



## 전극마모율을 이용한 공구 전극의 미세방전가공

문인용<sup>a</sup>, 정도관<sup>b</sup>, 김보현<sup>a\*</sup>

## Fabrication of Micro Tool Electrode by Micro EDM using Wear Ratio

In Yong Moon<sup>a</sup>, Do Kwan Chung<sup>b</sup>, Bo Hyun Kim<sup>a\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Soongsil University, 369, Sangdo-ro, Dongjak-gu, Seoul 06978, Korea<sup>b</sup> School of Robot and Automation Engineering, Dongyang Mirae University, 445, Gyoungin-ro, Guro-gu, Seoul 08221, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	13	November	2017
Revised	10	January	2018
Accepted	15	January	2018

## Keywords:

Micro tool electrode  
Wire EDM  
Block EDM  
Taper shape

## ABSTRACT

Moving block electrode discharge grinding (MBEDG) is one of the electrical discharge machining (EDM) processes that have been used to fabricate micro tool electrodes. Usually, wire electrode discharge grinding is preferred among the tool fabrication methods; however, it is not easy to control wire tension precisely and prevent wire vibration. Because MBEDG uses block electrodes instead of wires, it is possible to fabricate very straight micro tool electrodes. However, the block electrode assumes a taper shape after the tool-making process and the block surface is not reusable. In this study, we investigated the tool wear ratio between the block and tool materials. Based on the wear ratio, we proposed a tool fabrication process to prevent tapering of the block electrode.

## 1. 서론

최근 다양한 기계재료에 대한 정밀가공 기술이 개발되고 있으며, 특히 미세 구멍 및 형상가공에 대한 수요가 증가하고 있다<sup>[1,2]</sup>. 이를 위한 미세 가공 기술 중 하나인 방전 가공은 전기적 방전에 에너지를 이용하여 재료를 가공하는 기술이다<sup>[3]</sup>. 방전 가공에서는 구멍이나 형상 가공을 위해 미세 전극이 필요하다. 미세 전극 제작 방법은 일반적으로 블록 전극을 이용한 방법(moving block electro-discharge grinding, MBEDG)<sup>[4]</sup>, 스캐닝 방전 가공(micro scanning EDM process)<sup>[5]</sup>, 와이어 방전 연삭(wire electro-discharge grinding, WEDG)<sup>[6]</sup>, 역방전 가공(reverse EDM)<sup>[7]</sup> 등이 대표적이다. 이 중 WEDG방법이 널리 쓰이고 있으나, 안정적이고 균일한 형상의 전극 가공을 위해서는 와이어의 이송 시 발생하는 진동을 충분히 억제하기 위한 장치가 필수적이다.

만약 진동이충분히 억제되지 않은 상태에서는 Fig. 1과 같이 불균일한 형상의 미세 전극을 제작된다. 한편, MBEDG 제작방법은 WEDG와 달리 추가적인 기구 장치를 필요로 하지 않고도, 비교적 높은 직진도의 미세 전극을 얻을 수 있는 장점이 있다.

Fig. 2는 MBEDG의 가공 방식의 개략도이다. 그림에서 볼 수 있듯이, MBEDG 방법은 왕복 이송하는 블록 전극과 공구 전극 사이에 방전을 일으켜 공구 전극을 가공하는 방법이다. 하지만 공구 전극의 가공과 함께 블록 전극도 지속적으로 가공이 된다. 블록 전극의 가공(또는 마모)은 위 부분에서 아래 부분으로 점진적으로 이루어지며 공구 전극의 가공량이 충분히 크지 않으면 블록 전극 면에 미가공 영역이 남게 된다. 보통 미가공 영역은 테이퍼 형상을 갖게 된다. Fig. 3(a)는 MBEDG를 통하여 얻게 된 미세 전극이며 Fig. 3(b)는 전극 가공 후의 블록 전극 형상이다. 전술하였듯이 테이퍼 형상의 미가공 영역이 남아있음을 알 수 있다.

