

# Trisodium Citrate을 이용한 은 나노입자의 합성 및 분산성에 관한 연구

이종집\*

<sup>1</sup>공주대학교 화학공학부

## A Study on Synthesis and Dispersion of Silver Nano Particle Using Trisodium Citrate

Jong Jib Lee\*

<sup>1</sup>Division of Chemical Engineering, Kongju National University

**요약** 수용액에서 질산 은과 Trisodium Citrate(TSC)을 반응시켜 은 나노입자를 제조하였다. 은 나노입자의 크기와 모양은 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 조사하였다. 은 나노입자의 합성실험은 질산 은 수용액의 농도, TSC의 첨가량, 용제, 계면활성제, 초음파 파쇄, 분산제를 변수로 하여 수행하였다. 질산 은의 농도를 높이거나 TSC의 농도를 증가시킬수록 입자의 크기가 커지거나 응집되는 결과를 확인할 수 있었다. 주사 전자 현미경(SEM) 분석 자료로부터 합성된 은 나노입자는 좁은 영역의 입자 크기 분포를 가진 구형 또는 구형에 가까운 것을 확인하였다. 용제를 첨가하여 분산을 시도하였는데, 소수성 용제는 분산성에 영향을 미치지 않았고 친수성 용제는 분산성을 향상시켜 주었다. 계면활성제(HPMC)를 첨가하면 은 나노입자의 크기가 50-100 nm로 커지며, 모양은 불균일하고 부분적인 응집이 발생하였다. 은 나노입자의 분산성은 분산제 첨가 후에 3 시간 이상의 초음파 파쇄에 의해 크게 향상되었다. 분산제의 첨가에 의해 완전한 분산이 일어났으며, 은 나노입자의 크기는 BYK-182(30-40 nm)<BYK-192(42-78 nm)< BYK-142 (51-113 nm)순으로 나타났다. 0.002 M 질산 은 용액에 2-4wt%의 TSC를 첨가하였을 때 38.45-46.28 nm의 은 나노입자가 합성되었다.

**Abstract** Silver nanoparticles were prepared by reacting silver nitrate and trisodium citrate in an aqueous solution. Their size and shape were investigated by scanning electron microscopy (SEM). The synthesis was carried with different silver nitrate concentration, addition of TSC, solvent, surfactant, ultrasonication, and dispersing agent. With higher concentration of silver nitrate or TSC, the particles became large or agglomerated. The SEM results showed that the nanoparticles have spherical and pseudospherical shape with a narrow size distribution. The hydrophobic solvent did not affect the dispersibility, but the hydrophilic solvent enhanced it. The addition of HPMC surfactant caused the size to increase (50-100 nm) with non-uniform shapes and partial agglomeration. The dispersibility was significantly improved by ultrasonication for over 3 hours after the addition of a dispersing agent. Complete dispersion was achieved by adding the dispersant, and the nanoparticle sizes were as follows: 30-40 nm (BYK-182) < 42-78 nm (BYK-192) < 51-113 nm (BYK-142). The nanoparticles were 38.45-46.28 nm after the addition of 2-4 wt% TSC in 0.002 M silver nitrate solution.

**Keywords** : silver nanoparticle, dispersibility, nano silver, nanoparticle, nano silver colloid

### 1. 서론

현재까지 은 나노입자를 합성하기 위한 많은 방법이

보고되었으나, 보고된 대부분의 방법은 액상(liquid-state)에서 수행된다. 액상 합성법은 제조 공정이 간단하고, 계면 활성제, 농도, 온도, pH 등의 다양한 합성조건의 조절

본 논문 산업기술평가관리원의 벤처형 전문소재개발사업으로 지원받아 수행된 연구결과임(과제번호10049635)

\*Corresponding Author : Jong Jib Lee (Kongju National University)

Tel : +82-41-521-9357 e-mail : jjlee@kongju.ac.kr

Received January 12, 2016

Revised (1st February 22, 2016, 2nd March 29, 2016, 3rd April 6, 2016)

Accepted April 7, 2016

Published April 30, 2016

에 따라 선택적 크기의 합성 및 합성 후 분리 공정을 통해 고른 크기분포를 갖는 나노입자를 형성하기가 용이하기 때문이다[1-3].

