

광중합 복합레진의 색상과 깊이에 따른 중합도의 비교

최경호 · 이주현 · 박호원

강릉대학교 치과대학 소아치과학교실, 구강과학연구소

국문초록

치과용 수복재료가 요구하는 심미성과 치아의 보존 및 편이성 등의 여러 조건들을 만족시키기 위해서 치과용 복합레진은 적절한 중합이 이루어져 물리적 기계적 성질을 충족하고, 색조의 안전성, 중합시의 수축과 이에 따른 변연 적합도 문제를 해결할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 광중합 복합레진 Z250의 색상과 두께를 달리 하여 광투과도와 중합도를 각각 적외선 분광분석법과 미세경도 측정기를 통해 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 플라즈마 아크 중합기의 사용 시 3초 중합과 6초 중합의 경우로 나누어 실험하였으며 6초 중합에 있어서 할로젠 중합 20초와 유사한 광투과도 및 미세경도를 나타내었다.
2. 광중합 복합레진의 색상을 A1, A2, A3, A3.5로 나누어 실험한 결과 레진의 표면에서는 색상별로 광투과도나 경도의 차이가 나타나지 않았으나, 2, 3, 4mm로 깊이가 증가함에 따라 색상에 따른 광투과도나 경도의 차이가 확연하게 나타났고 특히 색상이 어두워질수록 4mm의 깊이에서 중합도가 더욱 낮았다.
3. 중합깊이의 비교를 위하여 0, 2, 3, 4mm 깊이로 나누어 실험한 결과, 2mm이상의 깊이에 있어서는 미반응 단량체의 양이 유의하게 많은 것으로 나타났다.
4. 광중합 복합레진의 광투과도를 알아보는 FTIR을 통한 단량체 전환도와 미세경도 측정사이에는 유의한 상관관계를 보였다.

주요어 : 투과 계수, 중합도, 미세경도, Fourier 변환 적외선 분광분석

I. 서론

치과용 복합레진이 처음 소개된 이후로 복합레진의 성분과 사용방법 및 물리적 성질과 기계적 성질 등이 빠르게 변화 발전되어 가고 있다. 복합레진의 사용 및 조작의 간편성, 시술시간의 단축 및 재료의 물성 등의 개선으로 최근 점차 사용이 늘어나고 있는 추세이다. 치과용 복합레진은 치과용 수복재료가 추구하는 심미성과 치아의 보존이라는 두 가지 목적을 만족시킬 수 있어야 한다. 그러므로 치과용 복합레진은 적절한 중합이 이

루어져 물리적 성질과 기계적 성질을 충족시키고, 색조의 안전성을 이루며, 중합시의 수축과 이에 따른 변연 적합도 문제를 해결할 수 있어야 한다¹⁻³⁾.

중합도란 레진 기질내의 단량체의 반응정도로 중합시의 광원의 광도와 파장, 조사시간, 레진의 조성 및 색상에 따라 영향을 받을 수 있다⁴⁾. 복합레진의 중합도가 증가하면 물리적 성질은 증가하나 중합시의 수축의 증가로 인한 문제점을 가질 수 있으며, 중합도가 감소하면 기계적 성질은 감소하고 재료의 화학적 파괴가 일어나 수복의 실패로 이어진다⁵⁾. 이전의 여러 연구에 의하면 중합시의 광원의 종류, 파장 및 광조사 시간 등이 복합레진의 중합도에 영향을 줄 수 있다고 하였으며⁶⁻⁹⁾, Myers 등¹⁰⁾ 과 Shortall 등¹¹⁾은 레진의 조성이나 색상이 중합도에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다.

복합레진의 사용 시 시술시간의 감소라는 측면에서 최근 플라즈마 아크 광중합기가 많이 소개되고 특히 소아환자와 교정

교신저자 : 박 호 원

강원도 강릉시 지변동 123번지
강릉대학교 치과병원 소아치과학교실
Tel : 033-640-3157
E-mail : pedo@kangnung.ac.kr

환자의 진료에 널리 사용되고 있다. 플라즈마 아크 중합기는 텅스텐 전극사이의 높은 전압차로 스파크를 일으켜 주변의 Xenon기체를 이온화시킴으로써 생성되는 플라즈마로부터 발생하는 빛에너지를 이용하는 것으로서 기존의 할로겐 광중합기가 긴 광중합 시간을 요하며, 비교적 짧은 수명 및 사용에 따른 광도의 저하라는 문제가 있는 반면, 플라즈마 아크 광중합기는 사용에 따른 광도 저하가 적으며, 매우 높은 광도를 가지고 있어 짧은 시간 중합하여도 충분한 중합도를 얻을 수 있다고 알려져 있다. 그러나 플라즈마 아크 중합기도 높은 광도로 인한 중합시의 열발생이나 급격한 중합수축의 문제점 등이 제기되고 있다^{1,12,13}.

