

Powder Mixed ECDM (Electro-Chemical Discharge Machining)을 이용한 미세구멍가공의 정밀도 개선

한민섭*, 민병권, 이상조(연세대 기계공학부)

Improvement of Hole Geometric Accuracy by Powder Mixed Electro-chemical Discharge Machining Process

M. S. Han*, B.-K. Min, S. J. Lee

ABSTRACT

Electrochemical discharge machining (ECDM) has been found to be suitable for the micro-hole machining of non-conductive materials such as ceramics or glass compared with existing conventional and also non-conventional machining methods. However this machining process has some problems such as low geometric accuracy and low machining efficiency due to the random spark generation at the end of the electrode. This paper proposes the methods to improve the geometric accuracy of micro-hole using powder mixed ECDM process. The experimental results show the effects of powder producing improved geometric accuracy of machined hole and decreased concentration of spark energy.

Key Words: ECDM(전해방전가공), electrolyte(전해액), conductive particle(전도성 입자), geometric accuracy(형상 정밀도)

1. 서론

ECDM은 전해액(electrolyte)내에 위치하는 두 전극에 일정 임계 값 이상의 전압을 걸어주었을 때, 음전극에서 발생하는 스파크를 이용하여 가공을 수행하는 process이다. 스파크를 이용한 가공이라는 점에서 방전가공(EDM)과 유사하나 가공물에 직접적인 전기적 연결이 요구되지 않기 때문에 유리, 세라믹과 같은 비전도성 재료의 가공에 적용할 수 있으며, 가공전극의 직경이 가공물 크기를 결정한다는 점에서 미세 가공(micro machining) 분야로의 적용이 용이하다. 또한 가공에 의한 전극의 마모가 거의 없기 때문에 복잡한 3차원 미세 구조물 가공에 매우 유리하다^{1,2}. 특히 유리재질이 포함된 MEMS 구조물 제작에 있어서 micro-hole array나 micro-fluid channel, micro pump제작 등에 응용될 수 있다. 또한 최근 세라믹 미세 절단 에 적용한 연구의 예도 나타나고 있다^{3,4}. 그러나 ECDM에서의 스파크는 수소기체의 결합으로 절연막이 형성되는 임의의 위치에서

발생하기 때문에 불균일한 가공으로 인한 형상 정밀도(geometric accuracy)의 저하와 낮은 재현성(repeatability)을 지니는 문제가 발생한다. 또한, 가공물이 전해액과의 접촉을 피할 수 없기 때문에 화학적 안정성을 지니고 있는 재질에 제한되는 한계가 있다.

본 연구에서는 이러한 임의의 스파크 발생으로 인한 문제점들을 극복하기 위해 전해액 내에 미세 전도성 입자(conductive particle)들로 구성된 파우더를 일정 질량 비로 전해액과 혼합하여 spark로 인한 열에너지를 분산시켜 보다 균일하고 안정적인 가공을 수행함으로써 가공물의 형상 정밀도를 향상시키고 또한 가공물 표면에서의 열변형층(heat affected zone)과 미세한 갈라짐(micro crack)을 감소시켜 가공물의 표면 품질을 향상시키고자 한다.

파우더의 효과를 검증하기 위해, DC 40V의 고정 전압과 10% NaOH 전해액으로 1mm 두께의 glass를 직경 0.5mm stainless 전극으로 구멍 가공을 실시하였다. 이 때 파우더를 전해액에 첨가한 경우와 전해액만을 사용한 경우에 대해서 대조 실험을

실시하였으며 첨가한 파우더로는 흑연(graphite)을 사용하였다.

2. ECDM 의 원리

2.1 비전도체 가공

ECDM 에서 재료제거의 개략적인 원리를 Fig. 1 에 나타내었다. 적정 임계 값 이상의 직류전압을 공급하였을 때 음전극 주위에 모인 수소기체들이 결합을 통해 일정 크기의 기체 막(gas film)을 형성하여 순간적으로 전자의 흐름을 차단하게 된다. 이때 이 수소기체 막이 절연과피를 일으킴으로써 스파크를 발생시켜 가공이 이루어진다^{5, 6}. 이때 수소기체 막의 형성 빈도가 곧 스파크의 발생빈도를 결정하기 때문에 인가 전압과 전해액(electrolyte)의 농도가 주요 가공변수로 작용하게 된다. Indrajit Basak 과 Amitabha Ghosh 는 스파크 발생을 위한 임계전압(critical voltage)이, 농도 10-30% 범위의 전해액이 사용되었을 때 대략 25-30V 의 값을 지님을 실험적으로 밝혔다⁷.

