

Silorane 기질 복합레진의 색조와 두께가 중합 물성에 미치는 영향**

손성애¹, 노형미¹, 권용훈², 진명욱³, 박정길^{1*}

¹부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실, ²부산대학교 치의학전문대학원 치과재료학교실, ³경북대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실

Influence of polymerization properties on shade and thickness of silorane-based composite resin**

Sung-Ae Son¹, Hyoung Mee Roh¹, Yong Hoon Kwon², Myoung-Uk Jin³, Jeong-Kil Park^{1*}

¹Department of conservative dentistry, Pusan National University, Yangsan, Korea, ²Department of Dental Material, School of Dentistry, Pusan National University, Yangsan, Korea, ³Department of conservative dentistry, School of Dentistry, Kyungpook National University, Daegu, Korea

(Received: Oct. 10, 2014; Revised: Nov. 11, 2014; Accepted: Nov. 28, 2014)

DOI : <http://dx.doi.org/10.14815/kjdm.2014.41.4.245>

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the influence of the polymerization on shade and thickness of a silorane-based composite resin. A2, A3 and C2 shades of silorane-based composite resin were selected. The number of photons were detected using the photodiode detector. The microhardness of the specimen was measured using a Vickers hardness at the different thicknesses. The degree of conversion (DC) of the specimens was determined using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). To measure the polymerization shrinkage, a linometer was used. Data were statistically analyzed by ANOVA and Tukey's test. In the subsurface, the incident light decreased exponentially. A2 group showed less light attenuation than the other groups($p < 0.05$). The microhardness of A2 group ranged 52.0-62.3 Hv on top and bottom surfaces, A3 and C2 groups were ranged 48.5-58.3 Hv and 51.6-61.5 Hv, respectively. In the DC, A3 group showed significantly lower when compared to A2 group($p < 0.05$). Polymerization shrinkage was 7.3-7.6 μ m and these were significantly similar regardless of the specimens($p > 0.05$). In conclusion, photons decreased exponentially with increasing specimen thickness. The microhardness and the DC of A3 group were significantly lower than other groups. Polymerization shrinkage had statistically similar values regardless of the groups ($p < 0.05$).

Key Words: polymerization, silorane-based composite resin, shade

1. 서 론

광중합형 복합레진이 개발된 이후 물리적, 기계적 및 심미적으로 많은 발전이 이어져 오고 있으며 그 적용 범위가 날로 증가하고 있다. 치과용 심미수복제로 사용

되고 있는 레진 컴포ジット의 대부분은 Bis-GMA 또는 UDMA 와 같은 dimethacrylate 단량체에 기초를 둔다. 이것은 자유 라디칼에 의해 methacrylate 단량체 분자가 중합체 연결구조 (polymer matrix)로 전환되면서 중합과정이 진행하게 되는데 이 과정에서 중합 전의 레진 단량체 분자들 간에 0.3~0.4nm의 반데르발스 인력에 의한 간격이던 것이 중합에 의해 공유 결합되면서 그 간격이 0.15nm 정도로 가까워지므로 외관적으로 중합 수축을 동반하게 된다(de Gee 등, 1993). 이러한 복합레진의 중합 시 동반되는 중합 수축으로 인하여 치아와 수복물

* 경상남도 물금읍 범어리 부산대학교 치의학전문대학원 치과보존학교실 박정길 (jeongkil@pusan.ac.kr)

** Acknowledgements: This study was supported by 2013 Clinical Research Grant of Pusan National University Dental Hospital

Table 1. Composition of the composite resins tested in the study

Code	Composition	Filler type	Filler content vol%/wt%	Manufacturer
P90	Silorane	Silanized quartz, yttrium fluoride	55/76	3M ESPE, St. Paul, MN, USA

*Abbreviations: P90: Filtek P90

간의 계면에 스트레스가 발생되며 이로 인하여 교두의 휨 현상과 이로 인한 법랑질 미세파절, 변연누출이 초래된다(Sakaguchi 등, 1992; Davidson과 Feilzer, 1997). 이것은 결과적으로 이차 우식, 술 후 민감증 등의 다양한 현상을 야기하게 하며, 수복물의 수명을 단축시킬 뿐 만 아니라 때로는 수복물의 실패로 이어지게 한다(Yap 등, 2000; Giachetti 등, 2006).

최근 기존의 methacrylate를 기질로 하는 복합레진과는 전혀 다른 최소의 중합수축을 보이는 silorane기질 복합레진이라는 새로운 복합레진이 소개되었다(Weinmann 등, 2005). Silorane은 siloxane과 oxirane분자의 복합물이다. Siloxane 분자는 소수성(hydrophobic)이며 복합레진의 물이나 수용성 착색용액의 흡수성이 낮다. Oxiran분자는 고리 구조가 열리면서 결합하는 양이온 개방 기전으로 중합반응이 일어나도록 하여 중합수축을 줄이도록 개발되었다(Ilie와 Hickel, 2006; Lien 와 Vandewalle, 2010).

