

## 불소이온영동에 의한 법랑질 표면 불소농도의 주사전자현미경적 관찰

장종화<sup>†</sup> · 이영수<sup>1</sup>

<sup>†</sup>한서대학교 치위생학과

<sup>1</sup>서울보건대학 치위생과

## SEM Photomicrograph on Fluoride Concentration of Enamel by Fluoride Iontophoresis

Jong-Hwa Jang<sup>†</sup> and Young-Soo Lee<sup>1</sup>

<sup>†</sup>Department of Dental Hygiene, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea

<sup>1</sup>Department of Dental Hygiene, Seoul Health College, Soungnam 461-713, Korea

**ABSTRACT** The objective of this study was to evaluate the effects of the topical application of fluoride by iontophoresis on the fluoride concentration in the dental enamel. Eighty-eight healthy teeth were extracted from orthodontic patients and divided into three experimental groups at 0.2 mA and 0.5 mA current and a control group. Each experimental group was further divided into three subgroups according to the application time (1, 3, and 5 min). Five to six teeth were assigned to each subgroup. Inotophoresis was performed using a 2% sodium fluoride solution and each tooth was sliced into a 3×3 mm specimen on enamel. The fluoride concentration in the enamel was measured using X-ray photoelectron spectroscopy. It was used to estimate the atomic ratio of fluoride on the enamel surface on selected samples. The specimen was observed via scanning electron microscopy as well. This finding was confirmed by the result that the fluoride ratios estimated by x-ray photoelectron spectroscopy was 2.71%, 2.87% and 3.80% after fluoride iontophoresis had been performed using a 2% sodium fluoride solution at 0.5 mA for 1, 3 and 5 min, respectively. In comparison, the fluoride ratio was 0.49% in the control group. As the current became higher and the time lapsed, the formation of irregular particles was strengthened on the enamel surface. Afterwards, the enamel surface was dissolved and new matrix was formed on the enamel. Fluorapatite was observed on the enamel after fluoride iontophoresis was performed at 0.5 mA for 5 min. The fluoride concentration tended to increase with increasing duration of iontophoresis. The study findings indicated that under proper conditions, fluoride iontophoresis has a positive effect in increasing the fluoride concentration in dental enamel.

**Key words** Fluoride concentration, Fluoride iontophoresis, Sodium fluoride, SEM

### 서 론

21세기 치의학 분야에서는 국민의 구강건강 수준을 향상시키기 위하여 치주질환과 더불어 양대 구강병의 하나인 치아우식증에 대한 예방 지향적 포괄구강건강관리가 요구됨으로서 불화물 이용에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다<sup>1)</sup>.

불화물에 의한 치아우식증 예방법은 크게 불소복용법과 불소도포법으로 분류할 수 있으며, 불소복용법으로는 현재 수돗물 불소농도조정사업이 우식 예방에 비용-편익 효과가 가장 높은 방법으로 간주되고 있다<sup>2-4)</sup>. 우리나라의 경우 현재 31개 정수장에서 수돗물불소농도조정사업이 이루어지고 있어 전 국민의 약 8%만이 불소가 첨가된 수돗물을 공급받고 있는 상황이다. 따라서 치아우식증에 대한 감수성이 높은 구강환경을 가진 대

상자에게는 최대한의 치아우식증 예방을 위한 부가적인 술식이 필요하다. 이에 불소용액양치나 불소겔 및 불소치약을 사용하는 자가불소도포법과 치과의사나 치과위생사에 의해 시술되는 전문가불소도포법이 치과의원과 보건소 구강보건실에서 이용되고 있다<sup>5)</sup>.

