

전해 가공 방법을 이용한 다중 마이크로 전극 제작

권순근[†] · 임형준* · 김수현** · 곽윤근**

Electrochemical Fabrication of Multi Microelectrodes

Soon-Geun Kwon, Hynug-Jun Lim, Soo-Hyun Kim and Yoon Keun Kwak

Key Words : Fabrication(제작), Multi microelectrodes(다중 마이크로 전극), Electrochemical etching(전해 에칭), Diffusion layer(확산층)

Abstract

In recent years, demands on microelectrode have been greatly enhanced because of its potential applications and mass production of microelectrodes is needed. An electrochemical fabrication is used as a method for the simple and cheap fabrication of multi microelectrodes. In this paper, one dimensional microelectrode array is used for fabricating of multi electrodes. A diffusion layer which is formed near the electrode surface has an effect on the shape error of multi microelectrodes. The optimal distance between electrodes to minimize shape errors of multi electrodes is investigated. Multi microelectrodes which has several tens of and hundreds of micrometer in diameter are fabricated at a time.

1. 서 론

최근의 기술개발은 보다 작고, 빠르고 정확한 기술을 필요로 하는 방향으로 이어지고 있다. 그리고 이것을 실현하기 위해서, 보다 작은 기계요소에 대한 가공방법이 필수적으로 필요하다. 수십 마이크로미터에서 수 밀리미터에 이르는 구조물의 가공에 사용되는 마이크로 가공기술은 크게 두가지의 방법으로 이루어지고 있다. 첫째는 기존의 상용기술을 소형화시켜 마이크로 절삭가공 및 연삭가공등의 방법을 발전시킨 경우가 있다. 두번째로 기존의 범용기술이 아닌 특수한 가공방법을 이용하여 마이크로 가공기술을 이용한 예가 있다. 이중 대표적인 방법인 방전가공은 비접촉식 가공방법으로 대상 재질이 다양하며, 공구로 사용되는 전극의 형상이 그대로 전사되므로, 여러가지 형상의 가공이 가능하다.

최근 와이어 방전가공과 같은 기술의 개발로, 공작물을 다양한 형태로 가공할 수 있는 방법이 소개되고 있다. [1]

그러나, 방전가공을 위해서는, 공작물을 가공할 수 있는 전극의 제작이 선행되어야 한다. 방전가공에 사용되는 미세전극의 제작은 마이크로 선삭 및 연삭 기술을 이용하여, 수십 마이크로미터의 전극을 가공하는 방법이나 와이어 방전가공이나, 전해가공방법과 같은 특수 가공 방법을 진행되어 왔다. 기존의 가공기술을 이용하는 경우, 가공속도가 느리고 고도의 숙련된 기술을 필요로 하게 되어 가공용 공구로써 사용되는 미세 전극의 대량생산에 있어서는 많은 어려움을 가지게 된다. 현재까지 미세전극의 대량생산과 관련하여 진행되어 온 연구는 주로 특수한 가공을 이용하여 진행되어 왔다. Weng 은 방전가공의 속도를 향상시킬 목적으로 와이어 방전 연삭을 이용하여, 다중전극을 제작하고, 이를 이용하여 방전가공을 수행하였다. [2] 그리고 인치현은 전해 가공방법을 이용하여, 텅스텐 미세 탐침 배열을 가공하였는데, 공구로써 사용될 목적은 아니었지만, 전해 가공방법을 이용함으로써 대량으로 가공물을 얻을 수 있음을 보였다. [3]

[†] 한국과학기술원(KAIST)
E-mail : kluivert@kaist.ac.kr
TEL : (042)869-3252 FAX : (042)869-5201

* LG 전자 디지털미디어 연구소 DCT 그룹

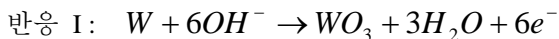
** 한국과학기술원(KAIST)

본 논문에서는 방전가공의 가공용 공구로서 사용될 미세 전극의 대량생산을 목적으로, 전해 가공 방법을 이용하여 한번의 가공으로 여러 개의 다중 마이크로 전극을 제작해 본다.

