

불소함유 전색제 도포에 따른 인공 우식병소의 재석회화에 관한 연구

전북대학교 치과대학 소아치과학교실 및 치의학연구소

김재곤 · 백병주

Abstract

A STUDY ON THE REMINERALIZATION OF ARTIFICIAL CARIOUS LESION AFTER FLUORIDE-CONTAINING SEALANT APPLICATION ON BOVINE ENAMEL

Jae-Gon Kim D.D.S., Ph.D., Byeong-Ju Baik D.D.S., Ph.D.

*Department of Pediatric Dentistry and Institute of Dental Science,
School of Dentistry, Chonbuk National University*

The purpose of this study was to evaluate the remineralization effects of fluoride-containing sealant on the artificially created enamel carious lesions.

The fluoride release from the specimen of fluoride-containing sealants, the effect on enamel acid solubility and micro-hardness from the experimental sealants when applied to carious enamel surfaces were investigated.

The obtained results were as follows:

1. Fluoride was a rapid rate of release during the first day, with the amount diminishing with time. The amount of fluoride released from Fuji Ionomer type III was higher than that from Teethmate-F and Helioseal-F during the 28 days of immersion($P < 0.05$).
2. The enamel solubility of carious enamel surface was higher than that in the Teethmate-F, Helioseal-F, and Fuji Ionomer type III ($P < 0.05$), and there was no significant difference with Teethmate-A and Helioseal($P > 0.05$).
3. The microhardness value of carious enamel surface was lowest. However, there was no significant difference between the other sealants with respect to their effects on enamel hardness($P > 0.05$).

Key words : Remineralization, Fluoride, Sealant, Enamel solubility

“ 이 논문은 전북대학교 신진교수연구비 지원에 의하여 연구되었음 ”

I. 서 론

전색제는 아동에서 빈발하기 쉬운 구치부의 좁고 깊은 소와나 열구부위의 치아우식증을 예방을 목적으로 치질과 접착력을 가지는 합성수지를 사용하여 교합면의 열구부위를 밀폐하는 우식예방제로서, 구강내 우식유발 환경으로부터 숙주요인을 격리하여 미생물과 그 영양소가 열구부위에 유입되는 것을 방지할 수 있다^{1,2)}.

Buonocore³⁾에 의하여 산부식법이 소개된 이래 BIS-GMA계열의 도입 등의 개발을 거듭해 온 전색제는 최근 물리적 성질이 개선되고, 변연 부위의 충분한 봉쇄가 이루어져 임상에서 적용할 때 양호한 결과를 나타냈을 뿐만 아니라, 초기 우식병소가 형성된 경우에서도 더 이상의 우식이 진행되지 않도록 억제하는 데 효과적인 방법으로 알려져 있다^{4,5)}.

전색제가 치아에 적용되면 법랑질에서의 유지능력과 함께 변연부의 봉쇄성은 전색제의 탈락이나 미세누출의 결과로 이어져 치아우식증이 유발된다는 점에서 성공여부를 결정하는 가장 중요한 요소이며, 이를 위하여 시술시의 완전한 방식, 정확한 치아선택, 법랑질의 성숙도, 열구내 미생물의 활성화 정도, 우수한 제품의 선택 등이 고려되어야 한다⁶⁾.

이에 보다 개선된 물리적 성질을 가진 전색제의 개발과 함께 불소를 첨가한 불소함유 전색제의 개발은 법랑질의 산에 대한 저항성을 증진시킴으로써 항우식효과를 얻을 수 있으며, 초기 우식병소에 대한 불소의 재석회화 효과로서 탈회 법랑질에 와동을 형성하지 않고 정상법랑질로 회복시킬 수 있다는 점에서 시도되었다.

불소함유 전색제는 법랑질과 전색제 사이의 계면에서 발생할 수 있는 불완전한 접착때문에 야

기되는 미세누출부위에 대한 부가적 보호를 제공하고, 불소의 지속적 유리를 통한 전색제 하방 법랑질의 산에 대한 용해도의 감소와 함께 미성숙 또는 탈회법랑질에 대한 재석회화 효과도 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다^{7,8)}.

