

# 미세 방전 가공에서의 방전 펄스 카운팅을 이용한 간극 제어

정재원\*, 고석훈, 정영훈, 민병권, 이상조 (연세대학교 기계공학부)

## Gap Control Using Discharge Pulse Counting in Micro-EDM

J. W. Jung\*, S. H. Ko, Y. H. Jeong, B. -K. Min, S. J. Lee (School of Mechanical Engineering, Yonsei University)

### ABSTRACT

The electrode wear in micro-EDM significantly deteriorates the machining accuracy. In this regard, electrode wear needs to be compensated in-process to improve the product quality. Therefore, there are substantial amount of research about electrode wear. In this study a control method for micro-EDM using discharge pulse counting is proposed. The method is based on the assumption that the removed workpiece volume is proportional to the number of discharge pulses, which is verified from experimental results analyzing geometrically machined volume according to various number of discharges. Especially, the method has an advantage that electrode wear does not need to be concerned. The proposed method is implemented to an actual micro-EDM system using high speed data acquisition board, simple counting algorithm with 3 axis motion system. As a result, it is demonstrated that the volume of hole machined by EDM drilling can be accurately estimated using the number of discharge pulses. In EDM milling process a micro groove without depth variation caused by electrode wear could be machined using the developed control method. Consequently, it is shown that machining accuracy in drilling and milling processes can be improved by using process control based on the number of discharge pulses.

**Key Words :** Micro-EDM(미세 방전 가공), Electrode wear(전극 마모), Discharge pulse counting(방전 펄스 카운팅), Real-time EDM process control(실시간 방전 가공 공정 제어), Geometric analysis of machined volume(가공량의 형상적 분석)

### 1. 서론

EDM(Electrical discharge machining)은 플라즈마 생성시 발생하는 열에너지로 재료를 제거하기 때문에 경도에 관계없이 모든 금속을 가공할 수 있다는 장점이 있다. 특히, 비 접촉 가공이라는 점 때문에 접촉력에 의한 툴의 파괴나 진동 등을 고려하지 않아도 되므로 미세 가공법으로 널리 사용되고 있다.

그러나 공정 중 전극 마모 현상이 발생하여 공구로 사용되는 전극이 점점 짧아지게 되는 단점이 있다. 이러한 현상이 미세 가공의 정확도를 저하시키는 주요 원인이 되며 가공량을 예측할 수 없게 한다.<sup>1,2</sup> 본 연구에서는 간극 전압의 실시간 모니터링을 통한 방전 펄스 카운팅을 제안하고, 이를 이용한 간극 제어를 통해 전극 마모의 문제를 해결하여 가공 성능을 향상할 수 있음을 보였다.

### 2. 방전 펄스 카운팅

이 연구에서는 플라즈마의 지속 시간이 비교적 일정한 RC 타입의 방전 회로가 사용되었다. Figure 1에서 보듯이 전극과 시편 사이의 간극 전압은 PC 기반의 데이터 수집 보드를 통해 실시간 모니터링되며, 방전 펄스 카운팅 알고리즘에 의해 방전의 횟수를 측정하는데 사용된다.

### 3. 방전 펄스 카운팅을 이용한 간극 제어

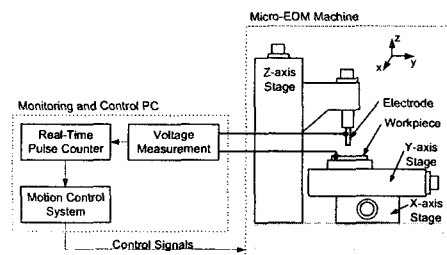


Fig. 1 Schematic diagram of experiment setup

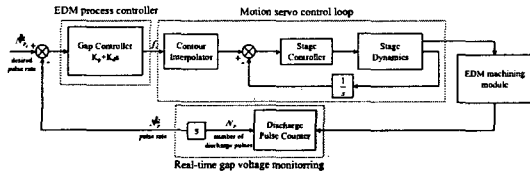


Fig. 2 Schematic block diagram of EDM process control

펄스 율(pulse rate)을 피드백(feedback)하는 PD 제어를 설계하였다. Figure 2는 사용된 공정 제어 시스템의 블록 다이어그램이다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 미세 방전 가공량의 형상적 분석

