

인공치아우식의 재광화에 미치는 불소의 영향

연세대학교 치과대학 보존학교실

한원섭 · 금기연 · 이찬영

Abstract

THE INFLUENCE OF FLUORIDE ON REMINERALIZATION OF ARTIFICIAL DENTAL CARIES

Won-Seop Han, Kee-Yeon Kum, Chan-Young Lee

Department of Dental Science, The Graduate School, Yonsei University

The cariostatic effect of fluoride had been established by many epidemiologic and experimental studies. But, there are still different views on the mechanism of cariostasis and remineralization, especially about the proper fluoride concentration. The purpose of this study is to ascertain the remineralization of caries lesion and influence of fluoride concentration which affect remineralization by a study based on dynamic mechanism. The subjects, sound permanent teeth without demineralization or crack, were immersed in lactic acid buffered demineralization solution for 4 days. Dental caries with surface zone and subsurface lesion were artificially produced. All specimens were immersed in lactic acid buffered remineralization solution which had fluoride concentrations of 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm for 10 days. Final conclusions were obtained by observing the specimens for every 10 days under polarized microscopy.

1. Remineralization of caries lesion as well as demineralization of enamel were produced by changing the degree of saturation of lactic acid buffer solution.
2. Remineralization of caries lesion was facilitated by fluoride ion in lactic acid buffer solution. but, remineralization of the entire caries lesion was not increased as fluoride ion concentration increased.

Key words : remineralization, enamel, fluoride

I. 서 론

치아우식은 선사시대부터 인류와 함께한 질병으로 문명의 발전과 함께 발병률이 계속 증가하였다. 치아우식은 사망에 이르는 질병은 아니지만 동통과 저작불능등의 불편을 주고 치료를 위하여 많은 인력과 비용 및 시간등의 경제적 손실을 야기한다. 많은 연구가와 임상가의 노력에 의해 치아우식이 감소하는 추세를 보이고 있으나 원인이 매우 다원적이어서 아직 극복되지 않고 있다. 일본, 미국 등의 나라에서는 국가적 관심을 갖고 우식예방에 노력하여 1980년대 들어 우식발생이 점차 감소하는 추세를 보이고 있으나 국내에서는 아직까지도 치아우식이 증가하는 추세를 보이고 있으며 1인당 평균 3개의 치아가 발거, 우식, 충전 등의 손상을 입고 있어 미국, 영국 등의 1.8개, 1.2개에 비해 두배 이상의 손상을 입고 있다.

치아우식은 구강미생물의 대사산물에 의해 치아의 경조직이 파괴되는 국소적 병변이다. 치아의 경조직은 광물상으로 이루어져 있고 우식발병이 산 용해와 연관이 있으므로 광물상의 산에 대한 용해도를 감소시켜 항우식효과를 얻고자 하는 노력이 계속되었다. 특히, 불소의 항우식작용이 알려진 이후 불소를 이용한 우식의 억제에 대하여 많은 연구가 행하여졌다.

이러한 연구는 크게 역학조사 및 실험연구로 나누어지는데 역학조사로는 Dean등(1942)에 의해 불소의 치아 우식억제 보고이후 Backer Ducks(1974)는 상수도 불소화가 우식예방효과가 있음을 보고하였고 Heifetz등(1978)은 학교 상수도 불소화의 우식예방효과를 보고하였다. 그러나, 이러한 실험들은 단지 불소의 우식억제효과만을 관찰한 실험이다. 즉, 모집단을 불소처리한 군과 불소처리하지 않은 군으로 나누어 장기간동안 관찰하여 불소처리한 군이 불소처리 하지 않은 군보다 우식발생이 적었다는 것을 보고한 실험들로 이러한 연구로 우식의 전반적인 감소추세를 확인할 수는 있으나 불소의 우식억제 기전 또는 이에 영향을 미치는 인자들의 연구에는 적당하지 않다. 이러한 역

학조사의 단점을 보완하기 위하여 실험연구가 행하여졌다. 이러한 실험연구를 통하여 우식 기전 및 재광화기전을 설명하고자 하는 노력이 계속되었는데 치아우식의 발병기전에 대하여는 Margolis(1990)가 치아우식의 과정이 단순한 탈회과정이고 치태에서 만들어진 유기산이 법랑질의 소공을 통해 확산되는 과정에서 표면층의 초기용해와 광물상의 침착이 동시에 일어나고 이렇게 표면층의 국소적인 평형관계가 유지되면 유기산이 thermodynamic driving force에 의해 내부로 더욱 확산되어 하부 법랑질이 용해되고 이 용해산물이 다시 역확산되어 표층부의 광물상의 침전을 일으키는 복잡한 현상이라고 설명하였고 Featherstone(1979)은 유기산이 unionized form으로 법랑질의 세공을 통해 확산되어 내부의 법랑질을 용해시키고 용해된 광물상이 다시 unionized form으로 되어 법랑질밖으로 나오는 simple diffusion model을 주장하였다. 그 밖에 Christoffersen과 Arends(1982)는 법랑질표면의 세공을 통하여 이온확산이 일어나 용해가 일어나지만 이러한 용해는 inhibitor molecule에 의해 억제되어 병소깊이가 시간의 세제곱에 비례한다고 주장하였으나 Moreno와 Zahradnik(1973)은 방해요소가 포함되어 있지 않은 완충용액의 포화도를 변화시켜 실험하여 건전해보이는 우식표면층은 동력학적으로 탈회와 재침착이 동시에 일어나는 과정에서 탈회 후 선택적으로 재광화되었고 방해요소 없이도 우식표면층이 관찰된다고 주장하였다.

또한, 우식억제 및 재광화기전에 대하여도 많은 연구가들이 실험하였는데 Nikiforuk등(1962)은 법랑질 형성시 불소이온이 존재하면 carbonate content가 감소하는데 이러한 carbonate content의 감소는 광물상의 solubility를 감소시켜 우식에 대한 저항성을 증가시킨다고 주장하였으며 Moreno(1985)는 solubility diagram을 통하여 법랑질과 dicalcium phosphate dihydrate의 용해를 나타내고 이들이 만나는 점을 singular point라고 하였으며 이 상부에서 법랑질이 dicalcium phosphate dihydrate로 바뀌면서 법랑질표면에 침착한다고 하였다.

