

## 점 전극을 이용한 전해연마법의 제안

이 승 훈\*, 배 순 흥\*, 박 규 열\*\*

### A proposal of the electrochemical polishing method using the point electrode tools

Seung-Hun Lee\*, Soon-Heung Bae\*, Kyu-Yeol Park\*\*

#### ABSTRACT

In this paper, the new electrochemical machining method is proposed for the micro unit fabrication by using the point electrode tools. The precision shape control capacity is improved by using the point electrode method. It was observed that an electric discharge phenomenon occurs during the electrochemical machining process by using the spraying and torrent type electrolyte supply method.

**Key Words** : Electrochemical machining(전해가공), Electrolysis(전해), Electric discharge phenomenon(방전현상), Point electrode(점 전극), Spraying method/Torrent method(분사/분류 공급법)

#### 1. 서 론

마이크로 혹은 나노미터의 세계에서 발현되는 현상들의 산업적 이용에 관한 관심이 높아지면서 마이크로 형상을 갖는 각종 센서 및 액츄에이터 등과 같은 기능부품의 제조기술에 관하여 연구가 활발해지고 있다. 이와 같은 연구와 병행하여 궁극적으로는 마이크로 기계시스템(Micro electronic machine system: 이하, 마이크로 머신으로 약함)의 구축을 목적으로 하는 연구 또한 활발하게 진행되고 있는 것으로 알려져 있다. 현재, 실리콘을 대상으로 하고 반도체 제조기술로 이용되는 리소그래피(Lithograph)기술과 레이저를 사용하여 마이크로 기능소자를 제작한 실례가 다수 보고되어 있다. 단, 이 경우에 제작가능한 부품의 형상은 주로 이차원적이며 또한 삼차원의 구조를 갖는다

해도 삼차원의 기능을 수행하는데 있어서는 한계가 존재하게 된다. 이와 같은 배경 하에서 마이크로 형상을 갖는 기능소자의 삼차원적 형상제조를 실현할 수 있는 각종 방안이 제안, 검토되고 있다.

한편, 최근에 와이어 컷 방전가공(Wire EDM)에 있어서 와이어 전극을 정밀주행시키는 시스템을 사용하여 마이크로 단위의 형상가공이 가능한 것이 입증되어 마이크로 머신용 구조부품의 제작기술로 검토되고 있다. 동 방법은 전용의 와이어 전극 가이드용 시스템을 사용함으로써 방전역에서의 제거단위의 미세화 및 형상 제어성의 극대화를 통하여 초미세 형상가공을 실현하는 방법이다. 단, 방전가공에 있어서는 가공기구에 기인하는 표면거칠기의 한계가 존재한다. 그러나 마이크로 혹은 서브 마이크로의 단위를 갖는 부품은

\* 울산대학교 기계공학부 대학원

\*\* 울산대학교 기계공학부

표면효과로 인하여 마찰로 소비되는 에너지의 단위가 극히 크게되며 이로 인하여 기능의 저하, 장애를 초래하게 된다. 따라서 이와 같은 마찰손실을 억제하기 위해서는 표면의 거칠기를 가능한 향상시키는 것이 유리하다. 본 연구에서는 이와 같은 용도로 전기화학적 에너지를 이용하는 전해가공법의 적용을 제안하였다. 일반적으로 전해가공은 전극의 소모가 없고 전류밀도에 비례하여 가공속도를 증대시킬 수 있으며 가공표면에 변질층이 생기지 않는 등의 장점을 갖는 반면, 가공형상의 정밀도를 유지하는 것이 어렵다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 전해가공에 의한 마이크로형상물의 경면연마가공 중에 예상되는 누설전류에 의한 가공정밀도의 저하방지 및 가공단위의 미세화를 목적으로 점 전극을 이용하는 새로운 전해가공법을 제안하였다. 본문에서는 점 전극법을 이용한 전해가공법의 개요 및 적용방안을 소개하고 예상효과 및 기초실험 결과에 관해서 기술한다.

