

<학술논문>

미세 구멍가공을 위한 전극성형 가공특성에 관한 연구

이주경[†] · 이종항^{*} · 박철우^{*} · 조웅식^{**}

(2006년 9월 23일 접수, 2007년 9월 18일 심사완료)

A Study on the Characteristics of Electrode Fabrication for Micro Hole-making

Ju-Kyoung Lee, Jong-Hang Lee, Cheol-Woo Park and Woong-Sick Cho

Key Words : Micro-EDM(미세방전가공), Micro Electrode(미세전극), Micro Hole(미세구멍), Micro-EDM Characteristics(미세방전특성), EDM Error(방전가공오차)

Abstract

Micro-EDM technology for the manufacture of miniature parts is used to make a micro hole. Two electrode shaping methods, mechanical electrode grinding and WEDG technique, have been studied. In this study, an electrode shaping method by using previously machined hole is introduced in order to obtain an optimal hole-making condition. Key factors such as applied voltage, capacitance, feedrate, and hole-dimension have an influence on the fabricating error of electrode shaping, which are taper ratio of a hole, electrode form accuracy, and electrode surface. Therefore, we try to investigate the optimal fabricating of electrode shaping from various experiments. Results from experiments, it was able to minimize the electrode fabricating error as voltage increases, and also applied feedrate and capacitance decreases.

1. 서 론

미세축 방전가공은 비접촉식 가공법으로서 경도와 관계없이 가공할 수 있으며, 다른 전통적인 가공 방법들에 비해 가공 정밀도가 높다. 미세한 홈이나 구멍, 축, 3 차원 구조물 등의 제작 시 폭넓게 활용되고 있지만, 미세구멍가공에 주로 이용⁽¹⁾되고 있다.

마이크로방전을 이용한 대표적인 미세축성형 방법으로는 역가공법, WEDG 가공법⁽²⁾이나 반복전사 마이크로방전가공법,⁽³⁾ 단발방전에 의거한 미세축

순시성형법⁽⁴⁾ 등이 제안되어 왔다. YAMAZAKI⁽⁵⁾는 가공구멍을 이용하여 전극을 쉽고 간단하게 성형하는 방법을 제안하였다. 그는 축전용량 10-220 pF, 이송속도 2 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 에서 5 분 내에 전극성형을 할 수 있고, 미세전극뿐만 아니라 복잡한 형상의 전극까지 제작할 수 있다고 보고하였다. 또한, 그는 편심량을 이용한 전극성형방법을 채택하였다.

YAMAZAKI 가 제안한 방법에서 구멍가공 시 가공조건을 고려하지 않았지만, 가공조건이 전극의 형상정밀도에 영향을 준다. 미세방전가공에서 구멍가공은 가공성은 우수하지만 가공 후 구멍의 입구와 출구의 직경 차가 발생 되는 문제점을 가지고 있다.

미세구멍가공 시 전극형상은 가공오차에 영향을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 전극성형에 필요한 최적가공조건을 찾고자 하며, 또한 전극성형 시 발생하는 크랙이나 가공오차에 관해 고찰하고자 한다.

[†] 책임저자, 회원, 한국산업기술대학교 기계공학과

E-mail: jukyung@kpu.ac.kr

TEL: (031)496-8207 FAX : (031)496-8214

* 한국산업기술대학교 기계공학과

** 한국산업기술대학교 기계설계공학과

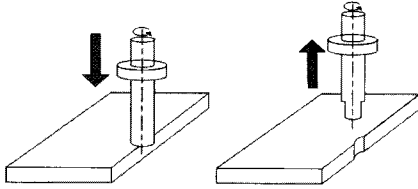


Fig. 1 Schematic diagram of the electrode fabrication using the plate

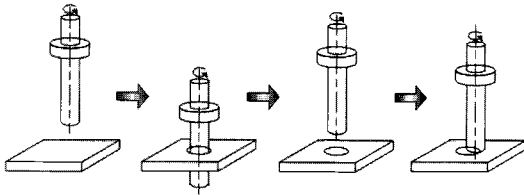


Fig. 2 Schematic diagram of the electrode fabrication using one side of a pre-making hole

2. 마이크로 전극성형방법

2.1 플레이트를 이용한 전극성형

Fig. 1 는 블록을 이용한 전극성형법으로 전극을 (-)극으로 하고 플레이트를 (+)극으로 하여, 전극을 성형하고자 하는 전극의 반지름만큼 수평이동시킨다. 전극을 정해진 속도로 회전시키면서 수직방향으로 움직여 미세성형 가공한다.

