Effect of fluoride release on the polished surface after polishing with a bur containing fluoride

In-Sun Jeong¹, Hong-Won Kang², and Kwi-Dug Yun^{3*}

¹Ph.D. Student, Interdisciplinary Program of Biomedical Engineering, Chonnam National University Graduate School, Gwangju, Republic of Korea

²CEO, Denbio Co., Ltd., Gwangju, Republic of Korea

³Professor, Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju, Republic of Korea

This study aimed to evaluate the fluoride release amount on the polished surface after polishing with a bur containing fluoride. The point-shape dental burs and disk-shape specimens containing 1,450 ppm fluoride were fabricated. The fluoride released on the dental bur was measured after 1, 3, 7, and 9 days from the disk-shaped specimens (n=5). The point shape dental bur polished the conventional composite resin surface 5 times during 5 seconds at 3,000 rpm. The polished composite resin surface was measured the fluoride release amount after 1, 3, 7, and 9 days. IBM SPSS Statistics ver. 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) was used for statistical analysis. The dental bur containing fluoride were released at 71.68 ± 3.82 ppm fluoride after 1 day, 75.52 ± 2.19 ppm after 3 days, 77.5 ± 1.86 ppm after 7 days, and 77.58 ± 1.30 ppm after 9 days. The polished surface with the point shape dental bur containing fluoride was released at 7.98 ± 0.62 ppm fluoride after 1 day, 8.48 ± 0.65 ppm after 3 day, 8.80 ± 0.41 ppm after 7 days, and 8.75 ± 0.35 ppm after 9 days. The application of dental bur containing 1,450 ppm fluoride showed the possibility of preventing dental caries and exerting an antimicrobial effect.

Key Words: Dental polishing, Drug delivery systems, Fluorides

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

치아우식증은 치과 질환 중 가장 호발하는 질환 중 하나이며, 치아우식증의 치료는 레진과 같은 수복재로 재건한다. 그러나 수복 치료를 받은 치아의 75%가 재수복을 필요로 하며[1], 그 중 이차 우식에 의한 수복물 실패가 매우 빈번한데, 아말감 치료의 경우는 총 아말감 실패의 72%, 레진 치료의 경우는 43%에 달한다[2,3]. 수복 재료 중 글라스 아이오노머 시멘트는 저농도의 불소이온을 유리하는 특성으로 인해 치아우식 치료와 동시에 예방적 개념이 동시에 가능한 재료이다. 그러나 구강내 용해

도가 높은 편이며, 초기 물리적인 성질이 좋지 않고, 심미적인 요구도가 높아짐에 따라, 그 사용 빈도가 감소되는 추세이다[4]. 하지만 시대가 지나도 치아우식을 예방하는 것이 치료보다 더 효율적인 처치이며, 치과치료에서 최우선적으로 고려해야 할 사항이다.

불소는 치과 재료 및 구강 보건 분야에서 가장 많이 쓰이는 항균성 재료로서, 치아우식 병소의 발생과 진행을 막는 대표적인 물질이다. 구강 내에서 불소는 미생물의 대사 작용을 억제하고 치아우식 예방효과를 나타낸다[5,6]. 치아 표면에 침착된 불소는 법랑질 치질과 결합하여 수산화인회석을 불화인회석으로

Received June 18, 2020; Revised August 25, 2020; Accepted August 26, 2020

*Corresponding author: Kwi-Dug Yun, Department of Prosthodontics, University, School of Dentistry, Chonnam National University, 33 Yongbong-ro, buk-gu, gwangju 61186, Republic of Korea.

Tel: +82-62-530-5631, Fax: +82-62-530-5639, E-mail: ykd@jnu.ac.kr

Copyright © 2020, Oral Biology Research Institute

바꾸어 법랑질의 내산성을 증가시키며, 치면세균막에서 형성된 산에 의한 탈회를 억제한다. 또한, 저농도의 불소이온은 타액 내 무기질 성분에 의해 탈회된 치아의 재광화를 촉진시킨다[5,6].