\* Corresponding author. Tel.: +82-2-820-0653

Fax: +82-2-820-0668

E-mail address: bhkim@ssu.ac.kr (Bo Hyun Kim).

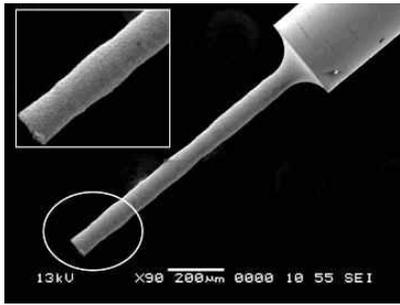


Fig. 1 Micro tool electrode machined by a vibrated wire in WEDG ( $\text{\O}80 \mu\text{m}$ , 1 mm length)

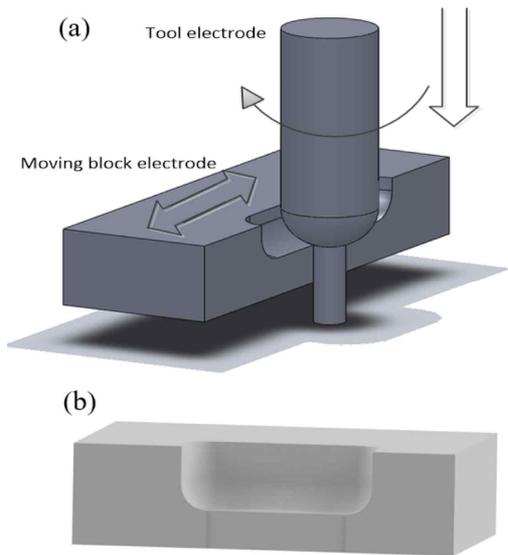


Fig. 2 (a) Schematic diagram of MBEDG process (b) block electrode after machining

일반적으로 큰 지름의 미세 전극을 작은 지름으로 가공할 때에는 황삭, 정삭과 같이 두 번 이상의 단계를 거치게 된다. 그러나 황삭 가공 후의 블록 전극은 테이퍼 모양의 미가공 영역 때문에 재사용이 어렵기 때문에, 정삭가공에서는 사용하지 않은 새로운 면을 이용하여 가공하게 된다. 따라서 후속 가공할 때마다 새로운 블록 전극면을 이용하여야 하고, 결국 블록 전극의 한 면을 모두 사용하게 되면, 블록 전극을 교체해야하는 번거로움이 뒤따르게 된다.

Fig. 4는 미세 공구 전극을 제작할 때 사용된 블록 전극의 가공면이다. 1번과 2번 영역은 공구 황삭 가공할 때 사용하고, 3번 영역은 정삭할 때 사용하였으며 사진과 같이 미가공 영역이 남아 사용한 블록은 재사용이 어렵다.

하지만 미세 전극을 가공할 때 마모되는 블록 전극의 양을 정확히 알면, 블록 전극의 왕복 이송거리를 조절함으로써 블록 전극에 남게 되는 미가공 영역을 제거할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 미세 공구 전극을 가공할 때 소모되는 블록 전극의 마모율을 미리 측정하여 실제 미세 전극을 가공할 때 마모되는 블록 전극의 부피를 예측하였다. 그리고 적절한 블록 전

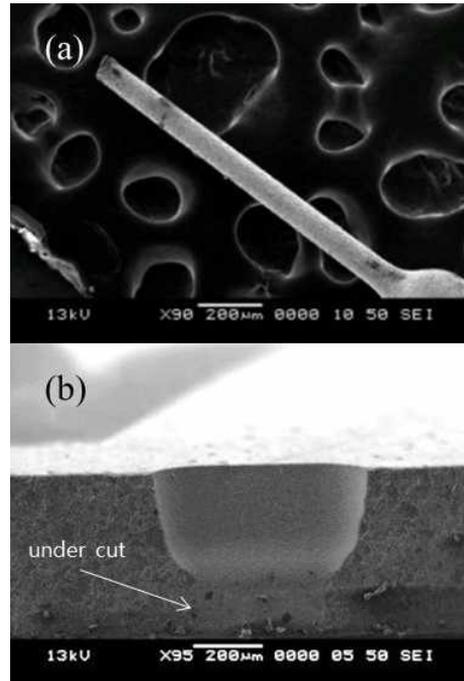


Fig. 3 (a) Micro tool electrode machined by MBEDG ( $\text{\O}75 \mu\text{m}$ , 1 mm length), (b) block electrode after machining (500  $\mu\text{m}$  thickness)



