

# A Study on the Synthesis of Silver Nanoparticles Using Oregano Extract and Antibacterial Coating for Eyeglass Frames

Young Mi Kim<sup>1,a</sup> and Ki Hong Kim<sup>2,b,\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Optometry and Vision Science, Catholic University of Daegu, Student, Gyeongsan 38430, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Optometry and Vision Science, Catholic University of Daegu, Professor, Gyeongsan 38430, Korea

(Received May 18, 2022; Revised June 12, 2022; Accepted June 21, 2022)

**Purpose:** In this study, to produce antibacterial eyeglass frames, silver nanoparticles, an antibacterial material, were synthesized in green through a biological synthesis method, and the antibacterial properties were investigated by coating the eyeglass frame materials. **Methods:** Silver nanoparticles were synthesized using oregano extract as a reducing agent and stabilizer. The characteristics of the synthesized samples were analyzed using a UV-visible spectrophotometer, scanning electron microscope SEM, and energy dispersive spectroscopy EDS measuring instrument, and the antibacterial properties were evaluated using the paper disk diffusion method. The synthesized silver nanocolloids were coated on a plastic eyeglass frame material (Ultem [PEI]) and metal eyeglass frame materials (titanium and stainless-steel). The coating properties and antibacterial properties were evaluated. **Results:** The surface plasmon resonance (SPR) peak of the green synthesized sample appeared in the characteristic absorption wavelength band of the silver nanoparticles, and the formation of the silver nanoparticles was confirmed through SEM and EDS. Additionally, the synthesized sample showed antibacterial activity against three types of bacteria and two types of fungi, confirming the possibility of use as an antibacterial material. As a result of confirming the antibacterial properties of the coating film after coating it on the spectacle frame material substrate, it showed a reduced rate of bacteria compared to the control group for *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Bacillus subtilis*. **Conclusions:** Silver nanocolloids synthesized using oregano extract showed antibacterial activity against bacteria and fungi. Furthermore, as a result of coating the substrate of the eyeglass frame materials, the antibacterial activity of the coating film was confirmed, confirming the possibility of manufacturing an antibacterial functional eyeglass frame.

**Key words:** Silver nanoparticles, Oregano, Antibacterial coating for eyeglass frames

## 서 론

바이러스는 전 세계적으로 질병과 사망의 주요 원인 중 하나이다. 바이러스는 호스트, 환경 또는 벡터의 변화로 출현할 수 있으며, 기존의 인간 바이러스나 동물 바이러스가 인간에게 새로운 병원성 바이러스를 발생시킬 수 있다.<sup>[1]</sup> 은 나노 입자는 인간면역결핍바이러스 1형(HIV-1), B형간염바이러스(HBV), 단순헤르페스바이러스 1형(HSV-1), 호흡기세포융합바이러스(RSV), Tacaribe virus, 원두증바이러스(Monkeypox Virus), 제2형 중증급성호흡기증후군 코로나바이러스(SARS-CoV-2)에 효과 있는 항바이러스 물질임을 검증하는 연구들이 보고되고 있다.<sup>[2-8]</sup> 또한 은 나노 입자는 다양한 그람 음성 및 그람 양성 박테리아, 진균에 대해서도 우수한 항균 특성을 나타낸다.<sup>[9-11]</sup>

이러한 항균 특성 및 나노 입자의 특성으로 인해 은 나노 입자는 진단, 치료, 약물 전달, 의료기기 코팅, 상처 드레싱, 의료 섬유 등 다양한 생체 의학 응용 분야에서 널리 사용되고 있으며<sup>[12]</sup> 전자, 바이오 센싱, 의류, 식품 산업, 페인트, 자외선 차단제, 화장품 등 소비제품에도 광범위하게 활용되고 있다.<sup>[13]</sup>

은 나노 입자는 주로 화학적 합성법에 의해 제조되는데 이때 유해 화학물질을 환원제로 사용할 경우 그 부산물에 독성이 생성되므로 주의를 요한다. 자연소재인 식물, 과일, 세균, 진균, 조류 등과 같은 생물학적인 분자를 환원제로 사용하여 은 나노 입자를 합성하는 생물학적 합성법은 환경 독성과 관련된 화학 약제를 사용하지 않아 자연친화적이고, 비용 효율적이며, 최적화된 조건하에서 잘 정의된 크기와 형태를 가지는 은 나노 입자를 대량 생성할 수 있

\*Corresponding author: Ki Hong Kim, TEL: +82-53-850-2551, E-mail: kkh2337@cu.ac.kr

Authors ORCID: <sup>a</sup><https://orcid.org/0000-0003-1754-1447>, <sup>b</sup><https://orcid.org/0000-0003-0876-6169>

는 장점이 있다.<sup>[14-17]</sup>

Oregano는 지중해 지역과 아시아 전역에 널리 분포된 허브 식물로서<sup>[18]</sup> 민간의학에서 호흡기 질환, 소화 불량, 류머티즘 관절염, 요로 질환 등을 치료하는데 사용되는 약용 식물이다.<sup>[19]</sup> 본 연구에서는 식물 Oregano를 사용하여 은 나노 입자를 친환경적인 프로세스로 녹색 합성하고 이를 안경테 소재 기판에 코팅하여 항균 기능을 갖춘 안경테 제작의 가능성을 알아보려고 한다.

## 대상 및 방법

### 1. 시약 및 재료

본 실험에서는 은 나노 입자의 합성을 위한 전구물질인 질산은(AgNO<sub>3</sub>)을 Sigma-Aldrich 제품으로 사용하였고, Ultrapure Water Purification System(Milli-Q Direct 16, MILLIPORE, France)으로 처리한 초순수를 사용하였다. 합성에 필요한 환원제, 안정제로 Oregano 식물을 열추출하여 사용하였다.

안경테 소재는 플라스틱 안경테 소재인 Ultem(PEI) 기판을 가로 25 mm × 세로 25 mm × 두께 3T, 가로 50 mm × 세로 50 mm × 두께 3T로 재단하여 사용하였으며, 금속 안경테 소재인 Titanium과 Stainless-steel 기판은 가로 25 mm × 세로 25 mm × 두께 1T, 가로 50 mm × 세로 50 mm × 두께 1T로 재단하여 사용하였다. 코팅 특성 평가 시 가로 25 mm × 세로 25 mm 사이즈의 기판이 사용되었으며, 필름밀착법으로 코팅막의 항균성 평가 시 규격에 맞추어 가로 50 mm × 세로 50 mm 사이즈의 기판을 사용하였다.

