

# 전해에칭을 이용한 금속의 미세형상 제작 Micro-shape fabrication of metal using electrochemical etching

\*신홍식<sup>1</sup>, 정도관<sup>1</sup>, 박민수<sup>2</sup>, #김보현<sup>3</sup>, 주종남<sup>1</sup>

\*H. S. Shik<sup>1</sup>, D. K. Chung<sup>1</sup>, M. S. Park<sup>2</sup>, #B. H. Kim(bhkim@ssu.ac.kr)<sup>3</sup>, C. N. Chu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 기계항공공학부, <sup>2</sup> 원광대학교 기계자동차공학부, <sup>3</sup> 숭실대학교 기계공학과

Key words : Electrochemical etching, Photo-mask, Micro pattern, Micro Machinig

## 1. 서론

전해에칭(electrochemical etching)은 화학에칭(chemical etching)에 비해 가공 속도가 빠르고 상대적으로 안전한 중성염을 전해액으로 사용하기 때문에 금속의 패터닝(patterning)에 많이 이용되어 왔다.<sup>1-3</sup> 금속의 미세 패터닝은 포토마스크를 이용한 전해에칭에 의해 효율적으로 적용될 수 있다. 전해에칭을 통한 금속의 미세 패터닝은 잉크젯 프린터 노즐 제작 혹은 표면 텍스처링(surface texturing)에 응용되어 기계부품의 마찰저감 등에 응용되어 왔다.<sup>4,5</sup> 미세 패터닝과 달리 금속의 전해에칭을 통한 미세 부품의 제작은 테이퍼(taper) 발생으로 인해 미세 금속 부품의 제작에 대한 응용은 어렵다. 그러나 금속의 가공면에 포토마스크로 도포 하고, 가공 뒷면을 절연하면 테이퍼를 상당히 줄일 수 있다는 연구 결과들이 보고되고 있다.<sup>3</sup> 본 논문에서는 포토마스크를 이용한 전해에칭에서 에칭 시간을 조절하여 테이퍼를 감소시키고 원하는 형상과 크기를 얻기 위해 에치팩터를 고려하여 미세 부품을 제작하였다.

## 2. 포토마스크 제작

일반적으로 금속의 표면에 미세 패턴을 갖는 포토마스크(photo-resist film)를 도포하기 위해서 포토리소그래피 공정이 적용된다. 금속의 표면에 미세패턴을 형성하기 위한 포토리소그래피 공정을 Fig. 1 에 나타나 있다. 사용된 포토레지스트는 AZ 1512 이며, Fig. 1 (a)와 같이 금속의 표면에 일정두께로 포토레지스트를 도포하고, Fig. 1 (b)와 같이 미세 패턴을 갖는 마스크를 이용하여 노광한 후, 현상하면 Fig. 1 (c)와 같이 금속의 표면에 미세 패턴을 갖는 포토마스크를 도포할 수 있다. 이 때, 포토마스크의 두께는 1.2  $\mu\text{m}$  내외이다.

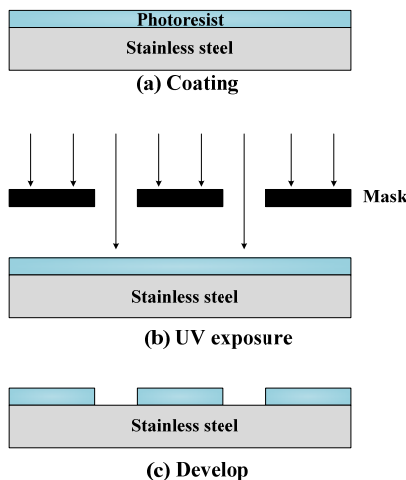


Fig. 1 Experimental set-up for electrochemical etching

## 3. 실험장치

본 실험에서는 미세 부품 제작을 위하여 50  $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 AISI 304 스테인리스강을 시편으로 사용하였다.

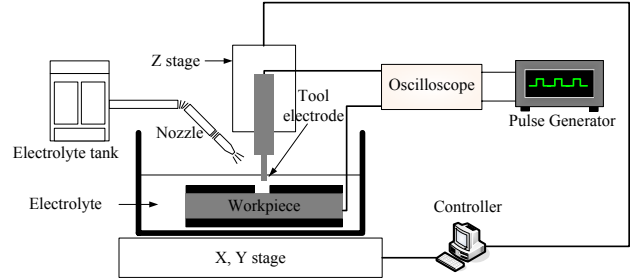


Fig. 2 Experimental set-up for electrochemical etching

Table 1 Experimental conditions for electrochemical etching

Conditions	Values
Pulse on-time	5 ms
Pulse period	100 ms
Applied voltage	10 V
Electolyte	4 M NaCl + 2 M Glycerol