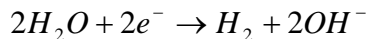
2. 미세 전극제작을 위한 전해 프로세스

2.1 전해 프로세스의 원리

전해 프로세스는 Fig.1 과 같이 전해액에 담겨있는 두 개의 전극에 전류를 인가하게 되면, 양극에서는 금속이 전자를 잃으면서 금속이온으로 변하여, 전해액 속으로 용해되는 산화반응이, 음극에서는 주변의 이온이 전자를 얻어, 분자의 형태로 석출되는 환원반응이 일어나는 과정이다. 전해프로세스에 의한 미세 전극의 제작은 제작하고자 하는 전극을 양극으로 하여 양극의 산화반응으로 발생되는 형상변화를 이용하여 가공하는 방법이다. 전극의 재료로는 텅스텐을, 전해액으로는 수산화칼륨 수용액을 사용하면, 양극에서는 아래의 두 단계의 텅스텐의 산화반응을 얻을 수 있다.[4]



한편 음극에서는 음극 주변에 있는 물 분자들이, 수소이온과 수산화 이온으로 분해되면서 수소 이온들이 전자를 얻어 수소기체로 되는 환원 반응이 발생되게 된다.[4]



2.2 균일한 미세 전극의 제작

전해 프로세스를 이용하여 미세전극을 가공할 때, 인가한 전기량과 가공량 사이의 관계식은 패러데이 법칙(Faraday's law)을 사용하여 얻을 수 있다.

$$V_p = \frac{A}{\rho_M zF} Q$$

여기서 V_p 는 가공된 금속의 부피이고, Q 는 인가해준 전기량, A 는 금속의 원자량, ρ_M 은 금속의 밀도, z 는 하전수, F 는 패러데이 상수이다.

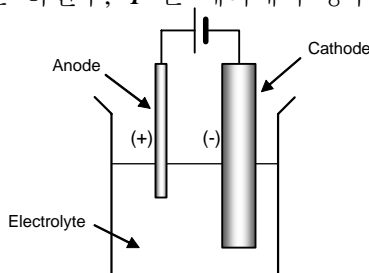


Fig.1 Schematic diagram of electrochemical process

위의 식을 시간 t 에 대하여 미분을 하면

$$\frac{dV_p}{dt} = \frac{A}{\rho_M zF} i = \alpha_e i$$

의 결과를 얻게 된다. 균일한 직경분포를 가지는 미세 전극 제작을 위해서는 직경방향으로 제거되어지는 가공량을 일정하게 해야 한다. 위의 식의 양변을 전해질 용액 속에 담겨진 전극의 표면적으로 나누게 되면,

$$D_v = \frac{dV_p}{dt} \frac{1}{A_p(t)} = \alpha_e \frac{i}{A_p(t)} = \alpha_e J$$

의 식을 얻을 수 있다. D_v 는 1 초 동안, 단위면적당 용해되는 전극의 부피이고, $A_p(t)$ 는 가공중 전해질 용액에 담겨진 전극의 표면적이고, J 는 전극에 부과되는 전류밀도를 나타낸다. 즉 전극의 직경방향으로의 가공량을 일정하게 하기 위해서는 전극에 부과되는 전류밀도의 값을 일정하게 유지시켜야 하며, 이것은 전극에 부과되는 전류의 값을 조절함으로써 이룩할 수 있다.[5]

3. 다중 마이크로 전극의 가공

3.1 다중 전극 제작의 원리

본 논문에서 제시하는 다중전극 제작의 원리는 앞서 언급하였던, 하나의 전극을 제작하는 조건을 응용하여 얻을 수 있다. 본 논문에서는 기본적으로 여러 개의 전극 제작을 목적으로 하기 때문에, 전극 각각에 전류를 부과하는 형태를 취하지 않고, 전극 개수에 비례하여 전체 전류를 인가하도록 설정하였다. 따라서 N 개의 전극을 제작하고자 할 때, 인가되어야 하는 전체 전류함수 값은 균일한 하나의 전극을 제작할 때 필요한 전류함수 값의 N 배 값이 된다. 한편 전극의 길이방향의 크기를 결정하는, 전극을 전해질 용액 속에 담긴 깊이 값은 하나의 전극을 제작하게 될 때, 필요하게 되는 값을 그대로 사용하였다. 마지막으로 전극 가공을 수행하는 시간도 하나의 전극을 가공할 때 소요되는 시간을 그대로 사용하였다. 전체 가공시간이 하나의 전극을 가공할 경우와 같은 시간이 소요되므로, N 개의 전극을 가공하는 경우, 하나의 전극 제작에 소요되는 시간을 $\frac{1}{N}$ 로 줄일 수 있다.

