

기체 절연막의 국소화를 통한 전해방전가공의 재현성 향상 Improvement of repeatability in ECDM process using localization of gas film

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

Key words : Glass machining, Bio-chip, Side insulated electrode

1. 서론

유리는 투명성, 화학적 안정성이 우수하여 MEMS 와 Bio engineering 분야에서 많이 사용되고 있다. 특히 뛰어난 생체 적합성으로 인하여 bio chip 제작에 사용되고 있으며 제작 방법으로는 습식 식각 (wet etching), DRIE (deep reactive ion etching), 파우더 블래스팅 (powder blasting), 전해방전가공 (electrochemical discharge machining) 등이 있다. 그러나 습식 식각, DRIE 의 경우 별도의 마스크제작 공정이 요구되고 파우더 블래스팅은 가공형상의 제어가 난해하다는 단점이 있다. 이에 비해 전해방전가공은 별도의 마스크공정 없이 미세채널 및 미세구멍 등의 가공이 가능하고 전극마모가 거의 없기 때문에 3 차원 구조물 가공에 적용이 용이하다. 또한 미세채널 가공의 경우 가공전극의 형상을 제어함으로써 원하는 채널의 단면 형상을 얻을 수 있다. 예를 들면 반구형상의 채널은 혈관모사를 위한 응용분야에 활용될 수 있고 비대칭 삼각형 형상의 채널은 세포를 정렬하는 응용분야에 활용될 수 있다. 하지만 전해방전가공의 경우 기존의 방법을 대체 하기에는 미세채널 가공에 있어 패턴 폭이 50 μm 로 이하로 줄어들이기 어려운 문제점을 가지고 있다.¹ 이러한 한계를 극복하기 위해서는 가공전극의 사이즈 뿐만 아니라 기체 절연막 두께의 제어가 필요하다.

기체 절연막의 특성을 제어하기 위해서 많은 연구가 진행되어 왔다. Wüthrich¹ 는 전해질용액에 계면활성제를 첨가하여 기체방울의 접촉각을 감소시킴으로써 가공 재현성을 향상시켰고 Han 은 전해질용액 속에 전도성 파우더를 넣어서 절연과피 강도를 감소 시킴으로써 표면거칠기를 향상시켰다.² 또한 전극을 세라믹튜브로 절연함으로써 균일한 스파크 발생을 유도하여 가공정밀도 및 재현성을 향상시켰다.³

본 연구에서는 AC 에칭을 통하여 탐침을 제작하였고 절연전극을 통해 전해작용을 국소화 함으로써 안정적이고 균일한 절연막 형성을 유도하여 유리에 약 5 μm 의 패턴을 가공하였다. 또한 전해질 농도와 입력 주파수가 가공정밀도에 미치는 영향을 실험을 통해 알아보았고 다양한 형상의 전극을 이용하여 미세채널을 제작해보았다.

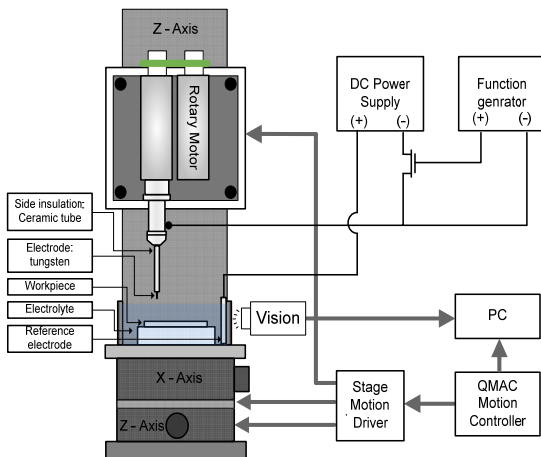


Fig.1 Schematic diagram of ECDM set-up

2. 실험장치

Fig.1 은 전해방전가공 장치의 구성도를 보여주고 있다. MOSFET 과 신호발생기를 이용하여 직류전압을 펄스전압으로 변환하여 전극과 전해질 용액 사이에 인가 하였다. 광학현미경을 이용하여 전극과 공작물 사이의 위치를 파악하고 방전현상을 가시적으로 관찰 하였고 3 축 스테이지를 이용하여 공작물과 전극의 위치를 조절하였다. 공작물은 1.1mm 두께의 borosilicate 를 사용하였다. 가공전극은 지름 0.2mm 의 텅스텐을 AC etching 을 이용하여 탐침으로 제작하였고 세라믹 튜브를 이용하여 Fig.2 와 같이 절연전극을 제작하였고 전극의 노출 길이는 500 μm 로 고정하였다.

