

탄성 힌지 타입 레버 메커니즘을 이용한 자동 초점 조절 미세구동장치에 대한 연구

이재석*, 홍석인, 김호상, 장한기, 이경돈(고등기술연구원)

A study on fine actuating stage for autofocus by using flexure-hinge type lever mechanism

J. S. Lee, S. I. Hong, H. S. Kim, H. K. Jang, K. D. Lee(Institute for Advanced Engineering)

ABSTRACT

In precision laser microfabrication, focusing is essential to acquire good machining precision and uniform machining quality. If it does not perform, laser machining cannot be realized. So, confocal scanning method with high depth resolution is used for focus detection technique. This paper is concerned with a procedure for design, analysis and performance test of an autofocus fine actuating stage, which is composed of flexure-hinge type lever mechanism and piezoelectric actuator. Through series of analytical design, the stage is simplified as a rigid bodies(lever and main body) and springs(flexure hinges). The simplified model was applied to determine the dimension of flexure hinges and lever. After structural analysis confirmed design requirement, an actual stage was made and verified through an experiment on the static and dynamic characteristics(maximum stroke and 1st natural frequency). The fabricated stage was satisfied with the design requirement.

Key Words : Autofocus (자동 초점 조절), Flexure-hinge (탄성 힌지), Lever mechanism (레버 메커니즘), Piezoelectric actuator(압전 소자 구동기)

1. 서론

본 연구는 레이저 미세가공시 자동 초점 조절을 하기 위한 초정밀 스테이지의 개발에 대한 것이다. 자동 초점 조절을 하기 위한 방법으로 광원 변조를 통한 공초점 신호를 초점 오차 신호로 이용하게 되는데, 이 신호를 자동 초점 조절을 위한 제어신호로 사용할 수 있는 구간은 공초점 신호의 반치폭(Full Width Half Maximum)에 의해 결정이 된다.¹ 따라서 반치폭을 크게 하면 자동 초점 조절 영역이 넓어지게 되나, 공초점 신호의 광축방향 분해능은 떨어지게 되는 trade-off 관계가 있으므로 자동 초점 조절 장치의 성능과 측정되는 공초점 신호의 강도에 따라 적절한 조절이 필요하다. 본 연구에서는 초점 조절 제어 오차 0.6 μm 를 얻기 위한 광축방향 분해능을 확보하기 위하여 실험적으로 초점 조절 영역을 초점 평면으로부터 $\pm 20 \mu\text{m}$ 로 설정 하였다. 따라서 공초점 신호의 반치폭 부근에서 자동 초점 조절을 하기 위해서는 40 μm 이상의 구동 범위를 가지는 미세구동장치가 필요하게 되어서 80 μm 이상의 구동변위와 200Hz이상의 1차 고유진동수를 갖는 자동 초점 조절용 스테이지를 설계하였다.

2. 스테이지 설계 및 해석

설계요구사항을 만족시키기 위해 정밀도 및 제어성에서 우수한 PZT를 이용한 구동방식을 채용하고 선형운동 및 스트로크(stroke)를 확보하기 위해 탄성 힌지 및 변위확대 기구를 사용한다. Fig. 1과 같이 PZT에 의한 모션을 레버를 통해 변위확대(변위 확대비 $r = b/a$)를 수행하고 최종적인 가동부(moving part)의 선형운동 보장을 위해 병렬형 탄성 힌지를 양측에 대칭형으로 배치하였다. 그리고 PZT에 초기 예압을 주기 위하여 메인바디(main body)와 베이스(Base)사이에 어저스트블럭(Adjust block)을 끼워 넣어 초기 예압을 주고 PZT 양쪽 볼트를 이용하여 예압량을 조금씩 변경가능 하도록 하였다. 자동 초점 조절 실험 장치에서 스테이지의 높이가 제한이 되기 때문에 PZT는 길이가 약 50mm이고 최대 변위 20 μm 를 갖는 PI사의 HVPZT p-239.20을 사용하고 레버구조의 단수는 약 1:6 정도의 변위확대를 목표로 설계하였다. 탄성 힌지의 강성은 Paros의 식²을 사용하고 레버구조의 강성계산 및 확대비 계산은 참고문헌 3의 설계식³을 참조하였다.