미세 형상가공을 위하여 스테인리스강의 표면 위에 포토레지스트를 이용하여 미세 패턴을 형성하였다. 포토마스크가 도포되지 않은 뒷면은 에나멜을 이용하여 절연한 후 전해에칭을 수행하였다. Fig. 2는 전해에칭을 위한 시스템 구성도이다. 공구전극으로는 100  $\mu\text{m}$ 의 두께를 갖는 AISI 304 스테인리스강 판(plate)을 사용하였다. 전해액으로는 염화나트륨과 글리세롤을 일정비율로 혼합하여 공구전극과 시편 사이에 일정 속도로 분사하였다. 전해에칭은 공구전극은 공작물과 500  $\mu\text{m}$ 의 일정한 간격을 유지하며, 공작물 위를 100  $\mu\text{m}/\text{s}$ 의 속도로 왕복하여 진행하였다. 공구전극 및 공작물의 이송을 위하여 0.1  $\mu\text{m}$ 분해능을 갖는 정밀 이송장치를 사용하였다. 스테인리스강의 미세 형상을 얻기 위하여 펄스 전압을 사용하였다. Table 1에 전해에칭을 위한 실험조건을 나타내었다.

## 4. 실험 방법 및 결과

포토마스크를 이용한 전해에칭에서 직류전압을 이용하면 에칭 시 발생하는 과도한 기포로 인해 포토마스크가 파괴되어 원하는 형상을 얻을 수 없다. 반면, 펄스 전압을 이용하면 직류전압에 비해 가공량이 작기 때문에, 기포의 발생이 상대적으로 적으므로 포토마스크가 파손되지 않고 원활한 가공을 진행할 수 있다. 그러나 펄스 전압을 사용하는 경우 Fig. 3 (a)와 같이 펄스 온-타입이 5  $\mu\text{s}$ 로 짧으면, 낮은 전류밀도로 인해 매우 거친 표면이 얻어진다. 펄스 온-타입이 5 ms인 경우는 Fig. 3 (b)와 같이 부드러운 표면을 얻을 수 있다. 중성염을 전해액으로 사용하는 경우 가공이 진행됨에 따라 발생하는 반응물을 제거하고 원활한 가공을 위해 새로운 반응 이온이 공급되기 위한 휴지기가 필요하다. 그러므로 이를 고려하여 펄스 전압의 듀티비(duty ratio)는 10%로 선정하였다.

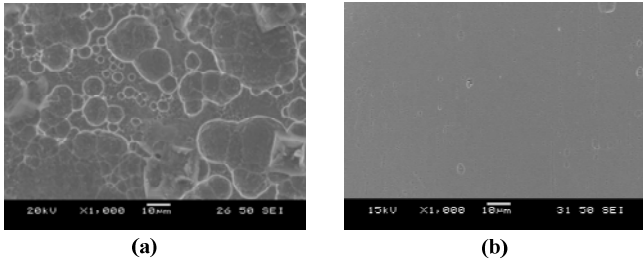


Fig. 3 Surface of stainless steel according to pulse on-time (a) 5 μs (b) 5 ms

포토마스크를 이용한 금속의 전해에칭은 등방성 에칭이 진행되기 때문에 테이퍼 등이 발생하여 미세 부품의 제작이 어렵다. 그러나, 전해에칭 시 포토마스크가 도포되지 않은 금속의 뒷면을 절연한 후 에칭을 진행하면 에칭 시간에 따라서 Fig. 4 와 같이 전류밀도 분포가 변화하여 테이퍼 각도를 상당히 줄일 수 있다.<sup>5</sup> Fig. 5 는 시간에 따른 형상 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5 (a)와 (b)는 에칭시간이 1분과 3분인 경우의 가공 사진이다. Fig. 5(c) 와 같이 에칭 시간이 5 분이 되었을 때, 바닥면까지 가공이 진행되었고 테이퍼가 발생한 것을 확인할 수 있다. 에칭시간이 약 7 분이 되었을 때, Fig. 5 (d)와 같이 테이퍼가 거의 없는 수직에 가까운 벽면을 얻을 수 있었다. 그러나 Fig. 5 에서 보여지는 것과 같이 금속은 등방성으로 에칭이 진행되기 때문에 에칭시간이 증가할수록 본래의 형상보다 그 길이와 폭이 줄어든다. 그러므로, 전해에칭을 이용한 원하는 형상과 크기의 미세 부품을 제작하기 위해서는 측면의 테이퍼 뿐만이 아니라, 에치팩터(etch factor, EF)를 고려하여 형상의 크기를 설계해야 한다. 에치팩터(etch factor)는 식 (1)과 같이 표현된다.<sup>5</sup>

