

전기화학적 방전가공법에 의한 #7740 파이렉스 유리기판의 미세가공에 관한 연구

12-6-2

A Study on Microdrilling of #7740 Pyrex Glass Substrate by Electrochemical Discharge Machining

정귀상*, 홍석우*

(Gwiy-Sang Chung*, Seok-Woo Hong*)

Abstract

This paper presents the experimental results of an EDM(Electrochemical Discharge Machining) technique for the fabrication of microholes on #7740 pyrex glass substrate. With various applied voltages and at various concentration of NaOH or KOH solution, respectively, the glass substrates have been microdrilled using the copper electrodes of which diameters are 150, 250, 350 and 400 μ m, respectively. The machined throughholes have been observed with the SEM, and the top diameter and the bottom diameter of the hole, the hollow width and the machining time have been measured. Compared with KOH solution, the NaOH solution has superior properties of good surface condition, high selective of electrode and low concentration of solution.

Key Words(중요용어) : Electrochemical Discharge Machining, Pyrex glass, Microhole, Hollow width

1. 서 론

방전가공기술은 방전에너지 조절, 위치 및 이송 제어 기술을 이용하여 형상치수 수십 μ m의 형상가공이 가능하며 재료의 제한이 적고 다양한 형상의 3차원 요소가공이 용이하기 때문에 최근에 활발히 연구개발되고 있다^[1-3]. 특히, 마이크로머시닝기술을 이용한 고성능 마이크로 센서, 액츄에이터 그리고 신호처리 회로까지 집적화된 초소형 정밀기계(MEMS: Microelectromechanical System) 개발에 있어서 미소방전가공기술은 필수 불가결한 핵심기술이다. 방전가공기술에는 전기방전가공법과 전기화학적 방전가공법으로 분류된다. 전기방전가공법은 인가전압 170 V, 방전전류 80~400[A]의 아크방전기술로 가공하는 방법이고^[4], 전기화학적 방전가공법은 국부적

으로 활성화된 수용액의 화학적 반응으로 가공물을 가공하는 방법으로 전기방전가공법에 비해 저전압에서도 가공이 용이하며 미세가공에도 적합하다.

미세가공된 파이렉스 유리는 열팽창계수가 실리콘과 비슷하여 양극접합 후에도 접합 경계면에 존재하는 잔류응력을 최대한 줄일 수 있어서 MEMS분야에 널리 사용되고 있다^[4-6]. Esashi는 절대압형 압력센서 제작시 KOH 혹은 NaOH 두 전해용액에서 미세가공된 유리기판을 단지 전극에서 리드선을 뽑아내기 위한 전기적 도통을 목적으로 사용하였다^[7]. 그러나, 여러가지 가공조건에 따른 가공상태 및 결과를 제시하지 못하였다. 또한, Jeong은 KOH 수용액속에서 전기화학적 방전가공에 대한 유리기판의 최적 방전가공조건을 제시했지만^[8], 양극전극으로 부식성이 크며 오염에 강한 납을 사용하였고, KOH 수용액을 사용하므로 가공된 기판의 표면상태가 좋지 못했다^[9]. 또한, 높은 수용액 농도와 부식성에 의한 직경이 큰 가공전극을 사용하므로 KOH 수용액을 사용하면 가공전극에 비해 가공구멍이 커지는 단점이 있다.

본 연구에서는 이상에서 기술한 문제점을 해결하기 위하여 NaOH와 KOH 두 수용액에 있어서 전기화

* : 동서대학교 정보통신공학부
(부산시 사상구 주례동 산 69-1, Tel : 051-320-1569, Fax : 051-320-1592 E-mail : gschung@kowon.dongseo.ac.kr)
1999년 1월 20일 접수, 1999년 4월 30일 심사완료

학적 방전가공법에 의한 #7740 파이렉스 유리기판 미세가공시 음전극으로 구리를 양전극으로 백금을 각각 사용하여 인가전압, 수용액의 농도, 가공전극 직경크기의 변화에 따른 홀의 상·하부 직경, hollow width, 가공시간, 가공 후 유리기판의 표면상태를 측정 및 분석하여 최적의 유리기판 미세가공기술을 확립하였다.