## 2. 점 전극을 이용한 전해가공법

일반적으로 전해가공은 전극의 소모가 없고 전류밀도에 비례하여 가공속도를 증대시킬 수 있으며 표면에 가공변질층이 생기지 않는 장점을 갖는 반면, 높은 형상정밀도를 구현하는 것이 곤란하다. 이와 같은 문제점을 보완, 개선하기 위하여 전해액과 공급전원 등을 포함한 제반 전해조건에 관하여 많은 연구가 수행되고 있다. 일례로, 가공전원으로 펄스전류를 이용하는 방안이 보고되어 10~20 $\mu$ s의 짧은 펄스폭을 이용하면 가공정도가 향상되고, 펄스폭이 짧고 충격계수가 작은 펄스전류를 이용하면 정지전해액 중에서도 100A/cm<sup>2</sup> 정도의 고전류밀도의 전해가 가능하다. 또한 차단특성이 뛰어난 펄스파형을 이용한 전류차단법으로 고전류밀도 영역에 대한 전극전위가 측정가능하다는 사실이 보고되어 있다.

Fig. 1은 점 전극을 이용한 마이크로형상물의 전해가공장치의 구성을 도시한 것으로서 크게 공구 및 공작물의 미세 위치결정시스템과 가공액 공급장치 및 가공액 여과, 순환장치로 구성된다. 본 방식은 전해가공을 전해액이 충전된 전해조

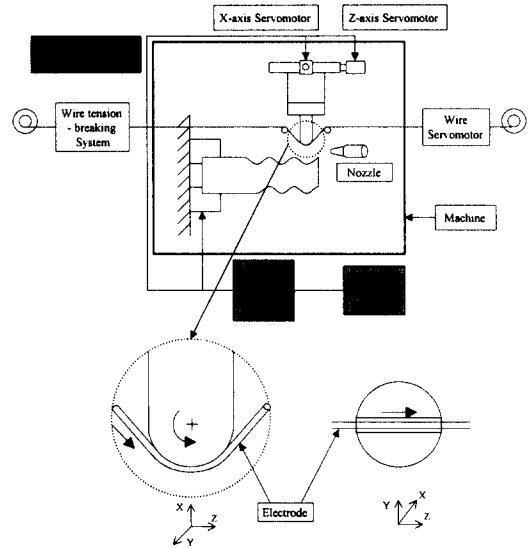


Fig. 1 Schematic illustrations of micro machining system using the wire electrode



Fig. 2 Wire electrode feeding system

(전해액중)에서 수행하는 일반전해가공과는 달리 전해액을 외부로부터 공급하는 차이를 갖는다. 점 전극을 사용하는 전해가공의 경우, 마이크로형상물의 경면가공을 목적으로 하며 따라서 가공단위는 극히 미세한 것으로 추정할 수 있다. 따라서 가공단위의 미소화 및 형상 추종성을 확보하기 위하여 전극으로는 와이어 컷 방전가공용 와이어 전극을 사용하였으며, 전용의 공구위치결정용 구동시스템을 장착하였다. 가공에 있어서는 전해액을 분류 혹은 분사공급하는 방식을 적

**Table 1 Specifications of the experimental setup**

Machine tool	TurningCenter(T/C):Hi-ECO21HS [HWACHEON HEAVY INDUSTRY Co.,Ltd.]
Power Supply	TRUELID Power Supply:TED-620 [DAE GEON PRECISION CO.,Ltd.] DC REGULATED Power Supply:HC1350AD [HUNG CHANG PRODUCTS CO.,Ltd.]
Electrolyte	20% Aqueous sodium chloride (NaCl)
Electrode	PAPS:SBH-25(0.25mm) [PUNG KOOK PRODUCTS CO.,Ltd.]
Workpiece	Steel(S45C) Brass Aluminum(Al2024)
Others	Optical Dimensional Metrology Center [INTEK ENGINEERING CO.,Ltd.] Wire electrode feeding system : Point electrode Tool( $\phi$ 12)

용하였으며, 가공액의 공급방식에 따라서 전해현상에 차이가 존재하는 것으로 예측할 수 있다.

