

# 덴탈타입실리카, 토코페롤아세테이트, 불화나트륨 및 피로인산나트륨 배합 세치제가 치아표면 탈회 및 치아밀도 감소 억제에 미치는 영향

정호기<sup>1</sup>, 정선영<sup>1</sup>, 안용수<sup>1</sup>, 신경훈<sup>2</sup>, 조자원<sup>1</sup>

<sup>1</sup>단국대학교 치과대학 예방치과, <sup>2</sup>애경 중앙연구소

## The effect of dentifrice including dental type silica, tocopherol acetate, sodium fluoride and sodium pyrophosphate on mineral density in enamel

Ho-Ki Jung<sup>1</sup>, Sun-Young Chung<sup>1</sup>, Yong-Su Ahn<sup>1</sup>, Kyong-Hoon Shin<sup>2</sup>, Ja-Won Cho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Preventive Dentistry, College of Dentistry, Dankook University, Cheonan,  
<sup>2</sup>Aekyung Industrial Co., Ltd. R&D Division Dental Care Team, Daejeon, Korea

**Received:** November 23, 2020

**Revised:** December 5, 2020

**Accepted:** December 7, 2020

**Corresponding Author:** Ja-Won Cho  
Department of Preventive Dentistry,  
College of Dentistry, Dankook University,  
119 Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan  
31116, Korea  
Tel: +82-41-550-1955  
Fax: +82-41-553-6582  
E-mail: priscus@hanmail.net  
https://orcid.org/0000-0003-1458-0416  
\*이 논문은 정호기의 2018년 박사 학위 논문의  
일부를 발췌하였음.

**Objectives:** In this study, we aimed to investigate the preventive and protective effects of new dentifrice containing dental type silica, tocopherol acetate, fluorides, and sodium pyrophosphate on the mineral density of teeth and demineralization of tooth surfaces.

**Methods:** A total of 119 bovine teeth pre-treated with the new dentifrice at three different concentrations for the experiment were randomly allocated into two control (DW and PW) and one experimental (EC) groups. The enamel surface of all bovine teeth were demineralized using an artificial demineralization solution. The dentifrice was diluted with distilled water (DW) at 1:1, 1:2, and 1:3 ratios. The samples were treated with the demineralization solution for 4 h after treatment with the supernatants of each diluted dentifrice for 30 min, and this procedure was repeated 3 times over a period of 24 h. The samples were examined using micro-CT to determine the amount of reduced bone mineral density (BMD) comparing the control and experimental dentifrices. The surface changes of the samples were also examined using the scanning electron microscope (SEM).

**Results:** The average BMD of the bovine enamel surface between the treated and non-treated area with the demineralization solution was significantly different in the control, DW, PW 1:1, PW 1:2, and PW 1:3 groups. However, there was no significant difference observed in the experimental groups, including EC 1:1, EC 1:2, and EC 1:3. The average BMD of the demineralized surfaces based on the results of the 7 groups was significantly higher in every EC group when compared to the DW and three PW groups.

**Conclusions:** The new dentifrice containing dental type silica, tocopherol acetate, fluorides, and sodium pyrophosphate is effective in inhibiting the decrease in BMD and demineralization of enamel surface, which was observed when the new dentifrice and demineralization solution was repeatedly applied to the samples for 24 h.

**Key Words:** Dentifrices, Sodium fluoride, Sodium pyrophosphate

## 서론

치아 우식은 우리나라의 양대 구강병 중 하나에 해당하는 구강질환으로, 치아 표면의 탈회와 재광화 과정의 균형이 깨지면서 발생하게 된다. 치아 우식의 전 단계로 알려져 있는 white spot 영역을 미세컴퓨터단층촬영장치(MicroCT)를 이용하여 분석한 결과, 치아 표면의 정상 법랑질과 비교하여 치아를 구성하는 무기질의 밀도가 감소되어 있음이 밝혀졌다<sup>1)</sup>.

치아표면의 탈회는 역동적인 구강 내 환경에서 산 생성능과 내산성의 특징을 가지는 Mutans Streptococci 등의 특정 병원성 세균에 의해 일어나는 것으로 알려져 있다. 이러한 치아우식 유발균은 여러 당 성분들 에너지원으로 하여 대사 작용을 하며, 대사 산물로 유기산을 형성한다. 따라서 구강 내 치아 및 치주조직은 산성 환경에 노출되어 탈회가 일어나기 용이한 환경에 노출되어 있다고 할 수 있다<sup>2)</sup>.

지금까지 치아 우식을 예방하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있으며, 세치제를 통해 탈회된 치아를 재광화하기 위한 노력 역시 계속되고 있다. Nano-hydroxyapatite 치약이 치아의 법랑질과 상아질의 재광화를 돕는다는 연구 결과가 제시된 바 있다<sup>3)</sup>.

