

## 수종의 수복재의 불소 적용법에 따른 불소 유리에 관한 비교 연구

이연호 · 김중수 · 유승훈

단국대학교 치과대학 소아치과학교실

### 국문초록

불소는 구강내에서 치아 우식의 예방 및 초기 우식의 재광화를 유도하기 위한 목적으로 널리 사용되고 있으며, 불소가 유리 되는 수복물을 이용하게 되면, 수복물 주위의 이차 우식 및 구강내의 우식 감수성을 감소시킬 수 있다. 현재 소아치과 영역에서 주로 사용되고 있는 불소유리 수복재료는, 전통적인 글라스 아이오노머와 레진 강화형 글라스 아이오노머, 컴포머 등이 있는데, 본 연구에서는 현재 소아치과 영역에서 많이 사용되고 있는 불소를 유리하는 수복재의 불소 유리량 및 불소 적용방법에 따른 불소유리량의 변화를 비교하고 확인하고자 한다.

복합레진으로 Z-250™(Group I)과 컴포머로 Dyract® AP(Group II), 레진 강화형 글라스 아이오노머로 Fuji II LC®(Group III), 자가중합형 글라스 아이오노머로 Fuji IX GP Fast®(Group IV)를 실험대상으로 선정하였다. 각 재료별로 동일한 크기의 디스크를 제작하여, 31일 동안 매일 새로운 용액으로 교환하면서 불소 유리량을 측정하였다(실험 I). 이후 수복 재료별로 불소 적용 방법에 따라 4군으로 나누는데, A군은 대조군(No treatment)으로, B군은 불소가 함유된 치약(500ppm, Stages, Oral-B®, Holland)을 3분간 3회 적용하고, C군은 1.23% APF Foam(1000ppm, Sultan Topex, #31150, Canada)을 1회 적용하며, D군은 B군과 동일한 치약을 3회 적용하고, 1.23% APF Foam을 1회 적용하였다. 불소 적용 후 7일 동안 불소 유리량을 측정하였다(실험 II).

실험 I에서, 실험 개시일부터 7일까지 불소 유리량이 급속히 감소하고, 이후 일정한 불소 유리량을 보였다. III군 (Fuji II-LC®)과 IV군 (Fuji IX GP Fast®)이 다른 군에 비해 높은 불소 유리량을 보였으며, III군과 IV군 사이에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 실험 II에서, 불소 적용 후 II, III, IV군에서 불소 유리량이 증가한 양상을 보이는데, II군에서는 불소 적용 후 2일, III군에서는 5일, IV군에서는 4일부터 초기 불소 유리량 수준으로 돌아왔다.

**주요어** : 불소 유리 물질, 불소 재흡수, 글라스 아이오노머

### I. 서 론

불소는 구강내 치아 우식 발병을 억제할 뿐 아니라, 초기 우식의 경우 재광화 능력을 가지고 있다<sup>1,2)</sup>. 구강내에 불소를 적용하는 방법은, 상수도 불소화를 통한 불소 섭취, 구강 세정제나 치약에 불소를 첨가하는 방법, 전문가에 의한 불소 도포 등 여러

방법이 있다. 이 중, 치과 수복 재료는 치아 표면에 직접적으로 불소를 적용할 수 있고, 비교적 오랜 기간동안 불소를 적용시킬 수 있기 때문에<sup>3)</sup>, 우식 이환률이 높은 환자, 특히 소아환자의 수복치료에 있어서, 다른 재료보다 불소를 유리하는 재료를 이용하는 것이 추천된다. 수복 재료에 불소를 첨가하기 위한 많은 연구가 진행되었고, 그 결과로, 현재에는 많은 불소 유리 재료들이 개발되었다.

한편, 치아 우식에 이환된 소아환자의 수복 치료를 위한 재료로 다양한 것들이 사용되고 있다. 이 중, 대표적인 심미수복 재료인 복합레진은 기계적 강도와 심미성이 우수하고, 치질의 보존적인 삭제가 가능하다는 장점이 있지만, 시술이 복잡하고 수분 오염에 민감하며, 중합 수축에 의한 미세누출로 인하여 2차

교신저자 : 김 중 수

충남 천안시 안서동 산 29  
단국대학교 치과대학 소아치과학교실  
Tel : 041-550-1935  
E-mail : jskim@dku.edu

우식이 발생할 가능성이 크다는 단점이 있다<sup>4,5)</sup>. 또한 불소 유리 능력 및 재흡수 능력이 다른 재료에 비해 현저히 떨어지기 때문에, 소아환자에의 적용에 있어 제약이 따른다.

1972년에 처음 소개된<sup>6)</sup> 전통적인 글라스 아이오노머는, 수복물 주변 및 구강내에 불소를 유리시켜<sup>7)</sup>, 수복물 주변의 재광화와 구강내 우식 감수성을 감소시킬 수 있다. 글라스 아이오노머는 물에 용해된 폴리아크릴 산(polyacrylic acid)과 알루미늄-실리케이트 글라스 분말(aluminosilicate glass filler)의 산-염기 반응에 의해 경화되는데, 불소 유리는 폴리아크릴 공중합체가 글라스 분말과 접촉할 때 일어난다<sup>8)</sup>. 또한 경화 반응이 끝난 후, 미반응된 글래스 분말에서 일정기간 지속적으로 불소를 유리하게 된다. 게다가, 여러 연구에서, 치약이나 불소 국소도포를 통해 글라스 아이오노머 시멘트가 불소를 재흡수할 수 있다고 보고하고 있다<sup>9-11)</sup>. 이러한 장점에도 불구하고, 전통적인 글라스 아이오노머 시멘트는 조작 시간이 짧고, 경화 시간이 길며, 레진에 비하여 강도와 마모도가 낮다는 단점<sup>12)</sup> 때문에, 사용에 제약이 따른다.

