

구강내에서 재광화용액 "R"의 법랑질 초기 우식병소에 대한 재광화의 정량적 평가

김명은 · 정일영 · 금기연 · 이찬영 · 노병덕
연세대학교 치과대학 보존학교실

ABSTRACT

IN VIVO QUANTITATIVE ANALYSIS OF REMINERALIZATION EFFECT OF REMINERALIZATION SOLUTION "R" OF INCIPIENT ENAMEL DENTAL CARIES

Myung-Eun Kim, Il-young Jung, Kee-Yeon Kum, Chang-young Lee, Byoung-Duck Roh
Department of Conservative Dentistry, college of dentistry, Yonsei University

Dental caries is a chronic disease that causes the destruction of tooth structure by the interaction of plaque bacteria, food debris, and saliva.

There has been attempts to induce remineralization by supersaturating the intra-oral environment around the surface enamel, where there is incipient caries.

In this study, supersaturated remineralized solution "R" was applied to specimens with incipient enamel caries, and the quantitative analysis of remineralization was evaluated using microradiography. Thirty subjects volunteered to participate in this study. Removable appliances were constructed for the subjects, and the enamel specimen with incipient caries were embedded in the appliances. The subjects wore the intra-oral appliance for 15 days except while eating and sleeping.

The removable appliance were soaked in supersaturated solution "R", saline, or Sensitime® to expose the specimen to those solutions three times a day, 5 minutes each time. After 15 days, microradiography was retaken to compare and evaluate remineralization.

The results were as the following:

1. The ratio of remineralized area to demineralized area was significantly higher in the supersaturated solution "R" and Sensitime® than in the saline ($p<0.05$)
2. Remineralization in the supersaturated buffer solution "R" occurred in the significantly deeper parts of the tooth, compared to the Sensitime® group containing high concentration of fluoride. ($p<0.05$)

As in the above results, the remineralization effect of remineralized buffer solution "R" on incipient enamel caries has been proven. For clinical utilization, further studies on soft tissue reaction and the effect on dentin and cementum are necessary.

In conclusion compared to commercially available fluoride solution, remineralization solution "R" showed better remineralization effect on early enamel caries lesion, so it is considered as efficient solution for clinical application

Key words : Enamel caries, Remineralization solution, Remineralization, Removable oral appliance, Microradiography

I. 서 론

치아우식은 치면위의 치태내에 존재하는 세균과 음식물, 타액의 상호작용에 의해 산이 생성되어 치질의 파괴가 일어나는 만성질환이다¹⁸⁾. 정상적인 구강내 환경에서 치아의 무기질은 지속적인 상실과 침착을 되풀이 하면서 항상성을 유지하고 있으며, 이러한 무기질 교환의 평형이 유지된다면 치아우식을 예방할 수 있다. 그러나 일단 그러한 평형이 깨어진 상태가 지속되면 비가역적인 치질의 손실을 가져오게 되므로 우식을 초기에 발견하는 것이 중요하다. 초기우식이 진행된 경우 표면 법랑질 주변의 환경을 무기질에 대해서 과포화 상태로 유지시켜줌으로써 재광화를 유도하려는 시도가 이루어져 왔다^{4,7)}. 그러나 이러한 재광화 술식은 아직 임상적으로 적용되어지지 못하고 있으며 정성적인 연구와 함께 정량적인 분석을 통한 체계화가 요구된다. Moreno¹⁹⁾ 등에 의하면 우식병소 형성에 영향을 미치는 인자로 pH이 외에도 용액의 포화도가 중요한 요소라고 제시되었는데, 치아 주위용액의 상태가 저포화 상태로 되면 치질에서 무기질이 빠져나가는 탈회과정이 일어나게 되고 빠져나온 용액의 칼슘, 인 이온이 dicalcium phosphate dihydrate (DCPD)의 형태로 침착이 일어나 표면하층을 형성한다고 하였다. 이⁴¹⁾의 연구에서도 인공법랑질 우식을 유발시 탈회용액의 포화도를 조절하여 탈회양상을 조절할 수 있음을 보고하였고, Chow⁴⁾ 등은 칼슘과 인 이온을 개별적으로 적용하여 치근우식 병소를 재광화시키는 실험을 통하여 칼슘용액이 인산용액보다 더 알칼리성을 띄도록 하여야 칼슘용액이 인산용액보다 더 쉽게 확산된다는 결과를 보고하였다. 그러나 아직까지 여러가지 이온을 혼합한 용액에서의 재광화에 대해서는 그 연구가 부족한 실정이다.

형태적인 면에서 법랑질 초기 우식의 표층은 비교적 광물질의 소실이 적어 건전하지만 우식 하층에서는 광물질 소실이 일어나는 특징적인 병소 형태를 갖게된다²⁾. 이러한 초기 우식의 재광화는 수산화인회석의 침착에 의해 이루어지며, 초기에는 표층근처에서 시작하다가 점차 안쪽으로 진행되면서 결국 암층에 침전된다고 Ten Cate²⁶⁾ 등은 보고하였다.

