

pH 순환 모형을 이용하여 15% 과산화요소를 함유한 치아미백제가 심미수복재의 색, 미세경도 및 거칠기에 미치는 영향

박소영 · 송민지¹ · 전수영¹ · 김선영¹ · 심연수¹

원광대학교 치과대학 예방치과학교실 · ¹청주대학교 치위생학과

The effect of tooth bleaching agent contained 15% carbamide peroxide on the color, microhardness and surface roughness of tooth-colored restorative materials by using pH cycling model

So-Young Park · Min-Ji Song¹ · Su-Young Jeon¹ · Sun-Young Kim¹ · Youn-Soo Shim¹

Department of Preventive and Public Health Dentistry, College of Dentistry, Wonkwang University · ¹Department of Dental Hygiene, Cheongju University

Received : 6 February, 2013

Revised : 27 March, 2013

Accepted : 12 April, 2013

Corresponding Author

Youn-Soo Shim

Department of Dental Hygiene,
Cheongju University

298 Daeseong-ro, Sangdang-gu,
Cheongju-si, Chungcheongbuk-do,
Korea.

Tel : +82-43-229-8351

+82-10-3404-2171

Fax : +82-43-229-8969

E-mail : shim-21@hanmail.net

ABSTRACT

Objectives : The purpose of this study was to evaluate the effects of tooth bleaching agent contained 15% carbamide peroxide on the color, microhardness and surface roughness of tooth-colored restorative materials by using pH cycling model.

Methods : Four types of tooth-colored restorative materials, including a composite resin(Filtek Z350 ; Z350), a flowable composite resin(Filtek P60 : P60), a compomer(Dyract[®] AP ; DY), and a glass-ionomer cement(KetacTM Molar Easymix ; KM), were used in the study. Eighty-eight specimens of each material were fabricated, randomly divided into two groups(n=44): experimental group(15% carbamide peroxide) and control group(distilled water). These groups were then divided into four subgroups(n=11). All groups were bleached 4 hours per day for 14 days using pH cycling model. The authors measured the color, microhardness, and roughness of the specimens before and after bleaching. The data were analyzed with ANOVA and T-test.

Results : Z350 and P60 showed a slight color change(ΔE^*), whereas DY and KM showed significantly color change($p < 0.05$). Among them, the greatest color change was observed in DY. Percentage microhardness loss(PML) of the distilled water group was 1.8 to 5.1%, and 15% peroxide peroxide group was 5.0 to 25.2%. Microhardness of DY and KM showed a statistically significant decrease($p < 0.05$). Roughness was increased in all groups after bleaching. Z350 and P60 does not have a significant difference($p > 0.05$), however DY and KM significantly increased more than the $0.2 \mu m$ ($p < 0.05$).

Conclusions : The effects of bleaching on restorative materials were material dependent. It is necessary to consider the type of the material before starting the treatment.

Key Words : color, microhardness, surface roughness, tooth bleaching, tooth bleaching agent

색인 : 미세경도, 색, 치아미백, 치아미백제, 표면 거칠기

서론

최근 사회적 문화적 발전과 함께 생활수준이 높아지고 환자들의 심미적 요구가 늘어났다¹⁾. 치아변색을 일으키는 주요 원인은 선천적 혹은 후천적으로 치아가 변색되는 경우가 있는데 이것은 내인성 변색, 외인성 변색 또는 이 두가지의 복합적 작용에 의한 변색으로 분류할 수 있다²⁾. 내인성 변색의 경우 치아가 맹출 한 이후나 치아 형성기 동안에 색소물질이 상아질이나 법랑질에 유입되어 발생한다. 발생중인 치아가 고농도의 불소에 노출되거나, 테트라사이클린의 투약, 유전적인 발생 부전, 그리고 외상 등에 의해 영향 받을 경우 맹출 전 변색이 생길 수 있다. 치아가 맹출한 후에는 노화, 치수 괴사, 그리고 의원성 요인 등이 내인성 변색의 주 원인이 될 수 있다. 외인성 변색은 커피, 차, 적포도주, 당근, 오렌지, 그리고 흡연 등으로 인해 발생한다. 치아의 마모, 노화에 의한 2차 상아질의 침착이나 치수 염증에 의한 결과 또는 상아질 경화증 등은 치아의 빛 투과 성질에 영향을 주어서 점차적으로 치아색을 어둡게 만든다²⁾. 이런 다양한 형태의 변색은 심미성 저하로 인해 본인 스스로 열등감 및 콤플렉스로 반영되어 대인관계에도 영향을 줄 수 있다. 따라서 자연스런 색상으로 복원시켜 주기 위해 다양한 방법이 이용되고 있다. 그중 대표적인 심미치료 중 하나가 치아미백으로 종전의 치아를 삭제하는 도재 수복 등의 보철적인 방법보다 치질을 보존하면서 간편하고 편리한 치료방법으로 심미성을 회복시켜주는 시술로 최근 널리 이용되고 있다. 최초의 생활치 미백은 1877년 Chapple이 옥살산(oxalic acid)으로 시도하였고, 1884년 Harlan이 최초로 과산화수소(hydrogen peroxide, HP)를 사용하였다³⁾. 생활치 미백은 1989년 Haywood 와 Heymann⁴⁾에 의해 10% 과산화요소(carbamide peroxide, CP)를 가정에서 개인 트레이에 적용하는 자가미백술을 소개하면서 치과영역의 한 술식으로 급속히 확산되었고, 1991년에는 30% 과산화수소와 고강도 광원을 함께 사용하면서 미백제의 온도를 상승시켜 화학반응을 촉진시키는 방법으로 진료실에서 이뤄지는 전문가 미백술로서 현재는 진료실에서 자가 미백술과 전문가 미백술을 병행하면서 임상에서 활용하고 있다¹⁾.

