

점 전극을 이용한 마이크로 전해현상의 고찰

김봉규*(울산대 대학원 기계, 자동차공학부), 박규열(울산대 기계, 자동차공학부)

A Study on the micro-electrochemical phenomenon using point electrode method

B.G. Kim*(Sch. of Mech. & Auto. Eng., Grad. School, UOU)

K.Y. Park(Sch. of Mech. & Auto. Eng., UOU)

ABSTRACT

Electrochemical phenomenon are employed in the manufacturing of micro-electrochemical machining(micro-ECM). The application of controlled electrochemical metal removal in the fabrication of microstructures and microcomponents is refer to as micro-electrochemical machining. In this paper, we introduce a new method named 「point-electrode electro chemical machining method」 was proposed to establish micro fabrication technology by use of electrochemical machining. And we find effect of the electrochemical phenomenon in several conditions.

Key Words : electrochemical phenomenon(전해현상), point-electrode(점 전극),

1. 서론

금속가공에서의 전해현상은 일정 전해액 속에서 전류의 흐름을 통해 공작물이 전해작용을 일으켜 제거되는 것을 말한다 이 과정은 공작물에 금속이온의 전착이 일어나는 전기도금의 역으로 생각되어 질 수 있다. 전해가공은 금속의 도금, 석판인쇄기술로부터 이어져온 전기화학가공법으로, 방전가공과 함께 기계산업 전반에 걸쳐 큰 기여를 하였다.

최근 들어, 미세방전가공에 의한 마이크로 부품의 제작이 가능해지면서, 미세전해가공에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있으며, 그 실용화의 예로 잉크젯 프린터의 분사노즐구멍가공 등을 미세화를 통해 인쇄품질의 향상을 가져왔다.

전해가공은 가공 후 표면의 결함이 없고, 표면을 매끄럽게 가공할 수 있다는 장점에도 불구하고, 부품의 치수가 작아지면서 형상정밀도의 저하라는 문제에 있어 원하는 형상의 미세부품가공에 적용하기에 어려움이 있었다

최근 들어 SPM(Scanning Probe Microscope)의 한 종류인 ECSPM(ElectroChemical SPM)을 이용한 전기화학적 분석이 꾸준히 진행되고 있으며, 독일의 Rolf Schuster 는 이것을 이용해 Au 표면에 수 나노미터 정도의 홈을 파거나 표면에 Cu 를 부분적

으로 도금한 것을 STM 으로 확인함으로써 미세전해가공의 가능성을 제시하였다. Fig. 1 은 Rolf Schuster 가 실험한 후 이 결과를 확인한 ECSPM 의 개략도이다.¹⁾

또한, Cu 판에 Pt 전극을 이용하여 0.01M HClO₄ 와 0.1M CuSO₄ 액 중에서 극단시간만 펄스를 공급함으로써 형상정도의 저하 없이 서브미크론단위의 공작물을 가공한 예도 보고되고 있다.²⁾

