

1

알카자이트 수복재와 글라스아이오노머 수복재의 불소 유리량, pH 및 항균성 평가

이승은¹, 배지명², 라지영¹

¹원광대학교 치과대학 소아치과학교실

²원광대학교 치과대학 치과생체재료학교실 및 생체재료매식연구소

ORCID ID

Seung-Eun Lee,  <https://orcid.org/0000-0001-5929-8196>

Ji-Myung Bae,  <https://orcid.org/0000-0002-8607-8604>

Jiyoung Ra,  <https://orcid.org/0000-0002-2569-3259>

ABSTRACT

Evaluation of fluoride release, pH and antibacterial activity of alkasite restorative material and glass ionomer

Seung-Eun Lee¹, Ji-Myung Bae², Ji-Young Ra¹

¹Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Wonkwang University

²Department of Dental Biomaterials and the institute of Biomaterials and Implant, College of Dentistry, Wonkwang University

Purpose: This study aimed to compare the antibacterial activity, pH, and fluoride release of alkasite restorative material (Cention N) and glass ionomer restorative materials (Fuji IX GP, Fuji II LC).

Materials and method: Agar diffusion test was used to determine the antibacterial activity against *Streptococcus mutans* and *Lactobacillus casei*. The inhibition zone was measured after 24 hours. The amount of fluoride released was measured on days 1, 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56 and 84. The pH was measured after 1, 3, 6, 12, and 24 hours.

Results: All restorative materials showed antibacterial activity. Results of the *Streptococcus mutans*, showed the following sequence: CHX > Fuji IX GP > Fuji II LC > Cention N ($p < 0.05$). The *Lactobacillus casei* results showed the following sequence: CHX > Fuji II LC > Cention N > Fuji IX GP ($p < 0.05$). All materials showed a continuous fluoride release; Fuji IX GP showed significantly higher fluoride release, compared with Fuji II LC and Cention N. The pH test, results showed the following sequence: Cention N > Fuji IX GP > Fuji II LC.

Conclusion: Continuous fluoride release for 3 months and antibacterial activity was observed in Cention N as well as in glass ionomer cements. Cention N showed highest pH among all materials. Further studies are required to evaluate the properties of Cention N in clinical conditions.

Key words : Alkasite restorative material, Glass ionomer, pH, Fluoride release, Antibacterial activity

Corresponding Author

Jiyoung Ra, DDS, MSD, PhD, Professor

Department of Pediatric Dentistry, College of Dentistry, Wonkwang University,

895 Muwang-ro, Iksan, Jeollabuk-do, 54538, Korea

Tel : +82-63-850-6633 / Fax : +82-63-858-2957 / E-mail : pedojoy@wku.ac.kr

I. 서론

글라스 아이오노머는 널리 알려진 불소 함유 수복재로, calcium-fluoro-alumino silicate glass 분말과 폴리 아크릴릭산(polyacrylic acid) 액으로 구성되어 혼합 시 불소를 방출하고 중합 시에는 산성을 나타낸다. 이 때 방출되는 불소와 중합 시의 높은 산도는 와동 내부에 잔존한 우식 유발균을 억제하여 우식의 진행을 방지 할 수 있고 초기에 방출되는 다량의 불소는 와동 내에 남아있는 이환 상아질의 재광화를 촉진하며 탈광화를 억제한다^{3~10}.

하지만 이러한 장점에도 불구하고 전통적인 글라스 아이오노머는 낮은 기계적 강도와 마모 저항성을 비롯한 단점들을 지니고 있다^{11,12}. 이에 물성을 강화한 레진 강화형 글라스 아이오노머, 콤포머 등의 재료가 개발 되었다.

레진 강화형 글라스 아이오노머는 기존의 글라스 아이오노머에 레진 성분을 첨가하여 뛰어난 기계적 물성을 가지면서도 항균 및 항우식 효과를 발휘하기에 충분한 불소 방출능을 보이는 재료이다^{13,14}. 콤포머는 다중산 강화 복합 레진으로 복합 레진의 단점과 글라스 아이오노머의 단점을 보완하였지만, 유리되는 불소량은 기존의 글라스 아이오노머에 비해 적었으며 강도 역시 레진에 비해 낮은 것으로 알려져 있다^{15~17}.

최근에는 조작성이 뛰어나고 높은 기계적 강도와 좋은 심미성을 가진 알카자이트 계열의 수복재인 Cention N 이 출시되었다. Cention N은 여러 연구에서 전통적인 글라스 아이오노머 수복재보다 더 높은 압축강도, 굴곡 강도, 그리고 미세경도를 보이는 것으로 보고되었다^{18~20}.

