

Ag 水溶液으로부터還元反應에 의한 Ag 微粒子의 製造 研究

李華永 · 晉善雅 · 韓伶姪*

韓國科學技術研究院 金屬工程研究센터, *國民大學校 新素材工學部

Preparation of Ag Fine Particles from Aqueous Silver Solution by Reduction Reaction

Hwa-Young Lee, Seon-Ah Jin and Young-Ju Han*

Metals Processing Research Center, Korea Institute of Science & Technology,

P. O. Box 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea

*School of Advanced Materials & Engineering, Kookmin University

요 약

국내 폐은 원료로부터 고부가가치 Ag powder를 제조하기 위한 연구의 일환으로써 ascorbic acid를 환원제로 사용한 Ag 미립자 제조실험을 수행하였다. Ag 수용액은 질산은을 10~120 mmole/l의 범위로 용해시켜 사용하였으며, Ag 미립자의 응집방지를 위한 분산제로는 Tamol NN8906 및 PVP를 각각 사용하였다. 환원반응을 통하여 제조한 Ag 미립자는 X-선 회절분석, 입도분석, SEM 및 TEM 분석을 실시하여 morphology와 평균입도를 측정하였다. ascorbic acid에 의한 수용액중 Ag 이온의 환원반응은 10분 이내에 거의 평형상태에 도달하였으며, 완전한 Ag 이온의 환원을 위해서는 ascorbic acid 첨가량이 이론치의 1.6배가 소요되었다. 생성된 Ag 미립자의 입도분포는 bimodal 혹은 trimodal의 분포곡선을 보였으며, Ag 미립자의 평균입도는 분산제 종류 및 첨가량과 수용액 중 초기 Ag 농도에 따라 달라지는 것으로 나타났다.

주제어 : 은, 미립자, 환원반응, 아스코빅산, 분산제

Abstract

A study on the preparation of Ag fine particles was performed through a reduction reaction using ascorbic acid as a reductant, which is one of the indispensable processes for the recycling of silver-bearing wastes. Silver nitrate solution in the range of 10~120 mmole/l was used and Tamol NN8906 or PVP was also used as a dispersant in the preparation of Ag fine particles. Ag particles obtained from the reduction reaction in the silver solution were characterized using X-ray diffraction, particle size analyze, SEM, and TEM to determine the particle size and morphology of them. As a result, the reduction reaction of silver ions with ascorbic acid reached equilibrium within 10 min. It was found that about 60% excess of ascorbic acid was required in order to reduce completely silver ions in the solution. The particle size distribution of Ag particles prepared through the reduction reaction showed typically bimodal or trimodal distribution. Especially, initial Ag concentration in the solution, the type and amount of dispersant added during the reduction reaction played an important role in determining the mean particle size of Ag particles.

Key words : Ag, fine particles, reduction reaction, ascorbic acid, dispersant

1. 서 론

최근 들어 국내는 물론 전세계적으로 IT 및 NT 관

련산업의 눈부신 발달로 인하여 각종 금속 혹은 세라믹 나노입자에 대한 관심과 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 특히 Ag 미립자의 경우 오래전부터 전도성 페이스트의 주원료로 사용되는 등 다른 금속 미립자에 비해 오랜 역사를 가지고 있다. 최근에는 휴대폰 및 노트북

*2004년 10월 8일 접수, 2004년 12월 6일 수리

*E-mail: hylce@kist.re.kr

등의 전자제품에서 방출되는 전자파 유해성 논란이 격해짐에 따라 이들 제품의 제조업체에서는 전자파 차폐(EMI shielding) 문제에 촉각을 곤두세우고 있는 실정이다. 아직까지 국내에서는 이들 제품의 전자파 규제에 대한 법규가 마련되어 있지는 않으나, 현재 각 제조업체에서는 Ag 미립자를 주원료로 한 Ag paint를 휴대폰 및 노트북 케이스 내면에 코팅하는 방법으로 전자파 차폐문제를 해결하고 있다.

