

# 전극 측면의 절연을 이용한 전해방전가공의 형상 정밀도 향상

\*한민섭, 민병권, 이상조  
연세대학교 기계공학부

## Improvement of Geometric Accuracy using Partial Side-insulated Electrode in Electro-Chemical Discharge Machining Process

\*M. S. Han, B.-K. Min, S. J. Lee  
School of Mechanical Engineering, Yonsei University

Key words : Anode Effect, Side-insulated Electrode, Critical Current Density

### 1. 서론

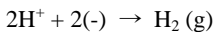
전해방전가공(ECDM)은 전해 작용 중 일정 임계 값 이상의 전류밀도에서 발생하는 스파크 에너지를 이용한 특수 가공법의 하나이다. 방전가공과는 달리 가공물과의 전기적 연결과는 무관하게 스파크를 발생시킬 수 있기 때문에 유리나 세라믹과 같은 비전도체 미세 가공에 적용될 수 있다. 또한 가공 중 전극의 마모가 거의 없고, 기존의 HF etching, ultrasonic machining 등과 비교했을 때 가공속도가 빠르고 보다 높은 세장비의 미세 구조물 가공이 가능한 장점이 있다[1].

그러나 전해방전가공이 아직 산업적으로 실용화되지 못하고 있는 주요 원인으로서는 발생하는 스파크 에너지의 직접적인 제어가 난해하다는 점에 있다. 전해 방전 가공에서 스파크의 발생 원리는 전기 화학적으로 복합된 현상인 "anode effect"로 규명되고 있다[2]. 전해액과 접촉하고 있는 두 전극에 직류 전압을 걸었을 때 전해작용에 의해 음 전극 주변에서 수소 기체가 발생한다. 공급 전압을 일정 임계 값 이상으로 상승시키면 발생된 기체들이 결합을 통해 전극과 전해액의 접촉을 차단시키는 절연막을 순간적으로 형성하게 된다. 이러한 기체 절연막은 전자의 흐름을 차단하여 스파크의 형태로 절연과피를 유도한다. 따라서 이러한 절연막의 형성은 전해 방전 가공을 가능케 하는 동시에 가공 정밀도를 결정하는 주요 요소이다[3].

본 연구에서는 보다 안정적이고 균일한 절연막 형성을 유도하기 위한 방법으로 전극의 끝부분만을 전해액에 노출시킨 세라믹 튜브 전극을 전해액 표면으로부터 2~3 mm 이상 깊이 침투시켜 미세 채널 가공을 실시하였다. 기존의 일반 전극으로 전해액 표면 부근에서 수행한 가공 결과와 비교 실험을 하였다. 그 결과 가공 재현성 및 가공 정밀도의 향상을 확인하였다.

### 2. 수소기체 절연막의 제어

전해작용 중의 음전극 부근에서 일어나는 화학 작용은 다음과 같다.



이러한 수소 기체 방출들이 상호 결합에 의해 절연막을 형성하여 전극과 전해액의 접촉을 완전히 차단시키는 순간 절연 파괴가 발생한다. 이때의 전류 밀도 값을 임계 전류 밀도(critical current density)로 정의한다[4]. 임계 전류 밀도가 클수록 발생하는 스파크의 에너지 또한 증가하기 때문에 가공 품위는 저하된다. 전해 방전 가공의 정밀도를 향상시키기 위해 이러한 임계 전류 밀도 값에 영향을 주는 요소들에 대한 연구가 진행되어 왔으며 대표적인 요소들은 크게 3 가지로 나뉘질 수 있다. 첫째, 수소기체의 유체 거동학적 특성, 둘째, 기체 방출의 전극 표면과의 접촉각, 그리고 셋째, 기체방출의 분포 밀도이다. Wüthrich 는 계면활성

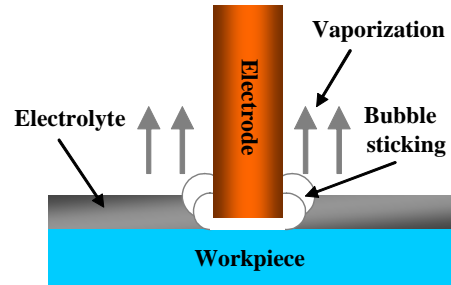


Fig.1 Evaporation and bubble sticking near electrolyte surface



Fig.2 Side-insulated electrode

제를 전해액에 첨가하여 기체 방출의 접촉각의 감소를 유도함으로써 절연막의 두께를 효과적으로 감소시켰다[3]. 그러나 아직까지 절연막의 형성 자체를 직접적으로 제어할 수 있는 방법은 발견되지 않은 상태이다.

