

# 수종의 치과용 불소화합물의 물리적 조건에 따른 치질강화에 미치는 영향

김주원 · 이정애<sup>1</sup> · 이가연<sup>2</sup>

서라벌대학 치위생과, <sup>2</sup>춘해보건대학 치위생과

## Enamel strengthening effect of the dental fluoride compound

Joo-Won Kim · Jung-Ae Lee<sup>1</sup> · Ka-Yean Lee<sup>2</sup>

Dept. of Hygiene, Sorabol Colle, <sup>2</sup>Dept. of Hygiene, Choonhae Health College

### ABSTRACT

**Objectives** : The fluoride coating for caries prevention and strengthen enamel use NaF(sodium fluoride, Junsei Chemical Co., Ltd, Japan) 2% gel, SnF2(stannous fluoride, SIGMA-ALDRICH GmbH, USA)8% gel and APF(acidulated phosphate fluoride, Sultan health care, USA) 1,23% gel.

**Methods** : After put the enamel piece in these fluoride compound gel, we observed density level. And after measuring the vickers hardness, Got the following conclusions.

**Results** : 1. After settling in the APF 1,23% during 6 days, we observed high density level of enamel surface using 250 magnification scanning microscope. The vacuum of surface packed (in) like sardines. 2. After settling in the APF 1,23% during 6 days, we observed reducing the space between the cluster of enamel surface using 50,000 magnification scanning microscope. 3. The vickers hardness change was very much on the all kinds of fluoride compound gel[2% NaF(sodium fluoride)gel, 8% SnF2(stannous fluoride) gel, 1,23% APF(acidulated phosphate fluoride)gel]. It's all because of reducing the space between the cluster of enamel surface(p<0.001).

**Conclusions** : The vickers hardness change was very much on the all kinds of fluoride compound. It's all because of reducing the space between the cluster of enamel surface. (J Korean Soc Dent Hygiene 2010 ; 10(4) : 757-764)

**Key words** : fluorine compound, remineralization, recrystallization, strengthen enamel, hydroxyapatite

**색인** : 불소화합물, 재광화, 재결정화, 치질강화, 수산화인회석

## 1. 서론

오랫동안 사람들을 괴롭혀온 치아부식의 원인에 대해서는 잘 알려졌지만, 완전히 치아부식을 예방하는 것은 아직도 불가능하다. 치아는 수산화인산석회(hydroxyapatite :  $Ca_5(PO_4)_3OH$  라는 무기물로 구성된, 약 2mm 두께의 단단한 에나멜층이 보호하고 있다.

Head 등에 의해 산부식된 법랑질의 재광화 현상이 최초로 보고된 이래<sup>7)</sup> in vivo에서 Anderson 등이 법랑

질 초기 우식병소가 재광화 됨을 입증함으로써 구강 내 환경에 따라서는 탈회가 중단되거나 재광화될 수 있음을 보였다<sup>8)</sup>. 임상보고로는 Backer-Dirks 가 8세 아동에서 백색반점이 타액의 재광화 능력으로 1년 후 50%정도 사라짐을 관찰하여 “reversals of diagnosis”라 하였다<sup>9)</sup>.

불소화합물의 농도에 따른 연구에서 불소 농도가 낮을 때(75~100ppm) 치아구조인 수산화인회석 구조로 변화됨을 볼 수 있다. 그러나 불소농도가 높은 불소화합물 용액 사용 시에는 대부분 일단계로 불화칼슘(calcium

