불소방출성 수복재의 불소 재충전에 따른 불소유리와 표면변화

전북대학교 치과대학 치과보존학교실 및 구강생체과학연구소

문장원·유미경·이광원

An Effect of Fluoride Recharging on Fluoride Release and Surface Change of Fluoride-Releasing Restorative Materials

Jang-Won Moon, DDS, PhD., Mi-Kyung Yu, DDS, PhD., Kwang-Won Lee, DDS, PhD

Department of Conservative Dentistry & Institute for Oral Bioscience, School of Dentistry, Chonbuk National University

The purpose of this study was to examine an effect of fluoride recharging on fluoride release and surface change of fluoride-releasing restorative materials. Six commercially available fluoride releasing restorative materials (Fuji Ⅱ LC Improved: FL, Compoglass F: CF, Dyract AP: DA, F2000: FT, Gradia Direct: GD, and Tetric Ceram: TC) were selected as experimental materials. Disk specimens were fabricated with split teflon mold to the final dimensions of 15 ㎜ in diameter and 1 ㎜ in thickness. Ten samples of each material were fabricated and stored in deionized water at 37℃±1℃ for 3 months. Before fluoride recharging, all specimens were polished sequentially from #800 to #2000 emery papers. Fluoride recharging was done at 5-day interval using 2.0% NaF gel. The release of fluoride into the storage water was monitored using a fluoride ion electrode. Data were analyzed by one-way ANOVA and Tukey's multiple range test.

The results obtained were summarized as follows;

1. Fluoride recharge capability were FL > CF > DA and TC group after 12 times exposure to 2.0% NaF gel ($P<0.05$).
2. All the experimental materials, except for FT group, showed the increase of fluoride release and surface roughness.
3. Fluoride-releasing rates returned to base line within 3 days.

Key words : Fluoride, Recharging, Fluoride-Releasing

불소방출성 수복재의 불소 재충전에 따른 불소유리와 표면변화

전북대학교 치과대학 치과보존학교실 및 구강생체과학연구소

문장원·유미경·이광원

Ⅰ. 서 론

치아우식의 예방을 고려한 진료가 이루어지면서 불화물을 치면에 도포하거나 불소 함유 구강세정액을 사용하거나 불소방출성의 수복재료를 적용하거나 하는 등의 우식억제 방법이 고려되고 있다. 불소에 의한 치아우식의 억제는 법랑질 표면의 재광화(remineralization), 결정성 개선, 내산성 증가 이외에도 미생물의 효소생성 억제 및 항균작용 등에서 기인하므로 치질의 우식억제를 위해 구강 내에서의 지속적인 불소방출이 고려되고 있다[1,2].

글라스아이오노머 시멘트(이하 GIC)는 불소이온을 방출하여 항우식 작용을 나타냄과 함께 치질에 대한 접착성이 있고, 경화수축이 적고, 치아와 유사한 열적 특성을 가져서 수복물의 변연봉쇄성이 우수한 등의 장점이 있지만, 조작이 불편하고 경화반응 초기에 수분에 대한 민감성을 나타내며, 굽힘강도, 파괴인성 및 내마모성 등의 기계적 성질이 콤포짓트 레진에 비해 떨어지는 등의 단점이 있다[3,4]. 콤포짓트 레진은 조작이 간편하고, 심미성이 우수하며, 기계적 성질과 표면 연마성이 GIC에 비해 우수한 장점을 갖고 있지만, 반면 치질에 대한 접착성과 항우식성을 보이지 않는 등의 단점이 있다. 최근 이들 수복재료의 장점을 결합하고 단점을 보완하기 위해 GIC와 콤포짓트 레진을 결합한 다양한 종류의 수복재료가 개발되었으며, 그들의 경화기전과 발현되는 성질에 따라 GIC에 가까운 재료를 레진강화 GIC(resin-modified glass ionomer coment), 콤포짓트 레진에 가까운 재료를 다중산강화 레진 콤포짓트(polyacid-modified resin composite)로 분류하고 있으며, 다중산강화 레진 콤포짓트는 콤포짓트 레진에 GIC를 첨가한 재료라는 의미에서 콤포머(compomer)로 명명되고 있다[5,6]. 이외에도 콤포짓트 레진에 항우식성을 부여하기 위해 불소방출성을 보이는 필러를 도입한 재료 등 다양한 수복재료가 치과임상에서 이용되고 있다[7]. 레진강화 GIC는 산-염기 반응과 레진의 중합 반응에 의해 경화가 일어나므로 불소이온 방출량은 재래형 GIC와 유사한 정도를 나타내지만 콤포머는 레진의 중합 반응에 의해 경화가 일어나고 산-염기 반응은 구강환경으로부터 기질을 통하여 수분이 흡수됨에 따라 제한적으로 일어나므로 매우 낮은 불소이온 방출량을 나타낸다[8].

