

## 전기화학 가공을 이용한 마이크로 홈 가공

김영민\*(인하대 대학원 기계공학과), 이은상(인하대 기계공학과)

Micro Groove Machining for Electrochemical Micro-Machining

Y. M. Kim (Mecha. Eng. Dept. INHA Univ.), E. S. Lee(Mecha. Eng. Dept., INHA Univ.)

### ABSTRACT

Electrochemical micro-machining(EMM) is used to achieve a desired workpiece surface by dissolving the metal workpiece with an electrochemical reaction. This machining method can be applied to metal that is difficult to machining using other methods. The workpiece dissolves when it is positioned close to the tool electrode in electrolyte and current is applied. This aim of this work is to develop electrochemical micro-machining(EMM) technique for micro groove shape by establishing appropriate electrochemical parameters of machining.

**Key Words :** EMM(Electrochemical Micro-Machining, 마이크로 전해가공), Machining gap (가공 간극), Electrochemical reaction (전기화학반응)

### 1. 서론

산업이 발전됨에 따라 점차 소형화, 고속의 전기 시스템의 기술로 바뀌어 가면서 기존의 기계가공에서 벌어난 새로운 기술이 대두되고 있다. 전기화학 가공(Electrochemical micro-machining) 기술 또한 이러한 새로운 가공 기술의 대안으로 등장하고 있다. 이 가공 기술은 전기화학 반응을 이용하여 국부적인 부위의 집중적인 금속용출을 이용하여 원하는 표면형상을 도출하는 가공기술이다.

전기화학 가공은 전해액과 가공하려는 금속간의 전기화학적 용출 반응을 이용하여 재료를 원하는 형상으로 가공하는 기술이다. 비접촉식 가공이므로, 재료의 잔류응력이나, 베(burr) 등이 발생하지 않으며, 비접촉식 가공에 의한 공구의 마모가 발생하지 않는다. 또한, 재료의 원자단위의 탈락에 따른 원리에 따라 재료의 표면 거칠기 또한 향상 시킬 수 있다.

본 연구에서는 이러한 원리를 바탕으로, 마이크로 핀을 이용한 홈 가공을 수행하였다. 지름이 80μm의 텅스텐 핀을 음극으로 사용하고, STS304 시판을 양극으로 사용하였다.

본 연구에서 요구되어지는 최적의 홈 가공을 위해, 전해액과 가공시간, 가공간극, duty factor, 허용전

압등의 마이크로 전기화학 가공에 고려되어지는 여러 요소(factor)들의 최적 조건을 찾아 최적의 마이크로 미세 홈 가공을 수행하였다. 추후 본 연구의 가공법을 바탕으로, 홈(groove) 가공에서 벌어나, 전극봉의 이동에 의한 평면 및 입체가공에도 활용할 계획이다.

### 2. 이론적 배경

페라데이 법칙(Faraday's law)에 의해 전기화학 가공 시 제거되는 금속량은 다음과 같이 정의한다.<sup>(1)</sup>

$$m = \frac{Alt}{zF} \quad (1)$$

A : atomic weight

I : current

t : machining time

z : valency

F : Faraday's constant(96500 C)

마이크로 전기화학 가공은 전류밀도가 가공성을 결정하며, 이러한 전류밀도는 허용전압, 과전압,

전해액의 비전도성, 과전압, 가공 간극등에 의해 결정된다. 그러므로, 전류밀도를 계어하기 위해서는 필요한 허용전압과, 재료의 특성에 따른 과전압, 전해액의 비전도성, 가공 간극의 제어가 필수 불가결하다. 그리고, 이러한 가공파라메타를 바탕으로 최적의 가공요소를 결정할 수 있다.

옴의 법칙(Ohm's law)에 의하여 전류밀도(current density)는 다음과 같은 식으로 나타난다.<sup>(2)</sup>

$$J = \frac{(U_{proc} - U_{pol})k}{h} \quad (2)$$

$U_{proc}$  : Applied voltage

$U_{pol}$  : Polarisati on voltage (overpotent ial)

$h$  : Machining gap

$k$  : Electrolyt e conductivi ty

식 (2)와 같이 전류밀도를 결정하는 인자들은 다음과 같다. 실제 가공 실험에는 전해액의 비전도성 문제 뿐만 아니라, 기계적 연결부에 의한 것이나, 재료의 저항등에 의해, 가공에 실질적인 영향을 미치고 있다.<sup>(3)</sup> 전기화학 가공을 이용한 마이크로 가공 수행 시, 이러한 저항부분의 변화 때문에 가공파라메타의 변화가 불가피하다. 또한 기존의 가공에 비해 가공시간의 단축도 필요하게 되었다. 그러므로 본 실험에서는 새로운 최적의 가공파라메타를 찾아야 할 것이다.

