

광중합형 복합레진의 중합시간과 거리에 따른 중합도의 변화

안명기 · 정태성 · 김 신

부산대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

본 연구에서는 광중합형 복합레진을 대상으로 중합거리와 시간의 변화에 따른 중합도와 거리에 따른 적절한 중합시간을 알아보기 위하여 일정 중합 광도하에서 중합거리와 시간을 달리하여 재료의 표면과 2mm 하방의 미세경도를 측정하고 이를 통하여 간접적으로 중합도를 평가하였다. 광중합형 복합레진으로 Z100과 Z250을 사용하였고 각 재료별로 조사단과의 거리가 0, 2, 4, 6mm인 상태에서 20, 30, 40, 60, 80초간 광조사를 시행하였다. 중합 후 표층과 내층의 경도를 미세경도 측정기로 측정하였다. 측정치를 통계처리하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 거리의 증가에 따라 상대광도는 2mm이상에서 급격히 감소하였다($p<0.05$).
2. 미세 경도는 상대광도와 조사시간의 증가에 따라 표층 및 내층에서 모두 증가하였다($p<0.05$).
3. 내층이 표층에 비해 상대적으로 중합거리와 시간의 영향을 많이 받았다($p<0.05$).
4. 조사 시간의 증가에도 불구하고 Z100 시편에서 중합거리가 4mm 이하군과 6mm군에서, Z250 시편에서는 2mm 이하군과 4mm 이상군에서 내층의 미세 경도 차이가 비교적 크게 나타났다($p<0.05$).

주요어 : 광중합형 복합레진, 중합시간, 거리, 미세경도

I. 서 론

복합레진, 콤포머 및 광중합형 글래스 아이오노머 시멘트 등의 발달에 따라 광선을 이용한 수복재의 중합은 수복학 분야에 있어서 이제 주요한 중합방식이 되었다. 복합레진은 초기의 화학 중합형 레진에 이어 비교적 조절이 쉬운 자외선 중합형이 개발되었으나 자외선의 유해 효과¹⁾와 중합심도가 제한적²⁾이라는 단점이 있었다. 이러한 단점들은 가시광선 중합형 복합레진이 개발됨에 따라 대부분 극복되었으며 새로운 제품들이 개발되면서 중합심도가 증가되고 광조사 시간은 짧아졌다. 광중합형 복합레진은 화학중합형에 비해 혼합이 불필요한 단일 paste형태이므로 기포발생의 위험이 없고, 작업시간이 충분하며 중합이 더 빨리 이루어지며 amine accelerator를 함유하고 있지 않기 때문에 색조안정성이 개선된 점 등의 장점을 제공해 준다^{3,4)} 이들의 중합은 전적으로 충분한 광에너지 전달에 의존한다는 단점을 가진다⁵⁾. 충분한 중합이 이루어지지 않은 경우 수복물의 기계적 물성이 저하되고 중합이 되지 않고 남아있는 단량체에 의한 치수 자극의 위험이 있다⁶⁾.

광조사동안 빛의 강도에 영향을 미치고 중합된 수복재료의

물성에 영향을 미치는 많은 변수들이 있으나⁶⁾ 술자가 조절할 수 있는 부분은 조사단과 수복재 표면과의 거리이다. 빛의 강도는 조사단이 수복재의 표면으로부터 거리가 멀어짐에 따라 감소된다⁷⁾. 또한 광중합형 복합레진의 광중합시 상층은 빛의 투과를 방해하는 레진층이 존재하지 않기 때문에 상대적으로 낮은 광도를 가지는 광원에서도 높은 광도를 가지는 경우와 유사한 중합도를 나타낸다고 알려져 있으나⁶⁾ 빛이 레진층을 투과할 경우 빛의 강도는 급격히 감소하며 따라서 충분한 중합을 얻을 수 없게 된다^{6,8)}.