또한 전통적인 글라스 아이오노머 및 레진 강화형 글라스 아이오노머보다 더 좋은 색 안정성을 보여 높은 기계적 강도를 가지는 심미 수복 재료로의 사용이 기대되고 있다²¹. Cention N은 기존 글라스 아이오노머 수복재와 달리 Calcium fluoro silicate glass 성분의 alkaline filler가 포함되어 있어 불소 이온, 칼슘 이온, 수산화 이온을 방출한

다. Filler에서 유리된 수산화 이온은 구내 산성 환경을 중화시켜 항균성을 가지며 치면의 탈광화를 예방하고 재광화를 촉진시킬 수 있다²². 알카자이트 수복재의 alkaline filler는 기존의 수복재와는 다른 양상의 이온 방출을 보이며, 불소 방출 수복재는 제조사 및 제품의 종류, 제품의 성분에 따라 다양한 정도의 불소 방출량을 보인다²³. 이에 이 연구는 우식 유발균으로 널리 알려진 *Streptococcus mutans*와 *Lactobacillus casei*를 대상으로 글라스 아이오노머, 레진 강화형 글라스 아이오노머와 알카자이트 수복재의 항균성을 연구하고, 각 수복재의 불소 유리량 및 중합 시 pH를 비교해보고자 하였다. 이 연구의 귀무가설은 알카자이트 수복재의 항균성, pH, 불소 유리는 기존의 수복재와 차이를 보인다는 것이다.

II. 재료 및 방법

1. Materials and specimen preparation

연구에 사용된 재료는 다음과 같다(Table 1). 항균 실험을 위해서는 제조사의 지시에 따라 각 재료를 혼합한 후 applicator gun(Composite application pistol, Dentsply, Milford, DE, USA)에 재료를 담아 사용하였다. 불소방출량과 pH측정을 위해서는 제조사의 지시에 따라 각 재료를 혼합한 뒤 멸균된 실리콘 주형(직경 6.0 mm, 깊이 1.5 mm)에 담고 glass slide로 압착하여 과량의 재료를 제거하였다. Fuji IX GP, Cention N은 제조사의 지시에 따라 초기 경화를 거쳤다. Fuji II LC는 상면에서 20 초 동안 Valo® LED Curing Light(Ultradent Products, South Jordan, UT, USA)를 이용하여 광중합하였다. 항균 실험은 총 8개의 시편을, 불소방출량과 pH 측정은 총 10개의 시편을 실험에 사용하였다.

Table 1. Materials used in this study

Material	Category	Composition	Manufacturer	P/L ratio
Fuji IX GP	Glass ionomer	Powder : alumino-silicate glass Liquid : polyacrylic acid, water, polybasic carboxylic acid	GC Co, Tokyo, Japan	1 : 1
Fuji II LC	Resin modified glass ionomer	Powder : fluoroalumino-silicate glass Liquid : copolymer of acrylic acid and maleic acid, 2-hydroxyethylmethacrylate	GC Co, Tokyo, Japan	1 : 2
Cention N	Alkasite	Powder : calcium fluoro-silicate glass, barium glass, calcium-barium-aluminum fluoro-silicate glass Liquid : Urethane dimethacrylate, tricyclodecan-dimethanol dimethacrylate, tetramethyl-xylylen-diurethane dimethacrylate, polyethylene glycol 400 dimethacrylate	Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	1 : 1

P : Powder, L : Liquid

2. Agar plate diffusion test

KCTC(Korean Collection for Type Cultures)에서 *Streptococcus mutans*(KCTC 3065)와 *Lactobacillus Casei*(KCTC 3110)를 분양받아 연구에 이용하였다. 각 재료의 항균성을 평가하기 위해 아가 확산 실험을 실행하였으며, 균주의 저장과 배양에는 3.7% BHI(Brain Heart Infusion, Becton-Dickinson(BD) Franklin Lakes, NJ, USA) 배지를 사용했다.

3.7% BHI(BD)와 1.5% agar(BD) 조성의 한천배지를 멸균하여 직경 10cm petri dish에 15ml를 담아 한천배지를 제조하였다. 이후 mid log phase의 *S.mutans*와 *L.bacillus*를 spectrophotometer로 정량하여 10^7 CFU/mL 농도의 균액 300 μ L를 제조하였고, 각 아가 배지에 접종하였다. 이후 biopsy punch(KAI medical biopsy punch, 6mm, Gifu, Japan)를 이용하여 각각의 아가 배지에 직경 6.0 mm의 well 4개를 형성하였다. 각 재료는 제조사의 지시에 따라 혼합한 뒤 applicator gun(Dentsply)을 이용해 아가 배지에 biopsy punch로 만든 well에 직접 충전하였다. Fuji II LC는 Valo® LED

Curing Light(Ultradent Products)를 이용하여 1000 mW/cm² 단일 광도로 20초 동안 광중합하였다. 물질의 확산을 위해 실온에서 1시간 동안 보관하였다. 대조군으로는 멸균된 filter paper를 이용하여 양성 대조군으로는 0.11%의 CHX를 사용했고, 음성대조군으로는 PBS(Phosphate buffered saline, Ph 7.4)를 사용하였다. 각각의 petri dish는 24시간 동안 37.0°C의 조건에서 배양하였다. 배양이 끝난 뒤 각 inhibition zone의 직경을 caliper(Mitutoyo, 150.0 mm caliper 0.01 mm, Tokyo, Japan)를 이용해 측정했다. 각각의 측정은 최대, 최소 직경을 3회 반복하여 측정한 뒤 측정된 값의 평균에서 disc의 크기를 뺀 값을 inhibition zone으로 설정하였다.

