

# 고세장비 슬롯가공을 위한 마이크로 밀링 방전가공 특성 Machining Characteristics of EDM Milling for High Ratio Slot

\*#김선호<sup>1</sup>, 임한석<sup>2</sup>, 장재은<sup>1</sup>, 김도희<sup>1</sup>

\*#S. H. Kim(sunhokim@deu.ac.kr)<sup>1</sup>, H. S. Lim<sup>2</sup>, J. E. Jang<sup>1</sup>, D. H. Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 동의대학교 메카트로닉스공학과, <sup>2</sup> 하이브리드 프리시전

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.<sup>1,2)</sup>

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. 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.

EDM 밀링을 수행하기 위해서는 전극의 이송과 갭 제어가 동시에 이루어져야 하는데, 이러한 경로 제어의 방법으로 Fig.1에 보인 바와 같이 3가지 방법을 생각할 수 있다.

Fig.1(a)는 전극을 일정 가공깊이로 이송한 후 전극의 측면을 이용한 방전가공법(Side Cut EDM), Fig.1(b)는 전극을 수평방향으로 일정속도로 이송하면서 수직방향으로 갭 제어를 동시에 수행하는 법(Scanning EDM), Fig.1(c)는 수직방향으로 미세한 깊이를 이송한 후 일정속도로 전극을 이송시키고, 갭의 제어는 이전 가공경로상에서의 방전가공 상태에 따라 상하로 미세한 전극 위치제어를 수행하는 방법(EDM Milling)이다.

본 논문에서는 위 세가지 밀링 EDM 가공 방법을 실험적으로 비교 분석하여 미세 형상 가공을 위한 최적의 전극 제어법을 제안하고 그 특성을 제시하였다.

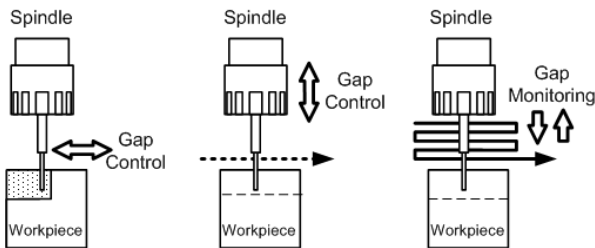


Fig. 1 EDM Milling Process

## 2. 실험장치 및 방법

Micro EDM을 이용해 Groove 가공 특성을 조사분석 하기 위해 3축의 미세 방전 가공기를 개발했다. X-Y축의 운동과 Z축은 PC-NC에 의해 구동된다. 가공 중에 전극과 공작물 사이에 연속적으로 스파크를 발생시키기 위한 전극의 이송은 다음과 같이 제어한다.

(a) Side Cut EDM

$$F_x = k \text{sign}[V_{gap} - V_{th}] \quad (1)$$

(b) Scanning EDM

$$F_x = k \text{sign}[V_{gap} - V_{th}] \quad (2)$$

(c) EDM Milling에서는 하나의 경로이송이 끝난 후 이전 경로 상에서의 방전 상태에 따라 Z축의 위치를

$$\text{단락 발생시} : P_z = P_z + \Delta Z \quad (3-1)$$

$$\text{단락 비발생} : P_z = P_z - \Delta Z \quad (3-2)$$

으로 제어한다.

여기서,  $F_z$ 는 Z축의 이송속도,  $V_{gap}$ 은 전극과 공작물 사이의 전압,  $V_{th}$ 는 Gap 제어를 위한 스레시홀드 값을 의미한다.  $P_z$ 는 수직축의 위치,  $\Delta Z$ 는 매회의 수직축 증분량을 나타낸다.  $k$ 는 EDM 갭 속도제어를 위한 제어 파라메타를 의미한다. EDM 이송속도, Resistance, Capacitance, Gap 제어 파라메타  $k$  등은 가공조건에 따라 적절히 변화시킨다. 실험에는 텅스텐 전극을 이용하여 다.

