

Finer Silver Nano-Particle Producing in Water Utilizing a Dielectric Bed

문 재 덕*
(Jae-Duk Moon)

Abstract - An fine silver particle has a variety of uses, such as in killing micrograms and as catalysts. Many techniques have been used for the production of the fine particles. Faraday cell, consisting of two silver electrodes in an electrolyte, is unique, but it is hard to get a very fine particle by this method. A finer silver nano-particle producing cell, utilizing a dielectric bed as a lower electric current and higher field controlling means, has been proposed and investigated. The I-V characteristics of the cell and effect of the dielectric bed on the producing finer silver nano-particles have been investigated. The I-V characteristics of the cell with the dielectric bed were different from that of the same system without the bed, due to the increased cell resistance and elevated electric field intensity. It is found that the proposed cell with the dielectric bed can produce finer silver nano-particles effectively, which, however, can be used as one of effective fine silver nano-particle producing means.

Key Words : Silver nano-particle producing, Silver electrode, Silver nano-particle solution, Dielectric layer, Square wave pulse voltage, Low current, High electric field

1. 서 론

최근 은 입자 용존 수가 살균, 소독 등에 매우 효과적임이 확인됨에 따라 국내외에서 살균, 독성 중화, 농약, 정수, 나아가 생활 용품에 이르기까지 폭 넓게 적용되고 있으며 [1-10], 앞으로 더욱 넓은 범위로 확장되어 갈 것으로 예상되고 있다[1-3, 5]. 이와 같은 은 입자의 폭 넓은 사용은 입자경이 작아서 더욱 효과적인 은 나노입자를 요구하고 있다 [3-6].

금속입자를 실제 응용하기 위해서는 입자경을 작게 하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면 입자경이 작을수록 상대적 표면적이 커지고, 표면적이 커야지 살균력 등의 표면효과가 더 커지기 때문이다[3-6]. 그러므로 나노미터(nanometer, 10⁻⁹m) 크기를 가지는 입자제조방법이 개발, 특히 등록되고 있다. 현재 나노입자 제조 방법으로는 고전압 아-크 방전법 [3, 11]과 전기화학법[4, 12]이 있다. 고전압 아-크 방전법은 나노입자를 용이하게 얻을 수 있으나, 장치가 고가이며, 제조 공정이 복잡하다. 전기화학법은 Faraday 석출법칙[4, 11]을 이용하는 것으로, 직경이 작은 쪽의 나노입자 제조에는 적합하지 못하며[4, 7-9], 이를 위해서는 고전압에서 제조하는 것이 유효한 것으로 알려져 있으나[13], 이 방법으로 더 작은 나노입자를 얻은 구체적 결과는 보고된 적이 없으며,

학술적으로 연구 발표된 것도 없다.

전기화학법[4, 12]으로 은 나노입자 제조를 위해 고전압을 인가하면 큰 전류가 흐르게 되고, 큰 전류는 입자경이 큰 입자가 제조되게 된다. 따라서 작은 입자경을 제조하기 위해서는 고전압이지만 낮은 전류로 제조하는 것이 필요하다.

종래의 금속 입자 제조장치로서 고 전계로 저 전류를 얻기 위해서는 인가전압(V)과 제조장치의 저항(R=pd/S)을 매우 크게 해야 한다. 여기서 ρ는 용수의 저항률(resistivity), d는 전극간격, 그리고, S는 전극면적이다. 결국 면적(S)을 작게, 전극간격(d)을 크게 하면, 입자 제조장치의 전류는 작아지나, 고 전계는 얻어지지 않으며, 제조 용량이 큰 경우에는 실적용상 한계가 있게 된다. 한편 용액의 저항률(ρ)을 증가시키는 것도 하나의 유효한 방법이나, 이 방법은 전기적 또는 화학적으로 간단하지 않다. 저항률이 큰 증류수 등을 이용할 수 있으나, 제조 경비가 상승되고 또한 증류수의 저항률이 너무 높기 때문에 적정 전류를 얻을 수 없는 문제점이 있어, 결국 공학적이 못하다. 한편 수돗물이나 지하수 등을 사용하는 경우, 함유 불순물의 종류와 농도에 따라 저항률의 편차가 크고, 무엇보다도 저항률이 너무 낮아서 고 전계를 얻을 수 없는 문제점이 있다.

용액의 저항을 증가시키는 하나의 유효한 방법으로 세라믹 또는 유리 재질의 유전체 구(dielectric pellet)를 입자 제조장치의 전극간에 충전함으로써, 입자 제조장치의 저항을 조절할 수 있게 되며, 전극판상의 전류밀도와 전계를 조절시킬 수 있어서, 나노 입자경을 갖는 금속입자를 얻을 수 있는 저 전류 및 고 전계가 얻어지는 조건이 될 수 있다.

