Journal of Dental Hygiene Science Vol. 9, No. 5 pp. 525~530 (2009)

한국치위생과학회
THE KOREAN SOCIETY OF DENTAL HYGIENE SCIENCE

Plasma Arc와 35% Carbamaide Peroxide의 미백효과와 법랑질 표면에 미치는 영향

구효진† · 송근배[1]
춘해보건대학 치위생과, [1]경북대학교 치의학전문대학원 예방치과학교실

The Bleaching Effect of Plasma Arc and 35% Carbamaide Peroxide and its Influence on the Enamel Surface

Hyo-Jin Gu† and Keun-Bae Song[1]
Dept. of Dental Hygiene, Choonhae college of Health sciences, Ulju-Gun, Ulsan 689-784, Korea
[1]Dept. of Preventive Dentistry, Kyungpook National University School of Dentistry, Jung-Gu, Daegu 700-412, Korea

Abstract The purpose of this study was to evaluate color change and enamel surface changes using the plasma arc light source during tooth bleaching treatments. Twenty-four extracted bovine incisors were selected and embedded in the resin blocks. All the specimens were highly polished and discolored with commercial COCK®. High concentration carbamide peroxide with and without plasma arc were used for bleaching. Specimens were bleached for 1 hour per week during 3 weeks. Color and enamel surface changes were determined with colorimeter (TC-8600A), microhardness tester(MXT-a7), scanning electron microscope(S-4200). All the collected data were analyzed with paired t-test, t-test and one-way ANOVA. After the bleaching, both groups showed the color changes(ΔE^*). Microhardness of two group decreased after tooth bleaching. The SEM evaluation of enamel surface of both group showed a similar morphology of decalcification after tooth bleaching. Office bleaching using the plasma arc application with 35% carbamide peroxide can increase the color change. Office bleaching using the high concentration of carbamide peroxide and plasma arc also detract the outer surface of enamel. It is recommended that careful procedures are needed during office bleaching with high concentration of carbamide peroxide and light source.

Key words Carbamide peroxide, Enamel surface change, Office bleaching, Plasma arc

서 론

과거에는 치아의 주기능인 저작기능에 따른 장애로 치과에 내원하였으나 최근에는 발음이나 심미기능을 문제로 내원하는 경우가 증가되고 있다. 특히 급격한 경제적 발전과 더불어 미적 아름다움에 대한 관심이 증가되면서 심미기능이 더욱 강조 되고 있다. 치아의 상실이나 형태 이상, 치열의 부조화와 같은 문제는 보철적 치료를 통해 심미성을 증가시킬 수 있으나[1], 단순한 치아의 색조 이상은 치아미백술을 통해 보철적 치료 없이 치아의 색조만을 개선하여 심미성을 증가시킬 수 있어 치아미백술에 대한 관심이 증가되고 있다.

치아미백술은 치아의 생활성 여부에 따라 생활치 미백술과 실활치 미백술로 나누며, 술자에 따라 자가미백술(home bleaching)과 전문가미백술(office bleaching)로 나눌 수 있다[1]. 자가미백술은 저농도의 미백제로 환자가 가정에서 1-2주간 스스로 시행하며, 전문가미백술은 비교적 고농도의 미백제를 이용하여 환자가 치과에 내원하여 1주일에 1회, 3주간 치료를 받는 것이 보편적이다. 전문가미백술에 사용되는 미백제는 고농도의 과산화수소(hydrogen peroxide)와 과산화요소(carbamide peroxide), 과붕산나트륨(sodium perborate) 등이 있으며[1], 전문가 미백제로는 30~35% 과산화수소나 35% 과산화 요소가 주로 사용된다[2].

고농도의 과산화수소는 과산화물(peroxide)이 분해되면서 생성된 반응성 높은 자유라디칼이 치아에 부착된 착색물이나 유기물을 제거하거나 변성시켜[3] 미백효과를 나타내지만 과산화수소 자체의 높은 산성으로 인해 여러 문제점들이 제기되고 있다[4].