항균 실험을 위해 그람 음성 세균 *Escherichia coli*(KCCM 21052), *Pseudomonas aeruginosa*(ATCC 9027), 그람 양성 세균 *Bacillus subtilis*(ATCC 6633), 진균 *Candida albicans*(KCTC 7965), *Aspergillus brasiliensis*(KCTC 6196)를 분양받아 사용하였다. 또한 미생물 실험을 위해 Tryptic soy broth(TSB)와 Tryptic soy agar(TSA) 배지는 Sigma-Aldrich 제품을 조제하여 사용하였다.

### 2. Oregano 추출 및 은 나노 입자의 녹색 합성

말린 Oregano 5 g과 초순수 100 mL를 비커에 넣고 마그네틱 바를 이용해 100 rpm으로 교반하였다. 가열 교반기의 온도를 점점 올려 60°C가 되었을 때부터 10분간 가열하여 Oregano 추출액을 취하였다. Whatman No.1 여과지로 불용성 물질을 2회 여과하고 원심분리기(5804R, Eppendorf, Germany)를 사용해 14000 rpm으로 20분간 원심 분리 후 가라앉아 있는 찌꺼기를 제외한 맑은 상등액을 마이크로 피펫으로 분리하였다. 여과된 Oregano 추출액은 4°C에 냉장 보관하였다.

은 나노 입자의 전구물질인 질산은을 0.05 M 농도의 용

액으로 준비하였다. 질산은 용액이 들어있는 바이알에 마그네틱 바를 넣고 250 rpm으로 교반하면서 Oregano 추출액을 9:1의 비율로 천천히 떨어뜨려 은 나노 입자를 합성하였다. 이때 합성 온도는 실온, 45°C, 60°C, 90°C, 합성 시간은 10분으로 설정하고 중탕하여 각각 합성하였다. 합성한 은 나노콜로이드(Silver nanocolloids)는 원심분리기를 사용하여 14000 rpm으로 15분간 원심분리하고 증류수로 세척하며 미반응 물질과 불순물을 제거하였다. 이 과정을 2~3회 반복하여 은 나노 입자 시료를 취득하였다.

### 3. 합성한 시료의 분석 및 항균력 검사

은 나노 입자의 합성을 확인하기 위해 UV-visible spectrophotometer(Evolution 201, Thermo scientific, USA)를 사용하여 흡광도를 측정하였다. 은 나노 입자는 가시광선 영역에서 고유의 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance; SPR)을 나타내는 특징이 있다. 본 실험에서는 Oregano를 이용해 합성한 시료의 표면 플라즈몬 공명을 측정하여 은 나노 입자의 합성 여부를 확인하였다. 또한 주사 전자 현미경(SEM, Mira III, Tescan, Czech)을 사용하여 합성한 은 나노 입자의 형태와 크기를 측정하였으며 에너지 분산형 분광분석기(EDS)를 사용해 합성한 시료의 구성 성분을 명확하게 확인하였다.

녹색 합성한 은 나노콜로이드의 항균력을 디스크 확산법(disk diffusion method)을 실시하여 알아보았다. 이때 합성한 Oregano-은 나노콜로이드를 Oregano 추출액, 멸균된 증류수, Polyvinylpyrrolidone(PVP)을 이용하여 합성한 은 나노콜로이드를 양성 대조군으로 사용하여 비교해 보았다. 그람 음성 세균 *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, 그람 양성 세균 *Bacillus subtilis*, 진균 *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis*를 시험균으로 사용하여 TSA 고체 배지에 희석한 균 액을 고르게 도말하였다. 각각의 시료를 8 mm 직경의 페이퍼 디스크(paper disk)에 60 µL 씩 분주하고 균이 도말된 고체 배지 위에 올렸다. 그런 다음 배양기(Incubator)에서 배양한 후 페이퍼 디스크 주변에 생성된 균 성장 억제 영역을 mm 단위로 측정하여 항균활성을 확인하였다. 각 균주별로 디스크 확산법을 3회 실시하여 결과는 평균과 표준 편차로 나타내었다.

### 4. 코팅 및 코팅막의 특성 평가

Pure-Acryl 소재인 2-Methyl-2-propenoic acid methyl ester polymer with 2-ethylhexyl 2-propenoate and 2-propenoic acid(DAEWON POLYMER & CHEMICALS) 코팅 용액에 합성한 Oregano-은 나노콜로이드를 5%, 3%, 1% 비율로 첨가하여 균일하게 혼합하고 플라스틱 안경테 소재인 Ultem(PEI) 기판과 금속 안경테 소재인 Titanium, Stainless-

steel 기판에 Spin coating 하였다. 그다음 90°C에서 30분 간 열 경화하였다. 이때 코팅은 각각 2회 실시하였다. 본 연구에서는 코팅막 특성 평가 시 은 나노콜로이드가 3% 비율로 코팅된 가로 25 mm × 세로 25 mm의 기판을 사용하였으며, 코팅막의 항균성 평가 시 은 나노콜로이드가 5%, 3%, 1% 비율로 코팅된 가로 50 mm × 세로 50 mm의 기판을 사용하였다.

안경테 소재 기판 위에 코팅이 고르게 잘 되었는지 확인하기 위해 원자 힘 현미경(Atomic Force Microscope, NX10, Park systems, Korea)을 사용하여 코팅막의 표면 거칠기 값인 RMS를 여러 위치에서 3회 측정 후 그 결과를 평균과 표준 편차로 나타내었으며 표면의 형상을 3차원 이미지로 관찰하였다.

코팅층의 부착력은 Cross-cut tape test로 ASTM D3359-97에 근거하여 측정하였다.<sup>[20-22]</sup> 코팅한 기판에 칼을 사용하여 약 1 mm 간격으로 가로, 세로 각각 6줄의 선을 그어 총 25개의 격자 패턴을 만들었다. 3M사의 Scotch tape 610을 사용하여 격자 패턴 위에 테이프를 부착한 후 일정한 힘을 사용해 떼어내고 코팅층의 박리 정도를 관찰하였다. 코팅층의 박리 정도에 따라 박리가 나타나지 않으면 5B, 5% 미만 이면 4B, 5~15% 이면 3B, 15~35% 이면 2B, 35~65% 이면 1B, 65% 초과 시 0B로 평가하였다.