사용한 방전회로는 Micro EDM에 적합한 R-C 방전회로를 사용하였다. 이러한 방전회로를 사용하여 방전상태를 모션제어기에 전달하기 위해서 본 연구에서는 방전상태, 단락상태를 나타내기 위해 두 개의 디지털 신호를 사용한다. 그 중 하나는 홀드신호(HOLD)로서 방전이 일어날 경우 전극의 위치를 현상태로 유지시키는 신호이며, 다른 하나는 리턴신호(RETURN)로서 전극이 단락상태일 때 전극을 후퇴시키는 신호로 사용한다. 이러한 신호를 생성하기 위해 본 연구에서 사용한 방전회로는 고속의 마이크로 프로세서를 사용하였으며, 그 동작 개념을 Fig.2에 나타낸다.

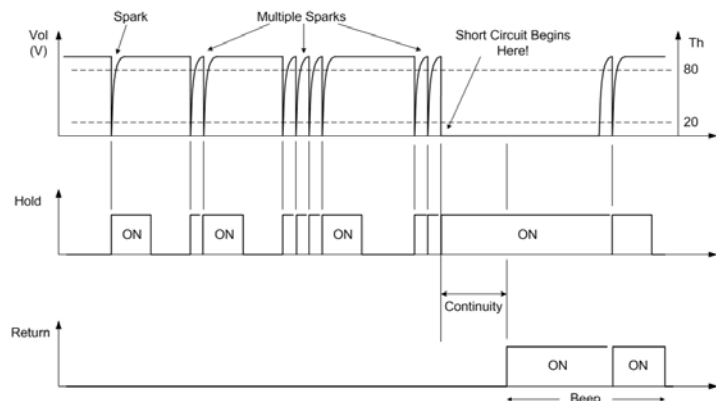


Fig. 2 EDM Gap Control Concept

## 3. 실험결과 및 분석

개발된 마이크로 방전 가공기에서 단순 Groove 가공을 통해 상기의 3가지 EDM 밀링 가공법을 비교해 보았다.

(a) Side Cut EDM

Fig.3은 Side Cut EDM에 의해 가공된 홈을 전극의 진입방향에서 수직으로 관찰 한 것이다. 그림으로부터 가공된 홈은 전극의 출구측이 입구측에 비해 그 폭이 작아짐을 알 수 있다.

이러한 현상은 방전가공중에 전극이 동시에 마모되어 그 형상이 변화하기 때문이다. 한편 전극의 끝부분은 방전가공 자체에 기여하는 양이 적으므로 이러한 가공방법에 있어서 홈의 깊이는 측면의 치수 변화에 비하여 상대적으로 적음을 알 수 있다. Side Cut EDM을 이용할 경우에는 동일한 경로에 대해 새로운 전극을 이용하여 추가 가공을 함으로써 홈가공의 정밀도를 개선할 수 있다.

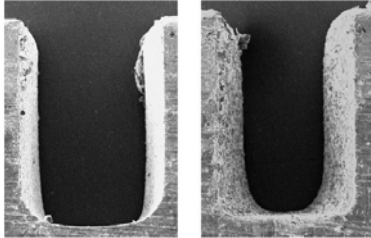


Fig.3 Micro Groove Using Electrode Side Cut

(b) Scanning EDM

Fig.4는 Scanning EDM에 의한 미세홈의 단면 프로파일을 측정 한 예이다. Scanning EDM의 경우에는 전극의 수평방향 이동속도에 의존하기는 하지만 비교적 그 가공 깊이가 작아, 깊은 홈을 가공하는 것이 곤란하다. 한편 Scanning EDM에 이어서도 깊은 홈 가공의 경우 전극의 측면부가 주로 사용되므로 전극의 마모가 발생하여 가공이 진행됨에 따라 전극의 끝단이 뾰족해지는 현상이 발생한다. 이러한 현상으로 인하여 Scanning EDM은 고정밀도 미세 형상 가공에는 그다지 적합한 방식은 아니지만, 전극의 수직위치가 공작물의 표면에 대해 비교적 고르게 유지되는 특성이 있다. 따라서 곡면이나 경사가 있는 공작물 표면에 대해서도 일정 깊이의 가공을 하는 경우나 그러한 표면에 음각의 문자 등을 새기는 경우에 이용 가능하다.