본 연구에서는, 보다 작은 입자 직경을 가지는 은 입자 제조 방법의 하나로, 기존의 평행 평판 구조의 전극간에 유

* 펠로우회원 : 경북대 IT대학 전기공학과 교수 · 공박

E-mail : jdmoon@knu.ac.kr

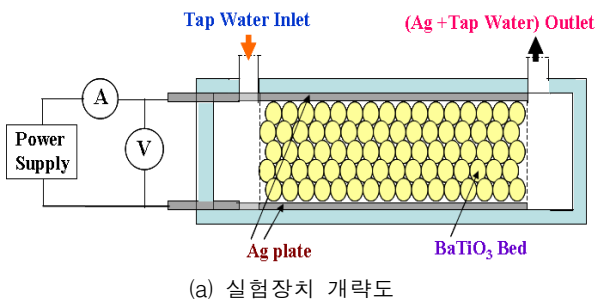
접수일자 : 2010년 9월 7일

최종완료 : 2010년 11월 24일

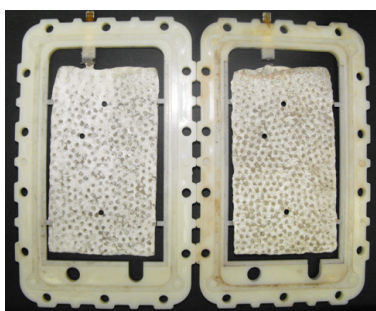
전체 구를 충전한 은 입자 제조장치를 제안하고, 직류전원 및 구형과 펄스전원을 적용하여, 3 종류의 유전체 층이 각각 충전된 은 입자 제조장치의 전류-전압 특성, 은 입자 제조 특성 및 은 입자경을 조사하여, 보다 작은 은 나노입자 제조를 위한 유전체 층의 유효성을 실험적으로 연구 검토한 결과를 보고한다.

2. 실험방법 및 장치

그림 1은 평행 평판전극 구조의 은 입자 제조장치 구성도로서, 은 입자 제조장치, 전원, 전류 및 전압 측정장치로 구성되었고, 그림 1(b)은 은전극판 사진(b)이다. 은 입자 제조장치는 은 평판전극, 유전체 층, 용액 입출구로 구성되어 있다. 은 입자 제조용 전극은 그림 1(b)처럼 은판(Ag plate, 순도 99%, 길이 90 mm, 폭 52 mm, 두께 0.8 mm)을 10 mm 간격(gap spacing, s)으로 설치하여 사용하였고, 유전체 층(dielectric bed)용으로는 유리구슬(glass bead, 직경 2.9~3.3 mm, $\rho_b \approx 10^4 \Omega\text{cm}$, $\epsilon \approx 6$), 산화 타이타늄 구슬(TiO_2 pellet, 직경 3.2~3.3 mm, $\rho_b \approx 10^6 \Omega\text{cm}$, $\epsilon \approx 100$), 타이타늄 산 바륨 구슬(BaTiO_3 pellet, 직경 3.0~5.8 mm, $\rho_b \approx 10^5 \Omega\text{cm}$, $\epsilon \approx 11,000$)을 사용하였다. 인입 용액은 수도수(tap water, $\rho_b \approx 10^3 \Omega\text{cm}$, $\epsilon \approx 80$)로서, 유량(flow rate, Q_w)은 2.0 LPM으로 고정하였다.



(a) 실험장치 개략도



(b) 은 입자 제조장치 사진(은 전극 표면)

($S=5.2 \times 9.0 \text{ cm}^2$, $s=10 \text{ mm}$, Tap water $Q_w=2.0 \text{ LPM}$,

Pulse $t_{ON}/t_{OFF}=10\text{s}/4\text{s}$, $V_P=37.4 \sim 47.4 \text{ V}$, $I_P=0.2 \text{ A}$, $t_E=16.5 \text{ hrs}$)

그림 1 실험 장치 개략도.

Fig. 1 Schematic of the experimental setup.

인가전원은 직류전원($V_{DC}=0 \sim 300 \text{ V}$, $I_{DC}=0 \sim 2.0 \text{ A}$)과 구형과 펄스전원($V_P=0 \sim 300 \text{ V}$, $I_P=0 \sim 2.0 \text{ A}$, $t_{ON}=0 \sim 200\text{sec}$, $t_{OFF}=0 \sim 40 \text{ sec}$)을 사용하였고, 전류와 전압은 전압계(DVM,

Fluke, 179)와 분류용 피막저항(shunt film resistor, 1Ω)을 사용하여 측정하였다. 은 입자의 제조량은 실험 전후의 은 판전극의 질량감소분을 정밀 전자저울(electronic balance, Mettler Toledo, AB204)로 측정하였다. 그리고 은 입자경은 입경분석기(PSA, N5/LS-13320, Beckman Coulter)로, 은 입자 농도는 스펙트럼분석기(ICP Spectrophotometer, Thermo Jarrell Ash IRIS-AP)로 측정하였고, 은 입자와 은 입자 산화물은 X선회절분석기(XRD, D/Max-2500, Rigaku)로 분석하였다.

