

Glass Ionomer 수복재의 초기 법랑질 우식증에 대한 효과

박영수 · 김종수 · 권순원

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

국문초록

불소의 항우식 작용에 대해서는 논란의 여지가 없으며, 소아치과 임상에서 다량의 불소를 함유하고 있는 글라스 아이오노머는 이러한 이유로 선호되고 있다. 유리된 불소가 인접 법랑질의 항우식 효과에 미치는 영향을 평가하기 위하여 in situ 모형을 제작하고, 불소의 침투 경로와 범위 그리고 재광화 정도를 평가하기 위하여 미세 경도 측정법, 편광 현미경 관찰 및 전자 탐침 미소 분석(EPMA, Electron Probe Micro-Analysis)을 시행하였다.

전통적인 글라스 아이오노머인 Fuji IX[®]과 불소를 포함하지 않은 복합 레진인 Z-100[®]을 선정하여 미세 경도치의 변화를 분석한 결과, 복합레진에 비해 글라스 아이오노머에 의한 재광화가 가속화됨을 알 수 있었다. 편광 현미경 소견의 변화를 관찰한 결과 구강내 환경에서도 초기 법랑질 우식증이 재광화될 수 있음을 확인하였고, 이러한 과정은 불소에 의해 촉진될 수 있음을 재삼 확인하였다.

전자 탐침 미소 분석 (EPMA) 관찰 결과, 구강내 환경에서 병소 본체 크기 감소를 관찰할 수 있었으며 불소에 의해 가속화됨을 확인하였다. 불소 분포 관찰 결과 농도가 기저부에서 증가하였으며 이는 기저부가 항우식 작용에 중요한 역할을 하는 것으로 생각되었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때, 초기 법랑질 우식증은 구강내 환경에서 타액에 의해 재광화될 수 있으며, 이러한 과정은 인접 치아에 충전된 글라스 아이오노머로부터 유리된 불소에 의해 더욱 가속화될 수 있음을 알 수 있었다. 글라스 아이오노머로부터 유리된 불소는 병소 본체 기저부에 침착되어 항우식 작용에 중요한 역할을 한다고 판단되며 이를 위해서는 건전 표층의 존재가 매우 중요한 것으로 사료된다.

주요어 : 불소, 재광화, 글라스 아이오노머, 초기 법랑질 우식증, 전자 탐침 미소 분석법

I. 서 론

불소의 항우식 작용에 대해서는 논란의 여지가 없으며^{1,2)}, 이러한 이유로 소아치과 임상에서 사용되고 있는 많은 수복 재료들은 불소를 포함하고 있다^{3,6)}. 특히 글라스 아이오노머는 다량의 불소를 함유하고 있을 뿐 아니라 이온 결합에 의해 치질과 직접 접촉되며 치아와 유사한 색조를 가지고 있어 소아들의 수복재료로 선호되고 있다⁷⁻¹⁰⁾. 글라스 아이오노머로부터 유리된 불소가 인접 법랑질의 항우식 효과에 미치는 영향에 관한 연구들은 이미 많이 보고된 바 있다¹¹⁻¹⁴⁾.

불소의 치아 우식 예방 효과를 평가하기 위한 많은 방법들이 제시되고 있으며, 재광화 효과를 평가하기 위한 간접적인 방법으로 미세경도 측정법¹⁵⁻¹⁸⁾이 있으며, 치질에 포함된 불소의 함량 측정을 위해 표본을 채취하여 정량 분석하는 법랑질 생검법¹⁹⁾이 있고, 재광화 여부를 평가하기 위해 빛의 굴절을 이용한 편광 현미경 분석법²⁰⁾ 등이 있으나, 이러한 연구 결과들은 국소적인 측정치에 국한된 결과치를 보여 줄 위험성이 있을 뿐 아니라

표본 원형이 파괴되어 불소의 항우식 효과에 대한 연구에 한계를 가지고 있었다. 그러나 최근 전자현미경을 이용한 원소 분석법²¹⁻²³⁾이 도입되면서 불소의 항우식 효과의 평가에 획기적인 발전이 이루어지고 있다.

이에 저자는 글라스 아이오노머에 의한 인접 법랑질 초기 우식증에 대한 항우식 효과의 기전을 검증하기 위한 기초 연구를 위하여 in situ 모형을 제작하여 본 연구를 시행하였다. 불소의 침투 경로와 범위 그리고 재광화 정도를 평가하기 위하여 미세 경도 측정법, 편광 현미경 관찰 및 전자 탐침 미소 분석을 시행하고 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구재료

최근 도축장에서 수거한 우전치(牛前齒)를 치면 세마한 후 3% 포르말린 용액에 24시간 담그어 소독한 다음 생리 식염수

Table 2. Experimental materials of each group

	Materials	Artificial Caries	No. of samples
Group I	Z-100®	No	10
Group II	Z-100®	Yes	10
Group III	Fuji IX®	No	10
Group IV	Fuji IX®	Yes	10
Group V	Saline	No	10
Group VI	Saline	Yes	10

로 세척한 후 100% 습윤 하에서 실험 개시 전까지 보관하였다.

실험군으로 사용된 글라스 아이오노머는 Fuji IX® (GC, Japan)이었으며, 대조군으로 불소를 포함하지 않은 충전재료인 복합 레진인 Z-100® (3M, USA)을 사용하였다.

인공 우식 유발 여부와 실험재료에 따라 Table 1과 같이 6개의 군으로 나누었으며, 각 군당 10개의 표본을 배정하였다.

2. 연구방법

(1) 우전치 준비 및 실험전 평가

우식 유발 용액은 0.1M lactic acid에 6wt% hydroxyethyl cellulose를 첨가한 후 pH4.0으로 제조하였다. 준비된 우전치(牛前齒)를 Low speed saw(다리원상사, 한국)를 이용하여 순면이 포함되도록 4×4mm 크기의 박편으로 절단하였다. 법랑질을 가능한 많이 보존할 수 있도록 주의하면서 박편을 연마하여 2mm 두께로 만든 후, 불투과성 nail varnish를 법랑질 순면만 노출되도록 도포하였다. 우식 용액에 담그어 37℃ 항온기에서 7일간 보관하여 초기 법랑질 우식증을 유발시켰다.

