

# 생체활성 유리 나노입자 첨가량에 따른 치면열구전색제의 물성평가와 세균부착 억제 효과

## Effect of Physical Properties and Bacterial Adherence Inhibition of Pit and Fissure Sealant Containing Bioactive Glass Nano Particles(BGn)

전수경\*, 김동애\*\*

경동대학교 치위생학과\*, 경운대학교 치위생학과\*\*

Soo-Kyung Jun(iris979@kduniv.ac.kr)\*, Dong-Ae Kim(dakim@ikw.ac.kr)\*\*

### 요약

본 연구는 불소 미방출 치면열구전색제 Concise™에 제조한 생체활성 유리 나노입자(bioactive glass nano particles: BGn)를 0.5, 1.0, 2.0 wt%를 첨가하여 새로운 치면열구전색제를 조성하고 세균부착실험을 통한 세균부착 억제 효과와 물성을 평가 하였다. 물흡수도와 용해도는 ISO 4049(2009) 규격에 맞추어 직경 10 mm, 두께 2 mm 시편을 제작하여 무게를 측정하여 산출하였으며 세균부착효과는 *S. mutans*, *S. aureus*, *E. coli* 3개의 균주를 이용하여 평가하였다. 실험 결과 물흡수도는 BGn 첨가가 증가할수록 높은 값을 보였으며 용해도는 첨가될수록 낮은 용해도를 보였다( $p < 0.05$ ). 세균부착실험 결과 대조군 Concise™ 과 비교하여 BGn을 첨가한 *S. mutans* 실험군에서 다소 낮은 부착 양상을 보였으나 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았으나, *S. aureus* 실험군과 *E. coli* 실험군에서는 통계적 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ). 이는 BGn의 세균부착 억제 효과가 있음을 입증한 것이라 사료된다. 향후 BGn 첨가량에 따른 효율성과 폭 넓은 물성 연구가 필요할 것으로 사료된다.

■ 중심어 : | 뮤탄스균 | 생체활성유리 나노입자 | 용해도 | 치면열구전색제 | 항균 |

### Abstract

In this study BGn-incorporated non-fluoride release of pit and fissure sealant Concise™ was developed to improve the mechanical properties and promote antibacterial effect of fit and fissure sealant with the original material. The mechanical properties and antibacterial activity of BGn incorporating vary-ing amounts bioactive glass nano particles(BGn) (0,0.5,1.0 and 2.0 wt% in sealant) were characterized composition of the resulting were investigated.

The solubility to aid absorption was calculated by weighing specimens with a diameter of 10 mm and a thickness of 2 mm according to ISO 4049 (2009). The antimicrobial effect was evaluated using three strains of *S. mutans*, *S. aureus* and *E. coli*.

The absorbance of the test results was as high as the addition of BGn increased, and the lower the solubility as the solubility was added( $p < 0.05$ ). Adhesion experiment results *S. mutans* in contrast to the control group Concise™, BGn-added experimental group showed a somewhat lower adherent surface but no statistically significant difference was observed ( $p < 0.05$ ). However *S. aureus* and *E. coli* statistical analysis indicated a significant difference for antibacterial agents between control and BGn containing( $p < 0.05$ ). It seems that this BGn proved that even a antibacterial effect was demonstrated. Therefore, it was suggest that the additional effects of BGn and research on a wide range of substances.

■ keyword : | S.mutans | Bioactive Glass Nanoparticle(BGn) | Solubility | Pit and Fissure Sealant | Antibacterial |

\* 이 논문은 2018년 경운대학교 교내학술연구비 지원에 의한 것임

접수일자 : 2018년 01월 09일

수정일자 : 2018년 02월 02일

심사완료일 : 2018년 02월 02일

교신저자 : 김동애, e-mail : dakim@ikw.ac.kr

## I. 서론

치면열구전색제는 치아의 교합면 소와와 열구내로 침투하는 미생물과 산 생성을 유발하는 탄수화물의 공급을 차단함으로써 미생물 수를 감소하여 우식 예방에 효과적인 방법으로 보고되고 있다[1][2]. 임상에서도 수복 빈도는 꾸준히 증가하고 있으며 현재 우리나라에서는 치아우식증 예방사업으로 치면열구전색제를 정부에서 지원하고 있는 실정이다. 그러나 시술과정 중 수분에 매우 취약할 뿐 아니라 교합압 등 여러 요인에 의해 탈락하거나 미세누출이 발생하여 세균 및 치태가 부착되고 전색제 하방으로 이차우식이 유발된다[2].