$$I_{total}(t) = N \times I_s(t)$$

$$L_{total}(t) = L_s(t)$$

$$t_{total}(t) = t_s(t)$$

$I_s(t)$: 하나의 전극제작 시, 필요한 전류합수 값

$L_s(t)$: 하나의 전극제작 시, 매시간 담근깊이 값

$t_s(t)$: 하나의 전극제작 시 소요되는 가공시간

3.2 다중전극 제작 형상 결정 요인

다중전극 제작과 관련하여, 제작된 전극들의 형상 차이에 영향을 주는 가장 큰 요인은 전해가공시 전극들 표면에 발생하는 확산층의 존재이다. 여러 개의 전극을 일정 인접거리를 두고 위치시킨 뒤, 전해가공을 수행하였을 때, 인접한 전극들의 확산층의 영향으로 하나의 전극을 가공할 때와는 다른 가공특성이 예상된다 Fig. 2 와 같이 전극들 사이의 인접거리가 매우 가까운 경우(수백 μm 의 경우), 전극들 표면에 형성되는 확산층이 공유(overlap)되는 현상이 발생할 수 있다. 이와 반대로 인접거리를 떨어뜨리게 되면, 이웃하는 확산층의 영향이 적어지게 될 것이다.

3.2.1 확산층의 영향

인접한 전극들의 확산층 효과를 알아보기 위하여 2 개의 전극을 다양한 인접거리를 두고 위치시킨 뒤, 가공을 수행하였다. 제작하고자 하는 전극의 형상은 끝단 직경이 100 μm 이고, 각 단의 직경변화가 150 μm 인 3 단형 전극으로 정하였다. 인접거리를 4, 6, 12, 20, 24mm 로 바꾸어가면서 각 단의 전극 직경값을 측정하였다. Fig.3 은 2 개의 전극의 평균 직경 값과 전극들 사이의 직경편차 값을 보여주고 있다. 얻어진 결과로부터, 인접거리가 비교적 작은 경우, 전극의 평균 직경값이 원하고자 하는 전극의 직경 값보다 크게 얻어짐을 알 수 있었고, 이러한 현상은 전극의 직경이 작아짐에 따라 더 크게 나타났다

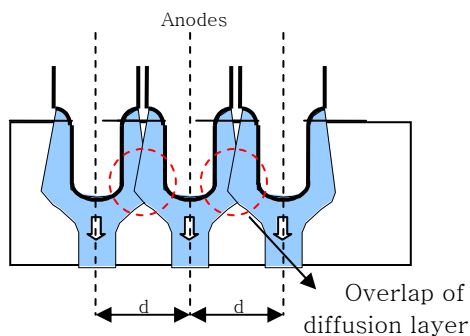
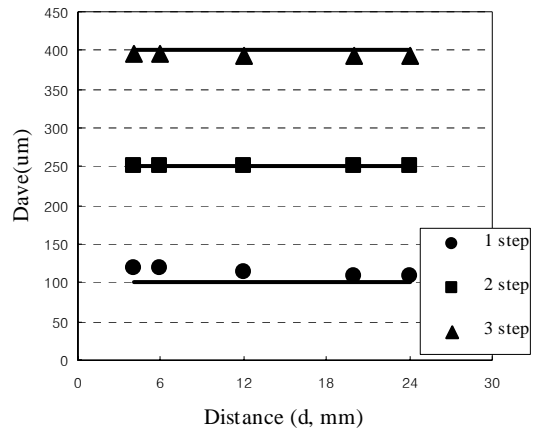
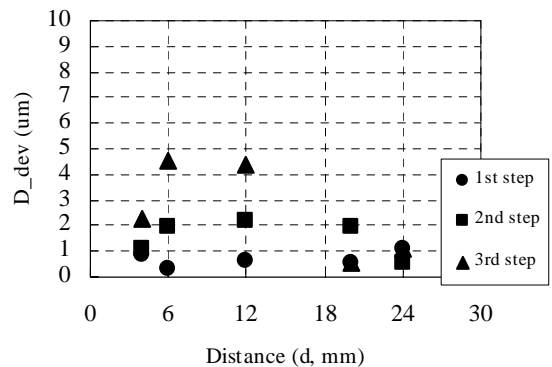


