

불소 함유 교정용 레진 시멘트의 불소 유리 및 법랑질 탈회 저항성에 대한 효과

김명은 · 강재경¹ · 김수화² · 이민영³ · 이주혜⁴ · 김형식⁴ · 김광만^{4†}
대원대학 치위생과, ¹신구대학교 치위생과, ²한양여자대학 치위생과, ³영동대학교 치위생학과,
⁴연세대학교 치과대학 치과생체재료공학교실

The Effect of Orthodontic Resin Cements Containing Fluoride on Fluoride-releasing and the Resistance to Enamel Decalcification

Myung-Eun Kim, Jae-Kyoung Kang¹, Soo-Wha Kim², Min-Young Lee³, Joo-Hye Lee⁴,
Hyoung-Sik Kim⁴ and Kwang-Mahn Kim^{4†}

Department of Dental hygiene, Daewon University College, Jecheon 390-702, Korea

¹Department of Dental hygiene, Shingu University, Sunnam 462-743, Korea

²Department of Dental hygiene, Hanyang Women's University, Seoul 133-793, Korea

³Department of Dental hygiene, Youngdong University, Yongdong-gun 370-701, Korea

⁴Department and Research Institute of Dental Biomaterials and Bioengineering,
Yonsei University College of Dentistry, Seoul 120-752, Korea

Abstract Objectives : The purpose of this study was to determine of fluoride-releasing of orthodontic resin cements containing fluoride and compare decalcification of tooth attached fluoride and non-fluoride resin cements. Methods : Total eighty premolar tooth were used in this study. Forty tooth were used for fluoride releasing measurement and forty tooth were used for decalcification measurement. Each forty tooth were randomly divided into four groups, and brackets were attached on tooth surface with Blugloo, Light Bond, Orthofolw(experimental groups) and Transbond cement(control group). After brackets were attached on tooth surface, forty tooth were immersed in artificial salival and then the quantity of fluoride releasing was measured ever day for 8days and then three-days intervals for 3 weeks. Forty tooth were immersed in decalcification solution for 48hours and then degree of decalcification was measured as lesion area, ΔF , and ΔQ using QLF. The data were analysed by one-way ANOVA and Pearson's correlation coefficient using SPSS 12.0 program. Results : Fluoride release of experimental groups was higher than control group($p < 0.05$). Cumulative fluoride release of experimental groups was also higher than control group($p < 0.05$). There were the highest release during first day. ΔF , and ΔQ was high TB > BG > OF > LB ($p < 0.05$). Change of ΔF , and ΔQ was also high TB > BG > OF > LB ($p < 0.05$). As for correlation between fluoride release and lesion area, ΔF , and ΔQ showed negative correlation but there was no significant difference. Conclusions : This study shows that orthodontic reins cements containing fluoride release fluoride and prevent initial enamel decalcification caused by orthodontic treatment.

Key words Decalcification, Fluoride releasing, Orthodontic resin cement

서 론

치아우식증은 치아의 경조직에서 발생하는 질환이다. 일반적으로 소아나 청소년층에서 우식 유발 식품의 섭취 빈도가 높고 구강위생 관리능력이 낮아 우식 발생률이 높은 것으로 알려져 있다. 또한 치아 교정을 위해 장기간

교정 장치를 장착하게 되는 경우에도 치아우식증의 발생률이 증가하는데, 특히 가철성 교정 장치보다 고정성 장치의 경우 치아의 평활면 탈회에 영향을 줄 수 있다^{1,2)}.

이에 고정성 교정 장치를 장착하는 동안 브라켓 주변에서 발생하는 치아 탈회 정도를 낮추고자하는 노력으로 불소로 양치하는 방법³⁾이나 국소적으로 불소를 도포하는 방법들이 제시되어 왔고⁴⁾ 불소를 유리하는 시멘트를 개발하여 임상적으로 사용해 왔다^{5,6)}. Basdra 등⁷⁾은 불소를 포함한 시멘트와 불소를 포함하지 않은 시멘트를 이용하여 브라켓을 장착한 후 불소의 유리 정도와 법랑질의 탈회를

†Corresponding author
Tel: 02-2228-3082
Fax: 02-364-9961
E-mail: kmkim@yuhs.ac

평가하고, 법랑질 표면의 변화를 관찰하였다. 실험결과 불소를 포함한 시멘트를 사용하여 부착한 브라켓 주변의 법랑질 탈회율이 더 낮았으며 법랑질 표면에는 불화칼슘이 미세구 모양으로 침착되었다고 보고하였다. Sonis와 Shell⁸⁾도 불소를 포함한 교정용 접착제와 그렇지 않은 접착제의 탈회 유병율을 측정하고 결과 불소를 포함한 교정용 접착제에서 탈회 유병율이 낮았다고 보고하였다. Pascotto 등⁹⁾은 글래스아이오노머를 이용하여 브라켓을 부착한 후, 대조군과 비교한 결과 법랑질 탈회에 있어서 글래스아이오노머를 이용한 실험군이 좀 더 효과적이었다고 보고하면서 글래스아이오노머가 교정용 브라켓 주변의 치아우식 발생을 감소시킬 것이라고 주장하였다.

이와 더불어 교정용 복합레진에 불소를 첨가하는 노력도 이루어졌는데^{10,11)}, Wiltshire와 van Rensburg¹²⁾는 불소를 유리하는 교정용 레진의 불소 유리정도를 측정하였고, 브라켓 부착 후 85주까지 계속해서 불소가 유리되었음을 보고하였다. Cohen 등¹³⁾은 개량형 재료들인 레진강화형 글래스아이오노머와 콤포머의 불소 유리를 30개월 동안 측정하고 결과 불소를 포함하지 않은 레진에 비하여 많은 양의 불소를 유리하였고, 백색병소의 형성을 줄일 수 있을 만큼의 장기간 불소를 유리한다고 보고하였다. Wilson과 Donly¹⁴⁾도 불소를 포함한 복합레진과 레진강화형 글래스아이오노머의 불소 유리와 브라켓 주변의 법랑질 탈회를 측정하고 연구에서 두 재료에서 모두 불소가 유리되었고, 불소를 포함한 그룹이 포함하지 않은 그룹에 비해 법랑질 탈회가 적었다고 하였으며, 불소를 포함한 복합레진과 레진강화형 글래스아이오노머 간의 차이는 없다고 보고하였다.