2. 실험방법 및 장치

그림 2는 은 입자 제조장치의 평행 평판전극간에 3 종류의 유전체 층을 충전하고, 직류전압 인가에 대한 I-V 특성을 유전체 층이 없는 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 유전체 층이 없는 경우, 직류전류는 인가전압의 증가에 따라 급격히 증가하며, I-V 특성상의 기울기($\text{slope}=\Delta I/\Delta V=1/\Delta R=15.2 \text{ m}\Omega$)가 급격히 상승하여 작은 전압(ΔV) 변화에도 큰 전류(ΔI) 변화로 나타나서 저 전류를 안정되게 얻기 어려우며, 따라서 낮은 전계($E=6.7 \text{ V/cm}$, $I_{DC}=0.2 \text{ A}$ 기준)만을 얻을 수밖에 없게 된다. 그러나 유전체 층이 있는 경우에는 인가전압의 증가에 따라 직류전류는 천천히 증가하나, 높은 전압(약 60 V 이상)에서는 기울기($\text{slope}=\Delta I/\Delta V=1/\Delta R$)는 감소하는 것을 보여준다. 이는 유전체 구사이의 매우 축소된 공간을 통해 전류가 대부분 흐르고, 이 공간에 전계가 집중되어, 부분적으로 용액이 가열되고, 또 미소한 방전도 일으키는 것을 나타낸다.

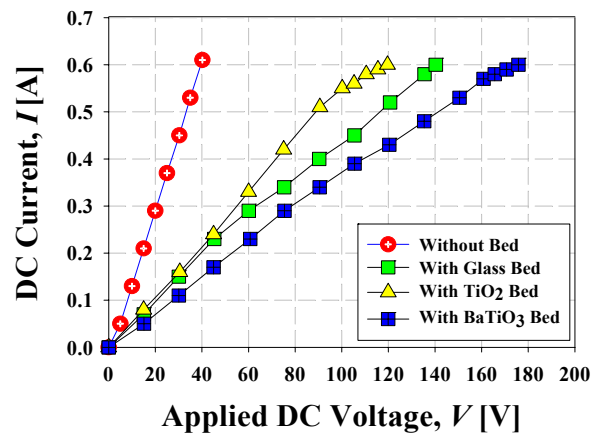


그림 2 유전체 층 유무에 따른 은 입자 제조장치의 직류 I-V 특성.

Fig. 2 I-V characteristics of Ag particle producing cell for DC applied voltage with and without dielectric bed.

동일 인가전압($V_{DC}=40 \text{ V}$)의 경우, 유전체 층의 종류에 따른 전류크기는, 산화티탄 구슬(TiO_2 pellet) $I_{DC}=0.22 \text{ A}$, 유리구슬(glass bead) $I_{DC}=0.21 \text{ A}$, 그리고 타이타늄 산 바륨 구슬(BaTiO_3 pellet) $I_{DC}=0.16 \text{ A}$ 의 순서로 작아진다. 이를 제조장치의 저항(R)으로 환산하면, 각각 $R=182, 190$, 그리고, 250Ω 로서, 유전체 층이 있는 경우가 유전체 층이 없는 경우의 $R=66 \Omega$ 보다 약 3~4 배의 큰 저항을 가짐을 보여

준다. 이는 유전체 층의 종류나 크기를 적절히 조절시킴으로 은 제조장치의 저항을 임의로 조절할 수 있게 되고, 따라서 매우 낮은 전류(약 1/4 정도)와 높은 전계(유전체 층이 없는 $E=6.7$ V/cm의 약 4배인 $E=26.7$ V/cm)를 용이하게 얻을 수 있게 됨을 보여준다.

이후의 본 연구에서는, 저항이 가장 커서 작은 전류와 높은 전계를 얻을 수 있는, 타이타늄 산 바리움 구슬을 충전한 은 나노입자 제조장치를 기준으로 실험을 수행하였다.

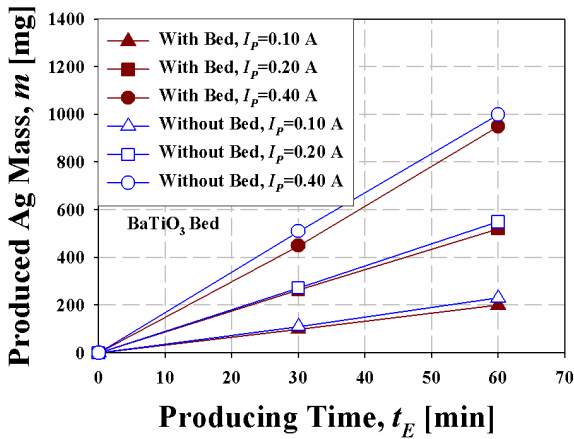


그림 3 유전체 층 유무에 따른 펄스전류와 제조시간에 따른 은 제조량 특성.