전해층에 전류가 흐르는 경우, 전극면과 전해액

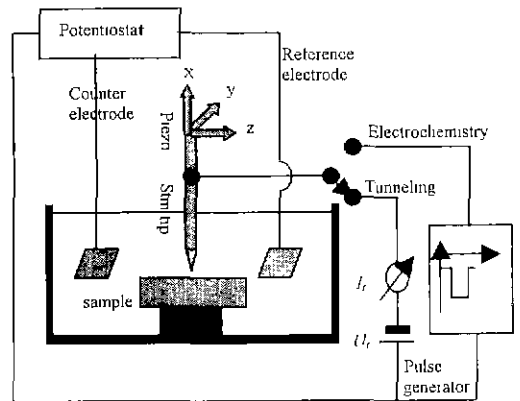


Fig. 1 Electrochemical STM(ECSTM) for ultra fast electrochemistry¹⁾

사이에는 전하의 이동이 있으며, 이 전하의 이동은 전극면에 있어서 반드시 어떠한 화학반응(전극반응)을 동반한다 따라서 본 논문에서는 기존의 전해현상을 점 전극이라는 극부적인 영역으로 세밀화하여 금속제거의 원자적인 제거현상을 파악하고자 하였다. 자체 제작한 시스템을 이용하여 적절한 미세전해조건을 선정하기 위해 우선 극간의 전류와 전압의 변화를 관찰하였으며, 또한 단일금속이 아닌 합금의 경우에도 향후 최적의 가공조건을 도출하기 위한 도구로 활용할 수도 있을 것이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 2 는 본 연구를 위해 설계, 제작된 점 전극방식의 미세전해가공 시스템의 외관을 나타낸다. 본 장치는 회전정밀도를 고려한 주축부와 주축의 수직방향에 설치된 3 축 이송부, 전해액을 분류 혹은 분무할 수 있는 정온, 정량 토출장치, 전원공급장치, 그리고 가공중의 전기량을 실시간으로 모니터링할 수 있는 데이터 취득장치 등 다섯 부분으로 크게 나눌 수 있다 일반적으로 전해가공은 전해액 중에 침적상태에서 가공이 진행되는데 반해, 본 장치는 전해액을 외부에서 가공부위로 공급해주는 방식을 취하고 있다. 이는 전해액의 소모가 적을 뿐만 아니라 가공이 진행되는 부위를 현미경을 통해 실시간 관찰이 용이하며, 가공중의 소산물들을 바로 제거 시켜주어 전해현상을 더욱 활발히 할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 점 전극을 이용한 미세전해가공에서는 극간에 흐르는 전류가 보통 100mA 범위이므로 대전류 전원공급장치가 필요하지 않으며, 공급전원으로는 DC REGULATED POWER Supply 와 직류 정전압, 최대 10MHz 의 직류 펄스, 삼각파형을 이용한 점진적인 전압을 상승, 하강시킬 수 있는 함수발생기를 사용하였다.

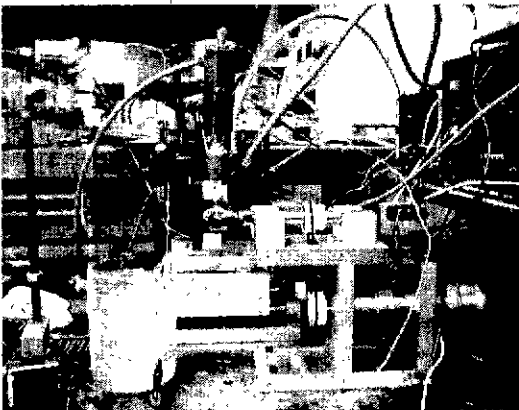


Fig. 2 Appearance of micro-ECM machine

2.2 실험방법

공작물의 재질은 일반적으로 많이 쓰이는 니스성이 우수한 스테인레스 선재(STS 304, $\phi 600 \mu\text{m}$)이며, 전해액은 NaNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 를 사용하였다.

공구전극은 전해가공에 의해 제작하였으며, 형상은 점 전극을 구현하기 위하여 $\phi 600 \mu\text{m}$ 의 봉의 끝 단면을 원추형상으로 성형하였으며 일정전류를 흘리기 위하여 원추부위를 제외하고는 에폭시수지로 피복을 하여 절연 시켰다.

가공전원의 종류는 직류전원과 직류펄스전원을 이용하였으며, 극간의 전압-전류곡선의 측정을 위해서 함수발생기의 삼각파를 이용하여 점진적으로 증가시켰으며, 가공중의 전기적인 조건을 AD 보드를 통해 PC 로 data 를 취득, 분석하였다 전해액 공급장치는 공구의 궤적과 동일하게 유지하기 위하여 공구 데이브러에 부착하였으며, 가공부위에 직접 분류 혹은 분사방식으로 공급하였다 또한, 가공 중에 가공 진행 상태를 가공기 본체에 장착된 실체현미경으로 관찰하였다.