우식기전 및 재광화기전의 정립과 함께 이러한 기전을 이용하여 우식의 억제 뿐 아니라 이미 형성된 초기우식병소를 재광화시키고자 하는 노력을 계속하였다. Varughese와 Moreno (1981)는 1 ppm농도의 불소첨가시 acquired pellicle이 형성된 법랑질 표면에서의 결정성장을 향상시킨다고 보고하였으며 Ten cate등(1977)은 1 ppm의 불소 첨가시 fluoroapatite 침착에 의해 불소가 없는 경우보다 2배 이상 재광화가 일어났다고 보고하였다. 그러나, Lamers 등(1990)은 2 ppm의 불소첨가시 fluoroapatite의 표면 침착에 의해 무기질의 심부 이동이 차단되어 불소가 없는 경우보다 재석회화가 억제됨을 보고하였고 Amjad와 Nancolas(1979)는 0.1-1 ppm의 불소수준에서는 재광화가 방해된다고 보고하였다.

이와같이 아직까지도 치아우식의 발병기전 및 재광화기전에 대하여 합의된 개념이 도출되지 않은 상태로 여러 이견이 존재하고 특히 재광화에 적당한 불소농도에 대하여는 상이한 이론이 존재하므로 이에 저자는 동력학적인 기전에 입각한 우식의 재광화실험을 통하여 우식병소의 재광화를 확인하고 용액내 불소가 치아우식의 재광화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 실험을 시행하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 시편제작

발치한 지 30일 이내의 영구치아를 대상으로 하였다. 선택한 치아를 백색반점이나 법랑질의 결손이 없는지를 확인한 후 치아에 부착된 물질을 periodontal currette으로 제거하고 불소가 포함되지 않은 pumice로 치면을 연마하였으며

초음파 세척기에서 10분간 세정하고 증류수로 세척 건조하였다. 건조한 치아는 5 cc용 실린지를 이용하여 높이 2 cm, 직경 1 cm의 tube를 만들고 치과용 아크릴 레진을 이용하여 치근부위만 매몰하고 경화 후 low speed diamond wheel saw (South Bay Technology, U. S. A.)을 이용하여 치아의 장축에 평행하게 400-500 mm의 절편을 만든 다음 # 800사포를 이용하여 100 mm 두께로 연마하였다. 연마 후 시편은 협설면쪽의 손상이나 균열이 없는 부위중 약 2-3 mm정도의 window를 제외하고 bonding agent (Scotchbond MP, 3M, U. S. A)와 nail varnish를 도포하였다.

2. 탈회완충용액의 조제

① 30%유산용액(SIGMA Co., 분자량 90.09, 밀도 1.080)부터 1M의 유산용액을 조제하여 이를 유산용액의 stock solution으로 하였다.

② 염화 칼슘 분말 (SIGMA Co., 분자량147.0)로부터 0.3M의 용액을 조제하고 이를 염화 칼슘용액의 stock solution으로 하였다.

③ 인산칼륨분말(SIGMA Co., 분자량 136.1)로부터 0.9M의 인산칼륨용액을 조제하고 이를 인산칼륨용액의 stock solution으로 하였다.

④ 우식병소가 형성되는 산완충용액을 만들기 위하여 Ca^{2+} , PO_4^{3-} , lactic acid를 stock solution으로 부터 취한다음 pH meter와 8 N KOH를이용하여 pH 4.3을 맞추어 500ml working solution을 만들고 이 용액의 Ca^{2+} , PO_4^{3-} 이온농도를 자동분석기 (Hitachi 736-40, Hitachi, Japan)를 이용하여 다시 정량분석하였다. (Table. 1)

Table 1. The initial composition of demineralization solution

Lactic acid (mM)	10
Ca^{2+} (mM)	15.5
PO_4^{3-} (mM)	9.4
Sodium azide (mM)	3.08
pH	4.3

Table 2. The initial composition of remineralization solution

Lactic acid (mM)	10	10	10
Ca ²⁺ (mM)	28.5	27.2	28.6
PO ₄ ³⁻ (mM)	9.5	9.9	9.6
Sodium azide (mM)	3.08	3.08	3.08
F ⁻ (ppm)	1	2	4
pH	4.3	4.3	4.3

3. 인공적인 치아우식의 형성

50 cc 플라스틱 통에 완충액을 채우고 시편을 통의 중앙에 위치하도록 설치한 후 25°C 항온조에 유지시켰다. 24시간 간격으로 증류수가 침윤된 상태에서 그 변화를 편광현미경을 통하여 관찰하고 4일 후 시편을 완충액에서 꺼내 증류수에 세척하고 건조하여 보관하였다.

4. 재광화 완충용액의 조제

1) 염화 불소분말 (SIGMA Co., 분자량 41.99)로 부터 100 ppm (5.2632mM)의 용액을 조제하여 이를 염화불소 용액의 stock solution으로 하였다.

2) Ca²⁺, PO₄³⁻, lactic acid, fluoride를 stock solution으로 부터 취한다음 pH meter와 8 N KOH를 이용하여 pH 4.3을 맞추어 500 ml working solution을 만들고 이 용액의 Ca²⁺, PO₄³⁻ 이온농도를 자동분석기 (Hitachi 736-40, Hitachi, Japan)를 이용하여 다시 정량분석하였다. (Table. 2)

5. 재광화

각 군당 15개씩의 50 cc 플라스틱 통에 완충액을 채우고 인공우식이 형성된 시편을 통의 중앙에 위치하도록 설치한 후 25°C 항온조에 유지시켰다. 24시간 간격으로 10일간 증류수가 침윤된 상태에서 그 변화를 편광현미경을 통하여 관찰하였다.

