

불소바니시 5종의 불소이온용출량 비교: 실험실 연구

김지수, 변민지, 남용태, 김진범, 정승화

부산대학교 치의학전문대학원 예방과 사회치의학교실

In vitro fluoride release from five different fluoride varnishes

Ji-Soo Kim, Min-Ji Byon, Yong-Tae Nam, Jin-Bom Kim, Seung-Hwa Jeong

Department of Preventive & Community Dentistry, School of Dentistry, Pusan National University, Yangsan, Korea

Received: November 25, 2019

Revised: November 28, 2019

Accepted: December 1, 2019

Corresponding Author: Seung-Hwa Jeong

Department of Preventive & Community

Dentistry, School of Dentistry, Pusan

National University, 49 Busandaehak-ro,

Mulgeum-eup, Yangsan 50612, Korea

Tel: +82-51-510-8222

Fax: +82-51-510-8221

E-mail: jsh0917@pusan.ac.kr

https://orcid.org/0000-0001-5173-2859

*This work was supported by the National

Research Foundation of Korea (NRF) grant

funded by the Korea government (MSIT)

(No. 2019R1F1A1061836).

Objectives: This study aims to compare the fluoride-release between different fluorine varnish under *in vitro* experimental conditions.**Methods:** In this study, 5 fluoride varnish products distributed in Korea were selected. V-varnish™ (Vericom, Korea: VV), CavityShield™ (3M ESPE, USA: CS), Clinpro™ White varnish™ (3M ESPE, USA: CP), MI Varnish™ (GC, Japan: MI), and Fluor Protector (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein: FP). For the *in vitro* study, 10 mg of each fluoride varnish was thinly applied to the same area of the specimen. The specimen was then immersed in 3 ml of distilled water at consistent intervals to confirm fluoride release. Nine specimens per group were used. Fluoride ion electrodes were used to measure the fluoride concentration of the solution. The Kruskal-Wallis nonparametric test was performed to compare between each experimental group, and the Wilcoxon signed-rank nonparametric test was performed to compare experimental groups over time. The significance level for a Type I error was set at 0.05. All statistical analyses were performed using SPSS 25.0 (IBM Co., Armonk, NY, USA).**Results:** *In vitro* experiments showed that the amount of fluoride released from MI was higher than the other groups during the first 12 hours after application. However, the amount of fluoride released from CP and CS was higher than MI as the immersion time increased over 12 and 20 hours, respectively. The fluoride release from FP was the lowest at all measurement points.**Conclusions:** The results of this study showed that the remaining fluoride effect from rosin type fluoride varnishes was higher than liquid type fluoride varnishes. There were differences in the residual fluoride concentrations despite each fluoride varnish having the same fluoride content.**Key Words:** Dental caries, Fluoride release, Fluoride varnish, *In vitro* study

서론

치아우식을 예방하는 것은 치료보다 더 효율적인 처치이며 치과치료에서 최우선적으로 고려되어야 할 사항이다. 현재까지 알려진 우식병소의 발생과 진행을 막는 대표적인 물질은 불소(Fluoride)이다. 구강 내에서 불소는 치면세균막에 축적되거나 분비된 타액 내에 일정 농도 이상으로 유지되면서 미생물의 산 생성과 관련한 대사 작용을 억제하고 치아우식 예방효과를 나타낸다¹⁻³⁾. 치아표면에 침착된 불소는 법랑질 치질과 결합하여 수산화인회석을 불화인회석으로 바꾸어 법랑질

의 내산성을 증가시키며, 치면세균막에서 형성된 산에 의한 탈회를 억제한다. 또한, 저농도의 불소 이온은 타액 내 무기질 성분에 의해 탈회된 치아의 재광화를 촉진시킨다¹⁻³⁾.

다양한 불소 제제 중 한 가지인 불소바니시(Fluoride Varnish: FV)는 1960년대에 소개된 이후 유럽뿐만 아니라 캐나다, 미국 등에서 널리 사용된 전문가 국소도포 불소제제(Professionally applied topical fluoride)이다⁴⁾. FV는 치아 법랑질 표면에 얇게 도포되어 치아표면에 오랫동안 부착되고 접촉시간을 증가시킬 뿐만 아니라 불소가 천천히 방출하도록 하는 저장고 역할을 한다⁵⁾. FV는 치면 세마 후 작은

브러시를 이용하여 도포하고 환자에 따라 일 년에 2-4회 도포할 수 있다. 도포되는 양은 0.5 ml 정도로 소량이기 때문에 불소 섭취에 따른 부작용은 적으며, 치아우식 예방효과는 크고 진료실에서 비교적 간편하게 도포할 수 있다는 장점이 있어 어린이들에게 유용하게 활용이 되고 있는 불소제제이다⁶⁾. 영구치를 가진 어린이 또는 청소년을 대상으로 조사한 연구에서 FV를 도포한 사람들에게서 우식, 상실, 치료된 치아가 평균 46% 감소한 것으로 나타났으며, 유치에서는 33% 감소한 것으로 나타났다⁶⁾.