GI 수복재의 불소이온 방출량과 방출속도에 대해서는 많은 연구가 이루어져왔지만, 치아우식을 억제하는데 필요한 최적의 불소방출 수준에 대해서는 아직 잘 알려져 있지 않다. GI 수복재의 불소 방출성은 재료의 조성[9,10], 용해도[10,11], 재료 내의 기공[11], 분액비[10], 용매[12] 등에 따라서 변화될 수 있다. GI 수복재의 불소 방출은 초기에는 다량의 급격한 방출을 보이지만 약 7일간에 걸쳐서 큰 폭으로 저하된 이후에는 점진적인 감소를 나타낸다. 재래형 GIC와 레진강화 GI 수복재의 불소 방출 양상은 대부분의 재료에서 유사하고 콤포머에 비해서는 상대적으로 높은 방출을 보였지만, 약 6주간의 점진적 감소를 보인 이후에는 콤포머와 유사한 방출 수준을 나타냈다[8,13].

GI 수복재의 또 다른 특징은 불소의 흡수가 가능

하다는 것이다[10,14]. 불소세정액이나 불소치약과 같은 구강위생 용품의 규칙적인 사용으로 GI 수복재에 불소 흡수를 유도할 수 있고, 흡수된 불소는 다시 인접 치질에 재방출되어 치아우식을 억제하는 작용을 하게 되므로, 이 기전의 임상응용은 재료자체의 불소 방출성과 함께 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다[15]. 본 연구에서는 불소 방출성 수복재료의 불소도포가 불소의 재방출과 표면층에 영향을 미치는 가를 조사하기 위해 2.0% NaF 겔을 12회 반복 도포하면서 불소이온의 방출량과 표면의 조도변화를 조사하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서는 1종의 레진강화형 글라스아이오노머 시멘트(Fuji Ⅱ LC Improved, GC Co, Tokyo, Japan)와 3종의 다중산강화 레진 콤포짓트(Compoglass F, Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan, Liechtenstein; Dyract® AP, Densply Detrey Gmbh, D-78467 Konstanz, Germany; F2000, 3M ESPE AG, D-82229 Seefeld, Germany) 및 2종의 불소방출성 콤포짓트 레진(Gradia Direct, GC Co, Tokyo, Japan; Tetric® Ceram, Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan, Liechtenstein)을 연구재료로 사용하였다 (Table 1).

2. 연구방법

시편 제작을 위해 내경 15 mm의 공간이 형성된 테플론제의 분할형 몰드를 사용하였다. 몰드에 시료 페이스트를 채운 다음 폴리에스테르 필름과 유리판을 개재한 상태에서 여분의 시료를 제거하고 상면과 하면에서 각각 40초씩 총 80초간 광중합을 시행하였다. 각 시험군 공히 각각 10개씩의 시편을 준비한 다음 37℃의 증류수 중에 60일간 보관하였다. 60일간의 수중침적 후 양면을 #2000 SiC 연마지 단계까지 연마하고 시편의 표면에 2.0% NaF 겔(Swirl, USA)을 5일 간격으로 12회 도포하였다. 방출된 불소량은 불소이온전극(Model 96-09, Orion, USA)을 사용하여 측정하였고, 표면층의 변화를 조사하기 위해 표면조도측정기(SV-3000, Mitutoyo Co, Japan)를 사용하여 cut off 치 0.25 ㎜의 조건에서 중심선평균거칠기(R_a)와 최대높이(R_y)를 측정하였으며, 주사전자현미경(SM-350, Topcon, Japan)으로 표면을 관찰하였다. 측정된 결과는 시험재료 사이의 유의차를 조사하기 위해 oneway anova test에 의해 통계적 유의성을 검증한 다음, 각 군 간의 차이를 Tukey 다중범위검증법에 의해 비교하였다.