이러한 치면열구전색제의 물성을 강화하기 위해 단량체에 충전제 입자를 첨가하는 많은 선행연구가 이루어지고 있다. 이[3]와 Park 등[4]은 하이드록시아파타이트(Hydroxyapatite: HA) 필러(filler)를 첨가하여 물성을 개선하고 재광화 효과가 있음을 입증하였으며 An 등[5]은 S-PRG filler를 첨가하여 항미생물 효과가 있다고 보고하였다. 치아우식증은 표층이 손상되지 않는 경우 우식이 발생하더라도 재석회화가 가능한 동적 과정이다[6]. 초기우식을 예방하고 세균성장 억제 및 획득 피막 억제를 위한 많은 선행연구가 이루어지고 있다[7-10]. 재석회화와 우식예방을 위한 재광화제제로 불소가 대표적인 물질로 가장 널리 사용되고 있다. 불소는 치면열구전색제를 포함하여 수복재, 글라스아이오머 시멘트, 교정용 브라켓 접착제 등 다양한 불소 방출 제품이 끊임없이 개발되었으며[11][12] 그 효과는 인정되어 전문가 불소도포, 불소양치용액, 불소함유 치약 등 여러 분야에서 응용되어 사용되고 있다.

그러나 불소유리에 대한 연구에서 불소 유리 기간은 24시간이 가장 많은 불소를 유리하고 48시간 이후에는 급격히 감소하는 burst effect로 지속적인 효과는 미비하며, 불소염의 경우 쉽게 용해되는 성질로 레진내의 기포를 유발하고, 또한 법랑질 표면의 다공성 정도에 따라 불완전하게 표층을 재광화시키는 등 불소 첨가에 따른 여러 가지 한계점이 보고되고 있다[11][13][14].

최근 우수한 생체 적합성과 체액과 반응하여 아파타이트를 형성하고 상아질의 무기질화(mineralization)에

관여하는 생체활성 유리 나노입자(bioactive glasses nano particles)가 물성 개선과 항균효과를 입증한 연구가 보고되고 있다[15][16].

이에 본 연구는 세균의 부착과 성장을 억제하고 불소의 단점을 보완하기 위해 불소 미방출 치면열구전색제에 sol-gel법에 의해 제조된 생체활성 유리 나노입자(Bio active nano particles: BGn)를 첨가하여 물흡수도와 용해도를 통한 물성 및 세균부착을 억제하여 새로운 치면열구전색제의 가능성을 제시하고자 한다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. 연구재료

#### 1.1 생체활성 유리 나노입자의(Bioactive glass nano particles:BGn) 제조와 평가

본 연구에 사용된 유리 전구물질은 Tetraethyl orthosilane(TEOS)와 calcium nitrate 및 tetrahydrate( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )(Sigma - Aldrich, USA)이다. 유리 전구물질을  $85\text{SiO}_2:15\text{CaO}:5\text{P}_2\text{O}_5(\text{mol}\%)$ 로 조성하기 위해 암모니아 용액(ammonia solution)(28%)에서 적절히 혼합한 후 입자가 형성되도록 sonoreactor를 이용하여 24시간 교반한다(LH700S ultra-sonicpower generators, Ulssso Hitech, Cheongwon, South Korea). 조성된 물질은 증류수와 에탄올로 3회 세척 하고 70°C 오븐기에서 24시간 건조하였다. 건조된 분말은 600°C에서 6시간 동안 열처리하였다(1 degree/min).

분말의 입자 결정상의 분석을 위해 X-ray 회절 분석기(XRD, Rigaku, Ultima IV, Japan)를 이용하여  $2\theta$   $4^\circ \sim 70^\circ$ 의 범위를 분당 0.02/min 속도로 관찰하였다( $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$ ). 분말의 성분 분석을 위해 15 kV 플라즈마 코팅(IB-3 Eiko, Tokyo, Japan) 한 후 X-선 분광분석(EDS, UltraDry, Thermo Fisher, Waltham, MA, USA)을 이용하였으며, 주사전자현미경(SEM: MIRA II, TESCAN, Czech)과 투과전자현미경으로 입자의 구조와 형태를 관찰하였다(TEM: 7100, JEOL, Japan).