그러나 이러한 장점에도 불구하고 불소의 장기간 지속적 방출이 어려워 항우식 효과에 대한 의문과 함께 전색제에 불소첨가시 물리적 성질의 변화로 인한 유지력 및 변연봉쇄성의 저하 등의 문제가 제기됨으로서 많은 논란이 되고 있다⁹⁾.

이에 본 연구에서는 불소함유 전색제를 사용하여 불소이온의 유리에 따른 전색제와 인접한 탈회법랑질의 재석회화 효과를 분석함으로써 향후 우식예방제로서의 전색제에 대한 임상활용의 지표로 삼고자 한다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구를 위하여 사용된 실험재료로서 불소함유 여부 및 유형에 따라 5종의 전색제를 사용하였다. 즉, Bis-GMA 전색제인 Teethmate-A (TA군), Teethmate-F(TF군), Helioseal(HS군), Helioseal-F(HF군)와 글래스아이오노머 시멘트 계열의 전색제인 Fuji Ionomer Type III(FI군) 등이다(Table 1).

2. 실험방법

1) 불소 유리량(Fluoride release) 측정

불소가 함유된 실험군의 불소 유리량을 측정하고자 직경 12mm, 두께 1mm의 원판형 시편을 제작하기 위하여 치과용 경석고의 mold에 각 실험재료를 주입한 후, 셀룰로이드 판을 압접, 제조회사에서 지시한 바대로 중합을 시행하였으며, 각 실

Table 1. Experimental materials used in this study

Code	Material	Type
TA	Teethmate-A(Kurary Co.)	non-fluoride containing
TF	Teethmate-F(Kurary Co.)	fluoride containing
HS	Helioseal(Vivadent Co.)	non-fluoride containing
HF	Helioseal-F(Vivadent Co.)	fluoride containing
FI	Fuji Ionomer type III(GC Co.)	fluoride containing

험군 모두 5개의 원판형 시편을 제작하였다.

각 군의 시편을 8ml 증류수가 담긴 폴리에틸렌 병에 침수시킨 후 37°C 항온조에 28일간 증류수에 보관하였으며, 조사시간에 따라 1, 7, 14, 21일 그리고 28일 경과시 각각 증류수를 교환하였다. 각 시편의 불소 유리량을 측정하기 위하여 침수시간이 종료되면 2ml의 증류수로 시편을 세척한 후 다시 새로운 8ml의 증류수를 교환하여 경과기간까지 저장하였다.

경과기간이 종료된 시편이 담겨진 증류수 중 1ml만을 수집하여 1ml의 아세테이트 완충액으로 완충한 후 각 시편의 불소농도를 이온분석기와 함께 Fluoride electrode(Orion, model 920A)로서 측정하였고, 시편의 노출면적당 불소량(g/cm^2)을 산정하였으며, 측정된 불소량을 일원배치법에 의하여 통계적으로 검증하였다.

2) 법랑질 산 용해도(acid solubility) 측정

(1) 시편제작

파절이나 변색이 없는 건전한 한우의 중절치를 발거 즉시 수집하여 치관을 분리 후, 순면을 불소가 함유되지 않은 pumice로 연마한 후, 순면이 노출되도록 레진에 매몰하여 레진블록을 제작하였으며, carborundum paper (#320-600)로 연마하여 균일화된 최외층 법랑질면이 4mm×4mm 노출되도록 nail varnish로 window를 형성하였다.

(2) 인공우식 형성

우치의 법랑질면에 탈회를 시행하기 위하여 사용된 인공우식액은 0.1M lactic acid(Sigma Chem. Co.)와 6Wt% Hydroxyethyl cellulose(HEC, Aldrich Chem. Co.)로 구성된 lactic acid gel system으로서, 5% NaOH와 pH meter(Orion Co.)를 사용하여 pH 4.0으로 조절한 후, 37°C 항온조에서 5일간 매일 우식액을 교환하여 노출된 법랑질에 인공우식을 형성하였다.