III. 실험성적

1. 탈회조건

대부분의 시편에서 우식표면층이 비교적 연

속적으로 관찰된다(Fig. 1,4). 이러한 우식표면층의 폭은 병소의 중앙부위는 얇고 인접병소와 연결부위는 두껍게 관찰되었으며 Retzius선조가 시작되는 부위에서는 얇거나 관찰되지 않았다(Fig. 4). 우식표면하층은 중앙부에서 병소 외곽으로 퍼져나가는 양상으로 관찰되며 병소중앙부는 병소외곽보다 뚜렷한 양성복굴절을 보였고 (Fig. 1,4,7) 인접병소와의 연결부위도 양성복굴절을 보였다(Fig. 1,4). 병소 하방 최외곽부위는 Retzius선조를 따라 진행되어 톱날형태를 형성하였으며 (Fig. 1,4,7) 우식표면하층 하방으로 isotropic zone이 형성되었으며(Fig 1,4,7) 일부에서는 우식표면하층 형성없이 전체 병소가 isotropic zone으로 관찰되었다 (Fig 1,7).

2. 재광화조건

시간경과에 따라 세 군 모두 재광화의 소견을 보였다. 그러나 세 군의 재광화 소견은 서로 달랐다. 1군은 세 군중 재광화의 양상이 가장 적은 군으로 우식표면층의 폭증가가 2, 3군에 비해 뚜렷하지 않았으며 병소 본체 폭감소도 미미하였다. 양성복굴절을 보이는 우식표면하층의 폭감소는 거의 관찰되지 않았으나 양성복굴절 정도가 감소하여 짙은 갈색으로 관찰되던 병소가 황색으로 관찰되었고 병소주변의 isotropic zone의 폭은 많이 감소하였다(Fig. 1,2,3). 2군의 경우 재광화의 소견이 가장 뚜렷하였다. 재광화의 양상은 표층의 폭증가와 병소 본체의 폭감소가 동시에 진행되었으며 병소중앙을 주위로 최외곽층은 완전한 음성복굴절을 보였고 병소중앙부와 완전히 재광화된 최외곽층사이에 isotropic zone이 두껍게 자리

잡았다. 시편에 따라서는 뚜렷이 보이던 우식 표면하층이 완전히 isotropic zone으로 바뀌기도 하였다(Fig. 4, 5, 6). 3군의 경우 2군과 마찬가지로 표층의 폭증가와 함께 병소 본체의 폭이 감소하였으나 양상은 2군과 달라 병소 본체의 폭 감소보다 표층의 폭 증가가 더욱 뚜렷하였다. 병소하방의 가장자리는 양성복굴절정도가 감소하였으나 2군과 같은 전체병소 본체의 폭 감소는 관찰되지 않았다(Fig. 7, 8, 9). 각각의 군의 시간경과 및 시편에 따른 특징적 소견은 다음과 같았다.

① 1군

재광화의 양상은 2, 3군에 비해 적었지만 비교적 계속적인 재광화 양상이 관찰되었다. 시간 경과에 따른 소견은 전체 10일간의 관찰 기간중 isotropic zone의 폭 감소와 refractory index의 감소가 처음 4일간 관찰되었으나 병소 본체의 폭 감소는 거의 관찰되지 않았다. 우식표면층의 폭 증가는 초기에 약간 증가하였으며 2, 3군에 비해 그 정도는 미미하였다. 시편에 따른 차이는 거의 없어 총 15개의 시편이 비슷한 소견을 보였다 (Fig. 1, 2, 3).

② 2군

처음 24시간 에서 재광화의 양상이 가장 뚜렷하였다. 뚜렷하게 양성복굴절을 보이던 우식표면하층이 중심부로 향하여 축소되었고 그 주위로 positive zone으로 보이는 isotropic zone의 폭이 증가하였으며 병소의 가장자리의 법랑소주와 평행하게 관찰되는 demineralization band가 더욱 뚜렷하게 관찰되었다. 4일까지는 계속적인 재광화가 진행되어 isotropic zone이 완전히 음성복굴절로 관찰되어 병소 본체의 폭이 감소되었으며 병소의 refractory index도 급격히 감소하였다(Fig. 5). 4일부터 10일까지는 우식표면층의 폭 증가는 관찰되었으나 더 이상의 병소본체의 폭 감소는 관찰되지 않았다. 시편에 따른 차이는 총 15개의 시편이 12개의 시편은 전체병소의 재광화양상을 보였지만 1개의 시편에서는 3군에서 주로 관찰되는 빠른 우식표면층의 폭 증가가 관찰되었고 또 다른 2개의 시편에서는 1군에서와 마찬가지로 전체병소 본체 폭의 큰 변화가 없음이 관찰되

었다.

③ 3군

시간의 경과에 따른 전체병소의 재광화는 2군에 비해 적었으나 우식표면층 폭 증가는 2군에 비해 많았다. 우식표면층 폭 증가는 10일간 계속되었으나 그 정도는 처음 4일간이 가장 뚜렷하였다. 우식표면층은 1일에서는 Retzius 선조를 따라 적은 양성 복굴절을 나타내는 부위가 나타나기 시작하였고 2, 3일 군에서는 그 폭이 계속 증가하여 최표층은 완전히 음성복굴절을 보였다(Fig. 8). 음성복굴절을 보이는 최표층은 불규칙하였고 그 하방에 양성복굴절정도가 낮은 부위가 띠를 이루어 관찰되었다(Fig. 9). 시편에 따른 차이는 총 15개의 시편중 2개가 2군에서 관찰된 isotropic zone의 형성과 함께 전체병소 본체 폭의 급격한 감소가 관찰되었으며 1개의 시편에서는 1군과 마찬가지로 전체병소 본체 폭의 큰 변화가 관찰되지 않았다.

