

# Hydrogen Peroxide 농도와 적용시간이 Hydroxyapatite Discs의 미백과 물리적 성질에 미치는 영향

양연미 · 이두철 · 백병주 · 김재곤 · 신정근

전북대학교 치과대학 소아치과학교실 및 구강생체과학연구소

## 국문초록

법랑질의 주성분인 hydroxyapatite 분말을 성형하고 소결하여 착색을 유발한 다음 과산화수소의 농도와 적용 기간의 변화에 따라 나타나는 미세 조직과 기계적 성질의 변화 및 미백 효과 등에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 과산화수소의 농도와 적용시간이 증가함에 따라 미백 효과가 증가되었다.
2. 표면조도는 15% 과산화수소 10일, 30% 과산화수소 7, 10일 적용 시 유의한 차이로 증가하였다(p<0.05).
3. X-선회절 분석결과 미백처리 전·후의 결정상의 변화는 관찰되지 않았으나, 주사전자현미경 관찰시 표면의 미세구조는 과산화수소 농도와 적용시간의 증가에 따라 미세기공이 증가하였다.
4. 2축 굽힘강도는 30%농도의 과산화수소로 7, 10일 적용하였을 때 유의한 차이로 감소되었다(p<0.05).
5. 미소 경도값은 15% 과산화수소 10일과 30% 과산화수소 3, 7, 10일 적용 후 유의한 차이로 감소되었다(p<0.05).

**주요어** : Hydroxyapatite, 과산화수소, 미백 효과

## I. 서 론

치아의 기능으로는 저작 기능, 발음 기능 및 심미적 기능을 들 수 있다. 자연치는 각 개인에 따라 다양한 색조를 가지며, 법랑질과 상아질 조직의 두께, 구조 및 연령 차이에 의해서도 색상이 다르게 나타난다. 또한 치아의 색상은 착색, 변색, 치아 내부의 투과 및 반사도의 변화, 순측면의 마모에 의한 표면의 광택과 성질 변화 등에 따라서도 다양하게 변화가 나타난다<sup>1)</sup>. 사회가 발달하고 생활수준이 향상됨에 따라 기능회복을 위한 치과치료보다 심미성의 회복을 위한 치료의 요구가 증가하고 있다. 오늘날 많은 사람들은 건강한 구강과 더불어 완벽한 미소

를 갖기 원한다. 치아의 색상은 내적인 색상 변화와 외적인 착색에 의해 결정된다. 내적인 색상 변화는 법랑질과 상아질의 빛의 산란 및 흡수와 관계가 있고, 외적인 색상변화는 법랑질 표면에서 일어나는 섭취물질(tea, red wine, chlorhexidine, metal salts 등)의 흡수와 관계가 있다<sup>2)</sup>.

누런 치아 또는 변색된 치아는 심미적인 문제로 고통을 유발시킬 수 있기 때문에 자연스러운 색상으로 복원시켜 주기 위해 다양한 방법들이 강구되어 왔다. 초기 치아 미백술은 산성용액을 이용하여 표면을 녹이는 술식이 사용되었으나 최근에는 주로 hydrogen peroxide계 약제를 사용하고 있으며, 치아의 삭제나 교정을 수반하지 않고 비교적 손쉽게 만족할 만한 결과를 얻을 수 있기 때문에 널리 적용되고 있다. 치과 치료에 있어서 심미의 최종 목표는 사람의 치은, 입술 및 안면의 조화로운 배치와 만족스러운 치아의 배열로 아름다운 미소를 표현하는 것이다. 특히 수복에 있어서 심미는 표면 형태, 반투명도 및 색상 등의 변수를 고려하여야 한다<sup>3)</sup>.

교신저자 : 양 연 미

전북 전주시 덕진구 덕진동 1가 664-14  
전북대학교 치과대학 소아치과학교실  
Tel: 063-250-2121 Fax: 063-250-2131  
E-mail: pedodent@chonbuk.ac.kr

변색된 치아의 미백치료는 1877년 처음으로 oxalic acid를 사용하기 시작하면서 현재까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 이후 hydrogen peroxide를 이용하여 변색된 치아를 미백하였고<sup>4)</sup>, carbamide peroxide를 포함하는 Glyoxide를 교정 환자의 치은 조직 건강을 위해 적용한 결과 치은 조직의 개선은 물론 치아의 색이 밝아지는 것을 알게 되었다<sup>5)</sup>.

Hayhood와 Heymann<sup>6)</sup>은 10% carbamide peroxide를 이용해서 치과외사의 지도하에 집에서 시행하는 자가치아미백술 (nightguard vital tooth bleaching)의 임상연구결과를 처음으로 보고하였다. 그 후 10% carbamide peroxide는 자가치아미백제의 표준으로 많이 사용되고 있지만<sup>7)</sup>, 최근에는 35%의 고농도까지 사용되고 있으며, 치아미백 치료 기간도 농도에 따라 1주에서 6개월까지 다양하게 적용하고 있다<sup>8)</sup>. Kihn 등<sup>9)</sup>은 미백효과에 대해 10%와 15% carbamide peroxide를 14일 동안 적용한 결과, 15% carbamide peroxide가 10% carbamide peroxide보다 통계적으로 미백효과가 우수하다고 보고하였고, Jones 등<sup>10)</sup>도 같은 기간 동안 10%와 20% carbamide peroxide를 적용한 연구에서 고농도의 carbamide peroxide가 저농도의 carbamide peroxide보다 효과적이라고 하였다. 또한 Leonard 등<sup>11)</sup>은 저농도로 장시간 적용하면 결과적으로 고농도를 적용한 것과 같은 미백효과를 얻을 수 있다고 하였다. 그러나 미백치료 시 나타나는 일반적인 부작용으로는 치은 조직의 불편감 호소나 냉은 자극에 민감한 반응 등을 보이는 경우가 있으며, 특히 고농도에서 이러한 부작용이 더 많이 나타나는 것으로 보고되고 있다<sup>12)</sup>. 15%의 carbamide peroxide는 법랑질 구조에 영향을 미치지 않지만, 35% carbamide peroxide는 법랑질 구조에 영향을 미친다<sup>12)</sup>. 치아 미백제로 사용되는 carbamide peroxide는 hydrogen peroxide와 urea로 분해되며, 10% carbamide peroxide는 약 3.62% hydrogen peroxide를 22% carbamide peroxide는 약 7.92% hydrogen peroxide를 방출한다. 6% 이상의 고농도 hydrogen peroxide는 치아의 법랑질과 상아질의 미소경도의 감소<sup>13)</sup>와 상아세관을 통한 박테리아의 투과성을 증가시킬 수 있다고 하였다<sup>14)</sup>. 또한 치과계에서 많이 사용되고 있는 아말감 수복물은 carbamide peroxide의 농도가 높을수록 유리되는 수은의 양이 증가된다고 보고된 바 있다<sup>15)</sup>. 이와 같이 유해성 논란에도 불구하고 고농도 치아 미백제가 사용되는 것은 동일한 적용 시간에서 고농도가 저농도의 경우보다 효과가 크다고 알려져 있기 때문이다.

