EDM 밀링에 의한 마이크로 가공 특성 분석
Investigation of Machining Characteristics for EDM Milling

*#김선호[1], 임한석[2], 안중환[3]
*#S. H. Kim(sunhokim@deu.ac.kr)[1], G. S. Yoon[2] , B. C. Kim[2]
[1] 동의대학교 메카트로닉스공학과, [2] 하이브리드 프리시전, [3] 부산대학교 기계공학부

Key words : MEMS, Micro Machining, EDM

1. 서론

마이크로 머시닝은 마이크로 구조 제작을 위한 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술의 요소기술로 주목을 받고 있으며 다양한 연구들이 있어 왔다. 대표적인 연구는 실리콘 위에 이루어지는 Photolithography 기술이라고 할 수 있다. 이 방법은 가공 세장비를 크게 할 수 없고 가공소재의 제한을 받는 단점을 가진다. X-ray lithography의 경우에는 이러한 문제점을 해결할 수 있지만, 비용이 많이 들고 가공속도가 늦은 단점을 가진다.[1,2)]

마이크로 구조물의 대량생산을 위해서는 마이크로 몰드 캐비티를 필요로 하는데, 몰드의 경우에는 기계가공이 어려운 난삭재가 주로 사용된다. 가공소재의 경도가 높지 않다면 전통적인 기계가공법도 적용이 가능하지만 높은 경도의 소재는 특별한 해결책이 없는 실정이다. 이 경우 Micro EDM(Electro Discharge Machining)은 효과적인 가공법이 될 수 있다. Micro EDM은 도체라면 경도에 무관하게 효과적인 가공이 가능한 장점을 가진다.

EDM은 구멍과 같은 수직방향의 가공에 주로 이용이 되고 있으며, 수평방향의 가공에는 Wire EDM이 이용되지만 이는 관통가공에 적합한 방법이라 할 수 있다. 수평방향의 막힌 구멍을 가공하기 위해서는 Fig. 1과 같이 연속구멍 가공법을 적용할 수 있으나 전극의 크기에 따른 가공오차와 깊이 방향의 단차오차가 발생한다.

이러한 측면에서 보면, 마이크로 구조물 제작을 위한 몰드 가공에 가장 적합한 가공법은 Micro EDM이라고 할 수 있는데, 이 방법은 전극의 마모율이 크다는 것이 단점이 있다.

본 논문에서는 마이크로 구조물을 제작하기 위한 방법으로 밀링 EDM을 제안하고, 마이크로 Groove 가공 시 발생하는 가공특성을 조사분석하고자 한다.

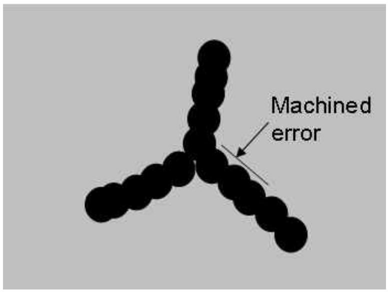


Fig. 1 Machined error by conventional EDM

2. 실험장치 및 방법

Micro EDM을 이용해 Groove 가공 특성을 조사분석 하기 위해 Fig. 2와 같은 실험장치를 구성했다. X-Y축의 운동과 Z축은 PC-NC에 의해 구동된다. 가공 중에 전극과 공작물 사이에 연속적으로 스파크를 발생시키기 위한 Z축의 운동은 아래 식에 따른다.

$$F_z = k \cdot \mathrm{sign}[V_{gap} - V_{th}] \quad (1)$$

여기서, F_z 는 Z축의 이송속도, V_{gap}은 전극과 공작물 사이의 전압, V_{th}는 Gap 제어를 위한 스레시홀드 값을 의미한다. k는 EDM 갭 속도제어를 위한 제어 파라메타를 의미한다. EDM 이송속도, Resistance, Capacitance, Gap 제어 파라메타 k 등은 가공조건에 따라 적절히 변화시킨다. 실험에 적용한 Micro EDM에 대한 실험조건을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 3은 Micro EDM을 위한 회로를 나타낸다. 회로는 전원공급장치, Resistance 그리고 Capacitance로 구성 된다.

