

Giomer의 불소 유리 양상 및 미세경도에 관한 연구

김상민 · 박호원 · 이주현 · 서현우

강릉원주대학교 치과대학 소아치과학교실 및 구강과학연구소

국문초록

Giomer는 글라스 아이오노머의 불소 유리 능력과 복합 레진의 물리적 성질을 동시에 가지고 있는 새로운 형태의 치과용 수복 재료로 소개되고 있다. 그러나, 최근에 시판되고 있는 giomer의 실제 불소 유리 수준과 지속적인 불소 유리에 따른 물성 저하에 관한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 giomer의 시간 경과에 따른 불소 유리량과 미세경도를 측정하고 기존에 소개된 불소 유리 수복재료인 레진 강화형 글라스 아이오노머 및 컴포머와 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 복합 레진을 제외한 모든 수복재에서 불소 유리가 관찰되었으며 첫째 날 유리량이 가장 높았고 이후 급격히 감소하여 7일 후부터는 완만하게 유지되는 양상을 보였다.
2. 31일간 누적 불소 유리량은 III군(레진 강화형 글라스 아이오노머)에서 57.941 ppm으로 가장 높았으며 II군(컴포머)에서 14.643 ppm, I군(giomer)에서 2.957 ppm 순으로 높은 유리량을 보였다.
3. 수복재의 미세경도는 IV군(복합 레진)에서 가장 높았으며 I군, II군, III군 순으로 높게 측정되었다.
4. 시간 경과에 따라 미세경도는 7일째 소폭 상승하였다가 31일째 다소 감소하는 양상을 보였으나 1일째와 비교시 차이는 없었다($p > 0.05$).

이번 연구 결과, giomer(Beautifil II)는 컴포머(F2000 Compomer)에 비하여 낮은 불소 유리량과 유사한 미세경도를 보였다.

주요어: 자이오머(Giomer), PRG 필러, 불소 유리, 미세경도

I. 서 론

치아 우식은 치과 질환 중 가장 흔한 만성 질환으로, 이 중 이차 우식은 상당한 빈도를 차지하고 있다¹⁾. 이차 우식은 일반적으로 수복물 실패의 가장 흔한 원인 요소이며²⁾, 특히 구강위생 관리 능력에 한계가 있는 소아환자의 경우에는 그 빈도가 더욱 높은 것으로 알려져 있다^{3,4)}. 이러한 이차 우식의 발생은 수복물과 치아 계면의 미세누출 및 불소 유리 능력 등에 의해 좌우되는데⁵⁾, 특히 수복물에서의 지속적인 불소 유리 능력은 이차 우식의 예방에 있어 임상적으로 매우 중요하다⁶⁾.

불소는 다양한 기전을 통하여 우식 발생을 억제하고 초기 우식의 재석회화를 촉진하는 것으로 알려져 있다. 불소의 항우식 작용은 불화인회석 형성에 의한 내산성 증가, 미생물의 효소 생성 억제 및 항균작용 등에 의해 나타난다⁷⁾.

불소를 유리하는 대표적인 수복물로는 글라스 아이오노머가 있으나⁸⁾ 복합 레진에 비해 용해도가 높고 초기 물성이 취약하다는 단점이 있다^{9,10)}. 이로 인해 글라스 아이오노머의 장점인 불소 유리 능력은 유지하면서 단점으로 지적된 취약한 물성을 개선하고자 하는 시도들이 있어 왔다.

1990년대 초에 소개된 레진 강화형 글라스 아이오노머는 기존의 글라스 아이오노머 시멘트에 레진 성분을 첨가하여 광중합을 통해 수분 오염 및 물성을 개선하고자 개발되었다¹¹⁾. 레진 강화형 글라스 아이오노머는 기존의 글라스 아이오노머 시멘트와 유사한 불소 유리 및 항우식 효과를 지니며, 광중합 반응으로 초기 강도가 결정되므로 글라스 아이오노머의 단점이었던 수분 민감도가 광중합 이후 감소하고, 초기에는 높은 표면강도를 보이는 것으로 보고되었다^{10,12)}. 하지만 여전히 낮은 물리적 성질과 치질과의 결합력의 한계로 인해 임상 적용에 제한이 있다^{10,13)}.

교신저자 : 박 호 원

강원도 강릉시 지변동 123번지 / 강릉원주대학교 치과대학 소아치과학교실 / 033-640-3158 / pedo@gwnu.ac.kr

원고접수일: 2010년 08월 08일 / 원고최종수정일: 2010년 10월 18일 / 원고채택일: 2010년 10월 21일

*본 연구는 강릉원주대학교 치과병원 2010년도 학술연구조성비 지원으로 이루어졌음.

다중산 강화 복합 레진인 컴포머는 복합 레진과 글라스 아이오노머의 단점들을 상호 보완하기 위한 목적으로 개발되었다¹⁴⁾. 컴포머는 산성화된 이중 기능성 레진 단량체와 fluoroaluminosilicate glass 입자로 구성되어 초기 광중합 후 구강내 수분을 흡수하여 이차적인 산-염기 반응의 결과로 불소를 유리한다고 알려져 있다^{10,15)}. 그러나, 글라스 아이오노머에 비해 낮은 불소 유리량과 복합 레진에 비해 취약한 물리적 성질이 단점으로 지적된 바 있다¹⁰⁾.

최근에 pre-reacted glass ionomer(PRG) technology를 이용한 'Giomer' (Glass Ionomer + Polymer)라는 불소유리 광중합 레진 제제가 개발되었다¹⁶⁾. PRG filler는 수분이 있는 조건 하에서 fluoroaluminosilicate glass(FASG)와 polyalkenoic acid(PAA) 사이의 산-염기 반응에 의해 siliceous hydrogel을 형성하고 이를 동결 건조시켜 얻은 xerogel을 분쇄 후 실란 처리하여 특정 크기의 입자로 제조된다^{17,18)}.