### 5. 코팅막의 항균성 평가

합성한 Oregano-은 나노콜로이드를 항균제로 사용하여 코팅한 안경테 소재 기판의 항균성 평가는 ISO 22196, JIS Z 2081<sup>[23-25]</sup> 규정을 참고하여 필름 부착법으로 평가하였다. Oregano-은 나노콜로이드가 5%, 3%, 1% 비율로 항균 코팅된 Ultem(PEI), Titanium, Stainless-steel 기판에 1.0~1.2 × 10<sup>6</sup> cfu/mL로 희석한 균 액 0.2 mL를 적하한 뒤 그 위에 가로 40 mm × 세로 40 mm의 멸균된 폴리에틸렌 필름을 올렸다. Escherichia coli와 Pseudomonas aeruginosa를 분주한 페트리디쉬(petri dish)는 35°C, Bacillus subtilis를 분주한 페트리디쉬는 25°C에서 24시간 배양하였다. 그 후 멸균된 0.85%의 NaCl 10 mL를 분주해 기판과 폴리에틸렌 필름 표면에 부착된 균을 잘 행구어낸 다음 그 액을 고체배지에 도말하고 배양기에서 24~48시간 동안 배양한 뒤 균수를 측정하였다. 결과는 균수의 상대적인 감소율을 계산하여 나타내었다.

$$\text{균 감소율(R)\%} = \frac{(A-B)}{A} \times 100$$

- A: 대조군의 24시간 배양 후 균수
- B: 시험군의 24시간 배양 후 균수

## 결과 및 고찰

### 1. 은 나노 입자 합성 분석 및 평가

#### 1.1. 시각적 관찰과 UV-visible spectra

Fig. 1은 온도별로 합성한 시료의 색상 이미지이다. 색상 변화는 은 이온(Ag<sup>+</sup>)의 환원에 의해 발생하며 은 나노 입자가 형성되었음을 의미한다.<sup>[26-28]</sup> 투명한 색상의 질산 은 용액과 비교하여 질산 은 용액에 Oregano 추출액을 혼합하면 노란색에서 서서히 갈색으로 색상이 변하는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 실온에서 합성한 시료의 색상은 적갈색을 띠며 합성 온도가 높을수록 색이 짙어져 90°C에서 합성한 시료는 상대적으로 어두운 적갈색을 띠는 것을 관찰할 수 있었다. 이러한 색상 변화를 통해 은 나노 입자의 형성을 확인할 수 있었다.

다음은 합성한 은 나노 입자의 형성 여부를 UV-visible spectrophotometer를 사용하여 확인한 결과 Fig. 2와 같이 질산 은 용액과 비교해 볼 때 Oregano 추출액을 이용해 실온에서 합성한 시료는 약 431 nm, 45°C에서 합성한 시료

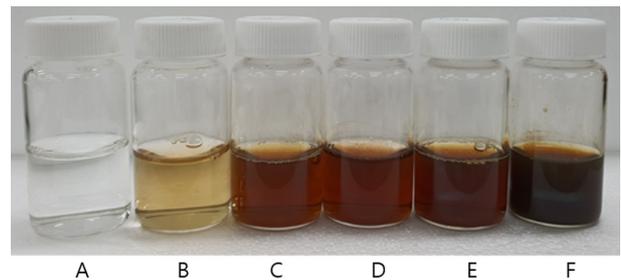


Fig. 1. Color difference of silver nanocolloids synthesized using oregano extract by temperature. A. 0.05M Silver nitrate solution, B. oregano extract + 0.05M silver nitrate solution, C. room temperature, D. 45°C, E. 60°C, F. 90°C.

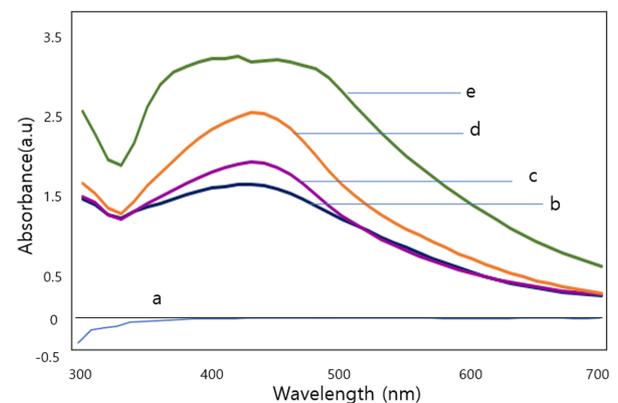


Fig. 2. Absorbance spectra of oregano-silver nanocolloids according to the synthesis temperature. a. 0.05 M silver nitrate solution, b. room temperature, c. 45°C, d. 60°C, e. 90°C.

는 약 436 nm, 60°C에서 합성한 시료는 약 434 nm, 90°C에서 합성한 시료는 약 423 nm에서 최대 흡수 피크가 나타났다. 이는 은 나노 입자 고유의 표면 플라즈몬 공명 대역에서 나타난 것이기 때문에 은 나노 입자의 합성을 확인할 수 있는 결과이다.<sup>[29-30]</sup> 또한 합성 온도가 높을수록 표면 플라즈몬 공명 대역의 강도가 높아졌는데 이는 은 이온(A<sup>+</sup>)의 환원에 의해 형성된 은 나노 입자 수 증가에 기인한다고 볼 수 있다.<sup>[31-32]</sup>

## 1.2. SEM(scanning electron microscopy) / EDS(energy dispersive x-ray spectroscopy)

Oregano 추출액을 사용하고 온도를 달리하여 합성한 은 나노 입자의 형태 및 크기를 주사전자현미경(SEM)으로 측정된 결과 합성한 은 나노 입자는 구형이었으며 실온에서 합성한 은 나노 입자의 크기는 약 10.81~43.97 nm, 45°C에서는 약 13.11~44.04 nm, 60°C에서는 약 13.52~42.22 nm, 90°C에서는 약 8.11~47.53 nm의 입도 분포를 보였다(Fig. 3). 또한 Fig. 4와 같이 온도별로 합성한 시료의 EDS 스펙트럼을 살펴보면 은(Ag) 원자 피크가 강하게 감지되는 것

을 확인할 수 있다. 실온에서 합성한 시료는 은이 86.49 wt%로 측정되었으며, 45°C에서는 75.92 wt%, 60°C에서는 88.77 wt%, 90°C에서는 89.85 wt%로 검출되어 은 나노 입자가 합성되었음을 명확히 알 수 있었다. 이러한 결과를 통해 Oregano 식물 추출액이 은 나노 입자를 합성하는데 환원제, 안정제로 효과적으로 쓰일 수 있음을 확인하였다.