Table 1. Restrorative fluoride-releasing materials used in this study

Material	Code	Composition	Manufacturer
Fuju II LC Improved	FL	Ca-Al-F silicate glass, copolymer of acrylic acid and malic acid, HEMA, H_2O	GC Co, Tokyo, Japan
Compoglass F	CF	UDMA, TEGDMA, cycloaliphatic dicarboxylic acid dimethacrylate (22.75wt%), ytterbium trifluoride, Ba-Al-fluorosilicate glass, and spheroid mixed oxide (77wt%)	Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan, Liechtenstein
Dyract® AP	DA	Strontium-fluoro-silicate glass, strontium fluoride, Polymerisable resins, TCB resin	Densply Detrey Gmbh, D-78467 Konstanz, Germany
F2000	FT	fluoro alumino, silicate glass, CDMA, GDMA	3M ESPE AG, D-82229 Seefeld, Germany
Gradia Direct	GD	Silica, organic filler UDMA	GC Co, Tokyo, Japan
Tetric® Ceram	TC	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA (20.2%), barium glass, ytterbium trifluoride, Ba-Al-fluorosilicate glass, highly dispersed silicon dioxide and spheroid mixed oxide (79%)	Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan, Liechtenstein

Ⅲ. 결 과

Fig. 1은 각각의 시험재료 표면에 5일 간격으로 2.0% NaF 겔을 12회 반복 도포한 후의 불소 방출량 변화를 도시한 것이다. 도포 직후에 급격한 방출량 증가를 보이지만 곧바로 일어나는 급격한 방출량 감소로 인해 2~3일 경과 후 초기 방출 수준으로 저하를 보였다. 불소도포 후의 방출량 증가는 레진강화형 GI 수복재의 FL군에서 가장 높고, 불소 방출성 콤포짓트 레진의 GD군에서 가장 낮게 나타났으며, 콤포머의 FT군에서는 불소도포에 의한 방출량 증가를 보이지 않았다.

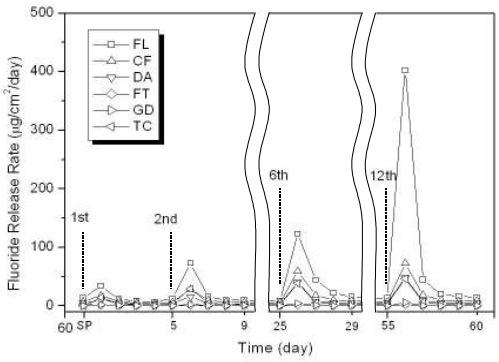

Fig. 1. The mean fluoride ions re-released for 1 day after application of 2.0% NaF gel. (Fluoride-releasing rates returned to base line within 3 days and the amount of fluoride-releasing were increased with repeating the fluoride recharging.)

Table 2는 1차, 2차, 6차 및 12차에 걸쳐서 불소를 도포하고 각각 1일이 경과한 시점에서 측정한 불소 방출량으로, FT군을 제외한 나머지 모든 군에서 불소 도포가 반복됨에 따라 방출량이 통계학적으로 유의한 증가를 보였다($P<0.01$). 또한 12차 도포군의 시험 재료 사이의 불소방출량을 비교한 결과, FL군에서 402.0 ㎍/㎠으로 가장 높고 FT군에서 1.7 ㎍/㎠으로 가장 낮게 나타났으며, Tukey 분석 결과, DA군과 TC군을 제외한 모든 군이 상호간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$).