그러나 Ghani 등¹⁵⁾은 불소함유 레진은 장기간의 불소유리를 나타내지 못하며 단기간에서도 극소량의 불소가 유리된다고 하였으며, Fox¹⁶⁾도 불소함유 레진은 매우 소량의 불소를 유리하며 이는 항우식 효과를 갖지 않는다고 하였다. 이는 Moura 등¹⁷⁾의 연구결과와 일치하는데, 레진강화형 글래스아이오노머 이장제와 복합레진 이장제에서 방출되는 불소의 양에는 통계적으로 유의한 차이를 보였으나 치질의 탈회 저항성에서는 유의한 차이를 나타내지

않았다고 하였다.

이에 본 연구는 불소를 포함한 교정용 레진 시멘트와 불소를 포함하지 않은 교정용 레진 시멘트의 불소 유리량과 이에 따른 치아의 탈회정도를 QLFTM(Inspektor dental care bv, Netherlands) 장비를 사용하여 측정해보고자 하였다.

연구재료 및 방법

1. 연구재료

1) 교정용 레진 시멘트

본 연구에서는 4가지 군으로 나누어 실험을 진행하였다. 실험군으로는 불소를 포함하고 있는 광중합형 교정용 레진 시멘트인 BluglooTM(Ormco Co., U.S.A), Light Bond (Reliance Ortho Prod. Inc., U.S.A), Orthoflow(Vericom Co., LTD., Korea)를 선정하였고, 대조군으로는 불소를 포함하지 않은 광중합형 교정용 레진 시멘트인 TransbondTM(3M Unitek, U.S.A.)를 선정하였다(Table 1).

2) 브라켓

실험에 사용된 브라켓은 Archist metal bracket 소구치용(edgewise bracket .018, Daeseung Medical IND. Korea)으로 80개를 이용하였다.

2. 연구방법

1) 시편의 준비 및 창 제작

교정치료를 위해 최근에 발거된 소구치 가운데 형태적으로 이상이 없고 손상이 없으며 치아우식에 이환되지 않은 건전치아 45개를 선정하였다. 선정된 치아는 치아 주변에 붙어있는 이물질을 제거하여 시편제작 전까지 증류수에 보관하였다.

시편 제작을 위해 치아의 법랑백악경계부까지 절제하여 치관만을 이용하였고, 치관을 다시 근원심 방향으로 절제하여 협면과 설면으로 나누었다. 분할된 치아는 초음파 세척기에 넣어 표면세척을 하였으며 이후 거즈를 깔고 증류수에 적셔 브라켓 부착 전까지 습윤을 유지하였다. 본

Table 1. Materials used in this study

Product	Composition	Type	Code	Manufacturer	Lot No.	
DenFil Etchant-37	Etchant	37% Phosphoric acid gel		Vericom, Korea	Et950337	
Control group	Transbond TM XT paste	LC, non F	TB	3M, Unitek, USA	N111537 9LB	
	Transbond TM MIP primer	LC, non F				
Experimental group	Blugloo	LC, non F	BG	Ormco, USA	3277468 2985250	
	Light bond	Light bond adhesive paste	LC, contain F	LB	Reliance, USA	0904707 0904661
		Light bond sealant resin	LC, contain F			
	Ortho flow	Ortho flow	LC, contain F	OF	Vericom, Korea	FR940510S BP951
	BC plus	Non F				

실험에서는 45개의 치아를 근원심으로 절제하여 사용하였으며, 절제 시 파절 등의 손상이 발생한 치아를 제외하고 최종적으로 80개의 치아 시편을 준비하였다.

증류수에 보관된 치아를 오일이 첨가되지 않은 퍼미스 (Dentsply, USA)로 30초 동안 연마한 후 초음파로 세척하고 압축공기로 건조시켰다. 이후 불소의 작용이 브라켓 주변부에만 한정되도록 시편의 표면에 창을 제작하였다. 창의 크기는 실험에 사용된 브라켓 사이즈(3.7 mm × 3.5 mm) 보다 상하좌우로 1 mm씩 더 크게 하였다(5.7 mm × 5.5 mm). 창의 위치는 치아의 협설면 중앙으로 하였으며, 창을 제외한 나머지 시편의 표면에 바니쉬를 2회 도포하고 건조하여 일정한 측정면적을 얻도록 하였다.

준비된 치아는 불소 유리량 측정 실험용 40개와 탈회 저항성 측정 실험용 40개로 무작위 분류하였고, 각 40개의 시편은 다시 레진 시멘트별로 10개씩으로 무작위 분류하였다.

2) 브라켓 접착

산 부식에서 건조과정까지는 제조회사의 지침에 따라 시행하였다. 이후 브라켓 위에 레진을 도포하여 치면에 부착하였다. 브라켓 부착 시 브라켓 중앙에 450 g의 균일한 힘을 10초간 가하였다. 브라켓 주변의 잉여 레진은 탐침으로 제거하였고, 광조사기(S-Denti Co., Ltd., Korea)를 이용하여 브라켓의 근심과 원심에 각각 10초씩 총 20초 동안 중합하였다.

3) 불소 유리량 측정

불소 유리량을 측정하기 위해 개별적으로 뚜껑이 있는 플라스틱 시험관에 2 mL의 인공타액(Table 2)을 채우고 브라켓이 부착된 시편을 넣어 뚜껑을 닫고 실온에 보관하여 시편 속의 불소가 인공타액에 유리 용해되도록 하였다. 시험관 내 인공타액은 측정할 때마다 교환해 주었다.

Fluoride standard 100 ppm F(940907, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)를 1ppm, 10 ppm으로 희석하여 표준을 잡았다. 교정용 레진 시멘트에서의 불소 유리량을 알아보기 위해 플라스틱 시험관에 2 mL의 인공타액을 채우고 시편을 넣고 실온에서 보관하였다. 불소 유리량의 측정은 시험을 시작한 다음 날부터 일주일 동안

은 매일 측정하고, 이후로는 3일 간격으로 7회 측정하였다. 이온 측정 시 인공타액 2 mL와 측정 전 시편의 표면을 세척한 인공타액 1 mL를 혼합하고, 0.3 mL의 TISAB (Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)를 혼합한 다음 불소 이온 전극봉 (Model 710A pH/Ion meter, Thermo Fisher Scientific, Massachusetts, USA)를 이용하여 불소이온농도를 측정하였다. 불소이온농도 측정 후에는 새로운 인공타액으로 교체해 주었다.