액상합성법에 관한 선행연구를 살펴보면 Ratyakshi 등은 AgNO<sub>3</sub>와 sodium citrate를 이용해 은 나노입자를 합성하고 NaCl을 첨가하여 응집된 입자의 흡수과장을 측정하였고, 기존 은 나노입자와 비교하여 높은 흡수과장을 가진다고 하였다[4]. Wang 등은 분산성이 우수한 은 나노입자를 Polyvinyl pyrrolidone(PVP)를 분산제로 이용하여 화학적 환원법에 의해 제조하였다. 제조 과정에서 PVP의 메커니즘은 반응체계의 광학적인 성질에 의해 설명되는데, PVP가 H<sup>+</sup>를 안정화시키기 때문에 은 이온과 글루코오스의 반응을 가속화한다고 하였다[5]. Hsu 등은 질산 은의 포름알데히드 환원제와 PVP 안정제를 이용하여 화학적 환원에 의한 은 나노입자 현탁액을 제조하였다. 각각 다른 유기 염기인 Triethylamine과 Pyridine를 촉진제로서 사용하였는데, Triethylamine을 촉진제로 사용한 반응에서는 분산의 점도가 1.33 cps이고 입자 크기가 약 20-30 nm이었다[6]. Wani 등은 나노입자의 크기와 형태는 환원제의 강도에 의존하는데, 강한 환원력을 가지는 NaBH<sub>4</sub>는 평균 크기가 10 nm인 구형의 나노입자를 생성하고, 약한 환원력을 가지는 sodium citrate는 좁은 크기 분포를 가지는 더 작은 은 나노입자를 생성한다고 하였다[7].

그러나 합성된 나노입자는 큰 표면적에 의한 입자간 응집력으로 나노입자가 가진 고유의 본래 기능 및 특성을 제대로 발휘할 수 없는 문제가 있는데도 불구하고 은 나노입자를 분산시키는 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 질산 은 수용액 하에서 Trisodium Citrate(TSC)를 이용한 은 나노입자를 합성하는데 있어서 은 나노입자의 분산성을 확보하는데 필요한 변수로서 질산 은 수용액과 TSC의 농도 변화, 친수성과 소수성 용제 및 계면활성제, 초음파 파쇄, Homogenizer 파쇄 및 분산제 첨가 등의 영향을 조사하였고, 은 나노입자의 분산이 확보된 상태에서 질산 은 용액과 TSC의 첨가량 변화에 의한 입자크기와 분산효과를 비교, 분석하여 최적 조건을 구하고자 하였다.

## 2. 실험

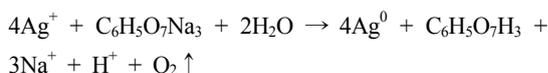
### 2.1 실험재료

Silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>, MW : 169.87 g/mol)는 Samchun Pure Chemical사 Special grade급 시약을 사용하였다. Trisodium citrate dihydrate (C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>Na<sub>3</sub>O<sub>7</sub> · H<sub>2</sub>O, MW : 294.1 g/mol)는 대정화금 사의 Extra pure급 시약을 사용하였다. 계면활성제는 Hydroxy propyl methyl cellulose (HPMC)로 삼성정밀화학 사의 1급 시약을 사용하였고, 분산제로는 BYK 사의 DisperBYK series를 선택하여 사용하였다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 은 나노입자의 제조

소정농도의 AgNO<sub>3</sub> 100 mL용액을 제조하여 비커에 따르고 핫플레이트에서 70-80 °C로 끓인 후 농도를 조정 한 TSC 용액 5mL를 뷰렛을 이용해 한방울씩 천천히 떨어뜨린다. 끓이면서 강력하게 교반을 해주고, 용액이 얼은 노란색을 띄면 핫플레이트를 끄고 실온까지 냉각해준다. 은 나노입자의 생성반응식은 다음과 같다.



#### 2.1.2 은 나노입자 분산 실험

은 나노입자의 크기 및 분산성에 영향을 줄 수 있는 중요 변수를 변화시키며 실험을 진행하였다. 먼저 0.001 M 질산 은 수용액 100 ml에 TSC의 농도를 1, 2, 3 wt%로 변화시키며 실험을 진행하였다. 그 다음 질산 은 수용액의 농도를 0.001 M, 0.002 M, 0.003 M로 변화시키며 실험한 후에 소수성 및 친수성 용제를 첨가하여 분산성을 비교하였고, 계면활성제인 MC를 추가로 첨가하였을 때의 분산성을 확인하였다. 그 다음으로 기기를 이용한 분산을 시도하였는데 먼저 고속 교반기인 Homogenizer (SMT Co, PA92)를 이용한 입자 분산을 시도하였고, 다음으로 초음파 파쇄기(화신테크, Powersonic 410)에서 파쇄시간을 1, 2, 3, 4, 5 시간으로 증가시키며 입자를 파쇄시켜 가장 최적의 분산성을 위한 조건을 비교하였다. 이에 더해 분산성을 최대로 증가시키기 위하여 분산제를 이용하였다. 최적의 분산조건을 찾고, TSC의 농도를 1, 2, 3, 4 wt%로 변화시키며 실험하여 처음 조건에서의 분산 정도와 비교하였다.

