

법랑질 인공우식의 재광화에 미치는 pH의 영향에 관한 연구

연세대학교 치과대학 치과보존학교실

각민경 · 금기연 · 이찬영

Abstract

THE INFLUENCE OF pH ON REMINERALIZATION OF ARTIFICIAL DENTAL CARIES

Min-Kyung Kim, Kee-Yeon Kum, Chan-Young Lee

*Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry,
Yonsei University*

Much evidence now exists from both in vivo and in vitro studies to support the claim that small caries lesions can 'heal'. But, there are still different views on the mechanism of remineralization. So in order to find the best condition for the remineralization of incipient dental caries in maximum efficient way, the author conducted the experiment which reveals the effect of pH on remineralization.

40 specimens of sound permanent teeth without demineralization or crack, 100 μ m in thickness, 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 of pH 4.0, 4.5, 5.0, 5.5 containing fluoride ion for 10 days. The results were obtained by observing the specimens for every 10 days under polarized microscopy at x25.

1. Remineralization did not occur in entire depth of body of lesion at given degree of saturation and concentration of fluoride ion.
2. The pattern of remineralization has increased according to increase of pH.

So it can be concluded that supersaturated solution with fluoride ion can be affected by pH in remineralization of enamel, and pH 5.5 seems to be very effective in remineraliza-

tion of deep and surface zone of dental caries. However, more complex factors exist in achieving complete remineralization and further continuous researches are needed to clarify the factors.

Key words : caries, remineralization, degree of saturation, pH

I. 서 론

지금까지 여러 학자들에 의하여 초기 법랑질 우식병소의 재광화가 가능하다는 것이 밝혀졌고, 이런 법랑질 재광화에 관한 연구의 최종목표는 임상에서의 적용을 가능하게 하기 위함이므로, 치아 표면에서의 복잡한 물리, 화학적 반응에 대한 이해도의 발전은 치아우식증의 효과적인 예방측면에서 임상적으로 매우 중요한 의미가 있다.

약 96% 정도가 무기질로 구성된 법랑질은 구강내 환경의 조건에 따라 광물질의 탈회와 침착이 동시에 일어나는 동적인 과정을 밟게 된다. 구강내에서 생성되는 산에 의하여 법랑질은 탈회가 진행되고 치아우식증이 야기 되는데, 이 시기의 환경적인 요건에 따라 우식증이 진전되거나 재석회화가 일어나는 것으로 알려져 있다.

법랑질에서의 초기 우식병소는 임상적으로는 백반상, 혹은 갈색을 띄며 표층은 비교적 견재하고, 하부의 병소본체에서 탈회가 진행되는 특징적인 양태를 보이며 탈회와 재광화가 역동적으로 일어나는 과정이다. Margolis 등²⁷⁾은 법랑질 탈회용액의 법랑질 광물질에 대한 탈회용액의 saturation level 즉, 포화도(degree of saturation)에 의하여 조절된다고 하였고, 이러한 포화도는 산의 농도, initial pH, 칼슘과 인의 농도 등에 의해 영향을 받을 수 있다고 하였다.

Head²¹⁾에 의해 산부식된 법랑질의 재광화 현상이 최초로 보고된 이래, Bibby가 우식병소가 다시 경화되는 현상을 "lesion consolidation"이라 명명하였고, in vivo에서 Anderson²⁹⁾이 법랑질 초기 우식 병소가 재석회화

됨을 입증함으로써 구강내 환경에 따라 병소의 탈회과정이 중단되거나 재경화될 수 있음을 보였다. 이후 Backer-Dirks⁵⁾는 임상적, 방사선적으로 발견된 초기 우식병소가 수 년후 같은 기준하에서 재검진시 명백히 사라졌음을 관찰하고 'reversals of diagnosis'를 보고하였다.

초기 우식병소가 재광화될 수 있다는 임상적인 증거의 결과로 다수의 재광화실험이 행해졌다. Ten cate 등⁴⁹⁾은 우식병소의 재광화기전을 수산화인회석의 침착에 의해 재광화되고, 초기에 표층근처에서 시작되어 점차 안쪽으로 진행되어 결국 암층에 침전된다고 설명하였고, Moreno²⁸⁾는 solubility diagram을 통하여 법랑질과 DCPD의 용해를 나타내고 이들이 만나는 점을 singular point라고 하였으며 이 상부에서 법랑질이 DCPD로 바뀌면서 법랑질표면에서 침착한다고 하였다.

불소나 칼슘이온에 대하여 여러 이견이 존재하는데 Ten cate 등⁴⁷⁾은 1ppm의 불소를 사용할 경우 2배의 재석회화가 일어났다고 하였으며 Silverstone⁴²⁾은 재석회화용액의 칼슘농도는 1mM-2mM이 적당하며 또한 재석회화시킨 후 quinoline에 48시간 침적시켜 관찰한 결과 새로운 암층의 형성을 보였다고 하였으며 불소가 존재한 경우 재석회화를 가속시킨다고 보고하였다. Hicks 등²²⁾의 연구에 의하면 불소의 농도보다는 얼마나 자주 불소를 적용하는지가 중요하다고 하였다.

재광화에 있어 pH의 효과에 대한 많은 연구가 있었으나 아직 논란이 되고 있다. Feagin 등¹⁴⁾에 의하면 재광화와 완충용액의 pH 증가 사이에는 명확한 비례적 상관관계가 존재한다고 하였고, Featherstone¹⁶⁾은 재석회

화에 적당한 pH를 pH 6-8이라고 보고한 반면, Margolis등은²⁹⁾ 산성용액이 중성용액보다 재광화에 있어 더 효과적이라고 하였다. Nancollas와 Purdie³⁵⁾는 solid-solution interface의 반응성은 용액의 pH 변화에 의해 영향받으며 불소 이온의 침가는 탈회-재광화 평형에 도달하기 위해 필요한 칼슘, 인, 수소 이온의 농도를 낮춘다고 하였다.

이상과 같이 법랑질 인공우식의 형성 및 재광화기전에 관한 많은 연구가 진행되었으나, 아직 정확한 이론은 정립되어있지 않은 상태이다. 이에 저자는 재광화에 효과적인 최적의 조건을 찾기위하여, 불소가 포함된 재광화 완충용액의 pH를 변화시켜 pH가 우식의 재광화에 미치는 효과를 편광현미경을 이용하여 평가, 분석하여 다음의 결과를 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료 및 시편제작

발거한 지 30일 이내의 영구치아중 백색 반점이나 법랑질의 결손이 없는 소구치와 대구치를 선택하여 치아에 부착된 물질을 periorodontal curette으로 제거하고 불소가 포함되지 않은 pumice로 치면을 충분히 연마한 후 초음파 세척기에서 10분간 세정하고 증류수로 세척 건조하였다.