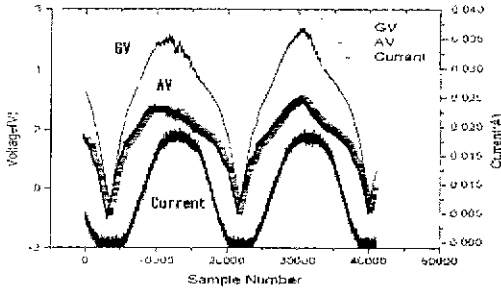
양극과 음극의 극간 전압을 측정하기 위해서, 전해액의 공급을 위한 미세노즐과 공작물인 +극의 전압을 측정하여 간극전압을 측정하였다. 이는 전기화학에서 기준전극을 이용한 양극전위의 측정방법과 동일하며, 초기의 전위차가 발생하는데 전해액에 따라 약간의 차이가 있어 절대적인 값을 얻을 수는 없으나 대체적인 경향파악은 가능하다.

전술한 점 전극 방식의 미세전해가공장치를 이용하여 전해액의 종류 및 전기적 조건, 공구전극의 재질 등의 차이에 따른 가공특성을 조사하고 이를 토대로 미세전해가공 기구에 관하여 고찰하였다

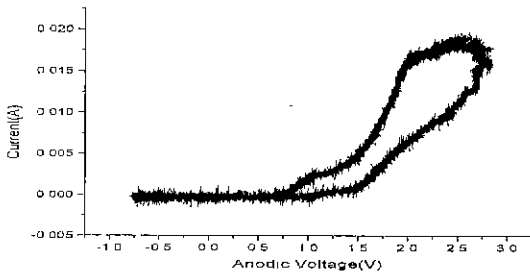
3. 결과

3.1 전해액의 종류에 따른 가공특성

일반적으로 전해연마에 많이 쓰이는 산계 용액인 H_2SO_4 , H_3PO_4 와 전해가공에서 쓰이는 NaNO_3 에 대해 실험이 진행되었으며, 그 전압-전류곡선은 일정한 패턴을 보였다. Fig.3 은 $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ 에서의 전류전압곡선을 측정하기 위해 20 μm 에서 전압을 0-10V 로 상승에서 하강을 실시한 후 (a)는 샘플링순서에 따른 극간전압과 양극전압 및 전류의 변화를 나타내고, (b)는 양극전압에 대한 전류의 곡선을 나타낸다. 그래프의 선이 두 개로 나타나는 이유는 전압의 상승과 하강시의 두 값이 존재하기 때문이다. 가공결과 산용액에서는 극간간격이 가까워도 불구하고 점 전극 부근에서의 부분용출이 아닌 공작물 전체에 용출이 발생하였으며, 이는 pH 가 낮은 용액에서는 쉽게 환원될 수 있는, 구조가 취약한 부동태화 피막이 형성되는데 원인이 있는



(a) Sample wave form of voltage, current under continuous sample number



(b) Anodic Voltage-Current curve

Fig. 3 Correlative curve of anodic voltage, current in pure $H_3PO_4 + H_2SO_4$

것으로 사료되며, $NaNO_3$ 의 경우 광택면을 발견할 수 있었으나, 공구전극이 통과한 부위는 다시 산화물 피막으로 피복되어 최종적으로는 광택면을 얻는 것이 곤란하였다. 결과적으로 점 전극을 이용한 미세 전해가공의 형상정밀도를 얻기 위해서는 $NaNO_3$ 용액을, 높은 수준의 표면상태를 얻기 위해서는 산 용액을 사용하는 것이 유효하다고 판단된다.

3.2 전해액의 농도에 따른 가공특성

전해가공에 주로 이용되는 $NaNO_3$ 용액의 농도를 변화시키며 극간의 전압과 전류치의 변화 및 가공 현상을 관찰하였다. 0.1M~0.85wt% 상당과 5wt% $NaNO_3$ 용액에 대한 실험에서, 활성화영역의 존재를 -0.5~1.7V 사이로 판단하여, 펄스전압을 인가한 후에 약 10min 이 경과하면 가공흔적을 발견할 수 있었으며, 이로부터 -0.5~1.7V 단위의 미세한 전기적 조건에서도 가공이 가능하다는 것을 확인하였다. 그리고, 5wt%수용액에서 공작물과 공구전극이 가까운 부분에서 광택면이 나타나며, 공구전극이 통과한 부위는 다시 산화물 피막으로 덮이는 현상을 관찰할 수 있었다. 그러나 $NaNO_3$ 수용액 0.1M의 경우에는 공구의 크기가 매우 작은 편이기 때문에 극간 전압 2.5V, 간극 1 μ m 이하, 전류 200 μ A 정도의 미세 전기조건에서도 가공중에 단락에 의한 것으로