세치제(dentifrice)란 치아표면을 닦기 위하여 잇솔질 과정에 사용하는 보조적 재료로서 의약품에 속한다. 일반적으로 많이 사용되는 페이스트 세치제의 주성분은 연마제, 계면활성제, 결합제, 습윤제이다. 기타 성분으로 수분이나 향미제, 감미제, 방부제, 구강질환의 예방을 위한 주성분 등이 배합되기도 한다<sup>4-6)</sup>.

최근 세치제를 특정 용도 또는 특정 연령층을 타겟으로 하는 다양한 세치제들이 개발되어 출시되고 있다<sup>7-9)</sup>. 특히 치아표면 개선 용도로 출시된 국내 및 해외 제품 역시 그 종류와 범위가 다양해지고 있는 실정이다<sup>10-14)</sup>.

불소는 치아 우식 예방 효과 및 재광화를 촉진하는 역할로 플루오르화나트륨의 형태로 세치제에 배합되어 오랜 기간 사용되어 왔다. 이외에도 덴탈타입실리카와 피로인산나트륨은 치태 및 치석 침착 억제, 치아 오염을 방지하는 목적으로 세치제에 배합되고 있으며, 토코페롤아세테이트는 치주질환 예방 효과로 주목받고 있다.

이에 본 연구에서는 초기 우식과 유사한 상태의 치아표면 탈회 상태를 인위적으로 형성시킬 수 있는 조건에서 덴탈타입실리카, 토코페롤아세테이트, 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨 성분이 포함된 세치제를 잇솔질 하는 시간대와 비슷하게 3회 반복하여 사용하는 연구 설계로 24시간 동안 세치제의 적용과 탈회 과정을 반복함으로써 세치제의 치아밀도 감소 억제 및 치아표면 탈회 억제 효과를 확인하고자 실험을 진행하였다.

## 연구대상 및 방법

### 1. 표본 선정

사람의 치아와 그 구성 성분이 유사하고, 수집이 용이한 우치(牛齒)를 본 시험의 표본으로 사용하였다<sup>14,15)</sup>.

### 1.1. 선정 기준

다음에 해당하는 우치를 표본으로 선정하였다.

- ① 소의 하악 전치부 치아
  - ② 측정의 대상이 되는 법랑질에 마모 또는 손상이 없는 건전한 치아
- 따라서, 하악 전치부 부위 치아 중 순면에 2 mm 이상의 건전한 법랑질이 존재하는 우치를 본 시험의 표본으로 최종 선정하였다.

### 1.2. 시편 제작

시편 제작을 위한 표본의 전처리 과정은 다음과 같았다.

- ① 우치는 절단하기 전까지  $-20^{\circ}\text{C}$  동결 보관하였다.
- ② 동결 보관된 우치를 상온에서 정제수(distilled water; DW)에 세척한 후, 우치의 치관을 low speed bur를 이용하여 4등분 하였다.
- ③ 우치의 법랑질 표면을 600-2,000 grit silicon carbide paper를 이용하여 연마하였다.
- ④ 연마된 법랑질 표면에 탈회 용액이 처리될  $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$  면적을 제외하고 나머지 부위에 네일 폴리싱 바니쉬를 표본 전체에 도포하였다.

### 1.3. 연구대상 세치제

연구대상 세치제는 음성 대조군인 정제수(DW)와 대조군인 대조 세치제(control dentifrice; CD)와 실험군인 실험세치제(experimental dentifrice; ED) 2종류를 사용하여 진행되었으며 각 세치제의 주성분 조합은 Table 1과 같았다.

#### (1) 실험세치제(experimental dentifrice; ED)

실험세치제는 덴탈타입실리카, 토코페롤아세테이트, 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨을 주성분으로 하는 세치제를 사용하였다.

#### (2) 대조세치제(control dentifrice; CD)

대조세치제는 실험세치제의 주성분 중에서 덴탈타입실리카만 함유하고 나머지 주성분을 제외한 세치제를 사용하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1. 연구 설계

실험세치제 및 대조세치제를 우치의 법랑질 표면에 적용하기 위해 세치제와 정제수의 혼합 비율을 달리하여 3개 군으로 구분하였다(Table 2).

Table 1. Components of dentifrices

Ingredient	Ingredient ratio (%)		Effect
	Experimental dentifrice	Control dentifrice	
Sodium fluoride	0.22	-	Dental caries prevention and remineralization
Sodium pyrophosphate	1.00	-	Prevention of dental calculus
Tocopherol acetate	0.05	-	Prevention of gingival disease
Dental type silica	19.00	19.00	Removal of dental plaque

**Table 2.** Group setting according to the mixing ratio of distilled water

	Group 1	Group 2	Group 3
Dentifrice:distilled water	1:1	1:2	1:3

## 2.2. 시편의 무작위 배정

시험을 위해 한 개의 우치에서 4등분되어 전처리가 완료된 시편을 음성대조군(DW 처리), 대조군(대조세치제 농도별 3군), 실험군(실험 세치제 농도별 3군)을 포함한 총 7개 군에 각 17개의 시편을 무작위 배정하였다.