Giomer는 글라스 아이오노머의 불소 유리 능력과 복합 레진의 물리적 성질을 동시에 가지고 있는 새로운 형태의 치과용 수복 재료로 소개되고 있다¹⁶⁾. 그러나, 최근에 시판되고 있는 giomer의 실제 불소 유리 수준과 지속적인 불소 유리에 따른 물성 저하에 관한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 giomer의 시간 경과에 따른 불소 유리량과 미세경도를 측정하고 기존에 소개된 불소 유리 수복재료인 레진 강화형 글라스 아이오노머 및 컴포머와 비교하여 새로 소개된 giomer의 임상적 유용성을 평가하고자 한다.

II. 연구 재료 및 방법

1. 연구 재료

실험군으로는 giomer인 Beautifil II(Shoufu Inc., Japan)를 I군으로, 컴포머인 F2000 Compomer(3M ESPE, USA)

를 II군으로, 레진 강화형 글라스 아이오노머인 GC Fuji II LC Capsule(GC Co., Japan)을 III군으로 설정하였다. 대조군으로는 복합 레진인 Filtek™ Z350(3M ESPE, USA)을 IV군으로 설정하였다(Table 1).

광중합기는 할로겐 중합기인 Curing light XL 3000(3M ESPE, USA)을 사용하였고, 광도 적정을 위해 Radiometer (Dent-America, USA)를 사용하여 10회마다 한번씩 반복 측정하여 조사하였다.

불소 유리량 측정을 위해 pH/ISE meter(720A+, Thermo Orion, USA)와 불소이온 전극(9609BNWP, Thermo Orion, USA)을 사용하였다. 시편 표면의 미세경도 측정을 위해 Hardness testing machine(HM-125, Mytutoyo, Japan)을 사용하였다.

2. 연구 방법

1) 시편 제작

시편 제작을 위해 내경 5 mm, 높이 2 mm 공간을 형성한 10×20×2 mm 직육면체 테플론 주형을 제작하여 사용하였다. 주형에 각 시료를 채우고 투명한 mylar strip으로 덮은 후 유리판을 위치시켜 편평한 면이 되도록 하였다. 각 시편은 제조사의 지시에 따라 40초간 광중합을 시행하였다. 각 재료마다 10개씩 총 40개의 시편을 제작하였다. 3 ml 탈이온수를 채운 폴리에틸렌 튜브에 각 시편을 넣고 Parafilm(American National Can, USA)으로 밀봉하여 연구 기간동안 37℃로 고정된 항온기(SIB-1, SEO-KWANG SCIENTIFIC CO., Korea)에 보관하였다.

2) 불소 유리량 측정

보관 후 처음 7일간은 1일 간격으로, 이후부터 31일까지는 3일 간격으로 불소 유리량을 측정하였다. 각 시편은 유리된 불소

Table 1. Materials used in this study and sample grouping (N=10)

Group	Material	Composition	Manufacturer
I	Beautifil II (Giomer)	IIBis-GMA, TEGDMA Fluoroboroaluminosilicate glass	Shoufu Inc., Japan
II	F2000 Compomer (Compomer)	Fluoroaluminosilicate glass colloidal silica UDMA GDMA	3M ESPE, USA
III	GC Fuji II LC Capsule (Resin-modified glass-ionomer)	Polyacrylic acid 2-Hydroxyethyl methacrylate Proprietary ingredient 2,2,4 trimethyl hexamethylene-dicarbonate TEGDMA	GC Co., Japan
IV	Filtek™ Z350 (Composite resin)	Alumino-silicate glass Bis-GMA, UDMA, Bis-EMA Zirconia-silica filler	3M ESPE, USA

Bis-GMA: bisphenol A glycidylmethacrylate, TEGDMA: triethylene glycol dimethacrylate, UDMA: urethane dimethacrylate, GDMA: glycerol dimethacrylate, Bis-EMA: Ethoxylated bisphenol A dimethacrylate

*N= number of specimen

량 측정 후 새로운 탈이온수로 교환해주었다.

불소 유리량 측정을 위해 폴리에틸렌 튜브에서 시편을 꺼낸 후 동량의 TISAB II 용액(Total Ionic Strength Adjustment Buffer, Thermo Orion, USA)을 미세피펫(Nichipet EX, NICHIRYO, Japan)을 사용하여 첨가한 후 자기혼합기로 혼합하였다. 제조사의 지시에 따라 pH/ISE meter에 불소이온 전극을 부착하여 용액 내에 유리된 불소농도를 측정하였다. 매 측정시마다 측정에 앞서 0.1 ppm, 1 ppm, 2 ppm, 10 ppm의 불소 표준 용액(Thermo Orion, USA)으로 농도 보정 과정을 시행하였다.

3) 미세경도 측정

각 시편은 저장 후 1일, 7일, 31일에 미세경도 측정을 시행하였다. Hardness testing machine을 이용하여 측정부위에 200 g의 하중을 10초간 적용하였다. 시편에 형성된 다이아몬드형 압흔의 장축길이를 측정하여 미세경도(Vicker's Hardness Number, VHN)를 구하였다. 각 시편 당 3 부위를 측정하여 평균치를 산정하였다.