추정되는 공구전극의 용융현상이 빈번하게 발생되었다. 이는 공구의 재질 및 직경에 따른 한계전류 용량이 존재하며, 용융이 발생한 것은 단락에 의하여 전극간에 한계전류용량을 초과하는 전류가 작용한 것으로 추정할 수 있다. 이 같은 사실에 근거하면 가공능률을 고려할 경우에는 높은 농도의 수용액을 사용하는 것이 유리하며, 가공량을 최소화하기 위해서는 낮은 농도의 수용액을 사용하는 것이 가공의 안정성을 포함하여 유효함을 알 수 있었다.

3.3 공구의 재질에 따른 가공특성

미세전해가공에서 공구전극의 재질이 가공특성에 미치는 영향에 관하여 조사하였다. 실험에 있어서는 전극면적을 5 \times 5 mm의 박판을 이용하여 전류

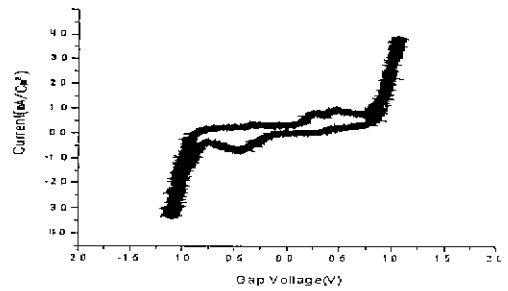


Fig. 4 Correlative curve of gap voltage, Current in 15% $NaNO_3$, Cu-Cu electrode

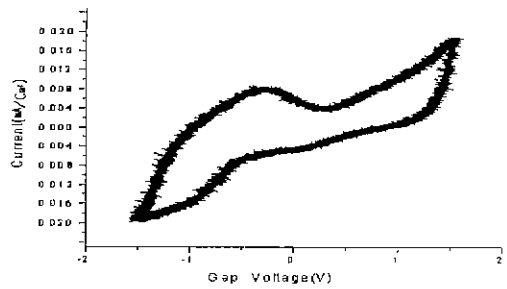


Fig. 5 Correlative Curve of gap voltage, Current in 15% $NaNO_3$, STS-STs electrode

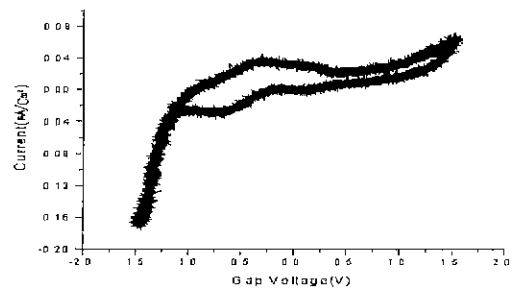


Fig. 6 Correlative curve of gap voltage, Current in 15% $NaNO_3$, STS(+)-Cu(-) electrode

밀도를 정량화 하였다.

전해액은 15wt% NaNO₃ 수용액을 사용하였으며, 극간거리는 5 mm, 전압은 -1.6~1.6V 를 0.2Hz 의 삼각파를 이용하여 상승, 하강 시키면서 전류-전압곡선을 측정하였다.

전극재질은 Cu-Cu, STS:STS, Cu(-)-STS(+)-극의 세가지 형태를 비교하였으며, Fig. 4, 5, 6 에 그 결과를 나타낸다.