전통적인 글라스 아이오노머 시멘트의 단점을 보완한 재료로서, 레진-강화형 글라스 아이오노머는 전통적인 글라스 아이오노머에 광중합 성질을 접목하여, 조작 시간과 경화 시간에 따른 단점을 해소하고, 기계적 성질을 개선하였으며, 불소를 유리하는 성질 및 상아질에 대한 화학적 결합의 중요한 장점을 보존하였다. 따라서 기존의 글라스 아이오노머보다 작업능력 및 물성이 개선되어, 소아환자의 치료에 유용하게 사용되고 있다<sup>13)</sup>. 많은 실험실 연구 및 임상적 연구에서, 레진 강화형 글라스 아이오노머에서도 전통적인 글라스 아이오노머와 마찬가지로 불소를 유리할 수 있는 능력을 가지고 있다고 보고하고 있으며<sup>10,11,14,15)</sup>, 일부 연구에서는 전통적인 글라스 아이오노머와 비교하여 불소 유리량이 비슷하거나 더 높다고 보고하고 있다<sup>11,16)</sup>. 한편, 다중산 강화 레진(Polyacid-modified Resin, compomer)은 산성화된 이중 기능성 레진 단량체와 fluoro-alumino-silicate 글라스 입자로 구성되어 있으며, 초기 광중합 후 구강내 수분을 흡수하여 이차적인 산-염기 반응의 결과로 불소를 유리한다고 보고되었다<sup>17)</sup>. 이는 복합 레진에 버금가는 기계적 성질, 심미성, 조작의 용이성을 가지며<sup>20,21)</sup>, 불소 유리 능력도 가지고 있다. 컴포머의 불소 유리량에 관한 연구에서, 불소 유리량은 전통적인 글라스 아이오노머나 레진 강화형 글라스 아이오노머보다 낮은 수준으로 지속적으로 유지된다고 한다<sup>9,15,18,19)</sup>.

불소 유리량에 관한 이전의 연구에서, 글라스 아이오노머 계

열의 재료들이 지속적인 불소 유리 능력을 지니며<sup>2,3,9-11,14-16,18)</sup>, 초기 우식증을 재광화시키는 능력<sup>22,23)</sup>도 보고되었다. 그러나, 재료들간의 불소 유리량에 관한 비교 연구에서, 컴포머가 글라스 아이오노머 시멘트보다는 불소 유리량이 낮고, 불소 유리 복합레진보다는 높다는 보고<sup>9,15,18,19)</sup>와 함께, 글라스 아이오노머와 유사한 불소 유리량을 보인다는 보고<sup>24)</sup>도 존재하여, 불소 유리량에 관하여 어느 정도 논란의 소지가 있다. 그리고 불소를 유리하는 재료에 불소 적용을 한 결과 불소를 적용하지 않은 경우보다 높은 불소 유리량을 보인다는 다수의 연구가 진행되었지만<sup>9-11,15,16)</sup>, 두 가지 이상의 불소 적용방법에 따른 불소 유리량의 차이에 관한 연구는 부족한 상태이다.

이에 저자는 현재 소아치과 임상에서 사용되고 있는 수종의 불소 유리 수복재료들의 불소 유리 능력 및, 불소 적용방법에 따른 재유리량을 비교하여 그 결과를 분석한 결과 다소의 지견을 얻었기에 보고하는 바이다.

## II. 연구 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

본 연구에서 사용된 수복재료로 음성 대조군으로 복합 레진으로는 Z-100™(3M ESPE, USA)을 선택하였고, 불소 유리 재료로서 컴포머는 Dyract® AP(DENTSPLY, Germany)을, 레진-강화 글라스 아이오노머는 Fuji II LC®(GC CORPORATION, Tokyo, Japan)을, 자가중합형 글라스 아이오노머는 Fuji IX GP Fast®(GC CORPORATION, Tokyo, Japan)을 선택하였다. 실험 재료에 따라 Table 1과 같이 4개의 군으로 나누었으며, 각 군 당 40개의 시편을 제작하여 연구에 적용하였다. 광중합기는 Elipar Trilight® (3M ESPE, USA)를 사용하였고, 일정한 광도를 유지하기 위하여 Radiometer(Dent-America, UAS)를 사용하여 반복 측정하면서 조사하였다.

### 2. 연구 방법

#### (1) 실험 I. 불소 유리량 비교실험

##### 1) 시편 제작

동일한 크기의 시편을 제작하기 위하여 준비된 내경 6mm, 높이 1mm의 금속 주형내에 4가지 실험 재료를 제조회사의 지시에 따라 충전한 다음 Mylar strip으로 압박한 상태에서 중합

**Table 1.** Materials used in this study and sample grouping

Group	Material	Type	Manufacture	Number
I	Z-100™	Composite Resin	3M ESPE, USA	40
II	Dyract® AP	Polyacid-modified Resin	DENTSPLY, Germany	40
III	Fuji II-LC®	Resin-modified Glass Ionomer	GC CORPORATION, Japan	40
IV	Fuji IX GP Fast®	Self-cured Glass Ionomer	GC CORPORATION, Japan	40

**Table 2.** Fluoride Treatment Protocol

Group	Fluoride treatment	number
A	No Treatment	10
B	Dentifrice 3 times (Application time : 3 min.)	10
C	APF Foam 1 time (Application time : 3 min.)	10
D	Dentifrice 3 times + APF Foam 1 time	10

하였고, 모든 재료는 완전한 중합을 위하여, 37℃ 증류수에 24 시간 보관 후 실험에 참가하였다. 경화 후 주형을 제거하여 각 재료당 40개씩 모두 160개의 시편을 제작하였다.

2) 불소 유리량 측정

160개의 polyethylene tube에 각각 5ml의 탈이온 증류수를 채운 다음, 제작된 시편을 각각 넣고 밀봉하여, 37℃로 고정된 항온기에 보관하였다. 보관 후 처음 1주일 동안은 1일 간격으로, 이후로는 실험 시작일부터 19일까지는 2일 간격으로, 19일부터 31일까지는 4일 간격으로 매일 새로운 용액으로 교환하면서 불소 유리량을 측정하였다. 각각의 기간동안 유리된 불소량의 측정을 위하여 일정기간이 경과된 시편이 담긴 polyethylene tube에서 시편을 꺼낸 후 동량의 TISAB II(Total Ionic Strength Adjusting Buffer, Orion Research, Inc, Beverly, MA, USA) 용액을 첨가하여 잘 섞은 다음 pH/ISE meter(750P, Istek, Korea)에 부착된 불소 전극(Fluoride combination electrode, Istek, Korea)을 사용하여 각각의 용액내에 유리된 불소농도를 측정하였다. 매 측정시마다 측정에 앞서 0.1ppm, 1ppm, 10ppm의 불소 표준 용액(Fluoride/TISAB Standard solution, Orion, USA)으로 calibration을 시행하였다.