우식이 일정하게 유발되었는지를 평가하기 위하여 법랑질 박편의 표면을 HM-122 미세 경도기 (Akashi, Japan)를 사용하여, 하중 50g, 적용 시간 10초의 조건 하에서 중앙 및 4개의 모서리에서 임의점을 선택하여 비커스 미세 경도치를 측정하였다. 표준편차를 벗어나는 표본들을 제외시키고, 이중 60개의 법랑질 박편을 무작위로 선택, 배분하였고 군간 통계적 유의차가 없음을 확인하였다.

실험전 모든 표본들을 편광 현미경으로 water immersion 하에서 100배 배율로 관찰하고 디지털 카메라로 촬영하였다.

(2) In situ 모형

실험재료와 법랑질 박편이 고정될 수 있도록 특별히 고안된 4.5×10×2mm 크기의 레진 프레임의 한 쪽(B로 표시)에 법랑질 박편을 고정시킨 후, mylar strip으로 분리하고 반대쪽(A로 표시)에 실험재료를 충전하였다(Fig. 1).

준비된 in situ 모형을 Creanor 등²⁴⁾이 고안하여 사용하였던 구내 장치를 변형하여 제작하였다. Resin frame이 들어갈 수 있도록 하악 장치의 경우는 설측, 상악 장치의 경우는 구개측에 5×11×2.5mm 크기의 hole을 좌, 우측에 각각 2개씩 형성한

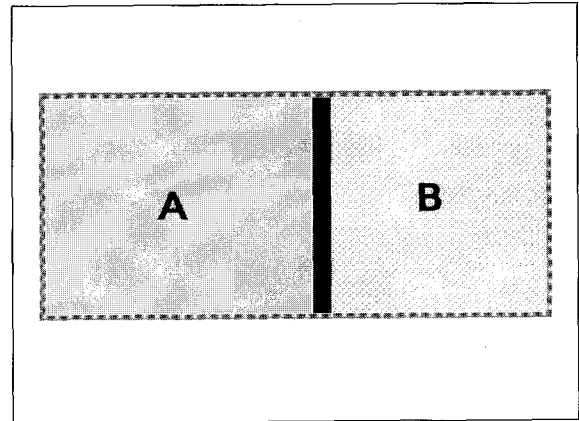


Fig. 1. Schematic draw of resin frame. (A : filling material, B : enamel)

다음, resin frame을 sticky wax로 고정하였다. 구강 위생 관리가 철저하고 실험 진행에 대해 충분히 설명을 듣고 이해한 평균 25.3세의 8명의 신체 건강한 실험 참가자가 장착하였다.

(3) 실험 진행

실험에 참가한 8명의 지원자는 3주간 구내 장치를 24시간 장착함을 원칙으로 하였다. 매일 3회 잇솔질을 시행하였으며 식사동안은 법랑질 박편의 손상을 방지하기 위하여 구내 장치를 탈착하도록 하였다. 실험 기간이 경과한 후 법랑질 박편에 손상이 가지 않도록 하면서 resin frame을 구내 장치에서 조심스럽게 제거하였다

(4) 실험후 평가

① 미세경도 측정

재광화 여부를 확인하기 위하여 HM-122 미세 경도기 (Akashi, Japan)를 사용하여, 하중 50g, 적용 시간 10초의 조건하에서 비커스 미세 경도치를 측정하였다. 측정점은 표면으로부터 30µm 깊이마다 3점씩, 중앙과 좌, 우 각 100µm 지점에서 측정하면서 240µm 깊이까지 총 24 점을 측정하였다.

② 편광 현미경 관찰

Water immersion 하에서 편광 현미경으로 100배 배율에서 관찰하고 실험전과 후의 영상을 디지털 카메라로 촬영하였다.

③ 전자 탐침 미소 분석(EPMA)

치질내 불소 분포에 대한 정성 및 정량 분석을 위하여 EP-MA 관찰을 하였다. 각 군의 법랑질 박편을 준비된 stage에 테이프로 부착하고 탄소 피복기(CC-40F, JEOL, JAPAN)로 피복한 다음, 진공 챔버에 넣어 관찰용 stage에 고정하였다. 가속 전압 20kV, dwell time 45ms, 4.5X10⁻⁸A 조건하에서 전자 탐침 미소 분석 장치(JEOL, Japan)를 이용하여 한 표본당 7시간 씩 촬영하여 composition image와 불소 분포에 대한 EP-MA 분석상을 얻었다.

Ⅲ. 연구 성적

글라스아이오노머 충전재로부터 유리된 불소가 인접 초기 범
랑질 우식증에 대한 항우식 효과를 나타내기 위해 치질내로 흡

수되는 경로와 분포를 평가하기 위하여 in situ 모형을 만들고
이를 3주간 구강내 장착한 후 미세경도 측정, 편광 현미경 관찰
및 EPMA를 시행하여 다음과 같은 연구 결과를 얻었다.

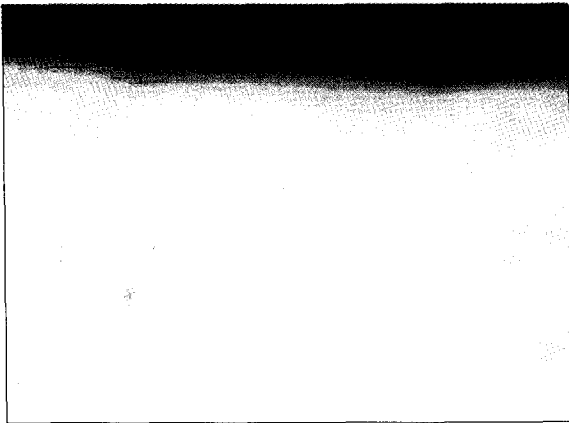


Fig. 2. Normal enamel with resin filling (×100).

