

# 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치의 설계 및 성능실험

이대희\*, 김상인, 김호상, 이경돈(고등기술연구원)

주제어 . Piezoelectric actuator (압전액츄에이터), Capacitive sensor(정전용량형 센서)  
Elastic hinge (탄성힌지)

## 1. 서 론

레이저를 이용한 초정밀 미세 가공에서 가공물의 형상정밀도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 가공물에 조사되는 레이저 빔의 스폿 사이즈를 작게 유지하면서 사용자가 원하는 방향으로 정밀하게 빔을 이송 시킬 수 있는 스캐닝 시스템이다. 스캐닝 시스템은 이러한 요구사항을 충족시키기 위해서 레이저 빔의 스폿 사이즈를 가공면에서 일정하게 유지시키는 광학계와 레이저 빔의 위치를 고속으로 정밀하게 이동시킬 수 있는 빔 구동장치로 구성되어 있다.

일반적으로 광학계는 빔의 스폿 사이즈에 대한 설계사양과 관련된 구성요소들의 사양에 의해서 그 구조가 정적으로 결정되므로 초정밀급의 미세 형상 가공에서는 빔 구동장치의 초정밀 이송제어가 전체 가공성능을 결정짓는 중요한 요소가 된다.

본 연구에서는 레이저를 이용한 초정밀급의 미세 형상 가공을 위해서 초정밀 이송제어가 가능한 피에조 구동방식의 스캐너를 설계, 제작하였다. 본 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치의 기본구조는 초정밀 회전이 가능하도록 회전축 역할을 하는 탄성힌지와 회전력을 발생하는 압전액츄에이터, 그리고 회전량을 측정하기 위한 두 개의 정전용량형 센서로 구성되어 있다. 정적, 동적해석을 통해서 400  $\mu$ rad이상의 회전량과 1 kHz 이상의 고유진동수를 갖는 스캐너를 제작하였으며, 분해능 실험 및 추종실험을 통해서 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치의 초정밀 이송제어 성능을 평가하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치의 매커니즘

레이저를 이용한 초정밀급의 미세 형상 가공을 위해서 본 연구에서 제안한 피

에조 구동장치의 기본구조를 살펴보면 Fig. 1과 같다. 제안된 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치는 미러가 장착되는 플랫폼의 회전을 위해서 기구부의 중앙에 초정밀 회전이 일어날 수 있도록 탄성힌지가 설계되어 있다. 또한 정밀한 회전력을 발생시키기 위해서 압전액츄에이터를 구동기로 사용하여 압전액츄에이터의 이송량 변화에 의해서 탄성힌지를 중심으로 플랫폼이 회전하도록 하였으며, 정밀이송제어를 위해서 회전량을 측정할 수 있도록 두개의 정전용량형 센서를 장착하였다.

## 2.2 탄성힌지의 강성설계

탄성힌지부위의 치수설계를 위하여 Paros와 Weisbord가 제시한 탄성힌지의 설계법을 사용하였다. 두께  $t$ , 반경  $r$ , 너비  $b$  그리고 높이  $h$  인 탄성힌지의 컴플라이언스  $C_\theta$ 는 식(1)과 같다

$$C_\theta = \frac{1}{K_\theta} = \frac{\alpha}{M} = \frac{9\pi r^{3/2}}{2Ebt^{3/2}} \quad (1)$$

설계조건에 따라 식(1)을 이용하여 굽힘강성을 계산한 결과 5.31MNmm/rad으로 나타났으며, 이를 이용하여 Fig. 2에 나타난 것처럼 x방향으로의 최대이송변위를 계산한 결과 최대 6.8  $\mu\text{m}$  이송할 수 있는 것으로 평가 되었다. 또한 제안된 피에조 구동장치의 고유진동수를 해석을 위해서 Fig. 3와 같이 스캐너를 모델링하고 라그랑지 방정식을 적용하였다. 해석결과 피에조 구동장치는 1kHz 이상의 고유진동수를 가지고 있음을 확인하였다.

## 2.3 성능실험을 위한 시스템 구성도

제작된 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치의 성능실험을 위해서 Fig. 4와 같은 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 크게 사용자와의 인터페이스를 담당하는 PC, 초정밀 이송제어를 위한 제어기, 압전액츄에이터의 구동을 위한 고전압 증폭기, 피에조 구동장치, 회전량을 측정하는 정전용량형 변위센서, 그리고 센서 출력값을 기록하는 오실로스코프로 나누어진다. 사용자와의 인터페이스를 담당하는 PC부분은 제어기에 입력될 제어프로그램을 작성하고 이를 컴파일하고 다운로드하는 역할을 한다. 제어기는 최대 100 kHz의 샘플링 주파수로 정전용량형 센서를 통해서 입력되는 이송변위를 측정하고 내부의 제어 알고리즘에 의해서 회전량을 계산한 후, 기준량과의 편차가 발생시 이를 보상하기 위한 제어전압을 고속의 D/A변환기 통하여 고전압 증폭기에 전달한다. 고전압 증폭기는 피에조 구동장치에 장착된 압전액츄에

이터의 구동을 위해 입력전압을 1000배까지 증폭시키고 압전액츄에이터 구동시 필요한 전류를 공급한다. 정전용량형 센서는 가진 주파수 20 kHz의 신호를 정밀하게 측정할 수 있도록 충분한 대역폭과 분해능을 가지고 플랫폼의 회전량을 측정한다.