### 1.2 BGn을 첨가한 치면열구전색제 제조

본 연구에 사용된 치면열구전색제는 상업용 불소 미방출 제품인 Concise™(3M ESPE, USA, Lot number N758202)을 사용하였다. 제조한 생체활성 유리 나노입자(BGn)를 무게비(wt%)로 계산하여 0, 0.5, 1.0, 2.0%를 혼합한 후 빛이 차단된 갈색 유리병에 보관하여 초음파 세척기에서 20분 동안 분산하여 균질한 치면열구전색제를 제조하였다. 이때 발생하는 열을 차단하기 위해 얼음을 넣어 조작하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 시편제작

본 실험에 사용된 시편은 디스크 형태의 직경 10 mm, 두께 2 mm 테프론 몰드에 제조된 치면열구전색제를 슬라이드 글라스 사이에 폴리에스테르 필름을 대고 기포가 생기지 않도록 서서히 주입하여 LED 광조사기(Curing light. VALO™, ultradent co., USA)를 이용하여 앞, 뒷면 각각 20초씩 광중합 하였다. 중합된 시편은 37°C 100% 상대습도 항온수조에 1시간 보관 한 다음 몰드에서 시편을 제거하였다. 제거된 시편은 미중합층 제거를 위해 SiC #400, #800, #1200 grit로 시편 당 10초 연마한 후 세척하였다. 모든 시편은 EO가스법으로 멸균하여 사용하였다(Person medical, Korea).

### 2.2 물흡수도(water sorption)와 용해도(solubility) 측정

치면열구전색제의 물흡수도와 용해도 실험은 ISO 4049 (2009)의 규격대로 실험하였다. 제작된 시편은 실온의 건조자(dessicator)에 24시간 보관한 후 무게를 측정하였다(Explorer, OHAUS, Korea). 이러한 과정은 일정한 무게,  $m_1$ 을 얻을 때까지, 즉 각 시편의 무게손실이 24시간 내에 0.1 mg보다 크지 않을 때까지 반복하여 측정한다. 마지막 건조를 마친 후, 서로 직각이 되는 곳에서 시편의 직경을 digital caliper(Mitutoyo, Japan)를 이용하여 2번 측정 후, 평균 직경을 구하고 평균 두께를 이용하여 시편의 부피(V)를 계산한다. 37°C의 증류수에 7일간 보관 후 tissue로 표면의 수분을 제거하고 무게를 측정하여  $m_2$ 로 하였다. 다시 실온의 건조자에서 24시간

건조시킨 후 무게를 측정하고, 매 24시간마다 반복 측정하여 무게의 변화가 0.1 mg을 초과하지 않을 때를 최종 건조 후 무게를 한 후  $m_3$ 로 하여 물흡수도와 용해도를 다음의 식을 이용하여 산출하였다.

물흡수도는  $W_{sp} = (m_2 - m_3)/V$  으로 계산하고,

용해도는  $W_{sl} = (m_1 - m_3)/V$  를 이용하여 산출하였다.

V: 시편의 부피 ( $mm^3$ )

### 2.3 사용균주 및 배지

본 항균 실험에 사용한 균주는 *Streptococcus mutans*(ATCC 25175), *Staphylococcus aureus*(ATCC 6538), *Escherichia coli* (ATCC 25922) 총 3개의 균주를 사용하였다. 각각 *Streptococcus mutans*(SM)균은 Brain Heart Infusion(BHI, Difco laboratories, Dickinson)배지를 사용하였으며 *Staphylococcus aureus*(SA)균과 *Escherichia coli*(EC)균은 Trypticase soy broth(TSB, Difco laboratories, Dickinson)배지를 멸균 하여 CO<sub>2</sub> 37°C incubator에서 배양하였다.

### 2.4 세균 부착 실험

고압 멸균한 각각의 액체 배지에 5% CO<sub>2</sub>의 37°C incubator에서 *S. mutans*(SM)균, *S. aureus*(SA)균, *E. coli*(EC)균을 각각 제조사의 방법대로 배양하였다.

멸균된 시편위에  $1 \times 10^7$  CFU/ml의 부유액 100  $\mu$ l을 5% CO<sub>2</sub>의 37°C incubator에서 1시간 배양한 다음 PBS 용액으로 2회 세척하였다. 세척된 시편은 12-well plate에 이동하여 각각 배양한 새로운 액체배지 2 ml 넣은 후 3시간 배양한다. 프레스토블루(PrestoBlue®, Molecular Probes, USA)를 10% 첨가하여 다시 1.5시간 배양하였다. 배양된 액체를 96 well-plate에 100  $\mu$ l 담아 마이크로리더기를 이용하여 흡광도 570 nm에서 600 nm에서 시편당 3회 반복 측정하였다(BioTek, Winooski, VT, USA). 모든 실험은 무균실에서 처리하였다.

