

# Quantitative light-induced fluorescence-D를 이용한 탈회 법랑질의 재석회화 감시

류연숙 · 김종수

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

## 국문초록

인공 우식 용액으로 72개의 건전한 치아에 백색 병소를 형성을 유도하고 CavityShield™(Group I), FluroDose™(Group II) 그리고 Flor-Opal® Varnish(Group III)를 2주 간격으로 1, 2, 3회 도포하였다. 마지막 불소 바니쉬 도포 2주 후 QLF-D 영상을 촬영하여 광도 변화량( $\Delta L$ )을 측정하였고, 편광 현미경으로 법랑질 탈회 깊이 변화량( $\Delta D$ )을 측정하여 통계적으로 비교하였다.

1. Group I, II, III에서 QLF-D로 관찰한 결과, 1회 도포군보다 2주 간격으로 2, 3회 도포군에서 유의하게  $\Delta L$  값이 증가하였고, 각 불소 바니쉬에서 도포 횟수에 따라 회귀 분석 결과,  $y = 3.878x + 90.612$ ,  $y = 3.133x + 37.168$ ,  $y = 3.509x + 82.322$ 의 회귀 방정식이 산출되었다( $p < 0.05$ ).
2. Group I, II, III에서 편광 현미경으로 관찰한 결과, 1회 도포군보다 2주 간격으로 2, 3회 도포군에서 유의하게  $\Delta D$  값이 감소하였고, 각 불소 바니쉬에서 도포 횟수에 따라 회귀 분석 결과,  $y = -2.336x + 107.235$ ,  $y = -2.158x + 101.620$ ,  $y = -1.940x + 94.806$ 의 회귀 방정식이 산출되었다( $p < 0.05$ ).
3. 불소 바니쉬 적용하고 편광 현미경으로 관찰한 인공 우식의 깊이 변화량과 QLF-D로 관찰한 광도 변화량 사이의 피어슨 상관 계수는 Group I에서 -0.673, Group II에서 -0.574, 그리고 Group III에서 -0.431이었다( $p < 0.05$ ).

**주요어:** 백색 병소, 불소 바니쉬, 재석회화, QLF-D, 편광 현미경

## I. 서론

지난 20년간 치아 우식증의 발병률은 감소하였지만 여전히 성인과 소아 모두에게 가장 호발하는 구강 질병 중의 하나이다<sup>1,2)</sup>. 치아 우식증은 감염성 질환으로 다양한 요소가 연관되어 탈회-재석회화가 반복되는 역동적인 과정이다<sup>3)</sup>. 백색 병소는 치아 우식증의 초기에 나타나는 법랑질에 국한된 탈회 증상으로, 상대적으로 건전한 표층으로 덮여 있는 와동 형성 전단계이다. 백색 병소에 불소 등의 비침습적인 치료를 시행하면 탈회가 중단되고 재석회화가 되어 와동 형성을 방지하고 치아 구조를 유지할 수 있다<sup>2,6)</sup>.

불소는 우식의 발병률을 낮추고 진행을 늦추는 것에 가장 큰 기여요인으로 간주되며<sup>3)</sup>, 다양한 불소 제제가 초기 우식의 예방적 치료에 널리 사용되고 있다<sup>2,7)</sup>. 불소 바니쉬는 5% 불화나트

륨과 레진이나 합성수지를 포함한 국소적 불소 제제로 1960년 말에서 1970년 초에 처음 개발되어 1980년 대에 유럽에서 많이 사용되었다<sup>8)</sup>. 불소 바니쉬는 젤이나 액, 거품과 비교하여 사용이 간편하며 삼킬 위험성이 적어 안전하고 술식에 걸리는 시간이 짧고, 치아에 부착되어 불소를 유리하는 시간이 길고, 산성을 띄지 않아 기존의 수복물에 미치는 영향이 적다<sup>9)</sup>. 단점으로는 불소 바니쉬 도포 후 일시적인 치아 착색이 발생될 수 있다는 것이 있다<sup>5)</sup>.

와동 형성 전의 초기 치아 우식증에 대한 비침습적인 치료를 위해서는 치아 우식증의 조기 진단 능력이 필요하다. 와동 형성 전의 병소 깊이를 측정하는 방법은 편광 현미경, 전자 현미경, 미세 경도 측정법 등이 있다. 이는 탈회나 재석회화 정도를 측정할 수 있지만 침습적인 방법으로 임상적 활용이 어렵고 변화 양상을 감시할 수 없다. 임상적 방법은 시진, 촉진, 방사선 사진

교신저자 : 김 종 수

충남 천안시 안서동 산29 / 단국대학교 치과대학 소아치과학교실 / 041-550-1931 / jskim@dku.edu

원고접수일: 2012년 07월 18일 / 원고최종수정일: 2012년 08월 07일 / 원고채택일: 2012년 08월 08일

\* 이 연구는 2011학년도 단국대학교 대학연구비 지원으로 연구되었음.

이 있으나, 측진은 병소의 표면을 관통하여 손상을 발생하는 경우가 있으며, 시진과 방사선적 방법은 와동 형성 전의 병소를 감지하는 것이 어렵다<sup>2,10)</sup>. 비침습적으로 신뢰할 만한 초기 우식 증의 진단과 병소의 진행을 알기 위해 다양한 진단 방법이 소개되었다. Quantitative light-induced fluorescence(QLF), laser fluorescence(LF), fiberoptic transillumination(FOTI), electronic caries monitor(ECM) 등이 있다. 이 중 QLF는 치아 표면에 녹색색광을 비추면 형광을 발산하는데, 법랑질이 탈회되면 발산된 형광의 산란이 증가되어 정상 법랑질보다 어둡게 보이는 현상을 이용하여 우식을 감지하는 비침습적인 진단 장비이다<sup>4,11,12)</sup>. 이러한 QLF를 이용한 빛의 변화량과 무기질 소실량의 연관성을 활용하여 초기 우식 진단에 사용하고 있다. QLF 영상의 무기질 소실량과 편광 현미경으로 관찰한 우식 병소 깊이 사이에 밀접한 관련이 있어, 비침습적으로 초기 우식의 깊이를 예측하고 예방 치료에 따른 병소의 변화를 관찰할 수 있는 토대를 제공하고 있다<sup>5,11,13,14)</sup>.

이에 저자는 인공 초기 우식 병소에 3가지 종류의 불소 바니쉬를 적용하여 재석회화를 유도하고 Quantitative light-induced fluorescence-D(QLF-D)를 이용하여 탈회와 재석회화 정도를 평가하였으며, 편광 현미경을 이용하여 인공우식 병소의 깊이 변화를 분석하여 불소 바니쉬를 이용한 백색 병소의 재석회화를 평가하고자 하였다.