또 다른 심미치료로는 심미수복재를 이용한 수복치료이다. 심미수복재는 치과용 합금이나 아말감 대신 자연치아와 유사한 색조를 갖는 재료로서 수복하거나 충전을 하며, 종류로는 복합레진(composite resin), 글라스 아이오노머(glass ionomer), 레진 강화형 글라스 아이오노머(resin-modified glass ionomer, RMGI), 컴포머(compomer) 등이 있다⁵⁾. 이러한 심미 수복재는 현대 치과계의 필수적이면서 중요한 부분으로 자리매김 되고 있다. 이러한 추세를 반영하듯, 최근에 발표된

연구에서는 수복물을 가진 환자들에 대한 치아미백이 증가하면서 치아 및 수복재에 대한 치아 미백제의 영향에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 여기에는 표면 형태의 변화와 수복재의 화학적 물리적 특성의 변화가 이에 해당된다.

심미수복재를 이용한 수복 치료 시 치료의 성공요인으로는 물리적 특성과 심미적인 요인을 들 수 있으며, 물리적 특성에는 강도와 마모 저항성이며 심미적인 요인으로는 색 안정성, 법랑질과 유사한 방사선 불투과성 등이 해당된다⁶⁾. 이러한 특성들이 수복 후 구강 내에서 유지되어야 하며, 다른 시술로 인해 부작용이 나타나서는 안 된다.

Monaghan 등⁷⁾은 저농도의 과산화수소를 적용했을 때 복합레진의 색상 변화가 적었지만, 고농도의 과산화수소에서는 색상 변화를 보였다고 하였다. Cooley와 Burger⁸⁾의 색차계를 이용한 연구에서는 10% 과산화요소 미백제로 인하여 복합레진의 색이 밝아졌다고 하였다. Taher⁹⁾는 복합 레진과 ormocer, 그리고 레진 강화형 글라스 아이오노머를 15% 과산화요소와 35% 과산화수소로 미백했을 때, 표면 연화 효과와 미세 경도 감소를 보였으나, 동일한 미백제를 적용했던 컴포머는 미세경도가 증가하였다고 하였다. Turker와 Biskin¹⁰⁾의 연구에서는 치아미백제가 심미수복재의 거칠기에도 영향을 주며 특히 레진강화형 글라스 아이오노머에 가장 큰 변화가 있다고 하였다. Bailey와 Swift¹¹⁾의 연구에서는 자가미백제가 일부 복합 레진 수복재의 표면 거칠기에 영향을 미친다고 하였다. Mor 등¹²⁾은 10%의 과산화수소로 미백한 후 거칠기로 인해 균의 표면 접착을 유의하게 증가시킨다는 것을 발견하였다. Yalcin과 Gürgan¹³⁾의 연구에서는 두 가지 다른 치아미백제(젤과 스트립)를 이용하여 심미수복재의 광택(gloss)을 본 결과, 두 가지 방법 모두 미백 후 광택 감소가 보이며 특히, 스트립 방법은 젤 방법보다 Filtek P60과 Filtek Flow의 광택 변화에 더 유의한 감소를 보였다.

이에 본 연구는 35% 과산화수소를 이용한 전문가 미백에서 수복재에 미치는 영향¹⁴⁾에 대한 후속 연구로서, 구강 내 상태를 재현하기 위해 pH 순환 모형을 이용하여 15% 과산화요소를 함유한 치아미백제가 심미수복재의 색과 미세경도 및 거칠기에 미치는 영향에 대해 연구하고자 한다.

연구대상 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서 사용한 심미수복재는 복합레진 Filtek Z350(3M ESPE, MN, USA)과 Filtek P60(3M ESPE, MN, USA), 컴포머 Dyract[®] AP(Dentsply, Konstanz, Germany), 그리고 글라스

Table 1. Materials used in this study

Materials	Code	Type	Main composition	Manufacturer
Filtek Z350	Z350	Nanohybrid composite resin	combination of aggregated zirconia/silica cluster filler, Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, Bis-EMA	3M ESPE, MN, USA
Filtek P60	P60	Packable composite resin	Zirconia/silica filler, bis-GMA, UDMA and bis-EMA resins	3M ESPE, MN, USA
Dyract [®] AP	DY	Polyacid- modified composite(Compomer)	Alkanoyl-poly-methacrylate, UDMA,TCB resin, Strontium-fluoro-silicate glass, Strontium fluoride, Photo initiators, Butyl hydroxy toluene, Iron oxide pigments	Densply Detrey GmbH, Konstanz, Germany
Ketac [™] Molar Easymix	KM	Conventional Glass-ionomer cement	Aluminium-calcium-lanthanum fluorosilicate glass, polycarboxylic acid	3M ESPE, Seefeld, Germany
Opalescence PF 15%	15% CP	15% carbamide peroxide	15% carbamide peroxide, 0.5% potassium nitrate, 0.11% fluoride ion	Ultradent, Products Inc., South Jordan, UT, USA

아이오노머 Ketac[™] Molar Easymix(3M ESPE, Seefeld, Germany)로 모든 재료의 shade는 A2로 선택하였다. 치아미백제는 자가미백용 15% 과산화수소(Opalescence PF 15%, Ultradent, USA)를 사용하였다(Table 1).

2. 연구방법

시편제작과 색, 미세경도, 거칠기 등의 측정방법은 선행연구¹⁴⁾의 방법으로 실시하였다.

