대치교정지 2006;36(2):114-24

교정치료 시 브라켓 부착 및 제거에 따른 치아색 변화

김석필[a] · 황인남[b] · 조진형[c] · 황현식[d]

본 연구는 교정용 브라켓 부착을 위한 레진 접착부위 및 그 인접부위 즉, primer만 도포된 부위의 색변화를 알아보기 위하여 시행되었다. 교정치료를 위해 발치된 60개의 건전한 소구치를 재료로 사용하여 분광측정기로 색을 측정한 후 CIE $L^*a^*b^*$ 색표계로 기록하였다. 20개의 소구치에 광중합형 접착레진으로 브라켓을 부착한 후 부착 전과 제거 후의 색을 측정하였으며 다른 20개의 소구치에는 primer만 도포하고 도포 전과 도포 후의 색을 측정한 후, L^* 값을 이용하여 명암 변화를 살펴본 결과 브라켓 부착 및 primer 도포 모두의 경우 명도가 감소하는 경향을 보였으며, a^* 값과 b^* 값을 이용하여 색상 변화를 살펴본 결과 황색이 증가하는 양상을 나타내었다. 또한 측정된 $L^*a^*b^*$ 값을 이용하여 색변화를 산출하고 임상적으로 인지할 수 있는 색변화 값 3.7을 기준치로 하여 비교 및 분석을 시행한 결과 브라켓 부착 전과 제거 후의 색변화는 기준치보다 큰 것으로 나타났으며 primer 도포에 따른 색변화는 기준치보다 크지 않은 것으로 나타났다. 한편 primer만 도포한 경우 칫솔질에 따른 색변화를 알아보고자 나머지 20개의 소구치를 대조로 하여 칫솔질을 시행한 결과 칫솔질 시행 후 색변화는 기준치보다 큰 것으로 나타났다. 브라켓 제거 후 자연광 노출의 영향을 알아보기 위하여 모든 경우에 추가적으로 photoaging을 시행한 결과 부가적인 색변화는 기준치보다 작은 것으로 나타났다. 이상의 결과는 교정치료를 위한 브라켓 부착으로 인해 브라켓 부착 및 인접부위의 치아색 변화가 있음을 의미하며 임상과정에서 이에 대한 고려가 필요함을 시사하였다.

(**주요 단어**: 치아색 변화, 광중합형 접착레진, 브라켓 부착)

서 론

최근에는 안모의 심미성을 사회적 성공과 연관짓거나[1] 보다 젊어 보이기 위해 치아 미백이나 교정치료를 받으려하는 등[2] 심미에 대한 관심이 증가하면서, 교정치료 후 가지런한 치열과 더불어 보다 하얗고 밝은 치아색을 원하는 환자가 늘고 있어 교정치료와 함께 치아미백을 시행하는 경우가 많아지고 있는 추세이다. 이에 따라 교정치료 후 법랑질 표면 변화와 색변화에 대한 관심이 증가하고 있다.

교정치료를 위한 브라켓 부착 및 제거에 따른 법랑질 표면 변화에는 브라켓 부착 시의 산부식으로 발생하는 치면탈회, 브라켓 주변의 치태 침착에 의한 법랑질 탈회, 음식물 및 장치 부식산물에 의한 변색, 브라켓 제거 시 법랑질 일부층의 탈락 및 파절, 연마 후 표면에 잔존하는 표면 긁힘 등[3-8]이 나타날 수 있는데 이러한 표면 변화는 치아색에 영향을 줄 수 있다. 이 외에도 Silverstone 등,[9] Zachrisson과 Årthun,[10] Sandison[11]은 산부식에 의해 레진 테그가 30-50 ㎛ 깊이까지 도달하며 이는 교정용 브라켓을 제거한 후에도 비가역적으로 남는다고 하였고, Hintz 등[12]은 고정식 교정치료를 시행한 환자에서 치아미백술을 시행

[a] 대학원생, [c] 전임강사, 전남대학교 치과대학 교정학교실.
[b] 조교수, 전남대학교 치의학연구소, 치과대학 보존학교실.
[d] 교수, 전남대학교 치의학연구소, 치과대학 교정학교실.
교신저자: 황현식
광주광역시 동구 학동 8번지
전남대학교 치과대학 교정학교실 / 062-220-5486
hhwang@chonnam.ac.kr
원고접수일: 2005년 11월 23일 / 원고최종수정일: 2006년 1월 23일 / 원고채택일: 2006년 1월 25일

하는 경우 일반인보다 초기 반응이 늦게 나타남을 보고하여 교정치료 후 법랑질에 레진 테그가 잔존함을 간접적으로 보여주었으며, 이러한 연구들은 레진 테그에 의해 교정치료 후 치아색 변화가 있을 수 있음을 시사하였다. 실제로 Eliades 등[13]은 교정용 브라켓을 제거한 후 법랑질 색이 변화함을 보고하였다.

이처럼 최근 연구에서 교정치료 시 산부식술과 접착 레진의 사용 등으로 치아색이 변하는 것으로 보고되고 있지만, 브라켓 부착 부위 뿐만 아니라 그 인접부위의 색변화까지 살펴본 연구는 없는 실정이다. 이에 본 연구는 교정용 브라켓 부착을 위한 레진 접착부위 및 그 인접부위 즉, primer만 도포된 부위의 색변화를 알아보기 위하여 시행되었다.

연구재료 및 방법

연구재료

교정치료를 위해 발거한 제1소구치 중 치관 손상, 균열, 형태이상이나 우식증이 없는 건전한 치질을 가진 60개의 치아를 본 연구의 재료로 선택하였다. 발거 직후 부착된 이물질을 제거하고 생리식염수에 보관하였으며, 30일이 경과되지 않은 것을 본 연구의 재료로 사용하였다. 브라켓은 상악 소구치용 금속브라켓(Micro-Loc, Tomy International Inc., Tokyo, Japan)을, 접착제는 Transbond^{TM} XT (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)를 사용하였다.

연구방법

시편 제작

연구재료로 선정된 치아의 치근을 절단한 후, 플라스틱관에 치관의 협면이 노출되도록 자가중합레진을 포매하여 시편을 제작하였다. 시편의 표면을 흐르는 물에서 부드러운 솔을 이용하여 세척한 후 상온의 증류수에 담아 빛이 차단된 용기에 보관하였다.

Positioning jig 및 positioning plate 제작

색상 측정의 오차를 줄이고자 시편과 측정기를 동일하게 위치시킬 수 있는 positioning jig와 plate를 제작하였다. Positioning jig는 측정기기의 감지구를 복제하여 복제모형이 시편의 중앙에 오도록 고정한 후 치과용 고무인상재로 제작하였다 (Fig 1). 한편 positioning jig로 시편과 측정기를 위치시켜 아크릴판 위에 올려 놓은 다음 고무인상재를 이용하여 positioning plate를 제작하였다 (Fig 2).