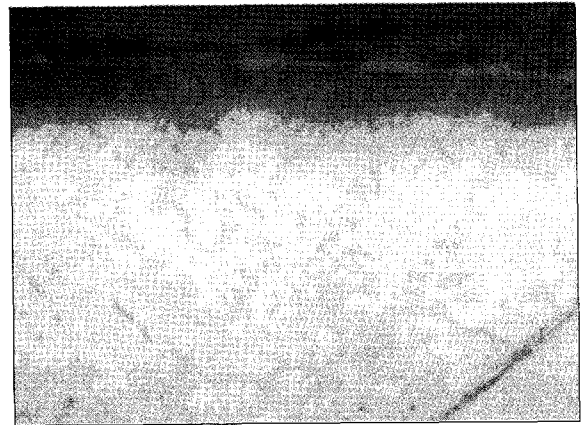


Fig. 3. Incipient caries with resin filling (×100).



Fig. 4. Normal enamel with glass ionomer filling(×100).



Fig. 5. Incipient caries with glass ionomer filling (×100).

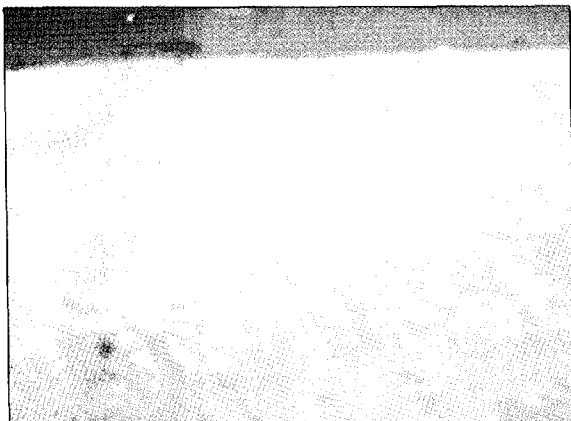


Fig. 6. Normal enamel keep in saline (×100).

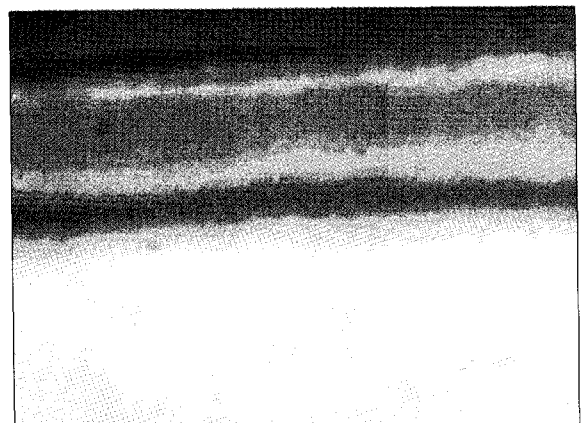


Fig. 7. Incipient caries keep in saling (×100).

1. 미세경도 측정

각 군의 비커스 미세 경도치를 측정된 결과, 건전 법랑질 인접에 복합 레진을 충전한 I군, 초기 치아 우식증을 유발시키고 인접에 복합 레진을 충전한 II군, 건전 법랑질 인접에 글라스 아이오노머를 충전한 III군, 초기 치아 우식증을 유발시키고 인접에 글라스 아이오노머를 충전한 IV군, 건전한 법랑질을 생리 식염수에 보관한 V군과 치아 우식증을 유발시켜 생리 식염수에 보관한 VI군의 비커스 미세 경도 측정치는 Table 2와 같다.

표면으로부터 30 μ m 간격으로 측정된 각 군의 비커스 미세 경도치를 살펴보면, I군과 II군간에는 30 μ m, 60 μ m, 90 μ m, 120 μ m, 150 μ m 깊이에서 통계학적 유의차를 보였다(p<0.05). III군과 IV군간에는 30 μ m에서 180 μ m 깊이까지 통계학적 유의차를 보였다(p<0.05). V군과 VI군에서도 III군과 IV군과 마찬가지로 30 μ m에서 180 μ m 깊이까지 통계학적 유의차를 보였다(p<0.05).

이상의 결과로 보아 모든 군에서 초기 우식 법랑질이 유발된 경우 미세 경도가 감소하게 되며, 표면으로부터 150 μ m 내지 180 μ m 깊이까지 통계학적 유의차를 보였다.

초기 법랑질 우식증을 유발시킨 군은 유발시키지 않은 군에 비해서 깊이에 따라 최대 200에서 최소 30까지의 비커스 미세 경도치의 차이를 보였으며, 초기 법랑질 우식 유발군들 중 글라스 아이오노머에 의해 재광화된 경우가 복합레진으로 인접면에 충전하였거나 혹은 식염수에 보관한 군보다 다소 증가한 비커스 미세 경도치를 보였으나 모든 깊이에서 One-way ANOVA test 결과 통계학적 유의차를 보이지 않았다.

2. 편광 현미경 관찰

편광 현미경 관찰 소견을 Fig. 2에서 Fig. 7까지 나타내었다. 일반적으로 정상 법랑질의 경우 보존 방법과 인접 충전물 종류에 따른 별다른 영향이 없는 것으로 관찰되었다. 그러나 초기 법랑질 우식증이 유발된 군에서는 인접 충전물 및 보관 방법에 따라 많은 차이를 보였다. 초기 법랑질 우식증을 유발시킨 II군의 경우 무기질 손실이 있었음을 확연히 관찰 할 수 있었다(Fig. 3). IV군의 경우 초기 법랑질 우식의 병소 본체가 확연히 감소되는 것을 관찰 할 수 있었는데, 이는 인접 충전물인 글라스 아이오노머로부터 유리된 불소와 구강내 환경에서 타액에 의한 복합적인 작용으로 병소 본체가 감소하는 재광화 효과가 II군과 VI군에 비해 뚜렷이 관찰되고 있었다(Fig. 3, 5, 7). 초기 법랑질 우식증을 유발시키고 생리 식염수에 보관한 VI군의 경우, 인접 충전물이나 구강내 타액의 영향을 받지 못한 결과 초기 법랑질 우식증의 병소 본체 크기가 그대로 유지되고 있는 것을 관찰 할 수 있었다(Fig. 7).