건조된 치아는 low speed diamond wheel saw (South Bay Technology, U.S.A)를 이용하여 치아의 장축에 평행하게 400-500 μ m의 절편을 만든 다음 #800 사포를 이용하여 100 μ m두께로 연마하였다.

연마된 시편은 협설면이나 교합면쪽의 손

상이나 균열이 없는 부위중 2-3mm 정도의 window를 제외한 나머지 부위는 내산성의 nail varnish를 도포하고 양 측면은 bonding agent(Scotchbond)로 광중합시켰다.

2. 탈회완충용액의 제조

Stock solution으로 1M의 lactic acid, 0.3M 칼슘과 0.9M 인 이온의 농도를 얻기 위하여 각각 30% lactic acid(SIGMA Co.), 염화칼슘분말(SIGMA Co., 분자량 147.0)과 인산칼륨분말(SIGMA Co., 분자량 136.1)로부터 정확한 양을 계산하여 조제하고 제조된 산용액은 standard 1N KOH 용액을 적정액으로 하고 페놀프탈레인을 지시약으로 사용하여 stock solution의 농도를 정확히 계산하였고, 칼슘과 인 이온은 자동분석기(Hitachi 741-19, Japan)로 정량분석하였다.

이전 실험에서 우식병소가 가장 잘 형성된 포화도를 유지하기 위하여 필요한 칼슘, 인, lactic acid의 양을 계산하여 stock solution으로부터 취한 다음 pH 4.3이 되도록 8N KOH를 이용하여 500ml의 working solution을 만들고 이 용액을 다시 정량분석하여 initial demineralization solution으로 사용하였다. (Table 1.)

3. 제조된 완충액을 이용한 인공 치아우식의 형성

50cc 플라스틱 통에 완충액을 채우고 시편을 완충액의 중앙에 오도록 고정하고 밀봉한 후 25 $^{\circ}$ C 항온조에 유지시켰다. 24시간 간격으로 증류수가 침적된 상태에서 그 변화를 25배율로 편광현미경을 통해 관찰하고 인공

Table 1. The composition of initial demineralization solution

composition	concentration(mM)
Lactic acid	100
Calcium	16.3
Phosphate	9.7
Sodium azide	3.08
pH	4.3

Table 2. The composition of initial remineralization solution

Composition	group			
	I	II	III	IV
Lactic acid(mM)	30	30	30	30
Calcium(mM)	27.7	28.3	28.3	28.8
Phosphate(mM)	9.6	10.2	9.8	10.3
Sodium azide(mM)	3.08	3.08	3.08	3.08
Fluoride(ppm)	2	2	2	2
pH	4.0	4.5	5.0	5.5

치아우식의 형성을 확인하고 시편을 완충액에서 꺼내 사진촬영 후 증류수에 세척하고 건조하여 보관하였다.

4. 재광화 완충용액의 조제

염화불소분말(SIGMA Co., 분자량 41.99)로부터 100 ppm (5.2632mM)의 용액을 조제하여 이를 염화불소 용액의 stock solution으로 하였고, 칼슘, 인, lactic acid와 재광화용액의 조성이 유사한 한 등⁶⁰⁾의 실험에서 가장 재광화현상이 뚜렷했던 2ppm 농도의 불소를 각각의 stock solution으로 부터 취한 다음 pH meter와 8N KOH를 이용하여 각각 pH 4.0, 4.5, 5.0, 5.5이 되도록 500ml의 working solution을 만들고 이 용액의 칼슘과 인 이온농도를 자동분석기(Hitachi 741-19, Japan)를 이용하여 다시 정량분석하였다. (Table. 2)

5. 제조된 완충용액을 이용한 재광화 실험 및 우식 표면하층의 깊이 측정

각 군당 10개씩의 시편을 50cc 플라스틱 통에 제조된 완충액을 채우고 인공우식이 형성된 시편을 통의 중앙에 위치하도록 설치한 후 25°C 항온조에 유지시켰다. 24시간 간격으로 10일간 증류수가 침윤된 상태에서 그 변화를 편광현미경을 통하여 관찰하여 사진을 촬영하고 현상후 우식소견과 재광화소견에서 표면에서부터 양성복굴절의 수직 길이를 임의의 각기 다른 지점에서 다섯 부위를 선택한 후 현미경에 부착된 micrometer를 이용하여 측정하고 그 차이의 평균을

산출하였다.

III. 실험성적

1. 탈회소견

증류수에 침적시켜 편광현미경하에서 25 배로 관찰한 결과 법랑질 초기우식병소의 특징적인 소견인 표층하 탈회현상을 관찰할 수 있었고, 우식표면층은 정상법랑질과 같은 음성복굴절을, 병소본체는 황갈색의 양성복굴절로 관찰되었다. (Fig. 8)

대체적으로 일정한 두께의 비교적 연속적인 우식표면층이 관찰되었고, 병소본체는 법랑질 표면에 평행하며 일정한 깊이의 연속적인 병소로 나타나거나(Fig. 2, 6) Hunter-Schreger band를 따라 점점이 형성된 것 같은 불연속적인 양상을 보였다. 불연속적인 병소는 시간이 지남에 따라 연속성을 띠는 경향이 있었으며 병소본체내에서는 정상법랑질에 비해 Retzius 선조가 뚜렷히 관찰되었다.

병소하방 최외곽부위는 Retzius 선조를 따라 진행된 병소가 톱날형태로 관찰되었고, 병소본체 하방으로 isotropic zone이 관찰되었으며(Fig. 4, 6) 일부시편에서는 전체병소가 isotropic zone으로 형성되기도 하였다. 병소본체 하방으로 암층과 투명층은 보이지 않았다.

2. 재광화소견

법랑질우식을 유발시킨 후 각기 다른 pH의

용액에서 재광화소견을 관찰한 결과 pH 4.5, 5.0, 5.5인 II, III, IV군에서 재광화가 일어났으며 그 양상이 서로 다를 수 있었고, pH 4.0인 I군에서는 우식이 더 진행되는 소견을 보였다.

pH 4.0 군에서는 관찰기간중 치아우식이 느린 속도로 계속 진행되었으며 병소본체의 폭증가와 함께 우식표면층의 증가가 동반되어 나타났다. 대체로 병소본체는 법랑질 표면에 평행하게 연속적인 양상으로 형성되었고 isotropic zone이 점차 황갈색의 양성복굴절로 변화하는 과정을 볼 수 있었다.(Fig. 2, 3)

10개의 시편중 2개의 시편에서는 더 이상의 탈회나 재광화가 일어나지 않는 우식의 'Arrest'된 소견으로 관찰되었다.