(3) 전색제 충전

탈회된 법랑질 표면을 대조(CO)군으로 설정하고, 각 실험군으로서 탈회표면에 제조회사가 추천한 방법을 사용하여 전색제를 충전시켰다. 우식형성 후 증류수로 세척, 건조한 다음 법랑질면 중앙에 접착용 테이프를 사용하여 직경 3mm, 높이 2mm 실리콘 판을 고정시키고, 전색제를 절반정도 충전 후 광조사, 나머지 충전 및 광조사를 시행하

여 중합하였다.

(4) 용해도 측정

충전된 전색제를 28일동안 100% 습도에 보관한 후 표면의 전색제를 완전히 제거, 노출된 법랑질면에 1M acetic acid, pH 4.0, 10 μ 로서 직경 3mm의 노출된 법랑질면을 30분간 탈회시켰다. 법랑질 용해도를 유리된 칼슘의 양으로 비교하고자 고온의 플라즈마에 의해 이온화된 시료로부터 방출된 빛을 이용하여 미량의 금속원소의 정성 및 정량분석이 가능한 ICP/AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer, Poly 61E, Thermal Jarrell Ash Co.)를 사용하였으며, 각 시편당 3회 반복실험 후 통계처리를 시행하였다.

3) 미세경도(micro-hardness) 측정

탈회된 법랑질표면을 대조(CO)군으로, 그리고 탈회표면에 전색제를 충전한 각 실험군의 시편을 28일간 보관 후 전색제를 완전히 제거, 법랑질표면을 노출시킨 후 재연마하여 24시간 건조시켰다.

전색제의 사용에 따른 법랑질의 재경화효과를 비교하기 위하여 Vickers' diamond indenter가 부착된 미세경도 측정기(Matsuzawa Seiki Ltd., Model MHT-1)를 사용하였으며, 25gm의 하중을 5초간 부여, 기존 전색제 하방의 법랑질면 중심점과 중심으로부터 1.5mm 거리의 변연부 3점을 측정하여 평균치를 산출하였다.

각 시편의 법랑질 부위에 형성된 압흔의 길이를 측정, 이를 Vickers' hardness number(VHN)로 환산하여 수치를 구한 후 통계적 처리를 시행하였다.

III. 실험 결과

1. 불소 유리량 측정

시간경과에 따라 각 실험재료의 원형시편에서 유리된 불소량의 변화를 관찰한 결과, 불소가 함유된 모든 전색제에서 1일이 경과한 시점에서 최대치로 측정되었으나 시간이 지남에 따라 점차 감소되는 양상을 보였으며, 처음 7일까지 경과한 시간에서는 현저히 감소되었으나 그 이상에서는 완만한 기울기를 나타냈다(Fig. 1).

글래스아이오노머 시멘트인 FI군은 모든 조사시간에서 TF군과 HF군보다 높은 크기를 나타냈으며(P<0.05), HF군은 TF군에 비해 1일 경과 후 측

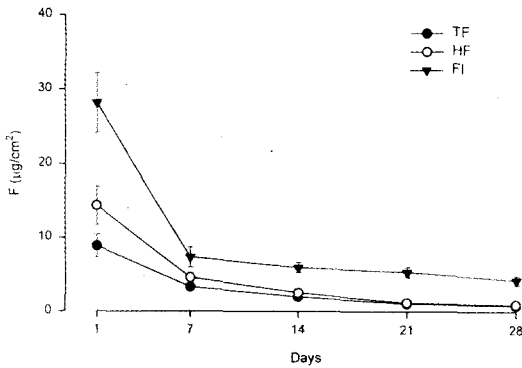


Fig. 1 Fluoride release amounts from fluoride containing materials.

Table 3. Microhardness values(VHN) of treated enamel surface.

Groups	n	Mean	S.D.
CO	5	58.7	9.35
TA	5	60.2	6.38
TF	5	65.3	10.29
HS	5	64.8	7.81
HF	5	63.9	9.74
FI	5	62.5	7.06

정한 경우에서만 더 큰 수치를 보였을 뿐 나머지 조사시간인 7, 14, 21, 그리고 28일이 경과한 시점에서는 유사한 결과로서 차이를 나타내지 않았다 ($P>0.05$).