IV. 총괄 및 고찰

재광화연구에 사용되는 실험방법으로는 microradiography (Groeneveld 등, 1974), 편광현미경 (Daling, 1956., Silverstone, 1968), 미세경도측정법(Featherstone 등, 1983), 전자현미경(Haikel 등, 1983), x-ray diffraction study (Aoba 등, 1978), calcium fluoride등의 미세이온 측정법, electron probe microanalysis (Groeneveld 등, 1974) 등이 있다. 이 중 전자현미경은 crystal 구조의 실험전후의 변화를 정성적으로 가장 확실히 관찰할 수 있으나 우식표면층과 우식표면하층간의 수축차이로 정량적분석은 적당하지 않으며(J. Arends 등, 1986) microradiography에서는 병소부위를 soft x-ray로 촬영후 densitometric analysis 시행하여 실험전후의 광물의 가감정도를 확인할 수 있고 또한 부위별 시간별 병소의 정성적분석도 가능하다(Groeneveld 등, 1974). x-ray diffraction test도 particle size와 lattice imperfection을 결정하여 crystallites size 및 crystal growth 정도를 정성적으로 분석하는 방법으로 동일선상의 정량적분석도 가능하다(Aoba 등, 19

78). 편광현미경관찰도 정성적, 정량적분석이 모두 가능한 방법이다. 편광현미경상에서 관찰하여 정성적분석을 시행하고 또한 birefringence curve를 구하여 정량적분석도 가능하다 (Silverstone등, 1981). 본 연구에서는 재광화 효과를 관찰하기 위하여 편광현미경을 사용하였으나 정성적분석만을 시행하였으므로 정확한 재광화 기전을 해석하기에는 한계가 있다.

Silverstone은 (1968)은 초기의 우식병소를 관찰하여 특징적인 조직학적 소견에 따라 4개의 층으로 나누었다. 물을 용매로 하여 편광현미경으로 관찰시 음성복굴절의 형태로 나타나는 우식표면층, 양성복굴절의 형태로 관찰되는 우식표면하층, quinoline을 용매로 하여 관찰시 양성복굴절을 나타내는 암층과 영구치의 약 50% 정도에서 나타나는 투명층으로 분류하였다. 본 연구에서는 Silverstone 관찰하여 보고한 4개의 층중 우식표면층과 우식표면하층만이 관찰되었다. 암층과 투명층은 관찰되지 않고 이 부위에 isotropic zone이 관찰되었다. 이러한 현상이 생기는 이유는 Silverstone등이 quinoline을 용매로 하여 병소를 관찰한데 반하여 본 연구에서는 물을 용매로 병소를 관찰하였기 때문에 quinoline에서 암층으로 관찰된 병소가 isotropic zone으로 관찰된 것 같다. 이러한 isotropic zone은 Darling(1958)에 의해서도 보고되었는데 물을 용매로 편광 현미경 관찰시 5%보다 적은 공간존재시는 음성복굴절또는 고유복굴절로 관찰되고 5% 공간 존재시는 isotropic 한 복굴절로 관찰되고 5%보다 많은 공간 존재시에는 양성복굴절로 관찰되었다고 보고하였다. Silverstone등(1981)도 이러한 isotropic zone이 재광화가 일어남과 함께 우식병소의 가장자리로부터 법랑표면쪽으로 급격히 증가함을 보고하였으며 isotropic zone의 증가가 우식병소의 재광화를 의미한다고 하였다. 이러한 관찰을 통하여 양성복굴절을 보이는 우식병소의 재광화는 이러한 isotropic zone을 거쳐 음성복굴절로 관찰되는 정상법랑질에 이름을 알 수 있었다. 본 연구에서도 불소의 농도가 2ppm인 2군의경우 isotropic zone의 증가와 함께 재광화양상이 관찰되었다. 또한 1,

2군에서는 isotropic zone의 증가와 함께 법랑소주와 평행하게 관찰되는 demineralization band가 관찰되었는데 이는 법랑질의 구조와 연관이 깊은 것으로 생각된다. demineralization band의 관찰은 interprismatic space가 가장 나중까지 재광화 되지않아 이러한 띠의 형상을 보이는 것으로 생각된다.

편광현미경으로 관찰시 음성복굴절을 보이는 우식표면층과 양성복굴절로 관찰되는 우식표면하층이 뚜렷이 관찰되었다. 이러한 조직학적 소견은 대부분의 연구가에 의해 관찰되었는데 이를 분석하는 방법은 조금씩 차이가 있다. Brudevold등(1968)은 표층 법랑질 자체의 화학적 특성때문에 우식에 저항성을 가진다고 하였고 Christoffersen과 Arends(1982)는 구강내에서 기인된 억제인자가 우식진행동안 법랑질로 확산되어 표면용해를 막는다고 하였다. 그러나, 이러한 가설들은 Aoba(1978), Sperber(1963)등에 의해 옳지 않음이 밝혀졌다. 이에 반해 Moreno등(1974)은 이러한 우식 표층의 형성이 내부에서 용해된 무기질이 농도의 차이에 의해 외부로 확산되는 과정에서 물리화학적 기전에 의해 재침착이 일어난다고 주장하였다. 즉 동시발생적인 무기질의 용해와 재침착이 표층에서 일어남을 설명하였다.

본 실험을 포함한 대부분의 연구가 인공우식병소를 대상으로 하였는데 그 이유는 일반적으로 구강내 환경에서의 재광화가 법랑질 결정이 유기물질로 부분적으로 둘러싸여 반응할 수 있는 표면적이 적고 외부용액으로의 이온의 확산속도가 느려 재광화를 제한하며 법랑질 인회석이 서로 다른조성의 인회석으로 구성되어 Ca/P비가 다양하며 타액단백질, 치태세균과 같은 침전 방해인자가 존재하기 때문에 인공우식병소의 재광화보다 복잡하고 시간이 오래 걸리기 때문이다(Ten cate, 1990). 또한, 인공우식 병소로 재광화 연구시 병소를 비교적 규격화하여 재현함으로써 실험상 변이를 최소화 할 수 있으며 어느 정도 넓은 병소를 얻을 수 있어 여러가지 실험조건을 한 병소에 적용시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다(Featherstone, 1983). 인공우식형성방법으로는 Silverstone

(1967)이 제안한 acid gel system과 Moreno등 (1974)이 제안한 acid buffer system등이 있다. acid gel system은 자연치아의 초기우식과 유사한 형태의 병소를 재현한다는 장점을 가지고 있으나 형성기간이 너무 길다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 인공우식병소형성방법중 Moreno(1974), 이(1992)등이 사용한 acid buffer system을 사용하였다. 이러한 acid buffer system으로 형성된 인공치아우식은 수일내에 병소를 진행시킬 수 있어 단 시간내에 탈회 및 재광화등의 실험을 진행시킬 수 있고 병소형성에 관계하는 여러 인자를 분리해서 정확히 평가할 수 있는 장점을 가진데 반해 우식형성이 빠름으로서 압층, 투명층등의 자연우식병소에서 관찰되는 특징을 관찰할 수 없다. 그러나, 최근 들어 degree of saturation을 변화시켜 우식진행을 느리게하여 자연우식병소와 유사한 병소를 형성하려는 노력이 계속되고 있다.