과산화수소를 대체하여 많이 사용되는 미백제 과산화요

†Corresponding author
Tel: 052-270-0295
Fax: 052-270-0209
E-mail: jinown@ch.ac.kr

소는 Haywood와 Heymann[5]이 10% 과산화요소 용액을 이용한 자가미백술인 나이트가드 생활치 미백(nightguard vital bleaching)의 임상적 효과를 발표한 이후 현재까지 지속적으로 사용되고 있다. 이러한 과산화요소는 10% 일 때 수분과 접촉하여 6.65% 요소(urea)와 3.35%의 과산화수소로 분해되며, 궁극적으로는 산소, 물, 이산화탄소(carbon dioxide)로 분해된다[6]. 과산화요소에서 유리된 과산화수소가 분해되면서 생성된 불안정한 자유라디칼이 치아 내부에 침착된 착색물이나 유기물과 화학적으로 반응하여 화학구조를 변성시킴으로써 미백효과를 나타내게 된다[7].

과거에는 미백효과를 증가시키기 위해 미백제에 열원을 조사하기도 하였으나, 열에 의한 치아와 주위 조직의 위해성이 발생할 수 있어 요즈음은 광원을 많이 사용하고 있다. 광원에 의해 활성화되는 미백제를 사용함으로써 광원에 의해 발생되는 대부분의 에너지는 치아가 아닌 미백제가 흡수하여 치아의 온도변화를 조절하여 위해성이 감소된다[8]. 또한 미백제에 광원을 함께 조사함으로써 미백제의 온도를 상승시키고, 미백제 내의 약리작용을 가속화하여 자유라디칼의 발생을 촉진함으로써 미백에 필요한 진료시간은 단축시키고 미백효과는 증가시킬 수 있어[9], 광활성 전문가미백술의 사용이 증가되고 있다. 이러한 광활성 미백술에 사용되는 광원으로는 할로겐(halogen curing light), 플라즈마 아크(plasma arc), 발광다이오드(light-emitting diode, LED) 등이 있다[10]. Nakamura 등[11]은 플라즈마 아크를 사용하여 치아의 미백을 증가시키는데 효과가 있다고 보고하였으나 광원에서 발생하는 열에 의한 법랑질 표면 및 미세경도의 변화에 대한 문제가 제기되고 있다[12].

이 연구의 목적은 최근 치과임상에서 사용이 증가되고 있는 플라즈마 아크와 전문가 미백술에 사용되는 고농도의 과산화요소를 도포하여 미백 처리 후 플라즈마 아크가 법랑질의 색조변화량(ΔE^*)에 미치는 효과와 광원의 적용에 의해 나타날 수 있는 문제점인 법랑질 표면의 변화를 알아보기 위해 비커스경도와 주사전자현미경을 이용하여 플라즈마 아크가 법랑질 표면에 어떤 영향을 미치는지 알아보고자 *in vitro* 평가를 시행하였다.

연구재료 및 방법

1. 시편제작 및 전처리

시편은 대조군과 실험군 각각 12개씩 24개의 우전치를 백악법랑경계부 하방 5 mm에서 절단 후 발수하여 세척하고 실험전까지 0.1% 티몰용액(Sigma, USA)에 넣어 냉장보관하였다. 우치를 아크릴릭 레진으로 매몰한 뒤 자동연마기(Labopol-1, Struers, Denmark)로 600번, 800번, 1000번, 1500번 2,000번 순으로 연마하고 다시 3, 2, 1 μm 다이아몬드 페이스트로 연마하였다. 법랑질은 상아질이 노출되지 않는 범위에서 6 mm 이상이 되도록 평활하게 연마 하였다. 최종 연마된 모든 시편은 3차 증류수로 5분간 3회 초음파 세척 후 2시간 동안 교반하여 탄산가스가 제거된 37℃ 콜라에서 24시간 동안 착색시켰으며, 3차 증류수로 최종 세척하였다.

2. 미백

대조군은 35% 과산화요소(Oratech™, Oratech Inc., USA)를 2 mm 두께로 단독 도포하여 20분간 적용하고, 실험군은 미백제 도포 후 플라즈마 아크를 20분간 조사하였다. 광원 조사 시간을 포함하여 20분간 적용 하고, 미백제를 거즈로 제거하고, 물-공기 사출기로 15초간 세척 후 건조하였으며, 재도포 과정을 두 번 더 반복하여 총 60분간 도포 하는 것을 1회로 하였다. 이런 방식으로 1주일에 1회씩 3주간 시행하고, 미백을 시행하지 않은 시간에는 시편이 잠기도록 하여 3차 증류수에 보관하였다.