구강 내 불소농도가 일정수준 이상으로 유지되면 치아우식의 진행을 늦추고 법랑질의 재광화를 유도하는 것으로 알려져 있다⁷⁾. Featherstone은 *in vitro* 및 *in vivo* 연구에서 타액의 불소농도가 0.1 ppm 이상이면 우식 위험도가 높은 사람들에게 항우식효과가 있다고 보고하였다⁸⁾. 그러므로 오랜 시간 구강 내 불소농도를 유효수준 이상으로 유지하는 FV는 항우식 및 재광화에 유용한 불소도포 제제라 할 수 있다.

FV의 성분조합은 불소농도의 지속성에 영향을 준다는 연구도 있다. 동일한 실험실 조건이라도 제품마다 부가적으로 첨가한 성분에 따라 도포 직후 짧은 시간동안 다량의 불소를 방출하기도 하고, 다량의 불소를 방출하지는 못하지만 오랜 시간동안 불소를 서서히 방출하는 등 시간에 따른 불소 방출량과 불소 농도의 지속시간에 차이를 보고하였다⁹⁾. 칼슘, 무기인산염 등이 함유된 4종의 FV (MI varnishTM, ClinproTM white, Enamel ProTM, BifluoridTM) 불소이온 방출량을 평가한 연구에 따르면 Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate (CPP-ACP)를 함유한 MI varnishTM가 칼슘과 불소 이온을 가장 많이 방출하였다¹⁰⁾. 또한, 인공타액 내에서 3종류의 FV (Clinpro-XTTM, Fluoritop SRTM, Fluor Protector)의 불소 방출효과를 연구한 결과에 따르면 도포 1주일 후에는 Fluoritop SRTM이 가장 많은 방출량을 보였으나 1개월 만에 방출량이 급격하게 감소하였고, Clinpro-XTTM는 다른 FV제품에 비해 초기부터 6개월까지 지속적으로 불소를 방출하는 양상을 보여 제품마다 불소방출의 지속성에 차이가 있음을 확인하였다¹¹⁾.

FV는 성분에 따라 22,600 ppm의 불소이온이 포함되어 있는 5% sodium fluoride (NaF) 제품(DuraphatTM, MI varnishTM, CavityShieldTM 등)과 1,000 ppm의 불소이온이 포함되어 있는 0.9% difluorosilane을 주성분으로 하는 Fluor Protector로 분류할 수 있다. 앞서 FV의 불소이온용출량을 평가한 연구가 수행되었으나^{12,13)}, 연구 방법을 어떻게 설계하느냐에 따라 상이한 결과가 나타날 수 있기 때문에 여러 가지 실험방법으로 FV를 평가하여 다양한 정보를 임상전문가들에게 제공할 필요가 있을 것으로 생각된다. 이에 이번 연구의 목적은 국내에서 시판되고 있는 5종의 FV를 이용하여 *in vitro* 연구를 통해 용출되는 불소이온양을 비교, 평가하는 것이다.

연구대상 및 방법

1. 연구재료

1.1. 불소바니시의 선정

이번 연구에서는 국내에서 유통 중인 FV 중, 선행연구 고찰과 시장 인지도를 고려하여 최종적으로 5종을 선정하였다. CavityShieldTM (3M ESPE, USA: CS), V-VarnishTM Premium clear (Vericom, Korea: VV), ClinproTM White Varnish (3M ESPE, USA: CP), MI VarnishTM (GC, Japan: MI), Fluor Protector (Ivoclar Vivadent, Liechtenstein: FP). FP는 액상형으로 0.9% difluorosilane (불소함량 1,000 ppm)를 함유하고 있으며, 다른 바니시들은 송진형으로 5% NaF (불소함량 22,600 ppm)를 함유하고 있다. 송진형 바니시는 불소화합물 이외에 제조사가 강조하는 주요성분으로 자일리톨, casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate (CPP-ACP), tricalcium phosphate (TCP) 등이 있다(Table 1).

1.2. 불소바니시 도포

단면의 직경이 5 mm인 원기둥 모양의 아크릴 봉 2개의 단면(총 도포된 단면적 39.25 mm²)에 각 불소바니시를 도포하였다. 각 FV 군당 9개의 시편을 준비하였다. 10 mg (0.010 g)의 FV를 시편 표면에 브러시를 이용하여 얇게 도포하였다. FV 도포량을 정확히 측정하기 위해, 소수점 넷째 자리단위(g)까지 표기되는 전자저울(ANALYTICAL Plus Electronic Balances AP-210, OHAUS, Morris, NJ, USA)을 사용하였다. 시편을 저울에 올려놓은 뒤 0점 조정하였으며, FV가 도포된 최종 무게가 0.010 g이 되도록 하였다. FP는 액상형 FV이기 때문에 마이크로피펫을 이용하여 시편 표면에 0.010 g을 도포하였으며, 도포 즉시 휘발성의 성질을 나타내어 약 10분간 상온에서 휘발을 유도 후, 증류수에 담갔다.