### 3. 마이크로 그루브 가공

#### 3.1 실험장치 및 실험조건

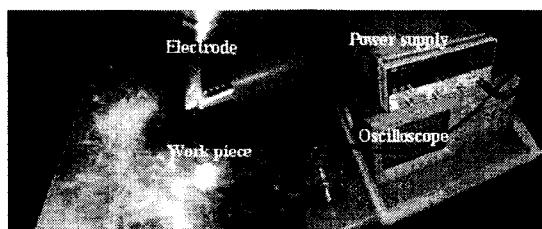


Fig. 1 Experimental set

Fig. 1은 마이크로 전해가공을 위한 실험장치이다. 직류 전원 공급기에서 전극과 공작물에 각각 음극과 양극의 전원을 공급하고, 외부에서 전해액을 공급한다. 사용된 공작물은 스테인레스 강 STS304 재질이며, 전극은 WC-Be 합금 재질이다.

전기화학 가공 시 직류전압을 사용할 경우 그루브 외각의 원하지 않는 부분까지 가공이 이루어

지므로 펄스(pulse)에 의한 가공이 필요하다.

Table 1은 실험장치를 나타내고 있다. 80μm 의 스트레이트 펀을 고정시키기 위해 구리 튜브를 이용하여, 티타늄 척에 고정 시켰으며, 새로운 실험 조건을 찾기 위해 여러 가지 전해액을 사용하였다.

Table 1 Experimental conditions

Power supply	Pulse function Generator $\tau_{on}$ : 0 ~ 999ms $\tau_{off}$ : 0 ~ 999ms (50V, 50A DC)
Workpiece (anode)	STS304
Electrolyte	$H_3PO_4$ , $H_2SO_4$ , $NaNO_3$ , HF
Electrode	WC-Be
Chuckling	Titanium Chucking
Surface measurement	CAMSCOPE

#### 3.2 전해액에 따른 실험결과 비교

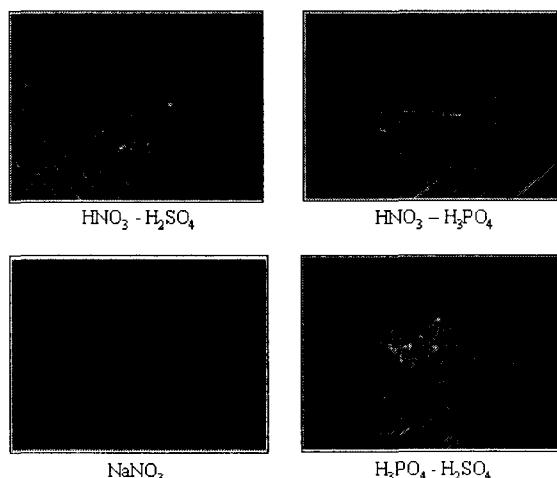


Fig. 2 Variation of groove pattern according to electrolyte

기존의 전기화학 가공 시 전해액은 주로  $NaNO_3$  와 같은 중성계의 용액을 이용하였지만<sup>(3)</sup>, 마이크로 펀을 전극봉으로 사용할 때는 그 저항값에 따른 전류값이 변화가 발생하여 중성계 용액을 사용하면 가공이 국부적으로 되지 않고, 그루브 패

턴의 경계가 제대로 나타나지 못하고 있다. 본 실험에는 이러한 현상 때문에  $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , HF, HCl과 같은 산성계의 전해액을 사용하여 최적의 전해액을 결정하였다.