이상적으로는 조사단과 수복재의 거리를 가급적 근접시키는 것이 좋으나⁸⁾, 임상적으로는 모든 경우에 이를 만족시킬 수는 없다. 예를 들면, 2급 와동을 광중합형 복합레진으로 수복하는 경우 치은벽의 깊이와 matrix의 높이 때문에 광조사단을 근접시키기 불가능해 진다. 이와 함께 2급 와동을 광중합형 복합레진으로 수복할 경우 나타날 수 있는 중합수축과 이로 인한 치은 변연의 미세 누출을 극복하기 위해 중합수축은 빛의 기시 방향으로 일어난다는 이론하에 빛이 투과할 수 있는 투명한 matrix나 wedge와 같은 기구들을 이용한 three-sided light curing technique^{9,10)}과 transparent cone^{11,12)}을 이용한 중합 기법 등

이 소개되었다. 그러나 Prati 등⁸⁾은 빛이 치아의 경조직을 통과할 경우 상당한 감소가 일어나므로 범랑질이나 상아질을 통한 광중합은 추천되지 않으며 교합면을 통해 빛을 조사할 경우에도 투명한 matrix를 이용할 경우 빛의 분산이 많이 일어나기 때문에 금속제 matrix를 사용할 것을 추천하였다. 또한 Versluis 등¹³⁾은 복합레진의 중합수축은 빛을 향해 일어나지 않으며 중합수축의 방향은 와동의 형태나 접착의 질에 의해 결정되었다고 보고한 바 있다.

수복재의 중합도를 평가하는 방법에는 레진내의 미반응 단량체의 양을 측정하여 중합도를 알아보는 직접법¹⁴⁾과 투광도¹⁵⁾, 미세경도¹⁶⁾ 등을 측정하는 간접법이 있다. 이중에서 재료의 경도는 흔히 기계적 강도, 견고성, 구강내의 연화성에 대한 저항과 관련있으며 미세경도의 측정은 중합의 상대적인 정도를 평가할 수 있는 간접적인 방법으로서¹⁷⁾ 일반적으로 높은 경도를 나타내면 중합이 많이 이루어졌음을 의미한다¹⁸⁾.

지금까지 광중합형 복합레진의 경우 중합거리나 광도에 따른 중합심도나 중합도에 관한 보고는 많았으나 충분한 중합도를 얻기 위한 적절한 광조사시간에 관한 연구는 찾기 힘들어 이에 관한 연구가 필요할 것으로 사료되었다. 따라서, 본 연구에서는 광중합형 복합레진을 대상으로 중합거리와 시간의 변화에 따른 중합도와 거리에 따른 적절한 중합시간을 알아보기 위하여 일정 중합 광도하에서 중합거리와 시간을 달리하여 재료의 표면과 2mm 하방의 미세경도를 측정한 후 이를 통하여 간접적으로 중합도를 평가하여 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

광중합형 복합레진으로 Z100과 Z250(3M Dental products, U.S.A.)을 사용하였고(Table 1) 가시광선 중합기는 XL 3000(3M Dental Products, U.S.A.)을, 광도측정계는 digital type인 Cure Rite(EFOS, U.S.A.)를 이용하였고 미세경도는 MVK-H1(Akashi, Japan)으로 측정하였다.

2. 연구방법

1) 주형의 제작

수복재의 깊이를 부여하기 위해 2mm 두께의 가로 30mm, 세로 30mm의 불투명한 육면체 아크릴 주형을 제작하였다. 중앙에 광조사기의 끝과 동일한 7mm 직경의 hole을 형성하였고

Table 1. Composite resins used in this study

Material	Curing mode	Shade	Filler type	Manufacturer
Z100	Light	A2	Hybrid	3M, U.S.A.
Z250	Light	A2	Hybrid	3M, U.S.A.

각 시간과 거리에 따라 5개씩의 주형을 제작하였다.

2) 시편의 제작

유리판 위에 놓인 주형 안에 실험재료를 채워놓고 투명한 strip을 얹은 후 그 위에 다시 유리판을 위치시켜 편평한 면이 되도록 하였다. 각 재료별로 조사단과의 거리가 0, 2, 4, 6mm인 상태에서 20, 30, 40, 60, 80초간 광조사를 시행하였다. 광도는 광도 측정계를 이용하여 mW/cm²의 단위로 측정하였는데 조사단과의 거리가 0mm인 경우의 광도를 100으로 하고 각 거리에서 얻은 값을 환산하여 상대광도(%)를 얻었다.