3. Fluoride release

15.0 mL의 밀봉된 polypropylene tube(SPL Life Science, Korea)에 10.0 mL의 탈이온수를 담아 각 시편과 함께 37.0°C의 항온기에서 보관하였다. 불소 유리량 측정 시에는 시편이 담긴 용기에서 1.0 mL의 탈이온수를 채취하여 동량의 TISAB II(Total Ionic Strength Adjustment

Buffer II, Thermo Fisher Scientific Orion, Waltham, USA) 용액과 섞어주었다. 보관 후 1, 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 84일 경과 시점에 pH/ISE meter(720A+, Thermo Fisher Scientific Orion)와 불소 이온 전극(9609BNWP, Thermo Fisher Scientific Orion)을 사용하여 각 시편에서 방출된 불소의 양을 측정하였다. 매 측정 시에 1, 10, 100 ppm의 불소 표준 용액(Fluoride standard solution, Thermo Fisher Scientific Orion)을 이용해 불소 전극을 표준화하였다. 측정 이후, 시편을 기존의 polypropylene tube(SPL Life Science)에서 꺼내어 10.0 mL의 탈이온수가 담긴 새로운 polypropylene tube(SPL Life Science)에 넣은 뒤 다음 측정 시까지 37.0°C의 항온기(JSGT-100T, JSR, Cheongwon, Korea)에 보관하였다. 누적 불소 방출량은 각 시점의 불소 방출 측정치를 더하여 계산하였다.

4. pH

15.0 mL의 밀봉된 polypropylene tube(SPL Life Science)에 10.0 mL의 탈이온수를 담아 각 시편과 함께 37.0°C의 항온기(Cheongwon)에서 보관하였다. 보관 후 1시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간 경과 시점에 polypropylene tube(SPL Life Science) 안의 탈이온수를 이용하여 pH를 측정하였다. 측정에는 pH/ISE meter(Thermo Fisher Scientific Orion)와 pH 전극(8102 BNUMD, Thermo Fisher Scientific Orion)이 사용되었다. 매 측정 시에 phosphate buffer solution(pH 4.01, pH 7.00, Ph 10.01, Thermo Fisher Scientific Orion)을 이용하여 calibration을 시행하였다. 측정 이후에는 시편을 기존의 polypropylene tube(SPL Life Science)에서 꺼내어 10.0 mL의 탈이온수가 담긴 새로운 polypropylene tube(SPL Life Science)에 넣은 뒤 다음 측정 시까지 37.0°C의 항온기(Cheongwon)에 보관하였다.

5. Statistical analysis

통계적 분석을 위해 Windows SPSS 25.0(IBM, Armonk, NY, USA)를 이용하였다. 각 재료의 항균성 및 불소 유리량, pH에 대해 Kruskal-Wallis test로 유의성을 검정하였고, Mann-Whitney 사후검정을 시행하였다. 불소 방출량과 pH가 항균성에 미치는 영향은 Spearman 순위 상관 분석을 통해 유의성을 검정하였다.

III. 결과

1. Agar diffusion test

양성대조군과 모든 실험군에서 *S.mutans*와 *L.casei*에 대해 항균성을 확인할 수 있었다(Fig. 1). 각 재료별 inhibition zone의 크기는 Fig. 2에 나타내었다. 양성대조군인 CHX는 *S.mutans*와 *L.casei*에 대해 모든 실험군보다 높은 정도의 항균성을 나타내었다($p < 0.05$). 음성대조군인 PBS에서는 *S.mutans*와 *L.casei*에 대해 inhibition zone이 나타나지 않았다.

*S.mutans*에 대해서 Fuji IX GP는 Fuji II LC와 Cention N보다 유의하게 높은 항균성을 보였다($p < 0.05$).

Fuji II LC와 Cention N의 *S.mutans*에 대한 항균성 차이는 유의하지 않았다. *L.casei*에 대해서는 Fuji II LC, Cention N, Fuji IX 순으로 높은 정도의 항균성을 보였으며 각 실험군 간의 차이는 유의했다($p < 0.05$).

2. Fluoride release

각 측정 시점에서의 재료 별 불소 방출량을 Fig. 3에 나타내었다. 모든 실험군에서 지속적인 불소 방출이 나타났으며 Fuji IX GP는 모든 측정치에서 Fuji II LC, Cention