3. 전자 탐침 미소 분석 (EPMA)

각 군의 광물질 소실 여부를 보여 주는 composition image가 Fig. 8과 Fig. 9에 나타나 있다. 초기 법랑질 우식을 유발시

Table 3. Vickers hardness value of each group

Group Depth(μ m)	Group				t-test
	Group I		Group II		
	Mean	SD	Mean	SD	
30	297.67	27.23	90.79	35.68	*
60	312.17	31.59	108.96	36.58	*
90	310.25	37.72	140.21	50.45	*
120	319.67	60.59	192.67	52.62	*
150	324.75	47.47	237.83	69.38	*
180	309.67	42.70	279.08	76.87	
210	318.00	49.47	285.33	67.73	
240	321.75	33.41	299.13	56.30	

Group Depth(μ m)	Group				t-test
	Group I		Group II		
	Mean	SD	Mean	SD	
30	299.83	31.94	125.19	26.92	*
60	306.44	38.57	140.38	23.27	*
90	307.00	43.62	193.94	35.72	*
120	310.28	47.01	244.19	52.78	*
150	317.78	44.77	275.06	68.64	*
180	322.00	41.91	282.06	46.72	*
210	307.56	45.05	294.75	41.64	
240	310.00	41.08	296.19	38.30	

Group Depth(μ m)	Group				t-test
	Group I		Group II		
	Mean	SD	Mean	SD	
30	309.09	40.69	89.24	12.16	*
60	317.55	41.71	107.84	23.63	*
90	317.91	56.91	138.48	26.07	*
120	317.18	44.84	177.16	27.25	*
150	322.18	25.88	218.52	38.02	*
180	321.73	35.22	260.24	52.16	*
210	318.36	37.81	288.00	43.21	
240	321.18	28.53	315.72	39.99	

킨 II군, IV군, VI군의 경우, 표면으로부터 50 μ m에서 100 μ m 깊이까지 광물질 소실이 확연히 나타나고 있으나 정상 법랑질을 가지는 I군, III군, V군에서는 깊이에 관계없이 일정하게 나타나고 있다(Fig. 8,9). I군과 II군의 composition image를 비교해 보면 I군은 일정한 분포를 보이지만, II군은 전체적으로 I군에 비해 낮은 광물질 분포를 보여주며 특히 표면으로부터 약 50 μ m~100 μ m 깊이까지 광물질 소실이 많이 일어났음을 보여 주고 있다. 암층(Dark zone)과 투명층(Transparent zone)에 해당 100 μ m~200 μ m 깊이에서는 일시적으로 광물질 분포가 증가하는 양상을 보여 주었으며 이후 감소하다가 일정하게 유지되는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 8).

III군과 IV군을 살펴보면, III군은 I군과 마찬가지로 깊이에 관계없이 일정한 광물질 분포를 보여 주고 있는 반면, IV군에서는 약 100 μ m~200 μ m 깊이에서 II군에서보다 더 높은 광물질 분포를 보여 주었다(Fig. 8). V군은 I군, III군과 마찬가지로 일정한 광물질 분포를 보였으며, 재광화가 전혀 일어나지 않은 VI군에서는 표면으로부터 100 μ m까지 심한 광물질 소실을 보였

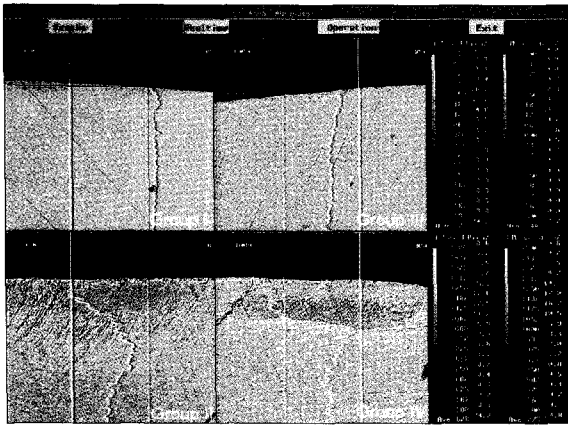


Fig. 8. Composition image of each group.

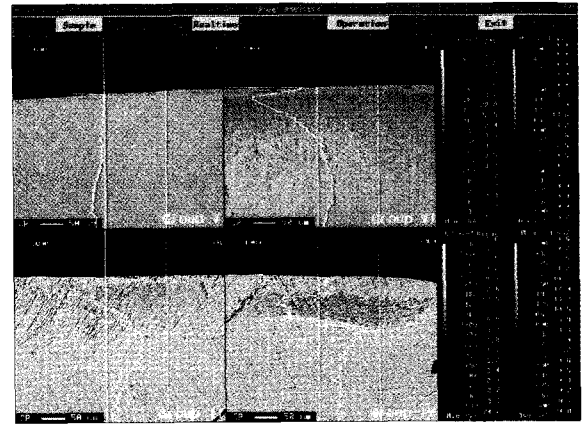


Fig. 9. Composition image of each group.

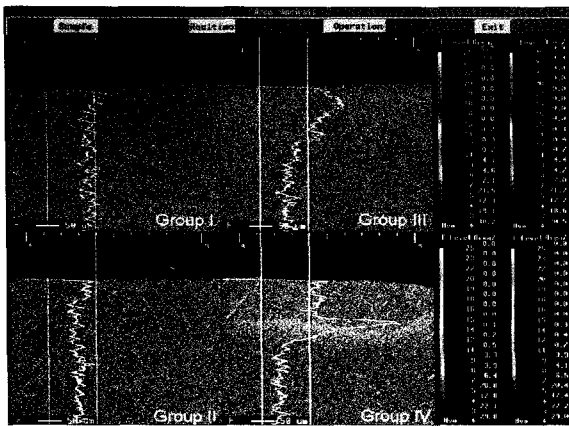


Fig. 10. Fluoride distribution of each group.

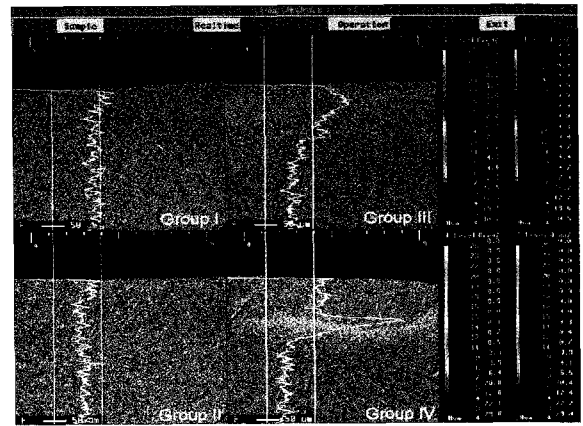


Fig. 11. Fluoride distribution of each group.