3) 미세경도측정

미세경도 측정기를 이용하여 미세경도를 측정하였으며 300g의 하중에 10초의 조건으로 압흔을 만든 후 400배로 확대하여 Vickers Hardness Number(VHN)를 구하였다. 재료의 표층과 내층의 중합도의 차이를 알아보기 위해 시편의 상면과 하면에 무작위로 각각 2곳에서 측정하여 비교하였다.

4) 통계처리

실험결과 얻은 자료는 ANOVA, Student t-test, 그리고 시편의 상, 하면에서 시간과 거리에 따른 경도차이를 검증하기 위해 Duncan's multiple range test를 적용하였다.

III. 연구성적

1. 상대광도

조사단과의 거리가 0mm인 경우의 광도를 100으로 하고 각 거리에서 얻은 값을 환산하여 상대광도(%)를 얻었으며 각 거리에서 10회씩 측정하여 평균값을 구하였다(Table 2). 거리가 6mm인 경우 0mm인 경우의 약 67%의 상대광도를 나타냈다.

2. 중합시간과 중합거리에 따른 미세경도의 차이

Z100과 Z250 두 재료에서 일정 중합 광도하에 중합거리가 0, 2, 4, 6mm인 상태에서 20, 30, 40, 60, 80초간 광조사를 시행한 후 미세경도 측정기를 이용하여 시편의 상면과 하면의 미세경도를 측정한 결과는 Table 3, 4와 같다.

Table 2. Light intensity of visible light-curing unit with various distance

Distance(mm)	Light intensity (mW/cm ²)	Relative light intensity(%)
0	366.8±2.09	100
2	359.4±2.27	97.98±0.61
4	286.6±3.02	78.13±0.82
6	244.0±2.49	66.52±0.68

Mean±SD

Table 3. Vicker's hardness number of Z100

Curing time(sec)		Distance(mm)			
		0	2	4	6
20	top	107.54±1.13	107.51±1.65	106.60±0.43	106.52±1.32
	bottom	101.07±0.94	102.10±4.50	96.43±1.34	93.51±2.35
30	top	109.22±1.24	109.05±2.09	108.12±1.52	107.82±1.56
	bottom	102.91±1.27	102.52±2.23	100.27±0.77	98.83±0.96
40	top	110.70±1.88	110.51±1.11	109.92±1.34	108.71±1.30
	bottom	109.58±1.89	109.29±2.25	103.64±1.06	102.34±1.51
60	top	111.09±1.78	110.63±0.78	110.60±1.68	108.92±1.46
	bottom	109.61±2.26	109.52±3.04	108.75±1.75	102.21±0.48
80	top	111.30±3.72	111.48±1.68	110.71±1.48	109.21±1.88
	bottom	109.64±2.20	109.67±1.48	109.10±1.64	102.42±1.91

Mean±SD

Table 4. Vicker's hardness number of Z250

Curing time(sec)		Distance(mm)			
		0	2	4	6
20	top	83.92±1.85	83.57±1.11	82.13±0.75	81.82±2.12
	bottom	79.73±3.37	79.36±0.38	73.38±2.27	68.72±2.68
30	top	86.31±0.96	84.92±1.85	82.87±1.05	82.72±1.37
	bottom	81.21±2.37	79.38±1.03	73.63±0.93	70.62±0.86
40	top	86.52±0.58	85.54±2.56	83.29±1.21	83.03±0.69
	bottom	84.63±0.64	81.24±1.61	74.24±1.14	71.00±0.64
60	top	86.55±1.87	85.82±1.39	84.17±1.09	82.51±3.09
	bottom	84.87±1.09	82.48±0.43	74.63±1.39	73.82±1.38
80	top	86.72±0.98	86.21±1.07	84.41±1.13	84.14±0.95
	bottom	85.91±0.35	84.59±0.39	75.69±0.63	74.32±1.74

Mean±SD

각 시간과 거리에서 각 시편의 상면과 하면의 미세경도를 비교했을 때 Z100과 Z250에서 미세경도가 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 조사시간의 증가에 따라 Z100에서는 중합거리 6mm, Z250에서는 4mm와 6mm를 제외하고 상면과 하면의 미세경도의 차이는 유의하게 감소하였다($p<0.05$).