2. 실험

그림 1은 전기화학적 방전가공법에 의해 유리기판을 미세가공하기 위한 장치도를 개략적으로 나타낸 것이다. 전압원은 AC 0~50 V까지 충분히 변화할 수 있어야 하고 인가전압은 전압의 진폭을 의미한다. 수용액속의 두 전극은 전기음성도가 차가 크면 전자는 전기음성도가 큰 쪽으로 쉽게 옮겨가므로 전기음성도차가 클수록 적당하다. 따라서, 음전극으로는 화학반응에 의한 부식성이 적은 백금을 양극으로는 전기음성도차를 고려하여 구리를 각각 사용하였다. 음전극은 각각 150~400 μ m 직径의 재현성을 고려하여 원통형 구리 가공전극을 사용하였다. 또한, 가공전극은 구리지지대에 고정시켜 수용액에 노출되는 표면적에 따라서 전하의 집중도가 달라지므로 1 mm 정도로 테프론 테이프를 감아서 사용하였다. 가공물은 두께 580 μ m의 #7740 파이렉스 유리기판을 사용했으며, 가공시 방전에너지에 의해 미끄러지지 않게 하기 위해 일정한 하중을 구리지지대에 인가한 상태에서 가공하였다. 접촉하중이 적으면 방전에너지에 의해 미끄러지는 현상이 생기고 하중이 너무 크면 조개어지는 현상이 생긴다. 접촉하중은 30 g 정도 인가한 상태에서 가공해야 올바른 형상을 얻을 수 있다¹⁰⁾. 가공시 서서히 인가전압을 높여주면 수용액 내부에서 음전하의 흐름에 의해 기전력이 발생하고, 이 기전력에 의해 전기분해 현상으로 수소기포가 발생한다. 인가전압이 기전력보다 크게 되면 음전하의 흐르는 방향이 바뀌는 현상인 전기분해 현상이 방전현상으로 바뀐다. 실험조건은 20 wt.%, 25 wt.%, 30 wt.% 수용액 농도에서 인가전압은 30~45 V 범위에서 5 V씩 증가시켰다. 가공시간은 인가전압을 인가하면서부터 가공물이 완전히 가공되기까지 시간을 측정하는 것으로 가공물이 완전히 가공되면 가공전극과 가공물 사이에서 기체 발생이 없어지는 시점으로 측정하였다. 또한, 인가전압, 전극직경, 수용액 농도 변화 등의 조건에 따른 가공시간, 홀의 표면상태 및 크기, hollow width를 각각 측정·분석하였다.

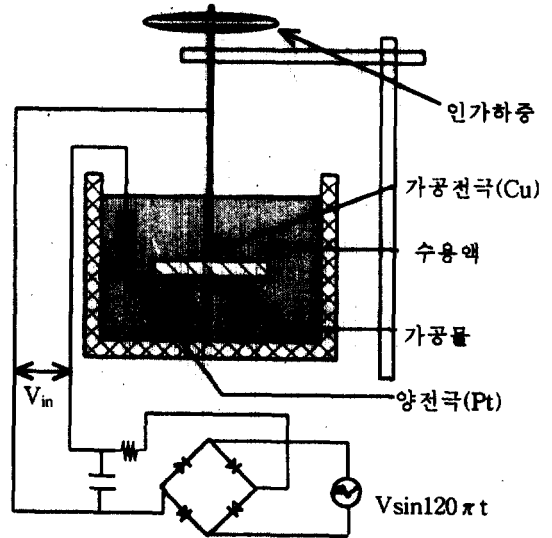


그림 1. 전기화학적 방전가공법에 의한 #7740 파이렉스 유리기판의 미세가공을 위한 장치도.
Fig. 1. The configuration for microdrilling of #7740 pyrex glass substrates by EDM technique.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 가공된 홀의 단면 개략도이다. 상부직경은 가공전극의 방전에너지에 장시간 노출되므로 크고 점차적으로 줄어들었다가 다시 넓어진 형태이다.