Fig. 2 Overlap phenomenon of diffusion layer



(a)Average diameter of two multi electrodes



(b)Diameter deviation of two multi electrodes

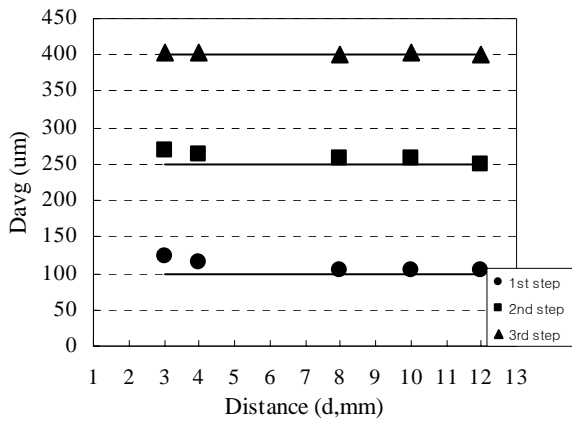
Fig. 3 Diameter distribution of two multi electrodes

반면 20, 24mm 와 같이 인접거리가 큰 경우에는 얻어지는 전극들의 평균 직경이 원하고자 하는 전극의 직경값과 유사한 값을 가지는 것을 확인하였다. 또한 2 개의 전극들 사이의 직경 편차 값이 최대 5 μm 를 넘지 않는 것으로 나타났다. 인접거리가 작은 경우, 원하고자 하는 전극의 형상과의 형상 오차 값이 커지게 되는데, 이는 인접한 전극 표면에 생성되는 확산층의 영향 때문이다. 전해가공이 일어날 때, 전극 표면에 생성되는 확산층은 전기전도도가 낮은 양극의 산화물로 이루어진다. 인접거리가 가깝게 되면, 이웃하는 전극들의 확산층의 영향으로 전해질 용액 내부에 있는 이온들이 금속원자와의 반응을 위해 전극표면으로 이동하는데 방해받게 된다. 따라서 인접거리가 가까운 상황에서는 금속 원자와 용액 내부의 이온간의 반응 속도가 작아지게 되고, 이는 가공량의 저하를 유발하여, 얻어진 전극의 직경이 원하고자 하는 값보다 크게 얻어지게 된다.

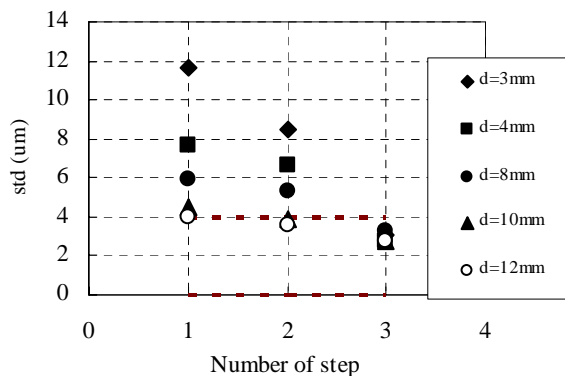
3.2.2 인접거리에 따른 가공 특성

앞선 실험으로부터, 인접거리가 커지면, 평균 직경이 원하고자 하는 전극의 직경에 근접한다는 사실을 확인하였다. 이는 인접 거리의 값에 따라 이웃하는 전극들의 확산층의 영향이 없어지게 되는 상황이 생기게 된다는 것을 의미한다. 따라서, 다중전극을 제작하는데 있어서, 주변의 전극들의 확산층의 영향이 없어져서, 하나의 전극을 제작할 때와 같은 상황을 부여할 수 있는 인접거리를 찾는 것이 중요하다.