각각의 전류-전압곡선으로부터 Cu 는 Cu 자체의 고유한 곡선형태를 가지며, 같은 전기적 조건에서 전류치가 가장 높은 것을 알 수 있으며, 그 다음으로는 STS:Cu, STS:STS 의 순으로 나타났다. 또한 전기조건이 과도한 경우, 즉 파부동태 상태에서 가공이 진행될 경우에는 공구전극의 재질에 무관하게 양극의 금속이온이 공구전극의 표면에 전착되는 현상이 관찰되었다. 이는 금속의 분해반응과 동시에 금속의 표면에 금속 산화물이 형성되기 때문이다.

부동태 전류가 흐르는 영역에서는 전위가 증가함에 따라서 부동태 피막의 두께도 증가하기 때문에 상대적으로 흐르는 전류의 양은 거의 일정하다.

4. 고찰

본 연구는 점 전극에서의 전기량을 측정함으로써 흐르는 전류량의 변화로 가공량을 짐작하고, 전기분해의 원리를 파악함으로써 일반적인 전해가공에서 이용하는 전기적인 범위에서의 문제점을 파악하였으며, 미세전해가공을 위한 전기화학적 조건으로의 접근을 통해 낮은 전기적 조건에서 가공량이 최소화 될 수 있음을 실험적으로 파악할 수 있었다. 또한, 기존의 전해가공은 대부분이 파부동태화의 영역에서의 부동태를 파괴하는 이온들의 흡착과 산화피막의 구조적인 변화 등이 계에 따라 달라짐으로써 거의 무작위 실험에 의존하는 수준이었다. 그러나 이러한 미세전해가공을 이용한 금속의 전기분해를 원리적으로 이해하며 접근함으로써 쉬운 방법으로 형상정밀도의 저하 없이 효율적인 가공을 할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 초미세 형상부품의 제작기술로써 전해가공의 활용을 전제하고, 이를 위하여 점 전극법을 통한 미세전해현상을 관찰하였다. 이하 본 연구에서 얻어진 결론을 구체적으로 정리한다.

1 점 전극을 이용한 미세전해가공의 형상정밀도를 얻기 위해서는 NaNO₃ 용액을, 높은 수준의 표면상태를 얻기 위해서는 산 용액을 사용하는 것이 효과적이다.

2. 가공능률을 고려할 경우 높은 농도의 수용액을 사용하는 것이 유리하며, 가공량을 최소화하기 위해서는 낮은 농도의 수용액을 사용하는 것이 가공의 안정성을 포함하여 유효하다.

3. 점 전극을 이용하는 미세전해가공에서는 공구전극의 재질에 따라서 가공성이 현저하게 차이를 가지며, 가공조건이 과도한 경우에는 전해액에 따라서는 공구전극에 전착현상이 확연하게 나타난다.

후 기

본 연구는 과학 기술부 지원 국제공동연구(2000-I-IC-01-C-095)의 지원으로 수행되었으며, 관계자여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. 木光太朗, 酒井茂紀, 増澤隆久, 藤野止俊, “微細穴の電解仕上げに關する研究”, 電氣加工學會全國大會, 35-38, 1996
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. Ito, S., Chicamori, K., “電解加工法の研究(第3報)”, 機械試驗所報, Vol. 18, No 1 : 10-15, 1964
4. Ito, S., Honda, K., Sakurai, F., “電解加工法の研究(第7報)”, 機械試驗所報, Vol 19, No 5 . 18-27, 1965
5. 佐藤教男, “金屬の不動態化と表面不動態皮膜”, 電氣化學, Vol. 46, No 11, 584-591, 1978
6. Rolf Schuster, “Nanoscale Electrochemistry - a tool for forming structures of almost atomic dimensions.” Phys. Rev. Lett, 80, 5599 , 1998
7. R. Schuster, V. Kirchner, P. Allongue, G. Ertl, “Electrochemical Micromachining,” Science, Vol 289, pp. 98 - 101, 2000
8. 近森邦夫, “電解加工におけるパルス電流の利川”, 機械技術研究所報告, 137, 1986
9. 佐藤敏之, “電解加工と化學加工”, 朝倉書店
10. 伊東祐光, “最近の電解加工理論”, 電氣加工學會誌, Vol. 5, No. 10
11. 박용수, “금속부식”, 대우학술총서, pp 85-122,