광중합형 복합레진의 중합시 중합 광은 수복물을 통과함에 따라 산란, 또는 흡수되어 와동의 깊이가 깊어질수록 조도와 중합 효율이 감소하게 되어 수복물의 불완전한 중합이 초래하게 된다. 광중합 레진의 중합 깊이는 중합 시간, 중합광의 종류 그리고 광의 세기뿐만 아니라 복합레진의 재료적 특성에 영향을 받게 된다(Shortall 등, 1995). 특히 광중합 레진의 중합 깊이에 영향을 미치는 재료적 특성에는 광중합 레진의 광투과성, 무기 필러의 크기와 함량 및 복합레진의 색조 등이 있다(Swartz 등, 1983; Li 등, 1985; Leloup 등, 2002). 특히, 어두운 색조일수록 중합 깊이가 얕아지며 깊은 부위에서 경도가 낮고, 밝은 황색계열의 색조에서 파절강도가 크다는 보고가 있으며(Omaima 등, 1999), 복합레진의 색조를 위해 첨가된 무기 산화물의 조성에 따라 중합률과 기계적 물성이 달라질 수 있다. 수복물의 두께가 증가할수록 수복물의 상층부에 비하여 와동의 하층부에 해당하는 수복물의 기저부는 충분한 중합이 되기에 불리하며 이러한 복합레진의 불완전한 중합은 재료의 화학적 또는 물리적 성질에 영향을 미치게 된다(Bouschlicher 등, 2004; Torres 등, 2014).

본 연구의 목적은 저수축용 복합레진으로 개발된 silorane 기질 복합레진의 색조와 레진의 두께가 레진 중합에 어떠한 영향을 미치는지 조사하기 위함이다.

2. 재료 및 방법

2.1 복합레진의 색조와 두께에 따른 광자 수 측정

광조사기 내에 내장된 radiometer로 측정된 광의 세기가 $900\text{mW}/\text{cm}^2$ 인 LED광조사기 (L.E.Demetron, Kerr, Danbury, CT, USA)와 Filtek P90 silorane복합레진(3M ESPE, St. Paul, MN, USA)이 실험을 위해 선택되었다. Table 1에서는 P90 복합레진의 구성성분을 나타내었다. 광자 수를 측정하기 위하여 두께가 각기 1, 2, 그리고 3mm 금속판에 직경이 8mm인 구멍을 뚫어 복합레진이 들어갈 공간을 마련하여 제작된 금속 몰드에 A2, A3 그리고 C2 색조의 P90 복합레진으로 충전하고 cover glass (Standard, Matsunami, Japan)로 압착 한 후 광조사기를 이용하여 40초 광중합하여 시편을 제작하였다. 복합레진 시편을 중앙에 지름 6.6mm, 두께가 1mm인 알루미늄 원판 위에 올린 후 빛이 조사되는 동안 photodiode detector (M1420, EG&G PARC, Princeton, NJ, USA)를 알루미늄 원판의 중앙 구멍 아래에 위치시켜 복합레진 시편을 통과한 광자 수를 측정하였다. 측정값은 photodiode detector에 digital spectrometer (SpectroPro-500, Acton Research, Acton, MA, USA)와 연결되어 측정되었다.

2.2 복합레진의 색조와 두께에 따른 미세경도 측정

미세경도 측정을 위하여 지름이 4mm, 두께가 각각 1, 2, 그리고 3mm인 디스크 모양의 금속 몰드를 제작한 후 $200\mu\text{m}$ 인 slide glass위에 위치시킨 후 A2, A3 그리고 C2 색조의 P90 복합레진으로 충전하고 $200\mu\text{m}$ 인 slide glass 로 압착하여 LED 광조사기로 40초간 광조사하였다. 이때, 광조사 하는 동안 광조사기의 가이드 첩단 부분은 slide glass의 상면과 접촉한 상태로 유지되었다. 광조사 이후 복합레진의 시편을 금속 몰드에서 제거한 이후 24시간 동안 37°C 암실에 보관하였다. 시편의 상부면과 하부면에 대해 Vickers hardness tester (MVK-H1, Akashi Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 미세경도를 측정하였다. 미세경도는 레진의 상부면과 하부면을 200 gf load로 15초 동안 누른 후, 40배 배율의 현미경 상에서

압흔의 크기로 측정하였다. 각 군당 15개의 시편을 제작하였으며 모든 측정은 5회씩 반복하였다.