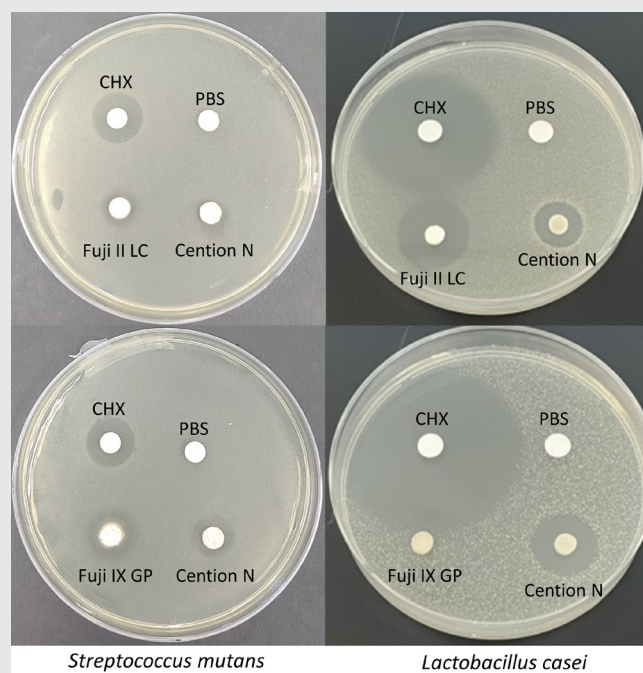


Fig. 1. Inhibition zone of agar diffusion test.

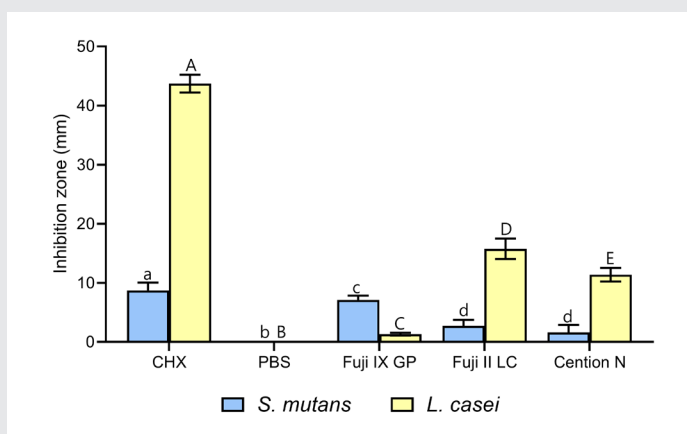


Fig. 2. Inhibition zone of restorative materials. Different lowercase letters indicate significantly different antibacterial properties against *Streptococcus mutans* and different uppercase letters indicate significantly different antibacterial properties against *Lactobacillus casei* ($p < 0.05$).

N에 비해 유의하게 많은 정도의 불소를 방출하였다($p < 0.05$). Fuji II LC와 Cention N의 1일 경과 후 불소 방출량 사이의 유의한 차이는 없었다($p = 0.247$). 이후 3일, 7일, 14일, 21일, 28일 경과 시점에서는 Fuji II LC가 Cention N보다 유의하게 많은 정도의 불소 방출을 보였다($p < 0.05$). 42일 경과 시점에서 Fuji II LC와 Cention N 간의 불소 방출량 차이는 유의하지 않았다. 56일 경과 시점에서 Fuji II LC가 Cention N보다 유의하게 많은 정도의 불소 방출을 보였으나 84일 경과 시점에서는 Cention N이 Fuji II LC보다 유의하게 많은 정도의 불소 방출을 보였

다($p < 0.05$). 84일 경과 후 Fuji IX GP, Fuji II LC, Cention N 순으로 높은 정도의 누적 불소 방출량을 보였으며 각 재료별로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$). 각 재료 별 누적 불소 방출량을 Fig. 4에 나타냈다.

3. pH

각 측정 시점에서의 재료 별 pH 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 실험군에서 산성의 pH가 측정되었다. Fuji II LC, Fuji IX GP, Cention N 순으로 낮은 수준의 pH를

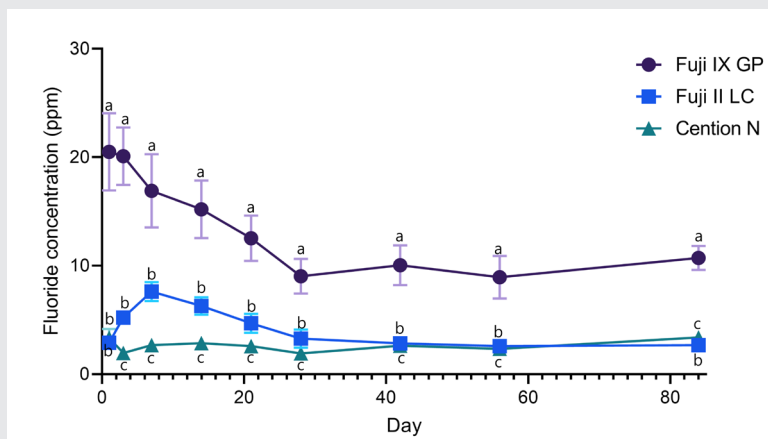


Fig. 3. Results of fluoride release for each time interval. Different lowercase letters indicate significantly different fluoride release ($p < 0.05$).