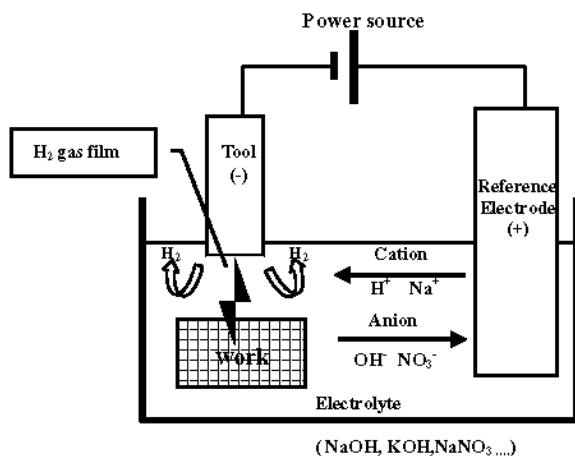


Fig. 1 Principle of ECDM process: Spark generation

ECDM 은 스파크를 이용한 가공이라는 점에서 EDM 과 비교될 수 있다. 그러나 EDM 에서는 전극과 가공물에 직접적인 전기적 연결을 통해 전위차를 발생시켜 스파크를 얻기 때문에 가공물의 전도성이 요구되는 반면 ECDM 은 그러한 제약조건이 없기 때문에 비전도체 가공을 가능하게 한다.

ECDM 의 가장 큰 장점은 EDM 과 비교하였을 때 전극의 마모를 무시할 수 있다는 점이다. 이는 전극마모의 보상 없이 복잡한 형상의 3 차원 가공을 보다 용이하게 수행할 수 있는 가능성을 제시한다.

또한 전극과 가공물의 접촉여부에 관계없이 가공이 가능한 장점도 있다. 그럼에도 불구하고 ECDM 을 응용한 3 차원 가공에 대한 연구가 만족할 성과를 이루지 못한 이유중의 하나는 불규칙적인 스파크의 발생 위치와 순서로 인해 가공표면의 형상을 제어하기 난해하다는 큰 문제점이 존재하기 때문이다.

이에 본 연구에서는 전해액내에 전도성 입자를 혼입하여 스파크 에너지의 집중을 억제하고 분산시키는 Powder Mixed ECDM Process 를 도입하여 우수한 진원도와 일정한 직경을 유지한 미세 구멍 가공을 얻어내고자 한다.

3. 실험장치 및 조건

3.1 실험장치

본 연구에서 사용된 장치를 Fig. 2 에 나타내었다. 전해액에 의한 부식을 방지하기 위해 화학적 안정성과 비전도성을 지닌 소재로 하여 Rapid Prototyping 으로 특수 제작한 소형 실험 장치를 구성하였다. 전극의 이송은 10 μ m 의 분해능을 가지는 3 축 스테이지로 수행하였으며 수조 내에 소형 지그(Jig)를 설치하여 공작물을 고정하였다.

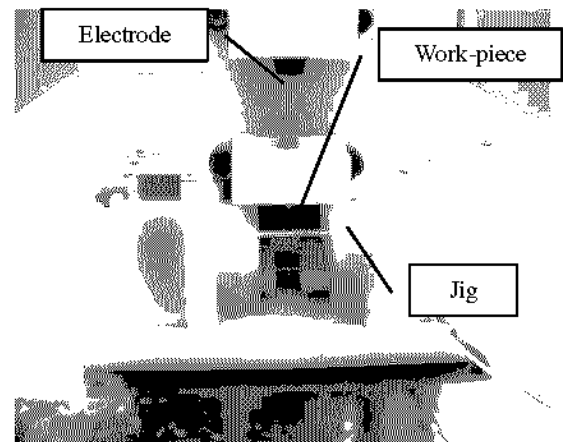


Fig. 2 Photograph of powder mixed ECDM system

3.1.1 파우더효과 대조 실험

파우더의 효과를 검증하기 위해 Table 1 과 같이 몇 가지 실험 parameter 들을 고정한 상태에서 대조 실험을 수행 하였다. 원활한 가공을 위해 기존의 실험논문들을 참고하여 적절한 가공조건들을 선정 하였다. 이때 공작물은 전극과 접촉한 상태에서 가공되었고 실험에 사용된 흑연 파우더의 물성치를

Table 2 에 나타내었다.