2.1. 시편제작

시편제작은 직경이 8 mm, 높이는 5 mm의 아크릴 몰드를 사용하였다. 편평한 유리판 위에 polyester film을 올리고 그 위에 몰드를 위치시킨 후 내부에 각각의 수복재를 2~3 mm 주입한 후 기포가 생기지 않도록 레진 충전용 기구로 충전하였다. 충전 후 광중합기(ESPE Elipar Trilight, 3M ESPE, MN, USA)로 40초 동안 중합한 후, 나머지 부위에 다시 수복재를 주입하고 윗면은 slide glass로 눌러 여분의 레진을 제거한 제거하였다. 글라스 아이오노머는 15분 후에, 복합레진과 컴포머는 광중합기로 시편 상하면을 각각 40초간 광중합한 후에 시편을 몰드에서 제거하였다. 모든 시편은 24시간 동안 37℃ 증류수에 보관하였다. 24시간 후 각 시편을 silicone carbide paper(1200, 2400 grit)를 이용하여 주수 하에 표면연마 한 후 초음파로 세척한 다음 24시간 동안 증류수에 보관하였다.

시편을 총 88개 제작하여 증류수를 이용한 대조군과 15% 과산화요소를 이용한 실험군으로 나누고 다시 각각 군을 4개의 하위그룹으로 분류하여 11개씩 배정하였다.

2.2. 탈회 용액, 재광화 용액 및 양치액 용액 제조

법랑질 탈회를 위한 용액은 수산화인산칼슘(calcium phosphate-tribasic, Sigma, USA)이 50% 포화된 0.1M 젖산(lactic acid, Sigma, USA)과 Carbopol 0.2%(#907, BF Goodrich, USA)를 이용하여 pH 5.0 용액으로 만들어 37도 항온상태로 보관하였다¹⁵⁾. 재광화용액은 인공타액과 사람의 자극성 타액을 1:1로 혼합하여 사용하였다. 인공타액은 2000ℓ의 증류수에 위점액소(gastric mucin, Sigma, USA) 0.22%, 염화칼륨(KCl, Sigma, USA) 0.1114%, 제2수화인산칼륨(KH₂PO₄, Sigma, USA) 0.0738%, 염화나트륨(NaCl, Duksan Pure Chemical Co. Ltd., South Korea) 0.0738%, 염화마그네슘(MgCl₂, Sigma, USA) 1.033%, 염화칼슘(CaCl₂·2H₂O, Sigma, USA) 0.0213%로 구성하였고 pH 6.8로 조절하여 사용하였다. 자극성타액은 전신질환이 없는 20대 30명의 사람에게서 0.5g의 파라핀 왁스를 씹어서 얻은 후 원심 분리하여 상층액만을 이용하였다¹⁵⁾. 양치액은 실험용 양치액과 재광화 용액을 1:1의 비율로 제조하여 사용하였다.

2.3. 치아 미백

15% 과산화요소군은 제조사의 지시에 따라 시편 표면에 균일하게 미백제를 도포하였고, 치아미백은 14일 동안 4시간 씩 시행하였으며 구강 내 상태를 재현하기 위해서 pH 순환 모형을 이용하였다. 미백 후 표면은 증류수와 부드러운 브러시를 이용하여 제거한 후 37℃ incubator에 해당 용액으로 보관하였고, 증류수군의 용액은 14일간 매일 증류수로 교환하였다.

Table 2. Daily process of pH-cycling model

Time	Process
08 : 00 - 08 : 03	Mouthrinsing solution(dentifrice + salivary = slurry)
08 : 03 - 12 : 00	Remineralizing solution(artificial saliva)
12 : 00 - 12 : 03	Mouthrinsing solution(dentifrice + salivary = slurry)
12 : 03 - 14 : 00	Remineralizing solution(artificial saliva)
14 : 00 - 18 : 00	Demineralizing solution(0.1 M lactic acid + 0.5% carbopol)
18 : 00 - 18 : 03	Mouthrinsing solution(dentifrice + salivary = slurry)
18 : 03 - 22 : 03	Tooth bleaching
22 : 03 - 08 : 00	Remineralizing solution(artificial saliva)

2.4. pH 순환처리

구강환경을 재현하기 위해 pH 순환 모형을 이용하였다¹⁶⁾. 모든 용액은 온도를 37°C로 유지하면서 구강 내 타액만 존재하는 시간에는 재광화용액(remineralization solution), 음식을 섭취했을 때 pH가 떨어지는 시간에는 탈회 용액(demineralization solution), 양치액을 이용한 시간에는 양치용액(Mouthrinsing solution)으로 나뉘어 이상의 과정을 14일 동안 반복하였다(Table 2).

2.5. 색 측정

수복재의 색변화를 표준화되고 측정 가능한 평가를 위하여, 색차계를 이용하여 CIELab-system의 L*a*b*값을 분석하였다. 본 연구에서는 색계측 분광분석기(Spectrophotometer, CM3500D, Minolta, Japan)를 이용하였고 미백 처리 전과 미백 후에 측정하였다. 치아 표면을 증류수로 세척한 후 건조한 다음 SCI(specular component included) mode와 표준 광원 D65 조건에서 측정부의 지름 4 mm에 가능한 시편의 중앙을 향하도록 하여 시편에 긴밀히 접촉시켜 각 5회 측정하였고, 평균값을 그 치아의 CIE L*a*b* 값으로 선택하였다. 본 연구에서 적용한 CIE L*a*b* 표색계는 측색으로 얻어진 값을 표시하는 방법으로 CIE(국제조명연구회)에서 1976년 규정한 것이다. 이 측정값은 각 시편의 인지가능한 색 변화량을 평가할 수 있게 해주는 것으로 밝기 즉 흰색-검은색(L), 적색-녹색(a), 황색-청색(b)의 요소를 가진 일정한 색공간이다. 색 변화를 알아보기 위하여 색 변화량(ΔE^*)을 아래의 공식을 이용하여 환산하였다.

$$\Delta E^* = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\}^{1/2}$$

2.6. 표면 미세경도 측정

미백 처리 전과 미백 후에 미세 경도기(Vickers hardness tester-HV, DMH-2, Matusawa Seiki, Japan)를 이용하여 측정하였다. 측정부위 표면에 수직이 되게 9.087N의 하중을 10초간 가하고 형성된 다이아몬드형 압흔을 만든 후 압흔의 장축