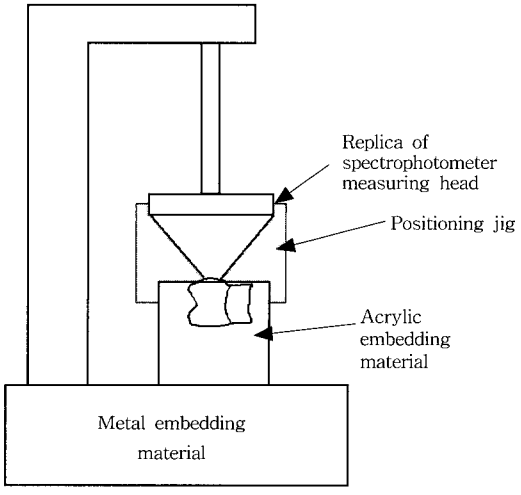

Fig 1. Replica of spectrophotometer measuring head positioned against the sample before fabrication of positioning jig. The positioning jig was fabricated using rubber impression material.

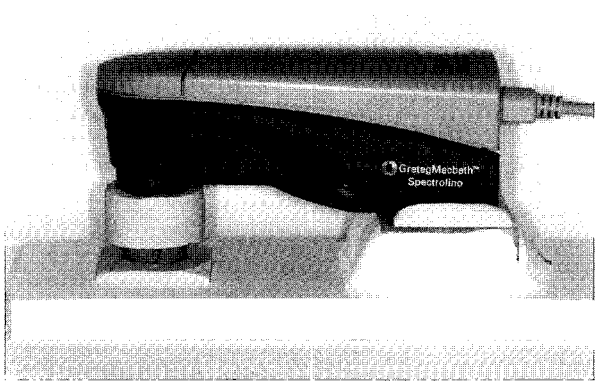

Fig 2. Positioning plate fabricated in this study. In order to reduce measurement error, the sample and the spectrophotometer were fixed together with the use of the positioning plate.

색상 측정 및 재현도 평가

색상 측정을 위하여 물체 표면의 색상을 측정하는데 쓰이는 분광측정기(Spectrolino, GretagMacbeth, New Windsor, NY, USA)를 선택하여 사용하였다.

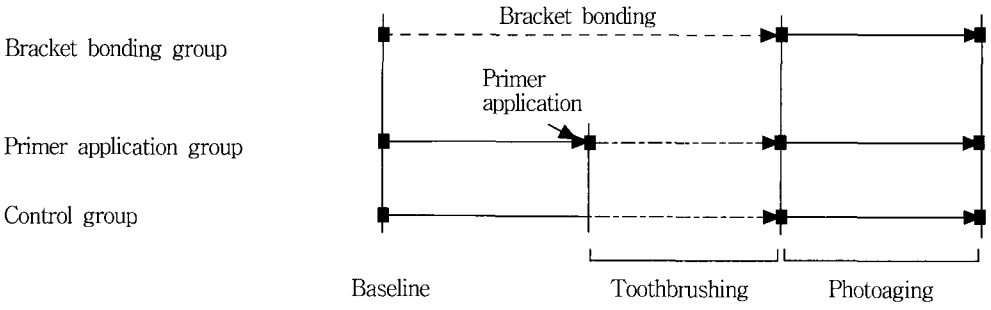

Fig 3. Time line diagram showing groups. ■ indicates color measurement.

본 연구에서 사용한 분광측정기는 측정 기하가 45°/0°, 감지구 직경은 4.5 mm이며, CIE (Commission International de I'Eclairage) 표준 A광원을 기본으로 한 측정 기기이다. 색상 측정 시에는 D_{65} filter를 적용하여 사용하였으며 CIE의 $L^*a^*b^*$ 색표계로 색상을 기록하였다. 저장용기에서 시편을 꺼내 air syringe로 10초간 건조시킨 후 positioning jig와 plate를 사용하여 시편을 위치시켜 색상을 측정하였다.

한편 색상 측정의 재현도를 평가하기 위하여 20개의 시편을 무작위로 골라 1일 간격으로 2회 색상을 측정하였으며, Dahlberg 식[14]을 이용하여 측정값의 오차를 다음과 같이 계산한 결과, L^* 값의 오차는 0.26, a^* 값의 오차는 0.06, b^* 값의 오차는 0.17로 나타났다.

$$S_{L*} = \sqrt{\frac{\Sigma D_{L*}^2}{2N}} \qquad S_{a*} = \sqrt{\frac{\Sigma D_{a*}^2}{2N}} \qquad S_{b*} = \sqrt{\frac{\Sigma D_{b*}^2}{2N}}$$

S_{L*}, L^*값의 오차; S_{a*}, a^*값의 오차; S_{b*}, b^*값의 오차; D_{L*}, L^*값의 차이; D_{a*}, a^*값의 차이; D_{b*}, b^*값의 차이; N, 연구 시편수.

실험군의 설정

60개의 시편의 초기 색상을 측정한 후 브라켓 부착군, primer 도포군, 대조군으로 각각 20개씩 무작위로 나누었다. 브라켓 부착 및 제거에 따른 색변화를 알아보고자 브라켓 부착군을 선정하고 브라켓 부착 전과 제거 후 색상을 측정하였으며, primer 마모 정도에 따른 색변화를 알아보기 위하여 primer 도포군의 경우 primer를 도포하고 도포 전과 후의 색상을 측정하였고, 이어서 칫솔질을 시행하였다. 한편 primer 도포군에서 시행한 칫솔질과 비교하기 위하여 칫솔질만을 시행하여 대조군으로 사용하였다. 또한 브라켓 제거 후 자연광 노출의 영향을 알아보기 위하여 모든 군에 추가적인 photoaging을 시행한 후 색상을 측정하였다 (Fig 3).

실험 처리에 따른 색상 측정

브라켓 부착군과 primer 도포군의 시편을 대상으로 5초간 치면세마한 후 37% 인산으로 30초간 산부식을 시행하였다. 브라켓 부착군은 Transbond™ XT를 이용하여 제조자의 지시에 따라 브라켓을 부착하고, primer 도포군은 동일 제품의 primer를 도포하고 광중합을 시행하였으며, 각 시편을 상온의 증류수에 담아 빛이 차단된 용기에 보관하였다. 한편 primer 도포군의 경우 용기에 보관 전 색상을 측정하고 기록하였다.

