

## 수복재에 함유된 불소가 치질의 미세경도와 불소 함유량에 미치는 영향

이수종 · 조영곤\* · 김종욱 · 박병철

조선대학교 치과대학 치과보존학교실

### ABSTRACT

#### INFLUENCE OF MICROHARDNESS AND FLUORIDE CONTENT OF TOOTH STRUCTURE BY FLUORIDE-CONTAINING RESTORATIVE MATERIALS

Su-Jong Lee, Young-Gon Cho\*, Jong-Uk Kim, Byung-Cheul Park

*Department of Conservative Dentistry, College of Dentistry, Chosun University*

The purpose of this study was to compare the microhardness and the fluoride content of enamel and dentin around fluoride- or non fluoride-containing restorations. Forty extracted human teeth were used and prepared cervical cavities on proximal surface. Experimental teeth were divided into five groups. Group 1 : Prime & Bond NT and Z100, Group 2 : Prime & Bond NT and F2000, Group 3 : Scotchbond Multi-Purpose and Z100, Group 4 : Scotchbond Multi-purpose and F2000, Group 5 : Fuji II LC. The cavities were filled with dentin adhesives and restorative materials. After each tooth was bisected, one half was tested microhardness and the other half was analyzed the fluoride at the enamel and dentin by an EPMA-WDX device. The results were as follows:

1. There was no statistical difference among the microhardness of enamel surface in all group.
2. The microhardness at dentin of 100  $\mu\text{m}$  point in Group 2 and 20  $\mu\text{m}$  point in Group 4 was lower than that of normal dentin ( $p>0.05$ ).
3. There was no statistical difference among the fluoride content of enamel surface in all group.
4. The fluoride content at the dentin of 30  $\mu\text{m}$  point in Group 2 and 5 were higher than those at 100  $\mu\text{m}$  and 200  $\mu\text{m}$  point in Group 2 and normal dentin ( $p<0.05$ ).
5. At the dentin of 30  $\mu\text{m}$  point, Group 2 showed higher fluoride content than Group 1 and 3, and Group 5 showed higher fluoride content than other groups. [J Kor Acad Cons Dent 29(1):36-43, 2004]

**Key words** : Microhardness, Fluoride content, Fluoride-containing restorative materials Cervical cavities, Dentin adhesives, EPMA-WDX

### I. 서 론

치아우식은 치주질환과 함께 2대 치과질환으로서 가장 흔

한 만성질환중 하나이다. 치아우식에 있어서 재발성 우식은 상당한 빈도를 차지하고 있으며, 이로 인하여 기존 수복물을 대체해야 하는 경우가 40%를 차지하고 있다<sup>1)</sup>.

불소는 치아우식을 방지하는 효과를 가지고 있기 때문에 재발성 우식을 예방하기 위해 불소를 함유한 수복재가 개발되었다<sup>2,3)</sup>. 재발성 우식은 글래스 아이오노머 시멘트로 수복될 때 현저하게 감소되는 것으로 알려져 있다<sup>4,5,6,7)</sup>. 일반적으로 재래형과 레진 첨가형 글래스 아이오노머 시멘트는 우식 활성이 높은 부위에서 우선적으로 선택되는 재료이며, 이는 항우식 효과와 치아조직에 대한 이온교환 작용이 있기

---

Corresponding author: Young-Gon Cho

Dept. of Conservative Dentistry, College of Dentistry,  
Chosun University  
375 Susuk-dong, Dong-gu, Gwangju 501-759, Korea  
Tel : 062)220-3840 Fax : 062)232-9064  
E-mail : ygcho@mail.chosun.ac.kr

때문이다<sup>8,9,10)</sup>. 레진 첨가형 글래스 아이오노머와 콤포머는 재래형 글래스 아이오노머 시멘트의 단점인 초기의 낮은 기계적 강도와 수분 민감성으로 인한 불량한 심미성을 극복하기 위하여 개발되었다.

이와 같은 치아 색을 띤 수복재의 불소유리에 관한 연구가 많이 보고되었다<sup>11,12,13,14)</sup>. 재래형과 레진 첨가형 글래스 아이오노머 시멘트는 초기 1-5일간 다량의 불소를 유리하고, 또한 장기간 동안 지속적으로 불소를 유리 하는 것으로 보고되었다<sup>15,16,17)</sup>. 그러나 콤포머는 불소의 유리가 지속적으로 관찰되었으나 재래형이나 레진 첨가형 글래스 아이오노머 시멘트에 비해 그 유리량이 적은 것으로 보고되고 있다<sup>18,19,20,21)</sup>.

수복재에서 유리된 불소는 치면에 흡수되어 탈회에 대한 저항성을 증가시킨다<sup>22)</sup>. 불소 유리에 관한 연구들이 유리량에 있어 유사한 결과를 보인 반면<sup>4,11,12)</sup>, 흡수에 관한 연구결과들은 실험방법과 재료에 따라 그 결과가 다양하게 나타났다<sup>12,23,24,25)</sup>.