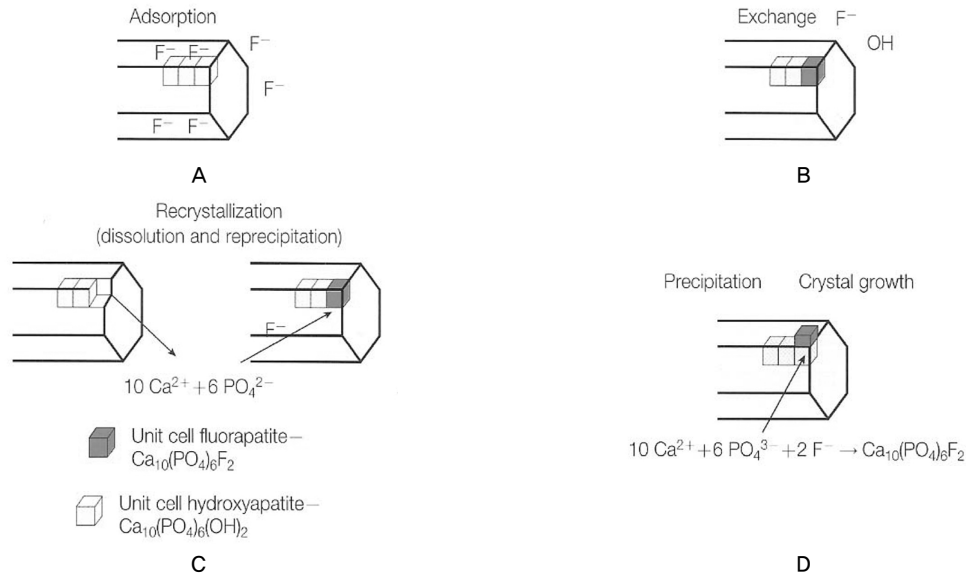


그림 1. The teeth of the recrystallization process

fluoride) 형태를 형성하게 된다. 산성화된 불화물을 치아표면에 바르면 일차적으로 인산칼슘형태로 용해되고 이 과정에서 용해된 칼슘이온이 불화물과 결합하게 되어 불화칼슘을 만들게 된다<sup>10)</sup>. 또한 산용액의 용해로 생긴 인산칼슘은 불안정하기 때문에 여분의 불소성분과 결합되면 불화인회석으로 변하게 된다. 이 불화칼슘은 치아표면에 계속 불화인회석을 형성하는데 기여하게 된다. 즉 불소도포의 최종 생산물은 불화인회석(F-apatite)이고 이 과정에서 불소화합물의 농도와 용액의 수소이온농도(pH)가 크게 작용하고 있는 것이다<sup>11,12)</sup>.

불소도포 후 불화칼슘이 생성된 후에 불안정한 불화칼슘이 치아표면에 부착되어 불화인회석으로 변화되는 기간은 보통 일주일 이상 소요되어 이 과정에서 많은 양이 구강 밖으로 씻겨 나가게 된다. 따라서 1주일 간격으로 재도포해주어야 할 필요가 있다. 불소결합은 치아표면으로부터 5 $\mu$ m 정도의 깊이로 침투해 들어가며 이 양은 불소도포 기간 및 횟수와 도포시간 등에 따라 영향을 받게 된다<sup>13)</sup>.

치아의 불화인회석 구조에 불소성분이 결합되는 Mechanism은 다음과 같다<sup>14-17)</sup>. <그림 1-A>와 같이 불소성분이 치아표면의 인회석 구조에 직접 부착하여 전자의 결합이 약한 가역적 상태인 흡착(adsorption)이 일어나고, <그림 1-B>와 같이 미세하게 전체 중 일부의 불소성분이 치아표면의 수산기(OH)와 천천히 교환반

응을 일으키게 되는 치환(change)이 이루어진다.

다음은 재결정화(recrystallization) 과정인데 <그림 1-C>와 같이 수산화인회석이 칼슘과 인으로 용해되어 불소성분과 결합하여 불화인회석으로 치아의 결정구조에 재침착되는 상태가 된다. 이 후 결정성장(crystal growth)이 이루어지는데, <그림 1-D>처럼 불소성분이 타액내의 칼슘과 인과 결합하여 불화인회석(F-apatite)이 치아 결정구조와 결합하거나 재결정화되는 과정이다.

본 연구에서는 이러한 선행 연구결과를 바탕으로 현재 시판되고 있는 수종의 불소화합물이 치아부식 방지를 위한 재광화물질로서의 역할을 하였지만 치아 표면의 물리적인 치밀도, 즉 치질강화에는 어떤 영향을 미쳤는지 확인하기 위하여 실험을 하였다.