일반적으로 복합레진의 색상은 Vita Lumin shade guide를 기준으로 제작하며 갈색조의 A, 황색조의 B, 회색조의 C, 적색조의 D로 각 색에서 1~4까지 숫자가 증가함에 따라 채도가 증가하고 명도가 감소하게 된다¹⁴. 치과 수복용 복합레진의 색조는 다양한데 복합레진의 수복시 사용하는 여러 색상에 따라 중합이 일어난 후 그 중합도의 차이가 있을 수 있다. 일반적으로 복합레진의 색상이 짙어짐에 따라 같은 시간 동안 광조사하여도 중합도가 떨어지는 것으로 알려져 있다¹⁵.

중합도를 알아보는 방법으로는 잔존 이중결합의 양을 측정하는 직접적인 방법과 중합깊이, 굴곡강도, 탄성률 및 중합수축을 측정하는 간접적인 방법이 있다. 잔존이중결합의 양을 측정하는 방법으로는 적외선 분광분석법, 전자회전 공명법 및 핵자기 공명법 등이 있고, 중합 깊이와 강도를 측정하는 방법으로 미세경도 측정법과 scraping method 등을 들 수 있으며, 중합수축률을 측정하기 위해서는 linometer 등을 사용한다¹⁶⁻¹⁸. 그 중 Fourier 변환 적외선 분광 분석기(Fourier Transformed Infrared spectroscopy, 이하 FTIR)를 사용하여 중합율, 즉 degree of conversion을 측정하는 방법은 비교적 간편하고 정확하며 재현성이 높다고 여겨지며, 미세경도 측정법은 간편성과 가교 결합(cross-linkage)에 대한 민감도로 인해 자주 사용되고 있는 방법이다.

본 연구에서는 플라즈마 아크 광중합기로 중합 시 광중합 복합레진의 색상과 중합깊이에 따른 중합도와 광투과도를 각각

미세경도 측정과 FTIR을 통해 비교하였다. 복합레진의 색상에 따른 중합도에 대한 연구는 상대적으로 적은 편이다. 본 실험에서는 같은 Hue group 내의 A1, A2, A3, A3.5에 대해 각각의 중합 시에 중합도의 차이와 각각의 0mm, 2mm, 3mm, 4mm 깊이에서의 중합도의 차이를 미세경도 측정을 통해 비교분석하였고, 각 복합레진 깊이 하방에 분리된 필름형 시편을 제작하여 FTIR로 중합도를 측정하여 광투과도를 알아보려고 하였다. 일반적으로 FTIR을 사용하여 복합레진의 중합도 측정 시 표면 뿐 아니라 깊이에 따른 차이를 보고자 할 때는 그 시편의 제작이 번거롭고 시편 제작에 따른 부가적 과정으로 인한 오차와 시간의 소모가 크게 나타날 수 있다. 이번 실험에서는 FTIR을 이용하면서도 시편제작의 용이성을 함께 얻을 수 있도록 각 시편 하방에서 분리된 필름형 시편을 따로 제작함으로써 일정한 깊이를 통과한 광중합기의 광투과도를 FTIR을 이용하여 측정하고, 레진 시편 하방에서 미세경도를 측정하여 광투과도와 중합도 사이의 상호관련성도 알아보려고 하였다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료 (Table 1, 2)

치과용 광중합 복합레진은 Z250(3M Filtek Z250, 3M Dental products, USA)으로 색상A1, A2, A3, A3.5를 사용하였으며 각 깊이의 중합율 및 광투과도를 알아보기 위해 직경 5mm의 hole을 가진 테프론 주형을 이용하여 두께 0, 2, 3, 4mm의 시편을 제작하였다.

광중합기는 적절한 중합도의 기준으로 할로겐 광중합기인 XL3000(3M ESPE, USA)을 사용하고, 실험군을 위해 플라즈마 아크 중합기 Flipo(LOKKI, France)를 사용하였다. 중합기의 광도 적정을 위해 laser power meter(Power Max 600, Moletron, USA)로 광도를 측정 기록하였다.

각 군별로 중합 후 시편의 광투과도는 FTIR(EQUINOX55, Bruker, Germany)로 측정하고, Hardness testing machine(Zwick, Ulm, Germany)으로 미세 경도를 측정하였다.

Table 1. Light-cured composite resin used in this study

Brand name	Composition	Filler(Vol%)	Shade
3M Filtek™ Z250	Bis-GMA, UDMA, BISEMA	zircornia/silica 60%	A1, A2, A3, A3.5

Table 2. Light-curing units used in this study

Brand name	Lamp	Light intensity	Manufacture
XL3000	halogen	700	3M, USA
Flipo	plasma arc	1998	Lokki, France

2. 연구방법

(1) 시편제작(Fig. 1)

직경 5mm의 hole을 가진 테프론 몰드를 이용하여 광중합 복합레진 시료의 앞뒤로 mylar strip을 대고 일정한 하중을 가하여 두께 100±10µm인 필름형으로 준비한 후 그 위로 각 두께 0, 2, 3, 4mm의 레진 층을 가지는 시편을 각각 5개씩 제작하였다.