환자에게 가장 적합한 농도의 미백제와 적용 기간을 결정하기 위해서는 많은 기초연구가 필요하다. 이에 본 연구에서는 법랑질의 주성분인 hydroxyapatite 분말을 성형하고 소결하여 착색을 유발한 다음 hydrogen peroxide의 농도와 적용 기간의 변화에 따라 나타나는 미세 조직과 기계적 성질의 변화 및 미백 효과 등에 관하여 기초적인 자료를 얻고자 한다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 시편 제작

시편은 1050℃의 소성품인 평균입도 50 μm의 hydroxyapatite 분말(TAIHEI CHEMICAL, Japan, 이하 HA)을 100 kg/cm<sup>2</sup>로 성형하여 12 mm(Φ)×1.2 mm(t)의 디스크 형태로 만든 다음 5℃/min의 승온 속도로 1350℃까지 온도를 상승시킨 다음 2시간 동안 유지하여 시편을 소결하였다. 시편의 소결 온도를 알아보기 위해 HA 분말을 열분석기(TG-DTA, MacScience Co, USA)를 이용하여 질소가스 분위기에서 1450℃까지 열분석을 시행하였다. 준비한 시편은 #2000 SiC 연마지 단계까지 순차적으로 연마하였고, 표면의 미세연마흔을 제거하기 위해 0.3 μm 알루미나 단계까지 경면 연마하였다.

### 2. 타액 준비 및 *in vitro* pellicle 층 형성

타액은 건강한 성인 남자로부터 파라핀 왁스를 씹게 하여 분비된 타액을 얼음 냉각된 비이커에 채취했다. 타액 채취는 최근 3개월 동안 항생제를 복용한 적이 없고, 특별한 질병을 앓은 적이 없는 건강 상태가 양호한 사람을 대상으로 하여 채취하였다. 채취된 타액은 12,000 g 으로 15분 동안 4℃에서 원심분리하여 침전물을 제거하고 -20℃에서 냉동 보관하였다. 구강 내 환경을 고려하여 시편에 *in vitro* pellicle 층을 형성하기 위해 채취 보관중인 타액에 시편을 침적하고 37℃에서 10 rpm으로 회전되는 인큐베이터에 12시간 동안 보관한 다음 세척하여 준비하였다.

### 3. 시편 착색

착색액은 Stookey 방법<sup>16)</sup>으로 미세하게 분쇄한 인스턴트 커피, 인스턴트 홍차 및 위 뮤신(gastric mucin)을 각각 2.7 g, 2.7 g 및 2.0 g, 그리고 FeCl<sub>3</sub> 0.8 g을 Trypticase Soy Broth 800 mL에 용해시키고, 24시간 배양한 *Sarcina lutea* 배양액을 24 mL 추가하였다. 제조한 착색액을 시편이 들어있는 tube에 붓고 37℃ 인큐베이터에서 진동을 가하면서 1일 간격으로 착색액을 교환하면서 7일 동안 착색하였다.

### 4. 시편 미백

미백제로 사용된 hydrogen peroxide의 농도는 3, 7, 15 및 30%로 하였으며, 미백처리 시간은 3, 7, 10일로 하였다. 미백제는 구강 내 환경을 고려하여 37±1℃, 100% 상대습도에서 보관하였으며, 적용기간 종료 후 증류수로 세척하여 건조 후 실험에 사용하였다.

5. 색의 측정

각 시편의 색 측정은 Spectrophotometer(SpectroDens, A403026, Germany)를 사용하여 각 시편의 L\*, a\*, b\*값을 구하였다. 시편간의 색차(ΔE\*)는 L\*, a\*, b\* 색공간 좌표상의 거리, 즉 Hunter의 색차식에 의해 계산하였고, 공식은 식 (1)과 같다.

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

여기에서 ΔL\*, Δa\*, Δb\*는 각각 L\*, a\*, b\* 값의 차이를 의미한다.

또한, 착색한 시편의 미백처리 후의 착색제거율은 다음 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$\% \text{ Stain removed} = \frac{L^*(t) - L^*(\text{Stained})}{L^*(\text{Baseline}) - L^*(\text{Stained})} \times 100 \quad (2)$$

여기에서 L\*(Baseline), L\*(Stained), L\*(t)는 원시편, 착색처리와 t시간 동안 미백처리 후의 L\* 값이다.

6. 표면 관찰 및 물리적 성질의 변화

미백처리 전후의 시편 표면의 미세구조를 관찰하기 위해 시편에 Au ion coating을 시행하고 주사전자현미경(JSM-5900, Jeol Co., Japan)으로 관찰하였다. 또한 시편의 결정구조 변화를 조사하기 위해 X-선회절기(Rigaku D/max-III A type)로 분석하였고, 미백처리로 인한 시편의 표면 형상 변화를 조사하기 위해 표면조도측정기(Surftest SV-3000, Mitutoyo, Japan)로 중심선 평균 거칠기 값 Ra를 측정하였다.

7. 기계적 성질 변화 측정

미백제 적용 시 나타나는 표면의 미소경도 변화를 조사하기 위해 시편을 7일 동안 착색하고, 각각 3, 7, 15, 30%의 농도를 갖는 hydrogen peroxide로 미백 처리한 다음 미세경도측정기(Matsuzawa Seiki Co, Ltd)로 압입하중 1 kg, 유지시간 15 초의 조건에서 비커스 경도를 측정하였다.

미백처리 전후의 2축 굽힘강도 변화를 조사하기 위해 얇은 세라믹 원판의 굽힘 강도 평가에 자주 이용되는 2축 굽힘 시험(biaxial flexural test)을 실시하였다. 2축 굽힘 강도는 재료시험기(Instron Co., Model 4201, Japan)에, Fig. 1에 표시한 것과 같이, 직경 9 mm의 유지원주상의 세 위치에서 직경 1.5 mm의 강구로 유지되도록 시편을 올려놓고 중앙점에서 하중을 가하는 방식인 ball-on-three-ball 법<sup>17)</sup>을 적용하여 crosshead 속도 0.5 mm/min에서 시편을 파절시킨 다음 Marshall<sup>18)</sup>과 Shetty 등<sup>19)</sup>이 고안한 식 (3)-(5)를 적용하여 2축 굽힘 강도를 계산하였다.

$$\sigma = \frac{AP}{t^2} \quad (3)$$

$$A = \frac{3}{4\pi} [2(1+\nu)\ln\left(\frac{a}{r_0^*}\right) + (1-\nu)\left(\frac{2a^2 - r_0^{*2}}{2b^2}\right) + (1-\nu)] \quad (4)$$

$$r_0^* = \sqrt{(1.6r_0^2 + t^2) - 0.675t} \quad (5)$$

여기에서 P는 파절하중, t는 시편의 두께, ν는 프와송 비, a는 지점을 지나는 원주의 반경, b는 시편의 반경, r<sub>0</sub>은 강구의 반경, r<sub>0</sub>\*는 시편과 하중봉 사이의 접촉면의 반경이며, 프와송 비는 0.25로 하였다.