다양한 펄스 율수로 방전 가공된 홀의 단면 형상을 관측하고 이를 통해 미세 방전 가공량과 펄스 율수와의 관계를 분석해 보았다. Figure 3 (a)는 300 $\mu$ m 직경의 텅스텐 카바이드 전극으로 가공된 홀의 단면 사진의 예이고, Fig. 3 (b)는 이 홀의 단면 형상을 근사한 곡선을 보여준다. 근사 곡선 식은 다음과 같다.

$$z = \frac{-a}{x-b} - \frac{a}{b} \quad (1)$$

Figure 3 (b)의 경우는  $a = 2400$ ,  $b = 195$ 로 근사되었다. 식 (1)을 이용하여 가공량의 근사치를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Vol &= \int_0^z \pi \left( \frac{b^2 z}{bz+a} \right)^2 dz \\ &= \pi \left[ b^2 z, -2ab \{ \ln(bz+a) - \ln a \} + \frac{bz^2}{a(bz+a)} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

Figure 4는 식 (2)를 통해 구한 가공량과 방전 율수 사이에 비례관계가 성립함을 보여준다.

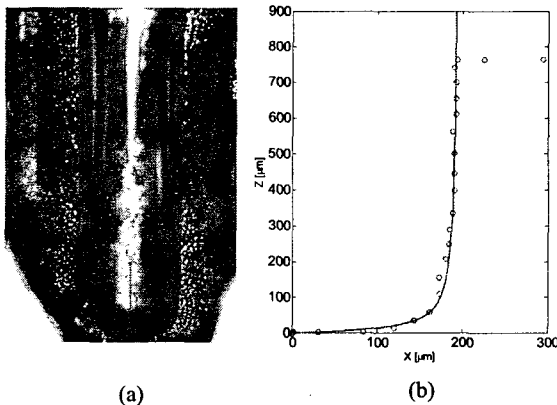


Fig. 3 Cross-sectional geometry of micro-EDM drilled hole: (a) example of machined hole; (b) curve fitting result

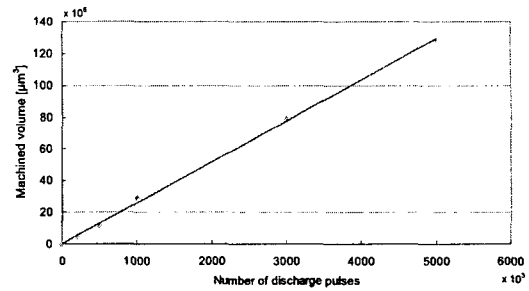


Fig. 4 Relationship between the number of discharge pulses and the machined volume

#### 3.2 간극 제어를 이용한 미세 방전 밀링

Figure 5에서 간극 제어를 한 경우와 하지 않은 경우의 6회 겹 층(layer by layer) 가공 결과를 비교할 수 있다. 이를 통해 펄스 율을 피드백하는 간극 제어의 효과를 확인할 수 있다.

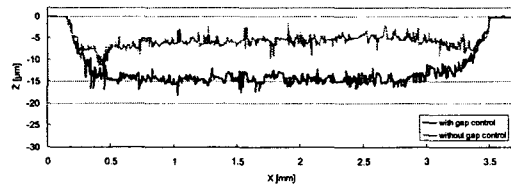


Fig. 5 Machining of a groove using micro-EDM milling

### 4. 결론

본 연구에서는 방전 펄스 카운팅을 도입하여 방전 율수에 따른 미세 방전 가공량을 형상적으로 분석하였다. 또한 펄스 율을 피드백하는 PD 컨트롤러를 설계하여 미세 방전 밀링에 적용하여 보았으며, 이를 통한 간극 제어의 효력을 입증하였다.

### 후기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 산업기술기반 조성사업 중 마이크로 나노 점·선 가공기반 구축 사업단의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. K. H. Ho, S. T. Newman, "State of the art electrical discharge machining (EDM)," *Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 43, pp. 1287-1300, 2003.
2. J. Marafona, C. Wykes, "A new method of optimizing material removal rate using EDM with copper-tungsten electrodes," *Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 40, pp. 153-164, 2000.