Koulourdes¹²⁾는 타액이나 타액과 비슷한 조성을 가진 재광화용액과 접촉한 법랑질이 본래 경도를 되찾는 것을 보고하면서 재광화용액에 불소첨가시 광물질 침착속도가 증가된다고 하였다. 그 이후에 Silverstone²¹⁾은 재광화 후 병소의 조직학적 형태 분석을 통해 우식 병소의 가장 내측과 표층의 결정은 건전 법랑질의 결정보다 더 크며 이부위가 재광화가 보다 잘 일어나는 부위이기 때문이라고 설명하였다. Ten Cate²⁷⁾ 등은 타액 같은 재광화 용액이 산부식된 법랑질과 법랑질 병소에 광물질을 침착시켜 만들어진 재광화된 조직에서는 crystallite의 방향이 건전 법랑질과 달랐으며 결정의 방향도 일정하지 않았고 광물질의 밀도도 건전

법랑질과 다르며, 또한 이러한 lesion에서는 세공이 존재함을 보고하면서, 구강내에 자연적인 재광화 기전을 이해하면 치아우식에 관한 효과적인 예방이 가능하다고 보고하였다. 이러한 법랑질우식의 재광화에 선두적인 역할을 하는 불소의 구강내 농도는 Ten Cate²⁸⁾에 의하면 재광화 용액내 1ppm의 불소의 영향을 관찰한 결과 고농도의 불소보다 완전한 병소 회복이 가능하며 효과가 크다고 하였다. 한⁴²⁾ 등은 실험실 연구를 통하여 불소의 효과를 관찰한 결과 2ppm의 불소농도를 갖는 포화용액의 재광화능력이 가장 높은 것으로 보고하였다. 이러한 불소와 칼슘, 인 이온등을 포함하는 과포화용액을 이용한 법랑질 우식의 재광화에 관한 실험이 지금까지 많이 이루어져 왔지만 실험실환경에서 그 효과가 입증된 정도이다. 이에 본 연구에서는 구강내 환경에서 그 효과를 확인하고자 탈회된 법랑질 시편이 매몰된 가철성장치를 구강내에 장착하고 실험실상에서 재광화 효과가 확인된 과포화완충용액에 노출시켜^{36,39)} 법랑질 초기 우식병소가 재광화 되는 정도와 양상을 microradiograph를 이용하여 정량적으로 분석하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 연구대상 및 재료

전신적 특이증상이 없고 치아배열이 비교적 양호하며, 우식증이 없고, 구강 위생상태가 양호한 연세대학교 치과대학에 재학중인 30명의 학생을 연구대상으로 하였다. 치아시편은 발치된지 30일 이내의 우식이 없는 영구치로 하였다. 인공우식을 유발시키기위해 탈회용액을 제조하였고 실험용액으로는 재광화 완충용액³⁶⁾, 음성대조군으로 식염수, 양성대조군으로는 시판중인 가글용액(Senstime®, Ildong Co., Korea)을 사용하였다.

2. 시편의 제작

발거된 영구치중 우식이나 탈회가 일어나지 않은 치아를 선택하여 치근의 연조직 및 백악질을 curette 으로 제거하고 불소가 함유되지 않는 pumice로 치근면을 연마한 다음 초음파 세척기로 세정 후 증류수로 세척, 건조 하였다.

연마된 시편을 입체 현미경하에서 검사하여 법랑질과 상아질에 우식이나 결손부, 또는 금이 가지 않은 부분을 확인 후 여기에 폭 2~3mm의 window를 형성하였고, 동일부위 관찰을 위해 Gold grid 부착후에 이 부위를 제외한 나머지 부위는 nail vanish를 도포하였다. 연마된 면에는 인공우식용액과의 접촉을 차단할 수 있도록 bonding resin (Scotchbond MP, 3M, U.S.A)을 도포한 다음 질소가스 하에서 광중합 하였다.

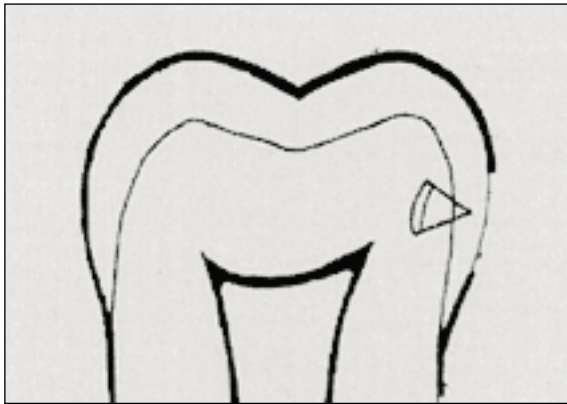


Fig. 1. Drawing of enamel specimen

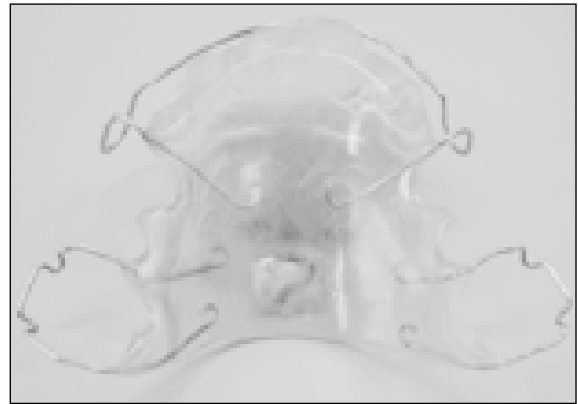


Fig. 2. Removable oral appliance attached with demineralized enamel specimen

Table 1. Initial composition of demineralization solution

Composition	Concentration (mM)
Lactic acid(mM)	100
Calcium(mM)	15.1
Phosphate(mM)	9.6
Sodium azide(mM)	3.08
pH	4.3
Degree of saturation	0.155

