

## 미세 홈 형성을 위한 마이크로 가공기술에 관한 연구

박정우\*(부산대 대학원 정밀정형협동과정), 이은상(인하대 기계·항공·자동화공학부),  
문영훈(부산대 기계공학부)

### A Study on the Micro-machining Technique for Fabrication of Micro Grooves

J. W. Park(ERC/NSDM, PNU), E. S. Lee(Dept. of Mech. Eng. Division, IHU), Y. H. Moon(Dept. of Mech. Eng. Division, PNU)

#### ABSTRACT

Micro-machining, one of the non-traditional machining techniques, can achieve a wanted shape of the surface using metal dissolution with electrochemical reaction and can be applied to the metal such as high tension, heat resistance and hardened steel. The workpiece dissolves when it is positioned close to the tool electrode in electrolyte and the current is applied. Traditional machining has been used in the industries such as cutting, deburring, drilling and shaping. The aim of this work is to develop Micro-machining techniques for micro shape by establishing appropriate machining parameters of micro-machining.

**Key Words** : Micro-machining(마이크로 가공), Micro shape(미세형상), Metal dissolution(금속용해), High tension steel(고장력강), Heat resistance steel(내열강)

#### 1. 서론

마이크로 가공기술은 전자 통신, 반도체, 컴퓨터 OA 기기, 초정밀 공작기계 분야의 한단계 진보를 위해서는 필수적으로 적용되어야 하는 분야이다. 실제로 이론적 해석에 의하여 미세 형상이나 치수가 거의 구현되어 있는 현 시점에서, 그 정밀가공이 난해하거나 불가능하여 더 이상의 이론적 개발이 이론적인 결과로서만 남게되는 현상은 실용화를 위한 경제, 산업적 측면에서 상당한 손실임에 틀림없다.

전세계적으로 소형화, 저가, 고속의 전기 시스템의 필요성이 대두되고, 그에 따라 기존의 가공법에서 탈피한 새로운 방식의 가공법이 발생, 발전하게 되었다. 이러한 발전의 한 단계로 전기, 화학 반응을 이용하는 가공기술이 대두되고 있는데, 예로써 electro plating, electro-polishing, electrochemical machining, chemical etching, electro etching 등이 있다.

Electro plating은 전기화학 가공 중 가장 오래된 가공법으로 전해액 중의 순수 금속 또는 합금이온을 부착시키는 방법으로 electro-polishing과는 상반적인 작용원리이다.<sup>(1)</sup>

본 연구에서는 이러한 특수 가공법을 마이크로 가공으로 진보시켜 미세 형상의 고능률 가공기술을 달성하고 보고자 한다.

#### 2. 마이크로 가공기술

본 연구의 마이크로 가공기술은 기계적, 화학적, 전기적등의 가공효과를 복합으로 일으키면서 가공속도를 높여 금속용출을 이용하여 원하는 표면형상을 도출하는 특수가공기술로 고장력강, 내열재, 초경합금 등의 가공에 사용되는 방법이다.<sup>(2)</sup>

일반적으로 절단, 디버링, 구멍뚫기, 형조각 등의 분야에 적용되는 가공법으로 인식되고 있지만, 금번 연구에서는 가공 파라미터의 확립으로 마이크로 가공기술까지 진보시켜 미세 형상가공의 달성을 목적으로 한다.<sup>(3)</sup>

#### 3. 이론적 배경

페러데이 법칙(Faraday's law)에 의해 전기화학 가공 시 제거되는 금속량은 다음과 같이 정의된다.

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

*A* : atomic weight  
*I* : current  
*t* : machining time  
*z* : valency  
*F* : Faraday's constant (96500C)

따라서 단위시간당의 금속 제거율은 다음과 같다.

$$\dot{m} = \frac{AI}{zF} \quad (2)$$

여기서,  $\frac{A}{z}$  는 등가전기화학량(electro- chemical equivalent)라 하여 마이크로 가공 시 중요한 파라메터가 된다.<sup>(2)</sup>

합금의 경우에는 함유원소의 개수가 많기 때문에 "Superposition of charge" 방법을 적용하였는데, 이 방법은 다음과 같은 수식에 의해 정의된다.

$$\left(\frac{A}{z}\right)_{alloy} = 100 / \left[ \frac{X_A}{(A_A/z_A)} + \frac{X_B}{(A_B/z_B)} + \dots \right] \quad (3)$$

*A, B ...* : elements of alloy  
*X<sub>A</sub>* : % of element A  
*X<sub>B</sub>* : % of element B  
*A<sub>A</sub>* : atomic weight of element A  
*A<sub>B</sub>* : atomic weight of element B  
*z<sub>A</sub>* : valency of element A  
*z<sub>B</sub>* : valency of element B  
*F* : Faraday's constant

전류효율은 아래와 같이 계산에 의한 이론적인 금속 제거율과 실제 금속 제거율의 비로 정의된다.

$$\text{Current efficiency} = \frac{\dot{m}}{(A/zF)I} \quad (4)$$

전류효율이 100%라 함은 페러데이 법칙에 의해, 인가된 전류전체가 금속가공에 사용됨을 의미하며, 0%는 금속가공이 전혀 없이 전류가 사용되어짐을 의미한다.