재광화의 소견은 pH 5.5 군이 가장 뚜렷하였고 비교적 지속적인 재광화양상을 보였다. 재광화는 우식표면층의 폭증가와 우식표면하층의 폭감소가 동시에 진행되었고 병소의 폭의 변화보다는 병소본체의 가장자리에서부터 양성복굴절을 보이던 우식표면하층이 positive zone으로 보이는 isotropic zone으로 변화하기 시작하는 과정이 먼저 관찰되었으며(Fig. 8, 9) 시간이 지남에 따라 정상 법랑질과 같은 음성복굴절로 나타났다.

표면층의 증가는 전체 병소의 깊이에서 표면층이 차지하는 비율의 증가로 표현할 수 있는데, 재광화가 진행되면서 이 비율의 뚜렷한 증가를 관찰할 수 있었다.

시편에 따라 뚜렷이 보이던 우식표면하층이 완전히 isotropic zone으로 바뀌면서 연속적인 병소가 불연속적인 소견을 보이기도 하였고, 병소가 실질적으로 isotropic zone으로 구성되고 중심부위만 양성복굴절을 나타내는 양상도 볼 수 있었다.(Fig. 7, 9)

우식이 erosion의 양상으로 형성된 시편에서는 불규칙하게 표면층이 형성됨과 동시에 그 하방에 양성복굴절의 정도가 낮은 부위가 띠를 이루어 관찰되었고 점차 그 폭이 증가함을 알 수 있었다.(Fig. 5) pH 4.5와 5.0인 군은 pH 5.5 군과 재광화의 양상은 유사하나 그 변화의 정도가 적고 속도가 느렸으며 pH 5.0인 III군이 4.5인 II군보다 병소의 폭감소와 표면층의 증가가 크게 나타났다.(Fig. 6, 7) pH 4.5 군에서는 표면층의 증가가 주된 변화소견인데 반해, pH 5.0 군은 병소의 폭감소와 표면층의 증가가 동반되는 소견으로 관찰되었다.(Fig. 6, 7)

전체적으로 병소의 깊이가 깊었던 시편에서는 깊이가 얇은 시편보다 재광화의 정도가 미미하였고 속도도 느리게 나타났다. 각 군

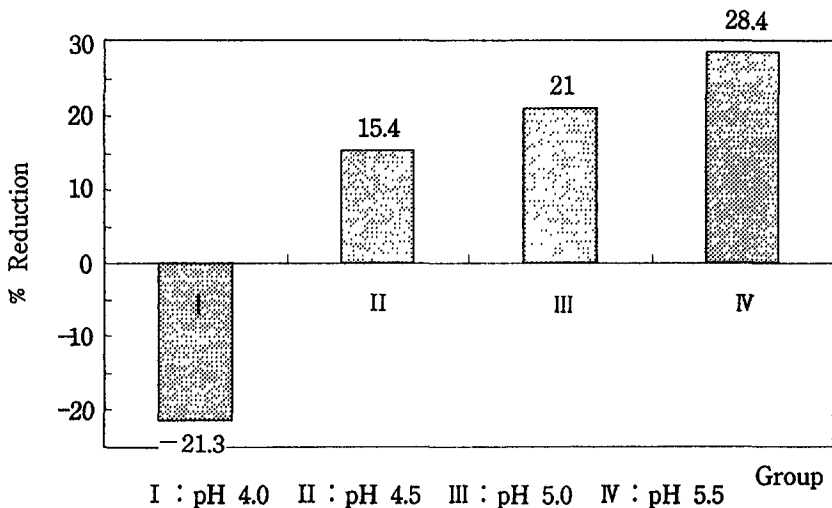


Fig. 1 % Reduction in lesion body depth

에서 우식소견과 재광화 10일 경과 소견에서 병소본체 깊이를 측정하여 그 차이를 계산한 결과 Fig. 1과 같이 pH가 증가함에 따라 병소본체의 감소율이 증가함을 알 수 있었다.

IV. 총괄 및 고찰

초기 법랑질 우식의 재광화현상에 대해 Head²¹⁾가 최초로 보고한 이래 많은 연구가들에 의해 구강내와 실험실내에서 행해진 실험들에서 이런 우식병소가 회복될수 있다는 가능성이 입증되고 있다.

재광화연구에 사용되는 실험평가방법으로는 microradiogram, 미세용해도 검사, 미세경도측정, SEM, 화학적 분석 및 편광현미경을 이용하는 방법이 있으며, 편광현미경의 경우 pore volume의 차이를 통해 미세한 변화를 확인할 수 있고, 이에 따라 초기 법랑질 우식부위의 4개의 층을 구분하는데 유용하다. 치아보다 굴절율이 작은 매개(공기, 물, epoxy resin등)에 침윤시키면 탈회가 발생한 부위는 세공에 매개가 침윤되어 빛이 분산됨으로써 양성복굴절을 보이며, 탈회가 없는 부위는 법랑질의 내재 복굴절에 의해 음성복굴절을 보이게 된다.

Silverstone^{40), 41)}은 치아와 굴절율이 다른 quinoline을 이용하여 초기 우식병소에서 조직학적 소견이 상이한 4개의 층을 관찰하였는데, 정상법랑질과 유사한 굴절을 보이는 우식표면층, 우식병소중 가장 넓은 부위를 차지하며 양성복굴절을 보이는 우식표면하층, quinoline에 침윤하였을 때 특징적으로 양성의 복굴절을 나타내는 암층, 정상법랑질과의 경계부에 존재하는 투명층으로 분류하였다.

본 연구에서는 Silverstone⁴¹⁾이 quinoline을 용매로 하여 관찰한 4가지 층중에서 암층과 투명층은 관찰되지 않았는데 이것은 refractory index가 다른 물을 사용하여 관찰하였기 때문이다.

비교적 광물질 소실이 적은 건전 표면층과

광물질 소실이 주로 일어나는 표층하 탈회부의 소견을 보이는 초기 법랑질우식의 생성기전에 대해 Brudevold⁷⁾등은 표층 법랑질 자체의 화학적 특성에 기인한다고 하였고, Christoffersen과 Arends¹⁰⁾는 구강내에서 기인된 억제인자가 우식의 진행동안 법랑질로 확산되어 표면 법랑질의 용해를 막는다고 하였다. 이에 대하여 Aoba³⁾등은 compressed hydroxyapatite pellet을 이용하여 표층하병소를 얻음으로써 억제인자와 표층법랑질의 화학적 특성이 표층하병소 형성에 필수적이지 않음을 밝혔고, Sperber와 Buonocore⁴⁵⁾는 비록 자연적으로 형성되는 억제인자와 법랑질 표층의 특이한 특성이 표층하 병소형성에 중요하지만 법랑질의 표층을 제거한 부위에서도 표층하병소가 생긴 것으로 보아 다른 설명이 필요하다고 하였다.