주변의 확산층의 영향이 없어지는 인접거리를 찾기 위해 3 개의 전극을 제작하는 실험을 수행하였다. 제작하고자 하는 전극의 형태는 3 단형 전극으로, 끝단의 직경은 100 μm 이고, 각 단의 직경 변화는 150 μm 이다.



(a) Average diameter of three multi electrodes



(b) Standard deviation of three multi electrodes diameter

Fig.4 Diameter distribution of three multi electrodes

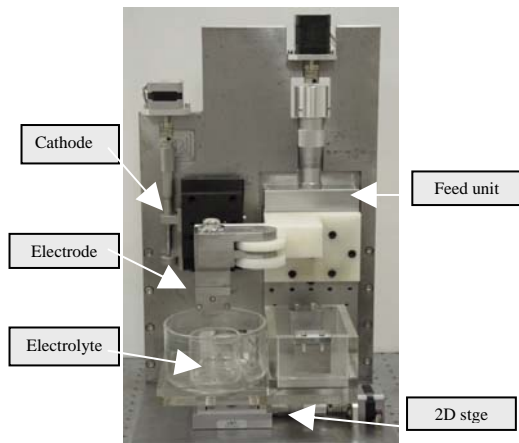
전극 제작에 필요한 전류 함수 값은 하나의 전극을 제작할 때 필요로 되는 전류값의 3 배에 해당되는 값을 인가하였다. 전극들 사이의 인접 거리를 변수로 하여, 인접거리에 따른 3 단의 전극들의 직경값을 측정하였다.

Fig.4 는 실험결과 얻어진 전극들의 평균직경 및 전극들의 각 단계에서의 직경값의 표준편차를 나타낸 그래프이다. 평균 직경의 경우, 인접거리가 가까운 경우, 원하고자 하는 직경값보다 큰 값을 가짐을 확인할 수 있고, 인접거리가 증가함에 따라, 원하고자 하는 전극의 직경값에 가까워짐을 확인할 수 있었다. 특히, 전극들 사이의 인접거리가 12mm 가 되는 경우, 3 단 모두 직경값이 원하고자 하는 전극의 직경 값에 대해서, 최대 3 μm 의 직경오차가 얻어졌다. 또한 3 개의 전극들의 직경값의 표준편차의 경우, 인접거리가 작은 경우에는 그 값이 크게 얻어졌으나, 인접거리가 커질수록 그 값이 작아지는 결과를 얻었다. 인접거리가 12mm 가 되는 경우, 전극들의 직경값의 표준편차 값이 4 μm 이내의 값을 가지게 되었다. 실험결과로부터, 전극들 사이의 인접거리가 12mm 가 되었을 때 얻어지는 전극들의 평균 직경 오차 및 직경 편차값이 최소가 됨을 알 수 있었다.

4. 다중 마이크로 전극의 제작

4.1 실험 장치

Fig. 5(a)는 균일한 직경을 가지는 다중 마이크로 전극 제작을 위한 실험장치를 나타낸 그림이다. 본 논문에서는 여러 개의 전극을 한번의 가공으로 제작하게 되므로 여러 개의 전극을 전극 홀더(holder)에 고정시킬 때, 전극의 개수가 늘어남에 따라 어려움이 발생하였다. 특히, 전극 가공에 앞서, 전극 표면을 세척하게 되는데, 각각의 전극을 세척한 후 고정하였더니 가장 먼저 세척한 후 고정된 전극 표면에 이 물질이 달라붙게 되어 큰 전극 형상편차를 야기시키는 원인이 되었다. 그래서 여러 개의 전극이 홀더(holder)에 고정되는 경우, 한꺼번에 전극 홀더(holder)에 고정할 수 있는 추가 지그(jig)가 필요하였다. Fig. 5(b)는 1 차원 전극 배열을 도와줄 추가 지그의 모습을 보여준다. 제작된 지그(jig)는 전극들간의 최소 간격을 1mm 로 하여 최대 25 개의 전극을 전극 홀더(holder)에 일렬로 고정시킬 수 있는 홈으로 구성되어 있다.