4) 탈회 저항성 측정

인위적으로 초기 우식병소를 형성하기 위해 뚜껑이 있는 플라스틱 시험관 안에 2 mL의 탈회용액(pH 4.8)(Table 3)을 넣고, 브라켓을 부착한 시편을 침적한 후 37°C의 온도에서 48시간 동안 100 rpm으로 교반하였다. 이후 시편을 꺼내어 수돗물로 3분 세척하고, 증류수로 3분 동안 세척하였다.

탈회정도는 QLF™(Inspektor dental care bv, Netherlands)를 이용하여 ΔQ값(무기질 감소량), ΔF값(형광 감소량), lesion area(병소 면적)값으로 측정되었다.

QLF(Quantitative Light-induced Fluorescence) 촬영은 브라켓 부착 전과 탈회실험 후 각각 시행하였다. 촬영 전 각 시편은 압축공기를 이용하여 5초 동안 건조하였고, 촬영대 중앙에 위치시킨 후 촬영하였으며, 암실에서 이루어졌다. 측정 범위를 브라켓 주변으로 한정시키기 위해 창의 값과 브라켓 값의 차를 통계분석에 이용하였다(Fig. 1).

불소 유리량과 탈회저항성 간의 상관관계를 알아보기 위해, 2일째에 해당하는 누적불소량의 값과 탈회저항성 측정 실험의 결과 값(lesion area, ΔF, ΔQ)을 이용하였다.

Table 2. Composition of artificial saliva^{18,19)}

Composition	Density(g/L)
NaCl	0.40
KCl	0.40
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.795
NaH ₂ PO ₄ ·2H ₂ O	0.780
Na ₂ S·9H ₂ O	0.005
CO(NH ₂) ₂ (Urea)	1.0
Distilled water	1000 mL

Table 3. Composition of decalcification solution

Composition	Density(g/L)
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.4723
KH ₂ PO ₄	0.2722
CH ₃ COOH	4.5083
Distilled water	1000 mL

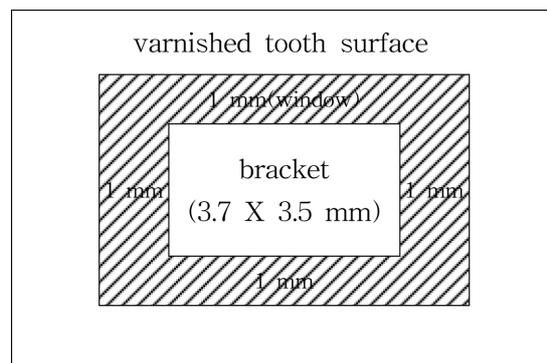


Fig. 1. Windows area on tooth surface.

5. 통계처리

각 그룹별 불소 유리량과 탈회 저항성에 대한 그룹 간의 차이는 one-way ANOVA와 Turkey's test 사후검정을 시행하였으며, 불소 유리량과 탈회 간의 상관관계는 Pearson's correlation coefficient로 분석하였다. SPSS 12.0 통계 프로그램을 이용하였고, 모든 통계적 유의수준은 0.05이다.

결 과

1. 불소 유리량

본 실험에 사용된 교정용 레진의 일별 불소 유리량과 누적 유리량은 Table 4, 5와 같다. 불소를 포함한 레진 시멘트는 불소를 포함하지 않은 레진 시멘트에 비해 불소 유리량이 통계적으로 유의하게 높았다($p < 0.05$) BG는 측정 첫날 불소 유리량이 적었으나($p < 0.05$) 3일째부터 증가하기 시작하여($p > 0.05$), 7일째까지는 다른 그룹에 비해 유의하게 많은 양의 불소를 유리시켰으며($p < 0.05$), 그 이후에도 꾸준히 불소를 유리시켰다(Table 4, Fig 2). 누적 불소 유리량 역시 불소를 포함한 레진시멘트가 불소를 포함하지 않은 레진시멘트에 비해 높은 불소 유리량을 보였으나($p < 0.05$), 불소를 포함한 레진시멘트 군 간에는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 5, Fig. 3). 불소 유리량의 양상을 보면 측정 첫날에 가장 많은 불소를 유리하였다($p < 0.05$)(Table 4, Fig. 2).

2. 탈회 저항성 측정

QLF를 이용하여 교정용 브라켓의 부착 전과 부착 후

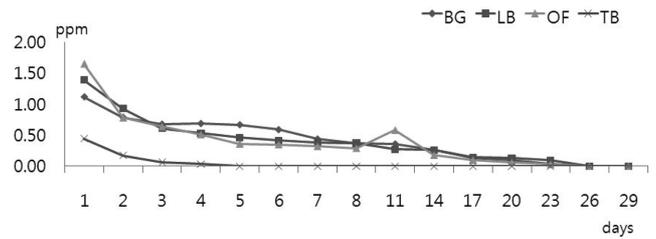


Fig. 2. Daily fluoride release.

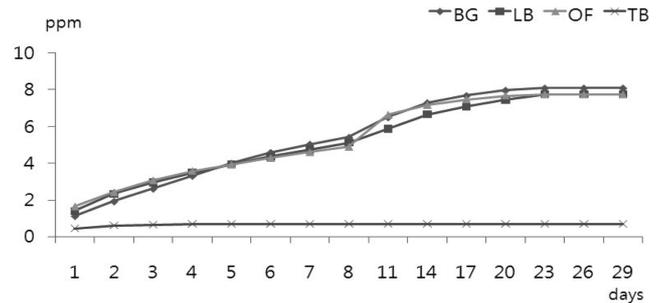


Fig. 3. Cumulative fluoride release.

탈회과정을 거친 시편의 lesion area, ΔF값, ΔQ값은 Table 6과 같다.

브라켓을 부착하기 전에 측정한 초기 lesion area, ΔF값, ΔQ값은 그룹 간의 유의한 차이가 없었다($p > 0.05$) (Table 6).