Ag 미립자의 제조방법으로는 종래부터 기상법^{1,2)}과 액상법이 동시에 사용되고 있다. 기상법으로는 진공중에서 Ag를 가열증발시켜 이를 응집시키는 증발응집법과 화합물을 고온에서 화학반응을 시켜 Ag 미립자를 얻는 기상반응법 등을 주로 사용하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한, 액상법은 수열합성법,³⁻⁵⁾ 전기분해법⁶⁾ 및 환원반응을 이용한 침전법⁷⁻¹³⁾ 등이 공업적으로 사용되고 있다. 이들 방법 가운데 기상법은 비교적 균일한 입도의 미립자를 제조하는데 유리하나 제조비용이 많이 들기 때문에 일부 목적으로만 사용되고 있으며, 대량 생산에 유리한 환원반응법이 많이 사용되고 있는 것으로 알려져 있다.

한편, 국내에서 생산되는 Ag의 대부분은 사진폐액, X-ray 필름, 페스크랩, 폐산화은전지 등의 각종 secondary source로부터 리사이클되어 생산되는 재생은인 것으로 추정되고 있으며, 특히 생산되는 은의 대부분은 부가가치가 낮은 잉곳트(Ingot) 형태이기 때문에 폐은원료로부터 Ag 미립자를 직접 생산할 수 있는 기술개발이 시급히 요구되고 있다. 이를 위해서는 폐은원료의 고순도화 정제기술과 함께 Ag 수용액으로부터 나노 혹은 마이크론 사이즈의 Ag 미립자를 제조하기 위한 공정기술이 확립되어야 할 것으로 사료된다.

본 실험에서는 국내 폐은 원료로부터 Ag 미립자를 제조하기 위한 선행연구로써 우선 질산은 합성용액을 대상으로 환원반응을 이용한 Ag 미립자 제조특성을 조사함으로써 현재 단순 잉곳트 형태로 생산되는 재생은을 부가가치가 높은 Ag 미립자로 제품화하기 위한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. 시약 및 재료

Ag 수용액으로부터 환원반응을 통한 미립자 제조실험을 위해 본 실험에서는 silver nitrate(99.8%, Daejung Chemicals & Metals Co.)를 대상원료로 사용하였으며,

환원제로는 환원반응 속도가 빠르고 산성영역에서도 매우 우수한 환원력을 유지하는 ascorbic acid($C_6H_8O_6$, Aldrich Co., EP Grade)를 각각 사용하였다. 한편, 수용액중에서 생성된 Ag 미립자의 응집방지를 위한 분산제로는 독일 BASF 사의 Tamol[®] NN 8906 (Naphthalinesulfonic acid polycondensate, sodium salt) 및 polyvinylpyrrolidone (PVP, Aldrich Co., EP Grade) 2 종류를 선택하여 미리 증류수에 용해시켜 첨가하였다.

2.2. 실험 방법

100 ml 비이커에 미리 일정 농도로 조제한 질산은 수용액을 채우고 자석교반기를 교반하면서 분산제를 소정량 정량하여 첨가하였다. 이때, 자석교반기의 교반속도는 환원반응시에 영향을 미칠 수도 있는 교반세기의 영향을 최소화하기 위하여 일정 눈금으로 유지하여 실험을 실시하였다. 분산제가 질산은 용액과 완전히 혼합이 되도록 10여분간 교반을 한 다음 미리 증류수에 용해시킨 환원제를 한꺼번에 투입하였다. 환원제가 투입되는 순간 반응이 진행되어 Ag 미립자 현탁액이 생성되는 것을 관찰할 수 있었으며, 정해진 시간이 경과하면 교반을 멈추고 현탁액을 원심분리기(Model: Centrifuge 5416)에 넣어 3,000 rpm의 회전속도로 5분간 원심분리하여 고-액 분리를 실시하였다. Ag 수용액의 환원율은 고-액 분리후 상등액중의 Ag 농도를 AA spectrometer(Model: Varian SpetrAA)로 측정함으로써 초기 수용액중의 Ag 농도 대비 환원율을 계산하였다.

본 실험에서는 환원반응을 모두 상온에서 실시하였으며, 반응시 pH의 영향을 조사하기 위하여 질산 첨가량을 변화시키면서 반응 전후의 pH를 측정하였다(pH Meter: Accumet model20). 고-액 분리된 Ag 미립자는 증류수로 수회 반복 세척하고 저온에서 진공건조한 다음 데시케이터에 보관하였다. 이러한 방법으로 제조한 Ag 미립자는 X-선 회절 분석, Particle Size Analyzer(Model: Beckman Coulter LS PSA), SEM(Model: FEI XL 30 ESEM) 및 TEM(Model: JEOL 200CX) 분석을 통하여 생성된 Ag 미립자의 형상 및 입도를 측정하였다. Fig. 1은 본 실험의 Ag 미립자 제조과정을 도식화하여 보여주고 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. Ascorbic acid에 의한 Ag의 환원특성