#### 2.1.3 분석 방법

합성된 은 입자는 UV-Visible Spectrophotometer

(Shimadzu, UV-1800PC)을 이용하여 424 nm에서 흡수 피크를 분석하였고, 분산성에 대한 분석은 FE-SEM (TESCAN, MIRA LMH)을 통한 이미지 분석으로 입자 크기, 형태 등의 정보를 얻고, 입자의 분산 상태를 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 질산은 수용액 농도의 변화

질산은 수용액의 농도에 따른 은 나노입자의 분산상태를 확인하기 위하여 질산은 수용액 100 ml에 1 wt% TSC 2 ml를 동일한 조건에서 첨가하였다. 질산은 수용액의 농도를 0.001, 0.002, 0.003 M로 변화시키며 실험을 진행하였다. 이에 따른 FE-SEM 분석 사진을 Fig. 1에 나타내었다.

질산은의 농도가 0.001 M일 때는 은 나노입자가 부분적으로 응집되어있는 것을 볼 수 있었으나 대체적으로는 분산이 이루어졌다고 판단되었다. 반면 0.002 M와 0.003 M에서는 입자가 심하게 응집되어 덩어리를 형성한 것을 볼 수 있었다. 이러한 현상은 질산은 수용액의 농도가 증가 할수록 농도가 낮을 때 보다 생성되는 입자의 수가 많아져서 특별한 입자분산방법을 적용하지 않으면 입자가 응집되고 분산이 이루어지지 않기 때문이다[8].

#### 3.2 TSC 첨가량 및 농도의 변화

TSC 첨가량의 증가에 따른 은 나노입자의 분산상태를 알아보기 위하여 0.001 M 질산은 용액 100 ml에 1 wt% TSC의 첨가량을 1, 2, 3 ml로 증가시키며 실험하여 FE-SEM으로 분석한 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

입자 분석사진에서 보는 바와 같이 TSC를 1 ml 첨가 시에는 입자의 분산은 일어났지만 입자가 100 nm 이상으로 매우 컸다, 반면에 2 ml 첨가 했을 때는 입자가 약간 응집되어 있기는 하지만 은 나노입자 크기가 52-69 nm로 작아졌다. 그러나 3 ml에서는 입자가 응집되어 큰 덩어리를 형성하였다. 이러한 사실은 TSC의 첨가량을 증가시킬수록 은 나노입자가 많이 생성된다고 보고된 사실과 부합한다[8].

한편 TSC의 첨가량이 증가할수록 용액의 색이 탁한 노란색으로 변하는 현상이 발생하였는데, 이것은 같은 시간에 TSC를 첨가하였기 때문에 TSC의 첨가량이 증

가할수록 첨가 속도가 빨라지는 결과를 초래하여 합성된 은 나노입자가 응집되는 현상이 발생하였기 때문이다 [9]. 따라서 본 실험에서는 분산성과 입자의 크기가 적당한 TSC 2 ml 첨가를 기준으로 첨가속도를 조절하여 실험하기로 결정하였다.

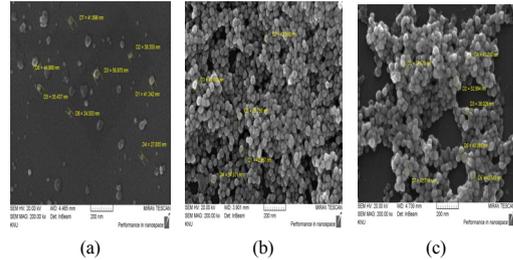


Fig. 1. Effect of dispersion of silver nano particles at different concentration of silver nitrate solution; (a) 0.001 M, (b) 0.002 M, (c) 0.003 M

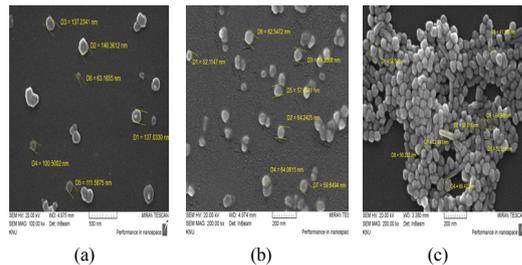


Fig. 2. Effect of dispersion of silver nano particles at different addition volume of TSC; (a) 1 ml, (b) 2 ml and (c) 3 ml

