Journal of Environmental Science International
27(1); 47~53; January 2018

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2018.27.1.47

ORIGINAL ARTICLE

전기분해에 의한 은 나노 콜로이드 합성에 따른 항균 특성 연구

이재용*
경운대학교 보건바이오학과

Study on the Antibacterial Properties of Electrochemically Synthesized Silver Nanocolloid

Jae-Yong, Lee*
Department of Healthcare & Biotechnology, Kyungwoon University, Gumi 39160, Korea

Abstract

In this study, high-purity silver nanocolloids were synthesized by an electrolytic reaction, and the effect of temperature on the nanocolloid concentration was analyzed by performing the reaction at 70 °C and 90 °C. The antibacterial properties of the thus-synthesized silver nanocolloids were also studied. When the synthesis was performed at 90 °C, the concentration of silver nanocolloid increased to 14 mg/L after 5 min, 1756 mg/L after 30 min, and 2147 mg/L after 60 min. The concentration of silver nanocolloid synthesized by electrolytic reaction at 70 °C and 90 °C for 60 min was 1,882 mg/L and 2147 mg/L, respectively. The preferred temperature at which the electrolytic synthesis is performed is 70 °C to obtain high concentrations of 1,000 mg/L or more. The antibacterial performance of the thus-synthesized silver nanocolloids was 99.9% for *E. coli* and 99.5% for *Pseudomonas aeruginosa*.

Key Words : Electrolysis, Silver, Nanocolloid, Synthesis, Antibacterial

1. 서 론

양돈 또는 양계와 같은 축산업에서 돼지, 닭의 생육은 오물과 생육환경의 오염 등으로 인해 박테리아, 세균, 기생충 등의 번식을 유발하며, 인간에게 전염되어 인체에 위험을 주고, 무엇보다 이들 가축의 건강이 나빠져 생육에 지장을 초래한다(Jung and Cho, 2003).

가축농가의 문제인 세균성 설사문제와 각종 악취물질 등의 문제를 해결하기 위한 방법으로 이용된 항균제로서 은(Ag)은 오래전부터 사용되어 왔으며, 20세기 초 Henry(1912)가 *B. coli communis*를 은(Ag) 수용액 내에서 6분 만에 사멸하는 것을 시작으로, Searle(1920)가 기존 문헌을 정리하여 은(Ag) 수용액의 제조 및 항균에 대한 내용을 체계화하여 발전시켰지만, 1940년대부터 화학적 제법에 의한 합성 항생제의 사용이 본격화 되면서, 항생 특성을 갖는 은(Ag) 수용액의 사용은 급감하였다(Henry, 1912; Searle, 1920; Song, 2012).

그러나 합성 항생제의 남용으로 인하여, 여러 가지 박테리아의 항생제에 대한 내성이 증가하고, 항생제

Received 14 December, 2017; **Revised** 15 December, 2017; **Accepted** 15 December, 2017
***Corresponding author**: Jae-Yong Lee, Department of Healthcare & Biotechnology, Kyungwoon University, Gumi 39160, Korea
Phone: +82-53-479-1234
E-mail: geoblue@ikw.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

로도 살균이 안되는 VRSA (*Vancomycin* 내성 황색 포도상구균)가 발견되면서 새로운 항생제의 개발이 내성균의 증가속도를 쫓아가지 못하는 상황에 이르렀다. 이에 따라, 합성 항생제와는 다른 방법으로 박테리아를 살균하는 은(Ag) 콜로이드 수용액에 대한 관심이 다시 집중되고 있다(Kim and Song, 2001).

항균제로 사용되는 은(Ag)은 항균 활성이 뛰어나고 인체에 무독성, 무자극성이며 화학적으로 내구성을 가지고 내열성이 우수하다. 또한 장기간에 걸쳐 은이온(Ag^+)을 방출하여 항균 지속성이 우수한 것으로 알려져 있다. 항균제인 금속 은이온(Ag^+)의 항균 메커니즘은 다음과 같다. 첫째, 미생물의 단백질 내 -SH기와 흡착 결합하여 세포 변형을 일으키고 축합-탈수 반응으로 이어져 미생물의 신진대사 및 에너지 대사호흡 등을 어렵게 함으로서 미생물을 사멸시키는 것이고, 둘째, 활성산소에 의한 항균 작용으로 산소는 은과 같은 항균 금속의 촉매작용에 의해 부분적으로 활성산소로 전환되는 것이다. 이 활성산소는 오존이나 과산화수소와 같은 강력한 살균작용을 갖고 있다. 셋째, 은이 나노 크기로 되면 100 ㎚ ~ 200 ㎚ 정도의 미생물이 이를 섭취하는 것이 가능하고, 섭취 시 호흡기 장애 및 대사 장애로 미생물이 사멸된다는 의견도 있다(Rovert and Charles, 1989; Russell and Hugo, 1994; Kim et al., 2005).

