

# 은이온 함유 결찰고무링의 구강 내 미생물에 대한 항균효과

원윤아<sup>1)</sup>, 이동렬<sup>1)</sup>, 이진용<sup>2)</sup>, 김민지<sup>3)</sup>, 김예진<sup>1)</sup>, 임용규<sup>1)\*</sup>

고려대학교 임상치의학대학원 치과교정학과<sup>1)</sup>, 경희대학교 치의학전문대학원 미생물학교실<sup>2)</sup>,  
이화여자대학교 임상치의학대학원 치아교정학과<sup>3)</sup>

〈Abstract〉

## The Antibacterial Activities of Silver Ion Containing Elastomers on Oral Pathogenic Microbes

Yoon Ah Won<sup>1)</sup>, Dong Yul Lee<sup>1)</sup>, Jing Yong Lee<sup>2)</sup>, Min ji Kim<sup>3)</sup>, Yae jin Kim<sup>1)</sup>, Yong Kyu Lim<sup>1)\*</sup>

Department of Orthodontics, Graduate School of Clinical Dentistry Korea University<sup>1)</sup>, Department of Microbiology, School of Dentistry, Kyung Hee University<sup>2)</sup>, Department of Orthodontics, Graduate School of Clinical Dentistry, Ewha Womans University<sup>3)</sup>

In recent days, there is much interest in the biocidal activity of silver since silver is known to be safe and effective as disinfectant and biocidal material against bacteria and viruses. There is also increased interest in the nano-sized silver particles which can be used as effective bactericidal material. The purposes of this study were to investigate the effect of silverized elastomers on growth of oral pathogenic microorganisms, including Streptococcus mutans, Fusobacterium nucleatum, Porphyromonas gingivalis by comparing with conventional non-silverized elastomers. The antibacterial efficacy of silverized elastomer against oral pathogenic microbes was investigated by modified disk diffusion test and growth inhibition test. In modified disk diffusion test, silverized elastomer showed no antibacterial activity against S. mutans, F. nucleatum and P. gingivalis. In culture medium, the growth of S. mutans, F. nucleatum, P. gingivalis was not inhibited by silverized elastomer. Silverized elastomer exhibited no bacteriostatic and/or bacteriocidal effects against some experimental strain.

Key words : Silver, Silverized elastomer, Antimicrobial effect

### I. 서론

교정 치료 시 고정식 교정 장치의 장착은 구강 내 세균이 번식하기 적절한 새로운 환경을 제공하며 이는 치아 우식증 및 치주병 등의 부작용을 유발할 수 있다. Rosenbloom과 Tinanoff<sup>1)</sup>는 고정식 교정 장치 주변의 치태 내 Streptococcus mutans(S. mutans) 수준이 증가되는 것을 볼

수 있다고 하였으며 Scheie 등<sup>2)</sup>은 고정식 교정 치료 시 타액 내 S. mutans의 수준이 증가되고 이 세균이 번식할 수 있는 retentive site도 증가한다고 하였다. Gorelic과 Geiger<sup>3)</sup>의 역학조사에 의하면 교정치료를 받은 환자의 50%에서 법랑질 탈회가 발생하며 상악측절치의 순측 치경부에 백색반점이 가장 많이 나타난다고 하였다. 또한 Naranjo 등<sup>4)</sup>은 브라켓 접착 후 pocket depth, Periodontal index, Gingival index의 수치가 올라가고 대조군과 비교했을 때 치주염을 유발하는 주요 세균의 수치가 증가된다고 보고하였다. 고정식 교정 치료 시 이러한 부작용을 감소시키기 위한 다양한 노력이 있어왔다. 불화주석 도포를 하는 경우 도포 전과 비교 시 타액 내 S. mutans 수가 감소하였으나 이는 장기간

\* Correspondence : Yong-kyu Lim, Division of Orthodontics, Department of Dentistry, Korea University Medical Center Anam Hospital, 5 ga, Anam dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-705, Korea.

Tel: 02-920-6498, E-mail: yonklim@hanmail.net

Received: Dec 09, 2011; Revised: Dec 27, 2011; Accepted: Jan 09, 2012

지속되지는 않았으며<sup>5)</sup>, Chlorhexidine varnish를 처치하는 경우 *S. mutans*를 장기간 선택적으로 억제할 수 있었다<sup>6)</sup>.

교정식 교정 장치에서는 일반적으로 철사 결찰과 고무링 결찰이 사용된다. 이 둘을 비교한 연구에서 철사보다 고무링으로 결찰된 치아의 치태 내 병원균의 양이 더 크게 나타났다<sup>7)</sup>. 따라서 이러한 고무링 결찰의 단점을 보완하기 위해 불소를 방출하거나 표면 마찰을 줄이는 특수 처리된 결찰고무링이 소개되었고 이러한 특수 결찰고무링의 효과에 대한 연구들이 있었다. Wilson과 Gregory<sup>8)</sup>는 불소방출 결찰고무링이 타액 내 *S. mutans* 수준을 감소시키는 효과가 있다고 한 반면 Benson 등<sup>9)</sup>은 치태 내 streptococci나 anaerobic bacteria 수에는 영향을 미치지 못했다고 하였다. 표면 마찰을 줄이기 위해 hydrogel-polymer coating을 적용한 결찰고무링에 대해 Magno 등<sup>10)</sup>은 이 결찰고무링이 일반 결찰고무링에 비해 오히려 더 많은 세균에 노출되었다고 하였다.