### 3. 실험장치 구성 및 실험결과

#### 3.1 실험장치 및 실험방법

Table 1은 본 실험에 사용된 주요 장비의 사양을 나타낸다. 기초실험에서는 국내 화천중공업사의 터닝센터와 일반 와이어 방전가공에 사용하는 직경 0.25mm의 와이어전극을 사용하였다. 와이어의 위치조정 및 주행을 위해서는 자체제작한 Fig. 2의 전용 주행시스템을 사용하였으며, 실험에는 전용의 전해액 공급장치를 사용하여 전해액의 공급방식에 따른 가공성능의 차이에 관하여 조사하였다. 피가공물로는 일반 강재료(S45C)와 황동

**Table 2 Specific conductivity of electrolyte**  
[ $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ]

Solute	Concentration[%]			
	5	10	15	20
NaCl	0.067	0.121	0.164	0.196
KCl	0.069	0.136	0.202	0.268
NaNO <sub>3</sub>	0.044	0.078		0.130
KNO <sub>3</sub>	0.045	0.084	0.119	0.151
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		0.057		0.113

및 알루미늄을 사용하였다. 전원장치로는 직류전원 공급장치와 직류펄스형 전원공급장치를 사용하였다. 점 전극을 이용하는 전해가공의 경우, 일반 전해가공에 비하여 가공단위가 적기 때문에 전해액으로는 전류효율이 좋은 염화나트륨 수용액(20%)을 이용하였으며, 향후 전해액의 종류에 따른 가공성능의 차이에 관하여 조사할 예정이다. 참고로 Table 2는 각종 전해액의 비전도도를 나타낸다.

실험방법은 먼저 전해조(전해액중)에서 일반 전해가공 현상을 파악하기 위하여 기초실험을 행하였으며, 다음으로 터닝센터에서 절삭공구를 이용하여 1차 형상가공된 피공작물을 사용하여 2차 가공으로 점 전극법을 이용한 전해가공을 실시하였다. 전해가공전원의 양극을 공작물측에, 음극을 점 전극의 공구측에 연결하고, 가공조건들을 변화시켜가면서 가공특성을 관찰, 평가하였다.

#### 3.2 실험결과 및 고찰

##### (1) 전해액중에서의 전해가공

점 전극법을 이용하는 전해가공의 예비실험으로서 동일한 조건하에서 일반 전해가공방식으로

**Table 3 Specific removal volume of the metallic elements [ $\text{mm}^3/\text{A} \cdot \text{min}$ ]**

Element	atomic value	Specific removal volume	Element	atomic value	Specific removal volume	Element	atomic value	Specific removal volume
Al	3	2.1	Cu	1	4.4	Ni	2	2.1
Cr	2	2.3		2	2.1		3	1.3
	3	1.5	Fe	2	2.3	Ti	3	2.1
	6	0.8		3	1.5		4	1.6
Co	2	2.1	Mo	3	2.0	W	6	1.0
	3	1.3		4	1.5		8	0.8

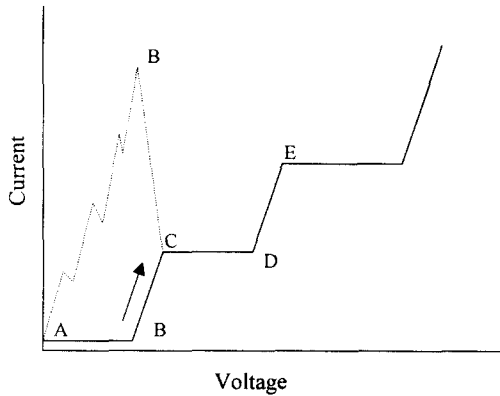


Fig. 3 Polarization curve

전극과 공작물을 구리 대 구리, 구리 대 알루미늄 및 구리 대 강(S45C)으로 전해특성을 조사하였다. 그 결과, 구리 대 구리가 용출속도(용출량)가 빠른 것이 육안으로 관찰되었다. 이러한 결과는 Table 3에 제시한 바와 같이 구리의 비가공체적이 가장 크다는 사실에 기인하는 결과이다. 단, 이 경우에 극간의 간격이 좁아지면 양극에서의 부동태층에 의해서 가공이 순조롭게 진행되지 않는다는 사실을 확인하였다. 또한, 전해가공은 공작물의 종류, 전해액의 종류와 온도 및 공급속도, 전류밀도 등에 따라 가공량, 가공면 등이 다르게 되며, 따라서 점 전극법을 이용하는 마이크로 형상물의 전해가공에 있어서는 이와 같은 부