염산과 불산 같은 1 족과 7 족이 결합된 산은 통전 되기 이전에 이미 가공물의 부식이 진행될 정도로 반응이 급격하게 발생하여 가공에 용이하지 못하였다. 질산나트륨이나 염화나트륨 같은 중성계열은 그루브 패턴의 경계가 뚜렷하지 않게 나타났다. 질산은 가공이 급격히 발생하여, 그루브 경계면의 침식이 많았으며, 가공면이 양호하지 못하였다. 인산이 비교되어지는 가공에 가장 적합하다고 판단하여, 인산을 바탕으로 한 인산과 황산의 혼합액을 기본 전해액으로 설정하였다.

### 3.3 가공시간에 따른 실험결과 비교

적용된 전해액을 바탕으로 최적의 가공시간을 결정해 보았다. Fig. 3에는 5초일 경우에는 가공형상이 제대로 나타나지 않았으며, 20초가 경과되었을 때는 그루브 경계면 외곽부분의 가공이 급격히 증가되는 경향을 나타내고 있다.

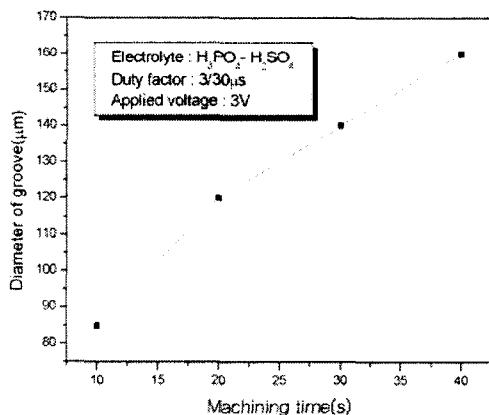


Fig. 3 Variation of groove diameter according to increase of machining time

### 3.4 가공간극에 따른 실험결과 비교

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 미세 가공일수록 가공간극과는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 50μm 일 경우 간극이 너무 작아서 반응이 너무 급속하게 발생하였다. 이는 간극사이에서 발생되는 발열이나, 수소가스의 발생등을 제대로 제어할 수 없을 정도로 간극이 작기 때문이다.<sup>(1)</sup> 간극이 200μm 이상부터는 그루브 패턴 형성이 제대로 이루어 지지 않으며,

그 경계면 외곽 부분에 까지 많은 가공이 이루어짐을 보여준다.

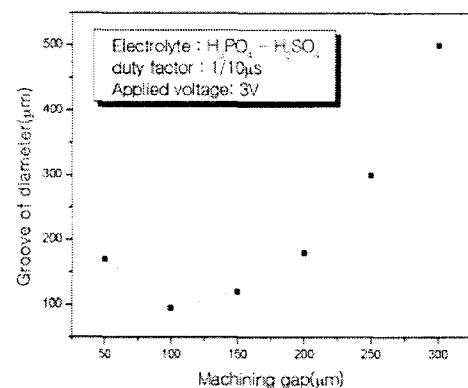


Fig. 4 Variation of groove diameter according to increase of machining gap

### 3.5 펄스폭에 따른 실험결과 비교

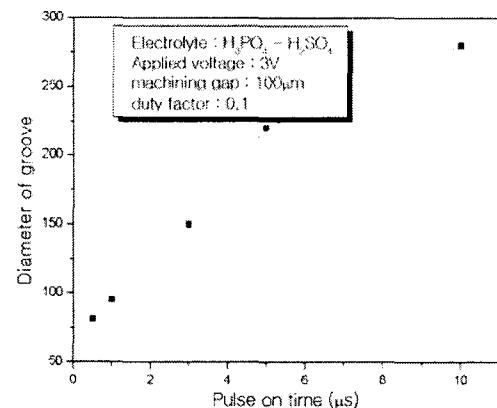


Fig. 5 Variation of groove diameter according to increase of duty factor

미세가공을 위한 실험으로 펄스 폭을 더욱 세밀하게 나누어 주었다. 펄스 폭의 on-time 이 300ns 이하일 경우에는 가공 속도가 현저히 떨어졌으며, 500ns 일 경우 전극봉과 비슷한 크기의 그루브(groove) 패턴이 형성되었다. 일반적으로 펄스 폭의 on-time 값이 증가할수록 그루브 직경이 크게 증가함을 알 수가 있으며, 최적의 duty factor를 얻기 위해서는 가공이 실현되는 한 최소의 값이 요구되어짐을 보여주고 있다.