브라켓 부착군의 경우 시편에 부착된 브라켓을 제거하고 적절한 공기냉각 하에 저속핸드피스와 8-fluted tungsten carbide fissure bur (H22ALGK, Komet mdeical, Lemgo, Germany)[15]를 사용하여 붓칠하는 동작[10]으로 잔여레진을 제거하였다. 레진 제거 후 5초간 치면을 연마[16]하고 증류수로 세척한 후 저장용기에 보관하였으며, 각 시편의 색상을 처음과 동일한 요령으로 측정하였다.

한편 primer의 마모 정도에 따른 색변화를 알아보기 위하여 primer 도포군과 대조군의 경우 toothbrush abrasion testing machine (K236, Oriental Motor Co. Ltd, Tokyo, Japan)으로 칫솔질을 시행하였다. 용기에 증류수와 치약(럭키치약, LG생활건강, 서울, 대한민국)의 중량 비율이 1:1이 되도록 혼합한 현탁액을 채운 후 운동범위는 34 mm, 수직하중은 350 g, 전후방 운동속도는 분당 140회가 되도록 설정하였다.[17] 각

Table 1. Mean CIE $L^*a^*b^*$ values according to treatment for each group

	Baseline	*After treatment'*	*After photoaging*
	Mean ± SD	*Mean ± SD*	*Mean ± SD*
Bracket bonding group			
L^*	69.26 ± 3.34	64.68 ± 2.26	66.54 ± 2.28
a^*	-1.35 ± 0.60	-1.03 ± 0.55	-0.71 ± 0.62
b^*	1.87 ± 1.66	3.93 ± 2.21	4.45 ± 2.65
Primer application group			
L^*	69.66 ± 4.79	64.36 ± 3.35	66.14 ± 3.40
a^*	-1.36 ± 0.73	-1.06 ± 0.64	-0.81 ± 0.63
b^*	2.47 ± 2.43	4.63 ± 2.91	5.18 ± 3.01
Control group			
L^*	69.33 ± 4.62	69.23 ± 4.58	70.72 ± 4.98
a^*	-1.28 ± 0.66	-1.22 ± 0.61	-0.91 ± 0.62
b^*	1.98 ± 2.36	1.96 ± 2.66	2.96 ± 2.54

' indicates after debonding in the bracket bonding group, after primer application and toothbrushing in the primer application group, after toothbrushing in case of the control group. *SD*, Standard deviation.

시편에 대하여 24개월의 칫솔질에 해당하는 8,640회의 왕복운동[18]을 시행하고 흐르는 물로 세척한 다음 색상을 측정하였다. 각 시편당 새로운 칫솔을 사용하였으며 현탁액은 5개의 시편마다 새로운 액으로 교체하였다.

또한 교정치료 후 자연광에 노출된 치아의 색변화를 알아보기 위하여 브라켓이 제거된 브라켓 부착군의 시편과 칫솔질을 시행한 primer 도포군과 대조군의 시편 모두에서 D_{65} 표준광을 재현하는 광원(Sol-Source, GretagMacbeth, New Windsor, NY, USA)을 사용하여 photoaging을 시행하였다. 기기의 광구가 시편에서 20 cm의 거리로 직각을 이루도록 설정하였으며 자연광에 360시간(15일간) 계속하여 노출된 빛의 양[19]에 해당되도록 400 nm, 65,000 lux로 24시간 광조사를 시행하였다. 광조사로 인해 건조된 각 시편을 증류수에 24시간 보관한 다음 동일한 요령으로 색상을 측정하였다.

통계분석

SPSS (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계프로그램을 이용하여 브라켓 부착 및 제거, primer 도포 및 칫솔질 시행 그리고 photoaging 시행에 따른 CIE $L^*a^*b^*$ 각각의 평균 및 표준편차를 산출하고 실험 처리에 따른 L^*, a^*, b^* 값의 변화 양상을 살펴보았다. 측정된 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 공식 $\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$ 에 입력하여 브라켓 부착군의 경우 브라켓 부착 전과 제거 후 및 photoaging 후의 변화, primer 도포군의 경우 도포 전과 도포 후, 칫솔질 후 및 photoaging 후의 변화, 대조군의 경우 칫솔질 전과 후 및 photoaging 후의 색변화 값(ΔE^*)을 각각 산출한 후 그 평균값과 표준편차를 구하였다. 아울러 임상적으로 인지할 수 있는 색변화 값 3.7을 기준치(ΔE^*_{STD})[20]로 하고, 여러 가지 처리에 따른 각각의 색변화 값과 기준치 간의 일표본 t 검정을 시행하였다. 한편 브라켓이 제거된 부위 또는 primer 도포 및 칫솔질이 시행된 부위에서 자연광 노출에 따른 색변화를 알아보기 위하여, photoaging 시행 전과 후의 색변화 값을 별도로 산출하고 일표본 t 검정을 이용하여 기준치와 비교 분석하였다.

연구성적

브라켓 부착 및 제거, primer 도포 및 칫솔질 시행 그리고 photoaging 등 여러 가지 처리 후 각각의 색상을 측정한 결과 Table 1과 같은 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 얻