치면에 흡수되는 불소에 관한 연구에서 산부식법<sup>23,26)</sup>, 편광현미경<sup>27,28)</sup>, 전자탐침 미량분석기법 (Electron Probe Micro-Analysis-EPMA)<sup>27,29)</sup>, 미세경도 측정법<sup>30,31,32)</sup> 등이 이용되었다. 이러한 방법 중 산부식법은 부식의 깊이를 조절하기 곤란하고<sup>25)</sup>, 산에 잘 견디는 혼성층이 존재하는 경우 불소 농도의 측정이 불가능하다<sup>33)</sup>. 또한 편광현미경은 재광화와 우식저항에 대한 실제적인 양상을 관찰할 수 있는 장점을 가지고 있지만, 재발성 우식이 진행되는 치아와 수복물 계면에서 불소의 흡수를 측정하기가 곤란한 단점이 있다<sup>28)</sup>. EPMA는 재료의 정성적 분석과 정량적 분석에 사용되며 재료의 화학적 구성성분을 나타내 줄 수 있으나 시편의 준비와 측정과정이 복잡하다. 반면 미세경도 측정법은 측정이 편리하기 때문에 불소가 치면의 재광화를 용이하게 한다는 특성을 이용하여 많은 연구에서 경조직의 재광화 측정을 통한 불소 흡수의 간접적인 평가에 이용되었다<sup>34,35,36)</sup>. 그러나 미세경도 측정에 관한 연구결과들은 그 결과가 다양하였으며 측정대상이 대부분 치아표면에 국한되었다<sup>30,31,32)</sup>.

따라서 본 연구에서는 불소를 함유한 또는 함유하지 않은 수복재를 치아에 적용할 경우 수복재에 따른 치면의 미세경도와 불소 함유량을 상호 비교하여 다소의 지견을 얻었기에

보고하는 바이다.

## Ⅱ. 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

최근 6개월 내에 발거하여 생리식염수에 보관한 우식이 없는 건전한 상, 하악 소구치 50개를 사용하였다. 이 연구에 사용된 상아질 접착제 및 수복재는 Table 1과 같다. 상아질 접착제는 불소를 함유한 Prime & Bond NT (Dentsply/Caulk, Milford, DE, U.S.A.)와 불소를 함유하지 않은 Single Bond (3M/ESPE, St Paul, MN, U.S.A.)를 사용하였다. 수복재는 불소를 함유하지 않는 복합레진인 Z 100 (3M/ESPE, St Paul, MN, USA)과 불소를 함유한 콤포머인 F 2000 (3M/ESPE, St Paul, MN, U.S.A.), 그리고 레진 첨가형 글래스 아이오노머 시멘트인 Fuji II LC (GC Corp, Tokyo, Japan)를 사용하였다.

### 2. 연구방법

#### 1) 시편제작

소구치의 인접면 치경부에 깊이 1.5 mm, 폭 1.5 mm의 와동을 3 mm의 길이로 와동을 형성하였다 (Fig. 1). 각 와동은 37% 인산으로 20초간 산부식 처리하고 20초간 수세한 후, 무작위로 각 군당 치아를 10개씩 선택하여 5개의 군으로 분류하였다. 실험 군으로 Prime & Bond NT와 Z 100을 사용한 군을 1군, Prime & Bond NT와 F 2000을 사용한 군을 2군, Single Bond와 Z 100을 사용한 군을 3군, Single Bond와 F 2000을 사용한 군을 4군으로 하였고, 5군은 대조군으로 Fuji II LC를 사용하였다 (Table 1).

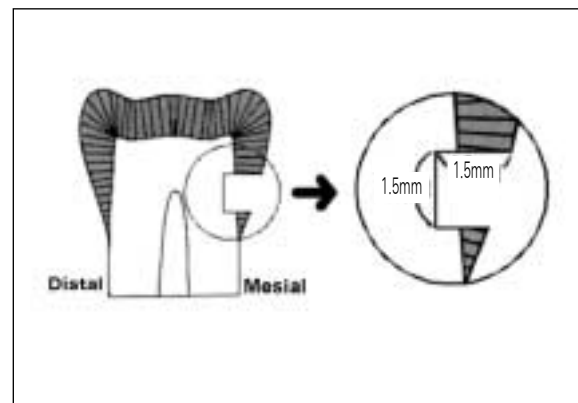


Fig. 1. Diagram of proximal cavity preparation

Table 1. Classification of group and materials used

Group	Dentin Adhesive	Restorative Material
1	Prime & Bond NT	Z 100
2	Prime & Bond NT	F 2000
3	Single Bond	Z 100
4	Single Bond	F 2000
5	—	Fuji II LC

각 군에서 상아질 접착제와 수복재는 제조회사의 사용 설명서에 따라 사용하였다. 치아와 수복물 표면 전체를 nail varnish로 2회 도포 하였고, 증류수 10 ml가 들어 있는 폴리프로필렌 튜브 (Blue Max™, Becton Dickinson, NJ, U.S.A.)에 치아를 넣고  $37 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 의 항온수조기 (KMC-1205W, Vision scientific Corp, Bucheon, Korea)에서 4주간 보관하였다.