Fig. 2는 불소 도포 전의 연마한 표면과 2.0% NaF 겔을 12회 도포한 후의 중심선 평균거칠기 R_a 값을 도시한 것이고, Table 3은 그의 결과치를 나타낸 것이다. 불소 도포 전후의 R_a 값을 비교해 보면, FT군을 제외한 나머지 모든 시험군에서는 유의한 증가를 보였다($P<0.01$). 또한 12회 불소 도포를 시행한 표면의 Tukey 분석 결과, FL군 및 TC군과 나머지 모든 군 사이에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$).

Fig. 3은 불소 도포 전의 연마한 표면과 2.0% NaF 겔을 12회 도포한 후의 최대거칠기 R_y 값을 도시한 것이고, Table 3은 그의 결과치를 나타낸 것이다. 불소 도포 전후의 R_a 값을 비교해 보면, FT군을 제외한 나머지 모든 시험군에서는 유의한 증가를 보였다($P<0.01$). 또한 12회 불소 도포를 시행한 표면의 Tukey 분석 결과, FL군과 TC군, DA군과 CF군, GD군과 FT군 사이에서 상호간에 통계학적으로 유의한 차이를 보였다($P<0.05$).

Fig. 4는 2.0% NaF 겔을 12회 도포한 표면의 주사

Table 2. Amount of fluoride ions (㎍/㎠/day) re-released for 1 day after application of 2.0% NaF gel

Material	1st	2nd	6th	12th
FL	33.8±9.7^{c}	73.0±13.1^{e}	122.9±18.6^{e}	402.2±50.6^{e}
CF	18.3±2.5^{b}	28.7±3.1^{d}	59.5±4.5^{d}	136.4±19.8^{d}
DA	10.1±1.8^{b}	16.0±2.9^{c}	40.2±2.8^{c}	69.6±15.7^{c}
FT	1.2±0.1^{a}	1.4±0.1^{a}	1.6±0.2^{a}	1.7±0.3^{a}
GD	1.9±0.3^{a}	2.8±0.5^{b}	4.4±0.7^{b}	6.1±1.5^{b}
TC	14.4±1.8^{b}	29.3±2.6^{d}	38.5±4.7^{c}	62.8±8.6^{c}

* Means in each column designated with the same superscript are not significantly different ($P>0.05$, ANOVA, Tukey's test).

Table 3. The mean Ra and Ry values (㎛) before and after 12th times application of 2.0% NaF gel

	Before		After	
	R_a	R_y	R_a	R_y
FL	0.198±0.050[a]	0.633±0.186[a]	1.632±0.535[a]	3.682±0.879[a]
CF	0.059±0.008[b]	0.223±0.055[b]	0.465±0.072[b]	1.962±0.315[b]
DA	0.092±0.018[b]	0.255±0.057[b]	0.972±0.276[b]	1.984±0.417[b]
FT	0.145±0.027[a]	0.105±0.028[b]	1.554±0.417[a]	1.279±0.218[c]
GD	0.071±0.013[b]	0.208±0.035[b]	0.519±0.092[b]	1.103±0.123[c]
TC	0.090±0.013[b]	0.551±0.077[a]	0.792±0.128[b]	3.737±0.727[a]

* Means in each column designated with the same superscript are not significantly different (P>0.05, ANOVA, Tukey's test).

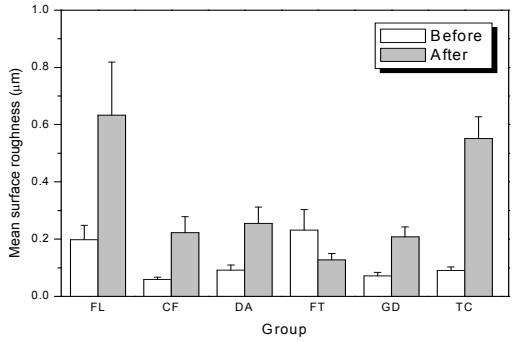

Fig. 2. The mean Ra values before and after 12th times application of 2.0% NaF gel.