마이크로 가공은 전류밀도, 전압, 가공시간 등의 파라메터의 미소변화가 가공성에 상당한 영향을 미치므로 가공에 앞서 전류밀도, 가공시간에 따른 이론적인 금속제거량의 측정이 필수불가결하다. 따라서 Fig. 1, Fig. 2의 이론적 시뮬레이션 결과를 토대로 적용 전류밀도 범위와 가공시간 범위를 근사적으로 추측하여 원하는 가공깊이를 달성하였다.

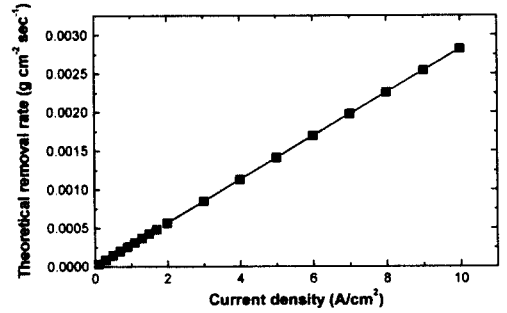


Fig. 1 Theoretical removal rate according to current density

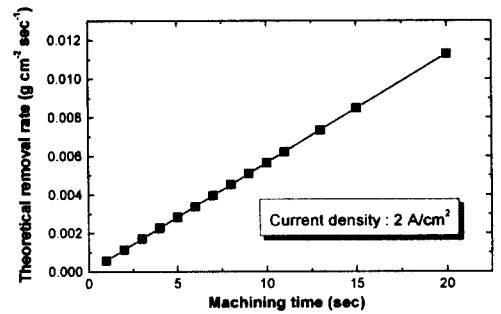


Fig. 2 Theoretical removal rate according to machining time

상기의 시뮬레이션 결과는 이론적인 파라메터인 전류, 가공시간, 금속성분 등의 기초적 데이터를 매개 변수로 한 것이나, 실제로는 전류조건, 화학적인 반응 변수, 제반 기타 가공 장치 구성등의 등의 여러 조건에 따라 그 결과가 상이하게 나타난다.

## 4. 실험결과

### 4.1 실험조건

Table 1 Experimental conditions

Workpiece (anode)	STS304 DISC
Electrolyte	Aqueous solution A Aqueous solution B
Electrode (cathode)	Cu
Surface tester	CCD Camera

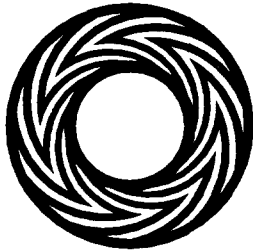


Fig. 3 Shape of pattern

#### 4.2 마이크로 가공 조건

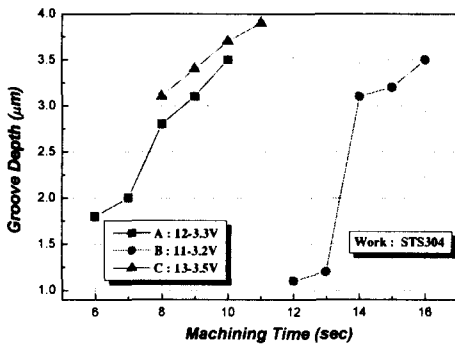


Fig. 4 Relationship between machining time and groove depth

Table 1은 실험조건을 나타내는 표이다.

Fig. 3은 본 실험에서 실험적으로 구현하고자 하는 미세 홈을 가진 패턴 형상이다.

Fig. 4는 각각의 가공 전압조건에 대한 그루브 깊이를 가공시간에 따라 분석한 것이다.

상기의 실험 결과에서 알 수 있듯이 가공시간이 증가하거나 적용 Voltage 값이 증가하면 그루브의 깊이가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 가공시간의 증가보다는 적용전압을 증가시키는 것이 더욱 효율적이다.

Fig. 5는 여러 가공 전원조건에 따른 그루브 형상 및 깊이의 변화를 나타낸 결과이다. 근사적으로 B와 D의 가공 전원조건에서 그루브 깊이가 증가되는 경향을 보이고 있다. 여러 전원의 조건을 유지함에 따라서 그루브 깊이가 다르게 나타내는 결과를 나타내고 있다.