2. 불소용출량 평가

FV가 도포된 아크릴 시편을 3 ml의 증류수에 특정 시간 동안 담금 후 불소 용출량을 평가하였다. 담금에 사용된 증류수는 담금 전과 담금 시간 동안 37°C 항온기에 보관되었다. 증류수의 담금 프로토콜은 Table 2와 같았다. FV 도포 직후 초기 1분 동안 3 ml의 증류수에 담갔으며 이후 새로운 증류수에 1시간 동안 담갔다. 이 과정을 도포 후 4시간이 될 때까지 반복 수행하였다. 1시간 담금 이전 1분 동안 증류수에 담그는 이유는 단기간에 용출되는 불소용출량을 평가하기 위함이었다. 도포 후 4시간 후부터는 20시간까지 4시간 마다 증류수를 교체하였으며 1분 증류수 담금은 수행하지 않았다. 도포 후 20시간 이후는 72시간까지 증류수에 담갔다.

3. 불소이온농도 측정

불소가 용출된 증류수의 농도를 측정하기 위해 불소이온전극(Orion ionplus Fluoride Electrode 9609, Orion Research, Beverly, MA, USA)과 pH/ISE Meter를 활용하였다. 100 ppm 불소이온용액(ORION 940911)을 증류수에 희석하여 0.1, 0.2, 1, 2, 5, 10

Table 1. Information on fluoride varnishes evaluated in this study

	CavityShield™	V-varnish™ Premium clear	Clinpro™ White varnish	MI Varnish™	Fluor Protector
Main content in label	5% sodium fluoride	5% sodium fluoride	5% sodium fluoride	5% sodium fluoride	0.9% Difluorosilane*
Other contents in label	-	TCP, Xylitol	TCP	CPP-ACP	-
Lot number	A43203	VM7401B0	N981520	1901071	XZ1046
Components†	Colophony 20-70% Polyamide resin 20-70% Ethyl alcohol 4-30% Sodium fluoride 4-6% Flavor <5%	Hydrogenated rosin 30-60%	Pentaerythritol glycerol ester of colophony Resin 30-75% n-hexane 10-15% Ethanol 1-5% Sodium fluoride 1-5% Modified Tricalcium phosphate <5%	Ethyl alcohol 25-50% Sodium fluoride 1-5%	Ethyl acetate 50-100% Isopentyl propionate 10-25% Polyisocyanate 10-25%
Odor†	Colophony odor	Bubblegum, strawberry, melon or mint	Mint, cherry or melon odour	Product specific	Fruit-like
Color†	Orange	Pale yellow	Light yellow liquid	White	Clear
Issue date†	12/29/2017	10/30/2012	18/11/2016	14/08/2015	30/04/2015
Permit number†	수인 07-485호	제인 15-10호	수인 13-3583호	수인 17-4228호	수인 08-229호
Manufacturer	3M ESPE, USA	Vericom, Korea	3M ESPE, USA	GC, Japan	Ivoclar Vivadent, Liechtenstein

*Difluorosilane: Bis {4-[2-(difluorohydroxysilyl)ethyl]-2-methoxycyclohexyl} [N,N-(trimethylhexan-1,6-diyl) dicarbamate]. †Source from the Material Safety Data sheet (MSDS) of manufacturer. ‡Source from the Ministry of Food and Drug Safety (MFDS), South Korea.

Table 2. Immersing process of fluoride varnish applied specimens

Elapsed time after fluoride varnish application	Immersion period	
Immediately after	1 minute	-
	-	1 hour
1 hour	1minute	-
	-	1 hour
2 hours	1minute	-
	-	1 hour
3 hours	1minute	-
	-	1 hour
4 hours	1minute	-
	-	4 hours
4-8 hour	-	4 hours
8-12 hour	-	4 hours
12-16 hour	-	4 hours
16-20 hour	-	4 hours
20-72 hour	-	52 hours

ppm 표준용액을 제조하였고 TISAB III를 10:1 (V/V) 비율로 첨가하였다. 0.1, 1, 10 ppm 용액을 이용하여 검량선을 작성하였고, 0.2, 2, 5 ppm으로 검량선을 확인하였다. 측정 시점 간의 시간 간격이 1시간 이상일 때마다 표준용액을 이용하여 검량선을 수시로 확인하였으며 $\pm 3\%$ 이상의 오차가 나타날 경우 새롭게 검량선을 작성하였다. 측정 값의 오차 가능성을 고려하여 결과 값이 0.01 ppm 이하인 경우에는 0 ppm로 기록하였으며, 0.01 ppm 이상의 값은 소수점 셋째 자리에서 반올림하여 소수점 둘째 자리까지 기록하였다.