한편 Moreno등³¹⁾은 법랑질 탈회의 첫 단계로 산성인 용액하에서 법랑질 표면이 약간 용해되면서 DCPD, fluoroapatite등의 침전이 일어난다고 하였는데 이러한 현상이 법랑질 표면의 용액과 법랑질과 DCPD사이의 quasi-equilibrium상태를 이룰때까지 계속된다고 하였고, 법랑질 표면에 DCPD의 형성을 야기시킬수 있는 탈회용액이 표층하 병소형성에 필수적이라고 하였다. 재광화과정중의 법랑질 결정구조의 변화를 보기 위해서는 전자현미경적 연구, X선회절법, 적외선분광분석법이 이용되며 electron micro-probe analysis는 경조직을 구성하는 원자량이 큰 칼슘, 인의 농도의 미세한 변화의 추이를 측정할 수 있다. 편광현미경도 정성적, 정량적분석이 모두 가능한 방법으로 편광현미경상에서 관찰하여 정성적분석을 시행하고 birefringence curve를 구하여 정량적 분석을 할수 있다.

본 연구에서는 재광화에 가장 효율적인 조건을 찾기위하여 편광현미경상에서 4가지 실험군간의 정성적 분석만을 시행하였으며, 재광화의 경향은 알 수 있었지만 그 기전을 정확히 알 수 없으므로 더욱 구체적인 정보를 얻기위해서는 micro-probe analysis나 secondary ion mass spectrometry 등의 방법이 필

요할 것으로 생각되며, 편광현미경은 24시간 간격의 미세한 변화 추이를 알기에는 한계가 있으므로 시간별 병소의 무기물의 가감정도를 정확히 파악하기 위해서는 microradiography나 microdensitometric tracing을 병용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.⁵⁶⁾

법랑질 초기우식을 인공적으로 유도하는 방법으로는 (a) Silverstone이 제안한 acid-gel system, (b) diphosphonate 또는 cellulose등 법랑질 표면의 탈회를 억제하는 물질을 포함하는 system, (c) Moreno와 Zahradnik³¹⁾에 의해 기술된 칼슘과 인을 포함하는 acid buffer system등이 있다.

acid gel system은 자연치아의 초기우식과 유사한 형태의 병소를 재현한다는 장점이 있는 반면 형성기간이 너무 길다는 단점이 있으며, 본 실험에 사용된 acid buffer system은 너무 빠른 병소 진행율로 인해 자연치아우식과는 형태학적으로 약간의 차이가 있을수 있지만 수일내에 병소를 빠르게 얻을수 있어 단 시일내에 여러 가지 실험을 진행할 수가 있고, aqueous organic acid system의 화학적 특성을 잘 분별할 수가 있으며 병소형성에 관계되는 여러가지 인자를 분리해서 정확히 평가해볼 수 있다는 장점이 있다.

구강내에서의 뚜렷한 재광화의 어려움은 법랑질 결정이 유기물질로 부분적으로 둘러쌓여 ① 반응할 수 있는 표면적이 적고, ② 외부의 용액으로부터 이온의 확산 속도가 느려 재광화가 제한되고, ③ 법랑질 인회석이 수산화인회석 외에도 여러 가지 다른 조성이 인회석으로 구성되어 칼슘과 인의 비가 다양하며, ④ 치태세균과 같은 침전 방해인자가 존재한다는 것 등이다. 이런 이유로 해서 인공우식병소의 재광화실험보다 복잡하고 시간이 오래 걸리고⁵¹⁾, 재광화가 법랑질 무기질의 물리화학적 변화에 의한 것인지 세균활성의 가감에 의해 영향받는 것인지 알기 어려운 단점이 있다. 실험실에서의 재광화 연구는 병소를 비교적 규격화하여 재현함으로써 변이를 최소화할 수 있고 어느 정도 넓은

병소를 형성할 수 있어 여러 가지 실험조건을 얻을 수 있다는 장점이 있으므로 본 연구에서는 다른 인자의 영향을 배제하고 pH 변화의 효과만을 보기 위한 acid buffer system을 적용하였다.

Ten cate⁴⁷⁾는 인공우식병소의 재광화 기전을 수산화인회석이 병소에 침전됨으로써 re-hardening된다고 설명하였고, 초기에 우식표면층 근처에서 시작되어 점차 안쪽으로 진행되고 결국 암층에 침전되고 표면층은 interprismatic pore가 열려있어 내부로의 확산이 가능하므로 우식병소의 완전한 재광화가 가능하다고 하였다. Silverstone⁴⁸⁾도 isotrophic zone이 재광화가 일어남과 함께 우식병소의 가장자리로부터 법랑질 표면쪽으로 급격히 증가함을 보고하였으며 isotrophic zone의 증가가 우식병소의 재광화를 의미한다고 하였다.

재광화의 진행 양상은 우식병소 전체의 폭이 감소하는 소견과 우식표면층의 계속적인 증가형태로 관찰되는데, 많은 연구에서 우식병소 전체에 무기질이 침착하여 탈회가 적게 일어났던 병소의 가장자리부터 재광화되는 양상이 보고되었다. 조직학적으로는 표면층은 1-5%, 우식 표면하층의 가장자리는 5%, 병소자체는 25% 정도의 세공이 공간을 차지하는데⁴⁹⁾, 무기질이 침착함에 따라 세공이 차지하는 비율이 작은 가장자리에서부터 먼저 세공이 감소하면서 변화를 보이게 되고 우식 표면하층도 세공의 공간이 작았던 부위부터 무기질이 침착하면서 세공의 부피가 감소하여 isotropic zone이 증가하는 양상을 보이게 된다. Darling¹²⁾은 5%의 공간존재시에 isotropic zone으로 관찰된다고 보고하였는데 양성복굴절의 우식병소가 이러한 isotropic zone을 거쳐 음성복굴절의 정상법랑질로 재광화되는 것으로 그 진행과정을 이해할 수 있다.

본 실험에서도 병소중앙부보다는 가장자리에서 먼저 재광화가 시작되어 중심부로 향하여 축소됨이 관찰되었고, 같은 시편내에서 인접했던 병소가 편광현미경하에서 유

사한 굴절율을 보였더라도 먼저 재광화가 시작되는 부위는 탈회가 그만큼 적게 일어났었기 때문으로 유추해볼 수 있다. 또 재광화가 진행될수록 무기질이 침착함에 따라 isotropic zone이 증가하거나, 병소의 폭이 감소하면서 isotropic zone이 우식표면층에 근접함을 관찰할 수 있었고 완전한 양성복굴절의 병소가 isotropic zone을 거쳐 정상 법랑질과 같은 음성복굴절을 회복하는 재광화 진행양상을 확인할 수 있었다.