Table 2. Correlation coefficients between the fluoride release, pH and inhibition zone

		Fluoride	pH
Inhibition zone of <i>Streptococcus mutans</i>	Correlation (r)	0.585	-0.265
	p value	0.003	0.212
Inhibition zone of <i>Lactobacillus casei</i>	Correlation (r)	-0.657	-0.425
	p value	0.000	0.038

p values from Spearman's rank correlation test

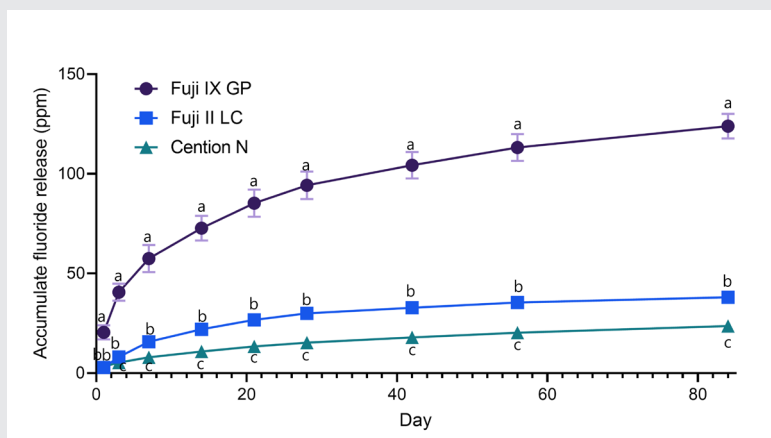


Fig. 4. Fluoride accumulation of the restorative materials for 1 day to 84 days. Different lowercase letters indicate significantly different accumulation of fluoride release ($p < 0.05$).

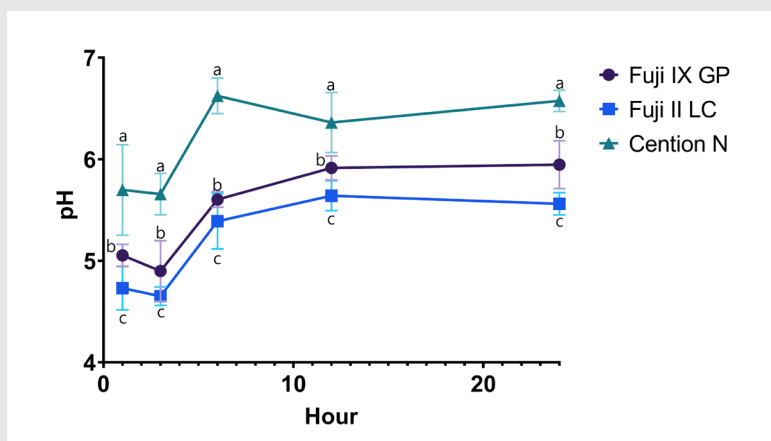


Fig. 5. pH change of the restorative materials for 1 hour to 24 hours. Different lowercase letters indicate significantly different pH ($p < 0.05$).

보였으며 모든 시점에서 각 재료 별로 유의한 차이를 보였다($p < 0.05$).

4. 상관 관계

Inhibition zone의 크기와 24시간 뒤 pH 및 불소 방출량 간의 상관관계를 분석하였다(Table 2). *S.mutans*의 경우 불소 방출량이 증가할수록 Inhibition zone이 증가하는 양상을 보였다($p < 0.05$). pH와 Inhibition zone은 유의한 상관관계를 보이지 않았다. *L.casei*의 경우 pH와 Inhibition zone 사이 음의 상관관계를 보였고, 불소와 Inhibition zone은 음의 상관관계를 보였다($p < 0.05$).

IV. 고찰

성공적인 우식 치료를 위해서는 심한 감염으로 변성된 표층의 감염 상아질은 제거하고, 아직 세균이 침범하지 않은 심부의 단단한 이환 상아질은 남겨 재광화를 높이고 술 후 민감성을 줄이는 것이 필요하다²⁴⁾. 하지만 임상적으로 감염 상아질과 이환 상아질을 정확하게 구분하는 것은 어려운 일로, 우식을 제거하고 수복을 한 뒤에도 수복물 하방에 박테리아가 남아있을 수 있다²⁵⁾. *Streptococcus mutans*와 *Lactobacillus casei*는 우식 발생에 중요한 역할을 하는 균으로 우식 유발균의 수와 우식 발생률 사이에는 유의한 연관성을 보였다^{24,25)}. Besic²⁶⁾의 연구에 따르면, 특히 *Streptococcus*는 수복물 하방에서 1년 이상의 생존이 가능했다. 항균 효과가 없는 수복재 하방에 잔존한 세균은 지속적으로 성장하고, 이는 이차 우식 및 술 후 과민증 등의 문제를 일으킬 수 있는 잠재적 요인이 된다^{27~29)}. 따라서 항균성을 갖는 수복물의 사용은 와동 내부 및 주변에 잔존하는 균을 감소시켜 이차 우식 발생을 억제한다는 점에서 중요한 의미를 갖는다^{9,30)}.