재광화의 양상은 크게 두가지로 구분되어 관찰되었다. 대부분의 연구에서는 우식병소 전체에 무기질이 침착하여 탈회가 적게 일어났던 병소의 가장자리부터 재광화의 양상이 관찰되었다. 이러한 재광화는 용액상태로 유리된 불소이온이 법랑질내부로 침투하여 치아의 탈회를 억제하고 무기질의 침착을 유도하기 때문이라고 생각된다(Silverstone, 1977; Ten cate와 Duijster, 1982; Arends등, 1990.). 이러한 무기질의 침착에 따라 양성복굴절로 보이던 병소가 isotropic zone으로 변하고 계속해서 고유의 음성복굴절로 회복됨이 관찰되었다. 나머지 하나는 우식표면층의 지속적인 증가이다. 이러한 우식표면층의 증가는 법랑질표면에 dicalcium phosphate dihydrate와 fluoroapatite의 침착에 의해 우식표면층이 증가하는 현상으로 Melberg와 Chomicki(1983)는 불소가 치질에 강하게 결합하여 fluoroapatite를 형성하여 산에 의한 용해가 감소한다고 주장하였지만 이러한 우식표면층의 증가는 지속적인 불소이온의 병소 내부로의 이동을 억제하여 전체병소의 재광화에는 오히려 방해요소로 작용한 것 같다. 본 연구에서의 결과를 분석하면 재광화중 이러한 두가지 재광화양상이 동시에

일어났다. 1군에서는 탈회와 재광화의 현상이 동시에 일어났지만 이러한 현상이 균형을 이루어 전체병소의 큰 변화는 관찰되지 않았다고 생각되며 2군에서는 재광화가 탈회에 우세하였는데 이 때 적절한 표층의 재광화와 내부로의 불소이온의 penetration이 동시에 일어나 결국 전체 병소의 재광화가 관찰되었다고 생각된다. 3군에서는 2군과 마찬가지로 탈회보다는 재광화가 우세하였지만 표면층에 fluoroapatite가 너무 빨리 침착되어 재광화용액이 계속적으로 내부로 침투하지 못하여 표층에서의 재광화만이 관찰되었다고 생각된다. 이러한 관찰은 Lamers 등(1990)의 불소침가시 fluoroapatite의 표면침착에 의해 무기질의 심부이동이 차단되어 재석회화가 억제된다는 관찰을 뒷받침한다.

동일한 조건하에서 실험을 시행하여도 우식 발생 및 재광화의 양상은 치아에 따라 혹은 같은 치아내에서도 부위에 따라 조금씩 달랐다. 이러한 현상은 치령, 구강내 존재시 환경의 차이, 식이습관, 불소도포, 법랑질조성의 차이등에 기인하며 본 연구에서는 이러한 실험상의 오차를 줄이기 위하여 1 치아당 3개 또는 6개의 시편을 제작하여 3군에 골고루 분배하여 실험하였다. 그러나, 이러한 실험상의 노력에도 불구하고 3군의 경우 총 15개의 시편중 2개의 시편에서는 다른 시편과 달리 2군에서 관찰된 전체병소의 재광화 양상이 관찰되었고 또 다른 1개의 시편에서는 전혀 재광화의 양상이 관찰되지 않았으며 2군에서도 총 15개의 시편중 3개에서 우식표면층의 빠른 증가로 전체병소폭의 감소가 관찰되지 않았다.

재광화에 필요한 시간에대해서는 Busckes등 (1985)은 bovine incisor를 이용하여 실험하여 360시간이 적당하다고 하였고 Rooij와 Nancollas(1984)는 10-15시간후 재광화가 정제한다고 하였으며 Ten cate등(1982)은 3일째부터 재광화가 감소한다고 하였다. 이러한 현상은 시간의 경과에 따라 표층의 fluoroapatite 침착이 증가하여 더 이상의 재광화용액의 내부 유입이 억제되어 일어나는 것으로 생각된다. 본 연구 결과에서도 4일부터 재광화가 감소함을 관찰할 수 있었는데 이는 앞의 세 연구의 결과에 비해

재광화가 천천히 일어남을 알 수 있다. 이러한 차이는 앞에 언급한 세 연구 모두 bovine teeth를 사용한 실험인데 반해 본 연구는 human permanent teeth를 시편으로 사용하였기 때문인 것 같다. human teeth와 bovine teeth간의 차이는 Featherstone과 Mellberg등(1981)이 연구하였는데 동일한 실험조건에서 탈회시 bovine permanent teeth의 병소폭이 human permanent teeth에 비해 1.7배 많이 형성됨을 보고하였다.

재광화용액의 무기질농도도 재광화에 많은 영향을 미치는 요소이다. 대부분의 실험에서는 calcium이 부분적으로 포화된 약 1.5-3mM 농도로 연구하여 재광화됨을 보고하였고(Ten cate, 1982. : Silverstone 1981) Margolis등(1986)과 Pearce등(1985)은 11-12mM의 포화된 농도로 연구하여 재광화됨을 보고하였다. 이러한 연구는 실험방법, 불소의 첨가유무등의 실험방법이 다르기 때문에 직접적인 비교는 어렵다. 직접적 비교를 통한 재광화 용액내 무기질농도의 재광화효과를 비교한 실험은 Silverstone등에 의해 연구되었다. Silverstone등(1981)은 미포화된 calcium, phosphate농도에서도 1 ppm 불소첨가시 재광화가 일어난다고 하였는데 이때 1mM calcium농도에서 오히려 재광화가 잘 일어나 3 mM calcium농도시 약 20%가 일어나는데 반해 약 69%의 재광화가 일어남을 보고하였다. 그러나, 자연우식병소의 재광화에 중요한 역할을 하는 치태용액은 calcium농도와 phosphate 농도가 각각 7.07 mMole, 23.2mMole로 타액이나 혈액보다 포화되어있다(Moreno와 Margolis, 1988).