## 2. 연구대상 및 방법

### 2.1. 연구대상 및 연구계획

우식이 없고 탈회되지 않은 발거한 구치 3개를 선택하여 Disk를 이용하여 균열이나 손상이 없도록 물을 뿌려가면서 동일치아에서 법랑질의 시험편(片)을 3개, 총 9개를 만든다. 가급적 관찰이 용이하게 법랑질이 많이 남도록 하며 알코올에 침전시킨다.

건전치아에서 만들어진 9개 시험편의 경도를 <그림 2>의 비커스 경도계(HV-122, Micro Vickers hardness

testing machine, Mitutoyo, Japan)를 이용하여 각 5회 측정한다.

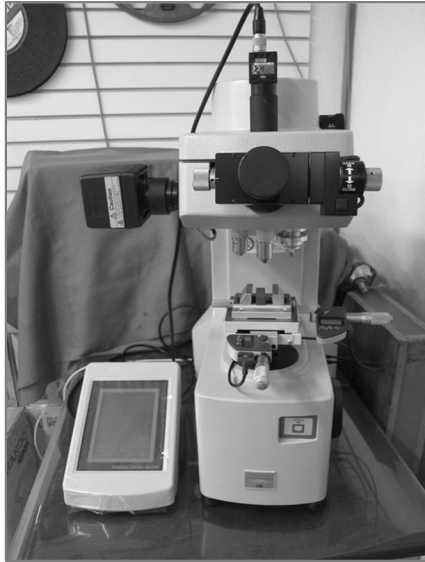


그림 2. HV-122, Macro Vickers hardness testing machine, Mitutoyo, Japan.

이 시험편 중 3개는 각각 <그림 3-A>와 같이 NaF (sodium fluoride, Junsei Chemical Co., Ltd, Japan) 2% gel 용액에서 2일, 4일, 6일 침전시킨 후 HV-122를 이용하여 5회 경도를 측정한다.

이 시험편 중 3개는 각각 <그림 3-B>와 같이 SnF<sub>2</sub> (stannous fluoride, SIGMA-ALDRICH GmbH, USA) 8% gel 용액에서 2일, 4일, 6일 침전시킨 후 HV-122를 이용하여 5회 경도를 측정한다.

이 시험편 중 나머지 3개는 각각 <그림 3-C>와 같이

APF(acidulated phosphate fluoride, Sultan health care, USA) 1.23% gel 용액에서 2일, 4일, 6일 침전시킨 후 HV-122를 이용하여 같은 방법으로 5회 경도를 측정한다.

또한 불화물 침전 전, 후의 범랑질 표면(250배)과 결정구조(50,000배)를 확인하기 위해 주사현미경으로 관찰한다.

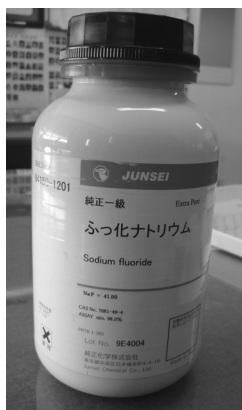
## 2.2. 경도 측정방법

시험편의 경도측정 방법은 연하고 얇은 재료의 측정이 가능하고 0.001mm 또는 0.0025mm까지 계측 가능한 비커스 경도 측정(materials-Vickers hardness test method)을 이용하였다. 시험편에 꼭지각 136°인 사각뿔(피라미드)형태의 다이아몬드 압입자를 이용하여 HV-0.01 (2.942N)의 마이크로 경도 실험을 하였다. 즉, 2.942N의 시험하중으로 압입하고 시험하중의 제거 후에 남아 있는 표면 압입 자국의 대각선 길이를 측정하여 비커스 경도(HV)를 다음 식으로 구했다.