## 1.3. 합성한 시료의 항균성 평가

디스크 확산법을 통해 90°C 온도에서 합성한 Oregano-은 나노콜로이드의 항균활성을 평가한 결과 Fig. 5와 같이 모든 시험 균주에서 음성 대조군인 멸균된 증류수와 Oregano 추출액을 분주한 페이퍼 디스크 주변으로 균 성장 억제 영역이 나타나지 않았다. 반면 *Escherichia coli*에 대하여 양성 대조군인 PVP-은 나노콜로이드를 분주한 페이퍼 디스크 주변에는 디스크 직경 포함 약 10.8±0.16 mm의 균 성장 억제 영역이 나타났으며 Oregano-은 나노콜로이드는 약 10.3±0.12 mm의 균 성장 억제 영역이 나타났다. *Pseudomonas aeruginosa*에 대하여 PVP-은 나노콜로이드

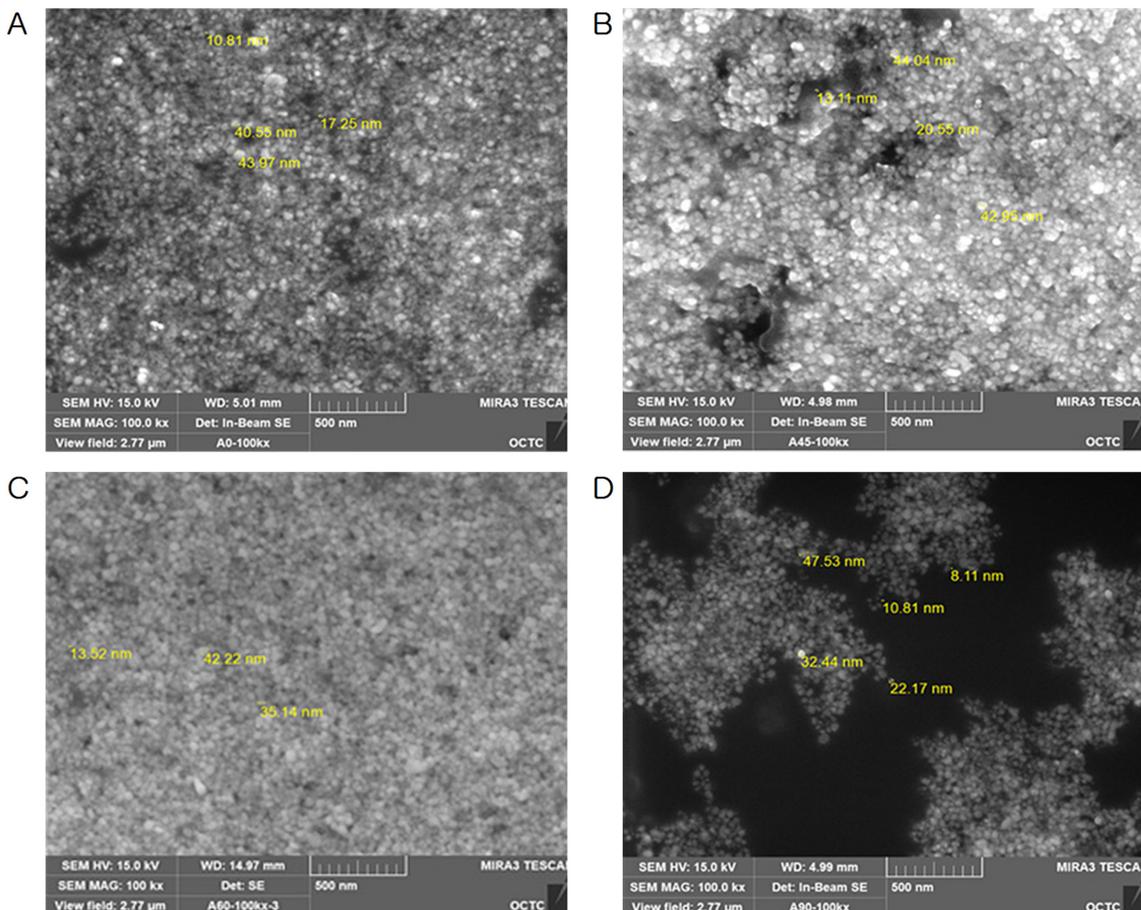


Fig. 3. SEM images of the silver nanoparticles synthesized using oregano extract at various temperatures. A. room temperature, B. 45°C, C. 60°C, D. 90°C.

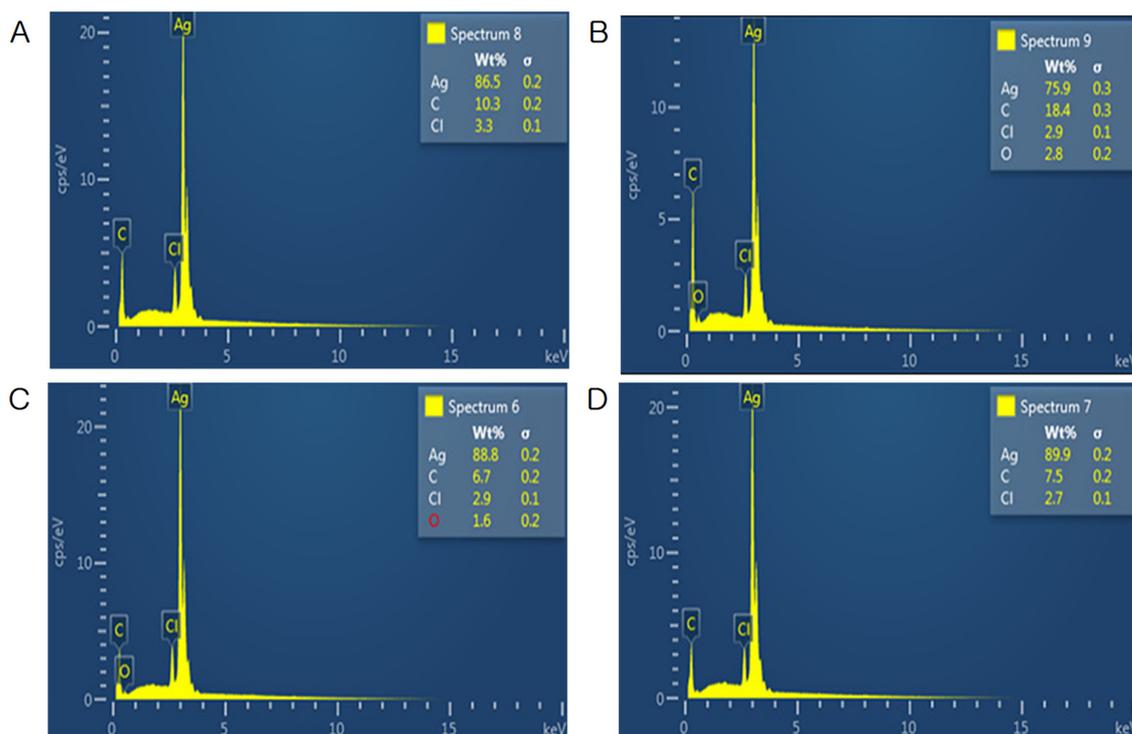


Fig. 4. EDS component analysis spectra of samples synthesized with oregano extract. A. room temperature, B. 45°C, C. 60°C, D. 90°C.

