

# 전기방전가공 기술을 이용한 유리의 미세 가공

정옥찬, 양의혁, 양상식  
아주대학교 제어계측공학과

## Micromachining of a Pyrex Glass Using EDM Technique.

O. C. Jung, E. H. Yang, and S. S. Yang  
Department of Control and Instrumentation Engineering  
AJOU University

**Abstract** - In this paper, a pyrex glass is machined using Electric Discharge Machining. In order to fabricate the desired shape, the process conditions are optimized appropriately. This paper shows that the applied voltage and the concentration of electrolytic solution significantly affect the size and shape of the hole in the pyrex glass. As the applied voltage grows, the size of the hole increases but the shape is little affected.

### 1. 서 론

최근 반도체 공정 기술을 이용한 마이크로머신의 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 마이크로머신 제작 기술의 발달과 함께 EDM(electro discharge machining)이라고 불리는 전기 방전 가공기술이 마이크로머신 제작에 응용되고 있다. 이 기술은 현재 금속과 비금속의 구멍뚫기, 조각, 절단에 응용되고 있으며, 다이아몬드 등 경도가 높은 재료 가공에도 쓰인다.[1] 일본의 마쓰시타 기연에서는 최소 드릴링 치수가 5 μm이고 가공 스테이지의 위치결정 분해능이 0.1 μm인 초미세 방전 가공장치를 이미 개발했고 실용화하고 있다.[2] 본 연구에서는 마이크로 펌프 등의 제작에 응용할 수 있도록 파이렉스 유리 #7740을 가공한다. 가공된 유리는 마이크로 밸브에 결합되어 유체의 통로로 사용된다. 본 연구에서는 인가 전압과 수용액의 농도를 적절히 조절하여 유리를 가공한다.

### 2. 방전 가공

방전 가공은 순간적으로 방출되는 전하의 에너지로 가공물을 제작하며, 그 종류에는 접촉 가공과 비접촉 가공이 있다. 접촉 가공은 주로 비금속 가공에, 비접촉 가공은 금속

의 가공에 이용된다. 그림 1은 방전 가공의 종류를 나타낸다. 비접촉 가공은 가공되는 면이 접촉 가공보다 넓고, 가공물의 표면 상태에 영향을 많이 받는 단점이 있는 반면, 접촉 가공은 방전 에너지를 좁은 영역에 대하여 고르게 전달하기 때문에 가공된 표면 상태가 양호하고, 방전의 영향을 받는 면적이 적어서 미세한 구멍의 제작에 유리하다.[3] 본 연구에서는 접촉 가공법을 이용하여 유리의 미세 가공을 한다.

그림 2는 유리 가공을 위한 방전 가공 장치를 나타낸다. 방전 가공 장치는 크게 가공부와 회로부로 나뉜다. 가공 장치에 있는 두 개의 전극은 수용액 속에 잠겨 있으므로, 전기 용성도를 고려하여 선택해야 한다. 양극은 전기 용성도가 상당히 큰 납(2.33)을 사용함으로써 음극으로 사용될 가공 전극 선택의 폭을 넓게한다. 가공 전극은 직경이 200 μm인 원기둥 형태의 구리이며 전해 수용액에 노출되는 전극의 길이는 1 mm이다. 이는 유리의 두께와 전하의 집중도를 고려한 것으로써 유리의 구멍은 저전압에서 낮은 방전 에너지로 미세 가공된다.

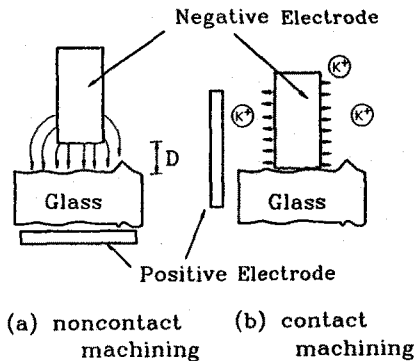


그림 1. 방전 가공의 두가지 형태

그림 2의 전기 회로부의 RC 공진 회로에서, 캐패시터의 방전으로 발생하는 전류는 펄스 형태이다. 펄스의 주기는 시상수인 캐패시턴스와 저항의 곱으로 결정된다. 저항이 작을수록 방전 주기가 작고, 캐패시터의 용량이 클수록 방전 에너지는 커지기 때문에 저항과 캐패시터의 크기를 고려하여 회로를 구성한다. 한 펄스당 캐패시터에 의하여 방전되는 에너지의 크기,  $E$ 는

$$E = \frac{1}{2} \times C \times V^2 \quad (1)$$

이다. 여기서,  $C$ 는 캐패시터의 용량과 표유 정전 용량의 합이며,  $V$ 는 인가 전압이다. 수용액의 농도에 따라 표유 정전 용량은 달라진다. 식 (1)로부터, 인가 전압과 캐패시턴스를 변화시킴으로써 방전 에너지의 조절이 가능하므로, 유리 가공을 위한 전류의 세기를 조절할 수 있다.

