

공초점 레이저 주사 현미경을 이용한 실험적 레진의 표면 조도에 대한 연구

배지현¹ · 이미애² · 조병훈^{2,3*}¹분당 서울대학교병원 치과보존과, ²서울대학교 치과대학 치과보존학교실, ³치학연구소

ABSTRACT

SURFACE ROUGHNESS OF EXPERIMENTAL COMPOSITE RESINS
USING CONFOCAL LASER SCANNING MICROSCOPEBae JH¹, Lee MA², Cho BH^{2,3*}¹Department of Conservative Dentistry, Seoul National University Bundang Hospital,²Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Seoul National University,³Dental Research Institute, Seoul National University

The purpose of this study was to evaluate the effect of a new resin monomer, filler size and polishing technique on the surface roughness of composite resin restorations using confocal laser scanning microscopy. By adding new methoxylated Bis-GMA (Bis-M-GMA, 2,2-bis[4-(2-methoxy-3-methacryloyloxy propoxy) phenyl] propane) having low viscosity, the content of TEGDMA might be decreased. Three experimental composite resins were made: EX1 (Bis-M-GMA/TEGDMA = 95/5 wt%, 40 nm nanofillers); EX2 (Bis-M-GMA/TEGDMA = 95/5 wt%, 20 nm nanofillers); EX3 (Bis-GMA/TEGDMA = 70/30 wt%, 40 nm nanofillers). Filtek Z250 was used as a reference.

Nine specimens (6 mm in diameter and 2 mm in thickness) for each experimental composite resin and Filtek Z250 were fabricated in a teflon mold and assigned to three groups. In Mylar strip group, specimens were left undisturbed. In Sof-lex group, specimens were ground with #1000 SiC paper and polished with Sof-lex discs. In DiaPolisher group, specimens were ground with #1000 SiC paper and polished with DiaPolisher polishing points. The Ra (Average roughness), Rq (Root mean square roughness), Rv (Valley roughness), Rp (Peak roughness), Rc (2D roughness) and Sc (3D roughness) values were determined using confocal laser scanning microscopy. The data were statistically analyzed by Two-way ANOVA and Tukey multiple comparisons test ($p = 0.05$).

The type of composite resin and polishing technique significantly affected the surface roughness of the composite resin restorations ($p < 0.001$). EX3 showed the smoothest surface compared to the other composite resins ($p < 0.05$). Mylar strip resulted in smoother surface than other polishing techniques ($p < 0.05$).

Bis-M-GMA, a new resin monomer having low viscosity, might reduce the amount of diluent, but showed adverse effect on the surface roughness of composite resin restorations.

[J Kor Acad Cons Dent 33(1):1-8, 2008]

* Corresponding Author: **Byeong-Hoon Cho**

Department of Conservative Dentistry,
School of Dentistry, Seoul National University
28 Yeongeon-dong, Jongro-gu, Seoul, 110-749, Korea
Tel: 82-2-2072-3514 Fax: 82-2-764-3514
E-mail: chobh@snu.ac.k

Key words: Bis-M-GMA, confocal laser scanning microscopy, filler size, new resin monomer, surface roughness

- Received 2007.9.18., revised 2007.10.24., accepted 2007.10.24.-

※ This work was supported by a grant from the Ministry of Health and Welfare of Korea (Grant No. 03-PJ1-PG1-CH09-0001).

I. 서 론

환자들의 심미 수복에 대한 요구의 증가와 치과 재료의 발달로 사용이 간편하고 일회 내원으로 시술이 가능한 복합레진의 사용이 증가되고 있다. 복합레진 수복의 최종 단계에서 매끄러운 표면을 얻을 수 있는 연마방법은 수복의 성공을 결정하는 중요한 요소이다. 매끄럽고 잘 연마된 표면은 복합레진 수복물의 수명과 심미성을 개선하고 건강한 치주상태와 자연스러움을 유지, 관리하기 위해 필수적이다¹⁾. 거칠고 불규칙한 수복물 표면은 거친 촉감에 의해 환자의 불편감을 야기하고²⁾, 치태와 세균 침착을 가속화시켜 치은염증 및 이차 우식증 등을 유발시킬 수 있다³⁾. 또한 색소 침착에 따른 착색과 변색 등으로 색조의 안정성을 저하시킨다⁴⁾.

많은 연구에서 보고되었듯이 복합레진은 polyester matrix strip하에서 중합 될 때 가장 평활한 표면을 얻을 수 있지만, 여분의 수복재료를 제거하는 마무리 (finishing)와 연마 (polishing) 과정이 필요한 경우가 많으며, 이런 마무리나 연마 과정에서 거칠고 불규칙한 표면이 생긴다^{5,6)}. 마무리란 원하는 외형을 얻기 위해 수복물의 표면을 삭제하는 것이고, 연마는 마무리 과정 도중 생긴 흠집과 거칠기를 제거하는 것을 말한다⁷⁾. 현재 복합레진의 마무리와 연마에 다이아몬드 버, 카바이드 버, 산화 아연 디스크, 다양한 입자 크기의 산화 아연 가루, 다이아몬드 입자의 연마제가 내제된 레진 디스크와 포인트, 연마제가 내제된 brush 등이 사용되고 있다⁸⁾. 이런 연마 기구들은 입자가 큰 것로부터 입자가 작은 것의 순서로 점진적으로 사용하고, 연마시 적용되는 rotary, planar, reciprocal 3가지 motion중에서 planar motion으로 사용하면 가장 매끄럽고 평활한 표면을 얻을 수 있다⁹⁾.