Fig. 3 Produced Ag mass as a function of producing time and pulse current with and without dielectric bed.

그림 3은 펄스전류(I_p)와 은 입자 제조시간(t_E)에 따른 은 입자 제조량(m)을 유전체 층 유무에 따라 각각 나타낸 것이다. 은 입자 제조량은 전류와 제조시간의 증가에 따라 직선적으로 증가하며, 유전체 층이 없는 경우가 유전체 층이 있는 경우에 비해 약간 많음을 보여준다. 즉, 펄스전류(I_p)가 0.1, 0.2, 0.4 A로 증가할 때, 유전체 층이 있는 경우의 은 입자 제조율(그림 3의 기울기, $\text{slope} = \Delta m / \Delta t_E$)은 각각 3.33, 8.67, 15.83 mg/min이고, 유전체 층이 없는 경우는 3.83, 9.17, 16.67 mg/min로, 유전체 층이 없는 경우가 각각 1.15, 1.06, 1.05 배 정도 많음을 보여준다. 이는 유전체 층이 은 전극판상에 밀착되어 있어서 은 전극판상의 입자 제조 상대면적을 유전체 층이 있는 은 전극판의 보다 감소시켰기 때문(참조, 그림 1(b)의 유전체 구층의 흔적)에 은 입자 제조량이 작아진 것이라고 사료되며, Faraday 법칙에 의하면 동일 전류와 동일 면적인 경우에는 같은 량의 은 입자가 제조되는 것[12]으로 알려져 있다.

그림 4는 펄스전류에 따른 은 입자 제조량을 유전체 층의 유무에 따라 각각 나타낸 것으로, 은 입자 제조량이 전류의 감소에 따라 급격히 감소하는 것을 보여준다. 유전체 층의 유무에 따른 은 입자 제조율($\text{slope} = \Delta m / \Delta I_p$)은 각각 1.22, 1.38 g/A 정도로, 유전체 층이 없는 경우가 있는 경우에 비해 약간 많으나, 전류가 작아질수록 차이는 적어짐을 보여준다. 이는 유전체 층이 은 전극판상에 밀착되어 상대적으로 은 전극판상의 상대면적을 감소시켰기 때문(참조, 그림 1(b)에 은 입자 제조량이 작아진 것이며, 저 전류에서는 은 입자 제조량이 상대적으로 적기 때문에, 유전체 층의 유무에

의한 차이도 상대적으로 작아지는 것이라고 사료된다.

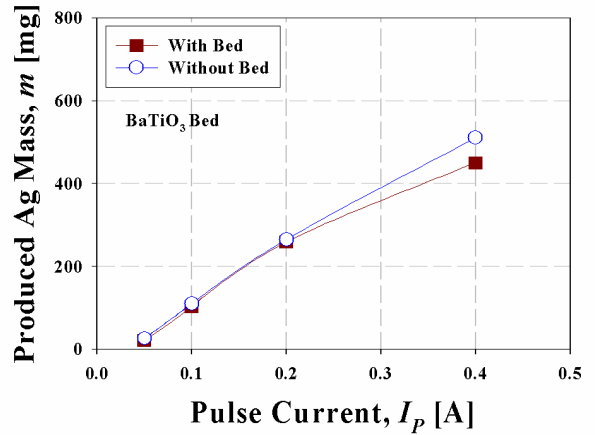


그림 4 유전체 층 유무와 펄스전류에 따른 은 제조량 특성.
Fig. 4 Produced Ag mass as a function of pulse current with and without dielectric bed.

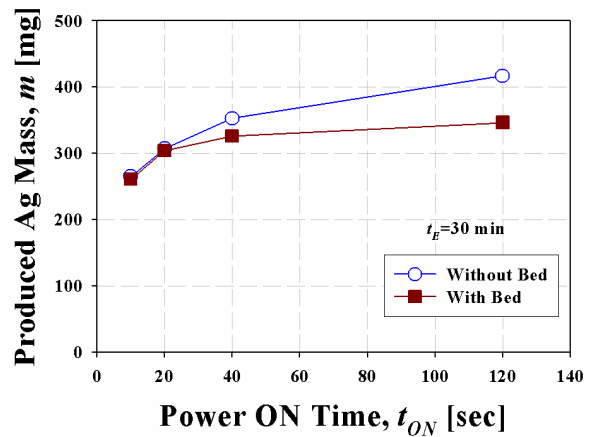


그림 5 유전체 층 유무와 펄스 구동시간에 따른 은 제조량 특성.

Fig. 5 Produced Ag mass as a function of pulse ON time with and without dielectric bed.