2.2 편측 구멍을 이용한 전극성형

Fig. 2 는 YAMAZAK⁽⁵⁾의 구멍가공 후 그 편측을 이용한 전극성형 과정을 나타낸 것이다. 전극은 (+)극, 플레이트는 (-)극으로 하여, 전극을 일정 속도로 회전시키면서 구멍을 가공한다. 전극을 (-)로 플레이트를 (+)로 극성을 바꾸고 목표 가공값만큼 수평방향으로 이동시킨다. 이 때 극성이 바뀐 플레이트가 전극이 되어 수직방향으로 회전 이동하여 미세전극을 성형한다.

2.3 양측 구멍을 이용한 전극성형

Fig. 2 와 동일한 방법으로 미세전극을 성형한다. 이 때 여러가지 요인으로 가공 후, 가공오차가 발생된다. 이 오차값을 최소화하기 위한 방법으로 Fig. 3 와 같은 방법을 제안한다. Fig. 3 과 같이 구멍의 다른 한쪽 면을 이용해서 Fig. 2 와 동일한 방법으로 가공한다. 그 결과, 가공오차를 최소화시킬 수 있고 목표값 10 μ m 의 미세전극을 제작할 수 있다.

Table 1 Experimental conditions

Condition	I, II	III
Open voltage (V)	100	100, 80, 60
Electric capacitance (pF)	100	3300, 220, 100, 10
Feed rate (μ m/sec)	1	1, 2, 3, 4
Rotation speed (rpm)	3500	
Dielectric working fluid	Deionized water	
Eccentricity (μ m)	70	
Block material	Brass	
Electrode material	Tungsten	
Electrode diameter (μ m)	Φ 150	
Plate thickness (mm)	0.1	

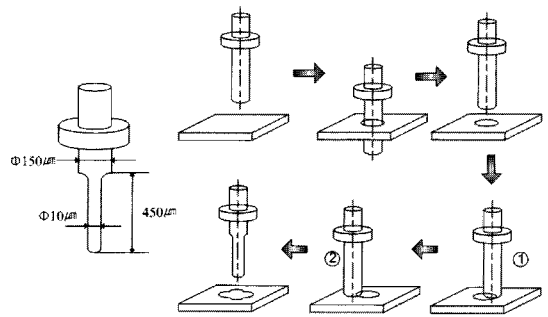


Fig. 3 Schematic diagram of the electrode fabrication using both side of a pre-making hole

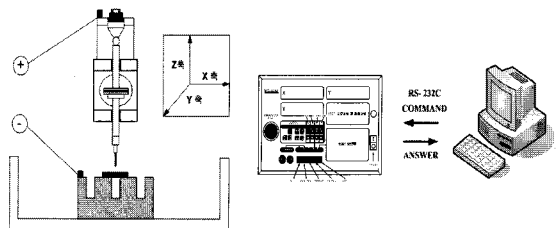


Fig. 4 Schematic diagram of a micro-EDM machine

3. 실험 장치 및 실험조건

Fig. 4 는 미세방전가공기의 개략도를 나타낸 것이다. 미세방전가공기는 컴퓨터에서 내린 실행 명령을 RS-232 통신을 통해 컨트롤러로 보내져 가공을 수행하게 된다.

Table 1 은 실험조건을 나타낸 것이다. 블록을 이용한 전극성형의 실험조건은 I, 구멍의 편측을 이용한 전극성형의 실험조건은 II, 구멍의 양측을 이용한 전극성형의 실험조건은 III으로 나타내었다.