길이를 측정하였다. 측정 현미경의 배율을 400배로 하여 한 시편 당 5회씩 측정하여 평균치를 산출하였다. 미세경도 감소율(percentage microhardness loss, PML)은 미백 전 미세경도 값으로 VHN(B), 미백 후 미세경도 값은 VHN(A)로 나타내어 PML을 구했다. 식은 다음과 같다.

$$PML(\%) = \frac{VHN(B) - VHN(A)}{VHN(B)} \times 100$$

2.7. 표면거칠기 측정

제작된 시편의 미백 전과 후의 평균 표면 조도값(Ra)을 조도 측정기(Surface Roughness Tester, Profiler Brook Contour GT, USA)을 이용하여 측정하였다. cut off 치 0.25 mm 조건에서 해당 면을 5회 측정한 후 평균값을 구하였다. Ra 값은 측정 길이 내의 중심선으로부터 표면 윤곽까지의 모든 절대값의 평균치로 정의되는 평균 조도값을 나타낸다.

2.8. 통계분석

이 모든 분석은 SPSS program(SPSS 12.0 for windows, Chicago, USA)을 이용하여 각 군의 ΔL^* 값과 ΔE^* 값의 변화, 미세경도 값, 그리고 거칠기 값의 차이는 ANOVA와 t-test를 사용하여 검정하였다. 군간 유의한 차이가 있을 경우 Tukey multiple comparisons test(p=0.05)로 검정하였다.

연구성적

1. 색 측정

14일간 치아미백 후 모든 심미수복재의 색 계측 결과 15% 과산화요소군이 증류수군에 비해서 L* 값이 증가하였고(Table 3), ΔE^* 값도 증가하였다(Table 4). 증류수군의 L* 값은 모든 군에서 미백 전과 후에 유의한 차이가 없었다(p>0.05). 15% 과산화요소군에서는 Z350과 P60은 미백 전과 후에 차이가 없으나, DY와 KM군에서는 통계적으로 유의한

Table 3. Color changes(L*) of the restorative materials

Material	Bleaching	Control	15% CP	p
Z350	Before	60.84±0.5	60.97±0.5	>0.05
	After	61.21±2.5	69.09±2.1	
P60	Before	59.77±2.6	60.49±1.5	>0.05
	After	61.67±2.2	70.85±2.8	
DY	Before	56.78±1.8	57.47±3.3	<0.05**
	After	58.05±2.6	91.62±0.8*	
KM	Before	58.24±3.9	58.32±1.7	<0.05**
	After	60.33±3.0	89.67±2.6*	

Values are reported as the Mean ± Standard deviation

* Denoted significance between before and after bleaching by t-test

** Denoted significance between control and 35% HP group by ANOVA

Table 4. Color changes(ΔE*) of the restorative materials

Material	Control	15% CP	p
Z350	1.1 ± 0.6	1.9 ± 0.2	>0.05
P60	1.0 ± 1.4	2.2 ± 1.8	>0.05
DY	1.8 ± 2.8	4.9 ± 1.5	<0.05*
KM	2.0 ± 1.3	4.5 ± 2.2	<0.05*

Values are reported as the Mean ± Standard deviation

* Denoted significance between control and 35% HP group by ANOVA

차이를 보였다($p < 0.05$). 또한 ΔE^* 값에서도 DY와 KM군에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

2. 표면미세경도 측정

미백 전과 미백 후의 표면미세경도 값은 <Table 5>와 같다. 증류수군에서 미백 전 강도는 Z350은 87.81, P60은 64.94, DY는 57.20 그리고 KM은 54.02로 나타났다. 14일간 미백 후에는 각각에서 86.20, 62.36, 54.27, 51.55로서 조금 감소하였으나 통계적인 차이는 없었다($p > 0.05$). 15% 과산화요소군의 미백 전 강도 값은 Z350은 88.97, P60은 64.88, DY는 57.92 그리고 KM은 54.88로 나타났다. 미백 후에는 각각에서 84.52,

60.42, 44.13, 41.04로서 전체적으로 미백 전에 비해 미백 후 경도가 감소하였다. Z350과 P60은 통계적인 차이가 없으나 ($p > 0.05$), DY와 KM에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ($p < 0.05$). 미세경도 감소율을 보면 증류수군에서는 1.8~5.1%이며, 15% 과산화요소군에서는 5.0~25.2%를 보였고, KM에서 가장 높게 나타났다<Table 6>.

Table 5. Microhardness values of the restorative materials

Material	Bleaching	Control	15% CP	p
Z350	Before	87.81±2.9	88.97±2.3	>0.05
	After	86.20±1.8	84.52±2.8	
P60	Before	64.94±2.8	64.88±3.2	>0.05
	After	62.36±1.9	60.42±3.1	
DY	Before	57.20±2.1	57.92±4.3	<0.05**
	After	54.27±1.0	44.13±3.0*	
KM	Before	54.02±1.8	54.88±5.0	<0.05**
	After	51.55±2.5	41.04±2.1*	

Values are reported as the Mean ± Standard deviation

* Denoted significance between before and after bleaching by t-test

** Denoted significance between control and 35% HP group by ANOVA

Table 6. The percentage of microhardness loss

Material	Control	15% CP	p
Z350	1.8 ± 2.1	5.0 ± 0.4	>0.05
P60	3.9 ± 0.8	6.8 ± 1.2	>0.05
DY	5.1 ± 1.4	23.8 ± 0.7	<0.05*
KM	4.5 ± 1.7	25.2 ± 1.3	<0.05*