## 2.3. 시험 과정

### (1) 치아의 농도별 희석

대조세치제(CD)와 실험세치제(ED)를 DW에 1:1, 1:2, 1:3 비율로 혼합하여 stirring machine에서 균일한 상태가 될 때 까지 충분히 교반하였다.

### (2) 상층액의 분리

농도별로 교반된 세치제 희석액을 37°C, 3,000 RPM 조건에서 30 분간 원심분리 하여 상층액을 얻었다.

### (3) 탈회 용액 처리

우치의 법랑질에 탈회 영역을 형성하기 위해 2.2 mM  $\text{CaCl}_2$ , 2.2 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 50 mM acetic acid를 포함하며, 10M KOH로 pH 4.5로 맞춘 혼합 용액을 만들어 처리하였다.

### (4) 24시간 동안 세치제 적용 및 탈회 과정 3회 반복

세치제를 사용하는 시간대와 비슷하게 아침, 점심, 저녁 하루 3회 잇솔질을 기준으로 시편에 30분간 세치제를 처리한 후, 4시간 동안 탈회 용액을 처리하였다. 이때 각 세치제의 상층액에 시편을 30분간 침지한 후, DW에 세척하고, 탈회 용액에 시편을 4시간 처리한 후, DW에 세척하였다.

30분의 세치제 적용 및 4시간의 탈회 과정을 2회 반복한 후, 마지막 과정은 시편을 30분간 세치제의 상층액에 침지하고, 탈회 용액을 14시간 30분 처리한 후 DW에 세척하여 24시간 동안 세치제 적용 및 탈회 처리를 3회 반복하였다.

앞의 과정을 동일하게 3일 동안 반복하여 72시간 동안 세치제 적용 및 탈회 처리를 하였다.

MicroCT 촬영을 통해 24시간 세치제 적용 및 탈회 과정을 통해 초기 우식과 유사한 상태의 탈회 상태가 형성된 것을 확인한 후 다음의 과정을 통해 실험을 진행하였다.

12 well plate에 DW, CD 상층액 (1:1, 1:2, 1:3), ED 상층액 (1:1, 1:2, 1:3) 및 탈회 용액을 3 ml씩 준비하고, 세치제를 사용하는 시간대와 비슷하게 아침, 점심, 저녁 하루 3회 잇솔질을 기준으로 시편에 30 분간 세치제를 처리한 후, 4시간 동안 탈회 용액을 처리하였다. 이때, 준비된 각 세치제의 상층액에 시편을 30분간 침지한 후, DW에 세척하고, 준비해 둔 탈회 용액에 시편을 4시간 처리한 후, DW에 세척하였다.

앞의 30분의 세치제 적용 및 4시간의 탈회 과정을 2회 반복한 후, 마지막 과정은 시편을 30분간 세치제의 상층액에 침지하고, 탈회 용액

을 14시간 30분 처리한 후 DW에 세척하였다.

마지막 과정을 통해 수면 상태와 유사한 조건을 설정하였으며, 이러한 일련의 과정을 통해 총 24시간 동안 세치제 적용 및 탈회 과정을 3회 반복하였다.

## 2.4. 측정 방법

### (1) 치아 깊이에 따른 밀도 변화 측정

MicroCT (SKY SCAN 1176, Bruker-CT, Belgium)를 이용하여 대조세치제와 실험세치제를 처리한 우치 표면의 탈회된 영역의 깊이에 따른 밀도 변화를 측정하였다. MicroCT의 측정 조건은 다음과 같았다.

- Filter=Al 1 mm
- Resolution=High (4,000×2,672)
- HV=65 kV
- Current=385 uA
- Pixel size=17.93  $\mu\text{m}$
- 2 phantoms=0.25/0.75 gHAP cm<sup>-3</sup> HAP disk

위의 조건에서 각 군별로 처리된 시편을 MicroCT 상에서 scanning 후 reconstruction 과정을 거쳐 3차원으로 표현된 단면에서 탈회 처리를 시도한 2 mm×2 mm 영역 중 중앙부근에서 한 번의 길이가 394.6  $\mu\text{m}$ 인 정사각형 모양으로 분석 영역을 지정한 후 법랑질 상에서 탈회가 일어난 영역까지의 깊이에 대한 Bone mineral density (BMD) 값을 측정하였다. 비탈회 영역은 탈회 영역과 동일한 높이에서 바니싱 된 부분을 동일한 크기로 지정하여 BMD 값을 측정하였다.