Fig. 4 Block electrode after machining micro tool electrodes (500  $\mu\text{m}$  thickness)

극의 이송 거리를 선정하여, 공구 제작 후 블록 전극에 남게 되는 미가공 영역을 최소화하고자 하였다.

## 2. 실험장치

실험에 사용된 미세 방전 가공 시스템의 개략도를 Fig. 5에 나타내었다. 가공시스템은 분해능 0.1  $\mu\text{m}$ 의 3축 이송기구, 스피들, 모션컨트롤러, 방전회로 등으로 구성되어 있다. 방전회로는 RC회로를 사용하였으며, 블록전극, 미세공구재료사이에 릴레이 스위치를 장착하여, 가공 도중 전극극성을 바꿀 수 있게 하였다. Fig. 6에 RC회로도 를 나타내었다.

## 3. 마모율 측정

MBEDG 방법을 이용한 미세 공구 전극 제작에서는 기본적인

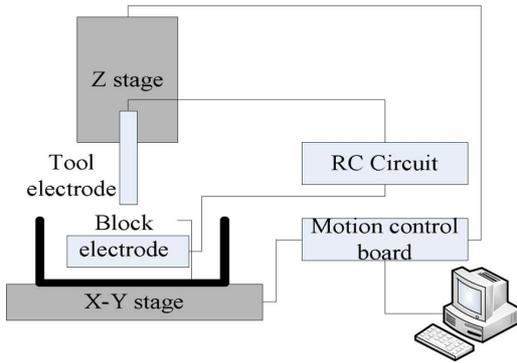


Fig. 5 Schematic diagram of the system

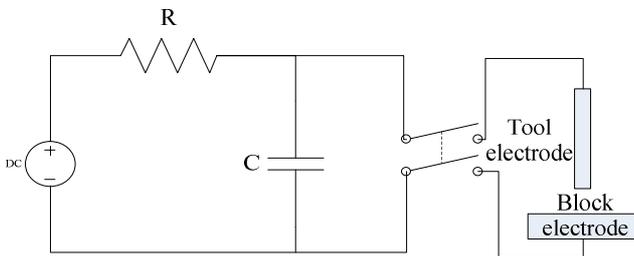


Fig. 6 Schematic diagram of RC circuit

로 블록 전극의 마모가 발생하므로 그 마모량과 비례하여 공구 전극은 원래 가공하고자 하는 길이보다 적게 가공된다. 만약 공구 전극과 블록 전극재료의 가공비율, 즉 마모율을 알면 가공하고자하는 공구전극의 가공량을 바탕으로 블록전극이 얼마나 마모될지 예측할 수 있다. 따라서 계산된 블록 전극의 마모량만큼 Z축 이송량을 보상에 준다면 원하는 미세 전극의 길이를 얻을 수 있다.

마모율( $W_r$ )은 식 (1)과 같이 정의한다.

$$W_r = \frac{V_{tool}}{V_{block}} \quad (1)$$

여기서  $V_{tool}$ 은 공구전극의 가공량,  $V_{block}$ 은 블록 전극의 가공량을 나타낸다.

공구 전극과 블록 전극 재료의 마모율을 측정하기 위해 방전 가공 전후의 공구 전극과 블록 전극 무게를 측정하여 각각의 가공 부피를 환산하였다. 전극의 무게를 측정하기 위하여 분해능 0.01 mg의 정밀 미세 저울(HM-202, AND Co.)을 사용하였다. 일반적으로 미세 공구 제작 시 가공 길이가 1 mm 내외인 것에 비해 본 실험에서는 마모율 오차를 줄이기 위해 전극의 총 가공길이가 10 mm가 되도록 하여 마모율을 측정하였고 총 4번의 실험을 진행하였다. 방전 가공 조건은 Table 1과 같이 설정하였다.