이 연구에서는 구강 내 치아우식증의 대표적인 균주인 *S.mutans*와 *L.casei*에 대한 알카자이트 수복재와 수종의 글라스아이오노머 수복재의 항균성을 평가하였다. 모든 실험군에서 음성대조군에 비해 유의하게 높은 정도의 항균성을 확인할 수 있었으며 이는 이전의 여러 연구에서도 보고되었다^{31,32)}. *S.mutans*의 경우 불소와 항균성 사이의 유의한 상관관계를 보여주었다. 이는 불화수소가 *S.mutans*의 대사를 억제하여 나타나는 항균작용으로, 이전의 연구 결과와 일치하였다³³⁾. *S.mutans*의 경우 pH와 항균성 사이에는 뚜렷한 연관성이 나타나지 않았는데, 이는 *S.mutans*의 강한 내산성에 기인한 것으로 생각된다³⁴⁾. *L.casei*의 경우 불소 방출량과 Inhibition zone 사이 음의 상관관계를 보였다. *S.mutans*가 *Lactobacillus*에 비해 약 20 ~ 40배 높은 불소 감수성을 보였다는 Hamilton의 연구³⁵⁾를 참고했을 때, *L.casei*에 대한 항균작용에는 불소 이외의 요인이 작용하는 것으로 생각되었다. *L.casei*의 경우 pH와 Inhibition zone 사이 유의한 음의 상관관계를 보였다. 평균 pH가 5.562로 가장 낮은 Fuji II LC에서 가장 높은 정도의 항균성을 보였으며 평균 pH가 5.95인 Fuji IX GP에서는 가장 낮은 정도의 항균성을 보였다. 이는 *L.casei*의 생존과 젖산 생산이 pH 6.0 ~ 6.5에서 가장 많았다는 선행연구 결과와 일치한다^{36,37)}. 하지만, 이 연구에서 Cention N의 경우 평균 pH는 6.58이었으나 *L.casei*에 대해 높은 정도의 항균성을 보였다. 이는 Cention N에 함유된 alkaline filler에서 방출되는 수산화 이온 및 칼슘 이온이 우식 유발 세균의 산 생성 활동을 중화시켜 나타난 결과로 생각된다^{38~40)}.

초기에 다량의 불소가 방출되는 “burst effect”는 와동 내 잔존한 세균의 사멸과 치질의 재광화에 중요한 역할을 한다⁴¹⁾. 이 연구에서는 Fuji IX GP에서 burst effect를 확인할 수 있었으며 초기에 나타난 다량의 불소 방출 이후 지속적인 불소 방출량의 감소를 보이다가 28일부터 완만한 정도의 불소 방출량을 보였다. 이전의 여러 연구에서도

이와 유사한 불소 유리 양상이 보고되었다^{42,43}. Fuji II LC의 경우 7일째까지 불소 방출량이 증가하였으나 이후부터는 불소 방출량의 감소를 보였으며 Cention N의 경우 낮은 수준에서 지속적인 불소 방출을 보였다. 하지만 치질의 재석회화에는 높은 정도의 불소 농도가 요구되지 않고 in vitro 상에서 1 ppm의 불소 농도가 존재할 때 법랑질의 탈회가 감소하였다는 이전 연구를 참고 할 때, 모든 수복재에서 주변 치질에 대한 장기간의 불소 유리 및 재광화 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다^{44,45}.

이 연구에서 전통적인 글라스 아이오노머, 레진 강화형 글라스 아이오노머, 알카자이트 수복재의 항균성, pH, 불소 방출량을 비교한 결과, 알카자이트 수복재는 대부분의 연구 결과에서 다른 실험군들과 통계적으로 유의한 차이를 보였으므로 귀무가설은 채택되었다. 기존의 연구와 이 연구의 결과를 바탕으로 했을 때, 알카자이트 수복재는 높은 기계적 강도와 심미성을 가지며 불소 방출능과 항균능을 가지는 수복재임을 확인 할 수 있었다. 하지만 산성 조건에서 수복물의 불소 방출량이 증가하였음이 여러 연구에서 보고되었고^{46~48}, 일반적인 구강 환경의 pH가 6.5인 것을 고려할 때 이와 유사한 저장 매체를 활용하거나 혹은 실제 임상 환경에서 나타나는 Cention N의 불소 방출량 및 재광화 효과를 평가한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

V. 결론

이 연구에서는 알카자이트 수복재인 Cention N과 전통적인 글라스아이오노머인 Fuji IX GP, 레진강화형 글라스 아이오노머인 Fuji II LC의 항균성과 pH 변화 및 84일 동안의 불소 방출량에 대해 평가하였다.

*S.mutans*에 대한 24시간 후의 항균성은 Fuji IX GP, Fuji II LC, Cention N 순으로 높게 나타났으며, *L.casei*에 대한 24시간 후의 항균성은 Fuji II LC, Cention N, Fuji IX GP 순으로 높게 나타났다. 통계 분석 결과 *S.mutans*에 대한 항균성은 불소 방출량과 유의한 상관관계가 있음을 확인할 수 있었으며, *L.casei*에 대한 항균성은 pH와 유의한 상관관계를 보였다. 모든 재료에서 84일 동안 지속적인 불소 방출능을 보여주었으며, Fuji IX GP에서 가장 높은 정도의 불소 방출능을 확인할 수 있었다. Cention N은 84일 동안 가장 낮은 정도의 불소 방출능을 보여주었다.