1940년 초반부터 시작된 국소불소도포는 다수의 연구에 의해 법랑질의 치아우식증 발생과 역상관계가 있다는 사실이 입증되어 Marinho 등<sup>6)</sup>은 불소겔 이용 시 실제적으로 치아우식증을 감소시켜 전반적인 우식억제효과는 21%로 나타나 van Rijkom 등<sup>7)</sup>이 연구한 메타분석 결과와 유사하였다고 보고하였다. 또한 가장 효과적인 치아우식증 예방 작용기전을 규명하기 위해 불화물의 농도, 용액의 pH, 불화물의 종류, 노출 시간 등과의 관계 연구가 주로 진행되어 보고되고 있다<sup>8-11)</sup>.

현재까지 불소도포는 치아우식증을 예방하기 위하여 맹출된 치아표면에 고농도의 불화물을 국소적으로 적용하는 것으로 도포된 불소와 치아의 칼슘 성분이 반응함으로써 일차적으로 치아의 표면에 불화칼슘(CaF<sub>2</sub>)을 생성하고 그 중 일부가 최층생

<sup>†</sup>Corresponding author

Tel: 041-660-1574

Fax: 041-688-1571

E-mail: jhjang@hanseo.ac.kr

산물인 불화인회석(F-apatite)으로 변화되어 우식예방 효과에 기여한다<sup>10</sup>. 즉, 치아표면에 산이 생성될 때 불소이온이 치아의 탈회를 억제하고 재석회화를 위한 촉진제로 작용하게 되며<sup>11</sup>, 재석회화된 법랑질은 원래의 법랑질보다 탈회에 대한 저항력이 더욱 강해지므로 불소도포는 초기병소 조절에도 효과적이다<sup>12</sup>. 따라서 치질의 내산성을 증가시키는 불화인회석이 형성될 수 있도록 적정량의 불소를 치질과 결합하게 하여 치아우식증 예방 효과를 가져올 수 있다. 순수한 불화인회석의 불소 함량은 약 3.70%이며 법랑질에 있는 전체 수산기 이온 중에서 약 1/3까지는 불소이온에 의해 치환될 수 있다<sup>13</sup>. 불소도포는 이용방법에 따라 법랑질에 흡수되는 불소의 농도가 다르므로 치아우식증 예방 효과에서도 상이하다고 보고되고 있다<sup>14</sup>. 일반적으로 전문가불소도포법은 고농도의 불화물 용액이나 겔을 사용하는데 불화나트륨과 불화석을 이용하는 용액면도포법<sup>8</sup>과 1.23% 산성불화인산염을 이용한 트레이 겔도포법<sup>15</sup>이 주로 사용되고 있다. 최근에는 레이저를 이용한 연구가 보고되고 있으며<sup>16</sup>, 치질에 보다 많은 불소를 흡수시키기 위해 2% 불화나트륨 용액을 사용한 이온영동(iontophoresis)이 임상적으로 응용되어 보고되었다<sup>5,17</sup>.

이온영동은 주로 치과진료실에서 조직에 약한 전류를 흐르게 하여 리도케인 마취 시 치수치치를 위한 보존치로나 구강점막의 궤양 및 상아질 지각과민으로 인한 동통 등의 치료에 이용되고 있다<sup>18</sup>. 불소이온영동이 초기법랑질 탈회병소의 재석회화에서 가장 효과적인 불소도포 방법이라고 보고한 바 있지만<sup>12</sup>, 효율적인 불소도포 방법을 모색하기 위해서는 불소이온영동시 전류와 도포시간에 따른 치질의 불소농도의 변화를 확인해 볼 필요가 있다.

따라서 본 연구의 목적은 X-선 광전자분광기(ESCALAB 250, VG Scientifics Ltd., London, UK)로 법랑질 표면의 원소 중 불소함량 변화를 분석하고, 주사전자현미경(Hitachi S-4200, Hitachi Ltd., Tokyo, Japan)으로 법랑질의 표면의 불소농도를 관찰하여 불소이온영동 시 전류와 도포시간에 따라 법랑질에 흡수된 불소농도의 차이를 알아보기 위함이다.