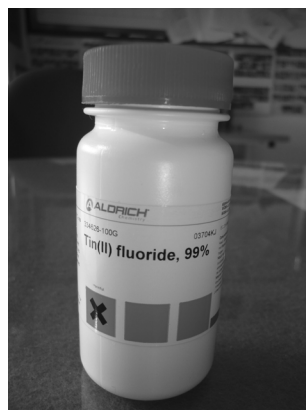
$$HV = \frac{0.1891F}{d^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

(HV : 비커스 경도(N/mm<sup>2</sup>), F : 하중, d : 다이아몬드 압입자국의 대각선 길이(d<sub>1</sub>과 d<sub>2</sub>)의 산술 평균(mm))

각각의 경도 실험은 한 시험편에 대하여 아래 <표 1>과 같은 방법으로 5회 측정하고 제일 작은 값과 제일 큰 값을 버리고 중간 세 값을 평균하여 구했다.



A



B



C

그림 3. Various fluoride compounds used for dental clinic.

A : NaF(sodium fluoride, Junsei Chemical Co., Ltd, Japan), B : SnF<sub>2</sub>(stannous fluoride, SIGMA-ALDRICH GmbH, USA), C : APF(acidulated phosphate fluoride, Sultan health care, USA)

표 1. Examples of Vickers hardness test

시험편	시험 횟수	시험 하중(N)	다이아몬드 압입자극의 대각선 길이(mm)			결과	시험방법
			$d_1$	$d_2$	$d$		
A	1	2.942N	0.1540	0.2100	0.182	3,2993 N/mm <sup>2</sup>	HV 0.3 HV-0.3(2.942N)
	2		0.1955	0.1213	0.1584		
	3		0.2199	0.2210	0.2205		
	4		0.1645	0.1692	0.1669		
	5		0.1443	0.1450	0.1447		

### 3. 연구성적

#### 3.1. 표면결정 구조 관찰 결과

〈그림 4-A〉는 주사현미경으로 법랑질의 표면을 관찰한 결과 대표적인 불화물 침전 전을 250배로 확대하여 관찰한 모습으로 carbide bur로 삭제 시 미세한 틈과 거친 표면이 보였지만 APF 1.23%에서 6일 동안 침전 한 후 관찰한 모습은 〈그림 4-B〉처럼 치밀한 표면과 틈이 어느 정도 메워진 모습을 확인할 수 있었다.

또한 법랑질 표면의 결정구조를 확인하기 위해 불화물 침전 전을 50,000배로 확대한 후 주사현미경으로 확인한 수산화인회석 결정구조의 형태와 결정은 〈그림 5-A〉처럼 보여졌지만 APF 1.23%에서 6일 동안 침전 한 후에는 〈그림 5-B〉처럼 클러스트 사이의 공간이 감소하여 더욱 치밀한 표면 확인할 수 있었다.

#### 3.2. 경도측정 결과

NaF(sodium fluoride) 2%에 침전하기 전 동일한 시험편의 7회 비커스경도 실험결과와 침전한 후 2일, 4일, 6일 후의 결과를 〈표 2-A〉와 같이 나타냈고 〈표 2-B〉처럼 2일 이상의 모든 경우에 유의성이 있었다( $p<0.001$ ).

SnF<sub>2</sub>(stannous fluoride) 8%에 침전하기 전 동일한 시험편의 7회 비커스경도 실험결과와 침전한 후 2일, 4일, 6일 후의 결과를 〈표 3-A〉와 같이 나타냈고 〈표 3-B〉처럼 2일 이상의 모든 경우에 유의성이 있었다( $p<0.001$ ).

APF(acidulated phosphate fluoride) 1.23%에 침전하기 전 동일한 시험편의 7회 비커스경도 실험결과와 침전한 후 2일, 4일, 6일 후의 결과를 〈표 4-A〉와 같이 나타냈고 〈표 4-B〉처럼 2일 이상의 모든 경우에 유의성이 있었다( $p<0.001$ ).