이러한 재광화는 용액상태로 유리된 불소이온이 법랑질내부로 침투하여 치아의 탈회를 억제하고 무기질의 침착을 유도하기 때문이라고 설명할 수 있다.⁴²⁾

또다른 양상은 계속적인 우식표면층의 증가인데 이런 소견은 법랑질표면에 DCPD와 fluoroapatite의 침착에 의한 현상으로 Mellberg와 Chomicki³⁰⁾는 불소가 강하게 치질에 결합하여 불화인회석을 형성하여 산에 의한 용해가 감소한다고 주장하였지만 이러한 우식표면층의 증가는 계속적인 불소이온의 병소 내부로의 이동을 억제하여 병소전체의 재광화에는 방해요소로 작용할 가능성이 있다. 이번 실험에서 우식표면층의 폭이 컸던 시편과 표면층의 증가가 초기에 일어났던 시편에서 변화의 폭이 적게 나타난 관찰 결과를 보면 우식표면층이 재광화에 중요한 역할을 하고 이런 표면층의 폭의 증가가 병소전체의 재광화에 방해작용을 할 가능성을 입증한다. 이러한 소견은 표면층의 불화인회석의 침착으로 surface pore가 봉쇄되고 더 이상의 무기물이 병소로 확산되는 것이 제한되기 때문이라고 사료된다.

연구자에 따라 재석회화용액의 불소 농도, 무기질 농도, pH, 소요시간, 우식형성방법 등의 실험방법이 다르기 때문에 직접적인 비교가 어렵고 실험에의 구체적인 적용에 문제점이 있다.

불소는 법랑질의 내산성을 증가시키고, 재석회화 기능을 보유하는 특성에 대한 견해가 일치되어 치아우식증예방을 위한 목적으로 널리 사용되어 왔고 어느 정도 진행된

법랑질 초기우식병소의 재석회화를 촉진시킨다는 점이 알려지게 되어 불소가 재석회화에 미치는 영향에 관한 연구가 여러 각도에서 활발히 진행되고 있다.

Koulourides²³⁾는 불소가 낮은 농도하에서도 실험실내 타액의 재석회화 증진효과를 보고하였고, 여러 학자들이 이를 뒷받침하였다.¹⁸⁾ Feagin등¹⁴⁾은 불소이온의 첨가는 탈회-재광화 평형에 도달하기 위해 필요한 칼슘, 인, 수소이온의 농도를 낮춘다고 하였고, Grön등¹⁹⁾은 과포화용액으로부터 수산화인회석의 침착속도를 증가시킨다고 하였다.

그러나 불소의 첨가유무와 적절한 농도에 대해서 많은 논란이 되어왔다. 많은 연구에서 1ppm의 불소로 법랑질에서의 무기질 침착이 2,3배 증가한다고 보고하였고,^{14), 47)} Lammer등²⁵⁾은 2ppm의 불소첨가시 불화인회석의 표면침착에 의해 무기질의 심부이동이 차단되어 재석회화가 억제된다고 하였다. 또한 그 농도에 대해서도 Ten cate등⁵¹⁾은 1ppm의 불소가 효과가 있다고 하였고 Varughese등⁵⁵⁾은 0.1-2ppm의 불소농도에서 부분적으로 불화된 수산화인회석의 결정성장이 촉진된다고 하였으나 Amjad와 Nancollas¹⁾는 0.1-1ppm의 불소농도는 재광화를 방해한다고 보고하였다.

본 연구에서는 재광화용액의 조성이 유사한 한 등⁶⁰⁾의 실험에서 가장 재광화현상이 뚜렷했던 2ppm의 농도를 적용하였는데 대체로 병소본체의 폭감소가 크게 나타나지 않은 것은 4.5이상의 pH에서 이런 2ppm의 불소이온의 첨가로 불화인회석이 표면에 침착되는 속도가 무기질의 심부이동이 일어나서 병소의 전방부위부터 재광화가 되는 속도보다 빠르기 때문인 것으로 생각된다.

재광화에 영향을 미치는 인자중 무기질농도에 대해서도 많은 연구가 행해졌는데, 일반적으로 무기질의 농도가 높으면 표층부위에 국한해서 무기질의 침착이 일어나므로 1mM 정도의 농도가 적당한 것으로 알려져 있다.

Silverstone⁴³⁾은 석회화용액의 칼슘농도의

효과에 대한 실험에서 1ppm의 불소첨가시 1 mM의 칼슘농도에서는 병소전체에서 재광화가 일어나 69%의 병소가 감소하였고 암층의 면적이 526%나 증가하여 표층에 근접하였음을 보인 반면 3mM에서는 재광화가 표면층에 한정되어 병소면적의 20%감소만을 보였다. 이렇게 낮은 농도의 칼슘용액이 crystal growth에 더 유리한 조건이라고 하였는데 이는 높은 칼슘농도에서는 많은 양의 심부 이동이 일어나기 전에 표면층에 칼슘-인이 침착되기 때문이라고 설명하였다. 또 Pearce등³⁷⁾은 bovine enamel에서 11-12mM의 포화된 농도로 연구하여 재광화됨을 보고하였다.

재광화에 대한 pH의 영향에 대해서 많은 연구가 행해졌으나 아직 많은 이견이 존재한다. Lammers등²⁶⁾은 pH는 낮은 농도의 불소이온농도에서만 재광화에 있어 그 영향정도가 크고 불소의 효과는 완충용액의 pH에 의해 좌우된다고 하였고, Featherstone등¹⁶⁾은 재석회화에 있어 최적의 pH는 무기질의 침착이 가능하며 법랑질의 용해가 일어나지 않는 6정도의 pH라고 하였다. Margolis등²⁹⁾은 1ppm의 불소첨가시 중성용액보다는 오히려 탈회용액일 때 총 광물질의 손실은 관찰되지 않고 법랑질의 불소 함유량이 증가했음을 보고하였고 Theuns등⁵³⁾은 pH는 표층의 무기물 성분에는 거의 영향이 없고 병소자체의 무기물성분에만 미세한 효과를 끼친다고 하였다.

재광화와 탈회는 실험용액 이온들의 activity product가 K_{HAP} (HA의 solubility product constant)와 비교하여 그 값의 크고 작음에 따라 결정되며, 이런 용액의 activity product는 pH에 따라 달라지게 되고 칼슘농도, 불소이온과도 상호연관성을 가지게 된다. 본 연구에서 pH의 증가에 따른 재광화율의 증가에 영향을 미치는 인자로는 aHAP의 증가와, 반응이온들의 확산속도가 증가함을 들 수 있다. 결국 용질과 용액의 인접면의 반응도가 pH에 의해 영향받음으로 인해서 pH에 따라 재광화효과가 다르게 나타난다고 가정해 볼

