

pH 5.5에서 유기산 완충용액의 포화도 변화에 따른 법랑질의 재광화 양상

박진성 · 박성호 · 박정원 · 이찬영*

연세대학교 치과대학 치과보존학교실

ABSTRACT

THE REMINERALIZATION ASPECT OF ENAMEL ACCORDING TO CHANGE OF THE DEGREE OF SATURATION OF THE ORGANIC ACID BUFFERING SOLUTION IN pH 5.5

Jin-Sung Park, Sung-Ho Park, Jeong-Won Park, Chan-Young Lee*

Department of Dentistry, the Graduate School, Yonsei University, Seoul, Korea

The purpose of this study is to observe and compare the remineralization tendencies of artificial enamel caries lesion by remineralization solutions of different degree of saturations at pH 5.5, using a polarizing microscope and computer programs (Photoshop, Image pro plus, Scion Image, Excel).

For this study, 48 sound permanent teeth with no signs of demineralization, cracks, or dental restorations were used. The specimens were immersed in lactic acid demineralization solution for 2 days in order to produce artificial dental caries that consist of surface and subsurface lesions. Each of 9 or 10 specimens was immersed in pH 5.5 lactic acid buffering remineralization solution of four different degrees of saturation (0.507, 0.394, 0.301, and 0.251) for 12 days. After the demineralization and remineralization, images were taken by a polarizing microscope ($\times 100$). The results were obtained by observing images of the specimens, and using computer programs, the density of caries lesions were estimated.

While the group with the lowest degree of saturation (0.251) showed total remineralization feature from the surface to the subsurface of the lesion, the group with the highest degree of saturation (0.507) showed demineralization mainly on the surface of the lesion at the constant organic acid concentration 0.01 M and pH 5.5. [J Kor Acad Cons Dent 35(2):96-105, 2010]

Key words: Demineralization, Remineralization, pH, Degree of saturation, Artificial cares, Enamel

-Received 2009.12.28., revised 2010.1.17., accepted 2010.3.11.-

I. 서 론

치아 우식증은 구강 경조직 질환 중 가장 높은 발병률을 보이는 질환으로 치주질환과 더불어 치아의 발거를 요하는 중요한 원인 인자로 작용하고 있다. 치아 우식은 치면 위의 치태 내에 존재하는 세균, 음식물과 타액의 상호 작용으로

산이 생성되어 치질의 파괴가 일어나는 과정이다.¹⁻³⁾

초기 법랑질 우식이 재광화가 가능하다는 것이 여러 학자들에 의해서 밝혀 졌는데 Ten Cate 등⁴⁾은 우식 병소의 재광화 기전에 대해 수산화 인회석의 침착에 의한 것이라고 하면서 이런 현상이 초기에 표층 근처에서 시작되어 점차 내면으로 진행하여 결국 암층까지 진행된다고 설명하였으며 재광화 기전에 영향을 주는 다양한 요소들이 있다고 하였다.

치아 우식의 건전 표층의 기전에 대해서는 각각의 다른 해석이 존재한다. Brudevold 등⁵⁾은 표층 법랑질 자체의 화학적 특성 때문에 우식에 저항성을 가진다고 하였다. 즉 법랑질의 표면은 내부 법랑질에 비해 불소의 농도, mineral과

*Corresponding Author: Chan-Young Lee

Department of Conservative Dentistry

College of Dentistry, Yonsei University

134 Shinchon-dong, Seodaemun-ku, Seoul, 120-752, Korea

Tel: 82-2-2228-8700 Fax: 82-2-313-7575

E-mail: chanyoungl@yuhs.ac

아연의 함량이 높고 탄소가 적어서 표면층이 보다 더 우식 저항성을 보인다고 하였다. Christoffersen과 Arends⁶⁾는 구강 내에 기인된 억제인자(불소, 인)가 우식 진행 동안 법랑질로 확산되어 표면의 용해를 막는다고 하였다. 또 다른 가설로 Moreno 등⁷⁾은 우식 표면층의 형성을 법랑질 표면의 구조는 변하지 않는 안정된 구조가 아니라 하부에서 유리되는 칼슘, 인 등이 재 침착 되면서 유지 된다는 precipitation-dissolution model을 제시하였고, Featherstone 등⁸⁾은 처음에는 법랑질 표면에 획득피막 같은 protective agent가 흡착되고, 이후 precipitation-dissolution reaction이 생겨 건전 표층이 발생한다고 하였다.

재광화에 영향을 주는 다양한 요소 중 불소의 역할에 대한 논란이 계속 되고 있다. 불소 첨가 시 fluoroapatite의 형성으로 유기산에 대한 용해 저항성이 증가한다고 여겨지나 그 양에 대해서는 논란이 많다. Ten cate 등⁹⁾은 1 ppm 불소 첨가시 불소가 없는 경우 보다 2배 이상 재광화가 일어났다고 보고하였다. Varughese 등¹⁰⁾은 0.1-2 ppm 불소 첨가시 fluoroapatite 결정 성장이 촉진된다고 보고하였고 Ten Gate 등¹¹⁾은 1 ppm 불소 사용시 효과가 있음을 보고하였다. 한 등¹²⁾도 불소 농도를 달리한 재광화 실험에서 2 ppm 일 때 1이나 4 ppm 일 때보다 뚜렷한 재광화 양상을 보였다고 보고 하였다. 하지만 Lammers 등¹³⁾은 2 ppm의 불소 첨가시 fluoroapatite의 표면 침착에 의해 무기질의 심부 이동이 차단되어 불소가 없는 경우보다 재광화가 억제됨을 보고하였으며 Amjad와 Nacollas¹⁴⁾는 0.1-1 ppm 불소에서는 재광화가 방해 된다고 보고 하였다.