3. 광원

플라즈마 아크(Reme-dent™, Remedent Inc., Belgiu)는 410-500 nm 파장으로, 300 W의 출력과 푸른 빛을 가지며, 주파수는 50~60 Hz 로 하였다. 핸드피스의 크기는 지름 51 mm, 폭 17 mm이고, 광원 조사 시 치아와의 거리는 10 mm 이하를 유지하였다. 플라즈마 아크의 조사 시간은 1회에 20분으로 90초의 조사기와 30초의 휴식기를 가진다.

4. 색조 변화 측정

미백에 의한 색조변화량을 측정하기 위해 색조색차계(Colorimeter; TC-8600A, Nippon Denshoku, Japan)를 사용하여, 착색 후 그리고 1회 미백과정이 끝날 때 마다 측정하였다. 색 측정 전 색차계의 감지부에 흡광통을 밀착시켜 영점 조정을 하고, 표준 백색판과 흑색판으로 L*, a*, b*의 표시치에 대해 표준조정을 시행하였으며, 각 시편 당 3회씩 반복 측정하였다.

색조변화량(ΔE^*)은 국제조명위원회에서 규정한 CIE L*a*b* 측정체계를 사용하여 분석하였다. L*값은 물체에 대한 밝기를 나타내는 명도지수로 0(검정)에서 100(백색)까지의 범위로 나타내고, a*와 b*값은 물체에 대한 채도지수로서, a*는 적색/녹색 값을, b*는 황색/청색 값을 나타낸다. a*와 b*값은 0에 근접 할수록 흰색에 유사하며, 색조변화량(ΔE^*)은 아래의 식에 의해 계산되었다.

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

5. 비커스경도 측정(VHN)

시편 착색 전, 미백처리 후 각각 디지털 경도 측정기(Digital Microhardness Tester; MXT-α7, Matsuzawa Co., Japan)를 이용하여 법랑질 표면의 비커스경도(Vickers

Hardness Number)를 측정하였다. 현미경의 100 배율 하에서 측정할 부위를 선택하고, 10초간 200 g의 하중을 가하여 압흔을 만든 후 400 배율로 측정하였으며, 한 시편당 3회씩 측정하여 평균을 구하였다.

6. 주사전자현미경 관찰

건조된 시편을 진공상태에서 금이온증착장치(IB-3, Eiko Co., Japan)를 이용하여 180~200Å 두께로 백금 코팅하고, 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope; S-4200, Hitachi Co., Japan)을 이용하여 10,000 배율로 표면 변화를 관찰하였다.

7. 통계 분석

수합된 모든 자료는 SPSS 12.0을 이용하여 각각의 그룹에 대한 미백횟수의 증가에 따른 색조변화량의 차이와 그룹간의 비교는 One-Way ANOVA를 이용하여 검정하고, 미백 전·후 대한 미세경도 값의 차이는 쌍체비교(paired t-test)를 사용하였으며, 미백 전·후 그룹간 비교는 t-test를 사용하여 검정하였다.

결 과

1. 색조변화 분석

미백처리 전·후 색조변화에 대하여 분석한 결과, 대조군과 실험군에서 미백 후 많은 색조변화량(⊿E*)을 나타내었다. 각각의 군에서 미백 횟수의 증가에 따른 색조변화량(⊿E*)은 통계적으로 유의한 증가가 나타나지 않았으나($p > 0.05$), 대조군과 실험군 간의 색조변화량(⊿E*)에 대한 비교에서는 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다($p < 0.05$)(Table 1). 횟수

2. 표면경도 분석(VHN)

미백 전·후에 대한 비커스경도 값의 변화는 광활성 미백 여부와 관계없이 두 군에서 모두 통계적으로 유의한

Table 1. Color change (*E*) of specimen by frequency

Bleaching Agent	Color changes			p-Value
	1st bleaching	2nd bleaching	3rd bleaching	
Control	35.93±3.62	38.37±3.38	38.94±3.27	0.122
Plasma arc	39.14±3.06	39.26±3.09	40.04±3.26	
p-Value		0.021		