이러한 은(Ag)의 항균력을 향상시키기 위한 은(Ag)나노 입자를 만드는 방법은 물리적, 화학적, 전기화학적 방법으로 분류할 수 있다. 물리적 방법인 분쇄법은 은(Ag) 입자를 나노 크기로 제조하기 어렵고 분쇄 효율, 분산 등 여러 면에서 효과적이지 못하며, 화학적 방법은 고체염을 융점 이하의 온도에서 수소나 일산화탄소 등에 의해 환원시키는 가스 환원법, 금속 염화물의 증기를 수소나 수소, 일산화탄소 등에 의해 환원시키는 기상 반응법, 금속 이온을 환원하여 금속으로서 침전시키는 침전법 등이 있으며, 물리적 방법에 비해 공업적 규모의 대량 생산에는 바람직하지만, 제조 과정이 번잡하며, 불순물의 혼입을 피하기 어렵고, 화학적 반응에 의한 미립자 형성 시 불균일 화학반응에 의한 입자 크기의 불균일 및 조대화를 피하기 어려우며, 대부분의 경우 불가피하게 독성 있는 원료를 사용하여 제조하여 생체에 악영향을 줄 수 있으므로, 의료용, 동식물용으로 사용하기에는 적합하지 않다(Buffat and Borel, 1976; Asta et al., 2006; Kim, 2010).

전기 분해법은, 금속 전극봉을 금속염 등이 용해되어 있는 전해 수용액에 배치한 후, 두 개의 전극 봉에 직류 또는 교류 전류를 가함으로서, 용액 중에서 금속 이온이 환원되어 금속 나노 입자가 석출되도록 한 후, 이를 침전, 여과 등의 과정을 통해 분리하여 건조시킴으로서 금속 나노 입자를 제조하는 방식이다. 전기 분해에 의한 금속 나노 콜로이드 제조방식은, 물리적 방법이나 화학적 방법에 비해 불순물 없이 상대적으로 미세한 입자를 얻을 수 있기 때문에 의료용에 적용되는 금속 나노 입자는 일반적으로 전기 분해법에 의해 제조된 금속 나노 입자를 순수나 기타 필요로 하는 용액 중에 분산시켜 콜로이드 용액으로 만든 후, 주사나 음용 등 기타 방식을 통해 체내에 투여하고 있다. 그러나, 전기분해법을 이용한 은(Ag) 나노 입자의 생성은 1000 mg/l 이상의 고농도 은(Ag) 나노 입자를 대량 생산할 수 없는 단점이 있다(Lee, 2009).

본 연구는 종래 전기 분해에 의해 제조되는 저농도의 은(Ag) 콜로이드 제조 방법을 개선하고, 고농도 및 고순도의 은(Ag) 나노 콜로이드를 제조하기 위하여 전기분해 반응조의 온도 변화를 70℃와 90℃에서 반응시켜, 농도 변화를 분석하고, 상의 변화를 관측하며, 은(Ag) 나노 콜로이드의 항균 특성을 고찰하였다.

2. 장치 및 방법

2.1. 실험장치

실험 장치는 Fig. 1과 같다. 수조에 물을 채운 후 반응 용기를 집어넣고 용기 내에 양극과 음극 전극으로 은(Ag) Bar를 설치한 후 두 전극간 거리가 15 cm로 두 전극이 마주보도록 설치하였다. 그리고 반응 용기 상부에 교반기를 설치하여 은(Ag)콜로이드 합성이 일어나는 동안 교반하여 전기 화학 반응으로 은(Ag) 이온이 은(Ag)전극에서 용출되어 나와서 은(Ag) 이온으로 환원되어질 때 균일하게 혼합되게 하였다. 이 때 전원으로는 직류 32V DC Power Supply를 사용하였고 가해진 전압은 DC 30V로 설정하였다.

Fig. 1. Batch type electrochemical reactor for silver nanocolloid synthesis.