4. 통계분석

각 군당 9개의 시편으로부터 얻어진 자료가 최종 통계 분석에 활용되었다. 각 측정 시점에서, FV제품 간 용출된 불소 농도의 차이를 확인하기 위해 비모수 검정인 Kruskal-Wallis test를 시행하였으며, 사후검정은 Bonferroni's method로 유의수준을 보정한 Mann-Whitney test를 시행하였다. 동일 FV 군 안에서 두 측정시점 간에 따른 불소 농도의 차이를 비교하기 위해 Wilcoxon signed rank test를 시행하였다. 제1종 오류에 대한 유의수준은 0.05로 판정하였으며, 모든 통계분석은 SPSS 25.0 (IBM SPSS statistics for Windows, Armonk, NY, USA)을 이용하였다.

연구 성적

1. 도포 후 0-4시간 동안 1분 담금 불소 용출량 평가

FV 도포 직후, 1시간, 2시간, 3시간, 4시간 후 시점에서 각 FV군 간 1분 담금 불소 용출량의 차이가 확인되었다($P < 0.05$). 도포 직후 1분 담금 불소 용출량은 CP (0.27 ppm), CS (0.19 ppm), MI (0.15 ppm), FP (0.15 ppm) 순으로 나타났으며, 군 간 유의한 차이는 없었다. VV (0.10 ppm)는 CP보다 유의하게 낮은 불소 용출량을 나타냈다($P < 0.05$). 1시간 증류수 담금 후, 1분 담금 불소용출량은 MI (0.53 ppm)가 다른 군에 비해 유의하게 가장 많았으며, CP (0.19 ppm)가 다음으로 높게 나타났다. CS, VV, FP 간의 유의한 차이는 없었다. 2시간 증류수 담금 후, 1분 담금 불소용출량은 MI (0.34 ppm)가 다른 군에 비해 유의하게 가장 높았으며, FP (0.03 ppm)와 VV (0.00 ppm)가 가장 적었으며 두 군간 유의한 차이는 없었다. 3시간 증류수 담금 후,

1분 담금 불소용출량은 MI (0.28 ppm)가 다른 군에 비해 유의하게 가장 많았으며, CP (0.08 ppm), CS (0.02 ppm) 순으로 나타났다. FP와 VV가 가장 적었으며(0.00 ppm), 두 군간 유의한 차이는 없었다. 4시간 증류수 담금 후, 1분 담금 불소용출량은 MI 군(0.22 ppm)이 가장 많았으며, CP (0.05 ppm)가 다음으로 높게 나타났다. CS, FP, VV 군간의 유의한 차이는 없었다. 1분 담금 불소용출량은 MI를 제외한 모든 군에서 담금 시간이 길어질수록 감소하는 것으로 나타났다. MI 군은 도포 직후(0.15 ppm)보다 1시간 담금 후(0.53 ppm) 용출량이 증가한 뒤, 감소하였다(Table 3, Fig. 1).

2. 도포 후 0-4시간 동안 1시간 담금 불소 용출량 평가

FV 도포 후 0-1시간, 1-2시간, 2-3시간, 3-4시간 시점에서 각 FV 군 간 1시간 담금 불소 용출량의 차이가 확인되었다($P < 0.05$). 0-1시간, 1시간 담금 불소 용출량은 MI (23.54 ppm)가 다른 군과 비교 시 유의하게 가장 많았으며, CS (0.32 ppm)가 유의하게 가장 적었다. 1-2시간, 1시간 담금 불소 용출량은 MI (12.64 ppm)가 다른 군과 비교 시 유의하게 가장 많았으며, CP (0.49 ppm)가 다음으로 높게 나타났다. VV (0.10)와 CS (0.09)가 가장 적게 나타났다. 2-3시간, 1시간 담금 불소 용출량은 MI (10.44 ppm)가 다른 군과 비교 시 유의하게 가장 많았으며, CP (0.45 ppm)가 다음으로 높게 나타났다. FP (0.09), VV (0.09), CS (0.06)가 가장 적게 나타났다. 3-4시간, 1시간 담금 불소 용출량은 MI (8.01 ppm)가 다른 군과 비교 시 유의하게 가장 많았으며, CP (0.38 ppm)가 다음으로 높게 나타났다. VV (0.07), FP (0.05), CS (0.04)가 가장 적게 나타났다. 1시간 담금 불소용출량은 모든 군에서 담금 시간이 길어질수록 감소하는 것으로 나타났다. 도포

직후 1시간 담금 불소용출량과 3시간 후 1시간 담금 불소용출량을 비교(A/B ratio)한 결과, CP는 2.63, MI, 2.93인데 반해, CS는 8.0배, FP는 18.6, VV는 23.7로 나타나서 담금 시간이 증가함에 따라 불소용출량 변화량이 매우 큰 것을 알 수 있었다(Table 4, Fig. 2).