4주 후 치아를 아크릴릭 레진에 포매하고, 수복물의 중앙 부위를 회전식 다이아몬드 톱 (Isomet rotary saw, Velnus Co., Japan)을 사용하여 근원심 방향으로 치아의 장축을 따라 주수 하에서 절단하였다. 절단된 표면은 #400, #600, #1000, #1200의 사포를 순차적으로 사용하여 표면을 연마한 후, 미세경도와 EPMA 측정을 위하여  $6\ \mu\text{m}$ 와  $1\ \mu\text{m}$ 의 다이아몬드 현탁액 (Tompert diamond suspension, R&B Inc., Korea)을 사용하여 미세 연마하였다.

## 2) 미세경도 측정과 통계처리

미세경도기 (Microhardness tester type-M, Schimidzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 측정부위에 15 gf의 하중을 15초간 가하고 형성된 다이아몬드형 압흔의 장축길이 측정하여 미세경도를 측정하였다. 치아와 수복물의 계면 부위에서 교합면측 (법랑질)과 치수측 (상아질) 으로 각각  $30\ \mu\text{m}$ 와  $100\ \mu\text{m}$  지점에서 3곳을 측정한 후 평균치를 산출하였다 (Fig. 2). 정상 법랑질의 미세경도는 수복물의 교합면측 계면에 대응하는 반대측 부위에 가상 선을 설정하여 교합면측  $30\ \mu\text{m}$ 와  $100\ \mu\text{m}$  지점에서 각각 3회 측정하여 평균치를 산출하였다. 정상 상아질의 미세경도는 상아법랑경

계부에서 치수측에 있는 수복물 계면까지의 깊이를 측정한다. 수복하지 않은 반대측에서 이와 동일한 지점을 가상 선으로 설정하고 치수측으로  $30\ \mu\text{m}$ 와  $100\ \mu\text{m}$  지점에서 각각 3회 측정하여 평균치를 산출하였다. 수복물측의 치면과 정상 치면의 미세경도 차이는 95%의 유의수준에서 t-test를 이용하여 검정하였다.

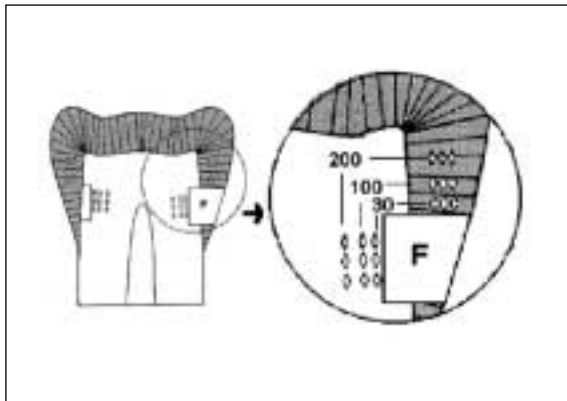
## 3) EPMA 측정과 통계처리

미세경도 측정에 사용된 시편의 반대측 절반을 탄소 증착하고, 미세경도 측정에서와 같이 수복물측 계면에서  $30\ \mu\text{m}$ ,  $100\ \mu\text{m}$ ,  $200\ \mu\text{m}$  지점과 수복물이 없는 측의 가상 선으로부터  $30\ \mu\text{m}$  지점에서 EPMA-WDX (wave dispersive X-ray spectrometer) 측정을 시행하였다 (Fig. 2). 측정은 CAMECA SX-51 (CAMECA, France)을 이용하여 가속 전압 15 keV, 빔전류 30 nA 조건하에서 시행하였다. 분석된 결과는 95% 유의수준에서 one-way ANOVA를 이용하여 통계처리하고 Scheffe test로 사후검정 하였다.

## Ⅲ. 연구성적

수복물 계면  $30\ \mu\text{m}$ 와  $100\ \mu\text{m}$  지점의 법랑질 미세경도는 모든 군에서 동일 지점의 정상 법랑질의 미세경도와 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 ( $p>0.05$ , Table 2).

모든 군에서 수복물 계면  $30\ \mu\text{m}$ 와  $100\ \mu\text{m}$  지점의 상아질 미세경도는 동일 지점의 정상 상아질의 미세경도에 비해 낮게 나타났으며, 2군의  $100\ \mu\text{m}$  지점과 4군의  $30\ \mu\text{m}$  지점에서 상아질의 미세경도는 정상 상아질에 비해 통계학적으로



**Fig. 2.** Diagram of indentation point for microhardness and EPMA test (F: Filling materials)

**Table 2.** Microhardness values on enamel surface (Mean±S.D.) (Knoop Hardness)

Depth		30 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$
Group			
1	NE	271.15±43.23	237.38±107.89
	RE	239.91±31.26	215.73±91.43
2	NE	259.96±39.86	205.07±96.37
	RE	260.31±31.50	211.58±99.69
3	NE	246.72±21.71	204.36±87.50
	RE	209.70±61.37	226.17±106.80
4	NE	266.80±30.40	227.40±98.59
	RE	279.27±47.07	237.13±106.66
5	NE	300.82±69.83	218.11±123.36
	RE	241.42±47.31	220.23±108.11

NE : Normal Enamel, RE : Enamel after Restoration

**Table 3.** Microhardness values on dentin surface (Mean±S.D.)(Knoop Hardness)

Depth		30 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$
Group			
1	ND	78.65±13.10	72.65±9.48
	RD	67.99±18.04	70.53±16.10
2	ND	65.31±6.52	66.01±6.57
	RD	61.08±6.17	60.09±3.22*
3	ND	59.38±6.79	63.79±5.59
	RD	54.59±6.07	61.73±5.47
4	ND	71.79±5.66	69.70±5.27
	RD	61.12±4.47*	65.29±9.24
5	ND	63.55±5.78	60.17±4.61
	RD	58.50±7.59	58.60±7.38

ND : Normal Dentin, RD : Dentin after Restoration

\* : Significant differences between ND and RD in same depth (p&lt;0.05)

낮게 나타났다 (p<0.05, Table 3).