으며 이후 서서히 감소하여 200 μ m 깊이부터는 일정한 수준을 유지하는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 9).

각 군의 불소 분포를 나타내는 EPMA 결과는 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다. 구강내 환경에서 재광화된 I군과 II군을 살펴보면, 치질 내에서 깊이에 따른 불소 분포의 변화가 없으므로 보아 구강 내 환경에서 외부로부터의 불소 공급이 없었음을 확인할 수 있었다. III군과 IV군의 결과를 보면 정상 법랑질에서도 글라스 아이오노머로부터 유리된 불소가 50 μ m 깊이까지 치질 내로 흡수되는 양상을 보였다. 초기 법랑질 우식이 유발된 경우 인접 글라스 아이오노머 충전물로부터 유리된 불소가 병소 본체에서 어느 정도 증가하는 것을 알 수 있었으며, 병소 본체 최저부를 따라 불소의 농도가 갑자기 증가하는 것으로 보아 암층과 투명층에 해당하는 100~150 μ m 깊이에 불소 침착이 증가하고 이에 따라 재광화가 촉진되는 것으로 관찰되었다(Fig. 10, 11). V군과 VI군 역시 I군이나 II군과 마찬가지로 추가적인 불소 공급이 없으므로 인해서 불소의 변화를 관찰할 수는 없었다(Fig. 11).

IV. 총괄 및 고안

불소에 의한 항우식 효과는 이미 논쟁의 여지가 없으나^{1,2,25)}, 항우식 작용을 나타내는 기전에 대해서는 아직까지 많은 연구가 필요하다는 것이 사실이다^{26,27)}. 본 연구의 목적은 유리된 불소가 인접 법랑질 초기 우식층에 미치는 영향 평가와 항우식 기전을 밝히기 위한 것이었다. 항우식 기전을 밝히기 위한 연구 방법들 중 in situ 모형을 이용한 임상적 평가²⁷⁾는 매우 저조한 실정이며, 본 연구에 적용된 Electron Probe Micro-Analysis(전자 탐침 미소 분석)는 치질내의 불소에 대한 평가 중 가장 각광 받고 있는 방법으로 불소에 의한 항우식 연구에 새로운 영역으로 자리잡아 가고 있다.

현재 소아치과 임상에서 널리 사용되고 있는 글라스 아이오노머 시멘트는 장기적으로 불소를 서서히 유리하여, 인접 치질에 대한 항우식 효과를 나타내어⁹⁻¹⁴⁾, 구강 건강 관리가 미흡한 소아 환자의 충전재료로서 가장 선호되고 있다. 특히 법랑질과의 이온 결합, 상아질과 직접적인 화학 결합이 가능하며, 치아 구조에 대한 생체 친화성 등이 우수한 장점으로 알려져 있다^{7-10,29)}.

전통적인 글라스 아이오노머로부터 유리되는 불소량에 대한 연구 보고들 중 Joop과 Jan⁶⁾, Araujo 등⁶⁾은 28일간 최대 10에서 100 ppm까지 다양하게 나타난다고 하였다. 본 연구에 사용된 Fuji IX[®]은 자가 중합 방식의 전통적인 글라스 아이오노머로써 인접 초기 법랑질 우식증의 재광화에 영향을 줄 것이라는 가설을 세우고 연구를 진행하였다. 이러한 사실은 이미 Okada 등³⁰⁾의 연구에서 Fuji IX[®]이 다른 복합레진이나 컴포머에 비해 재광화 효과가 높았으며, 이는 불소에 의한 효과라고 주장하였다. 이러한 사실은 본 연구에서도 재삼 확인되었는데, 미세경도 측정치, 편광 현미경 관찰 및 EPMA 결과가 이를 뒷받침해 주고 있다. 이와 유사한 연구들을 살펴보면, Forss와 Seppa³¹⁾, Hattab 등³²⁾, Tyas³³⁾의 연구가 있으며 이들의 연구에서도 일치한 결과를 보여주었다. 글라스 아이오노머에 의한 재광화 효과가 정상 법랑질에는 다소 못 미치는 양상을 보여 주었으며 시간이 지남에 따라 더욱 개선될 수 있을지의 여부는 앞으로 추가의 연구가 필요하리라 사료된다.

Meyer와 Nancollas³⁴⁾와 Friedl 등³⁵⁾은 불소에 의한 항우식 효과는 법랑질의 재광화뿐만 아니라 치아 우식증의 원인균인 Mutans Streptococcus에 대한 항균작용도 영향을 있다고 주장하였다. 이러한 불소의 항균 작용에 대해 ten Cate와 Dujsters³⁶⁾는 박테리아의 산생성 억제 작용에 의한 것이라고 하였으며, 불소가 법랑질에 미치는 영향들에 대해서는 법랑질의 용해도를 낮추어 주어 탈회가 일어나기 위해 더 낮은 pH가 요구되도록 한다고 하였으며, 법랑질 결정체의 성장 속도를 가속화시킨다고 정리하였다. 또한 광물질이 소실된 초기 법랑질 우식증의 경우 구강내 환경에서 타액에 포함된 광물질에 의해서도 재광화될 수 있으며, 추가 투입된 불소에 의해 이러한 재광화 과정이 더욱 촉진될 수 있다^{1,2)}. 본 연구에서도 복합레진을 충전하고 구강내 장착한 경우가 식염수에 보관한 경우보다 다소 증가된 비커스 미세 경도 측정치를 보여 주어 구강내 환경에서 타액에 의한 재광화가 일어났음을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 편광 현미경 관찰에서 보다 뚜렷하게 확인되었다.