## II. 연구 방법 및 재료

### 1. 연구 재료

#### 1) 불소 바니쉬

시판되는 3가지 종류의 불소 바니쉬를 사용하였다. 사용된 불

소 바니쉬는 CavityShield™(3M ESPE Inc., US), FluoroDose™(Centrix, US), Flor-Opal® Varnish(Ultradent, US) 이다. FluoroDose™와 Flor-Opal® Varnish는 국내에 각 2010년, 2011년 판매를 시작한 제품이다. 모두 22,600 ppm 수준의 불소를 함유하고 있다(Table 1).

### 2. 연구 방법 (Fig. 1)

#### 1) 시편 제작

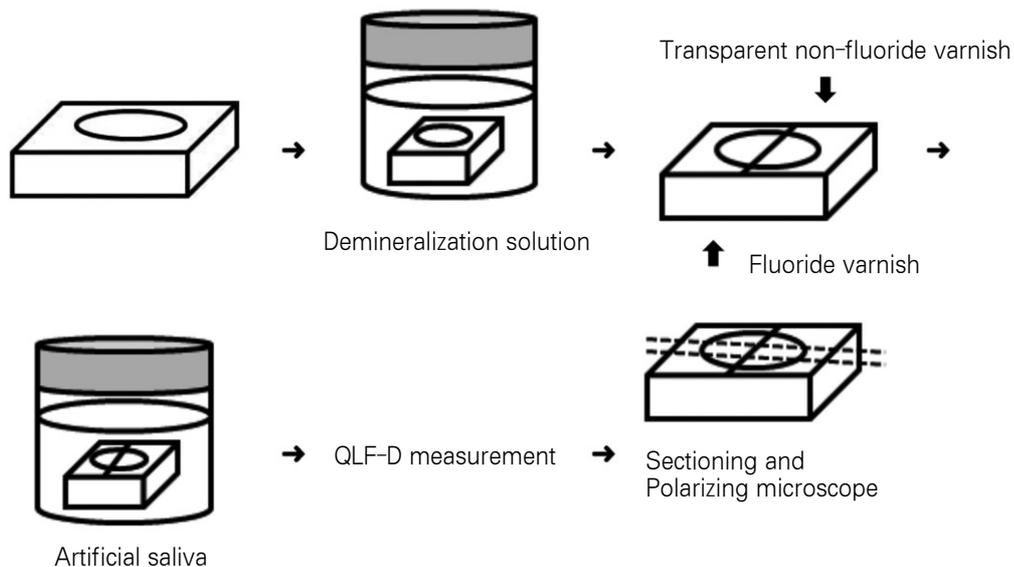
발치한 건전한 치아를 발치 직후 0.1% thymol에 보관하였다. 치아 우식증이나 수복물, 균열이 없는 치아를 선별하여 스케일러로 표면에 이물질 제거를 시행하였다. 고속 절단기(METSAW RB 205, R&B, Korea)를 사용하여 치관부를 절단하고 아크릴 레진에 매몰하였다. 치아 블록 표면을 2,500 grit 실리콘 카바이드 페이퍼로 연마하여 법랑질을 노출시켰다.

#### 2) 법랑질 탈회

법랑질 탈회를 위해 인공 우식 용액은 인산 칼슘(tribase calcium phosphate), 1 M 젖산(lactic acid)과 Carbopol®(907, Noveon Inc., US)을 이용하여 pH 5.0으로 제조하였다. 인공 우식 용액에 담근 시편을 37℃ 항온기에 14일 동안 보관하여 백색 병소를 형성하였다.

**Table 1.** Fluoride varnish products used in this study

Products	CavityShield™	FluoroDose™	Flor-Opal® Varnish
Fluoride content	5.65 mg	6.78 mg	11.3 mg
Package	0.25 mL	0.3 mL	0.5 mL



**Fig. 1.** Schematic diagram illustrating of the experimental procedure.

**Table 2.** Sample distribution

Fluoride varnish	The number of application	Group	Sample
CavityShield™	1 time	I-1	8
	2 times	I-2	8
	3 times	I-3	8
FluoroDose™	1 time	II-1	8
	2 times	II-2	8
	3 times	II-3	8
Flor-Opal® Varnish	1 time	III-1	8
	2 times	III-2	8
	3 times	III-3	8

3) 시편 분류

탈회 후 증류수로 세척한 시편의 인공 초기 우식 병소 형성을 확인 후 병소의 1/2에 불소가 포함되지 않은 투명 바니쉬 (transparent non-fluoride varnish)를 도포하여 병소를 분리하였다. 각 시편은 Table 2와 같은 실험 계획에 따라 무작위로 배정하였다.

4) 불소 바니쉬 도포

각 군의 시편에 불소 바니쉬를 도포 후 30분 동안 건조하였다. 인공 타액(Dry Mund Solution™, Dong-A pharmaceutical, Korea)에 담근 시편을 37℃ 항온기에 보관하였다. 6시간 뒤 어린이용 칫솔로 10초 동안 불소를 제거하고 인공 타액을 교환하여 37℃ 항온기에 보관하였다. 인공타액은 1일 1회 교체하였다. 2, 3회 도포군은 2주 간격으로 상기 과정을 반복하였다.

5) QLF-D 영상 촬영

각 군별로 마지막 불소 바니쉬 도포 2주 후에 병소 분리를 위해 도포한 불소가 포함되지 않은 바니쉬를 아세톤으로 제거하고 QLF-D 영상을 채득하였다. QLF-D 영상은 암실에서 디지털 카메라(EOS-450D, Canon, Japan), 매크로 렌즈(EF-S 60 mm Ultrasonic, Canon, Japan), 황색 필터(520 nm)를 사용하여 셔터 스피드 1/20초, 조리개 8, ISO 800, 그리고 화이트 밸런스 수동으로 설정하여 촬영하였다. 촬영한 영상은 영상 분석 프로그램(Able image analyser, Able, US)을 이용하여 불소 바니쉬를 도포한 부위와 도포하지 않은 부위의 광도 (luminosity, *L*)를 측정하였다. 측정된 각 부위의 광도 값의 평균을 비교하여 광도의 차이( $\Delta L$ )를 산술 하였다.

$$\Delta L = \frac{\text{Mean luminosity at fluoride varnish area}}{\text{Mean luminosity at transparent varnish area}} \times 100$$