3. 도포 후 4-20시간 동안 4시간 간격 불소 용출량 비교

4시간 단위 불소 용출량을 비교한 결과, 처음 4-8시간 불소 용출량은 MI (18.14 ppm)가 월등히 많았으며, CP (2.95 ppm)가 다음으로 많았다. VV (0.70 ppm)와 FP (0.27 ppm)가 가장 낮게 나타났다. 8-12시간 불소 용출량은 MI는 3.69 ppm으로 이전 보다 급격히 감소

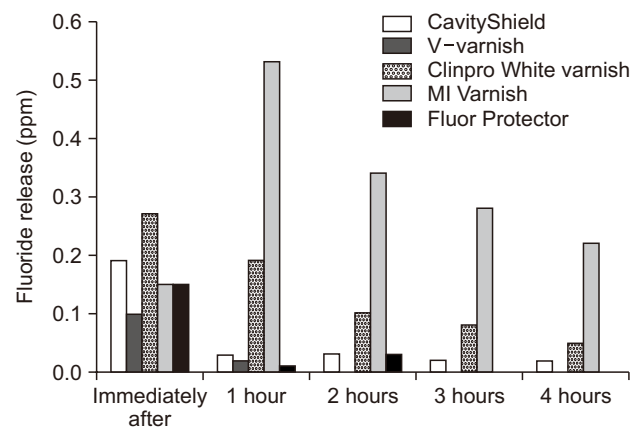


Fig. 1. Fluoride release after 1 minute immersion over time (0-4 hours).

Table 3. Fluoride release after 1 minute immersion over time (0-4 hours)

	N	Immediately after	1 hour	2 hours	3 hours	4 hours
CS	9	0.19 (0.06) ^{ab}	0.03 (0.03) ^a	0.03 (0.01) ^a	0.02 (0.01) ^a	0.02 (0.01) ^a
VV	9	0.10 (0.08) ^a	0.02 (0.04) ^a	0.00 (0.01) ^b	0.00 (0.01) ^b	0.00 (0.00) ^a
CP	9	0.27 (0.15) ^b	0.19 (0.19) ^b	0.10 (0.07) ^c	0.08 (0.07) ^c	0.05 (0.02) ^b
MI	9	0.15 (0.07) ^{ab}	0.53 (0.16) ^c	0.34 (0.10) ^d	0.28 (0.04) ^d	0.22 (0.03) ^c
FP	9	0.15 (0.05) ^{ab}	0.01 (0.01) ^a	0.03 (0.05) ^{abc}	0.00 (0.00) ^b	0.00 (0.00) ^a

Values are presented as mean (SD) of fluoride concentration (ppm). The time indicated the time after fluoride varnish application.

CS, CavityShield™; VV, V-varnish™ Premium clear; CP, Clinpro™ White varnish; MI, MI Varnish™; FP, Fluor Protector.

^{a,b,c,d}Data in column with the same letter are not significantly different.

Table 4. Fluoride release after 1 hour immersion over time (0-4 hours)

	N	0-1 hour	1-2 hour	2-3 hour	3-4 hour	A/B ratio
CS	9	0.32 (0.13) ^a	0.09 (0.03) ^a	0.06 (0.03) ^a	0.04 (0.02) ^a	8.0
VV	9	1.66 (2.25) ^{ab}	0.10 (0.14) ^{ab}	0.09 (0.12) ^a	0.07 (0.09) ^a	23.7
CP	9	1.00 (0.29) ^b	0.49 (0.14) ^c	0.45 (0.14) ^b	0.38 (0.09) ^b	2.63
MI	9	23.54 (3.47) ^c	12.64 (2.50) ^d	10.44 (1.48) ^c	8.01 (1.15) ^c	2.93
FP	9	0.93 (0.26) ^b	0.25 (0.21) ^b	0.09 (0.02) ^a	0.05 (0.01) ^a	18.6

Values are presented as mean (SD) of fluoride concentration (ppm). The time indicated the time after fluoride varnish application.

A/B ratio=0-1 hour/3-4 hour.

CS, CavityShield™; VV, V-varnish™ Premium clear; CP, Clinpro™ White varnish; MI, MI Varnish™; FP, Fluor Protector.

^{a,b,c,d}Data in column with the same letter are not significantly different.

하였으나, CP와 함께 가장 많은 불소용출량을 보였다. 12-16시간 불소 용출량은 CP (2.36 ppm)가 MI (1.21 ppm)보다 많았으나, 두 군 간의 유의한 차이는 없었다. 16-20시간 불소 용출량 역시 CP (1.75 ppm)가 MI (1.44 ppm)보다 많았으나, 두 군 간의 유의한 차이는 없었다. 4-8시간 대비 16-20시간 불소용출량의 비는 MI가 12.6, FP가 3.0, VV가 2.8, CP가 1.7, CS가 1.1로 나타나, 4-20시간 사이에서 MI는 불소 용출속도가 급격히 감소하는 성질이 있는 반면, CS와 CP는 비록 낮은 농도이지만, 안정적인 속도로 불소를 지속 방출하는 것을 알 수 있었다(Table 5, Fig. 3).

4. 도포 후 20-72시간 담금 불소 용출량 비교

도포 후 20시간 동안 증류수에 담갔던 시편을 새로운 증류수에 도포 후 72시간이 될 때까지 계속 담금 결과, 불소 이온은 계속 용출되었다. CP (12.69±4.37 ppm)의 불소 용출량이 가장 많았으며, CS (3.82±0.42 ppm), MI (2.16±0.62 ppm), VV (1.73±1.75 ppm), FP (0.55±0.11 ppm) 순으로 나타났다.