상대광도와 조사시간의 증가에 따른 미세 경도는 Z100과 Z250에서 시편의 상면 및 하면에서 모두 증가하였으며 상면에서는 각 거리에서 시간의 증가에 따른 미세경도는 유의한 차이를 나타내지 않았다($p<0.05$). 그러나 하면의 경우 Z100에서 중합거리가 0mm와 2mm일 때 30초와 40초 사이에서, 4mm일 때 40초와 60초에서, 그리고 6mm에서는 30초와 40초 사이에서 미세경도의 차이가 비교적 크게 나타났다($p<0.05$). 또한 Z250에서는 중합거리가 0mm에서 30초와 40초 사이에서 미세경도의 차이가 비교적 크게 나타났으며 거리가 2mm 이상에서는 각 시간에서 미세 경도의 차이가 낮으나 그 값이 비교적 작게 나타났다($p<0.05$). 그리고 조사시간의 증가에도 불구하고

Z100에서 중합거리가 4mm 이하와 6mm에서, Z250에서는 2mm 이하와 4mm 이상에서 내층의 미세 경도 차이가 비교적 크게 나타났다($p<0.05$).

IV. 총괄 및 고찰

모든 복합레진의 중합은 자유기 중합방식(free radical polymerization mechanism)을 이용하는 것이다. 화학 중합형의 경우에는 benzoyl peroxide와 amine의 화학적인 상호작용에 의해 자유기가 생성되고 가시광선 중합형의 경우에는 적절한 파장의 빛이 α -diketone(주로 camphoroquinone)에 의해 흡수되어 amine reducing agent와 반응하고 이것이 자유기를 형성한다¹⁹⁾. 이렇게 형성된 자유기가 methacrylate group의 중합을 개시하여 polymeric matrix 와 가교(cross link)를 형성함으로써 중합이 이루어진다²⁰⁾.

충분한 빛의 광도, 적절한 파장, 그리고 적절한 중합시간이

높은 중합도를 얻기 위한 필수적인 조건이다²¹⁾. 빛의 광도는 cm^2 당 mW 로 표시된다²²⁾. 이 광도는 광원으로부터의 거리^{6,8,23,24)}와 복합레진 자체에 의해 감소하게 되며^{6,15)} 물리적 성질 뿐 아니라 치아와의 결합력에도 영향을 미친다²²⁾. 복합레진을 통한 빛의 전달에 영향을 미치는 요소에는 재료의 두께²⁵⁻²⁷⁾, filler 입자의 크기와 양²⁴⁾, 재료의 색상²⁴⁾, 와동의 형태²²⁾ 등이 있다.

광중합형 복합레진에서 광기시제인 camphoroquinone은 450~480nm 파장의 청색광으로 활성화되어 중합반응을 시작하므로 광중합기에서 발생하는 가시광선의 파장과 광도는 중합에 중요하다. McCabe와 Carrick²⁸⁾은 특정 파장(460~480nm)의 광도가 증가할수록 광중합형 복합레진의 중합심도도 증가한다고 하였다. Rueggeberg 등²⁷⁾은 2mm 두께의 광중합형 복합레진을 충분히 중합시킬 수 있는 최소 광도는 $400\text{mW}/\text{cm}^2$ 라고 보고했으며 $800\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 광도로 80초간 광조사를 해도 3mm 두께의 복합레진을 중합시키기에는 불충분하다고 보고하였다. Berry 등²⁹⁾은 광도가 $300\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상인 가시광선은 제조사가 추천한 광조사 시간으로 충분히 중합도를 얻을 수 있으며 $200\sim 300\text{mW}/\text{cm}^2$ 인 가시광선은 제조사가 추천한 시간보다 광조사를 장시간 하여야 하고 $200\text{mW}/\text{cm}^2$ 이하인 가시광선은 장시간 광조사하여도 충분한 중합도를 얻을 수 없다고 하였다.