수 있다. 다른 요소로는 법랑질내의 소량의 구조적인 유기물질이 이온의 확산과 표면의 유효성에 영향을 미칠 수 있다.¹⁴⁾

pH 4.0 군에서 치아우식이 느린 속도로 계속 진행되는 소견이 관찰된 바 이는 낮은 포화도에 기인한 것으로 판단되며 정성적으로 병소의 양성복굴절의 정도가 증가한 것은 세공의 부피와 무기질의 소실이 증가했음을 가리킨다. 또한 불소이온의 첨가로 표면층의 증가가 촉진되었다고 사료되며 탈회가 진행될 때 Hunter-shreger band를 따라 점점이 형성된 것 같은 불연속적인 병소가 시간이 지남에 따라 병소끼리 연결되어 연속성을 띠었는데 흥미롭게도 재광화가 진행되면서 연속성을 보이던 병소가 다시 불연속적으로 변화하는 것을 관찰함으로써 탈회와 재광화가 counter-action임을 입증하였다.

pH 4.5 이상인 군에서 군 간에 큰 차이를 보이지 않은 것은 불소와 pH의 상호작용에서 높은 불소 농도로 인해서 pH에 따른 영향이 작았을 가능성이 있다. 이런 가능성은 재광화과정이 각 pH에서 전구체인 Ca-P crystal이 형성된 후 불화인회석으로 변형되면서 진행되는데, 병소의 외부에서 국소적으로 불소 농도가 높아지면 이런 전구체가 형성되지 못한 채 불화인회석의 직접적인 침착이 일어나면서 결과적으로 깊은 부위에서 불소농도가 감소되서 불화인회석의 침착이 감소하게 되고, 부가적으로 전구체의 형성도 느려지게 되는 것으로 설명할 수 있다. 이는 pH가 증가함에 따라 수산화인회석에 대한 과포화정도가 증가하나 무기질의 주된 침착은 수산화인회석에 직접적으로 조정되는 것이 아니라 각 pH하에서 전구체에 의한다는 Lammers등²⁶⁾의 견해를 뒷받침한다.

각 군당 변화를 보이지 않는 시편이 있었는데 이것은 탈회-재광화의 평형에서 법랑질의 용해도와 용액의 반응도에 의해 균형을 이루어 정지된 듯한 소견으로 관찰되었다고 추측된다.

법랑질 인공우식의 재광화는 매우 역동적인 과정이고 여러 인자들이 작용하여 그 효

과에 영향을 미치게 되므로 보다 정확한 pH의 효과를 알기 위해서는 포화도와 불소이온의 농도 변화에 따른 상호작용을 재평가해 볼 필요가 있다고 사료된다.

재광화에 소요되는 시간에 대해서도 논란이 있다. Silverstone⁴²⁾은 재석회화용액을 사용하여 법랑질우식에 대한 재광화효과를 실험한 결과 처음 4일간 주된 변화가 일어나고, 10일 이후에는 더 이상의 증가가 일어나지 않음을 보고하였다. 또 첫 1시간동안 무기질의 상당량이 침착되었다고 하였고 이런 용액이 타액보다 효과적이지만 법랑질로부터 무기질의 소실이 어느 한도를 지나면 재광화가 일어나기 어렵다고 하였다. Ten cate와 Duijster⁵⁰⁾는 3일째부터 무기질 침착이 감소한다고 하였고, Buskes등⁸⁾은 bovine teeth인 경우 360시간이 적절하다고 하였으나, Rooij와 Nancollas³⁹⁾는 칼슘과 인의 흡수가 초기에는 급격히 일어나지만 10-15시간 이후에는 정체된다고 하였다.

본 실험에서는 처음 4일간 재광화가 주로 일어나는 경향을 보였으며 이후 느린 속도로 계속 진행되는 소견을 볼 수 있었다. 따라서 재광화에 필요한 시간에 대해서는 아직 더 연구가 필요하다.

이런 재광화에 걸리는 시간에 영향을 주는 인자에 대하여서는 White등⁵⁶⁾은 재광화속도가 탈회된 정도가 증가할수록 약간 감소했다고 보고하였다. 이런 결과는 de Rooij와 Nancollas³⁹⁾의 견해와 일치하는 것으로 bovine lesion에서 재광화의 속도가 243시간동안 탈회시킨 우식이 96시간 탈회시킨 우식보다 41% 감소한다고 하였다.

칼슘과 인 이온은 pH의 영향을 받아 각 pKa에 따라 이온화정도가 결정되는 산의 농도와 관계에 의하여 포화도가 결정되며 이런 포화도는 우식병소를 유발하고 또 재광화를 일으키는 근본적인 힘이 된다. 우식병소의 깊이가 깊은 시편일수록 재광화의 속도가 느리고 병소의 폭감소가 미미하게 나타난 이유는 병소의 깊이가 더 깊게 형성된 경우 이온의 이동속도와 결정의 형성이 더

느려지기 때문에 높은 포화도보다는 낮은 포화도에서 병소전체의 재광화가 이루어지게 되는데 본 실험에서 사용된 재광화용액의 포화도는 완전한 재광화를 형성할 수 있는 최적의 포화도보다 높았기 때문에 이런 결과가 나타난 것으로 사료된다. 또한 병소전체가 재광화되지 못한 결과도 높은 포화도로 인하여 재광화과정에서 표층에 침착된 결정의 크기가 커지고³⁶⁾ 결정사이의 확산통로가 축소되어 내부로의 무기질 침투가 점차 차단되었기 때문인 것으로 추정된다.

Gelheld와 Arends는 구강내 실험에서 탈회된 정도에 따라 재광화의 속도가 달라짐을 보고하였는데 이런 경향을 광범위한 탈회가 진행되는 동안 법랑질 기질에서 방출된 억제인이 병소에 흡착되어 결정성장을 방해한 것으로 설명하였다. 한편 Moreno³²⁾는 재광화 속도는 수산화인회석에 대한 과포화된 정도에 비례하고 저농도의 불소이온에 의해 촉진된다고 보고하였다.

이상의 실험에서 비록 동일한 실험조건하에서 형성한 우식병소와 재광화양상이 치아에 따라, 같은 치아내에서도 부위에 따라 약간씩의 차이가 나타났는데, 이러한 현상은 치아의 발육상태와 구강내 존재시 환경적인 여건의 차이, 치령, 식이습관, 불소도포, 법랑질 조성의 차이 등에 기인한 것으로 사료된다.

따라서 병소형성에 관계되는 여러 가지 인자를 정확히 분리 평가를 하기 위해서는 표본간의 변위를 줄이는 작업이 필요하다고 볼 수 있다. 이를 위해서는 실험치아 수거시 연령층, 상수도불소화지역, dental history (불소도포유무), 치아부위 등에 따라 분류 수집하여 비교분석하고 가능하면 동일한 피검자의 치아를 이용하거나 Silverstone등⁴⁴⁾이 주장한 single section technique등을 이용하여 보다 객관적으로 비교평가하는 작업이 바람직하다고 생각된다.

한편 본 연구에서 이용한 시편제작법은 기존의 시편제작방법에 비하여 window부위를 절단할때나 절단후 사포로 연마시 관찰

하려는 병소부위가 깨지거나 파손되는 빈도를 많이 줄일수 있는 장점이 있으며, 건전한 치아에서 제작한 절편들을 각 군에 분포시킴으로써 객관성을 유지할 수 있도록 하였다.