### 3. 실험 결과

본 연구에서는 실험 조건인 수용액의 농도와 인가 전압이 가공 경사각에 미치는 영향을 실험한다. 표 1은 KOH 농도에 따른 방전 실험 결과로 얻어진 방전이 가능한 최소 전압을 나타낸다. 그리고, 두께가 530  $\mu\text{m}$ 인 파이렉스 유리 가공 시 가공 전극과 유리의 접촉력은 일정하게 한다.

그림 3에서 구멍의 직경의 차이,  $D_{GAP}$ 는

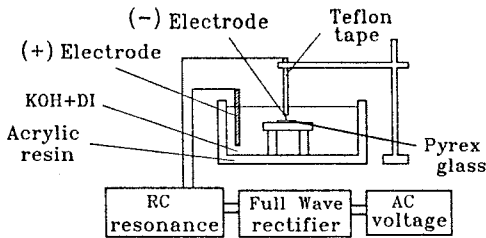


그림 2. 방전 가공 장치의 구성도

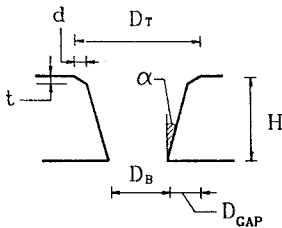


그림 3. 가공된 유리 구멍의 형태

$$D_{GAP} = \frac{1}{2} \times (D_T - D_B) \quad (2)$$

이고, 따라서 가공 경사각,  $\alpha$ 는

$$\alpha = \arctan \frac{D_{GAP}}{H} \quad (3)$$

이다.  $H$ 는 파이렉스 유리의 두께,  $D_T$ ,  $D_B$ 는 각각 윗면과 아랫 면의 직경이다.

그림 4와 그림 5는 33 % KOH 수용액에 대하여 인가 전압을 변화시키며 유리를 가공했을 때의 구멍의 윗부분과 밑부분의 직경을 나타낸다. 각각의 그림으로부터 인가 전압과 가공된 유리의 직경이 비교적 선형적인 관계를 가지고

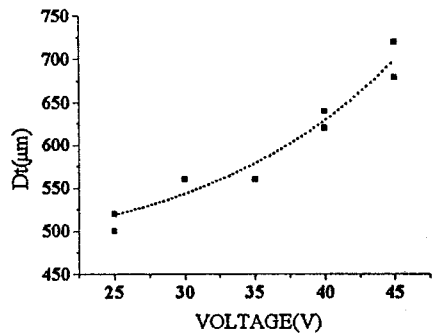


그림 4. KOH 농도가 33 %일때 위 구멍의 직경

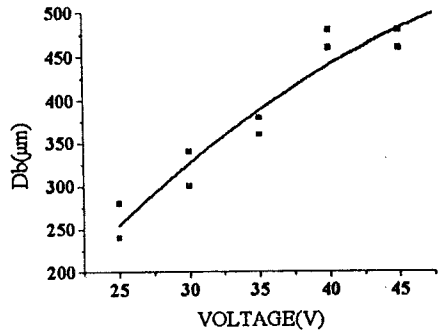


그림 5. KOH 농도가 33 %일때 아래 구멍의 직경

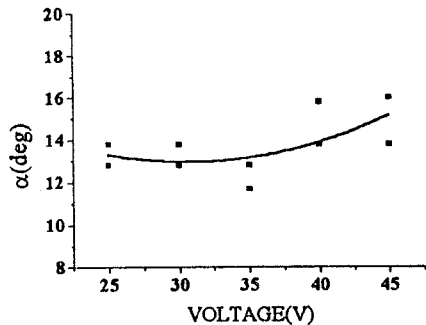


그림 6. KOH 농도가 33 %일때 가공 경사각( $\alpha$ )

있음을 알 수 있다. 그림 6에서 파이렉스 유리의 두께, H는 530  $\mu\text{m}$ 이다. 인가 전압을 증가시키면 윗면 직경,  $D_1$ 와 아랫 면의 직경,  $D_2$ 는 증가하지만, 직경의 차이,  $D_{\text{GAP}}$ 이 일정하게 유지되어 가공 경사각,  $\alpha$ 는 거의 일정함을 알 수 있다. 33 % KOH 수용액에서 인가 전압의 변화에 따른 가공 경사각,  $\alpha$ 는 13.8°와 12.21° 사이를 유지한다.