Table 1. Comparison of antibacterial activity of silver nanocolloids synthesized using oregano extract

Unit: mm

	Inhibition zone			
	Negative control (D.W)	Oregano extract	Positive control	Oregano-silver nanocolloids
Escherichia coli	8.0±0.00	8.0±0.00	10.8±0.16	10.3±0.12
Pseudomonas aeruginosa	8.0±0.00	8.0±0.00	11.5±0.29	11.2±0.56
Bacillus subtilis	8.0±0.00	8.0±0.00	13.2±0.22	12.2±0.21
Candida albicans	8.0±0.00	8.0±0.00	12.8±0.34	12.5±0.41
Aspergillus brasiliensis	8.0±0.00	8.0±0.00	20.3±0.51	19.3±0.54

는 약 11.5±0.29 mm, Oregano-은 나노콜로이드는 약 11.2±0.56 mm의 균 성장 억제 영역이 나타났으며 Bacillus subtilis에 대하여 PVP-은 나노콜로이드는 약 13.2±0.22 mm, Oregano-은 나노콜로이드는 약 12.2±0.21 mm의 균 성장 억제 영역이 나타났다. 또한 Candida albicans에 대하여 PVP-은 나노콜로이드는 약 12.8±0.34 mm, Oregano-은 나노콜로이드는 약 12.5±0.41 mm의 균 성장 억제 영역이 나타났으며 Aspergillus brasiliensis에 대하여 PVP-은 나노콜로이드는 약 20.3±0.51 mm, Oregano-은 나노콜로이드는 약 19.3±0.54 mm의 균 성장 억제 영역이 나타났다(Table 1). 본 연구 결과 합성한 Oregano-은 나노콜로이드는 그람 음성 세균 Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, 그람 양성 세균 Bacillus subtilis, 진균 Candida albicans, Aspergillus brasiliensis에 대한 항균활성이 나타나 안경테 평균 코팅

소재로 사용하기에 적합하다고 판단된다.

## 2. 코팅막의 특성 평가

### 2.1. AFM(atomic force microscopy)

코팅막의 표면을 3D로 촬영한 이미지를 살펴보면 플라스틱 안경테 소재인 Ultem(PEI) 기판과 금속 안경테 소재인 Titanium, Stainless- steel 기판 모두에서 코팅을 하지 않은 대조군의 표면 굴곡에 비해 코팅을 한 기판의 표면이 완만해진 것을 확인할 수 있다. 표면 거칠기 값인 RMS 결과를 보면 Ultem(PEI) 기판에서 대조군의 RMS 값은 평균 9.808±2.68 nm, 코팅한 기판의 RMS 값은 1.336±0.05 nm로 거칠기 값이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 또한 Titanium 기판에서 대조군의 RMS 값은 평균 48.704±12.60 nm, 코팅한 기판의 RMS 값은 2.234±0.18 nm로 측

