

## 불소가 산부식된 법랑질의 재석회화에 미치는 영향에 관한 연구

김진한<sup>1)</sup> · 이기수<sup>2)</sup>

치과교정장치의 장착을 위하여 치아법랑질표면을 산부식하는 것은 일반화된 술식이며, 산부식된 법랑질표면은 재석회화되어 자연적으로 정상상태를 회복하는 연구보고되어 왔다. 이 연구의 목적은 산부식된 법랑질표면의 재석회화에 불소가 미치는 영향을 실험적으로 관찰하여 재석회화의 일면을 구명하는데 있다.

교정치료목적으로 발거한 사람 제1소구치 치관을, 불소함유 석회화용액과 불소무함유 석회화용액에 12시간, 1일, 3일, 7일, 14일, 28일, 42일간 담구어 보관한후, 법랑질표면의 미세경도측정과 주사전자현미경관찰을 통하여 법랑질 표면의 변화들을 경시적으로 관찰하여 다음의 결과를 얻었다. 1) 표면미세경도는 불소함유 여부에 관계없이 시간경과에 따라 증가하였으며, 불소함유군은 12시간부터, 불소무함유군은 3일경과후부터 현저히 증가하였으나, 시간경과에 따라 그 차이는 감소하였다. 2) 주사전자현미경관찰에서 불소함유용군은 12시간후부터 법랑질표면에 침상물질이 침착되기 시작하여 42일 후에는 편평한 표면으로 되었으나, 불소무함유용군은 전실험기간동안 산부식직후보다 약간 더 거칠어졌으나, 산부식된 법랑질표면이 그대로 관찰되었다.

이상의 결과로부터 불소는 산부식된 법랑질표면의 재석회화 시기를 앞당기는 효과가 있으며, 재석회화의 소요시간도 단축하는 효과가 있음이 확인하였다.

(주요단어 : 법랑질 산부식, 재석회화, 불소의 영향)

### I. 서 론

법랑질 표면의 산부식법은 Buonocore<sup>1)</sup>에 의하여 처음 소개된 이후, 치아우식증, 법랑질 형성부전, 마모, 치아파절 등의 심미적 보존 치료와, 우식예방을 위한 치면열구의 전색, 동요치의 고정, 교정용 브라켓의 직접 부착 및 계속가공의치의 유지 등 치과 임상 의 각 분야에서 광범위하게 사용되고 있다<sup>2)</sup>. 그러나 산부식후 레진으로 덮이지 않고 구강내에 노출된 법랑질의 부식 표면은 치태의 부착이 더 용이하게 되므로 탈회의 위험이 높다고 알려져 있다<sup>3)</sup>. 반면에 산부

식된 법랑질 표면이나 초기우식증이 재석회화 과정을 통하여 자연적으로 정상상태로 회복된다는 보고도 계속되고 있다<sup>4,4-6)</sup>.

치아의 탈회 및 재석회화는 치아우식증의 발생과 예방에 있어서 가장 중요한 기전이라고 할 수 있다. 탈회는 구강세균이 생성한 젖산 및 초산 등과 같은 유기산에 의하여 치아의 주성분인 수산화인회석이 용해되는 과정이며, 재석회화는 부분적으로 탈회된 치아법랑질이 타액중의 칼슘 및 인을 포함하는 무기염에 의하여 재결정화됨으로써 탈회된 치질이 회복되는 과정이다<sup>7)</sup>.

탈회 법랑질의 재석회화는 타액이나 각종 무기질에 의하여 일어날 수 있는데, Head<sup>8)</sup>가 초기 우식병소가 타액에 의하여 재석회화됨을 처음으로 보고한 이래 이에 대한 연구가 계속되고 있다.

<sup>1)</sup> 경희대학교 의과대학 치의학 교실, 대학원생

<sup>2)</sup> 경희대학교 치과대학 교정학 교실, 교수

산부식된 법랑질의 재석회화에 관한 연구는 크게 구강내 실험과 시험관 실험으로 나뉘며 대부분의 구강내 실험은 생활치보다는 사람이나 소의 법랑질 조각을 유지장치로 구내에 고정하여 구강내 환경에 노출시키는 방법을 이용한다. 구강내에서의 재석회화에 대하여, Buonocore<sup>1)</sup>는 85% 인산용액으로 법랑질을 부식한 수일 후에 광택이 약간 소실된 것 외에는 정상적인 법랑질 표면으로 회복되었다고 보고하였고, Johansson<sup>5)</sup>과 Arana<sup>6)</sup> 등도 수시간부터 수일 이내에 자연적으로 재석회화 되었다고 보고하였다. 또한 Silverstone<sup>4)</sup>은 산부식된 법랑질은 정상 법랑질보다 다공성이며 표면적이 증가하기 때문에 산에 대한 용해도가 높고 초기 우식 발생이 쉬우나 24시간동안 타액에 노출된 후에는 용해도와 우식 발생율에서 정상 법랑질과 큰 차이가 없었으며 이는 산부식 처리된 법랑질이 재석회화되었음을 의미하는 것이라고 보고하여 구강내 환경에서의 재석회화에 긍정적 의견을 제시하였다. 그러나, Garberoglio와 Cozzani<sup>9)</sup>는 부식법랑질이 구강내에서 90일 후에도 거친 표면을 보이고 치면세마한 경우에만 평활하게 회복되었음을 보고하였고, Gängler와 Hoyer<sup>10)</sup>도 28일후에 부식법랑질 표면이 무기질성 피막으로 회복됨을 관찰하였으나 재석회화는 완전하지 않았다고 하였으며, Collys등<sup>11)</sup>은 타액으로부터 석회화물질의 침착에 의하여 부식법랑질 표면이 회복된다는 증거는 없다고 하여 구강내에서의 재석회화에 부정적인 의견을 보였다. 또한 Arends와 ten Bosch<sup>12)</sup>도 시험관 실험에서는 수주 이내에 재석회화가 일어나지만 구강내에서는 몇년이 지나야 재석회화가 완전히 일어날지 의문이라고 하였다. 이렇듯 구강내에서의 탈회법랑질의 재석회화에 관한 의견은 학자들마다 차이를 보이고 있다.

반면에 시험관 실험에서는 주로 불소의 효과에 관한 연구가 이루어졌다.