2.3. 복합레진의 색조와 두께에 따른 중합률 측정

중합률 측정을 위하여 미세경도를 측정을 위해 제작된 지름이 4mm, 두께가 각각 1, 2, 그리고 3mm인 디스크 모양의 A2, A3 그리고 C2 색조의 P90 복합레진 시편이 사용되었다. 각 군당 5개의 시편이 선택되었다. 시편의 중합률은 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)을 사용하여 측정되었다. 미세경도 측정 직후, 시편의 상부면과 하부면을 외과용 메스를 이용하여 100 ~ 150 μ m 두께로 표면을 긁어 모은 복합레진 입자를 에탄올에 녹인 후 FTIR (Nicolet 6700/8700, Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, USA) spectroscopy를 이용하여 중합률을 측정하였다. 측정 범위는 7800 ~ 350 cm^{-1} 로 0.09 cm^{-1} 의 해상도로 32회 스캔 하였다. 스펙트럼은 먼저 투과모드 (transmission mode)로 저장되었다가, 후에 흡수 모드 (absorption mode)로 변환되어 저장되었다. Silorane 기질 복합레진에 있어 에폭시C-O-C기의 peak는 대략 883 cm^{-1} 부근에서 측정되며, CH 결합은 1257 cm^{-1} 부근에서 측정된다. 본 연구에서는 baseline technique을 이용하여 중합 전, 후 근적외선 스펙트럼에서 얻은 silorane기의 흡수 peak 값으로 중합률을 구하였다.

2.4. 복합레진 색조에 따른 중합 수축 측정

A2, A3 그리고 C2 색조의 P90 복합레진에 있어 광중합 과정 중의 선 수축을 측정하기 위하여 컴퓨터로 제어되는 Linometer (RB 404, R&B Inc., Daejeon, Korea)를 사용하였다. 알루미늄 디스크 상면에 내경이 4mm, 두께가 1, 2, 그리고 3mm 인 Teflon (polytetrafluoroethylene, PTFE) 디스크 몰드가 놓이고 몰드 내부를 A2, A3 그리

고 C2 색조의 P90 복합레진으로 채워 넣었다. Teflon 디스크 몰드를 제거한 이후 레진 시편의 상부면을 slide glass로 덮은 후 이어 광조사기의 가이드 침단부위가 slide glass 상부면에 접촉되도록 위치시켰다. 광조사 하기 전 알루미늄 디스크의 초기 위치를 원점으로 설정하고 광조사를 40초 동안 시행하였다. 복합레진이 중합되면서 광원방향으로의 수축이 발생하게 되고 알루미늄 디스크는 광원방향으로 움직이게 된다. 이때, 복합레진의 중합 수축으로 인하여 발생하게 되는 알루미늄 디스크의 움직임을 inductive gauge를 사용하여 130초간 자동적으로 측정하게 된다. 본 실험에서 사용한 수축 센서는 비접촉식이었으며, 각 군당 5개의 시편에 측정하였고 해상도와 측정범위는 각각 0.1 μ m 와 100 μ m이었다.

2.5. 통계 분석

P90 복합레진의 1, 2, 그리고 3mm 두께와 A2, A3, 그리고 C2 색조의 시편에 대하여 광자수, 미세경도, 그리고 중합률을 측정된 결과는 이원분산분석(2-way ANOVA)을 시행하여 비교하였으며 동일 복합레진의 A2, A3, 그리고 C2 색조의 중합 수축 결과는 일원분산분석을 시행하여 비교하였다. 모든 통계분석은 95% 신뢰수준에서 검증하였으며 사후검증으로는 Tukey test를 사용하였다.

3. 결 과

Table 2는 LED 광조사기로 중합 한 각기 다른 색조의 silorane 복합레진에 대하여 시편의 두께에 따른 광자의 수와 exponential curve fit 이후의 감쇄상수(μ ; mm^{-1})와 상관계수(R^2)를 나타내었다. 시편의 상부면에

Table 2. Photon count of the specimens light cured using LED light-curing unit and different shades

		LED		
		Shade A2 ^A	Shade A3 ^B	Shade C2 ^B
Photon count	Top ¹	13598±167	13598±167	13598±167
	1 mm ²	1437±65	1279±100	1207±19
	2 mm ³	729±31	630±16	562±43
	3 mm ⁴	386±22	337±36	286±26
	Attenuation coefficient (μ)	-1.34	-1.40	-1.46
Correlation coefficient (R^2)		0.85	0.84	0.85

^A Statistically significant difference on shade of the resin is shown by superscript letters^{A, B}, on thickness of the resin by superscript numbers^{1, 2}. Same letters or numbers are not significantly different (p<0.05).