Table 2에 각 실험별로 측정된 마모율을 나타내었으며, 대략 마모율은 3.3-3.7 정도로서, 블록 가공량보다 공구 전극 가공량이 3.5

Table 1 Machining conditions

Material	Block	Copper plate (1 mm thickness)
	Tool	WC-Co alloy rod ( $\varnothing$ 300 $\mu$ m)
Discharge circuit	V	100 V
	R	1 k $\Omega$
	C	6800 pF
Tool rotational speed		1200 rpm

Table 2 Wear ratio

	Wear ratio (block:tool)
1st	1 : 3.33
2nd	1 : 3.37
3rd	1 : 3.74
4th	1 : 3.46

배 많은 것을 알 수 있다.

#### 4. 블록 전극의 미가공 형상 제거

미세 전극을 가공한 뒤, 블록 전극의 가공 면에는 Fig. 7과 같이 미가공 영역(undercut)이 남게 된다. 이러한 이유로, 한번 사용된 면은 다음 전극 가공에서 재사용이 어렵게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 원하는 길이의 미세 전극을 얻은 후 가공물과 공구 전극의 극성을 반대로 바꾸게 되면 미세 전극이 블록 전극의 남아 있는 면을 가공하게 하여 평평한 면으로 만들 수 있다. Fig. 8은 앞서 설명한 방법으로 미가공영역을 제거한 뒤의 블록 전극 형상이며 단면이 평평하게 바뀌었음을 알 수 있다.

전극의 극성을 바꾸는 것만으로도 평평한 면을 얻을 수 있지만, 더욱 효율적인 가공을 위해서는 남게 되는 미가공 영역의 두께를 최소화시키는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 길이 1 mm의 미세 전극을 얻기 위해 필요한 블록 전극의 두께와 왕복 이송 거리를 마모율을 이용하여 계산하였다.

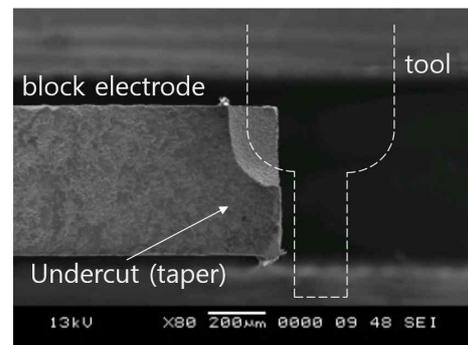


Fig. 7 Cross section of block electrode taper (500  $\mu$ m thickness)

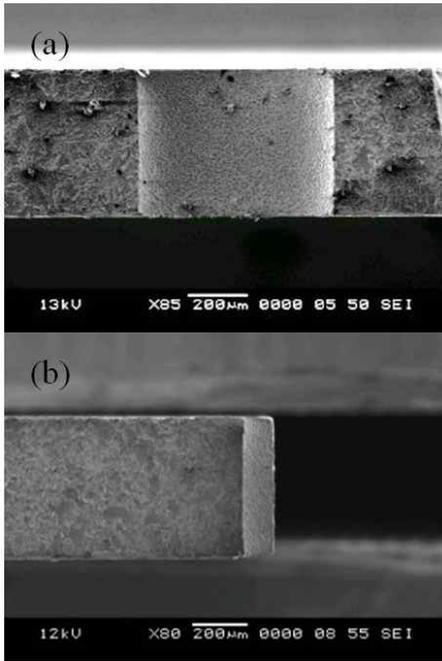


Fig. 8 Figure of machined block electrode (500 μm thickness)  
(a) side view (b) cross section view