금속 이온의 항균 작용은 이전부터 알려져 왔고 이 중 특히 은이온은 탁월한 항균 작용과 생체에 대한 낮은 독성으로 의학 및 치과 분야에서 다양하게 사용되고 있다<sup>11)</sup>. 특히 의학적 측면에서는 화상 부위나 눈에서의 감염을 억제, 치료 내지 예방하고자 은이 포함된 제제를 국소적으로 적용하는 등의 다양한 시도와 연구가 진행되고 있다<sup>12,13)</sup>. 그리고 최근에는 은이 포함되어 있는 광석의 일종인 Zeolite를 제제화하여 의치상 수복을 위한 조직 조정제(tissue conditioner), 임시충전제, 또는 구강흡수제에 포함시킨 후 흑종의 구강 세균에 대한 항균능이나 치면 세균막의 형성 정도를 측정, 보고한 연구<sup>14-17)</sup>, 그리고 Zeolite 제제를 배지에 혼합한 후 은이온의 방출 양상과 수종의 구강 세균에 대한 항균능을 측정, 보고한 연구가 시행된 바 있다<sup>18)</sup>.

최근 교정 영역에서는 결찰고무링 표면에 silver-zeolite를 첨가하여 지속적인 은이온 방출을 통하여 교정 장치 주변에서 항균 효과를 발휘한다는 결찰고무링(Ortho Shield Safe-T-Tie, Ortho Organizers, Carlsbad, CA, USA)이 소개되었으며 은이온성분의 항균작용이 치태 내 병원성 세균 수를 감소시켜 교정치료 시 발생 가능한 치아 우식, 치은염과 치주염을 감소시킬 수 있는 것으로 알려져 있지만 실제 효과에 대한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구를 통하여 현재 시판되는 은이온 함유 결찰고무링이 대표적인 구강 내 병원균에 미치는 항균 효과를 일반 결찰고무링과 비교하여 그 효능을 알아보고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 재료

실험군으로 은이온을 방출하는 결찰고무링으로 소개된 Orthoshield Safe T-tie(Ortho Organizers, Carlsbad, CA, USA)를 이용하였으며 대조군으로 일반 결찰고무링 Dentalastics (Dentaurum, Ispringen, Germany)를 사용하였다

### 2. 실험 대상 균주 및 배양 조건

*Streptococcus mutans* GS5(*S. mutans*), *Fusobacterium nucleatum*(*F. nucleatum*)을 Brain Heart Infusion(Difco, BD Diagnostic System, Spark, MD, USA)(BHI) 액체배지에, *Porphyromonas gingivalis* 2561(*P. gingivalis*)균주는 Modified Brain Heart Infusion(MBHI) 액체 배지에 접종한 후, 85% N<sub>2</sub>, 10% H<sub>2</sub>, 및 5% CO<sub>2</sub> 상태의 혐기성 배양기(Forma Scientific Co., USA)로 37°C에서 24시간 배양하여 대수증식기의 세균을 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 균주 목록은 Table 1과 같았으며, 이에 대한 배양 배지의 조성은 Table 2와 같았다.

### 3. 항균활성 측정 시험(Disk diffusion test)

은이온 함유 결찰고무링의 항균활성을 측정하기 위해 확산법의 일종인 disk diffusion test<sup>19)</sup>를 변형하여 사용하였다. *S. mutans*와 *F. nucleatum*, *P. gingivalis*가 액체배지에서 Optical density가 0.1이 되도록 새로운 10 ml BHI 액체배지에 100:1로 계대배양하고, 성장한 *S. mutans*와 *F. nucleatum* 100 µl를 BHI 고체배지(included 1.5% Agar; Duchefa, USA)에, *P. gingivalis* 100 µl는 Tryptic soy broth에 yeast extract(1 mg/ml; Duchefa Biochemie, USA), hemin(5 µg/ml; Sigma, USA), vitamin K(0.2 µg/ml; Sigma, USA),

Micro agar(1.5%; Duchefa Biochemie, USA), 면양적혈구 (sheep blood; Medex, USA)가 첨가된 고체배지에 도달한 후에 은이온 함유 결찰고무링과 일반 결찰고무링을 각각의 고체배지 위에 하나씩 올려놓았다. 이 고체배지들은 37°C에서 혐기적으로 48시간동안 배양한 후 결찰고무링 주변에 clear zone의 크기를 확인하였다. 각 실험을 5회 반복 관찰하였다.

#### 4. 구강 내 병원균의 생육에 대한 은이온의 영향 (Growth Inhibition Test)

##### Optical Density 변화 측정

은이온의 구강 내 병원균에 대한 생육 억제 추이를 관찰하기 위하여 3개씩 3군, 총 9개의 25 ml 삼각플라스크를 준비한 후 한 군의 삼각 플라스크 3개에는 20개의 은이온 함유 결찰고무링, 다른 한 군에는 일반 결찰고무링 20개를 넣고, 나머지 군에는 아무것도 넣지 않고 15분간 멸균(121°C, 1 atom)하였다. 삼각플라스크들을 5시간동안 실내온도에 방치한 후, 각 군에서 계대배양으로 optical density가 0.1로 성장한 *S. mutans*, *F. nucleatum*, *P. gingivalis* 균주액을 3 ml씩 분주하였다. 9개의 삼각플라스크를 37°C에서

혐기적으로 36시간동안 진동을 가하며 배양하면서, 4시간 간격으로 각각의 삼각플라스크에서 200 µl의 균액을 취하여 600 nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도 측정은 triad(Dynex tech., VA, USA)를 사용하였다. 각 실험은 5회 반복하였다.