8. 통계 처리

Microcal Origin 프로그램을 이용하여 각 실험군을 10회 반복 측정하여 명도변화(ΔL\*), 색상변화(ΔE\*), 조도변화(ΔRa), 강도 및 경도의 평균값과 표준편차 값을 구하였다. 또한 각 실험군의 미백 처리 시 농도와 시간변화에 따른 효과를 one-way ANOVA와 t-test로 분석하였고, 모든 통계적인 유의 수준은 5%에서 검증하였다.

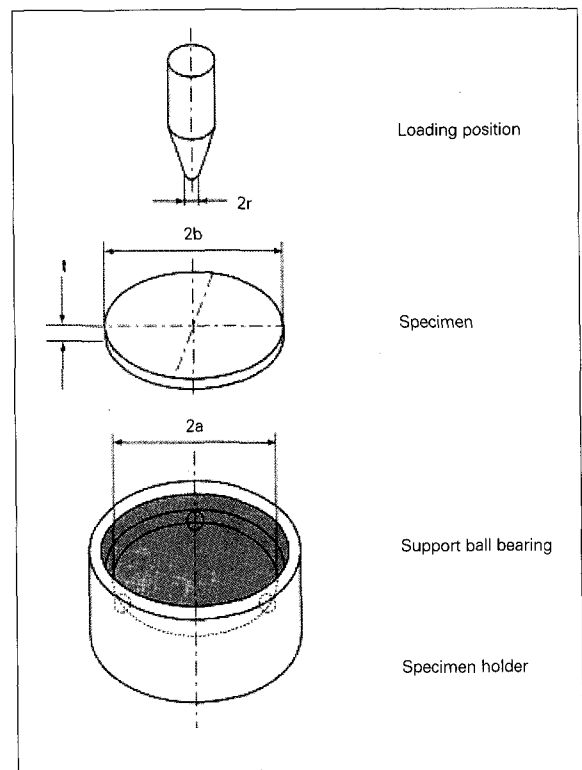


Fig. 1. Schematic illustration of a ball-on-three-ball loading system.

### Ⅲ. 연구 결과

#### 1. 시차열 분석

Fig. 2는 본 실험에 사용한 HA의 열적거동을 알아보기 위해 실시한 시차열분석 곡선으로서, 1350°C에서 급격한 흡열 반응을 보였으며, 모든 시편을 이 온도에서 2시간 동안 소결하였다.

#### 2. X-선 회절 분석

Fig. 3은 HA의 X-선 회절 분석 결과로서, 주 결정 피크는 31-32°, 47°와 50° 부근으로 JCPDS 카드의 9-432와 일치하였으며, 미백 처리 후에도 같은 X-선 회절 양상이 관찰되어 착색 및 미백처리로 인한 결정상의 변화는 관찰되지 않았다.

#### 3. 명도변화( $\Delta L^*$ )와 착색제거율

Table 1과 2는 미백제로 사용한 hydrogen peroxide의 농도와 적용시간에 따라 미백제 적용 전의 측정값을 기준으로 해서 구한 명도변화( $\Delta L^*$ )와 식 (2)에 의한 착색제거율을 나타낸 것이다. hydrogen peroxide의 농도와 적용시간이 증가함에 따라 착색 제거율이 증가하여 밝아지는 결과를 보였고, 고농도에서 단시간 적용한 경우보다 저농도에서 장시간 적용한 경우에 더 밝게 나타났다. 착색제거율은 전 실험군에서 80% 이상으

로, 특히 30% hydrogen peroxide를 10일 동안 적용한 경우에 100%를 초과하는 제거율을 보여 착색전의 원래 시편 보다 더 밝은 색을 띠었다.

#### 4. 색차계 분석

Table 3은 미백처리 전후의 시편에 대한 Fig. 4~7과 Hunter의 색차식 (식 (1))을 이용하여 계산한 색상변화( $\Delta E^*$ )를 나타낸 것으로서, 전 실험군에서 규칙적인 변화를 보이지는 않았다. 최대 색상변화는 30% hydrogen peroxide에서 7일 동안 적용한 실험군이 10일 동안 적용한 실험군보다 색상변화가 더 크게 나타났다. Fig. 4~7은 전체 실험군의 색차계 분석 결과로서, 착색 처리 시 명도지수  $L^*$ 의 값은 감소하고 채도지수  $a^*$ 와  $b^*$ 의 값은 증가를 보였다. 미백 처리 시 처리액의 농도 증가와 경과 시간에 따라 명도지수의 경우에는 증가하고 채도지수의 경우에는 감소를 보였지만  $a^*$ 에 비해서는  $b^*$ 의 값이 더 큰 폭으로 저하되는 양상을 보였다.

#### 5. 표면조도

Fig. 8은 무처리 시편 및 적용농도와 시간의 변화에 따른 중심선 평균 거칠기  $Ra$ 의 변화를 나타낸 것으로, 농도와 시간이 증가함에 따라 표면조도가 증가하는 양상을 보였다. 3%와 7%의 hydrogen peroxide 농도에서는 적용시간에 따라 유의한 차

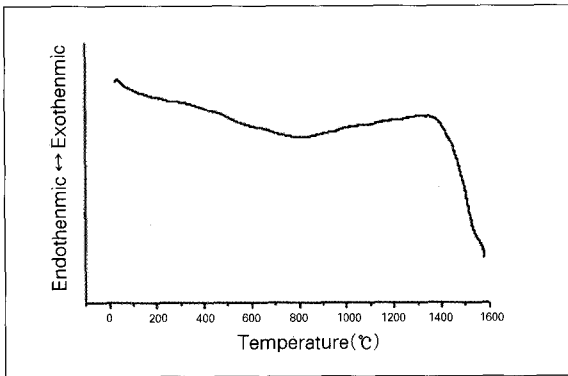


Fig. 2. DTA curve of hydroxyapatite powder.

