

전기폭발방식을 이용한 동(Cu) 미분 제조 및 인가전압의 영향

이후인, 김원백, 서창열, 손정수

한국지질자원연구원

The effects of applied voltage on copper powder manufactured by electric explosion.

Hoo-in Lee, Won-baek Kim, Chang-youl Suh, Jeong-soo Sohn

Metal Recovery Group, Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

Abstract : Wire electrical explosion(WEE) has been used for the production of fine metal particles. In WEE, electrical powder was stored and compressed into capacitor and released to produce fine particles through evaporation and condensation. In this study, the effect of applied voltage on the size of copper powders was investigated. High tension was added up to the explosion device by dividing 4 steps. At voltages lower than 5.2 kV, the fraction of powders finer than $44\mu\text{m}$ was almost negligible. The effectiveness of explosion increased sharply with increased voltage over 5.8 kV. At the highest voltage of 6.4 kV, more than 80% of explosion products were finer than $44\mu\text{m}$.

Key words : electric explosion, fine metal particles, copper powders

1. 서 론

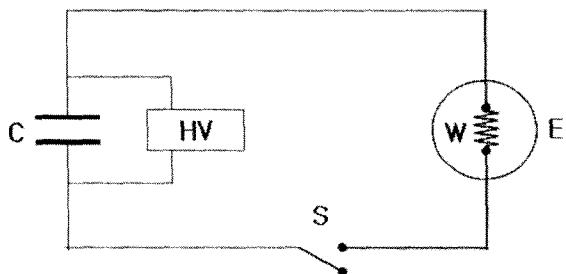
최근 금속의 미세 분말을 얻기 위하여 물리적, 화학적 방법으로 연구가 활발히 이루어지고 있다. 초미세 금속 분말을 제조하기 위한 도선의 전기폭발 방법은 축전기를 이용한 방법과 Laser를 이용한 방법이 있다¹⁾. 전기폭발방식을 이용한 금속의 여러 미분 제조 기술은 세계적으로 소수의 나라만이 그 기술을 확보하고 있는 첨단 기술 분야 중 하나이다^{2,3)}. 전기폭발방법은 물리적 기상합성법 중의 하나로써 펄스파워를 이용하여 전기에너지를 축전기에 저장, 압축한 후 금속 도선에 매우 짧은 시간(수ns~수μs) 동안 고전압, 대전류를 집중 투입하여 증발 응축의 과정을 거쳐 금속 미분을 제조하는 방법으로 다른 제조법에 비해 에너지 효율이 높고, 전기 펄스의 폭, 전압, 전류를 조절함으로써 쉽게 평균 분말 입도를 조절할 수 있으며, 에너지 효율이 낮은 다른 물리적 방법에 비하여 양산화의 가능성성이 높다⁴⁾. 여기서는 동(Cu)의 금속 미세 분말을 제조하는 방법으로 그림1과 같은 개략도를 이용하여 얻은 미세 분말의 제조 시, 폭발 전압의 크기에 따라 미세 분말에 미치는 영향에 대하여 기술하였다.

2 PWF 이론

전기폭발법에 의한 미세분말 제조 (PWE : Pulsed Wire Evaporation)는 도선에 에너지가 유입되는 순간부터 상태변화에 따른 현상으로써 가열, 용융, 기화단계를 거쳐 플라즈마 상

태를 이루는 상태이며, time resolved spectroscopy에 의해 axial discharge가 있다⁵⁾. 금속선 폭발에 있어서 도선의 단면적과 길이에 따른 입력에너지에 대한 예측이 필요하다. 이것은 주어진 금속의 승화에너지(Sublimation energy, W_s)에 대한 입력에너지(W)비인 과열도(Superheat, $K=W/W_s$)에 따라 전기 폭발에 의해 제조되는 입자의 크기가 달라지기 때문이다⁶⁾. 입력에너지의 개략적인 계산은 다음과 같다.

여기서 에너지 W 가 금속와이어에 인가된다고 했을 때 인가된 에너지 W 는 식 (1)과 같고, ε 는 $CV^2/(D^4/Z)$ 이며, C 는 Capacity (μF), V_0 는 측정된 전압(KV), D 는 와이어의 직경, Z 는 $(L/C)^{0.5}$ 로 회로의 Impedance(Ohm), L 은 측정된 회로의 Inductance(μH), W_0 는 $CV^2/2$ 로 Wire에 인가된 에너지, h_b 는 current pulse에 의해 가열된 재료의 열저항이며, 단위는 A^2/mm^4 으로 나타낼 수 있다. 또한, ε 값을 에너지 W_0 와 Wire의 cross sectional area, S 로 정하면 식 (2)와 같이 얻을 수 있고, $W=W_0$ 라 하고, 일반적인 전기회로에서 작동과정 중에 발생하는 미소한 에너지 소비를 무시하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.