Fig. 2는 초기 수용액중의 Ag 농도를 73 milimole/l

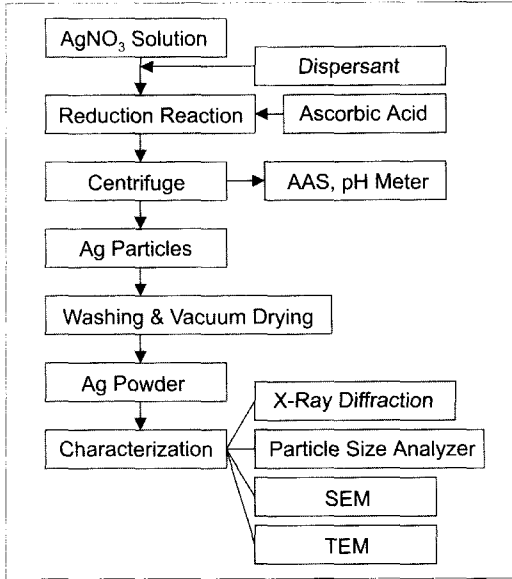


Fig. 1. Diagrams for preparation of Ag powder from aqueous silver solution.

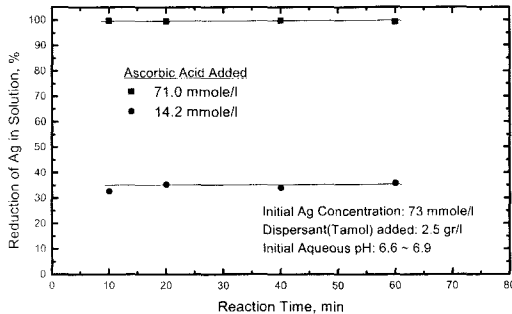


Fig. 2. Effect of reaction time on the percentage reduction of Ag in solution.

로 하고 분산제로써 Tamol을 2.5 gr/l 첨가하였을 때 반응시간에 따른 Ag의 환원율을 도기한 것이다. 실험결과 환원제가 첨가되는 순간 수용액은 급격한 Ag 환원으로 인하여 순식간에 어두운 회색의 현탁액으로 바뀌었으며, 이로 미루어 수용액 중에서의 ascorbic acid에 의한 Ag 환원반응은 매우 빠르게 진행된다는 것을 알 수 있었다. Fig. 2의 결과에서 보듯이 환원제를 첨가하고 나서 Ag의 환원반응은 반응시간 10분 이내에 거의 평형상태에 도달하는 것으로 나타나고 있다. 본 실험에서 측정된 반응시간은 환원제를 첨가하고 나서부터 일정시간 경과후 교반을 멈추었을 때까지의 시간으로써, 교반 정지후 원심분리기에 현탁액을 넣고 5분간 가동

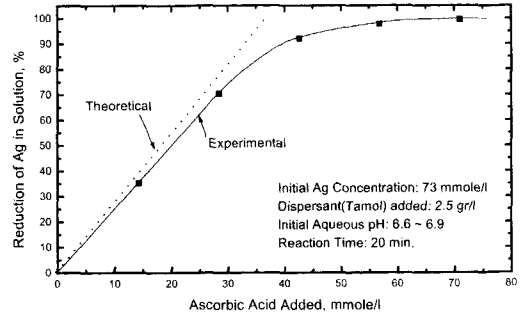
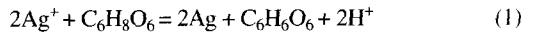


Fig. 3. Effect of amount of ascorbic acid on the percentage reduction of Ag.

및 상등액 채취까지의 시간 중에도 환원반응은 진행될 수 있기 때문에 실제 반응시간은 이 보다 약간 늘어날 수 있다. 그러나, 전반적으로는 ascorbic acid에 의한 수용액중의 Ag 환원은 상당히 빠른 속도로 진행됨을 알 수 있었다.