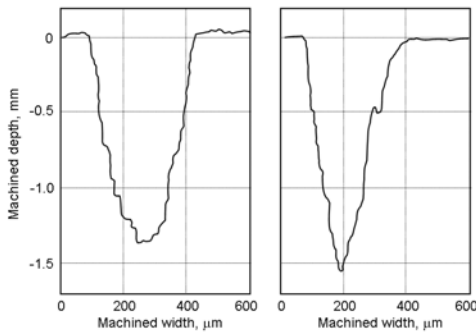
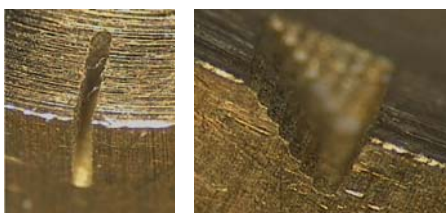


Fig. 4 Cross-Sectional Profile of Scanning EDM

(c) EDM-Milling

EDM Milling은 위의 두가지 방법에 비해 비교적 정밀한 단면 형상을 얻는 것이 가능하였다. Fig.5(a)는 EDM Milling에 의한 미세 홈 가공의 예를 나타낸 것으로 단면 형상이 비교적 양호하고 홈의 바닥 부분도 비교적 일정한 폭을 유지하고 있음을 알 수 있다. 이러한 가공 결과는 EDM Milling에 있어서는 전극의 끝부분이 주로 방전가공에 사용되어 측면의 치수 변화가 발생하지



(a) (b)

Fig. 5 Micro Groove and Step machining using EDM Milling

않기 때문이다. Fig.5(b)는 동일한 가공법을 이용하여 7개의 계단을 가공한 예이다.

한편 EDM Milling에서는 전극의 마모가 전극의 끝단에 집중되므로, 지령된 가공깊이보다 적은 실제 가공형상이 만들어질 수 있다. Fig.6은 전극의 마모가 가공 깊이에 주는 영향을 측정 한 결과이다. 그림으로부터 알 수 있듯이 실제 가공깊이는 지령된 가공깊이에 도달하지 못하는 것을 알 수 있다. 이는 미세한 직경의 전극을 이용하여 상대적으로 큰 부피의 공작물을 제거하도록 하였기 때문이다. 한편 지령된 가공 깊이에 대한 공구의 마모량은 비교적 양호한 비례관계 가지고 있음을 알 수 있고, 실제 전극이 마모된 부피와 공작물이 제거된 부피의 비로 환산하면 아래 식과 같이 일정함을 알 수 있었다.

$$\text{전극 마모율} = \frac{TWR}{MRR} \approx 0.078$$

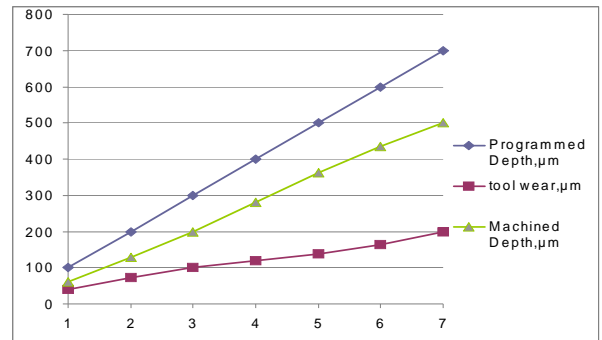


Fig.6 Change of Tool Wear and Groove Depth

4. 결론

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

- Side Cut EDM에 있어서 전극의 마모는 주로 전극의 측면에서 발생하므로 가공깊이보다는 폭의 변화가 많이 나타난다.
- Scanning EDM에서는 전극 측면의 마모에 의해 V자 형의 홈이 만들어진다.
- 밀링 EDM에서는 가공형상이 비교적 양호하여 미세 가공에 적합하지만 전극의 마모가 끝단에 집중되므로 가공깊이가 작아진다. 평균적인 공구 마모율은 7.8%정도이다.

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 fo