그림 5는 펄스 구동시간(t_{ON})에 따른 은 입자 제조량을 유전체 층 유무에 따라 각각 나타낸 것으로, 은 입자 제조량은 구동시간의 감소에 따라 감소하는 것을 보여준다. 유전체 층의 유무에 따른 은 입자 제조량은 유전체 층이 없는 경우가 있는 경우에 비해 약간 많다. 하지만 구동시간이 작아질수록 차이는 작아지며, $t_{ON}=20$ 초 이하에서는 그 차이가 없어지므로 유전체 층의 유무에 대한 차이가 상대적으로 작아짐을 보여준다.

그림 6은 본 장치에서 제조된 은 입자의 펄스전류 크기에 따른 개수중심경(number-median diameter, NMD) 분포특성을 유전체 층의 유무에 따라 각각 나타낸 것이다. 제조된 은 입자 개수중심경은 펄스전류가 작을수록 점차로 작아지고, 유전체 층이 있는 경우가 없는 경우보다 더 작은 입자가 얻어짐을 보여준다.

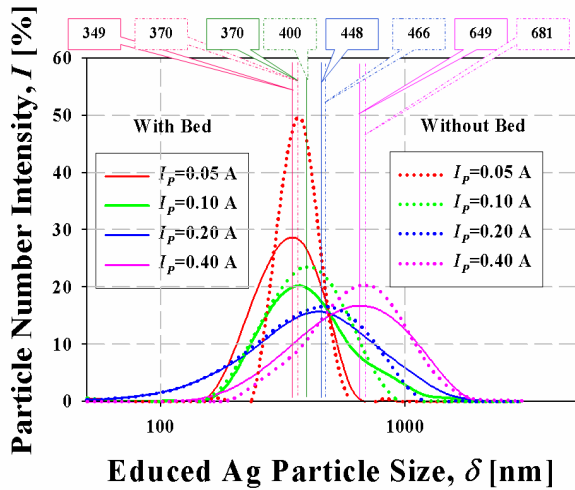


그림 6 유전체 층 유무와 펄스전류에 따른 은 입자 개수중심경 분포특성.

Fig. 6 Ag particle number–median diameter distributions as a function of pulse current with and without dielectric bed.

그림 7은 유전체 층 유무와 펄스전류와 전류밀도에 따라 제조된 은 입자의 직경분포 특성을 나타낸 것으로, 펄스전류(또는 전류밀도)가 감소함에 따라 제조된 은 입자경이 작아짐을 보여준다. 즉, 펄스전류가 0.05, 0.10, 0.20, 0.40 A로 감소될 때, 유전체 층이 있는 경우의 은 입자 개수중심경은 각각 649, 448, 370, 349 nm로, 유전체 층이 없는 경우의 은 입자 개수중심경은 각각 681, 466, 400, 370 nm로서 감소되며, 그 기울기(slope= $\Delta D_p/\Delta I_p$)는 유전체 층 유무에 따라 각각 -857.1, -888.6 nm/A로 감소되는 것으로 나타났다.

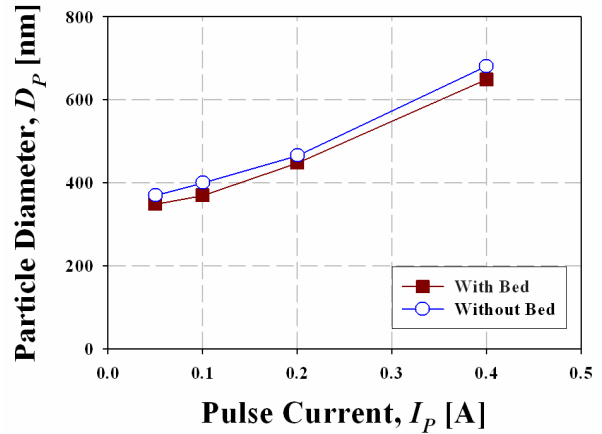
이는 매우 주목할 만한 결과로, 유전체 층의 존재로 말미암아 제조장치내의 은 입자의 체류시간(residual time)이 상대적으로 증가(약 1.5배)하여 나노입자간의 자기응집(agglomeration) 작용으로 말미암아 입경이 더 커지는 효과로 작용함에도 불구하고, 유전체 층이 있는 경우의 은 입자 개수중심경이 유전체 층이 없는 은 입자 개수중심경보다 작은 것을 보여주기 때문이다. 이와 같은 결과는 은 입자가 제조되는 양전극판상에서 입자가 제조될 때, 유전체 구의 존재로 말미암아 단위면적당의 전류밀도가 상대적으로 더 높아지고(참조, 그림 1(b)의 유전체 구층의 자국), 또한 유전체

표 1. 제조된 은 입자들의 특성 명세표

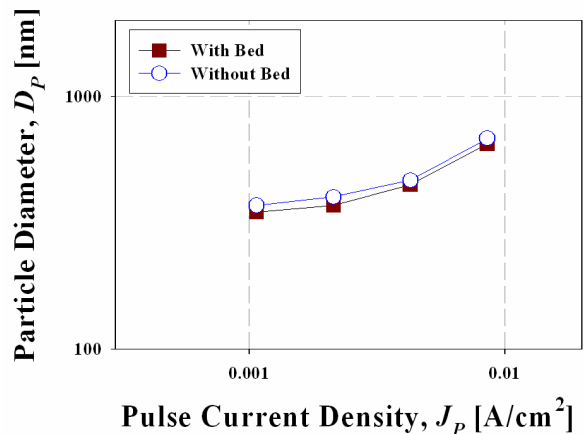
Table 1. Specific parameters of produced silver nano-particle.