재광화에 있어서의 pH의 효과에 대해서는 많은 연구가 있었다. 재광화에 대한 pH의 영향에 대해서는 아직 많은 논란이 있는데 Featherstone등(1981)은 재석회화에 있어 적당한 pH가 무기질의 침착이 가능하며 법랑질의 용해가 일어나지 않는 pH 6-8이 적당하다고 하였고 Margolis등(1986)은 1 ppm의 불소가 포함된 탈회용액과 중성용액에 노출된 법랑질을 biopsy하여 탈회용액처리시 총 광물질의 손실이 관찰되지 않고 법랑질의 불소 함유량이 증가

한데 반해 중성용액처리시 전혀 불소의 유입이 관찰되지 않음을 보고하였다. 이는 재광화에 있어 산성용액이 중성용액보다 효과가 있음을 의미하는 것이다. 또한 치태내의 pH는 5.69로 타액이나 혈액의 6.7, 7.35보다 낮았으며(Moreno와 Margolis, 1988) 치아우식유발미생물 중 가장 큰 역할을 차지하는 S. mutans에 의해 sucrose가 분해되어 lactic acid를 형성되면 이러한 산에 의하여 pH가 4.3까지 떨어진다(Nikiforuk, 1985). 이러한 여러 연구결과를 통하여 본 연구에서는 calcium과 phosphate가 포화된 pH 4.3의 유산완충액을 실험용액으로 사용하였다.

재광화에 있어서의 불소의 첨가유무 및 적절한 농도에 대해서도 많은 논란이 되어왔다. 불소첨가시 fluoroapatite의 형성에 의해 유기산에 대해 용해 저항성이 증가된다는 사실에는 견해가 일치하나 Ten cate등(1977)은 1 ppm의 불소 첨가시 fluoroapatite 침착에 의해 불소가 없는 경우보다 2배 이상 재광화가 일어났다고 보고한 반면 Lammers 등(1990)은 2 ppm의 불소첨가시 fluoroapatite의 표면침착에 의해 무기질의 심부이동이 차단되어 불소가 없는 경우보다 재석회화가 억제됨을 보고하였다. 이러한 결과는 각각의 실험조건이 모두 다르기 때문에 직접적으로 비교할 수는 없다. 법랑질의 우식병소의 재광화에 필요한 적절한 불소농도에 대하여도 많은 이론이 존재한다. Ten cate등(1990)은 1 ppm 불소 사용시 효과가 있음을 보고하였고 Varughese등(1981)은 0.1-2 ppm 불소농도에서 부분적으로 불화된 수산화 인회석의 결정성장이 촉진된다고 하였으나 Amjad와 Nancollas(1979)는 0.1-1 ppm의 불소수준에서는 재광화가 방해된다고 보고하였다.

본 실험이 있기 전에 많은 연구가에 의해 연구가 진행되었다. 그러나 이러한 연구들의 직접적인 비교가 불가능하다. 각각의 연구자의 연구결과를 비교평가하기 위해서는 실험조건이 균격화가 필요한데 아직까지는 연구자에 따라 재광화 영향을 주는 우식형성방법, 재석회화용액의 무기질농도, pH, 불소의 첨가유무, 재석회화에 소요된시간등이 모두 다르기 때문이

다. 앞으로 이러한 여러 연구간의 상관관계를 연구하여 자료를 계통화하는 노력이 필요하리라 생각되며 또한 본 실험에서는 Moreno등이 제안한 acid buffer system을 이용하여 단시간내 탈회 및 재광화실험을 시행하였는데 앞으로 계속적인 실험을 통하여 병소형성 및 재광화시 영향을 미치는 인자를 찾는 노력이 계속되어야 할 것이다.

V. 결 론

불소의 우식억제 효과는 역학조사 및 실험 연구를 통하여 입증되었다. 그러나, 불소의 우식억제 및 재광화기전에 대하여는 아직 논란이 많은 상태로 여러 이견이 존재하고 특히 재광화에 적당한 불소농도에 대하여는 상이한 이론이 존재하므로 이에 저자는 동력학적인 기전에 입각한 우식의 재광화실험을 통하여 우식병소의 재광화양상을 확인하고 용액내 불소가 치아우식의 재광화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 본 실험을 시행하였다. 건전 영구치에서 형성한 치아절편을 유산완충 탈회 용액에 담그어 우식표면층과 우식표면하층을 가지는 인공치아우식을 형성한 후 불소농도에 따른 재광화효과를 관찰하기 위해 불소농도가 1, 2, 4 ppm인 과포화 유산완충용액에서 24 시간 간격으로 10일간 편광현미경으로 진행양상을 관찰하였다. 이러한 관찰을 통하여 불소농도가 2 ppm 인 2군에서의 재광화가 불소농도가 1 ppm, 4 ppm인 1군 3군에서 보다 뚜렷함과 이러한 재광화현상이 실험초기 4일간에서 가장 뚜렷함을 확인하였으며 이러한 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유산완충용액의 범랑질에 대한 포화도를 변화시킴으로서 범랑질의 탈회 뿐 만 아니라 우식병소의 재광화도 가능하다.
2. 유산완충용액내 불소이온은 범랑질의 재광화를 촉진한다. 그러나, 불소이온 농도가 증가함에 따라 전체 우식 병소의 재광화가 증가하지는 않는다.

