불소 적용 후 고정용 브라켓 접착제 종류에 따른 불소 재흡수성과 표면 변화에 관한 연구

변선미[†]

이바른치과의원

Effect of Fluoride Recharging on Fluoride Release and Surface Properties of Orthodontic Bracket Adhesives

Seon Mi Byeon[†]

Dental Clinic of Ebarun, Suncheon 57999, Korea

The aim of this study was to compare fluoride release and surface changes according to different orthodontic bracket adhesives the application of fluoride products. We used non-fluoridated composite resin Transbond fluoridated composite resins Blugloo and LightBond, resin-modified glass ionomer Rely XTM Luting 2, and conventional glass ionomer Fuji I[®]. Fluoride release of five orthodontic bracket adhesives and fluoride release ability after application of three fluoride products (1.23% acidulated phosphate fluoride gel, Tooth Mousse Plus[®], Fluor Protector, and a toothbrush with sodium fluoride-containing toothpaste) were measured using a fluoride electrode that was connected to an ion analyzer. After 4 weeks of fluoride application, the surface roughness and surface morphology were examined using a surface roughness tester and field emission scanning electron microscopy. The amounts of fluoride release were observed not only on application of Tooth Mousse Plus[®] and Fluor Protector on resin-modified glass ionomer Rely XTM Luting 2 and Fuji I[®], but also during tooth brushing using fluoride-containing toothpaste. After application of Tooth Mousse Plus[®], except Transbond XT, the surface roughness increased, and all orthodontic adhesives showed a partial drop of micro-particle filler. On application of 1.23% acidulated phosphate fluoride gel on all orthodontic bracket adhesives, their surface roughness increased. To bond the orthodontic bracket, resin-modified glass ionomer Rely XTM Luting 2 and Fuji I[®] adhesives are highly recommended if the amount of fluoride release is considered to confer a preventative effect on dental caries, and among the fluoride products, Tooth Mousse Plus[®] and Fluor Protector are better than 1.23% acidulated phosphate fluoride gel, and these are expected to prevent dental caries even during tooth brushing with fluoride-containing toothpaste.

Key Words: Adhesives, Fluorides, Surface properties

서론

교정치료를 위해서 고정식 교정장치를 장착하는 환자들의 약 50%^{1,2)}에서 고정용 브라켓을 접착한 후 4주 안에 법랑질 탈회가 발생할 수 있다고 보고되고 있다^{3,4)}. 법랑질의 탈회는 불소 국소 도포로 초기 우식의 재광화를 통해 예방효과를 볼 수 있다^{5,6)}. 특히, 불소가 방출되는 고정용 브라켓 접

착제는 항우식 효과를 가지는 불소를 환자의 협조에 의존하지 않고, 가장 탈회되기 쉬운 브라켓 주위 법랑질에 전달이 가능하다는 점에서 고정용 브라켓 주위 법랑질의 탈회방지를 위한 예방재료라고 할 수 있다⁷⁻⁹⁾.

고정용 브라켓 접착제 중 재래형 글라스 아이오노머 시멘트는 많은 연구들에서 in vivo와 in vitro 실험들을 통해 높은 불소 방출량과 법랑질의 탈회를 감소시켰음을 확인하였

Received: May 17, 2018, Revised: June 22, 2018, Accepted: July 7, 2018

ISSN 2233-7679 (Online)

[†]Correspondence to: Seon Mi Byeon

Dental Clinic of Ebarun, 28 Ocheon 7-gil, Suncheon 57999, Korea

Tel: +82-61-741-0275, Fax: +82-61-741-0275, E-mail: sumse1205@naver.com, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3611-7000

Copyright © 2018 by Journal of Dental Hygiene Science

© 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 non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다^{10,11)}. 또한, 가장 일반적으로 사용되는 레진 시멘트는 조작이 용이하고, 심미성이 우수하며, 기계적 성질이 뛰어나지만^{12,13)}, 불소를 함유하지 않은 레진 시멘트는 교정용 브라켓 주변으로 탈회(탈회)가 진행되어 부작용으로 작용할 수 있다. 이에 불소를 방출하는 레진 시멘트를 개발하여 임상적으로 사용하고 있다¹⁴⁾. 불소 함유 레진 시멘트는 가장 낮은 불소 방출량을 보이지만, 재래형 글라스 아이오노머 시멘트 및 레진 강화형 글라스 아이오노머 시멘트에 비하여 불소가 오랜 시간 방출되고, 높은 기계적 우수성을 보인다고 보고되었다¹⁾.

전문가 불소도포 방법 중 APF gel (1.23% acidulated phosphate fluoride), Tooth Mousse Plus[®] (casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate fluoride), 그리고 Fluor Protector[®] (fluoride varnish)를 교정용 브라켓 접착제에 적용하여 불소의 효과를 지속시키고자 하였으며, 불소 방출량을 비교 관찰하고자 하였다^{7,15-19)}. 또한, 교정용 브라켓 접착제 표면의 변화를 관찰하여 실제 임상에서 사용하기에 적합한 방법을 알아내고자 하였다²⁰⁾. 하지만 전문가 불소도포 방법은 임상에서만 실행 가능하며 교정 치료를 받는 환자들의 내원 여부에 따라 불소 효과의 차이가 생길 수 있다.