Table 1 Machining condition

Parameter	Condition
Applied voltage (DC)	40V
Electrolyte	10% NaOH
Workpiece material	Glass (thickness : 1mm)
Powder	Graphite
Powder mixture	10wt%
Electrode	Stainless steel (diameter : 0.5mm)

Table 2 Property of graphite powder

Property	Graphite powder
Electrical resistivity	$1.2 \cdot 10^{-6} [\Omega \cdot m]$
Thermal conductivity	$160 [W/(m \cdot K)]$
Heat capacity	$8.54 [kJ/mol/K]$
Density	$2.16 [g/cm^3]$

3.1.2 실험 결과 및 분석

Fig. 3 은 미세구멍가공시 구멍형상의 진원도를 광학 현미경으로 비교 측정한 결과이다.

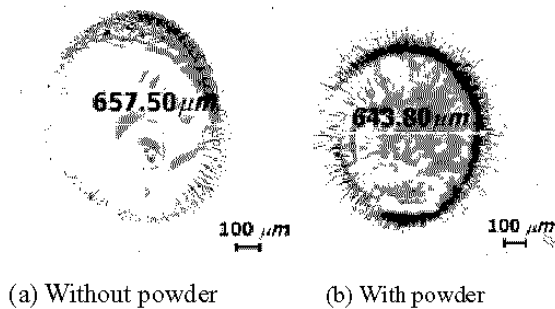


Fig. 3 Crater shape of machined hole

전해액만을 사용하였을 경우 전극 밀면에서의 스파크가 공작물의 표면에 불규칙적으로 발생하기 때문에 진원도가 떨어지게 되어 구멍의 형상 정밀도가 저하된다. 반면, 파우더를 첨가한 가공의 경우 균일한 가공이 이루어져 전극의 형상대로 진원도를 유지하며 가공이 진행되었음을 확인할 수 있었다. 가공된 구멍의 밀면을 살펴보면 전해액만을 사용한 경우, 국부적으로 집중된 스파크의 에너지로 인해 표면 품질이 저하되고 부

분적으로 파손이 발생하였으나 파우더를 첨가하여 가공한 경우 갈라짐이나 깨짐이 없이 균일하게 가공된 표면을 관찰할 수 있었다.

가공 진행 단계에 의한 파우더의 효과를 검증하기 위해 파우더를 첨가하였을 때 가공시간에 따른 구멍의 형상 변화 추이를 측정하였다(Fig. 4). 초기 1 분가공시에는 전극밀면의 미세한 평면성 결함으로 오른쪽 면부터 가공이 시작되었으나 시간이 흐름에 따라 전체적으로 고르게 가공이 진행되었음을 확인하였다.

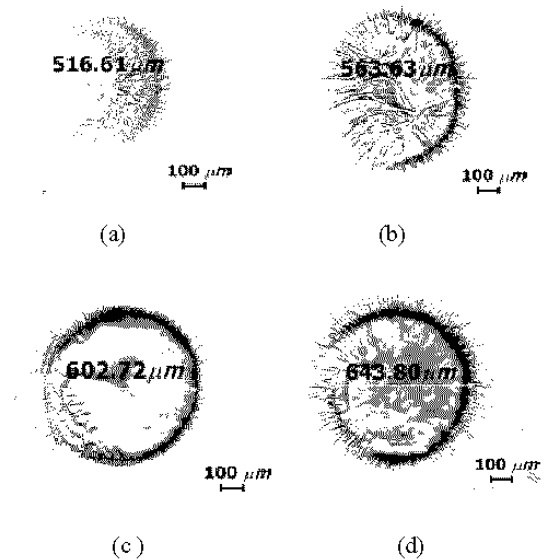
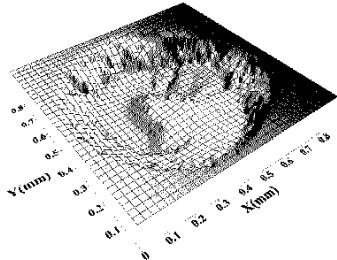


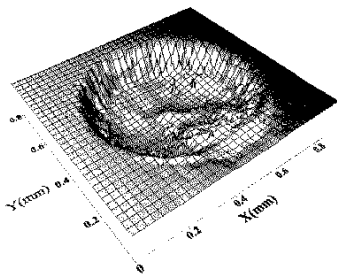
Fig. 4 Transition of machined hole according to machining time: (a) 1 min (b) 2 min (c) 3 min (d) 4 min

Nano Scan(Non-contact 3D Surface Profiler)을 이용하여 가공한 구멍의 3 차원 형상을 측정된 결과를 Fig. 5 에 나타내었다. 3 차원표면 형상을 통해 파우더의 효과를 검증할 수 있었지만 여전히 밀면 형상은 완전하게 평면성을 유지하지 못하고 굴곡이 부분적으로 존재하는 문제를 발견할 수 있었다. 그러나 향후 ECDM 을 이용한 3 차원 미세 구조물 가공의 가능성을 한층 더욱 높여 주었다.