4) 통계 분석

각 재료에 따른 기간별 불소 유리량 및 미세경도의 측정치를 윈도우용 SPSS 17.0K 프로그램을 이용하여 통계 분석하였다. One-way ANOVA로 유의성을 검정하고 Scheffe's test로 사후검정을 시행하였다. 유의수준은 0.05로 하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 불소 유리량 측정 결과

대조군을 제외한 모든 실험군에서 불소 유리량은 첫째 날 가장 높게 측정되었고 이후 급격히 감소하여 7일 이후부터는 완만하게 유지되는 양상을 보였다(Table 2, Fig. 1). 31일 동안 누적 불소 유리량은 III군에서 57.941±1.270 ppm으로 가장 높았으며 다음으로 II군(14.643±0.546 ppm), I군(2.955±0.195 ppm) 순으로 높게 측정되었다. 누적 불소 유리량은 각 군간 차이를 보였다(p<0.05). IV군인 Filtek™ Z350에서는 불소 유리가 관찰되지 않았다(Table 3, Fig. 2).

Table 2. Daily fluoride release from 1 to 31 days (Mean±SD ppm)

Group (n=10)	Day					
	1	3	7	13	31	
I	0.720±0.082	0.215±0.033	0.065±0.013	0.057±0.011	0.035±0.005	
II	3.005±0.111	0.749±0.093	0.609±0.047	0.358±0.021	0.234±0.019	
III	10.372±0.611	3.600±0.433	2.317±0.236	1.431±0.108	0.943±0.106	
IV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	

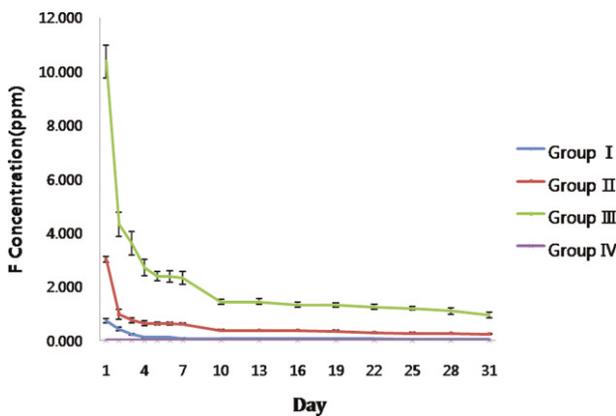


Fig. 1. Daily fluoride release(ppm) over 31 days.

Table 3. Cumulative fluoride release over 31 days (Mean±SD ppm)

Group (n=10)	Cumulative fluoride release
I	2.955±0.195 ^a
II	14.643±0.546 ^b
III	57.941±1.270 ^c
IV	0.000 ^d

*values in columns having the same letter were not significantly different (P>0.05)

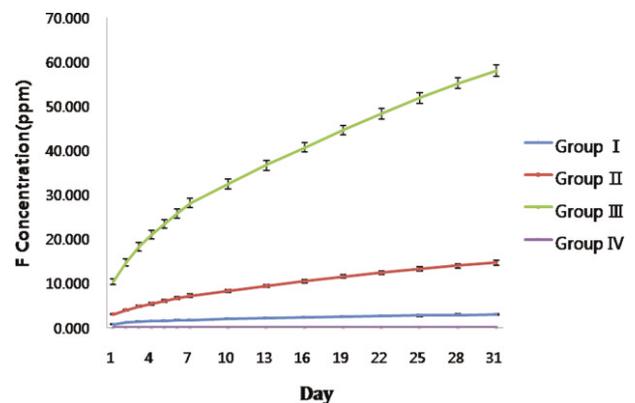


Fig. 2. Cumulative fluoride release(ppm) over 31 days.

2. 미세경도 측정 결과

미세경도는 대조군인 IV군에서 가장 높았으며, 그 다음으로 I군, II군, III군 순으로 높게 측정되었다. 미세경도는 각 군간 차이를 보였으나(p<0.05), I군과 II군 사이에는 차이가 없었다(Table 4). 기간별로 미세경도는 1일 후와 비교시 7일 후에 I, IV군에서는 거의 차이가 없었으나 II, III군에서는 다소 증가하였다. 31일 후에는 모든 군에서 1일 후와 비교시 다소 감소되는 양상을 보였지만 측정 시기에 따른 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다(Fig. 3).

Table 4. The mean microhardness (Mean±SD VHN)

Group (n=10)	Day		
	1	7	31
I	63.237±3.841 ^a	63.723±1.818 ^a	61.813±2.903 ^a
II	60.697±2.530 ^b	61.427±3.653 ^a	60.630±2.545 ^a
III	32.757±2.466 ^b	33.490±2.204 ^b	31.383±1.461 ^b
IV	72.830±4.736 ^c	72.907±2.962 ^c	72.097±1.819 ^c

*values in columns having the same letter were not significantly different (P>0.05)

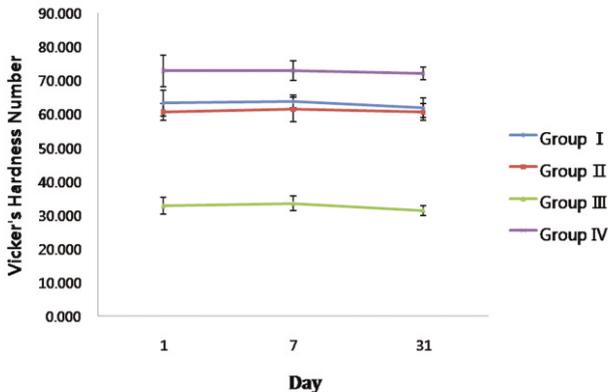


Fig. 3. The changes of surface microhardness values(VHN).