그림 1 은 기존의 전해방전가공 수행 시 전해액 표면 부근에서 발생하는 현상들을 나타내고 있다. 일반적으로 수직인 전극이 전해액 깊이 방향으로 이동할수록 절연막의 형성이 난해하기 때문에 전해액 표면 부근에서 가공을 수행하게 된다. 이 때 전극에서 발생하는 전기적 저항 열에 의해 전해액 표면에서는 국부적인 기화작용이 활발하게 일어나게 되며 이는 전극과 전해액의 접촉면의 변화(fluctuation)를 유발하게 된다. 또한 상승한 수소기체 방출들이 표면 장력에 의해 전해액 표면에 머무르면서 절연막의 전기적 저항 특성 변화를 유발한다. 따라서 보다 안정적인 스파크 발생을 위해서는 접촉 면적을 일정하게 유지하는 것과 전해액 표면의 기체 방출들을 효과적으로 제거해야 한다[5].

그림 2 는 본 연구에서 사용된 전극의 형상 및 가공 장치를 보여준다. 세라믹 튜브를 이용한 전기적인 절연을 통해 가공에 이용되는 끝 부분에서 집중적으로 절연막이 형성되도록 유도하였다. 또한 전해액 내로의 침투 깊이에 영향을 받지 않기 때문에 전극을 깊이 침투시켜 전해액 표면에서의 복잡한 상 변화 및 수소 기체방출에 의한 절연막 형상의 변형 등의 영향으로부터 효과적으로 격리시킬 수 있었다.

### 3. 미세 채널 가공

전해 방전 가공이 진행되면서 전해액 표면에서 발생하는 기화 현상 및 수소 기체 방울의 표면 응착 그리고 전극과 전해액 계면의 불균일한 조성 등에 의해 가공의 정밀도가 저하될 수 있다. 따라서 본 실험에서는 Fig. 2 와 같이 전해액과의 접촉면적을 일정하게 유지 시킨 절연 전극을 전해액 표면으로부터 깊이 잠긴 상태에서 유리에 미세 채널 가공을 수행하였다. Table 1 에서 가공 장치 개략도 및 가공 parameter 들을 정리 하였다. 가공 전극으로 직경 200  $\mu\text{m}$  텅스텐 카바이드를 사용하였으며, 전해액으로 30% NaOH 를 사용하였다.

Table 1 Experimental setup for micro-channel fabrication

ECDM device	
Material : Tungsten carbide	
Tip diameter: 200 $\mu\text{m}$	
Dielectric coating : Ceramic tube	
(Inner dia : 0.2mm, outer dia. : 0.6 mm)	
Tool electrode	
Digital oscilloscope	Model: TPS 2024 (Tektronics) Sampling rate: 50 MHz
Workpiece	Borosilicate glass (thickness : 1 mm)
Machining conditions	Applied voltage :D.C 35 V Peak current: 1 A Electrolyte concentration : 30 %

그림 3 은 수소기체 방울들의 결합에 의한 절연막 형성 원리를 설명하고 있다[6]. 절연막의 두께를 조절하기 위해서 기체방울의 유체 거동학적 특성, 방울의 형성 밀도, 그리고 전극과의 접촉각 제어가 요구된다. 전해 작용에 의해 생성된 수소 기체는 일부 전해액으로 용해되고 일부분 방울을 형성하게 된다. 이러한 방울간의 결합을 방해하는 주요 요소는 방울간의 표면 저항력이다. 따라서 전극의 잠긴 깊이를 증가시킬 경우 방울에 작용하는 부력(buoyancy)에 의한 수직 방향의 힘이 증가하여 방울간의 표면 저항력을 보다 쉽게 극복할 수 있게 된다. 그 결과 상대적으로 작은 크기의 방울간의 결합을 통한 얇은 절연막 형성을 가능케 한다.