## 재료 및 방법

### 1. 연구재료

수돗물불소농도조정사업이 시행되지 않은 지역에 거주하면서 구강내 교정치료를 위해 발거한 건전한 소구치 중에서 표면의 결손, 색소침착 및 탈회된 부분 등이 없는 치아를 실험 전 15일 동안 생리식염수에 넣어 4°C에서 냉장 보관하였다가 최종적으로 40개의 건전한 치아를 연구재료로 선택하였다.

### 2. 연구방법

실험부위로 사용될 치면은 불소가 함유되지 않은 pumice와 칫솔을 사용하여 부드럽게 닦아낸 후 증류수로 세척하였다. 각 실험군은 2개의 실험군(0.2 mA, 0.5 mA)과 1개의 대조군으로 분류한 후 실험군은 각각 5개의 아군(1, 3, 5분군)으로 재분류하여 총 11개의 군으로 하였고, 각 군에 5~6개의 치아를 무작위로 할당하였다.

이온영동을 하기 위한 악치모형을 제작하기 위하여 각 실험군 치아는 mold에 plaster를 붓고서 cemento-enamel junction

부위를 포함한 치관이 노출될 수 있도록 치아장축과 평행하게 재식하여 건조시켰다.

S대학교 치과대학과 공과대학에서 공동 개발한 이온영동기(Iontophoretic local anesthetizer, Salitek Co., Incheon, Korea)를 이용하여 인체에 무해한 범위인 DC 10 V의 전압과 0.2 mA와 0.5 mA의 전류에서 2% 불화나트륨용액(Junsei, Junsei Chemical Co., Tokyo, Japan)을 제조하여 각 실험 군에 '1분', '3분', '5분'의 시간에 따라 불소이온영동을 시행하였다.

### 3. X-선 광전자 분광분석

X-선광전자분광기를 이용하여 법랑질 표면의 불소농도를 구하기 위하여<sup>19,20</sup> 불소이온영동을 수행한 후 제작된 각 실험군과 대조군 시편을 법랑질 표면에 결합에너지 800 eV 범위 내에서 F1s, O1s, N1s, Ca2p, C1s, P2p의 피크를 측정하고, 불소의 비율은 백분율로 산출하여 엑셀프로그램으로 도식화하였다.

### 4. 주사전자현미경 관찰

시편의 표면을 주사전자현미경으로 관찰하기 위하여 각 실험군과 대조군에서 시편의 법랑질 표면을 Ion sputter(Hitachi E-1010, Japan)에서 백금을 피복한 후, 주사전자현미경(Hitachi S-4200, Japan)으로 25 KV에서 4,000배로 관찰하였다.

## 결 과

### 1. X-선 광전자 분광분석에 의한 분석

0.2 mA의 이온영동 조건과 0.5mA의 조건에서 각각 동일한 치아들로 불소이온영동을 시행한 시편의 분석결과, 시간이 많아질수록 법랑질내 불소비율은 높아지는 양상을 보였다. 대조군 시편의 불소비율은 0.49%이었는데 0.5 mA에서는 1분간 적용 시 2.71%, 3분에서는 2.87%이었고 5분간 이온영동을 시행한 결과는 3.80%로 가장 높은 비율이었다.

0.2 mA의 조건에서는 마찬가지로 대조군의 시편에서 불소비율이 0.49%이었으나 실험군에서는 2.67%, 2.79%, 3.04%로 나타났다.

0.5 mA에서 1분과 3분간 이온영동을 실시했을 때 불소의 비율이 약간 높아졌으나, 5분간 불소이온영동 적용 시 3.80%로 급격하게 불소의 비율이 높아졌으며, 0.2 mA로 전류에서는 0.5 mA의 결과에 비해 다소 낮은 수준으로 나타났다.