다양한 채널의 단면 형성을 제작하기 위해 Fig. 3 과 같이 다양한 형태의 전극을 제작하였다. 구형은 AC etching 된 전극을 EDM (electro discharge machining)의 단발방전을 이용하여 제작하였고, 직사각형의 경우 EDG (electrical discharge grinding) 이용하여 제작하였다. Table 1 의 실험 조건으로 실험을 수행하였다.

Table 1 Machining conditions

Parameters	Micro-channel	Semi-circular	Rectangular
Voltage	25V	35V	35V
Electrolyte concentration	5%	5%	5%
Feed rate	4.5 $\mu\text{m/s}$	1.5 $\mu\text{m/s}$	1.0 $\mu\text{m/s}$
Frequency	1kHz	700Hz	900Hz

3. 결과 및 토의

3.1 전해질 농도

세라믹 튜브와 탐침을 사용하여 농도변화에 따른 가공 폭의 변화를 실험한 결과 5%에서 최소의 패턴 폭을 얻었다. 전해방전가공의 경우 정밀도향상을 위해서는 가공 전극의 사이즈와 절연막의 두께를 감소시키는 것이 필요하다.¹ 탐침을 사용할 경우 일반전극에 비해서 면적이 작기

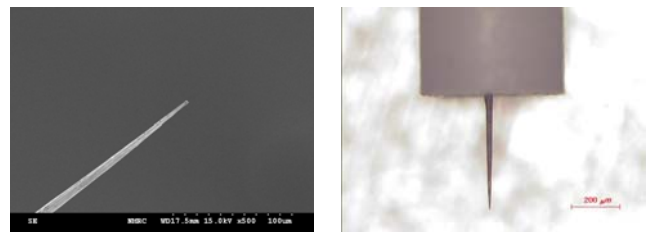


Fig. 2 AC etched electrode

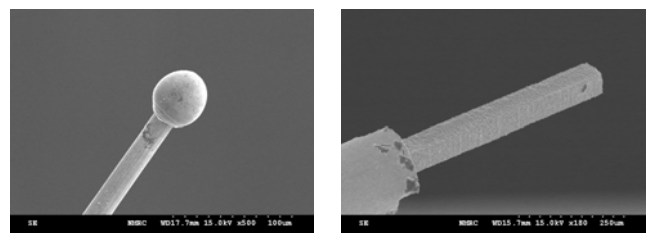


Fig. 3 Various tool geometry

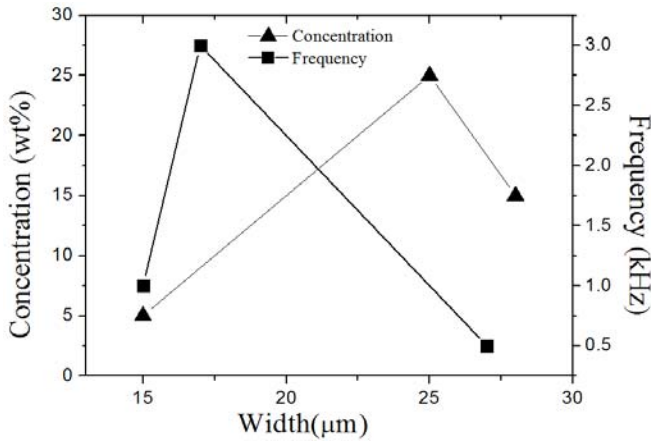


Fig. 4 Channel width according to the concentration and frequency

때문에 절연에 필요한 수소기체의 체의 양 또한 감소한다. 전해질의 농도가 증가하게 되면 전기분해 현상이 활발히 일어나 수소기체의 발생량이 증가하여 절연막의 두께가 증가하므로 저농도 조건에서 절연에 필요한 수소의 발생량을 감소시킴으로써 절연막의 두께가 감소시킨 결과 패턴 폭이 감소하였다.

3.2 입력주파수

펄스 전압을 사용할 경우 열에너지가 주입되는 시간을 감소 시킴으로써 공작물의 변형을 감소 시킨 결과 정밀한 가공이 가능하다. Kim³은 펄스전압을 사용하여 미세구멍 가공에서의 정밀도를 향상 시켰고 Zheng⁴은 off time 을 조절하여 3D 구조물 가공에서의 형상 정밀도를 향상 시켰다. 본 연구에서는 펄스전압에 따른 선 폭의 변화에 대해서 알아 보았다. 입력주파수가 증가함에 따라 패턴의 선 폭이 감소 되었지만 1kHz 이상에서는 선 폭이 증가하는 현상이 나타났다. 이는 펄스 off time 이 감소하여 이전에 발생된 기체가 절연막을 형성하는데 방해요인으로 작용하여 불규칙방전이 발생하였기 때문이다.