2. 산용해도 측정

전색제의 도포에 따른 하부 법랑질의 내산성을 평가한 결과는 다음과 같다(Table 2).

전색제를 도포하지 않은 우식 법랑질면, 즉 CO군에서의 칼슘용해량은 $1.37\text{mg}/\text{cm}^2$ 로서 최대값을 보였으며, 불소를 함유하지 않은 TA군과 HS군 하방의 법랑질면에서 용해량의 차이는 없었으나 ($P>0.05$), 불소함유 전색제인 TF군, HF군 그리고 FI군의 법랑질면보다는 높은 수치를 나타냈다 ($P<0.05$).

또한 TA군과 HS군은 불소함유군인 TF군, HF군 그리고 FI군에 비해 높은 용해량을 나타냈으나 ($P<0.05$), TF군, HF군 그리고 FI군 사이에 유의한 차이는 존재하지 않았다 ($P>0.05$).

Table 2. Mean amount of dissolved calcium of treated enamel surfaces on the carious enamel.

Groups	n	Mean	S.D.
CO	5	1.37	0.45
TA	5	1.24	0.38
TF	5	0.69	0.17
HS	5	0.95	0.33
HF	5	0.61	0.22
FI	5	0.68	0.26

3. 미세경도 측정

우식병소를 형성한 법랑질면의 전색제도포 이전의 대조군에서의 미세경도는 58.7 VHN 으로서 최소값을 나타냈으나, TA군, HS군, TF군, HF군 그리고 FI군에 비해 유의한 차이를 보이지 않았다 ($P>0.05$) (Table 3).

TA군과 HS군에 대해서도 TF군, HF군 그리고 FI군 역시 비슷한 크기의 미세경도치가 측정됨으로서 불소함유 여부에 따른 통계적 유의성은 관찰되지 않았다 ($P>0.05$).

IV. 총괄 및 고안

치아의 주성분인 수산화인회석에 불소를 적용시키면 수산화이온이 불소와 치환되어 불화인회석이 되며, 이는 이온결합을 통하여 단단한 구조이므로 용해에 대한 저항성이 증가할 뿐 아니라 장기적으로 불소이온을 유리하여 치아의 재석회화효과를 증진시키는 것으로 알려져 있다^{10,11}.

이러한 불소를 치과용 재료에 첨가함으로써 인접 치아의 항우식효과를 극대화하고자 하는 노력들이 진행되었는데 알지네이트 인상재, 수산화칼슘 또는 산화아연유지놀 시멘트 같은 와동 이장재, 아말감 충전재, 레진 수복재 등에 불소화합물을 첨가시킨 제품이 개발되기 시작하였다^{12,13}.

치과용 시멘트 중 불소가 첨가된 폴리카복실레이트 시멘트와 글래스아이오노머 시멘트가 성공적으로 사용되고 있는데, Swartz 등¹⁴은 수종의 시멘트 시편으로부터 유리되는 불소량을 측정하여, 글래스아이오노머 시멘트가 폴리카복실레이트

시멘트보다 불소가 장기적으로 유리되었고, 이는 불화물의 첨가형태가 아니라 분말형태인 Fluorosilica glass가 산에 의해 천천히 용해됨에 따른 결과라고 보고하였다.

한편 교합면 우식증의 예방을 위하여 널리 사용되는 전색제에 불소를 첨가하여 지속적인 불소유리를 통한 법랑질내의 불소농도를 증가시키고, 산에 대한 용해도를 감소시킴으로서 항우식효과를 얻음은 물론 탈회된 법랑질에도 재석회화를 유도하고자 불소가 함유된 전색제의 개발이 이루어져 왔으나, 대부분의 불소가 단기간에 소실되며, 첨가된 불소가 전색제의 물리적 성질을 저하시킨다는 주장도 대두되어 논란이 되고 있다^{15,16}.

불소함유 전색제에서 불소가 유리되는 기전은 불소첨가 방법에 따라 두가지로 나뉘지는데, 첫째는 수용성 불소염의 형태로서 비중합레진에 첨가하여 염의 해리를 통한 불소유리 방법으로 전색제의 물리적 성질을 약화시키는 단점이 있으며, 둘째는 불용성 중합체와 결합하는 유기불소의 형태로서 불소가 이온교환에 의하여 방출되는 방법으로 전색제 자체의 물리적 성질이 훼손되지 않는 장점이 있다^{17,18}.