(2) 광중합(Table 3)

레진 시편을 만든 직 후 각 중합기의 tip이 시편의 가장 윗면에 닿도록 위치시킨 후 plasma arc 중합기인 Flipo의 mode 3 즉 3초 중합을 1번 시행한 군과 mode 6인 3초 중합을 2번 시행한 군으로 나누어 실험하였다.

적절한 중합도의 비교를 위하여 할로겐 광중합기인 XL3000의 20초 중합을 사용하여 광중합 복합레진 A2 색상의 레진으

로 0, 2, 3, 4mm의 광중합을 시행하였다.

각 광중합기의 광도를 광도계로 측정하여 제조사가 제시한 광도의 오차범위 ±10% 내에 있음을 확인하였다.

(3) 미세경도 측정

중합 직후 시편을 A1, A2, A3, A3.5 색상의 각 0.2, 3,4mm의 두께 별로 상부시편의 하방에서 Hardness testing machine과 Test Xpert program을 사용하여 20초 동안 200g의 하중을 가한 후 Vickers hardness를 측정하였다.

(4) FTIR 분석

중합 전 시편의 시편제작 방법에 따라 제작하여 FTIR로 파수 7500~370cm⁻¹, 해상도 8cm⁻¹, 주사회수 32회로 투과도를 측정하여 흡수도로 변환하여 스펙트럼을 얻었다.

실험군별로 5개씩의 시편을 사용하여 중합 전 시편과 같은 조건을 사용하여 중합 후 스펙트럼을 얻었다. 표준기선법

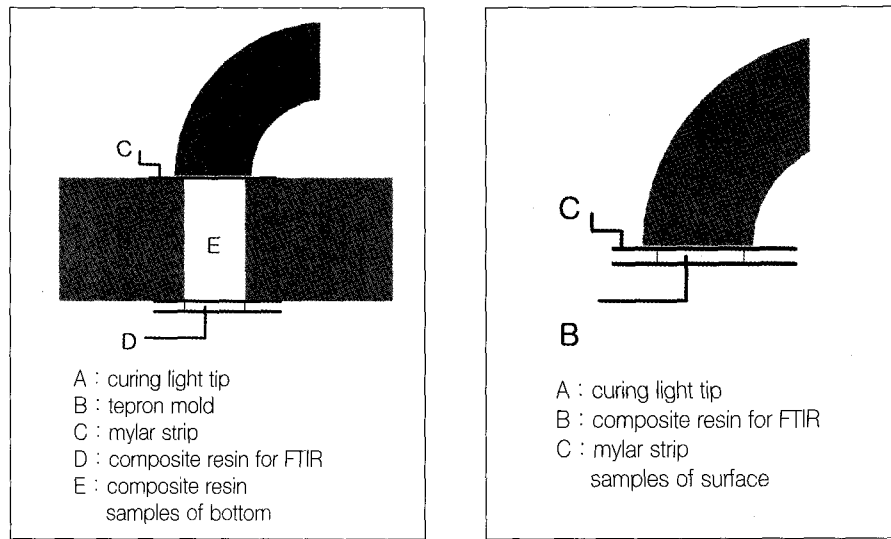


Fig.1. Schematic drawings of prepared resin sample

Table 3. Experimental groups designated with different curing time and shade

Group	n	Curing unit	Curing time(sec)	Shade	Power intensity(mW/cm ²)
I	5	Flipo	3	A1	1998
II	5	Flipo	6	A1	1998
III	5	Flipo	3	A2	1998
IV	5	Flipo	6	A2	1998
V	5	Flipo	3	A3	1998
VI	5	Flipo	6	A3	1998
VII	5	Flipo	3	A3.5	1998
VIII	5	Flipo	6	A3.5	1998
H	5	XL3000	20	A2	700

(standard baseline technique)을 사용하여 스펙트럼에서 1637cm⁻¹ 지방족 C=C 피크와 1609cm⁻¹ 방향족 C=C 피크를 측정하여 중합 전 지방족 탄소 이중결합/방향족 탄소 이중결합의 비율을 구하였다.

중합율(degree of conversion)은

$$DC(\%) = 100 \times [1 - (R_{\text{polymerized}} / R_{\text{unpolymerized}})]$$

R=band height at 1637cm⁻¹/band height at 1609cm⁻¹을 사용하여 계산하였다.

FTIR을 이용하여 계산한 중합율은 표면에서는 중합도를 나타내고, 일정깊이 하방의 시편에서의 중합율은 분리된 시편을 사용한 광투과도를 나타낸다.

(5) 통계분석

각 군별로 측정된 값을 SPSS ver 10.0을 사용하여 one-way ANOVA와 paired t-test로 비교하고 미세경도와 FTIR로 측정된 값의 관계를 피어슨 상관계수를 이용하여 비교하였으며 Scheffe의 다중범위검정으로 사후 검정하였다.