본 논문에서는 27 % 농도와 33 % 농도의 수용액에 대하여 가공 경사각, 가공 시간을 실험하고, 표면의 거칠기를 비교한다. 같은 전압에서 방전 에너지의 크기는 농도가 높을수록 커지며, 27 % 농도에서 제작된 유리 구멍의 표면 상태는 33 %보다 양호하다.

그림 7은 27, 33 % 농도에서 인가 전압의 변화에 따른 유리의 가공 시간을 측정된 결과이다. 이 때 가공 시간은 유리의 구멍이 완전히 형성되는 시간을 나타낸다. 그림 7에서 농도가 33 %인 그래프와 농도가 27 %인 그래프의 가공 시간이 다른 이유는 같은 전압에서 수용액의 농도에 따라 유리에 전달되는 방전 에너지의 양이 다르기 때문이다.

그림 8은 KOH 수용액의 농도를 15, 27, 33 %로 할 때 인가 전압에 따른 가공 경사각을 나타낸다. 수용액의 농도가 15 % 일때 구멍의 윗 면과 아랫 면의 직경의 차이가 가장 크다. 그림 6에서 40 V 이상의 전압을 인가할 경우 농도에 따른 구멍의 윗 면과 아랫 면의 차이가 일정해짐을 알 수 있다.

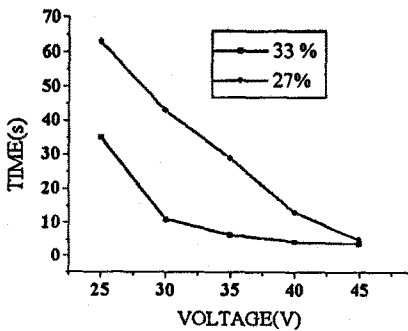


그림 7. KOH 농도와 인가 전압에 따른 가공 시간

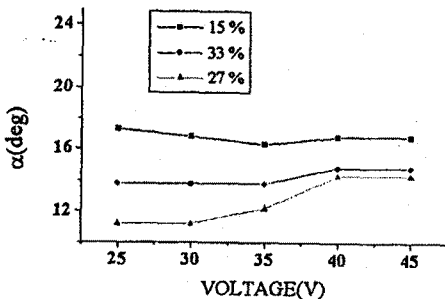


그림 8. KOH 농도에 따른 가공 경사각

실험 결과, 농도와 전압이 낮을수록 유리에 전달되는 방전 에너지는 가공되어지는 깊이에 따라 차이가 있다고 생각된다. 그 원인은 일정 전압에서 가공시 전극 주위의 KOH 농도와 관계된다. 농도가 낮을 경우에는 전극 주위의 KOH 농도가 변하여 불균일한 방전이 일어나기 때문에 방전 에너지가 변한다. 이러한 현상은 그림 3에서의 d의 증가와, t의 감소로 가공 경사각을 작게 한다. 15 % KOH에서 가공 경사각은 17.3° ~ 16.8°이다. 농도와 전압이 높을 경우에는 안정한 방전으로 가공 경사각이 커진다. 27, 33 % KOH에서 가공 경사각은 각각 14.3° ~ 11.2°과 13.8° ~ 11.1°이다.

실험 결과로부터, 본 연구에서의 전극을 사용하여 유리를 가공할 경우, 유리의 깊이에 따라 달라지는 방전 에너지로 인하여 가공 경사각이 수직인 구멍을 제작하기 어렵다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 인가 전압과 수용액 농도의 변화에 대하여 가공된 구멍의 크기, 시간, 가공 경사각 등을 살펴 보았다.

15 ~ 33 % KOH 수용액에서 가공 경사각의 변화는 3.5° ~ 5.7°로 인가 전압의 변화에 대하여 유리의 가공 경사각은 큰 영향을 받지 않지만, 가공 시간과 구멍의 크기는 상당히 달라지는 결과를 보였다.

앞으로, 가공 깊이에 따라 방전 에너지의 차가 적은 미세한 전극의 제작이 선행되어야 하며, 이를 바탕으로 전기 방전 가공기술은 가공 전극과 가공물 사이의 접촉력에 대한 연구가 필요하다.

#### 참고 문헌

- [1] 강명순, 최신기계공작법, 문운당, 1977, p. 609-612.
- [2] T. Masaki, K. Kawata and T. Masuzawa, "Micro Electro-Discharge Machining and its Application," IEEE Proc. MEMS workshop, pp. 21-26. 1990.
- [3] D. M. Manos and D. L. Flamm, Plasma Etching an Introduction, Academic Press, 1989, pp. 14-26.

표1. 수용액의 농도에 따른 방전 가능한 최소 전압

수용액 농도(%)	방전 가능 최소 전압(V)
0	100 이상
15	20
27	17.5
33	14