불소가 재석회화에 미치는 영향에 대한 실험적 연구로는, Corpron등<sup>13)</sup>이 구강내에서 탈회법랑질에 불소를 함유한 치약이나 양치용액, 정제를 사용한 후 미세경도를 측정하여 경도치가 증가함을 보고하였고, ten Cate와 Arends<sup>14)</sup>는 시험관실험에서 법랑질의 인공 병소를 불소에 노출시킨 후 재석회화에 대한 불소의 효과를 보고하였으며, O'Reilly와 Featherstone<sup>15)</sup>은 브라켓을 부착한 제1소구치를 한달간 구강내에 잔존시켰을 때 잇솔질만 한 경우에는 탈회가 일어났으나 불소를 도포한 경우에는 재석회화가 일어났다고 하여 재석회화에 있어서 불소의 중요성을 확인하였

다.

지금까지 탈회 법랑질의 재석회화에 관한 많은 연구가 있었으나 산부식된 법랑질 표면의 재석회화에 대한 우리나라의 연구는 희귀한 실정이며, 특히 재석회화과정에 대한 경시적 연구는 없었다. 이 연구의 목표는 산부식된 법랑질이 석회화 용액속의 불소 존재 여부에 따라, 그리고 시간경과에 따라 재석회화가 일어나는 양상의 일면을 구명하는데 있다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 실험재료

교정치료를 목적으로 발거된 제 1소구치중에서 치관협면의 균열, 법랑질 발육부전 혹은 반상치와 같은 형태 이상이 없고, 우식증에 이환되어 있지 않은 건전한 치아를 실험치아로 선택하였다. 선택된 치아는 다이아몬드 디스크로 치관을 치근과 절단분리하여 세척한 후, 생리식염수에 저장하여 섭씨 4도의 냉장고에 보관하였다.

미세경도측정과 주사전자현미경관찰시 치관의 취급을 용이하게 하기 위하여 원주형 레진블록을 제작하였다. 치근이 제거된 치아의 치관을 다이아몬드 디스크를 이용하여 근원심으로 치아장축에 평행하게 자른 후, 직경 12mm, 높이 5mm의 원주형 몰드의 바닥면 중앙에 치관의 순면이 놓이도록 하고 에폭시 레진(Epons<sup>TM</sup>, Epon Chemical Co., Korea)을 몰드속에 주입하여 상온에서 중합시켰다.

실험을 위하여 직경 3mm이상의 평활한 면이 치관순면에 노출될 수 있도록, 320번, 600번, 800번, 1000번, 1200번, 1500번, 2000번 사포의 순으로 급수 연마하였으며 최종적으로 산화아연 현탁액으로 활택하게 연마한 후 10분간 탈이온수속에서 초음파세척 하였다.

법랑질표면의 부식액으로는 중량비율 38%의 인산(phosphoric acid)용액 (Mono-Lok<sup>TM</sup>, Rocky Mountain Orthodontics, U.S.A.)을 사용하였다.

실험에 사용된 석회화 용액의 조성은 Table I과 같다. 탈이온수속에 CaCl<sub>2</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 및 KCl을 넣고 용해시켜 총량 1000ml의 불소무함유석회화용액을 만들었으며, 불화나트륨을 추가로 첨가하여 총량 1000ml의 불소함유석회화용액을 제조하였다. 석회화용액의 pH는 산도측정기에서 미량의 수산화나트륨을 첨가하여 안정시의 타액과 같은 7.0으로 만들었다.

**Table I.** Compositions of remineralizing solution. (pH 7.0)

CaCl <sub>2</sub>	1.5mM
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.9mM
KCl	130mM
(NaF	0.05mM)
Deionized water	1000ml

2. 실험방법

실험에 이용된 시편은 모두 80개이었으며, 그 중 5개는 아무런 처치를 하지 않은 대조군으로 하였고, 5개는 부식직후의 법랑질군으로 하였다. 나머지 70개의 시편은 무작위로 35개씩 불소함유용액군과 불소무함유용액군의 두 군으로 나누었으며, 각각의 군은 다시 시간경과에 따라 7개의 군으로 나누어 각각 12시간, 1일, 3일, 7일, 14일, 28일, 42일간 석회화 용액에 저장하였다.

대조군을 제외한 각 군의 치아는 38% 인산용액으로 60초간 부식시킨 후 흐르는 증류수로 15초간 수세하고 치과용 건조기(Clean Warmer II, 세제상사, Korea)로 건조하였다.

각 군의 시편은 용기를 달리하여 섭씨 37도로 유지되는 항온조에 보관하였으며 24시간마다 새로운 용액으로 교환하였다. 일정시간 경과후 용액에서 꺼낸 시편은 흐르는 증류수로 15초간 수세한 후 치과용 건조기로 건조하였다.

1) 미세경도측정

미세경도측정은 Vicker 경도측정기(Matsuzawa Co., Ltd. Japan)를 이용하였다. 레진에 포매된 법랑질 표면에 대하여 200gm의 수직하중으로 다이아몬드 압자를 15초간 압인하고 압인된 형태를 부착현미경으로 계측하여 경도치(VHN; Vicker's hardness number)의 산출자료로 하였으며 1개 시료당 5회의 반복측정을 통하여 평균계측치를 구하였다.

VHN의 산출 공식은 아래와 같으며 계산은 경도측정기에 내장된 컴퓨터에 의하여 이루어졌다.

Vicker's Hardness Number(VHN)

$$= 1854.4 \times P/d^2$$

P : load in grams

d : length of diagonal in microns

미세경도측정결과에 대한 통계처리를 위하여 각 군마다 평균치와 표준편차를 산출하고 유의차 검정을 위하여 Student's t-test를 시행하였다.

2) 주사전자현미경 관찰

각 군의 5개의 시편중 무작위로 하나를 선택하여 주사전자현미경으로 관찰하였다. 각 시편은 임계점 온도건조기로 건조하고, 금증착기(Eiko, IB-3, Japan)를 사용하여 금으로 피복한 후 주사전자현미경(Hitachi Co., Ltd. Japan)에서 가속전압 20Kvp의 전자빔으로 법랑질표면의 재석회화 양태를 관찰, 촬영하였으며 미세경도측정시의 압흔도 촬영하여 경도증가를

**Table II.** Microhardness values(VHN) of various groups.

Group	VHN(kg/mm <sup>2</sup> )						Difference
	Fluoride			Non-Fluoride			
	Mean	S. D.	Range	Mean	S. D.	Range	
Control	365.6	5.6	355.5-373.8	365.6	5.6	355.5-373.8	
Etching	179.2	8.8	157.7-189.7	179.2	8.8	157.7-189.7	
12 hrs	254.9	5.4	246.4-265.1	193.4	7.2	179.8-207.4	***
1 day	273.0	5.7	263.8-284.6	203.4	10.0	186.9-220.7	***
3 days	289.6	8.3	277.4-308.6	245.7	9.0	230.9-259.3	***
7 days	306.7	8.9	293.4-317.6	270.8	8.7	258.9-292.3	***
14 days	316.9	7.8	301.6-328.5	283.1	9.4	265.1-306.2	***
28 days	325.1	6.8	310.5-337.1	296.9	6.4	288.4-311.0	***
42 days	331.6	8.2	320.8-349.0	305.9	8.1	290.5-321.6	***

\*\*\* ; significant at the level of p<0.001

직접 육안으로 비교하였다.