Fig. 6 에서 가공이 충분히 진행된 이후의 구멍 단면 형상을 비교 측정된 결과를 나타내었다. 전해액만을 사용하였을 경우 단면 경계가 직진성을 유지하지 못하고 불규칙적으로 형성되었으며, 경계의 모서리가 파손되어 가공이 진행됨에 따라 가공된 직경이 크게 변화됨을 볼 수 있었다. 반면 파우더를 첨가한 가공의 경우 단면경계가 균일하게 유지되면서 안정적인 가공이 이루어졌음을 확인하였다.

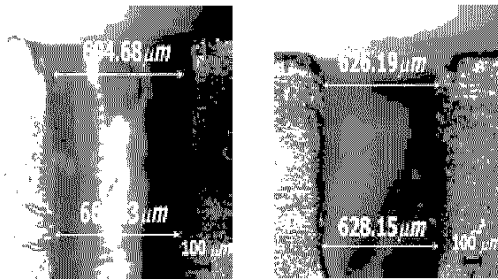


(a) Without powder



(b) With powder

Fig. 5 3D Surface profile of machined hole



(a) Without powder (b) With powder

Fig. 6 Cross-section of machined hole

4. 결론

본 연구에서는 전도성 입자(conductive particle)들로 구성된 파우더를 전해액에 일정 비율 첨가하여 미세구멍가공의 형상정밀도를 향상시키는 방법을 제시하였으며, 이를 입증하기 위한 대조실험을 실시하였다. 먼저 가공된 구멍의 진원도를 크레이터 형상을 통해 비교하였고 구멍의 직경의 균일성을 단면 형상을 통해 비교하였다. 또한 가공시간에 따른 형상 변화를 측정한 결과 우수한 진원도와 단면 경계의 직진성을 유지할 수 있었고, 가공 표면에서

의 부분적인 파손이나 깨짐을 방지할 수 있었다. 이와 같은 전도성 입자의 첨가는 가공정밀도를 높이고 기존의 ECDM 에서 야기되는 문제점들을 해결할 수 있을 것으로 기대되며 3 차원 미세가공의 가능성을 보여줌으로써 ECDM 의 응용 분야를 보다 다양하게 확장할 수 있을 것으로 기대된다. 추후 파우더의 종류와 첨가 비율, 그리고 가공물의 재질에 따른 정밀도 향상에 대한 실험을 통해 최적의 가공 조건을 구하고 전해액내의 전도성 입자가 스파크 에너지의 분산과 역제를 수행하는 원리에 대한 연구가 진행될 예정이다.

참고문헌

1. V. Fascio, R. Wuetrich, D. Viquerat, H. Langen and H. Bleuler, "3D microstructuring of glass using electrochemical discharge machining " in International Symposium on Micromechatronics and Human Science (MHS'99) Nov 26 1999, 1999, pp. 179-183.
2. V. Fascio, R. Wüthrich and H. Bleuler, "Spark assisted chemical engraving in the light of electrochemistry" *Electrochimica Acta*, Volume 49, Issues 22-23, 15 September 2004, Pages 3997-4003
3. W. Y. Peng and Y. S. Liao, "Study of electrochemical discharge machining technology for slicing non-conductive brittle materials" *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 149, Issues 1-3, 10 June 2004, pp. 363-369
4. B. Bhattacharyya, B. N. Doloi and S. K. Sorkhel, "Experimental investigations into electrochemical discharge machining (ECDM) of non-conductive ceramic materials" *Journal of Materials Processing Technology.*, vol. 95, pp. 145-154, 1999.
5. A. Kulkarni, R. Sharan and G. K. Lal, "An experimental study of discharge mechanism in electrochemical discharge machining," *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 42, pp. 1121-1127, 2002.
6. V. K. Jain, P. M. Dixit and P. M. Pandey, "On the analysis of the electrochemical spark machining process" *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Volume 39, Issue 1, January 1999, pp. 165-186
7. I. Basak and A. Ghosh "Mechanism of spark generation during electrochemical discharge machining: a theoretical model and experimental verification" *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 62, Issues 1-3, November 1996, pp. 46-53