의 직경보다 큰 수복물의 경우, 더욱 문제시되며 균일하지 못한 중합으로 물성이 저하될 수 있음을 의미한다. Jennifer 등¹⁰⁾의 연구에 의하면 좁은 조사단(8mm)의 할로겐광을 20초 조사시에 직경 1.9mm까지, 60초 조사시에 직경 7mm까지 균일한 경도를 보인다고 하였으며, 넓은 조사단(13mm)의 경우 20초 조사시에 직경 8.15mm까지, 60초 조사시에 직경 8.9mm까지 균일한 경도를 보인다고 하여, 본 연구성과와는 다소 다른 결과치를 제시하였으나 외측으로 갈수록 경도가 감소되는 양상은 유사하였다.

큰 수복물에서 적절한 중합을 얻기 위해 추천되는 방법으로 광원을 수복물 상방에서 움직여 조사하거나 또는 몇 개의 부분으로 나눠 광원을 고정시키면서 중합하는 방법 등이 추천되고 있다^{9,10)}. 또한 큰 구경의 조사단을 사용할 것을 추천하고 있으나, 구경이 커질 경우 빛이 넓은 부위에 조사되며 유도 장치를 통과하는 과정에서 점차 약화되어 작은 구경의 조사단과 같은 빛의 집중력을 부여할 수 없으므로 조사시간을 늘릴 것을 추천하고 있다⁹⁾. Asmussen²⁷⁾과 Jennifer 등¹⁰⁾은 수복물을 몇 개의 부분으로 나누어 광원을 고정시키면서 중합하는 것이 광원을 움직일 때보다 더 높은 경도를 보인다고 하였고, Stanford²⁸⁾는 지속 중합과 순차적 중합에서 경도 차이가 유의하지 않았다고 보고하였다.

본 연구에서는 복합레진의 중합도를 평가하기 위해 미세 경도의 측정을 이용하였다. 미세 경도의 측정은 복합레진의 중합도를 평가하는데 널리 사용되는 방법으로, 결과적으로는 광원의 효율성을 평가함에 있어 유용한 방법이다²⁹⁾. Pilo와 Cardash³⁰⁾, Yearn³¹⁾, Johnstone 등³²⁾은 광중합 후 경과시간에 따른 중합 효과를 미세 경도차로 비교한 실험에서 복합레진의 중합은 첫 1시간 동안 상당히 이루어졌고, 1일까지는 지속적으로 중합되었으며 그 이후는 거의 차이가 없었다고 하였다. 이에 본 실험에서도 시편 제작 후 24시간 후에 미세 경도를 측정하였다.

향후 플라즈마광의 효율성에 대한 평가 시 실제 구강내 환경에 근접하여, 더욱 다양한 수복재료를 이용한 연구가 시행되어야 할 것으로 사료되며, 비록 본 연구에서 플라즈마광이 그 특성면에서 기존의 할로겐광에서 보였던 중합특성과 크게 차이가 나지 않았지만 같은 중합도를 보임에 있어서 총 조사시간이 감소된다는 측면을 고려할 때, 임상에서 매우 유용하다고 생각되었다.

V. 결 론

플라즈마광을 이용하여 일정 중합 광도하에서 중합거리 및 시간의 변화에 따른 복합레진의 중합도를 평가하고, 거리에 따른 적절한 중합시간을 파악하며, 빛이 조사된 부위의 중앙부와 외측에서 균일한 중합이 이루어지는지 평가하기 위해 재료의 상면과 하면의 미세경도를 측정하고, 기존의 할로겐 램프를 사용했을 때와 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 거리증가에 따른 상대광도의 감소는 할로겐광에 비해 플라즈마광에서 그 차이가 적었다($p < 0.05$).
2. 플라즈마광, 할로겐광 모두에서 상면의 미세경도는 중합거리 2mm 이상부터 유의하게 감소되었으며, 중합시간의 증가에 따라 증가되었다($p < 0.05$).
3. 플라즈마광 3초를 제외하고, 하면의 미세경도 변화는 4mm 이상에서 급격히 감소하였으며, 상면에 비해 중합시간과 거리의 영향을 많이 받았다($p < 0.05$).
4. 플라즈마광, 할로겐광 모두 조사시간의 증가에도 불구하고 4mm 와 6mm 사이에서 하면의 미세 경도차는 비교적 크게 나타났다($p < 0.05$).
5. 플라즈마광을 6~9초 적용한 때와 할로겐광을 40~80초 적용한 때의 미세경도치 및 거리에 따른 경도 변화는 유사하게 나타났다($p > 0.05$).
6. 플라즈마광, 할로겐광 모두 레진 시편의 중앙에서 외측으로 갈수록 미세경도는 유의하게 감소하였다($p < 0.05$).

참고문헌

1. 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.
2. McCabe JE, Carrick TE : Output from visible-light activation units and depth of cure of light-activated composites. *J Dent Res* 68:1534-1539, 1989.
3. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater* 16:330-336, 2000.
4. Oesterle LJ, Newman SM, Shellhart WC : Rapid curing of bonding composite with a xenon plasma arc light. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 119:610-616, 2001.
5. Baharav H, Brosh T, Pilo R : Effect of irradiation time on tensile properties of stiffness and strength of composites. *J Prosthet Dent* 77:471-474, 1997.
6. Caughman WF, Rueggeberg FA, Curtis JW Jr. : Clinical guidelines for photocuring restorative resin. *J Am Dent Assoc* 126:1280-1286, 1995.