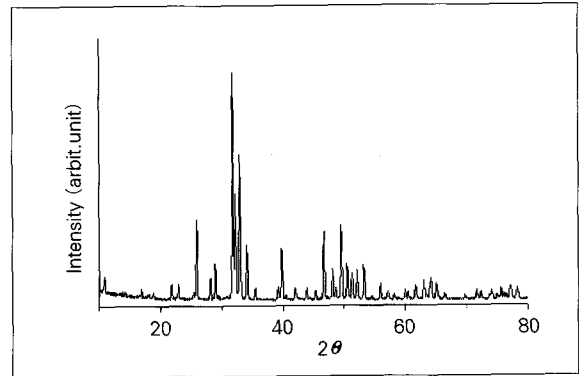


Fig. 3. XRD pattern of hydroxyapatite powder.

Table 1. Difference of lightness( $\Delta L^*$ ) before and after bleaching treatment

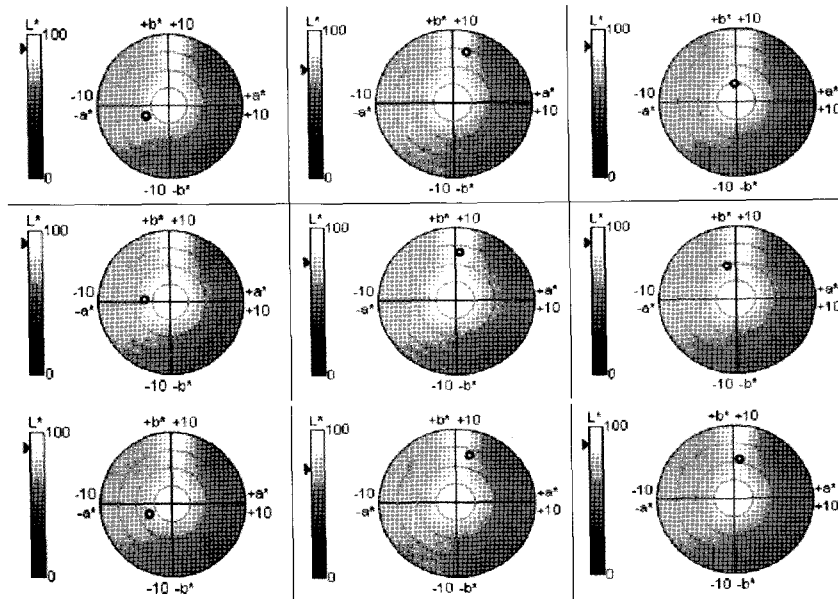
concentration	3%	7%	15%	30%
period				
3 days	11.50±3.92	11.49±4.62	13.96±4.03	15.75±3.11
7 days	12.62±2.80	13.91±4.40	14.70±5.39	17.97±5.22
10 days	13.10±4.17	14.01±5.26	16.90±5.91	18.92±5.44

**Table 2.** Stain removal rate before and after bleaching treatment

concentration	3%	7%	15%	30%
3 days	82.84±17.12	83.74±20.12	89.20±18.97	91.36±18.65
7 days	83.38±12.67	88.56±19.22	91.27±16.34	97.76±20.01
10 days	85.74±14.01	89.42±15.44	95.05±18.34	101.00±19.98

**Table 3.** Color change ( $\Delta E^*$ ) before and after bleaching treatment

concentration	3%	7%	15%	30%
3 days	11.99±3.01	11.82±3.87	14.22±3.12	16.49±3.92
7 days	12.65±3.73	14.23±3.56	14.07±4.13	19.09±3.12
10 days	13.19±4.02	14.98±2.98	7.46±3.75	18.11±3.96



**Fig. 4.** Color changes after bleaching treatment with 3% hydrogen peroxide.

이는 없었으나( $p>0.05$ ), 10일 동안 적용 시 15%와 30%의 hydrogen peroxide 농도에서는 각각 0.14와 0.24  $\mu\text{m}$ 를 보여 적용시간에 따라 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).

**6. 2축 굽힘 강도**

Table 4는 2축 굽힘 강도 값을 나타낸 것으로, 30%의 7일과 10일 적용 시에 각각 46.16 MPa과 46.14 MPa로 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).

**7. 미소경도**

Table 5는 미소경도 값을 나타낸 것으로, 15%의 7일 적용 시까지는 Hv 200 이상으로 유의한 차이를 보이지 않았으나, 15%와 30%에서는 10일과 3, 7, 10일 적용 시에 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).

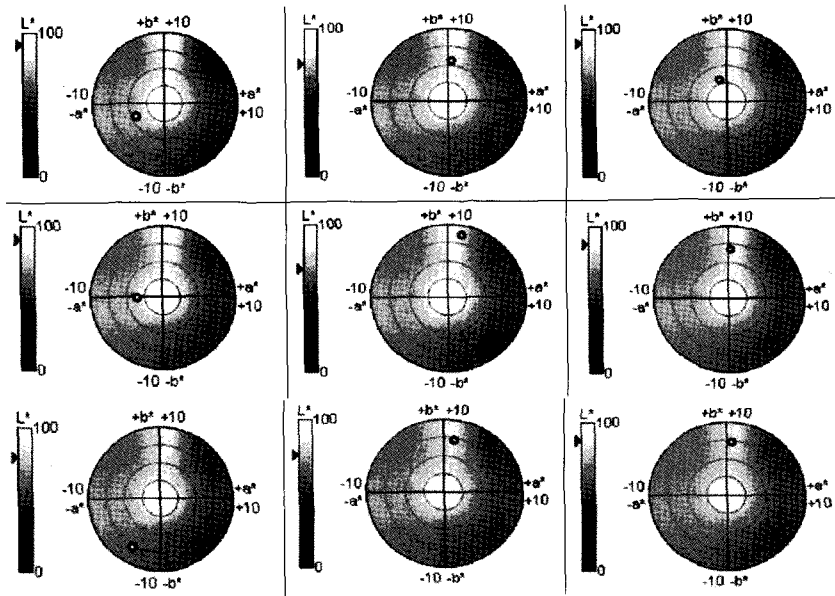


Fig. 5. Color changes after bleaching treatment with 7% hydrogen peroxide.