또한 박 등¹⁵⁾은 재광화 용액의 포화도를 달리하여 재광화 양상을 비교한 실험에서 포화도가 높을수록 재광화 양이 증가함을 보고 하였다. 광 등¹⁶⁾은 불소를 포함하고 pH 5.5 인 상태에서 포화도를 달리하여 재광화 양상을 비교한 실험에서 포화도가 낮은 군에서는 우식 표면층에서 우식 심부까지 전반적으로 재광화가 일어난 반면 포화도가 높아질수록 우식 표면층은 증가하였으나 심부는 큰 변화가 보이지 않음을 보고하였다.

이에 본 연구에서는 유기산 0.01 M, pH 5.5로 고정한 상태에서 유기산 완충용액의 포화도를 달리하여(0.507, 0.394, 0.301, 0.251) 재광화 양상을 관찰하고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 시편 제작

우식과 수복물이 없고 탈회되지 않은 발거한 지 1달 이내의 소구치를 선택하여 치면에 부착된 연조직과 치석을 치주 큐렛으로 제거하고 불소가 포함되지 않은 연마제로 치면을 연마한 다음 초음파 세척기로 10분간 세정하고 증류수로

세척, 건조하였다. 10 ml 시린지를 이용하여 만든 높이 1 cm, 직경 1 cm의 tube에 치과용 아크릴 레진을 이용하여 치관 부위는 노출시키고 치근 부위만 매몰하였다. 아크릴 레진이 경화된 후 저속 diamond wheel saw (Minitom, Struers, Denmark)를 이용하여 치아 장축에 평행하게 협설측으로 0.2-0.3 mm의 절편을 만든 다음 #800 사포를 이용하여 0.15 mm 두께로 연마하였다. 치아시편을 연마한 후 초음파 세척기로 10분간 세정한 뒤 윗면과 아랫면을 bonding agent (Scotchbond Multi-Purpose, 3M/ESPE, St Paul, MN, U.S.A)로 질소가스 하에 광중합하고, 협설면 쪽의 손상이나 균열이 없는 부위 중 약 1-2 mm 정도의 window를 제외하고 시편의 옆면에 nail varnish를 도포하였다.

2. 실험 용액의 제조

2.1 Stock 용액의 제조

30% 유산용액(Sigma Co., St. Louis., U.S.A 분자량 90.09, 밀도 1.080)을 이용하여 1.017 M lactic acid 용액을, 염화칼슘분말(Sigma Co., St. Louis., U.S. 분자량 147.0)을 이용하여 0.321 M의 Calcium 용액을, 그리고 인산칼륨분말(Sigma Co., St. Louis., U.S. 분자량 136.1)을 이용하여 0.976 M의 Phosphate 용액을 만들어 이를 stock 용액으로 사용하였다.

2.2 탈회 완충 용액의 제조

Stock 용액에서 탈회용액을 제조하고 ion chromatography (790 Personal Ion Chromatography, Metrohm, Switzerland)로 각 이온의 농도를 다시 정량 분석하여 이를 시편의 탈회 용액으로 사용하였다(Table 1).

2.3 재광화 완충 용액의 제조

Stock 용액을 이용하여 4종류의 재광화 용액에 3.08 mM Sodium azide를 첨가하고, 8 N 수산화칼륨 표준용액으로 pH 5.5가 되도록 하였다. 위 용액을 ion chromatography로 정량 분석한 다음 재광화 용액으로 이용하였다(Table 2).

Table 1. Initial composition of demineralization solution

Composition	Concentration
Lactic acid (mM)	100
Calcium (mM)	18.0
Phosphate (mM)	6.5
Sodium azide (mM)	3.08
pH	4.3

Table 2. Initial composition of remineralization solution

Composition	Concentration			
	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Lactic acid (mM)	10	10	10	10
Calcium (mM)	2.5	2	1.5	1.2
Phosphate (mM)	2	1.3	0.9	0.74
Sodium azide (mM)	3.08	3.08	3.08	3.08
pH	5.5	5.5	5.5	5.5
Degree of Saturation	0.507	0.394	0.301	0.251

3. 법랑질 인공 우식의 형성 및 관찰

50 ml 플라스틱 통에 탈회 완충 용액 30 ml을 채우고 시편이 잠기도록 설치한 후 섭씨 25도 항온조에 2일간 반응시켰다. 시편을 편광 현미경(I221, 동원정밀, 한국) 하에서 증류수에 침윤시켜 배울 100배인 상태에서 디지털 카메라(Coolpix 950 Nikon corporation, Japan)로 탈회 전, 탈회 후 1, 2일째 사진 촬영하였다.

4. 법랑질 인공 우식의 재광화 및 관찰

30 ml 플라스틱 통에 재광화 완충용액 30 ml을 채우고 시편이 잠기도록 설치한 후 섭씨 25도 항온조에 12일간 반응시키고, 이 때 용액은 2일 간격으로 교체하였다. 탈회된 시편을 매일 편광 현미경 하에서 증류수에 침윤시켜 배울 100배인 상태에서 관찰 및 촬영하였다.