IV. 총괄 및 고찰

이차 우식은 구강 내 수복물의 실패와 재수복의 가장 흔한 원인 중 하나로 알려져 있으며, 특히 우식 활성도가 높은 소아 환자에서는 더욱 높은 발생을 보인다²⁻⁴). 이차 우식의 발생 빈도에 관해 Klausner 등¹⁹)은 5511개의 아말감 수복 중 53%에서 이차 우식의 발생을 보고한 바 있으며, Wilson 등²⁰)은 글라스 아이오노머 수복물의 재수복 원인으로 이차 우식이 30% 정도를 차지한다고 하였다. Bernardo 등²¹)은 472명의 소아를 대상으로 한 연구에서 수복물 실패의 주요 원인으로 이차 우식을 지적하였으며 아말감 수복물과 복합 레진 수복물에서 각각 66.7%,

87.6%를 차지한다고 보고하였다. 이차 우식은 치아-수복물 계면의 완벽한 변연 봉쇄를 이뤄 미세누출을 방지하고⁵) 수복재료부터의 불소 유리를 통한 항우식 작용을 통해 예방 할 수 있다⁶). 수복재료부터 유리된 불소는 불화인회석 형성을 통해 치질의 내산성을 증가시키고 우식 유발 세균의 효소 생성을 억제하는 등의 기전을 통해 치질의 재광화를 촉진시켜 이차 우식을 예방하는 것으로 알려져 있다⁷).

글라스 아이오노머는 불소를 유리하는 대표적인 수복재료로서 alumino-silicate glass의 강도, 불소 유리 성질과 polyacrylic acid의 생체적합성, 치질에 대한 부착 능력을 결합하기 위한 목적으로 개발되었으며 이 두 성분의 산-염기 반응을 통해 경화된다²²). 글라스 아이오노머는 우수한 불소 유리 및 재충전 능력을 보이는데, Hicks 등²³)은 글라스 아이오노머로 수복시 우식 병소 본체의 깊이는 17%, 주변의 외부 병소 깊이는 37%까지 감소됨을 보고하였고 이는 불소가 음이온과 교환, 유리되어 인접 치면의 우식 저항성을 증가시키기 때문이라고 하였다. Okida 등²⁴)은 글라스 아이오노머가 다른 치과용 수복 재료에 비해 치아-수복물 계면으로부터 더 넓은 범위까지 탈회 저항성을 보이며 이는 재료 자체의 불소 농도에 의존한다고 하였다. 하지만, 이런 장점에도 불구하고 글라스 아이오노머는 복합 레진에 비해 마모 저항성, 인장 강도, 심미성 등이 떨어지고 수분에 민감하여 조각이 불편한 단점이 있어 교합압이 가해지는 부위나 높은 심미성을 요구하는 부위에는 사용이 제한적이다^{9,10}). 이러한 한계점들을 극복하고자 글라스 아이오노머의 장점과 복합 레진의 장점을 겸비한 수복재의 개발에 대한 노력들이 이어져 왔으며, 1990년대 초에 레진 강화형 글라스 아이오노머와 컴포머가 소개되어 임상에서 사용되고 있다. 그러나, 기대와는 달리 복합 레진보다 낮은 물성과 글라스 아이오노머보다 미약한 불소 유리량으로 인해 역시 임상적 사용에 제한이 있는 실정이다^{10,13}).

최근에 소개된 giomer는 pre-reacted glass ionomer(PRG) filler를 포함한 불소 유리 광중합 레진 체제로서 제조사에서는 기존의 복합 레진이나 컴포머와는 다른 새로운 범주의 재료로 설명하고 있다. PRG filler는 fluoroaluminosilicate glass (FASG)와 polyalkenoic acid(PAA) 사이의 완전한(Full reaction type) 혹은 부분적인(Surface reaction type) 반응에 의해 제조되며 글라스 코어, 글라스 아이오노머 층, 표면 변형 층의 3가지 층을 이룬다^{16,18}). 글라스 아이오노머 층에서는 Sr²⁺, Al³⁺, SiO₃²⁻, BO₃³⁻, Na⁺, F⁻ 이온이 유리되어 giomer의 불소 유리 및 재충전 능력에 있어 핵심적인 역할을 한다^{25,26}). 제조사에 의하면 giomer는 컴포머와 비슷한 정도의 불소 유리 능력과 복합 레진에 견줄 만한 물성을 지니며 우수한 생체 적합성, 심미성, 항치태 작용 및 낮은 수축률 등이 장점으로 제시되고 있다¹⁶). Kamijo 등²⁷)은 레진 기질에 PRG filler 첨가 시 재료의 불소 유리 및 재충전 능력이 향상되며 이는 filler의 함량과 비례함을 보고하였으며, Yap 등²⁸)은 giomer가 복합 레진이나 컴포머 등의 수복재보다 유의하게 높은 표면 경도를 보이며 열순환 후에 경도가 증가됨을 관찰한 바 있다. Roberts 등¹⁷)은 기존의 불소 유리 수복재의 filler로 주로 사용된 NaF는 많은 양의

불소를 유리하지만 나트륨 이온과 불소 이온의 용출로 인해 재료 자체의 구조적 붕괴를 야기한다고 하였다. 이에 반해 PRG filler는 미리 반응된 hydrogel 내부에서 불소 이온과 반대 양이온의 리간드 교환을 통해 지속적으로 불소를 유리하므로 내구성 유지되는 것으로 알려져 있다¹⁸⁾.

이번 연구에서 불소를 함유하는 치과용 수복재의 불소 유리량을 측정된 결과 복합 레진을 제외한 모든 수복재에서 불소 유리가 관찰되었으며 불소 유리량은 첫째 날 가장 높았고 이후 3일 동안 급격히 감소하여 7일 이후부터는 완만한 상태로 일정 불소량이 유지되는 양상을 보였다. Xu와 Burgess²⁹⁾는 수종의 불소 유리 수복재의 불소 유리 양상에 관한 연구에서 소위 'burst effect'라 불리는 초기의 높은 불소 유리에 이은 이후 3일간의 급격한 유리량 감소와 장기간 동안에 낮은 수준으로 유지되는 불소 유리 양상을 관찰하였다. 또한 전통적인 글라스 아이오노머와 레진 강화형 아이오노머는 'burst effect' 이후 불소 유리량이 지속적으로 감소되는 반면 컴포머와 불소 유리 복합 레진은 낮은 수준이지만 불소 유리량이 일정한 수준으로 유지되었다. 이러한 현상은 각 수복재의 초기 불소 유리량의 차이에 기인하는 것으로 생각된다. 여러 문헌들에서도 이와 유사한 불소 유리 양상이 보고된 바 있으며^{26,27,30-32)}, 이번 연구에서도 이러한 양상을 확인하였다.