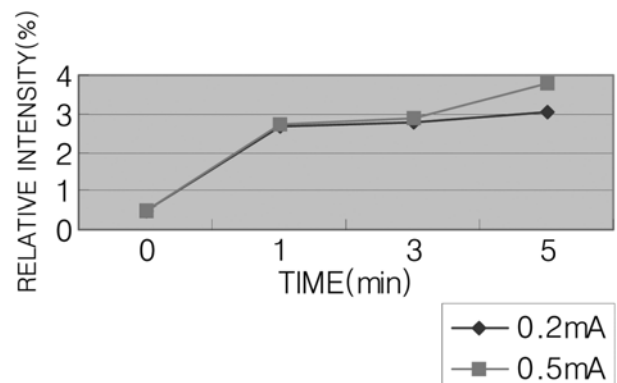


Fig. 1. Time-dependent change of relative intensities of fluoride on the surface enamel according to iontophoresis.

## 2. 주사전자현미경적 소견

Fig. 2는 주사전자현미경관찰을 0.5 mA에서 시행한 결과이다. 불소이온영동을 하지 않은 법랑질 표면은 밋밋하고 매끈하였지만, 2% 불화나트륨용액으로 0.5 mA 전류에서 '1분' 동안 불소이온영동을 시행한 법랑질은 고유의 표면층에 각이 있는 불규칙한 형태를 나타내는 불화칼슘이 다량으로 침착되어 있었다. '3분' 동안 불소이온영동을 시행한 시편에서는 구상형의 불규칙한 결정체가 보이면서 법랑질 표면이 불화인회석을 형성하기 위한 용융 전단계에 이르고 있는 양상이었고, '5분' 동안 시행한 시편에서는 법랑질 내에서 반응이 일어나 표면이 균질해지면서 불화인회석으로 보이는 새로운 기반이 형성되었다.

## 고 찰

치아우식증은 우리나라 국민에서 치아를 발거하는 제 1원인 질병으로 발거하는 치아의 4분의 3이상을 차지한다. 보건복지부에서 시행한 2001년 국민건강 영양조사에 따르면 치아우식증이 관절염과 고혈압에 이어 국민들이 앓고 있는 만성질환 중 3위로 나타났다<sup>21)</sup>. 따라서 국민의 구강건강수준을 높이기 위한 치아우식증 예방법으로 다양한 불소적용법이 소개되고 있으며, 전문가가 고농도의 불화물을 치면에 국소도포하여 치아우식증을 억제하는 불소도포방법이 우식조절에 큰 효과가 있다는 것은 여러 연구에서 이미 입증된 바 있다<sup>6,7,15,22)</sup>.

치아의 불소농도는 50  $\mu\text{m}$  정도의 법랑질 표면에서 500~4,000 ppm으로 비교적 농도가 높고, 법랑질 심층에서는 50~1,200 ppm으로 비교적 낮으며, 상아질의 불소농도는 법랑질의 심층과 표층의 중간정도인 200~1,500 ppm이다<sup>13)</sup>. 따라서 법랑질 표면의 불소농도가 높기 때문에 치아표면이 치아우식증 진행에 더욱 저항성을 가지며 불소이온은 수소이온이나 다른 이

온보다 결합력이 더 크기 때문에 더욱 치밀하고 안전한 인회석 결정을 만들면서 보다 완벽하게 결합된다. 불소로 치환된 법랑질 결정은 우식과정에 생성된 산에 대하여 저항력이 훨씬 크며 일부 탈회된 부위에서도 불소와 더불어 다른 이온들이 재침착하여 효과가 더욱 증대되므로<sup>11)</sup> 치질의 불소 농도를 높이는데 효과적인 불소도포 술식은 구강보건관리자들에게 끊임없는 관심사이다<sup>23)</sup>.

불소도포는 이용방법에 따라 법랑질에 흡수되는 불소의 농도에 차이가 있으며<sup>14)</sup>, 용액의 농도가 높을수록 불소농도가 증가하고 불소용액의 pH는 낮을수록, 용액과의 접촉시간이 길수록 증가된다고 보고된 바<sup>24)</sup>, 본 연구에서는 불소이온영동을 사용하여 전류조건과 도포시간이 법랑질의 불소농도 변화를 분석하기 위해 시도되었다.