5. 실험 자료의 분석 및 통계

편광 현미경을 이용하여 시편을 100배로 관찰하고 현미경에 연결된 디지털 카메라로 촬영하였다. Photoshop program (Adobe)을 이용하여 탈회와 재광화 후의 동일 부위를 증첩시켰고 그 후 전체 탈회 깊이의 변화를 평가하기 위해 Image Analyzer program (Image pro plus, Media-cyber-netics, USA)를 이용하여 재광화 전후 임의의 각기 다른 지점에서 다섯 부위를 선택하여 표면층에서 양성 복굴절 끝까지 수직 길이를 측정하였다. 재광화 전의 수직 길이의 합을 재광화 후의 수직길이의 합으로 나눈 후 100을 곱

하여 재광화 전후의 탈회 깊이 변화를 수치화 하였다. 또한 Scion Image program (Scion Corporation, Maryland)의 plot profile tool을 이용하여 시편의 사진의 density를 측정하고 Spread sheet program인 Excel (MS Office 2007, Microsoft, U.S.A)로 graph로 처리한 뒤 graph의 면적을 계산하여 재광화 층의 넓이를 탈회 층에 대한 백분율로 표시하였다.

위의 결과를 SPSS 12.0을 이용하여 재광화 군간의 차이를 살펴보기 위해 일원변량분석(One-way ANOVA)을 실시하였고, 유의한 변인에 대해서는 0.05 유의수준에서 Tukey test로 사후 검증하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 편광 현미경 관찰 조건

법랑질 초기 우식 병소의 특징적인 건전 표층과 표층하 탈회부를 관찰할 수 있었는데, 건전 표층은 정상 법랑질과 같은 음성 복굴절을 보였고, 병소 본체는 길은 황갈색으로 관찰되었으며 양성 복굴절 양상을 보였다.

1.1 1군의 재광화 조건

연속적으로 형성된 건전 표층을 확인할 수 있었고, 그 폭도 2, 3, 4군 비해 증가된 양상을 볼 수 있었다(Figure 1, 2). 즉, 우식 표면층에 많은 재광화가 일어났고 심부인 병소 본체는 대부분 여전히 탈회된 상태로 남아있음을 알 수 있었다.

1.2 2군의 재광화 조건

비교적 연속적으로 형성된 건전 표층을 관찰할 수 있었고 우식 표면층 뿐만 아니라 제한된 범위의 심부에도 재광화가 일어난 소견을 보이고 있었다(Figure 3, 4).

1.3 3군의 재광화 조건

탈회 후 건전표층은 불연속적인 모습이었으나 재광화가 진행됨에 따라 음성 복굴절 양상이 증가하였다(Figure 5, 6). 시간이 지남에 따라 건전 표층의 연속성이 증가하거나 더 뚜렷해짐을 보였고, 건전 표층의 폭도 증가함을 보였다. Figure 6의 심부를 보면 건전 표층만 뚜렷해진 것이 아니고 심부에서도 재광화의 양상이 관찰됨을 알 수 있었다.

1.4 4군의 재광화 조건

탈회 후 건전 표층은 불연속적인 모습이었으나 재광화가 진행됨에 따라 음성 복굴절 양상이 증가하였다(Figure 7, 8). 시간이 지남에 따라 3군보다 건전 표층의 연속성이 증가하거나 더 뚜렷해짐을 보였고, 건전 표층의 폭도 증가함

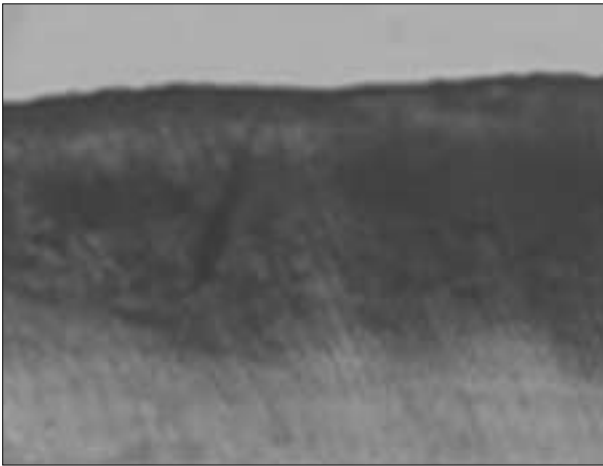


Figure 1. Polarizing microscopic observation of demineralized enamel (Group 1, $\times 100$).

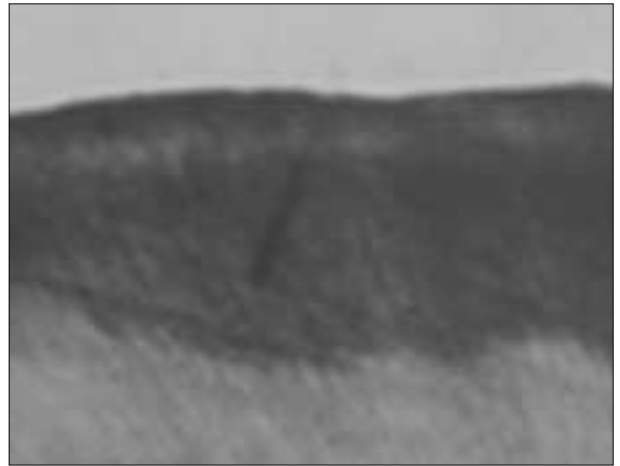


Figure 2. Polarizing microscopic observation of remineralized enamel (Group 1, $\times 100$).



Figure 3. Polarizing microscopic observation of demineralized enamel (Group 2, $\times 100$).