##### 생균수 측정

같은 방법으로 각각의 삼각플라스크에서 시간에 따라 100 µl 균액을 얻어 900 µl PBS(phospharated-buffered saline)로 단계희석하고 *S. mutans*와 *F. nucleatum*은 BHI 고체배지에, *P. gingivalis*는 Tryptic soy broth에 yeast extract(1 mg/ml), hemin(5 µg/ml), vitamin K(0.2 µg/ml), Microagar(1.5%; Duchefa Biochemie, USA), 면양적혈구 (sheep blood; Medex, USA)가 첨가된 고체배지에 도달하여 37°C에서 혐기적으로 48시간동안 배양하여 형성된 집락수를 세어 생균수를 측정하였다. 각 실험은 5회 반복하였다.

**Table 1.** List of bacterial strains and media used for antimicrobial activity test

Bacterial strain	Aerobic condition	Media for cultivation
<i>Streptococcus mutans</i> GS5	Facultative Anaerobic	BHI
<i>Fusobacterium nucleatum</i>	Facultative Anaerobic	BHI
<i>Porphyromonas gingivalis</i> 2561	Facultative Anaerobic	MBHI

BHI :Brain Heart Infusion(Difco, BD Diagnostic System, Spark, MD, USA)

MBHI : Modified Brain Heart Infusion

**Table 2.** Composition of MBHI medium

Compound	Unit(g/l)
Brain Heart Infusion(BD., Spark, MD, USA)	37.0
Yeast extract(Duchefa Biochemie, USA)	5.0
Hemin(Sigma, USA)	0.5
Vitamin K(Sigma, USA)	0.002

### III. 연구 결과

#### 1. 항균활성 측정 시험

##### -Disk diffusion test

시판되고 있는 은이온 방출 고무결찰의 구강 내 병원균인 *S. mutans*, *F. nucleatum*, *P. gingivalis*에 대한 항균 활성을 조사하기 위해 변형된 disk diffusion test를 시행하였다. 은이온 방출 고무결찰은 접촉한 구강 내 병원균에 대하여 모두 항균활성을 나타내지 않았으며 일반 고무결찰과 별다른 차이를 보이지 않았다. Fig. 1은 *S. mutans*에 대한 은이온 방출 고무결찰의 항균작용을 관찰한 결과 생육저해 환(clear zone)이 나타나지 않은 것을 보여주고 있다.

#### 2. 구강 내 병원균의 생육에 대한 은이온의 영향

##### -Growth Inhibition Test

은이온 방출 고무결찰의 항균 활성을 조사하기 위해서 36시간동안 균의 생육에 미치는 영향을 측정하였다. 그 결과 Fig. 2, 3, 4에서 보는 것처럼 은이온 방출 고무결찰에 접촉된 균에서 일반 고무결찰에 접촉한 균에서와 같이 균의 성장 억제 현상이 거의 관찰되지 않았다.

#### 3. 은이온 방출 고무결찰의 표면 양상 관찰

##### -Scanning Electron Microscope

은이온 방출 고무결찰 주변에 접촉한 미생물의 양상을 조사하기 위하여 *S. mutans*에 대하여 은이온 방출 고무결찰과 일반 고무결찰인 대조군을 주사전자현미경으로 관찰하였다. Fig. 5, 6에서 보는 바와 같이 은이온 방출 고무결찰 표면의 세포는 일반 고무결찰에 비하여 부분적으로 미생물의 표면 접촉이 적은 양상을 보였다.

### IV. 총괄 및 고찰

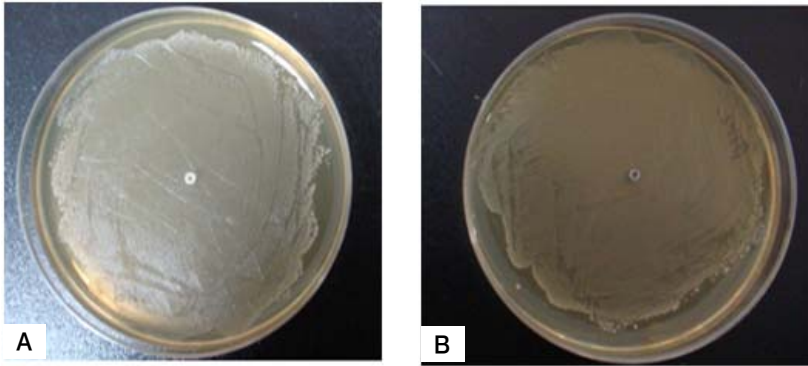
은(Ag, silver)의 항균작용은 예로부터 알려져서 질산은은 소독 및 살균에 사용되었고, 녹농균 제거에는 구연산은을

사용하였다<sup>20</sup>. 은은 일부 내성균을 제외하고는 대부분의 균에 대하여 광범위한 항균효과를 나타낸다고 보고되어 있으며<sup>21,22</sup>, 은 전극을 직류에 통과시켜 생성된 은이온(Ag+)이 우수한 항균효과를 나타낸다고 한다<sup>23</sup>.

최근에는 은이온 뿐만 아니라 amino acid, silfadrug 유도체 등과 결합한 은이온의 복합물에 대한 항균 연구도 활발하게 진행되고 있다<sup>24,25</sup>. 특히 silver sulfadiazine과 같은 은 복합물은 항균특성 뿐만 아니라 임상적으로 상처 치료 및 화상 후 감염치료에도 탁월한 효과를 가진다고 보고되고 있다<sup>26,27</sup>.