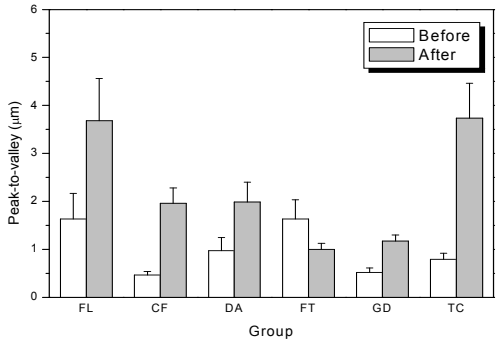

Fig. 3. The mean Ry values before and after 12th times application of 2.0% NaF gel.

전자현미경 사진이다. 레진강화형 GIC의 FL군 표면에서는 기질을 가로지르는 큰 균열 및 다수의 미세균열과 함께 필러의 탈락으로 인해 기질이 돌출된 양상을 보였다(a,b). 콤포머의 CF군, DA군 및 FT군의 표면에서는 필러의 부분적 탈락으로 인해 기질이 돌출된 양상을 보였지만, FT군이 상대적으로 매끈한 표면을 나타냈다(c~h). 불소 방출성 콤포짓트 레진의 GD군과 TC군의 표면에서는 미세필러의 부분적 탈락 양상이 관찰되었지만, GD군에 비해 TC군의 표면에서 상대적으로 거친 양상을 보였다(i~l).

Ⅳ. 고 찰

GI 수복재의 항우식 작용은 수복재료로부터 일어나는 지속적인 불소 방출에서 기인한다. Diaz-Arnold 등[13], Grobler 등[16]은 GIC의 불소 방출은 처음 24시간 동안 가장 높게 나타나고 7일이 경과한 후 급격한 감소를 보인다고 하였다. Diaz- Arnold 등[13]은 재래형 GIC와 레진강화 GI 수복재의 불소은 대부분의 재료에서 유사하고 처음 6주간에 걸쳐서 점진적인 평형상태에 접근하는 양상을 보인다고 하였고, Shaw 등[8]은 GI 수복재의 불소방출은 초기에는 다량의 급격한 방출을 보이지만 약 40일이 경과한 이후에는 콤포머와 유사한 수준의 낮은 방출량을 보인다고 하였다. Tay와 Braden[17]은 2.5년에 걸친 불소방출 양상을 조사한 결과, 2단계의 방출 특성을 보인다고 보고하였다. 첫 번째 단계는 짧고 빠르게 일어나지만, 두 번째 단계는 점진적이면서도 지속적으로 일어나며 불소방출속도의 미소한 변화