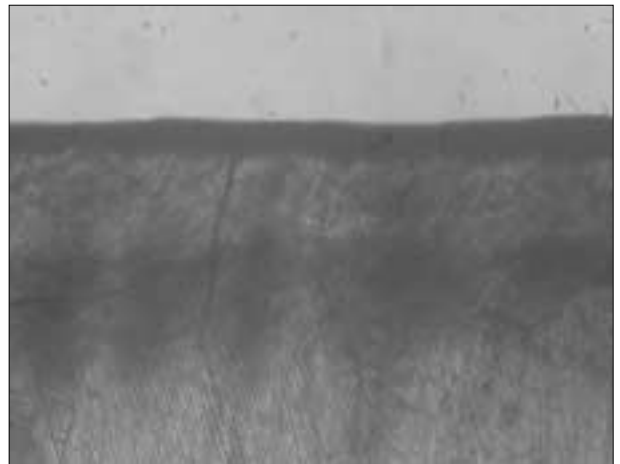


Figure 4. Polarizing microscopic observation of remineralized enamel (Group 2, $\times 100$).



Figure 5. Polarizing microscopic observation of demineralized enamel (Group 3, $\times 100$).



Figure 6. Polarizing microscopic observation of remineralized enamel (Group 3, $\times 100$).



Figure 7. Polarizing microscopic observation of demineralized enamel (Group 4, $\times 100$).



Figure 8. Polarizing microscopic observation of remineralized enamel (Group 4, $\times 100$).

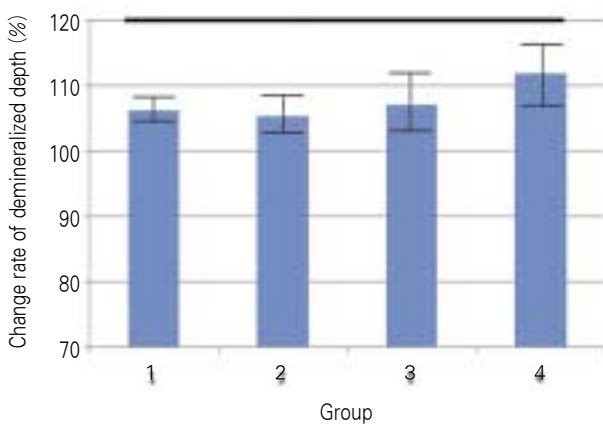


Figure 9. Change ratio of demineralized depth (demineralized depth after remineralization / demineralized depth before remineralization) $\times 100$ (%).

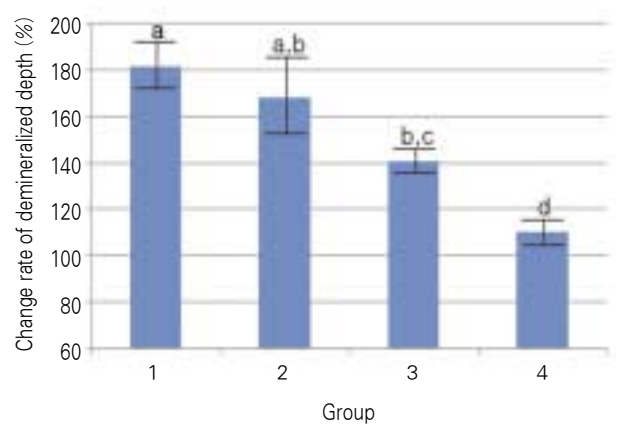


Figure 10. Change rate of surface lesion width (surface lesion width after remineralization / surface lesion width before remineralization) $\times 100$ (%).

을 보였다. Figure 8의 심부를 보면 건전 표층만 뚜렷해진 것이 아니고 심부에서도 재광화의 양상이 관찰됨을 알 수 있었다.

2. 컴퓨터 프로그램을 이용한 재광화의 정량적 평가

2.1 각 군간 재광화 후의 재탈회 깊이에 대한 정량적 평가
재광화 후 시편의 탈회된 범랑질 깊이가 약간 증가한 양상을 보였다(Figure 9, Table 4). 1군은 $106.29 \pm 6.65\%$, 2군은 $105.40 \pm 5.35\%$, 3군은 $107.19 \pm 8.37\%$, 4군은 $111.95 \pm 7.29\%$ 의 비율로 재광화 후 탈회의 진행 양상을 보였다. 각 군별 통계적 유의차는 없었다($p > 0.05$).

2.2 각 군간 건전 표층의 폭에 대한 정량적 평가

모든 군에서 우식 표면층의 폭은 더욱 증가된 것을 확인할 수 있었다(Figure 10, Table 5). 1군은 $179.75 \pm 12.77\%$, 2군은 $167.27 \pm 16.98\%$, 3군은 $144.43 \pm 8.61\%$, 4군은 $112.88 \pm 9.06\%$ 의 비율로 우식 표면층의 폭이 감소한 것을 알 수 있었다. 4군보다는 3군에서, 2군보다는 1군에서 더 많은 우식 표면층 폭의 증가를 확인할 수 있었고 1군과 3, 4군 사이, 2군과 4군 사이, 3군과 4군 사이에 통계적 유의차가 존재하였다($p = 0.000$). 즉, 1군에서 2, 3, 4군보다 많은 우식 표면층이 증가한 것을 알 수 있었다.