전색제에 첨가된 불소의 유리에 관한 많은 연구가 진행된 바, Rawls 등¹⁹은 30일 이상 지속적으로 불소이온을 유리하는 복합레진의 개발을 보고하였고, Kadoma 등²⁰은 불소를 포함하는 MF-MMA copolymer를 합성하여 2년 이상 장기적으로 불소가 유리되었음을 보고하였다. 또한 El-Mehdawi 등²¹은 불화나트륨을 첨가시킨 전색제에서 3주일 이상 불소가 유리되었고, 가해진 불소농도가 높을수록 불소 유리량도 많았음을 보고하였으며, Cooley 등²²은 Fluorshield 시편을 이용하여 1주일 동안 불소 유리량을 측정 한 결과, 1일째 최대 유리량을 나타내는 "burst effect"를 보였으나, 이후 3일 동안 매일 절반으로 급속히 감소됨을 보고하였다.

본 연구에서는 불소가 함유된 모든 전색제에서 1일이 경과한 시점에서 다량의 불소가 유리되는 "burst effect"를 나타냈으나 시간이 지남에 따라 점차 감소되는 양상을 보였으며, 처음 7일까지 경과한 시간에서 현저히 감소되었다. 또한 글래스아이오노머계열인 Fuji Ionomer type III가 Bis-GMA계열인 Teethmat-F와 Heliocall-F보다 높은 불소 유

리량을 나타냈다.

전색제로부터 유리된 불소는 법랑질의 수산이온을 치환시켜 불화인회석을 형성하여 치밀한 결정을 유지하여 산에 대한 용해도를 감소시키며, 결정성장을 촉진함으로써 탈회와 재석회화가 계속적으로 반복되는 우식병소의 동적과정에서 재석회화가 원활히 이루어지게 한다.

Ten Cate 등²³은 고농도의 불소도포시 법랑질의 표층만이 재석회화되고 표층의 세공을 막아 무기이온을 확산을 방해, 보다 깊은 법랑질 내부의 재석회화를 억제하므로 낮은 농도로 자주 도포하는 것이 유리함을 주장하였다. 이러한 관점에서 불소함유 전색제는 비록 낮은 농도이나 지속적으로 불소를 유리한다는 점에서 탈회된 법랑질에 대한 재석회화효과를 평가한 연구가 시행되었다.

Seppa 등²⁴은 불소를 함유한 전색제는 낮은 농도의 불소이온을 지속적으로 유리하여 법랑질에 침착되므로 전색제의 탈락 후에도 불소에 의한 항우식효과가 존재한다고 하였으며, Tanaka²⁵는 법랑질 표면에서는 3,500ppm의 높은 불소농도를 보이고, 법랑질 내부 60 μ m 깊이까지 불소가 침투되어 재석회화 효과를 나타낸다고 보고하였다. Phillips 등²⁶은 불소가 함유된 재료의 인접 법랑질의 용해도는 명백하게 감소됨을 보고하였으며, Swartz 등¹⁴은 2~5% 불화나트륨이 포함된 전색제 하방의 법랑질에서 현저히 감소된 용해도를 나타냈으나, 법랑질 표면 경도의 변화는 없었다고 보고하였다.

불소함유 여부에 따른 전색제의 사용이 인접 법랑질면에 미치는 항우식효과를 평가하고자 본 연구에서는 탈회 법랑질면을 대상으로 법랑질 용해도 및 미세경도 측정하였다.

불소가 포함된 전색제 하방 법랑질의 용해도는 우식 법랑질이나 불소가 포함되지 않은 전색제에 비해 낮은 용해도를 나타냄으로서 불소함유 전색제의 불소침투로 인하여 법랑질의 내산성이 증가되어 항우식효과를 나타냄을 알 수 있었다.