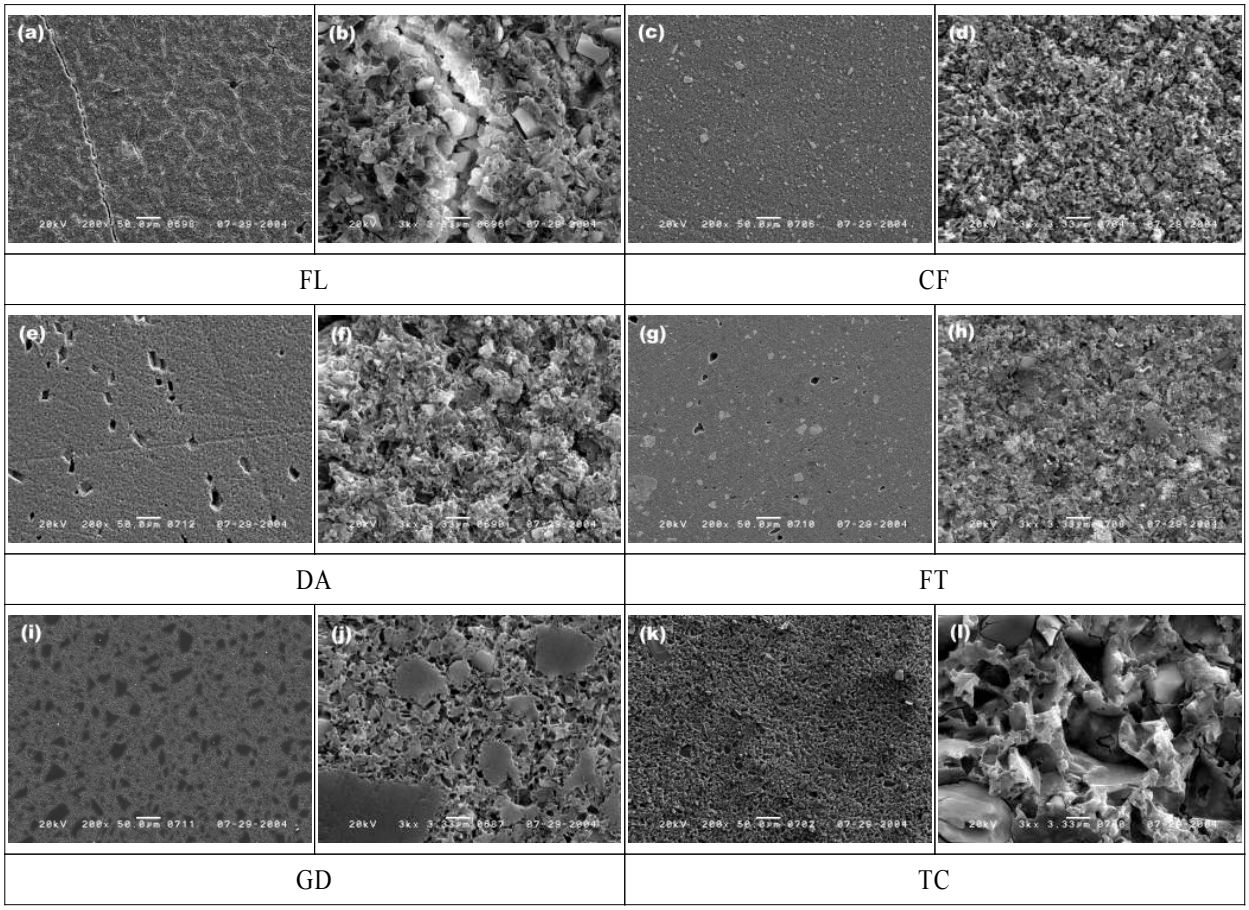

Fig. 4. Scanning electron micrographs after 12th times application of 2.0% NaF gel. (a) and (b) FL, (c) and (d) CF, (e) and (f) DA, (g) and (h) FT, (i) and (j) GD, and (k) and (l) TC.

를 보인다고 하였다. Rothwell 등[18]은 레진강화형 GI 수복재의 Fuji Ⅱ LC와 Vitremer에서 일어나는 초기의 높은 불소방출은 수분의 확산을 수반하는 표면층의 유실에서 기인한 것이라고 하였고, 콤포머인 Dyract에서 초기단계에 이러한 높은 불소방출을 보이지 않는 것은 불소방출이 단지 수분의 확산에 의해서만 일어나기 때문이라고 하였다. Rothwell 등[18], Creanor 등[19]은 레진강화형 GI 수복재는 재래형 GIC에 비해 더 높은 불소방출을 보이며, Anstice와 Nicholson[20]이 언급한 바와 같이, 이는 레진강화형 GI 수복재에 존재하는 유기물질과 다중산 기질에 의해 산-염기 반응이 지연되어 물에 노출되었을 때 더 높은 불소방출을 보이게 된다고 하였다.