마무리와 연마 후 복합레진의 표면은 복합레진의 종류에 의해 영향을 받게 된다. 복합레진에서는 필러 입자가 레진 기질보다 훨씬 단단하므로 마무리와 연마 중에 레진기질이 우선적으로 제거 되어 복합레진 표면에 필러가 튀어나오게 된다¹⁰⁾. 따라서 필러의 크기가 큰 혼합형이나 미세혼합형 복합레진은 미세입자형 복합레진보다 거칠고 불규칙한 표면을 갖게 된다¹¹⁾. 최근에 소개되는 나노필러를 함유한 복합레진은 우수한 표면 마무리와 물성이 기대되었다. 나노 기술을 이용하면 매우 작은 나노필러 (0.1 - 100 nm)로 복합레진을 제조할 수 있고 많은 양의 필러를 첨가 할 수 있으며, 필러가 레진기질로 침투해 들어갈 수 있어서 독특한 특성을 부여할 수 있다¹²⁾.

Bis-GMA (2,2-bis[4-(2-hydroxy-3-methacryloxypropoxy)phenyl] propane)는 복합레진의 주요 성분으로 사용되고 있지만 hydroxyl group 사이의 수소결합 때문에 점도가 높아 조작하거나 필러량을 증가시키는데 제약이 있

어서 TEGDMA (Triethylene glycol dimethacrylate) 같은 희석제를 혼합하여 이용한다¹³⁾. 그러나 희석제는 수분 흡수율을 높이고 중합수축률을 높이게 된다^{14,15)}. 이런 단점을 극복하기 위해서는 희석제의 사용을 줄여야 한다. Bis-GMA보다 점도가 낮은 기질레진을 얻기 위하여 Bis-GMA의 hydroxy group을 methoxy group으로 대체하여 Bis-M-GMA (2,2-bis[4-(2-methoxy-3-methacryloxypropoxy) phenyl] propane)를 제작하였다¹⁶⁾. Bis-M-GMA는 점도가 낮고, 강한 상호작용으로 분자간 간격을 좁히는 hydroxyl group의 밀도가 낮기 때문에 중합 시간이 짧고 중합수축도 적으며, 수분 흡수율도 낮다¹⁶⁾. 몇몇 연구에서 Bis-M-GMA를 기질단량체로 사용하여 실험용 복합레진을 제작하여 중합수축, 강도, 수분 흡수, 미세변연누출 등에서 우수한 결과를 보고하였지만^{16,17)}, Bis-M-GMA를 임상적으로 사용하기 위해서는 다양한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 새로운 레진단량체인 Bis-M-GMA를 함유한 복합레진의 연마성능을 평가하기 위해 Bis-M-GMA를 기질레진으로 함유하고 첨가된 필러의 크기가 다른 2종의 실험용 복합레진과 Bis-GMA를 함유한 1종의 실험용 복합레진을 제작하여 2가지 표면연마법과 polyester strip에 의해 형성된 표면의 표면조도 값을 2차원, 3차원적으로 분석할 수 있는^{18,19)} 공초점 레이저 주사 현미경 (Confocal laser scanning microscopy; CLSM)으로 측정하여 비교하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

새로운 단량체인 Bis-M-GMA를 함유하고 필러의 크기가 다른 2종의 실험용 복합레진과 Bis-GMA를 함유한 1종의 실험용 복합레진을 제작하였다 (Table 1).

EX1: 실험용 복합레진 1

(Bis-M-GMA/TEGDMA = 95/5 wt%, 40 nm 나노 필러 함유),

EX2: 실험용 복합레진 2

(Bis-M-GMA/TEGDMA = 95/5 wt%, 20 nm 나노 필러 함유)

EX3: 실험용 복합레진 3

(Bis-GMA/TEGDMA = 70/30 wt%, 40 nm 나노필러 함유)

Filtek Z250 (3M ESPE, St. Paul, MN, USA)을 대조군으로 사용하였다.

복합레진 연마기구로는 Sof-lex disc (3M ESPE, St. Paul, MN, USA)와 HiLusterPlus DiaPolisher

Table 1. The composition of experimental composite resins (Unit: wt%)

	Monomer (25 wt%)			Filler (75 wt%)		
	Bis-GMA	Bis-M-GMA	TEGDMA	Barium sitrate	40 nm silica	20 nm silica
EX1	0	23.75	1.25	65	10	0
EX2	0	23.75	1.25	65	0	10
EX3	17.5	0	7.5	65	10	0

The numbers were weight percentage of the composition within each experimental resin.

Table 2. Polishing tools and their polishing protocols

Polishing tools	Color code	RPM	Time (s)
Sof-lex	Dark orange	10000	20
(3M ESPE, St. Paul, MN, USA)	Light orange	30000	20
	Yellow	30000	20
HiLusterPlus DiaPolisher	Blue	20000	30
No.2662 (KerrHawe)	Gray	20000	30

No.2662 (KerrHawe, Bioggio, Switzerland)를 사용하고, polyester matrix strip (Mylar strip)를 이용하여 중합한 표면의 조도와 비교하였다 (Table 2).