Values were mean±S.D.
p-values were determined by one-way ANOVA

Table 2. Microhardness(VHN) change of specimen

Bleaching Agent	Microhardness(VHN)		Difference	p-Value[1]
	Before	After		
Control	221.96±15.20	132.46±37.24	89.5	0.0001
Plasma arc	244.88±25.02	152.24±19.53	92.63	0.0001
p-Value[2]	0.228	0.023		

Values were mean ± S.D.
[1]p-value were determined by paired t-test
[2]p-value were determined by t-test

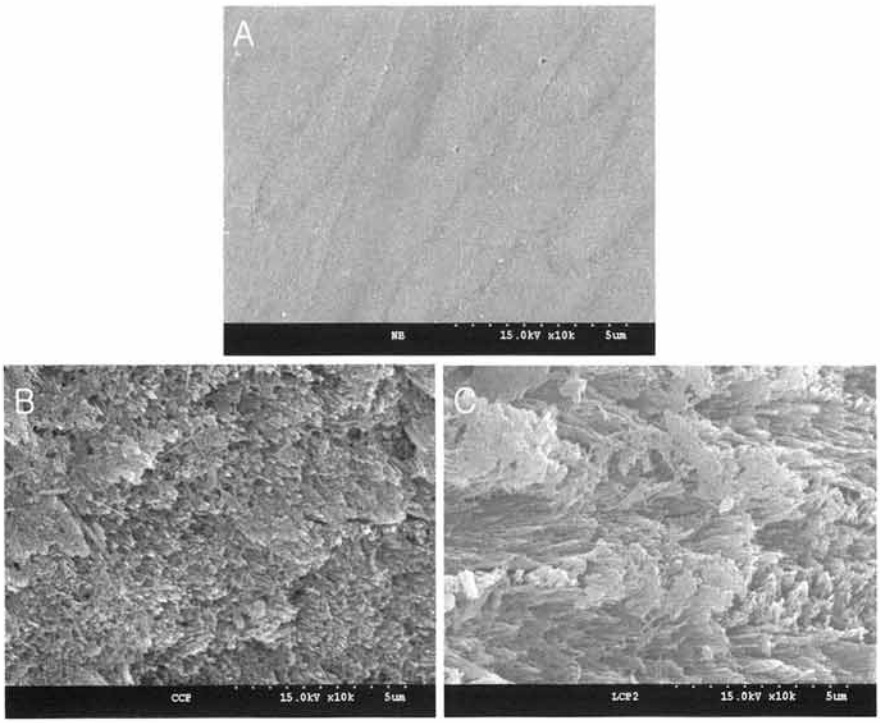

Fig. 1. Morphology of enamel surface after bleaching with 35% cabamide peroxide; A: non bleached, B: 35% cabamide peroxide+no light, C: 35% cabamide peroxide+Plasma arc (×10,000).

감소를 나타내었다($p<0.01$). 미백 전 그룹간의 비교에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으나($p>0.05$), 미백 후 그룹간의 비교에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내었는데($p<0.05$), 미백 시 플라즈마 아크의 조사를 시행함으로써 더 많은 미세경도의 변화가 유발될 수 있음을 확인할 수 있었다(Table 2).

3. 주사전자현미경 관찰

법랑질 표면의 주사전자현미경 관찰 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 A는 미백처리하지 않은 법랑질 표면이고, B는 35% 과산화요소로 미백 처리한 표면, C는 미백제와 함께 플라즈마 아크를 조사한 표면을 보여주고 있다. 그림은 광원의 적용 여부와 관계없이 대조군과 실험군 모두 법랑질 표면의 탈회 현상이 관찰되었으며, 이는 고농도 미백제가 법랑질 내 칼슘, 인산 등의 감소를 유발하여 표면이 탈회됨으로써 표면변화가 일어난 것으로 사료된다.

고 안

경제적 발전과 경제활동 인구의 증가로 미적 아름다움에 대한 관심이 증가되고 있다. 미적 아름다움은 사회생활을 하는데 있어 좋은 이미지를 심어줄 수 있는 요인으로 타인과의 관계를 원활하게 유지 시켜 준다. 치의학 분야에서 심미성에 영향을 미치는 요인으로는 입술의 형태나 색조, 안면의 형태, 골격과 같은 치아 외 요인과 치아의 상실, 크기이상, 형태이상, 치열의 부조화, 질병상태, 색조 이상과 같은 치아 요인이 있다.