고 안

이번 연구결과 도포 후 담금 1시간부터 담금 12시간 까지 가장 높은 불소이온용출량을 보여준 불소바니시는 MI이었다. 담금 시간이 12시간이 넘어서면서 부터는 MI의 불소용출량은 CP보다 감소하였고,

20-72시간 담금 동안에도 CP, CS보다는 적게 나타나, 초기 불소방출 효과는 우수하지만, 지속 방출 능력은 낮은 것으로 생각된다. Kim 등¹²⁾, Cochrane 등¹⁰⁾, Lee 등¹³⁾의 *in vitro* 실험 연구에서도 MI의 우수한 불소방출효과는 보고된 바 있다. 임상적으로 더 많은 불소의 방출이 우식 예방 및 치아 재광화에 얼마나 효과적인지는 추후 임상 연구가 필요하지만, 불소바니시가 고농도의 불소 함유를 표방하는 만큼, 도포 후 구강 내에서 이용 가능한 불소의 양이 많다는 것은 술자와 환자 입장에서 충분한 가치가 있다. 또한, 임상에서는 불소바니시 도포 후, 식사나 칫솔질 등 물리, 화학적인 자극으로 인해 도포된 대부분 24시간 이내에 제거되는 만큼¹⁴⁾, 불소바니시의 초기 방출능력은 중요한 평가 지표가 될 것이다.

담금 시간이 4시간 넘게 지속됨에 따라, MI는 불소 방출량이 감소하였지만, CS와 CP는 지속적인 불소방출 능력을 나타냈다. 특히 20-72시간 담금 동안에는 CP가 가장 많은 불소를 방출했다(CP 12.69 ppm, CS 3.82 ppm, MI 2.16 ppm). CP와 CS는 3M ESPE에서 제조되는 제품으로 지속능력에 관한 기술력을 공유하는 것으로 생각된다. CS는 국내에 2007년에 처음 소개된, 천연 송진 성분을 함유한 제품으로 알려져 있으며, CP 역시 CS와 유사한 송진 성분이 함유된 것으로 확인된다(Table 1). 만약 불소바니시의 대부분을 차지하는 송진 성분이 구강 내에 오래 잔류한다면, 불소의 지속 방출 가능성은 높아진다. 하지만, 칫솔질과 식사 등의 외부 자극에 의해 불소바니시의 송진 성분을 쉽게 제거될 것이다.

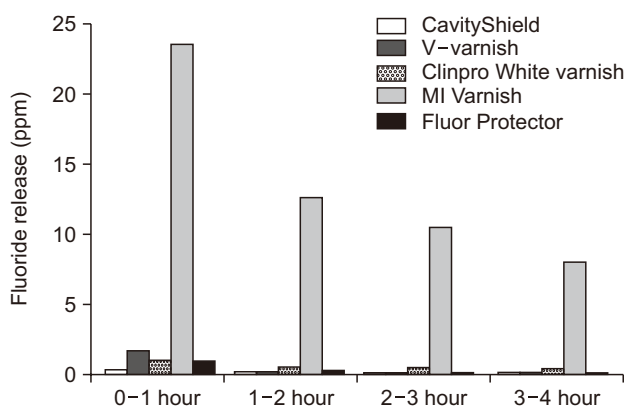


Fig. 2. Fluoride release after 1 hour immersion over time (0-4 hours).

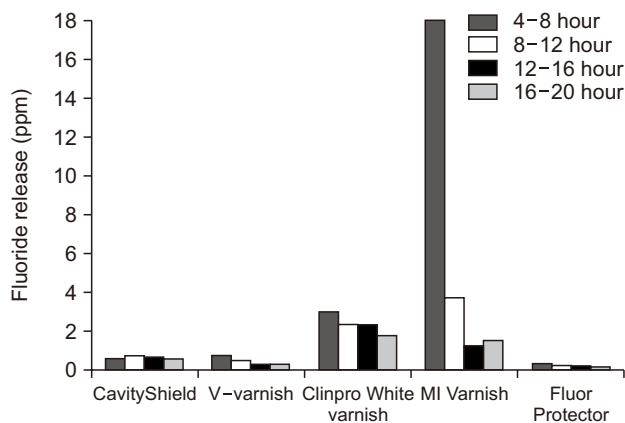


Fig. 3. Four hour fluoride release from 4 to 20 hours.