브라켓을 부착한 후 48시간 동안 탈회용액에 침적한 다음 측정한 각 군의 lesion area, ΔF값, ΔQ값을 측정한 결

Table 4. Daily fluoride release

Day	BG(Mean±SD)	LB(Mean±SD)	OF(Mean±SD)	TB(Mean±SD)	p-value
1	1.12±0.08 ^{b1}	1.40±0.35 ^{a1}	1.65±0.27 ^{a1}	0.44±0.02 ^{c1}	*
2	0.80±0.06 ^{ab2}	0.93±0.22 ^{a2}	0.78±0.66 ^{b2}	0.17±0.00 ^{e2}	*
3	0.70±0.11 ^{a3}	0.62±0.05 ^{a3}	0.64±0.06 ^{a23}	0.06±0.00 ^{b3}	*
4	0.69±0.06 ^{a3}	0.54±0.04 ^{b34}	0.51±0.08 ^{b34}	0.03±0.00 ^{e4}	*
5	0.68±0.07 ^{a3}	0.46±0.02 ^{b34}	0.36±0.02 ^{e45}	0.00±0.00 ^{d5}	*
6	0.59±0.06 ^{a4}	0.41±0.22 ^{b45}	0.35±0.02 ^{e456}	0.00±0.00 ^{d5}	*
7	0.44±0.05 ^{a5}	0.38±0.02 ^{b45}	0.32±0.04 ^{e456}	0.00±0.00 ^{d5}	*
8	0.37±0.02 ^{a5}	0.37±0.01 ^{a45}	0.29±0.02 ^{b56}	0.00±0.00 ^{e5}	*
11	0.37±0.05 ^{a5}	0.25±0.03 ^{a56}	0.58±0.29 ^{b3}	0.00±0.00 ^{e5}	*
14	0.26±0.02 ^{a6}	0.26±0.02 ^{a56}	0.18±0.02 ^{b67}	0.00±0.00 ^{e5}	*
17	0.13±0.01 ^{a7}	0.14±0.01 ^{a67}	0.10±0.02 ^{b78}	0.00±0.00 ^{e5}	*
20	0.10±0.02 ^{a78}	0.13±0.02 ^{b67}	0.06±0.01 ^{e78}	0.00±0.00 ^{d5}	*
23	0.04±0.01 ^{a8}	0.10±0.01 ^{a67}	0.03±0.01 ^{b78}	0.00±0.00 ^{e5}	*
26	0.00±0.00 ^{a9}	0.00±0.00 ^{a8}	0.00±0.00 ^{a9}	0.00±0.00 ^{a5}	
29	0.00±0.00 ^{a9}	0.00±0.00 ^{a8}	0.00±0.00 ^{a9}	0.00±0.00 ^{a5}	
p-value	*	*	*	*	

*p < 0.05

^{a-d}The same letters in the same row indicate no significant different at α = 0.05 by Tukey's test

¹⁻⁸The same letters in the same column indicate no significant different at α = 0.05 by Tukey's test

Table 5. Cumulative fluoride release

Day	BG(Mean±SD)	LB(Mean±SD)	OF(Mean±SD)	TB(Mean±SD)	p-value
1	1.12±0.08 ^b	1.40±0.35 ^a	1.65±0.27 ^a	0.44±0.03 ^c	*
2	1.92±0.12 ^b	2.33±0.34 ^a	2.43±0.26 ^a	0.61±0.03 ^c	*
3	2.61±0.20 ^b	2.95±0.38 ^a	3.07±0.21 ^a	0.66±0.03 ^c	*
4	3.31±0.24 ^a	3.49±0.39 ^a	3.58±0.20 ^a	0.69±0.03 ^c	*
5	3.99±0.28 ^a	3.94±0.39 ^a	3.94±0.20 ^a	0.69±0.03 ^c	*
6	4.58±0.33 ^a	4.36±0.39 ^a	4.29±0.21 ^a	0.69±0.03 ^c	*
7	5.03±0.56 ^a	4.74±0.39 ^{ab}	4.61±0.22 ^b	0.69±0.03 ^c	*
8	5.40±0.37 ^a	5.11±0.39 ^{ab}	4.90±0.23 ^b	0.69±0.03 ^c	*
11	6.50±0.37 ^{ab}	5.87±0.36 ^a	6.64±0.95 ^b	0.69±0.03 ^c	*
14	7.29±0.38 ^a	6.66±0.35 ^a	7.18±0.95 ^a	0.69±0.03 ^c	*
17	7.68±0.39 ^a	7.08±0.36 ^a	7.48±0.93 ^a	0.69±0.03 ^c	*
20	7.97±0.43 ^a	7.46±0.36 ^a	7.66±0.92 ^a	0.69±0.03 ^c	*
23	8.09±0.45 ^a	7.75±0.37 ^a	7.76±0.91 ^a	0.69±0.03 ^c	*
26	8.09±0.45 ^a	7.75±0.37 ^a	7.76±0.91 ^a	0.69±0.03 ^c	*
29	8.09±0.45 ^a	7.75±0.37 ^a	7.76±0.91 ^a	0.69±0.03 ^c	*

*p<0.05

^{a-c}The same letters in the same row indicate no significant different at α = 0.05 by Tukey's test

Table 6. The value of lesion area, ΔF, and ΔQ

	Lesion area(mm ²)		ΔF(%)		ΔQ(mm ² .%)	
	Before decalcification	After decalcification	Before decalcification	After decalcification	Before decalcification	After decalcification
BG	0.03±0.02	5.97±1.14	-10.39±5.75	-21.52±5.04 ^a	-0.82±1.08	-436.40±72.05 ^a
LB	0.04±0.02	5.15±1.21	-10.14±8.75	-20.28±5.49 ^a	-1.17±1.20	-379.43±66.30 ^a
OF	0.03±0.02	5.78±0.70	-9.94±4.61	-20.64±4.17 ^a	-0.79±0.52	-421.80±47.60 ^a
TB	0.04±0.02	6.12±1.18	-8.00±3.79	-27.82±3.46 ^b	-0.75±0.49	-540.90±69.71 ^b

^{a-b}The same letters in the same column indicate no significant different at α = 0.05 by Tukey's test

과 lesion area 값은 그룹 간의 통계적 유의차가 없었으나 (p>0.05), ΔF값, ΔQ값에서 불소를 함유한 레진 군이 불소를 함유하지 않은 레진 군보다 통계적으로 유의하게 낮았다(p<0.05)(Table 6).