불소이온영동법은 용액 속에서 양극(anode)과 음극(cathode)을 넣고 전류를 통하면 전류는 +극에서 -극으로 흐르며, 반대로 전자(electron)는 -극에서 +극으로 이동하게 되는 원리를 이용하여 환자의 신체에 약한 정전기를 흘려 치아에 불소용액 도포 시 더욱 많은 양의 불소 음이온을 치질 내에 도포하는 방법으로<sup>25)</sup> 치아우식증에 대한 불소도포효과가 매우 높다고 보고하고 있다<sup>5,17)</sup>.

치질의 불소농도 측정은 간단하지 않아 오차와 오류가 상당히 심하며 지금까지 분석방법으로 X선 회절법<sup>18)</sup>, X선 광전자 분광분석을 이용하는 방법이 있으며<sup>19,20)</sup>, 물리화학적 방법으로 산부식 생검법<sup>24)</sup>이 주된 방법으로 사용되어 왔다.

불화물을 법랑질에 도포하면 법랑질 표면의 불소 및 기타 원소가 법랑질의 수산화인회석과 반응하여 반응물질을 형성함으로써 법랑질 표면의 원자 비율이 변하게 되며, 이 원자비율의 변화에 의해 불화물의 법랑질에 대한 작용기전 및 반응물질을 추정할 수 있다<sup>26)</sup>. 따라서 본 연구에서는 X선 광전자분광기를

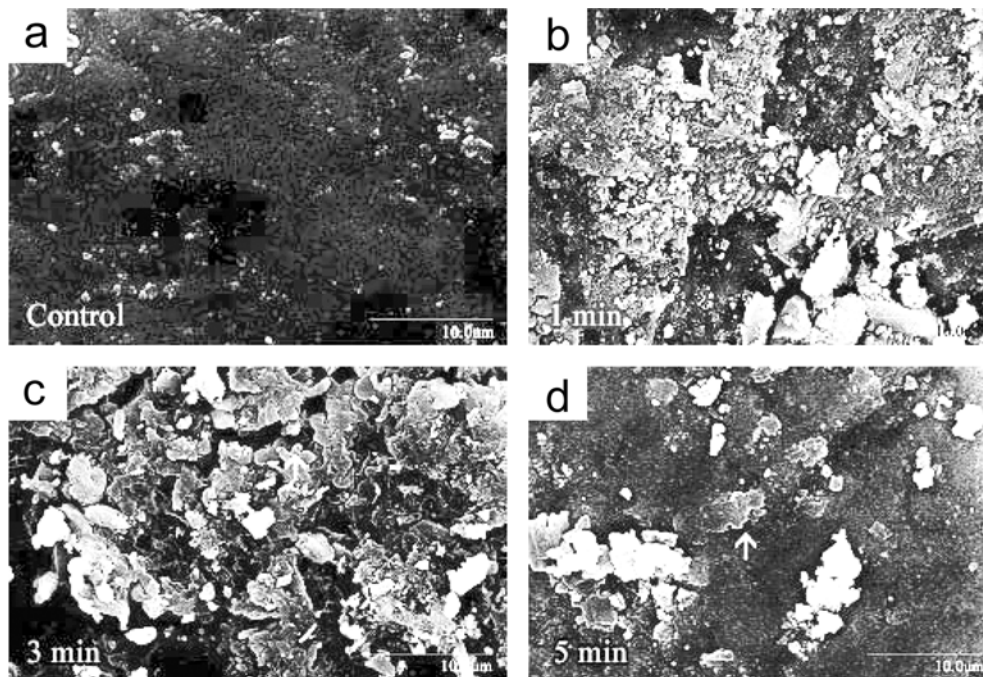


Fig. 2. SEM photomicrograph of sound enamel surface (A) treated with fluoride iontophoresis for 1 min (B), 3 min (C), and 5 min (D) at 0.5 mA (scale bars: 10  $\mu\text{m}$ ,  $\times 4,000$ ).