EPMA의 결과, 수복물 계면에서 각 지점의 법랑질 불소 함유량은 모든 군에서 동일 지점의 정상 법랑질의 불소 함유량과 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 (Table 4).

각 군의 수복물 계면에서 각 지점에 따른 상아질의 불소 함유량의 변화는 1군, 3군, 4군에서 통계학적인 유의성이 없었으나 (p>0.05), 2군과 5군의 불소 함유량은 30  $\mu\text{m}$  지점에서 100  $\mu\text{m}$ 와 200  $\mu\text{m}$  지점, 그리고 정상 상아질에 비해 통계학적으로 높게 나타났다 (p<0.05, Table 5).

각 군에서 상아질의 불소 함유량 비교 시 30  $\mu\text{m}$  지점에서 2군은 1군과 3군에 비해, 그리고 5군은 다른 모든 군에 비해 통계학적으로 유의한 불소의 증가를 보여주었다 (p<0.05, Table 5). 그러나 각 군에서 상아질의 불소 함유량은 100  $\mu\text{m}$ 과 200  $\mu\text{m}$  지점에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 (Table 5).

**Table 4.** Atomic % of fluoride on enamel surface (EPMA/WDX)

Depth		30 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	Normal Enamel
Group					
1		1.53±0.06	1.53±0.08	1.52±0.05	1.56±0.07
2		1.52±0.09	1.50±0.08	1.45±0.07	1.51±0.09
3		1.51±0.18	1.48±0.07	1.47±0.07	1.53±0.01
4		1.52±0.13	1.48±0.14	1.50±0.11	1.50±0.08
5		1.62±0.09	1.50±0.08	1.49±0.05	1.45±0.06

**Table 5.** Atomic % of fluoride on dentin surface (EPMA/WDX)

Depth		30 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$	200 $\mu\text{m}$	Normal Enamel
Group					
1		1.53±0.11 <sup>b</sup>	1.55±0.05 <sup>b</sup>	1.63±0.07 <sup>b</sup>	1.57±0.08 <sup>b</sup>
2		1.82±0.13 <sup>a</sup>	1.62±0.09 <sup>b</sup>	1.64±0.04 <sup>b</sup>	1.53±0.03 <sup>b</sup>
3		1.50±0.05 <sup>b</sup>	1.57±0.04 <sup>b</sup>	1.50±0.11 <sup>b</sup>	1.53±0.05 <sup>b</sup>
4		1.67±0.06 <sup>a,b</sup>	1.55±0.22 <sup>b</sup>	1.48±0.08 <sup>b</sup>	1.55±0.12 <sup>b</sup>
5		3.21±0.05 <sup>c</sup>	1.71±0.14 <sup>b</sup>	1.53±0.04 <sup>b</sup>	1.59±0.02 <sup>b</sup>

Superscripts of the same letter indicate values of statistically no significant difference (p<0.05)

#### IV. 총괄 및 고안

재래형 글래스 아이오노머 시멘트, 레진 첨가형 글래스 아이오노머 시멘트, 콤포머와 같은 수복재는 불소를 유리하며, 불소는 일차적으로 탈회에 대한 저항성을 증가시키고 경조직의 재광화를 용이하게 하여 우식의 재발을 억제한다<sup>28,34,35,36</sup>). 또한 불소는 고농도에서 우식유발 세균의 대사 효소를 제한하여 세균의 산 생성을 감소시킨다<sup>37,38</sup>).

불소의 유리 정도는 각 수복재에 따라 약간의 차이를 보인다. 재래형 글래스 아이오노머 시멘트와 레진 첨가형 글래스 아이오노머 시멘트의 경우 초기 1일에서 1주 사이에 급속한 유리 특성을 나타내고 1주 이후 점차로 안정화된다. 콤포머의 경우 이러한 특성은 나타나지 않으나 어느 정도 불소가 유리되는 것으로 보고되고 있다<sup>17</sup>). 불소가 완전히 유리되는 기간은 수복재에서 방출되는 불소의 양, 불소도포 및 치약 등에 함유된 불소에 의한 수복재의 불소 재흡수 등으로 인하여 연구마다 그 결과가 다양하다. Dijkman과 Arends<sup>39</sup>)의 연구에 의하면 불소 유리가 실제적인 우식 감소와 연관되기 위해서는 28일 정도의 기간이 필요하다고 하였으며, 이러한 이유로 본 연구에서도 4주를 기준으로 실험을 진행하였다.