C: capacitor HV: high voltage charging supply

S: switch

E: explosion chamber

W: wire inside chamber

Fig. 1. Basic wiring of electrical wire explosion

3. 실험

실험에 사용한 전기폭발 장치는 (주)나노기술에서 제작한 NTI Nmaker 10P의 장비를 이용하였고, Copper wire는 두께 0.4mm, 길이 20mm, 구리의 승화에너지 w_s 는 47.8J/mm³이다. 따라서 전기폭발 시 동일한 질량의 Copper wire를 승화시키는데 필요한 에너지(W_s)와 전압은 다음 식에 의해 계산된다.

$$W_s = Vol \cdot w_s = \pi d^2/4 \cdot L \cdot w_s \quad \dots \dots \dots (4)$$

계산 결과 W_s 는 120J이 되고 K를 1.5로 하면 필요한 W_s 는 180J이 되며, 기계효율 85%로 가정하면 W_0 는 211J이 된다. 또한 필요한 전압은 식 (5)에 의해 계산하면 약 6.2KV가 된다.

$$V = \sqrt{\frac{2W_0}{C}} = \sqrt{\frac{2 \times 211}{11 \times 10^{-6}}} \approx 6.2KV \quad \dots \dots \dots (5)$$

인가전압의 변화 실험에서 전압을 6.4KV(225J), 5.8KV(185J), 5.2KV(148J), 4.6KV(116J)의 4단계로 나누어 실험하였고, 고전압을 인가하기 전 변압기 1차에서 160, 180, 200, 220V의 저압을 변화시켜 실험한 후 시료를 채취하여 동 분말을 분석하였다.

4. 결과 및 검토

인가전압의 변화에 따라 채취된 동 분말을 분석한 결과 사진 1 및 표 1과 같이 Copper Wire의 분말은 가해진 에너지에 따라 많은 차이가 있었다.

표 1. 인가전압의 변화에 따른 동 분말의 입자분석 결과

전압	Wt (g)		Wt%	
	under	over	under	over
160V(4.6KV)	0.1	2.463	3.90	96.10
180V(5.2KV)	0.186	3.139	5.59	94.41
200V(5.8KV)	0.577	0.275	67.72	32.28
220V(6.4KV)	1.168	0.274	81.00	19.00

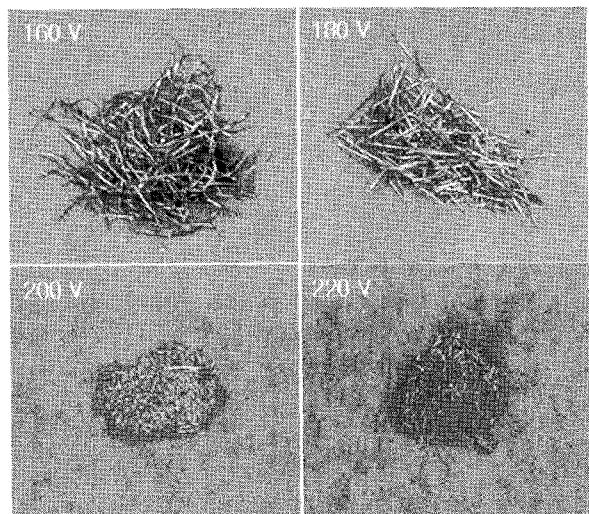


사진 1. 전압변화에 따른 동 분말의 채취물

사진 1에서 본 결과 5.2KV이하에서는 구리의 승화에너지보다 큰 에너지를 가했음에도 불구하고 분말로 변화되기 이전에 Copper Wire는 연속적으로 끊어진 상태로 쌓인 반면 5.8KV(185J)이상의 전압을 가했을 경우에는 거의 분말로 되어있었다. 생성된 분말을 분석하기 위하여 표준체(325, 44μm)로 분리한 결과 표 1과 같이 인가전압 5.2KV 이하에서는 6%이하이었고, 5.8KV는 67.7%, 6.4KV에서는 81%의 분말을 얻을 수 있었다.

5. 결론

전기폭발방식을 이용하여 Copper Wire를 미세분말로 제조할 때 Wire에 인가되는 전압을 증가함에 따라 미분생성량이 급격하게 증가하였으며 6.4KV에서 44μm 이하의 분말을 80%이상 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- [1] D. P. Ross, O. H. Zinke, Exploding Wires(Plenum Press, New York, 1966) Vol. 4.
- [2] C. K. Rhee, G. H. Lee, J. H. Park, and W. W. Kim: Proc. of 2nd Int. Symp. on Pulsed Power and Plasma Application, KERI, Korea(2001)314.
- [3] C. K. Rhee et al : “전기폭발에 의한 금속 나노분말 제조방법 및 장치”, 대한민국특허(2001) 출원번호 10-2001-0029606.
- [4] 이근희, 이창규 등, 2004 : “동시 전기 폭발법에 의한 나노 합금 분말 제조”, Journal of Korean Powder Metallurgy Institute, Vol.11, No. 1.
- [5] F. H. Webb, Jr. H. h. Bingham, A. V. Tollesup, Phys. fLUIDS, 3, 318(1960)
- [6] N. H. Lee : M. S. Thesis, Department of Metals and Materials Science and Engineering, Chosun University, Korea (2002)32.