초기 값과 비교 한 lesion area, ΔF값, ΔQ값의 변화량 역시 lesion area 값에서는 각 군간의 통계적 차이가 없었으나(p>0.05), ΔF값, ΔQ값의 변화량에 있어서 불소를 포함한 레진이 불소를 포함하지 않은 레진보다 통계적으로 유의하게 작은 변화량을 보임으로써(p<0.05) 탈회저항성이 있음을 보여주었다(Table 7).

Table 7. The value of difference between before and after decalcification

	Difference of lesion area(mm ²)	Difference of ΔF(%)	Difference of ΔQ(mm ² %)
BG	5.94±1.14	-11.14±7.51 ^{ab}	-435.58±71.86 ^a
LB	5.11±1.21	-10.14±12.20 ^a	-378.26±66.93 ^a
OF	5.74±0.69	-10.7±6.03 ^{ab}	-421.01±47.42 ^a
TB	6.07±1.17	-19.82±4.10 ^b	-540.15±69.52 ^b

^{a-b}The same letters in the same column indicate no significant different at α = 0.05 by Tukey's test

Table 8. Correlation between fluoride releasing and decalcification

	Lesion area	ΔF	ΔQ
Fluoride releasing	-0.177	-0.211	-0.163

3. 불소 유리량과 탈회와의 상관관계

불소 유리량과 Lesion area, ΔQ, ΔF와의 상관관계를 분석한 결과, 불소유리량과 각 값은 미약한 음의 상관관계를 보였다(Table 8).

고 찰

불소가 치아에 도포될 경우, 치아의 주요 구성성분인 수산화인회석(hydroxyapatite)에 작용하여 수산화이온이 불소로 치환되고 그 결과 불화인회석(fluoroapatite)이 형성된다. 이는 수산화인회석에 비해 원자배열이 더욱 치밀하여 법랑질의 산에 대한 용해도를 감소시키며²⁰⁾, 미세경도를 증가시키고 탈회된 법랑질에 도포할 경우 표층 하부의 재석회화를 촉진하여 우식활동의 정지 또는 병소의 감소를 일으킴으로써 항우식효과를 나타낸다. 이로 인해 현재

까지 다양한 치과수복재료에 불소가 포함되어져 왔다²¹⁻²⁴. 정 등²⁵은 시판중인 불소 포함 레진을 사용하여 실험을 한 결과 불소가 포함되지 않은 레진에 비해 우수한 재석회화 효과가 있었음을 보고한 바 있다.

복합레진에 다양한 방법으로 불소를 첨가하여 이온 교환 및 가수분해 기전에 의해 지속적으로 불소가 유리됨으로써 이차 우식의 억제를 도모하려는 노력들이 있었음에도 불소 첨가로 인한 물성의 저하와 기대 이하의 미미한 불소 유리량으로 인해 임상적으로 각광받지 못하였다²⁶.

그러나 실제로 치질에 대한 불소의 재석회화 효과는 높은 불소 농도보다는 낮은 농도라도 지속적으로 불소가 유리될 때 훨씬 우수한 것으로 보고된 바 있다²⁷. Hicks 등²⁸에 의하면 어느 정도의 불소농도에서부터 우식예방 혹은 재석회화의 촉진이 일어나는지 정확히 알기 어려우나, 불소의 농도보다는 얼마나 자주 불소를 적용하는지가 중요하다고 하였다. 이런 관점에서 볼 때, 본 실험에서 사용한 불소함유 레진의 불소유리량은 하루에 0.5~1.5 ppm으로 낮은 농도이기는 하나 일정기간 불소가 유리되므로 법랑질 탈회의 예방, 그리고 탈회된 법랑질의 재석회화에 효과가 있으리라 생각된다. 이는 Underwood 등²⁹의 실험 결과와 유사한데, 불소 유리량이 0.5~1.5 mg/gm/day밖에 되지 않는 미량이었음에도 재석회화 효과를 나타낸 결과는 불소가 유리되는 양이나 농도보다는 그 지속성이 우식 예방에 더 큰 영향을 미친다고 하였다. 이는 Hicks 등²⁸의 보고와도 일치한다.

불소 방출량과 그 양상을 실험한 연구에 의하면 실험 첫째 날 하루 동안 가장 많은 양의 불소를 유리한다고 보고하였는데³⁰⁻³², 이를 burst effect라고 하였다³³. 본 실험 역시 모든 종류의 레진이 실험 첫째 날 하루 동안 많은 양의 불소가 유리되었고 이후 급격한 감소를 나타내 선행 연구들과 같은 burst effect를 관찰할 수 있었다.

실험 재료를 보관하는 용액에 따라서도 불소 유리 양상이 상이하게 나타날 수 있다고 알려져 있는데, 주로 증류수와 인공 타액이 가장 보편적으로 사용되어 왔다. 문헌에 따라 약간의 논란이 있으나, 두 용액에서 모두 시간 경과에 따른 전반적인 불소 유리 양상은 유사하지만 증류수에서 더 많은 유리량을 나타낸다고 보고되었다³⁴. 본 실험에서는 구강 내 환경을 재현하기 위하여 인공타액으로 실험하였으므로, 증류수로 실험한 결과와는 불소유리량에서 차이가 나타날 수 있을 것으로 사료된다.

불소 농도를 측정하는 여러 가지 방법 중³⁵ 불소이온전극을 사용하는 것이 최근 널리 사용되고 있다^{36,37}. 비록 불소 이온전극이 Hydroxide 이온 이외에는 직접적인 간섭이 없기는 하지만, 농도 자체에 반응하는 것이 아니라 활성도에 대해 반응하기 때문에 전체적인 이온의 세기를 맞추고 용액 내에 존재하는 것보다 많은 양의 이온을 더해줌으로써 Hydroxide 이온의 간섭을 피할 수 있는 범위로 용액을 완충시켜주며, Fe³⁺나 Al³⁺와 결합되어 있을 수

도 있는 불소를 유리시키기 위해 TISAB를 첨가 한다³⁸.