불소의 흡수와 이로 인한 재광화에 대한 연구를 위해 다수의 모델이 개발되었다. 이는 미세경도, 불소생검, micro-radiography, 편광현미경 등의 다양한 분석방법을 이끌어냈으나 재광화의 모든 것을 이해하기에는 제한적이었다. 여러 가지 분석방법에서 무기질 함량의 변화에 대한 미세경도 측정은 그 간편성으로 인하여 많이 사용되어 왔고, micro-radiography와 편광현미경을 이용하여 측정의 정확성을 입증하고자 하였다<sup>40</sup>). 그러나 불소에 의한 미세경도의 변화에 대한 연구결과는 아직까지는 명확하지 않다. Hotta 등<sup>30</sup>)은 불소함유 수복재를 상아질에 적용 시 20  $\mu\text{m}$  혹은 다른 깊이에서 경도의 유의한 차이를 보였으며, 특히 재래형 글래스 아이오노머 시멘트가 레진 첨가형 글래스 아이오노머 시멘트보다 상아질에서 더 깊이 침투하였다고 보고하였으나, Reintsema와 Arends<sup>31</sup>) 그리고 다른 연구자들<sup>32</sup>)은 불소를 함유한 수복재에 관한 연구에서 탈회치아의 재경화 과정이 발생하지 않았으며, 불소의 흡수와 미세경도의 변화 사이에 어떠한 상관관계도 관찰할 수 없다고 하였다.

본 연구의 경우, 인접면에서 법랑질의 미세경도를 측정하기 위한 깊이는 전체 법랑질 두께의 중간 부위로 설정하였으며, 각 치아의 법랑질 두께 차이로 인해 발생하는 측정 깊이에 따른 오차를 최소화하기 위하여 양측 인접면의 법랑질을 비교하였다. 본 연구에서 수복물 계면 30  $\mu\text{m}$ 와 100  $\mu\text{m}$  지점의 법랑질 미세경도는 모든 군에서 동일 지점의 정상 법랑질의 미세경도와 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않아 수복재에 의한 법랑질의 미세경도 증가는 관찰되지

않았다. 이러한 결과는 법랑질의 미세경도 변화에 관한 연구에서 불소처리 후 인접면 접촉점에서 0  $\mu\text{m}$ , 400  $\mu\text{m}$ , 800  $\mu\text{m}$ , 1200  $\mu\text{m}$ 로 들어갈수록 경도가 증가한다고 보고한 Kotsanos<sup>41</sup>)의 결과와는 다르게 나타났다.

법랑질과 달리 상아질은 습윤 환경과 상아세관의 존재로 인하여 이온의 교환이 더 자유로운 것으로 알려져 있으며, 법랑질과 비교 시 불소 흡수에 의한 불소농도가 더 높은 것으로 보고되고 있다<sup>42</sup>). 그러나 본 연구의 모든 군에서 수복물 계면 30  $\mu\text{m}$ 와 100  $\mu\text{m}$  지점의 상아질 미세경도는 동일 지점의 정상 상아질의 미세경도에 비해 오히려 낮게 나타났고, 2군의 100  $\mu\text{m}$  지점과 4군의 30  $\mu\text{m}$  지점에서 상아질의 미세경도는 정상 상아질에 비해 통계학적으로 낮게 나타나 상아질에 흡수된 불소에 의해 미세경도가 증가되지 않음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 미세경도를 측정할 때 측정부위의 관간 상아질과 관주 상아질의 범위, 그리고 상아세관액 및 세관압력과 같은 여러 가지 변수들이 작용하였기 때문으로 생각된다.

1961년 Boyde 등<sup>43</sup>)이 EPMA를 치아조직에 적용하여 관간 상아질에 비해 관주 상아질에 더 많은 칼슘이 포함되어 있다는 것을 보고한 이후 EPMA를 이용한 치아조직의 정량적, 정성적인 분석은 치과영역에서 많은 성과를 보였다. EPMA는 X-선의 방출에 근거를 하며 지름이 아주 작은 (1-10  $\mu\text{m}$ ) 전자빔을 시료에 충돌시킨다. 가속된 전자빔 시료를 구성하고 있는 원자와 충돌하여 원자의 하부 각에 있는 전자를 떼어내면 빈 자리가 형성되고 이 자리는 보다 상부 각에 위치한 전자가 떨어지면서 채워지게 된다. 이때 두 전자 각 사이의 에너지 차이만큼의 여분이 생기고, 이 에너지는 전자파인 X-선으로 방출이 되는데 이것이 특성 X-선이다. 이러한 특성 X-선들은 원자마다 에너지가 다르므로 이를 이용하여 시료가 어떠한 원소로 구성되었는지 분석이 가능하다. 그리고 이들의 상대적인 세기를 비교함으로써 어떤 원소가 얼마나 존재하는지도 분석할 수 있다.

