

엑시머 레이저를 이용한 파이렉스 유리의 미세가공 특성 연구 A Study on Micro-Machining of Pyrex glass using Excimer Laser

*이철재¹, #강정호¹, 김하나¹, 정윤상¹

*C. J. Lee¹, #J. H. Kang(kangjhWdau.ac.kr)¹, H. N. Kim¹, Y. S. Jung¹

¹동아대학교 기계공학과

Key words : Excimer Laser, Pyrex Glass, Micro-Machining

1. 서론

최근 소형 정밀 부품에 대한 가공이 늘어나면서 미세구멍 가공 기술의 중요성이 부각되고 있다. 특히 미세구멍 가공은 시계 부품, 각종 미세 노즐 및 오리피스, 광섬유 커넥터, 프린트 기관, 우주 항공용 부품 등에 수요가 급증하고 있다. 이중 유리와 같은 투명 재료는 광학적, 화학적, 기계적 성질이 우수하여 통신, 광학 장비, 마이크로 전자기계 시스템(MEMS) 등의 폭 넓은 분야에서 이용되고 있으나, 유리의 우수한 성질은 가공을 어렵게 하는 인자로 작용하고 있다. 일반적으로 유리 가공을 위해 화학적 에칭, 기계적 가공, 레이저 가공 등이 이용되고 있으나, 화학 습식 에칭에 의한 유리 가공은 복잡한 제조 공정과 환경적 제약이 따른다. 레이저 가공은 에칭 또는 기계적 가공에 비해 공정비용과 정밀도를 향상시킬 수 있고, 곤란한 재료도 비교적 간단한 공정으로 가공할 수 있다는 이점으로 널리 활용되고 있으나 레이저 가공을 통한 유리의 미세구멍 가공에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다.^[1]

따라서 본 실험에서는 통신, 광학, 마이크로 전자기계 시스템 등 폭 넓은 분야에서 사용되고 있는 유리의 미세 구멍 가공에 있어 248nm의 파장을 갖는 KrF 엑시머 레이저(excimer laser)를 이용하였다. 유리 미세구멍 가공시 적용할 최적의 가공조건을 확보하기 위해 공정변수인 에너지밀도(energy density), 펄스수(number of pulses)에 따른 영향을 파악하고 고찰하였다.

2. 실험장치

엑시머 레이저는 Nd:YAG 레이저나 CO₂ 레이저에 비해 광자 에너지가 훨씬 크기 때문에 열적 현상은 매우 작고 초점부 주변 재료의 용융

및 재응고 등과 같은 현상이 크게 줄게 되어 미세가공에 적합하다. Fig. 1은 파이렉스 유리를 가공하기 위한 레이저 실험장치이며, Table 1은 장비의 사양을 나타낸다. 본 실험에 사용된 파이렉스 유리는 alkali silicate 유리에 알칼리 대신 B₂O₃가 약간 치환 첨가되어 유리의 망목구조는 강하게 되면서 전반적인 성질이 향상된다. 특히 화학적인 내구성을 저하시키는 alkali가 감소하여 유리의 화학적인 침식 저항이 상승하고, 유리의 구조강화에 기인하여 열팽창계수가 감소하여 열충격에도 강하게 된다. 사용된 파이렉스 유리의 두께는 500 μ m이다.

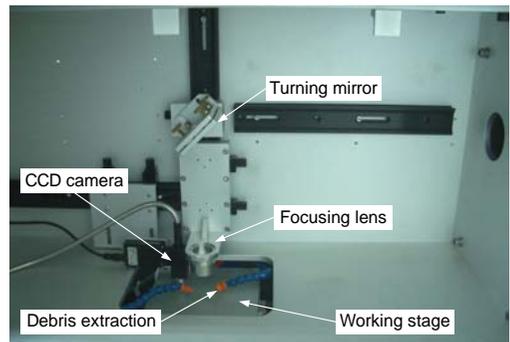


Fig. 1 Experimental setup of excimer laser

Table 1 Experimental conditions of KrF excimer laser

Laser source	KrF
Nominal wave length	248 nm
Max. repetition rate	20 Hz
Max. pulse energy	200 mJ
Max. average power	7 W
Energy stability, 1 Sigma	1 %
Pulse duration	20 ns