Table 3. Microhardness (Hv) of the specimens light cured using LED light-curing unit and different shades after aging for 24hr

		LED		
		Shade A2 ^A	Shade A3 ^B	Shade C2 ^A
After aging for 24hr	Top ¹	62,3±1,4	58,3±1,7	61,5±0,6
	1 mm ²	57,8±0,9	53,6±1,0	57,0±1,7
	2 mm ³	54,0±0,8	50,3±0,9	52,2±1,0
	3 mm ⁴	52,0±0,8	48,5±1,8	51,6±0,8
	p-value	$\alpha = 0,041, \beta < 0,001, \alpha \times \beta < 0,001$		

* Statistically significant difference on shade of the resin is shown by superscript letters^{A, B}, on thickness of the resin by superscript numbers^{1, 2}. Same letters or numbers are not significantly different (p<0.05).

* On p-values, the letters α and β denote shade and thickness of resin, respectively

Table 4. Degree of conversion (%) of the specimens light cured using LED light-curing unit and different shades

		LED		
		Shade A2 ^A	Shade A3 ^B	Shade C2 ^A
Degree of conversion	Top ¹	73,4±2,9	73,2±4,0	72,5±2,1
	1 mm ¹	73,0±0,9	70,6±5,7	71,1±4,8
	2 mm ²	69,9±2,2	66,4±1,9	68,4±3,1
	3 mm ³	65,7±3,1	61,0±2,7	63,2±2,6
	p-value	$\alpha < 0,001, \beta = 0,038, \alpha \times \beta = 0,817$		

* Statistically significant difference on shade of the resin is shown by superscript letters^{A, B}, on thickness of the resin by superscript numbers^{1, 2}. Same letters or numbers are not significantly different (p<0.05).

* On p-values, the letters α and β denote shade and thickness of resin, respectively

Table 5. Polymerization shrinkage (µm) of the specimens light cured using LED light-curing unit and different shades

		LED			
		Shade A2 ^A	Shade A3 ^A	Shade C2 ^A	p-value
Polymerization shrinkage		7,6±0,1	7,3±0,3	7,4±0,6	0,586

* Statistically significant difference on shade of the resin is shown by superscript letters^{A, B}. Same letters are not significantly different (p<0.05).

대하여 하부면의 광자의 수는 시편의 두께 1mm, 2mm 그리고 3mm로 증가 할수록 지수적인 감소를 보였으며 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.05). 색조간에는 A2 색조군에서 나머지 A3, C2 색조군에 비해 통계적으로 유의하게 더 낮은 지수적 감소를 나타내었다(p<0.05). A3 색조군과 C2 색조군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

Table 3 는 각기 다른 색조와 두께를 가진 P90 복합 레진 시편에 대하여 LED 광조사기로 중합 하여 24시간 보관 이후 시편의 두께에 따른 미세경도 값을 나타내었다. 24시간 보관 이후 측정된 미세경도 값의 경우 각각 A2 색조군에서 52.0~62.3Hv, A3 색조군에서 48.5~58.3Hv, 그리고 C2 색조군에서 51.6~61.5Hv를 보였으며 모든 시편에 대하여 시편의 두께가 증가 할수록 미세경도 값이 통계적으로 유의하게 감소하였다(p<0.05).

색조 간에는 A3 색조군의 경우 A2 색조군과 C2 색조군에 대하여 통계적으로 유의하게 낮은 미세경도 값을 나타내었다(p<0.05).

Table 4는 LED 광조사기로 중합 한 각기 다른 색조의 P90 복합레진에 대하여 시편의 두께에 따른 중합률(%)을 나타내었다. A2 색조군에서 65.7-73.4%, A3 색조군에서 61.0-73.2%, 그리고 C2 색조군에서 72.5-63.2%의 중합률을 나타내었다. 시편의 두께에 따른 중합률의 경우, 시편의 상부면과 시편의 두께가 1mm일 때의 하부면을 제외하고 시편의 두께가 두꺼워 질수록 통계적으로 유의하게 중합률의 감소를 보였으며(P<0.05), A2 색조군이 A3 색조군에 비해 통계적으로 유의하게 높은 중합률을 나타내었다(p<0.05).

Table 5는 본 실험에 사용된 P90 복합레진의 각기 다른 색조에 대한 중합수축 값을 나타내었으며 7.3-7.6µm

의 중합 수축값을 보였다. 각 색조 사이에는 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$).