6) 편광 현미경 촬영

QLF-D 영상을 채득한 시편은 고속 절단기를 사용하여 불소

바니쉬를 도포한 부위와 불소 바니쉬를 도포하지 않은 부위가 모두 포함되도록 절단하여 40배 배율에서 편광 현미경(CX21, Olympus, Japan)으로 관찰하였다. 컴퓨터에 저장한 편광 현미경 영상을 영상 분석 프로그램을 이용하여 불소를 도포한 부위와 도포하지 않은 부위의 탈회 범랑질 깊이(depth of lesion, *D*)를 측정하여 깊이의 차이( $\Delta D$ )를 산술하였다.

$$D = \frac{\text{Demineralized depth at fluoride varnish area}}{\text{Demineralized depth at transparent varnish area}} \times 100$$

7) 통계 분석

측정값을 Excel 2007(Microsoft Inc., US)과 SPSS 17.0 (SPSS Inc., US)을 이용하여 분석하였다. 불소 바니쉬의 도포 횟수에 따른  $\Delta L$  값의 변화와  $\Delta D$  값의 변화의 유의성을 평가하기 위하여 불소 바니쉬 종류에 따라서 Kruskal-Wallis test를 시행한 후 Mann-Whitney test로 사후 검정을 시행하였다.  $\Delta L$  값의 변화와  $\Delta D$  값의 변화의 추이를 평가하기 위하여 회귀분석을 시행하였다.  $\Delta L$  값과  $\Delta D$  값의 관계를 평가하기 위하여 상관분석을 시행하였다. 통계 분석의 유의 수준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 불소 도포 횟수에 따른 광도의 변화

1) Group I

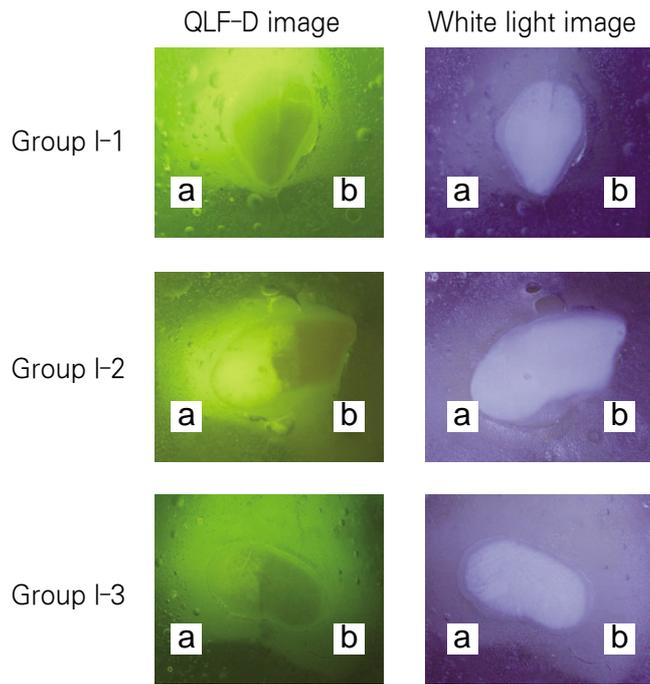
1, 2, 3회 도포군 모두에서 불소를 도포한 부위의 광도가 증가하였다(Fig. 2). 도포 횟수가 증가할수록  $\Delta L$  값이 유의하게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3). 1회 도포군과 2회 도포군의  $\Delta L$  값의 차이와 1회 도포군과 3회 도포군의  $\Delta L$  값의 차이는 통계학적으로 유의성이 있었고, 2회 도포군과 3회 도포군 사이의 차이는 통계학적으로 유의성이 없었다(Table 3).

2) Group II

1, 2, 3회 도포군 모두에서 불소를 도포한 부위의 광도가 증가하였다(Fig. 4). 도포 횟수가 증가할수록  $\Delta L$  값이 유의하게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 5). 1회 도포군과 2회 도포군의  $\Delta L$  값의 차이와 1회 도포군과 3회 도포군의  $\Delta L$  값의 차이는 통계학적으로 유의성이 있었고, 2회 도포군과 3회 도포군 사이의 차이는 통계학적으로 유의성이 없었다(Table 4).

3) Group III

1, 2, 3회 도포군 모두에서 불소를 도포한 부위의 광도가 증가하였다(Fig. 6). 도포 횟수가 증가할수록  $\Delta L$  값이 유의하게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7). 1회 도포군과 2회 도포군의  $\Delta L$  값의 차이와 1회 도포군과 3회 도포군의  $\Delta L$  값의 차이는 통계학적으로 유의성이 있었고, 2회 도포군과 3회 도포군 사이의 차이는 통계학적으로 유의성이 없었다(Table 5).

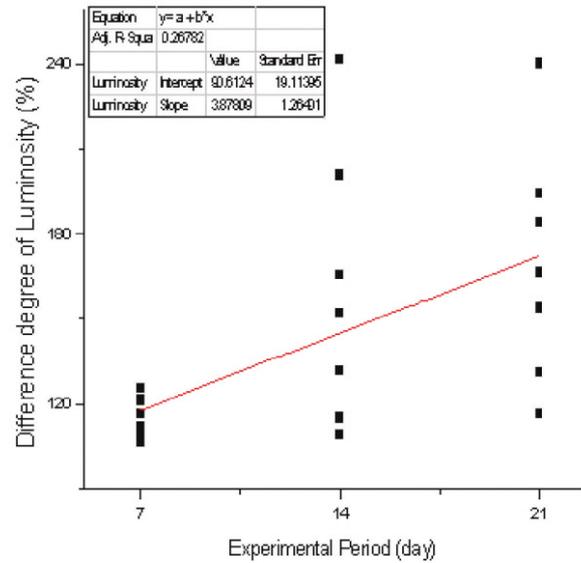


**Fig. 2.** Demineralized and remineralized enamel surface images of Group I. (a: area of fluoride varnish application, b: area of transparent varnish)

**Table 3.** Statistical analysis of difference degree of luminosity of Group I

	Group I-1	Group I-2	Group I-3
Group I-1			
Group I-2	$p = 0.028^*$		
Group I-3	$p = 0.001^*$	$p = 0.382$	

Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test(\*:  $p < 0.05$ ).