Table 2. Initial composition of remineralization solution

Composition	Concentration (mM)
Lactic acid(mM)	10
Calcium(mM)	31.2
Phosphate(mM)	12.0
Sodium azide(mM)	3.08
Fluoride(ppm)	2
pH	4.3
Degree of saturation	0.339

3. 실험 용액의 제작

1) Stock 용액의 제조

30% lactic acid (Sigma Co., U.S.A., 분자량 90.08, 밀도 1.080)를 이용하여 1M의 lactic acid를 제조하였고, 염화칼슘분말(Sigma Co., U.S.A., 분자량 147.0)을 이용하여 0.3M의 용액을 제조하였다. 인산칼륨분말(Sigma Co., U.S.A., 분자량 136.1)을 이용하여 0.9M의 용액을 제조한 후 이 두 용액을 100배 희석하여 자동분석기(790PersonalIC.Metrohm.Ion analysis., Switzerland)로 분석하여 농도를 확인하였다.

2) 탈회 완충용액의 제조

Stock 용액을 이용하여 칼슘 15mM, 인 9.5mM, NaN_3 3.08mM, lactic acid 100mM을 함유하고 포화도 0.155⁽²⁹⁾가 되도록 탈회용액을 제조한 후, 8M KOH 표준용액을 이용하여 pH meter(Advanced Ion Selective Meter 920. Orion Research, U.S.A)계측하여 pH 4.3이 되도록 조절하였다. 위의 용액을 100배 희석하여 자동분석기

(790PersonalIC.Metrohm.Ion analysis., Switzerland)로 분석하여 제조된 용액의 농도를 확인하였다.

3) 재광화 완충용액의 제조

농도 10ppm의 염화불소 표준용액(100ppm NaF Standard solution, Orion Research Inc., U.S.A.)을 이용하여 불소농도 2ppm인 용액을 제조하기 위하여, stock 용액을 이용하여 Table 2의 protocol로 제조한 후 자동분석기로 정량 분석한 다음 재광화 용액으로 이용하였다.

4. 인공우식의 형성

치아의 시편을 50cc 플라스틱 용기에 30cc의 탈회 완충용액을 채우고 용액에 시편이 잠기도록 한 후 37℃의 항온수조에 보관하였다. 2일 경과 후 탈회가 일어난 것을 편광현미경으로 확인하고 이 상태를 microradiograph로 촬영하였다.

Table 3. Experimental solution

Group	Treatment solution
실험군	재광화 실험용액 "R"
음성대조군	Saline
양성대조군	Senstime®

5. 구강내 장치제작과 시편 매물

연구 대상자의 상악 인상을 채득한 후, 아크릴릭 레진으로 구강내 유지장치를 제작하였다. 제작된 유지장치의 경구개 면에 시편을 부착하였다.

6. 시편의 처리

각 실험 대상자는 15일 동안 구강내 유지장치를 장착하였으며 이 기간중에 식사나 수면시 및 칫솔질시간외에는 항상 구강내 유지장치를 장착하도록 하였다. 모든 대상자는 1일 3회 불소가 함유되지 않은 치약(페리오, 럭키)으로 칫솔질을 시행하였고 구강내 유지장치를 장착하고 있는 시간에는 간식을 제한하였다. 하루에 세 번 (아침, 점심 식사 전, 저녁 식사 전) 5분씩 각 실험용액에 가철성 장치를 담그어 시편이 노출되도록 한 후 증류수로 세척하였으며 15일 후 시편을 장치에서 제거하였다.

7. 시편의 분석

15일 후 시편을 장치에서 제거하였다. 시편을 탈회 시기 전, 탈회 후, 재광화 후 모두 5mA, 37Kvp 하에서 1시간 30분 동안 microradiograph를 촬영하였다.

촬영한 microradiograph상을 현미경하에서 100배로 관

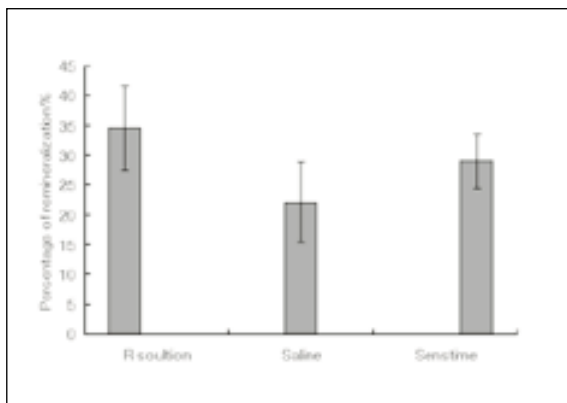


Fig. 3. Quantitative mineral volume change(%) of enamel

찰하면서 Coolpix950 (Nikon corporation.Japan)로 촬영하여 컴퓨터에 저장하였다. 저장된 상을 Image analysis program 을 이용하여 탈회 전과 후 그리고 구강내 처리 후 상을 합성하여 밀도를 표준화하고 Excel(MS Office 2000, Microsoft U.S.A)에서 그래프로 처리하여 탈회가 일어난 양과 재광화가 일어난 양을 백분율로 분석하였다.