### Ⅲ. 연구성적

#### 1. 미세경도측정

각 군의 미세경도 측정치의 평균치, 표준편차, 최소, 최대치 범위 및 통계적 검정을 Table II에 제시하였고, 그 평균치를 막대그림으로 표현하여 Fig. 1에 도시하였다.

아무런 처치를 하지 않은 대조군의 경도치는 365.6 ± 2.9 이었으며, 부식직후 법랑질군의 경도치는 179.2 ± 7.0 이었다. Student's t-test를 이용한 유의차 검정에서는 불소함유용액군이 불소무함유용액군보다 컸다(p<0.001). 측정된 경도치는 불소함유용액군과 불소무함유용액군의 시편 모두 시간 경과에 따라 증가하였으나 불소함유용액군에서 초기에 더 빠른 증가를 보였고 불소무함유용액군에서는 3일후부터 증가율이 커졌으며 시간이 갈수록 두 군간의 차이가 줄어들었다.

대조군의 경도치를 100%로 하였을 때 12시간군의 시편중 불소함유용액군은 71.5%, 불소무함유용액군은 54.2%의 경도치를 보였으며, 42일군에서는 불소함유용액군은 90.7%, 불소무함유용액군은 83.7%의 경도치를 보여 두 군 모두 증가하였으나 그 차이가 많이 줄어들었다. 대조군의 VHN을 100%로 하였을 때의 각 군의 VHN을 백분율로 표시하여 Table III과 Fig. 2에 나타내었다.

#### 2. 주사전자현미경 소견

##### 1) 대조군

법랑질 표면을 활택하게 연마한 시편에서는 연마과정에서 형성된 것으로 보이는 미세하게 굽힌 흔적만을 관찰할 수 있었다.(Fig. 3-g)

##### 2) 부식직후 법랑질군

주로 법랑소주의 변연부가 탈회되어 상대적으로 중심부가 남아 있는 부식양상을 보였으며, 법랑소주에는 수많은 미세공이 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있었다.(Fig. 3-e)

##### 3) 불소함유석회화용액군

12시간군 : 초기의 부식형태를 보이고 있으나 전체적

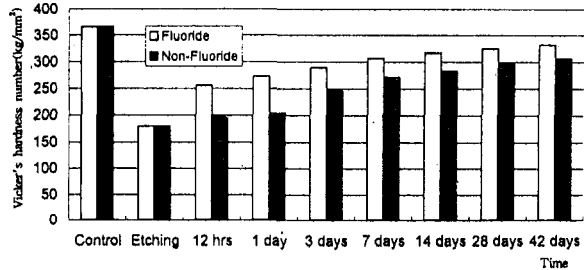


Fig. 1. Time-dependent changes of microhardness values(VHN) in fluoride containing solution and non-fluoride containing solution.

Table III. Percentage gain of VHN in fluoride containing solution and non-fluoride containing solution compared to control (ground enamel).

Group	Percentage(%)	
	Fluoride	Non-Fluoride
Control	100	100
Etching	49.0	49.0
12 hrs	71.5	54.2
1 day	74.7	55.6
3 days	79.2	67.2
7 days	83.9	74.1
14 days	86.7	77.4
28 days	88.9	81.2
42 days	90.7	83.7

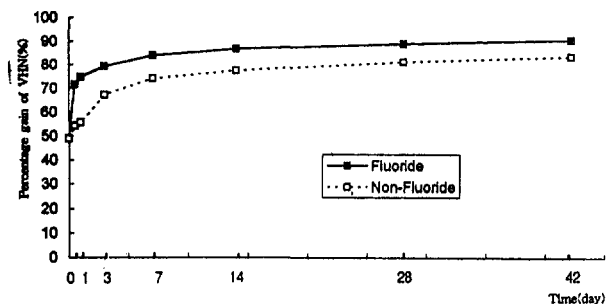
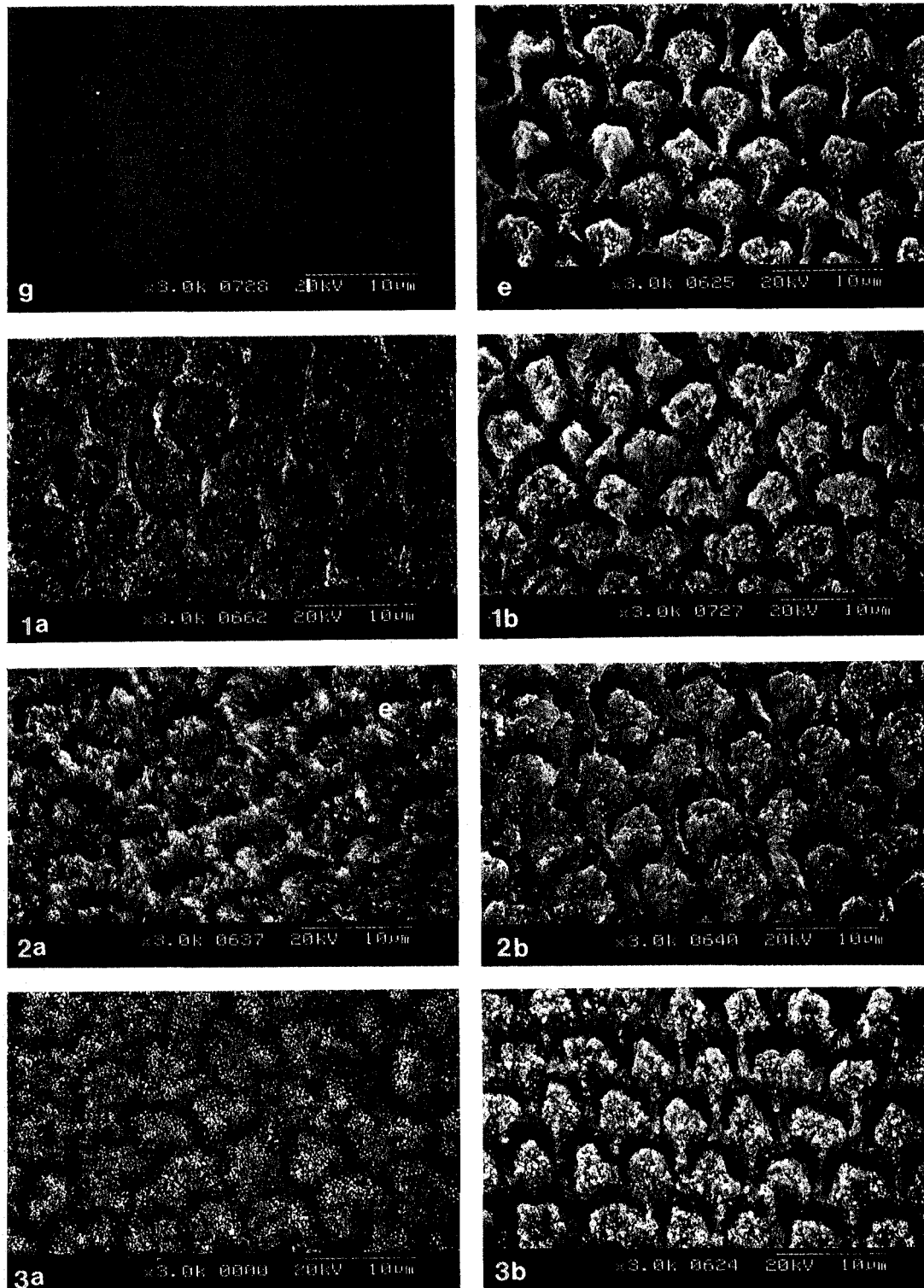