2.2. 실험방법

물 2 L에 분산제로서 0.5 g Sodium Dodecyle Sulfate (SDS) 첨가하여 용해 후 환원제로서 구연산나트륨을 0.2 g 첨가한 다음 온도를 70℃, 90℃ 승온시킨 후 은(Ag) 전극에 전압을 가하여 은(Ag)의 전기분해를 유도하였다. 반응과정에서 공정 변수로 환원제 첨가량, 분산제 함량, 반응온도를 들 수 있겠지만 본 실험에서는 종래 화학 환원법에서 첨가되는 구연산나트륨 환원제의 함량을 고려하여 은(Ag) 1000 1g/l 대비 0.1 g 이하로 첨가하였다. 그리고 분산제는 은(Ag)의 무게에 대하여 10% 정도 첨가하는 것이 바람직하지만 분산을 강화하기 위하여 0.5 g을 넣고 실험하였으며, 공정변수로 반응온도를 설정하고 70℃, 90℃에서 각각 60분 반응하여 은(Ag) 나노 콜로이드의 합성을 진행하였다. 전류는 0.7 A 전류값으로 고정하고, 전압을 DC 30V로 고정시킨 후 실험을 하였으며, 아래의 Fig 2에 공정 흐름을 나타내었다.

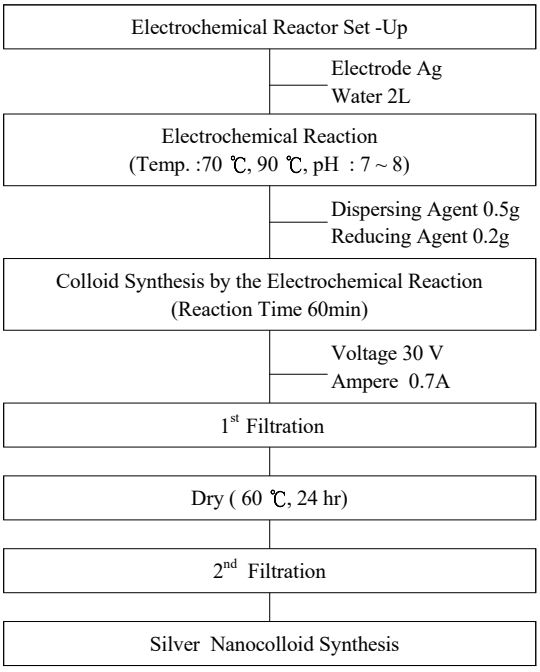


Fig. 2. Silver nanocolloids synthesis process flow.

2.3 분석방법

Varian Co.의 720-ES model인 ICP-OES를 이용하여 제조된 은(Ag)나노 콜로이드의 은(Ag)의 농도를 분석하고, Rigaku Co. SWXD model X-Ray 회절 분석기(X-Ray generator 출력 18kW, Rotating Anode, Cu target)로 은(Ag) 나노 콜로이드에 대한 결정상 분석을 실시하였으며, 입자 형상, 입도 분포 및 Lattice Image를 알아보기 위하여 TEM (Transmission Electron Microscopy, JEM - ARM 200F, JEOL)으로 관찰을 하였고, 분산제의 함량을 고려하기 위하여 TA Instruments Co.의 Auto-TGA Q500 Model로 TGA 열분석을 실시하였다. 항균 특성은 대장균과 녹농균을 이용하여 KICM-FIR-1002: Shake Flask 법으로 평가하였다. 균주로서는 대장균(*Escherichia coli* ATCC 25922)과 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442)을 사용하여 균을 접종 후 24시간 후 균의 농도를 분석하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전해시간에 따른 농도변화

물 2 L에 분산제로서 0.5 g Sodium Dodecyle Sulfate (SDS) 첨가하여 용해 후 환원제로서 구연산나트륨을 0.2 g 첨가한 다음 온도를 90℃로 승온시킨 후 은(Ag) 전극에 전압을 DC 30V로 고정시킨 후 5분, 30분, 60분 동안 은(Ag) 나노 콜로이드 합성반응을 실시하였다. 이때 분산제는 계면에 흡착하고자 하는 고유의 성질과 어느 정도의 점도를 유지하기 때문에 은(Ag) 나노 입자가 형성되는 용액 내에서 은(Ag) 나노 입자 핵의 표면에 흡착하여 핵 사이 융합을 막아주며, 환원된 은(Ag) 원자와 원자 간의 이동을 방해하므로