3) 통계 분석

각각의 재료에 따른 기간별 불소 유리량을 SPSS Ver 9.0 프로그램을 이용하여, One-way ANOVA test로 유의성을 검정하고 Scheffe test로 사후검정을 시행하여 통계분석하였다.

(2) 실험 II. 불소 재흡수 능력 비교실험

1) 시편의 불소 처리

31일이 경과된 실험 I의 시편을 이용하는데, 각 재료당 불소의 처리방법에 따라 Table 2와 같이 4개의 군으로 나누었다. Group A는 아무 처리도 하지 않았고, Group B는 불소가 함유된 치약(불소 농도:500ppm, Stages, Oral-B®, Holland)을 4시간 간격으로 3회 적용하였고, Group C는 1.23% APF Foam(불소 농도:1000ppm, #31150, Sultan Topex, Canada)을 1분간 1회 적용하였으며, Group D는 치약을 4시간 간격으로 2회 적용 후, 2시간 후에 APF Foam을 1분간 1회 적용하고 다시 2시간 후에 치약을 3분간 1회 적용하였다.

2) 불소 유리량 측정

시편 처리 후, 실험 I의 방법과 동일한 방법으로 1일 간격으로 7일동안 불소 유리량을 측정하였다.

3) 통계 분석

각각의 재료에서, 불소 처리 방법에 따른 불소 유리량을 SPSS Ver 9.0 프로그램을 이용하여, One-way ANOVA test로 유의성을 검정하고 Scheffe test로 사후검정을 시행하여 통계분석하였다.

III. 연구결과

1. 불소 유리량 측정 결과

Table 3과 Table 4는 각 군의 측정일에 따른 불소 유리량을 나타낸 결과이며, Fig. 1은 측정일에 따른 불소 유리량의 변화를 나타낸 도표이다. Z-250™군이 다른 군에 비해 유의하게 낮은 측정치를 나타내었고, Dyract® AP군이 글라스 아이오노머 군인 Fuji II LC®군과 Fuji IX GP Fast®군보다 낮은 측정치를 나타내었다. Fuji II LC®군과 Fuji IX GP Fast®군은 2,3,9,11,15일에서의 측정치를 제외하고는 유의한 차이를 나타내지 않았다.

2. 불소 재충전 및 유리능력 비교 실험

Table 5와 Fig. 2, 3은 Z-250™의 불소 적용 방법에 따른 불소 유리량을 나타내고 있다. 불소 적용 후 1일의 측정치에서 유의한 차이를 보였지만(p<0.05), 전반적으로 낮은 측정치를 나타내었다.

Table 6과 Fig. 4, 5는 Dyract® AP군의 불소 적용 방법에 따른 불소 유리량을 나타내고 있다. 불소 적용 후 1일과 3일에서 통계적으로 유의한 차이를 보이고 있으며(p<0.05), Group D(치약을 3분간 3회 적용+1.23% APF Foam 1분간 1회 적용)에서 가장 높은 측정치를 나타내었고, Group B(치약을 3분간 3회 적용한 군)보다 Group C(1.23% APF Foam을 1분간 1회 적용한 군)에서 높은 측정치를 나타내었다. 하지만, 측정일 2일 이후부터 비교적 유사한 불소 유리 양상을 보이고 있다 (Fig. 5).

**Table 3.** Daily Fluoride Release before Fluoride Treatment (Day 1-9) (ppm, Mean ± SD)

Group	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7	Day 9
I	0.041 ± 0.027*	0.049 ± 0.023*	0.049 ± 0.022*	0.046 ± 0.022*	0.043 ± 0.030*	0.047 ± 0.018*	0.040 ± 0.037*	0.030 ± 0.011*
II	3.70 ± 0.80*	3.30 ± 0.05*	2.55 ± 0.61*	2.28 ± 0.58*	2.00 ± 0.50*	1.61 ± 0.35*	1.50 ± 0.30*	1.63 ± 0.33*
III	8.78 ± 0.88	5.38 ± 0.57*	4.55 ± 1.04*	3.48 ± 0.41	2.37 ± 0.52	2.00 ± 0.15	1.82 ± 0.37	2.14 ± 0.36*
IV	9.21 ± 1.89	7.22 ± 0.85*	5.18 ± 0.63*	3.49 ± 0.70	2.56 ± 0.50	2.16 ± 0.35	2.00 ± 0.39	2.37 ± 0.28*

(\* : p<0.05)

**Table 4.** Daily Fluoride Release before Fluoride Treatment (Day 11-31) (ppm, Mean ± SD)

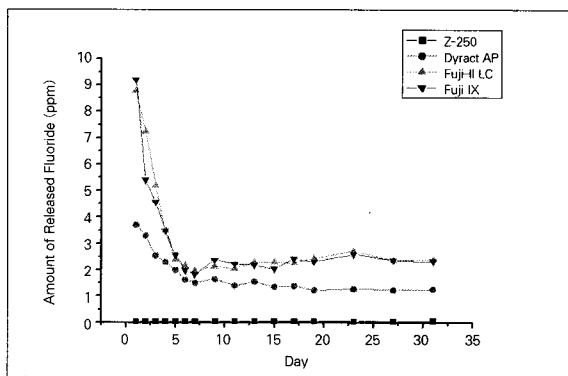
Group	Day 11	Day 13	Day 15	Day 17	Day 19	Day 23	Day 27	Day 31
I	0.047 ± 0.036*	0.041 ± 0.020*	0.037 ± 0.019*	0.047 ± 0.032*	0.041 ± 0.030*	0.036 ± 0.012*	0.040 ± 0.021*	0.054 ± 0.034*
II	1.39 ± 0.16*	1.50 ± 0.35*	1.39 ± 0.26*	1.39 ± 0.22*	1.21 ± 0.19*	1.27 ± 0.30*	1.22 ± 0.23*	1.25 ± 0.22*
III	2.03 ± 0.41*	2.18 ± 0.03	2.03 ± 0.33*	2.26 ± 0.32	2.31 ± 0.35	2.60 ± 0.32	2.35 ± 0.25	2.33 ± 0.24
IV	2.22 ± 0.38*	2.30 ± 0.30	2.30 ± 0.33*	2.40 ± 0.42	2.43 ± 0.29	2.72 ± 0.26	2.37 ± 0.21	2.39 ± 0.26