불소와 법랑질 결정체와의 상호 작용에 대한 연구들을 살펴보면, Fejerskov²⁶⁾ 등과 Larsen과 Jensen²⁷⁾은 불소는 법랑질 결정체가 만들어지는 과정에서 결합될 수 있으며, 불소와 결합된 결정체는 산에 의한 탈회에 저항할 수 있으며, ten Cate와 Dujsters^{36,37)}는 산에 의한 공격이 있을 경우 법랑질 표면과 기저부(subsurface)에 존재하는 수화(aqueous) 불소가 탈회를 억제하는데 중요한 역할을 한다고 하였으며, 본 연구에서도 글라스 아이오노머에 의해 재광화된 초기 법랑질 우식증의 기저부에 불소가 과잉존재하는 것을 EMPA 상에서 확인할 수 있었다. 이로 미루어 임상에서 백색 반점으로 불리우는 초기 법랑질 우식증의 경우 불소 국소 도포시 불소가 법랑질 표면뿐만 아니라 하층까지 깊게 침투하여 탈회를 억제하고 재광화를 촉진하게 되는 것으로 사료되었다. 이러한 사실은 Featherstone 등²⁹⁾의 연구에서도 잘 나타나 있다. 초기 법랑질 우식증 기저부의 불소와 무기질 손실에 관한 Strang 등²⁸⁾의 연구는 본 연구와 동

일하게 in situ 모형을 제작하여 구강 환경에서 평가하였으며, 병소의 크기가 증가할수록 재광화 속도가 가속화됨을 보여 주었으며, 본 연구에서도 이러한 사실을 추측할 수 있는 기저부 불소 침착을 확인하였다. 이와 관련하여 ten Cate와 Rempt³⁸⁾, Dijkman 등³⁹⁾, Gerrad와 Winter⁴⁰⁾에 의해 광물질 변화에 대한 연구들이 진행되었다.

불소의 치질 내부로의 이행 경로를 연구하기 위해서는 시편의 손상없이 불소를 측정할 수 있어야 하는데, 기존의 연구 방법들¹⁵⁻²⁰⁾은 시편의 모양을 보존할 수 없거나, 특정 부위의 불소 농도를 측정할 수 없고, 불소의 분포 범위를 확인할 수 없으며, 반복 실험이 불가능한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완한 새로운 비파괴적인 연구 방법으로 Electron Probe Microanalysis^{41,42)}와 Proton-Induced Gamma-ray Emission Analysis^{43,44)} 등이 있으며 특정 부위의 원소 농도와 정확한 분포 양상을 파악할 수 있는 장점이 있다.

EPMA에는 두 가지 시스템이 있는데, Line Scan만 가능한 Energy Dispersive Spectroscopy System의 경우 특정 부위에 대한 선분석만 시행할 수 있어 넓은 면적의 농도 분포를 알 수 없는 단점이 있으며, 본 연구에서 사용된 Wavelength Dispersive Spectroscopy System의 경우는 시편 표면의 특정 원소들의 분포와 농도를 정확하게 파악할 수 있는 장점이 있다. 표면으로부터 치질내부로의 이행 과정을 이해하기 위한 fluoride mapping 자료를 얻기 위한 것이 연구 목적 중의 하나였으며, WDX 시스템은 이러한 연구 목적에 적합한 분석 시스템이었다. 불소는 원자량이 매우 작아 EPMA 분석시 약 7시간 정도 필요하게 되며 원자량이 높은 칼슘이나 인보다 많은 시간이 요구된다. 본 연구에서 사용된 EPMA는 각 시편간의 변이가 적어 각 군의 상대 비교는 가능하지만, 불소 농도를 결정하기 위한 적당한 환경을 설정하는 것과 절대적인 농도를 측정하기에는 아직까지 상당한 어려움이 있는 것이 사실이다⁴⁵⁻⁴⁷⁾.

본 연구 결과를 종합해 보면, 비커스 미세 경도치 측정 결과 우전치(牛前齒)의 정상 법랑질 표면은 309.09±40.69였으나 초기 법랑질 우식증을 유발시킬 경우 89.24±12.16으로 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있었으며, 감소된 비커스 미세 경도치는 구강내 환경에서 인접면에 불소가 포함되지 않은 복합레진 충전군에서 생리 식염수에 보관한 군보다 다소 높게 나타난 것으로 보아 타액에 의해 재광화가 되지 않았나 사료되며, 인접면에 글라스 아이오노머가 충전되어 있는 경우 125.19±26.92로 더욱 증가되는 것으로 보아 불소에 의한 재광화가 촉진됨을 알 수 있었으며, 이러한 결과는 Featherstone 등¹⁾, Mellberg와 Chomicki²⁾의 연구와 같은 결과를 보여 주었다.

편광 현미경 관찰 결과를 살펴보면, 불소를 포함하지 않은 복합레진 인접면 충전군에서 병소 본체의 크기가 다소 감소되었으며, 비커스 미세 경도치 측정 결과에서 다소 미약하게 나타났던 차이점을 보다 확연하게 보여 주었으며, 이는 구강내 타액이 초기 법랑질 우식증을 재광화시킬 수 있다는 사실을 시사한다고 사료되었다. 더욱이 글라스 아이오노머를 인접면에 충전한

경우 이러한 현상을 더욱 뚜렷하게 관찰할 수 있었으며, 이로 미루어 구강내에서 재광화가 더욱 가속화된다는 사실을 입증할 수 있었으며, 이는 구강 위생 개념이 다소 부족한 소아 환자의 경우 많은 글라스 아이오노머 충전이 적극 추천되며, 이로 인하여 인접 치아에 유효한 항우식 효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

EPMA 관찰 결과를 살펴보면, 초기 법랑질 우식증이 유발된 경우 표면으로부터 약 50 μ m에서 100 μ m 깊이까지 무기질 손실이 뚜렷이 나타나지만, 병소 본체 기저부를 기점으로 뚜렷이 회복되는 양상을 보여 주었다. 이는 병소 기저부가 탈회를 억제하고 재광화를 촉진하는 부위라고 판단되며, 불소 분포를 관찰한 결과 기저부의 불소 침착이 매우 높게 나타나 이러한 사실을 더욱 확연히 보여 주고 있다. 이상의 결과로 불소는 법랑질 표면에서의 재광화 효과보다는 기저부에서의 기여도가 더욱 높은 것으로 판단된다.