다양한 불소제제 중 한 가지인 불소 바니시는 1960년대에 소개된 이후 세계적으로 널리 사용되는 전문가 국소도포 불소제제로서 대표적인 치아우식 예방치료 중의 하나이다[7]. 불소 바니시는 치아 법랑질 표면에 얇게 도포되어 치아 표면에 오랫동안 부착되고 접촉시간을 증가시켜 치아우식 예방 효과를 나타낸다. 도포되는 양은 0.5 mL 정도로 적기 때문에 불소 섭취에 따른 부작용은 적으며, 치아우식 예방효과는 크고 진료실에서 비교적 간편하게 도포할 수 있다는 장점이 있어 치아우식 발생도가 높은 환자에게 유용하게 활용이 되고 있는 불소제제이다[8]. 하지만 이 치료는 추가로 치과 내원을 필요로 한다는 단점이 있다. 그러므로 이 연구는 치아우식 치료와 동시에 예방 효과를 얻을 수 있는 방법을 찾아보기 위해 치과 수복재가 아닌 연마용 실리콘 포인트에 불소이온을 함유시켜 치아우식증의 치료와 함께 예방효과도 동시에 얻을 수 있는지 확인하고자 한다. 또한 한국의 치과 진료실의 현실에서 다회용으로 사용되는 연마용 실리콘 포인트 자체가 불소가 지속적으로 방출이 된다면 치과 치료 기구의 감염예방에 도움이 될 것으로 생각된다.

이번 연구는 1,450 ppm의 불소를 치과용 연마용 실리콘 포인트에 함유시켜 성형 제작하여 연마용 실리콘 포인트의 불소 방출량은 얼마나 되는지를 확인하였고, 이 치과용 연마용 실리콘을 이용하여 일반 레진 시편을 연마시켰을 때 레진 연마면의 불소 방출량을 평가하는 것이다.

Materials and Methods

불소를 함유한 치과 연마용 실리콘 포인트의 불소 방출량 실험

불소의 치아우식 예방 효과나 항균 효과 등은 재료에 포함된 불소의 함유량보다는 방출된 불소의 양에 좌우된다. 그러므로 재료에 포함된 불소의 양이 얼마나 방출되는지 확인하는 실험이 필요하다.

실험군은 1,450 ppm의 불소를 혼합하여 실리콘 포인트 제작 방법과 동일하게 하여 지름 15 mm, 두께 1 mm의 원형 디스크 형태의 시편으로 제작하였다(Fig. 1) 불소 방출량 실험에 대

한 대조군은 불소이온을 포함하지 않는 일반 실리콘 포인트 재료로 같은 디스크 형태의 시편을 만들었다. 바인딩 재료는 Urethane dimethacrylate (UDMA; Dong-a chemical, Yangsan, Korea)를 사용하였으며 연마재료는 White alumina oxide (100 mesh/99%; Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다. 광경화제로는 Camphorquinone (97%, Sigma-Aldrich), 촉진제로 Ethyl-4-(dimethylamino) benzoate (99%≤, Sigma-Aldrich), 산화방지제로는 Butylated hydroxytoluene (99%≤, Sigma-Aldrich)을 사용하였다. 불소이온(F-)을 방출하는 원료로는 NaF (Duksan chemical, Ansan, Korea)를 사용하였다. 1,450 ppm의 불소농도를 함유하기 위해 UDMA 398.5 g, Alumina oxide 598 g, Camphorquinone 1 g, EDMAB 2 g, BHT 0.5 g, NaF 3.205 g을 planetary mixer (PL-5L; Uniongiyeon, Kimpo, Korea)를 이용하여 챔버온도 60°C, 진공압력 0.1 bar의 조건으로 12시간 교반하였다. 교반 후, 지름 15 mm×두께 1 mm의 홀이 가공된 acryl-mold (Jeil Acryl, Gwangju, Korea)를 사용하여 480 nm의 광원파장을 가지고 있는 광경화기(Foshan jason medical apparatus Co., Guangdong, China)로 25 초간 조사하여 총 20개의 시편을 제작하였다(Table 1).

불소 방출량 실험은 시멘트의 불소 방출량 방법을 참고하여

Fig. 1. A 15 mm diameter disk type specimen mixed with 1,450 ppm fluoride.