Fig. 3은 초기 수용액중 Ag 농도 73 mmole/l 및 분산제 첨가량 2.5 gr/l의 조건에서 ascorbic acid 첨가량 변화에 따른 Ag 환원율 변화를 나타낸 것이다. 수용액중에서 Ag와 ascorbic acid의 환원반응에 따른 반응식은 아래식과 같이 표시할 수 있다.⁸⁾



위 식에서 보면 Ag⁺ 이온과 ascorbic acid의 반응은 이론적으로 2 : 1의 비율로 진행되며, 반응이 진행될수록 수소이온(H⁺) 생성으로 인하여 수용액의 pH는 점차 낮아질 것으로 예상되고 있다. Fig. 3에서 점선으로 표시한 직선은 첨가된 ascorbic acid가 전량 반응되었을 때의 이론적 환원율을 나타낸 것으로써, 그림에서 보는 것처럼 ascorbic acid 첨가량이 Ag 이온에 비해 작은 반응초기에는 이론적 환원율에 거의 근접하여 반응이 진행되나 첨가량이 증가할수록 점차로 이론적 환원율에 비해 낮아지기 시작하여 수용액중 Ag 이온이 모두 환원이 되기 위해서는 ascorbic acid 첨가량이 이론치보다 상당히 과잉상태가 되어야 하는 것으로 나타났다. 본 실험의 조건을 기준으로 하였을 때 73 mmole/l 농도의 Ag 이온을 환원하기 위한 ascorbic acid 량은 이론치의 약 1.6배 정도가 필요한 것을 알 수 있었다.

Fig. 4는 수용액의 초기 pH 변화에 따른 Ag 환원특성을 조사한 것이다. (1)식에서 보는 것처럼 환원반응이 진행될수록 수용액 pH는 초기치보다 낮아지게 되며, 또한 산도가 매우 높을 경우에는 Ag 환원반응이 제대로

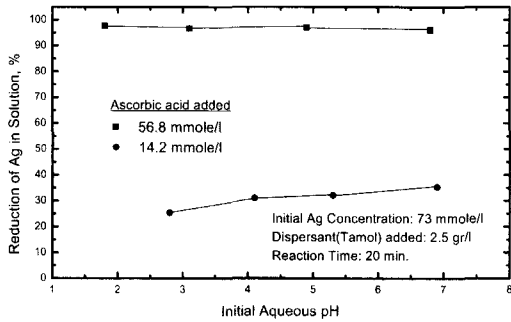


Fig. 4. Effect of initial aqueous pH on the percentage reduction of Ag.

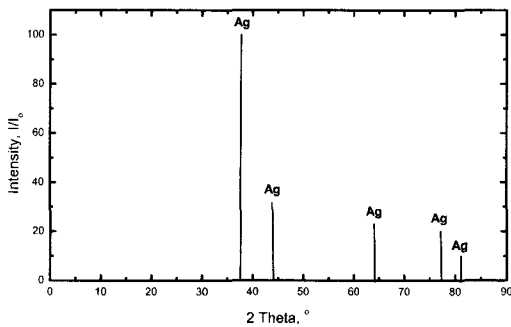


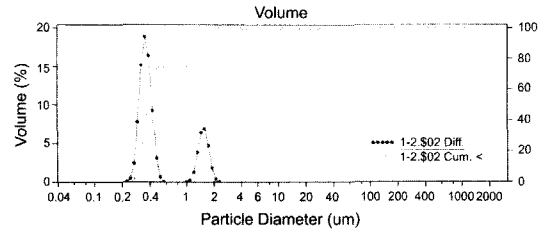
Fig. 5. X-ray diffraction pattern of Ag particles prepared in the work.

진행되지 못할 수도 있다. 실제로 Fig. 4의 실험에서 환원반응후의 수용액 pH를 측정할 결과 1.3~1.8의 범위인 것으로 나타나 초기 pH에 비해 매우 낮아진 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 초기 pH에 따른 환원을 변화를 살펴보면 본 실험의 pH 범위에서는 환원율이 크게 변하지 않는 것으로 나타났으며, 다만 ascorbic acid 첨가량이 14.2 mmole/l로 다소 낮은 경우에 수용액 pH가 낮을수록 Ag 환원율이 약간 감소하는 현상을 관찰할 수 있었다. 따라서, ascorbic acid를 환원제로 사용하여 수용액으로부터 Ag 미립자를 제조하는 경우에 있어서 수용액의 초기 pH가 너무 낮지 않으면 Ag 환원 반응은 정상적으로 진행되며, 본 실험의 결과에 따르면 대체로 pH 2.0 이상이면 무방한 것으로 사료된다.

