

펄스파워를 이용한 니켈 나노분말 제조

조주현, 하윤철, 강충일, 김영배
한국전기연구원

Synthesis of Ni nanopowder using pulsed power technology

Chuhyun Cho, Yoon-Cheol Ha, Chungil Kang, Youngbae Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Nickel wire of 0.2mm diameter and 50mm in length was exploded in ethanol for Ni nanopowder synthesis. The waveform of discharge current shows that the process can be divided by ohmic heating phase and plasma state. The Ni nanopowder classified after synthesis has 100nm of mean diameter.

1. 서 론

펄스파워를 이용한 전기폭발(wire explosion)은 금속 와이어에 전류가 흘러서 와이어가 가열되면 와이어가 플라즈마 상태로 변하고 최종적으로 연기와 같은 미립자로 변하는 현상이다. 전기폭발 현상이 관측된 이래로 그 현상이 나타내는 강한 빛과 큰 폭음 등의 드라마틱한 특성으로 인하여 많은 과학자들의 연구의 대상이 되어왔다[1,2].

펄스파워를 이용한 전기폭발은 전기에너지가 열적에너지로 변환되고 나아가 폭발적인 부피 팽창을 일으키는 현상이다. 전기에너지에 의해서 와이어가 폭발할 수 있는 중요한 요인 중의 하나는 온도상승에 의해서 저항이 증가하는 금속의 고유한 성질 때문이기도 하다. 즉 금속의 온도증가에 의한 저항률의 상승은 에너지 소비를 공간적으로는 와이어 부분에 집중시키며, 또한 시간적으로 에너지 전달을 가속시킬 수 있어 수십 MW 이상의 파워를 제한된 공간에 집중시킬 수 있다.

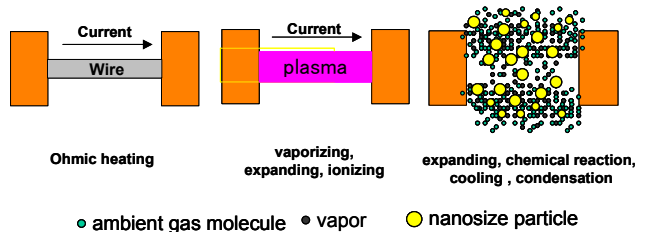
이와 같은 wire explosion은 매우 극적인 여러 가지 현상들을 수반하며 그 현상 하나하나 마다 모두 독특한 응용분야가 있어 관련 연구들이 진행되고 있다[3-7]. 그중에서 나노분말 제조는 이 전기폭발 현상의 최종적인 부산물을 이용하는 응용분야라고 할 수 있다. 와이어의 금속물질이 증발하여 원자화 한 후 분위기 gas와 충돌하여 냉각되면 응축되어 입자가 생성된다. 이때 와이어 물질이 급격히 팽창한 만큼 분위기 gas와의 충돌에 의한 냉각 또한 급속히 이루어지므로, 입자는 성장이 억제되어 일반적으로 수십 nm 정도의 직경을 갖게 된다[8-10].

전기폭발법을 이용한 금속 및 세라믹 나노분말 제조법은 장치와 공정의 간단함과 높은 에너지 효율, 고순도의 분말제조 가능 등의 장점을 가지고 있으며, 제조되는 분말의 입도분포가 넓다는 단점이 있다. 입도분포가 넓은 이유는 100nm 이하의 나노입자 이외에도 마이크로미터 수준의 입자 발생 때문이다. 나노분말의 생성원리와 폭발 메카니즘의 연구결과와 제조공정의 최적화를 통하여 분말의 입도분포를 제어하고 마이크로 사이즈 입자의 발생을 억제하기 위한 방법이 밝혀지고 있다[11-13]. 또한 대량 생산을 위한 와이어의 피딩 및 분말의 포집방법이 다양하게 개발되어 대량 생산기술의 체계를 갖추어가고 있다.

이와 같은 전기폭발 현상은 기중 뿐 만 아니라 액중에서도 유사하게 발생한다[14-15]. 본 연구에서는 액중에서 펄스파워를 이용하여 니켈 와이어를 폭발시켜 니켈 분말을 제조하고 그 특성을 분석하였다. 니켈 나노분말은 도전성 페이스트의 원료로 많이 사용되고 있으며, MLCC(multi layer ceramic capacitor)의 전극재료로서 현재 수요가 가장 많으며, 향후의 수요도 꾸준히 증가할 것으로 예상되고 있다[14].