Values are reported as the Mean ± Standard deviation

* Denoted significance between control and 35% HP group by ANOVA

3. 표면거칠기 측정

심미수복재의 미백 전과 미백 후의 표면 거칠기를 측정한 결과는 (Table 7)과 같다. 증류수군에서 미백 전 거칠기 값을 보면 Z350은 0.05, P60은 0.07, DY는 0.09, KM은 0.11이고, 15% 과산화요소군에서는 각각 0.06, 0.07, 0.08, 0.11로 측정되었다. 미백 후 증류수군은 각각 0.06, 0.08, 0.11, 0.13으로 미백 전 값과 차이가 없었다($p>0.05$). 하지만 15% 과산화요소군에서는 각각 0.12, 0.15, 0.39, 0.47로 나타났다. 따라서 15% 과산화요소군은 미백 전에 비해 미백 후에 거칠기 값이 증가하였다. 특히 DY와 KM은 미백 전과 후, 대조군과 비교했을 때 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

총괄 및 고안

심미수복재에 의한 치아의 수복은 과거 단순한 해부학적 및 기능적 치아 수복의 개념에 심미적 수복이라는 새로운 개념을 더하게 되었다. 최근에는 전치부와 같이 비교적 하중이 작은 부위의 심미적 충전에 사용되던 수복재들이 무기 첨가물(inorganic filler)의 개선과 함량의 증가 그리고 새로운 중합 방법들의 개발에 의해 큰 하중이 가해지는 구치부의 충전에도

점차 사용이 증가 되고 있다. 이와 더불어 자연치에 대한 치아 미백의 관심이 증대되면서 구강 내 존재하는 심미수복재에 미치는 영향이 있을 것으로 사료된다. 치아미백의 기전은 아직 정확히 밝혀지지 않았으나 주성분인 과산화수소에 의한 것으로 알려져 있다. 과산화수소는 구강 내에서 분해되어 자유 라디칼과 활성 산소(oxygen radical)를 형성하며 이렇게 생성된 활성산소는 치아에 침투되어 치아의 변색을 초래하는 착색물질과 화학반응을 하여 미백효과를 갖게 된다¹⁷⁾.

치아미백 후 색변화를 보면 Yalsin과 Gürgan¹⁸⁾은 10% 과산화요소와 6.5% 과산화수소를 이용한 연구에서 DY가 가장 큰 색변화를 보였고, 복합레진에서는 거의 변화가 없었으며, 전체 과산화수소 농도가 높은 미백제에서 수복재의 색 변화가 컸다. Ruyter 등¹⁹⁾은 ΔE 값이 2~3 정도는 색으로 지각할 수 있는 수치이며, 3.3 정도는 인간의 눈으로 인지 가능한 변색 수준이라고 했다. 본 연구 결과에서도 복합레진에 비해 DY군과 KM군에서 가장 많은 색 변화를 보였다. 하지만 복합레진의 색 변화정도는 임상적으로 의미가 크지 않는 범위이다. Rao 등²⁰⁾의 연구에서는 복합레진의 색 변화는 레진의 색상 차이, 화학적인 활성제, 개시제와 억제제, 고분자의 품질과 종류, 필러의 양과 입자 크기, 이중결합의 관계, 레진의 두께, 혹은 관찰 기간 동안 시편의 보관 방법에 따라 영향을

Table 7. Surface roughness values(Ra) of the restorative materials

Material	Bleaching	Control	15% CP	p
Z350	Before	0.05±0.07	0.06±0.06	>0.05
	After	0.06±0.07	0.12±0.04	
P60	Before	0.07±0.02	0.07±0.04	>0.05
	After	0.08±0.03	0.15±0.08	
DY	Before	0.09±0.05	0.08±0.06	<0.05**
	After	0.11±0.08	0.39±0.03*	
KM	Before	0.11±0.04	0.11±0.03	<0.05**
	After	0.13±0.04	0.47±0.04*	

Values are reported as the Mean ± Standard deviation

* Denoted significance between before and after bleaching by t-test

** Denoted significance between control and 35% HP group by ANOVA

받을 수 있다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 측정에 나타날 수 있는 여러 변수를 줄이기 위해 수복재의 색상, 측정방법, pH 순환처리를 동일하게 시행하였다. Li 등²¹⁾의 in situ 연구에서는 15%의 과산화수소가 함유된 자가미백제가 nano 타입의 복합레진과 packable용 복합레진에 통계적으로 유의한 색변화를 가졌으나 임상적으로는 수용할 수 있는 범위에 속한다고 하였다. 이는 methacrylate를 기본으로 하는 수복재가 미백제에 대하여 색 안정성이나 느린 색변화를 보였던 기존 연구와도 일치하였다. CIE L*a*b* 표색계에서 L* 값의 증가는 ΔE^* 값의 증가와 밀접한 관계가 있다. 본 연구에서도 L* 값이 가장 많이 증가한 DY군과 KM군은 ΔE^* 값도 4.9와 4.5로 높게 나타나 임상적으로 유의한 수준의 색변화를 보였다. 컴포머와 글라스 아이오노머 제품의 가장 큰 특성은 물을 잘 흡수하는 성질로 본 연구에서도 과산화수소의 흡수율이 복합레진 보다 크기 때문에 색 변화가 더 큰 것으로 사료된다. Rao 등²⁰⁾의 연구에서는 14일간 6%와 20% 과산화수소로 미백 후 글라스 아이오노머의 ΔE^* 값이 11.4로 유의한 색변화가 나타났다고 했다. 따라서 심미 수복재가 있는 구강상태에서는 미리 치아 미백 전에 미백 후 색 변화가 있을 수 있으며, 필요한 경우 새로운 심미 수복재료로 교체가 필요할 수 있음을 충분히 설명해야 할 것으로 사료된다.