### 3.6 허용전압에 따른 실험결과 비교

허용전압에 따라 가공상태가 달라짐은 전류밀도값이 가공을 결정하는 가장 기본적인 요소이기 때문이다. 과전압값(overpotential) 이하의 경우에는 가공이 이루어지지 않으며<sup>(4)</sup>, 또 한 전압값이 커지면, 가공이 급격하게 발생하여, 그루브 옆면을 침식하게 하는 작용을 한다. 이는 식(2)에서도 설명이 되듯이 저항과, 가공 간극 값이 일정하면, 입력되어지는 전압값에 의해 전류밀도 값이 달라짐을 알 수 있다.

Fig. 6 은 허용전압에 따른 가공상태를 나타내고 있다. 1V 이하 일때는 가공속도가 현저히 떨어져 가공상태를 확인하기가 힘들었으며, 허용 전압이 증가함에 따라 가공 속도도 증가하게 된다. 하지만, 허용전압이 증가함에 따라 그루브 옆면이 가공 또한 크기 때문에 적절한 전압 값이 요구 된다.

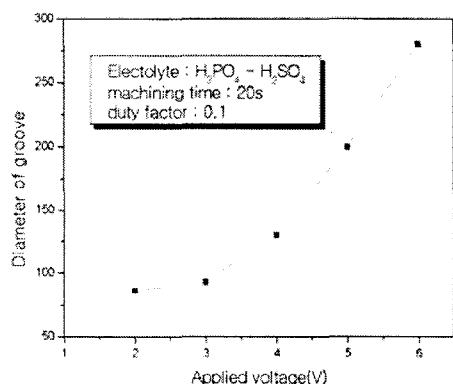


Fig. 6 Variation of groove diameter according to increase of applied voltage

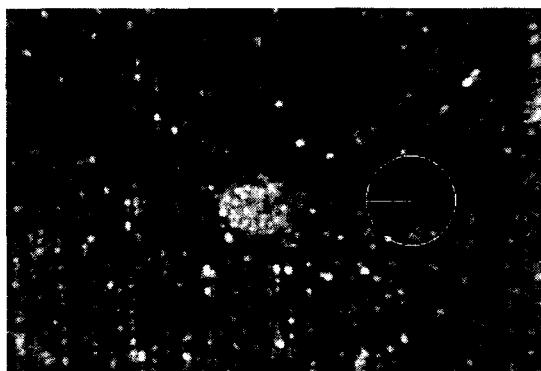


Fig. 7 Optimal case of groove machining

위와 같은 실험을 바탕으로 Fig.7 은 스테인레스 강 STS304 계열의 최적가공을 수행한 결과를 보여 주고 있다. 오른쪽 동그라미 부분이 지름이 80μm 인 전극봉의 크기를 나타내고 있으며, 그루브 가공 시 전극봉과 거의 유사한 크기의 가공이 이루어졌음을 알 수 있다.

### 4. 결론

마이크로 그루브 가공을 위한 전기화학 가공의 여러 파라메타를 적용하면서 스테인레스 304 계열에 대한 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전해액에 따라 그 비전도성과 화학반응성이 달라서, 반응속도가 달라지는 경향을 보여주고 있다.
2. 가공간극은 100μm 부분에서 최적의 가공이 이루어졌음을 알 수 있으며, 마이크로 가공을 위해서는 허용되는 범위 내에서 최소한의 펌스 폭을 주어야 가공상태가 양호해짐을 알 수 있다.
3. 마이크로 미세 가공에 대한 전액과, 가공간극, 가공시간, 허용 전압 등의 최적의 파라메타에 의해 양호한 그루브 가공이 가능함을 볼 수 있다.

### 참고문헌

1. McGeough, J. A., "Principles of Electro-chemical machining," Chapman Hall, London, 1974.
2. A.K.M. De Siver, H.S.J.Altena, J.A. McGeough, "Precision ECM by process Characteristic Modelling," Annals of the CIRP, Vol 49/1, pp.151-155, 2000
3. 박정우, 이은상, 문영훈, "미세 홈 형성을 위한 마이크로 전해가공에 관한 연구," 한국정밀학회 논문집 제 19 권, 제 4 호, pp101-108, 2002
4. 남종우, "현대의 전기화학," 청문각, 1995.