## 3. 자료분석방법

통계분석은 PASW Statistics 20 (SPSS, USA)을 이

용하였으며 물흡수도 및 용해도 통계적 비교와 세균부착 실험 결과는 one-way ANOVA Tukey HSD 다중비교 분석 유의수준  $p < 0.05$ 에서 실시하였다.

### III. 결 과

#### 1. BGn(Bioactive glass nano particles)특성 평가

제조된 BGn분말은 XRD를 통해 얻은 실험결과  $2\theta$  전체 구간에서 결정적 피크가 관찰되지 않는 비정질(amorphous)이  $2\theta = 15^\circ \sim 35^\circ$  구간에서 관찰되었다. 이는 BGn 합성이 용이하게 조성되었음을 파악할 수 있다 [그림 1A]. EDS를 통해 측정된 정량분석은 처음 제조한 85Si/15Ca 조성과 일치함을 보였다[그림 1B]. sol-gel법으로 제조한 분말 시료의 형태와 구조는 다공성(mesoporous) 구조이며 그 크기가 평균 42 nm의 균일한 구상 형태임을 주사전자현미경 FE-SEM (MIRA II, TESCAN, Czech)과 투과전자현미경 (TEM: Transmission electron microscope)을 통해 관찰하였다 [그림 1C][그림 1D].

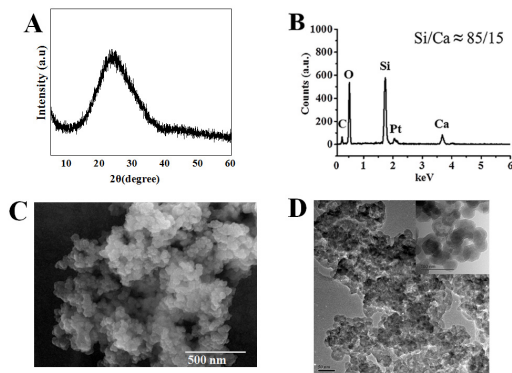


그림 1. Characteristics of the bioactive glass nanoparticle  
A) The XRD pattern. B) EDS analysis. C) SEM image D) TEM image.

#### 2. 물흡수도(water sorption)와 용해도(solubility)

[그림 2]는 물흡수도와 용해도의 결과이다.

물흡수도[그림 2A]는 대조군이 가장 낮은 값을 보였

으며 BGn첨가량이 증가할수록 높은 값을 보여 BGn 2.0 %를 첨가한 실험군 BGn2.0에서 통계적으로 유의하였다( $P < 0.05$ ). 용해도[그림 2B]는 BGn첨가량이 증가할수록 대조군에 비해서 감소하는 양상을 나타냈으며 BGn2.0 실험군에서 가장 낮았으며 통계적으로 유의하였다 ( $P < 0.05$ ). 따라서 BGn의 첨가량은 치면열구전색제 물흡수도와 용해도에 영향을 미치는 것을 확인하였다.

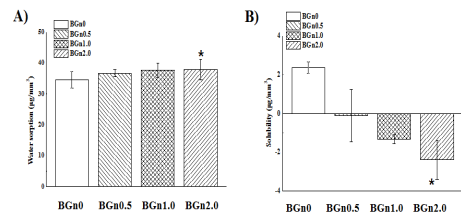


그림 2. (A) Water sorption and (B) solubility of materials (\* means  $p < 0.05$ ).

#### 3. 세균부착 실험

불소 미방출 상업용 치면열구전색제 제품에 BGn을 첨가한 3군주에 대한 세균부착 실험결과는 [표 1]과 [그림 3(A-C)]에 나타났다. *E. coli*(EC)군주의 실험 결과는 BGn0 (0.24-0.53 nm), BGn0.5 (0.24-0.51 nm), BGn1.0 (0.23-0.50 nm), BGn2.0 (0.25-0.48 nm)으로 BGn 첨가량이 증가할수록 세균부착률이 감소하는 양상을 보였으며 2시간 실험군에서는 BGn0 (0.48 nm)에 비해 BGn2.0 (0.37 nm)로 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.05$ )[그림 3A]. *S. mutans*(SM)군주 실험 결과는 BGn0 (0.47-0.58 nm), BGn0.5 (0.48-0.57 nm), BGn1.0 (0.48-0.58 nm), BGn2.0 (0.45-0.55 nm)로 각 실험군의 유의한 차이는 나타나지 않았다[그림 3B]. *S. aureus*(SA)군주 세균부착 실험 결과는 BGn0 (0.29-0.58 nm), BGn0.5 (0.27-0.59 nm), BGn1.0 (0.24-0.56 nm), BGn2.0 (0.24-0.51 nm)로 BGn 첨가량이 증가할수록 세균부착률이 감소하는 양상을 보였으며 1.5시간, 2시간, 2.5시간 실험군에서는 BGn2.0 (0.39-0.45 nm)으로 통계적으로 유의한 차이를 보였다 ( $p < 0.05$ )[그림 3C].