Table 5. Four hour fluoride release from 4 to 20 hours

	N	4-8 hour	8-12 hour	12-16 hour	16-20 hour	C/D ratio
CS	9	0.56 (0.08) ^{a1}	0.65 (0.06) ^{a2}	0.63 (0.10) ^{ad12}	0.51 (0.27) ^{ab12}	1.1
VV	9	0.70 (0.65) ^{ad1}	0.41 (0.44) ^{ac2}	0.27 (0.28) ^{ac2}	0.25 (0.33) ^{a12}	2.8
CP	9	2.95 (0.73) ^{b1}	2.31 (0.68) ^{b2}	2.36 (0.96) ^{b12}	1.75 (1.41) ^{b12}	1.7
MI	9	18.14 (1.46) ^{c1}	3.69 (1.32) ^{b2}	1.21 (0.44) ^{bd3}	1.44 (0.82) ^{b3}	12.6
FP	9	0.27 (0.05) ^{d1}	0.17 (0.03) ^{c2}	0.15 (0.03) ^{c23}	0.09 (0.11) ^{a3}	3.0

Values are presented as mean (SD) of fluoride concentration (ppm). The time indicated the time after fluoride varnish application.

C/D ratio=4-8 hour/16-20 hour.

CS, CavityShieldTM; VV, V-varnishTM Premium clear; CP, ClinproTM White varnish; MI, MI VarnishTM; FP, Fluor Protector.

^{a,b,c,d}Data in column with the same letter are not significantly different. ^{1,2,3}Data in row with the same number are not significantly different.

액상형의 에탄올 베이스 휘발성 바니시인 FP는 도포 후 1시간에서 최대 농도에 도달한 뒤, 4시간 뒤에는 초기 수준으로 감소하여, 불소의 지속 방출효과가 매우 낮음을 확인하였다. Virupaxi 등¹¹⁾의 *in vitro* 연구도 유사한 결과를 보고하였다. 이번 연구에 사용된 다른 FV제품의 불소 함량은 22,600 ppm인데 반해, FP는 1,000 ppm이었다. FP는 불소함량이 타 실험군에 비해 1/20 수준이고 바니시 성상이 다르기 때문에 타 실험군과 절대적인 비교를 통해 불소용출량의 많고 적음을 비교하는 것은 신중하게 접근할 필요가 있다. 하지만, 이러한 차이를 감안하더라도, 도포 후 2시간 이후에는 불소가 측정되거나 방출되지 않은 것은 FV의 불소 지속 방출 능력이라는 기본 목적에 부합하지 않는다. FP는 1975년에 개발되었으며, 1987년에 0.9% difluorosilane을 함유하여 1,000 ppm의 불소함량을 표방하는 제품으로 널리 알려져 있다⁶⁾. Petersson 등¹⁵⁾은 연간 2회 FP를 도포한 4-5세 미취학 아동들의 인접면 치아우식의 발생은 감소하였다고 보고하였다. 하지만 DuraphatTM과 FP를 평가한 연구에 따르면 DuraphatTM이 보다 더 효과적이라 보고된 바가 있으며^{16,17)}, 연간 1회 FP를 적용하였을 때 큰 효과를 보여주지 못하였다는 결과도 보고되었다¹⁸⁾. 임상적으로 저농도의 불소를 함유한 액상형 바니시의 활용성이 존재하는 만큼, 불소 지속 방출 능력을 향상시키기 위한 관련 연구가 수행될 필요가 있을 것이다.

이번 연구를 수행하는데 있어 한계점이 있었다. 첫 번째, 불소이온 용출량을 평가한 다수의 연구에서 인공타액을 이용하였으나^{19,20)}, 이번 연구에서는 증류수를 활용하였다. 하지만 Comar 등²¹⁾의 연구에서 증류수, 인공타액 모두 사용한 결과 제품 간의 용출량은 증류수에서 더 큰 차이를 보였다고 보고되었다. 점도와 pH 등 다수의 변수가 존재하긴 하지만 제품 간 불소이온용출량을 평가하는데 무리가 없을 것으로 사료된다. 두 번째, 이번 연구에서 불소이온용출량을 평가하였지만 그 결과를 치아재광화(Remineralization) 효과로 간주하기에는 한계가 있다. 치아재광화는 저농도의 불소농도로도 가능하다는 선행연구가 있기 때문이다³⁾. 계속되는 연구에서는 불소농도측정 뿐만 아니라 치면 재광화 평가가 동반되어야 할 것으로 생각된다. 이러한 제한점에도 불구하고 이번 연구를 통해 국내에서 시판되고 있는 5종의 FV를 이용하여 불소이온용출량을 비교, 평가하였고 의미 있는 결과를 도출하였다.

결론

이번 연구는 국내에서 시판되고 있는 5종의 불소바니시를 *in vitro* 실험 조건 하에서 아크릴 시편에 도포한 후 증류수에서 용출되는 불소이온 용출량을 비교, 평가하였고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 도포 직후를 제외한 1분 담금부터 담금 12시간까지 가장 높은 불소이온용출량을 보여준 불소바니시는 MI이었다.
2. 12-16시간, 20-72시간 이후부터는 CP와 CS가 MI보다 많은 양의 불소를 방출하였다.
3. 송진형 바니시가 액상형 바니시보다 불소를 더 오랫동안 방출했다.