그러나 기저부에서의 불소의 역할과 공급 방법 및 생역학적 작용들에 대해서는 보다 많은 연구가 진행되어야 할 것으로 사료되며, 불소는 초기 법랑질 우식증을 재광화하기 위한 가장 좋은 방법이며, 특히 기저부를 보호하기 위해서는 초기 법랑질 표층이 건전하게 존재해야 한다는 사실이 매우 중요한 결과로 판단되며, 구강 검진시 백색 반점에 대한 각별한 주의가 요망된다고 할 수 있다.

V. 결 론

인접면에 충전된 글라스 아이오노머에서 유리된 불소에 의한 항우식 효과를 평가하기 위해 초기 법랑질 우식증을 유발시킨 우전치(牛前齒)를 대상으로 미세 경도 측정, 편광 현미경 관찰 및 EPMA를 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미세 경도 측정 결과, 30 μ m, 60 μ m, 90 μ m, 120 μ m, 150 μ m 깊이에서 I 군과 II 군에 통계학적 유의차가 있었으며 (p<0.05), III 군과 IV 군 그리고 V 군과 VI 군에는 30 μ m, 60 μ m, 90 μ m, 120 μ m, 150 μ m, 180 μ m 깊이에서 통계학적 유의차가 있었다(p<0.05).
2. 편광 현미경 관찰 결과, II 군에서는 초기 법랑질 우식 소견을 가지는 VI 군과 유사한 양상을 보여 주었으나, IV 군에서는 재광화 양상이 뚜렷하게 진행되는 것을 관찰할 수 있었다.
3. EPMA 관찰상에서 II 군에서는 무기질이 감소한 초기 법랑질 우식 양상을 그대로 보여 주었으나, IV 군에서는 유리된 불소가 초기 법랑질 우식증의 기저부에 넓게 분포하면서 재광화가 촉진되는 것을 관찰할 수 있었다.

참고문헌

1. Featherstone JDB, Cutress TW, Rodgers BE, Dennison PJ : Remineralization of plaque-induced initial enamel lesions - a microradiographic investi-

- gation. Caries Res, 16:235-242, 1982.
2. Mellberg JR, Chomicki WG : Fluoride uptake by artificial caries lesions from fluoride dentifrices in vivo. J Dent Res, 62:540-542, 1983.
3. Phillips RW, Swartz M : Effect of certain restorative materials on solubility of enamel. JADA, 54:623, 1957.
4. Dijkman GE, de Vries J, Lodding A, Arends J : Long-term fluoride release of visible light-activated composites in vitro: a correlation with in situ demineralization data. Caries Res, 27(2):117-123, 1993.
5. Joop A, Jan R : Fluoride release from a composite resin. Quint Int, 19:513-514, 1988.
6. Araujo FB, Garcia-Godoy F, Cury JA, Conceio EN : Fluoride release from fluoride-containing materials. Oper Dent, 21:185-190, 1996.
7. Hotta M, Aono M : Adaptation to the cavity floor of the light-cured glass ionomer cement base under a composite restoration. J Oral Rehabil, 21:679-685, 1994.
8. Pereira PN, Yamada T, Inohoshi S, Burrow MF : Adhesion of resin-modified glass ionomer cements using resin bonding systems. J Dent, 26:479-485, 1998.
9. DeSchepper EJ, Berry EA, Cailleteau JG, Tate WH : A comparative study of fluoride release from glass-ionomer cements. Quint Int, 22:215-220, 1991.
10. Forsten L : Resin-modified glass ionomer cements : fluoride release and uptake. Acta Odontol Scand, 53:222-225, 1995.
11. Koulourides T, Reed JL : Effects of calcium, phosphate and fluoride ions on the rate of softening and dissolution of tooth enamel. Arch Oral Biol, 9:585-594, 1964.
12. Swartz ML, Phillips RW, Clark HE : Long-term fluoride release from glass ionomer cements. J Dent Res, 63:158, 1984.
13. Wilson AD, Groffman DM, Kuhn AT : The release of fluoride and other chemical species from glass ionomer cement. Biomaterials, 6:431-433, 1985.
14. Grobler SR, Rossouw RJ, VanWykKotze TJ : A comparison of fluoride release from various dental materials. J Dent, 26:259-265, 1998.
15. 정희민, 김용기 : 수종의 구강위생 방법에 따른 인공 초기 우식 법랑질의 재석회화에 관한 비교 생체연구. 대한소아치과학회지, 18(1):94-116, 1991.
16. 김정옥 : 불소방출 치면열구전색제의 항우식효과에 관한