Table 1. Group explanation for fluoride releasement of the silicone point

Number of specimens	24 h	72 h	168 h	216 h
Conventional silicone point	5	5	5	5
Silicone point with 1,450 ppm fluoride ion	5	5	5	5

시행하였다. 시편의 무게를 측정하고 지름 5곳을 측정하여 평균 지름을 계산하고, 시편의 중심부와 균일한 간격으로 떨어진 주변부 4곳의 두께를 측정하여 평균 두께를 계산하여 표면적(cm^2)을 계산하였다. 10 mL의 탈이온수(DIWater; Korea-cleanup, Suwon, Korea)가 담긴 플라스틱 용기에 시편을 각각 침지하고, 37°C 드라이오븐에 1일(24시간), 3일(72시간), 7일(168시간), 9일(216시간) 동안 5개의 시편씩 보관 후 시편을 제거하고, 피펫으로 검액 1 mL을 채취하여 탈이온수 9 mL를 더하고 완전히 혼합하여 불소이온 측정 시험용액을 만든다. 시험용액에 TISAB buffer solution 10 mL (TISAB II; Thermo, Waltham, MA, USA)을 첨가하고, 불소미터(TiN-5101; Toko, Tokyo, Japan)를 이용하여 각각의 시험용액에 대한 불소농도를 측정한다. 시험용액에서 측정된 값으로부터 검액의 불소농도를 계산하여 불소 방출량을 아래 식과 같이 계산한다.

$$\text{불소 방출량}(\mu\text{g}/\text{cm}^2) = (\text{검액의 불소농도}[\mu\text{g}/\text{mL}] \times \text{검액의 양} [10 \text{ mL}]) / \text{표면적}(\text{cm}^2)$$

$$\text{불소방출 비율} = \text{방출된 불소양} / \text{전체 불소양}(1,450) \times 100$$

연마용 실리콘 포인트로 연마된 레진 시편의 불소 방출량 실험

앞의 실험과 동일한 원료를 사용하여 실제 연마용 실리콘 포인트를 제작하였다(Fig. 2). 제작된 실리콘 포인트의 크기는 헤드부 지름은 4.3 mm이며 9 mm의 길이의 불꽃 모양으로 제작하였다. 헤드부 중합 성형을 위해 헤드부 지름 4.3 mm이고 9 mm의 길이의 불꽃 모양의 몰드(Wenigtec, Jangsung, Korea)

를 제작하였고, 회전축인 mandrel (Mesetec, Gwangju, Korea)은 실리콘 포인트 헤드 부분이 4.3 mm 지름이며, shank의 길이는 20 mm로 제작하여 진행하였다. 1,450 ppm의 불소가 혼합된 원료와 mandrel을 포인트 타입의 몰드에 넣고 동일한 광경화기로 헤드부 상하좌우를 각 25초간 광조사하여 실리콘 포인트를 제작하였다. 대조군인 불소가 함유되지 않은 일반 실리콘 포인트는 불소 원료만을 제외하여 같은 방법과 재료를 이용하여 제작하였다.

연마용 실리콘 포인트로 연마를 시행할 레진 시편은 불소가 함유되지 않은 레진(NT-FILL Composite resin A3; Denbio, Gwangju, Korea)을 이용하여 15 mm 지름의 원형 디스크 타입으로 제작하였다. 앞의 실험에 사용되었던 동일한 아크릴 몰드를 사용하였고 광경화기와 조사조건 등도 동일하게 적용하였다.

제작된 연마용 실리콘 포인트를 핸드피스(NSK EC, Kanuma, Japan)에 장착하고 컨트롤러(Marathon-3; SAEYANG, Daegu, Korea)를 사용하여 3,000 rpm의 속도로 레진 시편 표면을 각 5초간 5회 고르게 연마하고, 레진 시편을 증류수로 약하게 세척하였다(Table 2).

연마된 레진 시편위의 불소 방출량을 평가하기 위해 시편의 무게를 측정하고 지름 5곳을 측정하여 평균 지름을 계산하고, 시편의 중심부와 균일한 간격으로 떨어진 주변부 4곳의 두께를 측정하여 평균 두께를 계산하여 표면적(cm^2)을 계산하였다. 10 mL의 탈이온수(DIWater)가 담긴 플라스틱 용기에 시편을 각각 침지하고, 37°C 드라이오븐에 각 5개의 시편씩 1일(24시간), 3일(72시간), 7일(168시간), 9일(216시간)을 보관 후 시편을 제거하고, 피펫으로 검액 1 mL을 채취하여 탈이온수 9 mL를 더하

Fig. 2. Point type polishing kit and size (unit: mm).