(\* : p<0.05)

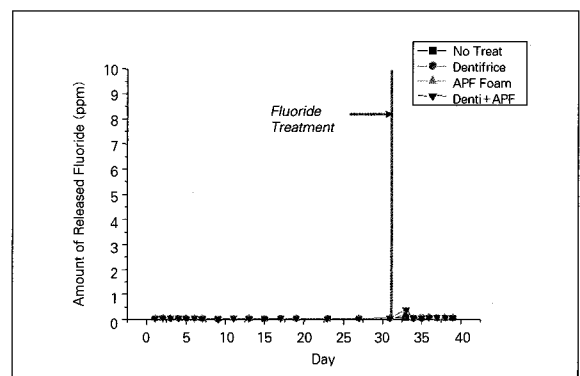
**Table 5.** Daily Fluoride Release of Z-250™ after Fluoride Treatment (ppm, Mean ± SD)

Group	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
A	0.072±0.035*	0.058±0.067	0.067±0.018	0.067±0.030	0.069±0.019	0.064±0.031	0.065±0.026
B	0.154±0.017*	0.048±0.023	0.087±0.038	0.081±0.036	0.080±0.042	0.067±0.026	0.069±0.035
C	0.351±0.049*	0.054±0.025	0.094±0.034	0.102±0.023	0.057±0.026	0.081±0.014	0.086±0.051
D	0.404±0.040*	0.051±0.036	0.061±0.015	0.073±0.012	0.092±0.012	0.092±0.033	0.077±0.015

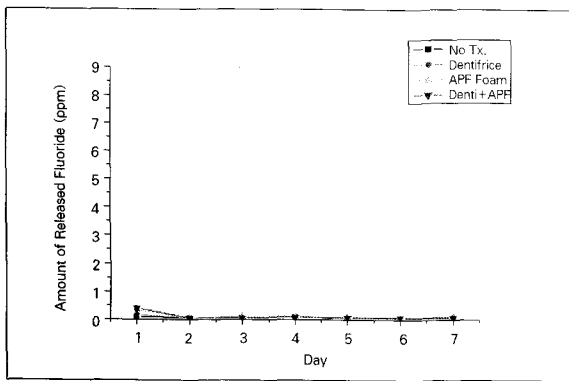
(\* : p<0.05)



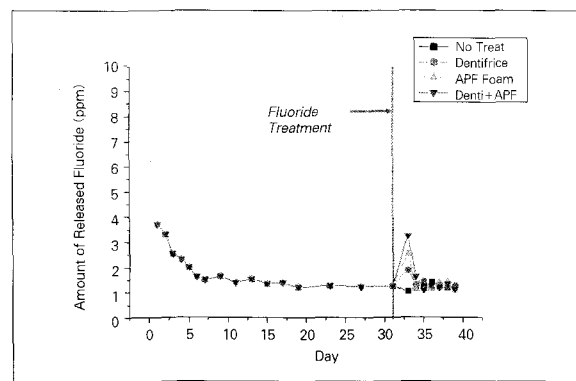
**Fig. 1.** Daily Fluoride Release before Fluoride treatment.



**Fig. 2.** Z-250™ Fluoride release over 38 days.



**Fig. 3.** Daily Fluoride Release of Z-250™ after Fluoride Treatment.

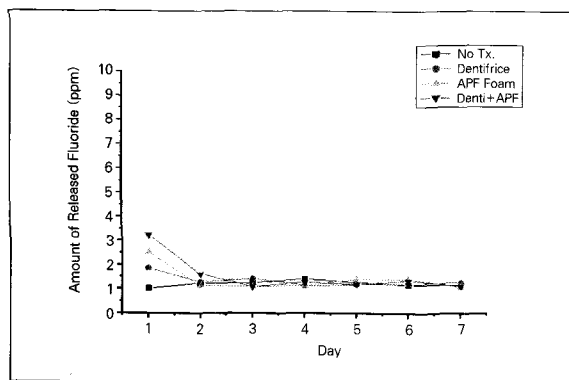


**Fig. 4.** Dyract® AP Fluoride release over 38 days.

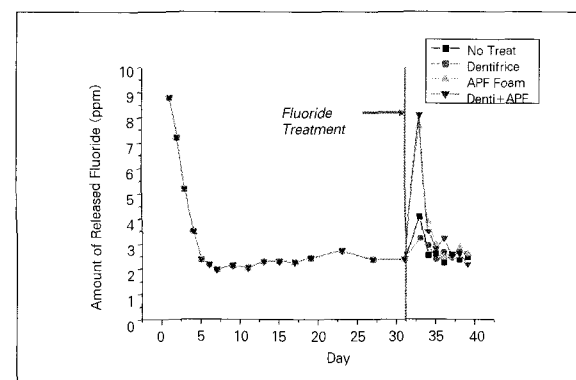
**Table 6.** Daily Fluoride Release of Dyract® AP after Fluoride Treatment (ppm, Mean ± SD)

Group	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
A	1.03±0.07*	1.24±0.35	1.24±0.16	1.40±0.36	1.27±0.09	1.16±0.16	1.16±0.16
B	1.87±0.19*	1.29±0.42	1.42±0.08*	1.13±0.16	1.19±0.15	1.20±0.17	1.25±0.18
C	2.52±0.14*	1.12±0.19	1.11±0.31*	1.13±0.27	1.39±0.23	1.43±0.14	1.06±0.11
D	3.23±0.10*	1.62±0.52	1.08±0.29*	1.28±0.03	1.20±0.13	1.35±0.27	1.11±0.07

(\* : p<0.05)