Fig. 2. Percentage gain of VHN in fluoride containing solution and non-fluoride containing solution compared to control(ground enamel).

으로 미세입자가 내려앉아 부식법랑질 표면이 거칠어졌으며 결정성장의 양상을 보이기 시작하였다.(Fig. 3-1a)

1일군 : 불규칙한 침상의 물질이 부식법랑질표면을



**Fig. 3.** Scanning electron microphotographs of human bicuspid enamel etched for 60 seconds with 38w/w% of phosphoric acid solution and immersed in fluoride(a) or non-fluoride(b) containing remineralizing solution for various periods. ; ×3000.  
g)ground normal enamel, e)acid etched enamel, 1)12 hrs, 2)1 day, 3)3 days

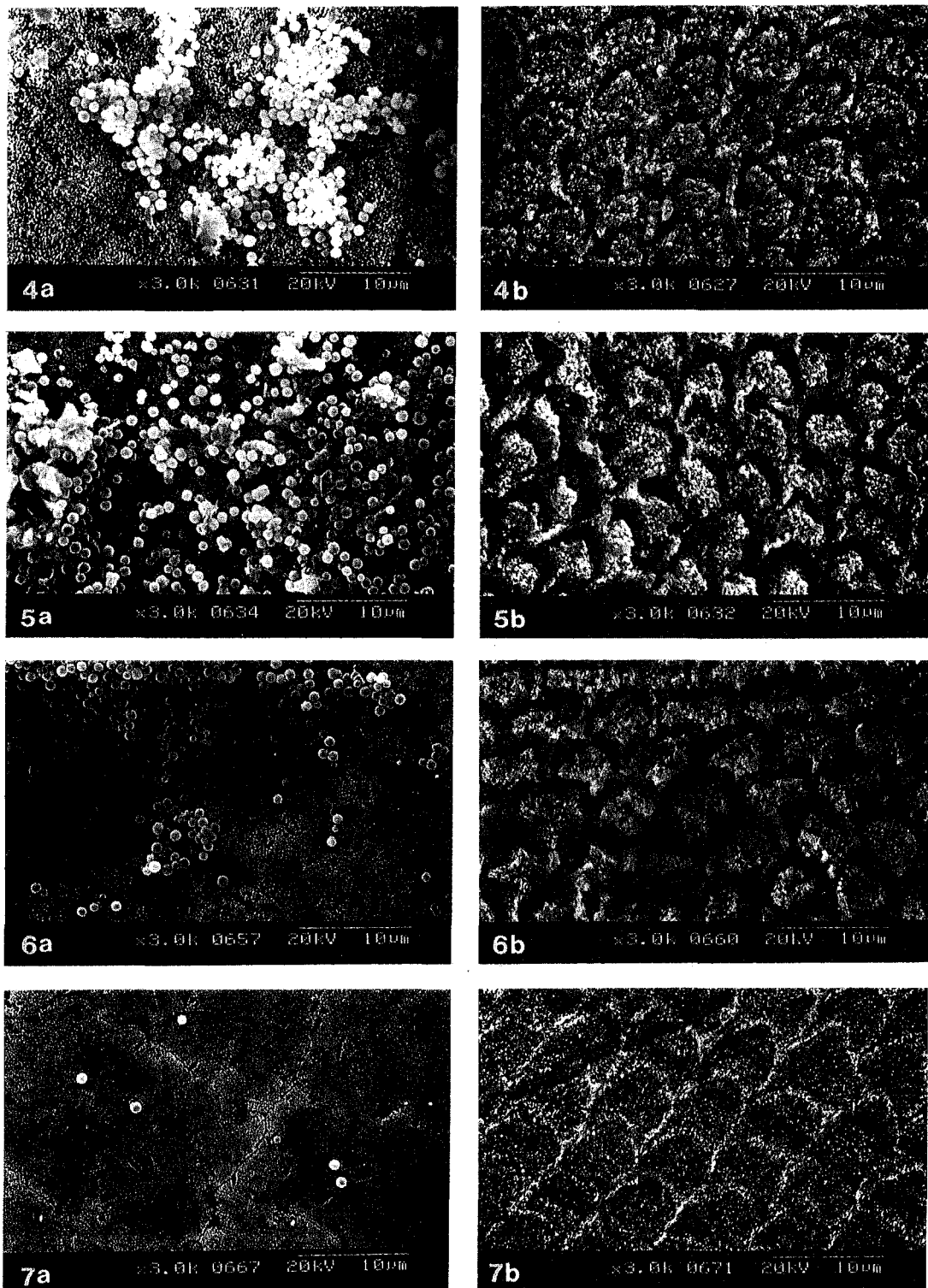


Fig. 3. continued  
4)7 days, 5)14 days, 6)28 days, 7)42 days

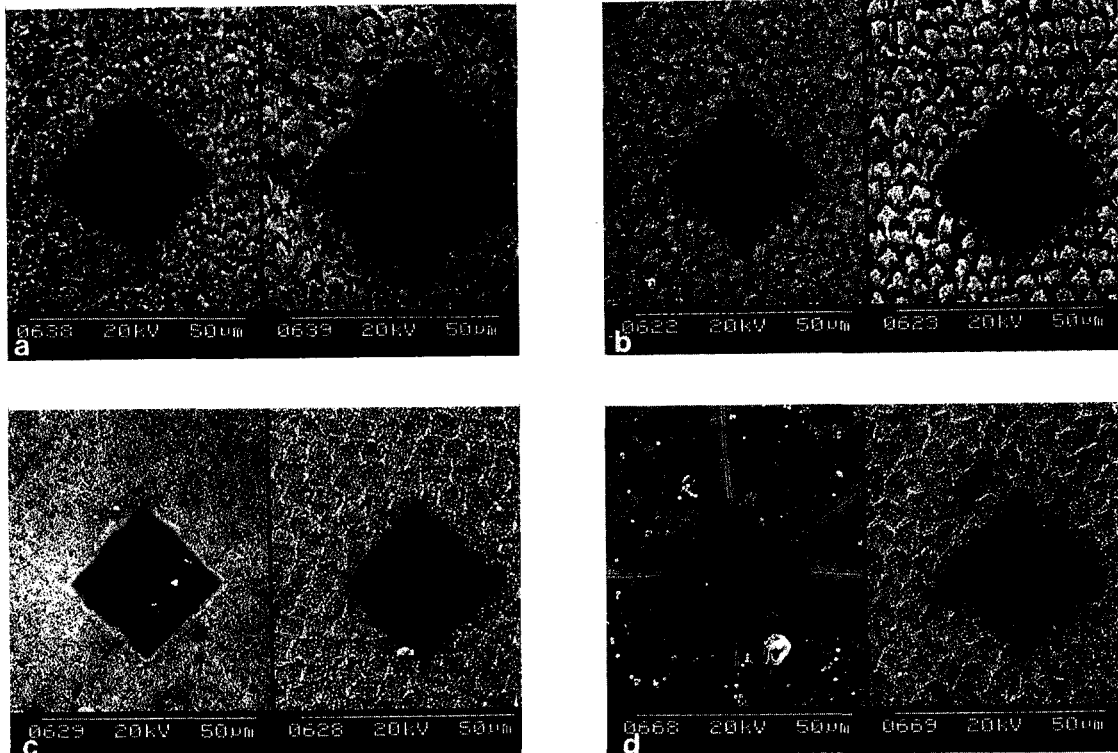


Fig. 4. Comparison of marks were pressed down in Vicker's hardness tester. Left ; Immersed in fluoride containing remineralizing solution. Right ; Immersed in non-fluoride containing remineralizing solution. a)1 day, b)3 days, c)7 days, d)42 days.

전체적으로 덮고 있는 양상을 보였다.(Fig. 3-2a)  
 3일군 : 침상 물질의 수와 크기가 더 증가하였으며 법랑소주부위가 소주간질보다 그 분포가 더 치밀한 양상을 보였다.(Fig. 3-3a)  
 7일군 : 법랑소주의 형태를 알아볼 수 없을 정도로 침상 침착물이 증가하였으며 부분적으로 구형의 침착물이 나타나기 시작하였다.(Fig. 3-4a)  