I_p [A]		NMD [nm]	$S_p=4\pi r^2$ [10^{-10}cm^2]	$V_p=4\pi r^3/3$ [10^{-14}cm^3]	$m_p=DV_p$ [10^{-13}g]	$N_p=1/m_p$ [10^{12}ea/g]	$\Delta N=N_{PW}/N_{PW_0}$ [-]	$\Delta S=[(S_{PW}/m_{PW})/(S_{PW_0}/m_{PW_0})]\Delta N$ [-]
0.05	WB	349	38.264	2.226	2.348	4.259	1.192 (19.2% up)	$(16.296/15.371) \times 1.192 = 1.264$ (26.4% up)
	WoB	370	43.008	2.652	2.798	3.574		
0.10	WB	370	43.008	2.652	2.798	3.574	1.268 (26.8% up)	$(15.371/14.171) \times 1.268 = 1.375$ (37.5% up)
	WoB	400	50.264	3.362	3.547	2.819		
0.20	WB	448	63.052	4.708	4.967	2.013	1.125 (12.5% up)	$(12.694/12.204) \times 1.125 = 1.170$ (17.0% up)
	WoB	466	68.220	5.299	5.590	1.789		
0.40	WB	649	132.324	14.313	15.100	0.623	1.087 (8.7% up)	$(8.763/8.352) \times 1.087 = 1.140$ (14.0% up)
	WoB	681	145.696	16.536	17.445	0.573		

구층의 존재로 말미암아 은 전극판상의 단위 간격간의 수중 전계가 더 높게 인가됨(그림 2에서 유전체 층이 없는 $E=6.7 \text{ V/cm}$ 의 약 4배인 $E=26.7 \text{ V/cm}$)에 의한 것으로 사료되나 [13], 구체적인 원리는 아직 국내외에 보고된 바가 없으며 앞으로의 연구가 필요한 부분이라고 사료된다.



(a) D_p-I_p 특성



(b) D_p-J_p 특성(log-log scale)

그림 7 유전체 층 유무와 펄스전류와 전류밀도에 따른 은 입자 직경 특성.

Fig. 7 Ag particle diameter as a function of pulse currents with and without dielectric bed.

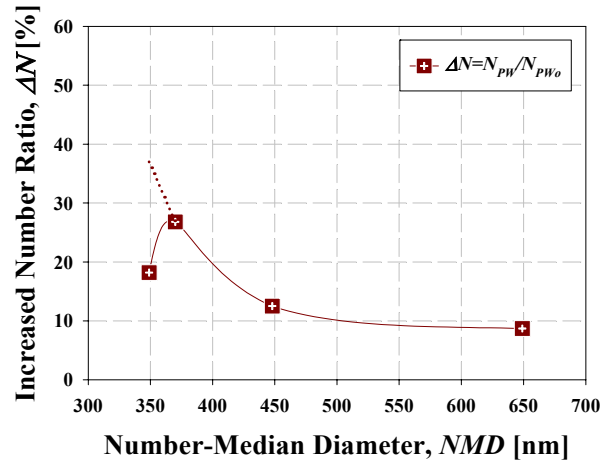
한편 그림 7에서 펄스전류(또는 전류밀도)가 감소됨에 따라 입자경의 최솟값이 지속적으로 작아지지 않고, 약 300 nm에 수렴하는 것을 보여주는 것은, 은 입자가 나노미터 크기로 작아짐에 따라 나노입자들 간의 상호 응집(agglomeration) 현상이 상대적으로 매우 커져서, 유전체 층의 존재로 입자경이 작게 만들어 지는 효과보다 상호 응집에 의한 입자경 증대효과가 더 현저해지기 때문에, 결국 지속적으로 입자들이 작아지지 못하고 수렴되기 때문이라고 사료된다.