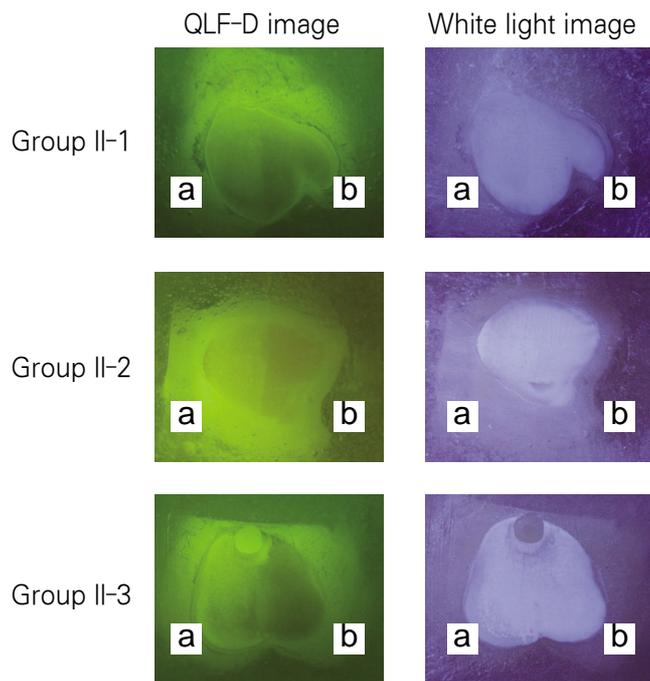


**Fig. 3.** Regression analysis of difference degree of luminosity of Group I by experimental period( $p = 0.006$ ).

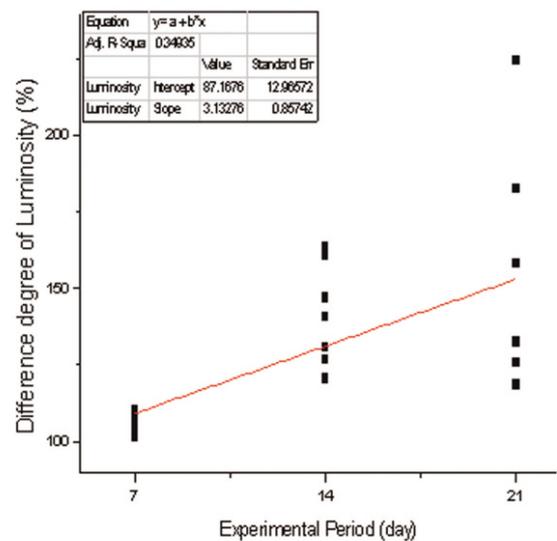
**Table 4.** Statistical analysis of difference degree of luminosity of Group II

	Group II-1	Group II-2	Group II-3
Group II-1			
Group II-2	$p = 0.000^*$		
Group II-3	$p = 0.000^*$	$p = 1.000$	

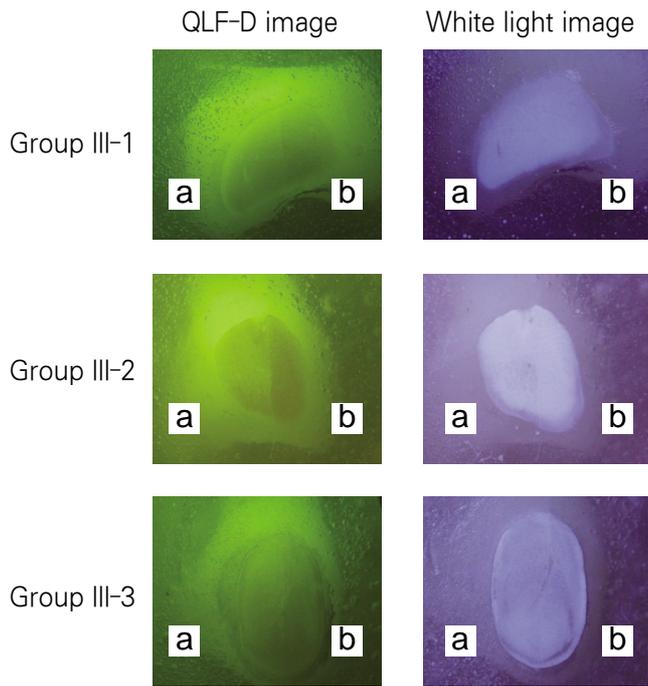
Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test(\*:  $p < 0.05$ ).



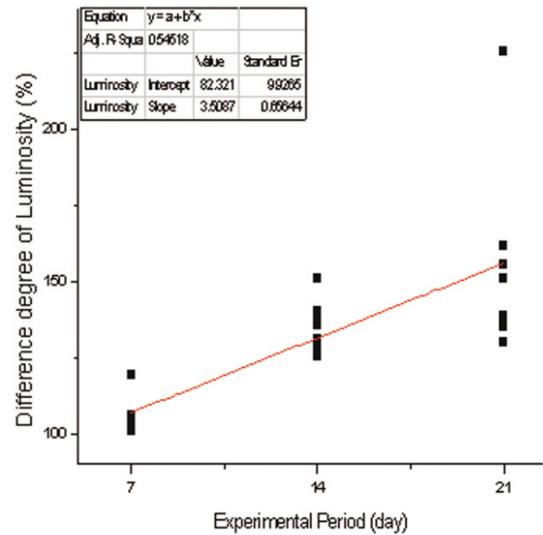
**Fig. 4.** Demineralized and remineralized enamel surface images of Group II. (a: area of fluoride varnish application, b: area of transparent varnish)



**Fig. 5.** Regression analysis of difference degree of luminosity of Group II by experimental period( $p = 0.001$ ).



**Fig. 6.** Demineralized and remineralized enamel surface images of Group III. (a: area of fluoride varnish application, b: area of transparent varnish)



**Fig. 7.** Regression analysis of difference degree of luminosity of Group III by experimental period( $p = 0.000$ ).

**Table 5.** Statistical analysis of difference degree of luminosity of Group III

	Group III-1	Group III-2	Group III-3
Group III-1			
Group III-2	$p = 0.000^*$		
Group III-3	$p = 0.000^*$	$p = 0.065$	

Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test(\*:  $p < 0.05$ ).

2. 불소 도포 횟수에 따른 탈회 법랑질의 깊이 변화

1) Group I

1, 2, 3회 도포군 모두에서 불소를 도포한 부위의 탈회 법랑질의 깊이가 감소하였다(Fig. 8). 도포 횟수가 증가할수록  $\Delta D$  값이 유의하게 감소하는 경향을 보였다(Fig. 9). 1회 도포군과 2회 도포군의  $\Delta D$  값의 차이와 1회 도포군과 3회 도포군의  $\Delta D$  값의 차이는 통계학적으로 유의성이 있었고, 2회 도포군과 3회 도포군 사이의 차이는 통계학적으로 유의성이 없었다(Table 6).