### 4. 총괄 및 고안

치아의 법랑질에서 무기질의 변화를 측정하는 여러 가지 방법에는 법랑질 표면의 microscopy, microradiography, light scattering 등이 있다. 모든 방법에는 각기 장단점을 가지고 있으나 transversal microradiography가 무기질의 함량 변화, 분포를 직접 정량적으로 측정하기 위한 가장 실용적인 방법으로 알려져 있다. 그러나 이 방법은 치아를 100 $\mu$ m 정도의 얇 시편으로 제작해야 하는 어려움이 있고, 오랜 시간 X-ray를 조사하여야 하

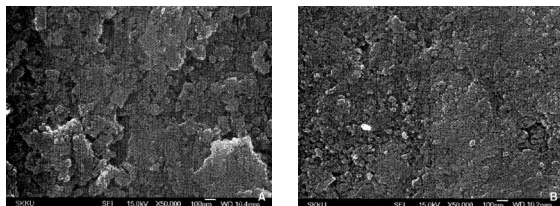


그림 4. Surface appearance change of enamel 6day after APF 1.23% gel application(SEM micrograph,  $\times 250$ ).  
A, Enamel surface ;  
B, 6day after 1.23%APF gel application

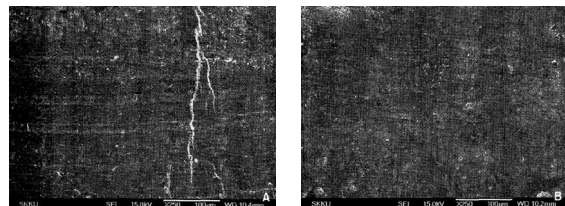


그림 5 Crystal structure change of enamel 6day after APF 1.23% gel application(SEM micrograph,  $\times 50,000$ ).  
A, Enamel surface ;  
B, 6 day after 1.23% APF gel application

표 2-A. Vickers hardness change of enamel surface 2, 4, 6 day after NaF(sodium fluoride) 2% gel application.

Type of fluoride	specimen	before	2 day after		
			2 day after	4 day after	6 day after
NaF(sodium fluoride) 2%	1	3,3009	3,4190	3,4651	3,6607
	2	2,8177	2,8931	2,8955	3,2014
	3	3,2108	3,2973	3,3014	3,6201
	4	3,1854	3,2364	3,2514	3,4699
	5	2,9547	3,0547	3,0545	3,3200
	6	3,0706	3,1516	3,1520	3,3627
	7	2,9003	2,9982	3,0054	3,2818

표 2-B. Hardness analysis of before and after dipping in 2% NaF(sodium fluoride) gel.

	before	2day after	before	4day after	before	6day after
Mean	3,062914	3,150043	3,062914	3,160757	3,062914	3,416657
Dispersion	0,031975	0,033275	0,031975	0,037748	0,031975	0,030093
Number	7	7	7	7	7	7
Pearson correlation coefficients	0,993245		0,988577		0,964142	
hypothesis Average differences	0		0		0	
degree of freedom	6		6		6	
P(T<=t)	1,84E-05		9,8E-05		5,52E-07	
t critical value one-tailed tests	1,94318		1,94318		1,94318	

표 3-A. Vickers hardness change of enamel surface 2, 4, 6 day after SnF2(stannous fluoride) 8% gel application.

Type of fluoride	specimen	before	2 day after		
			2 day after	4 day after	6 day after
SnF2(stannous fluoride)8%	1	3,5610	3,6518	3,6544	3,8833
	2	3,7813	3,8803	3,9015	4,0785
	3	4,8411	4,9201	4,9983	5,5510
	4	2,4199	2,5001	2,6101	2,8706
	5	3,6687	3,7683	3,7655	3,9964
	6	3,0942	3,1238	3,1598	3,3565
	7	4,5050	4,6084	4,6101	4,8123

표 3-B. Hardness analysis of before and after dipping in 8% SnF2(stannous fluoride) gel.

	before	2day after	before	4day after	before	6day after
Mean	3,695886	3,778971	3,695886	3,814243	3,695886	4,078371
Dispersion	0,663763	0,68024	0,663763	0,658196	0,663763	0,788645
Number	7	7	7	7	7	7
Pearson correlation coefficients	0,999593		0,998657		0,986919	
hypothesis Average differences	0		0		0	
degree of freedom	6		6		6	
P(T<=t)	6,62E-05		0,000155		0,000318	
t critical value one-tailed tests	1,94318		1,94318		1,94318	