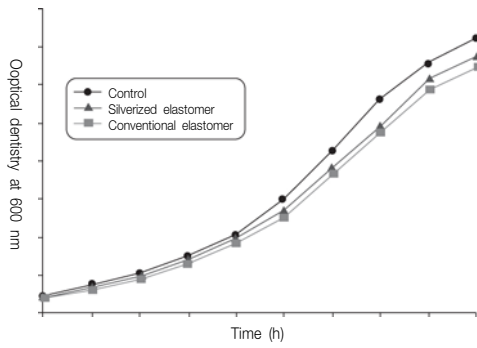
은이온에 의한 미생물 불활성화 메커니즘은 효소(enzyme)의 -SH기(thiol group)과 은이온이 반응함에 따라 S-Ag가 생성되어 미생물 불활성화가 일어나거나, 은 이온이 미생물의 세포질막(cytoplasmic membrane)에 있는 K<sup>+</sup> 이온을 방출시킴으로써 미생물을 불활성화 시킨다고 일반적으로 알려져 있으며, 미생물의 DNA에 존재하는 염기와 반응함으로써 미생물의 세포분열을 방해한다는 메커니즘 역시 제시되고 있다<sup>28,29</sup>. 그러나 용액 상태에서만 존재할 수 있는 은이온은 응용하는데 많은 제한이 있어, 최근에는 고체 상태로 사용이 가능한 나노(nano)사이즈 은입자(Ag<sup>0</sup>)를 이용한 제품 개발 및 항균성 연구가 활발하다. 최근 나노크기의 은미립자(nanosilver)의 항균 효과에 대한 연구에서 nanosilver는 autolysin을 저해하여 세균증식을 억제하는 것으로 보고되었다. Autolysin은 세포벽에 결합된 효소로 세포벽을 구성하는 peptidoglycan을 용해하여 세균을 증식시키는 역할을 하는 것으로 이 연구에서 nanosilver는 세균의 성장점 부근에서 세포벽에 손상을 주어 세포벽을 절단하여 다량의 막상 편린을 생성하고 autolysin을 불활성화 시켜 filament형 균체를 형성하여 균의 증식은 억제시키고 구취 세균을 전혀 다른 형태로 변화시키는 것으로 나타났다<sup>30</sup>. 조와 박<sup>31</sup>은 nanosilver에 의하여 *S. aureus*와 *E. coli*의 세포 표면이 심하게 손상되고 세균의 분열이 억제되는 것으로 보고하였고, 김 등<sup>32</sup>도 nanosilver에 의하여 *E. coli*의 세포 벽과 원형질막이 손상되는 것으로 보고하였다.

새로 소개된 은이온 함유 결찰고무링의 항균효과를 알아보고자 한 이번 연구에 사용된 Orthoshield Safe T-tie는 고무의 표면에 silver zeolite가 함유되어 있으며 silver zeolite

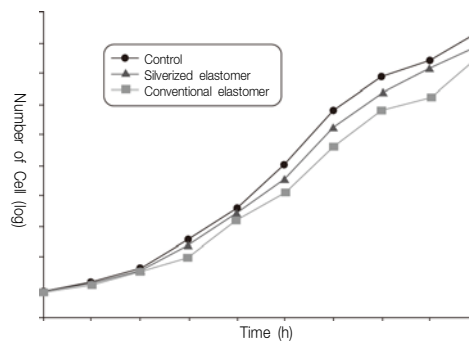


**Fig. 1.** Antibacterial effect of Silver-releasing elastomer against *S. mutans* GS5  
 A : Silverized elastomer  
 B : Conventional elastomer