**Fig. 5.** Daily Fluoride Release of Dyract® AP after Fluoride Treatment.



**Fig. 6.** Fuji II LC® Fluoride release over 38 days.

**Table 7.** Daily Fluoride Release of Fuji II LC® after Fluoride Treatment (ppm, Mean ± SD)

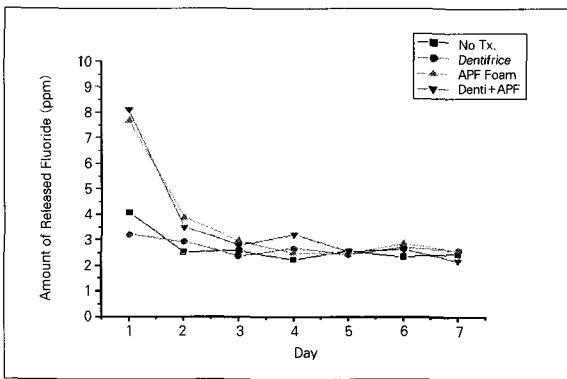
Group	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
A	4.07±0.71 (a)	2.53±0.08 (a,b)	2.60±0.27	2.24±0.18 (a,b)	2.58±0.15	2.35±0.22	2.47±0.19
B	3.22±0.17 (b,c)	2.92±0.22 (c)	2.38±0.17 (a,b)	2.67±0.17 (b)	2.43±0.26	2.70±0.29 (a)	2.59±0.22
C	7.66±1.15 (a,c)	3.87±0.60 (a,c)	2.97±0.22 (a)	2.48±0.27 (a)	2.47±0.17	2.87±0.33	2.59±0.32
D	8.09±0.91 (a,b)	3.49±0.71 (b)	2.80±0.41 (b)	3.21±0.17 (a)	2.55±0.06	2.62±0.22 (a)	2.19±0.04

(a,b,c : p<0.05)

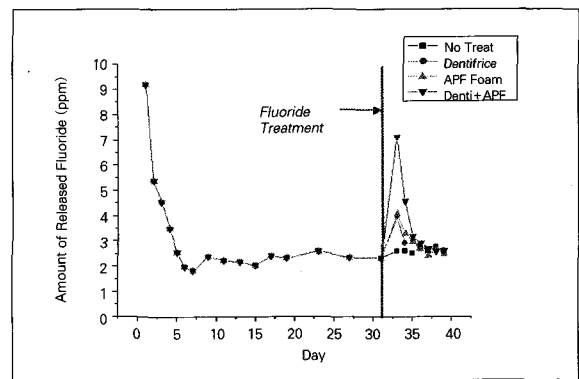
**Table 8.** Daily Fluoride Release of Fuji IX GP Fast® after Fluoride Treatment (ppm, Mean ± SD)

Group	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6	Day 7
A	2.62±0.04 (a,b)	2.60±0.10 (a)	2.50±0.23 (a,b)	2.78±0.23	2.62±0.34	2.77±0.28	2.52±0.33
B	3.94±0.63 (a,c)	2.92±0.22 (b)	3.01±0.04	2.85±0.21	2.62±0.32	2.67±0.42	2.61±0.35
C	4.08±0.46 (b)	3.29±0.20 (a,b)	2.98±0.44 (a)	2.67±0.22	2.40±0.20	2.71±0.33	2.46±0.23
D	7.13±0.83 (b,c)	4.57±0.32 (a,b)	3.17±0.28 (b)	2.94±0.45	2.70±0.16	2.59±0.32	2.62±0.22

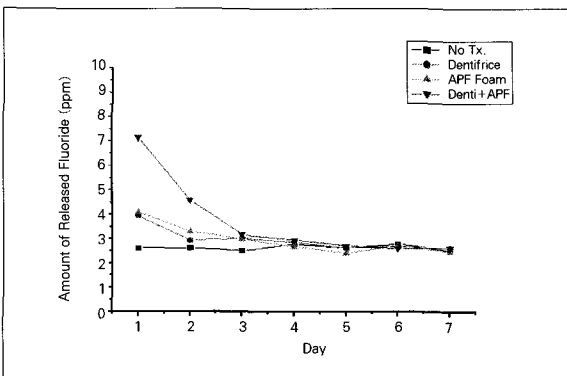
(a,b,c : p<0.05)



**Fig. 7.** Daily Fluoride Release of Fuji II LC® after Fluoride Treatment.



**Fig. 8.** Fuji IX GP Fast® Fluoride release over 38 days.



**Fig. 9.** Daily Fluoride Release of Fuji IX GP Fast® after Fluoride Treatment.

Table 7과 Fig. 6, 7은 Fuji II LC®군의 불소 적용 방법에 따른 불소 유리량을 나타내고 있다. Group A(대조군)와 비교하여, Group B(치약을 3회 적용)는 4일을 제외하고는 유의한 차이를 보이지 않는데 비해, Group C(1.23% APF Foam 1회 적용)와 Group D(치약 3회 적용 + 1.23% APF Foam 1회 적용)는 대조군에 비해 1, 2, 4일에서 높은 측정치를 나타내고

있다. Group C와 Group D는 비교적 비슷한 불소 유리 양상을 보였으며, 두 Group 모두 측정일 3일까지 불소 유리량이 급격히 감소하며, 전반적으로 5일 이후에는 4개의 Group 모두 비슷한 측정치를 보이고 있다(Fig. 7).

Table 8과 Fig. 8, 9는 Fuji IX GP Fast®의 불소 적용 방법에 따른 불소 유리량을 나타내고 있다. Group A와 비교하여, Group B는 1일을 제외하고는 유의한 차이를 나타내지 않았는데 비해, Group C와 D는 1, 2, 3일에서 유의하게 높은 측정치를 나타내었다(p<0.05). 4개의 Group 모두, 측정일 4일부터 비슷한 측정치를 보이고 있다(Fig. 9).