표 4-A. Vickers hardness change of enamel surface 2, 4, 6 day after APF(acidulated phosphate fluoride) 1.23% gel application

Type of fluoride	specimen	before	2 day after			4 day after			6 day after		
APF(acidulated phosphate fluoride) 1.23%	1	2,9946	2,9989			3,0005			3,2626		
	2	3,6405	3,7003			3,7120			3,9901		
	3	3,6237	3,7221			3,7668			3,8834		
	4	4,5508	4,6518			4,7018			4,9004		
	5	3,2419	3,3092			3,3235			3,8989		
	6	3,6629	3,6635			3,6727			3,9027		
	7	3,1260	3,1277			3,1289			3,6480		

표 4-B. Hardness analysis of before and after dipping in 1.23% APF(acidulated phosphate fluoride) gel.

	before	2day after	before	4day after	before	6day after
Mean	3,548629	3,596214	3,548629	3,615171	3,548629	3,926586
Dispersion	0,268521	0,300689	0,268521	0,319299	0,268521	0,245673
Number	7	7	7	7	7	7
Pearson correlation coefficients	0,998035		0,996867		0,953818	
hypothesis Average differences	0		0		0	
degree of freedom	6		6		6	
P(T<=t)	0,015651		0,016156		0,000336	
t critical value one-tailed tests	1,94318		1,94318		1,94318	

며, 필름을 현상, 정착하는 부가적인 과정들이 요구되었다<sup>18-20)</sup>.

본 실험은 경도측정 방법이 연하고 얇은 재료의 측정이 가능하고 0.001mm 또는 0.0025mm까지 계측 가능한 비커스 경도 측정(materials-Vickers hardness test method)을 이용하였기에 가능하였고 법랑질의 치밀도 관찰과 함께할 수 있다는 장점을 가지고 있었다.

치질강화와 내산성을 높혀 우식예방차원에서 실시하는 불소도포는 NaF(sodium fluoride)인 경우 1주 간격으로 연속 4회, SnF2(stannous fluoride)와 APF(acidulated phosphate fluoride)인 경우 아동은 6개월 간격, 성인은 1년 간격으로 실시해야 한다<sup>21)</sup>.

그러나 본 연구에서는 구강 내 환경을 맞추기 위해 2일, 4일, 6일 동안 각 불소화합물에 침전한 후 법랑질 표면의 치밀도를 주사현미경으로 관찰하였고 이는 많은 선행의 연구에서 이미 발표되었다.

또한 불소화합물 침전 후 표면 경도실험에 2일, 4일, 6일 동안 침전 후 비커스 경도 차가 나타났으나 invitro 실험이라는 아쉬움이 있었다.

## 5. 결론

치질강화와 내산성을 높혀 우식예방하기 위해 불소도포 술식은 NaF(sodium fluoride, Junsei Chemical Co., Ltd, Japan) 2% gel, SnF2(stannous fluoride, SIGMA-ALDRICH GmbH, USA)8% gel, APF (acidulated phosphate fluoride, Sultan health care, USA) 1.23% gel을 사용한다. 본 연구에서 법랑질 시험편을 이러한 불소화합물에 침전시킨 후 법랑질의 치밀도를 주사현미경으로 관찰하였고 침전 후 비커스 경도 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. APF 1.23%에서 6일 동안 침전한 후 주사현미경으로 법랑질의 표면을 250배로 확대하여 관찰한 결과 미세한 틈과 거친 표면이 치밀하게 나타났고 틈이 어느 정도 메워진 모습을 확인할 수 있었다.
2. APF 1.23%에서 6일 동안 침전한 후 주사현미경으로 법랑질의 표면을 50,000배로 확대하여 관찰한 결과 클러스트 사이의 공간이 감소하여 더욱 치밀한 표면을 확인할 수 있었다.