*S. mutans* GS5

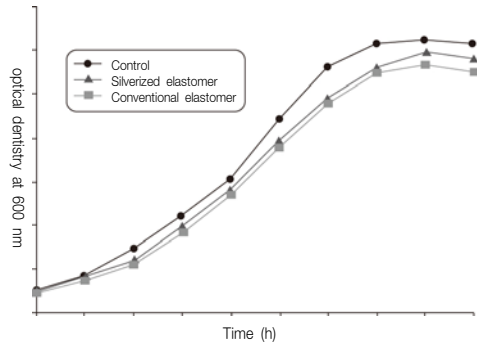


*S. mutans* GS5

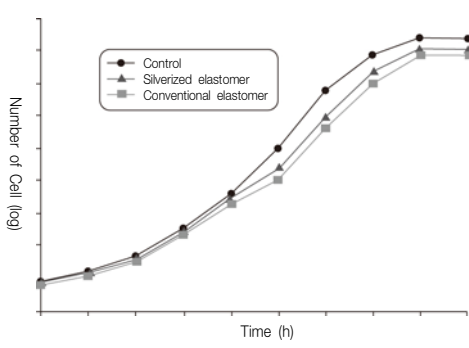


**Fig. 2.** Effect of growth inhibition by silverized elastomer on *S. mutans* GS5

*F. nucleatum*

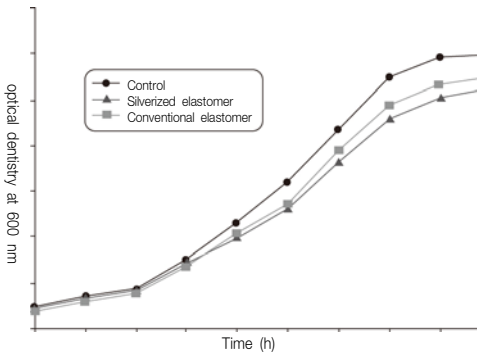


*F. nucleatum*

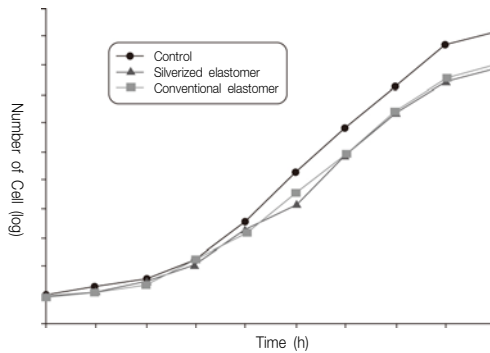


**Fig. 3.** Effect of growth inhibition by silverized elastomer on *F. nucleatum*

*P. gingivalis* 2561



*P. gingivalis* 2561



**Fig. 4.** Effect of growth inhibition by silverized elastomer on *P. gingivalis* 2561

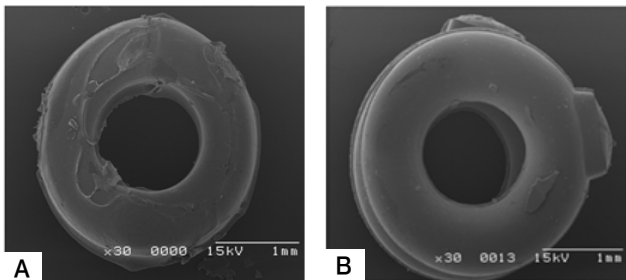
는 aluminosilicate crystalline structure의 void space에 은 이온이 첨가된 형태의 것으로 은이온은 주변의 bacteria와 접촉 시 활성화된다<sup>35)</sup>. Matsumura 등<sup>34)</sup>은 silver zeolite의 항균작용에서 은이온이 중요한 역할을 하고 있음을 언급하였으며 혐기성 세균에 대한 항균성을 보인다고 하였다.

이번 연구에서 변형된 disk diffusion 법으로 조사한 구강 내 병인균에 대한 은이온 함유 결찰고무링의 항균효과는 *S. mutans* 및 *F. nucleatum*, *P. gingivalis* 균주에서 모두 항균 효과가 나타나지 않았다. 이는 은이온 함유 결찰고무링이 주변 접촉 균주에 대하여 항균효과를 유발할 정도의 은이온을 방출하지 못하기 때문으로 추측할 수 있다. Disk diffusion법에서 항균력이 나타나기 위해서는 주변 용매를 통하여 은이온이 방출되어 균주에 변화를 유발해야 하는데 은이온 함유 결찰고무링에서는 직접 접촉된 부분에서조차 균주의 변화가 유발되지 않았다. 이는 은이온 방출이 나타나지 않았거나 너무 경미하여 지속되지 않는 경우, 은이온 방출량이 지속적이라도 그 양이 항균 활성을 나타낼 정도로 충분한 양이 아닌 경우, 또한 은이온 방출이 충분하게 이루어 졌더라도 세균에 직접적인 영향을 미치지 못하는 경우의 가능성을 생각해 볼 수 있다. 은이온 함유 결찰고무링의 은이온 방출 양과 그 지속여부에 대한 연구가 부족한 상태이므로 특히 구강 내와 비슷한 환경에서 그 작용이 어떻게 나타나는지에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

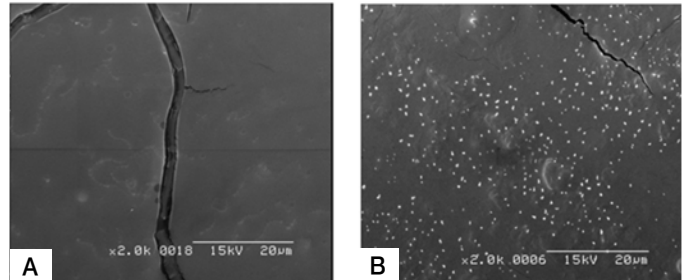
Casemiro 등<sup>35)</sup>은 acrylic resin에 첨가된 silver-zinc zeolite의 양이 증가 할수록 항균 활성도 증가됨을 입증하였다. 7일간의 관찰에서 세균의 성장이 유의하게 감소함을 나

타내었으나 이는 silver-zinc zeolite를 이용한 것으로 zinc 역시 강한 항균효과와 항진균 효과를 나타내므로<sup>36,37)</sup> silver zeolite형태인 본 실험과는 차이가 있을 수 있다. Yoshida 등<sup>38)</sup>은 3가지 종류의 은 함유 재료(Silver-supported antimicrobial material, SSAM)를 첨가한 광중합형 레진의 항균 효과를 장기간 관찰하였다. SSAM이 첨가된 레진의 경우 *S. mutans*에 대하여 대조군과의 비교에서 유의할만한 항균효과를 나타내었다. 3개월 후 은이온 용출량은 거의 없거나 미량에 불과하였는데 이를 통해 은이온의 항균 효과는 레진으로부터의 은이온 방출에 의한 것이 아니라 레진 표면에서 직접적인 접촉에 의한 것이라고 추정하였다. 본 실험에 사용된 silver zeolite를 함유한 결찰고무링은 은이온을 지속적으로 방출한다고 소개되어 있다. 그러므로 시간에 따른 용출되는 은이온 양의 감소나 고갈은 결찰고무링의 항균효과를 결정짓는 요소가 될 수 있다. Hotta 등<sup>39)</sup>의 연구에서도 silver-zinc zeolite가 함유된 임시수복제의 이온 용출량은 시간에 따라 점차 감소함을 관찰 할 수 있다.