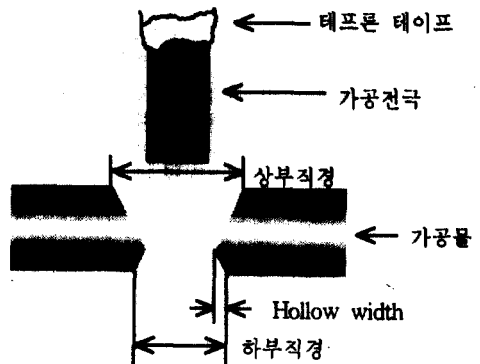


그림 2. 가공된 홀의 단면 개략도.
Fig. 2. The schematic diagram of the cross-section of the machined hole.

그림 3은 인가전압 35 V일때, 수용액 농도 및 전극크기에 따른 가공 시간을 나타낸 것이다. 전극의 직경이 작으면 작을수록 가공시간이 짧아짐을 알 수 있다. KOH 수용액은 NaOH 수용액 보다 용해도가 높아서 같은 농도의 용액일때 OH기의 생성이 많아진다. 따라서, 높은 부식성에 의해 가공 시간이 짧아지고 가공전극의 부식성이 높아진다. KOH 수용액에 있어서 전기화학적 방전가공시 전극직경이 250 μm 이하에서는 부식성에 의해 낮은 전압인가시 장시간 수용액에 노출되므로 완전한 형상을 얻기전에 전극형태가 구부러졌다. 그러나, NaOH 수용액에서 미세가공시 전극직경이 250 μm 이하에서도 가공이 가능하였다.

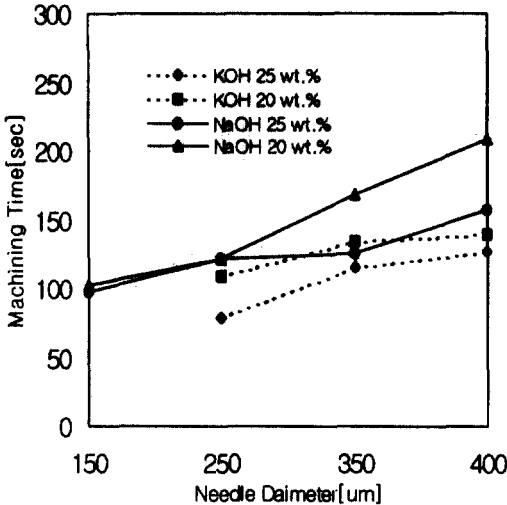


그림 3. NaOH, KOH 두 수용액의 농도 및 전극 직경에 따른 가공시간의 변화.

Fig. 3. Variations of machining time according to the concentration of NaOH, KOH solutions, respectively, and diameter of electrode.

그림 4는 NaOH 수용액 25 wt.%, 인가전압 35 V에서 전극직경에 따른 미세가공된 유리기관 홀의 상·하부직경 변화를 나타낸 것이다. 전극직경이 작을수록 가공된 홀의 직경이 작아짐을 알 수 있다. 가공된 홀의 직경은 수용액의 농도, 인가전압 그리고 전극직경 등에 의존하지만, 특히 가공전극직경에 가장 큰 영향을 받는다. NaOH 수용액을 사용하면

부식성에 의한 전극형상의 변화를 줄일 수 있어서 미세 홀을 가공하거나 장시간 가공에 용이하다. 따라서, 전극의 선택성이 높기 때문에 다양한 크기의 미세가공물을 제작할 수 있을 것이다.