Ⅲ. 연구결과

각 색상별로 0, 2, 3, 4mm 하방의 분리된 복합레진 시편의 중합율은 Table 4, Fig. 2와 같이 나타났으며, 각 군에서 레진

의 두께가 증가함에 따라 중합율 즉 광투과도는 감소하였고 (p<0.05), 깊이가 2mm가 넘어감에 따라 그 감소가 더 크게 나타났으며, 색상이 같고 중합시간만 달린 군 사이에서는 중합시간이 긴 군 즉 total energy가 높은 6초 중합에서 광투과도가 높게 나타났다. 할로젠 중합기의 광투과도와 비교 시에는 플라즈마 아크 중합기로 6초 중합한 군에서 그 값이 유사하게 얻어졌다(p>0.05). 색상이 A1에서 A3.5로 변화함에 따라 광투과도는 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05)(Table 6).

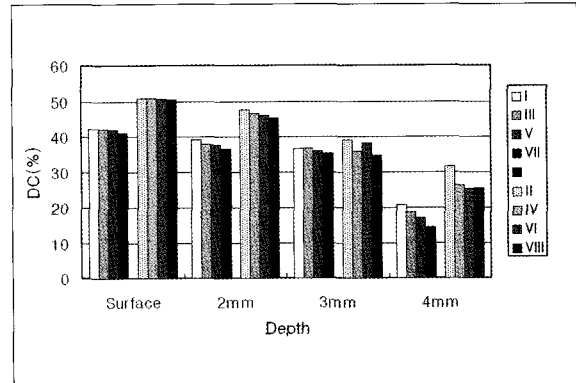


Fig. 2. Degree of conversion among groups according to depth

Table 4. Means and standard deviation of degree of conversion (%)

Group	Thickness	Surface	2mm	3mm	4mm
I		42.22±0.41	39.22±1.49	36.51±0.64	20.83±1.26
II		50.84±0.95	47.58±1.14	39.06±2.72	31.59±2.50
III		42.15±0.32	37.88±2.38	36.67±1.86	18.71±3.75
IV		50.93±0.64	46.61±1.72	35.78±2.26	26.42±1.26
V		41.93±1.03	37.80±1.10	35.86±2.85	17.11±2.43
VI		50.74±1.06	46.02±1.35	38.28±2.97	25.34±2.28
VII		41.20±0.74	36.57±1.73	35.30±2.66	14.55±1.79
VIII		50.63±1.34	45.38±2.80	34.61±0.98	25.51±3.72
H		50.68±0.75	45.17±0.52	37.08±0.35	26.18±0.58

Table 5. Means and standard deviation of microhardness (VHN)

Group	Thickness	Surface	2mm	3mm	4mm
I		96.80±1.30	71.40±1.14	54.40±3.21	45.40±4.56
II		101.40±1.67	77.00±2.35	62.80±3.11	47.80±1.48
III		94.40±3.97	70.80±1.48	53.40±2.70	36.60±3.71
IV		100.00±1.58	75.00±2.35	59.60±2.41	45.40±1.52
V		87.40±1.82	67.80±1.79	43.80±1.64	29.80±2.05
VI		99.40±1.67	75.60±1.67	51.60±2.70	34.80±1.48
VII		91.20±4.32	63.60±2.61	42.60±1.82	24.00±2.55
VIII		101.00±2.92	74.60±3.51	52.60±3.44	30.60±2.07

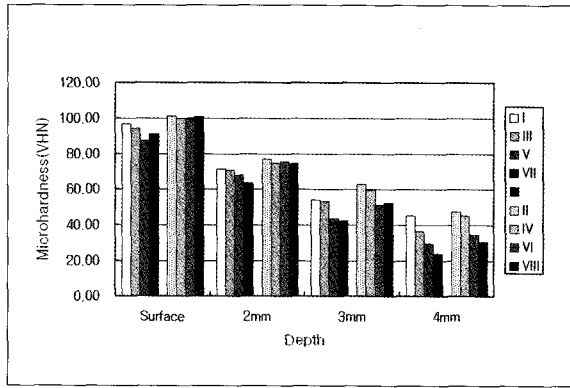


Fig. 3. Microhardness of groups according to depth

각 색상별로 각 두께에 따른 미세경도 값은 Table 5, Fig. 3과 같으며 이는 중합도를 반영하는 것으로 광투과도와 마찬가지로 두께의 증가에 따라 미세경도가 감소하며($p < 0.05$), 중합시간이 긴 군에서 미세경도가 크게 나타났다. 또한 색상이 A1에서 A3.5로 짙어짐에 따라 0과 2mm에서는 유의한 차이가 없었으나($p > 0.05$), 3mm와 4mm 깊이에서는 유의할 만한 차이를 보였다($p < 0.05$) (Table 7).

일정깊이 하방의 분리된 레진 시편의 중합율을 이용한 광투과도의 값과 레진 하방의 미세경도 측정으로 알아본 중합도를 피어슨 상관계수를 이용해 분석한 결과 매우 높은 상관관계를 나타내었다($p < 0.05$) (Table 8).