또한 법랑질표면에서 측정된 미세경도는 불소함유 여부와 관계없이 전색제의 사용에 따른 변화는 관찰되지 않았다. 이는 단기간의 실험기간 등의 요인으로 유리된 불소가 탈회 법랑질의 표면경도에 영향을 미치지 못하거나, 시편의 제작시 전색제 제거 후 연마에 따른 법랑질 표면의 손상가능성으로

인하여 정확한 평가가 어려운 때문으로 사료된다.

레진계 전색제의 비약적인 발전과 함께 글래스 아이오노머 시멘트가 전색제로서 임상적 활용가치를 두고 개발되는 이유는 법랑질이나 상아질에 화학적으로 결합함과 동시에 인접 법랑질에 충분한 불소를 공급할 수 있다는 점이다.^{27,28)}

글래스아이오노머 전색제의 개발은 여전히 낮은 결합력과 취성으로 인하여 구강내 유지력의 결합이 문제가 되는 등 물리적 성질의 개선이 필요함에도 불구하고, 산부식없이 치질과 결합능력, 우수한 생체 적합성, 충분한 불소공급으로 인한 항우식효과, 적절한 색조 유지력, 구강내 빠른 경화 등의 장점을 가지고 있다.^{29,30)}

본 연구 결과, Teethmate-F와 Helioseal-F의 레진 전색제에 비해 Fuji Ionomer type III의 글래스아이오노머 전색제에서 불소의 유리량이 더 많았으며, 산에 대한 법랑질의 용해도 및 미세경도 역시 유사한 결과를 보임으로서 향후 전색제로서의 임상활용이 충분하다고 사료된다.

이차 우식증에 대한 항우식효과를 높임으로서 수복재의 수명을 길게하고자 하는 노력은 전색제의 사용시에도 적용되는 문제이며, 이러한 측면에서 불소함유 전색제의 개발은 유용할 것이다. 비록 불소침가에 의한 점조도의 증가 등으로 인한 치면열구 부위의 침투성 저하와 함께 낮은 변연 봉쇄성이 문제점으로 대두되기도 하지만 이는 전색제에 포함된 불소의 항우식효과로서 보상받을 수 있으며, 이에 관한 향후 보다 많은 연구 및 제품의 개발이 계속되어야 할 것이다.

V. 결 론

불소함유에 따른 인접 법랑질의 재석회화효과를 평가하기 위하여 5종의 전색제를 사용하여 불소 유리량, 법랑질의 산 용해도 및 미세경도를 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 불소함유 전색제의 불소 유리는 1일이 경과한 시점에서 최대치로 측정되었으나 시간이 지남에 따라 점차 감소되는 양상을 보였으며, FI군이 모든 조사시간에서 TF군과 HF군보다 높은 불소 유리량을 나타냈다($P<0.05$).

2. 전색제의 도포에 따른 하부 법랑질의 용해도를 측정할 결과, 우식 법랑질면에 비해 TA군과 HS군과는 유사한 크기를 보였으나($P>0.05$), 불소함유 전색제인 TF군, HF군 그리고 FI군에서는 낮은 용해도를 나타냈다($P<0.05$).
3. 인공우식의 형성에 따른 탈회 법랑질표면의 미세경도는 58,7VHN으로서 최소값을 나타냈으며, 불소함유 여부와 관계없이 전색제 도포에 따른 법랑질표면의 미세경도의 증가는 나타나지 않았다($P>0.05$).

참 고 문 헌

1. Silverstone LM : Pit and fissure sealant use: An issue explored. J Am Dent Assoc 108:310-332, 1984.
2. Roydhouse RM : Prevention of occlusal fissure caries by use of a sealant : A pilot study. J Dent Child 35:253-262, 1968.
3. Buonocore MG : A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling material to enamel surfaces. J Dent Res 34:849-853, 1955.
4. Cueto EI, Buonocore MG : Adhesive sealing of pits and fissures for caries prevention. J Dent Res 44:137, 1995.
5. Mert-Fairhurst FJ : Clinical progress of sealed and unsealed caries. Part II : Standardized radiographs and clinical observations. J Prosthet Dent 42:633-637, 1979.
6. Hinding J : Extended cariostasis following loss of pit and fissure sealant from human teeth. J Dent Res 63:295, 1984.
7. Cooley RL, Mccourt JW, Huddleston AM et al : Evaluation of a fluoride-containing sealant by SEM, microleakage, and fluoride release. Pediatric Dent 12(1):38-42, 1990.
8. El-Mehdawi SM, Rapp R, Draus FT et al : Fluoride ion release from ultraviolet light-cured sealants containing sodium fluoride. Pediatric dent 7(4):287-291, 1985.
9. Zimmerman BF, Rawls HR, Ouerens AE : Prevention of *in vitro* secondary caries with an