2) Group II

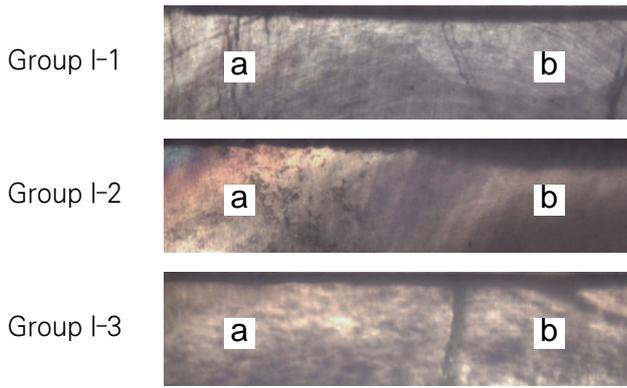
1, 2, 3회 도포군 모두에서 불소를 도포한 부위의 탈회 법랑질의 깊이가 감소하였다(Fig. 10). 도포 횟수가 증가할수록  $\Delta D$  값이 유의하게 감소하는 경향을 보였다(Fig. 11). 1회 도포군과 2회 도포군의  $\Delta D$  값의 차이와 1회 도포군과 3회 도포군의  $\Delta D$  값의 차이는 통계학적으로 유의성이 있었고, 2회 도포군과 3회 도포군 사이의 차이는 통계학적으로 유의성이 없었다(Table 7).

3) Group III

1, 2, 3회 도포군 모두에서 불소를 도포한 부위의 탈회 법랑질의 깊이가 감소하였다(Fig. 12). 도포 횟수가 증가할수록  $\Delta D$  값이 유의하게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 13). 1회 도포군과 2회 도포군의  $\Delta D$  값의 차이와 1회 도포군과 3회 도포군의  $\Delta D$  값의 차이는 통계학적으로 유의성이 있었고, 2회 도포군과 3회 도포군 사이의 차이는 통계학적으로 유의성이 없었다(Table 8).

3. 불소 도포 횟수에 따른 광도의 변화와 탈회 법랑질의 깊이 변화의 관계

Group I, II, III 모두에서  $\Delta L$  값과  $\Delta D$  값에 음의 상관관계가 있었다(Table 9).

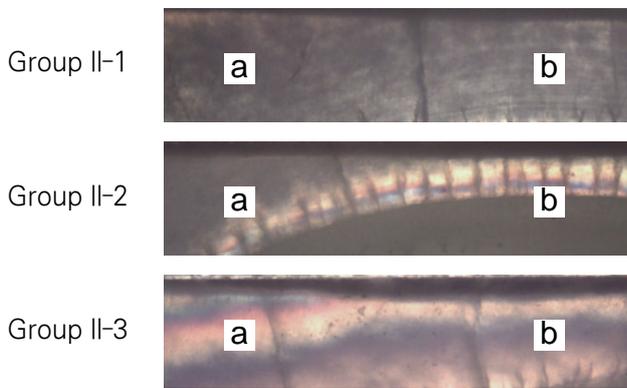


**Fig. 8.** Demineralized and remineralized enamel surface images of polarizing microscope of Group I. (a: area of fluoride varnish application, b: area of transparent varnish)

**Table 6.** Statistical analysis of difference degree of lesion depth of Group I

	Group I-1	Group I-2	Group I-3
Group I-1			
Group I-2	$p = 0.001^*$		
Group I-3	$p = 0.000^*$	$p = 0.105$	

Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test(\*:  $p < 0.05$ ).

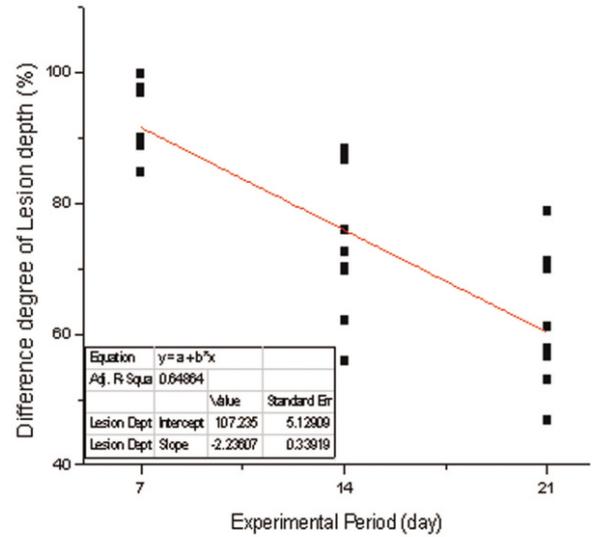


**Fig. 10.** Demineralized and remineralized enamel surface images of polarizing microscope of Group II. (a: area of fluoride varnish application, b: area of transparent varnish)

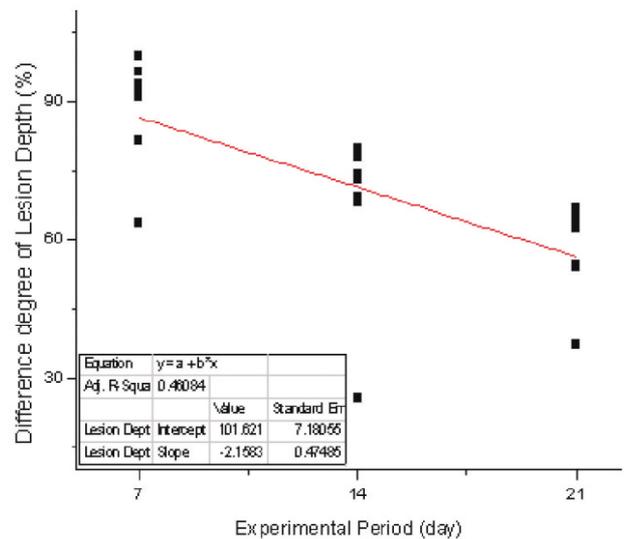
**Table 7.** Statistical analysis of difference degree of lesion depth of Group II

	Group II-1	Group II-2	Group II-3
Group II-1			
Group II-2	$p = 0.007^*$		
Group II-3	$p = 0.001^*$	$p = 0.010$	

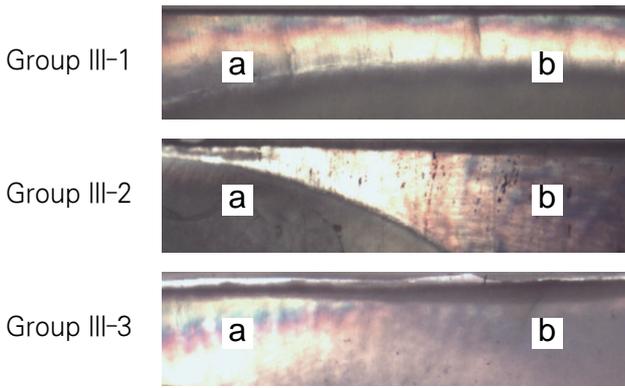
Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test(\*:  $p < 0.05$ ).