불소 유리량은 불소를 함유하는 수복재들간에 유의한 차이를 보였다. III군인 GC Fuji II LC Capsule에서 가장 높은 유리량을 보였으며, I군인 Beautifil II에서 가장 낮은 유리량을 보였고 7일 이후의 불소 유리량은 상당히 미약한 수준이었다. 이는 giomer는 컴포머보다 우수하거나 유사한 정도의 불소 유리 및 재충전 능력을 보인다고 한 제조사에서 제시한 자료¹⁶⁾와 차이를 보이는데 이 자료에서 비교한 컴포머 제품은 Dyract AP(DeTrey Dentsply, Germany)로서 여러 문헌들에서 낮은 불소 유리 및 취약한 물성이 지적된 바 있다. Al-Naimi 등³³⁾은 중성 타액 조건에서 Dyract AP가 GC Fuji II LC에 비해 약 1/6~1/7 정도 낮은 불소 유리를 보인다고 하였다. 황 등³⁴⁾은 같은 컴포머 계열인 F2000 Compomer와 Dyract AP의 불소 유리량 비교 시 F2000 Compomer에서 대략 6배 정도 높은 초기 불소 유리를 관찰하였으며 불소 유리의 관점에서 보면 F2000 Compomer가 Dyract AP보다 우수한 재료라고 하였다. 이번 연구에서 초기 불소 유리량은 Beautifil II에 비해 GC Fuji II LC Capsule은 10~15배, F2000 Compomer는 3~5배 정도 높은 수치를 보여 Beautifil II는 F2000 Compomer보다 낮은 수준의 불소 유리량을 보이는 것으로 나타났다. Yap 등³⁵⁾의 연구에 의하면 giomer와 같이 불소를 유리하는 복합 레진은 연구 기간 중 상당히 미미한 불소 유리를 보였으며 2주 후부터는 불소 유리가 중지되었다고 하였으나, 본 연구에서 Beautifil II는 낮은 농도이긴 하지만 연구 기간 동안 지속적인 불소 유리를 관찰할 수 있었다.

수복재의 불소 유리에 영향을 미치는 요인에는 수복재의 분류와 불소 함유량, 용해도, 필러의 조성 및 양 등의 재료 내적인 요인과 저장 용액, pH, 시편 표면적, 재료 혼합 과정 등의 외적

인 요인이 있다^{12,27,36)}. Wiegand 등¹²⁾은 글라스 아이오노머, 레진 강화형 글라스 아이오노머, 컴포머, 복합 레진으로 이어지는 연속된 스펙트럼에서 일반적으로 글라스 아이오노머 방향으로 갈수록 높은 불소 유리를 보이며, 복합 레진 방향으로 갈수록 우수한 물성을 보인다고 하였다. Giomer는 연속된 스펙트럼 상에서 컴포머와 복합 레진 사이의 재료로 분류할 수 있으므로 컴포머 보다 낮은 불소 유리량을 예상해 볼 수 있다.

대체로 수복재의 불소 함유량이 높을수록 불소 유리량 역시 증가하는 것으로 알려져 있으나 컴포머와 불소 유리 복합 레진의 경우 불소 함유량이 높다고 해서 불소 유리량이 글라스 아이오노머나 레진 강화형 글라스 아이오노머보다 높은 것은 아니다. 컴포머와 불소 유리 복합 레진은 주된 경화 반응이 광중합으로서 중합 후 불소는 레진 기질 내의 필러 입자에 강하게 결합되어 자유롭게 움직이지 않게 된다³⁷⁾. Giomer 또한 광중합에 의한 초기 경화 후에는 이와 유사한 양상을 보일 것으로 추측된다.

수복재의 불소 유리 기전과 관련하여 레진 기질 내로 수분이 유입되면 필러 입자로부터 불소가 유리되어 농도 차에 의해 주변으로 확산이 일어난다¹²⁾. Giomer에 적용된 PRG filler의 주 성분인 fluoroaluminosilicate glass 자체는 strontium fluoride(SrF₂)나 ytterbium trifluoride(YbF₃)보다 높은 용해도로 인해 더 많은 양의 불소를 유리한다고 알려져 있다²⁹⁾. 하지만 PRG filler는 제조시 실란 처리를 거치게 되며 이로 인해 필러와 레진 기질과의 결합이 향상되어 수분 흡수가 적어 용해도가 낮아진다.

또한 Beautifil II 자체의 용해도는 -2.8 µg/mm³으로 ISO 기준(7.5 µg/mm³)이나 치과용 수복재인 Z100™(2.75 µg/mm³), Dyract(0.2 µg/mm³) 보다 낮은 수준이다¹⁶⁾. 따라서 이러한 PRG filler의 수분에 대한 안정성 및 Beautifil II의 낮은 용해도가 낮은 불소 유리와 관련이 있는 것으로 생각된다.