또한 Mineral intensity가 가장 높은 곳까지의 깊이를 측정하였다. 통계처리는 Kruscal-Wallis test와 Duncan 의 다중비교에 의해 검정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 탈 회

Microradiography상을 관찰한 결과 법랑질 시편은 표층 하 병소를 형성하고 있었으며 몇몇은 erosion의 양상으로 표층부터 탈회가 일어났다. 30개의 시편에서 탈회된 깊이를 컴퓨터 이미지 상에서 측정한 결과 평균 $198 \pm 95 \mu\text{m}$ 깊이의 탈회가 일어났다.

2. 재광화

무기질의 채침착 정도는 전체 탈회가 일어난 면적에 대해서 재광화가 일어난 면적을 백분율로 계산하였다. 재광화 실험용액 "R"은 $34.53 \pm 14.08\%$, 식염수를 사용한 군은 $22.06 \pm 13.67\%$, Senstime®군은 $28.97 \pm 9.18\%$ 의 재광화가 일어났다.(Table 4, Fig. 3) 재광화의 양상은 표면에서 심부로 진행된 양상을 보였으며 가장 mineral intensity가 높은 즉, 무기질의 침착이 가장 많이 일어난 곳의 깊이는 재광화 용액군이 $97 \pm 15.08 \mu\text{m}$, 식염수군이 $37 \pm 8.72 \mu\text{m}$, Senstime®군이 $73 \pm 17.01 \mu\text{m}$ 로 나타났다.(Table 4)

재광화된 면적은 Saline 에 비하여 재광화 실험용액 "R"과 Sensitime®이 통계학적으로 유의성 있게 높은 값을 보였으며 ($P < 0.05$) 무기질이 채침착된 깊이는 재광화 실험용액 "R"이 다른 용액보다 유의성 있게 높게 나타났다($P < 0.05$).

Table 4. Remineralization peak depth from the surface

Group	Remineralization peak depth(μm)
R solution	$97 \pm 15.08^*$
Saline	37 ± 8.72
Senstime®	73 ± 17.01

* significantly different ($p < 0.05$)

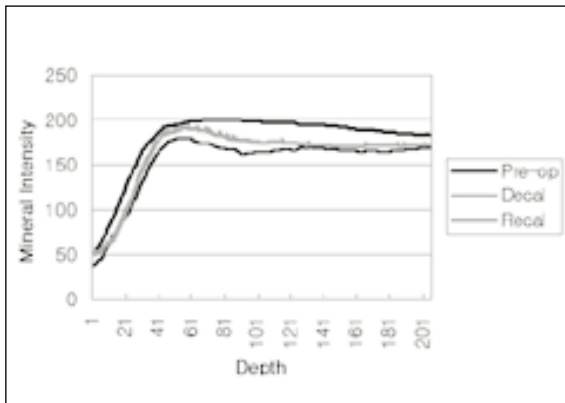


Fig. 4. Average mineral volume change of enamel specimen with remineralization solution "R"