Table 2. Group explanation for fluoride releasement on the polished resin specimens by silicone point

Number of specimens	24 h	72 h	168 h	216 h
Polished resin specimens by conventional silicone point	5	5	5	5
Polished resin specimens by silicone point with 1,450 ppm fluoride ion	5	5	5	5

고 완전히 혼합하여 불소이온 측정 시험용액을 만든다. 시험용액에 TISAB buffer solution 10 mL (TISAB II)을 첨가하고, 불소미터(TiN-5101)를 이용하여 각각의 시험용액에 대한 불소농도를 측정한다. 시험용액에서 측정한 값으로부터 검액의 불소농도를 계산하여 불소 방출량을 아래 식과 같이 계산한다.

$$\text{불소 방출량}(\mu\text{g}/\text{cm}^2) = (\text{검액의 불소농도}[\mu\text{g}/\text{mL}] \times \text{검액의 양}[10 \text{ mL}]) / \text{표면적}(\text{cm}^2)$$

$$\text{불소 방출 비율} = \text{방출된 불소양} / \text{전체 불소양}(1,450) \times 100$$

통계분석

통계 분석을 위해 통계 프로그램(IBM SPSS Statistics ver. 25.0; IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였고, Kruskal-Wallis 분석을 시행하였고, 사후 분석을 위해 Bonferroni correction을 이용하였고, Mann-Whitney 분석을 시행하였다. 유의확률은 0.05이었고, bonferroni correction의 유의확률은 0.001이었다.

Results

불소를 함유한 실리콘 포인트의 불소 방출량은 1일차에는 평

Fig. 3. Fluoride releasement amount of silicone point.

Table 3. fluoride releasement amount of the silicone point (unit: ppm)

Group	Time			
	24 h	72 h	168 h	216 h
Conventional silicone point	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a
Silicone point with 1,450 ppm fluoride	71.68±3.83 ^b	75.52±2.19 ^b	77.50±1.86 ^b	77.58±1.30 ^b

Values are presented as mean±standard deviation.

^{a,b}Other alphabets mean statistical significance.

균 71.68 ppm, 3일차에는 75.52 ppm, 7일차에는 77.50 ppm, 9일차에는 77.58 ppm으로 측정되었고, 대조군인 불소를 함유하지 않은 실리콘 포인트의 불소 방출량은 0 ppm이었다. 1일차에 가장 많은 불소 방출량이 증가되었고 3일차에는 5.36%가 늘었으며 7일차에는 2.62%, 9일차에는 0.10%만 늘었다. 1,450 ppm의 불소가 혼합된 원료를 실제 광중합 성형하였을 때 실제 불소 방출량은 9일차까지 투입량의 4.66%~5.48%인 것으로 측정되었다. 불소가 함유되지 않은 시편은 1일에서 9일차까지 불소가 전혀 방출되지 않았다(Fig. 3, Table 3). 이는 대조군과 비교하여 불소를 함유한 실리콘 포인트의 불소 방출량은 통계적 유의성을 보였다. 하지만 방출기간 사이에는 통계적 유의성을 보이지 않았다.

불소를 함유한 실리콘 포인트로 연마된 일반 레진 시편의 불소 방출량은 1일차에는 평균 7.98 ppm, 3일차에는 8.48 ppm, 7일차에는 8.80 ppm, 9일차에는 8.75 ppm을 나타내었고, 일반 실리콘 포인트로 연마된 레진 시편에서는 불소 방출을 보이지 않았다. 1일차에 가장 많은 불소 방출량이 증가되었고 3일차에는 6.29%, 7일차에는 3.85%의 방출 증가율을 나타내었다. 9일차에는 오히려 7일차에 비해 0.59% 감소하였다. 이 결과 역시 일반 실리콘 포인트와 불소를 함유한 실리콘 포인트 사이에는 통계적 유의성을 보였으나, 불소를 함유한 실리콘 포인트를

Fig. 4. Fluoride releasement amount of polished resin specimen by silicone point.

Table 4. fluoride releasement amount of the polished resin sepecimens by silicone point (unit: ppm)

Group	Time			
	24 h	72 h	168 h	216 h
Conventional silicone point	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a	0±0 ^a
Silicone point with 1,450 ppm fluoride	7.98±0.62 ^b	8.48±0.65 ^b	8.80±0.41 ^b	8.75±0.35 ^b

Values are presented as mean±standard deviation.

^{a,b}Other alphabets mean statistical significance.