이에 본 연구에서는 치아 우식 예방에 가장 효과적인 교정용 브라켓 접착제를 알 수 있으며, 전문가 불소도포 방법 뿐만 아니라 가정에서도 불소 효과를 유지할 수 있도록 불소 함유 치약으로 칫솔질을 시행한 후 불소 재흡수성 양상을 비교 평가하고, 표면의 변화를 관찰하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1. 시편의 준비 및 제작

본 연구에 사용된 교정용 브라켓 접착제는 불소가 방출되지 않는 복합레진 시멘트(Transbond XT[®]; 3M ESPE, St. Paul, MN, USA), 불소 방출성 복합레진 시멘트(Blugloo[®] [Ormco, Glendora, CA, USA]와 LightBond[®] [Reliance, Itasca, IL, USA]), 레진강화형 글라스 아이오노머 시멘트(Rely XTM Luting 2[®]; 3M ESPE), 자가중합형 글라스 아이

오노머 시멘트(Fuji I[®]; GC, Tokyo, Japan)를 사용하였다 (Table 1). 각 그룹마다 30개씩 총 150개의 시편을 등근 모양으로 제작하였다. 시편은 플라스틱 몰드를 사용하여 직경 10 mm, 두께 1.5 mm의 크기로 만들었고, 시편의 기포 발생을 줄이기 위해 방출판으로 압착하였으며 시멘트에 함유된 불소의 오염을 방지하기 위해서 그 사이에 폴리에틸렌 시트를 덮고 편평한 표면을 만들었다. 연구 재료들은 제조사의 지시에 따라 혼합하였고 광중합기(LED.H; Woodpecker, Guilin, China)를 이용하여 약 550 mW/cm²의 광도로 1분씩 중합하였고(한 면에 30초씩), 재래형 글라스 아이오노머 Fuji I[®]은 실온에서 5분간 화학적으로 중합시켰다. 이후 silicon carbide paper로 #400에서 #1,200 단계까지 순차적으로 연마하였고, 연마흔을 제거하기 위해서 0.5 µm 알루미나 현탁액을 사용하여 경면으로 미세연마하였다. 최종 두께가 1 mm로 제작된 시편은 실험이 진행되는 동안 멸균된 증류수에 보관하였으며 실험기간에 걸쳐 24시간마다 교환하였다.

2. 불소 방출량 측정

불소 방출량은 각 군당 20개의 시편을 처음 일주일 동안은 1일 간격으로 측정하고, 8일부터 42일 사이는 일주일 간격으로 측정하였다. 또한, 측정 기간 동안 매일 새로운 멸균 증류수로 교환해 주었다. 2 ml 용액에 한 개씩 담겨 있는 시편을 꺼낸 후 남아있는 용액과 동량의 TISABIII (total ionic strength adjusting buffer; Thermo Scientific Orion, Beverly, MA, USA) 용액 2 ml와 함께 섞어준 후 이온농도 측정기(Orion720A Plus; Thermo Electron Co., Beverly, MA, USA)에 불소전극(Orion 96-09BN; Thermo Scientific Orion)을 연결하여 측정하였다. 이때, 불소전극은 pH를 5.0~5.5 범위로 유지하기 위해서 TISABIII 용액을 첨가하였다. 시편의 불소 방출량 측정 전에는 매번 0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 100 ppm의 불소 표준 용액(fluoride standard; Thermo Scientific Orion)으로 불소 이온 농도를 표준화시켰다.

Table 1. Orthodontic Bracket Cements Used in This Study

Material	Code	Manufacturer	Type
Transbond XT [®]	TB	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Light-cured composite resin
Blugloo [®]	BG	Ormco, Glendora, CA, USA	Light-cured composite resin
LightBond [®]	LB	Reliance, Itasca, IL, USA	Light-cured composite resin
Rely X TM Luting 2 [®]	RX	3M ESPE, St. Paul, MN, USA	Dual-cured resin-modified glass ionomer
Fuji I [®]	F1	GC, Tokyo, Japan	Self-cured conventional glass ionomer

Table 2. Fluoride Products Used in This Study

Product	Code	Manufacturer	Ingredients
60 Second Gel [®]	A	Germiphene, Brantford, Canada	1.23% acidulated phosphate fluoride
Tooth Mousse Plus [®]	TM	GC, Tokyo, Japan	Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate fluoride
Fluor Protector [®]	FP	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	(Bis[4-[2-(difluorhydroxysilyl)ethyl]-2-methoxycyclohexyl][N,N-(trimethylhexane-1,6-diyl)dicarbamate])
Perioe Total 7 [®]	P	LG Care, Seoul, Korea	Sodium fluoride, sodium pyrophosphate, silicic acid anhydride, magnolia

Fig. 1. The amount of fluoride ions released from the orthodontic bracket adhesives after treatment of fluoride products. (A) Before treatment to fluoride over 42 days, (B) TB after treatment to fluoride, (C) BG after treatment to fluoride, (D) LB after treatment to fluoride, (E) RX after treatment to fluoride, (F) F1 after treatment to fluoride. Bars indicate the standard deviation. TB: Transbond XT[®], BG: Blugloo[®], LB: LightBond[®], RX: Rely XTM Luting 2[®], F1: Fuji I[®], A: 60 Second Gel[®], TM: Tooth Mousse Plus[®], FP: Fluor Protector[®], P: Perioe Total 7[®].