### (2) 치아 표면의 탈회 정도 측정

Scanning Electron Microscope (SEM: Magellan400, FEI, USA)를 이용하여 대조세치제와 실험세치제를 처리한 우치 표면의 탈회 영역에 대한 표면 변화를 촬영하였다. SEM의 촬영 조건은 다음과 같았다.

- Osmium coating: 15 second
- HV=5.00 kV
- Current=5 pA
- HFW=42.3  $\mu\text{m}$
- Magnification=3,000×
- WD=3.4-6.5 mm
- det=TLID

## 2.5. 측정 기준 및 평가 방법

### (1) 각 시험군 별 치아 깊이에 따른 밀도 차이

세치제의 탈회 억제 효과를 비교하기 위해 총 7개의 시험군에서 탈회 영역과 비탈회 영역의 시편 깊이에 따른 밀도 차이를 확인하였다<sup>10,11)</sup>. 7개의 시험군은 음성대조군(DW), 농도별 대조세치제(CD 1:1, CD 1:2, CD 1:3) 및 농도별 실험세치제(ED 1:1, ED 1:2, ED 1:3)로 구성되었으며, 각 군당 17개의 표본이 할당되었다. 시편 제작 시 표면 탈회를 방지하기 위해 바니쉬를 처리한 부분과 바니쉬를 처리하지 않은 부분 (2 mm×2 mm)에서 임의의 영역을 설정하였다. 시편의 표면에서부터 탈회 소견을 보이는 304.81  $\mu\text{m}$ 까지 17.93  $\mu\text{m}$  단위로 18개의 지점에서 BMD를 측정하였다. 탈회 영역과 비탈회 영역의 시편 깊이

에 따른 치아밀도 차이를 확인하기 위해 BMD 측정 포인트 중 밀도가 가장 높은 지점인 89.65  $\mu\text{m}$ 에서의 각 군당 17회의 BMD 측정값을 비교하였다.

## (2) 대조세치제 및 실험세치제의 농도별 밀도 차이

실험세치제의 효과를 대조군 및 음성대조군과 비교하기 위해 세치제의 농도에 따른 탈회 영역의 밀도 변화를 확인하였다.

첫 번째 비교군은 음성대조군(DW), 1:1의 비율로 대조세치제와 실험세치제를 정제수에 혼합한 CD 1:1, ED 1:1로 구성되었으며, 각 군당 17개의 표본이 할당되었다. 두 번째 비교군은 음성대조군(DW), 1:2의 비율로 대조세치제와 실험세치제를 정제수에 혼합한 CD 1:2, ED 1:2로 구성되었으며, 각 군당 17개의 표본이 할당되었다. 세 번째 비교군은 음성대조군(DW), 1:3의 비율로 대조세치제와 실험세치제를 정제수에 혼합한 CD 1:3, ED 1:3로 구성되었으며, 각 군당 17개의 표본이 할당되었다.

시편 제작 시 표면 탈회 처리를 위해 바니쉬를 적용하지 않은 부분 (2 mm×2 mm)에서 임의의 영역을 설정하였다. 시편의 표면에서부터 17.93  $\mu\text{m}$  단위로 탈회 소견을 보이는 304.81  $\mu\text{m}$ 까지의 18개의 지점에서 BMD를 측정하였다. 세치제의 희석 배율에 따른 탈회 영역의 밀도 차이를 확인하기 위해 각 군의 17개 표본에 대해 시편 깊이에 따른 18개의 BMD 측정값의 평균을 비교하였다.

## 2.6. 자료분석과 통계적 방법

각 시험군별 탈회 영역과 비탈회 영역에서 깊이에 따른 치아밀도 변화를 분석하기 위해 자료의 정규성을 확인한 후, independent t-test 및 Mann-Whitney test로 분석하였으며, 탈회 영역에서 세치제의 농도에 따른 깊이별 치아밀도 차이를 분석하기 위해 자료의 정규성을 확인한 후, one-way ANOVA로 분석하였다.

**Table 3.** Changes in tooth density in demineralized and non-demineralized areas by each test group (g/cm<sup>3</sup>)

Group	BMD (Mean±SD)		P-value	Density reduction*
	Demineralized areas	Non-demineralized areas		
DW	1.89±0.40	2.45±0.11	<0.001 <sup>†</sup>	22.8%
CD 1:1	1.85±0.34	2.35±0.23	<0.001 <sup>†</sup>	21.3%
CD 1:2	1.71±0.36	2.36±0.19	<0.001 <sup>†</sup>	27.4%
CD 1:3	1.60±0.23	2.31±0.23	<0.001 <sup>†</sup>	30.8%
ED 1:1	2.19±0.20	2.33±0.22	0.064 <sup>‡</sup>	5.9%
ED 1:2	2.18±0.28	2.31±0.25	0.198 <sup>‡</sup>	5.3%
ED 1:3	2.20±0.21	2.32±0.23	0.053 <sup>‡</sup>	4.9%

DW, distilled water; CD, control dentifrice; ED, experimental dentifrice; BMD, bone mineral density.