이용 시 그 방출 기간 사이에는 통계적 유의성을 보이지 않았다 (Fig. 4, Table 4).

이 두 가지의 실험을 토대로 실리콘 포인트 제작 시 1,450 ppm의 불소이온을 첨가하였지만, 실리콘 포인트에서 방출된 불소는 시간에 따라 약 71-77 ppm 정도임을 알 수 있었다. 또한 이 실리콘 포인트를 이용하여 일반 레진을 연마하였을 때, 연마된 레진 시편에서는 시간에 따라 약 7-8 ppm 정도의 불소를 방출함을 보아 연마된 레진 시편에 흡착된 불소의 양을 알 수 있다.

1,450 ppm의 불소가 혼합된 원료로 만들어진 실리콘 포인트로 레진 시편을 연마하였을 때 1일차에서 9일차까지 레진 연마면의 불소 방출량은 원료 혼합량(1,450 ppm) 기준으로 0.55%-0.60%, 실리콘 포인트의 불소 방출량은 4.94%-5.35%가 방출되었다.

Discussion

1939년 Dean은 불소가 충치억제 효과가 있음을 발표한 이후, 현재는 전 세계적인 상수도 불소화 사업, 불소 치약, 불소 용액 양치, 불소가 함유된 수복재료 등 우리의 생활에 불소를 다양하게 이용하고 있다[9]. 불소(F)는 플루오르(fluorine)로 불리는 할로젠 원소의 일종으로 적량의 불소는 충치 예방에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 치아우식 활성도가 높은 환자에서 치료와 동시에 치아우식 예방 효과를 얻을 수 있는 방법을 제시하고자 하였으며, 다회용으로 사용되고 있는 치과용 연마용 실리콘 포인트에 항균 효과를 기대할 수 있는지 검증하고자 하였다.

불소의 치아우식 예방 기전은 아직 정확히 알려져 있지 않지만, 불소가 치아 형성기의 법랑질과 반응하면 불화 칼슘을 형성하지 않고 법랑질 내에 불화인회석을 형성하게 되고, 이는 산에 대한 내성을 증가시키게 된다[10,11]. 또한 이러한 불소의 침착은 건전한 치아 표면보다도 치아우식에 이환된 부위의 치아 표면에서 더욱 잘 일어난다[12,13]. 즉, 치아우식 초기 부위에 불소가 침착되어 불화인회석을 형성함으로써 효과적으로 치아우식을 예방하는 역할을 한다[9,14]. 또한 불소는 HF의 형태로 이온이 방출되는데 이는 세포 내 산성도를 낮출 뿐만 아니라, 치아

우식균인 *Streptococcus mutans*의 대사도 방해한다[15,16].

불소의 치아우식 예방 효과를 나타낼 수 있는 최소 농도에 대한 기존 연구들을 참고할 때, in vitro 실험에서 1 ppm 정도의 불소농도가 세균의 산 형성 능력을 감소시킨다고 보고한 연구가 있었고[17], 산 형성 세균의 성장 증식의 억제를 위해서는 적어도 19 혹은 20 ppm 정도의 불소농도가 필요하다는 논문도 보고되었다. 혹은 불소농도뿐만 아니라 pH가 영향을 미친다는 보고도 존재하였다[18-20]. Featherstone [21]은 in vitro 및 in vivo 연구에서 타액의 불소농도가 0.1 ppm 이상이면 우식 위험도가 높은 사람들에게 항우식효과가 있다고 보고하였다.

본 연구 결과에서 불소의 방출 양상은 첫 24시간 동안 다량의 불소가 유리되는 'burst out' 양상을 보이고 이후 방출량은 점차 감소하는데 이는 불소를 함유한 다른 수복재의 양상과 일치한다[1]. 이에 대한 기전은 아직 명확하게 밝혀지지 않았지만 Kuhn과 Wilson [22]의 surface wash off 이론으로 설명될 수 있다. 연마용 실리콘 포인트는 수복재보다 다공성이 많기 때문에 많은 양의 불소를 흡수하여 방출할 수 있다.