4. 고 찰

본 연구는 최근 저수축용 복합레진으로 개발된 P90 silorane 기질 복합레진의 여러 가지 색조에 있어 LED 광중합기로 광중합한 다양한 두께의 레진 시편에 대하여 광자의 수, 미세경도, 중합률, 그리고 중합수축을 측정하였다. 현재 시판중인 Silorane 기질 복합레진인 P90 상품에 대하여 A2, A3, 그리고 C2의 색조가 선택되었으며 silorane 기질 복합레진에 초점 맞추기 위하여 다른 종류의 복합레진은 실험에서 배제하였다. 이는 silorane 복합레진이라는 새로운 복합레진에 있어 색조 성분과 두께가 중합 물성에 미치는 영향을 알아보고 임상에서 가이드라인으로 삼고자 하기 위함이었다.

적절한 중합은 복합레진의 적합한 물리적, 기계적 성질을 획득하기 위해 중요한 역할을 한다. 이전의 연구에 의하면 필러와 단량체 종류, 필러의 형태와 조성등과 같은 요소가 광중합시 복합레진에 대하여 빛의 투과에 영향을 줄 수 있다(Strydom, 2002). 본 연구에서는 시편의 상부면에 비해 하부면의 광자의 수는 시편의 두께가 증가 할수록 지수적인 감소를 보였다(감쇄상수(μ ; mm^{-1}) = -1.34 ~ -1.46). 기본적으로 광조사기에서 나오는 중합광이 복합레진 수복물을 통과하면서 빛의 강도는 레진 기질과 필러 입자, 색소 등에 의하여 빛의 산란과 흡수가 일어나면서 점차 감소하게 된다. 이러한 이유로 수복물의 깊이가 증가함에 따라 광자에 의해 활성화되는 광개시제가 점차 감소하게 되고 따라서 중합 정도가 감소하게 된다(Atmadja와 Bryant, 1990). 본 연구는 복합레진 시편의 두께가 증가할수록 광자의 수가 지수적 감소를 보이는 이전 연구 결과와 일치했다. Myers 등은 빛의 투과율은 재료의 색에 영향을 받는다고 보고하였으며(Myers 등, 1994), 색, 채도와 명도에 따라서 시편을 통과하면서 발생할 수 있는 빛의 감쇄는 달라지게 된다. P90은 A2, A3, B2, 그리고 C2 색조가 시판되고 있는데 그 중 임상적인 사용이 빈번한 A2, A3, 그리고 C2 색조가 본 연구에 사용되었다. Park 등의 색조 가이드의 색 분포에 있어 광원이 미치는 영향에 대한 연구에 따르면 임상적으로 사용이 빈번한 Vita Lumin Vacuum shade guide에 있어 색조 탭 중 본 연구에서 사용된 색조 가운데 A2 색조가 가장 낮은 채도를 나타내며, 이어서 C2와 A3 색조의 순서로 채도가 증가한다고 보고하였다(Park 등, 2006).

또한 채도와 명도는 별개의 측정 지수로 채도의 증가가 비례적으로 명도의 감소로 이어지는 것은 아니나 명도가 낮아지는 것은 모든 과정에서 빛의 흡수가 일어나는 것이며 채도의 변화는 특정 파장에 대하여 빛의 흡수가 일어난 결과로 명도와 채도의 변화는 모두 빛의 흡수와 관련이 되어 있으며 명도가 낮을수록, 채도가 증가할수록 빛의 투과에는 불리하게 작용되어진다(Yu와 Lee, 2008). 레진의 색조가 어두울수록 시편을 통과하는 중합광은 더 많이 흡수 되며 이것은 시편을 통과하는 빛의 감쇄에 영향을 주게 된다. 본 연구에서도 보다 밝은 색인 A2 색조군에서 더 많은 광자의 수를 보였으며 나머지 A3 색조군, C2 색조군에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 지수적 감소를 나타내었다($p < 0.05$).

복합레진의 색조가 복합레진의 중합률과 물성에 끼치는 영향에 대해서는 상반된 보고가 있어왔다. Ruggeberg 등은 레진의 색조와 필러의 종류는 중합 깊이에 큰 영향을 끼치지 않는다고 보고하였고(Ruggeberg 등, 1993), 반면에 복합레진의 색조가 짙어질수록 중합의 깊이가 감소하고 파절 강도와 중합률이 낮아진다는 보고도 있어왔다(Leloup 등, 2002). 이번 연구는 동일한 복합레진을 사용함으로써 복합레진의 구성 성분 중 색조를 나타내는 성분 요소가 복합레진 시편의 두께에 따라 광자의 수, 미세경도, 중합률, 중합 수축에 미치는 영향을 비교하고자 하였다.