3. 2% NaF(sodium fluoride)gel, 8% SnF<sub>2</sub>(stannous fluoride) gel, 1.23% APF(acidulated phosphate fluoride)gel 모두에서 아주 많은 비커스 경도 변화가 있었고 불화물의 종류에 관계없이 법랑질 표면의 치밀도뿐만 아니라 치아의 경도가 좋아짐을 관찰하였다( $p < 0.001$ ).

## 참고문헌

1. 김성철, 노병덕, 정일영 외 2인. 재광화 완충용액의 pH 변화가 상아질의 재광화에 미치는 영향. 대한치과보존학회지 2007; 32(2):151-161.
2. 이지숙, 노병덕, 신수정 외 3인. pH 4.3에서 재광화 용액의 포화도에 따른 인공 탈회된 법랑질의 동력학적 변화. 대한치과보존학회지 2009; 34(1):20-29.
3. 조현. Nd:YAG 레이저 조사와 불화물 도포가 탈회 법랑질의 재광화에 미치는 영향. 대한소아치과과학회지 2004; 31(3):381-390.
4. 신승철. 임상예방치과처치, 불소국소도포. 치과연구 1986;29:(1)46-87.
5. 김종열. 불화제1석의 농도 및 수소이온 농도의 변화가 법랑질 내산성에 미치는 영향에 관한 연구. 현대의학 1967; 1:545.
6. 감상균, 신승철, 박기철. 불소용액 양치 시범사업에 관한 효과평가 연구. 대한구강보건학회지 1996; 20(4):43-53.
7. Head J. A. A study of saliva and its action on tooth enamel in reference to its hardening and softening. J Am Med Assoc 1912; 59:2118-2122.
8. Anderson, B.G. Clinical study of arresting dental caries. J Dent Res 1938; 17:443-452.
9. Backer Dirks O. Posterrupted changes in dental enamel. J Dent Res 1966; 45:503-511.
10. Wel S.H.Y. Clinical Uses of Fluorides, New York: Lea & febiger; 1995:45-79.
11. Bibby B.G. Preliminary report on the use of sodium fluoride application in caries prophylaxis. J. Dent, Res1942; 21:314.
12. Knutson J.W. Sodium fluoride solution - technique for application to the teeth. J.A.D.A 1948; 36:37.
13. Caslavaska V. Moreno, E.C. and BrudeVold F. Determination of the CaF<sub>2</sub> solutions. Arch, Oral bio 1975; 20:333.
14. Lee YE, Kim HY, Bae HS, Choi YH, Song KB. invitro quantification assessment of artificial incipient carious lesions using ultraviolet laser spectroscopy and the confocal laser scanning microscopy. J korean Acad Dent Health 2005; 29(4):418-429.
15. 김민경, 금기연, 이찬영. 법랑질 인공우식의 재광화에 미치는 pH의 영향에 관한 연구. 대한치과보존학회지 1997; 22: 193-208.
16. Moreno E.C., Margolis H.C. Composition of Human plaque fluid. J. Dent, Res 1988; 67: 1181-1189.
17. 김종배, 최유진, 백대일 외 5인. 예방치학. 5판. 서울: 고문사; 2009: 66-84.
18. Kim ME, Jung IL, Kim KY, Lee CY, Roh BD. In vitro quantification analysis of remineralization effect of remineralization solution "R" of incipient enamel dental caries. J Korean Acad conserv Dent 2002;27:175-82.
19. Kim SR, Hong SJ, Roh BD, Lee CY, Kum KY. The remineralizing effect of early enamel carious lesion by supersaturated butter solution under ph cycling model. J Korean Acad conserv Dent 2001;26:341-349.
20. Cha SW, Yoon TC, Park SH, Lee CY, Kum KY. Quantitative analysis of mineral change in the initial caries lesion using confocal laser scanning microscopy. J Korean Acad conserv Dent 2001;26:261-268.
21. 김연아, 김영선, 김진아 외 13인. 최신치과임상. 1판. 서울: 고문사; 2008: 89-95.