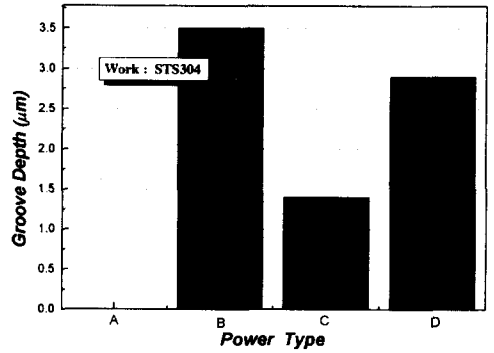


Fig. 5 Relationship between power type and groove depth

#### 4.3 가공액에 따른 평가

Table 2 Comparison of Electrolytes

NO.	Electrolyte	Groove Profile
1	A	
2		
3	B	
4		

A 용액의 경우에는 약간의 부식성이 있는 동시에 전류밀도의 대소에 불구하고 거의 100%의 전류효율이 얻어지기 때문에 전극간극이 먼 부위에도 가공이 일어나고, 부동태화 하기 어려운 가공액의 경우 과도한 전류밀도로 인한 국부적인 피트작용이 발생하여 높은 가공정밀도를 얻기는 힘들다.

반면에 B 용액의 경우에는 A 용액의 경우에서 보다 상당히 향상된 결과를 보이고 있다. 가공깊이가 5~10μm이내에 존재하며 가공표면의 거칠기가 가공전의 표면과 거의 유사한 결과를 나타내고 있다. 이는 부동태화 정도가 그리 강하지도 약하지도 않은 가공액의 사용으로 금속표면에 적당한 부동태 피막을 형성하여 균일한 가공작용을 일으킬 뿐만 아니라 낮은 전류밀도 영역에서는 전류효율이 낮기 때문에 원하는 부위에만 가공현상을 일으키기 때문이다.

#### 4.4 패턴의 형상분석

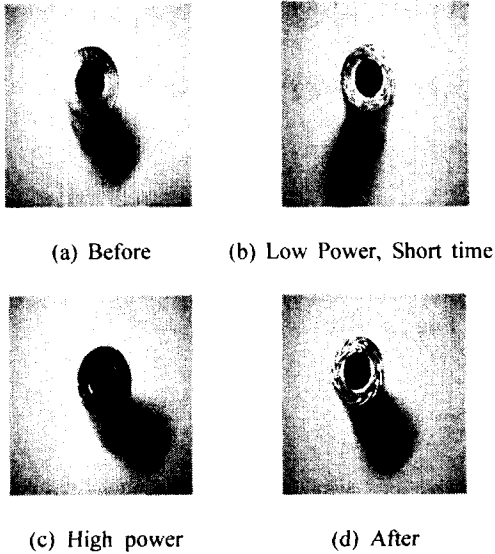


Fig. 6 Comparison of patterns

Fig. 6은 마이크로 전기화학 가공의 패턴을 비교한 것으로 (a)는 전기화학 가공 이전의 공작물 상태이며, (b)는 전기화학 반응이 이루어지는 중간단계로서 Groove의 경계가 뚜렷하지 않다. (c)는 과도한 전원사용으로 인하여 패턴이 형성됨과 동시에 제거되지 않아야 할 부분까지 부식현상이 발생하는 결과를 나타내며, (d)는 패턴형성이 비교적 뚜렷한 공작물의 상태를 나타낸다.

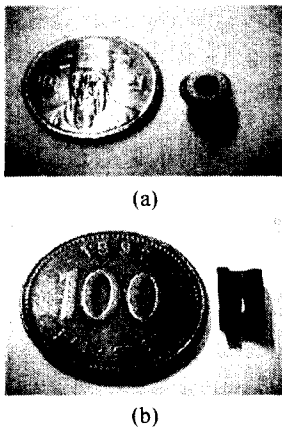


Fig. 7 Photographs of various groove patterns

Fig. 7은 평면 형상의 패턴과 내경 부분의 곡면형상의 패턴을 가공하여 그 크기를 비교한 것으로 미소한 형상의 패턴을 제작 시 마이크로 가공기술의

다양한 적용범위를 나타낸다.

#### 5. 결론

1. 이론적 시뮬레이션 결과를 토대로 적용 전류 밀도 범위와 가공시간 범위를 근사적으로 추측하여 원하는 가공깊이를 달성하였다.

2. 가공액은 부동태화 반응이 적절히 발생하여 균일한 제거작용을 일으키는 가공액이 부동태화 반응을 용이하게 일으키지 않는 가공액보다 우수하다.

또한, 여러 가지 조건의 변화에 따라서 미세 가공 그루브의 깊이가 변화되는 현상을 보이고 있다.

3. 본 연구의 마이크로 가공기술을 적용하여 미세 형상의 패턴을 제작한 결과 다양한 미소 패턴의 효율적 제작이 가능함을 보였다.

#### 참고문헌

1. Datta, M., "Applications of Electrochemical Microfabrication: An Introduction", IBM Journal of Research & Development, Vol. 42, Issue 5, pp563, 1998.
2. McGeough, J. A., "Principles of Electro-chemical Machining", Chapman Hall, London, 1974.
3. Chikamori, K., "Possibilities of Electro-chemical Micromachining", International Journal of JSPE, Vol. 32, pp.37-38, 1998.
4. De Silva, A. K. M. and McGeough, J. A., "Process Monitoring of Electrochemical Micromachining", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 76, pp.165-169, 1998.