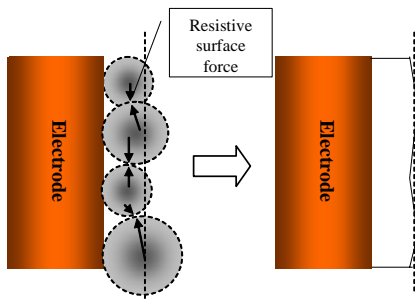
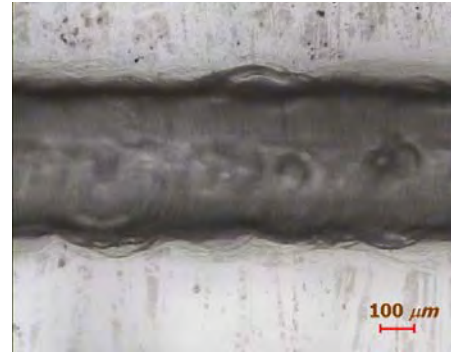


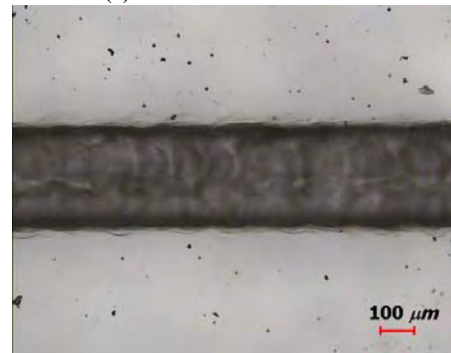
Fig. 3 Hydrogen film formation near working electrode

그림 4 는 기존의 전극과 본 연구에서 사용된 전극을 이용한 미세 채널 가공을 수행한 결과를 보여준다. 일반

전극을 사용한 경우 전극의 저항열에 의해 발생한 수증기가 전극 주변에 방울의 형태로 모여 가공 위치에 떨어지면서 일시적인 스파크 발생 중단을 초래한다. 그 결과 가공 중 미세 채널의 형상의 불균일성을 일으킴을 알 수 있었다. 반면 측면 절연 전극을 전해액 내에 깊이 침투시켜 전해액 표면에서 발생하는 영향을 제거시킴으로써 보다 안정적인 스파크 발생 및 가공 정밀도 향상을 유도할 수 있었다.



(a) Conventional electrode



(b) Side-insulated electrode

Fig. 4 Comparison of machining results

### 4. 결론

본 연구에서는 전해방전가공에서의 스파크 발생 안정화를 통한 가공 정밀도 향상을 위해 측면 절연 전극을 전해액 깊이 침투시켜 미세 채널 가공을 수행하였다. 그 결과 전해액 표면에서 가공에 악영향을 미치는 전해액의 국부적인 증발 및 농도 변화 등에 의한 불균일한 스파크 발생을 억제할 수 있었다. 그 결과 가공 채널의 형상 정밀도를 향상 시켰고 가공에 사용되는 전극 끝 부분에 집중적인 절연막 형성을 유도함으로써 오버컷(Over-cut)의 영향을 효과적으로 줄일 수 있었다. 향후 본 연구에서 사용된 전극의 절연 두께를 수십  $\mu\text{m}$  까지 감소시켜 미세 홀 가공에도 사용하기 위한 연구를 수행할 계획이다.

### 참고문헌

1. R. Wüthrich and V. Fascio, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 45, pp. 1095-1108, 2005
2. R. Wüthrich, Ch. Comninellis and H. Bleuler, Electrochimica Acta, Vol. 50, pp. 5242-5246, 2005
3. R. Wüthrich and L.A. Hof, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 46, pp. 828-835, 2006
4. Fachbereich Verfahrens- und umwelttechnik, Electrochimica Acta, Vol. 42, pp. 2695-2705, 1996
5. I. B. Chang, N. H. Kim and B. H. Kim, ASIATRIB 2002 International Conference
6. R. Wüthrich and H. Bleuler, Electrochimica Acta, Vol. 49, pp. 1547-1554, 2004