\*Measured in BMD max point (89.65).

<sup>†</sup>Tested by independent t-test.

<sup>‡</sup>Tested by Mann-Whitney test.

## 연구 성적

### 1. 깊이에 따른 치아밀도 변화

#### 1.1. 각 시험군 별 깊이에 따른 치아밀도 변화

각 군별 탈회 영역과 비탈회 영역의 치아밀도 변화는 Table 3과 같이 나타났다.

#### 1.2. 대조세치제 및 실험세치제의 농도별 치아밀도 차이

대조세치제 및 실험세치제의 농도별 치아밀도 차이는 Table 4와 같이 나타났다.

### 2. 치아 표면의 탈회 정도

대조세치제와 실험세치제의 농도에 따른 치아 표면의 탈회 정도 확인 결과는 Fig. 1과 같이 나타났다.

## 고 안

본 시험에서는 우치의 법랑질 표면에 덴탈타입실리카, 토크페롤아세테이트, 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨을 포함하는 실험세치제와 실험세치제에서 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨, 토크페롤아세테이트를 제외한 대조세치제를 적용한 후 탈회 용액 처리를 반복하여 24시간 동안 실험을 진행함으로써 실험세치제의 치아밀도 감소 억제 효과 및 치아표면 탈회 억제 효과를 평가하였다.

실험세치제의 치아밀도 감소 억제 효과를 확인하기 위해 각 시험군 별로 17개의 시편에서 BMD 밀도가 가장 높은 89.65  $\mu\text{m}$  지점의 탈회 영역과 비탈회 영역의 BMD 값을 비교하였다.

음성대조군인 DW의 탈회 영역 BMD 값(g/cm<sup>3</sup>)의 평균은 1.89로 비탈회 영역의 평균 2.45에 비하여 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $P<0.05$ ).

대조군인 대조세치제의 희석 배율에 따른 BMD 값은 다음과 같다. 대조세치제와 정제수의 1:1 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 1.85로 비탈회 영역의 2.35에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $P<0.05$ ). 대조세치제와 정제수의 1:2 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 1.71로 비탈회 영역의 2.36에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $P<0.05$ ). 대조세치제와 정제수

**Table 4.** Density of teeth in demineralized area by dentifrice concentration (g/cm<sup>3</sup>)

	1:1	1:2	1:3
DW	1.89±0.40 <sup>a</sup>	1.89±0.40 <sup>a</sup>	1.89±0.40 <sup>b</sup>
CD	1.85±0.34 <sup>a</sup>	1.71±0.36 <sup>a</sup>	1.60±0.23 <sup>a</sup>
ED	2.19±0.20 <sup>b</sup>	2.18±0.28 <sup>b</sup>	2.20±0.21 <sup>c</sup>
P-value*	0.010	0.001	<0.001

DW, distilled water; CD, control dentifrice; ED, experimental dentifrice.

\*Tested by one-way ANOVA.

<sup>a,b,c</sup>Tested by Duncan's *post-hoc* test.