#### 3.3 용제의 첨가

응집되어 있는 은 나노입자의 분산성을 높이고자 은 나노입자 용액에 용제를 첨가하여 교반하였다. 친수성 용제로 메타놀, 에타놀, 아세톤과 소수성 용제로 Xylene, Toluene, MEK를 선정하여 실험하였다. 용제끼리의 상용성을 확인해본 결과 본 실험에서 선택한 모든 용제는 서로 잘 섞이는 것을 알 수 있었다. 하지만 Xylene, Toluene, MEK가 포함된 용제를 은 나노용액에 첨가하는 순간 용액의 표면에 기름층이 생기면서 층 분리가 일어나는 현상을 관찰할 수 있었다. 혼합비율을 바꾸어 보아도 용제와 은 나노입자 용액이 혼합되지 않았다. 이것은 은 나노입자 용액이 수용액인 관계로 소수성 용제와 친화성이 낮기 때문에 친수성 용제와 혼합되어 있다고 하더라도 상용성이 없는 것으로 해석되었다. 따라서 소

수성 용제인 Xylene, Toluene, MEK를 이용한 분산은 배제하고 친수성 용제를 이용한 분산방법을 계속 시도하였다.

친수성 용제로만 이루어진 조합에서는 Methanol은 휘발속도가 빠르기 때문에 은 나노입자의 코팅성을 고려하여 배제하고 Ethanol을 사용하였다. 상용성을 고려하여 여러 번의 시행착오를 거쳐 Acetone과 Ethanol을 각각 단독 사용하는 것 보다 1:1의 비율로 혼합하여 첨가하는 것이 분산에 가장 적합하다고 판단되었다. 은 나노용액을 제조하고 10 ml를 채취하여 Ethanol 2ml 와 Acetone 2ml를 첨가하였다. 용제를 너무 많이 첨가하게 되면 용액이 너무 희석되어 입자가 거의 찍히지 않기 때문에 최소한의 양만 첨가하였다. Ethanol 2ml 와 Acetone 2ml 를 첨가한 용액의 FE-SEM 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다. 사진을 보면 용제를 넣으면 입자의 분산이 일어났으며, 사이즈가 30-36 nm로 작은 것을 알 수 있었다. 하지만 간혹 큰 입자가 존재하고, 입자의 모양이 약간 불균일하고 또한 분산배열이 규칙적이지 못한 점을 고려하여 계면활성제를 추가로 첨가하여 입자의 분산규칙성을 향상시키고자 하였다.

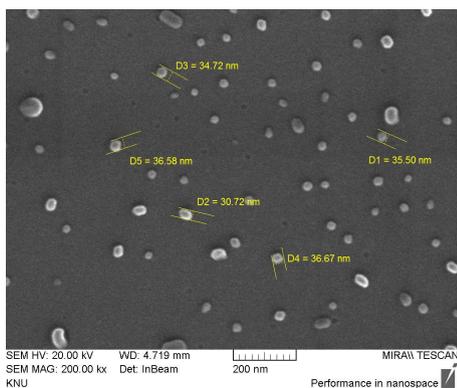


Fig. 3. Effect of dispersion of silver nano particles for addition of acetone-ethanol

### 3.4 계면활성제의 첨가

나노입자는 높은 표면장력으로 인하여 입자간의 응집을 통해서 표면에너지를 낮추려는 경향이 있기 때문에 이를 방지하기 위해서 나노입자 형성 시 높은 표면 장력을 낮추기 위해 고분자 및 계면활성제 등을 나노입자 표면에 흡착시켜 표면에너지를 낮춘 은 나노입자 간의 응집력을 차폐하여야 한다[10]. 따라서 계면활성제를 이용

하여 안정하고 균일하게 분산된 입자 상태를 형성하기 위해 가격이 저렴하면서도 친수성 입자와 소수성 입자에 대한 계면활성 능력이 우수하여 가장 많이 사용하고 있는 계면활성제 중의 하나인 HPMC를 이용하여 분산은 시도해 보았다. Fig. 4에 은 나노용액 10 ml에 Ethanol 2 ml, Acetone 2 ml, 0.02 % HPMC 4 ml를 첨가하여 교반한 용액의 FE-SEM 분석 결과를 나타내었다. 입자 분석 사진을 보면 입자의 모양이 불균일하고 부분적으로 응집이 일어난 것을 확인 할 수 있다. 또한 입자의 크기가 55-100.2 nm로 Ethanol과 Acetone만 첨가했을 때보다 증가한 것을 확인할 수 있었다. 따라서 HPMC는 첨가하지 않기로 하였다.