1,450 ppm의 불소를 함유한 실리콘 포인트의 불소 방출량은 1일차에는 71.68 ppm, 3일차에는 75.52 ppm, 7일차에는 77.50 ppm, 9일차에는 77.58 ppm으로 측정되었다. 기존의 치아우식 예방 효과를 나타낼 수 있는 최소 농도에 대한 논문을 고려해보면 충분히 치아우식이나 항균작용을 나타낼 수 있는 방출량이다. 이는 세균의 산형성 능력을 감소시키고, 대사를 억제하므로 항균 효과를 기대할 수 있다. 다회용으로 사용되고 있는 치과용 연마용 실리콘 포인트의 상황에서 이는 임상적으로 의미있는 결과이다.

실리콘 포인트를 핸드피스에 장착하고 3,000 rpm의 속도로 5초간 5회 고르게 연마된 레진 시편은 평균 7.98-8.80 ppm의 불소 방출량을 기록하였다. 이전 연구들을 참고하였을 때 적어도 이는 치아우식 예방효과를 볼 수 있는 수치로 판단된다. 다만 이의 유지성에 대해서는 좀더 연구를 할 필요가 있으며 또한 사용자(dentist)들의 실리콘 포인트를 사용할 때, 누르는 힘, 연마 횟수, 사용시간 등에 따라 연마면의 불소 방출량은 충분히 증감될 수 있으므로 추가적인 연구가 필요하다.

평균적으로 실리콘 포인트로 연마된 일반 레진 시편의 불소

방출량은 3일차 6.29%, 7일차까지 3.85% 증가됨을 기록하였고 9일차에는 7일차와 비교하여 0.59% 감소하였다. 현재 치아우식 예방 치료로 흔히 이용되고 있는 불소 바니시 치료를 참고하면, 불소 도포 후 식사나 칫솔질 등 물리, 화학적인 자극으로 인해 대부분 24시간 이내에 제거되는 만큼, 불소 바니시의 초기 방출 능력이 중요한 평가 지표가 된다. 구강 내에 불소가 적용되었을 때 제거되는 과정을 발표한 Dawes와 Weatherell [23]의 논문을 보면, 불소치약이나 불소 함유 껌은 2시간 이내에 제거되었고, 불소젤이나 불소 양치액은 2시간에서 24시간 정도까지만 불소가 구강 내에 잔류한다고 보고하였다. 일반인들이 가정에서 많이 사용하는 불소치약은 약 15%-20%의 항우식효과가 있으며 최근 선진국에서 치아우식증의 급격한 감소 이유로 상수도불소화와 함께 불소치약 사용이 중요한 역할을 하였다고 보고 되고 있다[24]. 이를 볼 때 이번 연구에서의 불소 방출량은 치아우식 예방 효과의 가능성을 기대할 수 있다.

본 연구에서는 불소를 치아에 직접 도포하는 방식이 아닌 심미수복 시 사용되는 연마용 실리콘 포인트에 불소이온(F⁻)을 혼합하였는데, 이때 불소 투입량 설정 시에는 다음과 같은 것을 고려하였다. 최종 제품인 연마용 실리콘 포인트가 치약과는 달리고체이며 사용부위도 극히 한정되어 있고 사용 중 발생하는 미세분말도 3 way syringe 등에 의해 바로 고압 세척됨을 고려하였으며 식품의약품안전처의 불소치약 허용기준치 1,500 ppm을 감안하여 최대 1,450 ppm까지만 함유시킴을 원칙으로 하였다[25]. 일자(시간)별 불소 방출량 실험에 있어 그 해당 시기까지 시편을 침지만 하고 별다른 외부 자극을 주지 않은 것은 각 실험군에 대한 순수 불소 방출량 확인이 제일 먼저 필요했기 때문이다. 각 실험군의 순수 불소 방출량과 방출 성향을 확인함으로써 차후 연구에서 좀 더 정확하고 다양한 조건으로 접근이 가능할 것이다. 구강 내 자극 요소(음식, 칫솔질, 저작습관 등)를 고려하여 침지 외에 일정량의 세척과 자극 조건을 다양화하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no competing interests.