2. 전기폭발 이론

전기폭발법을 이용하여 나노분말을 제조하는 원리는 퓨즈의 용단과 유사하지만 전류의 상승을 보다 빠르게 하여 와이어의 대부분을 고르게 증발시키고 분위기가스를 조절하여 화학반응을 일으키거나 플라즈마의 팽창범위를 제어하여 평균입도를 제어하는 등의 제어 가능한 파라미터를 이용하는 점에서 단순한 퓨즈의 용단과는 구별된다. 그림 3.2에서 전기폭발에 의한 나노입자 생성과정을 간략하게 도식화하여 나타내었다. 증발한 금속증기가 입자가 되는 과정은 수증기에서 이슬이 맺히는 과정과 유사하게 파악되고 있다. 이때 금속증기를 급속하게 냉각시키는 역할을 하는 것이 분위기가스이다. 고체인 금속 와이어가 순간적으로 증발하여 고온의 기체로 변할 때는 커다란 내부압력의 증가에 따라 외부로 팽창하고 주변의 gas와 충돌하여 금속증기의 운동에너지를 잃게 되면 다시 금속원자끼리의 재결합에 의해서 입자를 만들게 된다. 이때 냉각속도가 매우 빠른 만큼 입자의 성장시간 또한 짧아서 입자가 커지지 않고 나노미터 사이즈가 된다. 또한 팽창범위의 변화에 따른 증기농도의 변화가 입자의 성장 가능성을 변화시켜서 입자의 평균 사이즈가 분위기가스의 압력에 의존하는 것으로 여겨지고 있다.



<그림 1> 전기폭발에 의한 나노분말 생성 원리

사용하는 금속와이어의 종류와 분위기가스의 종류에 따라서 다양한 종류의 금속 및 세라믹 나노분말의 제조가 가능하며, 나아가 서로 다른 복수의 와이어를 동시에 폭발시켜서 복합 나노분말의 제조도 가능하다. 일반적으로 금속 나노분말을 제조하기 위해서 헬륨, 아르곤 등의 불활성가스를 이용하지만 절연내력의 문제로 인하여 경우에 따라서 질소를 사용하기도 한다.

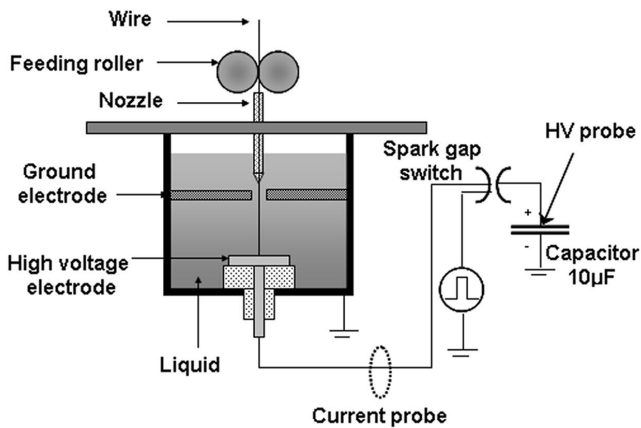
제조된 분말에 포함되는 마이크로 입자의 생성원인은 액적이 그 원인으로 생각되고 있다. 즉 와이어의 일부분이 증발하지 못한 상태의 액체로 남아있고 팽창과정에서 작은 액적으로 분해되면서 동시에 냉각되어 고체상태로 된다는 것이 일반적으로 받아들여지고 있는 가설이다. 액적의 발생원인은 와이어를 가열하는 에너지가 충분하지 못한 것에 그 원인이 있다. 비록 방전에너지가 와이어를 증발시키는데 필요한 에너지의 수배에 달하도록 하더라도 그 에너지가 와이어 가열에 쓰이지 못한다면 와이어는 전체적으로 증발하지 못할 것이다. 에너지가 와이어 가열에 전달되지 못하는 원인은 플라즈마의 생성과 밀접한 관계가 있는 것으로 파악된다. 즉, 와이어 주변에 생성되는 플라즈마는 전류의

흐름을 와이어로부터 주변의 플라즈마로 바꾸어버리는 역할을 하며, 전류가 흐르지 못하는 와이어는 더 이상의 에너지흡수가 일어나지 못하므로 액적 상태로 머무르는 것이다.

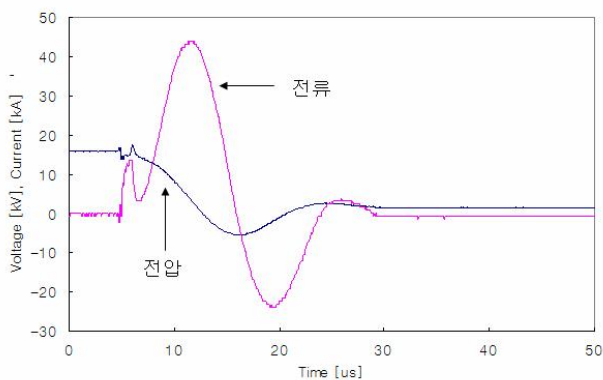
액중 전기폭발의 경우는 플라즈마 발생을 최대한으로 억제하여 보다 많은 에너지가 와이어로 전달되어 입자의 평균입도가 감소되고, 응집을 억제하여 분산성이 향상된 나노분말의 제조가 가능하다.[APL]

3. 니켈 나노분말 제조 및 분석

그림 2는 액중 전기폭발에 의한 니켈 나노분말 제조실험을 위한 실험장치의 개략도를 나타내었다. 와이어는 롤러에 의해서 노즐을 통하여 챔버 상부에서 공급되어 액체(에탄올)가 채워진 챔버 내부에 설치된 전극사이로 공급된다. 커패시터는 10 μ F, 30kV 정격을 가지며 필요한 에너지만큼 충전된 후에 스파크 갭 스위치를 통하여 방전되어 와이어에 펄스 대전류를 흐르게 한다. 이와 같은 방전에 의해서 전극사이의 와이어만 나노분말로 변하여 없어지고, 롤러를 이용하여 다음 방전될 와이어를 다시 공급한다. 니켈 와이어는 직경 0.2mm를 사용하였으며, 1회 방전에 의해서 폭발되는 길이는 50mm 이다.