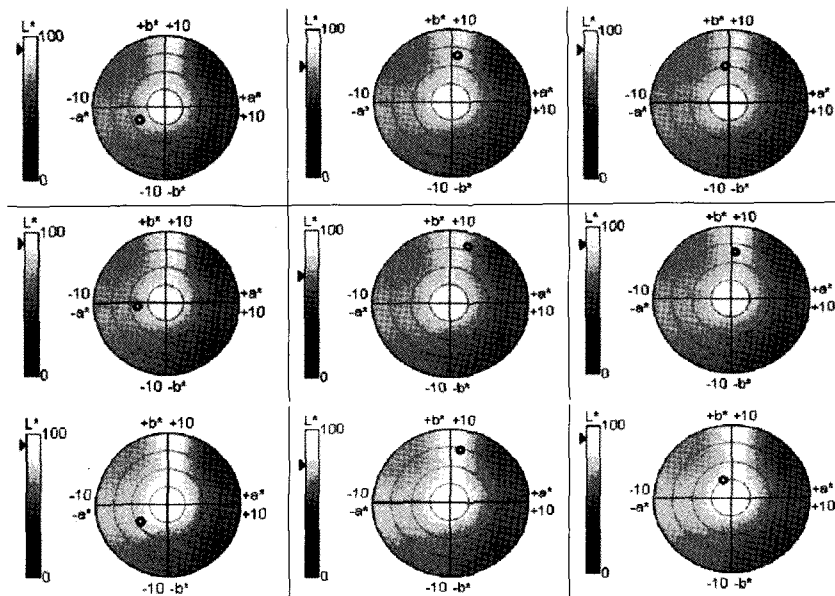


Fig. 6. Color changes after bleaching treatment with 15% hydrogen peroxide.

8. 주사전자현미경

Fig. 9는 3%와 30%의 적용농도와 시간에 따른 주사전자현

미경 사진으로서, 전 실험군의 표면에서 미세기공이 관찰되었으며 30%의 농도에서 10일 적용 시에 미세기공이 증가되었다.

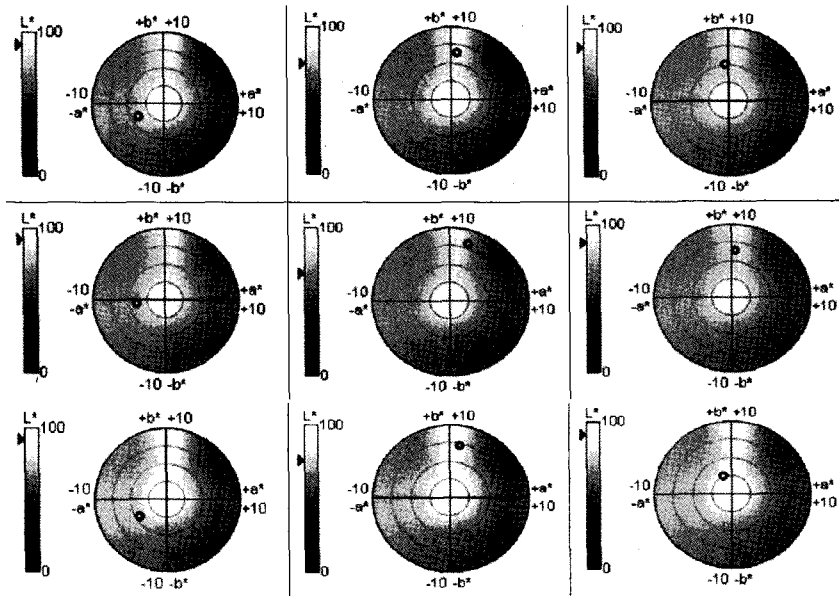


Fig. 7. Color changes after bleaching treatment with 30% hydrogen peroxide.

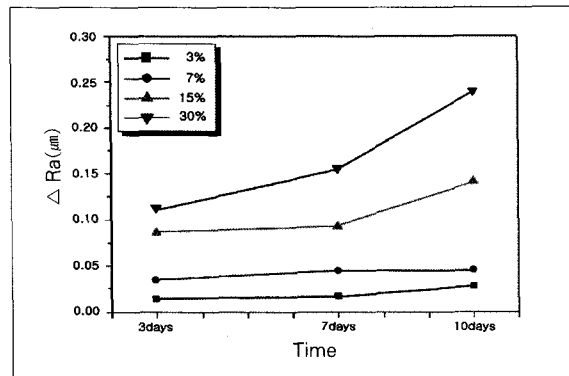


Fig. 8. Difference of surface roughness Ra before and after bleaching treatments.

Table 4. Biaxial flexural strength (MPa) after bleaching treatments

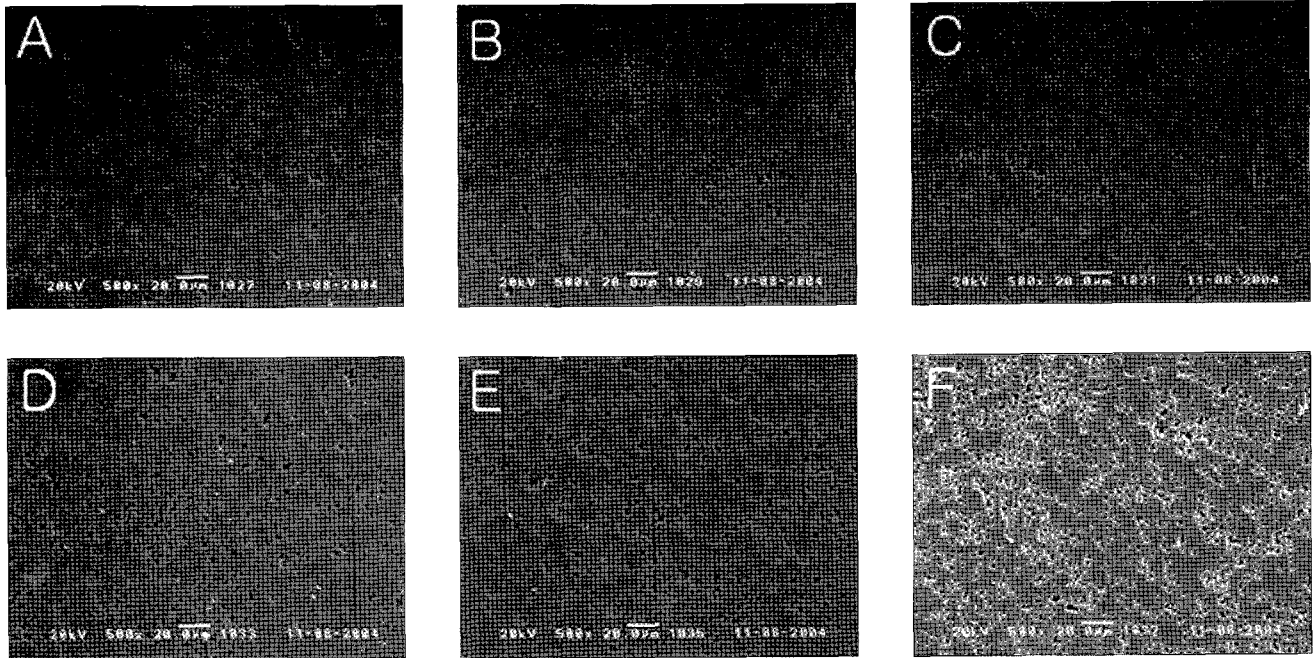
concentration	3%	7%	15%	30%
period				
3 days	64.83±5.52	61.29±4.91	60.01±7.30	56.76±6.48
7 days	62.87±6.09	62.45±3.49	59.95±3.03	46.16±6.27*
10 days	63.75±6.01	60.44±7.38	59.01±5.57	46.14±7.74*