표 1. Comparison of mean values and standard deviations of bacteria adherence

	Time (hr)	Concentration of BGn(wt%)			
		BG0	BG0.5	BG1.0	BG2.0
EC	1	0.24(0.06) <sup>a</sup>	0.24(0.05) <sup>a</sup>	0.23(0.04) <sup>a</sup>	0.25(0.04) <sup>a</sup>
	1.5	0.31(0.04) <sup>a</sup>	0.29(0.04) <sup>a</sup>	0.28(0.04) <sup>a</sup>	0.28(0.04) <sup>a</sup>
	2	0.48(0.04) <sup>a</sup>	0.48(0.04) <sup>a</sup>	0.40(0.04) <sup>b</sup>	0.37(0.05) <sup>b</sup>
	2.5	0.50(0.04) <sup>a</sup>	0.50(0.03) <sup>a</sup>	0.45(0.03) <sup>a</sup>	0.42(0.03) <sup>a</sup>
	3	0.53(0.05) <sup>a</sup>	0.51(0.05) <sup>a</sup>	0.50(0.04) <sup>a</sup>	0.48(0.04) <sup>a</sup>
SM	1	0.47(0.05) <sup>a</sup>	0.48(0.04) <sup>a</sup>	0.48(0.04) <sup>a</sup>	0.42(0.04) <sup>a</sup>
	1.5	0.48(0.05) <sup>a</sup>	0.47(0.03) <sup>a</sup>	0.45(0.03) <sup>a</sup>	0.40(0.03) <sup>a</sup>
	2	0.54(0.05) <sup>a</sup>	0.46(0.04) <sup>a</sup>	0.53(0.03) <sup>a</sup>	0.51(0.04) <sup>a</sup>
	2.5	0.57(0.03) <sup>a</sup>	0.57(0.03) <sup>a</sup>	0.57(0.02) <sup>a</sup>	0.54(0.03) <sup>a</sup>
	3	0.58(0.04) <sup>a</sup>	0.57(0.03) <sup>a</sup>	0.58(0.03) <sup>a</sup>	0.55(0.03) <sup>a</sup>
SA	1	0.29(0.04) <sup>a</sup>	0.27(0.03) <sup>a</sup>	0.24(0.04) <sup>a</sup>	0.23(0.03) <sup>a</sup>
	1.5	0.49(0.03) <sup>a</sup>	0.50(0.03) <sup>a</sup>	0.46(0.03) <sup>a</sup>	0.39(0.03) <sup>a</sup>
	2	0.52(0.05) <sup>a</sup>	0.53(0.04) <sup>a</sup>	0.48(0.04) <sup>a</sup>	0.39(0.03) <sup>a</sup>
	2.5	0.57(0.04) <sup>a</sup>	0.58(0.03) <sup>a</sup>	0.55(0.03) <sup>a</sup>	0.45(0.02) <sup>a</sup>
	3	0.58(0.03) <sup>a</sup>	0.59(0.03) <sup>a</sup>	0.56(0.03) <sup>a</sup>	0.51(0.03) <sup>a</sup>

Means with different letters are significantly different at  $p < 0.05$ .

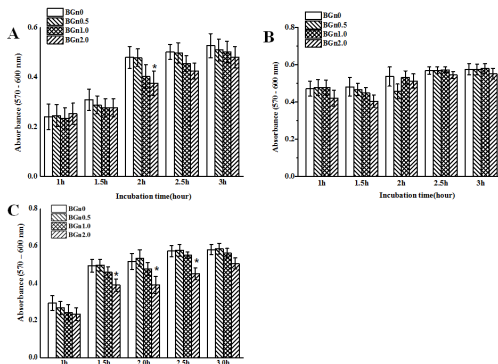


그림 3. The bacterial adherence on the sample surface after incubation for 1h, 1.5h, 2h, 2.5h and 3h. (A) E. coli (EC). (B) S. mutans (SM). (C) S. aureus (SA).