2.3 각 군간 재광화 양의 정량적 평가

Figure 11를 보면 1군에서는 우식 표면층에서 재광화가 일어났으나 심부에서는 재광화가 일어나지 않았음을 알 수 있었다. 2군에서는 1군에 비하여 우식 표면층 뿐만 아니라 제한된 심부까지 재광화가 진행되었음을 Figure 12를 통하여 알 수 있었으며 또한 재광화 양(Figure 15)을 보면 1, 2군이 3, 4군에 비하여 재광화 정도가 많이 일어났음을 알 수 있었다. 3군에서는 우식 표면층에서 재광화가 일어났으며 미약하지만 심부까지 전반적으로 재광화가 일어났음을 알 수 있었다(Figure 13). 4군에서는 3군과 유사한 재광화 양상을 나타내고 있었다. Figure 11-14 그래프는 재광화 전, 후의 양적 변화로 관찰 할 수 있었고 이를 Figure 15와 Table 6에 비교해 놓았다. 1군은 $132.50 \pm 25.38(\%)$, 2군은 $133.51 \pm 21.02(\%)$, 3군은 $116.79 \pm 7.45(\%)$, 4군은 $109.21 \pm 9.35(\%)$ 로 1, 2, 3, 4군 모두에서 재광화가 일어났으나 군간 통계적 유의차는 없었다($p = 0.101$). 그러나 각 군마다 재광화 양상은 다르게 나타났는데 1군에

서는 재광화가 우식 표면층에서 주로 일어났으며 2군에서는 우식 표면층뿐만 아니라 제한된 심부까지 재광화가 일어났고 재광화양은 가장 높았다 3, 4군에서는 우식 표면층뿐만 아니라 미약하지만 심부까지 재광화가 일어났다.

IV. 총괄 및 고안

본 실험에서는 법랑질 우식 병소를 인위적으로 형성시킨 후 재광화 실험을 진행하였다. Ten cate¹¹⁾에 의하면 구강 내 환경에서 재광화를 진행할 경우 법랑질 결정이 유기 물질로 부분적으로 둘러싸여 반응할 수 있는 표면적이 적고, 외부 용액으로의 이온의 확산 속도가 느려 재광화가 제한되며, 법랑질 인회석이 서로 다른 조성의 인회석으로 구성되어 Ca/P비가 다양하고, 타액 단백질, 치태 세균과 같은 침전 방해 인자가 존재하기 때문에 인공 병소의 재광화보다 복잡하고, 시간이 오래 걸린다고 하였다. 반면 Feathers-tone^{19,20)}는 인공 우식 병소의 경우 병소를 비교적 규격화하

Table 3. One-way ANOVA on the remineralizing features of pH 5.5 solutions of different degree of saturations on artificially demineralized enamel

Variable	SS	df	MS	F
Demineralized depth	147.282	3	49.094	0.913
Surface lesion width	16342.441	3	3014.163	30.705*
Remineralization amount	2389.691	3	796.564	2.422

* $p < .05$

Table 5. Surface lesion width (mm) and value change (%) during de-and remineralization

Variable	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Before				
Remineralization (mm)	0.087	0.100	0.102	0.112
After				
Remineralization (mm)	0.153	0.166	0.148	0.126
Demineralization width (%)	179.746 (12.765)	167.273 (16.983)	144.430 (8.608)	112.88 (9.056)

Standard Deviation (SD) is in the parentheses.

Table 4. Demineralization depth (mm) and value change (%) during de- and remineralization

Variable	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Before				
Remineralization (mm)	0.413	0.569	0.377	0.509
After				
Remineralization (mm)	0.432	0.592	0.398	0.56
Demineralization Depth (%)	106.292 (6.657)	105.399 (5.347)	107.179 (8.375)	111.951 (8.582)

Standard Deviation(SD) is in the parentheses.

Table 6. Remineralization amount (mm²) and value change (%) during de-and remineralization

Variable	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Before				
Remineralization (mm ²)	19315.8	18038.3	19209.5	19217.5
After				
Remineralization (mm ²)	9922.9	13328.7	17721.7	17848.3
Demineralization depth (%)	132.500 (25.378)	133.513 (21.020)	116.796 (7.445)	109.206 (9.347)

Standard Deviation (SD) is in the parentheses.

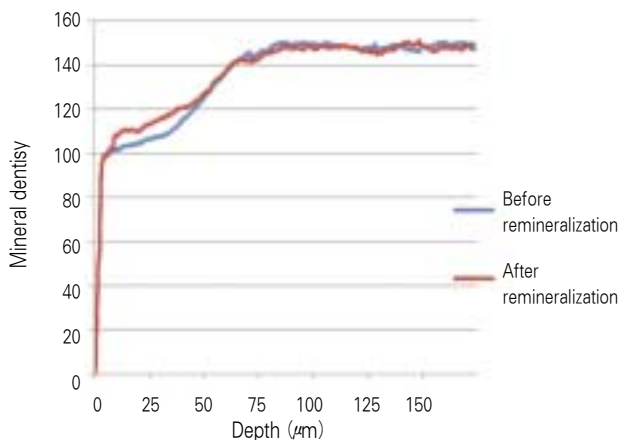


Figure 11. Comparison of density in enamel area before and after remineralization (Group 1).

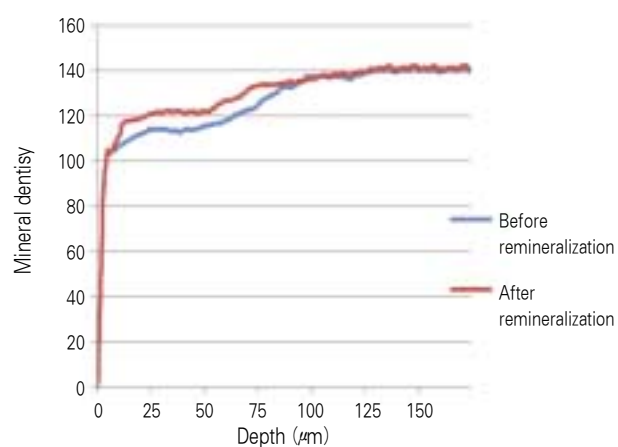


Figure 12. Comparison of density in enamel area before and after remineralization (Group 2).