표면결합을 지연시켜 입도분포가 균일 하게 된다(Shin and Oh, 2001). 분산제로서 사용된 Sodium Dodecyle Sulfate는 용출된 은 이온(Ag^+)을 분산 시 분산 안정성을 부여하여 응집이나 침전이 형성되는 것을 방지해 준다(Lee, 2016). 환원제로 사용된 구연산나트륨과 반응하여 양극으로 부터 전해된 은 이온(Ag^+)이 은(Ag) 나노 콜로이드로 환원되는 반응은 다음과 같다(Alexander et al., 2007).

$$4Ag^+ + C_6H_5O_7Na_3 + OH^- + H_3O^+ \rightarrow 4\,Ag + C_6H_5O_7H_3 + 3Na^+ + H^+ + O_2 \uparrow$$

반응시간에 따른 합성된 은(Ag) 나노 콜로이드를 ICP-OES로 분석한 결과를 Fig.3에 나타내었다. 반응시간에 따라 합성된 은(Ag) 나노 콜로이드의 농도변화는 5분에 14 mg/l, 30분에 1,756 mg/l, 60분후에 2,147 mg/l 농도가 증가하였으며, Fig. 4. 에 나타낸 것과 같이 색상이 변화되었다.

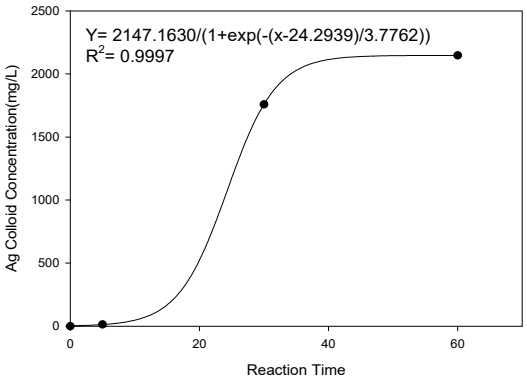


Fig. 3. Relation of silver nanocolloid concentration and reaction time.

(a) 5 min (b) 30min (c) 60 min

Fig. 4. Synthesis concentration change by the electrolysis reaction time.

이것은 은(Ag)이온의 용출이 증가하여 농도가 증가하는 것도 이유이지만 60분 동안의 반응에서 지속적인 은(Ag)의 핵생성과 성장이 일어난 결과 농도의 증가와 아울러 입자의 성장이 일어난 결과라 생각된다.

3.2. 전해 온도에 따른 농도변화

전해 온도에 따른 은(Ag) 나노 콜로이드 합성특성을 파악하기 위하여 70℃, 90℃에서 각각 60분간 전해반응하여 은(Ag) 나노 콜로이드를 합성하였을 때의 은(Ag) 나노 콜로이드의 온도별 차이를 분석한 결과를 Fig.5에 나타내었다. Fig. 5에 나타낸 것과 같이 70℃, 90℃에서 각각 60분간 전기분해 반응 결과 합성된 은(Ag) 나노 콜로이드의 농도는 70℃일 때 1,882 mg/l, 90℃에서 2,147 mg/l로 나타났다.

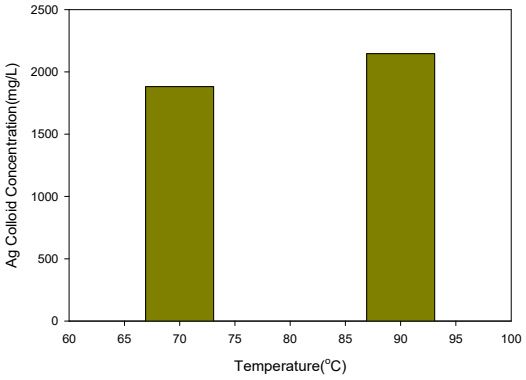


Fig. 5. Relation of temperature and silver nanocolloid concentration.

Fig. 6에 보면 70℃, 90℃에서 각각 60분 반응 결과 합성된 은(Ag) 나노 콜로이드의 색상이 다르게 나타났다. 70℃에서 합성한 은(Ag) 나노 콜로이드는 검회색으로 나타났고, 90℃에서 은(Ag) 나노 콜로이드는 검은색을 나타내었으며, 순수 100 ml에 1 ml 와 2 ml 첨가 하였을 때 나타나는 색의 변화로 형성된 은(Ag) 나노 콜로이드의 차이를 나타내었다.