**Fig. 9.** Regression analysis of difference degree of lesion depth of Group I by experimental period( $p = 0.000$ ).



**Fig. 11.** Regression analysis of difference degree of lesion depth of Group II by experimental period( $p = 0.000$ ).



**Fig. 12.** Demineralized and remineralized enamel surface images of polarizing microscope of Group III.  
(a: area of fluoride varnish application, b: area of transparent varnish)

**Table 8.** Statistical analysis of difference degree of lesion depth of Group III

	Group III-1	Group III-2	Group III-3
Group III-1			
Group III-2	$p = 0.002^*$		
Group III-3	$p = 0.000^*$	$p = 0.645$	

Kruskal-Wallis test and Mann-Whitney test(\*:  $p < 0.05$ ).

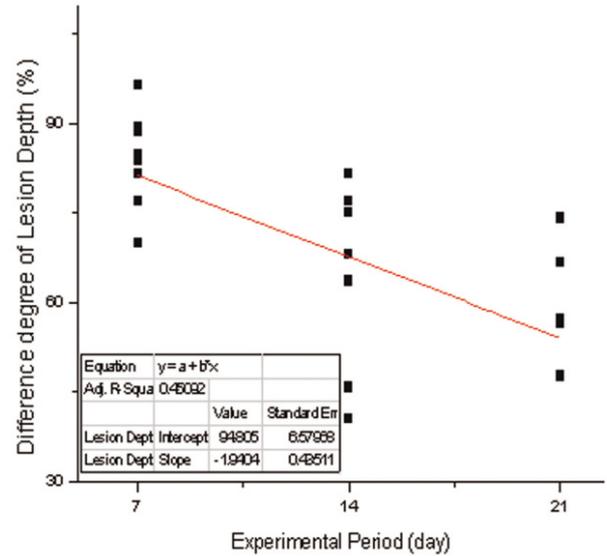
**Table 9.** Correlation analysis between  $\Delta L$  and  $\Delta D$

Group	Pearson correlation value	$p$ -value
Group I	-0.673	0.000*
Group II	-0.574	0.003*
Group III	-0.431	0.036*

(\*:  $p < 0.05$ )

#### IV. 총괄 및 고안

불소의 전신적인 사용은 치아의 맹출 후에 미치는 영향이 미미하고, 국소적인 적용 시에도 병소의 표면에 영향을 주어 hidden caries와 같은 심부 병소에는 효과가 거의 없으므로 표층 병소에 적용하는 것이 효과적이다<sup>2)</sup>. 불소 바니쉬는 1960년 대 처음 소개되었고<sup>15)</sup> 본 연구에서 사용한 CavityShield™는 2000년 대 후반 우리나라에 소개되었다. CavityShield™는 적용 후 일시적인 치아 착색과 칫솔에 바니쉬 성분이 붙는 단점이 있다. FluoroDose™와 Flor-Opal® Varnish는 치아와 유사한 색과 적당한 흐름성을 장점으로 최근에 국내에 소개되었고, 상기 제품을 이용한 연구는 거의 없었다. 불소의 우식 억제에 관한 명확한 기전은 없으나 세균의 대사와 탈회를 억제하고 재석회화를 촉진하는 것으로 생각된다<sup>3)</sup>. 탈회된 법랑질에 타액이 흐르면서 산성의 환경이 증성으로 변하면 탈회가 중단되고 탈회된 결정이 핵으로 작용하면서 새로운 결정이 형성된다. 불소는 탈회된 결정에 흡수되어 칼슘과 인의 흡수를 촉진하고 이렇게 형성된 결정의 표면은 산에 대한 용해도가 낮아진다. 탈회된 법랑질의 재석회화를 위해서는 불소와 타액 내의 칼슘과 인이 필



**Fig. 13.** Regression analysis of difference degree of lesion depth of Group III by experimental period. ( $p = 0.000$ )

요하며 본 연구에서는 인공 타액을 사용하였다.

QLF는 Benedict가 보고한 치아의 자가 형광 특징을 이용하여 E. de Josselin de Jong 등이 개발한 진단 장비이다<sup>14,16)</sup>. 치아에 푸른색 가시광선을 조사하면 빛의 산란이 발생하고 발생한 형광빛은 카메라 영상으로 획득한다. 탈회된 법랑질은 형광의 감소가 발생하고 치아에서 형광성을 내는 정도와 석회화 수준간의 상관 관계가 있어, 자체 소프트웨어를 이용하여 형광된 부위의 강도 차이를 탈회의 정도로 정량화한다<sup>16-18)</sup>. QLF는 시간의 추이에 따른 병소의 변화를 관찰할 수 있고, 교정용 장치에 인접한 치아의 탈회, 수복물 주위의 이차 치아 우식증, 치아 착색을 관찰할 수 있다<sup>16,19,20)</sup>. 기존의 QLF는 구강 내 카메라를 사용하여 영상을 획득하는 것에 한계가 있었고 이를 보완하기 위해 QLF-D가 고안되었다. Digital single-lens reflex camera를 사용하여 영상의 해상도가 우수하고 촬영 방법이 간편하고 위치 재현성이 좋아 병소의 변화를 비교하기 용이하며 1회 촬영으로 전체 치아를 관찰할 수 있다.

Svante Twetman과 Lars G. Petersson<sup>21)</sup>은 만 4~5세 아동에서 연 2회 불소 바니쉬를 도포하면 치아 우식증의 발생률이 감소하였다고 보고하였다. Nasrin Farhadian 등<sup>22)</sup>과 Mark A. Todd 등<sup>23)</sup>도 불소 바니쉬의 적용이 고정성 교정용 장치 주변의 탈회를 방지하는 것에 효과가 있다고 보고하였다.

본 연구에서도 QLF-D로 관찰한 결과, 3가지 불소 바니쉬 모두에서 2, 3회 도포군이 1회 도포군보다 광도의 변화가 유의성이 있는 차이를 나타내었다. 2, 3회 도포군 간에 통계학적으로 유의성은 없지만 모든 불소 바니쉬에서 도포 횟수가 증가할수록 광도 변화량이 증가하였다.

편광 현미경으로 관찰한 결과, 3가지 불소 바니쉬 모두에서 2, 3회 도포군이 1회 도포군보다 법랑질 탈회의 깊이가 유의성

이 있게 감소하였다. 이는 QLF-D로 관찰한 법랑질 광도 변화와 일치하는 결과이다.