불소 방출성을 보이는 GI 계 수복재료의 또 다른 특징은 불소를 흡수하는 능력이다[10,13,14]. Forsten[2]은 GI 수복재는 불소의 재충전이 가능하지만, 콤포머와 콤포짓트 레진에서는 불소의 재충전이 일어나지 않는다고 하였고, Rothwell 등[18]은 재래형 GIC, 레진강화형 GI 수복재 및 콤포머가 불소에 노출되었을 때 불소의 흡착과 재방출이 일어났지만 방출률은 곧바로 원래로 돌아가므로 이것은 체적확산효과가 아니라 표면확산효과라고 언급하였다. Kuramochi[21]는 재래형 GIC와 레진강화형 GI 수복재의 표면에 APF 겔을 도포하였을 때 불소 재방출의 초기단계에 비해 더 많은 불소방출을 나타냈으며, 불소도포로 인해 표면층에서 침습이 일어나지만 재료 자체의 강도에는 크게 영향을 미치지 않았다고 보고하였고, Xu와 Burgress[7]는 불소 재흡착 후 1일은 불소 방출량이 증가하나 2~3일 후에는 기준선까지 급격한 방출량 저하를 나타내며, 이는 불소를 도포하는 기간이 짧아서 표면에서만 재흡착이 일어나기 때문이라고 하였다. 또한 불소방출이 많을수록 재흡착력도 높지만 반면 기계적 성질이 저하를 보인다고 하였다.

본 연구에서는 구강 내 충전 후 오랜 기간이 경과된 불소방출성 수복재료의 불소의 재충전과 재방출 특성을 조사하기 위해 시행되었다. 불소방출의 초기단계에서 일어나는 급격한 방출이 불소도포 후의 방출에 미치는 영향을 배제하기 위해 불소도포 전 단계에 37℃의 증류수 중에 60일간 침적하였으며, 2.0% NaF 겔을 12회에 걸쳐서 반복적으로 도포하면서 일어나는 불소 방출량과 표면조도의 변화를 조사하였다. 불소도포 직후의 1일은 급격한 방출량의 증가를 보였지만 이후 2~3일간에 걸쳐서 기준선까지 저하를 나타내어 Rothwell 등[18], Xu와 Burgress[7]의 시험결과와 유사한 결과를 나타냈다. 불소도포 후의 방출량 증가는 레진강화형 GI 수복재의 FL군에서 가장 높고, 불소 방출성 콤포짓트 레진의 GD군에서 가장 낮게 나타났으며, 불소도포가 반복될수록 방출량의 증가와 함께 표면조도 또한 증가되는 경향을 보였는데, 이는 표면층 기질의 분해로 인해 불소의 재흡착을 위한 통로가 열려서 외부 불소에 보다 민감하게 반응하였을 뿐만 아니라 NaF 겔에 의해 글라스 필러의 침식과 분해가 일어났기 때문으로 생각된다. 콤포머의 FT군에서는 불소도포 후 재충전으로 인한 뚜렷한 증가를 보이지 않았을 뿐만 아니라 표면조도 또한 미소하게 감소하는 경향을 보였는데, 이는 불소도포에 의해서 표면에 노출된 글라스 필러의 용해가 거의 일어나지 않았거나 균일하게 진행되었기 때문으로 생각된다.

불소 방출성 수복재료의 불소국소도포에 의해 불소의 재충전이 가능하지만 지속적인 도포는 표면조도의 증가를 초래하므로 표면층의 강도저하와 함께 구강 내 수복물의 변색에도 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 구강 내 충전 후 오랜 기간이 경과된 불소 방출성 수복재료에 불소를 재충전하였을 때의 방출 특성과 불소도포가 표면의 변화에 미치는 영향을 평가하기 위해, 1종의 레진강화 GI 수복재, 3종의 콤포머 및 2종의 불소 방출성 콤포짓트 레진으로 시편을 제작하고 안정적인 불소방출을 유도하기 위해 60일간 37℃의 증류수 중에 침적한 다음 2.0% NaF 겔을 12회 반복 도포하면서 불소이온의 재방출량과 표면의 조도변화를 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 12회 불소국소도포 후의 불소 재방출량은 FL군 > CF군 > DA군과 TC군 순으로 높게 나타났다 ($P<0.05$).
2. FT군을 제외한 모든 시험재료군에서 불소국소도포 후의 재방출량과 표면조도가 증가하는 경향을 보였다.
3. 불소국소도포 후의 재방출량은 대부분의 서험재료에서 3일 이내에 초기방출수준으로 저하를 보였다.