7. Sakaguchi RL, Douglas WH, Peters MCRB : Curing light performance and polymerization of composite restorative materials. *J Dent* 20:183-188, 1992.
8. 안명기 : 광중합형 복합레진의 중합시간과 거리에 따른 중합도의 변화. 부산대학교 대학원 석사학위논문, 2001.
9. Luiz N : *Esthetics*, Sao Paulo : Livraria Santos Editora Ltda., p.116-134, 1998.
10. Jennifer CN, Gerald ED, Daniel BB : Effects of polymerization techniques on uniformity of cure of large-diameter, photo-initiated composite resin restorations. *J Am Dent Assoc* 113:905-909, 1986.
11. Shintani H, Inoue T, Yamaki M : Analysis of camphoroquinone in visible light cured composite resins. *Dent Mater* 1:14-26, 1985.
12. 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.
13. Phillips RW : *Skinner's science of dental materials*. ed 8. Philadelphia: Saunders. 230, 1982.
14. Rueggeberg FA, Jordan DM : Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont* 6:364-370, 1993.
15. Ota K, Kopel HM, Nakamura RM, et al. : Effect of light exposure time on the depth of curing in various composite systems. *Pediatr Dent* 7:19-22, 1985.
16. Fowler CS, Swartz ML, Moore BK : Efficacy testing of visible-light-curing units. *Oper Dent* 19:47-52, 1994.
17. Kanca J 3rd : Visible light-activated posterior composite resins -a comparison of surface hardness and uniformity of cure. *Quintessence Int* 16:345-347, 1985.
18. Kanca J 3rd : Visible light-activated composite resins for posterior use -a comparison of surface hardness and uniformity of cure. *Update. Quintessence Int* 16:687-690, 1985.
19. Kanca J 3rd : The effect of thickness and shade on the polymerization of light-activated posterior composite resinse. *Quintessence Int* 17:809-811, 1986.
20. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW, et al. : Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent* 6:91-95, 1993.
21. 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.
22. 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.
 23. 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.
 24. Ergle JW, Rueggeberg FA : Composite depths of cure using a variety of curing sources. *J Dent Res* 79(special issue):abstract no.1804, 2000.
 25. Burtscher P, Salz U, Rheinberger V : Curing ability of a plasma lamp. *J Dent Res* 79(special issue):abstract no.1531, 2000.
 26. 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.
 27. Asmussen E : Factors affecting the quantity of remaining double bonds in restorative resin polymers. *Scand J Dent Res* 90:490-496, 1982.
 28. Stanford CM : Sequential and continuous irradiation polymerization of photoactivated composites. *J Dent Res* 63(special issue):abstract no.1091, 1984.
 29. Atmadja G, Bryant RW : Some factors influencing the depth of cure of visible light-activated composite resins. *Aust Dent J* 35:213-218, 1990.
 30. Pilo R, Cardash HS : Post-irradiation polymerization of different anterior and posterior visible light-activated resin composites. *Dent Mater* 8:299-304, 1992.
 31. Yearn JA : Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J* 35:218-225, 1985
 32. Johnstone WM, Leung RL, Fan RL : A mathematical model for post-irradiation hardening of photoactivated composite resins. *Dent Mater* 1:191-194, 1985.

Abstract

**A STUDY ON THE MODE OF POLYMERIZATION OF LIGHT-CURED RESTORATIVE
MATERIALS CURED WITH PLASMA ARC LIGHT CURING UNIT**

Youn-Sun Woo, Tae-Sung Jeong, Shin Kim

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Pusan National University

The purpose of this study was to compare the effect of distance of light tip to resin surfaces and exposure time on the polymerization of surface and 2 mm subsurface of composite resins cured with two light sources: conventional halogen light (XL 3000, 3M, U.S.A.) and plasma arc light (Flipo, LOKKI, France) and compare the uniformity of polymerization from the center to the periphery of resin surfaces according to polymerization diameter cure with two light sources.

From the experiment, the following results were obtained.

1. Difference of relative light intensity decrease in plasma arc light smaller than that of conventional halogen light($p < 0.05$).
2. In all groups, microhardness of top surfaces was decreased when distance of the light tip to resin surfaces is more than 2mm and increased according to increase of exposure time($p < 0.05$).
3. Difference of microhardness of the 2mm subsurface was rapidly decreased when distance of light tip to resin surfaces is more than 4mm(except, plasma arc light exposure time of 3 seconds). and the distance of light tip to resin surfaces and exposure time more affected 2mm subsurface rather than top surface($p < 0.05$).
4. Although exposure time was increased, difference of microhardness of the 2mm subsurface with the distance of light tip to resin surfaces was relatively high in groups between below 4mm and 6 mm($p < 0.05$).
5. Plasma arc light exposure time of 6 to 9 seconds produced microhardness values and microhardness change according to various distance similar to those produced with 40 to 80 second exposure to a conventional halogen light($p > 0.05$).
6. In all groups, microhardness was decreased gradually from the center to the periphery of resin surfaces($p < 0.05$).

Key words : Plasma arc light, Composite resins, Exposure time, Distance, Polymerization diameter