3. 불소 제품 적용 후 불소 방출량 측정

42일간의 불소 방출량 측정 후 시편에 3가지의 불소 제품과 불소 함유 치약을 도포하였으며, Table 2에 표기하였다. 각 시멘트당 20개의 시편은 3가지의 불소 제품을 1분간 각각 5개씩 도포하였으며, 불소 함유 치약은 증류수:치약의 비율이 2:1이 되도록 혼합하여 매초 1회의 속도로 20회 칫솔질을 하고 3분간 방치한 후 실험에 사용하였다. 또한, 칫솔질은 실험 종료 시까지 하루에 3번씩(오전 8시 30분~9시 30분, 오후 1시 30분~2시 30분, 오후 5시 30분~6시 30분) 매일 시행하였다. 각 시멘트당 6개의 시편은 4등분하여 미처리의 대조군, 3가지의 불소 제품과 불소 함유 치약을 각각

같은 방법으로 도포한 후 주사전자현미경(field emission scanning electron microscope, FE-SEM)으로 관찰하였다. 준비한 시편은 뚜껑이 있는 플라스틱 시험관에 넣어 2 ml 멸균된 증류수를 채운 후 37°C의 인큐베이터에 보관하였다.

불소 제품을 적용한 후 처음 일주일 동안은 1일 간격으로 측정하고, 8일부터 28일 사이는 일주일 간격으로 측정하였다. 그 방법은 불소 도포 전 과정과 동일하게 진행하였다.

시편에 불소를 처리하기 전과 각각 3가지 불소 제품과 불소 함유 치약을 적용한 4주 후에 평균 표면 조도값(Ra)을 표면조도 측정기 SV-3000 (Mitutoyo Manufacturing Ltd., Tokyo, Japan)을 사용하여 측정하였다. 측정길이는 3.025

mm, 측정속도는 0.1 mm/s로 각 시편당 7회 측정하여 최소 값과 최대값을 제외한 5회의 평균치를 사용하였다.

5가지 교정용 접착제 시편에 불소를 처리하기 전과 각각 3가지 불소 제품과 불소함유 치약을 적용한 후 불소 재흡수 능력을 비교하기 위해서 시편의 1일, 7일, 14일, 21일, 28일에 총 4주간 비교 관찰하였다. FE-SEM (SUPRA40VP; Carl Zeiss, Jena, Germany)을 이용하여 가속 전압 20 kVp 하에서 2,000배의 비율로 측정하였다.

4. 통계 분석

실험 후 모든 자료는 Origin 6.0 프로그램(Microcal Software Inc., Northhampton, MA, USA)을 이용하여 분석하였다. 불소 적용 후 교정용 브라켓 접착제 종류에 따른 불소 재방출성 정도를 살펴보기 위해 일원분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 유의한 차이가 있는 변인에 대해서는 Tukey's multiple comparison test로 post-hoc test를 하였다. 모든 자료의 통계분석은 유의수준 $\alpha=0.05$ 로 하였다.

결 과

교정용 브라켓 접착제의 불소 방출량과 불소 제품 적용 후 불소 방출량 측정 결과는 Fig. 1에 나타내었다. 대조군으로 사용된 TB군을 제외한 불소 방출량은 RX, F1, LB, BG 군 순으로 높게 나타났다. RX와 F1군은 초기단계에 다량의 급격한 불소 방출량을 보인 후 상대적으로 낮으면서도 지속적인 방출을 보였고, BG와 LB군은 TB군과 비교했을 때 유의하게 높은 양으로 지속적인 불소 방출량을 보였다(Fig.

Fig. 2. The mean of Ra values before and four weeks after fluoride treatment. Bars indicate the standard deviation. A: 60 Second Gel[®], TM: Tooth Mousse Plus[®], FP: Fluor Protector[®], P: Perioe Total 7[®], TB: Transbond XT[®], BG: Blugloo[®], LB: LightBond[®], RX: Rely XTM Luting 2[®], F1: Fuji I[®]. *No significant differences among the groups ($p > 0.05$).

1A). A를 도포한 후 모든 교정용 브라켓 접착제의 불소 방출량은 상당량 증가하였고, TB군에서도 불소 방출량을 보였으며, F1군에서 가장 증가된 값을 보였다(Fig. 1B~1F). RX와 F1군에서도 A를 도포하고 난 후 가장 높은 불소 방출량을 보였고, 다른 불소 제품인 TM, FP를 도포하고 난 후에도 유의한 차이로 불소 방출량을 관찰하였다(Fig. 1E, 1F). 특히, P를 처리한 경우 RX군에서는 4주간 약 2배 정도 높은 불소 방출량을 일정하게 관찰하였고(Fig. 1E), F1군에서는 약 7배 정도 높은 불소 방출량을 관찰할 수 있었다(Fig. 1F).