본 연구에서는 불소를 포함한 레진과 불소를 포함하지 않은 레진을 각각 10개씩 실험군과 대조군으로 하여 탈회 용액에 침전 후 QLF를 이용하여 초기 탈회정도를 측정하였다. 임상적으로 법랑질 탈회는 브라켓 주변에 백색병소로 나타나고, 확실한 경계를 띤 초기 우식이 된다³⁹. 이를 규명할 수 있는 방법은 여러 가지가 있는데, 보통은 인공병소를 이용하고, 편광현미경, 횡단미세방사선촬영(TMR), 입체현미경 그리고 전자현미경으로 분석 한다⁴⁰. 그러나 이러한 방법들은 체외에서 진행되어 임상적용이 어렵고⁴¹, 정량화하기 어려운⁴² 한계를 지닌다. 특히 TMR은 민감도와 특이도가 뛰어나 gold standard로 알려져 있으나⁴³ 시간과 노력이 필요하고 시편을 파괴하는 단점이 있어 장기적으로 감시하기에는 부적합하다⁴⁴.

따라서 생체 내에서 법랑질 탈회를 감지하고 수량화하며 장기적으로 감시할 수 있는 방법이 요구되는데, QLF는 그런 방법을 제공할 수 있다. QLF는 인간의 법랑질 초기 탈회를 평가할 수 있는 광학적이고 가시적인 빛을 기본으로 한 감지 및 정량화 시스템이다. 이 방법의 기술적 기초는 인간의 법랑질은 자가 형광을 띠게 되는데, 탈회된 법랑질은 이러한 형광량이 줄어들게 된다는 것이다. 형광량 강도의 차이가 탈회 정도를 정량화할 수 있게 하고, 병소의 활동성을 평가하기 위해 장기적으로 모니터링을 할 수 있게 한다⁴⁰.

송 등⁴⁴은 초기 침식 관찰에 주로 이용하는 미세경도와 ΔQ가 강한 양의 상관관계를 보였다고 보고하면서 QLF가 적은 양의 초기 침식을 관찰하는데 유용하다고 주장하였다. 또한 Aljehani 등⁴⁵은 치아 탈회를 평가하는 방법 중 gold standard로 알려진 TMR이 QLF와 높은 상관계수를 나타냈다고 함에 따라 탈회정도를 측정하는 데에 QLF가 적절하다고 생각된다. 이에 교정용 브라켓을 부착하여 브라켓 주위의 탈회정도를 측정하는 본 실험에서는 비침습적으로 탈회에 대한 정량적인 평가를 하기 위해 QLF를 이용하였다.

본 연구에서는 불소를 포함한 교정용 레진과 불소를 포함하지 않은 교정용 레진 모두에서 탈회가 진행되었다. 그러나 불소를 포함한 교정용 레진이 불소를 포함하지 않은 레진에 비해 높은 탈회 저항성을 나타냈는데(Table 6, 7), 이는 선행연구와 유사한 결과이다. 권 등⁴⁶은 불소가 유리되는 수복물에서 우수한 탈회 저항성이 보였다고 보고하였다. Basdra 등⁷ 또한 불소를 유리한 접착제에서 접착제의 가장자리와 탈회된 부위의 경계 사이의 거리가 유의하게 멀었다고 하면서 불소를 유리한 접착제가 치아의 탈회를 억제한다고 보고하였다. 양 등⁴⁷은 편광현미경을 이용하여 인공우식병소의 깊이를 측정하였는데, 그 결과 불소가 함유된 전색제에서 법랑질 탈회에 예방효과가 있다고 보고하였다.

불소 유리량에 있어서 BG군이 다른 군들에 비하여 다

소 높은 불소 유리량을 보였으나, 탈회 저항성에 있어서는 다소 낮은 저항성을 보였다. 이는 BG군이 LB군과 OF군에 비해 2일째까지 낮은 불소 유리량을 보였고, 탈회저항성 측정은 탈회용액에 침전한 48시간 후에 시행하였기 때문으로 사료된다.

불소 유리량과 탈회 저항성의 상관관계에 대해 Donly⁴⁸⁾, Glasspoole 등⁴⁹⁾, Dubroc 등⁵⁰⁾은 불소 유리량이 높을수록 탈회 저항성이 크다고 하였다. Donly⁴⁸⁾는 불소를 유리하는 복합레진이 법랑질 경계부에서 치아우식을 억제한다고 하였고 Glasspoole 등⁴⁹⁾ 역시 불소를 포함하고 있는 모든 재료에서 통계적으로 유의하게 법랑질의 탈회를 막는다고 하였다. 쥐를 가지고 실험한 Dubroc 등⁵⁰⁾도 불소를 유리하는 레진이 탈회와 치아우식을 감소시킨다고 하였다. 비록 본 실험에서 그 상관관계가 유의하지 않았지만, 불소 유리량과 lesion area, ΔF , ΔQ 의 관계가 음의 상관관계를 나타내어, 불소 유리량이 증가할수록 탈회저항성이 높게 나타났다(Table 8).

탈회실험을 하기 전, 시편은 24시간 동안 증류수에 보관하였는데, 이는 불소 유리를 억제하는 방해 요인을 제거하고 재광화를 억제함으로써 탈회정도를 정확하게 측정할 수 있도록 하기 위함이다⁵¹⁾. Bell 등⁵²⁾은 증류수와 인공타액 내에서 불소 유리량을 측정하였는데, 인공타액이 증류수에 비해 불소가 더 적게 유리되었고, 10분간 인공타액 내에 침전한 경우 시편의 13%가, 1시간 동안 침전한 경우에는 시편의 17%가 감소되어 시간에 따라 감소량이 다르게 나타났다. 이는 인공타액이나 재광화 용액에 침적시킬 경우, 용액 내 무기질이 풍부하여 재광화에 도움을 주고, 수복물과 무기질 농도 차이가 줄어들기 때문이라고 하였다.