Table 6. Statistical evaluation of conversion rate among groups

	A1 (mode 3)				A2 (mode 3)				A3 (mode 3)				A3.5 (mode 3)			
	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm
0mm																
2mm	*				-				*				*			
3mm	*	*			*	-			*	-			*	-		
4mm	*	*	*		*	*	*		*	*	*		*	*	*	

	A1 (mode 6)				A2 (mode 6)				A3 (mode 6)				A3.5 (mode 6)			
	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm
0mm																
2mm	-				*				*				*			
3mm	*	*			*	*			*	*			*	*		
4mm	*	*	*		*	*	*		*	*	*		*	*	*	

	0mm(mode 3)				2mm(mode 3)				3mm(mode 3)				4mm (mode 3)			
	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5
A1																
A2	-				-				-				-			
A3	-	-			-	-			-	-			-	-		
A3.5	-	-	-		-	-	-		-	-	-		*	-	-	

	0mm(mode 6)				2mm(mode 6)				3mm(mode 6)				4mm (mode 6)			
	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5
A1																
A2	-				-				-				*			
A3	-	-			-	-			-	-			*	-		
A3.5	-	-	-		-	-	-		-	-	-		*	-	-	

by One-way ANOVA at significance level 5%(* $p < 0.05$, - $p > 0.05$)

Table 7. Significance testing of mean microhardness of each group

	A1 (mode 3)				A2 (mode 3)				A3 (mode 3)				A3.5 (mode 3)			
	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm
0mm																
2mm	*				*				*				*			
3mm	*	*			*	*			*	*			*	*		
4mm	*	*	*		*	*	*		*	*	*		*	*	*	

	A1 (mode 6)				A2 (mode 6)				A3 (mode 6)				A3.5 (mode 6)			
	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm	0mm	2mm	3mm	4mm
0mm																
2mm	*				*				*				*			
3mm	*	*			*	*			*	*			*	*		
4mm	*	*	*		*	*	*		*	*	*		*	*	*	

	0mm(mode 3)				2mm(mode 3)				3mm(mode 3)				4mm (mode 3)			
	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5
A1																
A2	-				-				-				*			
A3	*	-			-	-			*	*			*	*		
A3.5	-	-	-		*	*	*		*	*	-		*	*	-	

	0mm(mode 6)				2mm(mode 6)				3mm(mode 6)				4mm (mode 6)			
	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5	A1	A2	A3	A3.5
A1																
A2	-				-				-				-			
A3	-	-			-	-			*	*			*	*		
A3.5	-	-	-		-	-	-		*	*	-		*	*	*	

by One-way ANOVA at significance level 5% (* p<0.05, - p>0.05)

Table 8. Correlation coefficients between degree of conversion and microhardness

	rho	p value
A1(mode3)	0.789	*
A1(mode6)	0.918	*
A2(mode3)	0.840	*
A2(mode6)	0.941	*
A3(mode3)	0.837	*
A3(mode6)	0.939	*
A3.5(mode3)	0.835	*
A3.5(mode6)	0.956	*

by Pearson correlation at significance level 5% (* p<0.05)

IV. 총괄 및 고찰

광조사 시간, 광원의 종류와 파장, 광원의 세기, 복합레진의 성분과 색상 등이 치과용 광중합 복합레진의 중합도에 영향을 주며⁴⁾, 중합도는 복합레진의 물리적, 기계적 성질 및 중합 수축, 변연 적합성, 색조의 안전성 등에 영향을 미친다. 동일한 복합레진에서도 중합도에 따라 재료의 물성은 큰 차이가 날 수 있다. 단량체의 전환 정도에 따른 중합율을 살펴보면 중합율이 높을수록 재료의 강도와 색조의 안전성은 증가하나 너무 높은 중합율을 가질 경우 중합수축이 증가하여 수복물의 변연 적합성에 영향을 주어 시술 후 수복물의 변색이나 동통, 수복 실패의 원인이 되기도 한다⁵⁾.