표면 조도 변화는 Fig. 2에 그래프로 나타냈으며, 교정용 접착제 간에 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 모든 군에 불소를 도포하기 전 BG와 LB군에서 가장 낮은 값($0.018 \mu\text{m}$)이 관찰되었으며, F1군에서 가장 높은 값($0.159 \mu\text{m}$)이 관찰되었다. 모든 교정용 접착제에 A를 도포했을 때와 P를 처리한 경우 표면 조도 값이 유의하게 증가하였으며($p < 0.05$), 그 중에서도 F1군에 A를 도포했을 때 $0.794 \mu\text{m}$ 로 가장 증가된 값을 보였다. TM을 도포한 후에는 TB를 제외하고, FP를 도포한 후에는 TB, RX를 제외하고 표면 조도 값이 유의하게 증가하였다($p < 0.05$).

Fig. 3은 불소 처리 전과 후의 표면을 FE-SEM으로 관찰한 결과이다. F1은 표면 관찰을 위해 진공 처리를 한 결과 진공 탈수되어 균열이 발생했다(Fig. 3U~3X). A를 도포한 결과 TB에서 전체적으로 미세 필러 입자의 탈락과 함께 상대적으로 큰 필러 입자들 주위에서 기질과의 결합이 이완됨에 따라 좁은 틈이 생성된 양상을 관찰하였고(Fig. 3B), BG (Fig. 3G), LB (Fig. 3L), RX (Fig. 3Q)에서는 상대적으로 낮은 필러의 탈락 양상을 보였다. 특히, A를 도포했던 F1에서는 전반적으로 심한 표면 부식이 관찰되었다(Fig. 3V). TM을 도포한 결과에서는 모든 교정용 접착제에서 부분적인 미세 필러 입자의 탈락을 보였다(Fig. 3C, 3H, 3M, 3R, 3W). FP를 도포한 결과 모든 교정용 접착제의 표면에 막을 형성하여 기포가 생긴 부분을 제외하고 매끄러운 양상을 나타내었다(Fig. 3D, 3I, 3N, 3S, 3X). P를 처리한 경우 불규칙하고 각진 필러의 양상들이 관찰되었으며(Fig. 3E, 3J, 3O, 3T, 3Y), 특히 BG에서는 기질의 선택적인 마모로 인해 필러의 돌출과 탈락 양상이 보이며 거친 표면을 나타내었다(Fig. 3J).

고 찰

치아의 탈회 발생하기 쉬운 고정식 교정장치를 장착한 환자들의 우식 예방 효과를 위해 전문가 불소 도포제를 도포하거나 불소 방출이 되는 교정용 접착제를 사용하는 것에

Fig. 3. Field emission scanning electron microscope images ($\times 2,000$) before treatment of fluoride of TB (A~E), BG (F~J), LB (K~O), RX (P~T), and F1 (U~Y), and after treatment by A (B, G, L, Q, and V), TM (C, H, M, R, and W), FP (D, I, N, S, and X), and tooth brush with P (E, J, O, T, and Y). A: 60 Second Gel[®], TM: Tooth Mousse Plus[®], FP: Fluor Protector[®], P: Perioe Total 7[®], TB: Transbond XT[®], BG: Blugloo[®], LB: LightBond[®], RX: Rely XTM Luting 2[®], F1: Fuji I[®].

대한 우수성은 많이 알려져 있다⁷⁻¹¹⁾. 하지만 접착제에 불소를 도포했을 때 나타나는 표면 부식이 단점으로 지적되고 있다^{8,21)}. 본 연구에서는 교정용 접착제(Table 1)에 불소 도포제품인 A, TM, FP (Table 2)를 적용하고 불소 함유 치약으로 칫솔질을 한 후 불소 방출의 변화와 접착제 표면을 비교 관찰하여 교정장치 장착 시 치아 우식 억제에 끼치는 영향을 알아보려고 하였다. 현재 임상에서 사용되고 있는 교정용 브라켓 접착제로 불소가 방출되지 않는 복합레진과 불소가 방출되는 복합레진, 레진강화형 글라스 아이오노머, 자가중합형 글라스 아이오노머를 본 연구에 사용하였다. 42일 동안 불소가 방출되지 않는 복합레진을 제외한 모든 재료에서 다양한 불소 방출량이 나타났다. RX는 첫날 83 ppm에서 6주 후 4 ppm으로 제일 많은 불소를 방출시켰으며, F1