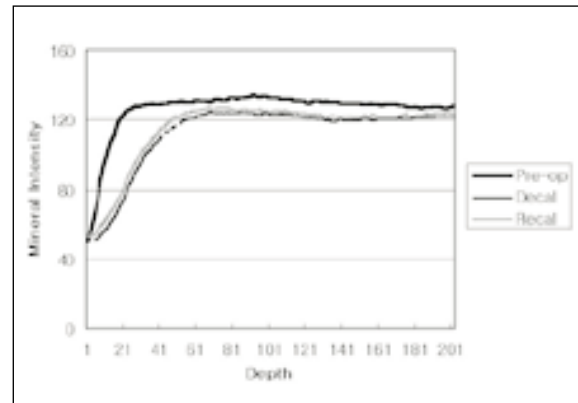


Fig. 5. Average mineral volume change of enamel specimen with saline

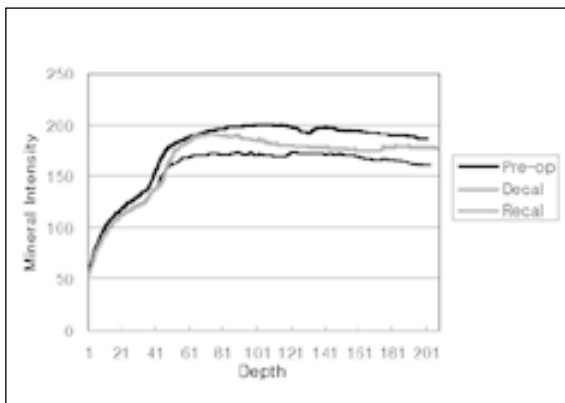


Fig. 6. Average mineral volume change of enamel specimen with Senstime

IV. 총괄 및 고찰

구강내에서 치아의 생리 화학적인 연속성은 주변용액의 조성과 화학적인 성질에 달려 있다³⁰⁾. 치아우식은 여러가지 요인에 의해 구강내의 무기질의 상실과 재침착의 항상성이 깨짐으로써 유발된다. 이러한 치아우식에 영향을 주는 인자는 여러 가지가 있지만 화학적으로는 경조직상실을 일으키는 산의 종류, 산의 농도나 pH, 또한 구강내 타액의 성분이 영향을 미친다. 이중 pH^{29,34,35,38,40)}가 임계치 보다 떨어지게 되면 법랑질에 비해서 주위의 환경이 저포화 상태로 되어 치아우식이 진행되게 된다. 이 때 주변환경을 과포화 (supersaturated)상태로 만들면 무기질의 침착이 다시 일어날 수 있다. 과포화 상태란 용해가능한 물질보다 자유이온이 많아서 결정을 생성할 수 있는 상태이며 반대로 자유이온의 활성도가 용해도 보다 작을때는 저포화(undersaturated)상태로 이때 염이 용해되는 것이다³¹⁾. 이러한 포화

도(Degree of saturation)는 pH와 자유활성 칼슘, 인, 불소 이온의 활성도와 용해도에 의해서 결정된다. 초기 법랑질 우식의 경우 형태학적으로 특징적인 모양을 나타내는데 표층에서는 광물질의 소실이 적어 건전하지만 표층하에서 광물질의 소실이 주로 일어나게 된다. 이러한 현상에 대해서 Brudevold³⁾는 표층 법랑질에는 불소, 아연 등의 원소가 풍부하고 수분이나 탄산염 등 탈회시 먼저 빠져나가는 원소가 적게 포함되어 있기 때문이라고 하였다. 그러나 Bunnocore²⁴⁾등은 표면 법랑질을 제거한 경우에도 표층하병소가 생기는 것을 관찰하여 다른 설명이 필요함을 밝혔다. Moreno¹⁹⁾등에 의하면 법랑질의 탈회율이 무기질의 칼슘, 인의 용해도와 완충액의 포화도 사이의 열역학적 용해도에 의해서 결정된다고 하였다. 우식의 과정은 탈회 용액의 포화도에 의해 영향을 받게 되는데, 치아가 담긴 용액이 저포화일 때 치아에서 무기질이 빠져나가서 탈회가 일어나게 되고 빠져나간 용액의 칼슘, 인 이온이 dicalcium phosphate dihydrate(DCPD)의 형태로 침착이 일어나 표면하층을 형성한다고 하였다. 따라서 표면하층이 형성되기 위해서는 이온이 확산되어 용해되는 속도가 침전되는 비율을 초과해서는 안되고, 법랑질 내의 상태가 침전이 일어날 수 있는 조건을 가지고 있어야 한다고 하였다. 즉 탈회용액이 역학적으로 DCPD를 형성할 수 있는 조건을 만족시켜야 표면하층 병소가 형성될 수 있는 것이다. 임상적으로는 초기 우식시 이러한 표면하층 병소를 관찰할 수가 있다. 이것은 표면의 미생물에 의한 산의 생성으로 표면의 초기용해가 일어나게 되고 법랑질의 결정과 법랑소주사이로 농도차에 의한 산의 유입이 일어나기 때문이다. 1974년 Larsen¹³⁾등에 의하면 법랑질의 결정의 용해는 이론적으로는 두가지 환경에서 일어난다고 하였다. 첫 번째는 주변의 환경이 저포화(undersaturated)상태 일 때이며 다른 한 가지는 불화인 회석에 대해서 주변의 용액이 과포화 상태라서 수산화인회

석 결정이 녹고 불화인회석이 형성되는 것을 말한다.

불소를 이용한 재광화의 난점은 이러한 포화도에 의한 불소의 확산이 표면에 제한적이라는데 있다. 우식 양상은 표면하층의 형성이 특징적인데 이러한 병소까지의 불소의 침투가 어려우며 이로 인하여 완전한 재석회화가 어렵다.

김³⁵⁾ 등의 연구에서도 불소의 농도가 높을 때 불소와 칼슘, 인의 상호작용에서 Ca-P crystal이 형성된 후 불화인회석으로 변형되면서 재광화 과정이 진행되는데, 병소의 외부에서 국소적으로 불소의 농도가 높아지면 이런 전구체가 형성되지 못한 채 불화인회석의 직접적인 침착이 일어나게 되고 결과적으로 깊은 부위에서 불소 농도가 감소되면서 불화인회석의 침착이 감소하게 되어, 전구체의 형성도 느려지게 되는 것으로 설명하였다.