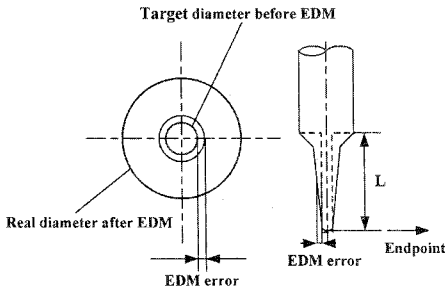


Fig. 5 Schematic diagram of electrode wear calculation

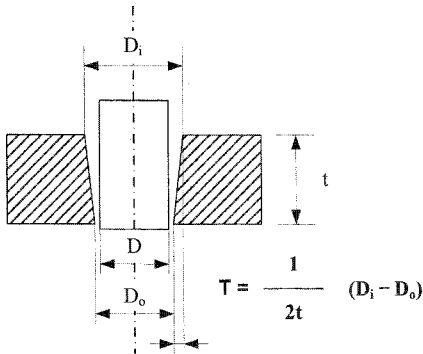


Fig. 6 Schematic diagram of taper calculation

직경 150 μm 의 전극소재를 직경 10 μm 로 성형 가공하고자 한다. 이때 가공 중에 발생하는 오차 값은 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있고, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{EDM error} = \text{Real diameter after EDM} - \text{Target diameter}$$

또한, 가공 시 발생하는 구멍의 테이퍼 값은 Fig. 6과 같이 계산하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 전극성형방법에 따른 형상 및 오차

길이 450 μm , 직경 10 μm 인 전극을 가공하기 위해서 세 가지 성형방법을 적용하였다. Fig. 7은 이들 세 가지 전극성형방법이 적용될 때의 전극형상을 나타낸 것으로서, 전압이 100V, 축전용량이 100pF 일 때 III 공정에서 최소의 오차값을 갖는 미세 전극을 성형할 수 있었다.

Fig. 7(a)의 I공정의 전극에서는 직경이 66 μm , 길이가 18 μm 이었으며, 가공공정을 수행하는 데 걸리는 시간은 약 52초가 소요되었다.

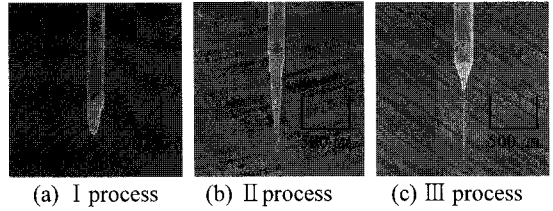


Fig. 7 Electrode shape according to I, II, and III process

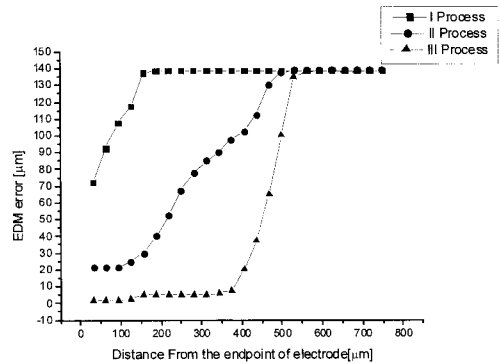


Fig. 8 EDM error variation according to Distance from Endpoint of the Electrode for I, II, III Process

Fig. 7(b)의 II 공정의 전극은 직경이 25 μm , 길이가 457 μm , 가공공정을 수행하는 데 걸리는 시간 약 389초가 소요되었고, III 공정으로 가공한 전극성형에서는 직경이 7.3 μm , 길이가 452 μm 로 약 884초의 시간이 소요되었다.

그러나, Fig. 7(a)의 I공정은 가공 소요시간이 짧은 반면 가공오차가 크고 형상정밀도가 떨어지기 때문에 미세전극성형방법으로는 적절하지 못하며, Fig. 8의 가공오차와 같이 III공정에서 가공오차를 최소화할 수 있었다. 다음 실험에서는 오차값을 최소화 할 수 있는 III공정의 가공방법을 채택하였다.