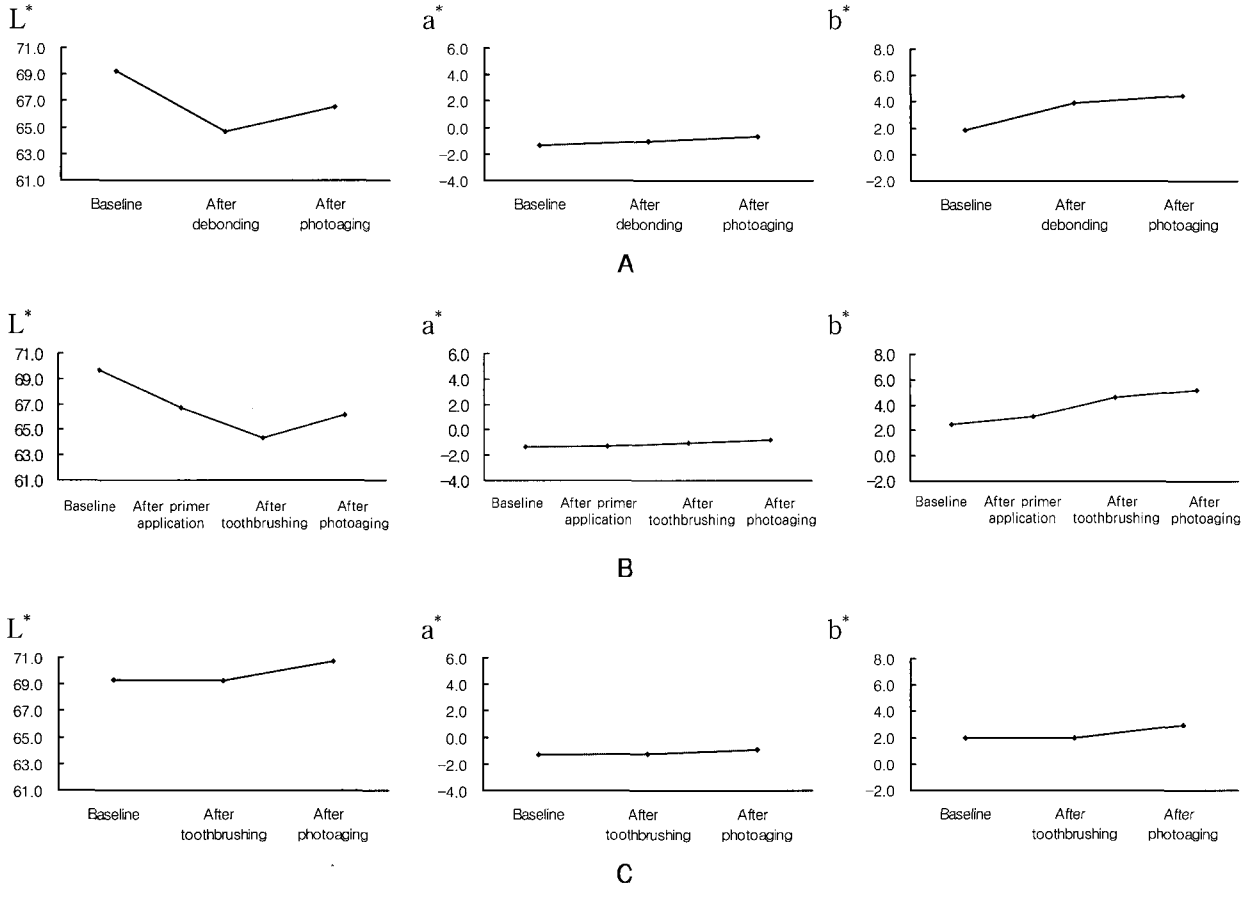

Fig 4. Change in mean CIE $L^*a^*b^*$ values according to treatment in each group. **A**, Bracket bonding group; **B**, primer application group; **C**, control group.

었다. 실험 처리에 따른 각 군의 CIE $L^*a^*b^*$ 값의 변화 양상을 살펴본 결과 (Fig 4), 브라켓 부착군의 경우 브라켓 제거 후 L^* 값은 감소, b^* 값은 증가하는 경향을 보였으며 a^* 값의 변화는 미미하였다. Primer를 도포한 경우에도 L^* 값은 primer 도포 직후 그리고 칫솔질을 시행한 후 계속 감소하였으며, b^* 값은 primer 도포 후 및 칫솔질 시행 후 모두에서 증가하는 경향을 보였으나 a^* 값의 변화는 미미하였다. 한편 primer 도포군에서 시행한 칫솔질의 대조군으로 사용하기 위하여 아무런 처리를 하지 않고 칫솔질만을 시행한 경우에는 L^* 값, a^* 값, b^* 값의 변화가 미미한 것으로 나타났다. 또한 브라켓 제거 후 자연광에 노출된 치아의 색변화를 알아보기 위하여 추가로 photoaging을 시행한 결과 모든 군에서 L^* 값은 증가하는 경향을 보였으나, a^* 값과 b^* 값의 변화는 미미한 것으로 나타났다.

실험 처리에 따라 나타난 색변화 값(ΔE^*)을 산출하고, 임상적으로 인지할 수 있는 색변화 값(ΔE^*_{STD} = 3.7)보다 큰지 알아보기 위하여 일표본 t 검정을 시행한 결과 Table 2와 같은 결과를 얻었다. 브라켓 부착군의 경우 브라켓 부착 전과 제거 후의 색변화가 5.27로 나타나 기준치보다 통계적으로 유의하게 큰 값임을 보여주었다 ($p < 0.01$). 이어서 photoaging을 시행한 결과 브라켓 부착 전과 비교 시 그 차이가 다소 감소하는 경향을 보였으나 여전히 기준치보다 통계적으로 유의하게 높은 값(ΔE^* = 4.80)을 보였다 ($p < 0.05$).

Primer만 도포한 경우 도포 전과 후의 색변화는 3.94로 나타나 임상적으로 인지할 수 있는 기준값보다 크지 않음을 알 수 있었다. 그러나 도포 후 칫솔질을 시행한 경우 primer 도포 전과 비교 시 기준치보다 유의하게 높은 색변화 값(ΔE^* = 5.89)을 나타냈으며, 이러한 변화는 photoaging 후에도 유지되는 양상

Table 2. Color difference (ΔE^*) according to treatment for each group and comparison with the standard value of clinical detection (ΔE^*_{STD})

	ΔE^* Mean ± SD	Difference
Bracket bonding group		
Debonding	5.27 ± 2.21	$> \Delta E^*_{STD}$ ††
Photoaging	4.80 ± 2.11	$> \Delta E^*_{STD}$ †
Primer application group		
Primer application	3.94 ± 2.87	*NS*
Toothbrushing	5.89 ± 3.35	$> \Delta E^*_{STD}$ ††
Photoaging	5.30 ± 2.60	$> \Delta E^*_{STD}$ ††
Control group		
Toothbrushing	0.74 ± 0.46	$< \Delta E^*_{STD}$ †††
Photoaging	2.20 ± 1.44	$< \Delta E^*_{STD}$ †††

All ΔE^* values were calculated with baseline; ΔE^*_{STD} = 3.7; *SD*, standard deviation; *NS*, not significant; † $p < 0.05$; †† $p < 0.01$; ††† $p < 0.001$.

Table 3. Color difference (ΔE^*) before and after photoaging for each group and comparison with the standard value of clinical detection (ΔE^*_{STD})

	ΔE^* Mean ± SD	Difference
Bracket bonding group	2.44 ± 1.83	$< \Delta E^*_{STD}$ ††
Primer application group	2.13 ± 1.64	$< \Delta E^*_{STD}$ †††
Control group	2.03 ± 1.53	$< \Delta E^*_{STD}$ †††

ΔE^*_{STD} = 3.7; *SD*, standard deviation; †† $p < 0.01$; ††† $p < 0.001$.

(ΔE^* = 5.30)을 나타내었다.