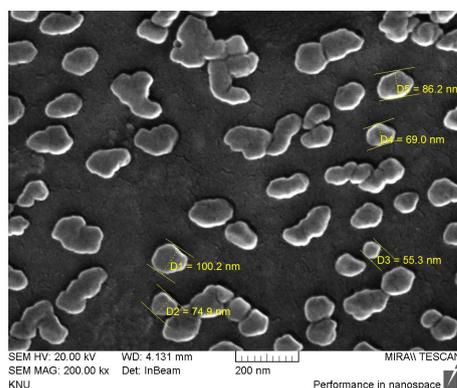


Fig. 4. Effect of dispersion of silver nano particles for addition of HPMC

### 3.5 초음파 파쇄를 이용한 분산성 확인

초음파 분산기인 Sonicator를 이용한 입자 분산정도를 비교해보았다. 은 나노입자 용액 10ml에 Ethanol과 Acetone 각각 2 ml 를 첨가한 후 용액을 초음파 시간을 1시간에서 5시간으로 변화시키며 실험하였고, 입자의 FE-SEM 분석결과를 Fig. 5에 나타내었다.

초음파 처리 하였을 때와 하지 않았을 때 입자의 크기가 작아지는 것을 알 수 있었고 뭉쳐있던 입자들이 서서히 초음파 시간을 증가시킬수록 분산이 잘 일어났다. 1 시간 초음파 처리하였을 때 보다 2시간 했을 때 입자의 크기가 작아진 것을 볼 수 있었다. 3시간 이후에는 그 전에 5-6개씩 응집되어있던 입자들이 1-3 개 정도로떨어져서 나온 것을 볼 수 있었다. 따라서 적절한 초음파 처리 시간을 3시간으로 고정하고 실험하였다.

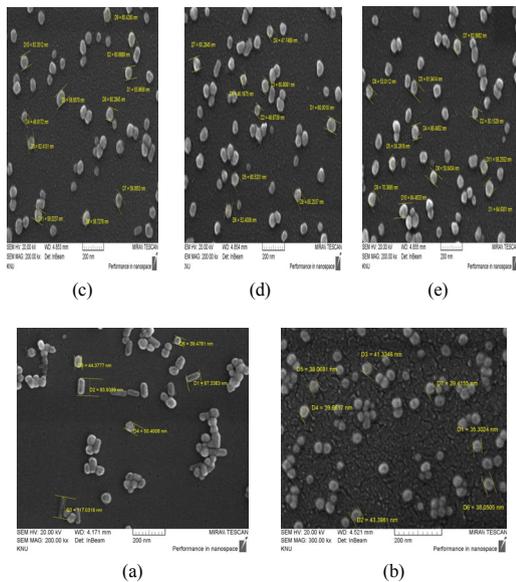


Fig. 5. Effect of dispersion of silver nano particles for different sonication time; (a) 1 h (b) 2 h (c) 3 h(d) 4 h (e) 5 h

### 3.6 분산제 첨가 효과

분산제를 이용하여 입자의 분산성을 증대시키기 위하여 0.002 M AgNO<sub>3</sub> 100 ml에 2 wt% TSC 2 ml를 첨가하고 10ml 채취하여 용제인 EtOH 2 ml과 Acetone 2 ml를 첨가하였다. 그 후 분산제인 BYK-142, BYK-182, BYK-192를 마이크로피펫을 이용하여 각각 1 ml씩 첨가한 후 Sonicator를 이용하여 초음파로 3시간동안 파쇄시켜 주었다. 분산제의 특성은 Table 1에 나타났다. 분산제 종류에 따른 은 나노입자의 분산상태를 FE-SEM 으로 분석한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of Dipersing Agents

	BYK142	BYK182	BYK192
Composition	Phosphoric ester salt, etc.	2-Methoxy-2-propanol acetate, etc	Copolymer with pigment affinic group
Color	light yellow	light yellow	light brown
Boiling Point	146℃	124℃	-
Water Solubility	Completely miscible	immiscible	Completely miscible

그림에서 보는 바와 같이 BYK-142는 입자의 분산이 일어났지만 입자의 51-113 nm로 크기가 크고 입자의 모양도 불균일한 모양을 보였다. 하지만 BYK-182를 첨가했을 때는 응집되어있던 입자들이 분산제를 넣자 하나하나 독립된 은 나노입자로 분산이 일어났고, 에탄올과 아세톤만 넣었을 때 보다 균일한 입자를 관찰 할 수 있었다. 또한 입자의 크기가 30-38 nm로 모든 입자가 40 nm 이하의 크기를 가졌으며, 또한 규칙적인 배열을 나타낸 것을 볼 수 있었다. BYK-192는 입자의 모양이 구형이며 분산성도 양호하지만 입자의 크기가 42-78 nm로 다소 컸다.