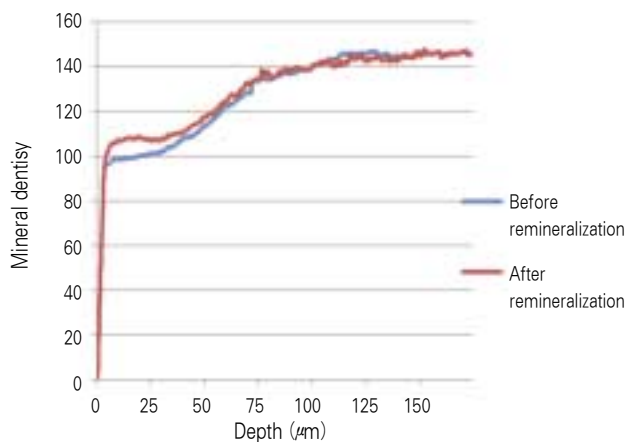


Figure 13. Comparison of density in enamel area before and after remineralization (Group 3).

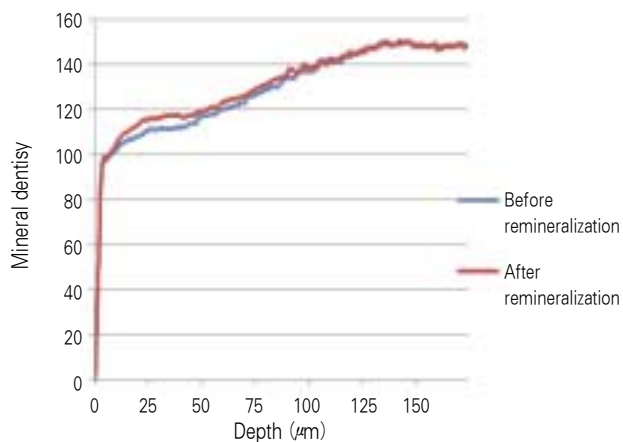


Figure 14. Comparison of density in enamel area before and after remineralization (Group 4).

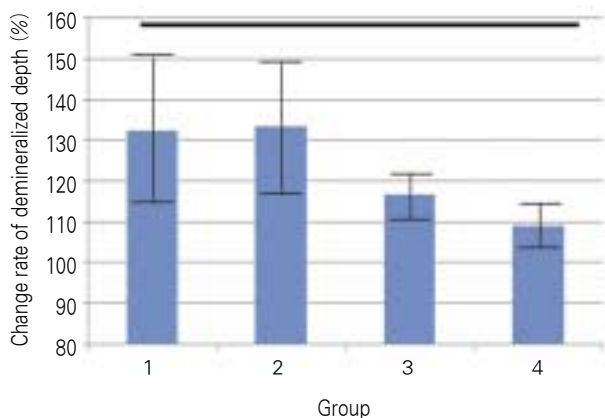


Figure 15. Change rate of remineralized amount before and after remineralization ((demineralized area before remineralization-demineralized area after remineralization/ demineralized area before remineralization) $\times 100 + 100$ (%)).

여 재현함으로써 실험상 변이를 최소화할 수 있으며, 어느 정도 넓은 병소를 얻을 수 있어 여러 가지 실험 조건을 한 병소에 적용시킬 수 있는 장점이 있다고 하였다.

재광화에 소요되는 시간에 대해서는 논란의 여지가 있다. 재광화에 필요한 시간에 대한 연구는 bovine incisor를 이용한 Busckes 등²⁶⁾의 연구에 의하면 360시간 즉 15일이 적당하다고 하였고, Rooij와 Nancollas²⁷⁾는 10-15시간 후에는 재광화가 정체된다고 보고하였다. Silverstone^{24,25)}은 법랑질 우식에서 재광화 현상을 실험한 결과 처음 4일간 주된 변화가 일어나고 10일 이후에는 더 이상 일어나지 않음을 보고하였다. Featherstone과 Mellberg 등¹⁹⁾은 bovine teeth와 human teeth간의 탈회 시 병소 폭을 비교하였는데 bovine permanent teeth의 병소폭이 human permanent teeth에 비해 1.7배 많이 형성되었다고 보고하면서 bovine teeth를 이용한 실험을 human teeth와 직접적으로 비교 할 수 없다고 하였다. Ten cate 등²⁶⁾은 3일째부터는 재광화 양이 감소한다고 보고 하였고, 불소를 함유한 재광화 실험을 한 한 등¹²⁾의 실험에서도 처음 4일간 재광화가 주로 일어나고 그 이후 느린 속도로 계속 진행되었다고 보고하였다. 이전의 연구에서 재광화 기간을 7-10일로 정하고 일정 기간마다 재광화 용액을 교체하면서 재광화 양상을 보았는데 본 연구에서는 pH 5.5로 정하고 실험을 하였고 용액의 포화도를 맞추기 위해 칼슘과 인의 농도가 낮았다. Margolis 등²⁷⁾, Exterkate 등²⁸⁾은 재광화 용액의 반응에 관여하는 물질의 농도가 낮을수록 병소의 깊은 부위의 재광화가 느리게 일어나므로 재광화 기간을 늘려야 한다고 하였고 이에 본 실험에서 재광화 기간을 기존 10일에서 12일로 늘려서 진행하였다.