인공우식을 일으키는데 범랑질에 주로 사용되는 방법은 artificial gel을 이용하는 방법^{9,22)}, partially saturated buffer를 이용한 방법¹⁵⁾, plaque bacteria⁵⁾를 이용하는 방법이 있다. 이중 partially saturated buffer를 이용한 방법이 gel에 비해 결과를 빠른 시간내에 관찰할 수 있으며 이⁴¹⁾ 등의 실험에 의하면 성분의 변화를 손쉽게 조절할 수 있어 표면하층의 형성을 용이하게 할 수 있고 병소의 형성에 관계하는 여러 인자를 분리해서 정확히 평가할 수 있는 장점이 있으므로 본 연구에서도 이 방법을 사용하였다. pH는 박³⁸⁾ 등의 실험에 의하면 범랑질에서 와동의 형성 없이 표면하층을 형성할 수 있다고 보고한 4.3으로 결정하였고 이⁴¹⁾ 나 박³⁸⁾ 등의 실험에서 밝힌 표면하층을 가장 잘 형성하는 포화도에 따라서 칼슘과 인의 농도를 결정하였다. 재광화 용액의 pH에 대해서는 김³⁵⁾ 등의 연구에서 pH 4.0에서 5.5까지 네 단계의 pH를 갖는 용액에 대한 범랑질의 재광화 효과를 비교한 결과 pH가 높을수록 재광화의 양은 늘어났으나 병소 본체의 완전한 재광화는 이루지 못했다. Margolis¹⁶⁾ 등은 범랑질에 1ppm의 불소가 포함된 탈회용액 처리시 충무기물의 손실이 관찰되지 않고 범랑질의 불소함유량이 증가한데 반해, 1ppm의 불소가 포함된 중성용액의 처리시에는 전혀 불소의 유입이 관찰되지 않음을 보고하였다. 이는 재광화에 있어서 산성용액이 중성용액보다 효과가 있음을 의미하며 전술한 불소의 침투기전을 이해하면 쉽게 알수 있는 결과이다.

박³⁹⁾ 등의 실험에서 여러 가지 포화도를 달리하여 실험실에서 탈회된 시편을 재광화시킨 결과 가장 결과가 좋았던 0.339로 결정하여 무기물의 성분을 조정하였다. 이는 김³⁶⁾ 등의 인공 구강모델에서도 식염수나 고농도의 불소를 포함하는 가글액을 비교하여 실험하였을때도 효과가 입증된 용액이다.

치아의 범랑질에서 무기질의 변화를 측정하는 방법 가운데 가장 일반적으로 치아표면의 microhardness를 측정하는 방법¹⁾, microradiograph¹⁰⁾, 편광현미경이나²³⁾ light scat-

tering²⁵⁾ 등의 방법이 많이 사용된다. 이중 표면의 미세경도를 측정하는 방법은 간단하게 재광화의 정도를 평가할 수는 있으나 정량적인 분석이나 부위에 따른 분석은 어렵다. Microradiography 방법은 무기질의 함량변화나 분포의 변화를 정량적으로 측정할 수 있어서 지금까지 널리 이용된 실용적인 방법이라고 할 수 있다. 본 연구에서도 동일 부위를 관찰 하기 위하여 gold grid를 부착하여 방사선 사진의 분석의 정확성을 높이하고자 하였다. 그러나 구강 내에 여러 날 동안 위치시키면서 grid의 탈락이나 window부위의 상실 등이 일어나 시편의 손실이 컸다.

치아우식을 예방하기 위한 불화물의 범랑질에 대한 작용기전은 동일하지 않으나 일반적으로는 수산화인회석과 반응하여 불화칼슘 및 불화인회석을 형성하여 치면 세균막에서 형성된 산에 의한 범랑질의 탈회를 억제하고 범랑질의 초기 우식병소의 재석회화를 촉진시키며 미생물의 성장을 억제하는 등의 작용으로 우식 예방효과를 나타낸다^{17,33,37)}. 최근의 불소를 이용하여 우식의 예방하는 개념은 불소의 농도의 중요성이 감소되고 있으며 타액과 plaque fluid내에 매일 적절한 불소의 농도를 유지시켜주는 것에 초점이 맞추어지고 있다³⁰⁾.

불화물의 효과를 비교할 때 in vitro에서는 재석회화의 속도가 구강 내에서보다 느리며²⁰⁾, 또한 불소용액의 구강내 잔존시간이 부위에 따라 다양하기 때문에 구강내에서와 유사한 조건에서 실험이 어렵다⁶⁾.

In vivo의 경우 타액의 pH, 유출량, 점조도, 치면 세균막의 활성도, 식이 습관 등에 따라 결과가 다양하게³²⁾ 나타날 수 있으나, 불화물의 효과를 비교하기 위해서는 구강내에서 비교하는 것이 보다 유용하리라 생각된다. 한편 본 실험에서는 구강내 위생상태가 양호하고 우식경험이 없는 대상자를 선택하여 개인에 따른 차이를 줄이고자 하였으며 본 실험 결과 세 군간의 통계학적인 유의차가 있었으며 재광화 실험용액군과 Senstime이 saline보다 유의성 있는 무기질의 재침착을 보였다. 본 실험에서 양성대조군으로 사용된 Senstime 은 세틸 베타인, 인크로민옥시드를 포함한 불화나트륨 제제로써 불소 농도가 90.48 ppm에 이른다. 김³⁶⁾ 등의 실험에서도 언급하였듯이 Senstime 제제는 재광화용액보다 높은 불소농도를 가지나 미세경도 측정이나 정량적인 분석에서도 재광화의 효과가 비슷하게 나타나는 것으로 보아 고농도의 불소가 재광화에 언제나 효과적이라고 할수 없으며 타액이나 구강내 환경에서 미세한 양의 불소라도 재광화의 효과를 가져올수 있다고 생각 되어진다. 실제로 타액내의 생리적인 불소의 농도는 0.001ppm이며 Larsen¹⁴⁾ 등은 타액이나 치태내의 1ppm미만의 불소도 산에 의한 치아의 탈회를 예방하는 데 효과적이라는 것을 밝혔다. 한⁴²⁾ 등의 실험에서도 불소의 농도가 높을수록 표층에 flouroap-tite가 너무 빠르게 침착되어서 재광화 용액이 계속적으로