표 1은 제조된 은 입자들의 개수중심경에 따른 각각의 특성을 나타낸 것이다. 여기서 WB 와 WoB 는 각각 유전체 층이 있는 경우(with dielectric bed, WB)와 없는 경우(without dielectric bed, WoB)이다. 또 I_p , NMD , S_p , V_p , m_p , D , N_p , ΔN , ΔS 는 각각 펄스 전류, 개수중심경, 1개 입자의 표면적, 1개 입자의 부피, 1개 입자의 질량, 은의 비중(10.55 g/cc), 1 g 질량당 입자 수, 입자 수 증가율, 입자 표면적 증가율을 나타낸다. 그리고 입자 수 증가율($\Delta N = N_{PW}/N_{PW0}$)은 동일 펄스전류인 경우의 유전체 층이 없는 경우의 입자 수(N_{PW0})로 유전체 층이 있는 경우의 입자 수(N_{PW})를 나눈 것이다. 이는 은 1 g을 은 입자로 제조하는 경우, 유전체 층이 있음으로 말미암아 입자경이 작아지고, 이에 따라 더 많은 수의 입자가 제조될 수 있는 입자 수 증가율(number ratio)을 나타낸 것이다. 또 ΔS ($\Delta S = [(S_{PW}/m_{PW})/(S_{PW0}/m_{PW0})]\Delta N$)는 동일 펄스전류인 경우의 유전체 층이 없는 경우의 입자질량 대 표면적 비(S_{PW0}/m_{PW0})로 유전체 층이 있는 경우의 입자질량 대 표면적(S_{PW}/m_{PW})를 나눈 것에 입자 수 증가율(ΔN)을 곱한 것으로, 유전체 층의 존재로 말미암아 입자경이 작아지고, 이에 따라 은 1 g당 제조되는 증가된 입자들의 증가된 입자 표면적 증가율(surface ratio)을 나타낸 것이다.

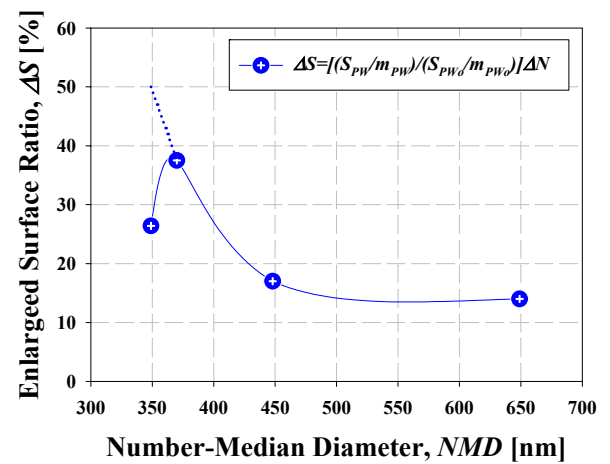
은 입자를 실제 응용하기 위해서는 입자경을 작게 하는 것이 매우 중요하다. 왜냐하면 입자경이 작을수록 상대적 표면적이 커지고, 표면적이 커야지 은 입자의 살균력 등의 표면효과가 더 커지기 때문이다[3-6].

그림 8은 표 1과 같이 유전체 층의 존재로 말미암아 제조된 은 입자 수의 증가효과와 입자 표면적의 증가효과를 나타낸 것이다. 표 1과 그림 8에서 보여주듯이, 펄스전류가 0.05, 0.10, 0.20, 0.40 A로 감소될 때, 유전체 층이 있는 경우의 은 입자의 중심경은 각각 649, 448, 370, 349 nm로, 유전체 층이 없는 경우의 은 입자의 중심경은 각각 681, 466, 400, 370 nm로서 작아지며, 이에 따라 은 1g 질량을 입자화할 때의 은 입자 수 증가율과 은 입자 표면적 증가율은 각각 19.2, 26.8, 12.5, 8.7% 및 26.4, 37.5, 17.0, 14.0 %로 크게 증가함을 보여준다. 특히 $I_p=0.10$ A일 때는 은 1g 질량을 입자화할 때의 은 입자 수 증가율은 26.87 %, 그리고 은 입자 표면적 증가율은 37.5%로 크게 증가함을 보여주며, 이는 유전체 층의 적용이 매우 유효함을 보여주는 결과이다.

한편 $I_p=0.05$ A일 때 은 입자 수 증가율과 입자 표면적 증가율이 $I_p=0.10$ A일 때보다 더 증가하지 못하고 감소하는 것은, 그림 7에서 보이듯이 입자경이 매우 작아짐에 따라 나노입자들 간의 상호 응집(agglomeration) 현상이 촉진되어, 유전체 구 충전에 의한 입자 소형화 효과가 상대적으로 작게 나타나게 되었기 때문이라고 사료된다.



(a) 은 입자 수 증가율 특성



(b) 은 입자 표면적 증가율 특성.

그림 8 은 입자 직경 변화에 따른 은 입자 수 및 표면적 증가율 특성.

Fig. 8 Increased Ag particle number ratio and enlarged Ag particle surface ratio as a function of particle number-median diameter.

이상의 결과는 종래의 평행 평판 구조의 은 입자 제조장치(Faraday cell)에 유전체 구층을 충전하는 간단한 방법으로 중심경이 매우 작은 나노입자를 매우 유효하게 제조할 수 있는 한 방법임을 실험적으로 보여주는 결과이다.