\* Significantly difference(p<0.05)

**Table 5.** Vickers hardness number after bleaching treatments (Hv)

concentration	3%	7%	15%	30%
3 days	242.9±47.3	239.3±55.7	204.5±77.4	180.7±73.8*
7 days	242.7±62.7	220.2±64.8	202.7±60.9	177.5±60.1*
10 days	241.2±34.9	220.3±30.3	190.5±49.1*	150.9±55.2*

\* Significantly difference(p<0.05)



**Fig. 9.** SEM images according to the hydrogen peroxide concentrations and bleaching times. (A) 3%, 3 days, (B) 3%, 7 days, (C) 3%, 10 days, (D) 30%, 3 days, (E) 30%, 7 days and (F) 30%, 10 days.

#### IV. 총괄 및 고찰

지난 30여 년 동안 치과재료와 임상 술식의 발전으로 인해 치아우식 및 치주질환의 치료에 많은 진보가 이루어졌다. 아름다운 외모를 강조하는 대중매체와 사회풍조 및 생활수준의 향상으로 인해 치과치료의 목적은 기능적인 회복보다 심미적 회복에 대한 더 높은 요구에 직면하고 있다. 이와 같은 요구는 소아 및 성인 교정, 건강한 치아를 더 하얗고 밝게 만들고 싶어 하는 환자의 증가로 나타나고 있다. 치아를 밝고 하얗게 하는 미백술은 미국과 유럽의 선진국에서는 이미 성공적인 심미치료 영역으로 자리 잡아서 많은 환자들에게 도움을 주고 있다. 국내에서는 5~6년 전부터 치과의사와 환자 모두의 치아 미백술에 대한 관심이 증가하고 있다.

치아 법랑질은 96%의 무기성분과 약 4%의 유기질 및 수분으로 이루어져 있으며, 무기성분의 약 90%는 hydroxyapatite( $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ )의 결정이고 나머지는 극히 미량의 각종 금속산화물로 이루어져 있다. 치아의 최외층을 구성하는 법랑질에서 나타나는 변색의 외적 요인은 무색투명한 법랑질의 무기질 결정들 사이에 단백질이 포함된 유기질의 공간이 많이 생성되고 이들 공간에 색소를 함유하는 물질이 스며들어서 변색이 일어난다. 이러한 이유로 커피, 홍차, 녹차 및 초콜릿 등의 진한 색소를 함유하는 음식을 많이 섭취하게 되면 치아 표면에 있는 미세공간에 색소가 침착되어 치아의 변색이 일어나게 된다. 치아 변색의 원인 중 내적 요인은 수유시기에 어린이나 산모가 약물을 잘못 복용했거나 치아형성 시기에 치아의 변색을 유발할 수 있는 테트라사이클린과 같은 항생제의 복용으로



인해 약성분이 치아에 침착되어 일어난다. 이러한 내적 요인과 외적 요인 외에도 유전적 요인과 노화로 인해 치아의 변색이 일어날 수 있다<sup>20)</sup>.

치아가 표백되는 기전은 hydrogen peroxide에서 방출되는 반응성이 높은 자유 라디칼이 안정을 이루기 위하여 치질 속에 확산되면서 단백질과 같은 다른 유기 분자와 반응하여 공유결합을 파괴한다. 그 결과 밝은 색조를 나타내는 간단한 분자를 생성시킴으로써 미백이 일어난다. 따라서 모든 유기물과 반응하는 자유 라디칼은 법랑질 내의 유기질과 반응하여 미백효과를 나타내는 것이다<sup>21)</sup>. 현재의 연구는 거의 환자에게서 직접 발치한 치아를 대상으로 하거나 환자를 상대로 연구되고 있으며, 이러한 연구대상은 각각 개인의 색조나 치아의 물리적 성질 및 구조 등이 다르기 때문에 이 연구에서는 기초 자료를 얻기 위해서 법랑질의 주성분인 HA의 분말을 성형 소결하여 hydrogen peroxide의 농도와 적용시간의 변화에 따라 착색된 소결체의 미백 효과 및 물리적 성질 등에 관한 영향을 조사하고자 하였다. 또한, 시편에 *in vitro* pellicle 층을 형성하기 위해 채취하여 보관중인 자극성 타액에 37°C에서 12시간 동안 무균상태의 10 rpm의 속도로 회전되는 인큐베이터에 침적하였고, 착색액은 위 뮤신(gastric mucin)이 첨가된 Stookey's 방법<sup>16)</sup>을 적용하여 구강 내 환경을 고려하였다.

치아의 색상은 광학적 성질의 조합에 의해 결정되며, 치아에 빛을 비추면 빛과 치아 상호간에는 빛의 투과, 반사, 확산 및 치아 조직 등에 따라 색상이 달라진다<sup>1,22,23)</sup>. 일반적으로 색은 명도, 채도 및 색상으로 표현되고 명도는 단순히 밝음과 어두움을 나타내는 것이며, 색차는 명도 뿐 아니라 채도 등의 변화를 포괄적으로 종합한 결과로서 눈에 띄는 변화를 기록하는 수치이다. 3차원의 색좌표계는 L\*, a\* 및 b\*로 나타낼 수 있으며, L\*은 명도지수로 0(perfect black)부터 100(perfect reflecting diffuser)까지이며, 값이 증가할수록 명도가 증가한다. a\*와 b\*는 채도지수로 a\*는 80부터 -60까지이며, (+)a\*는 적색(red), (-)a\*는 녹색(green)을 나타내고, b\*는 -80에서 60까지로, (+)b\*는 황색(yellow)을 (-)b\*는 청색(blue)를 나타낸다. a\*와 b\*값이 증가할수록 채도가 높아져 색상이 선명하고, 작을수록 채도가 낮아져 색상이 흐리게 나타나며, a\*와 b\*의 좌표가 0이 될 때에는 무채색을 나타낸다. CIE L\*a\*b\* 표색계에서는 두 색조의 차이를 색공간좌표 상의 거리로 나타낸 색차 ΔE\*로 표시하며, Hunter의 색차식에 의해 수학적으로 계산된다. 미국표준국(National Bureau of Standard Unit : NBS)에서는 색차를 NBS 단위로 표시하고 있다. NBS 단위에서는 ΔE\*의 값이 0~0.5이면 색차가 미소(trace), 0.5~1.5는 근소(slight), 1.5~3.0은 눈에 뵈 정도(noticable), 3.0~6.0은 감지할 정도(appreciable), 6.0~12.0은 많은 차이(much), 12.0 이상이면 매우 큰 차이(very much)로 표시한다.