- 실험적 연구. 대한소아치과학회지, 25(4):849-857, 1998.
17. 장기택 : 수중 음료수의 법랑질과 상아질 침식에 관한 연구. 대한소아치과학회지, 24(4):719-726, 1997.
 18. 손일수, 김용기 : 人工 初期 珐瑯質 우식유발에 關한 組織 生化學的 比較 實驗 研究. 대한소아치과학회지, 17(2):15-32, 1990.
 19. 김종수, 김용기 : 數種의 글라스 아이오너머 修復材의 弗素 遊離量과 修復物 澱緣珐瑯質에 吸收된 弗素 含量에 關한 研究. 대한소아치과학회지, 19(1):79-90, 1992.
 20. 박영수, 김종수, 김용기 : 가시광선과 아르곤 레이저에 의해 중합된 레진 수복물 주변 법랑질의 항우식효과에 관한 비교연구. 대한소아치과학회지, 23(4):840-858, 1996.
 21. Baud CA, Bang S : Electron probe and x-ray diffraction microanalysis of human enamel treated in vitro by fluoride solution. Caries Res, 4:1-13, 1970.
 22. Takuma S, Ogiwara H, Suzuki H : Electron probe and electron microscope studies of carious dentinal lesions with a remineralized surface layer. Caries Res, 9:278-285, 1975.
 23. Clarkson BH, Wefel JS, Miller I, Edie J : Microprobe and SEM analysis of surface coatings on caries-like lesions in enamel after metal ion mordanting and APF application. J Dent Res, 63:106-110, 1984.
 24. Creanor SL, Strang R, Telfer S, et al : In situ application for the investigation of enamel de- and remineralization. Caries Res, 20:385-391, 1986.
 25. Featherstone JD, Glena R, Shariati M, Shields CP : Dependence of in vitro demineralization of apatite and remineralization of dental enamel on fluoride concentration. J Dent Res, 69:620-5, 1990.
 26. Fejerskov O, Thylstrup A, Larsen MJ : Rational use of fluorides in caries prevention. A concept based on possible cariostatic mechanisms. Acta Odontol Scand, 39(4):241-249, 1981.
 27. Larsen MJ, Jensen SJ : An X-ray diffraction and solubility study of equilibration of human enamel-powder suspensions in fluoride-containing buffer. Arch Oral Biol, 30:471-475, 1985.
 28. Strang R, Damato FA, Creanor SL, Stephen KW : The effect of baseline lesion mineral loss on in situ remineralization. J Dent Res, 66(11):1644-1646, 1987.
 29. Mount G : Glass-ionomer cements: past, present and future. Oper Dent, 19:82-90, 1994.
 30. Okada K, Tosaki S, Hirota K, Hume WR : Surface hardness change of restorative filling materials stored in saliva. Dent Mater, 17(1):34-39, 2001.
 31. Forss H, Seppa L : Prevention of enamel demineralization adjacent to glass ionomer filling materials. Scan J Dent Res, 98:173-178, 1990.
 32. Hattab FN, El-Mowafy OM, Salem NS, et al : An in vivo study on the release of fluoride from glass-ionomer cement. Quint Int, 22:221-224, 1991.
 33. Tyas MJ : Cariostatic effect of glass ionomer cements : a five-year clinical study. Aust Dent, 36:236-239, 1991.
 34. Meyer JL, Nancollas GH : Effects of stannous and fluoride ions on the rate of crystal growth of hydroxypapatite. J Dent Res, 51:1443-1450, 1972.
 35. Friedl KH, Schmalz G, Hiller KA, Shams M : Resin-modified glass ionomer cements : fluoride release and influence on Streptococcus mutants growth. Eur J Oral Sci, 105:81-85, 1997.
 36. ten Cate JM, Dujisters PPE : The influence of fluoride in solution on tooth demineralization. I. Chemical data. Caries Res, 17:193-199, 1983.
 37. ten Cate JM, Dujisters PPE : The influence of fluoride in solution on tooth demineralization. II. Microradiographic data. Caries Res, 17:513-519, 1983.
 38. ten Cate JM, Rempt HE : Comparison of the in vivo effect of a 0 and 1500 ppm MFP toothpaste on fluoride uptake, acid resistance and lesion remineralization. Caries Res, 20:193-201, 1986.
 39. Dijkman AG, Schuthof J, Arends J : In vivo remineralization of plaque-induced initial enamel lesions - a microradiographic investigation. Caries Res, 20:202-208, 1986.
 40. Gerrad WA, Winter PJ : Evaluation of toothpastes by their ability to assist rehardening of enamel in vitro. Caries Res, 20:209-21, 1986.
 41. Chu JS, Fox JL, Higuchi WI, Nash WP : Electron probe micro-analysis for subsurface demineralization and remineralization of dental enamel. J Dent Res, 68(1):26-31, 1989.
 42. Yamamoto H, Iwami Y, Unezaki T, Tomii Y, Tuchitani Y : Fluoride uptake around cavity wall: two-dimensional mapping by electron probe micro-analysis. Oper Dent, 25:104-112, 2000.
 43. Pearce EI, Coote GE, Larsen MJ : The distribution of fluoride in carious human enamel. J Dental Res, 74(11):1775-1782, 1995.

44. Shu M, Pearce EI, Sissons CH, Coote GE, Miller JH : Fluoride distribution in sound and carious root tissue of human teeth. *Caries Res*, 32(4):239-246, 1998.
45. Wei SHY, Forbes WC : Electron microprobe investigations of stannous fluoride reactions with enamel surfaces. *J Dent Res*, 53:51-56, 1974.
46. Berkovitz BKB, Heap PF : The effect of fluoride on iron, calcium and phosphorous distribution in the rat incisor. *Caries Res*, 10:337-351, 1976.
47. Tveit AB, Tøtdal B, Klinge B, et al : Fluoride uptake by dentin surface following topical application of TiF_4 , NaF and fluoride varnishes in vivo. *Caries Res*, 19:240-247, 1985.

Reprint request to:

Young-Soo Park, D.D.S., M.S.D., Ph.D
Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University
San 29, Anseo-dong, Cheonan, Chungnam, 330-714, Korea
E-mail : pedo@pedo.anseo.dankook.ac.kr

Abstract

**THE EFFECT OF GLASS IONOMER ON THE REMINERALIZATION OF
ADJACENT INITIAL ENAMEL CARIES LESION BY RELEASING FLUORIDE**

Young-Soo Park, Jong-Soo Kim, Soon-Won Kwon

Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University

There is no adverse opinion on the anticariogenic effect of fluoride, so glass ionomer restoration which release the fluoride is recommended for child patient. To study the anticariogenic effect of initial carious lesion of fluoride released from adjacent glass ionomer restoration, the in situ model was constructed. A microhardness test, polarized scope investigation and electron probe microanalysis was done for analyzing the distribution of fluoride which was precipitated from glass ionomer restoration to the enamel caries lesion.

Fuji IX, the conventional glass ionomer, was used for experimental group and Z-100, composite resin that fluoride was not contained, was used for control group.

On the microhardness test, the remineralization was accelerated by fluoride. And on the polarized investigation, the size of caries lesion was reduced in the oral cavity and that phenomenon was accelerated by fluoride, too.

Electron probe microanalysis shows that the remineralization was accelerated by fluoride and the fluoride concentration on subsurface area was increased. It maybe that the subsurface area was critical to anticariogenic effect.

In summary of these result, initial caries lesion can be remineralized in the oral cavity and that phenomenon can be accelerated by fluoride. The subsurface area of caries lesion was a major part of defense to cariogenic invasion and to conserve the subsurface area, the surface of lesion body have to conserved.

Key words : Fluoride, Remineralization, Glass ionomer, Initial enamel caries, Electron probe microanalysis