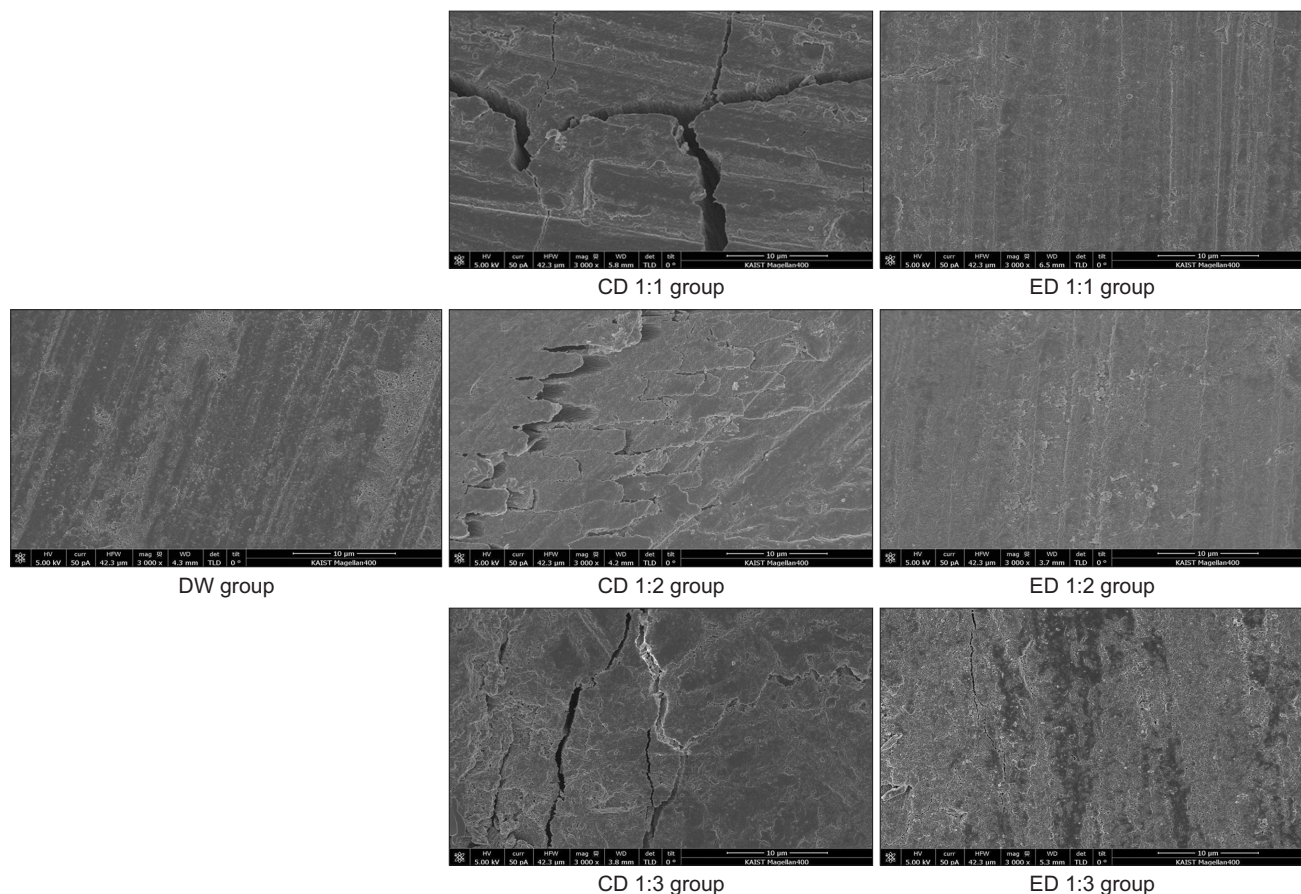


Fig. 1. Demineralization pattern of tooth surface by SEM ( $\times 3,000$ ). DW, distilled water; CD, control dentifrice; ED, experimental dentifrice.

의 1:3 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 1.60로 비탈회 영역의 2.31에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ).

실험세치제의 희석 배율에 따른 BMD 값은 다음과 같다. 실험세치제와 정제수의 1:1 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 2.19로 비탈회 영역의 2.33에 비해 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 실험세치제와 정제수의 1:2 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 2.18로 비탈회 영역의 2.31에 비해 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 실험세치제와 정제수의 1:3 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 2.20로 비탈회 영역의 2.32에 비해 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

실험세치제의 치아밀도 감소 억제 효과를 확인하기 위해 음성대조군, 대조군, 실험군의 농도별로 17개의 시편에서 치아 깊이에 따른 탈회 영역의 BMD 값을 비교하였다.

대조세치제 및 실험세치제를 정제수와 1:1로 혼합한 시험군에서 음성대조군인 DW의 탈회 영역 BMD 평균은 1.89, 대조세치제와 정제수의 1:1 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 1.85, 실험세치제와 정제수의 1:1 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 2.19로 세 군 간 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며( $P < 0.05$ ), 사후검정을 통해 DW와 CD1:1의 BMD 평균이 ED1:1의 BMD 평균과 비교하여 통계적으로 유의하게 낮은 것을 확인하였다.

대조세치제 및 실험세치제를 정제수와 1:2로 혼합한 시험군에서 음성대조군인 DW의 탈회 영역 BMD 평균은 1.89, 대조세치제와 정제

수의 1:2 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 1.71, 실험세치제와 정제수의 1:2 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 2.18로 세 군 간 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며( $P < 0.05$ ), 사후검정을 통해 DW와 CD1:2의 BMD 평균이 ED1:2의 BMD 평균과 비교하여 통계적으로 유의하게 낮은 것을 확인하였다.

대조세치제 및 실험세치제를 정제수와 1:3로 혼합한 시험군에서 음성대조군인 DW의 탈회 영역 BMD 평균은 1.89, 대조세치제와 정제수의 1:3 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 1.60, 실험세치제와 정제수의 1:3 혼합 시험군에서 탈회 영역의 BMD 평균은 2.20로 세 군 간 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며( $P < 0.05$ ), 사후검정을 통해 BMD 평균이 ED1:3에서 가장 높은 것을 확인하였으며, 그 다음 DW, CD1:3 순으로 낮아지는 것을 확인하였다.

실험세치제의 치아표면 탈회 억제 효과를 확인하기 위해 세치제와 탈회 용액을 반복 처리한 치아표면을 SEM으로 촬영하였다.