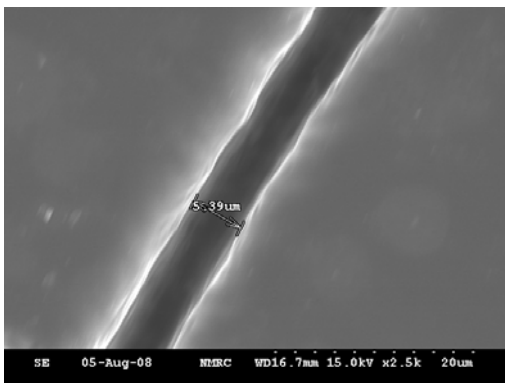


Fig. 5 Micro channels

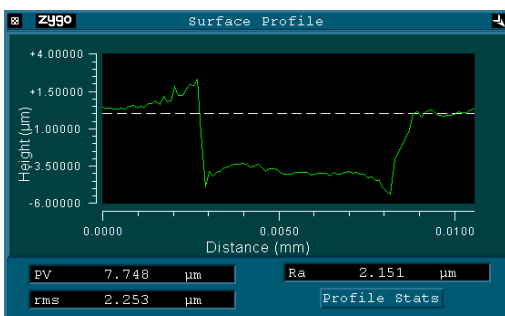


Fig. 6 Surface profile of 5μm width micro channel

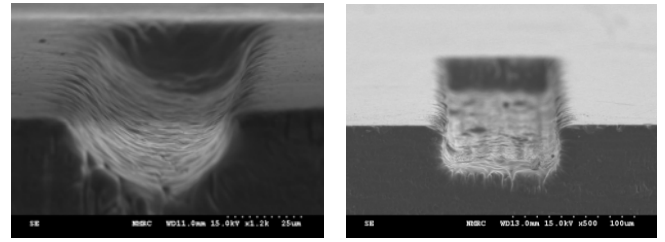


Fig. 7 Various cross section shape

3.3 가공결과

Fig.5 는 같은 조건하에서 가공한 미세채널의 이미지를 보여주고 있다. 선 폭이 약 4.5~7 μm로 가공 되었고 약 1~3 μm내외의 가공 편차를 보이고 있다. 구형과 직사각형 형태의 전극의 이용하여 가공한 결과 Fig.7 과 같이 전극에 형상과 동일한 형태의 미세채널의 단면을 얻었다.

4. 결론

본 연구에서는 탐침을 이용한 절연전극을 제작하여 미세채널을 가공한 결과 전해방전가공에서의 가공 재현성 향상 및 패턴의 폭이 감소되는 결과를 얻었다. 또한 전해질의 농도와 입력주파수가 가공에 미치는 영향을 실험하여

- 1) 5%의 전해질 농도에서 최소의 패턴 폭을 얻었다.
- 2) 입력 주파수가 증가함에 따라 정밀도가 향상 되었으나 1kHz 에서 이상에서는 감소하는 결과를 얻었다.

절연된 탐침과 전해질 용액의 농도, 입력주파수의 변화를 통하여 미세채널을 가공한 결과 50 μm의 가공 한계를 약 5 μm감소시키는 결과를 얻었고 다양한 형태의 미세채널 제작에 성공하였다.

후기

본 논문은 지식경제부의 전략기술기반사업 “대면적 미세형상 가공 시스템 개발” 과제에 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Wüthrich, R., Hof, L. A., Lal, A., Fujisaki, K., Bleuler, H., Mandin, Ph, Picard, G., Physical principles and miniaturization of spark assisted chemical engraving (SACE). Journal of Micromechanics and Microengineering, 15(10), 268 - 275, 2005
2. Han, M.S., B.-K. Min., and S.J. Lee., “Improvement of surface integrity of electro-chemical discharge machining process using powder-mixed electrolyte,” Journal of Material Processing Technology, 191, 224-227, 2007
3. Han, M.S., B.-K. Min., S.J. Lee., “Modeling gas film formation in electrochemical discharge machining processes using a side-insulated electrode,” Journal of Micromechanics and Microengineering, 18(4), 2008
4. Zheng, Z. P., Cheng, W. H., Huang, F. Y., Yan, B. H., “3D microstructuring of Pyrex glass using the electrochemical discharge machining process,” Journal of Micromechanics and Microengineering, 17, 960-966, 2007
5. Kim, D. J., Ahn, Y., Lee, S. H., Kim, Y. K., “Voltage pulse frequency and duty ratio effects in an electrochemical discharge microdrilling process of Pyrex glass,” International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46, 1064-1067, 2006