이 연구에서는 hydrogen peroxide의 농도와 적용시간이 증가함에 따라 착색제거율이 증가되어 밝아지는 경향을 보였고(p<0.05), 저농도 장시간이 고농도 단시간보다 더 밝게 나타났

다. 착색제거율은 전 실험군에서 80% 이상으로 나타났으며, 특히 30% hydrogen peroxide를 10일 동안 적용시 100%를 초과하는 제거율을 보여 착색전의 시편보다 밝은 색을 띠었다(Table 1, 2). 또한 최대 색상변화는 30% hydrogen peroxide에서 7일 동안 적용한 실험군(19.09)이 10일 동안 적용한 실험군(18.11)보다 색상변화가 더 크게 나타났다(Table 3). Sulieman 등<sup>24)</sup>은 발치한 제 3대구치의 *in vitro* 연구에서 hydrogen peroxide의 농도 증가에 따라 밝아지는 경향을 보였으나, 색상의 변화는 채도와도 관련이 있어 규칙적인 변화를 보이지 않는다고 하였다. 이 연구에서도 착색제거율이나 명도의 변화는 농도와 적용시간의 증가에 따라 증가하였으나, 색상의 변화는 규칙적으로 나타나지 않았다(Table 1~3).

치아 미백제가 치아의 표면조성 및 표면경도에 미치는 영향에 관한 연구로 Oltu와 Gurgan<sup>12)</sup>은 10%, 16% carbamide peroxide는 법랑질 구조를 변화시키지 않지만, 고농도인 35% carbamide peroxide는 법랑질의 구조를 변화시킨다고 하였다. 또한 McGuckin 등<sup>25)</sup>은 치아미백제가 법랑질 표면을 변화시킨다고 하였으며, 6% 이상의 고농도의 hydrogen peroxide는 치아의 법랑질과 상아질의 미세경도를 감소시키며<sup>13)</sup>, 상아세관을 통해 박테리아 투과성을 증가시킬 수 있다는 보고도 있다<sup>14)</sup>. 법랑질층과 상아질층을 CaCl<sub>2</sub> 완충용액에 2주간 침적시키면 경도의 감소를 보인 반면 HBSS에서는 유의한 차이를 보이지 않는다고 하였으며<sup>26)</sup>, 3.5%, 7.0% 및 12.0%의 hydrogen peroxide 농도에 따른 법랑질과 치수의 영향을 조사한 결과, 7시간 처리 후에 농도의 증가에 따라 치수강(pulp chamber)에 침투된 hydrogen peroxide는 증가하였지만, 법랑질의 형태학적인 변화와 미소경도는 영향을 받지 않는다고 하였다<sup>27)</sup>. 또한, 소의 치아에 30% hydrogen peroxide를 120시간 적용하여 원자현미경으로 분석한 결과, 치아의 형태학적인 면과 구조의 변화는 무시할 정도라고 하였으며<sup>28)</sup>, 치근을 제거한 제 3 대구치에 35% hydrogen peroxide 함유 미백제를 적용하여 협측과 설측에서의 표면의 조도를 측정된 결과, 시간이 경과함에 따라 표면의 조도가 증가된다고 하였다<sup>29)</sup>. 이 연구에서는 적용농도와 시간의 변화에 따라 나타나는 표면조도의 변화는 농도와 시간이 증가함에 따라 증가되는 양상을 보였다. 3%와 7%의 hydrogen peroxide 농도에서는 적용시간에 따라 유의한 차이는 없었으나(p>0.05), 15%와 30%의 hydrogen peroxide 농도에서는 적용시간에 따라 유의한 차이를 보였다(p<0.05). 2축 굽힘강도에서는 30%의 7일과 10일을 제외하고는 유의한 차이를 보이지 않았으며(p>0.05)(Table 4), 미소경도 값은 15%의 7일 동안 적용 시까지는 유의한 변화는 보이지 않았으나(p>0.05), 15%와 30%에서의 적용에서는 유의한 차이를 보였다(p<0.05)(Table 5). 이는 저농도인 3%와 7%에서는 물리적 성질의 변화를 보이지 않았지만, 고농도 적용 시에는 주의를 요하며, 환자의 치아 및 건강상태에 따라 적용농도와 시간을 적절하게 조절할 필요가 있음을 시사한다.

V. 결 론

법랑질의 주성분인 hydroxyapatite 분말을 성형하고 소결하여 착색을 유발한 다음 과산화수소의 농도와 적용 기간의 변화에 따라 나타나는 미세 조직과 기계적 성질의 변화 및 미백 효과 등에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 과산화수소의 농도와 적용시간이 증가함에 따라 미백 효과가 증가되었다.
2. 표면조도는 15% 과산화수소 10일, 30% 과산화수소 7, 10일 적용 시 유의한 차이로 증가하였다(p<0.05).
3. X-선 회절분석 결과 미백처리 전·후의 결정상의 변화는 관찰되지 않았으나, 주사전자현미경 관찰시 표면의 미세구조는 과산화수소 농도와 적용시간의 증가에 따라 미세기공이 증가하였다.
4. 2축 굽힘 강도는 30% 농도의 과산화수소로 7, 10일 적용하였을 때 유의한 차이로 감소되었다(p<0.05).
5. 미소경도 값은 15% 과산화수소 10일과 30% 과산화수소 3, 7, 10일 적용 후 유의한 차이로 감소되었다(p<0.05).