ORCID

In-Sun Jeong

<https://orcid.org/0000-0003-0259-7333>

Hong-Won Kang

<https://orcid.org/0000-0003-0195-1396>

Kwi-Dug Yun

<https://orcid.org/0000-0002-2965-3967>

References

1. Bae IH, Kim JM, Jeong TS, Kim S. Fluoride release and re-charge of glass ionomer cements. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2005;32:136-143.
2. Hicks MJ, Flaitz CM, Silverstone LM. Secondary caries formation in vitro around glass ionomer restorations. *Quintessence Int* 1986;17:527-532.
3. Park YJ, Yang HS. Synthesis of fluoride releasing resin and fluoride level changes of the tooth structure. *J Korean Res Soc Dent Mater* 1987;14:35-55.
4. Kim SY, Choi SC, Kim KC, Choi YC, Park JH. In vitro study of demineralization inhibition effect and fluoride uptake into adjacent teeth of light-cured fluoride-releasing restoratives. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2010;37:288-297.
5. Featherstone JD. Prevention and reversal of dental caries: role of low level fluoride. *Community Dent Oral Epidemiol* 1999;27:31-40. doi: 10.1111/j.1600-0528.1999.tb01989.x.
6. Kim JS, Byon MJ, Nam YT, Kim JB, Jeong SH. In vitro fluoride release from five different fluoride varnishes. *J Korean Acad Oral Health* 2019;43:184-190. doi: 10.11149/jkaoh.2019.43.4.184.
7. 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. doi: 10.14219/jada.archive.2000.0232.
8. 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.
9. Kim JW. Fluorine-releasing of dental restoration materials in which the fluorine is contained. *J Korea Contents Assoc* 2012;12:311-322. doi: 10.5392/JKCA.2012.12.05.311.
10. Lee YG. Determination of optimal fluoride concentration for the remineralization of incipient caries in vitro. Seoul: Korea Science and Engineering Foundation; 2009 Apr. Report No.: TRKO201000013619. 5 p.
11. Smith DC. Composition and characteristics of glass ionomer cements. *J Am Dent Assoc* 1990;120:20-22. doi: 10.14219/jada.archive.1990.0002.
12. Aasenden R, Peebles TC. Effects of fluoride supplementation from birth on human deciduous and permanent teeth. *Arch Oral Biol* 1974;19:321-326. doi: 10.1016/0003-9969(74)90194-0.
13. Jang KT. A study on the antimicrobial effect of fluoride-releasing removable orthodontic appliances. *J Korean Acad Pediatr Dent* 1999;26:133-138.
14. Cho H, Lee KH, Kim DE. Effects of Nd:YAG laser irradiation

- and fluoride application on remineralization of the enamel. *J Korean Acad Pediatr Dent* 2004;31:381-390.
15. Seppä L, Forss H, Ogaard B. The effect of fluoride application on fluoride release and the antibacterial action of glass ionomers. *J Dent Res* 1993;72:1310-1314. doi: 10.1177/00220345930720090901.
16. Jenkins GN. Review of fluoride research since 1959. *Arch Oral Biol* 1999;44:985-992. doi: 10.1016/s0003-9969(99)00110-7.
17. Kim MK, Lee KS. In vitro study on the fluoride release from glass ionomer cements and a fluoride-containing resin. *Korean J Orthod* 1998;28:399-407.
18. Lilienthal B. The effect of fluoride on acid formation by salivary sediment. *J Dent Res* 1956;35:197-204. doi: 10.1177/00220345560350020601.
19. Jenkins GN. The effect of pH on the fluoride inhibition of salivary acid production. *Arch Oral Biol* 1959;1:33-41. doi: 10.1016/0003-9969(59)90019-6.
20. Thylstrup A, Fejerskov O. Textbook of clinical cariology. 2nd ed. Copenhagen: Munksgaard; 1994.
21. Featherstone JD. Delivery challenges for fluoride, chlorhexidine and xylitol. *BMC Oral Health* 2006;6(Suppl 1):S8. doi: 10.1186/1472-6831-6-S1-S8.
22. Kuhn AT, Wilson AD. The dissolution mechanisms of silicate and glass-ionomer dental cements. *Biomaterials* 1985;6:378-382. doi: 10.1016/0142-9612(85)90096-1.
23. Dawes C, Weatherell JA. Kinetics of fluoride in the oral fluids. *J Dent Res* 1990;69:638-644; discussion 682-683. doi: 10.1177/002203459006908125.
24. Kim BI, Kwon HK. Salivary fluoride concentration after wearing acrylic removable appliance with glass ionomer cement specimen embedded. *J Korean Acad Dent Health* 1997;21:23-40.
25. Regulations for reviewing items permission reporting for Quasi drugs [Internet]. Sejong: Ministry of Government Legislation; 2017 [cited 2020 Jun 1]. Available from: <http://www.law.go.kr/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000030205>