3. 실험 방법

KrF 엑시머 레이저를 이용한 미세 구멍 가공에서 최적의 가공조건을 확보하기 위해 공정변수인 에너지밀도, 펄스수의 변화에 따른 가공깊이를 측정하였다. 최초 발진된 레이저 빔은 $10 \times 24\text{mm}$ 의 크기를 가지며, 마스크(mask)를 사용하여 원하는 형상의 빔을 선택한 후 광학 렌즈(optical lens)를 거쳐 집광렌즈(focus lens)에 도달하여 집광되고 정밀 작업대(working stage)에서 파이렉스 유리를 가공한다. 본 실험에 사용된 마스크는 직경 2.5mm 이고 집광 후 $50\mu\text{m}$ 의 초점 크기를 가지며, 지지대(support)를 통해 작업대에 반사되는 빔의 영향을 최소화 한다. 실험 후 재료의 가공깊이는 주사 전자 현미경(FE-SEM)을 사용하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

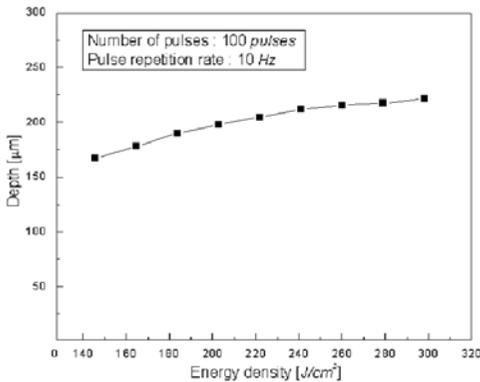


Fig. 2 Dependence of the average ablation depth on the energy density

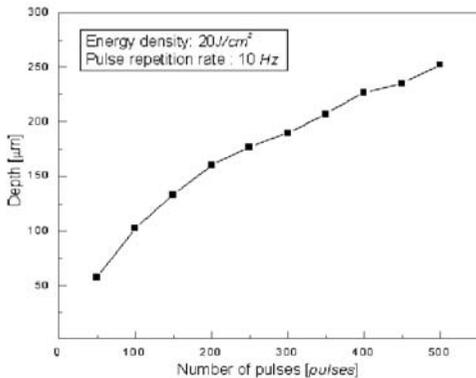


Fig. 3 Dependence of the average ablation depth on the number of pulses

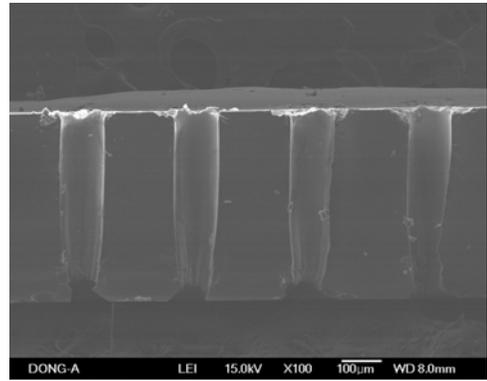


Fig. 4 SEM image of cross-section of excimer laser etched pyrex glass holes

파이렉스 유리의 미세 가공에 있어서 에너지 밀도와 펄스수의 변화에 따른 가공 깊이를 측정하였다. 에너지 밀도를 $140 \sim 300 \text{ J/cm}^2$ 까지 증가시키면 따라 가공 깊이가 증가 하였다. Fig. 2의 그래프를 보면 에너지 밀도의 증가에 비해 가공 깊이가 증가 하지만 큰 폭으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 펄스수를 $100 \sim 500 \text{ pulses}$ 까지 증가시킨 실험에서는 Fig. 3의 그래프의 결과와 같이 가공 깊이가 증가 하였다. 이는 에너지 밀도를 증가시키는 것보다 가공 깊이에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. Fig. 4는 가공된 파이렉스 유리의 단면이다.

5. 결론

본 실험에서는 KrF 엑시머 레이저를 이용하여 파이렉스 유리를 가공해 보았다. 그 결과 에너지 밀도를 증가시키는 것보다 펄스수를 증가시키는 것이 가공 깊이에 더 큰 영향이 큰 것을 알 수 있었다. 실험 중 에너지 밀도가 증가함에 따라 가공된 유리에 미세한 크랙이 발생하였다. 이를 극복하기 위해 좀 더 다양한 요소들을 고려한 실험이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

후기

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Bu, M., Melvin, T., Ensell, G. J., Wikinson, J. S., Evans, A. G. R., "A new masking technology for deep glass etching and its microfluidic application," Sens. Actuator A: Phys., 115, 476~482.