통계학적으로 유의하지는 않았지만 2회 도포군 보다 3회 도포군의 법랑질 탈회 깊이가 감소하였고, 도포 횟수가 증가할수록 탈회의 깊이 감소를 관찰할 수 있었다. 이는 고농도의 불소가 초기에 빠른 속도로 재석회화를 유도하고 점차 재석회화 속도가 감소된 것으로 생각할 수 있다. Bjorn Ogarrd 등<sup>24)</sup>은 불소 제제를 적용하면 재석회화가 초기에 급격히 일어나고 점차 속도가 감소한다고 하였고, S. Al-Khateeb 등<sup>25)</sup>은 구강 내에 탈회 법랑질 시편을 적용하여 불소 치약과 불소 보충제의 재석회화 효과를 laser fluorescence method(LAF)와 transvers microradiography(TMR)을 이용하여 평가한 결과, 불소 제제를 사용한 첫 주에 가장 많은 재석회화를 관찰하였고 그 이후 점진적인 증가를 보였다고 보고하였다. 급격한 재석회화의 요인으로 빠른 탈회 과정 후 다공성의 법랑질 표면과 초기 재석회화 병소의 반응성, 그리고 타액의 성분이 유입되어 광물의 침착을 억제하는 것을 언급하였다.

불소 바니쉬의 도포 간격은 제조 회사나 American dental association, Centers for disease control and prevention에서 치아 우식증 예방을 위해 1년에 2~4회를 추천하였다<sup>26-28)</sup>. 백색 병소 재석회화를 위한 불소의 적용 방법에 대한 특별한 제조사의 지시사항은 없다. 이 등<sup>29)</sup>의 연구에서 불소 바니쉬를 1주 간격으로 도포하는 것 보다 2, 3주 간격으로 도포하는 것이 백색 병소의 미세 정도 증가에 효과가 있고, 2, 3주 간격 사이에는 차이가 없다고 하였다. 본 연구에서는 2주 간격으로 도포 횟수를 1, 2, 3회로 하여 실험하였다.

불소의 사용에 있어서 용량을 제한하는 이유는 불소의 급성과 만성 독성 때문이다. 급성 독성은 1회 용량이 기준치를 초과하였을 때 나타나며 5~9 mg 섭취하였을 때 오심이나 구토가 발생하고 5~10 g은 치사량이다. 만성 독성은 2 mg/L 이상의 불소를 지속적으로 섭취하면 발육 중인 치아의 불소증으로 나타난다<sup>26,30)</sup>. 불소 바니쉬는 22,600 ppm 수준의 불소를 함유하여 용량에 따라 5~11 mg의 불소가 포함되어 있다. 불소 바니쉬에 있는 불소를 모두 섭취한다면 경미한 급성 독성이 발생할 수 있지만 불소 바니쉬의 특성상 타액이 닿으면 신속히 경화되고 수 일에 걸쳐서 불소가 천천히 유리되어 급성 중독이 발생할 가능성이 적고 실제 보고된 바도 없다<sup>26,31)</sup>. Kelly 등<sup>32)</sup>의 실험에서 본 실험에서 사용한 제품과 같은 5% 불화나트륨을 포함한 불소 바니쉬를 이용하여 불소 배출량을 측정한 결과, 불소 바니쉬 도포 24시간 후 불소 배출량이 증가하였지만 48시간 후 정상 수준으로 회복하였다.

실험 결과를 볼 때 백색 병소에 대한 반복적인 불소 바니쉬 도포가 적절한 치료가 될 수 있고, 2회 이상 도포해야 할 것이다. CavityShield™와 비교하면 FluoroDose™와 Flor-Opal® Varnish는 점성이 적으나 현 연구에서 탈회 법랑질의 재석회화에 대해 영향을 미치지 않았다. 구강 내 환경에서는 타액의 흐름 그리고 협점막이나 혀와 같은 연조직의 움직임 등 다른 요인이 있으므로 *in vivo* 실험이 필요할 것이다. 또한 우식 저항성

이 있고 신뢰할 만한 수준으로 재석회화를 유도하기 위해서 불소 바니쉬의 도포 기간과 도포 횟수를 다양하게 적용한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

QLF-D의 광도 변화와 편광 현미경에서 관찰한 탈회 법랑질의 깊이 변화 사이에 3가지 불소 바니쉬 모두 상관 관계가 있었다. 본 연구 결과를 볼 때, 백색 병소의 진단과 변화 양상을 기록하고 측정하는 장비로써 QLF-D를 유용하게 사용할 수 있다는 것을 입증하였고, 불소 바니쉬의 적용 방법에 대한 추가적인 연구의 기준이 될 수 있을 것이다.

## V. 결 론

본 연구는 3가지 종류의 불소 바니쉬를 2주 간격으로 도포한 후 도포 횟수에 따른 백색 병소의 재석회화 효과를 QLF-D와 편광 현미경으로 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 백색 병소에 CavityShield™, FluoroDose™ 그리고 Flor-Opal® Varnish을 적용하고 QLF-D로 광도를 관찰한 결과, 1회 도포군보다 2주 간격으로 2, 3회 도포군에서 유의하게 ΔL 값이 증가하였고, 각 불소 바니쉬에서 도포 횟수에 따라 회귀 분석 결과,  $y = 3.878x + 90.612$ ,  $y = 3.133x + 37.168$ ,  $y = 3.509x + 82.322$ 의 회귀 방정식이 산출되었다( $p < 0.05$ ).
2. 백색 병소에 CavityShield™, FluoroDose™ 그리고 Flor-Opal® Varnish을 적용하고 편광 현미경으로 법랑질 탈회 깊이를 관찰한 결과, 1회 도포군보다 2주 간격으로 2, 3회 도포군에서 유의하게 ΔD 값이 감소하였고, 각 불소 바니쉬에서 도포 횟수에 따라 회귀 분석 결과,  $y = -2.336x + 107.235$ ,  $y = -2.158x + 101.620$ ,  $y = -1.940x + 94.806$ 의 회귀 방정식이 산출되었다( $p < 0.05$ ).
3. 불소 바니쉬 적용 후 편광 현미경으로 관찰한 인공 우식의 깊이 변화량과 QLF-D로 관찰한 광도 변화량 사이의 피어슨 상관 계수는 Group I에서 -0.673, Group II에서 -0.574, 그리고 Group III에서 -0.431이었다( $p < 0.05$ ).

## 참고문헌

1. National institutes of health : Oral health in America. Rockville, US, 37-39, 2000.
2. Ismail AI : Clinical diagnosis of precavitated carious lesions. *Community Dent Oral Epidemiol*, 25:13-23, 1997.
3. Feathersthone JDB : The Science and practice of caries prevention. *JADA*, 131:887-899, 2000.
4. Stookey GK : Quantitative light fluorescence: A technology for early monitoring of the caries process. *Dent Clin N Am*, 49:753-770, 2005.
5. Wu J, Donly ZR, Donly KJ, Hackmyer S : Demineralization depth using QLF and a novel image processing software. *Int J Dent*, 1-7, 2010.