내부로 침투하지 못하며 표층의 재광화 양상만이 진행되는 것으로 관찰되었다. 본 실험에서도 세 군 모두 표층에서 부터의 재광화 양상이 관찰되었으나, 특히 Senstime 군의 경우 고농도의 불소 접촉시에 재광화 실험용액보다 심부로 침투하지 못하는 것으로 나타났다. 식염수를 사용한 군에서도 재광화의 효과가 관찰되었는데 이는 타액내의 우식에 작용하는 여러 요소 때문으로 추측된다. 타액내에는 탈회로부터 치아를 보호하는 여러 요소가 있으며, bicarbonate는 산에 완충작용을 하며, 칼슘과 인 등 이온의 포화도를 유지시켜 준다. 또한 여러가지 macromolecule 이 존재하여 과포화된 타액내의 이온들이 결정을 형성하는 것을 억제하며 치면에 pellicle을 형성하여 탈회를 억제한다고 알려져 있다^{8,11)}.

결론적으로 본 실험에서 재광화 실험용액은 구강내 환경에서 식염수나 고농도의 불소를 함유한 Senstime® 제제보다 탈회된 치면에 더 깊숙히 침투하여 재광화 효과를 나타낼 수 있었다. 향후 본 실험용액의 임상적용을 위해서 연조직 반응이나 세포독성등이 더 연구되어야 할 것으로 생각되어지며 범랑질 뿐 아니라 상아질과 백악질우식에 대한 재광화효과도 추가적으로 검증되어야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

본 연구에서는 범랑질 시편에 초기 우식을 유발시킨 후 구강내 가철성 장치에 매몰하여 구강내 환경에서 15일간 재광화 실험용액에 노출시켰다. Saline과 Senstime®을 대조군으로 사용하였으며 microradiograph 방법을 이용하여 무기질의 침착되는 정도를 정량적으로 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 재광화용액은 재광화 완충용액 "R"과 Senstime®이 Saline에 비해서 유의성있게 높은 성적을 보였다. ($P<0.05$)
 2. 재광화 완충용액 "R" 이 다른 불소용액에 비해서 유의성있게 더 심부로의 재광화 양상을 나타냈다. ($P<0.05$)
- 이상의 연구에서 시판중인 불소 용액과 비교하여 재광화 완충용액 "R"이 구강내 환경에서 범랑질 초기 우식에 대하여 보다 우수한 재광화 효과가 있음이 확인 되었고 앞으로 임상활용이 가능한 유용한 용액이라 생각된다.

참고문헌

1. Arends J., Shuthof J., Jongbloed WL: Lesion depth and microhardness indentations on artificial white spot lesions., *Caries Res.*, 14:190-195, 1980.
2. Backer Dirks O. Post-eruptive changes in dental enamel., *J. Dent. Res.*, Sup.3, 45:503-511, 1966.
3. Brudevold F, McCann HG, Gron P in Wolstenholm. Caries resistant teeth as related to the chemistry of enamel. 121Churchill, London, 1965.
4. Chow, L. C., and Takagi, S.: Remineralization of Root Lesions with Concentrated Calcium and Phosphate Solutions., *Dent. Mat. J.*, 14:31-36, 1995.
5. Clarkson BH, Krell D, Wefel JS, Crall J, Feagin FF : In vitro caries-like lesion produced by Streptococcus mutans and Actinomyces viscosus using sucrose and starch., *J. Dent. Res.*, 66: 795-798, 1987.
6. Dawes C and Weatherell JA : Kinetics of fluoride in the oral fluids., *J. Dent. Res.*, 69:638, 1990.
7. Exterkate. R.A.M., Damen, J.J.M. and Ten Cate, J. M. : 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.
8. Hay DI, Smith DJ, Schluckebier, Moreno EC Relationship between concentration of human salivary statherin and inhibition of calcium phosphate precipitation in stimulated human parotid saliva., *J. Dent. Res.*, 63:857-63, 1984.
9. Heilman, J. R., and Wefel, J. S.: Effect of remineralization on demineralized root surfaces., *J. Dent. Res.*, 68:351, 1989.
10. Herkstrater F. M., Noordmans J., ten Bosch J.J.: Wavelength-independent microradiography: Its use to measure mineral changes in curved and thick samples., *Caries Res.*, 24:399, 1990.
11. Johnson M, Richardson CF, Bergey EJ, Levine MJ, Nancollas GH. The effect of human salivary crystallins and statherin on hydroxyapatite crystallization., *Arch oral Biol.*, 23:993-6, 1978.
12. Koulourides T. Implication of remineralization in the treatment of dental caries in processing symposium on current topics in dental caries in commemoration of the decennial anniversary of Hihon university school of dentistry at Matsudo, Matsudo, Japan. 198, 1982.
13. Larsen MJ. Chemically induced in vitro lesions in dental enamel., *Scand. J. Dental. Research.*, 82:496-509, 1974.
14. Larsen MJ. Degrees of saturation with respect to apatite in parotid saliva at various pH values., *Scand. J. Dent. Res.*, 83:7-12, 1975.
15. Margolis HC, Murphy BJ, Moreno EC : Development of caries-like lesions in partially saturated lactate buffers. *Caries Res.*, 19: 36-45, 1985.
16. Margolis HC, Moreno EC, Murphy BJ. Effect of low levels of fluoride in solution on enamel demineralization., *J. Dent. Res.*, 65(1):23-29, 1986.
17. Mellberg JG, Ripa LW, and Leske GS : Fluoride in preventive dentistry, theory and clinical application., *Quintessence*, 151-179, 1983.
18. Moreno, E. C. and Zahradnik, R. T.: Chemistry of enamel subsurface demineralization in vitro., *J. Dent. Res.*, 53:226-235, 1974.
19. Moreno EC, Zahradnik RT : Chemistry of enamel subsurface demineralization in vitro., *J. Dent. Res.*, 53: 226-235, 1974.
20. Ogaard B, Rolla G, and Helgeland K : Alkali soluble and alkali insoluble fluoride retention in demineralized enamel in vivo., *Scand J. Dent. Res.*, 91: 200, 1983.
21. Silverstone LM. Remineralization and enamel caries new concepts., *Dent. update*, 10, 1983.
22. Silverstone, L. M.: Observations on the dark zone in early enamel caries and artificial caries-like lesions., *Caries Res.*, 1:261-274, 1967.
23. Silverstone, L. M.: Structure of carious enamel,