치과용 광중합 복합레진은 개시제의 활성으로 중합되는데 개시제의 종류에 따라 그 유효 파장의 근처에서 가장 효과적으로 반응하게 된다⁹⁾. 그러므로 사용하는 광중합기는 가능한 유효파장 근처의 파장을 유지하는 것이 유용하다. 그러나 광개시제의 종류가 달라지거나 하나 이상의 광개시제를 사용하는 경우에 있어서는 유효 파장의 범위가 달라지므로 그러한 유효 파장을 수용할 수 있는 넓은 범위의 파장을 가지는 광중합기가 유용하기도 하다. 460nm 근처의 파장을 가지고 있어 중합도가 비교적 높다고 알려진 LED 광중합기의 경우 2개의 개시제를 가지는 레진에서 그 중합율이 할로겐 중합기에 비해 떨어지는 것을 보고한 바도 있다⁹⁾. 고출력 에너지를 방출하는 플라즈마 아크 광으로 중합시키면 할로겐 중합광 사용 시보다 광개시제가 빠르게 라디칼을 형성하므로 중합속도가 빨라진다. 하지만 짧은 중합시간 때문에 복합레진의 내부까지 광에너지 전달이 불충분하여 생성된 라디칼의 일부는 긴 사슬 중합체를 형성하는 것이 어려우며, 라디칼 자체가 반응능력이 소실되어 레진 단량체와 결합력이 떨어질 수 있어 미반응 레진 단량체가 더 많이 잔류하게 된다. 플라즈마 아크광의 짧은 중합시간은 할로겐 광중합기의 사용 시보다 중합 후에도 지방족 탄소이중결합의 양은 많이 남게 되어 잔존 C=C 이중결합의 함량(%)이 크므로 중합율이 감소하게 된다는 보고도 있으나²⁰⁾, 최근의 플라즈마 아크 광중합기의 중합도 실험들에서 할로겐 광중합기에 필적할만한 중합도를 나타내었고 그 물성에서도 큰 차이가 없음을 보고 되었다²¹⁾.

Flipo 중합기는 광도가 1998mW/cm²로 높은 광도를 가지고 파장은 380~520nm의 범위를 가지며 3초나 6초 정도의 짧은 시간 중합으로 적절한 중합도를 보일 수 있다고 하고 있다. 이 실험에서 Flipo(1998mW/cm²±10%)와 XL3000(700mW/cm²±10%) 중합기의 광도가 제조사의 허용범위 내에서 안정적으로 광조사가 되는지를 광도계를 사용하여 측정하였으며 그 결과 두 광중합기 모두 적절한 광도를 나타내었다. 고출력의 광중합기의 경우는 광도 측정 시 특별한 광도계가 필요하여, 이전의 연구들에서 대부분 고출력 광중합기의 광도를 정확히 측정하지 못해 제조사에서 주장하는 광도만을 제시한데 비해 좀더 정확하고 객관성 있는 자료를 얻었다고 할 수 있다.

플라즈마 아크 중합기를 사용하여 중합한 실험에서 중합깊이에 따라 광투과도의 차이가 있었으나 각 색상에 따라 중합깊이가 증가하면 광투과도가 감소하였고(p<0.05), 할로겐 중합기인 XL3000을 20초간 중합한 균과 플라즈마 아크 광중합기인 Flipo 6초 중합균의 광투과도가 유사한 것으로 나타났다(p>0.05).

복합레진의 색상은 보통 Vita shade guide를 사용하며 이 경우 A, B, C, D는 색상(hue)을 나타내고, 색상 군에 따라 1, 2, 3, 4 순서로 채도(chroma)는 증가하고 명도(value)는 감소하게 되어 있다¹⁴⁾. 따라서 색상의 차이가 미치는 광투과도의 변화를 알아보는데 있어 같은 색상 군내에서 나머지 색요소들의 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위해 같은 색상군인 A1, A2, A3, A3.5의 레진을 사용하여 각 레진의 광투과도와 경도를 측정하였다. 광투과도는 3초 중합과 6초 중합 각각에서 A1에서 A3.5로 점차 어두워짐에 따라 표면과 2mm 깊이에서는 유의한 차이가 없었으나(p>0.05), 3mm와 4mm에서는 레진의 색상에 따른 차이가 나타남을 알 수 있었다(p<0.05).

복합레진의 중합도 측정의 간접적인 방법 중 대표적인 것으로 미세 경도 측정법이 있으며 이것은 측정이 비교적 간단하고 지금까지 여러 연구에서 많이 사용되어 왔으며 가교 결합에 따른 중합도의 미세한 변화에 민감한 장점을 가지고 있고, 직접적인 방법인 미반응 단량체의 양을 알아보는 방법은 비교적 사용되는 장비들이 고가이며 시편제작이나 측정시의 복잡성이 존재한다. Asmussen과 Peutzfeldt²²⁾의 연구에서 미세 경도 측정법 및 FTIR과의 연관성이 높다고 보고하였다. 이번 연구에서는 각 0, 2, 3, 4mm하방의 광투과도를 측정하기 위해 각 시편 하방의 100μm의 분리된 시편에서 FTIR을 이용하였으며, 분리된 시편의 사용은 중합 시 레진의 가교결합의 영향을 배제하게 되어 그에 따른 중합도 저하의 원인이 될 수 있다. 이러한 측정법은 진정한 의미에서 중합도의 평가라기보다는 광투과도의 측정이라 할 수 있다. FTIR을 이용한 중합도 측정시 일정 깊이 하방의 중합도를 측정하기 위한 시편을 제작할 때 종래에는 시편의 바닥을 절단하여 사용하거나 그 부위의 시편을 긁어내어 다시 pellet의 형태로 시편을 제작하는 방법을 사용하였으나 따로 분리된 film형 시편을 제작함으로써 시편 제작을 쉽고 간편하게 할 수 있었다. 광투과도 측정이 중합도를 얼마나 반영하는지 알아보기 위해 미세경도를 측정하여 비교한 결과 상관성이 매우 높게 나타났다. 즉 FTIR을 이용한 광투과도 측정이 중합도를 측정할 수 있는 또 다른 방법이 될 수 있음을 시사한다. 그러나 앞으로 이에 대한 더 많은 연구가 필요하리라 생각된다.