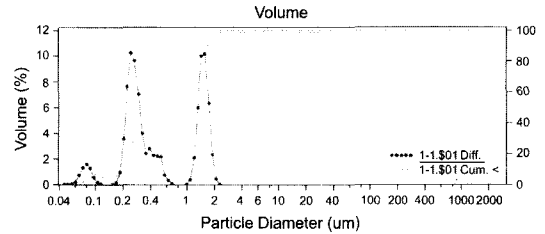
한편, 수용액으로부터 제조한 Ag 미립자를 X-선 회절분석을 통하여 확인한 결과 Fig. 5에서 보는 것처럼 Ag 입자임을 알 수 있었다.

3.2. Ag 미립자의 형상 및 입도분포

Fig. 6은 Ag 미립자의 입도분포를 입도분석기를 사용하여 측정한 것으로써, 대부분의 경우 정규분포(normal



(A) Initial Ag Concentration 73 mmole/l, Dispersant(PVP) added 0.5 gr/l



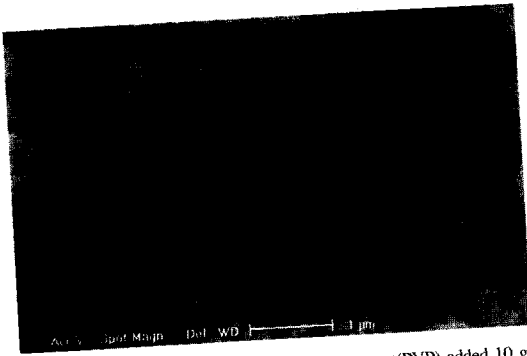
(B) Initial Ag Concentration 73 mmole/l, Dispersant(PVP) added 2.5 gr/l

Fig. 6. Particle size distribution of Ag particles prepared in the work.

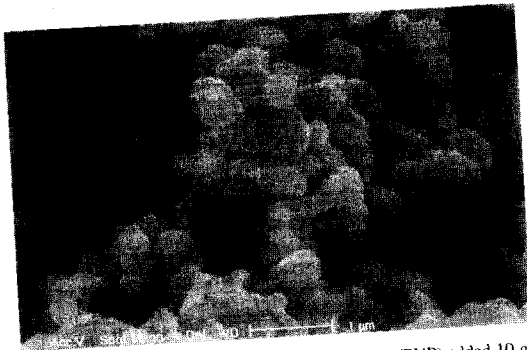
distribution)가 아닌 bimodal(Fig. 6(A)) 혹은 trimodal(Fig. 6(B)) 분포곡선을 보여 주었다. 이것은 수용액중에서 Ag 미립자의 생성 메커니즘이 일반적인 결정성장과 마찬가지로 Ag 이온의 환원→결정핵 생성→결정성장의 과정을 거치면서 비교적 큰 입자와 함께 작은 입자도 동시에 생성되기 때문인 것으로 풀이된다. 즉, 수용액중에서의 Ag 환원반응으로 이미 생성된 결정핵의 지속적인 성장이 이루어짐과 동시에 새로운 결정핵이 꾸준히 생성된다는 것으로 해석할 수 있다.

Fig. 7은 PVP를 분산제로 사용하여 수용액중 초기 Ag 농도 11.7 mmole/l 및 117 mmole/l 하에서 제조한 Ag 미립자의 SEM 사진을 각각 보여주고 있다. 사진에서 보는 것처럼 환원반응으로 생성된 Ag 미립자의 형상을 살펴보면 구형(spherical)은 아니지만 주위가 둥근(round) 형태의 입자가 대부분인 것으로 나타났다. 또한, 입도에 있어서는 초기 Ag 농도가 11.7 mmole/l인 경우가 117 mmole/l 인 경우에 비해서 매우 작은 것으로 나타나 수용액중의 초기 Ag 농도가 입도변화에 중요한 영향을 미친다는 사실을 알 수 있었다. 이것은 수용액중에서의 결정핵 생성 혹은 성장과정에서 Ag 이온 농도에 따라 그 속도가 영향을 받기 때문으로 사료된다. 특히, Fig. 7(B)에서 보면 작은 입자와 함께 매우 큰 Ag 입자도 함께 관찰되고 있어 앞에서 언급한 bimodal 입도분포를 뒷받침해주고 있다.