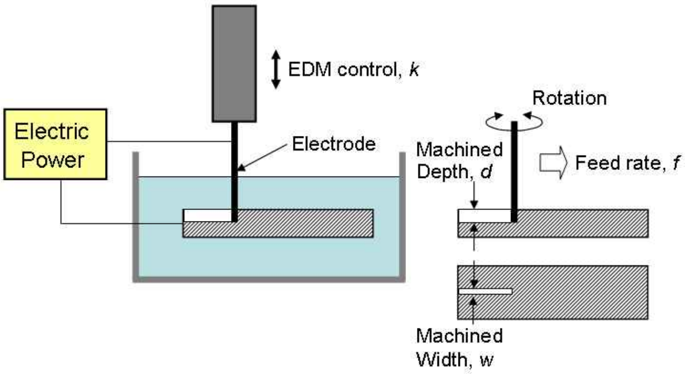


Fig. 2 Experimental method for the evaluation of EDM milling

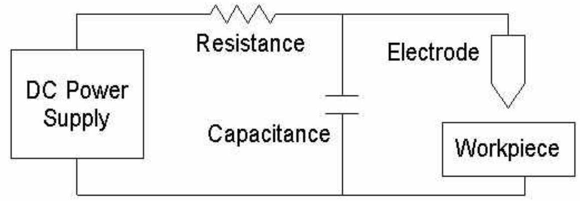


Fig. 3 The circuit of micro EDM

Table 1. Experimental Conditions for Micro EDM

Supply voltage	100 V
EDM circuit	R-C passive discharge control
Resistance	220, 470, 1k, 4k, 7kΩ
Capacitance	100 pF, 470 pF, 1 nF, 4.7 nF, 10 nF
Feed rate	0.1, 0.2, 0.5, 1.0 mm/sec
Spindle speed	500 rpm
EDM control	0.003~0.06 mm/sec
Electrode	CuW, Diameter 0.3 mm
Coolant	D-I water

3. 실험결과 및 분석

개발된 Micro EDM 밀링을 이용해 Groove 가공을 하기 위해, Z축 Gap 제어를 하면서 X-Y 평면에 전극을 이동시킨다. Gap 제어는 전극과 공작물을 직접 접촉시키지 않고 스파크를 발생시키기 위해 사용된다.

모든 실험에 대해 소재의 제거특성을 분석하기 위해 절삭깊이를 측정하고, 전극의 마모특성을 분석하기 위해 전극의 길이를 측정했다.

Fig. 4는 EDM Gap 속도 0.01 mm/sec, 공급전압 100 V 조건에서 이송속도 변화에 따른 EDM 가공특성을 나타낸다. Resistance는 470 Ω Capacitance는 1000 pF를 설정했다.

그림에서 이송속도가 커질수록 가공깊이는 작아짐을 보인다. 이송속도가 0.1 mm/sec 일 때 가공깊이는 10㎛가 된다. 이후, 이송속도가 증가함에 따라 가공깊이는 감소하여 1 mm/sec 일 때 가공깊이는 1.2㎛까지 감소한다. 공구마모는 가공깊이와

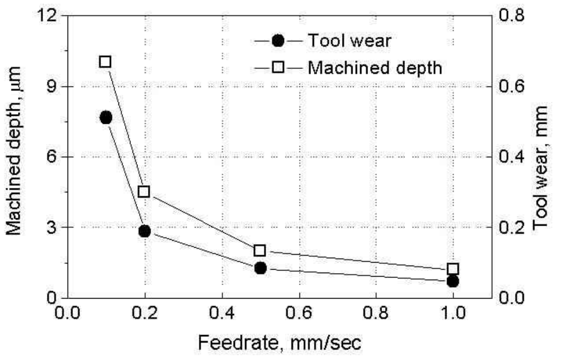


Fig. 4 Influence of feed rate on micro EDM

유사한 특성을 나타낸다. 이러한 현상은 이송속도가 작아질수록 공구가 느리게 이동하기 때문에 스파크 발생 간격이 길어지기 때문에 발생하는 현상으로 판단된다.

Fig. 5는 Micro EDM 밀링에서 Gap 제어속도 k에 따른 가공깊이와 공구 마모특성을 나타낸다. 방전가공은 이송속도 0.1 mm/sec, 공급전압 100 V, Resistance는 470 Ω Capacitance는 1000 pF에서 이루어졌다. 그림에서 Gap 제어속도가 0.013~0.02 mm/sec 일 때 최대 가공깊이 10㎛이 된다. 공구마모는 가공깊이와 유사한 특성을 가진다. Gap 제어속도가 0.01 mm/sec 이하일 때 공구마모가 작게 나타난다.Gap 제어속도가 0.03 mm/sec 이상 일 때 전극이 공작물에 직접 접촉하게 된다. 이러한 조건으로부터 본 연구에서는 0.01~0.02 mm/sec의 Gap 제어속도가 가장 안정된 조건으로 판단된다.