Kawahara 등<sup>40)</sup>은 silver zeolite의 항균효과를 최소 억제 농도(minimum inhibitory concentrations, MICs)로 평가하였는데 이 연구에서 *S. mutans* 등의 gram-positive 균주는 *P. gingivalis* 및 다른 gram-negative 균주에 비하여 silver-zeolite의 항균효과에 대한 감수성이 더 낮게 나타났다. *S. mutans* 등의 gram-positive 균주의 세포벽은 gram-negative 균주에 비하여 3-20배 많은 peptidoglycan을 함유하고 있으며<sup>41)</sup> peptidoglycan은 음전하를 띠고 있기 때문에 용출된 은이온이 세균에 대한 분해능을 발휘하기 전에 세포벽 구



**Fig. 5.** Scanning electron micrographs of *S. mutans*(X 30)  
A : Silverized elastomer  
B : Conventional elastomer



**Fig. 6.** Scanning electron micrographs of *S. mutans*(X 2000)  
A : Silverized elastomer  
B : Conventional elastomer

조에 결합하게 되므로 항균효과가 덜하게 된다.

그러나 본 연구에서는 gram-positive인 *S. mutans* 뿐만 아니라 gram-negative인 *P. gingivalis*와 *F. nucleatum*에서도 항균효과가 나타나지 않았으므로 은이온 함유 결찰고무링의 항균효과는 의심스럽다 할 수 있다.

Silver zeolite에서 은이온 용출이 가능하려면 주변의 용매에서 이온 교환이 가능하도록 양이온 함량이 충분해야 한다<sup>42)</sup>. 그러므로 silver zeolite의 장기간 효과는 용매의 특성에 의해 좌우될 수 있다<sup>43)</sup>. 본 실험에서는 각 세균의 배양액에서 항균성을 검사하였으며 이는 다른 문헌에서 시행된 실험과 유사하게 진행되었다. 배지를 이용하여 은이온의 항균성을 실험한 이전의 다양한 연구<sup>44-46)</sup>에서는 각 병인균에 대하여 은이온의 항균성이 입증되었으며 본 실험은 실험 기간이 long-term으로 진행되지 않았으므로 배양액이 항균 효과에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 볼 수 있다.

타액은 다양한 무기염을 함유하여 개인에 따라 다양한 조성을 가지고 있으므로 은이온 용출에 영향을 미치게 된다<sup>47)</sup>. Hotta 등<sup>39)</sup>은 은이온과 아연(Zinc)이온의 항균효과를 조사한 연구에서 본 연구와는 다른 결과를 얻었는데 그들의 실험에서는 용매로 탈이온수를 사용하였기 때문인 것으로 판단된다. 고무결찰이 구강 내에서 적용되는 경우 타액에 의해서 빠르게 코팅되고 타액 내 단백질과 organic-film이 결찰고무링 주변에 축적되게 된다. 이러한 현상은 은이온을 방출시키는 의료용 재료가 임상적으로 효과를 나타내지 못하게 하는 치명적인 단점으로 제기된다<sup>48)</sup>. 그러므로 본 연구에 사용된 은이온 함유 결찰고무링은 임상적으로 항균효과를 기대하기 힘들 것으로 보인다.

이전의 연구<sup>7)</sup>에서 불소이온을 방출하는 결찰고무링이 항균 효과를 발휘하지 못하는 이유로 시간에 따라 결찰고무링의 물리적 특성이 변형되어 치태축적이 많아지게 되므로 불소의 치태 억제 효과가 나타나지 못한 점이 지적되었는데 본 연구에서는 fresh한 상태의 결찰고무링을 단기간의 실험에 노출하였음에도 항균효과가 나타나지 않은 점에서 재료의 한계성을 알 수 있었다.

또 다른 물리적 특성으로 결찰고무링 표면의 질과 특성이 있는데 이는 세균의 부착에 큰 영향을 미치게 된다. 안 등<sup>49)</sup>은 다양한 정도의 은나노 입자를 함유한 교정용 접착제

(experimental composite adhesives; ECA)의 물리적, 항균적 특성을 조사하였는데 ECA는 일반적인 교정용 접착제에 비해 균의 성장 속도를 감소시켰다고 하였다. 이러한 성장 양상의 차이는 은이온의 항균효과나 은이온 함유량에 의해 명백히 설명될 수는 없으나 surface free energy(SFE)와 같은 표면 특성이 항균효과에 고려되어야 할 점이라고 말하고 있다. Metafasix technology를 접목하여 개발되었던 마찰감소 결찰고무링의 경우 표면의 코팅과 윤활제로 인하여 세균의 부착이 감소될 것을 기대하였으나<sup>10)</sup>, 일반 결찰고무링에 비교하여 오히려 마찰 감소 처리된 결찰고무링이 표면의 미세한 균열과 폴리머 코팅이 retentive site로 작용하여 bacterial contamination이 증가하는 양상을 보였다.