복합 레진에서 빛의 투과도에 영향을 주는 주요인은 복합레진의 두께와 색상이다¹¹⁾. 광원의 투과로 이루어지는 중합은 복합레진의 두께와 색상에 따라 영향을 받게 되어 있는데 같은 광원과 광조사시간을 사용했다 하더라도 그 광원의 투과도에 따라 중합도와 레진의 물성은 차이가 나게 된다¹⁰⁾. 광원의 투과도를 알아보는 방법으로는 광투과계수(transmission coefficient)를 측정하는 방법이 있을 수 있는데 이는 레진 통과 후의

광원의 광도 감소를 통해 투과도를 알아보는 것이다. 이번 실험에서는 5mm 직경의 테프론 몰드를 사용하여 각 레진의 색상에 따라 깊이를 달리하여 0, 2, 3, 4mm 깊이 하방의 광투과도와 미세경도를 측정하였다. 이는 투과도를 간접적으로 알아볼수 있는 방법으로 같은 색상에서 깊이가 점차 증가함에 따라 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 특히 깊이 2mm가 넘어서면서 중합도가 크게 떨어지는 것으로 제조사의 지시에 따르면 복합레진의 두께가 2mm를 넘지 않도록 적층충전을 하도록 권장하고 있고 이전의 연구들에서도 중합시의 레진 두께 2mm이상의 하방에서는 중합도 및 미반응 단량체의 양이 증가함²⁰⁾을 보고한바, 본 연구에서도 2mm가 넘어가는 깊이에서는 그 중합도가 많은량 감소하게 되고 4mm 깊이에서는 중합율의 측면이나 미세경도 모두에서 낮은 값을 나타냄을 알 수 있었다.

이상의 연구 결과로 볼때 레진의 색상에 있어서는 같은 Hue group내에서 채도가 증가하고 명도가 감소함에 따라 중합도는 표면에서는 그 차이가 거의 나타나지 않았으며 그 깊이가 증가함에 따라 색상의 차이에 따른 광투과도와 경도의 차이가 나타났다. 이에 광중합 복합레진의 중합시에는 색상에 관계없이 2mm 이상의 두께를 충전하고 중합하는 것은 적절치 않아 보이며 제조사의 지시대로 2mm 적층충전을 시행함이 바람직하리라 생각된다. 또한 레진의 중합도와 관련하여 FTIR을 이용한 광투과도와 미세경도 측정법을 비교한 결과 두 방법 모두에서 중합도를 적절히 반영하는 것으로 나타났으며 그 상관성도 높았다. 그 외 지금까지의 연구에 더해 레진의 색상을 좀더 객관적으로 적량하여 중합도에 미치는 영향을 평가하는 것이 필요하리라 생각되며 여기서 사용된 방법 이외의 다양한 방법을 이용하여 중합도를 측정하는 것을 비교하여 보는 것도 의의가 있을 것으로 여겨진다.

V. 결 론

치과용 수복재료가 추구하는 심미성과 치아의 보존이라는 목적을 만족시킬 수 있는 치과용 복합레진은 점차 사용이 늘어나고 있는 추세로 더욱 많은 연구와 개선이 되어가고 있는 재료이다. 이러한 조건들을 만족시키기 위해서 치과용 복합레진은 적절한 중합이 이루어져 물리적 기계적 성질을 충족시키고, 색조의 안전성, 중합시의 수축과 이에 따른 변연 적합도 문제를 해결할 수 있어야 한다.

이번 연구에서는 광중합 복합레진 Z250의 색상과 두께를 달리하여 광투과도와 중합도를 각각 적외선 분광분석법과 미세경도 측정을 통해 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 플라즈마 아크 중합기의 사용 시 3초 중합과 6초 중합의 경우로 나누어 실험하였으며 6초 중합에 있어서 할로젠 중합 20초와 유사한 광투과도 및 미세경도를 나타내었다.
2. 광중합 복합레진의 색상을 A1, A2, A3, A3.5로 나누어 실험한 결과 레진의 표면에서는 각 색상별로 광투과도나 경도의 차이가 나타나지 않았으나, 2, 3, 4mm로 깊이가

증가함에 따라 색상에 따른 광투과도나 경도의 차이가 확연하게 나타났고 특히 색상이 어두워질수록 4mm의 깊이에서 중합도가 더욱 낮았다.