- including the early lesion., Oral Sci Rev., 3:100-160, 1973.
24. Sperber GH, Bunnocore MG. Enamel surface in whitew spot formation. J. Dent. Res., 42:724-731, 1963.
25. Ten Bosch J.J., van der Mei H.C., Borsboom P.C.F.: Optical monitor of in vitro caries., Caries Res., 18: 540-548, 1984.
26. Ten Cate JM, Jongebloed WL, Arends J. Remineralization of artificial enamel lesions in vitro IV. Influence of and diphonates in short and long term remineralization., Caries Res., 15:60-69, 1981.
27. Ten Cate JM, Arends J. Remineralization of artificial enamel lesions in vitro III. A study of the deposition mechanism., Caries Res., 14:351-358, 1980.
28. Ten Cate JM, Arends J. Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. Caries Res., 11:277-286, 1977.
29. Theuns, H. M., Van Dijk, J. W. E., Driessens, F. C. M., and Groeneveld, A.: Effect of time, degree of saturation, pH and acid concentration of buffer solutions on the rate of in-vitro demineralization of human enamel., Archs Oral Biol., 30:37-42, 1985.
30. A Thylstrup and O. Fejerskov: Textbook of clinical cariology. Second edition, 231, 1994.
31. A Thylstrup and O. Fejerskov: Textbook of clinical cariology. Second edition, 240, 1994.
32. Wefel JS : Effects of fluorides on caries development and progression using intraoral models., J. Dent. Res., 69:626, 1990.
33. Wei, SHY : Clinical uses of fluorides. Lea & Febiger, 16-24, 1985.
34. 금기연, 이찬영: 수종의 유기산이 법랑질 인공우식의 형성에 미치는 영향., 대한치과보존학회지, 21: 470-488, 1996.
35. 김민경, 금기연, 이찬영: 법랑질 인공우식의 재광화에 미치는 pH의 영향에 관한 연구., 대한치과보존학회지, 22: 193-208, 1997.
36. 김소라, 이찬영, 금기연: pH 순환모델에서 과포화 용액의 초기 우식 법랑질에 대한 재광화 효과., 대한치과보존학회지, 26:341-349, 2001.
37. 김종배, 최유진, 백대일, 신승철, 김동기 : 임상예방치학, 이우출판사, 193-218, 1991.
38. 박성호, 이찬영, 이정석: 유산완충액을 이용한 인공치아우식의 형성에 미치는 산의 농도와 pH에 관한 연구., 대한치과보존학회지, 18: 277-290, 1993.
39. 박정원, 허복, 이찬영: 유기산 완충용액의 포화도가 법랑질 및 상아질의 재광화에 미치는 영향과 산화인회석의 AFM 관찰., 대한치과보존학회지, 25:459-473, 2000.
40. 오현석, 금기연, 노병덕, 이찬영: 산 완충용액의 pH가 인공치근 우식의 형성에 미치는 영향., 대한치과보존학회지, 24:495-502, 1999.
41. 이찬영: 산 완충용액을 이용한 인공치아우식 형성., 연세치대논문집, 7: 34-41, 1992.
42. 한원섭, 금기연, 이찬영: 인공치아우식의 재광화에 미치는 불소의 영향., 대한치과보존학회지, 21: 161-173, 1996.