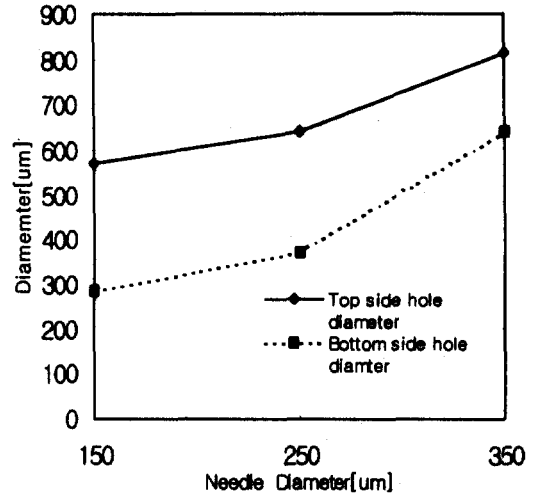


그림 4. NaOH 25 wt.%에서 전극직경에 따른 상·하부직경의 변화

Fig. 4. Variations of top and bottom side diameter according to diameter of electrode in NaOH 25 wt.%.

그림 5는 인가전압과 NaOH, KOH 두 수용액 농도에 따른 상부직경의 변화를 나타낸 것이다. 가공전극의 직경은 250 μm , 접촉하중은 30 g 인가한 상태에서 가공하였다. 상부직경은 인가전압이 클수록 NaOH 및 KOH 수용액의 농도가 낮을수록 OH기가 감소된다. 또한, 장시간 가공시 홀의 상부는 KOH 수용액 20 wt.% 이하의 농도에서는 급격히 상부직경이 커짐을 알 수 있다. 한편, NaOH 수용액은 KOH 보다 낮은 농도에서 미세가공하여도 작은 상부직경을 얻을 수 있다.

그림 6은 인가 전압 및 NaOH, KOH 두 수용액 농도에 따른 하부직경의 변화를 나타낸 것이다. 하부직경의 경우 가공전극과 직접 닿지 않기 때문에 제어하기가 곤란하다. 하지만, NaOH 수용액에서 가공하므로 KOH보다 하부직경이 매우 작아짐을 알 수 있다. 방전가공시 가공전극의 방전에너지가 가공물의 하부까지 영향을 미쳐서 필요없이 가공되는 부분

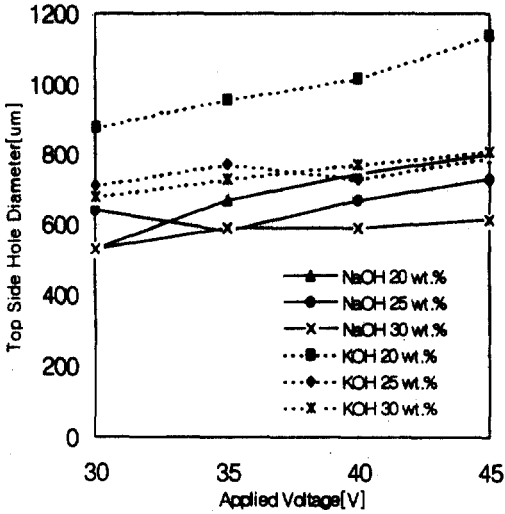


그림 5. NaOH, KOH 두 수용액의 농도 및 인가 전압에 따른 상부직경의 변화.
 Fig. 5. Variations of top side hole diameter according to the concentration of NaOH, KOH solutions, respectively, and applied voltage.

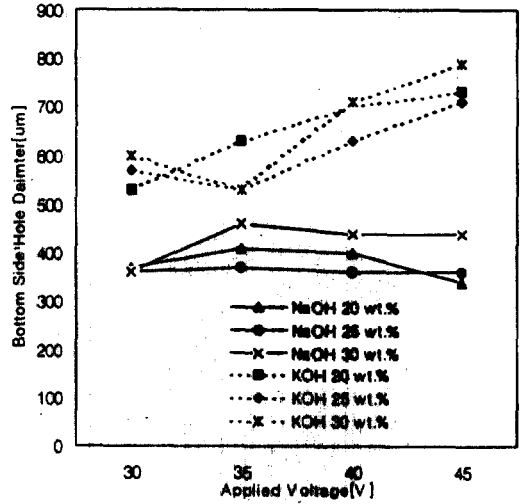


그림 6. NaOH, KOH 두 수용액의 농도 및 인가 전압에 따른 하부직경의 변화.
 Fig. 6. Variations of bottom side hole diameter according to the concentration of NaOH, KOH solutions, respectively, and applied voltage.