이번 연구를 통해 불소바니시 성상에 따라 불소이온용출량에 차이가 있었고, 동일한 불소함량을 가진 불소바니시라 하더라도 제품 간

용출량 차이가 존재하고 용출시점에도 차이가 있음을 확인하였다. 구강 내 불소바니시 도포효과를 극대화하기 위하여, 치아우식 예방에 유효한 농도의 불소를 지속적으로 용출하는 불소바니시의 개발이 필요할 것이다.

ORCID

Ji-Soo Kim, <https://orcid.org/0000-0003-1571-4762>

Min-Ji Byon, <https://orcid.org/0000-0003-0359-9234>

Yong-Tae Nam, <https://orcid.org/0000-0002-2377-4151>

Jin-Bom Kim, <https://orcid.org/0000-0001-8619-2741>

References

1. Fejerskov O, Cury JA, Tenuta LM, Marinho VC. Fluorides in caries control. In: Fejerskov O, Nyvad B, Kidd E. Dental caries: the disease and its clinical management. 3rd ed. Oxford:Wiley Blackwell;2015:245-276.
2. Featherstone JDB, Ten Cate JM. Physicochemical aspects of fluoride-enamel interactions. In: Ekstrand J, Fejerskov O, Featherstone LM. Fluoride in dentistry. 2nd ed. Copenhagen:Munksgaard;1988:125-149.
3. Featherstone JD. Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. Community Dent Oral Epidemiol 1999;27:31-40.
4. Beltrán-Aguilar ED, Goldstein JW, Lockwood SA. Fluoride varnishes. A review of their clinical use, cariostatic mechanism, efficacy and safety. J Am Dent Assoc 2000;131:589-596.
5. Øgaard B, Seppä L, Rølla G. Professional topical fluoride applications-clinical efficacy and mechanism of action. Adv Dent Res 1994;8:190-201.
6. Marinho VC, Worthington HV, Walsh T, Clarkson JE. Fluoride varnishes for preventing dental caries in children and adolescents. Cochrane Database Syst Rev 2013;7:CD002279. DOI: 10.1002/14651858.CD002279.pub2.
7. ten Cate JM, Featherstone JD. Mechanistic aspects of the interactions between fluoride and dental enamel. Crit Rev Oral Biol Med 1991;2:283-296.
8. Featherstone JD. Delivery challenges for fluoride, chlorhexidine and xylitol. BMC Oral Health 2006;6 Suppl 1:S8.
9. Ritwik P, Aubel JD, Xu X, Fan Y, Hagan J. Evaluation of short-term fluoride release from fluoride varnishes. J Clin Pediatr Dent 2012;36:275-278.
10. Cochrane NJ, Shen P, Yuan Y, Reynolds EC. Ion release from calcium and fluoride containing dental varnishes. Aust Dent J 2014;59:100-105.
11. Virupaxi SG, Roshan NM, Poornima P, Nagaveni NB, Neena IE, Bharath KP. Comparative evaluation of longevity of fluoride release from three different fluoride varnishes—an *in vitro* study. J Clin Diagn Res 2016;10:ZC33-ZC36.
12. Kim HN, Jeong MS, Kim SY, Kim JB, Jeong SH. Evaluation of release of fluoride from dental varnishes marketed in Korea. J Korean Acad Oral Health 2014;38:131-137.
13. Lee K, Lee S, Lee N, Jih M. A comparison of the amount of fluoride ion released and remineralization effect on the initial caries lesion of the various fluoride varnishes. J Korean Acad Pediatr Dent 2016;43:443-451.
14. Al Dehailan L, Lippert F, González-Cabezas C, Eckert GJ, Martinez-Mier EA. Fluoride concentration in saliva and biofilm fluid following the application of three fluoride varnishes. J Dent 2017;60:87-93.

15. Petersson LG, Twetman S, Pakhomov GN. The efficiency of semianual silane fluoride varnish applications: a two-year clinical study in preschool children. *J Public Health Dent* 1998;58:57-60.
16. Seppä L, Tuutti H, Luoma H. Three-year report on caries prevention using fluoride varnishes for caries risk children in a community with fluoridated water. *Scand J Dent Res* 1982;90:89-94.
17. Seppä L, Pöllänen L. Caries preventive effect of two fluoride varnishes and a fluoride mouthrinse. *Caries Res* 1987;21:375-379.
18. van Eck AA, Theuns HM, Groeneveld A. Effect of annual application of polyurethane lacquer containing silane-fluoride. *Community Dent Oral Epidemiol* 1984;12:230-232.
19. Piesiak-Pańczyszyn D, Kaczmarek U. Fluoride release from fluoride varnish under *in vivo* and *in vitro* conditions. *Dent Med Probl* 2017;54:327-331.
20. Shen C, Autio-Gold J. Assessing fluoride concentration uniformity and fluoride release from three varnishes *J Am Dent Assoc* 2002;133:176-182.
21. Comar LP, Souza BM, Grizzo LT, Buzalaf MA, Magalhães AC. Evaluation of fluoride release from experimental TiF_4 and NaF varnishes *in vitro*. *J Appl Oral Sci* 2014;22:138-143.