1. Amjad, Z., Nancollas, G.H. : Effect of fluoride on the growth of hydroxyapatite and human dental enamel. *Caries Res.* 13 : 250 - 258, 1979.
2. Aoba, T., Okazaki, M., Takahashi, J., Moriwaki, Y. : X-ray diffraction study on remineralization using synthetic hydroxyapatite pellets. *Caries Res.* 12 : 223-230, 1978.
3. Arends, J. : Thickness of enamel layers removed by HClO₄ etching . *Caries Res.* 16 : 129-137, 1982.
4. Arends, J., Christoffersen, J. : The nature of early caries lesions in enamel. *J. Dent. Res.* 65 : 2-11, 1986.
5. Backer dirks, O. : The benefits of water fluoridation. *Caries Res.* 8(Suppl.) : 2-15, 1974.
6. Brudevold, F., McCann, H.G. : Enamel solubility tests and their significance in regard to dental caries, *Ann.N.Y.Acad.Sci.* 153 : 20-51, 1968.
7. Buskes, J.A.K.M., Christoffersen, J., Arends, J. : Lesion formation and lesion remineralization in enamel under constant composition conditions. *Caries Res.* 19 : 490-496, 1985.
8. Chow, L.C., Takagi, S., Shih, S. : Effect of a two solution fluoride mouthrinse on remineralization of enamel lesions in vitro. *J. Dent. Res* 71(3) : 443-447, 1992.
9. Christoffersen, J., Arends, J. : Progress of artificial carious lesions in enamel, *Caries Res.* 16 : 433-439, 1982.
10. Darling, A.I. : Studies of the Early Lesions of Enamel Caries its Nature, Mode of spread, and Points of Entry. *Brit. Dent. J.* 8 : 119-135, 1958.
11. Darling .A.I. : Studies of the early lesion of enamel caries with transmitted light.

- polarised light and radiography : *Brit. Dent. J.* 6 : 289–341, 1956.
12. Dean, H.T., Arnold, F.A., Elvove, E. : Domestic water and dental caries. *V.Publ. Hith.Rep.* 57 : 1155–1179, 1942.
 13. Featherstone, J.D.B. : Remineralization of artificial caries like lesions in vivo by a self administered mouthrinse or paste. *Caries Res.* 16 : 235–242, 1982.
 14. Featherstone, J.D.B., : Comparison of artificial caries like lesions by quantitative microradiography and microhardness profiles. *Caries Res.* 17 : 385–391, 1983.
 15. Featherstone, J.D.B., Mellberg, J.R. : Relative Rates of Progress of Artificial Carious Lesions in Bovine, Ovine and Human Enamel : *Caries Res.* 15 : 109–114, 1981.
 16. Featherstone, J.D.B., Rodgers, B.E., Smith, M.W. : Physicochemical requirements for rapid remineralization of early carious lesions. *Caries Res.* 15 : 221–235, 1981.
 17. Gelhard, T.B.F.M. : Rehardening of artificial enamel lesion in vivo. *Caries Res.* 13 : 80–83, 1979.
 18. Groeneveld A., Jongebloed, W., Arends, J. : The mineral content of Decalcified surface enamel : A combined microprobe-Quantitative Microradiography study. *Caries Res.* 8 : 267–274, 1979.
 19. Haikel, Y., Frank, R.M., Voegel, J.C. : Scanning electron microscopy of the human enamel surface layer of incipient carious lesions. *Caries Res.* 17 : 1–13, 1983.
 20. Head, J.A. : A study of Saliva and its action on tooth enamel in reference to its hardening and softening. *J.Am.Med.Assoc.* 59 : 2118–2122, 1912.
 21. Heifetz, S.B., Driscoll, W.S., Creighton, W. E. : The effect on dental caries of weekly rinsing with a neutral sodium fluoride and an acidulated phosphate fluoride mouthrinse. *J.Am.dent.Ass.* 87 : 364, 1973.
 22. Koulourides, T., Phantumvanit, P., Munksgaard, E.C., Housch, T. : An intra-oral model used for studies of fluoride-incorporation in enamel. *J.oral Path.* 3 : 185–195, 1974.
 23. Lammers, P.C., Borggrevén, J.M.P.M., Driessens, F.C.M. : Influence of fluoride on in vitro remineralization of artificial subsurface lesions determined with a sandwich technique. *Caries Res.* 24 : 81, 1990.
 24. Margolis, H.C., Moreno, E.C., Murphy, B.J. : Effect of low levels of fluoride in solution on enamel demineralization in vitro. *J. Dent. Res.* 65(1) : 23–29, 1986.
 25. Margolis, H.C., Moreno, E.C. : Physicochemical perspective on the cariostatic mechanism of systemic and topical fluorides. *J.Dent. Res.* 69(Spec.Iss) : 606–613, 1990.
 26. Margolis, H.C., Moreno, E.C. : Kinetics and thermodynamic aspect of enamel demineralization. *Caries Res.* 19 : 22–35, 1985.
 27. Mellberg, J.R., Chom Chomicki, W.G. : Fluoride uptake by artificial caries lesions from fluoride dentifrices in vivo. *J.Dent. Res.* 62 : 540–542.
 28. Moreno, E.C., Margolis, H.C. : Composition of Human plaque fluid. *J. Dent. Res.*, 67 : 1181–1189, 1988.
 29. Moreno, E.C., Zahradnik, R.T. : Chemistry of enamel subsurface demineralization in vitro. *J.Dent. Res.* 53 : 226–235, 1974.
 30. Moreno, E.C., Zahradnik, R.T. : The pore structure of human dental enamel. *Archs. Oral Biol.* 18 : 1063–1068.
 31. Nikiforuk, G. : Fluoride dentifrices and fluoride rinses. *Understanding Dental caries* Vol. 11. Prevention : 87–112, Karger, Basel and New York, 1985.
 32. Nikiforuk, G. : Formation, structure and