을 hollow width라 한다. Hollow width는 방전 에너지가 클수록 커지고 전하의 집중도가 클수록 작아진다. KOH 수용액에서 가공시 hollow width가 크고 인가전압이 높아질수록 커진다. NaOH 수용액에서 미세가공시 가공전극의 직경을 줄일 수 있어서 전하의 집중도를 높이고 적당한 방전에너지를 공급하므로 hollow width를 줄일 수 있다.

그림 7은 인가전압 및 수용액 농도에 따른 유리기판을 미세가공하는데 필요한 시간을 나타낸 것이다. 가공시간은 NaOH와 KOH 수용액에 있어서 가공물의 가공시간은 인가전압이 40 V까지 크게 줄어들었고, 수용액 농도가 25 wt.% 이상에서는 큰 변화가 없었다. 인가전압이 높을수록 수용액 농도가 클수록 수용액의 전기용량이 커져서 방전에너지 양이 증가하기 때문에 같은 인가전압시 가공시간을 줄일 수 있다. 가공시간은 NaOH보다 KOH 수용액을 사용하는 것이 가공시간을 줄일 수 있었다.

그림 8 (a), (b)는 NaOH, KOH 수용액 농도 25 wt.%, 인가전압 35 V 조건하에서 각각 전기화학적 방전가공법으로 미세가공된 #7740 파이렉스 유리기판의 상부 SEM사진이다. 동일 인가전압에서는 NaOH보다 KOH 수용액이 강한 방전에 의한 홀 내

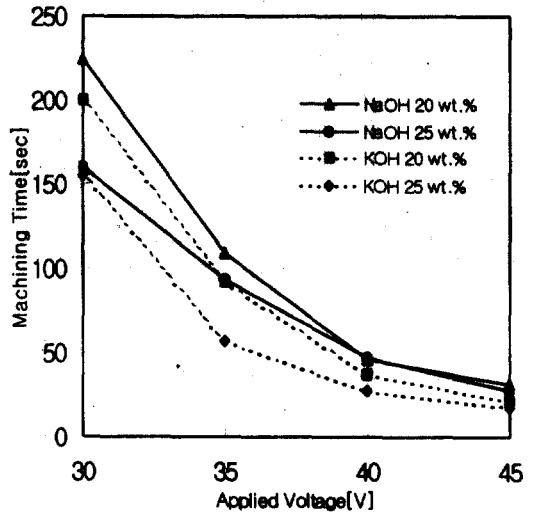


그림 7. NaOH, KOH 두 수용액의 농도 및 인가 전압에 따른 가공시간의 변화.
 Fig. 7. Variations of machining time according to the concentration of NaOH, KOH solutions, respectively, and applied voltage.

부에 세로줄 형태의 거친흔적이 있다. 그러나, NaOH 수용액에서 가공한 홀은 방전에 의한 세로줄 형태의 흔적이 없고 가공흔적이 부드러운 것을 알수 있다.

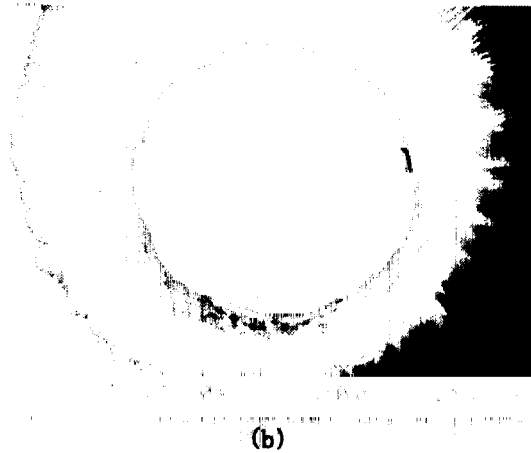
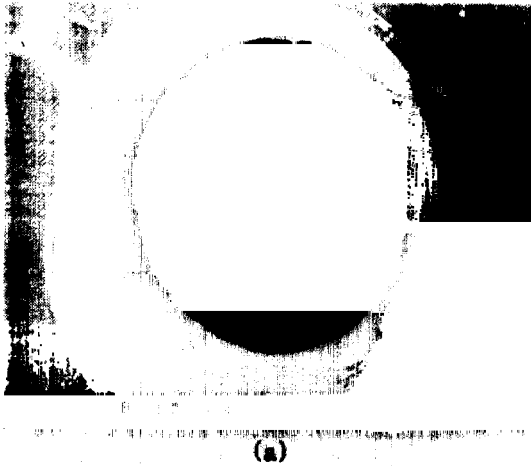