박 등²⁹⁾의 연구에서 법랑질에서 재광화 용액의 포화도가 증가할수록 재광화의 양이 증가하는 경향을 보였고 포화도가 가장 높은 군에서는 무기질의 침착이 표층에 국한되는 경향을 나타내었다. 포화도가 높은 경우 표층에 침착된 무기질은 이후 심부의 재광화가 일어나는데 있어 무기질 침투를 방해하는 역할을 하기 때문에 탈회 병소의 완전한 재광화를 억제할 가능성 있다. 본 실험에서도 용액의 포화도가 높아 질수록(0.25, 0.30, 0.39, 0.50: 4군 → 1군) 재광화의 양이 증가하였지만 각군간에 통계적 유의차는 없었다. 하지만 재광화 양상을 살펴보면 군간의 약간의 차이를 발견할 수 있다. 가장 포화도가 높은 1군의 경우 주로 우식 표층에 재광화가 일어났음을 Figure 11을 통하여 확인 할 수 있다. 하지만 2군의 경우 1군에 비하여 우식표면층 뿐만 아니라 제한된 심부까지 어느 정도 재광화가 일어났음을 알 수 있다. 3, 4군의 경우 우식표면층 뿐만 아니라 심부까지 재광화가 일어났지만 심부로 갈수록 재광화가 줄어드는 양상을 보이고 있다.

재광화 과정을 보면 초기에는 표면층과 가까운 곳에서 광

물의 침착이 일어나며 점진적으로 병소의 깊은 곳으로 무기물의 침착이 일어났다. 이는 박 등²⁹⁾의 연구와도 일치하는데, 법랑질에서 재광화 용액의 포화도가 증가할수록 재광화의 양이 증가하는 경향을 보였고 포화도가 가장 높은 군에서는 무기질의 침착이 표층에 국한되는 경향을 나타내었다. 본 실험에서는 재광화 용액의 포화도(0.50, 0.39, 0.30, 0.25)가 낮아 질수록 재광화의 양이 감소할 것으로 예상하였지만 실제로는 그렇지 않은 결과를 얻었다. 재광화의 정량적 변화는 1, 2, 3, 4군에서 통계적 유의차는 없었지만 1, 2군에서 3, 4군보다 상대적으로 많은 양의 재광화가 일어났음을 확인할 수 있었다. 재광화의 양에 있어서 군간의 통계적 유의차는 없다고 하더라도 재광화의 양상이 포화도에 따라 차이가 있었음을 알 수 있었다.

박 등²⁹⁾이 언급한 것처럼 우식 병소의 깊이가 깊을수록 재광화의 속도가 느리고, 병소의 폭이 감소된 이유가 더 깊게 형성된 병소의 경우 이온의 이동 속도와 결정의 형성이 더 느려지기 때문이라고 하였으며, 이런 경우 높은 포화도 보다는 낮은 포화도에서 병소 전체의 재광화가 이루어지게 된다고 하였다. 본 실험에서는 기존의 3일이 아닌 2일의 탈회 기간을 두었고 그 결과 상대적으로 높은 포화도에서 재광화가 더 일어났음을 확인할 수 있었다.

최적의 재광화 조건을 찾기 위해서 앞으로도 다양한 연구가 계속되어야 할 것이다. 낮은 포화도 용액을 사용한 실험에서는 이온의 이동 속도가 느리고 수산화 인회석 결정의 형성이 느리기 때문에 심부까지 재광화가 일어날 수 있음을 이전 연구의 결과와 본 실험 결과를 통해 확인할 수 있었다. 하지만 본 실험에서 확인할 수 있듯이 심부에서는 재광화 정도가 미약하였으므로 심부에서 재광화가 좀더 많이 일어날 수 있는 조건을 찾기 위해 더 많은 연구가 필요하리라 생각된다.

결론적으로, 유기산 0.01 M, pH 5.5로 고정된 상태에서 포화도가 가장 낮았던 군(0.251)에서는 우식 표면층에서 심부까지 재광화가 일어난 반면, 포화도가 가장 높았던 군(0.507)에서는 우식 표면층에서 재광화가 주로 일어났다.

참고문헌

1. Ingram GS, Silverstone LM. A chemical and histological study of artificial caries in human dental enamel *in vitro*. *Caries Res* 15:393-398, 1981.
2. Shellis RP. Relationship between human enamel structure and the formation of caries-like lesions. *Arch Oral Biol* 29:975-981, 1984.
3. Silverstone LM. Observation on the dark zone in early enamel caries and artificial like lesions. *Caries Res* 1:267-274, 1967.
4. Ten Cate JM, Arends J. Remineralization of artificial enamel lesions *in vitro*. *Caries Res* 15:60-69, 1981.
5. Brudevold F, McCann HG. Enamel solubility tests and