일반적으로 광도는 수복재 내부를 통과하면서 크게 감소하므로 수복재의 중합은 표면에서 내부로 들어갈수록 감소한다⁶⁾. 복합레진의 filler 입자는 빛을 산란시키며 어두운 색상일수록 빛을 많이 흡수하게 된다²⁴⁾. 따라서 표면경도의 측정으로 광중합 재료의 완전한 중합을 알 수는 없다. Rueggeberg와 Jordan⁶⁾도 광중합 수복재의 표층의 중합도는 재료 전체의 중합도를 평가하는데 적절하지 못하며 광원의 세기가 급작스럽게 떨어져도 표층은 비교적 높은 중합도를 보이고 따라서 비교적 높은 경도치를 보인다고 하였다. 이번 실험에서도 광원으로부터의 거리가 멀어졌을 경우 표층의 중합도는 내층에 비해 크게 차이가 나지 않았으며 이를 통해 표면 경도와 중합 깊이 사이에는 상관관계가 없음을 알 수 있다.

앞에서 언급된 광도와 관련된 요소는 광중합기의 상태에 따라 결정되며 술자가 직접 조절할 수 없다. 그러나 광도는 수복재의 표면과 광조사단과의 거리에 의해서도 영향을 받는다. 일반적으로 광도는 수복재와 조사단과의 거리의 제곱에 반비례한다고 알려져 있다³⁰⁾. 이 원리에 따르면 조사단을 수복재의 표면에 근접시키지 못 할 경우 중합에 상당한 악영향을 미치게 된다. 그러나 Rueggeberg와 Jordan⁶⁾은 치과용 광중합기는 이 원리를 따르지 않으며 수복재의 표면과 조사단과의 거리가 1cm를 넘지 않을 경우 광도의 감소는 크지 않았다고 보고한 바 있다.

광중합 복합레진의 중합에 있어서 광도 뿐 아니라 광조사시간도 중요한 요소이다. 일반적으로 레진의 두께가 증가할수록 광조사시간을 증가시켜야 한다^{21,26)}. Pires 등²¹⁾은 지속되는 광

조사는 표층주변의 광중합 기시제인 camphoroquinone을 계속적으로 활성화시키기 때문에 표층의 중합도에는 더 많은 영향을 미치나 복합레진을 통과하면서 빛이 산란되고 흡수되기 때문에 광도가 더욱 중요한 요소라고 하였다. Atmadja와 Bryant²⁵⁾는 충분한 중합을 얻기 위해서는 조사시간을 증가시키는 것보다 레진의 두께를 감소시키는 것이 더욱 효율적인 방법이라고 보고했다. Caughman 등²⁴⁾은 광조사시간은 충분한 광도를 얻을 수 있는 경우에만 고려될 요소이며 $280\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상의 광도, 조사단과 수복재의 표면과의 거리는 6mm 이하, 수복재 각층의 두께는 2mm 이하에서 60초간 광조사를 시행할 것을 추천하였다. 본 실험에서는 조사 시간을 80초까지 증가시킨 경우에도 Z100 시편에서 중합거리가 4mm 이하와 6mm에서, Z250 시편에서는 2mm 이하와 4mm 이상에서 하면의 미세 경도 차이가 비교적 크게 나타나 이 사이의 상대 광도치에서 이들 광중합형 재료의 최소한의 중합에 필요한 임계점이 존재하며 이 이하에서는 조사시간의 증가가 중합도의 증가와 무관할 것으로 판단되었다.

최근의 광중합기는 argon ion laser나 plasma arc를 이용한 것이 특징이다. 이러한 높은 광도를 가지는 광중합기는 최소한의 시간동안 적용되며 수복재의 충분한 중합깊이와 기계적 물성의 향상을 위해 추천된다. 그러나 Unterbrink와 Muessner³¹⁾는 $450\text{mW}/\text{cm}^2$ 이상의 광도에서는 중합수축의 증가로 인한 변연 적합도의 감소로 미세누출의 증가가 일어날 가능성이 높다고 보고했으며 Peutzfeldt 등³²⁾은 plasma arc를 이용한 광중합기의 경우 중합시간을 줄여줄 수 있으나 중합의 특성은 다소 떨어진다고 보고하였다.

또한 광중합도를 향상시키고 균일하고 적은 중합수축 발생을 얻기 위해서 광원의 강도가 약한 값에서부터 서서히 중합시키는 방법도 소개되었다^{33,34)}. Burgess 등³³⁾은 이러한 Stepped intensity curing을 할 경우 발생하는 응력을 효과적으로 제거하여 복합레진의 기계적 물성을 저하시키지 않았고 argon ion laser나 plasma arc를 이용한 중합법에 비해 우수한 변연 적합도를 나타냈다고 보고하였다. 그러나 Rueggeberg 등³⁴⁾은 표층과 1mm 깊이에서 상당히 낮은 변환률을 보이므로 조사시간의 증가가 필요하다고 보고하였다.