3. 결 론

본 연구는, 입자경이 매우 작은 은 나노입자를 얻는 방법의 하나로, 기존의 평행 평판 구조의 전극간에 유전체 구층을 충전하여 더 작은 은 나노입자 제조시의 유전체 층의 유효성을 연구 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

은 입자 제조장치의 평판전극간에 산화 타이타늄 구슬(TiO₂ pellet), 유리구슬(glass bead), 타이타늄 산 바리움 구슬(BaTiO₃ pellet)을 충전한 경우, 은 입자 제조장치의 저항은 각각 182, 190, 그리고, 250 Ω이므로, 유전체 층이 없는

경우의 66 Ω보다 약 3~4배의 높은 저항을 가짐을 보여주었다. 이는 유전체 층을 적절히 증진시킴으로 매우 용이하게 은 입자 제조장치를 저 전류화 및 고 전계화할 수 있음을 보여준다.

펄스전류 크기가 각각 0.40, 0.20, 0.10, 0.05 A로 감소될 때, 은 입자의 개수중심경은 유전체 층의 유무에 따라 각각 649, 448, 370, 349 nm에서 681, 466, 400, 370 nm로 각각 감소하며, 이는 은 1g 질량을 입자화할 때의 은 입자 수 증가율과 은 입자 표면적 증가율은 각각 19.2, 26.8, 12.5, 8.7% 및 26.4, 37.5, 17.0, 14.0 %로 매우 크게 증가시키는 것을 보여준다.

이상의 결과는 종래의 평행 평판형 은 입자 제조장치의 전극간에 유전체 구층을 증진하는 것은, 임의로 매우 저 전류 및 고 전계를 얻을 수 있어서, 중심경이 더 작은 은 나노 입자를 얻을 수 있는 매우 유효한 한 방법임을 실험적으로 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] J. Yin, Y. Zhang, G. Yin, and P. Zhang, "Preparation of Nano-Ag Particles and Antibacterial Dope Loaded Silver", *Key Engineering Materials*, Vol. 336-338, pp 2115-2117, 2007.
- [2] M.J. Kasproicz, M. Koziol, and A. Gorcyca, "The effect of silver nanoparticles on phytopathogenic spores of *Fusarium culmorum*", *Canadian Journal of Microbiology*, Vol. 56, No. 3, pp. 247-253, 2010.
- [3] D.-C. Tien, C.-Y. Liao, J.-C. Huang, K.-H. Tseng, J.-K. Lung, T.-T. Tsung, W.-S. Kao, T.-H. Tsai, T.-W. Cheng, B.-S. Yu, H.-M. Lin, and L. Stobinski, "Novel Technique for Preparing a Nano-Silver Water Suspension by the Arc-Discharge Method", *Rev. Adv. Mater. Sci.* Vol. 18. pp. 750-756, 2008.
- [4] 좌용호, "전기분해법을 이용한 금속나노입자 제조방법", 대한민국 특허공보, 10-2004-0105914, 2004.
- [5] S. Kawaga, "Method of manufacturing liquid medium containing composite ultra-fine particles thereof", US Patent, US 6,843,968, B2, Jan. 18, 2005.
- [6] F. Solomon, "Electrochemical production of finely divided metal oxides, metal hydroxides and metals", US Patent, US 6,843,968, B2, Jan. 10, 1978.
- [7] 석현철, "가축용 은이온수 제조장치", 대한민국 특허, 10-0673578, 2007.
- [8] 박근식, "새로운 전해질을 이용한 은나노 무기 항균제 제조 및 방법", 대한민국 특허공보, 10-2006-0099617, 2006.
- [9] 박근식, "은나노 무기 항균제를 이용한 소나무 재선충 제거 방법", 대한민국 특허공보, 10-2006-0091681, 2006.
- [10] M. Ahamed, M.S. AlSalhi and M.K.J. Siddiqui, "Silver nanoparticle applications and human health", *Cilnica chimica acta*, Vol. 411, No. 23-24, pp. 1841-1848, 2010.
- [11] 정재희, 박형호, 김상수, "초음속 유동에서 코로나 방전을 이용한 금속 나노 입자의 생성", *대한기계학회 2004년도 춘계학술대회*, pp. 1510-1515. - 코로나 방전
- [12] 이두검, 사공 열, 권오천 공역, 물리화학, 보성문화사, pp 387-391, 1978,
- [13] 정창수, "고전압을 이용한 이온활성수 제조장치", 대한민국 특허, 10-0436083, 2004

저 자 소 개



문 재 덕 (文 在 德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대학교 사범대학 과학교육과(물리전공) 졸업(이학사). 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(공학석). 1982년 日本 東京大學 대학원 전기공학전문과정 졸업(공학박). 현재 경북대학교, IT대학, 전기공학과 교수.

Tel : 053-950-5601

Fax : 053-950-5508

E-mail : jdmoon@knu.ac.kr