- their significance in regard to dental caries. *Ann N.Y. Acad Sci* 153:20-51, 1968.
6. Christoffersen J, Arends J. Progress of artificial lesion progression in enamel. *J Dent Res* 63:13-18, 1984.
 7. Moreno EC, Zahradnik RT. Chemistry of enamel sub-surface demineralization *in vitro*. *J Dent Res* 53:226-235, 1974.
 8. Featherstone JDB, Duncan JF, Cutress TW. Surface layer phenomenon *in vitro* early caries-like lesions in human tooth enamel. *Arch Oral Biol* 23:397-404, 1978.
 9. Ten Cate JM. *In vitro* studies on the effects of F on de- and remineralization. *J Dent Res* 69:614-619, 1990.
 10. Varughese, Moreno E.C. Crystal growth of calcium apatites in dilute solutions containing fluorides. *Calcified tissue international* 33(4):431-439, 1981.
 11. Ten Cate JM. *In vitro* studies on the effects of F on de- and remineralization. *J Dent Res* 69:614-619, 1990.
 12. 한원섭, 금기연, 이찬영. 인공 치아 우식의 재광화에 미치는 불소의 영향. *대한치과보존학회지* 21:161-173, 1996.
 13. Lammers PC, Borggreven JM, Driessens FC. Influence of fluoride and pH on *in vitro* remineralization of bovine enamel. *Caries Res* 26:8-13, 1992.
 14. Amjad Z, Nancollas G.H Effect of fluoride on the growth of hydroxyapatite and human dental enamel. *Caries Res*. 13:250-258, 1979.
 15. 박성호, 이찬영, 이정석. 유산 완충액을 이용한 인공 치아 우식의 형성에 미치는 산의 농도와 pH에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 18:277-290, 1993.
 16. 광영준, 김의성, 박성호, 공형규, 이운, 이찬영. pH 5.5에서 재광화 용액의 포화도 변화가 인공 탈회된 법랑질의 재광화에 미치는 영향. *대한치과보존학회지* 33(5)481-492, 2008.
 17. Head JA. A study of saliva and its action on tooth enamel in reference to its hardening and softing. *J Am Med Assoc* 59:2118-2122, 1912.
 18. Arends J, Jongebloed W, Ogaard B, Rolla G. SEM and microradiographic investigation of initial enamel caries. *Scand J Dent Res* 95:193-201, 1987.
 19. Featherstone JDB, Rodger BF. Effect of acetic, lactic and other organic acids on the formation of artificial caries lesion. *Caries Res* 15:377-385, 1981.
 20. Featherstone JDB. Comparison of artificial caries like lesions by quantitative microradiography and micro-hardness profile. *Caries Res* 17:385-391, 1983.
 21. Silverstone LM, Wefer JS, Zimmerman BF, Clark BH, Featherstone MJ. Remineralization phenomena. *Caries Res* 11:59-84, 1977.
 22. Ten Cate JM, Duijsters PPE. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res* 16:201-210, 1982.
 23. Darling AI. Studies of the early lesion of enamel caries with transmitted light, polarized light and radiography. *Brit Dent J* 6:289-341, 1956.
 24. Silverstone LM. Observation on the dark zone in early enamel caries and artificial like lesions. *Caries Res* 1:267-274, 1967.
 25. Silverstone LM, Wefer JS, Zimmerman BF, Clark BH, Featherstone MJ. Remineralization phenomena. *Caries Res* 11:59-84, 1977.
 26. Ten Cate JM, Duijsters PPE. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res* 16:201-210, 1982.
 27. Rooij J.F, Nancollas G.H. The formation and remineralization of artificial white spot lesions: A Constant composition approach. *J Dent Res* 63(6):864-867, 1984.
 28. Exterkate RAM, Damen JJM, ten Cate JM. A single-section model for enamel de- and remineralization studies. 1. The effects of different Ca/P ratios in remineralization solutions. *J Dent Res* 72:1599-1603, 1993.
 29. 박정원, 허복, 이찬영. 유기산 완충 용액의 포화도가 법랑질 및 상아질의 재광화에 미치는 영향과 수산화인회석의 AFM 관찰. *대한치과보존학회지* 25:459-473, 2000.

국문초록

pH 5.5에서 유기산 완충용액의 포화도 변화에 따른 법랑질의 재광화 양상

박진성 · 박성호 · 박정원 · 이찬영*

연세대학교 치과대학 치과보존학교실

본 연구에서는 lactic acid를 이용하여 인공 탈회용액을 제조하여 우식이 없는 치아로 시편을 만들고 법랑질 부위에 인공 우식 병소를 생성 시키고 유기산 농도 0.01 M, pH 5.5로 고정된 상태에서 유기산 완충용액의 포화도를 달리하여(0.507, 0.394, 0.301, 0.251) 재광화를 시키고 편광 현미경하에서 관찰 및 디지털 카메라로 촬영하였다. 이를 통해 얻은 상에서 탈회 깊이의 변화, 우식 표면층 폭의 변화, 무기질의 양적 변화를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 비교, 통계 분석하여 다음 결과를 얻었다.

1. 재광화 전에 비하여 재광화 후 모든 군에서 10-30% 재광화 양이 증가 하였다.
2. 재광화 후 4군에서는 우식 표면층과 심부 모두에서 재광화가 일어나는 양상이 나타난 반면 1군에서는 심부 보다 우식 표면층 부위의 재광화가 더 일어난 양상이 관찰되었다.
3. 재광화 후 시편의 탈회된 깊이의 변화는 탈회시킨 후와 비교할 때 모든 군에서 유의할만한 변화는 없었으며 군간의 통계적 유의차도 없었다.

결론적으로, 유기산 0.01 M, pH 5.5로 고정된 상태에서 포화도가 가장 낮았던 군(0.251)에서는 우식 표면층에서 심부까지 재광화가 일어난 반면, 포화도가 가장 높았던 군(0.507)에서는 우식 표면층에서 재광화가 주로 일어났다.

주요단어: 탈회, 재광화, pH, 포화도, 인공우식, 법랑질