참고문헌

1. Andrew J : Tooth colour: a review of the literature. J Dent, 32:3-12, 2004.
2. Joiner A, Jones NM, Raven SJ : Investigation of factors influencing stain formation utilizing an in situ model. Adv Dental Res, 9:471-476, 1995.
3. Jahangiri L, Reinhardt SB, Mehra RV, et al. : Relationship between tooth shade value and skin color: an observation study. J Prosthet Dent, 87: 149-152, 2002.
4. Fasanaro TS : Bleaching teeth: history, chemicals, and methods used for common tooth discolorations. J Esthet Dent, 4(3):71-78, 1992 May-Jun.
5. Haywood VB : History, safety, and effectiveness of current bleaching techniques and applications of the nightguard vital bleaching technique. Quintessence Int, 23(7):471-488, 1992.
6. Haywood VB, Heymann HO : Nightguard vital bleaching. Quintessence Int, 20(3): 173-176, 1989.
7. Matis BA, Mousa HN, Cochran MA, et al. : Clinical evaluation of bleaching agents of different concentrations. Quintessence Int, 31(5):303-310, 2000.
8. Ho S, Goerig AC : An *in vitro* comparison of different bleaching agents in the discolored tooth. J Endod, 15(3):106-111, 1989.
9. Kihn PW, Barnes DM, Romberg E, et al. : A clinical evaluation of 10 percent vs. 15 percent carbamide

- peroxide tooth-whitening agents. J Am Dent Assoc, 131(10):1478-1484, 2000.
10. Jones AH, Diaz-Arnold AM, Vargas MA, et al. : Colorimetric assessment of laser and bleaching techniques. Esthet Dent, 11(2):87-94, 1999.
11. Leonard RH, Sharma A, Haywood VB : Use of different concentrations of carbamide peroxide for bleaching teeth: an *in vitro* study. Quintessence Int, 29(8):503-507, 1998.
12. Oltu U, Gurgan S : Effects of three concentrations of carbamide peroxide on the structure of enamel. J Oral Rehabil, 27(4):332-340, 2000.
13. Lewinstein I, Hirschfeld Z, Stabholz A, et al. : Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on the microhardness of human enamel and dentin. J Endod, 20(2):61-63, 1994.
14. Heling I, Parson A, Rotstein I : Effect of bleaching agents on dentin permeability to Streptococcus faecalis. J Endod, 21(11):540-542, 1995.
15. Rotstein I, Dogan H, Avron Y, et al. : Protective effect of Copalite surface coating on mercury release from dental amalgam following treatment with carbamide peroxide. Endod Dent Traumatol, 16(3): 107-110, 2000.
16. Stookey GK, Burkhard TA, Schemehorn BR : *In vitro* removal of stain with dentifrices. J Dent Res, 61(11):1236-1239, 1982.
17. Ban S, Hasegawa J, Anusavice KJ : Effect of loading conditions on bi-axial flexure strength of dental cements. Dent Mater, 8:100-104, 1992.
18. Marshall DB : An Improved Biaxial Flexure Test for Ceramics. Am Ceram Soc Bull, 59:551-553, 1980.
19. Shetty DK, Rosenfield AR, Duckworth WH, et al. : A bi-axial flexure test for evaluating ceramic strengths. J Am Ceram Soc, 66:36-42, 1983.
20. Nathoo SA : The chemistry and mechanisms of extrinsic and intrinsic discoloration. J Am Dent Assoc, 128:6S-10S, 1997.
21. Carlsson J : Salivary peroxidase: an important part of our defense against oxygen toxicity. J Oral Pathol, 16:412-416, 1987.
22. 김형태, 이상호 : 한국인 아동의 유치 치아색에 관한 연구. 대한소아치과학회지, 17:236-246, 1990.
23. 백병주, 오경선, 김재곤 등 : 유치의 치아색과 수복재의 색조선택에 관한 비교연구. 대한소아치과학회지, 29(3): 376-381, 2002.
24. Sulieman M, Addy M, MacDonald E, et al. : The ef-

- fect of hydrogen peroxide concentration on the outcome of tooth whitening; an *in vitro* study. J Dent, 32:295-299, 2004.
25. McGuckin RS, Babin JF, Meyer BJ : Alterations in human enamel surface morphology following vital bleaching. J Prosthet Dent, 68(5):754-760, 1992.
  26. Habelitz S, Marshall GW Jr, Balooch M, *et al.* : Nanoindentation and storage of teeth. J Biomechanics, 35:995-998, 2002.
  27. Pugh G Jr, Zaidel L, Lin N, *et al.* : High levels of hydrogen peroxide in overnight tooth-whitening formulas; effects on enamel and pulp. J Esthe Restor Dent, 17(1):40-47, 2005.
  28. Park HJ, Kwon TY, Nam SH, *et al.* : Changes in bovine enamel after treatment with a 30% hydrogen peroxide bleaching agent. Dent Mater J, 23(4):517-21, 2004 Dec.
  29. N. Hosoya, K. Honda, F. Lino, *et al.* : Change in enamel surface roughness and adhesion of streptococcus mutans to enamel after vital bleaching. J Dent, 31:543-548, 2003.

Abstract

EFFECT OF HYDROGEN PEROXIDE CONCENTRATION ON THE WHITENING AND PHYSICAL PROPERTIES OF HYDROXYAPATITE DISCS

Yeon-Mi Yang, Doo-Cheol Lee, Byeong-Ju Baik, Jae-Gon Kim, Jeong-Geun Shin

*Department of Pediatric Dentistry and Institute of Oral Bioscience,  
School of Dentistry, Chonbuk National University*

The purpose of this study was to evaluate the effect that various concentration and application time of hydrogen peroxide had on tooth whitening and physical properties. The hydroxyapatite (HA) discs of 12 mm ( $\Phi$ ) $\times$ 1.2 mm (t) in dimensions were made by compression (100 kg/cm<sup>2</sup>) and sintering (at 1350°C for 2 hours). All specimens were polished sequentially with #240 through #2000 emery paper and one side of each specimen was polished finally with 0.3  $\mu$ m alumina paste. The discs were placed in sterile whole stimulated saliva overnight at 37°C in order to form an *in vitro* pellicle layer. Then the discs were rinsed with distilled water and soaked into staining broth at 37°C for 7 days. These stained specimens were bleached with hydrogen peroxide according to the change of concentration (3~30%) and application time (3~10 days). The specimens were analyzed with a spectrophotometer, X-ray diffractometer (XRD), scanning electron microscope (SEM), surface roughness tester, microhardness tester and biaxial flexural strength.

The results of present study can be summarized as follows:

1. The bleaching effect was increased with the increased concentration and the extended application time of hydrogen peroxide.
2. The surface roughness was significantly increased from the specimen bleached with 15% hydrogen peroxide for 10 days and with 30% for 7 and 10 days respectively ( $p < 0.05$ ).
3. The changes of crystal phase observed by XRD between before and after bleaching weren't shown of any difference, but microporous structure of surface observed by SEM was shown of increase with the increased concentration and the extended application.
4. The biaxial flexural strength was significantly decreased from bleaching of specimen with 30% hydrogen peroxide for 7 and 10 days respectively ( $p < 0.05$ ).
5. Microhardness was significantly decreased from bleaching with 15% hydrogen peroxide for 10 days and with 30% for 3, 7 and 10 days respectively ( $p < 0.05$ ).

Although the tooth bleaching effect was greater when the high concentration was applied, further *in vivo* experiment will be needed to prove it's safety.

**Key words** : Hydroxyapatite discs, Hydrogen peroxide, Whitening