한편 primer 도포군에서 시행한 칫솔질과 photoaging의 대조로 사용하기 위하여 아무 처치를 하지 않고 칫솔질과 photoaging을 시행한 대조군의 경우 칫솔질에 의해서는 0.74, 그리고 이후 photoaging에 의해서는 2.20 정도의 작은 값을 나타내었다.

브라켓이 제거된 부위 또는 primer 도포 및 칫솔질이 시행된 부위에서 자연광 노출에 따른 색변화를 알아보기 위하여, photoaging 시행 전과 후의 색변화를 별도로 산출하고 임상적으로 인지할 수 있는 색변화 값(ΔE^*_{STD} = 3.7)과 비교 분석한 결과 Table 3과 같은 결과를 얻었다. 브라켓 제거 후 photoaging에 따른 색변화는 2.44, primer 도포 및 칫솔질 후 photoaging에 의한 색변화는 2.13, 그리고 대조군에서 photoaging에 의한 색변화는 2.03으로 나타나 모든 경우에서 photoaging에 의한 부가적인 색변화는 임상적으로 인지할 수 있는 색변화 값보다 작은 값을 나타내었다 (Table 3).

총괄 및 고찰

자연치의 색은 법랑질 표면에서 반사된 빛과 법랑질 및 상아질 내부에서 반사되거나 산란된 빛이 조합된 결과이다.[21] 따라서 법랑질 표면에 변화가 생기거

나 법랑질의 표면이나 내부에 접착 레진이나 레진 테그와 같은 이물질이 남아 있게 되면 빛의 반사나 산란에 영향을 주게 되어 결과적으로 치아색이 변하게 된다. 교정치료로 인해 법랑질에 발생할 수 있는 표면 변화에는 치면 탈회, 마모, 표면 긁힘, 파절 및 균열, 접착 레진의 잔존 등이 있다. Brown과 Way,[22] Zachrisson과 Årthun,[10] Årtun과 Thylstrup,[23] Bishara와 Trulove,[24] Campbell,[8] van Waes 등[25] 많은 선학들의 연구에서도 보고된 바 있듯이 표면 변화에 의한 치아색 변화는 정도의 차이가 있을 뿐 불가피한 것으로 여겨지고 있다. 그러나 기존의 연구들은 법랑질 표면에 생기는 기계적, 물리적 변화에 대한 것이 대부분이며, 치아색 변화에 대한 연구는 미미한 실정이다. 최근 들어 심미에 대한 관심이 증가하면서 교정치료 후 치아색 변화에 대한 관심도 증가하고 있어 본 연구는 브라켓 부착과 관련된 치아색 변화를 알아보기 위하여 시행되었다.

색상을 과학적이고 객관적으로 측정하기 위하여 사용하는 측정기기는 분광광도계(spectroradiometer), 삼자극치 색도계(tristimulus colorimeter), 분광측정기(spectrophotometer)로 구분할 수 있다.[26] 분광 광도계는 내부 광원 없이 물체에서 기기로 입사되는 빛을 측정하기 위한 것으로 주로 빛을 내는 물체의 색을 측정하는데 사용한다. 삼자극치 색도계는 삼자극치(적색, 녹색, 청색)로 색상을 측정하는 기기로 사용하기 쉬운 장점이 있으나 디텍터의 노화에 따라 기기간 오차가 커지고 재현성이 떨어져 심도있는 색상 측정에는 한계가 있으며 사용되는 필터들이 CIE color matching 함수와 정확히 일치하지 않는 것으로 알려져 있다. 분광 측정기는 일반적으로 물체의 표면 색상을 측정하기 위한 것으로 가시광선 전 영역에 걸쳐 물체의 반사율을 측정한 후 입력된 표준 광원과 관찰자 데이터를 이용하여 측정된 값을 계산하는 기기이다. 본 연구에서는 치아 표면의 색상을 측정하고자 분광측정기를 선택하여 연구를 수행하였다.

색상은 피로, 노화, 감정 등에 의해 주관적으로 인지되며,[27,28] 관찰자 간 뿐 아니라 관찰자 내에서도 다양한 결과를 보인다.[29-31] 이러한 색을 보다 체계적으로 표현하기 위해 CIE의 $L^*a^*b^*$ 색표계, 먼셀 색체계(Munsell color order system), NCS (Natural color system), 오스트발트 색표계(Ostwald system) 등 많은 체계가 제안되어 사용되고 있는데, 이 중 CIE의 $L^*a^*b^*$ 색표계는 1976년 국제조명위원회에서 기준을 정해 발표한 것으로 측정의 조건을 국제 규격에 의거 절대 물리량으로 정하여 과학적이며 객관성을 유지할 수 있고, 보다 세밀한 관리와 측색 및 조색이 가능하며, 색차의 오차 및 색채의 변환방향을 쉽게 짐작할 수 있는 색표계로 알려져 있다.[26] 본 연구에서는 CIE $L^*a^*b^*$ 색표계를 기본으로 한 분광측정기를 사용하여 색상을 측정하였다. CIE $L^*a^*b^*$ 색표계에서 L^*은 명도(lightness), a^*와 b^*는 색도(chromaticity)를 각각 나타내며, L^* 값이 증가하면 밝기가 증가하고, a^* 값이 양의 값으로 증가하면 적색 방향, 음의 값으로 감소하면 녹색 방향으로, b^* 값이 양의 값으로 증가하면 황색 방향, 음의 값으로 감소하면 청색 방향으로 색이 변하는 것을 나타낸다.

객관적인 색상 측정을 위해 측정기를 사용한다 할지라도 치아 표면의 형태가 불규칙하고 곡면을 이루고 있는 경우에는 색상 측정의 재현성이 떨어지는 것으로 알려져 있어[32] 보다 정확한 치아 색상 측정을 위하여 여러 가지 방법이 제안되었다. Shimada 등[33]은 투명한 아크릴을 이용하여 협면에 구멍을 내어 측정기를 위치시킬 수 있는 custom template를 제안하였고, Douglas[34]는 측정기 감지구의 복제모형과 치아 사이의 위치 관계를 고무인상재로 인기하여 반복 측정 시 동일한 위치를 재현할 수 있는 positioning jig를 제안하였다. 본 연구에서도 positioning jig와 plate를 고안하여 색상을 측정하였다.