그림 8. (a) NaOH와 (b) KOH 수용액에서 각각 미세 가공된 홀의 상부 SEM사진.
Fig. 8. SEM pictures of the top side of micro-drilled holes in (a) NaOH and (b) KOH solutions, respectively.

4. 결 론

본 논문에서는 NaOH, KOH 두 수용액에서 각각 전기화학적 방전가공법으로 파이렉스 유리를 미세가공할때 인가전압, 가공전극의 직경크기, 수용액 농도

의 변화에 따른 가공홀의 상·하부직경과 hollow width, 가공시간, 표면상태 등을 분석 및 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다

- 1) 전극의 직경이 작을수록 가공시간 및 홀 직경을 줄일 수 있었다.
- 2) 전기화학적 방전가공시 KOH보다 NaOH 수용액을 사용하는 것이 양호한 표면상태를 얻을 수 있었고 장시간 가공하여도 가공전극의 형상에 영향을 주지 않았다.
- 3) 상부직경은 인가전압과 NaOH 수용액 농도를 줄일수록 커졌다.
- 4) NaOH 수용액을 사용하여 전기화학적 방전가공하면 하부직경 및 hollow width를 줄일 수 있었다.
- 5) 가공시간은 인가전압 및 수용액 농도를 높일수록 줄일 수 있었다.

따라서, KOH보다도 NaOH 수용액에 있어서 전기화학적 방전가공법은 유리기판의 미세가공이 용이하기 때문에 마이크로머시닝기술에 의한 마이크로 센서, 액츄에이터 및 시스템 연구개발에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. S. Shoji, M. Esashi, "Photoetching and Electrochemical Discharge of Pyrex Glass", Tech. Dig. of the 9th Sensor Sympo., A1, 4, pp. 27-30, 1990.
2. D. Reynaerts, P. H. Heeren, H. V. Brussel, "Micro Electro Discharge Machining and Application", Sensors & Actuators, A60, pp. 212-218, 1997.
3. T. Masaki, K. Kawata, and T. Masuzawa, "Micro Electro Discharge Machining and Application", Proc. IEEE MEMS Workshop, pp. 21-26, 1990.
4. S. H Kim, H. J. Kim, D. Y. Ma, T. M Shin, "A Study on the Arc Discharge Characteristics of Liquid Insulating Materials for Electrical Discharge Machin", KIEEME, Vol. 8, No. 5, pp. 564-570, 1995.
5. M. Esashi, S. Shoji, and A. Nakano, "Normally Close Microvalve and Micropump Fabricated", Proc. IEEE MEMS Workshop, pp. 29-34, 1989.
6. S. S. Yang, E. H. Yang, S. Y. Kim, J. D.

- Seo, H. Han, "Fabrication of an Electrostatic Actuator and Passive Valves with p⁺ Silicon Diaphragms for Micropumps", ASME Winter Annual Meeting, pp. 55-2, 733-740, 1994.
7. G. Stemme, "Micro Fluid Sensors and Actuators", Proc. IEEE MHS '95, pp. 45-52, 1995.
8. M. Esashi, Y. Matsumoto, and S. Shoji, "Absolute Pressure Sensors by Air-tight Electrical Feedthrough Structure", Sensors & Actuators, A21-A23, pp. 1048-1052, 1990.
9. O. C. Jeong, E. H. Yang, S. S. Yang, "An Experimental Study on Electrochemical Discharge Machining Technique for Micromachining of Pyrex Glasses", Trans. KIEE, Vol. 45, No. 9, pp. 1374-1379, 1996.