본 연구에서는 복합레진의 중합도를 알아보기 위해 간접법의 하나인 미세경도를 사용하였다. 미세경도와 중합도간에 밀접한 관계가 있다고 알려져 있으나 정확한 중합도를 알아보기 위해서는 미반응 단량체의 양을 측정하는 직접법을 적용하는 것이 우선이며 이런 경우에는 광도나 중합거리에 따른 중합도의 절대값을 얻을 수 있을 것이다.

빛의 강도는 조사단과 수복재의 거리와 밀접한 관련을 가지기 때문에 조사단을 이상적으로 위치시키기 어려운 경우에는 높은 광도를 가지는 광중합기를 사용하거나 이중중합형 수복재나 화학 중합형 수복재를 사용하는 것이 보다 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 또한 광중합형 복합레진의 경우 초기 중합 후에도 중합이 지속된다고 알려져 있으므로^{12,25,35)} 앞으로 광중합

형 복합레진의 초기 중합도가 이후 일어나는 중합정도에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 사료되었다. 광중합재료의 중합과 관련된 요소는 이처럼 다양하며 약한 광도나 짧은 중합 시간 등 관련 요소가 부적절할 경우 재료의 중합도에 영향을 주므로 여러 요소를 주기적으로 검사하는 것이 중요할 것이다.

V. 결 론

광중합형 복합레진을 대상으로 중합거리와 시간의 변화에 따른 특성의 차이를 비교하고 거리에 따른 적절한 중합시간을 평가할 목적으로, 일정한 중합광도하에서 중합거리와 시간을 달리 하여 재료의 표층과 내층의 미세경도를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 거리의 증가에 따라 상대광도는 2mm이상에서 급격히 감소하였다(p<0.05).
2. 미세 경도는 상대광도와 조사시간의 증가에 따라 표층 및 내층에서 모두 증가하였다(p<0.05).
3. 내층이 표층에 비해 상대적으로 중합거리와 시간의 영향을 많이 받았다(p<0.05).
4. 조사시간의 증가에도 불구하고 Z100 시편에서 중합거리가 4mm 이하군과 6mm군에서, Z250 시편에서는 2mm 이하군과 4mm 이상군에서 내층의 미세 경도 차이가 비교적 크게 나타났다(p<0.05).

참고문헌

1. BurdSELL DC, BANNON PJ, WEBB PB : Harmful effects of near-ultraviolet radiation used for polymerization of a sealant and a composite resin. *J Am Dent Assoc* 94:311-314, 1977.
2. Lee HL, Orlowski JA, Rogers BJ : A comparison of ultra violet curing and self curing polymers in preventative, restorative and orthodontic dentistry. *Int Dent J* 26:134-151, 1976.
3. Kawaguchi M, Fukushima T, Miyazaki K : The relationship between cure depth and transmission coefficient of visible-light-activated resin composites. *J Dent Res* 73:516-521, 1994.
4. 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.
5. Burke FJ : Light-activated composites: the current status. *Dent Update* 12:182, 184-186, 188, 1985.
6. Rueggeberg FA, Jordan DM : Effect of light-tip distance on polymerization of resin composite. *Int J Prosthodont* 6:364-370, 1993.
7. Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B : Visible light-