2. 실험방법

(1) 시편제작

직경 6 mm, 두께 2 mm의 원통형 테프론 몰드의 상, 하면에 mylar strip과 glass slide를 위치시키고 복합레진을 채워 넣은 후, curing light unit (Hilux™ Ultra+, Benlioglu Dental Inc., Ankara, Turkey; 광강도 500 mW/cm² 이상)으로 실험용 복합 레진은 40초, Filtek Z250은 제조사의 지시대로 20초 광중합하여, 각 재료당 9개씩 총 36개의 시편을 제작하고 증류수에 보관하였다.

(2) 복합레진 표면의 연마

중합된 시편은 한명의 실험자가 각 재료당 6개의 시편을 #1000 grit Silicon carbide (SiC) paper에 30초 연마한 후, 각각 3개의 시편에 대해 Sof-lex disc와 HiLusterPlus DiaPolisher를 RPM을 조절할 수 있는 low speed rotary engine에 장착하여 제조사의 지시에 따라 연마하였다 (Table 2). 3개의 시편은 Mylar strip군으로 분류하고 연마하지 않았다.

(3) 표면조도의 측정

표면조도를 측정하기 전에 각 복합레진의 표면은 air-water 시린지로 깨끗이 세척한 후 압축 공기로 건조하였다.

공초점 레이저 주사 현미경 (CLSM, LSM 5 Pascal Confocal Laser Scanning Microscope, Carl Zeiss, Germany)을 이용하여 한 시편당 7군데에서 측정하였으며, 촬영한 시편의 표면을 Zeiss LSM Image Examiner Ver 3.1 (Carl Zeiss, Germany) PC용 프로그램을 이용하여 2차원 및 3차원 조도를 분석하였다.

비교 분석에 쓰인 각 값의 정의는 다음과 같다²⁰⁾.

Ra (Average roughness): 산술평균으로 계산한 표면의 높낮이의 편차, 중심선 표면거칠기

Rq (Root mean square roughness): 제곱평균제곱근의 방식으로 계산한 표면의 높낮이의 편차

Rv (Valley roughness): 중심선에서부터 가장 깊은 단면 골의 깊이

Rp (Peak roughness): 중심선에서부터 가장 높은 단면 산의 높이

Rc (2D roughness): 2차원적 거칠기 정도, 2차원 표면 평균 높이

Sc (3D roughness): 3차원적 거칠기 정도, 3차원 표면 평균 높이

복합레진의 종류와 연마 방법에 따른 표면조도 비교분석은 표면 높낮이의 산술평균인 Ra 값으로 하였고 다른 Rq, Rv, Rp, Rc, Sc 값들은 실험결과 해석에 참고하였다.

(4) 통계분석

실험용 복합레진의 종류와 연마 방법에 따른 표면조도 간의 교호작용과 각군 간의 표면조도의 유의성 검증은 통계 분석 프로그램인 SigmaStat (version 3.1; Jandel

Scientific Software, Chicago, IL, USA)를 사용하여 Two-way ANOVA와 Tukey multiple comparisons test를 적용하여 분석하였다 (유의수준 $p = 0.05$).

III. 실험결과

공초점 레이저 주사 현미경 관찰에서의 표면연마의 관찰상은 복합레진의 종류나 연마 방법에 따라 비슷한 양상을 보였다 (Figure 1 - 3). 복합레진의 종류와 연마 방법에 따

른 Ra, Rq, Rv, Rp, Rc, 및 Sc의 평균값과 표준편차는 Table 3에 나타내었다. 복합레진의 종류에 따른 표면조도의 순서는 EX2가 가장 거친 표면을 보였고, Z250과 EX1이 중간 정도의 거친 표면을 가졌고, EX3이 가장 평활한 면을 형성하였다 ($p < 0.05$). 연마 방법에서 표면조도의 순서는 DiaPolisher 군과 Sof-lex 군이 비슷한 표면거칠기를 보였고, 연마하지 않은 Mylar strip 군이 가장 평활한 면을 형성하였다 ($p < 0.05$).

Table 3. The Ra, Rq, Rv, Rp, Rc, and Sc values of experimental composite resins according to the polishing techniques