4.2 구멍가공 시 발생하는 구멍의 테이퍼값

집중 방전의 영향으로 구멍을 가공한 후에 구멍의 입구와 출구의 직경 차이가 있음은 이미 알려진 사실이다. Fig. 9는 인가전압과 이송속도의 변화에 따른 구멍의 테이퍼값 변화를 나타낸다.

그림에서도 알 수 있듯이 인가전압과 이송속도가 증가할 수록 구멍의 테이퍼값이 증가함을 볼 수 있다. 본 연구의 실험조건 범위 내에서는 이송 속도 200 $\mu\text{m}/\text{sec}$, 인가전압 70 V이 최적가공

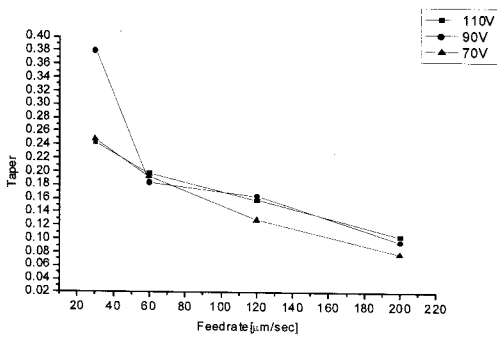


Fig. 9 Taper variation for the capacitance of 10pF according to feedrate and voltage

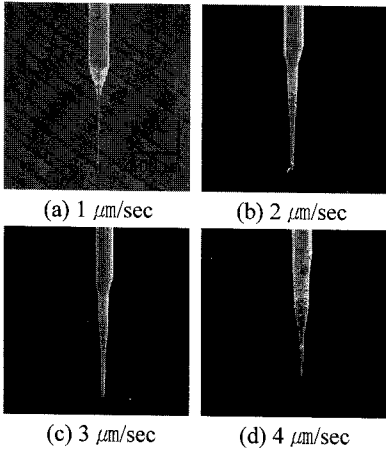


Fig. 10 Electrode shape according to feedrate(voltage of 100 V, capacitance of 100 pF)

조건이었으며, 축전용량 10~220pF 에서 테이퍼값이 감소하며⁽⁶⁾ 특히 이 실험에서는 축전용량을 10 pF 로 적용하였다.

4.3 이송속도의 변화에 따른 전극형상 및 표면상태

이송속도의 변화에 따른 전극의 형상변화를 나타낸 것이 Fig. 10 이다. 이송속도가 증가함에 따라서 가공된 전극의 길이가 짧아지고 가공 오차가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 이송 속도보다 방전에 의한 전극소모율이 작아서 가공되지 못하는 부분이 생기기 때문이다. 실험결과 1 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 의 이송속도에서 직경이 7.3 μm , 길이가 457 μm 으로 가장 미세한 전극을 가공할 수 있었다. 또한 Fig. 10 에서 가공된 전극 끝 단면의 표면상태를 확대해 보면, Fig. 11 과 같이(폭 12.7 μm ,

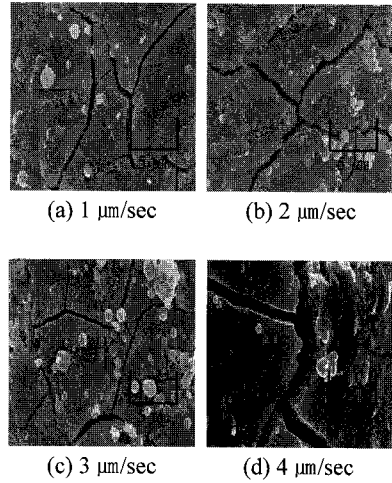


Fig. 11 Crack size on the electrode surface according to feedrate

너비 9. μm 인 면적) 표면에 크랙이 발생된 것을 볼 수 있다.