#### IV. 고찰

치아우식증 예방에 매우 효과적인 방법은 우식발생이 높은 교합면 소와와 열구에 치면열구전색제를 도포하는 것이다. 치면열구전색제는 타액에 의한 수분 접촉이 될 수 밖에 없는 구강환경에서 저작압에 견딜 수 있

는 내구성을 갖기 위해 물흡수도와 용해도의 물리적 성질이 우수해야 한다. 또한 이차 우식증 유발을 예방하기 위해 미세누출과 더불어 세균활성의 억제 및 부착을 감소시킬 수 있는 항균효과도 중요한 요소이다.

그러나 치아우식증을 감소하기 위해 첨가한 항균물질은 방출 효과가 지속이지 않고 독성 증가로 인해 오히려 치아의 변색, 내성균주 발현을 초래하는 부작용과 기계적 성질 저하 등 다양한 문제점이 보고되었다 [17][18].

본 연구에서는 우수한 생체 적합성과 항균성을 가지고 있는 생체활성 유리 나노 입자(Bioactive glass nano particle: BGn)의 혼합을 용이하게 위해 non-filler 형태의 상업용 Concise™(3M ESPE, USA)치면열구전색제에 무게비로 (0.5-2.0 wt%) 첨가한 3개의 실험군과 BGn을 첨가하지 않은 치면열구전색제를 대조군으로 세균부착 실험을 통한 항균효과와 물흡수도와 용해도를 연구하여 물리적 성질에 미치는 영향을 평가하였다.

물흡수도와 용해도는 수분에 의한 영향으로 재료에서 용해된 성분은 조직반응을 유발 할 수 있으며, 재료의 물성 약화로 인한 기계적 물성 감소와 밀접한 관련이 있다[19][20]. 이로 인해 탈락된 수복체는 이차우식을 유발하는 중요한 원인이다.

본 연구에서 물흡수도는 BGn이 첨가되지 않은 대조군에 비해 BGn의 첨가량이 높은 BGn2.0 실험군에 유의하게 높은 값을 나타내었다( $p < 0.05$ )[그림 2A].

용해도는 BGn 첨가량이 증가할수록 낮은 값을 보였으며 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았으나 BGn2.0 실험군에서는 통계적 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ )[그림 2B].

이와 같이 물흡수도와 용해도의 결과가 다르게 나타나는 원인은 BGn이 가지고 있는 친수성의 특성으로 인해 수분과 쉽게 반응하기 때문에 BGn 첨가량이 증가할수록 수분 흡수량이 증가한 원인으로 보여 진다. 그 결과 BGn2.0 실험군에서 가장 높은 물흡수도 값을 나타냈다. 그러나 수분에 노출된 BGn은 표면 활성화가 되어 이온을 방출한다. 방출된 이온은 표면에 침전층을 형성하고 시간이 경과하면서 형성된 침전층은 점차 hydroxyapatite(HA)결정화로 전환되어 용해도가 낮아

진 원인이라 여겨진다[21][22]. 수분과 결합하여 형성된 hydroxyapatite는 초기 우식증의 재석회화를 통해 우식증 예방과 치태 축적을 억제하는 효능을 가진다. 이는 Yang 등[7]에서 BGn 첨가량이 증가할수록 물흡수도는 증가하고 용해도는 감소하여 본 연구와 일치하였다.

본 연구에서는 구강 내에서 상주하는 균으로 치아우식증의 대표 원인균 *S. mutans*와 화농성 감염질환 및 치주질환의 대표 원인균 *S. aureus* 균주를 사용하였으며 보건지표원인균인 *E. coli* 균주의 세균부착실험을 통해 항균효과를 평가하였다[23][24]. *E. coli*는 병원성 대장균으로 다른 장관감염증 원인균으로 위생학상 중요한 오염지표균으로 알려진 균주이다[23]. BGn 함량에 따른 세균부착 실험 결과 시간이 경과하면서 다소 세균 부착률이 감소하는 양상을 보였으며 2시간 경과된 실험군에서는 통계적 유의한 차이를 나타냈다 ( $p<0.05$ )[그림 3A]. *S. mutans*는 실험군별 미비한 차이는 보였으나 통계적 유의한 차이는 보이지 않았다[그림 3B]. *S. aureus*균주는 모든 실험군에서 BGn 첨가량이 증가할수록 세균부착률이 감소하는 양상을 보였으며 1.5시간, 2.0시간, 2.5시간 실험군에서는 통계적 유의한 차이를 보여 가장 우수한 항균 효과를 나타냈다 ( $p<0.05$ )[그림 3C]. Hu 등[15]은 Bioglass 45S5의 항박테리아(*S. aureus*, *E. coli*, *S. epidermidis*) 연구에서 Bioglass의 첨가량이 증가할수록 항균력이 증가하여 본 연구결과와 일치하였다.

