

# 전해방전가공의 형상 정밀도 향상을 위한 연구 Study on the Improvement of Electro-Chemical Discharge Machining Process

\*한민섭, #민병권, 이상조  
\*M.-S. Han, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee  
연세대학교 기계공학부

Key words : Anode effect, hydrogen film, geometric accuracy

## 1. 서론

전해방전가공은 전해작용 중 발생하는 전극효과(anode effect)를 응용한 특수가공법의 하나이다. 전해액 내에 위치한 두 전극에 일정 임계 값 이상의 전압을 걸어주면 음전극 주위에 발생하는 수소기체들이 결합을 통해 전기적 절연막을 형성한다. 이렇게 형성된 절연막이 전극과 전해액의 접촉을 완전히 차단하는 순간 기체 방전에 의한 스파크를 발생시키고 이러한 스파크의 열 에너지를 이용하여 가공을 수행하게 된다. 전기적 열 에너지를 응용한 점에서 방전가공과 유사하나 가공물에 직접적인 전기적 연결이 요구되지 않기 때문에 유리나 세라믹과 같은 비전도성 재료의 미세 가공(micro-machining)이 가능하며 가공시 전극의 마모가 거의 존재하지 않기 때문에 3차원 미세 구조물 가공에 유리한 점 등이 있다.<sup>1</sup> 예를 들면 유리재질이 포함된 MEMS 구조물 제작이나 micro-hole, micro-channel 가공 등에 적용이 가능하다. 또한 최근 세라믹 미세 절단에 적용한 연구의 예도 발표되고 있다.<sup>2</sup> 그러나 전극 주위에서 형성되는 수소기체 절연막(hydrogen film)의 제어가 난해하기 때문에 불균일한 가공에 의한 형상 정밀도의 저하 및 낮은 재현성(repeatability)의 문제가 발생한다. 따라서 수소기체 절연막의 특성(characteristics)이 가공 성능에 미치는 영향을 파악해야 한다. 그림 1은 수소기체 절연막의 특성들이 가공 결과에 미치는 영향을 정리한 것이다.<sup>3</sup>

본 연구에서는 전해방전가공의 가공 성능을 향상시키기 위한 방법들로서 powder-mixed electrolyte, side-insulated electrode, 그리고 ultrasonic-assisted electrolyte 을 제시 하였다. 다음 장에서 소개되는 각각의 방법들은 수소기체 절연막의 절연과 파괴 강도, 기하학적 형상, 필름형성시간을 변화시킴으로써 가공성능의 향상을 유도할 수 있었다.

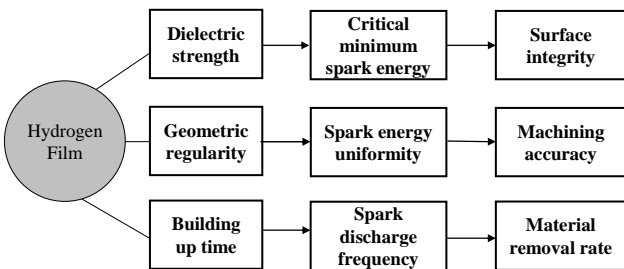


Fig.1 Hydrogen film characteristics

## 2. Powder-mixed Electrolyte

가공물의 표면 품질 향상을 위해서는 보다 미세한 스파크 에너지의 발생을 유도하는 것이 중요하다. 이를 위해 Wüthrich 은 전해액에 계면 활성제를 첨가하여 전극표면에서 발생하는 수소기체버블의 표면장력을 변화시켜 절연막의 두께를 효과적으로 감소시켰다.<sup>4</sup> 그 결과 가공물 표면의 열적 변형 및 미세한 갈라짐 등을 억제 할 수 있었다. 또다른 방법으로는 수소기체 절연막 자체의 절연과 파괴 강도

를 낮추는 방법을 들 수 있다. Han 은 기존의 연구에서 미세 전도성 입자들로 구성된 파우더를 일정 질량 비로 전해액과 혼합한 방법을 제시하였다.<sup>5</sup> 이러한 미세 전도성 입자들은 절연막 내부의 국부적인 전기장 집중을 유도하여 수소기체 절연막의 dielectric strength 를 효과적으로 낮출 수 있다. 전도성 입자들에 의한 절연과 파괴 강도의 감소 효과는 분말 혼입 방전 가공(powder-mixed EDM)의 원리와 유사하게 가공 에너지의 부분적인 집중을 억제 및 분산시켜 가공물의 표면 품질을 향상 시킬 수 있다. 그림 2 는 이러한 Powder-mixed ECDM process 을 보여 주고 있다.