- experimental fluoride exchanging restorative resin, J Dent Res 63:689-692, 1984.
10. Moreno EC : Role of Ca-P-F in caries prevention: Chemical aspects, Int Dent J 43:71-80, 1993.
 11. Silverstone LM, Hicks MJ, Featherstone MJ : Dynamic factors affecting lesion initiation and progression in human dental enamel, Quint Int Vol. 19:683-711, 1988.
 12. Norman RD, Phillips RW, Swartz ML : Fluoride uptake by enamel from certain dental materials, J Dent Res 39:11-16, 1960.
 13. Hattab F, Frostell G : The release of fluoride from two products of alginate impression materials, Acta Odontol Scand 38:385, 1980.
 14. Swartz ML, Phillips RW, Norman RD et al : Addition of fluoride to pit and fissure sealants-A feasibility study. J Dent Res 55:757-771, 1976.
 15. Turpin-Mair JS, Rawls HR, Christensen LV : An in vitro study of caries prevention, cavity adaptation, homogeneity and microleakage of a new fluoride-releasing resin, J Oral Rehabil 9:523-530, 1982.
 16. Geopferd SJ, Olberding P : The effect of sealing white lesions on lesion progression in vitro, Pediatr Dent 11:14-16, 1989.
 17. Rawls HR, Zimmerman BF : Fluoride-exchanging resins for caries protection, Caries Res 17:32-43, 1983.
 18. Jensen ME : Effects of a fluoride-releasing fissure sealant on artificial enamel caries, Am J Dent 3:75-78, 1990.
 19. Rawls HR, Querens AE : The potential of an adhesive anion-exchange resin as a fluoride-releasing sealant, J Dent Res 59:491, No.895, 1980.
 20. Kadoma Y, Masuhara E : Controlled Release of Fluoride ions from MF-MMA copolymer. 1. Synthesis of MF-MMA copolymer. Makromol chem 182:273-277, 1981.
 21. El-Mehdawi SM, Rapp R, Draus FJ et al : Fluoride ion release from ultraviolet light-cured sealants containing sodium fluoride, Pediat Dent Vol 7:287-291, 1985.
 22. Cooley RL, McCourt JW : Evaluation of a fluoride-containing sealant by SEM, microleakage, and fluoride release. Pedia Dent 12:38-42, 1990.
 23. Ten Cate TH, Arends J : Remineralization of artificial enamel lesions *in vitro*. Caries Res 11:277-286, 1977.
 24. Seppa L, Forss H : Resistance of occlusal fissures to demineralization after loss of glass ionomer sealants *in vitro*. Pedia Dent 13:39-42, 1991.
 25. Tanaka M, Ono H, Kadoma Y et al : Incorporation into Human enamel of fluoride slowly released from a sealant in vivo. J Dent Res 66(10):1591-1593, 1987.
 26. Phillips RW, Swartz ML : Effect of certain restorative materials on the solubility of enamel. JADA 54:623, 1957.
 27. Boksman L, Gratton DR, McCutcheon E et al: Clinical evaluation of a glass ionomer cement as a fissure sealant. Quint Int 18:707-709, 1987.
 28. Komatsu H, Shimokobe H, Kawakami S et al : Enamel fluoride uptake from glass ionomer cement for pit and fissure sealant, J Dent Res 65:778, 1986.
 29. Hirota K, Akahane S, Tomioka K : Glass ionomer cement for pit and fissure sealant, J Dent Res 65:583, 1986.
 30. Momoi Y, McCabe JF : Fluoride release from light-activated glass ionomer restorative cements, Dent Mater 9:151-154, 1993.