	Group	Mylar strip	Sof-lex	DiaPolisher	Multiple comparisons [¶] and interaction effect (Two-way ANOVA)
Ra	EX1	0.59 (0.61) ^{b.2†}	0.94 (0.19) ^{b.1}	1 (0.45) ^{a.b.1}	Resin $p < 0.001$
	EX2	1.01 (0.55) ^{a.1}	0.97 (0.13) ^{b.1}	1.15 (0.19) ^{a.1}	Polishing $p < 0.001$
	EX3	0.17 (0.03) ^{c.2}	0.69 (0.25) ^{b.1}	0.8 (0.4) ^{b.1}	Resin \times polishing $p < 0.001$
	Z250 [§]	0.54 (0.55) ^{b.2}	1.28 (0.28) ^{a.1}	1.22 (0.36) ^{a.1}	
Rq	EX1	0.76 (0.62) ^{b.2}	1.17 (0.21) ^{a.b.1}	1.24 (0.48) ^{a.b.1}	Resin $p < 0.001$
	EX2	1.27 (0.57) ^{a.1}	1.14 (0.14) ^{a.b.1}	1.38 (0.23) ^{a.1}	Polishing $p < 0.001$
	EX3	0.23 (0.07) ^{c.2}	0.87 (0.28) ^{b.1}	0.99 (0.4) ^{b.1}	Resin \times polishing $p < 0.001$
	Z250	0.71 (0.57) ^{b.2}	1.46 (0.25) ^{a.1}	1.44 (0.46) ^{a.1}	
Rv	EX1	2.99 (1.32) ^{a.1}	3.73 (1.53) ^{a.1}	3.58 (0.75) ^{a.1}	Resin $p < 0.001$
	EX2	1.99 (1.14) ^{b.2}	2.62 (0.46) ^{b.1.2}	3.18 (0.98) ^{a.1}	Polishing $p < 0.001$
	EX3	1.11 (0.77) ^{b.2}	2.89 (0.94) ^{a.b.1}	2.28 (0.75) ^{b.1}	Resin \times polishing $p = 0.002$
	Z250	2.99 (1.24) ^{a.1}	2.66 (0.46) ^{b.1}	3.28 (1.93) ^{a.1}	
Rp	EX1	1.22 (1.23) ^{b.2}	2.32 (0.88) ^{a.b.1}	2.36 (0.87) ^{b.1}	Resin $p < 0.001$
	EX2	3.33 (1.43) ^{a.1}	2.43 (0.51) ^{a.2}	3.37 (0.64) ^{a.1}	Polishing $p < 0.001$
	EX3	0.47 (0.11) ^{c.3}	1.67 (0.65) ^{b.2}	2.55 (1.27) ^{b.1}	Resin \times polishing $p < 0.001$
	Z250	0.86 (0.52) ^{b.c.3}	2.63 (0.75) ^{a.2}	3.41 (0.71) ^{a.1}	
Rc	EX1	44.94 (0.55) ^{b.2}	45.24 (0.39) ^{a.b.1}	45.24 (0.42) ^{a.1}	Resin $p = 0.045$
	EX2	44.72 (0.37) ^{b.2}	45.25 (0.45) ^{a.1}	44.88 (0.43) ^{b.2}	Polishing $p < 0.001$
	EX3	44.93 (0.07) ^{b.2}	45.31 (0.32) ^{a.1}	44.82 (0.19) ^{b.2}	Resin \times polishing $p < 0.001$
	Z250	45.28 (0.23) ^{a.1}	45.01 (0.34) ^{b.1}	44.79 (0.46) ^{b.2}	
Sc	EX1	45.18 (0)	45.27 (0.22)	45.22 (0.02)	Resin $p < 0.001$
	EX2	45.18 (0)	45.21 (0.02)	45.17 (0.13)	Polishing $p < 0.001$
	EX3	45.21 (0.02)	45.2 (0.02)	45.19 (0.01)	Resin \times polishing $p = 0.091$
	Z250	45.22 (0.03)	45.29 (0.05)	45.23 (0.04)	

† The numbers in parentheses are the standard deviations. (n = 21)

¶ Means within same columns with different superscript letters in each parameter are significantly different ($p < 0.05$), and means within same rows with different superscript numbers in each parameter are significantly different ($p < 0.05$).

§ The values of Filtek Z250 were also measured as a reference.

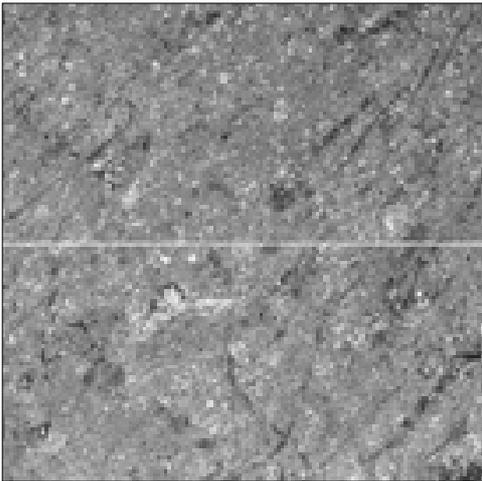


Figure 1. Confocal laser scanning micrograph of EX3 Sof-lex group ($\times 200$).

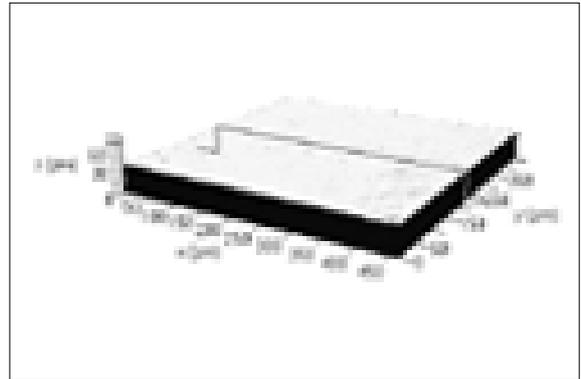


Figure 2. 3D image of EX3 Sof-lex group obtained using confocal laser scanning micrography ($\times 200$).