이전의 많은 연구 결과들이 은이온의 항균효과를 뒷받침하고 있지만 본 연구에서 in vitro상의 은이온 함유 결찰고무링의 항균효과는 구강 내 병인균의 성장을 저해할 정도로 나타나지 않았다. 이러한 결과를 뒷받침하게 위해서 은이온 함유 결찰고무링의 타액 내에서의 실제 은이온 용출량을 측정하고, 타액으로 용매를 교환하여 실험하였을 때 구강 내 병인균에 대하여 은이온 함유 결찰고무링의 항균 효과가 달라질 수 있는지의 부가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다. 이러한 부가적인 연구가 수행된 후에 은이온 함유 결찰고무링의 효과에 대한 진전된 다각적 평가가 가능할 것으로 판단된다.

## V. 결론

은이온 함유 결찰고무링이 구강 내 병인균에 미치는 항균 효과를 In vitro상에서 확인해 보고자 한 본 연구에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. *S. mutans*와 *F. nucleatum*, *P. gingivalis*에 대하여 은이온 함유 결찰고무링 접촉 부위의 항균효과를 보고자 시행한 변형된 disk diffusion test에서 대조군과의 차이를 확인할 수 없었다.
2. *S. mutans*와 *F. nucleatum*, *P. gingivalis* 균주의 성장 양상에서 은이온 함유 결찰고무링의 항균효과 또는 성장억제 효과는 나타나지 않았으며 대조군과 비교

시 미생물의 성장양상은 두 군간 유의할 만한 차이를 보이지 않았다.

본 연구를 바탕으로 은이온 함유 결찰고무링은 구강 내 병원균이 번식하는 환경에서 항균효과를 발현하지 못하는 것으로 사료되었다.

## VI. 참고문헌

1. Rosenbloom RG, Tinanoff N. Salivary Streptococci mutans levels in patients before, during, and after orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1991;100:35-37.
2. Scheie AA, Arneberg P, Krogstad O. Effect of orthodontic treatment on prevalence of Streptococci mutans in plaque and saliva. *Scand J Dent Res* 1984;92:211-217.
3. Gorelic L, Geiger AM. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod* 1981;81:93-98.
4. Naranjo AA, Triviño ML, Jaramillo A, Betancourt M, Botero J. Changes in the Subgingival Microbiota and Periodontal Parameters Before and 3 Months After Bracket Placement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;275:e17-e22.
5. Bae WJ, Jim JB, Kim HI, Shon WS. The effect of topical fluoride application on the number of salivary streptococcus mutans in orthodontic patients. *Korean J Orthod* 1994;24:181-192.
6. Chang YI, Yang WS, Nahm DS, Kim TW, Baek SH. Long-term effects of chlorhexidine varnish treatment on microbial changes of dental plaque in orthodontic patients with fixed appliances. *Korean J Orthod* 2000;30:335-342.
7. Forsberg CM, Brattstrom V, Malmberg E, Nord CE. Ligature wires and elastomeric rings: two methods of ligation, and their association with microbial colonization of Streptococci mutans and lactobacilli. *Eur J Orthod* 1991;13:416-420.
8. Wilson TG, Gregory RL. Clinical effectiveness of fluoride-releasing elastomers. I: Salivary Streptococci mutans numbers. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107:293-297.
9. Benson PE, Douglas CW, Martin MV. Fluoridated elastomers: effect on the microbiology of plaque. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2004;126:325-330.
10. Magno AF, Enoki C, Ito IY, Matsumoto MA, Faria G, Nelson-Filho P. In-vivo evaluation of the contamination of Super Slick elastomeric rings by Streptococci mutans in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:S104-109.
11. Clement JL, Jarrett PS. Antimicrobial silver Metal-Based Drugs 1994;1:467-482.
12. Hartford CE, Ziffren SE. The use of 0.5% silver nitrate in burns results in 220 patients. *J Trauma* 1972;12:582-588.
13. Tokumaru-Shimazu Y, Fox CL. Antiviral activities of silver sulfadiazine in ocular infection. *Res Common Chem Pathol Pharmacol* 1974;8:151-153.
14. Matsuura T, Abe Y, Sato Y. Prolonged antimicrobial effect of tissue conditioners containing silver-zeolite. *J Dent* 1997;25:373-377.
15. Nikawa H, Yamamoto T, Hamada T. Antifungal effect of zeolite-incorporated tissue conditioner against *Candida albicans* growth and/or acid production. *J Oral Rehabil* 1997;24:550-7.
16. Hotta M, Nakajima H, Yamamoto K. Antibacterial temporary filling materials : The effect of adding various amount of Ag-Zn-zeolite. *J Oral Rehabil* 1998;25:485-489.
17. Morishita M, Miyagi M, Yamasaki Y. Pilot study on the effect of mouthrinse containing silverzeolite on plaque formation. *J Clin Dent* 1998;9:94-96.
18. Kawahara K, Tsuruda K, Morishita M. :Antibacterial effect of silver-zeolite on oral bacteria under anaerobic conditions. *Dental Materials* 2000;16:452-455.
19. Davidson PM, Parish ME. Method for testing the efficiency of food antimicrobials. *Food Technol* 1989;43:148-154.
20. Thurman RB, Gerba CP. The molecular mechanism of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses. *CRC Crit Rev Environ Control* 1989;18:295-315.
21. hendry AT, Stewart IO. Silver-resistant enterobacteriaceae