이 연구를 통해 알카자이트 수복재의 pH 및 불소 방출능, 항균능을 확인할 수 있었다. 하지만 이 연구는 생체 외에서 진행되어 산성을 띄는 구강 내 환경을 재현하지 못했다는 한계점이 존재한다. 따라서 구강 내 환경과 비슷한 조건에서 Cention N의 항균성 및 화학적 성질을 비교한 추가적인 연구가 필요한 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Marquis RE. Antimicrobial actions of fluoride for oral bacteria. *Can J Microbiol.* 1995;41:955-964.
2. Loveren CV. The antimicrobial action of fluoride and its role in caries inhibition. *J Dent Res.* 1990;69:676-681. <https://doi.org/10.1177/00220345900690S131>.
3. Forsten L. Short- and long-term fluoride release from glass ionomers and other fluoride-containing filling materials in vitro. *Eur J Oral Sci.* 1990;98:179-185. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1990.tb00958.x>
4. Friedl KH, Schmalz G, Miller KA, Shams M. Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and influence on *Streptococcus mutans* growth. *Eur J Oral Sci.* 1997;105:81-85. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1997.tb00184.x>
5. Seppä L, Korhonen A, Nuutinen A. Inhibitory effect on *S. mutans* by fluoride-treated conventional and resin-reinforced glass ionomer cements. *Eur J Oral Sci.* 1995;103:182-185. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0722.1995.tb00022.x>
6. Shellis RP, Duckworth RM. Studies on the cariostatic mechanisms of fluoride. *Int Dent J.* 1994;44:263-273.
7. Yap AU, Khor E, Foo SH. Fluoride release and antibacterial properties of new-generation tooth colored restoratives. *Oper Dent.* 1999;24:297-305.
8. Ten Cate JM. In vitro studies on the effects of fluoride on de- and remineralization. *J Dent Res.* 1990;69:614-619. <https://doi.org/10.1177/00220345900690>
9. Forsten L. Fluoride release and uptake by glass-ionomers and related materials and its clinical effect. *Biomaterials.* 1998;19:503-508.
10. Barkhordar RA, Kempler D, Pelzner RR, Stark MM. Technical note: antimicrobial action of glass-ionomer lining cement on *S. sanguis* and *S. mutans*. *Dent Mater.* 1989 Jul;5(4):281-282.
11. Berg JH. The continuum of restorative materials in pediatric dentistry—a review for the clinician. *Pediatr Dent.* 1998;20:93-100.
12. Guggenberger R, May R, Stefan KP. New trends in glass-ionomer chemistry. *Biomaterials.* 1998;19:479-483. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(97\)00127-0](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(97)00127-0).
13. Robertello FJ, Coffey JP, Lynde TA, King P. Fluoride release of glass ionomer-based luting cements in vitro. *J Prosthet Dent.* 1999;82:172-176. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(99\)70152-6](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(99)70152-6).
14. 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.* 2007;23:343-362. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2006.01.022>.
15. Lavis JF, Peters TC, Makinson OF, Mount G. Changes to Dyract restorative resin immersed in various media. *Am J Dent.* 1997;10:133-136.
16. Kim SM, Park HW, Lee JH, Seo HW. Fluoride release and microhardness of giomer according to time. *J Korean Acad Pediatr Dent.* 2010;37:429-437.
17. Shaw AJ, Carrick T, McCabe JF. Fluoride release from glass-ionomer and compomer restorative materials: 6-month data. *J Dent.* 1998;26:355-359. [https://doi.org/10.1016/S0300-5712\(97\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0300-5712(97)00016-X).
18. Balagopal S, Nekkanti S, Kaur K. An in vitro evaluation of the mechanical properties and fluoride-releasing ability of a new self-cure filling material. *J Contemp Dent Pract.* 2021;22:134-139.
19. Adsul PS, Dhawan P, Tuli A, Khanduri N, Singh A. Evaluation and comparison of physical properties of Cention N with other restorative materials in artificial saliva: An in vitro study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2022;15:350-355.
20. Lee KH, Kim JS, Shin JS, Han MR. Comparison of microhardness and compressive strength of alkasite and conventional restorative materials. *J Korean Acad Pediatr Dent.* 2020;47:320-326.
21. Ahn JH, Lee SH, Lee NY, Shin HW, Jih MK. Color stability of alkasite restorative material : in vitro studies. *J Korean Acad Pediatr Dent.* 2022;49:428-441.
22. Bhadra D, Shah NC, Rao AS, Dedania MS, Bajpai N. A 1-year comparative evaluation of clinical performance of nanohybrid composite with Activa TM bioactive composite in class II carious lesion : a randomized control study. *J Conserv Dent.* 2019;22:92-96.
23. Shiozawa M, Takahashi H, Iwasaki N. Fluoride release and mechanical properties after 1 year water storage of recent restorative glass ionomer cements. *Clin Oral Investig.* 2014;18:1053-1060.
24. Luczaj-Cepowicz E, Marczuk-Kolada G, Zalewska A, Pawinska M, Leszczynska K. Antibacterial activity of selected glass ionomer cements. *Postepy Hig Med Dosw(Online).* 2014;68:23-28.
25. Kidd EA, Joyston-Bechal S, Beighton D. The use of caries detector dye during cavity preparation: a microbiological assessment. *Br Dent J.* 1993;174:245-248. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.4808142>.
26. Besic FC. The fate of bacteria sealed in dental cavities. *J Dent Res.* 1943;22:349-354.
27. Gultz J, Do L, Boylan R, Kaim J, Scherer W. Antimicrobial activity of cavity disinfectants. *Gen Dent.* 1999;47:187-190.