### 5. 마모율을 이용한 가공 조건 예측

측정한 마모율을 이용하면 블록 전극의 마모될 부피를 예측할 수 있다. 지름 300 μm의 미세 전극을, 지름 100 μm, 길이 1 mm로 가공할 때의 미세 전극의 가공부피는  $6.3 \times 10^7 \mu\text{m}^3$ 이다. 이를 바탕으로 하여, 블록 전극의 마모부피를 예측하여, 미가공영역이 남지 않을 수 있는 블록 왕복 이송 거리를 설정 할 수 있게 된다. 그 예로, 만약 블록 전극의 두께가 500 μm이라면, 블록 전극의 왕복 이송 거리를 290 μm로 설정함으로써, 미가공 영역이 남지 않게 할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

위와 같은 조건으로 미세 전극 가공을 진행 하였을 때, 블록 전극의 미가공 영역이 모두 제거될 것이라 기대할 수 있으나 실제로는 Fig. 9와 같이 아래 부분에 약간 남아 있게 되는 것을 알 수 있다. 이것은 마모율을 오차에 의한 것으로 남은 소량의 미가공 영역을 가공물과 공구 전극의 극성을 바꾸어 제거할 수 있다.

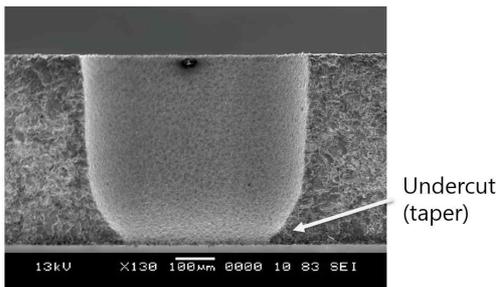


Fig. 9 Block electrode after tool fabrication (500 μm thickness)

## 6. 실험

### 6.1 마모율을 이용한 MBEDG

전술한 내용을 바탕으로 황삭과 정삭가공을 통해 미세 전극을  $\text{Ø} 300 \mu\text{m}$ 에서  $\text{Ø} 50 \mu\text{m}$ , 길이 1 mm로 가공 하였다. Fig. 10에 나와 있는 것과 같이, 좌우로 왕복운동 하고 있는 블록 전극을 이용하여 미세 틀을 황삭 가공을 한 뒤 (a), 길이 1 mm의 미세 전극을 얻을 수 있는 Z축 이송거리 까지 가공을 진행한다 (b). 1 mm길이의 전극을 얻게 되면 공정의 중단 없이 전극의 극성을 바꾸어 블록 전극의 미가공 영역(테이퍼 형상)을 제거하는 공정을 실시하였다 (c). 그 후, 테이퍼 형상이 제거된 평평한 면을 이용하여 정삭 가공을 진행하였다 (d). 각각의 가공 조건은 Table 3과 같다. 가공 결과, Fig. 11과 같이 원하는 길이의 미세 전극을 얻을 수 있었다.

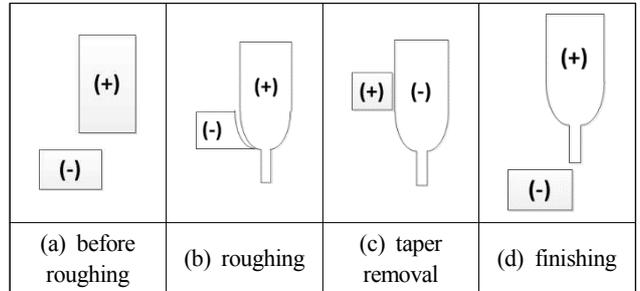


Fig. 10 Schematic of MBEDG using wear ratio

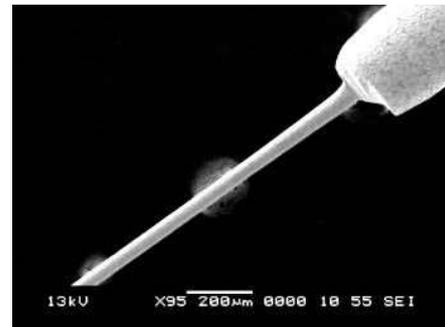


Fig. 11 Micro tool electrode machined using a block electrode (WC,  $\text{Ø}50 \mu\text{m}$ , 1 mm length)