불소 저장고로서 수복재의 능력은 수복재의 종류와 흡수성, 불소에 대한 노출 빈도, 적용한 불화 제제의 종류와 농도 등에 의존한다^{12,31,38,39)}. Preston 등³⁸⁾은 재료의 흡수성에 따라 불소의 흡수 및 재충전 깊이가 결정되며 상대적으로 비흡수성의 재료는 표면 부위에만 불소를 흡수하는 반면에 흡수성이 높은 재료는 내부 깊이로 이온을 흡수함을 보고하였다. Attar와 Onen³¹⁾은 글라스 아이오노머가 컴포머보다 유의하게 높은 불소 재충전 능력을 보이며 이는 컴포머가 글라스 아이오노머보다 복합 레진에 더욱 근접한 재료이기 때문이라고 하였다. 여러 문헌 보고에 의하면 일반적으로 초기 불소 유리가 높은 재료일수록 우수한 재충전 능력을 보이지만 초기 불소 유리량에는 미치지 못하는 것으로 알려져 있다^{26,27)}.

현재까지 수복물 주위의 이차 우식을 예방하기 위한 최소한의 불소 농도 또는 가장 이상적인 불소 농도는 알려져 있지 않다⁴⁰⁾. DeSchepper 등⁴¹⁾은 20 ppm의 농도에서 세균에 대한 항균 효과를 보고하였고 Xu와 Burgess²⁹⁾는 *In vitro* 연구에서 수복재로부터 1개월 동안 200~300 µg/cm² 정도 불소가 유리된다면 이차 우식을 완전히 억제할 수 있다고 하였다. 여러 문헌에 의하면 미량의 불소라도 탈회 용액 내에서 범람질의 용해 속

도 및 광물질 소실을 감소시킬 수 있음이 알려져 있으나^{42,43)}, 적정 불소 농도에 관한 연구는 제한적인 사항이기 때문에 임상적으로는 지속적으로 높은 불소 유리를 보이는 재료가 선호되고 있다. 이번 연구 결과 Beautifil II는 F2000 Compomer, GC Fuji II LC Capsule보다 연구 기간동안 유의하게 낮은 불소 유리를 보였으나 낮은 농도이지만 지속적으로 유리되는 양상을 보였다. 이는 연속된 스펙트럼 상에서 복합 레진 쪽으로 갈수록 낮은 불소 유리를 보인다는 기존의 연구들과 일치하며 초기 광중합 후 이차적으로 수분 흡수를 통한 산-염기 반응이 일어나는 컴포머와 달리 giomer의 경화 반응은 복합 레진과 유사하게 광중합 반응에 의존하기 때문인 것으로 추측된다. Beautifil II의 필러 함유량은 무게비 83.3%, 부피비 68.6% 정도로 이번 연구에 사용된 다른 재료들에 비해 비슷하거나 높은 수준이다⁴⁴⁾. 여러 문헌 보고에 의하면 불소 유리 필러 함유량이 높다고 하여 불소 유리 또한 높은 것은 아닌 것으로 알려져 있다. 그러나 실제 구강 내에 수복된 재료에서는 사용에 따른 지속적인 마모로 인해 불소 유리 필러 함유량이 높은 재료에서 더 높은 불소 유리를 보일 가능성이 있을 것으로 생각되며 마모도에 따른 불소 유리에 관한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다.

Xu와 Burgess²⁹⁾는 불소 유리와 물리적 성질은 음의 상관 관계를 보이며 이는 불소 유리 및 재충전 능력에 있어 중요한 역할을 하는 재료의 다공성이 물리적 성질에는 악영향을 미치기 때문이라고 하였다. 이들은 수복재를 탈이온수에 2개월 동안 보관하였을 때 48%의 압축 강도 감소를 보고한 바 있으나 Bayindir와 Yildiz⁴⁵⁾는 증류수에 60일 동안 보관 후에도 재료의 미세경도는 차이가 없다고 하여 시간 경과에 따른 물성 변화에 관한 평가가 필요하리라 생각되었다. 이번 연구 결과 각 재료의 미세경도는 시간 경과에 따른 유의성있는 변화는 관찰되지 않았다. 7일 후 미세경도 측정시 Beautifil II와 Filtek™ Z350에서는 큰 변화가 없었으나 F2000 Compomer와 GC Fuji II LC Capsule은 다소 증가되는 경향을 보였다. 이는 복합 레진 계통의 재료는 광중합 후 약 24시간 후 암반응이 대부분 완료되는 반면에 글라스 아이오노머 계통의 재료에서는 수분 흡수를 통한 경화 반응이 광중합 후에도 장기간 지속되기 때문인 것으로 생각된다. 31일 후에는 모든 재료에서 미세경도의 감소가 관찰되었는데 재료의 수분 흡수 및 불소 유리에 따른 물성 저하의 가능성을 암시한다고 볼 수 있다.

이번 연구의 한계점으로 첫째, 시편의 저장 매체로 탈이온수만 사용했다는 점을 들 수 있다. 여러 문헌들에서 대체로 산성 조건에서 불소 유리가 증가함을 보고하고 있다⁴⁶⁻⁴⁸⁾. 산성 용액과 타액 내에서의 불소 유리 양상은 탈이온수와는 차이가 있을 것으로 생각되므로 각기 다른 저장 매체에서의 불소 유리에 관한 추가적인 연구가 필요하리라 생각된다. 둘째, 이번 연구에서 31일 후 미세경도는 다소 낮은 값을 보였는데 이는 장기적으로 보았을 때 수복재의 물성 저하가 우려되는 부분이다. 이차 우식은 주로 수복 후 오랜 시간에 걸쳐 발생하므로 장기간의 불소 유리 및 미세경도 변화에 관한 연구가 필요할 것으로 생각한다. 셋째, 재료의 불소 재충전 능력을 평가하지 않았다는 점을 들

수 있다. 일반적으로 초기 불소 유리가 높은 재료일수록 우수한 재충전 능력을 보이는 것으로 보고되고 있으나^{26,27)} giomer는 컴포머 보다 재충전 능력이 우수하다고 알려져 있다⁴⁶⁾. 따라서 불소제제 적용 후 시간 경과에 따른 giomer의 불소 재충전 능력에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