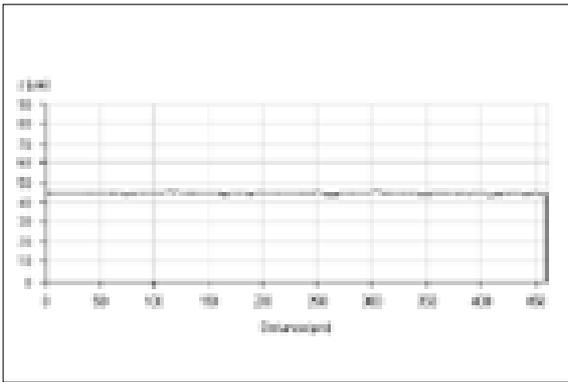


Figure 3. Cross-sectional profile obtained from the intersection line in Figure 1 & 2.

복합레진의 종류 ($p < 0.001$)와 연마 방법 ($p < 0.001$)은 각각 모두 표면조도 값에 영향을 미치며, 복합레진의 종류와 연마 방법 간에는 교호효과가 있음을 확인하였다 (Two-way ANOVA, $p < 0.001$). 즉, 각 복합레진은 연마 방법에 의해 영향을 받았다. Mylar strip 군에서는 EX2가 유의성 있게 거친 표면을 보였고, 다음으로 EX1, Z250이었으며, EX3가 유의성 있게 매끄러운 면을 보였다 ($p < 0.05$). Sof-lex 군에서는 Z250이 유의성 있게 거친 표면을 보였고, EX1, EX2, EX3는 매끄러운 표면을 보였다 ($p < 0.05$). DiaPolisher 군에서는 Z250과 EX2가 거친 표면을 보였고, 다음이 EX1이었으며, EX3가 가장 매끄러운 면을 보였으며, Z250과 EX2의 두 종류의 레진과 EX3사이에는 통계적으로 유의한 차이가 있었다 ($p < 0.05$).

IV. 총괄 및 고안

공초점 레이저 주사 현미경은 광학 현미경의 기본틀에 형광 장치를 부착하고 레이저 선을 광원으로 이용한 것으로서 레이저 선은 한점으로 모이는 특성이 있어 정교한 초점을 쉽게 맺을 수 있고, 표본 내부로 투영되어 표본을 여러 개의 얇은 단편 (약 $1 \mu\text{m}$)으로 주사할 수 있다. 주사된 빛은 사진 증폭관에 분석되어 고감도의 수상기에 상을 맺으며, 컴퓨터 프로그램에 의하여 초점 바깥의 상은 모두 제거되고 초점이 맞는 상만을 볼 수 있게 함으로써 해상력이 매우 높은 선명한 상을 볼 수 있다. 레이저 선이 주사하는 표본의 절단면은 기계적인 절편이 아닌 광학적 절편이므로 표본을 얇게 제작하지 않아도 선명한 상을 얻을 수 있고, 표본을 여러 절단면으로 주사하여 컴퓨터 프로그램으로 재구성하면 입체적인 구조를 관찰할 수도 있다²¹⁾. 공초점 레이저 주사 현미경은 시간과 노력이 드는 기계적 절단 단계를 거치지 않아도 되어 과정이 간단하고, 탈수나 염색의 과정이 필요하지 않아 시편의 변형이나 손상을 막을 수 있으며, micro-radiography 같이 술자가 방사선에 노출이 되지 않고, 컴퓨터 프로그램으로 표면 양상, 면적, 부피 등을 분석할 수 있고, 전체 구조를 3차원 어느 각도에서나 관찰 할 수 있는 장점이 있다¹⁸⁾. 이런 공초점 레이저 주사 현미경은 주로 세포생물학, 신경생리학 등에 응용되고 있으나, 90년대 들어와 상아질-레진 계면의 관찰²²⁾, 우식 상아질과 불소가 침착된 법랑질의 관찰^{18,23)}, 치과용 재료의 표면 특성 관찰²⁰⁾ 등 치과재료학 분야에도 도입되어 활용되고 있다.

본 연구에서는 stylus로 시편의 표면을 접촉하여 시편 표면의 손상의 위험이 있는 profilometer 대신에 다양한 표면 조도 값을 측정할 수 있고, 2차원 및 3차원 적으로 분석이

가능한 공초점 레이저 주사 현미경을 이용하여¹⁹⁾ 표면조도를 측정하였다. 본 연구에 사용된 공초점 레이저 주사 현미경은 profilometer의 stylus 크기 때문에 감지할 수 없었던 microgroove 등도 감지하여 이전 연구들에 비하여 높은 표면조도 값을 보였다¹⁹⁾. 기존의 profilometer는 산술 평균으로 계산한 표면 높낮이의 편차인 Ra 값을 얻을 수 있었는데 비하여 공초점 레이저 주사 현미경으로는 Ra 값뿐 아니라 제곱평균제곱근의 방식으로 계산한 표면 높낮이의 편차인 Rq, 중심선에서부터 가장 깊은 단면 골의 깊이인 Rv, 중심선에서부터 가장 높은 산의 높이인 Rp, 2차원적 거칠기 정도인 Rc, 3차원적 거칠기 정도인 Sc 값도 측정 가능하여 다양한 분석이 가능하다²⁰⁾. 본 연구 결과에서 Ra 값과 Rq 값은 모든 군에서 비슷한 양상을 보여 Ra 값이 높은 군은 Rq 값도 높았다. Ra 값과 Rq 값은 중심선에서부터 높낮이의 편차를 계산 방법만 다르게 하여 얻은 값이기 때문에 당연한 결과로 해석된다. 하지만 Ra 값과 Rq 값이 크다고 Rv 값이나 Rp 값이 크지는 않았다. Mylar strip 군에서 Ra 값과 Rq 값이 통계적으로 유의하게 큰 EX2 레진에서도 Rp 값은 크지만 Rv 값은 낮았다. 이는 EX2 × Mylar strip 군의 경우 표면에서 융기된 부분이 많아서 표면조도가 높게 측정된 것으로 해석된다.