Plotino 등²²⁾은 수복재의 SEM 표면 분석을 통해서 미백제로 인한 수복재 표면이 용해(dissolution)되는데 용해된 표면에 미세한 균열이나 구멍(pore)들이 생성되고 이 구멍에 물과 타액이 들어가면서 표면 반사로 L* 값이 증가하였고, 치아 미백제에 의한 표면 용해는 수복재 안으로 미백제가 얼마만큼 침투되느냐에 달려 있다고 하였다. Li 등²¹⁾은 DY의 색변화를 일으키는 원인은 표면 용해와 구성요소의 부분적 산화로서 미백제가 수복재 안으로 들어가는 침투 깊이에 따라 달라지며, 만약 수복재가 높은 분자량의 중합체 분자에 의하여 단단하게 가교 결합되어 있다면, 미백제는 수복재를 용해하는데 있어 보다 많은 시간이 필요하다고 하였다. 복합레진인 Z350과 P60이 컴포머에 비하여 미백젤에 덜 민감한 것은 methacrylate를 기본으로 하는 수복재는 미백제가 수복물의 표면에 침투하는 것에 덜 영향을 주어 색 안정성이나 느린 색변화를 보였던 기존 연구 결과와 일치한다고 하겠다. Yap 등²³⁾은 컴포머가 물을 흡수하고 팽창하는 성질이 있어 필러간의 파괴로 이어지고 표면 반사가 커져 명도가 증가된다고 하였다.

미백 후 미세경도 감소율(PML)을 보면 증류수군에서는 1.8~5.1%를 보여 거의 차이가 없었으나, 15% 과산화수소군에서는 5.0~25.2% 정도로 미세경도가 감소하였다. 이전의 35% 과산화수소를 이용한 연구¹⁴⁾에서는 6~34%의 미세경도

감소가 보였으며, 이는 과산화수소 농도가 높아 자유라디칼이 수복재 표면에 더 많은 영향을 준 것으로 사료된다. 치아 미백제가 복합레진의 미세경도에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구에서 상반되는 결과를 보고하고 있는데 Turker와 Biskin¹⁰⁾, Bailey와 Swift¹¹⁾의 연구에서는 10% 과산화수소 미백제에서 통계적으로 유의한 수준의 강도 저하를 보였다고 하였다. 하지만 Compos 등²⁴⁾은 10%와 15% 과산화수소에서 레진표면의 강도 변화는 없으나, 컴포머와 hybrid ionomer에서는 경도가 감소했다고 하였다. Poldorou 등²⁵⁾은 15% 과산화수소를 이용하여 4종류 복합레진의 경도를 조사한 결과 미백 후 통계적으로 유의한 차이가 없다고 했다. Hao 등²⁶⁾은 15% 과산화수소를 이용하여 미백 트레이에 복합레진을 접착시킨 in-vivo 실험에서 미세경도에는 유의미한 변화가 없다고 하였다. 본 연구에서는 복합레진은 레진 내에 필러가 다량 함유되어 있어 치아 미백 후 경도 변화가 DY군과 KM군에 비해 적었으나, DY군과 KM군에서는 복합레진에 비해 경도가 다 감소하였다. Hao 등²⁶⁾의 연구에서는 수복재의 경도 감소는 분해산물인 자유라디칼이 중합체 결합의 분해를 유발해서 가장 취약한 부분의 미반응 이중결합을 공격하여 분해시키고 이로 인해 감소된 물질량이 표면 미세경도 감소로 나타나게 되며, 자유라디칼은 레진-필러 계면에도 영향을 주어서 강도 저하를 유발할 수 있다고 했다.

거친 표면을 갖는 수복물은 수복 후의 표면의 거친 촉감에 의한 환자의 불편감이 생길 수 있으며, 표면 에너지를 높여 치태와 잔사의 침착을 가속화시킴으로써, 치은염 및 이차우식증 등을 유발시킬 수 있고, 자연치 법랑질과 유사한 색조, 형태 등을 재현하기 어렵다²⁷⁾. Weitman 등²⁸⁾은 복합레진에서 치태축적을 발생시키는 표면 거칠기를 0.7~1.44 μm 라고 보고하였다. Bollen 등²⁹⁾은 구강 내 수복물에 대한 세균 부착의 역치에 해당하는 평균 표면 거칠기는 0.2 μm 이며, 그 이하의 경우에는 더 이상 세균의 축적이 증가하지 않고 그 이상에서는 거칠기가 증가할수록 치태 축적도 증가한다고 하였다. 또한 거친 수복물의 표면은 색소 침착에 따른 착색과 변색 등으로 색조의 안정성을 저하시킴으로써 수복물을 재수복 해야 하는 결과를 초래한다고 하였다. Mor 등¹²⁾의 연구에서는 10% 과산화수소로 미백한 표면에서 *S. mutans*와 *S. sobrinus*의 접착이 증가했다. Bailey 등¹¹⁾과 Turker와 Biskin¹⁰⁾은 10~16% 과산화수소 미백제가 미백 후 복합레진 표면의 거칠기와 다공성을 증가시키고 SEM 측정 결과 crack이 발견되었다고 하였다. Gurgan 등³⁰⁾의 연구에서는 수복재가 10% 과산화수소와 6.5% 과산화수소 치아미백에서 표면 거칠기는 증가하였고 경도는 감소하였다고 보고하였다. 본 연구에서는 Z350과 P60은 미백 후 표면 거칠기 값은 약간씩