복합레진의 미세경도는 기질 성분, 필러 입자의 종류와 총량, 중합률 등과 같은 여러 가지 요소에 의하여 영향을 받게 된다. 색조가 복합레진의 중합 물성에 미치는 영향을 파악하기 위해서 개시제, 단량체의 종류 그리고 색소 성분 등 복합레진을 구성하는 성분에 대한 이해가 필요하다(Ferracane 등, 1986; Tsai 등, 2004). 현 연구의 경우 동일한 개시제와 단량체가 사용되었으므로 구성 성분 중 색소 성분을 고려할 수 있겠다. 채도는 색의 포화를 의미하는데 색을 진하게 하는 염료를 많이 첨가 할수록 채도는 증가한다. 이것은 물체나 색의 밝고 어두운 정도를 나타내며 이는 빛 에너지의 반사와 투과에 밀접한 영향을 미치게 된다(Yoo와 Cho, 2011). 특히 복합레진의 색조를 내기 위하여 붉은색, 노랑색, 검정색 등의 채도가 높고, 명도가 낮은 다양한 금속 산화물을 사용하게 된다. 이러한 이산화티타늄과 이산화알루미늄 같은 유리물질의 첨가는 복합레진의 다양한 색을 만들기 위하여 첨가되며 이러한 색소의 농도는 광학적 밀도의 강화로 인해 복합 레진을 통한 빛의 전달이 어려울 수 있다고 보고되며 그로 인하여 중합 깊이의 감소를 나타내게 된다(de Araújo 2008; El-Askary와 El-Korashy, 2012).

본 연구에서 각기 다른 색조와 두께를 가진 P90 복합

레진 시편의 미세경도의 경우, 각각 A2 색조군에서 52.0 ~ 62.3Hv, A3 색조군에서 48.5 ~ 58.3Hv, 그리고 C2 색조군에서 51.6 ~ 61.5Hv를 보였으며 실험에 사용된 색조간에는 A2 색조군과 C2 색조군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었으며($p > 0.05$), A3 색조군의 경우 A2 색조군과 C2 색조군에 대하여 통계적으로 유의하게 낮은 미세경도 값을 나타내어($p < 0.05$) 이러한 색조에 따른 채도차에 의하여 미세경도의 감소를 확인할 수 있었다. 한편 복합레진의 강도는 필러의 조성에 영향을 받는데 필러의 함량이 증가할수록 복합레진의 강도가 증가하는 경향을 보이게 된다(Lin-Gibson 등, 2009). 복합레진의 색조를 위해 첨가하는 금속 산화물 또한 이러한 필러로 작용하게 되어 복합레진의 강도에 영향을 미칠 수 있게 된다. 본 연구에서 A2 색조군과 C2 색조군은 색조에 의한 채도 차이가 있음에도 불구하고 통계적으로 유의한 미세경도 차이를 나타내지 않는 것은 이러한 금속산화물이 중합을 위한 빛의 투과도에 영향을 줄 뿐만 아니라 필러로서의 역할을 함으로써 복합레진의 중합에 있어 복합적으로 작용한다는 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서는 채도가 높은 색조일수록 모든 시편에 대하여 시편의 두께가 증가 할수록 미세경도 값이 통계적으로 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 중합광이 산란과 흡수 없이 수복물을 통과하는 이상적인 상황에서는 수복물의 상부면과 하부면의 중합 정도가 일치하게 되어 미세경도의 비율이 1에 근접하게 되나 적절한 중합을 위하여 이전의 연구에 의하면 수복물의 바닥부인 하부면에서는 상부면의 미세경도에 대하여 적어도 80%의 미세경도를 가져야 한다고 보고된 바 있다(Asmussen, 1982; Yeom 1985). 본 연구에서는 시편의 두께별로, 시편의 상부면에 대한 하부면 미세경도의 비율은 A2 색조군에서 83.5 ~ 92.8%, A3 색조군에서 83.2~91.9% 그리고 C2 색조군에서 83.9 ~ 92.7%를 보였으며 모든 시편에서 상부면에 대한 하부면 미세경도의 비율이 80%가 넘었다. 이는 P90 복합레진에 대하여 광중합 후 24시간 보관 이후 3mm두께의 시편에서는 하부면의 경도가 상부면에 대하여 80%가 넘는 미세경도를 가짐을 알 수 있었다.

복합레진의 중합률을 측정하는 방법에는 NMR spectroscopy, MIR spectrometer, HPLC, UV/Vis spectrophotometer, Gas-liquid chromatography, FTIR 법 등이 있다(Imazato 등; 2001). 본 연구에서는 다른 방법들에 비해 측정이 편리하고 신뢰도가 높은 FTIR를 사용하여 중합률을 측정하였다(Ilie와 Hickel, 2006).