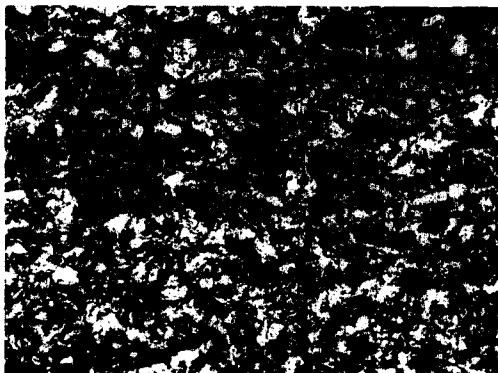
동태화층의 생성 및 역할이 필수적으로 고려되어야 한다는 사실을 추정할 수 있다.

(2) 직류전원을 이용한 점 전극법(정전압)

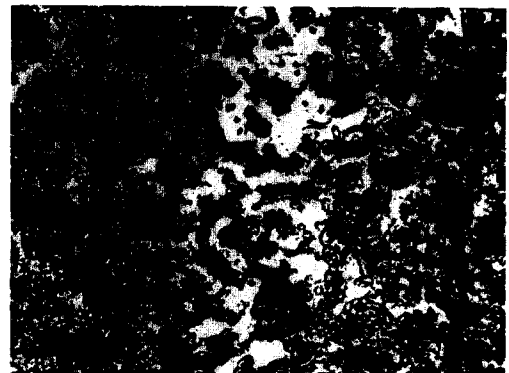
점 전극을 이용한 실험에서는 직류전원 공급장치를 이용해서 각각 10V, 15V, 20V, 30V의 정전압조건 하에서 전해액은 분류식으로 공급하였다. 전압이 일정한 상태에서 가공간극에서의 저항값의 변동으로 인하여 전류치가 수시로 변화하여 일정한 가공상태를 유지하는 것이 곤란한 것으로 나타났다. 이는 전해액 농도의 불균일과 더불어 전해액의 불균일한 공급에 기인하는 것으로 사료된다. 전류값의 차이로 인하여 가공량이 불균일하게 되고, 가공면은 전압이 높아질수록 방전가공면에서 나타나는 방전흔적과 유사한 흔적이 많이 잔류하는 거친면이 생성되었다. Fig. 4(a)는 정전압에서의 가공면이다.

(3) 직류전원을 이용한 점 전극법(정전류)

직류전원 공급장치를 이용해서 정전류의 조건으로 전해액을 분류공급하였다. 이 경우에는 전기의 결과와는 상이하게 전압이 수시로 변화되는 것으로 나타났다. 전류가 일정하면서 전압이 변화하고 있는 것은 일반 전해가공에서의 분극곡선으로서 설명이 가능하다. Fig. 3은 전해가공에서의 분극곡선을 나타낸다. 그림에서 AB부분은 미약한 전류( $10^{-6}$ A)로 이 부위에서는 전해가 일어



(a) Constant voltage (20V)



(b) Constant current (2A)

Fig. 4 Surface features ( $640 \times 480 \mu\text{m}$ )

나지 않는 잔여전류영역, BC에서는 전류가 증가해서 양·음극에서 물이 전기분해 되면서 가스가 발생하는 활성화영역, CD부분은 이온이 확산으로 이동하는 부동태화영역, DE부분은 과부동태화영역, AB'C부분은 전해액이 교반되면서 극대전류가 나타나는 영역이다. 전해가공에서 경면을 얻을 수 있는 범위가 전압이 변화해도 전류가 일정하게 되는 CD부분인 것으로 알려져 있다. 점전극법에서는 이러한 정전류의 조건에서도 Fig. 4(b)와 유사한 가공면이 형성되는 것으로 확인되었다. 점 전극법을 이용하는 전해가공에서 방전면이 형성되는 과정은 Fig. 5와 같이 추정할 수 있다. 즉, 전해액을 외부에서 공급함으로써 전해가 일어나는 점 전극 주위에는 전해액의 입자(액적)들과 발생가스들이 혼합되고 이들이 콘덴서 역할을 하여 방전현상을 동반하는 결과로 사료된다. 초기 점 전극의 중심부에서 정상적인 전해작용이 발생된 부분도 전극이 이송함에 따라서 다시 점 전극 주위의 방전현상이 발생하는 과정이 반복되면서 가공면에는 방전혼적이 주류를 이루게 되는 것으로 생각할 수 있다. 실제로, 전해액을 (공기와 혼합하여) 분무시키는 방식으로 공급을 하게 되면 방전현상이 더욱 현저해지며 가공량은 상대적으로 감소하는 것으로 확인되었다. Fig. 6(a)는 와이어컷 방전가공면, (b)는 점 전극을 이용한 전해가공면으로 Fig. 6(b)의 경우에 전해가공면과 방전가공 혼적이 공존하는 상태를 나타낸다.