#### IV. 총괄 및 고찰

구강내 수복물이 실패하는 경우 중, 가장 흔한 원인은 이차 우식<sup>25,26)</sup>이며, 우식 활성도가 높고 구강 내 위생관리가 어려운 소아환자의 경우에는 더욱 높은 빈도로 나타난다<sup>5)</sup>. 이차 우식은 치태내의 세균 대사를 통해 발생된 산에 의해 치아 표면의 미세 환경에서 pH가 감소하고, 결국 치아 경조직의 탈회로 이어져 발생하게 되는데, 이러한 산의 형성을 억제하고, 탈회의 저항성 증진 및 재석화를 촉진시킴으로서 그 빈도를 낮출 수 있기 때문

에, 이러한 연구는 임상적으로 매우 중요하다. 불소의 우식 억제 및 재석회화 능력이 보고되면서<sup>1,2)</sup>, 구강내 불소 적용 방법에 대한 많은 연구가 진행되었다. 수복물로 하여금 불소를 유리함으로써 치아면에 효과적으로 불소를 적용할 수 있다는 연구<sup>3)</sup>를 기본으로, 불소를 함유하는 많은 치과 재료들이 개발되었고 소아치과 영역에서도 많이 사용하고 있다. 이중 글라스 아이오노머는 생체 친화성이 우수하고, 치질과의 이온결합 능력과 같은 장점과 함께, 불소를 지속적으로 유리하여, 수복물 주위 치질의 내산성을 증가시키고 우식을 유발하는 세균에 대한 산 생성 억제 작용을 발휘하며, 재석회화를 촉진할 수 있다. 하지만, 기계적인 물성과 심미성이 떨어지고 작업시간이 길어 조작이 힘들 뿐만 아니라, 수분에 민감하게 작용하는 단점으로 사용 빈도가 낮아졌다. 이러한 단점들을 보완하여, 레진 강화형 글라스 아이오노머나 다중산 강화형 레진과 같은 물성이 개선되면서 불소 유리능력을 유지하고 있는 재료들이 개발되었다.

기존의 글라스 아이오노머 수복재의 불소 유리에 관한 연구<sup>2-3,9-11,14-16,18,27-30)</sup>에서, 일반적으로 처음 24시간 동안 높은 농도의 불소가 유리되며, 이후 그 유리량이 급격히 감소되는데, 오랜 시간동안 소량의 불소가 지속적으로 유리된다고 보고하고 있다. 1996년 Moor 등<sup>31)</sup>은, 초기 중합이 이루어지고 첫 날에 나타나는 높은 불소 유리량에 대해 불소의 "burst effect"라 표현하였다. 1일이 지난 후 불소 유리량이 감소하는 것은, 경화 반응동안 폴리알케노이드 산과 접촉하는 글라스 분말에서 초기에 불소가 폭발적으로 유리된 결과 때문이라고 여겨진다. 본 연구 결과에 의하면, 초기 경화가 이루어진 이후 일주일동안 불소 유리량이 지속적으로 감소하였고, 이후 일주일 이후부터 비교적 일정한 불소 유리량을 보이는데, 경화 후 1일 이후 급격한 불소 감소 양상을 보인다(Fig. 1). 불소 유리량은 Fuji IX GP Fast<sup>®</sup>와 Fuji II LC<sup>®</sup>에서 유사한 불소 유리 양상을 보이는데, "burst effect"는 Fuji IX GP Fast<sup>®</sup>가 Fuji II LC<sup>®</sup>보다 더 높은 경향을 나타낸다.

1999년 Yap 등<sup>32)</sup>과 2000년 Karantakis 등<sup>33)</sup>에 의하면 컴포머는 글라스 아이오노머에 비하여 초기에는 불소 유리량이 적으나 유사한 양상을 가지며 시간이 경과함에 따라 그 차이가 적어진다고 한다. 또한 산성화된 조건하에서는 글라스 아이오노머에 비해 그 유리량이 급증하여 글라스 아이오노머 수복재와 거의 유사한 불소 유리량을 나타냈다고 보고하였다. 본 연구에서 컴포머인 Dyract<sup>®</sup> AP는 글라스 아이오노머 계열의 재료보다 실험 초기에 낮은 불소 유리량을 보이고, 이후 글라스 아이오노머와 비슷한 불소 유리 양상을 보이지만, 초기 일주일 이 지난 후 31일까지의 측정치를 비교하였을 때, 불소 유리량이 글라스 아이오노머 계열의 재료보다 낮은 불소 유리량을 보인다. 이는 Karantakis 등<sup>33)</sup>의 연구와 비교하였을 때, 본 실험에서 시편을 보관한 환경이 비교적 높은 pH 환경이었기 때문이며, 최근의 연구에서처럼 산성 조건에서 실험을 진행하였다면, 비슷한 불소 유리량을 보일 것으로 사료된다. 한편, 불소 유리량이 증가하는 만큼 비례적으로 수복재 주위 치질에 더 뛰어난

항우식 효과를 나타내는지는 아직 정립되어있지 않은 상태이다. 실제로 치질에 대한 불소의 재석회화 효과는 높은 불소 농도보다는 낮은 농도라도 지속적으로 유리될 때 훨씬 우수한 것으로 보고<sup>34)</sup>된 바 있으나 우식 억제 및 재석회화 촉진 작용을 나타낼 수 있는 최소한의 불소농도 또는 가장 효과적인 불소 농도에 대해서는 아직까지 알려져 있지 않은 상태이다. 따라서, Dyract<sup>®</sup> AP군에서 낮은 불소 유리량이지만, 글라스 아이오노머와 유사한 양상으로 긴 시간동안 일정한 불소 유리량을 보이기 때문에, 주변 치질에 대한 불소 유리 효과를 기대할 수 있는 것으로 사료되며, 실제로 컴포머의 초기 우식증의 재광화 효과에 대한 연구도 많이 진행되고 있다<sup>22,30)</sup>.