본 연구의 결과 연마 과정을 시행하지 않은 Mylar strip 군이 다른 연마 기구를 사용한 군보다 통계학적으로 낮은 표면 조도를 보였고 ($p < 0.05$), Sof-lex와 DiaPolisher로 연마한 군 사이에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다 ($p > 0.05$). 이 결과는 polyester matrix strip하에서 중합될 때 가장 평활한 표면을 얻을 수 있다는 이전의 연구 결과들과 일치하였다^{3,5,6)}. 하지만 polyester matrix strip으로 형성된 표면은 중합수축 중인 복합레진 분자의 재배열이 방해되어 유발되는 응력 때문에 변색이 쉽게 된다는 연구 결과²⁴⁾와, 무기질에 비해 레진 기질이 많아 쉽게 수분을 흡수하여 변색의 원인을 제공한다는 보고²⁵⁾도 있다. 실제 임상에서 polyester matrix strip만으로 외형을 완성하기는 힘들며, 적절한 외형 형성을 위한 마무리와 연마 과정이 필요하다. 거친 표면에 의해 발생하는 문제점을 줄이기 위해서는 사용이 간편하고 최상의 활택도를 얻을 수 있는 연마 기구와 연마 방법을 개발하여야 할 것이다.

재료학적으로는 복합레진에 첨가되는 필러의 크기와 분산을 조절함으로써 복합레진의 연마 성능을 개선할 수 있다. 필러 크기가 복합레진 수복물의 표면조도에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 평균입자크기 1 μm 인 Barium sitrate 65 wt%와 10 wt%의 40 nm silica 또는 20 nm silica를 각각 함유한 EX1과 EX2를 비교하였다. 필러 크기가 작을수록 동일한 무게에 포함되는 필러의 입자수가 증가하고 표면적이 증가하여 높은 점도를 보인다²⁶⁾. 실험에 사용된 EX2는 다른 조건은 EX1과 같지만 크기가 작은 나노필러가 같은

중량비로 함유되었기 때문에 점도가 높아서 조작하는데 세심한 주의가 필요하였다. 20 nm silica를 함유한 EX2는 연마하지 않은 Mylar strip 군에서 통계적으로 유의하게 거친 표면을 보였고, 특히 Rv 값에 비교하여 Rp 값이 큰 양상을 보였다. 이는 EX2의 점도가 높아 시편 제작시에 미세기포가 함유되거나 평활한 면을 만들기가 힘들었기 때문으로 사료된다. 특히, 나노필러 입자들은 레진기질 내에서 균일하게 분산되지 못하고 열역학적으로 안정된 0.6 - 1.4 μm 크기의 응집물로 뭉치려는 경향이 있고, 이런 경향은 나노필러의 크기가 작아질수록 증가하는 경향이 있어서²⁷⁾ 나노필러의 크기가 작은 EX2가 Mylar strip 하에서 EX1에 비해 오히려 거친 표면을 보이는 것으로 사료된다. 하지만 EX2는 Sof-lex와 DiaPolisher 연마 과정 이후에는 다른 복합레진과 비슷한 표면조도를 보였다.

새로운 레진 단량체가 복합레진 수복물의 표면 조도에 미치는 영향을 비교하기 위하여 Bis-M-GMA와 Bis-GMA를 각각 함유하고 동일한 크기와 무게의 필러를 함유한 EX1과 EX3를 비교하였다. Bis-M-GMA는 Bis-GMA의 hydroxy group을 methoxy group으로 대체하여 제작되었다¹⁶⁾. Bis-M-GMA는 점도 3.7 Pa.s로 점도 574 Pa.s인 Bis-GMA와 비교했을 때 점도가 낮고 중합반응도 빨리 일어난다. Bis-M-GMA는 강한 상호작용으로 분자간 간격을 좁히는 hydroxyl group의 밀도가 낮기 때문에 중합수축이 적고, 수분 흡수율도 낮다. 복합레진의 기질단량체로 사용되는 Bis-GMA와 이를 희석하기 위해 첨가되는 TEGDMA의 비율이 70/30인 경우와 비슷한 점도를 갖는 복합레진을 Bis-M-GMA를 이용하여 제작하면 희석제인 TEGDMA의 양을 5%까지 줄일 수 있다¹⁵⁾. 본 연구에서는 Bis-M-GMA를 기질단량체로 사용하여 TEGDMA의 단점인 중합수축과 수분 흡수율을 개선하기 위하여 실험용 복합레진을 제작하였다. 새로운 레진 단량체를 함유한 EX1의 경우 Bis-GMA를 기질레진으로 함유하고 같은 크기의 필러를 함유한 EX3에 비하여 연마 과정을 시행하지 않은 Mylar strip 군에서는 통계적으로 유의하게 거친 표면을 보였고 ($p < 0.05$), Sof-lex와 DiaPolisher로 연마한 군에서는 비슷한 표면조도를 보였다.