PRG-technology를 적용한 giomer와 기존의 불소 유리 수복재료인 레진 강화형 글라스 아이오노머, 컴포머의 시간 경과에 따른 불소 유리량과 미세경도를 측정, 비교하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. IV군을 제외한 모든 군에서 불소 유리량은 첫째날 가장 높게 측정되었고 이후 급격히 감소하여 7일 이후부터는 완만하게 유지되는 양상을 보였다.
2. III군에서 가장 높은 불소 유리량을 보였으며 II군, I군 순으로 높은 유리량을 보였다. 불소 유리량은 각 군간 차이를 보였다($p < 0.05$). IV군에서는 연구 기간동안 불소 유리가 관찰되지 않았다.
3. 미세경도는 IV군에서 가장 높게 측정되었으며 I군, II군, III군 순으로 높게 측정되었다. 미세경도는 각 군간 차이를 보였으나($p < 0.05$), I군과 II군 사이에는 차이가 없었다($p > 0.05$).
4. 미세경도는 31일 후 모든 군에서 다소 감소되는 경향을 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

최근에 새로 개발된 giomer는 컴포머와 유사한 불소 유리 및 레진에 버금가는 물성을 보일 것으로 기대하였으나 본 연구 결과, giomer(Beautifil II)는 컴포머(F2000 Compomer)에 비하여 낮은 불소 유리량과 유사한 미세경도를 보이므로, 임상적 적용에 앞서 이에 대한 충분한 고찰이 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Kidd EA, Toffenetti F, Mjör IA : Secondary caries. Int Dent J, 42:127-138, 1992.
2. MacInnis WA, Ismail A, Brogan H : Placement and replacement of restorations in a military population. J Can Dent Assoc, 57:227-231, 1991.
3. Varpio M : Clinical aspects of restorative treatment in the primary dentition. Swed Dent J Suppl, 96:1-47, 1993.
4. Berg JH : The continuum of restorative materials in pediatric dentistry—a review for the clinician. Pediatr Dent, 20:93-100, 1998.
5. Hattab FN, Mok NY, Agnew EC : Artificially formed carieslike lesions around restorative materials. J Am Dent Assoc, 118:193-197, 1989.
6. Ten Cate JM : Fluorides in caries prevention and

- control: empiricism or science. *Caries Res*, 38:254-257, 2004.
7. Fejerskov O, Ekstrand J, Burt BA : Fluoride in dentistry. 2nd edition. Copenhagen: Munkshaard, 187-251, 1996.
 8. Wilson AD, Kent BE : A new translucent cement for dentistry. The glass ionomer cement. *Br Dent J*, 132:133-135, 1972.
 9. Guggenberger R, May R, Stefan KP : New trends in glass-ionomer chemistry. *Biomaterials*, 19:479-483, 1998.
 10. Harry FA : 심미수복 원리와 임상술식, 지성출판사, 서울, 55-92, 2003.
 11. Wilson AD : The development of glass ionomer cement. *Dent update*, 4:401-412, 1977.
 12. Wiegand A, Buchalla W, Attin T : Review on fluoride-releasing restorative materials-fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater*, 23:343-362, 2007.
 13. McCabe JF : Resin-modified glass-ionomers. *Biomaterials*, 19:521-527, 1998.
 14. Lavis JF, Peters TC, Makinson OF, et al. : Changes to Dyract restorative resin immersed in various media. *Am J Dent*, 10:133-136, 1997.
 15. Eliades G, Kakaboura A, Palaghias G : Acid-base reaction and fluoride release profiles in visible light-cured polyacid-modified composite restoratives (compomers). *Dent Mater*, 14:57-63, 1998.
 16. Koirala S, Yap A : A clinical guide to direct cosmetic restorations with Giomer, Dental Tribune International GmbH, Leipzig, 2008.
 17. Roberts TA, Miyai K, Ikemura K, et al. : Fluoride ion sustained release preformed glass ionomer filler and dental compositions containing the same. United States Patent No. 5,883,153:1999.
 18. Ikemura K, Tay FR, Endo T, et al. : A review of chemical-approach and ultramorphological studies on the development of fluoride-releasing dental adhesives comprising new pre-reacted glass ionomer (PRG) fillers. *Dent Mater J*, 27:315-339, 2008.
 19. Klausner LH, Green TG, Charbeneau GT : Placement and replacement of amalgam restorations: a challenge for the profession. *Oper Dent*, 12:105-112, 1987.
 20. Wilson NH, Burke FJ, Mjör IA : Reasons for placement and replacement of restorations of direct restorative materials by a selected group of practitioners in the United Kingdom. *Quintessence Int*, 28:245-248, 1997.
 21. Bernardo M, Luis H, Martin MD, et al. : Survival and reasons for failure of amalgam versus composite posterior restorations placed in a randomized clinical trial. *J Am Dent Assoc*, 138:775-783, 2007.
 22. Francisconi LF, Scaffa PM, de Barros VR, et al. : Glass ionomer cements and their role in the restoration of non-caries cervical lesions. *J Appl Oral Sci*, 17:364-369, 2009.
 23. Hicks MJ, Flaitz CM, Silverstone LM : Secondary caries formation in vitro around glass ionomer restorations. *Quintessence Int*, 17:527-532, 1986.
 24. Okida RC, Mandarino F, Sundfeld RH, et al. : In vitro-evaluation of secondary caries formation around restoration. *Bull Tokyo Dent Coll*, 49:121-128, 2008.
 25. Tay FR, Pashley EL, Huang C, et al. : The glass-ionomer phase in resin-based restorative materials. *J Dent Res*, 80:1808-1812, 2001.
 26. Itota T, Carrick TE, Yoshiyama M, et al. : Fluoride release and recharge in giomer, compomer and resin composite. *Dent Mater*, 20:789-795, 2004.
 27. Kamijo K, Mukai Y, Tominaga T, et al. : Fluoride release and recharge characteristics of denture base resins containing surface pre-reacted glass-ionomer filler. *Dent Mater J*, 28:227-233, 2009.
 28. Yap AU, Wang X, Wu X, et al. : Comparative hardness and modulus of tooth-colored restoratives: a depth-sensing microindentation study. *Biomaterials*, 25:2179-2185, 2004.
 29. Xu X, Burgess JO : Compressive strength, fluoride release and recharge of fluoride-releasing materials. *Biomaterials*, 24:2451-2461, 2003.
 30. Verbeeck RM, De Maeyer EA, Marks LA, et al. : Fluoride release process of (resin-modified) glass-ionomer cements versus (polyacid-modified) composite resins. *Biomaterials*, 19:509-519, 1998.
 31. Attar N, Onen A : Fluoride release and uptake characteristics of aesthetic restorative materials. *J Oral Rehabil*, 29:791-798, 2002.
 32. 박지영, 김종수, 김승오 : 수종의 불소 함유 수복재의 불소 유리 및 압축 강도에 관한 연구. *대한소아치과학회지*, 35:469-476, 2008.
 33. Al-Naimi OT, Itota T, Hobson RS, et al. : Fluoride release for restorative materials and its effect on biofilm formation in natural saliva. *J Mater Sci Mater Med*, 19:1243-1248, 2008.