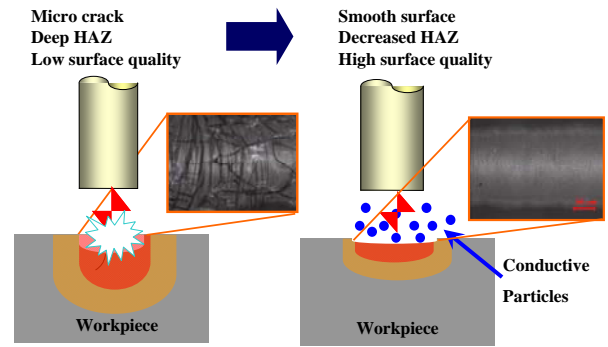


Fig.2 Powder-mixed ECDM process<sup>5</sup>

## 3. Side-insulated Electrode

수소기체 절연막의 기하학적 형상은 발생하는 스파크 에너지의 균일성(uniformity)에 직접적인 영향을 준다. 그림 3은 수소기체 절연막의 형성 과정을 설명하고 있다.

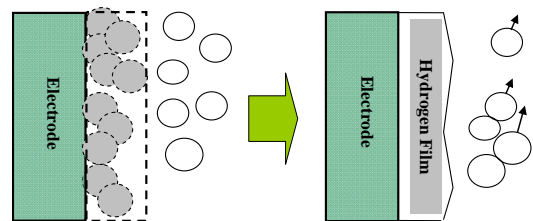


Fig.3 Hydrogen film formation

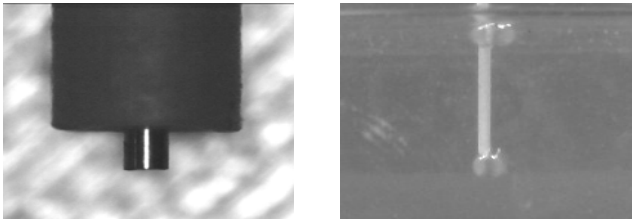
전극표면에서 발생한 수소기체버블들은 임의의 비율로 일부는 결합하여 절연막을 형성하고 일부는 비산하여 전해액 표면 위로 상승한다. 이때 버블들의 결합률( $C_r$ )에 따라 절연막의 기하학적 형상이 변화한다. 따라서 절연막의 geometric regularity 를 위해서는 이러한 버블들의 결합률을 일정하게 유지시켜야만 한다. Han 은 세라믹 재료의 튜브를 이용한 전극 측면의 부분적인 절연을 통해 버블 결합률의 균일화를 유도하였다.<sup>6</sup> 전극 측면 절연은 전해작용을 전극 끝부분에 집중시켜 single bubble formation 현상을 통해 버블 결합률을 극대화 한다. 그림 4 는 이러한 single bubble formation 현상을 보여주고 있다.

그림 5에서 보이는 바와 같이 Single bubble formation 현상은 지금까지 예측하기 난해했던 수소기체 절연막의 기하

학적 모델을 가능케 하였다. <sup>6</sup> Single bubble 의 형상을 구 (sphere)로 가정하면 시간에 따른 single bubble 의 반지름 ( $r_b(t)$ )은 아래의 식과 같다.

$$r_b(t) = \left\{ \frac{3}{\pi} \cdot \frac{A \cdot C_r \cdot V_{g,t}(t) + \pi r_{el}^2 l_{el}}{(1 + \cos \theta)^2 \cdot (2 - \cos \theta)} \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

이때,  $A$  와  $V_{g,t}(t)$  는 각각 전해액에 노출되어 있는 전극의 겹넓이(electrode active surface) 및 single bubble 의 부피를 의미한다.



(a) Side-insulated electrode (b) Single bubble formation  
Fig.4 Single bubble formation using side-insulated electrode

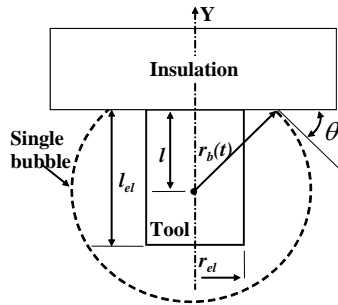
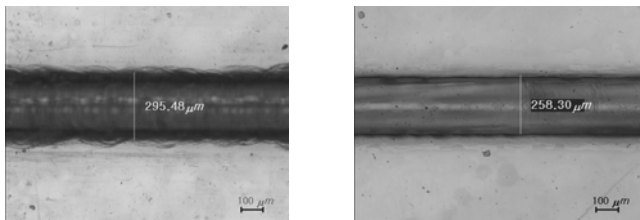


Fig.5 Geometric model of single bubble <sup>6</sup>

그림 6 은 기존의 일반 전극과 측면 절연 전극을 이용하여 미세 채널 가공한 결과를 비교하고 있다.