Fig. 7을 보면 세 가지 분산제에 따른 입자크기는 BYK-142>BYK-192>BYK-182 순으로 작아지며, 표준 편차 또한 BYK-182에서 가장 작게 나타나는 것을 알 수 있었다. 따라서 분산제는 은 나노입자의 분산성은 물론이고 입자크기에도 영향을 미치는 것을 알았다. 실험에서는 BYK-182를 첨가하였을 때가 상업성이 가장 높은 50 nm 이하의 입자의 크기를 가지며, 모양과 배열이 우수하다고 판단되어 이후의 실험에서도 BYK-182를 첨가한 분산을 시도하였다.

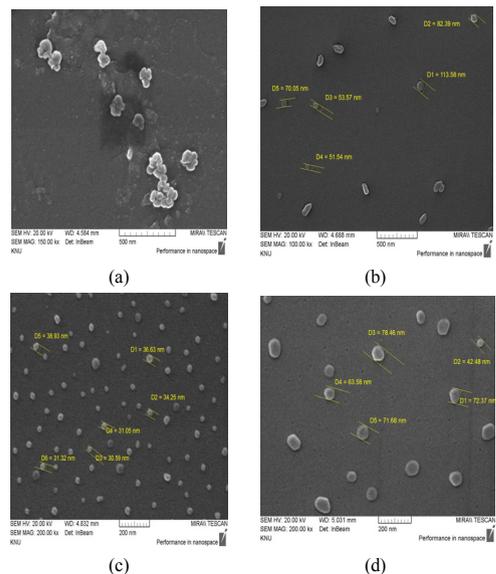


Fig. 6. Effect of dispersion of silver nano particles for addition of the dispersing agent; (a) Not addition (b) BYK-142, (c) BYK-182, (d) BYK-192.

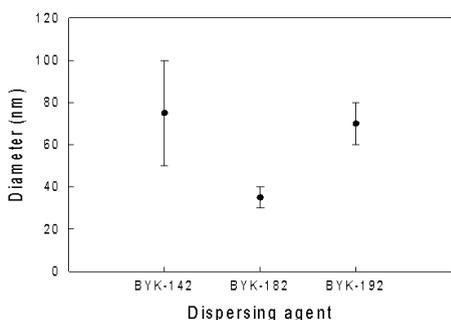


Fig. 7. Comparison of particle size for different dispersing agent.

### 3.7 분산성 향상을 위한 최적조건 결정

위와 같은 결과를 바탕으로 은 나노입자 분산에 가장 최적화된 조건을 0.002 M의 질산 은 수용액, TSC 2 ml 첨가, 용제로는 Ethanol과 Acetone을 각각 2 ml 첨가, 분산제(BYK-182) 1 ml 첨가, 초음파 3시간으로 결론지었다. 이와 같은 방법으로 먼저 TSC 농도에 따른 입자의 변화에 대해 알아보고자 하였다. 질산 은 수용액에 각각 1, 2, 3, 4 wt% TSC를 첨가하여 10 ml를 채취한 후 에탄올, 아세톤을 각각 2 ml, BYK-182를 1 ml 첨가 한 후 초음파로 3시간 동안 파쇄한 후 TSC 농도에 따른 평균 입자 크기와 분산성을 비교해보았다. 이에 따른 FE-SEM 분석 결과와 평균 입자 크기를 비교하여 도식화한 그래프를 각각 Fig. 8, 9에 나타내었다.

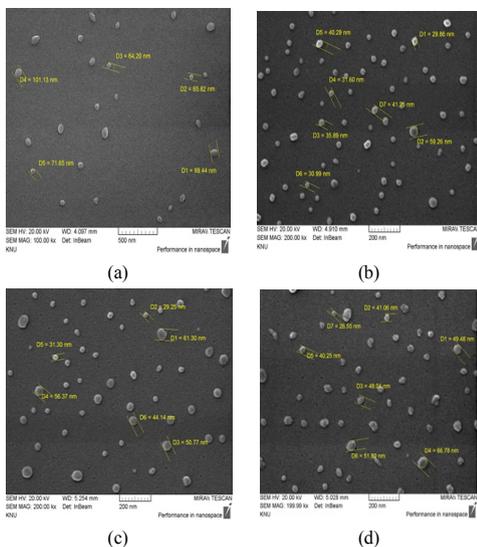


Fig. 8. FE-SEM images of silver nano particles for different concentration of TSC (a) 1 wt% (b) 2 wt% (c) 3 wt% (d) 4 wt%.