QLF 측정 시 시편을 건조시키는 것은 탈회정도를 측정하는데 보다 도움을 준다. Heinrich-Weltzien 등⁵³⁾은 표면의 건조와 청결이 최적의 QLF를 촬영하는 데에 필수적이라고 하였고, 병소를 감지하고 정량화하기 위해 표면 건조가 효과적이라고 하였다. 또한 병소 감지의 실패를 피하기 위해서는 각 표면마다 5초 이상의 표면 건조가 필요하다고 하였다. 이에 본 실험에서는 QLF를 촬영하기 전, 압축공기를 이용하여 5초 동안 각 시편을 건조시킨 후 촬영하였다.

이상을 종합해 볼 때 불소를 유리하는 교정용 레진은 법랑질의 탈회를 방지하는 효과가 있다. 특히 불소의 국소적인 적용이나 불소세척제와 함께 병용할 경우 더 좋은 효과를 나타낸다. Donly⁴⁸⁾는 불소를 유리하는 글래스아이오노머와 복합레진과 함께 불소 양치 또는 불소 세척제를 함께 사용하면 상승작용을 가지며, 법랑질의 초기 우식에 재광화 효과를 나타낸다고 하였는데, 이는 재료가 불소를 전달하는 시스템으로써 작용하기 때문이라고 하였다.

본 연구는 구강 내를 재현한 실험으로 실제 구강 내 모든 환경에서 일어날 수 있는 상황에 따른 변수를 제어할

수 없다. 또한 실험에 사용된 치아가 과거 불소를 도포한 치아인지를 확인할 수 없는 제한점을 가지고 있다. 따라서 향후 이를 보완할 수 있는 연구가 필요하며 보다 탈회에 대한 효과적인 교정용 재료의 개발과 연구가 진행되어야 한다고 사료된다.

요 약

본 연구에서는 4종류의 교정용 레진시멘트의 불소 유리량을 측정해 보고 탈회정도를 비교해 본 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 불소 유리량은 불소를 포함한 실험군이 불소를 포함하지 않은 대조군에 비해 통계적으로 유의하게 높은 불소 유리량을 보였다($p < 0.05$).
2. 누적 불소 유리량은 불소를 포함한 실험군이 불소를 포함하지 않은 대조군에 비해 통계적으로 유의하게 높은 불소 유리량을 보였다($p < 0.05$).
3. 불소의 유리 양상은 모든 시편에서 실험 첫째 날 하루 동안 가장 많은 양의 불소를 유리하였다($p < 0.05$).
4. 탈회 후의 ΔF 값과 ΔQ 값의 절대값은 군 간에 통계적으로 유의하지 않았으나, 대조군에 비해 작았다($p < 0.05$).
5. 탈회실험 전·후의 ΔF 값과 ΔQ 값의 변화량의 절대값은 실험군이 대조군에 비해 작았다($p < 0.05$).

이상의 결과를 통해 불소를 포함한 교정용 레진 시멘트는 일정기간 불소를 유리하고, 법랑질 탈회를 예방함으로써 교정 치료 시 발생할 수 있는 초기 우식발생을 예방할 수 있다고 사료된다.

참고문헌

1. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ: Incidence of white spot formation after bonding and banding. Am J Orthod Dentofacial Orthop 81(2): 93-98, 1982.
2. Øgaard B, Rølla G, Arends J: Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 1. Lesion development. Am J Orthod Dentofacial Orthop 94(1): 68-73, 1988.
3. Staley RN et al.: Effect of brushing on fluoride release from 3bracket adhesives. Am J Orthod Dentofacial Orthop 126(3): 331-336, 2004.
4. Bishara SE, Chan DCN, Abadir EA: The effects on the bonding strength of fluoride application after etching. Am J Orthod Dentofacial Orthop 95(3): 259-260, 1989.
5. Valk JW, Davidson CL: The relevance of controlled fluoride release with bonded orthodontic appliances. J Dent 15(6): 257-260, 1987.
6. Sadowsky PL, Retief DH, Bradley EL Jr: Enamel fluoride uptake from orthodontic cement and its effect on demineralization. Am J Orthod 79(5): 523-534, 1981.
7. Basdra DK, Huber H, Komposch G: Fluoride released from orthodontic bonding agents alters the enamel surface and inhibits enamel demineralization in vitro. Am J Orthod Dentofacial Orthop 109(5): 466-472, 1996.

