

# 바이폴라 펄스 미세방전가공의 전해부식 억제: 전기이중층 모델의 적용

## Electrolytic Corrosion Prevention of Micro EDM using Bipolar Pulse: Electrical Double Layer Model Analysis

\*#정도관<sup>1</sup>, 심홍식<sup>1</sup>, 박민수<sup>2</sup>, 김보현<sup>3</sup>, 이세원<sup>1</sup>, 오영택<sup>4</sup>, 주종남<sup>1</sup>

\*#D. K. Chung(dogani04@snu.ac.kr)<sup>1</sup>, H. S. Shin<sup>1</sup>, M. S. Park<sup>2</sup>, B. H. Kim<sup>3</sup>, S. W. Lee<sup>1</sup>, Y. T. Oh<sup>4</sup>, C. N. Chu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 기계항공공학부, <sup>2</sup>서울과학기술대학교 제품설계금형공학과, <sup>3</sup>송실대학교 기계공학과, <sup>4</sup>안산공과대학 기계과

Key words : Micro EDM, Electrolytic corrosion

### 1. 서론

미세 방전가공의 절연액으로 케로신과 탈이온수가 일반적으로 사용된다. 케로신에 비해 탈이온수를 사용하면 가공속도가 빠르고 공구마모가 줄어드는 장점이 있다.<sup>1</sup> 하지만 물을 사용하면 가공영역 주변으로 전해부식이 발생한다. 반응이온이 극히 적은 탈이온수라고 하더라도 1 ~ 10  $\mu\text{m}$ 의 작은 가공간극에 80 ~ 100 V의 높은 전압이 인가되기 때문에 가공물에 전기화학 반응이 발생한다. 따라서 탈이온수는 내부식성이 높은 스테인리스스틸과 같은 재료의 미세 방전가공에 주로 이용된다.<sup>1</sup> 초경합금 (WC-Co)과 같이 부식에 취약한 재료의 경우에는 전해부식으로 인해 넓은 부식면이 발생하고 가공 정밀도가 매우 낮아진다. 전해부식을 억제하기 위하여 고주파 바이폴라 펄스를 미세 방전가공 전원장치로 이용할 수 있다.<sup>2</sup> 200 ns 펄스폭을 갖는 펄스를 이용하여 탈이온수 및 수돗물을 이용하는 경우에 초경합금에 전해부식이 억제된 미세 형상을 성공적으로 가공할 수 있다. 본 논문에서는 바이폴라 펄스를 이용하는 미세 방전가공의 전해부식 억제 효과를 알아보기 위해 전기이중층 모델을 적용하는 연구를 수행하였다. 바이폴라 펄스 전압이 인가되는 경우에 펄스조건에 따라 형성되는 전기이중층 전압 변화를 살펴보았다.

### 2. 전해부식: 전기이중층 모델

전해부식은 방전 펄스와 펄스 사이 즉, 방전이 발생하지 않고 높은 전압이 인가되어 있는 경우에 발생한다. 물은 매우 묽은 용액으로 간주할 수 있다. 이 경우, 가공간극은 전기이중층 모델에 의해 Fig. 1 과 같은 전기회로로 나타낼 수 있다.  $R_s$ ,  $R_p$ ,  $C_d$ 는 각각 용액저항, 분극저항, 전기이중층 콘덴서이다. 단면적이 일정한 전류통로를 통해 가공전류가 흐른다고 가정하고, 가공물과 공구의 분극저항 및 전기이중층 콘덴서가 같다고 가정하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.<sup>3</sup>

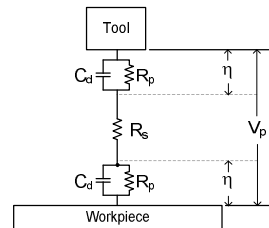


Fig. 1 Equivalent electrical circuit of the machining gap in micro EDM using water

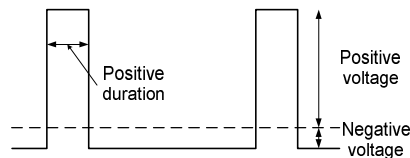


Fig. 2 Bipolar voltage pulse used in simulation

$$J = C_d \frac{d\eta}{dt} + J_o \{ \exp(\alpha_a n f \eta) - \exp(-\alpha_c n f \eta) \} = \left( \frac{V_p - 2\eta}{\rho d} \right)$$