증가하였으나 통계적으로 유의하지 않았다. 하지만 DY와 KM은 미백 후에 거칠기 값이 각 각 $0.39 \mu\text{m}$ 와 $0.47 \mu\text{m}$ 로서 미백 전에 비해 유의한 차이를 보였다. 이는 DY와 KM의 표면에 과산화수소의 자유 라디칼에 영향을 받아 수분의 흡수도 증가하여 명도 변화가 나타났고, 표면 거칠기 증가한 결과라 하겠다. Yap 등²⁹⁾은 수복재의 물 흡수는 부식을 일으켜 전체 또는 일부의 필러(filler)가 탈락이 되고 갈라져서 표면거칠기가 증가했다고 하였다. Wattanapayungkul 등³¹⁾은 10%와 15% 과산화요소를 함유한 미백제로 미백한 후 수복재의 표면 거칠기의 변화를 본 결과, 컴포머는 물 흡수가 응력 부식과 필러의 전체 혹은 부분적인 분리를 가져와 균열을 만들어 표면 거칠기를 증가시키며, 과산화수소에 의한 free radical이 레진-필러의 계면에 영향을 주어 필러와 기질의 분리를 야기하고 균열을 증식시켜 표면 거칠기를 극적으로 증가시키게 된다고 하였다. 또한 SEM 사진에서는 고농도의 15% 과산화요소 미백제는 10% 과산화요소에 비해 표면이 더 용해되어 표면 거칠기가 유의하게 증가되었고, 광범위한 균열이 발견되었다고 하였다. 심미수복재들은 구강내에서 색상과 표면거칠기 및 경도 등을 오랫동안 유지하여야 하며 또한 다른 물성도 변화가 없어야 한다³²⁾. 하지만 글라스 아이오노머와 컴포머는 복합레진과 달리 재료의 구성에 차이가 있어 치아 미백 후 색과 표면거칠기가 영향을 받고 있고 있다. 고농도의 과산화수소를 함유한 미백제를 이용하는 전문가 미백은 미백제에서 다량의 과산화수소가 방출되므로 심미수복재에 몇 가지 문제가 발생되고 있다. 자가 미백제는 전문가 미백에 사용되는 고농도의 과산화수소가 아닌 낮은 농도의 과산화수소가 방출된다. 하지만 전문가 미백에 비해 오랜 기간 구강 내 머물고 있어 많은 적용 시간을 갖는다. 따라서 저농도의 치아미백제도 수복재의 색상 변화, 특성 및 부식 등에 영향을 줄 수 있고, 치아미백으로 인해 수복재의 변화가 나타나 단순히 미백 효과만이 아닌 다른 부작용이 존재 할 수 있다고 하겠다. 향후에는 저농도 자가미백제를 이용한 심미수복재의 영향에 대한 연구가 필요 하겠다. 현 연구는 구강 내 상태를 재현하기 위하여 pH 순환처리 하였다. 하지만 구강 내 직접 적용되는 in-vivo가 아닌 한계점을 가지고 있다.

35% 과산화수소를 함유한 미백제가 심미수복재에 미치는 영향을 본 선행 연구¹⁴⁾와 현 연구인 15% 과산화요소를 함유한 미백제에 심미수복재의 색, 경도 및 거칠기를 연구를 비교하면 비슷한 결과를 보였고 종합해 보면 다음과 같다. 심미수복재 중 복합레진은 치아미백제에 색, 경도 및 거칠기 변화가 적었고, 콤포머와 글라스 아이오노머에는 변화를 보이는 동일한 결과를 얻었다. 따라서 미백제의 농도, 적용 시간, 수복

재 종류 등을 고려하여 시술이 이뤄져야 할 것이다.

결론

본 연구에서는 임상에서 시술되고 있는 15% 과산화요소를 함유한 치아미백제를 이용하여 현재 시판되어 사용되는 심미수복재의 색과 미세경도 및 거칠기에 미치는 영향을 연구하였다. 연구에 사용한 심미수복재는 Nanohybrid 복합레진(Filtek Z350, Z350)과 packable 형태의 복합레진(Filtek P60, P60), 컴포머(Dyract[®] AP, DY), 그리고 글라스 아이오노머(Ketac[™] Molar Easymix, KM)와 15% 과산화요소를 함유한 치아미백제를 사용하였다. 시편제작은 직경이 8 mm, 높이는 5 mm의 아크릴 몰드를 이용하였다. 총 88개를 제작하여 종류수를 이용한 대조군과 15% 과산화요소를 이용한 실험군으로 나누고 다시 각각의 군을 4개의 하위그룹으로 분류하여 11개씩 배정하였다. 치아미백은 14일 동안 구강내 상태를 재현하기 위해서 pH 순환 모형을 이용하였다. 치아미백 후 심미수복재의 색과 경도 및 거칠기에 대해 조사하였으며 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 14일간 치아미백 후 모든 심미수복재의 색 계측 결과 15% 과산화요소군이 증류수군에 L^* 값과 ΔE^* 값이 증가하였다. 하지만 Z350과 P60은 통계적으로 유의한 차이가 없으나($p>0.05$), DY와 KM군에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).
2. 증류수군에서는 표면미세경도 값이 미백전과 후에 유의한 차이가 없었다. 15% 과산화요소군은 모든 군에서 경도 감소를 보였으나 Z350과 P60은 통계적인 차이가 없었고($p>0.05$), DY와 KM은 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). 미세경도 감소율을 보면 증류수군에서는 1.8~5.1%이며, 15% 과산화요소군에서는 5.0~25.2%를 보였다.
3. 증류수군의 표면거칠기 값은 미백 전 값과 차이가 없었다($p>0.05$). 하지만 15% 과산화요소군에서는 미백 전에 비해 미백 후에 거칠기 값이 증가하였다. 특히 DY와 KM은 미백 전과 후, 대조군과 비교했을 때 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$).

본 연구를 통해 15%의 과산화요소를 함유한 치아미백제는 컴포머와 글라스 아이오노머의 색과 경도 및 거칠기에 유의한 영향을 주는 것을 알 수 있다. 환자들에게는 기존의 수복재가 미백 후 차이가 있을 수 있다는 것과 교체가 필요할 수 있다는 설명이 있어야 할 것이다. 또한 심미 수복재가 구강내

존재하고 있을 때에 미백제가 무분별하게 사용되어서는 안 될 것이다.