구강내에서 법랑질은 환경에 따라 무기질의 손실과 침착이 반복되고 적합한 조건하에서 무기질의 침착이 가능한데 초기 법랑질 우식병소를 완전히 회복시킬수 있다면 우식의 예방에 효과적으로 대처할 수 있다. 본 연구에서 사용한 조건에서 pH의 효과를 부분적으로 확인할 수 있었으며 앞으로 효율적인 재광화에 필요한 최적의 인자를 찾기 위한 계속적인 연구가 필요하다.

V. 결 론

법랑질 인공우식의 재광화에 미치는 pH의 영향을 보기 위하여 건전연구치에서 형성한 치아절편에서 인공우식을 형성한 다음 각각 pH 4.0, 4.5, 5.0, 5.5인 과포화완충용액에 위치시켜 10일간 재광화의 진행양상을 편광현미경에서 관찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 주어진 포화도와 불소이온 농도에서는 재광화가 일어났으나 병소본체까지 완전히 진행되지 않았다.
2. pH를 증가시킴에 따라 재광화의 진행양상이 증가했다.

결론적으로 불소가 포함된 과포화용액에서 pH는 법랑질 재광화에 영향을 미치는 것으로 관찰되며 pH 5.5가 심부와 표층의 재광화에 가장 효과적으로 나타나나 완벽한 재광화를 이룩하기 위하여 더 많은 인자가 복합적으로 나타날 것으로 사료되며 계속적인 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

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. Anderson, B.G. : Clinical study of arresting dental caries. *J. Dent. Res.* 17 : 443-452, 1938.
3. Aoba, T., Okazaki, M., Takahashi, J., Moriwaki, Y. : X-ray diffraction study on remineralization using synthetic hydroxyapatite pellets. *Caries Res.* 12 : 223-230, 1978.
4. Arends, J., Christoffersen, J. : The nature of early caries lesions in enamel. *J. Dent. Res.* 65 : 2-11, 1986.
5. Baker dirks, O. : Posterupted changes in dental enamel. *J. Dent. Res.* 45 : 503-511, 1966.
6. Baker dirks, O. : The benefits of water fluoridation. *Caries Res.* 8(Suppl.) : 2-15, 1974.
7. Brudevold, F., McCann, H.G. : Enamel solubility tests & their significance in regard to dental caries. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 153 : 20-51, 1968.
8. Bruskes, 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.
9. Chow, L.C., Takagi, S., Shin, S. : Effect of a two fluoride mouthrinse on remineralization of enamel lesion in vitro. *J. Dent. Res.* 63 : 13-18, 1984.
10. Christoffersen, J., Arends, J. : Progress of artificial carious lesions in enamel. *Caries Res.* 16 : 433-439, 1982.
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. 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.

13. Damato, F.A., Strang, R., Stephen, K.W. : Effect of fluoride concentration on remineralization of carious enamel : an in vitro pH-cycling study. *Caries Res.* 24 : 174-180, 1990.
14. Feagin, F., Patel, P.R., Koulourides, T., Pigman, W. : Study of the effect of calcium, phosphate, fluoride and hydrogen ion concentrations on the remineralization of partially demineralized human and bovine enamel surfaces. *Archs Oral Biol.* 16 : 535-548, 1971.
15. Featherstone, J.D.B., Duncan, J.F., Cutress, T.W. : Surface layer phenomena in in-vitro early caries lesions of human tooth enamel. *Archs. Oral Biol.* 23 : 397-404, 1978.
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. Gray, J.A. : Kinetics of enamel dissolution during formation of incipient caries-like lesions. *Archs. Oral Biol.* 11 : 397-421, 1966.
18. Groeneveld, A., Arends, J. : Influence of pH and demineralization time on mineral content, thickness of surface layer and depth of artificial caries lesion. *Caries Res.* 9 : 36-44, 1962.
19. Grön, P., Spinelli, M., Trautz, O., Brudevold, F. : The effect of carbonate on the solubility of hydroxyapatite. *Archs Oral Biol.* 8 : 251-252, 1963.
20. 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
21. 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.
22. Hicks, M.J., Fatitz, C., Silverstone, L.M. : Initiation and progression of caries-like lesion of enamel : effect of synthetic saliva and sodium fluoride. *Caries Res.* 19 : 481-489, 1985.
23. Koulourides, T., Feagin, F., Pigman, W. : Effect of pH ionic strength and cupric ions on the rehardening rate of buffer-softened human enamel. *Archs. oral Biol.* 13 : 335-341, 1968.
24. Lagerlöf, F. : Effects of flow rate and pH on calcium phosphate saturation in human parotid saliva. *Caries Res.* 17 : 403-411, 1983.
25. Lammers, P.C., Borggreven, 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.
26. Lammers, P.C., Borggreven, J.M.P.M., Driessens, F.C.M. : Influence of fluoride and pH on in vitro remineralization of bovine enamel. *Caries Res.* 26 : 8-13, 1992.
27. Margolis, H.C., Moreno, E.C. : Kinetics and thermodynamic aspect of enamel demineralization. *Caries Res.* 19 : 22-35, 1985.
28. Margolis, H.C., Murphy, B.J., Moreno, E.C. : Development of carious-like lesions in partially saturated lactate buffers. *Caries Res.* 19 : 36-45, 1985.
29. Margolis, H.C., Moreno, E.C., Murphy, B.J. : Effect of low levels of fluoride in solution on enamel demineralization. *J. Dent. Res.* 65 : 23-29, 1986.
30. Mellberg, J.R., Chom Chomicki, W.G. : Fluoride uptake by artificial caries lesions from fluoride dentifrices in vivo. *J. Dent. Res.* 62 : 540-542, 1983.
31. Moreno, E.C., Zahradnik, R.T : Chemistry of enamel subsurface demineralization in