은 80 ppm에서 6주 후 10 ppm으로 유의하게 높은 양의 불소가 지속적으로 방출되었고($p < 0.05$), BG는 1 ppm, LB는 2.5 ppm 이하로 다른 교정용 접착제에 비하여 유의하게 낮은 불소 방출량을 나타내었다(Fig. 1). Cacciafesta 등³⁾은 불소방출성 교정용 접착제의 사용으로 구강 내의 불소농도를 증가시킴에 따라 치아우식증의 억제효과가 나타났으며, 본 실험의 결과에서 알 수 있듯이 글라스 아이오노머는 지속적인 불소의 방출로 치아우식증을 억제하는 효과가 있고^{8,13,22,23)}, 레진강화형 글라스아이오노머 접착제는 글라스 아이오노머와 비교하여 유사하거나 더 높은 불소의 방출로 치아우식 억제효과를 나타냈다^{8,10,21,24,25)}. 그러나 글라스 아이오노머가 접착제로 선호되지 않는 이유는 수분에 대한 민감성, 낮은 기계적 강도를 갖기 때문이며, 복합레진은 불소를 방출

하지는 않지만 임상에서 사용하기 용이하고 결합강도가 높아 교정용 접착제로서 더 많은 비중으로 사용되고 있다. 그래서 글라스아이오노머나 레진강화형 글라스아이오노머 접착제처럼 불소가 방출될 수 있도록 다양한 방법으로 불소를 첨가하여 이온 교환 및 가수분해에 의해 지속적으로 불소가 방출됨으로써 이차 우식의 억제에 도모하려는 노력들이 있었다²⁵⁾. 또한, 많은 연구들에서 불소의 효과는 높은 농도의 불소보다는 낮은 농도라도 지속적으로 불소가 방출될 때 훨씬 우수한 것으로 보고되고 있다^{8,26,27)}. 이런 관점에서 볼 때, 본 실험에서 사용한 불소함유 레진 접착제의 불소방출량은 글라스아이오노머나 레진강화형 글라스아이오노머 접착제처럼 높은 농도의 불소가 방출되지는 않지만 하루에 약 0.1~0.5 ppm으로 낮은 농도로 지속적으로 불소가 방출되었으므로 브라켓이 접착된 법랑질 표면의 탈회를 예방할 수 있으리라 생각된다. 이는 Underwood 등²⁶⁾의 실험결과와 유사한데, 불소 방출량이 0.5~1.5 mg/gm/day밖에 되지 않는 미량이었음에도 탈회를 예방할 수 있다는 결과는 불소가 방출되는 양이나 농도보다는 그 지속성이 우식 예방에 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 이는 Trimpeneers 등²⁷⁾의 보고와도 일치한다. 불소 방출량과 그 양상을 실험한 연구에 의하면 실험 첫째 날 가장 많은 양의 불소를 방출한다고 보고하였는데, 이를 ‘burst effect’라고 하였다^{1,3,8,25,28)}. 본 실험 모든 종류의 접착제에서 실험 첫째 날 많은 양의 불소가 방출되었고 이후 급격한 감소를 나타내며 42일 정도까지 지속적으로 불소가 방출되어 선행 연구들과 같은 burst effect를 관찰할 수 있었다. 그러나 환자들이 교정을 하는 시기는 약 2년에서 길게는 5년까지 장기간으로 진행되어 교정용 접착제에서 방출되는 불소의 양만으로는 치아 우식을 예방하기에는 부족하다. 그래서 불소 방출 시기를 연장시키기 위해서 본 실험에서는 교정용 접착제의 불소 방출이 완료되어 가는 42일 후부터 여러 가지 방법으로 불소를 적용하였다. 불소 적용 후의 불소 방출량의 차이는 이들 각각의 재료뿐만 아니라 불소 제품 종류와 불소치약으로 칫솔질한 후에 따라 불소 재흡수량에 있어서도 차이가 있었다. A를 도포한 후 모든 교정용 브라켓 접착제에서 많은 불소 방출량을 관찰하였는데, 불소 도포 첫날의 불소 방출량을 관찰하면 F1군에서 85 ppm, RX군은 60 ppm, LB군은 35 ppm, BG군은 14 ppm, TB군에서 13 ppm 순으로 유의할 만한 차이를 보였다(Fig. 1B~1F). 그 후 일주일간 급격한 감소를 보였고, 나머지 4주간에는 비슷한 차이로 방출되는 양상을 보였다(Fig. 1B~1F). 또한, RX군에 P 처리를 한 후 첫날은 23 ppm, TM 적용 후에는 15 ppm으로 유의하게 높은 양의 불소 방출량을 보였고($p < 0.05$), 이후 4주간 비교적 지속적인