3.3. 은(Ag) 나노 콜로이드의 특성

은(Ag) 나노 콜로이드에 대하여 환원제로서 구연산나트륨을 첨가하여 은(Ag) 을 침전 시킨 후 상등액을 제거하고 60℃에서 24시간 건조한 은(Ag) 나노 건조

(a) 70℃ synthesis original | (b) Water 100 ml + 1 ml at 70℃ synthesis original | (c) Water 100 ml + 2 ml at 70℃ synthesis original | (d) 90℃ synthesis original | (e) Water 100 ml + 1 ml at 90℃ synthesis original | (f) Water 100 ml + 2 ml at 90℃ synthesis original

Fig. 6. Synthesis concentration change by the electrolysis temperature.

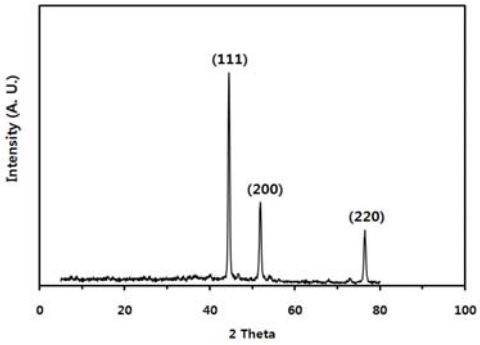


Fig. 7. XRD pattern of silver nanocolloid.

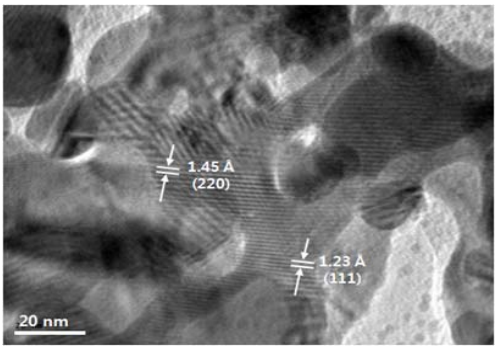


Fig. 8. Lattice Image of TEM for silver nanocolloid.

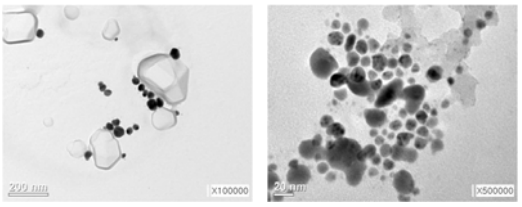
분말을 X선 회절 분석하여 결정상의 동정 분석을 실시한 결과를 Fig. 7에 나타내었으며, 순수 은(Ag)으로 분석되었다.

Fig .8에 나타낸 것과 같이 TEM을 이용하여 응집된 은(Ag) 나노 콜로이드의 Lattice Image 격자 간 간격을 측정하였다. Fig .8에서 나타난 Lattice Image로부터 측정된 격자 간 간격은 1.23 Å, 1.45 Å으로 은(Ag)의 (111), (220) 결정면의 Lattice Image인 것으로 나타났다.

70℃, 90℃에서 합성한 은(Ag) 나노 콜로이드에 대하여 TEM 으로 분석한 결과 및 입도 분석한 결과를 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다.

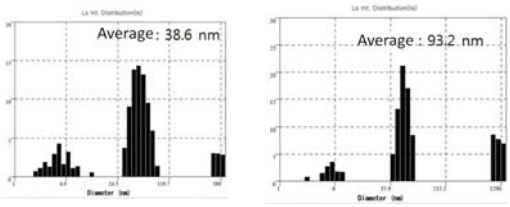
Fig. 9로 부터 70℃에서 합성할 경우 은(Ag) 의 핵생성이 적은 가운데 은(Ag) 입자의 성장이 이루어져 평균 입도는 38.6 nm정도의 크기의 균일한 크기를 갖는 입자로 형성되며, 90℃에서 합성할 경우 은(Ag) 의 핵성이 활발하여 평균 입도는 93.2 nm정도의 크기를 갖는 입자 크기가 불균일한 입자로 형성되었다고 생각된다. 90℃에서 100 nm 이상의 은(Ag) 나노 콜로이드는 분산제를 방치 할 경우 침전하게 되는데 조대 입자의 성장과 그로 인한 응집될 수 있는 침전물이 형성될 수 있다.

이에 1,000 mg/l 이상의 고농도, 40 nm이하의 고순도은(Ag) 나노 콜로이드를 합성하기 위해서는 70℃에서 합성하는 것이 좋은 것으로 나타났다.