BGn의 항균효과 기전은 높은 PH에 의한 세포벽의 파괴와 수분에 의해 알칼리 이온이 방출되면서 BGn 주위의 박테리아 사멸의 결과로 보여 진다.

본 연구는 BGn을 치면열구전색제에 첨가하여 물흡수도와 용해도를 평가하고 세균부착 억제 효과를 연구하였다. 그러나 BGn의 첨가량에 따른 PH변화와 BGn의 정확한 기전을 입증함에 있어 미흡한 부분이 있으나 세균부착 억제 효과를 입증하여 BGn의 항균효과를 입증한 점에 의의가 있다.

## V. 결론

본 연구는 기존의 치면열구전색제에 생체활성 유리

나노입자(BGn)를 첨가하여 물흡수도와 용해도를 측정하고 시간 경과에 따른 *E. coli*, *S. mutans*, *S. aureus* 3균주에 대한 항균효과를 연구하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. BGn 첨가량이 증가할수록 물흡수도는 증가하였으며 용해도는 감소하였다. 각각 BGn2.0 실험군에서 통계적 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).
2. *E. coli* 균주는 BGn 함량이 증가할수록 세균부착이 감소하였으며 2시간 실험군에서 통계적 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).
3. *S. mutans* 균주는 BGn 함량이 증가할수록 세균부착에 모든 실험군에서 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았다( $p<0.05$ ).
4. *S. aureus* 균주는 BGn 첨가량이 증가할수록 세균부착이 감소하는 양상을 보였으며 1.5시간, 2시간, 2.5시간 실험군에서 통계적 유의한 차이를 보였다( $p<0.05$ ).

본 연구는 기존의 치면열구전색제에 BGn을 첨가하여 기존의 제품이 가지고 있는 물성에 대한 평가와 이차우식 예방을 위한 항균효과가 있음을 입증하였으나 실제 임상적으로 유사한 구강 환경에서의 다양한 기계적 평가와 오랜 시간 경과에 따른 항균 효과에 대한 연구가 필요할 것으로 여겨진다.

## 참고 문헌

- [1] W. P. Rock, "The effectiveness of fissure sealant resins," J Dent Educ, Vol.48, pp.27-31, 1984.
- [2] A. Ahovuo-Saloranta, A. Hiiri, A. Nordblad, H. Worthington, and M. Mäkelä, "Pit and fissure sealants for preventing dental decay in the permanent teeth of children and adolescents," Cochrane Database Syst Rev, Vol.3, CD001830, 2008.
- [3] 이효설, 나노하이드록시아파타이트를 첨가한 치면열구전색제의 탈회 가능성, 연세대학교 치의학대학원, 석사학위논문, 2008.