- Metabolism of Dental plaque, Understanding Dental caries Vol.1 Etiology and Mechanism : 119-157, Karger, Basel and New York, 1985.
33. Nikiforuk, G. : The use of Topoical fluoride. Understanding Dental caries Vol. 11. Prevention : 63-86, Karger, Basel and New York, 1985.
 34. Nygaard ostby, B. : A method for caries production in selected tooth surface in vivo-employed in a preliminary study of the caries inhibiting effect of topically applied agents. Acta Odont. Scand.15 : 357-363, 1957.
 35. Pearce, E.I.F. Moore, A.J. : Remineralization of softened bovine enamel following treatment of overlying plaque with a mineral enriching solution. J.Dent.Res. 64(3) 416-421, 1985.
 36. 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.
 37. Silverstone, L.M., Wefel, J.S., Zimmerman, B.F., Clarkson, B.H., Featherstone.M.J. : Re-mineralization of Natural and Artificial Lesions in Human Dental Enamel in vitro Effect of Calcium Condensation of the Calcific Fluid, Caries Res.15 : 138-157, 1981.
 38. Silverstone, L.M. : Observation on the dark zone in early enamel caries and artificial like lesions. Caries Res. 1 : 261-274, 1967.
 39. Silverstone, L.M. : The surface zone in caries and in caries like lesions produced in vitro : Brit. dent. j.20 : 145-157, 1968.
 40. Silverstone, L.M. : Laboratory studies on the demineralization and remineralization of human enamel in relation to caries mechanisms, Australian dental journal 25(3) 163-168, 1980.
 41. Silverstone, L.M. : The effect of fluoride in the remineralization of enamel caries and caries-like lesions in vitro. Journal of Public health Dentistry 42(1) 42-53, 1982.
 42. Sperber, G.H., Buonocore, M.G. : Enamel surface in white spot formation, J.Dent. Res.42 : 724-731, 1963.
 43. Ten cate, J.M., Jongebloed, W.L., Arends, J. : Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. IV. Influence of fluorides and diphosphonates on short and long term remineralization. Caries Res., 15 : 60-69, 1981.
 44. Ten cate, J.M., Arends, J. : Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. Caries Res 11 : 277, 1977.
 45. Ten cate, J.M. : In vitro studies on the effects of fluoride on de-and remineralization. J.Dent.Res.69(Spec.Iss) : 614-619, 1990.
 46. Ten cate, J.M, Duijsters, P.P.E, Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions : Caries res 16 : 201-210, 1982.
 47. Varughese., Moreno, E.C. : Crystal growth of calcium apatites in dilute solutions containing fluorides, Calcified tissue Internationals 33(4) : 431-439, 1981.
 48. 이찬영 : 산완충용액을 이용한 인공치아우식형성. 연세치대논문집 7 : 34-41, 1992.

사진부도설명

- Fig. 1. Polarizing microscopic views of pre-treated sample of Group 1 imbibede in water (×40)
- Fig. 2. Polarizing microscopic views of 4 days storing sample of Group 1 imbibede in water (×40)
- Fig. 3. Polarizing microscopic views of 10 days storing sample of Group 1 imbibede in water (×40)
- Fig. 4. Polarizing microscopic views of pre -treated sample of Group 2 imbibede in water (×40)
- Fig. 5. Polarizing microscopic views of 4 days storing sample of Group 2 imbibede in water (×40)
- Fig. 6. Polarizing microscopic views of 10 days storing sample of Group 2 imbibede in water (×40)
- Fig. 7. Polarizing microscopic views of pre-treated sample of Group 3 imbibede in water (×40)
- Fig. 8. Polarizing microscopic views of 4 days storing sample of Group 3 imbibede in water (×40)
- Fig. 9. Polarizing microscopic views of 10 days storing sample of Group 3 imbibede in water (×40)

논문 사진부도

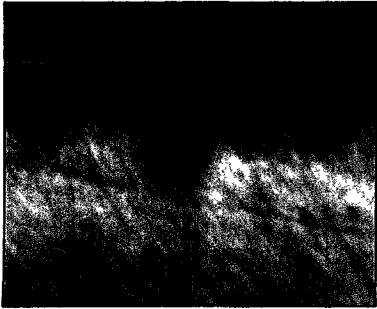


Fig. 1.

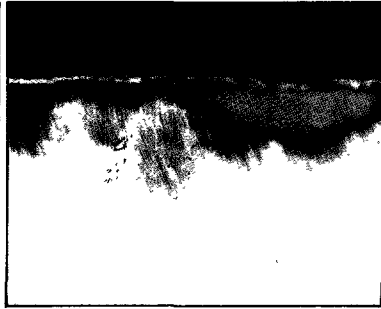


Fig. 2.

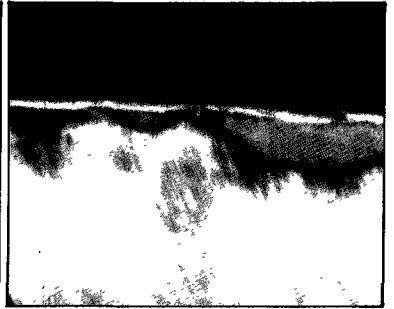


Fig. 3.

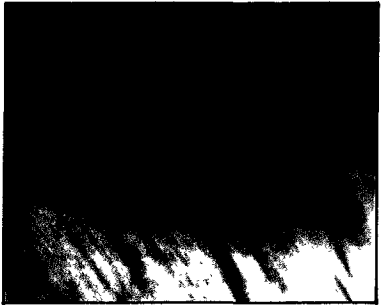


Fig. 4.

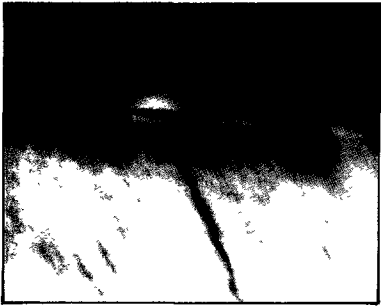


Fig. 5.

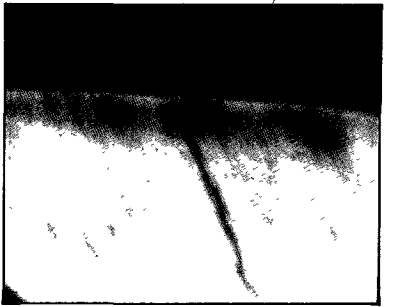


Fig. 6.



Fig. 7.

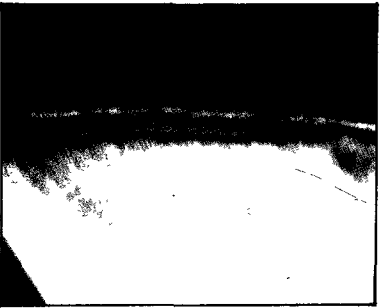


Fig. 8.

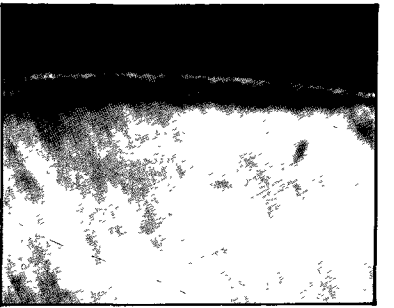


Fig. 9.