이용하여 불소이온영동에 의해 변화된 법랑질 표면 원자비율을 측정하였다. X-선 광전자분광기는 시료의 표면으로부터 100 Å의 깊이에 관한 정보를 얻을 수 있는 표면민감성 분석장비로서 모든 원소의 정성 및 정량측정이 가능하며 법랑질 표면층을 파괴하지 않고 분석할 수 있다는 장점이 있으며<sup>27)</sup>, 각 원소의 절대농도를 구할 수는 없으나 각 구성물질의 농도비율을 비교적 정확히 구할 수 있다는 특성이 있다<sup>19)</sup>.

본 연구의 X-선 광전자분광분석 결과에서 불소처리를 하지 않은 대조군의 법랑질 표면 불소함량은 0.49%인 것에 비해 0.2 mA 전류에서 '5분'간 불소이온영동한 군에서는 3.04%의 함량으로 조사되었다. 이와 홍<sup>20)</sup>은 X-선 광전자분광분석 결과 불화나트륨 용액을 10분간 도포 시 법랑질 표면의 원소 중 불소함량은 1.69%라고 보고하였고, 본 연구결과에서는 0.5 mA 전류에서 '1분', '3분' 및 '5분' 동안 불소이온영동 시 각각 2.71%, 2.87% 및 3.80%로서 불소이온영동이 불소농도에 미치는 효과가 높다는 것을 확인할 수 있다.

WHO<sup>13)</sup>에서는 치질에서 수산화인회석이 불소의 침투에 의해 불화인회석으로 치환된 불소는 약 3.70%가 최고함량이라고 하였고, 본 연구에서 0.5 mA 전류에서 '5분'간 불소이온영동 시 3.80%의 불소함량인 결과로 보아 불화인회석이 형성되었다는 것을 추정할 수 있다.

또한 주사전자현미경적 관찰에서 0.5 mA 전류로 '3분' 동안 불소이온영동 시 법랑질의 표면에 불규칙한 결정체 입자가 다량으로 나타나 용융 전단계의 형상이었고 '5분' 동안 실험군에서는 법랑질 표면이 구상형의 새로운 기반이 형성되면서 균질한 양상으로 나타나는 것을 볼 수 있었는데, 이는 불소이온이 다른 이온과 결합함으로써 수산화인회석이 보다 치밀하고 안전한 불화인회석으로 변화되었다는 것을 의미한다. 법랑질의 불소도포 효과에 대한 기존 연구에서도 법랑질에 불소가 침착되면 밋밋하던 법랑질 표면에 석회화된 결정체 입자들이 형성되는 것으로 보고되고 있다<sup>20)</sup>.

한편 불소도포법 중 면구도포법은 여러 번 반복도포를 해야 되는 번거로움이 있고, 산성불화인산염을 이용한 트레이 이용도포법은 산성불화인산염에 함유된 산이 심미치과 재료인 레진이나 라미네이트 및 세라믹을 부식시킬 수 있으므로 심미보철 장착자에게 이용할 시 신중하게 고려해야 하는 단점이 있다<sup>28)</sup>.

본 연구결과에 기인하여 향후 연구에서 해결해야 될 사항으로는 불소이온영동과 기존의 불소도포방법인 면구도포법이나 트레이 이용법 등과 비교연구를 실시하여 불소도포방법에 따른 효과의 차이를 알아볼 필요가 있다.

또한 불소이온영동의 적용조건에 대한 차이를 알아보기 위해 연령증가에 따라 노출된 치근우식증의 예방 및 처치에 미치는 효과를 좀 더 연구해야 될 것으로 여겨진다.