EPMA는 X-선의 검출방법에 따라 EDX (Energy Dispersive X-ray Spectrometer)와 WDX (Wave Dispersive X-ray Spectrometer)의 두 가지가 사용된다. EDX는 피크가 서로 겹치는 경우 원소의 정확한 판단이 곤란하고 시편내의 원소 함량이 적을 경우 정확한 측정이 곤란하므로 빠른 시간내 전체적인 성분의 정성 분석 및 WDX의 선정과 측정 변수를 결정하는데 이용된다. 반면 WDX는 원소 함량이 적은 경우에도 측정이 가능하여 정확한 정량분석에는 WDX가 사용된다.

본 연구에서 EPMA-WDX 측정결과, 수복물 계면에서 각 지점의 법랑질 불소 함유량은 모든 군에서 동일 지점의 정상 법랑질의 불소 함유량과 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 5군의 법랑질 30  $\mu\text{m}$  지점에서 다른 군과 그리고 5군내에서의 다른 지점에 불소량이 다소 증가

하였으나 통계학적인 유의성은 없었다. 불소 함유 수복재를 사용한 2군이 5군처럼 법랑질에서 불소량의 증가를 보이지 않는 이유는 레진 첨가형 글래스 아이오노머와 콤포머의 경화특성 및 불소방출 특성에 기인한 것으로 사료된다. 콤포머의 경우 polyacrylic acid와 methacrylate의 기능기는 하나의 분자로 결합되어 있으며, 광중합에 의한 경화는 복합레진과 유사한 경화기전을 가진다. 경화 후 물을 흡수하면 acid group의 이온화가 발생하고 글래스 아이오노머와 유사한 방법으로 산염기 반응에 의해 불소를 유리한다<sup>17)</sup>.

수복재는 중합과정 중에 수축하며<sup>39,44)</sup> 이로 인한 수축 간극은 우식의 통로이자 불소의 유리, 치면 흡수, 수복물로의 재흡수를 위한 통로로 작용할 수 있다. 중합수축 간극을 일정하게 조절하는 것은 현실적으로 곤란하므로 재료에서 유리된 불소의 수축 간극을 통한 재흡수는 불소의 치면 흡수에 대한 정확한 측정을 어렵게 한다. 따라서 불소의 유리와 흡수에 관한 이전의 연구들이 시편 제작에 있어 재료를 수분 하에 노출시키기 위하여 수복재와 변연부를 완전히 피개하지 않고 창 (window)을 형성한 것과 달리, 본 연구에서는 수복물을 포함한 모든 치면을 nail varnish를 사용하여 피개하였다. 이러한 완전 피개는 방출된 불소의 재흡수 정도에 따르는 차이를 균일화 시켜주는 효과를 나타낼 것으로 사료되나 수축 간극을 통한 수분의 공급을 차단하여 불소의 유리 및 재흡수에 영향을 주었을 것으로 사료된다. 반면 5군의 경우 이온 교환을 통한 경화를 위해 재료 자체에 포함된 수분이 불소의 유리와 흡수를 유도한 것으로 사료된다.

본 연구에서 각 군의 수복물 계면에서의 각 지점에 따른 상아질의 불소 함유량의 변화는 1군, 3군, 4군에서 통계학적인 유의성이 없었으나, 2군과 5군의 불소 함유량은 30  $\mu\text{m}$  지점에서 100  $\mu\text{m}$ 와 200  $\mu\text{m}$  지점, 그리고 정상 상아질에 비해 통계학적으로 높게 나타났다. 또한 본 연구에서 각 군 간의 상아질 불소 함유량을 비교한 결과, 30  $\mu\text{m}$  지점에서 2군은 1군과 3군에 비해, 그리고 5군은 다른 모든 군에 비해 통계학적으로 유의한 불소의 증가를 보여주어 법랑질과 다르게 상아질 30  $\mu\text{m}$  지점에서 불소 함유 수복재가 상아질의 불소 함유량의 증가에 관련이 있는 것으로 나타났다. 그러나 각 군에서 상아질의 불소 함유량은 100  $\mu\text{m}$ 과 200  $\mu\text{m}$  지점에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 본 연구에서 F 2000을 사용한 2군과 4군의 상아질의 불소 흡수량이 통계학적으로 차이를 나타내지 않는 것은 불소 함유 수복재인 F 2000에서 유리된 불소가 상아질 접착제를 투과하여 발생하는 현상인지 아니면 불소함유 재료인 Prime & Bond NT와 F 2000에 포함된 불소의 총 함유량과 유리량의 차이에 의한 것인지는 확실하지 않다<sup>45)</sup>. 따라서 상아질 접착제 혹은 불소 함유 수복재에 의한 상아질의 불소 흡수에 관하여 앞으로 더욱 많은 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구를 종합하여 보면, 법랑질의 미세경도와 불소 함유량은 불소 함유 수복재에 의해 증가되지 않았으며, 상아질에서는 30  $\mu\text{m}$  지점에서 불소 함유 수복재를 사용한 2군과 5군이 통계학적으로 유의한 불소 함유량의 증가를 나타냈다.