 14일군 : 침상 물질이 더욱 증가하였으며 구형침착물의 분포도 더 많아졌고 부식법랑소주의 형태를 구분하기 어려웠다.(Fig. 3-5a)  
 28일군 : 침상 물질이 더 증가하여 편평한 면을 이루었다.(Fig. 3-6a)  
 42일군 : 침상 물질이 더욱 치밀해진 양상을 보였다.(Fig. 3-7a)

4) 불소무함유석회화용액군

부식 법랑질표면이 약간 거칠어지기는 하였으나 재석회화되었다고 인정할 수 있는 표면의 변화는 관찰할 수 없었다.(Fig. 3-1b~7b)

5) 미세경도측정 압흔의 비교

미세경도측정을 끝마친 각 군의 시편중 임의로 하나를 선택하여 압인된 부위를 주사전자현미경으로 촬영하여 불소함유용액군과 불소무함유용액군의 압흔의 크기를 비교한 결과 1일군에서는 그 차이가 컸으나, 3일군부터 차이가 많이 줄어들었으며 시간이 경과할수록 차이는 더 많이 줄었다(Fig. 4).

IV. 총괄 및 고안

최근 치과 임상에서 광범위하게 사용되고 있는 산부식법은 치아의 법랑질표면에 일정한 시간동안 산을 처리하여 그 표면에 기계적인 유지형태의 형성을 증가시키려는 술식이다<sup>2)</sup>.

Silverstone<sup>16)</sup>은 30~40% 인산액으로 1분간 부식하는 것이 가장 효과적이며 균일한 부식양상을 나타낸다고 하였고, 본 연구에서는 법랑질표면을 38% 인산용액으로 1분간 부식하였다. 산부식 후 나타나는 법랑질표면의 부식양상에 대하여 Silverstone<sup>17)</sup>은

세가지 부식유형 즉, 법랑소주 중심부가 선택적으로 탈회되고 소주 변연부는 그대로 잔존하는 양상을 제 1형, 소주 변연부가 선택적으로 탈회되는 양상을 제 2형, 소주 구조와는 관계없이 불규칙하게 탈회되는 양상을 제 3형으로 구분하였으며, 본 연구의 재료는 대부분 제 2형이 관찰되었다.

Head<sup>8)</sup>가 타액에 노출된 법랑질이 단단해지는 것을 발견한 이후 미세경도측정법이 법랑질의 탈회 및 재석회화를 평가하는 방법으로 이용되고 있으며, Arends와 ten Bosch<sup>18)</sup>는 탈회와 재석회화의 여러 평가방법을 소개하면서 정량분석의 방법중 직접적인 것은 microradiography가 가장 유용하며 간접적인 방법으로는 미세경도 측정이 좋다고 하였다.