탈회 용액을 처리하지 않은 상태로 정제수에 침지시켜 놓은 대조군의 표면을 3,000배 확대 촬영하였을 때, 탈회 용액을 처리한 시편의 표면과 비교하여 균열의 흔적을 확인하기 어려웠다. 3,000배 확대하여 SEM 촬영한 결과, 대조세치제 및 실험세치제를 정제수와 1:1로 혼합한 시험군에서 정제수 처리 후 탈회 용액을 적용한 음성대조군과 CD1:1 처리 후 탈회 용액을 적용한 시험군에서는 치아 표면의 균열을 확인할 수 있었으나, ED1:1 처리 후 탈회 용액을 적용한 시험군에서는

치아 표면의 균열을 확인하기 어려웠다.

대조세치제 및 실험세치제를 정제수와 1:2로 혼합한 시험군에서 정제수 처리 후 탈회 용액을 적용한 음성대조군과 CD1:2 처리 후 탈회 용액을 적용한 시험군에서는 치아 표면의 균열을 확인할 수 있었으나, ED1:2 처리 후 탈회 용액을 적용한 시험군에서는 치아 표면의 균열을 확인하기 어려웠다.

대조세치제 및 실험세치제를 정제수와 1:3로 혼합한 시험군에서 정제수 처리 후 탈회 용액을 적용한 음성대조군과 CD1:3 처리 후 탈회 용액을 적용한 시험군에서는 치아 표면의 균열을 확인할 수 있었으나, ED1:3 처리 후 탈회 용액을 적용한 시험군에서는 치아 표면의 미세한 균열의 흔적을 확인할 수 있었다.

이러한 연구 결과 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨, 토크페롤아세테이트, 덴탈타입실리카를 포함하는 세치제 사용 시 치아밀도 감소 억제 효과와 치아표면 탈회 억제 효과가 있는 것으로 확인되었다. 세치제를 사용하는 시간대와 비슷한 조건으로 실험을 디자인 하였으며, 세치제의 적용과 탈회 용액 처리를 24시간 동안 3회 반복하여 탈회된 치아 표면에 대해 세치제의 효과를 확인한 결과, 실험세치제는 정제수 및 대조세치제와 비교하여 치아 밀도 감소 억제 효과가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

이상의 결과에 의하면 초기 우식의 특징인 치아 표면의 탈회 상태에서 충치 예방 및 진행 방지를 목적으로 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨, 토크페롤아세테이트, 덴탈타입실리카 배합 세치제 사용시 치아 법랑질 층의 밀도 감소 억제 효과를 기대할 수 있는 것으로 사료되었다.

## 결론

덴탈타입실리카, 토크페롤아세테이트, 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨을 포함하고 있는 실험세치제와 덴탈타입실리카 이외의 성분이 배제되어 있는 대조세치제의 치아밀도 감소 억제 효과를 평가하기 위하여, 세치제와 탈회 용액을 우치에 24시간 동안 3회 반복 처리하였으며, 음성대조군(DW), 대조군(CD)인 대조세치제 그리고 실험세치제(ED)의 농도를 달리하여 총 7개의 시험군에 우치 시편을 17개씩 무작위 배정하였다. 탈회 용액에 대한 실험세치제의 치아밀도 감소 억제 효과를 평가하기 위해 MicroCT를 이용하여 총 7개의 시험군에서 세치제 종류에 따른 탈회 영역과 비탈회 영역의 치아 밀도 측정하였다. 시험군별 세치제의 농도에 따른 탈회 영역의 치아 밀도를 측정하였다. 탈회 용액에 대한 실험세치제의 치아표면 탈회 억제 효과를 평가하기 위해 SEM을 이용하여 탈회 용액을 처리하지 않은 무처리 군과 비교하여 음성대조군, 대조군, 실험군의 농도에 따른 치아표면의 탈회 정도를 촬영하였다. 이상의 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 총 7개 군에서 탈회 영역과 비탈회 영역의 BMD 값을 비교한 결과, DW와 CD1:1, CD1:2, CD1:3군에서는 탈회 영역과 비탈회 영역의 치아 밀도에 통계적으로 유의한 차이를 보였으며( $P<0.05$ ), ED1:1, ED1:2, ED1:3군에서는 탈회 영역과 비탈회 영역의 치아 밀도에 유의한 차이를 보이지 않았다.

2. 세치제의 농도별로 탈회 영역의 BMD 값을 비교한 결과, 모든

농도(세치제와 정제수의 혼합 비율 1:1, 1:2, 1:3)에서 ED 처리군의 치아 밀도가 DW, CD 처리군과 비교하여 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다( $P<0.05$ ).