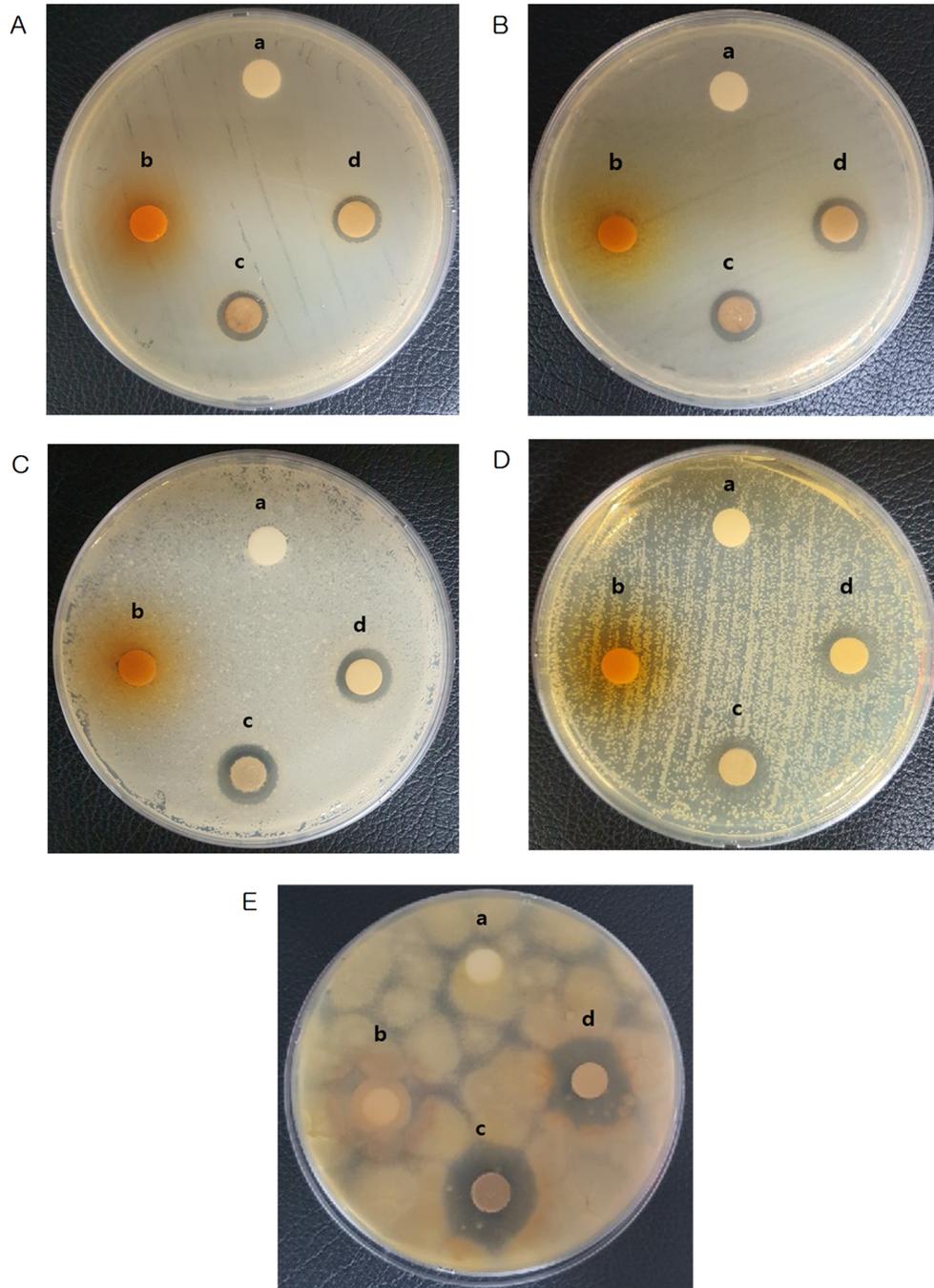


Fig. 5. Comparison of the diameter of the inhibition zone of the silver nanocolloids synthesized using oregano extract against gram-negative bacteria, gram-positive bacteria, fungi. A. *Escherichia coli*, B. *Pseudomonas aeruginosa*, C. *Bacillus subtilis*, D. *Candida albicans*, E. *Aspergillus brasiliensis*. a. negative control (distilled water), b. oregano extract, c. positive control (PVP-silver nanocolloids), d. oregano-silver nanocolloids

정되었으며 Stainless-steel 기판에서 대조군의 RMS 값은 평균  $55.815 \pm 8.33$  nm, 코팅한 기판의 RMS 값은  $3.469 \pm 0.90$  nm로 거칠기 값이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 바탕으로 코팅이 완만히 잘 된 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6).

## 2.2. 부착력

Oregano-은 나노콜로이드가 첨가된 항균 코팅층과 안경테 플라스틱 소재인 Ultem(PEI) 기판과 금속 안경테 소재인 Titanium, Stainless-steel 기판 사이의 접착 상태를 Cross-cut tape test로 검사한 결과 박리 현상이 나타나지 않아 5B로 평가하였다. 이러한 결과를 통해 코팅층이

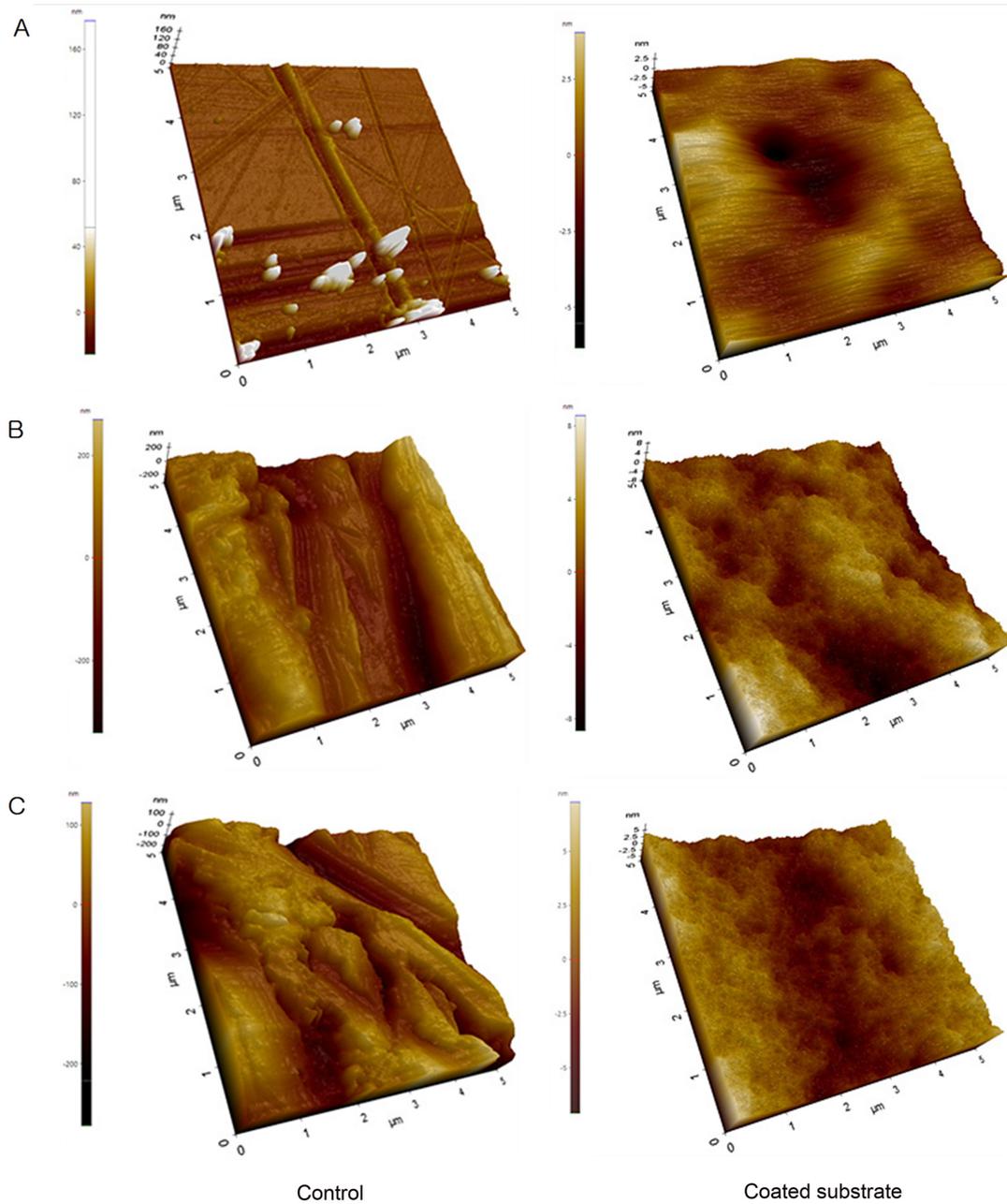


Fig. 6. Surface roughness images of eyeglass frame substrates coated with oregano-silver nanocolloids (3D image of the surface of 5 μm × 5 μm).

A. Ultem (PEI), B. Titanium, C. Stainless-steel.

기판 표면에 단단하게 잘 부착되어 있음을 확인할 수 있었다.