- from hospital patient. *Can J Microbiol* 1979;25:915-921.
22. Kramer SJ, Spadaro JA, Webster DA. Antibacterial and osteoinductive properties of demineralized bone matrix treated with silver. *Clin Orthop* 1981;161:154-162.
  23. Berger TJ, Spadaro JA, Chapin SE, Becker RO. Electrostatically generated silver ions. Quantitative effects of bacterial and mammalian cells. *Antimicrob Agents Chemother* 1976;9:357-358.
  24. Srefano B, Jean HU, Ralph BD, Robert JS. Prolonged antimicrobial activity of a catheter containing chlorhexidine-silver sulfadiazine extends protection against catheter infection in vivo. *Antimicrob Agents Chemother* 2001;45:1535-1538.
  25. Antonio M, Andrea S, Claudiu TS. Antifungal activity of silver and zinc complexes of sulfadiazine derivatives in incorporating arylsulfonyleureido moieties. *Eur J Pharm Sci* 2000;11:99-197.
  26. Wright JB, Lam K, Hansen D, Burrell RE. Efficacy of topical silver against fungal burn wound pathogens. *Am J Infect* 1999;27:344-350.
  27. Songer AJ, Berrutti L, McClain SA. Comparative trial of octyl-cyanoacrylate and silver sulfadiazine for the treatment of full thickness skin wounds. *Wound Repair Regen* 1999;7:356-362.
  28. Robert BT, Charles PG. The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses. *CRC Crit Rev Environ Cont* 1989;18:295-315.
  29. Russell AD, Hugo WB. Antimicrobial activity and action of silver. *Prog Med Chem* 1994;31:351-370.
  30. 정영희, 모혜원, 정지숙, 최경호, 최재갑, 허윤경 등. 구취유발세균에 대한 NZNOVERTM의 항균효과 검사 1. Nanosilver가 구취 세균의 증식에 미치는 영향. *대한구강내과학회지* 2009;34:39-48.
  31. 조경환, 박수길. 초음파법으로 제조된 은 나노 입자의 항균 특성 연구. *J Korean Ind Eng Chem* 2004;15:952-5.
  32. 김지연, 김성은, 김재은, 이종찬, 윤제용. 은 이온과의 비교를 통한 나노 은 입자의 항균 특성 연구. *대한환경공학회지* 2005;27:771-776.
  33. Nikawa H, Yamamoto T, Hamada T, Rahardjo MB, Murata H, Nakanoda S. Antifungal effect of zeolite-incorporated tissue conditioner against *Candida albicans* growth and/or acid production. *J Oral Rehabil* 1997;24:350-357.
  34. Matsumura Y, Yoshikata K, Kunisaki S, Tsuchido T. Mode of bactericidal action of silver zeolite and its comparison with that of silver nitrate. *Appl Environ Microbiol* 2003;69:4278-4281.
  35. Casemiro LA, Gomes Martins CH, Pires-de-Souza Fde C, Panzeri H. Antimicrobial and mechanical properties of acrylic resins with incorporated silver-zinc zeolite-part I. *Gerodontology* 2008;25:187-194.
  36. Watson GK, Cummins D, van der Ouderaa FJ. Inhibition of acid production by *Streptococci* mutans NCTC10449 by zinc and the effect of metal speciation. *Caries Res* 1991;25:431-437.
  37. Maeda T, Nose Y. A new antibacterial agent: antibacterial zeolite. *Artif Organs* 1999;23:129-130.
  38. Yoshida K, Tanagawa M, Matsumoto S, Yamada T, Atsuta M. Antibacterial activity of resin composites with silver-containing materials. *Eur J Oral Sci* 1999;107:290-296.
  39. Hotta M, Nakajima H, Yamamoto K, Aono M. Antibacterial temporary filling materials: the effect of adding various ratios of Ag-Zn-Zeolite. *J Oral Rehabil* 1998;25:485-489.
  40. Kawahara K, Tsuruda K, Morishita M, Uchida M. Antibacterial effect of silver-zeolite on oral bacteria under anaerobic conditions. *Dent Mater* 2000;16:452-455.
  41. Wicken AJ. Bacterial adhesion. Mechanisms and physiological significance. 2. Bacterial cell walls and surfaces New York: Plenum Press 1985:45-70.
  42. Breck DW. Ion exchange reactions in zeolites, zeolite molecular sieve, structure, chemistry and use, New York : Wiley 1974:529.
  43. Uchida T, Maru N, Furuhashi M, et al. Anti-bacterial zeolite balloon catheter and its potential for urinary tract infection control. *Hinyokika Kyo* 1992;38:973-978.
  44. Yamamoto K, Ohashi S, Aono M, Kokubo T, Yamada I,

- Yamauchi J. Antibacterial activity of silver ions implanted in SiO<sub>2</sub> filler on oral streptococci. *Dent Mater* 1996;12:227-229.
45. Tanagawa, Yoshida, Latsumoto, Yamada, Atsuta. Inhibitory effect of antibacterial resin composite against *Streptococcus mutans*. *Caries Res* 1999;33:366-371.
46. Ohashi, Saku, Yamamoto. Antibacterial activity of silver inorganic agent YDA filler. *J Oral Rehabil* 2004;31:364-367.
47. Shannon IL, Suddick RP, Dowd FJ, Jr. Saliva: composition and secretion. *Monogr Oral Sci* 1974;2:1-103.
48. Schierholz JM, Lucas LJ, Rump A, Pulverer G. Efficacy of silver-coated medical devices. *J Hosp Infect* 1998;40:257-262.
49. Ahn SJ, Lee SJ, Kook JK, Lim BS. Experimental antimicrobial orthodontic adhesives using nanofillers and silver nanoparticles. *Dent Mater* 2009;25:206-213.