(a) Conventional electrode (b) Side insulated electrode  
Figure 6 Micro-channel fabrication

#### 4. Ultrasonic-assisted electrolyte

전해방전가공에서의 스파크 발생 주기(spark generation frequency)는 수소기체 절연막의 형성 시간(hydrogen film building up time)에 의해 결정된다. 절연막 형성을 방해하는 주요 요소 중의 하나로 수소 버블간의 표면 저항력을 들 수 있다. 본 연구에서는 이러한 표면 저항력을 보다 신속하게 극복하기 위해서 그림 7 과 같이 전해액 내에 초음파 진동자를 도입하였다. 초음파 진동에 의해 발생한 수소 버블들의 진동은 절연막 형성 시간을 단축시키는 효과를 보였다. 그 결과 스파크 발생 주기를 증가시키는 동시에 보다 얇은 두께의 수소기체 절연막 형성을 유도할 수 있었다. 또한 전극과 가공물 간극에서의 용이한 칩 배출 및 원활한 전해액 공급의 효과도 기대할 수 있다.

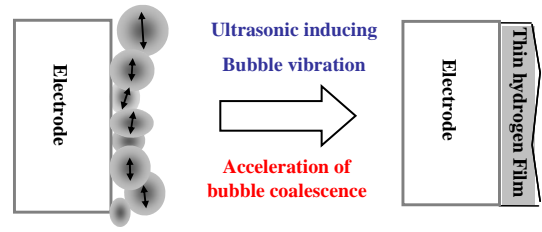


Fig.7 Acceleration of hydrogen bubble coalescence using ultrasonic vibration in the electrolyte

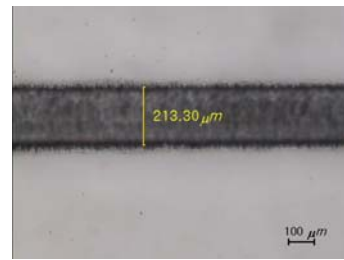


Figure 8 Micro-channel fabrication with ultrasonic-assisted ECDM process

#### 4. 결론

본 연구에서는 전해방전가공의 가공 정밀도를 향상시키기 위해 powder-mixed electrolyte, side-insulated electrode 그리고 ultrasonic-assisted electrolyte 를 도입하였다. 각각의 방법들은 수소기체 절연막의 절연파괴 강도를 낮추고, 기하학적 형상 균일도 그리고 절연막 형성 가속화를 통해 보다 균일하고 안정적인 가공을 유도하였다. 특히 side-insulated electrode 를 사용하여 single bubble formation 현상을 이끌어냄으로써 수소기체 절연막의 기하학적 모델을 얻어낼 수 있었으며 그 결과 보다 더 균일한 가공 에너지를 유도할 수 있었다. 또한 초음파를 이용한 절연막 형성의 가속화는 스파크 발생주기를 증가시키는 동시에 절연막의 두께를 감소시키는 효과를 얻을 수 있었다. 앞으로 위에서 제시된 각각의 방법들이 서로 결합되었을 때 전해방전 가공의 정밀도에 미치는 영향에 대한 연구가 진행될 예정이다.

#### 참고문헌

1. Wüthrich, R., Fascio, V., 2005, Machining of Non-conducting materials using electrochemical discharge phenomenon - an overview, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.37: 1095-1108
2. W. Y. Peng and Y. S. Liao, 2004, "Study of electrochemical discharge machining technology for slicing non-conductive brittle materials" J. Mat. Process. Technol., Vol 149: 363-369
3. Wüthrich, R., Spaelter, U., Bleuler H., 2006, The current signal in spark-assisted chemical engraving (SACE): What does it tell us, J. Micromech. Microeng. Vol.16: 779-785
4. Wüthrich, R., Hof, L.A., 2006, The Gas Film in Spark Assisted Chemical Engraving (SACE) - A key element for micro-machining applications, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol.46: 828-835
5. M.-S. Han, B.-K. Min, S. J. Lee, 2006, Improvement of surface integrity of electro-chemical discharge machining using powder-mixed electrolyte, Adv. Mat. Process. Technol. (AMPT 2006)
6. M.-S. Han, B.-K. Min, S. J. Lee, 2007, Improvement of electro-chemical discharge machining process using a side insulated electrode, 15th Int. Sym. Electromach. (ISEM XV)