참 고 문 헌

28. Fisher FJ. The viability of micro-organisms in carious dentine beneath amalgam restorations. *Br Dent J.* 1966;121:413-416.
29. Brännström M. The cause of postrestorative sensitivity and its prevention. *J Endod.* 1986;12:475-481.
30. Fraga RC, Siqueira Jr JF, Uzeda MD. In vitro evaluation of anti-bacterial effects of photo-cured glass ionomer liners and dentin bonding agents during setting. *J Prosthet Dent.* 1996;76:483-486. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(96\)90005-0](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(96)90005-0).
31. Loyola-Rodriguez JP, Garcia-Godoy F, Lindquist R. Growth inhibition of glass ionomer cements on mutans streptococci. *Pediatr Dent.* 1994;16:346-349.
32. Palenik CJ, Behnen MJ, Setcos JC, Miller CH. Inhibition of microbial adherence and growth by various glass ionomers in vitro. *Dent Mater.* 1992;8:16-20. [https://doi.org/10.1016/0109-5641\(92\)90047-G](https://doi.org/10.1016/0109-5641(92)90047-G).
33. Liao Y, Brandt BW, Li JY, Crieleard W, Loveren CV, Deng DM. Fluoride resistance in *Streptococcus mutans*: a mini review. *J Oral Microbiol.* 2017;9:1344509. <https://doi.org/10.1080/20002297.2017.1344509>.
34. Welin-Neilands J, Svensater G. Acid tolerance of biofilm cells of *Streptococcus mutans*. *Appl Environ Microb.* 2007;73:5633-5638. <https://doi.org/10.1128/AEM.01049-07>.
35. Hamilton IR. Biomechemical Effects of fluoride on Oral bacteria. *J Dent Res.* 1990;69:660-667. <https://doi.org/10.1177/00220345900690S128>.
36. Krischke W, Schröder M, Trösch W. Continuous production of L-lactic acid from whey permeate by immobilized *Lactobacillus casei* subsp. *casei*. *Appl Microbiol Biotechnol.* 1991;34:573-578.
37. Yoo IK, Chang HN, Lee EG, Chang YK, Moon SH. Effect of pH on the production of lactic acid and secondary products in batch cultures of *Lactobacillus casei*. *J Microbiol Biotechnol.* 1996;6:482-486.
38. Todd J. Scientific Documentation: Cention N. Ivoclar-Vivadent Press: Schaan, Liechtenstein, 1-58, 2016.
39. Samanta S, Das UK, Mitra A: Comparison of microleakage in class V cavity restored with flowable composite resin, glass ionomer cement and cention N. *Imp J Interdiscip Res.* 3:180-183, 2017.
40. Lee D, Kim J, Han M, Shin J: Fluoride Release and Recharge Properties of Several Fluoride-Containing Restorative Materials. *J Korean Acad Pediatr Dent.* 2020;47:196-204.
41. Freedman R, Diefenderfer KE. Effects of daily fluoride exposures on fluoride release by glass ionomer based restoratives. *Oper Dent.* 2003;28:178-185.
42. Itota T, Carrick TE, Yoshiyama M, McCabe JF. Fluoride release and recharge in giomer, compomer and resin composite. *Dent Mater.* 2004;20:789-795. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.11.009>.
43. Kamijo K, Mukai Y, Tominaga T, Iwaya I, Fujino F, Hirata Y et al. Fluoride release and recharge characteristics of denture base resins containing surface pre-reacted glass ionomer filler. *Dent Mater J.* 2009;28:227-233. <https://doi.org/10.4012/dmj.28.227>.
44. Silverstone LM. Fluoride and remineralization in clinical uses of fluoride. Philadelphia, Les & Febiger. p153-175.
45. Arends J, Christoffersen J. Nature and role of loosely bound fluoride in dental caries. *J Dent Res.* 1990;69:601-605. <https://doi.org/10.1177/00220345900690S118>.
46. Sales D, Sae-Lee D, Matsuya S, Ana ID. Short-term fluoride and cations release from polyacid-modified composites in a distilled water, and an acidic lactate buffer. *Biomaterials.* 2003;24:1687-1696. [https://doi.org/10.1016/S0142-9612\(02\)00545-8](https://doi.org/10.1016/S0142-9612(02)00545-8).
47. Itota T, Al-Naimi OT, Carrick TE, Yoshiyama M, McCabe JF. Fluoride release from aged resin composites containing fluoridated glass filler. *Dent Mater.* 2005;21:1033-1038. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.11.008>.
48. 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.* 1999;26:388-393. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2842.1999.00413.x>.