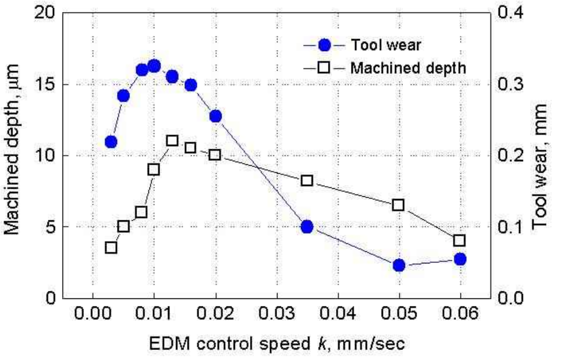
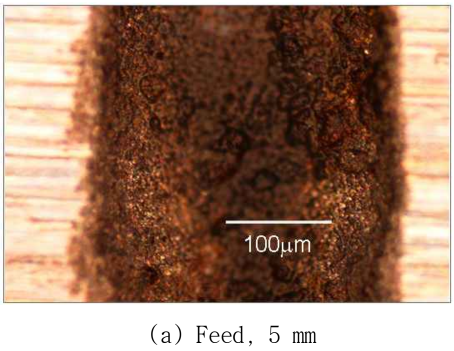
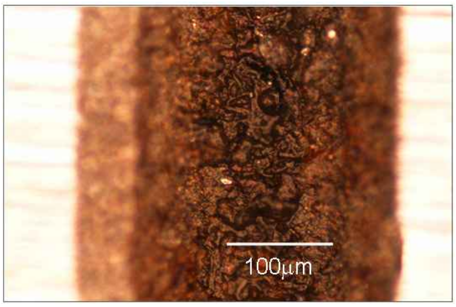


Fig. 5 Influence of EDM gap control on micro EDM

Fig. 6은 본 연구에서 안정된 조건으로 설정한 0.01~0.02 mm/sec의 Gap 제어속도에서 가공한 마이크로 구조물을 제작하기 위한 가공면을 보여준다. 그림 (a)는 5 mm 가공을 했을 때의 가공면을 보여 준다. (b)는 150 mm 가공했을 때의 가공면을 보여 주는데, 중앙부와 양 모서리부가 동시에 초점이 매치지 않을 정도로 굴곡 가공이 이루어졌음을 보여 준다. 이는 전극이 회전하면서 평면 이송을 하는 EDM 밀링에서 발생할 수 있는 가공특성으로 판단된다. 이러한 가공특성을 상세히 분석하기 위해 가공면의 프로파일을 측정했다.



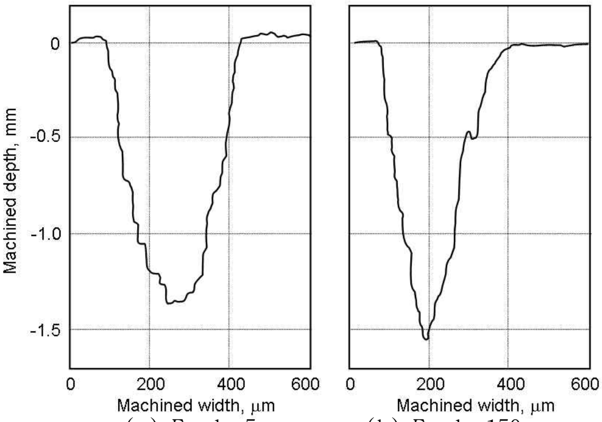
(a) Feed, 5 mm



(b) Feed, 150mm

Fig. 6 Photography of machined micro depth

Fig. 7은 측정된 가공면의 프로파일을 보여 준다. 그림 (a)는 5 mm 가공을 했을 때의 프로파일이며, 그림 (b)는 150 mm 가공했을 때의 프로파일을 보여 준다. 가공길이가 증가할수록 골이 깊고 좁아지는 것은 EDM 밀링의 가공특성에 따라 전극의 아래 부분 원주면에 발생한 마모가 원인으로 판단된다. 이러한 가공특성은 가공명의 정밀도 향상을 위해 해결해야할 기술적인 문제로 판단된다.



(a) Feed, 5 mm (b) Feed, 150mm

Fig. 7 Cross section of machined depth

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 구조물을 제작하기 위한 방법으로 밀링 EDM을 제안하고 마이크로 Groove 가공 시 발생하는 가공특성을 분석하고자 했다. 연구를 통해 다음과 같은 몇 가지 결론을 얻었다.

- 가공깊이는 이송속도에 반비례함을 알 수 있었다.
- 밀링 EDM에 적합한 안정된 Gap 제어속도 영역을 찾을 수 있었다.
- 밀링 EDM에서는 전극이 회전하면서 평면운동을 하기 때문에 전극이 원추형으로 마모가 이루어지고, 이에 따라 가공면도 가공거리에 따라 가공깊이 단면이 원추형이 된다. Groove 가공을 위해서는 이에 대한 대책이 필요하다.

참고문헌

1. Lim, H. S., Kumar, A. S. and Rahman, M., "Improvement of form accuracy in hybrid machining of micro-structures," J. of electronic materials, Vol. 31,No. 10, pp.1032-1038, 2002.
2. Matsui, S., Kaito, T., Fujita, J., Ishida, M. and Ochiai, Y., "Three dimensional nanostructure fabrication by focused ion beam chemical vapor deposition," J. of JSPE, Vol. 67, pp.1412-1415, 2001.