집중방전으로 단위면적당 에너지량이 커진 상태에서 이온수로 표면의 열이 급속 냉각되기 때문에 크랙이 발생된 것으로 추정된다. 이 실험에서는 이송속도가 증가하면 크랙의 폭도 증가함을 볼 수 있었다.

Fig. 11 과 같이 1 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 에서는 폭이 작은 크랙이 있는 반면에 4 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 에서는 약 15 μm 의 크랙 폭으로 증가하고, 크랙 수는 4 개로 감소되는 것을 볼 수 있었다.

4.4 전압과 축전용량의 변화에 따른 전극형상 및 표면상태

전압과 축전용량의 변화에 따른 전극의 형상 변화는 Fig. 12 와 같다. 전압 60 V 와 축전용량 3300 pF 일 경우에는 20 μm 의 전극직경과 전극길이 460 μm 이었으며, 전압 80 V 와 축전용량 100 pF 일 때에는 22 μm 의 전극직경과 전극길이가 460 μm 이었으며, 전압 100 V 와 축전용량 100pF 일 경우에는 10 μm 의 전극직경과 전극길이가 457 μm 로 성형되었다. 또한, 전압이 100 V, 축전용량이 100 pF 의 실험조건에서 가공오차가 최소화된 전극을 성형할 수 있었다. 폭 12.7 μm , 너비 9.5 μm 의 면적에 대한 가공된 전극 끝 단면의 표면상태를 확대한 사진이 Fig. 13 이다. 모든 축전용량 값에서 크랙들이 발생 하였으며, 전압이 80 V 일 때 크랙 폭이 넓었다. 전압 100 V 와 축전용량 100 pF 의 실험조건에서 표면상태가 가장 양호하였다.

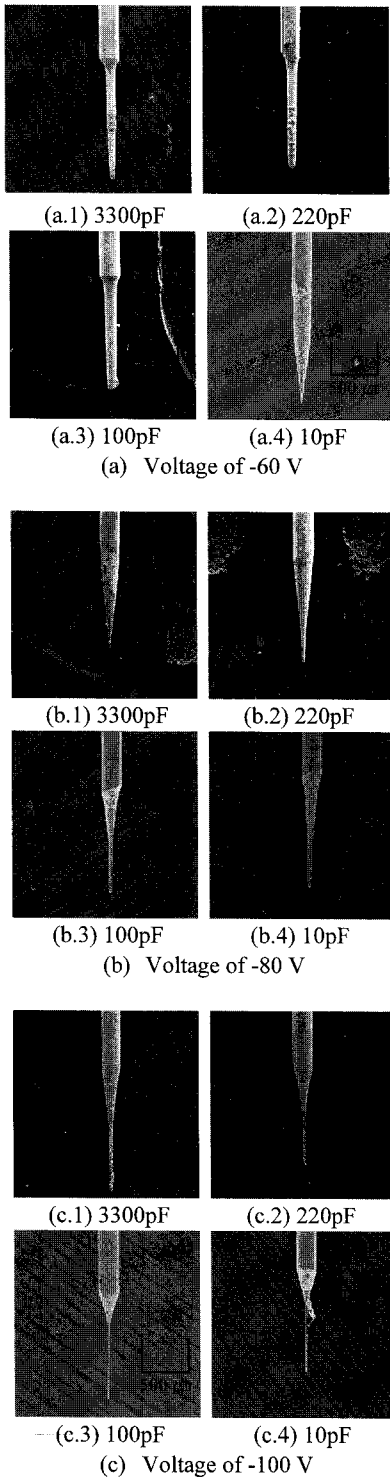


Fig. 12 Electrode shape according to capacitance (feedrate of 1 $\mu\text{m}/\text{sec}$)