불소 방출량을 나타냈다(Fig. 1E). F1군에서는 P 처리 후 첫날은 29 ppm, FP 적용 후 13 ppm으로 유의하게 높은 양의 불소 방출량을 보였고($p < 0.05$), 이후 4주간 RX군과 마찬가지로 비교적 지속적인 방출량을 보였다(Fig. 1F). 본 실험에 사용된 불소 제품들로부터(A, TM, FP) 방출된 불소는 확산 작용에 의해 조절되고, 용해도, 불소의 농도, 불소 방출 접착제의 표면적에 따라 좌우되며, 접착제에 불소가 접촉하는 시간을 불소 제품들이 연장시켜주는 역할을 하고 있다^{4,21,24,25,29-31)}. 그 중에서도 복합레진 접착제는 다른 접착제에 비해 불소 적용 후 불소 재흡수량이 적었지만, 낮은 농도로 장시간 불소 방출하여 우식 예방효과에도 긍정적인 역할을 하고 있다는 선행 연구들을 토대로 하여 치아 우식 예방 효과가 있을 것이라 생각된다^{8,26,27)}. 또한, 불소치약으로 칫솔질을 시행한 후 불소의 재흡수 특성을 조사한 결과, 글라스아이오노머와 레진강화형 글라스아이오노머 접착제에서 상대적으로 높은 불소 방출량을 보였는데, 이는 불소이온이 빠르게 치환되면서 표면층의 불소농도가 증가되었기 때문이라고 생각된다. Tenuta 등³²⁾에 의하면 어느 정도의 불소 농도에서부터 치아 우식 예방 혹은 재석회화의 촉진이 일어나는지 정확히 알기 어려우나 불소의 농도보다는 얼마나 자주 불소를 적용하는지가 중요하다고 하였는데, 본 실험과 같이 칫솔질을 반복적으로 시행하는 경우에 불소 방출량이 거의 처음과 같은 농도로 유지되어 치아 우식 예방효과를 유지할 수 있을 것으로 생각된다.

접착제에 APF gel 도포 후의 표면 거칠기에 대한 연구에서 대부분 복합레진과 레진강화형 글라스 아이오노머보다 글라스 아이오노머의 거칠기가 가장 증가된 것으로 보고되었다^{8,25,33)}. 본 연구에서도 APF gel을 도포했던 글라스 아이오노머에서 전반적으로 심한 표면 부식이 관찰되었고, 표면 거칠기도 도포 전보다 약 5배 유의하게 증가된 0.794 μm 로 가장 높은 값을 보였다($p < 0.05$). 또한 APF 젤을 도포한 TB에서는 전체적으로 필러 입자의 탈락과 부분적인 부식을 관찰하였고, 표면 거칠기는 0.077 μm 로 도포 전에 비해 약 2배 이상 유의하게 증가하였다($p < 0.05$). FP 도포 후에는 필러 입자의 소실이나 분해가 적었으며, 표면에 막을 형성하여 기포가 생긴 부분을 제외하고 매끄러운 양상을 나타내었고, 표면거칠기 결과에서도 TB, RX는 도포 전과 비교하여 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$).

하지만 이상적인 교정용 접착제로 사용하기 위해서는 세균 부착을 최소화할 수 있는 표면 조도를 낮출 수 있는 최선의 방법을 찾아야 한다^{1,8,34,35)}. 이번 연구에서는 불소 적용 후 표면조도의 차이가 세균 부착에 영향을 줄 만큼 재료 간에 큰 차이를 보였다. 따라서 APF gel과 같이 교정용 접착제

표면에 부식을 일으키고 표면거칠기를 증가시키면 불소 방출에 의한 효과는 크지만 음식물찌꺼기 및 치태 등의 침착으로 이차 우식 유발률이 더 높아질 수 있으므로, APF gel을 실제 임상에서 사용하기는 어려울 것이다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 치아우식증이 빈발하는 고정식 교정장치를 장착하는 환자들에 고정용 브라켓을 접착할 때 우식 예방 효과를 도모하기 위한 불소 방출량을 고려한다면 레진강화형 글라스 아이오노머와 재래형 글라스 아이오노머 접착제가 적극 추천되며, 표면 거칠기에 미치는 영향을 고려해 볼 때 fluoride varnish가 APF gel보다 우수한 것으로 나타났다. 또한, 본 실험의 결과 전문가 불소 도포 방법뿐만 아니라 불소가 함유된 치약으로 칫솔질을 하였을 때도 치아 우식을 예방할 수 있을 것으로 생각되지만, 표면 거칠기가 증가할 수 있으므로 주의하여야 한다.

본 연구의 결과 실제 교정 장치를 부착한 환자에게 적용할 수 있는 방법이라 생각되지만 개개인에 따라 다른 환경의 차이를 고려하여 고정용 브라켓 부착 부분의 우식을 억제할 수 있는 최적의 불소 농도, 불소 방출량, 불소 방출 기간에 대한 추가적인 임상 연구가 심도 있게 논의 되어야겠다.

요 약

불소 적용 후 고정용 브라켓 접착제 종류에 따른 불소의 재흡수성과 표면의 변화를 비교 평가하고자 하였다. 불소가 방출되지 않은 복합레진 Transbond XT[®], 불소 방출성 복합레진 Buglloo[®]와 LightBond[®], 레진강화형 글라스 아이오노머 Rely XTM Luting 2[®], 재래형 글라스 아이오노머 Fuji I[®]를 사용하였다. 시편에서 방출되는 불소 방출량을 측정하였고, 불소 재흡수 능력을 비교하기 위해서 시편에 3가지의 불소 제품(APF gel, Tooth Mousse Plus[®], Fluor Protector)을 도포하였으며, 불소함유 치약으로 잇솔질을 하여 불소 방출량 변화를 측정하였고, 표면조도 측정기와 FE-SEM을 이용하여 시편의 표면 조도 및 변화를 비교 평가하였다. Rely XTM Luting 2[®]와 Fuji I[®]에서는 다른 불소 제품인 Tooth Mousse Plus[®], Fluor Protector뿐만 아니라 불소함유 치약으로 잇솔질한 후에도 불소의 재흡수량을 관찰할 수 있었다. Tooth Mousse Plus[®]를 도포한 후에는 Transbond XT[®]를 제외하고 표면 조도 값이 유의하게 증가하였으며, 모든 고정용 접착제에서 부분적인 미세 필러 입자의 탈락을 보였다. Fluor Protector를 도포한 후에는 Transbond XT[®], Rely XTM Luting 2[®]를 제외하고 표면 조도 값이 유의하게 증가하였으며, 모든 고정용 접착제의 표면에 막을 형성하여 기포가 생긴 부분을 제외하고 매끄러운 양상을 나타내었다.