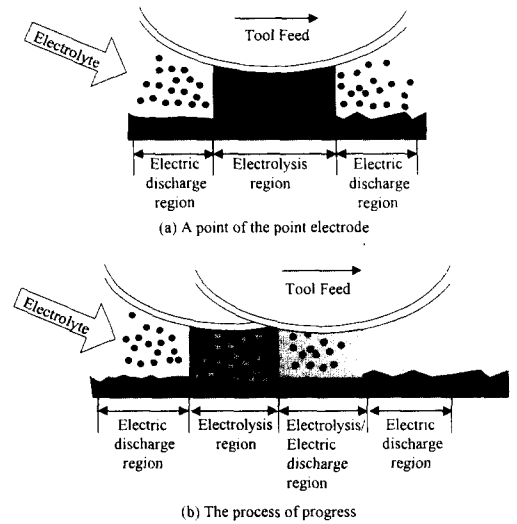
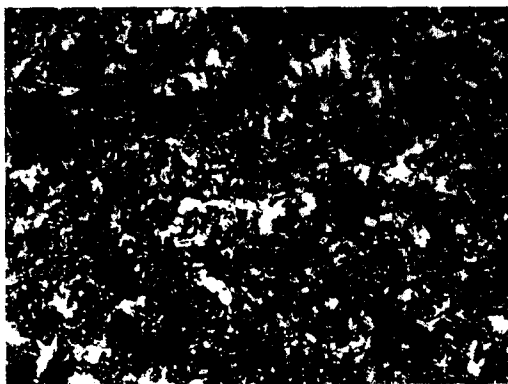


Fig. 5 Creation of Electric discharge surface

#### (4) 직류펄스전원을 이용한 점 전극법

직류펄스전원을 전해가공에 이용하게 되면 정전류를 공급했을 때와 비슷한 양상을 띄고 있지만 방전에 의한 영향이 많이 나타난다. 이와 같은 방전에 의한 영향들은 펄스전류의 피크치가 커질수록 증대하며, 또한 전해액을 분무시키면 방전현상이 현저해져서 방전현상을 육안으로도 관찰할 수 있다.



(a) Wire Electro Discharge Machining



(b) Point Electrochemical Machining

Fig. 6 Surface features ( $640 \times 480 \mu\text{m}$ )

#### 4. 결 론

마이크로 형상물의 초정밀 경면전해가공 기술을 확보하기 위한 수단으로 점 전극을 이용한 전해가공법을 제안하고 기초실험을 수행하였다. 정성적으로 얻어진 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 전해가공에서는 비가공체적이 존재하고 동일한 전류밀도에서도 공작물에 따라 가공량이 다르게 된다.
- 점 전극을 이용한 전해가공에서는 가공조건에 따라서 전해에 의해서 생성된 전해면 이외의 방전면을 동반한다.
- 점 전극법에서도 경면을 얻을 수 있는 전기적 조건이 존재한다.
- 전해액을 분사할 경우 가공량이 현저하게 감소하고 방전현상이 증대된다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 지원 한·일 공동연구의 일환으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 木本康雄, "電氣·電子應用精密加工", オーム社. 1982.
2. Masuzawa, T., Sakai, S., "Quick Finishing of WEDM products by ECM using a Mate-Electrode", *Annals of the CIRP*, 36,1: 123-126, 1987.
3. Masuzawa, T., Kimura, M., "Electrochemical Surface Finishing of Tungsten Carbide Alloy", *Annals of the CIRP*, 40,1: 199-202, 1991.
4. 近森邦夫, "電解加工におけるパルス電流の利用", *機械技術研究所報告*, 第137号, 1986.