재석회화의 평가방법중 법랑질표면의 관찰을 위하여 주사전자현미경도 여러 학자에 의하여 이용되었다<sup>9-11,14)</sup>. 본 연구에서는 재석회화의 간접적인 정량분석을 위하여 미세경도측정법을 이용하였으며, 법랑질 표면의 변화양상을 직접 관찰하기 위하여 주사전자현미경을 이용하였다.

자연치의 법랑질 미세경도는 개개인의 차이가 심하며, 동일인의 치아라 할지라도 각각의 치아종류나 같은 치아라도 각각의 부위에 따라 다르게 나타나는데 자연치 법랑질의 미세경도는 전치부보다 구치부로 갈수록 증가하고 같은 종류의 치아에서도 개인에 따라 상당한 차이를 보이지만 상,하악간의 차이는 없다<sup>19)</sup>. 본 실험에서는 청소년기의 교정환자에서 얻은 상하악의 제 1소구치를 실험표본으로 선택하였으며 300gm의 힘을 가하였을 때에는 미세한 균열이 발생하여 200gm의 힘을 선택하였다. 피검시료의 미세경도 측정 결과 5개 건전법랑질 시료의 평균 미세경도는 365.6±5.6으로써 김<sup>19)</sup>의 372.2, 최등<sup>20)</sup>의 367.2, 민<sup>21)</sup>의 363.2와 유사한 결과를 보였다.

Collys등<sup>11)</sup>은 24시간동안 석회화용액에 초기우식 치아를 저장하였을 때 불소가 있는 경우와 없는 경우 모두에서 미세경도가 증가하였다고 하였으며 본 실험에서도 두 경우 모두 시간이 경과할수록 미세경도도 증가하여 일치된 결과를 보였다.

최등<sup>20)</sup>은 부식된 법랑질에 불화나트륨을 국소도포하여 침착물질을 주사전자현미경으로 관찰하였으나 표면미세경도의 증가는 없었다고 하였다. 그러나 본 실험결과 산부식후 불소가 포함된 석회화용액에 저장한 시편의 미세경도가 실험초기에 불소무함용액군에 비하여 빠르게 증가한 것으로 보아 침착물질이 경도의 증가에 기여한다고 생각된다.

Gängler와 Hoyer<sup>10)</sup>는 초기 우식법랑질이 재석회화되는 과정과 산부식된 법랑질 표면이 재석회화되는 과정은 기본적으로 다른 기전을 갖는다고 하였으며, 산부식된 법랑질 표면의 재석회화는 결정화 정도에 상관없이 표층에 칼슘과 인의 침착을 재석회화 현상으로 해석할 수 있다고 하였으며, Arends와 ten Bosch<sup>18)</sup>는 미세경도의 증가를 재석회화의 증거로 사용할 수 있다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 불소무함용액군에서 부식법랑질표면에 재석회화로 인정할 수 있는 표면구조의 변화 또는 침착물이 없었음에도 불구하고 시간경과에 따라 경도의 증가를 보였다. 이는 법랑질표면에서의 어떤 화학적인 구조의 변화에 기인한다고 추정되며 이에 대한 연구가 더 필요하리라 생각된다.

불소가 치질에 침착되는 기전은 불소이온농도가 저농도일때와 고농도일때가 다르게 나타난다. 100 ppm이하의 저농도의 불소가 수산화인회석에 작용할 경우에는 수산기(OH<sup>-</sup>)를 불소가 치환하여 불화인회석(Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>F<sub>2</sub>)이 생성되며, 이는 수산화인회석보다 더 안정된 결정구조를 가짐으로써 아파타이트의 물리적, 화학적 성질을 강화시켜 산에 대한 치아의 용해도가 감소된다<sup>22)</sup>.

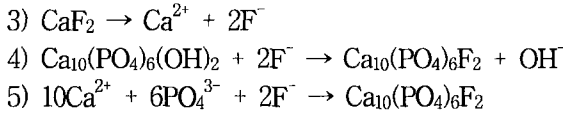
불소국소도포에 이용되는 불소화합물 용액처럼 500 ppm 이상의 고농도의 불소를 법랑질표면에 작용시킬 경우에는 불화칼슘(CaF<sub>2</sub>)이 생성되고 동시에 치질에서는 인산이 녹아나온다. 이렇게 형성된 불화칼슘은 구형으로 형성되며 타액에서 서서히 녹아 불소의 저장고 역할을 하게된다. 그러나 외력이 가해지면 쉽게 제거되기 때문에 24시간내에 거의 씻겨 없어진다<sup>22,23)</sup>.

이를 화학식으로 나타내면 식 1)과 2)와 같으며 이 반응이 바뀌는 불소 농도는 200-300 ppm이다.

- 1) 저농도일 때 :  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 2NaF \rightarrow Ca_{10}(PO_4)_6F_2 + 2NaOH$
- 2) 고농도일 때 :  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 20NaF \rightarrow 10CaF_2 + 6Na_3PO_4 + 2NaOH$

녹아내린 불화칼슘은 아래의 3), 4)식과 같이 국소적으로 수산화인회석과 반응하여 불화인회석을 만들고 또 타액과 조직액중의 인산이온과 반응하여 5)식과 같이 항상 불화인회석을 만든다<sup>21)</sup>.





본 연구에서는 0.05mM의 저농도의 불소를 사용하여 초기에는 법랑질 표면에서의 결정성장의 양상을 보였을 뿐 구형침착물은 생성되지 않았으나 7일군에서는 구형침착물이 생겨났는데 이는 저농도의 불소 일지라도 장시간 접촉하게 되면 고농도에서와 유사한 반응이 일어날 수 있음을 의미하는 것이라고 생각된다.