### 3. 코팅막의 항균성 평가

Oregano-은 나노콜로이드를 항균제로 사용하여 안경테 소재인 Ultem(PEI), Titanium과 Stainless-steel 기판에 코팅한 후 코팅막의 항균성을 필름밀착법으로 평가한 결과이다. Oregano-은 나노콜로이드가 5%, 3%, 1% 첨가된 모든 코팅막에서 그람 음성 세균 Escherichia coli, Pseudomonas

Table 2. Antibacterial activity of Ultem (PEI), titanium, and stainless-steel eyeglass frame substrates coated with oregano-silver nanocolloids

Strain number	CFU/mL	Reduction ratio of bacteria
		Antibacterial agent addition amount 5%, 3%, 1%
Escherichia coli	1.0×10 <sup>6</sup>	99.9%
Pseudomonas aeruginosa	1.0×10 <sup>6</sup>	99.9%
Bacillus subtilis	1.2×10 <sup>6</sup>	99.9%

aeruginosa, 그람 양성 세균 *Bacillus subtilis*에 대하여 대조군 대비 균 감소율이 99.9%로 나타났다. 본 실험 결과를 통해 Oregano-은 나노콜로이드 1% 함유만으로도 *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*에 대한 항균성이 우수함을 확인할 수 있었다(Table 2).

## 결 론

본 연구에서는 생물학적 합성법으로 약용 식물인 Oregano를 열수추출한 후 환원제, 안정제로 사용하여 은 나노 입자를 녹색 합성하였다. 합성한 시료의 표면 플라즈몬 공명 (SPR)이 합성 온도별로 약 420~440 nm에서 나타났으며 EDS를 통해 은(Ag)의 검출을 확인하였다. SEM 분석 결과 온도별로 약 8~50 nm 범위의 입도 분포를 가진 구형의 은 나노 입자 형성을 확인할 수 있었다. 이러한 결과를 통해 Oregano 식물 추출액은 은 나노 입자를 합성하는데 환원제, 안정제로 효과적으로 쓰일 수 있음을 확인하였다. 디스크 확산법을 통해 합성한 Oregano-은 나노콜로이드가 그람 음성 세균 *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, 그람 양성 세균 *Bacillus subtilis*, 진균 *Candida albicans*, *Aspergillus brasiliensis*에 대해 항균력이 있음을 확인하였다. Oregano-은 나노콜로이드를 항균제로 다양한 안경테 소재 기판에 코팅한 뒤 항균성을 평가한 결과 1%의 Oregano-은 나노콜로이드 첨가로 그람 음성 세균 *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, 그람 양성 세균 *Bacillus subtilis*에 대한 99.9%의 균 감소율을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 약용 식물인 Oregano를 사용하여 자연친화적인 방법으로 은 나노 입자를 성공적으로 합성하였다. 또한 실험을 통해 합성한 은 나노콜로이드가 세균과 진균에 대한 항균력이 있음을 입증하였으며 이를 안경테 소재 기판에 코팅하여 코팅 특성과 항균성이 우수함을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 항균 기능성 안경테의 제작 가능성을 확인할 수 있었으며 향후 이를 위한 추가적인 연구가 필요할 것이라 사료된다.

## REFERENCES

- [1] Galdiero S, Falanga A, Vitiello M, et al. Silver nanoparticles as potential antiviral agents. *Molecules*. 2011;16(10):8894-8918. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules16108894>
- [2] Lara HH, Ayala-Núñez NV, Ixtapan-Turrent L, et al. Mode of antiviral action of silver nanoparticles against HIV-1. *J Nanobiotechnology*. 2010;8(1):1-10. DOI: <https://www.jnanobiotechnology.com/content/8/1/1>
- [3] Lu L, Sun RWY, Chen R, et al. Silver nanoparticles inhibit hepatitis B virus replication. *Antivir Ther*. 2008;13(2):253-262. DOI: <https://doi.org/10.1177/135965350801300210>
- [4] Baram-Pinto D, Shukla S, Perkas N, et al. Inhibition of herpes simplex virus type 1 infection by silver nanoparticles capped with mercaptoethane sulfonate. *Bioconjugate Chem*. 2009;20(8):1497-1502. DOI: <https://doi.org/10.1021/bc900215b>
- [5] Sun L, Singh AK, Vig K, et al. Silver nanoparticles inhibit replication of respiratory syncytial virus. *J Biomed Nanotech*. 2008;4(2):149-158. DOI: <https://doi.org/10.1166/jbn.2008.012>
- [6] Speshock JL, Murdock RC, Braydich-Stolle LK, et al. Interaction of silver nanoparticles with Tacaribe virus. *J Nanobiotechnology*. 2010;8(19):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1186/1477-3155-8-19>
- [7] Rogers JV, Parkinson CV, Choi YW, et al. A preliminary assessment of silver nanoparticle inhibition of monkeypox virus plaque formation. *Nanoscale Res Lett*. 2008;3(4):129-133. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11671-008-9128-2>
- [8] Jeremiah SS, Miyakawa K, Morita T, et al. Potent antiviral effect of silver nanoparticles on SARS-CoV-2. *Biochem Biophys Res Commun*. 2020;533(1):195-200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2020.09.018>
- [9] Das CGA, Kumar VG, Dhas TS, et al. Antibacterial activity of silver nanoparticles (biosynthesis): a short review on recent advances. *Biocatal Agric Biotechnol*. 2020;27:101593. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101593>
- [10] Sre PRR, Reka M, Poovazhagi R, et al. Antibacterial and cytotoxic effect of biologically synthesized silver nanoparticles using aqueous root extract of *Erythrina indica* lam. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*. 2015;135:1137-1144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.08.019>
- [11] Bruna T, Maldonado-Bravo F, Jara P, et al. Silver nanoparticles and their antibacterial applications. *Int J Mol Sci*. 2021;22(13):7202. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22137202>
- [12] Ge L, Li Q, Wang M, et al. Nanosilver particles in medical applications: synthesis, performance, and toxicity. *Int J Nanomedicine*. 2014;9:2399-2407. DOI: <https://doi.org/10.2147/IJN.S55015>
- [13] Singh P, Ahn S, Kang JP, et al. In vitro anti-inflammatory activity of spherical silver nanoparticles and monodisperse hexagonal gold nanoparticles by fruit extract of *Prunus serrulata*: a green synthetic approach. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*. 2018;46(8):2022-2032. DOI: <https://doi.org/10.1080/21691401.2017.1408117>
- [14] Vigneswari S, Amelia TSM, Hazwan MH, et al. Transformation of biowaste for medical applications: incorporation of biologically derived silver nanoparticles as antimicrobial coating. *Antibiotics*. 2021;10(3):229. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics10030229>
- [15] Castillo-Henríquez L, Alfaro-Aguilar K, Ugalde-Alvarez J, et al. Green synthesis of gold and silver nanoparticles from plant extracts and their possible applications as anti-