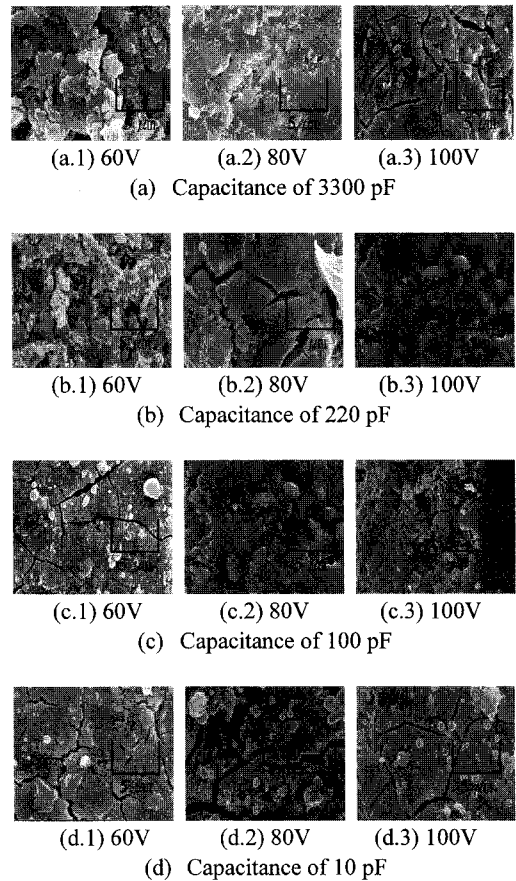


Fig. 13 Electrode surface on the end point according to voltage (feedrate of 1 $\mu\text{m}/\text{sec}$)

5. 결론

가공된 구멍의 양측면을 이용하여 전극을 제작하는 방법이 가공오차를 최소화할 수 있다. 이 전극성형방법으로 전압, 축전용량, 이송속도의 변화에 따른 가공오차, 전극형상, 그리고 표면상태특성을 파악한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 전극성형방법은 구멍의 양측을 이용하여 전극을 제작하는 방법이 전극제작 시 발생하는 전극성형오차를 줄일 수 있다.

(2) 구멍가공은 이송속도가 200 $\mu\text{m}/\text{s}$, 전압이 70 V, 축전용량이 10 pF 일 때 가공오차를 최소화할 수 있다.

(3) 전극형상은 이송속도가 증가하면 전극직경이 증가하고 전극길이가 감소하였으며, 또한 최적의 이송속도는 $1 \mu\text{m}/\text{sec}$ 이다.

(4) 전압 및 축전용량의 변화에 따른 전극의 형상은 전압이 크고 축전용량이 적을 때 가공오차가 감소하고 진직도가 양호한 전극을 성형할 수 있다. 또한, 전압 100 V, 축전용량 100 pF 일 때 가공오차가 적은 전극을 성형할 수 있다.

(5) 전극 끝단 면의 표면상태는 전압 100 V 와 축전용량 100 pF 일 때 표면상태가 가장 우수하다.

참고문헌

- (1) Kim, J. H., 2002, "Micro-Hole Machining Using MEDM According to Machining Depth," Seoul National University, MSc thesis.
- (2) Masuzawa, T., Fujino, M. and Kobayashi, K., 1985, "Wire Discharge Grinding for Micro-machining," *Annals of the CIRP*, Vol. 34, No. 1, p. 431.
- (3) Masaki, K., Wada, N., 2000, "Iterative copying Micro-process by EDM," *Annals of JSEME*, pp. 47~48.
- (4) Mohri, N., Takazawa, H., Furutani, K., Ito, Y. and Sata, T., 2000, "A New Process of Additive and Removal Machining by EDM with a Thin Electrode," *Annals of CIRP*, Vol. 49, No. 1, pp. 123~126.
- (5) Yamazaki, M., Suzuki, T. and Mori, N., 2004, "EDM of micro-rods by self-drilled holes," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 149, pp. 134~138.
- (6) Yamazaki, M., 2006, "Study on Improvement of Efficiency of Micro Electrical Discharge Machining by Simultaneous Processing Method and Self-drilled Holes Method," Tokyo University of Agriculture Technology, MSc thesis.

(1) Kim, J. H., 2002, "Micro-Hole Machining Using MEDM According to Machining Depth," Seoul National