Table 3 Machining parameters

	Roughing	Finishing
Tool size	$\text{Ø} 300 \mu\text{m} \rightarrow 100 \mu\text{m}$	$\text{Ø} 100 \mu\text{m} \rightarrow 50 \mu\text{m}$
Capacitor	6800 pF	500 pF
Voltage	100 V	100 V
moving stroke (block)	290 μm	290 μm
Electrode feed	1450 μm	1150 μm
Feed rate	7.3 μm/s	

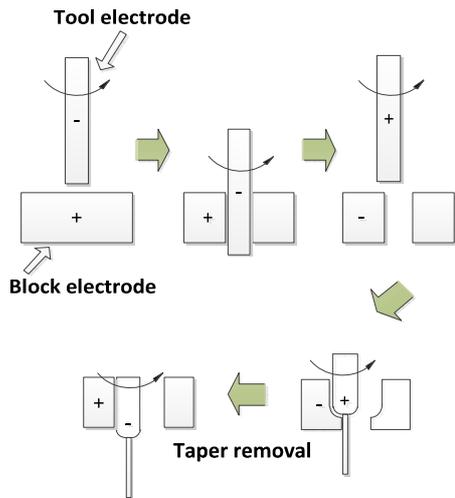


Fig. 12 Principle of obtaining micro tools by self-drilled holes

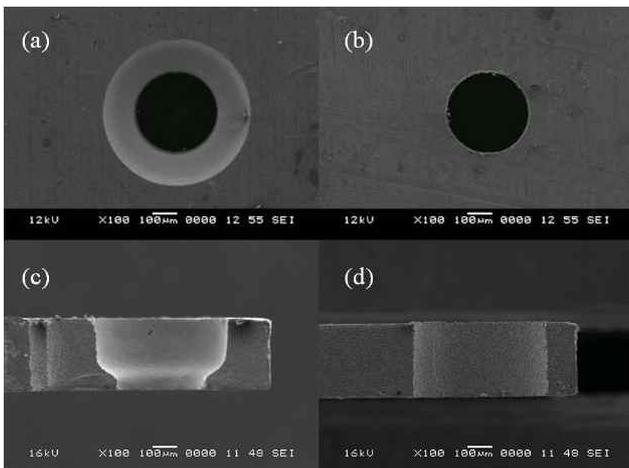


Fig. 13 The hole after roughing (Cu, 300 µm thickness) (a) Entrance, (b) Exit, (c) Cross section before taper (undercut) removal, (d) Cross section after taper removal

## 6.2 Self-drilled holes에의 적용

Self-drilled holes를 이용한 미세 전극 가공방법 또한 블록 전극을 이용한 미세 전극 가공기술 중 하나이다<sup>8)</sup>. Self-drilled holes를 통한 미세 전극 가공방식을 Fig. 12에 개략적으로 나타내었다. 스피들에 장착된 미세 전극을 이용하여 블록 전극에 미세 전극과 같은 지름의 구멍을 가공한 뒤, 구멍의 모서리를 따라 미세 전극을 이송시켜 MBEDG와 동일한 원리로 미세 전극을 가공하는 방식이다. 이 방법 또한 블록 전극의 마모로 인하여 황삭과 정삭과정을 하나의 구멍으로 하는 것은 불가능하다. 따라서 마모율을 고려하여 원하는 길이의 미세 전극을 얻은 후 미가공 영역을 제거하는 공정을 추가하여 하나의 구멍으로 황삭, 정삭과정을 수행하였다. 가공은 마모율을 바탕으로 지름 300 µm의 미세 전극을 황삭과 정삭가공을 통하여 지름 50 µm로 만들도록 수행하였고, 사용하는 블록

Table 4 Machining parameters

	Roughing	Finishing
Tool size	Ø 300 µm → 100 µm	Ø 100 µm → 50 µm
Capacitor	6800 pF	500 pF
Voltage	100 V	100 V
Electrode feed	1950 µm	1800 µm
Feed rate	1 µm/s	
Orbital speed	1.6 rpm	