탈회 법랑질의 재석회화에 유용한 불소 농도에 관해서 ten Cate와 Arends<sup>14)</sup>는 1ppm의 불소를 포함하는 석회화용액을 사용할 경우 그렇지 않을 때보다 2배의 재석회화가 일어났다고 하였으며, Featherstone 등<sup>24)</sup>은 불소이온의 농도가 높을수록 탈회는 감소하고 재석회화는 증가된다고 하였다. Amjad와 Nancollas<sup>25)</sup>는 불소농도가 0.05mM/1(1ppm) 이하에서는 칼슘과 인의 침착을 오히려 방해한다고 하였다. 그러나 Varghese와 Moreno<sup>26)</sup>는 0.0025mM/1 (0.05ppm)의 불소 농도에서도 결정의 증가가 있었다고 하였으며 Meyer와 Nancollas<sup>27)</sup>는 재석회화에 도움을 주는 불소의 농도가 0.002mM에서 0.1mM까지라고 하였다. 본 실험에서는 0.05mM/1의 농도로 불소를 첨가하여 결정의 생성을 확인할 수 있었으며 이는 Amjad와 Nancollas<sup>25)</sup>와는 다른 결과이며 다른 학자들과는 일치하는 결과이다.

Gardner와 Nancollas<sup>28)</sup>는 재석회화 연구에서 불소가 없으면 침전물을 발견하기 어렵다고 하였으며 본 연구에서도 불소무함용액에서는 침착물로 인정되는 물질을 확인할 수 없었다.

Jeansonne와 Feagin<sup>29)</sup>은 산부식된 법랑질의 재석회화에 관한 실험에서 중성 불화나트륨의 사용이 가장 우수하였다고 하였으며 본 연구에서도 국소도포에 가장 보편적으로 사용되는 불화나트륨을 사용하였다.

산부식된 법랑질표면의 재석회화 기간에 대하여 Johansson<sup>5)</sup>은 24~48시간, Retief등<sup>30)</sup>은 7일, Arana<sup>6)</sup>는 4~16일 등의 짧은 기간내에 재석회화된다고 하였으나, 이들은 단지 육안적인 구내관찰을 통하여 재석회화가 일어났다고 하였으며 장과 손<sup>31)</sup>은 주사전자현미경 관찰을 통하여 구강 내에서의 재석회화는 최소한 4~8주의 시간을 요한다고 하였다. 본 연구에서는 불소함용액군의 42일군에서 미세경도는 대조군의

90.7%까지 회복되었고 주사전자현미경 관찰에서는 부식법랑질표면을 완전히 덮는 결정성장을 보였으나 언제 재석회화가 완료될지에 대해서는 더 오랜 연구기간이 필요하다.

시험관 실험과 달리 실제 구강내에서의 재석회화는 pH 변화에 따른 우식유발과 원래상태로의 회복이 제한된 시간내에 발생하고 타액의 조성이나 타액내의 단백질이나 pyrophosphate, diphosphonates와 같은 재석회화의 방해물질이 존재하여 법랑질내로의 이온 확산이 제한되기 때문에 재석회화 속도가 느리며, 불소이온의 농도변화가 다양하다. 따라서 시험관 실험에서는 구강내와 유사한 조건하에서의 실험이 어려우며, 앞으로 구강내와 유사한 실험조건부여에 대한 연구가 필요하리라 생각된다.

아울러 임상적으로 교정진료시 산부식술을 시행할 때에는 산부식액이 인접면으로 흘러들어가지 않도록 주의해야 하고 불소도포를 통한 치아우식증의 예방과 초기우식증 및 산부식된 법랑질의 조속한 재석회화를 통한 정상 상태로의 회복이 필요하리라 생각된다.

## V. 결 론

이 연구는 산부식된 법랑질이 석회화용액 속의 불소존재여부에 따라, 그리고 시간경과에 따라 재석회화되는 양상을 관찰하기 위하여, 교정치료를 목적으로 발거된 건전한 제 1소구치의 협측 법랑질 표면을 활택하게 연마하여 38% 인산용액으로 60초간 부식시키고 불소함유석회화용액과 불소무함유석회화용액에 각각 0, 12시간, 1일, 3일, 7일, 14일, 28일, 42일간 저장하였다가 표면미세경도를 측정하고 주사전자현미경으로 표면을 검경하였으며, 이상에서 얻은 자료를 평가하여 다음과 같은 결과와 결론을 얻었다.

1. 표면미세경도는 불소함용액군과 불소무함용액군 모두에서 시간경과에 따라 증가하였다.
2. 불소함용액군에서는 12시간군부터 표면미세경도의 많은 증가가 있었으나 불소무함용액군에서는 3일이 지난후부터 많은 증가를 보였다.
3. 시간 경과에 따라 두 군 사이의 표면미세경도 차이는 점차 감소하였다.
4. 불소함용액군의 주사전자현미경관찰에서 12시간군부터 침상 물질이 형성되어 시간이 경과할수록 수와 크기가 증가하였으며, 7일군에서는 구형침

착물이 형성되기 시작하였다. 침상 물질은 그 수가 점점 더 많아져 42일군에서는 부식범랑질면이 편평한 양상을 보였다.

5. 불소무함유용액군의 주사전자현미경관찰에서 초기의 부식형태보다 약간 거칠어지기는 하였지만 42일이 지나도 재석회화로 인정할 수 있는 표면의 변화는 관찰할 수 없었다.

이상의 결과와 같이 불소는 실험기간중에 산부식된 범랑질의 재석회화에 촉진효과를 가지고 있음을 확인할 수 있었으며, 미세경도측정과 주사전자현미경관찰을 통한 경시적변화의 관찰에서 시간이 경과함에 따라 재석회화도 계속되어 진행된다는 것을 확인할 수 있었다.

### REFERENCES

1. Buonocore, M.G. : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surface. *J. Dent. Res.*, 34 : 849-853, 1955.
2. Council on dental materials and devices : Status report on acid etching procedures. *J.A.D.A.*, 97 : 505-508, 1978.
3. Lehman, R., Davison, C.L. and Duijsters, P.P.E. : In vitro studies on susceptibility of enamel to caries attack after orthodontic bonding procedures. *Am. J. Orthod.*, 80 : 61-72, 1981.
4. Silverstone, L.M. : Fissure sealants : The susceptibility to dissolution of acid-etched and subsequently abraded enamel in vitro. *Caries Res.*, 11 : 46-51, 1977.
5. Johansson, B. : Remineralization of slightly etched enamel. *J. Dent. Res.*, 44 : 64-70, 1965.
6. Arana, E.M. : Clinical observations of enamel after acid-etch procedure. *J.A.D.A.*, 89 : 1102-1108, 1974.
7. Working Group Consensus Report : Demineralization/remineralization. *J. Dent. Res.*, 65(spec Iss) : 1532-1536, 1986.
8. Head, J. : A study of saliva and its actions on the tooth enamel in reference to its hardening and softening. *J. Am. Med. Ass.*, 59 : 2118-2127, 1912.
9. Garberoglio, R. and Cozzani, G. : In vivo effect of oral environment on etched enamel : A scanning electron microscope study. *J. Dent. Res.*, 58 : 1859-1865, 1979.
10. Gängler, P. and Hoyer, I. : In vivo remineralization of etched human and rat enamel. *Caries Res.*, 18 : 336-343, 1984.
11. Collys, K., Cleymaet, R., Coomans, D. and Slop, D. : Acid-etched enamel surfaces after 24h exposure to calcifying media in vitro and in vivo. *J. Dent.*, 19 : 230-235, 1991.
12. Arends, J. and ten Bosch, J.J. : In vivo de- and remineralization of dental enamel. *IRL Press*, pp.1-11, 1985.
13. Corpron, R.E., More, F.G., Clark, J.W., Korynicki, D. and