총체적으로 불소이온영동은 예방지향적 구강관리에 효율적으로 이용될 수 있다고 사료되며, 특히 다발성 우식환자나 고정성 교정장치 및 인공보철물 장착자 등 구강내 특수 환경으로 인해 치아우식증 발생률이 높은 대상자들에게 유용하게 활용될 수 있을 것으로 제시된다.

## 요 약

지난 수십 년간 소아의 치아우식증 예방과 성인의 지각과민

증 둔화에 여러가지 국소불소도포를 이용하면서, 보다 효과적이면서도 사용이 용이하고 다양하게 적용될 수 있는 최선의 방법을 모색하고자 노력해왔다. 이에 본 연구에서는 불소이온영동 시 전류와 시간에 따라 법랑질에 흡수된 불소농도의 차이를 분석해보기 위함이다. 구강에서 교정치료를 위해 발거한 건전한 치아 40개를 선택하여 0.2 mA와 0.5 mA의 전류에서 시행한 실험군과 1개의 대조군으로 분류한 후, 각 실험군은 3개의 아군(1, 3, 및 5분군)으로 재분류하여 한 군당 5~6개의 치아를 선정하였고, 2% 불화나트륨 용액으로 이온영동을 시행하여 법랑질 표면적이 9 mm<sup>2</sup>(3 × 3 mm)가 되도록 시료를 제작하였다. 법랑질 표면의 불소농도는 X-선 광전자분광분석과 주사전자현미경 관찰로 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 불소이온영동된 시료의 X-선 광전자분광분석 결과, 법랑질 표면의 원소 중 불소의 비율은 대조군이 0.49%임에 비해 '1분', '3분' 및 '5분' 동안의 실험 군에서는 0.2 전류에서 각각 2.67%, 2.79%, 3.04%이었고, 0.5 mA 전류에서는 2.71, 2.87 및 3.80%로 나타났다.
2. 주사전자현미경적 소견으로 불소이온영동 초기에는 법랑질 표면에 불규칙하고 석회화된 결정체 입자들이 침착된 형상으로 나타났고, 불소이온영동 시간이 경과될수록 법랑질 내에서 반응이 일어나 새로운 기반이 형성되어 균질한 양상을 나타냈다. 이상의 연구결과로 0.5 mA 의 전류에서 '5분' 동안 불소이온영동을 시행할 시 법랑질 표면에 불화인회석이 형성되는 양상으로 나타났다.

## 참고문헌

1. Palmer CA, Anderson JJB: The impact of fluoride on health. J Am Diet Assoc 101: 126-132, 2001.
2. Winston AE, Bhaskar SN: Caries prevention in the 21st century. J Am Dent Assoc 129: 1579-1587, 1998.
3. Burt BA, Eklund SA: Dentistry, dental practice, and the community. Edition. Philadelphia, Pennsylvania: WB Saunders, pp.326-342, 2005.
4. Seppä L, Hausen H, Käkkäinen S, Larmas M: Caries occurrence in fluoridated and a nonfluoridated town in Finland: Aretrospective study using longitudinal data from public dental records. Caries Res 36: 308-314, 2002.
5. Lee JY, Kwag JM, Kim HG, Kwon HK: The effect of school-based professional topical fluoride application program on the caries prevention. J Korean Dent Health 19: 279-290, 1995.
6. Seppä L, Pollänen L, Hausen H: Caries-preventive effect of fluoride varnish with different fluoride concentrations. Caries Res 28: 65-67, 1994.
7. Inaba D, Kawasaki K, Iijima Y, Taguchi N, Hayashida H, Yoshikawa T, et al: Enamel fluoride uptake from mouthrinse solutions with different NaF concentrations. Community Dent Oral Epidemiol 30: 248-253, 2002.
8. Ten Cate JM: Current concepts on the theories of the mechanism of action of fluoride. Acta Odontol Scand 57: 325-329, 1999.
9. Øgaard B: Effects of fluoride on caries development and progression in vivo. J Dent Res 69: 813-819, 1990.
10. Shin YL, Song KB, Kim KH: The effect of fluoride application by fluoride mouthrinse and fluoride iontophoresis on remineralization of early caries-like lesions in vivo. J Korean Dent Health 18: 441-457, 1994.
11. WHO: Fluoride and Oral Health. Report of an Expert on Oral Health and Fluoride Use. WHO Technical Report, series 846. Geneva: World Health Organization, pp.63, 1994.
12. Rošin-Grget K, Linčir I, Andrijačić A: In vitro fluoride uptake