Fig. 8은 수용액중 초기 Ag 농도 73 mmole/l 일 때



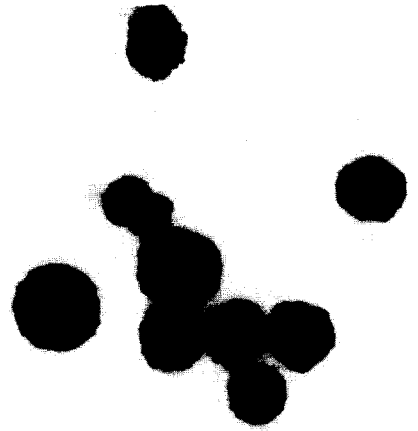
(A) Initial Ag Concentration 11.7 mmole/l, Dispersant(PVP) added 10 gr/l



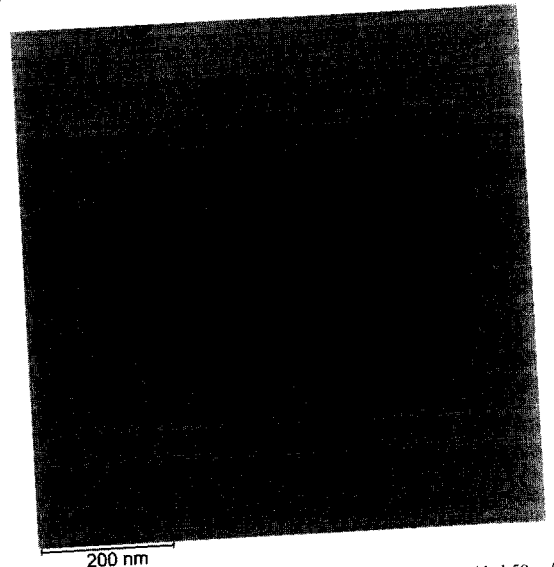
(B) Initial Ag Concentration 117 mmole/l, Dispersant(PVP) added 10 gr/l

Fig. 7. SEM photos of Ag particles prepared in the work.

분산제인 Tamol 첨가량을 각각 0.5 및 50 gr/l로 하여 제조한 Ag 미립자의 TEM 측정 사진을 보여주고 있다. 그림에서 보면 분산제인 Tamol 첨가량에 따라서 생성된 Ag 입자의 입도는 물론 형상에 있어서도 차이가 날 수 있었다. 즉, Tamol 첨가량이 0.5 gr/l인 Fig. 8(A)를 보면 생성된 Ag 입자의 표면이 매끄럽지 못하고 굴곡이 있는 형태를 하고 있다. 반면, Tamol 첨가량이 50 gr/l로 분산제가 비교적 많이 부여된 Fig. 8(B)의 경우에는 입자 표면이 매우 매끄러운 모습을 보여주고 있었다. 또한, 일부 입자의 경우 Fig. 7(B)에서와 마찬가지로 다른 입자에 비해 상대적으로 매우 큰 입자도 관찰되기도 하였다. 이와 같이 ascorbic acid에 의한 환원반응을 통하여 수용액으로부터 Ag 미립자를 제조하는 경우에 있어서 초기 Ag 농도와 분산제 종류 및 첨가량에 따라 생성된 입자의 형상과 입도분포가 크게 영향을 받는다는 사실을 알 수 있었는데, 특히 분산제는 환원반응시 Ag 입자표면에 흡착되어 표면특성을 변화시킬 수도 있기 때문에 매우 중요한 공정변수로 작용할 것으로 사료된다.



(A) Initial Ag Concentration 73 mmole/l, Dispersant(PVP) added 0.5 gr/l



(B) Initial Ag Concentration 73 mmole/l, Dispersant(PVP) added 50 gr/l

Fig. 8. TEM photos of Ag particles prepared in the work.

Fig. 9는 분산제인 Tamol과 PVP의 첨가량에 따른 Ag 미립자의 입도 특성을 도시한 것이다. 여기에서 small particles는 bimodal 분포를 보이는 입도분석곡선에서 작은 입자 쪽의 평균입도를 나타내며, large particles는 큰 입자 쪽의 평균입도를 각각 나타낸다. 이 그림에서 보면 우선 Tamol을 분산제로 첨가한 경우에 있어서 첨가량이 증가할수록 small particles의 평균입도

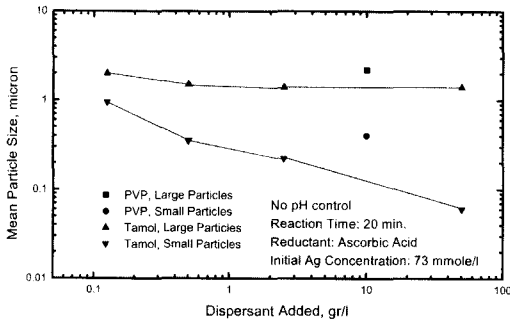


Fig. 9. Variation of mean particle size with amount of dispersant.