- microbial agents in the agricultural area. *Nanomaterials*. 2020;10(9):1763. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano10091763>
- [16] Sharma VK, Yngard RA, Lin Y. Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities. *Adv Colloid Interface Sci*. 2009;145(1-2):83-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cis.2008.09.002>
- [17] Firdhouse MJ, Lalitha P. Biosynthesis of silver nanoparticles and its applications. *J Nanotechnol*. 2015;829526. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/829526>
- [18] Zou Y, Xiang Q, Wang J, et al. Oregano essential oil improves intestinal morphology and expression of tight junction proteins associated with modulation of selected intestinal bacteria and immune status in a pig model. *Biomed Res Int*. 2016;5436738. DOI: <https://doi.org/10.1155/2016/5436738>
- [19] Teixeira B, Marques A, Ramos C, et al. Chemical composition and bioactivity of different oregano (*Origanum vulgare*) extracts and essential oil. *J Sci Food Agric*. 2013; 93(11):2707-2714. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6089>
- [20] Kim HS, Cha JK, Kim JH, et al. Highly flexible and patternable multiwalled-carbon nanotube/nitrocellulose hybrid conducting paper electrodes as heating platforms for effective ignition of nanoenergetic materials. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2020;12:28586-28595. DOI: <https://doi.org/10.1021/acscami.0c02226>
- [21] ASTM D3359-97. Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test, 2021. [https://doi.org/10.1520/D3359-97\(21 June 2022\)](https://doi.org/10.1520/D3359-97(21 June 2022)).
- [22] Cazzola M, Ferraris S, Banche G, et al. Innovative coatings based on peppermint essential oil on titanium and steel substrates: chemical and mechanical protection ability. *Materials*. 2020;13(3):516. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma13030516>
- [23] ISO(International Organization for Standardization). Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces 22196, 2011. [https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22196:ed-2:v1:en\(22 June 2022\)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22196:ed-2:v1:en(22 June 2022)).
- [24] JIS(Japanese Industrial Standard). Antibacterial products - test for antimicrobial activity of plastics Z 2801, 2010. [https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22196:ed-2:v1:en\(22 June 2022\)](https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:22196:ed-2:v1:en(22 June 2022)).
- [25] Uhm SH, Song DH, Kwon JS, et al. E-beam fabrication of antibacterial silver nanoparticles on diameter-controlled TiO<sub>2</sub> nanotubes for bio-implants. *Surf Coat*. 2013;228(1): 360-366. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.05.102>
- [26] Ahmed S, Saifullah, Ahmad M, et al. Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract. *J Radiat Res Appl Sci*. 2016;9(1):1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2015.06.006>
- [27] Darroudi M, Ahmad MB, Abdullah AH, et al. Effect of accelerator in green synthesis of silver nanoparticles. *Int J Mol Sci*. 2010;11(10):3898-3905. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms11103898>
- [28] Edison TJI, Sethuraman MG. Instant green synthesis of silver nanoparticles using *Terminalia chebula* fruit extract and evaluation of their catalytic activity on reduction of methylene blue. *Process Biochem*. 2012;47(9):1351-1357. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2012.04.025>
- [29] Anthony KJP, Murugan M, Jeyaraj M, et al. Synthesis of silver nanoparticles using pine mushroom extract: a potential antimicrobial agent against *E. coli* and *B. subtilis*. *J Ind Eng Chem*. 2014;20(4):2325-2331. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.10.008>
- [30] Vijay Kumar PPN, Pammi SVN, Kollu P, et al. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Boerhaavia diffusa* plant extract and their anti bacterial activity. *Ind Crops Prod*. 2014;52:562-566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.050>
- [31] Roopan SM, Madhumitha RG, Rahuman AA, et al. Low-cost and eco-friendly phyto-synthesis of silver nanoparticles using *Cocos nucifera* coir extract and its larvicidal activity. *Ind Crops Prod*. 2013;43:631-635. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.013>
- [32] Padalia H, Moteriya P, Chanda S. Green synthesis of silver nanoparticles from marigold flower and its synergistic antimicrobial potential. *Arab J Chem*. 2015;8(5):732-741. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.11.015>

## Oregano 추출물을 이용한 은 나노 입자의 합성 및 안경테 항균 코팅 연구

김영미<sup>1</sup>, 김기홍<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>대구가톨릭대학교 안경광학과, 학생, 경산 38430

<sup>2</sup>대구가톨릭대학교 안경광학과, 교수, 경산 38430

투고일(2022년 5월 18일), 수정일(2022년 6월 12일), 게재확정일(2022년 6월 21일)

**목적:** 본 연구에서는 항균 안경테 제작을 위해 항균 물질인 은 나노 입자를 생물학적 합성법을 통해 녹색 합성하고, 안경테 소재에 코팅하여 항균 특성을 알아보려고 한다. **방법:** 식물 Oregano 추출액을 환원제, 안정제로 사용하여 은 나노 입자를 합성하였다. 합성한 시료의 특성은 UV-visible spectrophotometer, 주사 전자 현미경 SEM, 에너지 분산형 분광분석기 EDS 측정 기기를 사용하여 분석하였으며 디스크 확산법으로 항균성을 평가하였다. 합성한 은 나노콜로이드를 플라스틱 안경테 소재인 Ultem(PEI)과 금속 안경테 소재인 Titanium, Stainless-steel 기판에 코팅한 뒤 코팅 특성과 항균성을 평가하였다. **결과:** 녹색 합성한 시료의 표면 플라즈몬 공명(SPR) 피크가 은 나노 입자의 특징적인 흡수 파장대에서 나타났으며, SEM과 EDS를 통해 은 나노 입자의 형성을 확인할 수 있었다. 또한 합성한 시료는 세균 3종과 진균 2종에 대한 항균활성이 나타나 항균 물질로의 사용 가능성을 확인하였다. 이를 사용하여 안경테 소재 기판에 코팅한 후 코팅막의 항균성을 확인한 결과 Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Bacillus subtilis에 대해 대조군 대비 균 감소율을 보였다. **결론:** 본 연구 결과 Oregano 추출액을 이용하여 합성한 은 나노콜로이드는 세균과 진균에 대한 항균 활성을 보였으며 안경테 소재 기판에 코팅한 결과 코팅막의 항균력이 확인되어 항균 기능성 안경테의 제작 가능성을 확인할 수 있었다.

**주제어:** 은 나노 입자, Oregano, 안경테 항균 코팅