그림에서 보는 바와 같이 모두 입자의 분산이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. 최적조건으로 입자를 분산하였을 때 균일한 은 나노입자를 생성할 수 있었다. TSC의 농도 1 wt%일 때는 입자의 크기가 64-101 nm로 큰 것을 볼 수 있는데, 옅은 노란색이 나오지 않아 가열을 오래하였기 때문에 입자가 응집되어 크기가 증가하였다고 판단되었다. 또한 입자가 드물게 보이는 것은 TSC의 농도가 낮아서 입자 생성이 적게 일어났기 때문이다. [11]. 또한 2, 3, 4 wt%일 때의 입자 크기를 보면 평균 입자 크기가 38.45, 45.52, 46.28 nm로 조금씩 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 TSC의 농도가 증가할수록 은 나노입자를 둘러싸는 층이 조금씩 커지기 때문에 입자의 크기가 증가하기 때문이다[12].

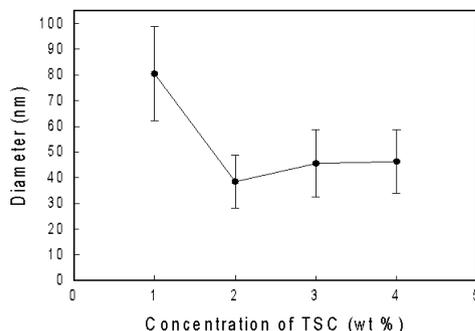


Fig. 9. Effect of silver nano particle size at different concentration of TSC; (a) 1 wt% (b) 2 wt% (c) 3 wt% (d) 4 wt%

이번에는 TSC 농도는 고정시키고 질산 은 수용액의 농도를 0.002 M, 0.003 M, 0.004 M, 0.005 M로 변화시키며 입자의 크기와 분산성을 비교해보았다. 이에 대한 FE-SEM 분석결과를 Fig. 10에 나타내었다. 또한 입자의 크기 분석 그래프를 Fig. 11에 나타내었다.

Fig. 10과 Fig. 11에서 보는 바와 같이 동일한 TSC일 때 0.002, 0.003, 0.004 M으로 질산 은 수용액의 농도가 증가했을 때 평균 입자의 크기는 각각 45.52, 45.22, 46.38 nm로 농도가 변화에 따라 크게 증가하지 않았다. 그러나 0.005 M 일 때는 평균 입자의 크기가 갑자기 57.82 nm로 증가하였다. 또한 질산 은 수용액의 농도가 증가할수록 입자의 표준오차가 12.00, 12.92, 13.93, 17.17로 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 농도가 증가함에 따라 은 나노입자의 평균 크기에서 벗어나는 입자가 많이 생긴다는 것을 알 수 있었다.

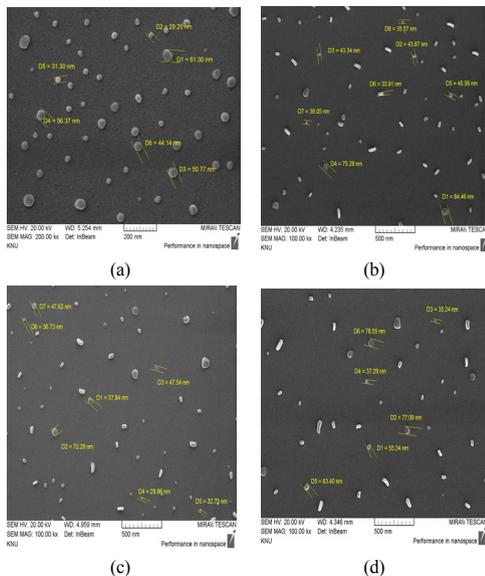


Fig. 10. FE-SEM images of silver nano particles at different concentration of silver nitrate solution; (a) 0.002 M (b) 0.003 M (c) 0.004 M (d) 0.005 M

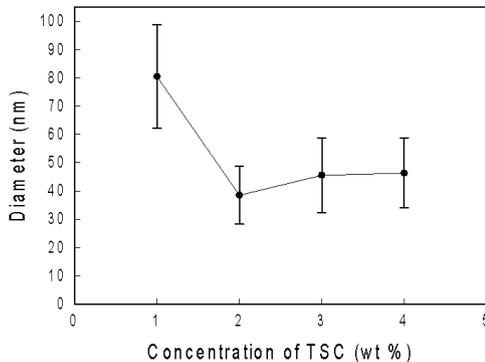


Fig. 11. Effect of silver nano particle size at different concentration of silver nitrate solution

#### 4. 결론

본 연구를 통하여 얻은 연구결과는 다음과 같다.