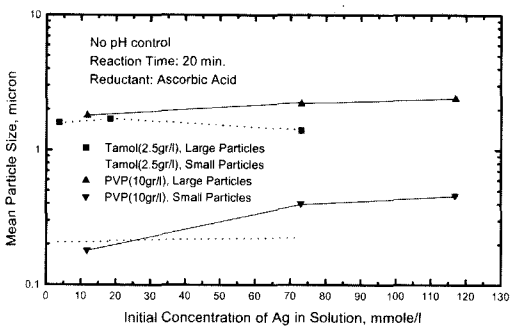


Fig. 10. Variation of mean particle size with initial concentration of Ag.

는 급격히 감소하는 것을 알 수 있는데, 약 20 gr/l 이상의 첨가량에서는 평균입도가 100 nm 이하로 내려가는 것으로 나타났다. 한편, large particles는 small particles에 비해 분산제 첨가량의 영향이 그리 크지 않은 것으로 나타나 Ag 입자가 어느 정도의 크기로 성장하면 성장속도가 매우 느려지는 것으로 사료되고 있다. 한편, 분산제로 Tamol 대신에 PVP를 사용한 경우에는 그림에서 알 수 있듯이 동일한 첨가량 기준으로 small particles 및 large particles 모두 Tamol을 사용한 경우보다 평균입도가 큰 것으로 나타났다. 이것은 Tamol이 PVP보다 수용액중에서 Ag 입자성장을 억제하는 효과가 더욱 크다는 사실을 의미하며, 이와 같이 분산제 첨가량뿐만 아니라 종류에 따라서도 생성된 Ag 입자의 평균입도가 크게 달라진다는 것을 알 수 있었다. 한편, Fig. 10은 분산제로 Tamol을 2.5 gr/l 혹은 PVP를 10 gr/l가 되도록 첨가하고 초기 Ag 농도를 변화시키면서 제조한 Ag 미립자의 평균입도를 도시한 것이다. 그림에서 보는 것처럼 PVP를 분산제로 사용한 경우에 있어서 small particles 및 large particles 모두 수용액중 초기 Ag 농도가 증가할수록 평균입도가 증가하는 것으로 나

타났다. 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 수용액중의 Ag 농도가 커지면 새로운 결정핵 생성보다는 이미 생성된 결정핵의 성장속도가 더욱 크기 때문인 것으로 사료되고 있으며, 따라서 작은 입도의 Ag 미립자 제조를 원하는 경우에는 초기 Ag 농도를 가능한 한 낮게 유지하는 것이 유리할 것으로 생각된다. 그러나, Tamol을 분산제로 사용한 경우에 있어서는 그림에서 보는 것처럼 초기 Ag 농도에 따른 평균입도변화가 PVP에 비해 매우 미미한 수준인 것을 알 수 있었다. 즉, Tamol 2.5 gr/l을 첨가한 상태에서 초기 Ag 농도에 따른 입도변화를 보면 small particles의 평균입도는 Ag 농도가 증가하여도 상당히 미미한 정도로 증가하는데 그치고 있으며, 더욱이 large particles의 경우에는 오히려 평균입도가 약간 감소하는 현상을 보이고 있다. 이것은 PVP에 비해 Tamol이 생성된 Ag 미립자의 성장을 억제하는 효과가 크다는 사실을 의미하고 있으며, 따라서 Tamol을 분산제로 사용하는 경우 Ag 미립자의 입도는 초기 Ag 농도보다는 분산제로 사용된 Tamol의 양에 의하여 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

국내 폐은 원료로부터 고부가가치 Ag powder를 제조하기 위한 연구의 일환으로써 ascorbic acid에 의한 환원반응을 통하여 Ag 미립자 제조실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) ascorbic acid에 의한 수용액중 Ag 이온의 환원반응은 매우 빠르게 진행되어 반응시간 10분 이내에 거의 평형상태에 도달하는 것으로 나타났다. 또한, Ag 이온과 ascorbic acid의 반응은 몰비로 2:1의 비율로 진행되나 수용액중 Ag 이온이 모두 환원이 되기 위해서는 ascorbic acid 첨가량은 이론치의 약 1.6배 정도가 필요하였다.