참고문헌

1. Woo HS, Shim YS. Effect of 15% carbamide peroxide agents with and without potassium nitrate and fluoride(PF) on the tooth color and surface microhardness of human enamel. *J of Korea Contents Association* 2012; 12(1): 353-360.
2. Sulieman MA. An overview of tooth-bleaching techniques: chemistry, safety and efficacy. *Periodontol* 2008; 48: 148-169.
3. Fasanaro TS. Bleaching teeth: history, chemicals, and methods used for common tooth discolorations. *J Esthet Dent* 1992; 4(3): 71-78.
4. Haywood VB, Heymann HO. Nightguard vital bleaching. *Quintessence Int* 1989; 20(3): 173-176.
5. Kim IG, Kim YS, Kim YJ, et al. Clinical aspects of dental materials. 3rd ed, Seoul, Koonja. 2009, pp 49-68.
6. Liebenberg W. Another white lie?. *J Esthet Restor Dent* 2006; 18(3): 155-160.
7. Monaghan P, Trowbridge T, Lautenschlager E. Composite resin color change after vital tooth bleaching. *J Prosthet Dent* 1992; 67(6): 778-781.
8. Cooley RL, Burger KM. Effect of carbamide peroxide on composite resin. *Quintessence Int* 1991; 22(10): 817-821.
9. Taher NM. The effect of bleaching agents on the surface hardness of tooth colored restorative materials. *J Contemp Dent Pract* 2005; 15(2): 18-26.
10. Türker SB, Biskin T. The effect of bleaching agents on the microhardness of dental aesthetic restorative materials. *J Oral Rehabil* 2002; 29(7): 657-661.
11. Bailey SJ, Swift EJ Jr. Effects of home bleaching products on composite resins. *Quintessence Int* 1992; 23(7): 489-494.
12. Mor C, Steinberg D, Dogan H, Rotstein I. Bacterial adherence to bleached surfaces of composite resin in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 86(5): 582-586.
13. Yalcin F, Gurgan S. Effect of two different bleaching regimens on the gloss of tooth colored restorative materials. *Dent Mater* 2005; 21(5): 464-468.
14. Shim YS. The effect of tooth bleaching agent contained 35% hydrogen peroxide on the color, microhardness and surface roughness of tooth-colored restorative materials. *J Korean Soc Dent Hyg* 2012; 12(3): 533-541.
15. Kim MY, Kwon HK, Kim BI. Remineralization effect of mouthrinse containing nano-hydroxyapatite by pH-cycling model. *J Korean Acad Dent Health* 2007; 31(2): 156-166.
16. White DJ. The application of in vitro models to research on demineralization and remineralization of the teeth. *Adv Dent Res* 1995; 9(3): 175-193.
17. Yu H, Li Q, Lin Y, Buchalla W, Wang Y. Influence of carbamide peroxide on the flexural strength of tooth-colored restorative materials: an in vitro study at different environmental temperatures. *Oper Dent* 2010; 35(3): 300-307.
18. Yalcin F, Gurgan S. Bleaching-induced colour change in plastic filling materials. *J Biomater Appl* 2005; 19(3): 187-195.
19. Ruyter IE, Nilner K, Moller B. Color stability of dental composite resin materials for crown and bridge veneers. *Dent Mater* 1987; 3(5): 246-251.
20. Rao YM, Srilakshmi V, Vinayagam KK, Narayanan LL. An evaluation of the color stability of tooth-colored restorative materials after bleaching using CIELAB color technique. *Indian J dent Res* 2009; 20(1): 60-64.
21. Li Q, Yu H, Wang Y. Colour and surface analysis of carbamide peroxide bleaching effects on the dental restorative materials in situ. *J Dent* 2009; 37(5): 348-356.
22. Plotino G, Buono L, Grande NM, Pameijer CH, Somma F. Nonvital tooth bleaching: a review of the literature and clinical procedures. *J Endod* 2008; 34(4): 394-407.
23. Yap AU, Wang HB, Siow KS, Gan LM. Polymerization shrinkage of visible-light-cured composites. *Oper Dent* 2000; 25(2): 98-103.
24. Campos I, Briso AL, Pimenta LA, Ambrosano G. Effects of bleaching with carbamide peroxide gels on microhardness of restoration materials. *J Esthet Restor Dent* 2003; 15(3): 175-182.
25. Polydorou O, Mönting JS, Hellwig E, Auschill TM. Effect of in-office tooth bleaching on the microhardness of six dental esthetic restorative materials. *Dent Mater* 2007; 23(2): 153-158.
26. Hao Yu, Qing Li, Manal Hussain, Yining Wang. Effects of bleaching gels on the surface microhardness of tooth-colored restorative materials in situ. *J Dent* 2008; 36(4): 261-267.
27. Quirynen M, Bollen CM. The influence of surface roughness and surface-free energy on supra- and subgingival plaque formation in man. *J Clin Periodontol* 1995; 22(1): 1-14.
28. Weitman RT, Eames WB. Plaque accumulation on composite surfaces after various finishing procedures. *J Am Dent Assoc* 1975; 91(1): 101-106.
29. Bollen CM, Lambrechts P, Quirynen M. Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature. *Dent Mater* 1997; 13(4): 258-269.
30. Gurgan S, Kiremitci A, Yalcin F, Alpaslan T, Yazici E. Effect of carbamide peroxide treatments on the metal-ion release and microstructure of different dental amalgams. *Oper Dent* 2007; 32(5): 476-481.
31. Wattanapayungkul P, Yap AU, Chooi KW, et al. The effect of

home bleaching agents on the surface roughness of tooth-colored restoratives with time. Oper Dent 2004; 29(4): 398-403.

32. Moon JH, Kang YM, Oh YT, et al. Effects of hydrogen peroxide concentration and application period on the bleaching and physical properties of esthetic restorative materials. J Kor Res Soc Dent Mater 2009; 36(3): 205-220.