8. Sonis AL, Shell W: An evaluation of a fluoride-releasing, visible light-activated bonding system for orthodontic bracket placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 95(4): 306-311, 1989.
9. Pascotto RC et al.: In vivo effect of a resin-modified glass ionomer cement on enamel demineralization around orthodontic brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125(1): 36-41, 2004.
10. Chan DC, Swift EJ, Bishara SE: In vitro evaluation of a fluoride-releasing orthodontic resin. *J Dent Res* 69(9): 1576-1579, 1990.
11. Young A et al.: Fluoride release and uptake in vitro from a composite resin and two orthodontic adhesives. *Acta Odontol Scand* 54(4): 223-228, 1996.
12. Wiltshire WA, van Rensburg SDJ: Fluoride release from four visible light-cured orthodontic adhesive resins. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 108(3): 278-283, 1995.
13. Cohen WJ et al.: Long-term in vitro fluoride release and release from orthodontic bonding materials containing fluoride. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 124(5): 571-576, 2003.
14. Wilson RM, Donly KJ: Demineralization around orthodontic brackets bonded with resin-modified glass ionomer cement and fluoride-releasing resin composite. *Pediatr Dent* 23(3): 255-259, 2001.
15. Ghani SH et al.: An ex vivo investigation into the release of fluoride from fluoride-containing orthodontic bonding composites. *Br J Orthod* 21(3): 239-243, 1994.
16. Fox NA: Fluoride release from orthodontic bonding materials an in vitro study. *Br J Orthod* 17(4): 293-298, 1990.
17. Moura JS et al.: Effect of luting cement on dental biofilm composition and secondary caries around metallic restoration in situ. *Oper Dent* 29(5): 509-514, 2004.
18. Johansson BI, Lemons JE, Hao SQ: Corrosion of dental copper, nickel, and gold alloys in artificial saliva and saline solutions. *Dent Mater* 5(5): 324-328, 1989.
19. Gjerdet NR, Herø H: Metal release from heat-treated orthodontic archwires. *Acta Odontol Scand* 45(6): 409-414, 1987.
20. De Groot K.: *Bioceramics of calcium phosphate*, 1st ed, CRC. Press Inc. Boca raton, pp.146, 1983.
21. Featherstone JD et al.: Dependence of *in vitro* demineralization of apatite and remineralization of dental enamel on fluoride concentration. *J Dent Res* 69(Spec Iss): 620-625, 1990.
22. De Araujo FB et al.: Fluoride release from fluoride-containing materials. *Oper Dent* 21(5): 185-190, 1996.
23. Karantakis P et al.: Fluoride release from three glass ionomers, a compomer, and a composite resin in water, artificial saliva, and lactic acid. *Oper Dent* 25(1): 20-25, 2000.
24. Carvalho AS, Cury JA: Fluoride release from some different dental materials in different solutions. *Oper Dent* 24(1): 14-19, 1999.
25. 정광조, 이상훈, 한세현: 불소함유 교정용 레진이 별랑질 인공 우식과 재석회화에 미치는 영향에 관한 연구. *대한소아치과학회지* 19(1): 334-345, 1992.
26. Eliades G, Kakaboura A., Palaghias G: Acid-base reaction and fluoride release profile in visible light-cured polyacid-modified composite restoratives(compomers). *Dent Mater* 14(1): 57-63, 1998.
27. Silverstone LM: *Fluorides and remineralization*. 1st ed. Lea and Febiger, Philadelphia, pp.153-175, 1985.
28. Hicks MJ, Fatitz C., Silverstone LM: Initiation and progression of caries - like lesion of enamel: effect of synthetic saliva and sodium fluoride. *Caries Res* 19(6): 481-489, 1985.
29. Underwood ML, Rswls HR, Zimmerman BF.: Clinical evaluation of a fluoride exchanging resin as an orthodontic adhesive. *Am. J Orthod Dentofac Orthop* 96(2): 93-99, 1989.
30. Attar N, Onen A: Fluoride release and uptake characteristics of aesthetic restorative materials. *J oral Rehabil* 29(8): 791-798, 2002.
31. Creanor SL et al.: Fluoride uptake and release characteristics of glass ionomer cements. *Caries Res* 28(5): 322-328, 1994.
32. Meryon SD, Smith AJ: A comparison of fluoride release from three glass ionomer cements and polycarboxylate cement. *Int Endod J* 17(1): 16-24, 1984.
33. Suljak JP, Hatibovic-Kofman S: A fluoride release adsorption release system applied to fluoride releasing restorative materials. *Quintessence Int* 27(9): 635-638, 1996.
34. Shaw AJ, McCabe JF: Fluoride release from glassionomer and compomer restorative materials. *J Dent Res* 76(1 Suppl): 39(Abstract 203). 1997.
35. Lopez, H, Navia, JM: A method to assay fluoride in foods, beverage, and diets. *Caries Res* 22(4): 210-216, 1988.
36. Edelstein BL et al.: Comparison of colorimeter and electrode analysis of water fluoride. *Pediatr Dent* 14(1): 47-49, 1992.
37. Weinberger SJ, Johnston DW, Wright G.Z: A comparison of two system for measuring water fluoride ion level. *Clin. Preve Dent* 11(5): 19-22, 1989.
38. Frant M.S, Rose JW.Jr: Use of total ionic strength adjustment buffer for electrode determination of fluoride in water supplies. *Anal Chem* 40(7): 1169-1171, 1968.
39. Corry A et al.: Effect of fluoride exposure on cariostatic potential of orthodontic bonding agents: an in vitro evaluation. *J Orthod* 30(4): 323-329, 2003.
40. Pretty IA et al.: The *in vitro* detection of early enamel de-and re-mineralization adjacent to bonded orthodontic cleates using quantitative light-induced fluorescence. *Eur J Orthod* 25(3): 217-223, 2003.
41. Arends J, ten Bosch JJ: Demineralization and remineralization evaluation techniques. *J Dent Res* 71(Spec Iss): 924-928, 1992.
42. Shen P et al.: Remineralization of enamel subsurface lesions by sugar-free chewing gum containing casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate. *J Dent Res* 80(12): 2066-2070, 2001.
43. Zero DT: Application of clinical models in remineralization research. *J Clin Dent* 10(Spec Iss): 74-85, 1999.
44. 송주현 등: 탄산음료 유발 법랑질 침식에 대한 항우식 제품의 예방 효과. *대한소아치과학회지* 37(1): 1-12, 2010.
45. Aljehani A et al.: In vitro quantification of white spot enamel lesions adjacent to fixed orthodontic appliances using quantitative light induced fluorescence and DIAGNOdent. *Acta Odontol Scand* 62(6): 313-318, 2004.
46. 권해숙 등: 유치 수복물에 따른 주변 법랑질의 탈회 저항성, *대한소아치과학회지* 37(1): 44-51, 2010.
47. 양희상, 김광원, 윤영주: 불소가 유리되는 교정용 전색제가 법랑질 탈회에 미치는 영향에 관한 실험적 연구. *대한치교정학회지* 29(5): 589-597, 1999.
48. Donly KJ: Enamel and dentin demineralization inhibition of fluoride-releasing materials. *Am J Dent* 7(5): 275-278, 1994.
49. Glasspoole EA, Erickson RL, Davidson CL: Demineralization of enamel in relation to the fluoride release of materials. *Am J Dent* 14(1): 8-12, 2001.
50. Dubroc GC, Mayo JA, Rankine CA: Reduction of caries and demineralization around orthodontic brackets: effect of a

- fluoride-releasing resin in the rat model. *Am. J Orthod Dentofacial Orthop* 106(6): 583-587, 1994.
51. Damen JJ, Buijs MJ, Ten cate JM: Uptake and release of fluoride by saliva-coated glass ionomer cement. *Caries Res* 30(6): 454-457, 1996.
52. Bell A et al.: The effect of saliva on fluoride release by a glass-ionomer filling material. *J Oral rehabil* 26(5): 407-412, 1999.
53. Heinrich-Weltzien R et al.: Detection of initial caries lesions on smooth surfaces by quantitative light-induced fluorescence and visual examination: an in vivo comparison. *Eur J Oral Sci* 113(6): 494-498, 2005.

(Received June 30, 2011; Revised October 17, 2011;
Accepted October 21, 2011)