$$EF = \frac{b}{L' - L} \quad (1)$$

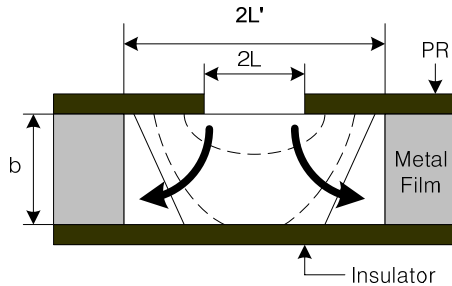


Fig. 4 Shape evolution of metal during electrochemical etching<sup>5</sup>

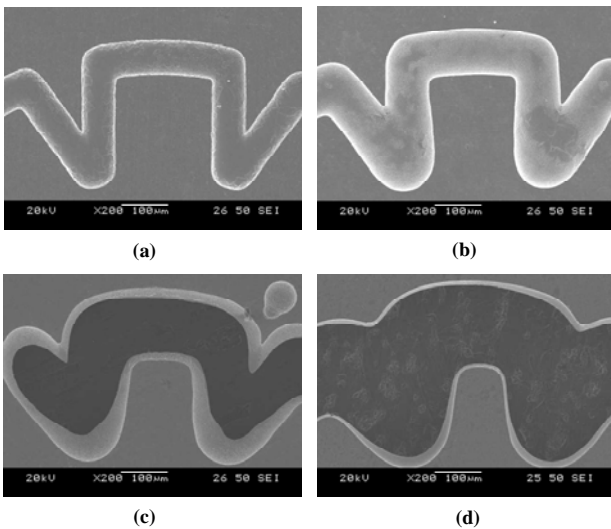


Fig. 5 Shape evolution of stainless steel during electrochemical etching (a) 1 minute (b) 3 minutes (c) 5 minutes (d) 7 minutes

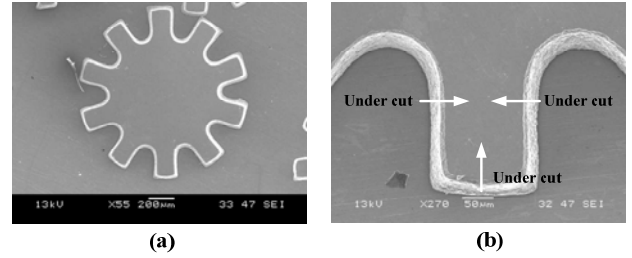


Fig. 6 Micro gear by electrochemical etching using photo-mask

실험을 통해, 50 μm 두께를 갖는 스테인리스강은 전해에칭시 계산된 에치팩터는 1.5 내외이다. 포토마스크를 이용한 전해에칭에서는 Fig. 4 와 같이 포토마스크 아래쪽으로 언더컷(under cut)이 발생한다. 식 (1)에 의해 50 μm 두께의 스테인리스강에서 발생하는 언더컷은 약 35 μm 내외이다. 그러므로 테이퍼를 줄이고, 원하는 크기와 형상의 미세 부품을 제작하기 위해서는 에칭시간, 에치팩터, 형상을 모두 고려하여 실제의 크기보다 35 μm 이상 크기를 증가시켜 설계해야 한다. 실제로 16 분 동안 전해에칭을 수행하여, 기어 형상을 Fig. 6(a)와 같이 제작하였다. Fig. 6 (b)는 기어형상의 치형을 나타낸 것이다.

### 5. 결론

금속의 미세 부품을 제작하기 위하여 포토마스크를 이용한 전해에칭을 적용하였다. 미세 부품의 제작을 위해서는 원하는 형상과 크기에 맞추어 에치팩터와 에칭시간 등을 조절하여 테이퍼를 줄이고 형상을 조절할 수 있음을 확인하였다. 실제 전해에칭에 의해 바닥면까지 가공이 진행된 이후에는 에칭시간이 증가함에 따라서 가공된 형상의 테이퍼를 감소됨을 확인할 수 있었고, 에치팩터와 형상을 고려한 설계를 통해 기어 형상의 미세부품을 제작하였다.

### 후기

이 논문은 2009 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20090080379)

### 참고문헌

1. Rosset, E., Datta, M and Landolt, D., "Electrochemical Dissolution of Stainless Steels in Flow Channel Cells with and without Photoresist masks," Journal of Applied Electrochemistry, **20**, 69-76, 1990.
2. Datta, M and Harrist, D., "Electrochemical Micromachining: An Environmentally, Friendly, High Speed Processing Technology," Electrochimica Acta, **42**, 3007-3013, 1997.
3. Madore, C and Landolt, D., "Electrochemical Micromachining of Controlled Topographies on Titanium for Biological Applications," Journal of Micromech. Microeng., **7**, 270-275, 1997.
4. Zhu, D., Qu, N. S., Li, H. S., Zeng, Y. B., Li, D. L., and Qian, S. Q., "Electrochemical Micromachining of Microstructures of Micro Hole and Dimple Array," Annals of the CIRP, **58**, 177-180, 2009.
5. Datta, M "Fabrication of an Array of Precision Nozzles by Through-Mask Electrochemical Micromachining," J. Electrochem. Soc., **142**, 3801-3805, 1995.