치아 요인은 일반적으로 심미 보철적 치료 술식을 통해 심미성을 증가시킬 수 있다. 치아의 색조 이상을 원인으로 환자가 내원하는 경우 색조의 개선을 위해 시행되어지는 심미 보철적 치료 술식으로는 비니어, all-ceramic crwon 등이 있으나, 자연치질의 삭제를 필요로하기 때문에 치아의 외형 및 치질 자체의 결함 없이 단순히 치아 색조의 개선만을 원하는 환자들에게는 추천되지 않는다. 이렇듯 치아의 외형 및 치질 자체의 결함 없이 단순히 치아 색조의 개선만을 원하는 경우 치질의 삭제가 불필요한 보존적 치료 술식인 치아 미백술이 권장되고 있다. 이러한 치아 미백술은 약제의 효과와 안정성에 대한 논란이 지속되고 있으나 최근 그 사용이 더욱 증가되고 있다.

치아 색조의 개선정도를 확인하는 색조변화량에 대한 평가 방법에는 표준 쉐이드 가이드 측정과 같은 주관적이고 시각적인 검사 방법과 기계를 이용하여 측정하는 객관적 검사 방법이 있다. 시각적 검사 방법인 쉐이드 가이드 측정법은 빛의 조건, 검사자의 경험이나 나이 및 눈의 피로도와 같은 조건에 따라 달라질 수 있다[13]는 제한점을 가지고 있다. 기계적인 검사 방법으로는 분광광도(spectrophtometry) 분석법, 색조색차계(colorimeter) 분석법, 색조 분석기기(shadescan) 분석법 등이 있다. 분광측정 분석법은 생활치나 실활치의 반사율이나 투과율에 따른 스펙트럼을 측정하는 방법[14]으로 넓은 범위를 측정할 수 있으나, 측정 위치를 잡기가 어렵고 치관의 크기가 넓어야 되며, 시편의 만곡에 민감하기 때문에 수평을 이루어야 된다는 단점[15,16]을 가진다. 색조색차계 분석법은 반복 측정 시 치아를 정위치 시키기 어렵고, 시편의 만곡에 민감하기 때문에 정확한 색상 평가를 위해 수평을 이루어야 하며[17], 색차계의 감지부가 넓어 치질의 삭제가 많기 때문에 임상적 적용이 어렵다는 단점이 있었으나 최근 색조색차계를 이용한 분석법의 발달로 색차계의 감지부가 좁아지고 휴대가 간편해져 이전의 단점들을 보완하였으며, Goodson 등[18]은 시각적 검사법과 비교 시 높은 상관성을 나타냄으로써 객관적인 결과를 얻을 수 있는 방법이라고 보고하였다. 본 연구는 *in vitro* 실험으로 색조색차계를 이용하여 색조변화를 분석하였으며, 색조 변화량(ΔE^*)은 국제조명위원회에서 규정한 CIE L*a*b* 측정체계를 사용하여 계산하였다. 그 결과 대조군과 실험군 모두 미백 횟수의 증가에 따라 미백 효과가 증가되는 양상을 나타내었고, 플라즈마 아크를 사용한 실험군에서 더 높은 색조변화량(ΔE^*)을 나타내었다. 플라즈마 아크를 이용한 광활성 미백은 미백제를 도포하고 그 위에 광원을 조사함으로써 미백제의 온도를 상승시켜 색조변화량이 증가된 것으로, Tavares 등[19]은 미백제에 플라즈마 아크를 적용한 경우 적용하지 않은 군에 비해 높은 미백효과를 나타내었다고 보고한 것과 같은 양상을 나타내었다.

미백제의 온도가 10°C 상승하면 분해속도가 2배로 증가하여 짧은 시간에 높은 색조변화량을 보이고[20], 미백제의 온도 상승은 빛의 흡수도에 영향을 받으며, 빛의 흡수도는 미백제에 사용되는 베타카로틴과 같은 감광성 염색제[17]와 광개시제인 벤조인 디메칠 에테르[21]에 의해 영향을 받는다. 플라즈마 아크는 비교적 넓은 파장 범위인 375~500 nm로 높은 에너지를 생성함으로써 빛 흡수율이 증가되고 열로 전환되는 에너지가 증가되어 더 높은 미백효과를 나타내게 된다[22].