3. 중합깊이의 비교를 위하여 0, 2, 3, 4mm 깊이로 나누어 실험한 결과 2mm이상의 깊이에 있어서는 미반응 단량체의 양이 유의하게 많은 것으로 나타났다.
4. 광중합 복합레진의 광투과도를 알아보는 FTIR을 통한 단량체 전환도와 미세경도 측정사이에는 유의한 상관관계를 보였다.

참고문헌

1. Peutzfeldt A, Sahafi A, Asmussen E : Characterization of resin composites polymerized with plasma arc curing units. Dent Mater, 16:330-336, 2000.
2. Yap AU, Wang HB, Siow KS, Gan LM : Polymerization shrinkage of visible-light-cured composites. Oper Dent, 25:98-103, 2000.
3. Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H, Marker VA : Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. Dent Mater, 2:80-84, 1986.
4. Ferracane JL, Greener EH : Fourier transformation infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resin-methods comparison. J Dent Res, 63:1093-1095, 1984.
5. Asmussen E : Softening of BIS-GMA-based polymers by ethanol and by organic acids of plaque. Scand J Dent Res, 92:257-261, 1984.
6. Harris JS, Jacobson PH, O'Doherty DM : The effect of light intensity and test temperature on dynamic mechanical properties of two polymer composites. J Oral Rehabil, 26:635-639, 1999.
7. Miyazak M, Oshida Y, Moore BK, et al. : Effect of light exposure on fracture toughness and flexural strength of light cured composite. Dent Mater, 12:328-332, 1996.
8. Hofman N, Hugo B, Schubert K, et al. : Comparison between a plasma arc light source and conventional halogen curing units regarding flexural strength, modulus, and hardness of photoactivated resin composites. Clin Oral Invest, 4:140-147, 2000.
9. Nomoto R : Effect of light wavelength on polymerization of light-cured resins. Dent Mater J, 16:60-73, 1997.
10. Myers ML, Caughman WF, Rueggeberg FA : Effect

- of restoration composition, shade, and thickness on the cure of a photoactivated resin cement. *J Prosthodont*, 3:149-57, 1994.
11. Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E : Depth of cure of radiation-activated composite restoratives— influence of shade and opacity. *Oral Rehabil*, 22:337-42, 1995.
 12. Brackett WW : Effect of plasma arc curing on the microleakage of Class V resin-based composite restorations. *Am J Dent*, 13:121-122, 2000.
 13. 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.
 14. Miller LL : Shade selection. *J Esthet Dent*, 6:47-60, 1994
 15. Barghi N, McAlister EH : LED and halogen lights: effect of ceramic thickness and shade on curing luting resin. *Compend Contin Educ Dent*, 24:497-500, 2003.
 16. Ferracane JL, Greener EH : Fourier transformation infrared analysis of degree of polymerization in unfilled resin-methods comparison. *J Dent Res*, 63:1093-1095, 1984.
 17. Pianelli C, Devaux J, Bebelman S, et al. : The Micro-Raman Spectroscopy, a useful tool to determine the degree of conversion of light-activated composite resins. *J Biomed Mater Res (Appl Biomater)*, 48:675-681, 1999.
 18. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M : Effectiveness of polymerization of a prosthetic composite using three polymerization systems. *J Prosthet Dent*, 82:336-340, 1999.
 19. Uhl A, Mills RW, Jandt KD : Photoinitiator dependent composite depth of cure and Knoop hardness with halogen and LED light curing units. *Biomaterials*, 24:1787-1795, 2003.
 20. Brackett WW : Effect of plasma arc curing on the microleakage of Class V resin-based composite restorations. *Am J Dent*, 13:121-122, 2000.
 21. Gagliani M, Fadini L, Ritzmann RM : Depth of cure efficacy of high-power curing devices vs traditional halogen lamps. *J Adhes Dent*, 4:41-47, 2002.
 22. Asmussen E, Peutzfeldt A : Polymer structure of a light-cured resin composite in relation to distance from the surface. *Eur J Oral Sci*, 111:277-279, 2003.

Abstract

**THE COMPARISON OF POLYMERIZATION OF COMPOSITE RESIN INFLUENCED
BY CURING DEPTH AND SHADE**

Kung-Ho Choi, Ju-Hyun Lee, Ho-Won Park

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

Adequate polymerization is a crucial factor in obtaining optimal physical properties and clinical performance of resin composite restorative materials.

The purpose of this study was to determine the effectiveness of shade and depth on dental composite resin polymerized with plasma arc curing unit employing FTIR and microhardness.

From this experiment, the following results were obtained :

1. The light transmission and microhardness by mode 6 in plasma arc curing were similar to by 20 secs in halogen light curing.
2. The experimental groups of A1, A2, A3, A3.5 were not significant difference to light transmission and microhardness on surface and 2mm depth, but were significant difference on 3mm and 4mm depth. Especially light transmission and microhardness were small in darker shade and deeper thickness
3. Compared with depth cure, uncured monomer amount increased at more than 2mm depth.
4. The light transmission by FTIR and polymerization by microhardness were significant correlation.

Keywords : Transmission coefficient, Degree of conversion, Microhardness, FTIR