(2) 환원반응이 진행될수록 수용액 pH는 초기치보다 낮아지며, 초기 pH 2.0 이상의 범위에서 ascorbic acid에 의한 환원율은 ascorbic acid 첨가량이 Ag 이온에 비해 상대적으로 적은 경우를 제외하고는 pH 변화에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타나 산성영역에서 매우 우수한 환원력을 보여주었다.

(3) ascorbic acid에 의한 환원반응을 통하여 수용액으로부터 생성된 Ag 미립자의 입도분포를 조사한 결과, 대부분의 경우 정규분포(normal distribution)가 아닌 bimodal 혹은 trimodal의 분포곡선을 보였다. 또한, Ag

미립자의 형상을 살펴본 결과 대체로 표면이 round한 형태를 지니고 있었다.

(4) Ag 미립자의 평균입도는 분산제 종류 및 첨가량과 수용액중 초기 Ag 농도에 따라 달라지며, 분산제 첨가량이 증가할수록 평균입도는 작아지고 PVP를 사용한 경우에 있어서 초기 Ag 농도가 증가할수록 평균입도는 커지는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Sutugin, A. G. and Fuchs, N. A., 1968: Formation of condensation aerosols at high vapor supersaturation, *J. Colloid and Interface Science*, **27**(2), pp. 216-228.
2. Kruis, F. E., Goossens, A. and Fissan, H., 1996: Synthesis of semiconducting nanoparticles, *J. Aerosol Science*, **27**(1), pp. S165-S166.
3. Li, R. *et al.*, 2003: Study of fine silver powder from AgOH slurry by hydrothermal techniques, *J. Materials Processing Technology*, **137**, pp. 55-59.
4. Zhu, Y., Qian, Y., Zhang, M. and Chen, Z., 1993: Preparation of nanocrystalline silver powders by gamma-ray radiation combined with hydrothermal treatment, *Materials Letters*, **17**(5), pp. 314-318.
5. Junqing, H. *et al.*, 2001: Hydrothermal preparation and characterization of nanocrystalline silver gallium sulfides, *Solid State Sciences*, **3**(3), pp. 275-278.
6. Day, D. A., Zook, A. L., Barshick, C. M., and Hess, K. R., 1997: Electrochemical Deposition of metals in the preparation of standard materials for GDMS, *Microchemical J.*, **55**(2), pp. 208-221.
7. Chou, K. S. and Ren, C. Y., 2000: Synthesis of nanosized silver particles by chemical reduction method, *Materials Chemistry and Physics*, **64**, pp. 241-246.
8. Sondi, I., Goia, D. V. and Matijevic, E., 2003: Preparation of highly concentrated stable dispersions of uniform silver nanoparticles, *J. Colloid and Interface Science*, **260**, pp. 75-81.
9. Khanna, P. K. and Subbarao, V. V. S., 2003: Nanosized silver powder via reduction of silver nitrate by sodium formaldehydesulfoxylate in acidic pH medium, *Materials Letters*, **57**, pp. 2242-2245.
10. Liz-Marzan, L. M. and Lado-Tourino, I., 1996: Reduction and stabilization of silver nanoparticles in ethanol by nonionic surfactants, *Langmuir*, **12**, pp. 3585-3589.
11. Rane, S. B. *et al.*, 2003: Influence of surfactants treatment on silver powder and its thick films, *Materials Letters*, **57**, pp. 3096-3100.
12. Pastoriza-Santos, I. and Liz-Marzan, L. M., 2002: Formation of PVP-protected metal nanoparticles in DMF, *Langmuir*, **18**, pp. 2888-2894.
13. Pastoriza-Santos, I. and Liz-Marzan, L. M., 2002: Synthesis of silver nanoprisms in DMF, *Nano Letters*, **2**(8), pp. 903-905.

李 華 永

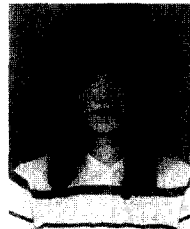
- 현재 한국과학기술연구원 금속공정연구센터 책임연구원
 - 본 학회지 제10권 4호 참조
-

晋 善 雅



- 국민대학교 신소재공학부
-

韓 伶 娃



- 국민대학교 신소재공학부
-