6. Pitts NB : Modern concepts of caries measurement. *Journal of dental restoration*, 83:43-47, 2004.
7. Ismail AI, Hasson H : Fluoride supplements, dental caries and fluorosis - A systematic review. *J Am Dent Assoc*, 139:1457-1468, 2008.
8. Beltran-Aguilar ED, Goldstein JW, Lockwood SA : Fluoride varnishes. *J Am Dent Assoc*, 131:589-594, 2000.
9. Autio-Gold JT, Courts F : Assessing the effect of fluoride varnish on early enamel carious lesions in the primary dentition. *J Am Dent Assoc*, 132:1247-1253, 2001.
10. Yang J, Dutra V : Utility of radiology, laser fluorescence, and transillumination. *Dent Clin N Am*, 49:739-752, 2005.
11. Nakata K, Nikaido T, Ikeda M, *et al.* : Relationship between fluorescence loss of QLF and depth of demineralization in an enamel erosion model. *Dent Mater J*, 28:523-529, 2009.
12. Hartles RL, Leaver AG : The fluorescence of teeth under ultraviolet irradiation. *Biochem J*, 54:632-638, 1953.
13. Angmar-Mansson B, Bosch JJ : Quantitative light-induced fluorescence: a method for assessment of incipient caries lesions. *Dentomaxillofac Radiol*, 30:298-307, 2001.
14. Park HJ, Kim JS, Yoo SH, Shin JS : Developing of QLF-D for early detection of dental caries. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 38:317-326, 2011.
15. Kim JY, Lee SH, Lee NY : Effect of fluoride in natural polymer on enamel demineralization. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 37:35-43, 2010.
16. Pretty IA, Pender N, Edger WM, Higham SM : The in vitro detection of early enamel de- and re-mineralization adjacent to bonded orthodontic cleats using quantitative light-induced fluorescence. *Eur J Orthod*, 25:217-223, 2003.
17. Adeyemi AA, Jarad FD, Jong EJ, *et al.* : The evaluation of a novel method comparing quantitative light-induced fluorescence(QLF) with spectrophotometry to assess staining and bleaching of teeth. *Clin Oral Invest*, 14:19-25, 2010.
18. Karlsson L, Lindgren LE, Trollsas K, *et al.* : Effect of supplementary amine fluoride gel in caries-active adolescents: A clinical QLF study. *Acta Odontol Scand*, 65:284-291, 2007.
19. Higham SM, Pretty IA, Edgar WM, Smith PW : The use of in situ models and quantitative light-induced fluorescence(QLF) for the study of coronal caries. *J Dent*, 33:235-241, 2005.
20. Pretty IA, Smith PW, Edgar WM, Higham SM : Detection on in vitro demineralization adjacent to restorations using quantitative light-induced fluorescence(QLF). *Dent Mater*, 19:368-374, 2003.
21. Twetman S, Petersson LG : Prediction of caries in pre-school children in relation to fluoride exposure. *Eur J Oral Sci*, 104:523-528, 1996.
22. Farhadian N, Miresmaeili A, Eslami B, Mehrabi S : Effect of fluoride varnish on enamel demineralization around bracket: An in-vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 133:95-98, 2008.
23. Todd MA, Staley RN, Kanellis MJ, *et al.* : Effect of a fluoride varnish on demineralization adjacent to orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 116:159-167, 1999.
24. Ogaard B, Bosch JJ : Regression of white spot enamel lesions: A new optical method for quantitative longitudinal evaluation in vivo. *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 106:238-242, 1994.
25. Al-Khateeb S, Oliveby A, Jong EJ, Angmar-Mansson B : Laser fluorescence quantification of remineralisation in situ of incipient enamel lesions: Influence of fluoride supplements. *Caries Res*, 31:132-140, 1997.
26. Association of state and territorial dental directors fluoride committee : Fluoride varnish: an Evidence-based approach research brief. ASTDD, August:1-15, 2007.
27. The American dental association Council on scientific affairs : Professionally applied topical fluoride: Executive summary of evidence-based clinical recommendations. ADA, May:1-3, 2006.
28. Fluoride varnish by Alliance for a cavity-free future and Assessment service. Available from URL: [www.allianceforacavityfreefuture.org](http://www.allianceforacavityfreefuture.org)(Assessed on August 8, 2012)
29. Lee EH, Kim JS, Yoo SH : Remineralization effect of sodium fluoride varnish on white lesion by application intervals. *J Korean Acad Pediatr Dent*, 37:403-411, 2010.
30. Vargas CM : Fluoride supplements prevent caries but can cause mild to moderate fluorosis. *J Evid Base Dent Pract*, 11:18-20, 2001.
31. Penman AD, Brackin BT, Embrey R : Outbreak of acute fluoride poisoning caused by a fluoride over-feed, Mississippi, 1993. *Public health reports*, 112:403-409, 1997.
32. Kaneshiro KP, Silva VE, Borro MF, *et al.* : Urinary fluoride output in children following the use of an dual-fluoride varnish formulation. *J Appl Oral Sci*, 17:179-183, 2009.

Abstract

MONITORING OF REMINERALIZATION OF DECALCIFIED ENAMEL USING  
QUANTITATIVE LIGHT-INDUCED FLUORESCENCE-D

Yon-Sook You, Jong-Soo Kim

*Department of Pediatric Dentistry, Dental College, Dankook University*

The objective of this *in vitro* study was to monitor the amount of remineralization of decalcified enamel according to the number of fluoride varnish application using quantitative light-induced fluorescence-D and polarizing microscope. Artificial white lesion induced on the sound 72 teeth, CavityShield™ (Group I), FluroDose™ (Group II) and Flor-Opal® Varnish (Group III) were applied 1, 2 or 3 times every two weeks. The following results was obtained:

1. In group I, II and III,  $\Delta L$  were increased. From regression analysis of  $\Delta L$  by the number of application, the equation was  $y = 3.878x + 90.612$  in group I,  $y = 3.133x + 37.168$  in group II, and  $y = 3.509x + 82.322$  in group III ( $p < 0.05$ ).
2. In group I, II and III,  $\Delta D$  were decreased. From regression analysis of  $\Delta D$  by the number of application, the equation was  $y = -2.336x + 107.235$  in group I,  $y = -2.158x + 101.620$  in group II, and  $y = -1.940x + 94.806$  in group III ( $p < 0.05$ ).
3. The Pearson correlation value between the  $\Delta L$  and  $\Delta D$  was  $-0.673$  in group I,  $-0.574$  in group II, and  $-0.431$  in group III ( $p < 0.05$ ).

**Key words :** White spot, Fluoride varnish, Remineralization, QLF-D, Polarized light microscopy