이 연구에 사용된 미백제는 35% 과산화요소로 미백과정에서 형성되는 법랑질 표면의 기공이나 crater 등과 법랑질 표면의 마모 저항성 감소[21]로 인해 발생할 수 있는 문제 또한 간과할 수 없다. Oltu와 Gurgan[23]은 10%와 16% 과산화요소는 법랑질 구조에 영향을 미치지 않으나 35% 과산화요소는 법랑질 구조에 영향을 미친다고 보고하였으며, Cavalli 등[24]도 35% 과산화요소에서 법랑질 표면이 거칠어진다고 보고하였다. 본 연구 결과에서도 미세경도 측정 결과 광활성 여부와 관계없이 미백 처리 후 큰 표면변화를 나타내었고, 플라즈마 아크를 조사한 실험군이 광원을 조사하지 않은 대조군에 비해 더 많은 미세경도의 변화를 나타내었다. 주사전자현미경을 이용한 표면 관찰에서도 미백 처리를 하지 않은 법랑질의 표면에 비해

미백 처리를 한 법랑질 표면에서 더 많은 탈회 현상이 관찰 되었다. 이러한 연구 결과를 미루어 볼 때 미백을 시행함으로써 법랑질의 표면변화에 유의한 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료 되었다.

이 연구의 제한점으로는 첫 번째 각각의 미백과정 중 실험에 사용된 시료를 증류수에 보관한 것으로 구강환경에서는 타액이 존재하고 구강내 타액에 의해 재광화가 촉진되고 표면의 다공성이 회복되어 표면변화가 완화될 수 있으므로 *in vivo* 실험에서는 법랑질의 표면변화가 덜 할 것으로 사료된다. 두 번째 시료의 변색을 위해 시판되는 콜라를 사용한 것으로 실제 구강내에서 발생 가능한 내·외인성 착색을 재현하지 못하여 실제적인 미백효과와 상이한 미백효과를 나타낼 수 있을 것으로 보인다. 세 번째 미백제의 적용시간으로 과산화요소는 과산화수소(hydrogen peroxide)와 요소(urea)로 유리되기 때문에 미백 젤 내에서 활성물질이 10시간 이상 작용하는데[25], 이 연구에서는 20분간 도포하고 제거 후 재도포 하였기 때문에 장시간 동안 미백제를 활성화 시킨 경우에 비해 다소 낮은 미백효과를 나타낼 수 있을 것이다.

따라서 추후 연구에서는 구강환경을 재현할 수 있는 방법과 구강내 발생 가능한 내·외인성 착색을 재현할 수 있는 방법 및 전문가미백술에서 적절한 과산화요소 미백제의 도포시간을 연구해 볼 필요가 있을 것으로 사료된다.