## V. 결 론

본 연구의 목적은 불소를 함유한 또는 함유하지 않은 수복재를 치아에 적용할 경우 수복재에 따른 치면의 미세경도와 불소 함유량을 상호 비교하기 위함이다. 우식이 없는 건전한 40개의 상, 하악 소구치의 인접면 치경부에 와동을 형성하고 각각의 재료를 충전하여 5개의 군으로 분류하였다. 시편을 4주 동안 증류수에 보관한 후, 절단된 치아의 법랑질과 상아질 부위에서 미세경도와 EPMA-WDX를 이용한 불소 흡수량을 측정하고 통계학적으로 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 수복물 계면 30  $\mu\text{m}$ 와 100  $\mu\text{m}$ 지점의 법랑질 미세경도는 모든 군에서 동일 지점의 정상 법랑질의 미세경도와 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 ( $p>0.05$ ).
2. 수복물 계면 30  $\mu\text{m}$ 와 100  $\mu\text{m}$ 지점의 상아질 미세경도는 모든 군에서 동일 지점의 정상 상아질의 미세경도에 비해 낮게 나타났으며, 2군의 100  $\mu\text{m}$  지점과 4군의 30  $\mu\text{m}$  지점에서 상아질의 미세경도는 정상 상아질에 비해 통계학적으로 낮게 나타났다 ( $p<0.05$ ).
3. 수복물 계면에서 각 지점의 법랑질 불소 함유량은 모든 군에서 동일 지점의 정상 법랑질의 불소 함유량과 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다 ( $p>0.05$ ).
4. 각 군의 수복물 계면에서 각 지점에 따른 상아질의 불소 함유량의 변화는 1군, 3군, 4군에서 통계학적인 유의성이 없었으나 ( $p>0.05$ ), 2군과 5군의 불소 함유량은 30  $\mu\text{m}$  지점에서 100  $\mu\text{m}$ 와 200  $\mu\text{m}$  지점, 그리고 정상 상아질에 비해 통계학적으로 높게 나타났다 ( $p<0.05$ ).
5. 각 군에서 상아질의 불소 함유량 비교 시 30  $\mu\text{m}$  지점에서 2군은 1군과 3군에 비해, 그리고 5군은 다른 군에 비해 통계학적으로 유의한 불소의 증가를 보여주었다 ( $p<0.05$ ). 그러나 각 군에서 상아질의 불소 함유량은 100  $\mu\text{m}$ 과 200  $\mu\text{m}$  지점에서 통계학적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

## 참고문헌

1. MacInnis WA, Ismail A, Brogan H. Placement and replacement of restorations in a military population. *J Can Dent Assoc* 57:227-231, 1991.
2. Corpron RE, More FG, Clark JW, Korytnicki D, Kowalski CJ. In vivo remineralization of artificial enamel lesions by a fluoride dentifrice or mouth rinse. *Caries Res* 20:48-55, 1986.