(a) micro electrode fabrication system

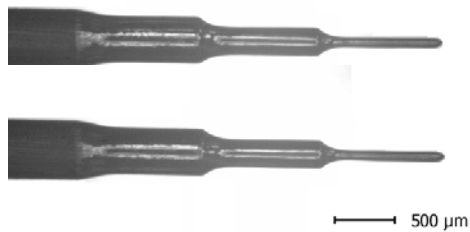


(b) Additional jig for 1D electrode array

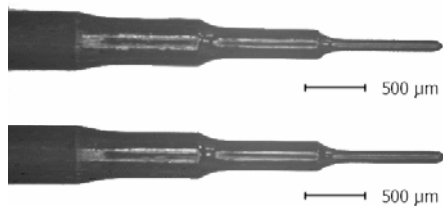
Fig. 5 Experimental apparatus

4.2 다중 마이크로 전극의 제작

앞 절에서 소개된 실험장치를 이용하여, 한번의 전해가공으로 다중 전극을 제작하였다. 다중 전극 제작 시 전극들 사이의 인접거리는 앞서 실험적인 방법으로 얻었던 12mm로 정하였다.



(a) $D_e=80 \mu\text{m}$, $\Delta D=160 \mu\text{m}$, 2 electrodes



(b) $D_e=100 \mu\text{m}$, $\Delta D=150 \mu\text{m}$, 2 electrodes

Fig.6 Stepped shape of two electrodes with various tip diameter



Fig. 7 Fabrication results of three microelectrodes

Fig.6 은 다양한 끝단 직경을 가지는 2 개의 다단형 전극을 제작한 결과이다. 끝단 직경은 각각 $80 \mu\text{m}$, $100 \mu\text{m}$ 이고 각 단의 길이는 1mm 이다. Fig.7 은 3 개의 다단형 전극을 제작한 결과이다. 끝단 직경은 $100 \mu\text{m}$ 로 하였고, 각 단마다 직경변화를 $150 \mu\text{m}$ 로 한 3 단형 전극이다. 각 단의 길이는 1mm 로 설정하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 가공용 공구로서 사용되는 미세 전극을 대량으로 생산할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다. 이를 위해 간단하고 저렴하게 제작할 수 있는 전해 가공방법을 이용하였다.

하나의 미세 전극을 제작할 때 필요로 되는 전기화학적 조건을 응용하여, 다중전극 제작에 필요한 조건을 얻을 수 있었다. 다중 전극 제작에 있어서 가장 큰 전극 형상 오차 요인인 확산층 효과를 확인하였고, 이를 최소화할 수 있는 방법으로, 1 차원 전극 배열 구조에서의 전극들 사이의 최적의 거리를 찾아 보았다.

그리고 주어진 조건을 바탕으로 수십 ~ 수백 마이크로미터의 직경을 가지는 다단형(steped) 다중 전극을 제작하였다.

여기서 얻어진 다중전극은 방전가공용 공구의 대량 생산뿐만 아니라, 다중전극을 이용한 방전가공을 수행함으로써, 방전 가공량을 증가시켜 가공속도를 증가시킬 수 있을 것이다.

그리고 추후 2 차원 전극 배열에 있어서 전해가공을 수행한다면, 보다 더 많은 균일한 전극을 생산할 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 초미세화학공정연구센터의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) T. Masuzawa, M. Fujino and K. Kobayashi, "Wire Electro-Discharge Grinding for Micro-Machining.", 1985, Annals of the CIRP, Vol. 34, pp.431-434
- (2) F.-T. Weng and M.-G. Her, "Study of the Batch Production of Micro Parts Using the EDM Process", 2002, Int J Adv Manuf Technol, Vol.19, pp. 266-270
- (3) 인치현, 김규만, 주종남, "전기화학적 에칭을 이용한 텅스텐 미세 탐침 가공", 2001, 한국정밀공학회지 제 18 권 제 2 호, pp 111-118
- (4) 마이크로가공기술편집위원회, "마이크로 가공 기술", 1993, 기전연구사
- (5) Hyung Jun Lim, Young Mo Lim, and Soo Hyun Kim, "Fabrication of Arbitrarily Shaped Microelectrodes by Electrochemical Etching", 2002, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 42, No. 3, pp.1479-1485