본 연구의 범위 내에서는 새로운 레진 단량체인 Bis-M-GMA를 함유한 복합레진이 수복물의 표면조도 측면에서는 기존의 Bis-GMA/TEGDMA를 기질단량체로 사용하는 복합레진에 비교하여 우수하지 못한 것을 확인하였다. 복합레진의 표면조도는 레진기질 뿐 아니라 필러 크기에도 영향을 받으므로 Bis-M-GMA를 함유하고 다양한 크기의 필러를 함유하는 실험용 레진에 관한 연구가 필요할 것이다. 뿐만 아니라, 중합수축, 수분 흡수, 강도, 미세면연누출 등을 연구한 이전 연구를 바탕으로^{16,17)} 새로운 단량체인 Bis-M-GMA가 복합레진의 다양한 물성에 미치는 영향에 관한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는, 연마하지 않고 Mylar strip하에서 복합레진이 중합된 경우 가장 낮은 표면조도와 평활한 표면을 가지며, Sof-lex disc와 DiaPolisher 사이에는 연마효과의 차이가 없었다. 새로운 레진 단량체인 Bis-M-GMA를 함유한 복합레진이 수복물의 표면조도 측면에서는 필러 크기에 관계없이 기존의 Bis-GMA/TEGDMA를 기질단량체로 사용하는 복합레진에 비교하여 우수하지 못한 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- Lu H, Roeder LB, Powers JM. Effect of polishing systems on the surface roughness of microhybrid composites. *J Esthet Restor Dent* 15:297-304, 2003.
- von Noort R, Davis LG. The surface finish of composite resin restorative materials. *Br Dent J* 10:360-364, 1984.
- Toledano M, De La Torre FJ, Osorio R. Evaluation of two polishing methods for resin composites. *Am J Dent* 1994;7:328-330.
- Chan KC, Fuller JL, Hormati AA. The ability of foods to stain two composite resins. *J Prosthet Dent* 43:542-545, 1980.
- Bouvier D, Duprez JP, Lissac M. Comparative evaluation of polishing systems on the surface of three aesthetic materials. *J Oral Rehabil* 24:888-894, 1997.
- Kaplan BA, Goldstein GR, Vijayaraghvan TV, Nelson IK. The effect of three polishing systems on the surface roughness of four hybrid composites: a profilometric and scanning electron microscopy study. *J Prosthet Dent* 76:34-38, 1996.
- Turssi CP, Saad JRC, Duarte SLL, Rodrigues AL. Composite surfaces after finishing and polishing techniques. *Am J Dent* 13:136-138, 2000.
- Lee JY, Shin DH. Surface roughness of universal composites after polishing procedures. *J Kor Acad Cons Dent* 28:369-377, 2003.
- Fruits TJ, Miranda FJ, Coury TL. Effects of equivalent abrasive grit sizes utilizing differing polishing motions on selected restorative materials. *Quintessence Int* 27:279-285, 1996.
- Roede LB, Tate WH, Powers JM. Effect of finishing and polishing procedures on the surface roughness of packable composites. *Oper Dent* 25:534-543, 2000.
- Marigo L, Rizzi M, La Torre G, Rumi G. 3-D surface profile analysis: different finishing methods for resin composites. *Oper Dent* 26:562-568, 2001.
- Terry DA. Direct applications of a nanocomposite resin system: part 1- the evolution of contemporary composite materials. *Pract Proced Aesthet Dent* 16:417-422, 2004.
- Kalachandra S, Sankarapandian M, Shobha HK, Taylor DF, McGrath JE. Influence of hydrogen bonding on properties of Bis-GMA analogs. *J Mater Sci Mater Med* 8:283-286, 1997.
- Anseth KS, Newman SM, Bowman CN. Polymeric dental composites: properties and reaction behavior of multimethacrylate dental restorations. *Adv Polym Sci* 122:177-217, 1995.
- Braden M. The formulation of composite filling materials. *Oper Dent* 3:97-102, 1978.
- Kim JW, Kim LU, Kim CK, Cho BH, Kim OY. Characteristics of novel dental composites containing 2,2-bis[4-(2-methoxy-3-methacryloxy-propoxy)phenyl] propane as a base resin. *Biomacromolecules* 7:154-160, 2006.
- Bae JH, Kim YK, Yoon PY, Lee MA, Cho BH. Effect of a new resin monomer on the microleakage of composite resin restorations. *J Kor Acad Cons Dent* 32:468-474, 2007.
- González-Cabezas C, Fontana M, Dunipace AJ, Li Y, Fischer GM, Proskin HM, Stookey GK. Measurement of enamel remineralization using microradiography and confocal microscopy. A correlational study. *Caries Res* 32:385-392, 1998.
- Al-Nawas B, Grotz KA, Götz H, Heinrich G, Rippin TG, Stender TE, Duschner H, Wagner W. Validation of three-dimensional surface characterising methods: scanning electron microscopy and confocal laser scanning microscopy. *Scanning* 23:227-231, 2001.
- Al-Shammery HA, Bubb NL, Youngson CC, Fasbinder DJ, Wood DJ. The use of confocal microscopy to assess surface roughness of two milled CAD-CAM ceramics following two polishing techniques. *Dent Mater* 23:736-741, 2007.
- Ross M, Romrell LJ, Kaye GI. Histology. A test and atlas. 3rd Ed., p12-13, Williams & Wikins, 1995.
- Mohan B, Kandaswamy D. A confocal microscopic evaluation of resin-dentin interface using adhesive systems with three different solvents bonded to dry and moist dentin *in vitro* study. *Quintessence Int* 36:511-521, 2005.
- Banerjee A, Boyde A. Autofluorescence and mineral content of carious dentine: scanning optical and backscattered electron microscopic studies. *Caries Res* 32:219-26, 1998.
- Hachiya Y, Iwaku M, Hosoda H, Fusayama T. Relation of finish to discoloration of composite resins. *J Prosthet Dent* 53:811-814, 1984.
- Okazaki M, Douglas WH. Comparison of surface layer properties of composite resin by ESCA, SEM and X-ray diffractometry. *Biomaterials* 5:284-290, 1984.
- Lee IB, Lee JH, Cho BH, Son HH, Lee ST, Um CM. Rheological properties of resin composites according to the change of monomer and filler compositions. *J Kor Acad Cons Dent* 29:520-531, 2004.
- Rong MZ, Zhang MQ, Pan SL, Friedrich K. Interfacial effects in polypropylene-silica nanocomposites. *J Appl Polym Sci* 92:1771-1781, 2004.