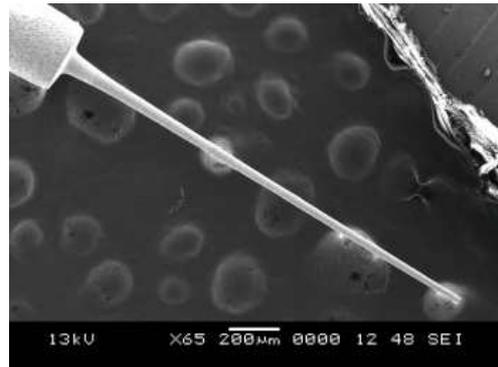


Fig. 14 Micro tool electrode machined by self-drilled holes using wear ratio (WC, Ø 50 µm, 1.7 mm length)

전극은 두께 300 µm의 구리판을 사용하였다. 그 외의 가공 조건은 Table 4와 같다. 이와 같이 가공하게 되면 1.7 mm 길이의 미세 전극을 얻게 된 후 미가공 영역(테이퍼 형상)이 거의 제거됨을 Fig. 13에서 알 수 있다. 황삭과 정삭가공 과정을 통하여 얻게 된 미세 전극의 형상은 Fig. 14와 같다.

## 7. 결론

MBEDG에서 블록 전극의 미가공 영역(테이퍼 형상)을 제거하기 위해 미세 전극과 블록 전극과의 마모율을 계산하였다. 이를 바탕으로, 미가공 영역을 최소화 할 수 있는 블록 전극의 왕복 이송 거리를 계산하였으며, 또한, 전극의 극성을 바꾸어 마모율의 오차로 인해 생긴 잔여 형상을 제거하는 공정을 추가하였다. 이를 통해, 황삭에서 사용된 면을 정삭가공에서도 재사용이 가능하게 되었고, 이로 인하여 가공 효율이 개선되었다. 또한 Self-drilled holes에도 이 방법을 적용하여 실험한 결과, 하나의 구멍으로 황삭 및 정삭가공이 가능함을 알 수 있었다.

## 후기

본 연구는 2015년 동양미래대학교 교내학술연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- [1] Lee, E. Y., Choi, W. K., Yoo, J. H., 2017, Cutting Condition Optimization of Micro Hole for Single Crystal Silicon, *J. Korean Soc. Precis. Eng.* 34:8 551-555.
- [2] Kim, T. G., Shin, K., Kim, H. Y., Lee, S. W., 2017, Analysis of CFRP Routing Machined Surface Using Cutting Temperature Signal, *J. Korean Soc. Precis. Eng.* 34:10 671-675.
- [3] Jeong, H. J., Byun, J. H., Cheng, D. J., Oh, Y. J., Kim, S. J., 2017, The Comparison of Response Surface and Discharge Energy Methods in Predicting MRR and Roughness of Sink EDM, *J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng.* 26:5 466-471.
- [4] Rahman, M., Asad, A. B. M. A., Masaki, T., Saleh, T., Wong, Y. S., Senthil Kumar, A., 2010, A Multiprocess Machine Tool for Compound Micromachining, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 50:4 344-356.
- [5] Mohri, N., Tani, T., 2006, Micro-Pin Electrodes Formation by Micro-Scanning EDM Process, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 55:1 175-178.
- [6] Masuzawa, T., Fujino, M., Kobayashi, K., Suzuki, T., Kinoshita, N., 1985, Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-Machining, *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 34:1 431-434.
- [7] Kim, B. H., Park, B. J., Chu, C. N., 2006, Fabrication of Multiple Electrodes by Reverse EDM and Their Application in Micro ECM, *Journal of Micromechanics and Microengineering* 16:4 843-850.
- [8] Yamazaki, M., Suzuki, T., 2004, EDM of Micro Rods by Self-Drilled Holes, *Journal of Materials Processing Technology* 149:1 134-138.