여기서 J, J<sub>o</sub>, η, α, f, ρ, d, V<sub>p</sub>는 각각 전류밀도, 교환전류밀도, 과전위, 이동계수, F/RT, 비저항, 거리, 인가전압을 나타낸다. 수치해석을 통해서 위 관계식으로부터 시간과 과전위의 관계를 알 수 있다. Fig. 2는 가공간극에 인가되는 바이폴라 펄스 전압을 나타낸다. 가공물에 양의 전압과 음의 전압을 번갈아 가며 인가한다. 방전을 발생시키기 위해 80 V 양의 전압을 인가하는 경우를 고려하였다. 또한 가공간극은 d=10 μm, 비저항은 ρ=0.1 MΩcm을 사용하였다.

### 3. 시뮬레이션 결과

Fig. 3은 양의 전압 인가시간에 따른 전기이중층 전압(η)을 나타낸다. 음의 전압은 0 V, 주기는 10 μs의 경우를 고려하였다. 양의 전압이 인가되면, 전기이중층 전압이 상승한다. 인가전압의 크기가 80 V이지만, 비저항이 높기 때문에 용액저항에 의한 전압강하가 커서

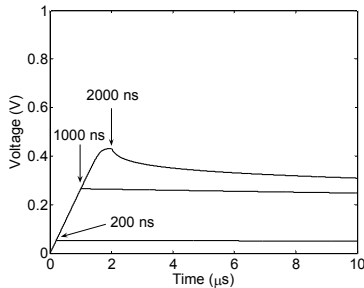


Fig. 3 Double layer voltage (η) and according to the positive time (negative voltage = 0 V)

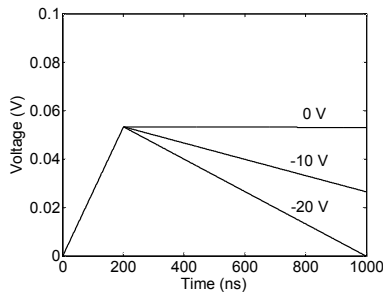


Fig. 4 Double layer voltage (η) according to the negative voltage (positive duration = 200 ns)

전기이중층 전압의 크기는 매우 낮다. 양의 전압 인가시간이 200, 1000, 2000 ns로 증가할 때, 전기이중층 충전전압의 크기도 증가한다. 양의 전압의 인가된 후에, 0 V가 인가되면 전기이중층 전압은 하강한다. 상승속도에 비해 하강속도가 매우 느린 것을 알 수 있다. Fig. 4는 음의 전압에 따른 전기이중층 전압을 나타낸다. 양의 전압은 200 ns 동안 인가되었고, 주기는 1 μs이다. 음의 전압 크기가 커질수록 전기이중층 전압 하강속도가 빨라진다.

### 4. 결론

물을 절연액으로 사용하는 바이폴라 펄스 미세방전가공에서 발생하는 전해부식 현상을 해석하기 위해 전기이중층 모델을 적용하였다. 전해부식을 억제하기 위해서는 양의 전압 인가시간이 짧아야 한다. 또한 전기이중층 전압의 하강속도를 빠르게 하기 위해 음의 전압을 사용한다. 본 시뮬레이션 결과를 통해 전해부식 억제를 위한 바이폴라 펄스를 결정할 수 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 IT 융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-C6150-1101-0004)

### 참고문헌

1. Chung, D. K., Kim, B. H. and Chu, C. N., "Micro electrical discharge milling using deionized water as a dielectric fluid," J. Micromech. Microeng., Vol. 17, pp. 867-874, 2007.
2. Chung, D. K., Shin, H. S., Park, M. S. and Chu, C. N., "Machining characteristics of micro EDM using high frequency bipolar pulse," Int. J. Precis. Eng. Manuf., Vol. 12, No. 2, pp. 195-201, 2011.
3. de Abril, O., Gundel, A., Maroun, F., Allongue, P., and Schuster, R., "Single-step electrochemical nanolithography of metal thin films by localized etching with an AFM tip," Nanotechnology, Vol. 19, No. 32, Paper No. 325301, 2008.