중합률은 빛이 복합레진의 시편을 통과하여 중합되는 복합레진의 단량체 체계와 관련이 있으며 광조사 이후

복합레진의 모든 단량체가 중합체로 전환되는 경우 최상의 수복물의 물리적 성질을 가질 수 있겠으나 빛이 복합레진의 시편을 통과하면서 분산될 때 생기는 에너지의 소실이 많을수록 활성화되는 광개시제의 양이 줄어들게 되며 시편의 두께가 두꺼워 질수록 중합의 효율을 떨어뜨리게 된다(Tonetto 등, 2013). 본 연구에서도 이러한 것들이 반영되었는데 시편의 두께에 따라서는 시편의 상부면과 시편의 두께가 1mm일 때의 하부면을 제외하고는 실험에 사용된 모든 색조에서 시편의 두께가 두꺼워 질수록 통계적으로 유의하게 중합률의 감소를 보였다($p < 0.05$). 또한 채도가 증가할수록 통과하는 빛의 산란과 흡수가 증가함으로 인해 충분한 중합에 불리하게 작용할 수 있겠는데 본 연구에서는 A2 색조군에서 65.7 ~ 73.4%, A3 색조군에서 61.0 ~ 73.2%, 그리고 C2 색조군에서 63.2 ~ 72.5%의 중합률을 나타내었다. A2 색조군이 A3 색조군에 비해 통계적으로 유의하게 높은 중합률을 나타내었고($p < 0.05$), C2 색조군의 경우 A2 색조군과 A3 색조군의 중합률에 대하여 통계적으로 유의하게 차이가 나지 않는 값을 나타내었다($p > 0.05$). 이러한 결과는 레진 색조성분의 차이에 따른 중합의 효율을 반영하는 것으로 사료된다.

P90 복합레진에 있어 서로 다른 색조의 시편에 대한 중합수축은 7.3 ~ 7.6 μ m로 색조간 통계학적으로 유의한 차이가 없었으며 이는 A2, A3 그리고 C2 색조의 P90 복합레진의 중합수축은 색조를 결정하는 성분요소에 대하여 큰 영향을 받지 않는다고 생각할 수 있다.

결론적으로 본 실험을 통하여 P90 복합레진에 있어 더 낮은 채도의 색조는 시편의 두께가 두꺼워질수록 통과하는 광자의 수가 많으며 이것은 표면경도와 중합률의 증가를 야기하지만, 중합수축은 색조에 큰 영향을 받지 않는다고 판단되어진다.

5. 결 론

본 연구는 최근 저수축용 복합레진으로 개발된 P90 silorane 기질 복합레진의 여러가지 색조와 두께가 증가함에 따른 중합적 특징을 파악하고자 A2, A3, 그리고 C2 색조에 대하여 LED 광중합기로 광조사한 1, 2, 그리고 3mm 두께의 레진 시편에 대하여 광자의 수, 표면미세경도, 중합률을 측정하였고 A2, A3, 그리고 C2색조의 중합수축을 측정하여 다음의 결과를 얻었다.

1. 복합레진의 두께가 증가함에 따라 광의 세기는 지수

- 적인 감소를 나타내었고 A2 색조군에서 가장 많은 광자의 수를 보였으며 나머지 군들에 비하여 통계적으로 유의하게 낮은 지수적 감소를 나타내었다(p<0.05).
2. 색조와 두께에 따른 미세경도를 측정된 결과, A3색조군에서 통계적으로 유의하게 낮은 미세경도를 나타내었고(p<0.05), 두께가 증가할수록 통계적으로 유의하게 미세경도가 감소하였다(p<0.05).
 3. 중합률의 측정에 대해서는 A2색조군에서 통계적으로 유의하게 높은 중합률을 나타내었으며(p<0.05), 시편의 상부면과 1mm 두께의 하부면을 제외하고는 두께가 증가할수록 중합률은 감소하였다(p<0.05).
 4. 중합수축에 있어 A2, A3, 그리고 C2 색조군 간의 유의한 차이는 없었다(p<0.05).