1. 은나노 입자의 분산성 향상에 소수성 용제는 영향을 미치지 않았으며, 친수성인 Acetone과 Ethanol을 1:1비율로 첨가하였을 때 30-36 nm의 은 나노 입자를 얻었다.

2. 계면활성제(HPMC)를 이용하여 분산을 시도한 경우는 은나노입자의 크기가 50-100 nm로 커지며, 모양은 불균일하고 부분적인 응집이 발생하였다.
3. 초음파 파쇄를 3시간 이상 실시하면 5-6 개로 분쳐져 있던 은 나노입자가 1-3개의 입자로분산되면서 입자의 크기가 작아지는 현상을 나타냈다.
4. BYK series의 분산제를 사용하여 입자의 분산성을 크게 향상시켰다. 은 나노입자의 크기는 BYK-182 (30-40 nm)>BYK-192(42-78 nm)>BYK-142(51-113 nm)순으로 나타나서 분산제는 은 나노입자의 분산성 뿐만아니라 입자크기에도 영향을 주었다.
5. 질산은의 농도가 0.002 M에서, TSC를 2-4 wt%를 첨가하였을 때 38.45-46.28 nm의 은 나노입자가 만들어 졌으며, TSC 2 wt%에서 질산 은 수용액의 농도를 0.002-0.004 M 이 반응했을 때는 45.22-46.38 nm 의 은 나노입자가 만들어 졌다.

#### References

- [1] J. H. Lim, K. Y. Kang, B. Im, J. S. Lee, Optimization of Silver Nano particles Synthesis through Design-of-Experiment Method, Korean Chem. Eng. Res., 46(4), 756-763, 2008.
- [2] K. H. Cho, S. G. Park, Study on the Antibacterial Effects of Silver Nano particles Prepare by Sonication Method, J. Korean Ind. Eng. Chem., 15(8), 952-955, 2004.
- [3] H. C. Song, Sahn Nham, B. S. Lee, Y. M. Choi, B. H. Ryu, The Effect of Particle Size on Rheological Properties of Highly Concentrated Ag Nanosol, Korean. J. Ceram. Soc., 46(1), 41-46, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.4191/KCERS.2009.46.1.041>
- [4] Ratyakshi and R. P. Chauhan, "Colloidal Synthesis of Silver Nano Particles", Asian J. Chem., 21, 113-116, 2009.
- [5] H. S. Wang, X. L. Qiao, J. Chena, X. J. Wang, S. Ding, Mechanisms of PVP in the preparation of silver nanoparticles, J. Mater. Chem. Phys., 94, 449-453, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2005.05.005>
- [6] S. L. C. Hsu, R. T. Wu, Synthesis of contamination-free silver nanoparticle suspensions for micro-interconnects, J. Mater. Letters., 61, 3719 - 3722, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2006.12.040>
- [7] I. A. Wani, A. Ganguly, J. Ahmed, T. Ahmad, Silver nanoparticles: Ultrasonic wave assisted synthesis, optical characterization and surface area studies, J. Mater. Letters., 65 520-522, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2010.11.003>
- [8] L. Lewis, Chemical Catalysis by Colloids and Clusters, Chem. Rev., 93(8), 2693-30, 1993. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/cr00024a006>

- [9] B. L. V. Prasad, S. K. Arumugam, T. Bala, M. Sastry, Solvent-Adapatable Silver Nanoparticles, Langmuir, 21, 822-826, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/la047707+>
- [10] G. N. Xu , X. L. Qiao, X. L. Qiu, J. G. Chen, Green Synthesis of Highly Pure Nano-Silver Sols - Electrolysis, Rare Metal Mater. Eng., 42(2), 249-253, 2013.
- [11] Y. C. Lu, K. S. Chou, A simple and effective route for the synthesis of nano-silver colloidal dispersions, J. Chem. Eng., 39, 673-678, 2008.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcice.2008.06.005>
- [12] X. Dong, X. H. Ji, H. L. Wu, L. Zhao, J. Li, W. S. Yang, Shape Control of Silver Nanoparticles by Stepwise Citrate Reduction, J. Phys. Chem., 113, 6573 - 6576, 2009.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jp900775b>

이 종 집(JongJibLee)

[정회원]



- 1983년 8월 : 인하대학교 공과대학 원 화학공학과 (공학석사)
- 1987년 8월 : 인하대학교 공과대학 원 화학공학과 (공학박사)
- 1987년 9월 ~ 1990년 2월 : (주) 벤가드 환경시설부 과장
- 1990년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 화학공학부 교수

<관심분야>

청정기술, 화학제품