(a) 70℃ synthesis (b) 90℃ synthesis

Fig. 9. TEM of silver nanocolloid with various reaction temperatures of (a) 70℃, (b) 90℃.



(a) 70℃ synthesis (b) 90℃ synthesis

Fig. 10. Size distribution of silver nanocolloid with reaction temperatures of (a) 70℃, (b) 90℃.

응집된 은(Ag) 나노 콜로이드를 건조하여 열분석한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11로부터 건조물에서 열분해가 일어났음을 볼 수 있으며, 50℃ 이상 150℃에서 수분의 증발로 15% 정도의 감량이 발생하였으며 150 ~ 400℃까지 40%의 추가 무게감량이 발생하는데 이것은 은(Ag) 나노 콜로이드 제조를 위하여 첨가된 유기물 즉 분산제의 열분해에 기인한 것이라 생각된다.

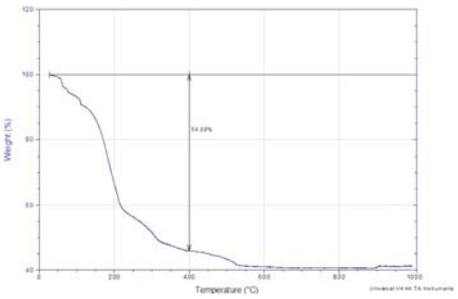


Fig. 11. Thermal analysis of silver nanocolloid.

일반적으로 나노 입자의 분산에 필요한 분산제의 함량은 무기물 무게 대비 10 ~ 20% 인 것을 고려 해 볼 때 첨가된 분산제는 과량 첨가된 것으로 보이며, 적정 첨가량은 본 실험에서 투입된 분산제 함량의 절반 수준 즉 0.2 ~ 0.3 g로 첨가하는 것이 적절하다고 생각된다.

3.4. 은(Ag) 나노 콜로이드 항균 특성

은(Ag) 나노 콜로이드 용액에 대하여 50 mg/l로 희석시킨 후 KICM-FIR -1002 방법으로 항균시험을 실시하였다. 균주는 대장균(*Escherichia coli* ATCC 25922)과 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442)를 사용하여 접종한 후 24시간 경과 후 균의 농도를 측정하여 감소율을 측정하고 그 결과를 Table 1과 Fig. 12, Fig. 13에 나타내었다. 은(Ag) 나노 콜로이드 대한 항균특성은 대장균(*Escherichia coli* ATCC 25922)에 대하여는 99.9%의 항균 효과를 보였으며, 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442)에 대하여는 99.5%의 항균 특성을 보였다. 이는 Karla (2010), Hwang(2011)등의 연구와 같이 은나노 콜로이드가 대장균과 녹농균등의 세포 표면에 은나노 콜로이드가 흡착한 뒤 세포막을 파괴하고 DNA를 불활성화 시킴으로서 항균이 일으킨다고 생각된다 (Karla et al., 2010; Hwang et al., 2011).

Table 1. Antibacterial activities of silver nanocolloid

Item		Experiment result		
		Initial (CFU/40P)	24hr After (CFU/40P)	decrease rate (%)
E- coli	Blank	1.3×10^4	4.3×10^4	-
	Silver Nanocolloid	1.3×10^4	<10	99.9
Pseudomonas aeruginosa	Blank	1.6×10^4	4.9×10^4	-
	Silver Nanocolloid	1.6×10^4	2.0×10^3	99.5

(a) Blank (b) Silver nano colloid

Fig. 12. Antibacterial activities of silver nanocolloid on *E-Coli.*

(a) Blank (b) Silver nano colloid

Fig. 13. Antibacterial activities of silver nanocolloid on *Pseudomonas Aeruginosa.*

4. 결 론

본 연구는 종래 전기 분해에 의해 제조되는 은(Ag) 나노 콜로이드를 고농도및 고순도로 제조하기 위하여 전기분해 반응조의 온도 변화를 70℃와 90℃에서 반응시켜 농도의 변화를 분석하고, 상의 변화를 관측하며, 은 나노 콜로이드의 항균 특성을 고찰하였다.

1. 반응 시간에 따라 합성된 은(Ag) 나노 콜로이드의 농도변화는 5분에 14 mg/l, 30분에 1,756 mg/l, 60분후에 2,147 mg/l로 증가 하였다.