## 2.4 성능실험 결과

성능실험장치를 이용하여 제작된 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치의 회전 분해능 실험을 수행하였다. 페루프 제어를 이용하여 압전액츄에이터에 10nm 이송거리 에 해당하는 입력전압을 단계적으로 증가, 감소시키면서 정전용량형 센서로부터 회전량을 계측하였다. Fig. 5는 제안된 피에조 구동장치의 회전 분해능 실험결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 약 0.3  $\mu\text{rad}$ 의 회전 분해능을 가지고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 피에조 구동장치의 기준입력 신호에 대한 추종성능실험 결과로 400  $\mu\text{rad}$ 의 회전량과 10 Hz의 정현파 신호에 대해서 12  $\mu\text{rad}$  오차수준로 입력신호를 추종하고 있음을 알 수 있다

## 3. 결 론

레이저를 이용한 초정밀급의 미세 형상 가공을 위해서 본 연구에서는 초정밀 이송제어가 가능한 피에조 구동방식의 스캐너를 설계, 제작하였다. 본 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치의 기본구조는 초정밀 회전이 가능하도록 회전축 역할을 하는 탄성힌지와 회전력을 발생하는 압전액츄에이터, 그리고 회전량을 측정하기 위한 두 개의 정전용량형 센서로 구성되어 있다. 정적, 동적해석을 통해서 400  $\mu\text{rad}$ 이상의 회전량과 1 kHz 이상의 고유진동수를 갖는 스캐너를 제작하였으며, 성능실험결과, 설계 제작된 초정밀 스캐너용 피에조 구동장치는 0.3  $\mu\text{rad}$ 의 회전 분해능을 가지고 있으며, 10 Hz의 주파수와 400  $\mu\text{rad}$ 의 회전량을 가진 정현파 신호에 대해서 최대 12  $\mu\text{rad}$ 의 추종오차를 나타냄으로써 이송제어 성능이 우수함을 확인하였다.

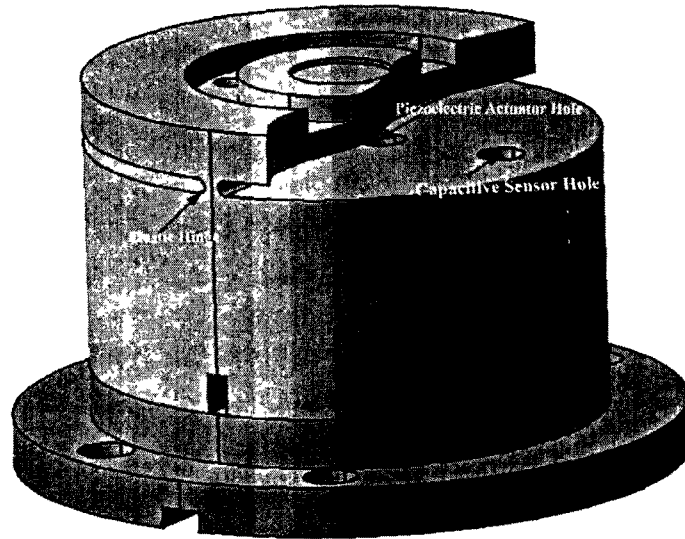


Fig 1 3D model of the piezoelectric drive unit  
for ultra-precision scanning

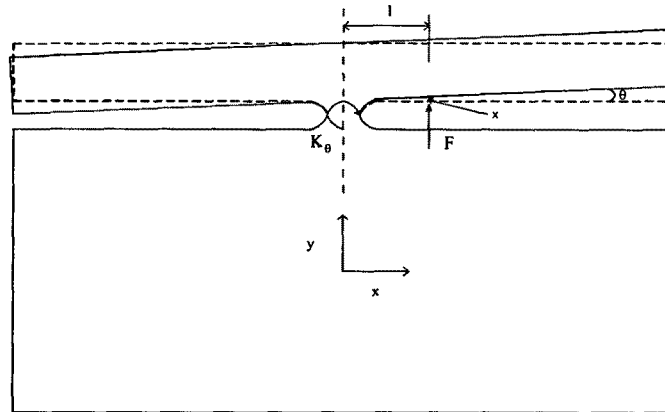


Fig 2 Deflection of the platform when the force  $F$  is applied  
at the distance  $l$  apart from the centerline