Seghi 등[31]은 ΔE^* 값이 1 보다 작으면 색변화를 인식하지 못한다고 하였고, Kuehni와 Marcus[35]는 ΔE^* 값이 1 인 경우에는 50%에서 색변화를 인식할 수 있다고 하였다. 또한 Wozniak[36]과 Seghi 등[31]은 ΔE^* 값이 2 이상이면, Johnston과 Kao[20]는 ΔE^* 값이 3.7 이상이면 색변화를 인식할 수 있다고 하는 등 인간의 눈으로 인식할 수 있는 색변화 값에 대한 많은 연구가 시행되었다. 본 연구에서는 명확한 치아색 변화를 확인하고자 가장 큰 값으로 보고된 Johnston과 Kao의 3.7을 임상적 평가의 기준치로 사용하여 비교 분석하였다. 한편 브라켓 제거 후 법랑질 색변화를 평가한 Eliades 등[13]의 최근 연구에서도 3.7을 기준치로 사용하였다.

본 연구에서 L^* 값을 이용하여 명암 변화를 살펴본 결과 브라켓 부착 및 primer 도포 모두의 경우 명도가 감소하는 경향을 보였으며, a^* 값과 b^* 값을 이용하여 색상 변화를 살펴본 결과 황색이 증가하는 양상을 나타내었다. 이러한 결과는 브라켓 부착 및 primer 도포 시 산부식술과 접착 레진의 사용으로 치면에 레진 테그가 남게 되어 나타난 것으로 생각된다.

Silverstone 등,[9] Zachrisson과 Årthun,[10] Sandison,[11] Hintz 등[12]은 교정용 브라켓을 제거한 후 레진 테그가 비가역적으로 남는다고 보고하였는데, 이러한 레진 테그는 치아의 표면이나 내부에서 발생하는 빛의 반사나 산란을 변화시킬 뿐만 아니라 레진 테그 자체의 색을 나타내어 치아색을 변화시키는 것으로 여겨진다. 또한 많은 선학들의 연구[8,10,22-24]에서 보고된 바 있듯이 브라켓 제거 과정에서 발생한 법랑질 표면 변화 역시 치아에서 발생하는 빛의 반사나 산란을 변화시키게 되어 브라켓 제거 후 치아색을 변화시키는 것으로 여겨진다. 이러한 레진 테그와 법랑질 표면 변화로 인하여 브라켓 부착 및 primer를 도포한 경우 명도가 감소하고 황색이 증가하는 것으로 생각된다.

브라켓 부착 및 제거에 따른 색변화를 알아보고자 측정된 CIE $L^*a^*b^*$ 값을 이용하여 색변화 값을 산출한 후 비교 분석한 결과 브라켓 부착 전과 제거 후의 색변화는 5.27로 나타나 기준치인 3.7보다 통계적으로 유의하게 큰 값으로 나타났다 ($p < 0.01$). 이는 브라켓 부착 부위에서 발생한 색변화 값이 임상적으로 인지하기에 충분한 크기임을 의미하는데, 이러한 결과는 교정용 브라켓 제거 후 법랑질의 색이 변화함을 보고한 Eliades 등[13]의 연구 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 브라켓 부착 부위 외에 primer만 도포된 부위의 색변화도 살펴보았는데, primer 도포 전과 도포 직후의 색변화는 3.94로 나타났다. 이러한 색변화 값은 브라켓 제거 후 치면에 남은 레진 테그에 의한 색변화 값이 5.27임을 고려해 볼 때, primer가 완전히 도포된 치면에서 나타날 것으로 예상된 색변화보다 작은 값을 보였는데, 이는 치면에 도포된 primer에 의해 표면 광택도(gloss)가 증가하게 되어 primer 도포에 따른 색변화의 크기를 감소시켜 나타난 결과로 보인다. Obein 등[37]은 인간의 눈은 광택도에 민감하다고 하였고, Dalal과 Natale-Hoffman[38]은 광택도에 따라 빛의 반사정도가 변하게 되고 이로 인하여 표면에서 반사되는 산란 반사가 감소하게 되어 표면의 색에 영향을 줄 수 있다고 보고하였다. 이처럼 표면 광택도는 치아의 색에 영향을 줄 수 있는데, primer 도포로 인해 증가된 표면 광택도가 primer 도포 직후에 나타난 치아색 변화를 다소 감소시키는 것으로 생각된다.

한편 primer의 마모 정도에 따른 색변화를 살펴보기 위하여 primer가 도포된 부위에 칫솔질을 시행한 다음 색변화를 살펴본 결과, primer 도포 전과 비교시 칫솔질 시행 후의 색변화가 기준치보다 유의하게 높은 값($\Delta E^* = 5.89$)으로 나타났다. 이것은 산부식으로 식각된 치면에 도포된 primer는 칫솔질을 시행하더라도 레진 테그가 남는 반면, 식각되지 않은 부위에 도포된 primer는 칫솔질에 의해 마모되어 나타난 결과로 보인다. 또한 칫솔질 시행으로 감소된 표면 광택도 역시 색변화에 영향을 준 것으로 여겨진다. 그 결과 칫솔질 시행 후의 색변화 정도 및 양상이 브라켓 제거 후의 색변화와 유사하게 나타난 것으로 해석된다.

브라켓 제거 후 나타나는 치아색 변화는 치면에 남은 레진 테그와 브라켓 제거 시의 표면 변화에 의해서 발생할 수 있는데, Eliades 등[13]은 글래스 아이오노머 접착제와 레진 접착제를 이용하여 교정용 브라켓을 부착 및 제거한 후 법랑질의 색변화를 비교한 연구에서, 글래스 아이오노머 접착제를 사용한 경우가 레진 접착제를 사용한 경우보다 브라켓 제거 후의 색변화가 작지 않고 오히려 더 크게 나타남을 보고하여 레진 테그에 의한 색변화 보다 브라켓 제거 과정에서 발생하는 법랑질 표면 변화에 의한 색변화가 더 크다고 해석하였다. 그러나 본 연구에서는 브라켓 제거 후 잔여 레진을 제거한 경우의 색변화와 primer 도포 후 칫솔질만을 시행한 경우의 색변화가 비슷하게 나타나, 브라켓 제거 및 잔여 레진 제거 술식으로 발생하는 법랑질 표면 변화에 따른 색변화는 미미한 것으로 보여지며 결과적으로 브라켓 제거 후 발생하는 치아색 변화는 주로 레진 테그에 의해 나타난 것으로 해석된다.

이처럼 레진 테그에 의해 치아색 변화가 나타나는 경우 접착 레진의 색은 브라켓 제거 후의 색변화에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 즉, 브라켓 부착 시 사용하는 접착 레진의 종류에 따라 브라켓 제거 후의 색변화가 다르게 나타날 수 있다. 물론 브라켓 제거 및 잔여 레진 제거 술식이 동일하지 않지만, Unite (3M Unitek, Monrovia, CA, USA)를 사용한 Eliades 등[13]은 13.7의 색변화를 보고하였으며 Transbond™ XT를 사용한 본 연구에서는 5.27의 색변화가 나타났다.