- Kowalski, C.J. : In vivo remineralization of artificial enamel lesions by a fluoride dentifrice for mouthrinse. *Caries Res.*, 20 : 48-55, 1986.
14. ten Cate, J.M. and Arends, J. : Remineralization of artificial enamel lesions in vitro. *Caries Res.*, 11 : 277-286, 1977.
15. O'Reilly, M.M. and Featherstone, J.D.B. : Demineralization and remineralization around orthodontic appliances : An in vivo study. *Am. J. Orthod.*, 92 : 33-40, 1987.
16. Silverstone, L.M. : Fissure sealants and laboratory studies. *Caries Res.*, 8 : 2-26, 1974.
17. Silverstone, L.M., Saxton, C.A., Dogon, I.L. and Fejerskov, O. : Variation in the pattern of acid etching of human dental enamel examined by scanning electron microscopy. *Caries Res.*, 9 : 373-387, 1974.
18. Arends, J. and ten Bosch, J.J. : Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J. Dent. Res.*, 71 : 924-928, 1992.
19. 김철위 : 치아 경조직의 미세경도에 관한 연구. *대한치과의사협회지*, 13 : 17-32, 1985.
20. 최유진, 홍정표, 한봉석 : 치아경조직 부식후 재경화에 관한 실험적 연구. *대한구강보건학회지*, 13 : 61-73, 1989.
21. 민병순 : 한국인의 소구치 경조직 미소경도에 관한 연구. *대한치과의사협회지*, 15 : 47-58, 1977.
22. 김종수, 이종훈 : 구강 생리학. *신광출판사*, Vol.3 pp : 330-352, 1989.
23. Afseth, J. and Rölla, G. : Dissolution behaviour of fluoride products on etched enamel following 2% NaF. *IRL Press*, pp.223-231, 1986.
24. Featherstone, J.D.B., Glena, R., Shariati, M. and Shilde, C.P. : Dependence of in vitro demineralization of apatite and remineralization of dental enamel on fluoride concentration. *J. Dent. Res.*, 69 : 620-625, 1990.
25. Amjad, Z. and Nancollas, G.H. : Effect of fluoride on the growth of hydroxyapatite and human dental enamel. *Caries Res.*, 13 : 250-258, 1979.
26. Varughese, K. and Moreno, E.C. : Crystal growth of calcium apatites in dilute solutions containing fluoride. *Calcif. Tissue Int.*, 33 : 431-439, 1981.
27. Meyer, J.L. and Nancollas, G.E. : Effect of stannous and fluoride ions on the rate of crystal growth of hydroxyapatite. *J. Dent. Res.*, 51 : 1443-1450, 1972.
28. Gardner, G.L. and Nancollas, G.H. : Kinetics of crystal growth and dissolution of calcium and magnesium fluorides. *J. Dent. Res.*, 55 : 342-352, 1976.
29. Jeansonne, B.G. and Feagin, F. : Fluoride action and acid resistance of unaltered human surface enamel. *J. Oral Pathol.*, 8 : 207-212, 1979.
30. Retief, D.H., Dreyer, C.J. and Gavron, G. : The direct bonding of orthodontic attachments to teeth by means of an epoxy resin adhesive. *Am. J. Orthod.*, 58 : 21-40, 1970.
31. 장기택, 손동수 : 산부식 처리된 범랑질표면의 구강내 변화에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 16 : 196-206, 1989.

-ABSTRACT-

## IN VITRO STUDY ON THE EFFECTS OF THE FLOURIDE ON THE REMINERALIZATION OF ACID ETCHED ENAMEL

Jin-Han Kim, D.M.D. Ki-Soo Lee, D.D.S., M.S.D., Ph.D.)

*Department of Dental Medicine with a major in Orthodontics, Kyung Hee University, Graduate school*

Remineralization of acid-etched enamel across the time has been one of the curiosities in the context of the orthodontic biomechanics(Arends J. et al., IRL Press, 1, 1985), nevertheless, is so far controversial. It was the aim of this study to observe the remineralization patterns of acid-etched enamel across the time and whether the existence of fluoride might carry out any modifications.

The intact buccal surfaces of the first bicuspid which was extracted for orthodontic treatment were ground smooth, and etched with a 38w/w% phosphoric acid for 60 seconds. The surface was observed by the scanning electron microscope and surface microhardness was measured after immersion in the fluoride or non-fluoride containing remineralizing solution for 0 hour, 12 hours, 1 day, 3 days, 7 days, 14 days, 28 days, and 42 days.

The following results and conclusions were drawn ;

1. Surface microhardness increased in both fluoride containing and non-fluoride containing solution group with time lapse.
2. In fluoride containing solution group, the surface microhardness sharply increased at the 12 hours group, on the other hand, surface microhardness increased at 3 days in non-fluoride containing solution group.
3. The difference in microhardness value between two groups manifested gradual decrease.
4. Scanning electron microphotographs disclosed that the fluoride containing solution group generated spiculate substances in the 12 hours group, which was increased in number and size with time lapse. 7 days later, spherical composure was began to be produced. The spiculate substances so much increased in number that the etched enamel surface looked like flat in 42 days.
5. In non fluoride-containing solution group, there was no surface change at 42 days, perceivable in scanning electron microphotographs which could be defined as remineralization though the surface was a little rougher than the incipient etched surface.

These results demonstrate that the action of the fluoride is exceedingly pertinent in the remineralization of acid-etched enamel and the remineralization process goes uninterruptedly with time lapse.

KOREA. J. ORTHOD. 1996 ; 26 : 389-399

※ **Key words** : acid etching, remineralization, fluoride, surface microhardness