〈그림 2〉 액중 전기폭발에 의한 나노분말 제조장치 개략도

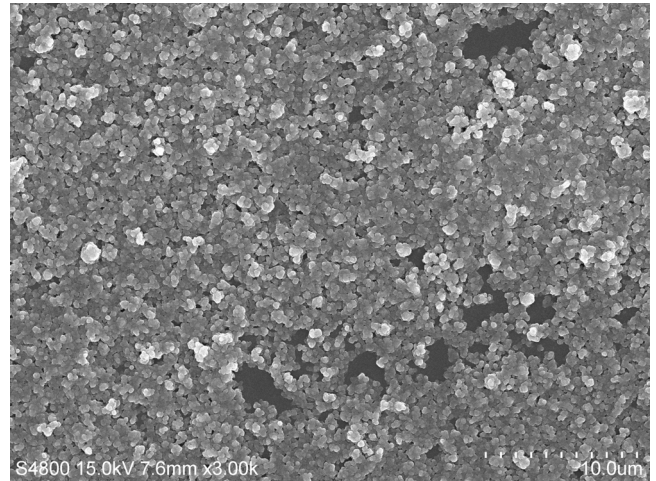


〈그림 3〉 방전 전류 및 전압 파형

그림 3은 방전전류를 나타낸다. 그림에 나타난 전류파형에는 와이어 가열 상태와 플라즈마 상태를 명확하게 구분되어 나타나고 있다. 초기의 작은 피크 부분은 와이어를 통하여 전류가 흐르다가 와이어의 증발에 의해서 급격하게 증가된 저항에 의해서 전류가 급감하는 과정을 나타낸다. 전류가 급감하는 순간에는 전류

변화에 의해서 발생하는 전압에 의해서 증발된 증기가 플라즈마 상태로 변하게 되어 저항이 급격하게 감소하여 다시 전류가 크게 흐르게 되는 과정이 이어진다. 대부분의 에너지는 플라즈마 상태에서 소모되고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 제조된 니켈 나노분말의 전자현미경 사진을 나타낸다. 제조된 분말은 분급에 의해서 200nm 이상의 직경을 갖는 입자들을 분리하였고, 평균적으로 100nm내외의 직경을 가지고 있다.



〈그림 4〉 제조된 니켈 나노분말의 주사전자현미경(SEM) 사진

4. 결 론

본 연구에서는 니켈 와이어를 에탄올 중에서 펄스파워를 이용하여 폭발시키고 나노분말을 제조하였다. 관찰된 전기폭발의 프로세스는 와이어가 전류에 의해서 가열되어 증발하고, 플라즈마 상태로 전환되었다. 제조된 니켈 나노분말은 100nm 정도의 평균입도를 갖는다.

[참 고 문 헌]

- [1] E. Nairne, Phil. Roy. Soc. (London) **64**, 79(1774).
- [2] F. D. Bennett, Phys. Fluids, **1**, 347(1958).
- [3] William G. Chace, Phys. Fluids, **2**, 230(1959).
- [4] C. P. Nash and W. G. McMillan, Phys. Fluids, **4**, 911(1961).
- [5] T. J. Turker, J. Appl. Phys.,**30**,1841(1959).
- [6] F. H. Webb, Jr. H. Bingham, and A. V. Tollestrup, Phys. Fluids,**3**, 318(1960).
- [7] F. D. Bennett, Phys. Fluids, **5**, 891(1962).
- [8] F. D. Bennett, H. S. Burden, and D. D. Shear, Phys. Fluids, **5**, 102(1962).
- [9] W. G. chace and H. K. Moore, Exploding wires, (Plenum Press, New York, 1962).
- [10] F. D. Bennett, Phys., Fluids, **8**, 1106(1965).
- [11] C. Cho, Y. Kinemuchi, H. Suematsu, W. Jiang, and K. Yatsui, Jpn. J. Appl. Phys., **42**, 1763(2003).
- [12] C. Cho, K. Murai, T. Suzuki, H. Suematsu, W. Jiang, and K. Yatsui, Transactions of the material research society of Japan, **28**, 1187(2003).
- [13] Chuhyun Cho, Keiichi Murai, Tsuneo Suzuki, Hisayuki Suematsu, Weihua Jiang and Kiyoshi Yatsui, IEEE Trans. on Plasma Sci., **32**, 2062(2004).
- [14] KISTI 심층정보분석보고서 “나노분말 소재” 2002. 12