- in vitro. *J. Dent. Res.* 53 : 226-235, 1974.
32. Moreno, E.C., Zahradnik, R.T. : Demineralization and remineralization of dental enamel. *J. Dent. Res.* 58 : 896-902, 1979.
 33. Moreno, E.C., Margolis, H.C. : Composition of human plaque fluid. *J. Dent. Res.* 67 : 1181-1189, 1988.
 34. Moreno, E.C., Zahradnik, R.T. : The pore structure of human dental enamel. *Archs. Oral Biol.* 18 : 1063-1068, 1988.
 35. Nancollas, G.H., Purdie, N. : The kinetics of crystal growth. *Quart. Rev.* 18 : 1-20, 1964.
 36. Okazaki, T.A., Takahasi, J., Moriwaki, Y. : X-ray diffraction study on remineralization using hydroxyapatite pellets. *Caries Res.* 12 : 223, 1978.
 37. 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.
 38. Plasschaert, A.J., Morch, T., Konig, K.G. : Effect of sodium lactate under conditions of neutral pH on the release of calcium from the enamel surface in vitro. *Caries Res.* 6 : 334-345, 1972.
 39. Rooij, J.F., Nancollas, G.H. : The formation and remineralization of artificial white spot lesion. A constant composition approach : *J. Dent. Res.* 63(6) : 864-867, 1984.
 40. Siverstone, L.M. : Observation on the dark zone in early enamel caries and artificial like lesions. *Caries Res.* 1 : 261-274, 1967.
 41. Siverstone, L.M. : The surface zone in caries and in caries like lesions produced in vitro. *Brit. Dent. J.* 20 : 145-157, 1968.
 42. Silverstone, L.M. : Remineralization phenomena. *Caries Res.* 11 : 59-84, 1977.
 43. 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 concentration of the calcific fluid. *Caries Res.* 15 : 138-157, 1981.
 44. Siverstone, L.M., Hicks, M.J., Featherstone, M.J. : Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel. II. Surface morphology of sound enamel and carieslike lesions of enamel. *Quintessence Int.* 19 : 773-785, 1988.
 45. Sperber, G.H., Buonocore, M.G. : Enamel surface in white spot formation. *J. Dent. Res.* 42 : 724-731, 1963.
 46. Stephan, R.M. : Change in the hydrogen ion concentration on tooth surfaces and caries lesions. *J. Am. Dent. Assoc.* 27 : 718-723.
 47. Ten cate, J.M., Arends, J. : Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. *Caries Res.* 11 : 277, 1977.
 48. Ten cate, J.M., Arends, J. : Remineralization of artificial enamel lesions in vitro II. Determination of activation energy and reaction order. *Caries Res.* 12 : 213-222, 1978.
 49. Ten cate, J.M., Jongebloed, W.L., Arends, J. : Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. IV. Influence of fluorides and diphosphates on short and long term remineralization. *Caries Res.* 15 : 60-69, 1981.
 50. Ten cate, J.M., Duijsters, P.P.E. : Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res.* 16 : 201-210, 1982.
 51. 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.
 52. Theuns, H.M., van Dijk, J.W.E., Driessens, F.C.M., Groeneveld, A. : Effect of time

- and degree of saturation of buffer solutions on artificial caries lesion formation in human tooth enamel. *Caries Res.* 17 : 503-512, 1983.
53. Theuns, H.M., van Dijk, J.W.E., Driessens, F.C.M., Groeneveld, A. : Effect of the pH of buffer solutions on artificial carious lesion formation in human tooth enamel. *Caries Res.* 18 : 7-11, 1984.
 54. Theuns, H.M., van Dijk, J.W.E., Driessens, F.C.M. : The effect of undissociated acetic acid concentration of buffer solution on artificial caries like lesion formation in human tooth enamel. *Archs. Oral Biol.* 29 : 759-763, 1984.
 55. Varughese., Moreno, E.C. : Crystal growth of calcium apatites in dilute solutions containing fluorides. *Calcified tissue Internationals* 33(4) : 431-439, 1981.
 56. White, D.J., Chen, W.C., Nancollas, G.H. : Kinetic and physical aspects of enamel remineralization - A constant composition study. *Caries Res.* 22 : 11-19, 1988.
 57. 이찬영 : 산완충용액을 이용한 인공치아 우식형성. *연세치대논문집* 7 : 34-41, 1992.
 58. 백은영 : 산완충용액에서 Lactic acid가 치아우식형성에 미치는 영향. *연세치대논문집* 7 : 42-50, 1992.
 59. 박성호 : 유산완충액을 이용한 인공치아 우식의 형성에 미치는 산의 농도와 pH에 관한 연구. *대한치과보존학회지* 18 : 277-290, 1993.
 60. 한원섭 : 인공치아우식의 재광화에 대한 불소의 영향. *대한치과보존학회지* 21 : 161-173, 1996.

사진 부도 설명

- Fig. 2 Polarizing microscopic views of pre-treated sample of Group I imbibed in water (X25)
- Fig. 3 Polarizing microscopic views of 10 days storing sample of Group I imbibed in water (X25)
- Fig. 4 Polarizing microscopic views of pre-treated sample of Group II imbibed in water (X25)
- Fig. 5 Polarizing microscopic views of 10 days storing sample of Group II imbibed in water (X25)
- Fig. 6 Polarizing microscopic views of pre-treated sample of Group III imbibed in water (X25)
- Fig. 7 Polarizing microscopic views of 10 days storing sample of Group III imbibed in water (X25)
- Fig. 8 Polarizing microscopic views of pre-treated sample of Group IV imbibed in water (X25)
- Fig. 9 Polarizing microscopic views of 10 days storing sample of Group IV imbibed in water (X25)

논문 사진 부도

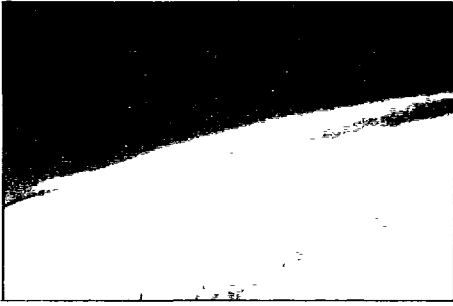


Fig. 2



Fig. 3

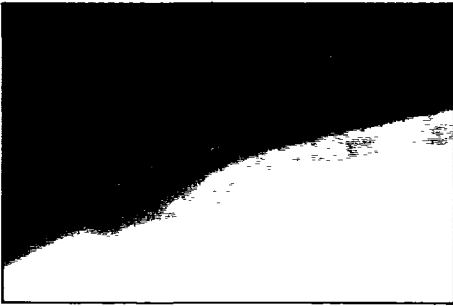


Fig. 4

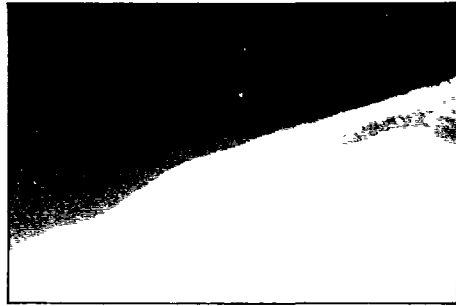


Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7

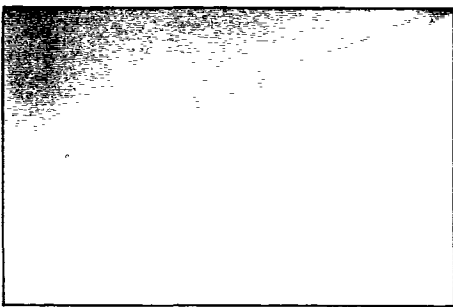


Fig. 8



Fig. 9