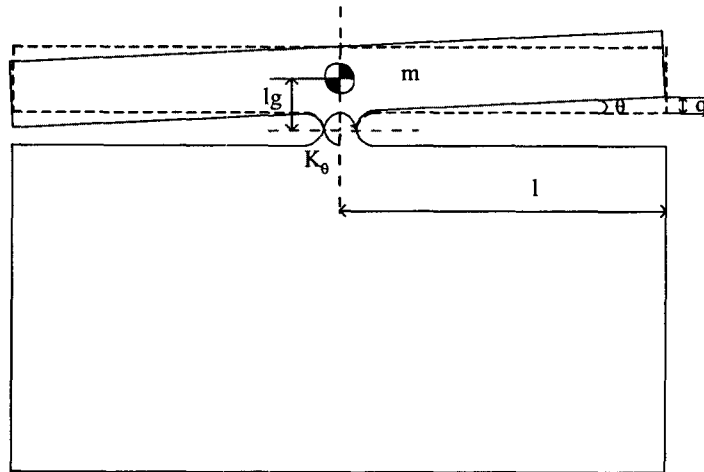


Fig.3 2D Model for dynamic analysis of the piezoelectric drive unit for ultra-precision scanning

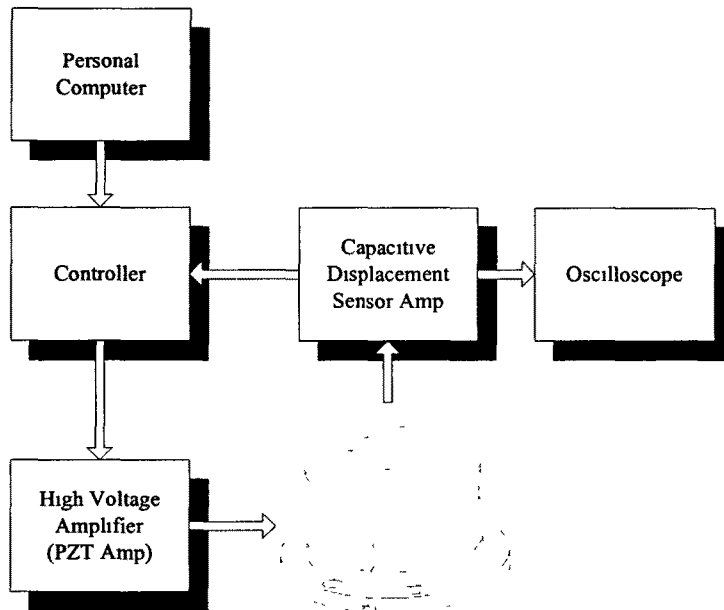


Fig 4 Schematic of experimental apparatus for the piezoelectric drive unit for ultra-precision scanning

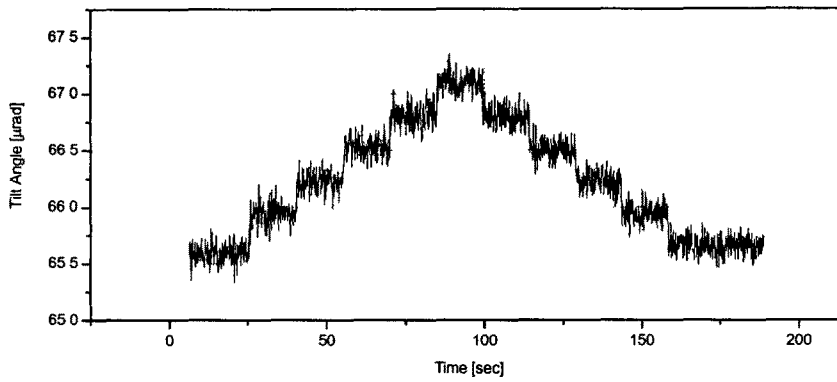


Fig 5 The angular resolution of the piezoelectric drive unit for ultra-precision scanning

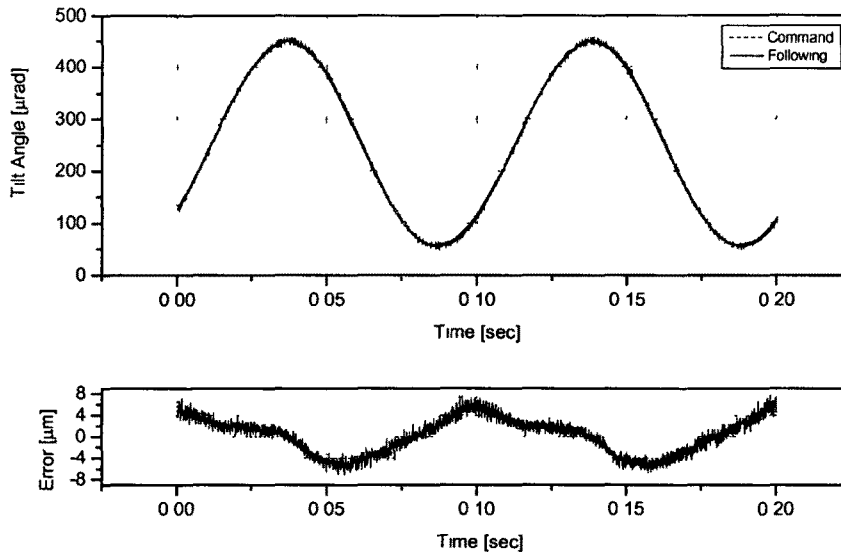


Fig 6 The Tracking error of the piezoelectric drive unit for ultra-precision scanning