모든 고정용 접착제에 APF gel을 도포했을 때는 표면 조도 값이 유의하게 크게 증가하였다. 이상의 결과를 종합해 볼 때, 고정용 브라켓을 접착할 때 치아우식 예방 효과를 도모하기 위한 불소 방출량을 고려한다면 Rely XTM Luting 2[®]와 Fuji I[®]가 적극 추천되며, 불소 제품으로는 Tooth Mousse Plus[®], Fluor Protector가 APF gel보다 우수한 것으로 나타났다. 불소가 함유된 치약으로 잇솔질을 하였을 때도 치아 우식을 예방할 수 있을 것으로 생각된다.

References

1. Passalini P, Fidalgo TK, Caldeira EM, Gleiser R, Nojima Mda C, Maia LC: Preventive effect of fluoridated orthodontic resins subjected to high cariogenic challenges. *Braz Dent J* 21: 211-215, 2010.
<https://doi.org/10.1590/S0103-64402010000300006>
2. Zimmer BW, Rottwinkel Y: Assessing patient-specific decalcification risk in fixed orthodontic treatment and its impact on prophylactic procedures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 126: 318-324, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2003.09.031>
3. Cacciafesta V, Sfondrini MF, Tagliani P, Klersy C: In-vitro fluoride release rates from 9 orthodontic bonding adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132: 656-662, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2005.09.037>
4. Arruda AO, Behnan SM, Richter A: White-spot lesions in orthodontics: incidence and prevention. In: Li MY, ed. *Contemporary approach to dental caries*. InTech, Rijeka, pp.313-333, 2012. <https://doi.org/10.5772/38183>
5. Jeong MJ, Lim JH, Min JH, Jeong SJ, Son JH, Lim DS: Comparison of anticariogenic effect after applying fluoride varnish on sound and artificial caries enamel. *J Dent Hyg Sci* 13: 461-470, 2013.
6. Kim SR, Kim SH, Kim CR, Park JW, Hwang SJ: Experience and recognition of fluorides for caries prevention: focusing on one university. *J Dent Hyg Sci* 14: 580-588, 2014.
7. Slutzky H, Feuerstein O, Namuz K, Shpack N, Lewinstein I, Matalon S: The effects of in vitro fluoride mouth rinse on the antibacterial properties of orthodontic cements. *Orthod Craniofac Res* 17: 150-157, 2014.
<https://doi.org/10.1111/ocr.12041>
8. Wiegand A, Buchalla W, Attin T: Review on fluoride-releasing restorative materials--fluoride release and uptake

- characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater* 23: 343-362, 2007.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.01.022>
9. Kim ME, Kang JK, Kim SW, et al.: The effect of orthodontic resin cements containing fluoride on fluoride-releasing and the resistance to enamel decalcification. *J Dent Hyg Sci* 11: 445-453, 2011.
10. Chung CK, Millett DT, Creanor SL, Gilmour WH, Foye RH: Fluoride release and cariostatic ability of a compomer and a resin-modified glass ionomer cement used for orthodontic bonding. *J Dent* 26: 533-538, 1998.
[https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(98\)00017-7](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(98)00017-7)
11. Monteith VL, Millett DT, Creanor SL, Gilmour WH: Fluoride release from orthodontic bonding agents: a comparison of three in vitro models. *J Dent* 27: 53-61, 1999.
[https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(98\)00007-4](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(98)00007-4)
12. Li J: Effect of flexural strength of orthodontic resin cement on bond strength of metal brackets to enamel surfaces. *Eur J Orthodont* 33: 167-173, 2011.
<https://doi.org/10.1093/ejo/cjq044>
13. Chan WD, Yang L, Wan W, Rizkalla AS: Fluoride release from dental cements and composites: a mechanistic study. *Dent Mater* 22: 366-373, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.04.028>
14. Iliadi A, Baumgartner S, Athanasiou AE, Eliades T, Eliades G: Effect of intraoral aging on the setting status of resin composite and glass ionomer orthodontic adhesives. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 145: 425-433, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2013.11.020>
15. Chatzistavrou E, Eliades T, Zinelis S, Athanasiou AE, Eliades G: Fluoride release from an orthodontic glass ionomer adhesive in vitro and enamel fluoride uptake in vivo. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 137: 458.e1-e8, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2009.10.030>
16. Shah SG, Bhaskar V, Chawla S, et al.: Efficacy of silver diamine fluoride as a topical fluoride agent compared to fluoride varnish and acidulated phosphate fluoride gel: an in vivo study. *J Pediatr Dent* 2: 5-12, 2014.
<https://doi.org/10.4103/2321-6646.130376>
17. Prabhakar AR, Dhanraj K, Sugandhan S: Comparative evaluation in vitro of caries inhibition potential and microtensile bond strength of two fluoride releasing adhesive systems. *Eur Arch Paediatr Dent* 15: 385-391, 2014.
<https://doi.org/10.1007/s40368-014-0127-y>
18. Al-Kawari HM, Al-Jobair AM: Effect of different preventive agents on bracket shear bond strength: in vitro study. *BMC Oral Health* 14: 28, 2014.
<https://doi.org/10.1186/1472-6831-14-28>
19. Somasundaram P, Vimala N, Mandke LG: Protective potential of casein phosphopeptide amorphous calcium phosphate containing paste on enamel surfaces. *J Conserv Dent* 16: 152-156, 2013.
<https://doi.org/10.4103/0972-0707.108199>
20. Hatibović-Kofman S, Koch G: Fluoride release from glass ionomer cement in vivo and in vitro. *Swed Dent J* 15: 253-258, 1991.
21. Lim BS, Lee SJ, Lim YJ, Ahn SJ: Effects of periodic fluoride treatment on fluoride ion release from fresh orthodontic adhesives. *J Dent* 39: 788-794, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2011.08.011>
22. Grobler SR, Rossouw RJ, Van Wyk Kotze TJ: A comparison of fluoride release from various dental materials. *J Dent* 26: 259-265, 1998. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(97\)00011-0](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(97)00011-0)
23. Mazzaoui SA, Burrow MF, Tyas MJ: Fluoride release from glass ionomer cements and resin composites coated with a dentin adhesive. *Dent Mater* 16: 166-171, 2000.
[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(00\)00003-8](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(00)00003-8)
24. Gao W, Smales RJ: Fluoride release/uptake of conventional and resin-modified glass ionomers, and compomers. *J Dent* 29: 301-306, 2001.
[https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(00\)00053-1](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(00)00053-1)
25. Ahn SJ, Lee SJ, Lee DY, Lim BS: Effects of different fluoride recharging protocols on fluoride ion release from various orthodontic adhesives. *J Dent* 39: 196-201, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.12.003>
26. Underwood ML, Rawls HR, Zimmerman BF: Clinical evaluation of a fluoride-exchanging resin as an orthodontic adhesive. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 96: 93-99, 1989.
[https://doi.org/10.1016/0889-5406\(89\)90250-3](https://doi.org/10.1016/0889-5406(89)90250-3)
27. Trimpeneers LM, Verbeeck RM, Dermaut LR: Long-term fluoride release of some orthodontic bonding resins: a laboratory study. *Dent Mater* 14: 142-149, 1998.
[https://doi.org/10.1016/S0109-5641\(98\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0109-5641(98)00021-9)
28. Cohen WJ, Wiltshire WA, Dawes C, Lavelle CL: Long-term in vitro fluoride release and rerelease from orthodontic bonding materials containing fluoride. *Am J Orthod*

- Dentofacial Orthop 124: 571-576, 2003.
[https://doi.org/10.1016/S0889-5406\(03\)00573-0](https://doi.org/10.1016/S0889-5406(03)00573-0)
29. Caves GR, Millett DT, Creanor SL, Foye RH, Gilmour WH: Fluoride release from orthodontic band cements-a comparison of two in vitro models. J Dent 31: 19-24, 2003.
[https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(02\)00087-8](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(02)00087-8)
30. Xu X, Ling L, Wang R, Burgess JO. Formulation and characterization of a novel fluoride-releasing dental composite. Dent Mater 22: 1014-1023, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2005.11.027>
31. Al Zraikat H, Palamara JEA, Messer HH, Burrow MF, Reynolds EC: The incorporation of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate into a glass ionomer cement. Dent Mater 27: 235-243, 2011.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.10.008>
32. Tenuta LM, Zamataro CB, Del Bel Cury AA, Tabchoury CP, Cury JA: Mechanism of fluoride dentifrice effect on enamel demineralization. Caries Res 43: 278-285, 2009.
<https://doi.org/10.1159/000217860>
33. Kukiattrakoon B, Thammasitboon K: Optimal acidulated phosphate fluoride gel etching time for surface treatment of feldspathic porcelain: on shear bond strength to resin composite. Eur J Dent 6: 63-69, 2012.
34. Coutinho E, Cardoso MV, De Munck J, et al.: Bonding effectiveness and interfacial characterization of a nano-filled resin-modified glass-ionomer. Dent Mater 25: 1347-1357, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.06.004>
35. Yip HK, Lam WT, Smales RJ: Surface roughness and weight loss of esthetic restorative materials related to fluoride release and uptake. J Clin Pediatr Dent 23: 321-326, 1999.