참고 문헌

- Atmadja G, Bryant RW (1990). Some factors influencing the depth of cure of visible light-activated composite resins. *Aust Dent J.* 35:213-218.
- Asmussen E (1982). Restorative resins: hardness and strength vs. quantity of remaining double bonds. *Scand J Dent Res.* 90:484-489.
- Bouschlicher MR, Rueggeberg FA, Wilson BM (2004). Correlation of bottom-to-top surface microhardness and conversion ratios for a variety of resin composite compositions. *Oper Dent.* 2004 29:698-704.
- Davidson CL, Feilzer AJ (1997). Polymerization shrinkage and polymerization shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent.* 25:435-440.
- de Araújo CS, Schein MT, Zanchi CH, Rodrigues SA Jr, Demarco FF (2008). Composite resin microhardness: the influence of light curing method, composite shade, and depth of cure. *J Contemp Dent Pract.* 9:43-50.
- de Gee AF, Feilzer AJ, Davidson CL (1993). True linear polymerization shrinkage of unfilled resins and composites determined with a linometer. *Dent Mater.* 9:11-14.
- El-Askary FS, El-Korashy DI (2012). Influence of shade and light-curing distance on the degree of conversion and flexural strength of a dual-cure core build-up resin composite. *Am J Dent.* 25:97-102.
- Ferracane JL, Aday P, Matsumoto H, Marker VA (1986). Relationship between shade and depth of cure for light-activated dental composite resins. *Dent Mater.* 2:80-84.
- Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bambi C, Grandini R (2006). A review of polymerization shrinkage stress: current techniques for posterior direct resin restorations. *J Contemp Dent Pract.* 7:79-88.
- Ilie N, Hickel R (2006). Silorane-based dental composite: behavior and abilities. *Dent Mater J.* 25:445-454.
- Imazato S, McCabe JF, Tarumi H, Ehara A, Ebisu S (2001). Degree of conversion of composites measured by DTA and FTIR. *Dent Mater.* 17:178-183.
- Leloup G, Holvoet PE, Bebelman S, Devaux J (2002). Raman scattering determination of the depth of cure of light-activated composites: influence of different clinically relevant parameters. *J Oral Rehabil.* 29:510-515.
- Lien W, Vandewalle KS (2010). Physical properties of a new silorane-based restorative system. *Dent Mater.* 26:337-344.
- Lin-Gibson S, Sung L, Forster AM, Hu H, Cheng Y, Lin NJ (2009). Effects of filler type and content on mechanical properties of photopolymerizable composites measured across two-dimensional combinatorial arrays. *Acta Biomater.* 5:2084-2094.
- Li Y, Swartz ML, Phillips RW, Moore BK, Roberts TA (1985). Effect of filler content and size on properties of composites. *J Dent Res.* 64:1396-1401.
- Myers ML, Caughman WF, Rueggeberg FA (1994). Effect of restoration composition, shade, and thickness on the cure of a photoactivated resin cement. *J Prosthodont.* 3:149-157.
- Park JH, Lee YK, Lim BS (2006). Influence of illuminants on the color distribution of shade guides. *J Prosthet Dent.* 96:402-411.
- Rueggeberg FA, Caughman WF, Curtis JW Jr, Davis HC (1993). Factors affecting cure at depths within light-activated resin composites. *Am J Dent.* 6:91-95.
- Sakaguchi RL, Peters MC, Nelson SR, Douglas WH, Poort HW (1992). Effects of polymerization contraction in composite restorations. *J Dent.* 20:178-182.
- Shortall AC, Wilson HJ, Harrington E (1995). Depth of cure of radiation-activated composite restoratives: influence of shade and opacity. *J Oral Rehabil.*

- 22:337-342.
- Strydom C (2002). Curing lights-the effects of clinical factors on intensity and polymerisation. *SADJ*. 57: 181-186.
- Swartz ML, Phillips RW, Rhodes B (1983). Visible light-activated resins-depth of cure. *J Am Dent Assoc*. 106:634-637.
- Tonetto MR, Pinto SC, Rastelli Ade N, Borges AH, Saad JR, Pedro FL, de Andrade MF, Bandéca MC (2013). Degree of conversion of polymer-matrix composite assessed by FTIR analysis. *J Contemp Dent Pract*. 14:76-79.
- Torres SA, Silva GC, Maria DA, Campos WR, Magalhães CS, Moreira AN (2014). Degree of conversion and hardness of a silorane-based composite resin: effect of light-curing unit and depth. *Oper Dent*. 39: 137-146.
- Tsai PC, Meyers IA, Walsh LJ (2004). Depth of cure and surface microhardness of composite resin cured with blue LED curing lights. *Dent Mater*. 20: 364-369.
- Weinmann W, Thalacker C, Guggenberger R (2005). Siloranes in dental composites. *Dent Mater*. 21:68-74.
- Yap AU, Wang HB, Siow KS, Gan LM (2000). Polymerization shrinkage of visible-light-cured composites. *Oper Dent*. 25:98-103.
- Yeum JA (1985). Factors affecting cure of visible light activated composites. *Int Dent J*. 35:218-225.
- Yoo JA, Cho BH (2011). Effects of the color components of light-cured composite resin before and after polymerization on degree of conversion and flexural strength. *J Korean Acad Conserv Dent*. 36:324-335.
- Yu B, Lee YK (2008). Influence of color parameters of resin composites on their translucency. *Dent Mater*. 24:1236-1242.