2. 70℃, 90℃에서 각각 60분간 전기분해 반응 결과 합성된 은(Ag) 나노 콜로이드의 농도는 70℃일 때 1,882 mg/l, 90℃에서 2,147 mg/l로 나타났다.

3. 건조한 은(Ag) 나노 건조 분말을 X선 회절 분석하여 결정상의 동정 분석을 실시한 결과 합성된 은(Ag)나노 콜로이드는 순수 은(Ag)으로 분석되었다.

4. 70℃에서 합성할 경우 은(Ag) 의 핵생성이 적은 가운데 은(Ag) 의입자의 성장이 이루어져 평균 입도는 38.6 nm 크기의 균일한 크기를 갖는 입자로 형성되며, 90℃에서 합성할 경우 은(Ag) 의 핵성이 활발하여 평균 입도는 93.2 nm정도의 크기를 갖는 입자 크기가 불균일한 입자로 형성되어, 1,000 mg/l 이상의 고농도, 40 nm이하의 고순도 은(Ag) 나노 콜로이드를 합성하기 위해서는 70℃에서 합성하는 것이 좋다고 판단된다.

5. 은(Ag) 나노 콜로이드의 항규특성을 살펴보면, 대장균(*Escherichia coli* ATCC 25922)에 대하여는 99.9%의 항균 효과를 보였으며, 녹농균(*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442)에 대하여는 99.5%의 항균 특성을 보였다.

REFERENCES

Alexander, P., Munehiro, Y., Masaaki, S., 2007, Synthesis of spherical silver nanoparticles with controllable sizes in aqueous solutions, J. Phys. Chem. C, 111(22), 7910-7917.

Asta, Š., Igoris, P., Judita, P., Algimantas, J., Asta, G., 2006, Analysis of silver nanoparticles produced by chemical reduction of silver salt solution, Materials Science (medžžiagotyra), 12(4), 287-291.

Buffat, P., Borel, J. P., 1976, Size effect on the melting temperature of gold particles, Physical review A, 13, 2287-2298.

Henry, C., 1912, Production of colloidal metals, Patent US 1059841 A, London, England.

Hwang, I. S., Cho, J. Y., Hwang, J. H., Hwang, B. M., Choi, H. M., Lee, J. Y., Lee, D. G., 2011, Antimicrobial effects and mechanism(s) of silver nanoparticle, Korean J. Microbiol. Biotechnol, 39(1), 1-8.

Jung, J. D., Cho, S. H., 2003, Quality control of natural antimicrobial agents for the preservation of swine feed, J. Agriculture & Life Sciences, 37(4), 85-92.

Karla, C., Yogeshkumar, M., Alexander, M. S., 2010, Nanosilver as a new generation of nanoproduct in biomedical applications. Trends Biotechnology. 28(11), 580-588.

Kim, H. B., Oh, M. D., 2001, Vancomycin-resistant Staphylococcus aureus, Infection & Chemotherapy, 33(1), 62-70.

Kim, J. Y., Kim, S. Y., Kim, J. Y., Lee, J. C., Yun, J. Y., 2005, The biocidal activity of nano sized silver particles comparing with silver ion, Journal of KSEE, 27(7), 771-776.

Kim, S. M., 2010, Preparation and characterization of silver nanoparticles by using thermal decompositon, M. D, Hanyang University, Korea

Lee, C. Y., 2009, Synthesis and characterization of Ag metal nanoparticles by modified electrolysis method, M. D, Hanyang University, Korea.

Lee, J. J., 2016, Size and dispersion characteristics of silver nanoparticles prepared using liquid phase reduction method, Journal of the Korea Academia -Industrial cooperation Society, 17(5), 10-16.

Rovert, B. T., Charles, P. G., 1989, The molecular mechanisms of copper and silver ion disinfection of bacteria and viruses, CRC Crit. Rev. Environ. Cont, 18(4), 295-315.

Russell, A. D., Hugo, W. B., 1994, Antimicrobial activity and action of silver, Progress in Medicinal Chemistry, 31, 351-370.

Searle, A. B., 1920, The use of colloids in health and disease, Constable Company LTD, London, England.

Shin, S. I., Oh, S. G., 2001, Preparation of nano particles using surfactants, Prospectives of Industrial Chemistry, 4(2), 40-47.

Song, Y. G., 2012, The history of antimicrobial drug development and the current situation, Korean Journal of Infectious Diseases, 44(4), 263-268.