국문초록

공초점 레이저 주사 현미경을 이용한 실험적 레진의 표면 조도에 대한 연구

배지현¹ · 이미애² · 조병훈^{2,3*}

¹분당 서울대학교병원 치과보존과

²서울대학교 치과대학 치과보존학교실, ³치학연구소

본 연구는 공초점 현미경을 이용하여 새로운 단량체와 filler의 크기, 연마방법이 실험용 복합레진의 표면조도에 미치는 영향을 연구하였다. 단점이 많은 희석제인 TEGDMA의 사용을 줄이기 위해, Bis-GMA의 유도체로서 중합수축이 적고 점도가 낮은 새로운 단량체인 methoxlyated Bis-GMA (Bis-M-GMA)를 첨가하고 다른 크기의 filler를 갖는 2종의 실험용 복합레진과 TEGDMA를 함유한 1종의 실험용 복합레진을 제작하였다. EX1; 실험용 복합레진 1 (Bis-M-GMA/TEGDMA = 95/5 wt%, 40 nm 나노필러 함유), EX2; 실험용 복합레진 2 (Bis-M-GMA/TEGDMA = 95/5 wt%, 20 nm 나노필러 함유), EX3; 실험용 복합레진 3 (Bis-GMA/TEGDMA = 70/30 wt%, 40 nm 나노필러 함유).

테프론 몰드를 이용하여 지름 6 mm 두께 2 mm의 시편을 각 실험용 복합레진과 Filtek Z250으로 9개씩 만들고 3군으로 분류하였다. Mylar strip 군은 연마를 하지 않았고, Sof-lex 군은 #1000 SiC paper로 연마한 뒤 Sof-lex disc로 연마하였다. DiaPolisher 군은 #1000 SiC paper로 연마한 뒤 DiaPolisher polishing point로 연마하였다.

공초점 현미경을 이용하여 각 시편당 7군데에서 Rq (Root mean square roughness), Rv (Valley roughness), Rp (Peak roughness), Rc (2D Roughness), Sc (3D Roughness) 값을 측정하였고, Two-way ANOVA와 Tukey multiple comparisons test로 유의수준 0.05로 통계처리 하였다.

복합레진의 종류 ($p < 0.001$), 연마 방법 ($p < 0.001$)은 각각 모두 표면조도 값에 영향을 미치며, 복합레진의 종류와 연마 방법 간에는 교호 작용이 관찰되었다 ($p < 0.001$).

복합레진의 종류에 따른 표면조도는 EX2가 가장 거친 표면을 보였고, EX3이 가장 평활한 면을 형성하였으며 ($p < 0.05$), 연마 방법에서는 연마하지 않은 Mylar strip 군이 가장 평활한 면을 형성하였다 ($p < 0.05$).

본 연구 결과를 종합하여보면, 연마하지 않고 Mylar strip하에서 복합레진이 중합된 경우 가장 낮은 표면조도와 평활한 표면을 보였으며, 새로운 레진 단량체인 Bis-M-GMA를 함유한 복합레진이 수복물의 표면조도 측면에서는 필러 크기에 관계없이 기존의 Bis-GMA/TEGDMA를 기질단량체로 사용하는 복합레진에 비교하여 우수하지 못한 것을 확인하였다.

주요어: 표면조도, 새로운 레진 단량체, Bis-M-GMA, 필러 크기, 공초점 레이저 주사 현미경