- byfrom different amine fluoride concentrations. *Caries Res* 36: 266-269, 2002.
13. Ripa LW: A critique to topical fluoride methods (dentifrices, mouthrinses, operator and self-applied gels) in an era of decreased caries and increased fluorosis prevalence. *J Public Health Dent* 51: 23-41, 1991.
  14. Chin-Ying SH, Xiaoli G, Jisheng P, Wefel JS: Effects of CO<sub>2</sub> laser on fluoride uptake in enamel. *J Dent* 32: 161-167, 2002.
  15. Jung SK, Song KB, Kyung HM, Sung JH: The effect of fluoride application iontophoresis on remineralization around orthodontic bracket in vivo. *J Korean Dent Health* 21: 621-632, 1997.
  16. Carlo GT, Ciancio SG, Seyrek SK: An evaluation of iontophoretic application of fluoride for tooth desensitization. *J Am Dent Assoc* 105: 452-454, 1982.
  17. Uchtmann H, Duschner H: Electron spectroscopic studies of interactions between superficially applied fluorides and surface enamel. *J Dent Res* 61: 423-428, 1982.
  18. Lee SD, Hong SJ: X-ray photoelectron spectroscopic and scanning electron microscopic studies on reaction of different topical fluoride agents on enamel. *J Korean Dent Health* 15: 219-236, 1991.
  19. The Ministry of Health and Welfare of Korea: 2001 National Health Nutrition Survey. Seoul: The Ministry of Health and Welfare of Korea, pp.39-68, 2002.
  20. Van Rijkom HM, Truin GJ, van't Hof MA: A meta-analysis of clinical studies on the caries-inhibiting effect of fluoride gel treatment. *Caries Res* 32: 83-92, 1998.
  21. Marinho VCC, Higgins JPT, Logan S, Sheiham A: Fluoride gels for preventing dental caries in children and adolescents. In: *The Cochrane Library issue*. Oxford: Update Software, 2002.
  22. Van Rijkom HM, Truin GJ, van't Hof MA: Caries-inhibiting effect of professional fluoride gel application in low-caries children initially aged 4.5-6.5 years. *Caries Res* 38: 115-123, 2004.
  23. Buchalla W, Attin T, Schulte-Mönting J, Hellwig E: Fluoride uptake, retention, and remineralization efficacy of a highly concentrated fluoride solution on enamel lesions in situ. *J Dent Res* 81: 329-333, 2002.
  24. Saxegaard E, Rølla G: Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vivo. *Scand J Dent Res* 96: 523-535, 1988.
  25. Gangarosa LP, Park NH: Practical considerations in iontophoresis of fluoride for desensitizing dentin. *J Pros Dent* 39: 173-178, 1978.
  26. Fejerslove O, Ekstrand J, Burt BA: *Fluoride in dentistry*. 2nd rev. ed. Copenhagen: Munksgaard, 1996.
  27. Kuboki Y, Teraoka K, Okada S: X-ray photoelectron spectroscopic studies of the adsorption of salivary constituents on enamel. *J Dent Res* 66: 1016-1019, 1987.
  28. Johnston DW: Current status of professional applied topical fluorides. *CommunityDent Oral Epidemiol* 22: 159-163, 1994.
- (Received November 28, 2006; Accepted December 20, 2006)