교정치료 후 자연광 노출에 의한 레진 테그의 변색이 있을 수 있어 본 연구에서는 브라켓 제거된 부위 또는 primer 도포 및 칫솔질을 시행한 부위에 photoaging을 시행하였다. 그러나 photoaging 시행 전과 후의 색변화를 살펴본 결과, 브라켓 제거 후 photoaging에 따른 색변화는 2.44, primer 도포 및 칫솔질 후 photoaging에 의한 색변화는 2.13으로 나타나 모든 경우에서

photoaging에 의한 부가적인 색변화는 미미하다는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 광중합형 레진의 내인성 변색은 반응 증감제인 camphorquinone과 개시제인 방향족 삼차 아민이 주된 원인으로 작용하는 것으로 알려져 왔다.[39] 레진 중합 후 남아있는 미반응 아민은 반응성이 높아 쉽게 변색을 일으키며, camphorquinone은 가시광선에 의해 색이 변화될 수 있다.[40] 그러나 최근에는 광중합형 레진의 색조 안정성을 높이기 위하여 방향족 삼차 아민이 지방족 삼차 아민으로 대체되었으며, 그 결과 camphorquinone의 함유량도 낮아져 광중합형 레진의 색조 안정성은 더욱 개선되었다.[39] Burrow와 Makinson[41]은 광중합형 레진에 자연광을 조사하여 색변화를 살펴본 연구에서 자연광에 노출된 광중합형 레진의 색변화는 크지 않다고 보고하였는데, 이는 본 연구의 결과와 일치하는 것으로 나타났다.

본 연구결과 브라켓 제거 후 치아색 변화는 인지할 수 있을 정도로 큰 값($\Delta E^* = 5.27$)으로 나타났지만 교정치료 후 환자 및 교정의는 브라켓 부착 부위의 색차이를 쉽게 인지하지 못하고 있다. 이는 브라켓 부착 시 산부식을 시행함에 있어 브라켓 부착 부위 뿐만 아니라 그 인접 부위까지 넓게 적용하게 되어 브라켓이 부착된 인접 부위에 primer만 도포된 부위가 존재하게 되는데, 이렇게 primer만 도포된 부위의 색변화 정도($\Delta E^* = 5.89$) 및 양상이 브라켓 부착 부위와 비슷하게 나타나 브라켓 부착 부위와 그 인접 부위가 색차이를 보이지 않게 된다. 그 결과 브라켓 부착 부위의 색변화가 보다 자연스럽게 보이는 것으로 여겨진다.

교정치료 시 브라켓 부착 및 제거에 따른 치아색 변화는 산부식술과 접착 레진의 사용으로 생기는 레진 테그와 브라켓 제거 과정에서 발생하는 법랑질 표면 변화에 의해 주로 발생하게 되는 것임을 알 수 있었다. 따라서 브라켓 제거 후의 치아색 변화는 브라켓 부착 시 사용하는 접착 레진의 종류 및 브라켓 제거 과정에서 발생하는 법랑질 표면 변화 정도에 따라 다를 수 있으므로 교정치료 후 치아색 변화를 최소로 하기 위해서는 접착 레진 종류에 따른 색변화와 브라켓 제거 시 사용하는 연마 방법에 따른 치아색 변화에 대한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

결 론

교정치료 시 브라켓 부착 및 제거에 따른 치아색 변화를 알아보기 위하여 분광측정기를 이용하여 브라켓 부착 및 primer 도포 전후의 색을 측정하는 한편 임상적으로 인지할 수 있는 색변화 값을 기준치(ΔE^*_{STD})로 하여 비교 및 분석을 시행한 결과 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. L^* 값을 이용하여 명암 변화를 살펴본 결과 브라켓 부착 및 primer 도포 모두의 경우 명도가 감소하는 경향을 보였으며, a^* 값과 b^* 값을 이용하여 색상 변화를 살펴본 결과 황색이 증가하는 양상을 나타내었다.
2. 색변화를 산출하고 기준치와 비교한 결과 브라켓 부착 전과 제거 후의 색변화는 임상적으로 인지할 수 있는 색변화 값보다 큰 것으로 나타났다 ($> \Delta E^*_{STD}$, $p < 0.01$).
3. Primer만 도포된 경우 도포 전과 도포 후의 색변화는 기준치보다 크지 않았으나($p > 0.05$), 칫솔질을 시행한 후 기준치보다 큰 색변화가 나타났다 ($> \Delta E^*_{STD}$, $p < 0.01$).
4. Photoaging에 의한 부가적인 색변화는 기준치보다 낮은 것으로 나타났다 ($< \Delta E^*_{STD}$, $p < 0.01$).

이상의 결과는 교정치료를 위한 브라켓 부착으로 인해 브라켓 부착 및 인접부위의 치아색 변화가 있음을 의미하며 임상과정에서 이에 대한 고려가 필요함을 시사하였다.

참 고 문 헌

1. Goldstein RE, Haywood VB, Heymann HO, Steiner DR, West JD. Bleaching of vital and pulpless teeth. In Cohen S, Burns RC, editors. Pathways of the Pulp. ed 6. St. Louis: Mosby; 1994. p. 584-603.
2. Engelhardt D. Power bleaching. Cont Esthet Rest Prac 1999;9:22-9.
3. Maijer R, Smith DC. Corrosion of orthodontic bracket bases. Am J Orthod 1982;81:43-8.
4. Mizrahi E. Surface distribution of enamel opacities following orthodontic treatment. Am J Orthod 1983;84:323-31.
5. Øgaard B, Rølla G, Arends J, ten Cate JM. Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 2. Prevention and treatment of lesions. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1988;94:123-8.
6. Øgaard B. Prevalence of white spot lesions in 19-year-olds: A study on untreated and orthodontically treated persons 5 years after treatment. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1989;96:423-7.
7. Zarrinnia K, Eid NM, Kehoe MJ. The effect of different debonding techniques on the enamel surface: An in vitro qualitative study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1995;108:284-93.
8. Campbell PM. Enamel surfaces after orthodontic bracket debonding. Angle Orthod 1995;65:103-10.
9. Silverstone LM, Saxton CA, Dogon IL, Fejerskov O. Variation in the

pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. Caries Res 1975;9:373-87.
10. Zachrisson BU, Årthun J. Enamel surface appearance after various debonding techniques. Am J Orthod 1979;75:121-37.
11. Sandison RM. Tooth surface appearance after debonding. Br J Orthod 1981;8:199-201.
12. Hintz JK, Bradley TG, Eliades T. Enamel colour changes following whitening with 10 per cent carbamide peroxide: a comparison of orthodontically-bonded/debonded and untreated teeth. Eur J Orthod 2001;23:411-5.
13. Eliades T, Kakaboura A, Eliades G, Bradley TG. Comparison of enamel colour changes associated with orthodontic bonding using two different adhesives. Eur J Orthod 2001;23:85-90.
14. Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. London: George Allen and Unwin Ltd.; 1948.
15. Radlanski RJ. A new carbide finishing bur for bracket debonding. J Orofac Orthop 2001;62:296-304.
16. 조상완, 권오원. 수종의 clean-up technique이 법랑질 표면거칠기에 미치는 영향. 대치교정지 1997;27:791-800.
17. Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M. Wear and surface roughness of current prosthetic composites after toothbrush/dentifrice abrasion. J Prosthet Dent 2000;84:93-6.
18. Kanter J, Koski RE, Martin D. The relationship of weight loss to surface roughness of composite resins from simulated toothbrushing. J Prosthet Dent 1982;47:505-13.
19. Atlas Suntest Bulletin. Atlas material testing solutions. Geluhausen: Corporate bulletin; 1998.
20. Johnston WM, Kao EC. Assessment of appearance match by visual observation and clinical colorimetry. J Dent Res 1989;68:819-22.
21. ten Bosch JJ, Coops JC. Tooth color and reflectance as related to light scattering and enamel hardness. J Dent Res 1995;74:374-80.
22. Brown CRL, Way DC. Enamel loss during orthodontic debonding and subsequent loss during removal of filled and unfilled adhesives. Am J Orthod 1978;74:663-71.
23. Årtun J, Thylstrup A. Clinical and scanning electron microscopic study of surface changes of incipient caries lesions after debonding. Scand J Dent Res 1986;94:193-201.
24. Bishara SE, Trulove TS. Comparisons of different debonding techniques for ceramic brackets: An in vitro study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1990;98:263-73.
25. van Waes H, Matter T, Krejci I. Three-dimensional measurement of enamel loss caused by bonding and debonding of orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1997;112:666-9.
26. 문은배. 색채의 활용. 서울: 도서출판국제; 2002.
27. Judd DB, Wyszecki G. Color in business, science and industry. 3rd ed. New York: John Wiley and Sons; 1975. p. 5-90.
28. Joiner A. Tooth colour: a review of the literature. J Dent 2004;32:3-12.
29. Brown WRJ. Color discrimination of twelve observers. J Opt Soc Am 1957;47:137-43.
30. Wyszecki G, Fielder GH. Color-difference matches. J Opt Soc Am 1971;61:1501-13.
31. Seghi RR, Hewlett ER, Kim J. Visual and instrumental colorimetric assessments of small color differences on translucent dental procelain. J Dent Res 1989;68:1760-4.
32. 최용진. 치아 순면 형태가 치아색상 측정결과에 미치는 영향. 전남대학교 석사학위논문. 2004.
33. Shimada K, Kakehashi Y, Matsumura H, Tanoue N. In vivo quantitative evaluation of tooth color with hand-held colorimeter and custom template. J Prosthet Dent 2004;91:389-91.
34. Douglas RD. Precision of in vivo colorimetric assessments of teeth. J Prosthet Dent 1997;77:464-70.
35. Kuehni RG, Marcus RT. An experiment in visual scaling of small color differences. Color Res Appl 1979;4:83-91.
36. Wozniak WT. Proposed guidelines for the acceptance program for dental shade guide. Chicago: American Dental Association; 1987.
37. Obein G, Knoblauch K, Viénot F. Difference scaling of gloss: Nonlinearity, binocularity, and constancy. J Vis 2004;4:711-20.
38. Dalal EN, Natale-Hoffman KM. The effect of gloss on color. Color Res Appl 1999;24:369-76.
39. 문주훈, 박영준, 신동훈, 이광원, 이수종, 조영곤 등 역. 치아의 심미수복: 재료의 선택에서 수복·연마까지. 서울: 나래출판사; 1999. p. 127-35.
40. Shintani H, Inoue T, Yamaki M. Analysis of camphorquinone in visible light-cured composite resins. Dent Mater 1985;1:124-6.
41. Burrow MF, Makinson OF. Color change in light-cured resins exposed to daylight. Quintessence Int 1991;22:447-52.

- ORIGINAL ARTICLE -

Tooth color changes associated with the bracket bonding and debonding

Seok-Pil Kim, DDS, MSD,[a] **In-Nam Hwang,** DDS, MSD, PhD,[b]
Jin-Hyoung Cho, DDS, MSD,[c] **Hyeon-Shik Hwang,** DDS, MSD, PhD[d]

The purpose of this study was to evaluate the tooth color changes of resin bonding sites and their adjacent sites on orthodontic bracket bonding. Sixty extracted sound premolars were used and the tooth color was recorded according to the CIE $L^*a^*b^*$ color system using a spectrophotometer. The tooth colors of the twenty premolars were measured and compared before bracket bonding and after removal. On a further twenty premolars, the tooth color was measured before and after only primer application. In the change of L^* values, according to the bracket bonding and primer application, the lightness was decreased, and in the change of a^* and b^* values, the color was changed into a more yellowish color. The color differences (ΔE^*) were calculated from the $L^*a^*b^*$ values and compared with the standard value of clinical detection (ΔE^*=3.7). The color differences between before the bracket bonding and after removal noted exceeded the standard value and those of between before and after the primer application were not larger than the standard value. Toothbrushing was performed after application of the primer to evaluate the color changes according to the primer abrasion. As a control, toothbrushing was performed on the last twenty premolars. The color differences noted were larger than the standard value after toothbrushing. Also, to evaluate the color changes of the tooth which is exposed to sun irradiation after bracket removal, additional photoaging was performed and the color was measured for all teeth. The additional color differences after photoaging were smaller than the standard value. The above results suggest that the tooth color changes after fixed orthodontic treatment.

Korean J Orthod 2006;36(2):114-24

※ **Key words:** Tooth color change, Light cure resin, Bracket bonding

[a] *Graduate Student,* [c] *Full-time Lecturer, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Chonnam National University*
[b] *Associate Professor, Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Dental Science Research Institute, Chonnam National University*
[d] *Professor, Department of Orthodontics, School of Dentistry, Dental Science Research Institute, Chonnam National University*
Corresponding author: Hyeon-Shik Hwang
Department of Orthodontics, Chonnam National University Hospital, Hak-Dong 8, Dong-Gu, Gwangju 501-757, Korea
+82 62 220 5486
hhwang@chonnam.ac.kr
Received November 23, 2005; Last Revision January 23, 2006; Accepted January 25, 2006