34. 황규선, 김종수, 권순원 : 컴포머의 불소 유리 및 항우식 효과에 관한 비교 연구. *대한소아치과학회지*, 29:1-10, 2002.
35. Yap AU, Khor E, Foo SH : Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth-colored restoratives. *Oper Dent*, 24:297-305, 1999.
36. Silva KG, Pedrini D, Delbem AC, et al. : Microhardness and fluoride release of restorative materials in different storage media. *Braz Dent J*, 18:309-313, 2007.
37. Vermeersch G, Leloup G, Vreven J : Fluoride release from glass-ionomer cements, compomers and resin composites. *J Oral Rehabil*, 28:26-32, 2001.
38. Preston AJ, Higham SM, Agalamanyi EA, et al. : Fluoride recharge of aesthetic dental materials. *J Oral Rehabi*, 26:936-940, 1999.
39. 배익현, 김재문, 정태성 등 : 글라스 아이오노머 수복재의 불소 유리 및 재흡수 양상. *대한소아치과학회지*, 32:136-143, 2005.
40. 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.
41. DeSchepper EJ, White RR, von der Lehr W : Antibacterial effects of glass ionomers. *Am J Dent*, 2:51-56, 1989.
42. Hattab FN, el-Mowafy OM, Salem NS, et al. : An in vivo study on the release of fluoride from glass-ionomer cement. *Quintessence Int*, 22:221-224, 1991.
43. Clarkson BH, Wefel JS, Feagin FF : Fluoride distribution in enamel after in vitro caries-like lesion formation. *J Dent Res*, 65:963-966, 1986.
44. Lien W, Vandewalle KS : Physical properties of a new silorane-based restorative system. *Dent Mater*, 26:337-344, 2010.
45. Bayindir YZ, Yildiz M : Surface hardness properties of resin-modified glass ionomer cements and polyacid-modified composite resins. *J Contemp Dent Pract*, 5:42-49, 2004.
46. Sales D, Sae-Lee D, Matsuya S, et al. : Short-term fluoride and cations release from polyacid-modified composites in a distilled water, and an acidic lactate buffer. *Biomaterials*, 24:1687-1696, 2003.
47. Itota T, Al-Naimi OT, Carrick TE, et al. : Fluoride release from aged resin composites containing fluoridated glass filler. *Dent Mater*, 21:1033-1038, 2005.
48. Attin T, Buchalla W, Siewert C, et al. : Fluoride release/uptake of polyacid-modified resin composites (compomers) in neutral and acidic buffer solutions. *J Oral Rehabil*, 26:388-393, 1999.

Abstract

FLUORIDE RELEASE AND MICROHARDNESS OF GIOMER ACCORDING TO TIME

Sang-Min Kim, Ho-Won Park, Ju-Hyun Lee, Hyun-Woo Seo

Department of Pediatric Dentistry, Oral Science Research Center, College of Dentistry, Gangneung-Wonju National University

The aim of this study was to evaluate the fluoride release and microhardness of Beautifil II as giomer(Group I), F2000 Compomer as compomer(Group II), GC Fuji II LC Capsule as resin-modified glass ionomer(Group III) and Filtek™ Z350 as composite resin(Group IV) according to time.

Forty discs(5 mm diameter and 2 mm height) were prepared for each material. Each disc was immersed in 3 ml of de-ionized water within polyethylene tube and stored at 37°C. Evaluations were performed by pH/ISE meter for analysis of fluoride release and hardness testing machine for analysis of microhardness over 31 days.

The results can be summarized as follows :

1. For all groups except group IV, the greatest fluoride release was observed after the first day of the study period and then dramatically diminished over time. On the 7th day of the study period, fluoride release level was stabilized.
2. Group III showed the highest fluoride release among test groups and then group II, group I were followed. Significant difference in cumulative fluoride release over 31 days was found between each groups. Group IV showed no fluoride release during study period.
3. Group IV showed the highest microhardness among test groups and then group I, group II, group III were followed. Significant difference in microhardness was found between each group, except between group I and group II.
4. After 31 days, microhardness was slightly diminished in every group. However, no significant difference was found.

Key words : Giomer, PRG-technology, Fluoride release, Microhardness