- [4] S. W. Park, Y. K. Lee, Y. U. Kim, M. C. Kim, K. N. Kim, and B. J. Choi, "The effect of hydroxyapatite on the remineralization of dental fissure sealant," *Key Engin Mat*, Vol.284, pp.35-38, 2005.
- [5] J. S. An, J. W. Park, H. W. Seo, and S. Y. Lee, "Antibacterial Properties of Pit and Fissure Sealant Containing S-PRG filler on *Streptococcus mutans*," *J Korean Acad Pediatr Dent*, Vol.42, No.4, pp.302-311, 2015.
- [6] 김학범, *항균필러를 함유한 광중합형 치면열구전색제의 특성*, 연세대학교 대학원 치의대학원, 박사학위논문, 2016.
- [7] S. Y. Yang, Y. Z. Piao, S. M. Kim, Y. K. Lee, K. N. Kim, and K. M. Kim, "Acid neutralizing, mechanical and physical properties of pit and fissure sealants containing melt-derived 45s5 bioactive glass," *Dent Mater*, Vol.29, No.12, pp.1228-1235, 2013.
- [8] 김재민, 임상욱, 조화영, 마재경, 김정숙, 김교한, 송근배, 최연희, "치면열구전색제와 충전재료에 대한 우식유발 세균의 부착특성 비교," *대한치과재료학회지*, Vol.42, No.3, pp.229-237, 2015.
- [9] S. Kimyai, F. Lotfipour, R. Pourabbas, A. Sadr, S. Nikazar, and M. Milani, "Effect of two prophylaxis methods on adherence of *Streptococcus mutans* to microfilled composite resin and giomer surfaces," *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*, pp.e561-567, 2011.
- [10] A. Ogawa, S. Furukawa, S. Fujita, J. Mitobe, T. Kawarai, N. Narisawa, and T. Sekizuka, "Inhibition of *Streptococcus mutans* biofilm formation by *Streptococcus salivarius* FruA," *Appl Environ Microbiol*, Vol.77, No.5, pp.1572-1580, 2011.
- [11] 김희정, 김경남, 최병재, 이종갑, "SrF<sub>2</sub>계 충전제를 함유한 광중합형 복합레진의 특성," *J Korean Acad Pediatr Dent*, Vol.28, No.1, pp.54-66, 2001.
- [12] 문장원, 유미경, 이광원, "불소 방출성 수복제의 불소 재충전에 따른 불소유리와 표면 변화," *대한치과턱관절기능교합학회지*, 제21권, 제1호, pp.26-32, 2005.
- [13] J. Arends, G. E. Dijkman, and A. G. Dijkman, "Review of fluoride release and secondary caies reductio nby fluorideating composites," *Adv Dent Res*, Vol.9, No.4, pp.367-376, 1995.
- [14] 공은경, *CPP-ACP 적용이 치면열구전색제의 결합강도에 미치는 영향*, 이화여자대학교 임상치의학대학원, 석사학위논문, 2010.
- [15] S. Hu, J. Chang, M. Liu, and C. Ning, "Study on antibacterial effect of 45S5 Bioglass®," *J Mater Sci*, Vol.20, No.1, pp.281-286, 2009.
- [16] H. Yli-Urpo, T. Närhi, and E. Söderling, "Antimicrobial effects of glass ionomer cements containing bioactive glass (S53P4) on oral micro-organisms in vitro," *Acta Odontologica Scandinavica*, Vol.61, No.4, pp.241-246, 2003.
- [17] M. Tanagawa, K. Yoshida, S. Matsumoto, T. Yamada, and M. Atsuta, "Inhibitory effect of antibacterial resin composite against *Streptococcus mutans*," *Caries Res*, Vol.33, No.5, pp.366-371, 1999.
- [18] Y. Kudou, K. Obara, T. Kawashima, M. Kubota, S. Abe, T. Endo, M. Komatsu, and R. Okuda, "Addition of Antibacterial Agents to MMA-TBB Dentin Bonding Systems," *Dent Mater J Mar*, Vol.19, No.1, pp.65-74, 2000.
- [19] A. Y. Harhash, I. I. ElSayad, and A. G. Zaghoul, "A comparative in vitro study on fluoride release and water sorption of different flowable esthetic restorative materials," *Eur J Dent*, Vol.11, No.2, p.174, 2017.
- [20] N. C. Beriat and D. Nalbant "Water absorption and HEMA release of resin-modified glass-ionomers," *Eur J Dent.*, Vol.3, No.4, p.267, 2009.
- [21] T. Jaakkola, J. Rich, T. Tirri, T. Närhi, M. Jokinen, J. Seppälä, and A. Yli-Urpo, "In vitro

Ca-P precipitation on biodegradable thermoplastic composite of poly ( $\epsilon$ -caprolactone-co-DL-lactide) and bioactive glass (S53P4),” *Biomater*, Vol.25, No.4, pp.575-581, 2004.

[22] J. Y. Choi, H. H. Lee, and H. W. Kim, “Bioactive sol-gel glass added ionomer cement for the regeneration of tooth structure,” *J Mater Sci Mater Med*, Vol.19, No.10, pp.3287-3294, 2008.

[23] 이선영, 김재곤, 백병주, 양연미, 이경열, 이용훈, 김미아, “구강 내 세균에 대한 Essential oil의 항균효과에 관한 연구,” *J Korean Acad Pediatr Dent*, 제36권, 제1호, pp.1-11, 2009

[24] 정미애, 김동애, “기능화 다중벽 탄소나노튜브를 첨가한 글라스아이오노머 시멘트의 항균효과 및 기계적 성질,” *한국콘텐츠학회논문지*, 제17권, 제10호, pp.300-306, 2017.

### 저 자 소 개

전 수 경(Soo-Kyung Jun)

정회원



- 2005년 8월 : 단국대학교 구강보건학과 석사 졸업
- 2016년 8월 : 단국대학교 치의학과 박사 졸업
- 2017년 3월 ~ 현재 : 경동대학교 치위생학과 조교수

<관심분야> : 임상치위생학, 치과생체재료학 등

김 동 애(Dong-Ae Kim)

종신회원



- 2005년 8월 : 단국대학교 구강보건학과(구강보건학석사)
- 2015년 2월 : 단국대학교 나노바이오의과학과 치과생체재료학(치의학박사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 경운대학교

치위생학과 조교수

<관심분야> : 치과생체재료학, 치위생학