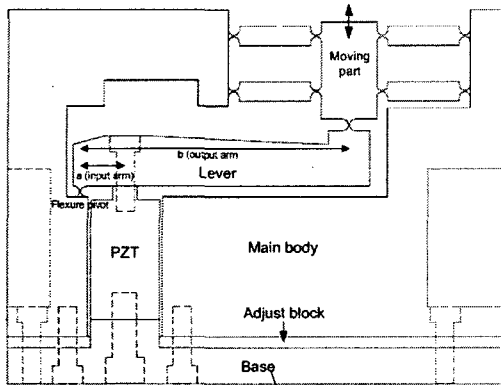


Fig. 1 A schematic diagram of autofocus stage

Fig. 1에서 설계된 스테이지의 설계치 검토를 위해 Nastran을 이용하여 구조해석을 한 결과, 최종 가동자(moving part)의 변위와 1차 공진 주파수가 각각 $91.47 \mu\text{m}$, 491.7Hz 로 해석결과 모두 설계목표인 $80 \mu\text{m}$ 최대변위, 200Hz 이상의 1차 공진주파수를 만족하였다.

3. 스테이지의 제작 및 실험

2장에서 설계 및 해석한 결과를 바탕으로 Fig. 2와 같은 자동 초점 조절용 1축 스테이지를 제작하였다.

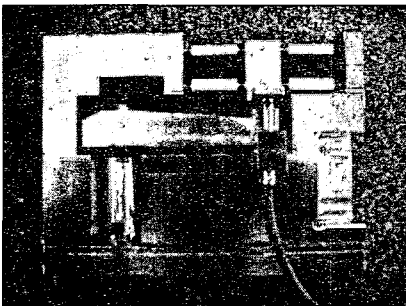


Fig. 2 Fabricated autofocus stage

제작된 스테이지는 가공시편의 장착부인 최종 가동부의 변위를 측정하기 위하여, 정진용량형 센서를 부착할 수 있도록 센서 고정부를 만들어 가공하였고 가동부의 최대 변위 $\Delta v = 86.5 \mu\text{m}$ 로 측정이 되었다. 이것은 2장에서 해석을 통해서 얻은 $91.47 \mu\text{m}$ 보다 약 $5 \mu\text{m}$ 작은 값으로 해석결과와 실제 실험결과가 약 -5.43% 의 오차가 있는 것을 확인하였다. 그러나 실험 결과 역시 제안한 설계요구사항을 만족하였다.

공진주파수 실험에는 로드셀이 부착된 충격해머, 진동측정용 가속도계가 사용되었고 얻어진 신호를 받아들이며 주파수응답함수를 제공하는 신호처리기를 이용하였다. Fig. 3은 충격 가진 실험 결과로 1차 공진주파수는 580Hz 로 측정이 되었다. 2장에서 해석을

통해 얻은 1차 공진주파수는 491.7Hz 로 실험 결과가 해석 결과 보다 더 크게 나왔는데 이것은 탄성 힌지와 결합된 PZT의 스프링 역할 뿐만 아니라, PZT에 예압을 가함으로써 PZT와 스테이지의 접촉부가 유효 접촉 면적이 커지게 되어 강성이 증가하는 것으로 사료된다.^{4,5}

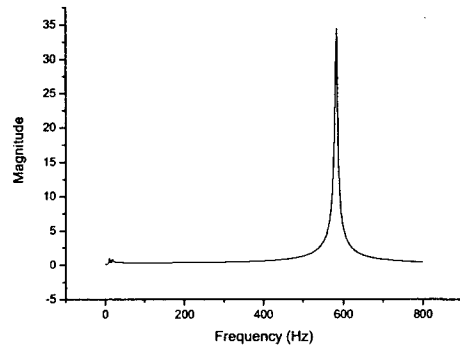


Fig. 3 The 1st natural frequency of stage with PZT

4. 결론

본 연구에서는 레이저 가공기의 초점 부근에서 미세구동을 하여 자동 초점 조절을 수행할 수 있는 스테이지의 변위 및 선형 운동을 확보하기 위하여 레버와 탄성 힌지를 채용한 초정밀 1축 스테이지를 제작하였다. 제작 이전에 이론적인 설계뿐만 아니라 설계 목표를 만족하는 해석 결과를 얻었으며 제작된 스테이지 또한 설계 요구 사항을 만족 하였다.

후기

본 연구는 산업자원부 핵심기술개발사업인 "첨단 레이저 응용 미세가공기술 개발" 과제의 지원으로 수행된 것입니다.

참고문헌

1. 박정재, "공초점 원리를 이용한 현미경 자동 초점," 한국과학기술원, 석사학위논문, 2004.
2. Musa, J., Reny, Y., "Modeling of flexure-hinge type lever mechanisms," Precision Engineering, Vol. 27, pp. 407-418, 2003.
3. Paros, J.M., and Weisbord, L., "How to design flexure hinge," Machine Design, Vol. 37, pp. 151-157, 1965.
4. Harris, T.A., Rolling Bearing Analysis, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2001.
5. Robert C.J., Kurt M.M., "Fundamentals of Machine Component Design," 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., 2000