참 고 문 헌

1. Jensen ME, Wefel JS, Hammesfahr PD. Fluoride-releasing liners: in vitro recurrent caries. *Gen Dent* 39:12-17, 1991.
2. Forsten L. Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and uptake. *Acta Odentol Scand* 53:222-225, 1995.
3. Wilson AD. Developments in glass-ionomer cements. *Int J Prosthodont* 2:438-446, 1989.
4. Bourke AM, Walls AW, McCabe JF. Light-activted glass polyalkenoate (ionomer) cements : the setting reaction. *J Dent* 20:115-120, 1992.
5. McLean JW, Nicholson JW, Wilson AD. Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials (guest editorial). *Quintessence Int* 25:587-589, 1994.
6. Attin T, Vataschki M, Hellwig E. Properties of resin-modified glass- ionomer restorative materials and two polyacid-modified resin composite materials. *Quintessence Int* 27:203-209, 1996.
7. Xu X, Burgess JO. Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials, *Biomaterials* 24:2451-2461, 2003.
8. Shaw AJ, Carrick T, McCabe JF. Fluoride Release from glass- ionomer and compomer restorative materials: 6-month data. *J of Dentistry* 26:355-359, 1998.
9. Forsten L. Short and long-term fluoride release from glass ionomer and other fluoride containing materials in vitro. *Scand J Dent Res* 98:179-185, 1990.
10. Takahashi K, Emilson CF, 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. DeSchepper EJ, Berr EAⅢ, Cailleteau JG, Tate WG. A comparative study of fluoride release from glass-ionomer cements. *Quintessence Int* 22:215-219, 1991.
12. Karantakis, P, Helvatjoglou-Antoniades M, Theodoridou-Pahini S, Papadogiannis Y. Fluoride release from three glass ionomer cements, a compomer, and a composite resin in water, artificial saliva, and lactic acid. *Oper Dent* 25:20-25, 2000.
13. Diaz-Arnold AM, Helmes DC, Wistrom DW, Swift EJJr. Short-term Fluoride Release/uptake of glass ionomer restoratives. *Dental Materials* 11:96-101, 1995.
14. Attin T, Buchalla W, Siewert C, Hellwig E. Fluoride release/uptake of polyacid-modified resin composites (compomers) in neutral and acidic buffer solutions. *J Oral Rehabil* 26:388-393, 1999.
15. Seppä L, Forss H, Ögaard B. The effect of fluoride application on fluoride release and the antibacterial action of glass ionomers. *J Dent Res* 72:1310-1314, 1993.
16. Grobler SR, Rossouw RJ, Van Wyk Kotze TJ. A comparison of fluoride release from various dental materials. *J Dent* 26:259-265, 1998.
17. Tay W, Braden M. Fluoride ion diffusion from poly-alkenoate (glass-ionomer) cements. *Biomaterials* 9:454-456, 1998.
18. Rothwell M, Anstice HM, Pearson GJ. The uptake and release of fluoride by ion-leaching cements after exposure to toothpaste. *J of Dentistry* 26:591-597, 1998.
19. Creanor SL, Carruthers LMC, Saunders WP, Strang R, Foye RH. Fluoride uptake and release. Characteristics of glass ionomer cements. *Caries Research* 28:322-328, 1994.
20. Anstice HM, Nicholson JW. Studies on the setting of polyelectrolyte cements, part 2: The effect of organic compounds on a glass poly(alkenoate) cement. *J Mater Sci, Materials in Medicine* 5:299-302, 1994.
21. Kuramochi KI. Characteristics of fluoride-releasing restorative materials after fluoride recharging. *J J Dent Mater* 22:485-495, 2003.

Correspondence to: Dr. Kwang-Won Lee, Department of Conservative Dentistry, School of Dentistry, Chonbuk National University, 634-18, Geumam-dong, Chonju, Chonbuk, 561-712, Korea, E-mail: mkyou102@hanmail.net, Tel: 82-63-250-2119, Fax: 82-63-250-2129