- activated resins—depth of cure. *J Am Dent Assoc* 106:634-637, 1983.
8. Prati C, Chersoni S, Montebugnoli L, Montanari G : Effect of air, dentin and resin-based composite thickness on light intensity reduction. *Am J Dent* 12:231-234, 1999.
9. Lutz F, Krejci I, Oldenburg TR : Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int* 17:777-784, 1986.
10. Lutz F, Krejci I, Barbakow F : Restoration quality in relation to wedge-mediated light channeling. *Quintessence Int* 23:763-767, 1992.
11. Ericson D, Derand T : Reduction of cervical gaps in class II composite resin restorations. *J Prosthet Dent* 65:33-37, 1991.
12. Ericson D, Derand T : Increase of in vitro curing depth of class II composite resin restorations. *J Prosthet Dent* 70:219-223, 1993.
13. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH : Do dental composites always shrink toward the light? *J Dent Res* 77:1435-1445, 1998.
14. Ruyter IE, Gyorosi PP : An infrared spectroscopic study of sealants. *Scand J Dent Res* 84:396-400, 1976.
15. Leung RL, Kahn RL, Fan PL : Comparison of depth of polymerization evaluation method for photo-activated composite. *J Dent Res spec.* #1095, 1984.
16. Rueggeberg FA, Craig RG : Correlation of parameter used to estimate monomer conversion in a light-cured composite. *J Dent Res* 67:932-937, 1988.
17. Watts DC, Amer OM, Combe EC : Surface hardness development in light-cured composites *Dent Mater* 3:265-269, 1987.
18. Asmussen E : Restorative resins : Hardness and strength vs quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent* 90:484-489, 1982.
19. Watts DC, Amer O, Combe EC : Characteristics of visible light-activated composite systems. *Br Dent J* 156:209-215, 1984.
20. Yearn JA : Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J* 35:218-225, 1985.
21. Pires JAF, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ Jr. : Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int* 24:517-521, 1993.
22. Tate WH, Porter KH, Dosch RO : Successful pho-

- tocuring: Don't restore without it. *Oper Dent* 24:109-114, 1999.
23. Hansen EK, Asmussen E : Visible-light curing units: correlation between depth of cure and distance between exit window and resin surface. *Acta Odontol Scand* 55:162-166, 1997.
 24. Caughman WF, Rueggeberg FA, Curtis JW Jr. : Clinical guidelines for photocuring restorative resin. *J Am Dent Assoc* 126:1280-1286, 1995.
 25. Atmadja G, Bryant RW : Some factors influencing the depth of cure of visible light-activated composite resins. *Aust Dent J* 35:213-218, 1990.
 26. Ota K, Kikuchi S, Kopel HM, et al. : Effect of light exposure time on the depth of curing in various composite resin system. *Pediatr Dent* 7:19-22, 1985.
 27. Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr. : Effect of light intensity and exposure duration on cure of resin composite. *Oper Dent* 19:26-32, 1994.
 28. 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.
 29. Berry TG, Barghi N, Godwin JM, Hunter K : Measurement of intensity of curing light units in dental offices. *J Dent Res spec.* #442, 1992.
 30. Phillips RW : Skinner's science of dental materials. ed 8. Philadelphia: Saunders. 230, 1982.
 31. Unterbrink GL, Muessner R : Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 23:183-189, 1995.
 32. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. *Dent Mater* 16:330-336, 2000.
 33. 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.
 34. Rueggeberg FA, Caughman WF, Chan DC : Novel approach to measure composite conversion kinetics during exposure with stepped or continuous light-curing. *J Esthet Dent* 11:197-205, 1999.
 35. Dannheimer MF, Marais JT, Borman J, et al. : Surface hardness of light-cured composite resin cured directly or through a transparent matrix using three different light guides. *J Dent Assoc S Afr* 51:193-195, 1996.

Abstract

A STUDY ON THE CHANGES IN POLYMERIZATION OF LIGHT-ACTIVATED COMPOSITE RESIN WITH VARIOUS EXPOSURE TIME AND DISTANCE

Myung-Ki Ahn, Tae-Sung Jeong, Shin Kim

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

The aim of this study was to evaluate the effect of the distance of the light tip to the surface of restoration and exposure time on the polymerization of surface and 2mm below the surface of light-activated composite resins. Two light-activated composite resins were used. From the experiment, the following results were obtained.

1. Relative light intensity rapidly decreased when distance of the light tip to the surface of material is more than 2mm($p<0.05$).
2. In all groups, microhardness was increased according to the increase of relative light intensity and exposure time($p<0.05$).
3. The distance of the light tip to the surface of restoration and exposure time more affected 2mm below the surface rather than the surface($p<0.05$).
4. Although exposure time was increased, difference of microhardness of the 2mm below the surface with the distance of the light tip to the surface of restoration was relatively high in Z100 between below 4mm and other groups and Z250 between below 2mm and other groups($p<0.05$).

Key words : Light-activated composite resin, Exposure time, Distance, Microhardness