3. 탈회 용액을 처리하지 않고 정제수에 침전시켜 놓은 치아 시편을 SEM으로 3,000배 확대 촬영한 결과, 치아표면의 탈회 또는 균열의 흔적을 확인하기 어려웠다. 이와 비교하여 세치제의 농도별 치아표면 탈회 정도를 확인한 결과, 모든 농도(세치제와 정제수의 혼합 비율 1:1, 1:2, 1:3)에서 DW 처리군 및 CD 처리군에서 치아표면의 균열 및 탈회를 확인할 수 있었으나, ED 처리군에서는 치아표면의 균열의 흔적을 확인하기 어려웠다. ED 처리군 중 세치제의 혼합 비율이 가장 낮은 1:3군에서 치아표면의 미세한 균열을 확인할 수 있었다. 그럼에도 불구하고 모든 세치제의 농도에서 ED 처리군의 치아표면이 탈회 용액을 처리하지 않고 정제수만을 처리한 치아의 표면과 가장 유사한 표면 형태를 보였다.

이러한 연구결과 치아의 초기 우식과 상태와 유사한 법랑질 탈회 조건에서 플루오르화나트륨, 피로인산나트륨, 토크페롤아세테이트 및 덴탈타입실리카 배합 세치제는 치아밀도 감소 억제 효과와 치아표면 탈회 억제 효과를 가지고 있는 것으로 사료되었다.

## ORCID

Ho-Ki Jung, <https://orcid.org/0000-0003-1199-2044>

Sun-Young Chung, <https://orcid.org/0000-0002-1894-9885>

Yong-Su Ahn, <https://orcid.org/0000-0002-3257-2244>

Kyong-Hoon Shin, <https://orcid.org/0000-0002-3893-1746>

## References

- Huang TTY, Jones AS, He LH, Darendeliler MA, Swain MV. Characterisation of enamel white spot lesions using X-ray micro-tomography. *J Dent* 2007;35:737-743.
- Songsiripraduboon S, Hamba H, Trairatvorakul C, Tagami J. Sodium fluoride mouthrinse used twice daily increased incipient caries lesion remineralization in an in situ model. *J Dent* 2014;42:271-278.
- Tschoppe P, Zandim DL, Martus P, Kielbassa AM. Enamel and dentine remineralization by nano-hydroxyapatite toothpastes. *J Dent* 2011;39:430-437.
- Cho EJ, Lee HW, Park SM, Koo HS, Cho IS, Cho JW. The Effect of Zinc-Citrate-Containing Dentifrice for Oral Malodor Control: A Clinical Study. *Int J Clin Prev Dent* 2016;12:57-64.
- Lee HW, Cho EJ, Shin KH, Koo HS, Cho IS, Cho JW. A Clinical Study on the Desensitization Effect by Use of Calcium-Glycerophosphate-Containing Dentifrice. *Int J Clin Prev Dent* 2016;12:103-109.
- Kim SS, Cho JW, Lee CH. Gingivitis reducing effect of calcium glycerophosphate, cetylpyridinium chloride and dipotassium glycyrrhizate containing dentifrice. *J Korean Soc Dent Hyg* 2017;17:983-992.
- Song HN, Park JH, Cho JW. Desensitization Effects by Night Time Using of a Dentifrice Containing Calcium Glycerophosphate before Bedtime. *Int J Clin Prev Dent* 2017;13:165-169.
- Kim SA, Cho JW. Gingivitis Reducing Effect of Dentifrices Containing Zinc Citrate. *Int J Clin Prev Dent* 2017;13:217-222.
- Na EJ, Yun MH, Cho JW. A Study on the Evaluation of Oral Malodor Reduction Effect of Zinc Citrate-Containing Dentifrice on Night

- Use. *Int J Clin Prev Dent* 2018;14:23-27.
10. Nakata K, Nikaido T, Nakashima S, Nango N, Tagami J. An approach to normalizing micro-CT depth profiles of mineral density for monitoring enamel remineralization progress. *Dent Mater J* 2012;31:533-540.
  11. ten Cate JM, Duijsters PP. Alternating demineralization and remineralization of artificial enamel lesions. *Caries Res* 1982;16:201-210.
  12. Mohanty P, Padmanabhan S, Chitharanjan AB. An in Vitro Evaluation of Remineralization Potential of Novamin® on Artificial Enamel Sub-Surface Lesions Around Orthodontic Brackets Using Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX). *J Clin Diagn Res* 2014;8:ZC88-91.
  13. Barbour ME, Shellis RP, Parker DM, Allen GC, Addy M. An investigation of some food-approved polymers as agents to inhibit hydroxyapatite dissolution. *Eur J Oral Sci* 2005;113:457-461.
  14. Teruel Jde D, Alcolea A, Hernandez A, Ruiz AJ. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol* 2015;60:768-775.
  15. Hamba H, Nikaido T, Inoue G, Sadr A, Tagami J. Effects of CPP-ACP with sodium fluoride on inhibition of bovine enamel demineralization: a quantitative assessment using micro-computed tomography. *J Dent* 2011;39:405-413.