요 약

이 연구는 35% 과산화요소를 이용한 전문가 치아미백술에 플라즈마 아크를 함께 적용하여 플라즈마 아크가 법랑질의 색조변화에 미치는 효과와 비커스경도와 주사전자현미경을 이용하여 법랑질 표면에 미치는 영향을 알아보고자 *in vitro* 평가를 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미백 횟수의 증가에 따라 색조변화량(ΔE^*)이 통계적으로 유의한 증가를 나타내었으며, 미백 제만 단독으로 적용한 대조군 보다 플라즈마 아크를 함께 적용하여 미백처리를 한 실험군 의 색조변화량(ΔE^*)이 더 높게 나타나는 것을 알 수 있었다.
2. 미백처리 전·후 법랑질의 미세경도 측정 값을 분석한 결과 미백 처치를 함으로써 미세경도 값이 통계적으로 유의하게 감소되었고, 미백제에 플라즈마 아크를 함께 적용한 실험군에서 더 큰 미세경도의 감소가 나타나는 것을 알 수 있었다.
3. 주사전자현미경 관찰에서 미백 처치를 한 시료에서 법랑질 표면이 상당히 거칠어진 양상을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 전문가 치아미백술에서 플라즈마 아크를 함께 적용함으로써 색조변화를 더욱 상승시킬 수 있으나, 법랑질 표면의 미세경도와 형태변화를 증가시킬 수 있으므로 미백 효과는 증가시키면서 법랑질의 형태와 구조는 변화시키지 않는 안전한 미백 방법에 관한 연구가 이루어 져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Kwon SR, Ko SH: Color atlas of tooth whitening. Daehannarae Publishing Inc., Seoul, pp.68-116,144, 2006.
2. Lee HJ et al.: 35% Hydrogen peroxide gel in the whitening effect and enamel changes. J Dent Hyg Sci 8(4):255-260, 2008.
3. Moraes RR et al.: Carbamide peroxide bleaching agents: effects on surface roughness of enamel, composite and porcelain. Clin Oral Investig 10(1):23-28, 2006.
4. McGuckin RS, Babin JF, Meyer BJ: Alterations in human enamel surface morphology following vital bleaching. J Prosthet Dent 68(5):754-760, 1992.
5. Haywood VB, Heymann HO: Nightguard vital bleaching. Quintessence Int 20(3):173-17, 1989
6. Fasanaro TS: Bleaching teeth: history, chemicals and methods used for common tooth discolorations. J Esthet Dent 4(3):71-78, 1992.
7. Zantner C et al.: Surface microhardness of enamel after different home bleaching procedures. Dent Mater 23(2):243-250, 2007.
8. Carrasco LD et al.: Efficacy of intracoronal bleaching techniques with different light activation sources. Int Endod J 40(3):204-208, 2007
9. Weinberg SP Reingold AL: Heated bleaching: a safe and rewarding method. Dent Today 16(4):58,60,62-65, 1997.
10. Dostalova T et al.: Diode laser activated bleaching. Braz Dent J 15(suppl):3-8, 2004.
11. Nakamura T et al.: The effects of polishing and bleaching on the colour of discoloured teeth in vivo. J Oral Rehab 28(11):1080-1084, 2001.
12. Gu HJ ea al: Effect of fluorde application after tooth bleaching the diode laser. J Korean Acad Dent Health 32(2):160-169, 2008.
13. Watts A, Addy M: Tooth discolouration and staining: a review of the literature. Br Dent J 190(6):309-316, 2001.
14. Paul S et al.: Visual and spectrophotometric shade analysis of human teeth. J Dent Res 81(8):578-582, 2002.
15. Adeyemi AA et al.: Comparison of quantitative light induced fluorescence(QLF) and digital imaging applied for the detection and quantification of staining and stain removal on teeth. J Dent 34(7):460-466, 2006.
16. Bentley C et al.: Quantification of vital bleaching by computer analysis of photographic images. J Am Dent Assoc 130(6):809-816, 1999.
17. Luk K, Tam L, Hubert M: Effect of light energy on peroxide tooth bleaching. J Am Dent Assoc 135(2):194-201, 2004.
18. Goodson JM et al.: Tooth whitening: tooth color changes following treatment by peroxide and light. J Clin Dent 16(3):78-82, 2005.
19. Tavares M et al.: Light augments tooth whitening with peroxide. J Am Dent Assoc 134(2):167-175, 2003.
20. Zach L, Cohen G: Pulp response to externally applied heat. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 19(4):515-530, 1965.
21. Bitter NC, Sanders JL: The effect of four bleaching agents on enamel surfaces: a scanning electron microscopy study.

· Quintessence Int 24(11):817-824, 1993.
22. Baik JW, Rueggeberg FA, Liewehr FR: Effect of light-enhanced bleaching on in vitro surface and intrapulpal temperature rise. J Esthet Restor Dent 13(6):370-378, 2001.
23. Oltu U, Gurgan S: Effects of three concentrations of carbamide peroxide on structure of enamel. J Oral Rehabil 27(4):332-340, 2000.
24. Cavalli V et al.: High concentrated carbamide peroxide bleaching agents effects on enamel surface. J Oral Rehabil 31(2):155-159, 2004.
25. Turkun M et al.: Effects of 10% carbamide peroxide on the enamel surface morphology: a scanning electron microscopy study. J Esthet Restor Dent 14(4):238-244, 2002.

(Received November 6, 2009; Revised December 9, 2009; Accepted December 15, 2009)