본 연구 결과는 이전 글라스 아이오노머의 불소 재흡수에 관한 연구<sup>18,28,35)</sup>와 유사한 결과를 보이고 있다. 1993년 Takahashi 등<sup>35)</sup>은 글라스 아이오노머 재료에서 유리되는 불소는 재료에 적용하는 불소의 농도가 높을수록 증가한다고 보고하였다. 본 실험에서, 불소를 처리하지 않은 Group A보다 불소를 처리한 다른 군에서 높은 불소 유리를 보인다. 또한 Group D(치약 3회 +1.23% APF Foam)에서 다른 군보다 높은 불소 유리량을 보이고 있으며, 이는 재료에 적용하는 불소의 농도가 높을수록 재흡수되는 불소의 농도가 높음을 보여준다. 한편, 치약만을 적용한 Group B는 대조군보다 높은 불소 유리량을 보이지만, 그 차이가 미약하고, Group C(1.23% APF Foam 1회 적용)와 D보다 낮은 불소 유리량을 보였다. 이런 결과로 미루어보아, 치약을 이용하여 매일 양치질을 시행한다 하더라도 글라스 아이오노머 계열의 재료가 가지고 있는 불소 유리 능력을 최대한으로 활용하기 위해서는, 전문가의 불소도포나 불소가 함유된 구강 세정제와 같은 추가적인 불소 적용 수단이 필요할 것으로 보인다. 특히 우식 활성도가 높은 소아환자의 경우에는 구강 내 위생관리가 어렵기 때문에, 전문가에 의한 추가적인 관리의 필요성이 더욱 증가된다. 한편, Fuji II LC<sup>®</sup>와 Fuji IX GP Fast<sup>®</sup>에서, 1.23% APF Foam을 단독으로 적용한 경우(Group C), 초기에 증가된 불소 유리량이 Fuji II LC<sup>®</sup>군이 Fuji IX GP Fast<sup>®</sup>군 보다 더 높은 측정치를 나타낸 것으로 보아, 고농도의 불소가 적용된 경우, 레진 강화형 글라스 아이오노머인 Fuji II LC<sup>®</sup>가 자가중합형 글라스 아이오노머인 Fuji IX GP Fast<sup>®</sup>에서보다 더욱 높은 불소 재흡수 능력을 보이고 있음은 흥미로운 결과이다.

본 실험에서 실험 재료를 보관하는 용액으로 탈이온 증류수를 사용하였다. 일반적으로 재료의 불소 유리능 실험에서 보편적으로 사용되는 용액은 증류수와 인공타액인데, 문헌에 따라 약간의 논란이 있으나 두 용액에서 모두 시간 경과에 따른 전반적인 불소 유리 양상은 유사하지만, 증류수에서 더 많은 불소 유리량을 나타낸다고 보고되었다<sup>24,33)</sup>. 한편, 본 실험의 보관 용액의 상태는 비교적 일정한 pH를 보이지만, 실제로 구강내 환경은 훨씬 복잡한 환경이기 때문에 실제로 본 실험의 결과와 차이를 보일 것으로 여겨지는데, 이는 구강내의 타액은 구강내 온도, 단백질 성분과 같은 여러가지 요소로 인하여 다양한 pH

를 나타내며, 수복물 주위의 치태의 세균에 의해 발생하는 산 성분에도 의해서도 많은 차이를 나타낼 수 있기 때문이다.

본 실험을 통하여, 글라스 아이오노머 계열의 재료와 컴포머의 불소 유리 능력 및, 불소를 재흡수할 수 있는 능력에 대한 대략적인 결과를 얻었지만, 구강내 실제적인 환경을 적용한 상태에서의 연구와 함께, 이러한 재료에서 유리되는 불소의 정량적 분석 및 이러한 재료가 치아의 초기 우식을 재광화시키기 위해 필요한 불소 농도의 정량적인 연구와 같은 다양하고 발전된 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### V. 결 론

소아환자의 수복치료에 주로 사용되는 불소를 유리하는 재료로서, 기존의 복합레진과, 글라스 아이오노머, 레진 강화형 글라스 아이오노머, 컴포머의 불소 유리 능력 및 불소 재흡수 능력을 비교하고자 본 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 실험 I에서, 실험 개시일부터 7일까지 불소 유리량이 급속히 감소하고, 이후 일정한 불소 유리량을 보였다. III군 (Fuji II LC<sup>®</sup>)과 IV군 (Fuji IX GP Fast<sup>®</sup>)이 다른 군에 비해 높은 불소 유리량을 보였으며, III군과 IV군 사이에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 단, 처음 일주일동안 불소 유리 양상에서 III군이 IV군보다 비교적 급격한 감소 양상을 보였다.
2. 실험 II에서, 불소 적용 후 II, III, IV군에서 불소 유리량이 증가한 양상을 보이는데, II군에서는 불소 적용 후 2일, III군에서는 5일, IV군에서는 4일부터 초기 불소 유리량 수준으로 돌아갔다.
3. III군에서, A(대조군)군보다 B(치약 3분간 3회 적용), C(1.23% APF Foam 1분간 1회 적용), D(치약 3분간 3회 적용 + 1.23% APF Foam 1분간 1회 적용)군에서 불소 유리량이 증가하였다. B군보다 C군과 D군에서 불소 유리량이 증가하였으며, C군과 D군에서는 유의한 차이가 보이지 않았다.
4. IV군에서, 불소를 적용한 실험군 중에서 D군이 다른 군보다 높은 불소 유리량을 나타내었고, B군이 낮은 불소 유리량을 보였다.

이상의 결과에서, 불소를 유리하는 재료로 알려진 글라스 아이오노머와 레진 강화형 글라스 아이오노머, 컴포머의 불소 유리 능력을 확인하였고, 재료에 적용되는 불소의 농도가 높을수록 재흡수되는 불소의 양이 높다는 결론을 얻었지만, 보다 다양하고 발전된 방법으로 보완 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

1. Haugejorden O, Nord A, Koch G : Direct evidence concerning the "major role" of fluoride dentifrices in the caries decline: A 6-year analytical cohort study.

- Acta Odont Scand, 55(3):173-180, 1997.
2. De Araujo FB, Garcia-Godoy F, Cury JA, *et al.* : Fluoride release from fluoride-containing materials. Oper Dent, 21:185-190, 1996.
3. Rawls HR : Preventive dental materials : Sustained delievery of fluoride and other therapeutic agents. Advan Dent Res, 5:50-55, 1991.
4. Letzel H : Survival rates and reasons for failure of posterior composite restorations in multicenter clinical trial. J of Dent, 17:10-17, 1989.
5. Varpio M : Clinical aspects of restorative treatment in the primary dentition. Swed Dent J, 96:36-40, 1993.
6. Rawls HR, Zimmerman BF : Fluoride-exchanging resins for caries protection. Caries Res, 17:32-43, 1983.
7. Retief DH, Bradley EL, Denton JC, *et al.* : Enamel and cementum fluoride uptake from a glass ionomer cement. Caries Res, 18:250-257, 1984.
8. Harry A : 심미수복 : 원리와 임상 술식(9th). 지성출판사, 55-79, 2003.
9. Attar N, Onen A : Fluoride release and uptake characteristics of aesthetic restorative materials. J Oral Rehabil, 29:791-798, 2002.
10. Freeman R, Diefenderfer KE : Effect of Daily Fluoride Exposures on Fluoride Release by Glass Ionomer-Based Restoratives. Oper Dent, 28(2):178-185, 2003.
11. Gao W, Smales RJ : Fluoride release/uptake of conventional and resin modified glass ionomers and compomers. J Dent, 29:301-306, 2001.
12. Mclean JW : Alternatives to amalgam alloys. Br Dent J, 157:432-433, 1984.
13. Joel H : Glass ionomer cements. Pediat Dent, 24(5):430-435, 2002.
14. 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.
15. Yip HK, Smales RJ : Fluoride release and uptake by aged resin-modified glass ionomers and a polyacid-modified resin composite. Int Dent J, 49:217-225, 1999.
16. Rothwell M, Anstice HM, Pearson GJ : The uptake and release of fluoride by ion-leaching cements after exposure to toothpaste. J Dent, 26:591-597, 1998.
17. Eliades G, Kakaboura A, Palaghias G : Acid-base