3. Norman RD, Mehra RV, Swartz ML, Philips RW. Effects of restorative materials on plaque composition. *J Dent Res* 51:1596-1601, 1972.
4. Donly KJ, Segura A, Wefel JS, Hogan MM. Evaluating the effects of fluoride-releasing dental materials on adjacent interproximal caries. *J Am Dent Assoc* 130:817-825, 1999.
5. Hicks MJ, Flaitz CM. Resin-modified glass ionomer restorations and in vitro secondary caries formation in coronal enamel. *Quintessence Int* 31:570-578, 2000.
6. Retief DH, Bradley EL, Denton JC, Switzer P. Enamel and cementum fluoride uptake from a glass ionomer cement. *Caries Res* 18:250-257, 1984.
7. Torii Y, Itota T, Okamoto M, Nakabo S, Nagaminie M, Inoue K. Inhibition of artificial secondary caries in root by fluoride-releasing restorative materials. *Oper Dent* 26:36-43, 2001.
8. Diaz-Arnold AM, Holmes DC, Wistrom DW, Swift EJ Jr. Short-term fluoride release/uptake of glass ionomer restoratives. *Dent Mater* 11:96-101, 1995.
9. Dunne SM, Goolnik JS, Millar BJ, Seddon RP. Caries inhibition by a resin-modified and a conventional glass ionomer cement in vitro. *J Dent* 24:91-94, 1996.
10. Takahashi K, Emilson CG, Birkhed D. Fluoride release in vitro from various glass ionomer cements and resin composites after exposure to NaF solutions. *Dent Mater* 9:350-354, 1993.
11. Eliades G, Kakaboura A, Palaghias G. Acid-base reaction and fluoride release profiles in visible light-cured polyacid modified composite restoratives. *Dent Mater* 14:57-63, 1998.
12. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials* 19:503-508, 1998.
13. Verbeeck RM, De Maeyer AP, Marks LA, De Moor JG, De Witte AM, Trimpeneers LM. Fluoride release process of (resin-modified) glass-ionomer cements versus (polyacid-modified) composite resins. *Biomaterials* 19:509-519, 1998.
14. Yap AUJ, Khor E, Foo SH. Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth-colored restoratives. *Oper Dent* 24:297-305, 1999.
15. Momoi Y, McCabe JF. Fluoride release from light-activated glass-ionomer restorative cements. *Dent Mater* 9:151-154, 1993.
16. Swartz ML, Phillips RW, Clark HE. Long-term F release from glass-ionomer cements. *J Dental Res* 63:158-160, 1984.
17. Yap AUJ, Tham SY, Zhu LY, Lee HK. Short-Term Fluoride release from various aesthetic restorative materials. *Oper Dent* 27:259-265, 2002.
18. Araujo FB, Godoy FG, Cury JA, Conceicao EN. Fluoride release from fluoride-containing materials. *Oper Dent* 21:185-190, 1996.
19. Itota T, Okamoto M, Sato K, Nakabo S, Nagamine M, Torii Y, Inoue K. Release and recharge of fluoride by restorative materials. *Dent Mater* 18:347-353, 1999.
20. Preston AJ, Mair LH, Agalamanyi EA, Higham SM. Fluoride release from aesthetic dental materials. *J Oral Rehab* 26:123-129, 1999.
21. Marie HA, Panagiotis K, Yannis P, Hrysosostomos K. Fluoride release from restorative materials and a luting cement. *J Prosthet* 86:156-164, 2001.
22. Francci C, Deaton TG, Arnold RR, Swift EJ Jr. Fluoride release from restorative materials and its effects on dentin demineralization. *Dent. Res.* 78:1647-1652, 1999.
23. Duckworth RM, Lynch RJM. Fluoride uptake to demineralised enamel: A comparison of sampling techniques. *Caries Res.* 32:417-421, 1998.
24. Jones FH, Hutton BM, Hadley PC, Eccles AJ, Steele TA, Billington RW, Pearson G.J. Fluoride uptake by glass ionomer cements: a surface analysis approach. *Biomaterials* 24:107-119, 2003.
25. Kawai K, Tantbirojin D, Kamalawat AS, Hasegawa T, Retief DH. In vitro enamel and cementum fluoride uptake from three fluoride-containing composites. *Caries Res* 32:463-469, 1998.
26. Raven SJ, Schafer F, Duckworth RM, Gilbert RJ, Parr TA. Comparison between evaluation methods for the anti-caries efficacy of monofluorophosphate-containing dentifrices. *Caries Res* 25:130-137, 1991.
27. Lisa P, Afrodite K, George E. In vivo vs in vitro anti-cariogenic behavior of glass-ionomer and resin composite restorative materials. *Dent Mater* 18:561-569, 2002.
28. Pereira PNR, Inokoshi S, Tagami J. In vitro secondary caries inhibition around fluoride releasing materials. *J Dent* 26:505-510, 1998.
29. Yamamoto H, Iwami Y, Unezaki T, Tomii Y, Ebisu S. Fluoride uptake in human teeth from fluoride-releasing restorative material in vivo and in vitro: Two-dimensional mapping by EPMA-WDX. *Caries Res* 35:111-115, 2001.
30. Hotta M, Li Y, Sekine I. Mineralization in bovine dentin adjacent to glass-ionomer restorations. *J Dent* 29:211-215, 2001.
31. Reintsema H, Arends J. An in vivo study of microhardness and fluoride uptake in partially demineralized human enamel covered by plaque. *J Dent Res* 67:471-473, 1988.
32. Samuel SM, Rubinstein C. Microhardness of enamel restored with fluoride and non-fluoride releasing dental materials. *Braz Dent J* 12:35-38, 2001.
33. Nakabayashi N, Nakamura M, Yasuda N. Hybrid layer as a dentin bonding mechanism. *J Esthet Dent* 3:133-138, 1991.
34. Benelli EM, Serra MC, Rodrigues AL Jr, Cury JA. In situ anticariogenic potential of glass ionomer cement. *Caries Res* 27:280-284, 1993.
35. Dijkman GE, de Vries J, Arends. Secondary caries in dentine around composites: a wavelength-independent microradiographical study. *Caries Res* 28:87-93, 1994.
36. Dionysopoulos P, Kotsanos N, Pagadogiannis Y, Konstantinidis A. Artificial secondary caries around two new F-containing restoratives. *Oper Dent* 23:81-86, 1998.
37. Guha-Chowdhury N, Clark AG, Sissons CH. Inhibition of purified enolases oral bacteria by fluoride. *Oral Microbiol Immunol* 20:114-122, 2001.
38. Marquis R.E. Antimicrobial actions of fluoride for oral bacteria. *Can J Microbiol* 41:955-964, 1995.
39. Dijkman, Arends. Secondary caries in situ around fluoride-releasing light-curing composites: A quantitative model investigation on four materials with a fluoride content between 0 and 26 vol%. *Caries Res* 26:351-357, 1992.
40. Corpron RE, More FG, Mount G. Comparison of fluoride profiles by SIMS with mineral density of subsurface enamel lesions treated intra-orally with a fluoride-

- releasing device. *J Dent Res* 71:828-831, 1992.
41. Kotsanos N. An intraoral study of caries induced on enamel in contact with fluoride-releasing restorative materials. *Caries Res* 35:200-204, 2001.
42. Han L, Abu-Bakr N, Okamoto A, Iwaku M. Study of the fluoridated adhesive resin cement—fluoride release, fluoride uptake and acid resistance of tooth structures. *Dent Mater* 20:114-122, 2001.
43. Boyde A et al. Application of the scanning electron probe X-ray microanalyzer to dental tissues. *J. Ultrastruct Res* 5:201-207, 1961.
44. Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL. Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69:36-39, 1990.
45. 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.