- reaction and fluoride release profile in visible light-cured polyacid-modified composite restoratives (compomers). *Dent Mater*, 14:57-63, 1998.
18. Fosten L : Resin-modified glass ionomer cements : Fluoride release and uptake. *Acta Odont Scand*, 53(4):222-225, 1995.
  19. Bertacchini SM, Abate PF, Blank A, *et al.* : Solubility and fluoride release in ionomers and compomeres. *Quint Int*, 30(3):193-197, 1999.
  20. Abate PF, Bertacchini SM, Polack MA, *et al.* : Adhesion of a compomer to dental structures. *Quint Int*, 28:509-512, 1997.
  21. Cehreli ZC, Usmen E : Effect of surface conditioning on the shear bond strength of compomers to human primary and permanent enamel. *Am J Dent*, 12:26-30, 1999.
  22. 정희민, 김용기 : 수종의 구강위생 방법에 따른 인공 초기 우식 법랑질의 재석회화에 관한 비교 생체연구. *대한소아치과학회지*, 18:94-116, 1991.
  23. 박영수, 김종수, 김용기 : 가시광선과 아르곤 레이저에 의해 중합된 레진 수복물 주변 법랑질의 항우식 효과에 관한 비교 연구. *대한소아치과학회지*, 23:840-858, 1996.
  24. Carvalho AS, Cury JA : Fluoride release from some different dental materials in different solutions. *Oper Dent*, 24:14-19, 1999.
  25. Mjor IA : Frequency of secondary caries at various anatomical locations. *Oper Dent*, 10:88-92, 1985.
  26. MacInnis WA, Ismail A, Brogan H : Placement and replacement of restorations in a military population. *J Can Dent Assoc*, 57:227-231, 1991.
  27. Forsten L : Fluoride release from a glass ionomer cement. *Scand J Dent Res*, 85:503-504, 1977.
  28. Forsten L : Fluoride release and uptake by glass ionomers. *Scand J Dent Res*, 99:241-245, 1991.
  29. Horsted-Bindslev P, Larsen MJ : Release of fluoride from conventional and metal-reinforced glass-ionomer cements. *Scand J Dent Res*, 98:451-455, 1990.
  30. Tantbirojn D, Douglas WH, Versluis A : Inhibitive effect of a resin-modified glass ionomer cement on remote enamel artificial caries. *Caries Res*, 31:275-280, 1997.
  31. De Moor RJ, Verbeeck RM, De Maeyer EA : Fluoride release profiles of restorative glass ionomer formations. *Dent Mater*, 12:88-95, 1996.
  32. Yap AUJ, Khor E, Foo SH : Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth-colored restoratives. *Oper Dent*, 24:297-305, 1999.
  33. Karantakis P, Helvatjoglou-Antoniades M, Theodoridou-Pahini S, *et al.* : Fluoride release from three glass ionomers, a compomer, and a composite resin in water, artificial saliva, and lactic acid. *Oper Dent*, 25:20-25, 2000.
  34. Silverstone LM : Fluoride and remineralization in clinical uses of fluoride. Philadelphia: Les & Febiger, 153-175, 1985.
  35. Takahashi K, Emilson CG, Birkhead D : Fluoride release *in vitro* from various glass ionomer cements and resin composites after exposure to NaF solution. *Dent Mater*, 9(6):350-354, 1993.

**Abstract**

**COMPARATIVE STUDY ON FLUORIDE RELEASE AND RE-UPTAKE CAPACITY  
OF SEVERAL FLUORIDE-RELEASING RESTORATIVE MATERIALS**

Yeon-Ho Lee, Jong-Soo Kim, Seung-Hoon Yoo

*Department of Pediatric Dentistry, School of Dentistry, Dankook University*

Fluoride released from dental restorative materials effectively declines the incidence and activity of dental caries and inhibits tooth demineralization. This study investigated the fluoride release and uptake characteristics of one composite resin (Z-250™) three glass ionomer-based restorative material (Dyract® AP, Fuji II LC®, Fuji IX GP Fast®). Forty discs (6 mm diameter and 1 mm height) were prepared for each material. Each disc was immersed in 5ml of distilled water within polyethylene vial and stored at 37°C. The distilled water was changed every 24 hours and the release of fluoride was measured for 31 days. At the end of this period, each specimen was subjected to one of four treatments : (A) no fluoride treatment (control); (B) application of a fluoride dentifrice (500ppm) for three minutes three times; (C) application of the 1.23% acidulated phosphate fluoride (APF) foam for one minute once; (D) the same regimen as (B), plus application of the APF foam for one minute once. Then, all samples were reassessed for an additional 7 days.

For all samples, the greatest fluoride release was observed after the first day of the study but diminished with time. On the 7th day of the study, fluoride release level was stabilized. Fuji II LC® and Fuji IX GP Fast® released higher amount of fluoride than other materials; however, no statistically significant difference was found from Fuji II LC® and Fuji IX GP Fast®. The amount of fluoride of Dyract® AP, Fuji II LC® and Fuji IX GP Fast® was increased after fluoride treatment, and diminished with time.

**Key words** : Fluoride-releasing material, Fluoride re-uptake, Glass ionomer