

미세 변위제어를 위한 공압 액추에이터 개발

손영선*, 이동주**, 이종욱***

(충남대학교 기계공학과 대학원*, 충남대학교 기계공학과 **, 주)덕인 부설연구소***)

Development of a pneumatic actuator for Micro-Positioning control

Youngseon Son , Dong ju Lee , Jongok Lee

ABSTRACT

In order to improve the accuracy in the field of semiconductor and LCD research equipment, the demand of XYZ stage which is possible to control X axis, Y axis and Z axis has been increased steadily in place of the existing XY stage which is only practicable to X & Y axis positioning control. This paper presents a new pneumatic actuator for Micro-positioning control in the XYZ stage. Air pressure in a pneumatic actuator is controlled by the E/P Regulator. The control range of pneumatic actuator is about 100 micro-meters and its construction concept is easy to apply a practical state

Key Words : Pneumatic actuator (공압 액추에이터)
XYZ Stage, E/P regulator (전공 레귤레이터)

1. 서론

최근에 반도체 및 LCD 연구 장비에서 정밀 스테이지가 널리 사용되고 있으며 XYZ스테이지가 요구되고 있다⁽¹⁾. 이와 관련하여 기존의 XY스테이지에 비해서 Z축을 마이크로미터단위로 제어할 수 있고 스테이지를 레벨링(levelling)할 수 있는 XYZ스테이지가 필요하게 되었으며 이를 위해서 Z축에 사용될 미세변위장치를 개발하게 되었다.

본 논문에서는 공압을 사용하여 마이크로미터단위의 미세변위를 제어할 수 있는 공압 액추에이터를 설계 제작하였다. 전공 레귤레이터(E/P regulator)를 사용하여 공압을 조절하였으며 공압 액추에이터의 움직이는 범위는 100마이크로미터

정도이고 구조가 간단하다. 스테이지는 공압액추에이터 3개를 사용하고 각각을 제어하여 높이 조절과 레벨링(levelling)이 가능하도록 하였다.

2. 시험제작

스테이지를 설계하는 과정에서 공압 액추에이터의 대략적인 성능과 치수를 먼저 알아야했다. 때문에 실제로 스테이지에 적용하기 이전에 액추에이터를 시험제작하여 성능을 테스트 하였다.

2.1 설계사양

액추에이터의 설계사양을 정의하기위해 우선 스테이지의 높이를 조절하는 양을 살펴보면 100 μ m 정도이다. 액추에이터는 공압을 사용하여 높이를 조절하며 0.6Mpa이내의 공압에서 높이조절이 가능해야한다. 스테이지에 사용되는 액추에이터는 3개이며 높이조절과 레벨링을 위한 액추에이터의 반복성은 10 μ m, 3개의 높이편차는 50 μ m이내의 값이 나와야 한다.



Fig. 1 Pneumatic actuator

2.2 성능실험

그림1은 시험 제작된 액추에이터 모습이다. 재질은 스틸(steel)이며 나사를 이용하여 조립하는 구조로 되어있다.

(1) 실험장치

실험장치는 액추에이터와 전기마이크로미터, 전공 레귤레이터(E/P regulator)로 구성되어 있다 (Fig.2). 전기 마이크로미터는 공압 액추에이터의 미세 변위량을 측정하기 위한 장치이며 0.1 μm 의 분해능을 갖는 전기 마이크로미터를 사용하였다. 공압을 제어하기 위하여 전공 레귤레이터를 사용하였는데 전공 레귤레이터는 전압을 공압으로 변환시켜 주는 장치이다.



Fig. 2 Displacement measurement by an electrical micrometer

(2) 실험결과

전기마이크로미터를 이용하여 공압변화에 따른 미세 변위량을 측정하였다. 액추에이터의 변화량은 공압에 비례하는 선형성을 보이고 있다. 3개를 제작하여 실험하였는데 같은 전압에서의 변위량이 2개는 비슷하지만 1개의 변위량은 나머지 2개와 차이가 심했다. 2개의 변위량 차이는 1 μm 이내이지만 변위량 차이가 심한 1개의 변위량이 나머지 2개보다 최대 5 μm 이상의 차이를 보였다 (Fig. 3).

반복성을 실험한 결과 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 4는 공압 0.3 Mpa에서 반복성을 실

험한 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 전공 레귤레이터를 사용하였기 때문에 공압의 안정성은 레귤레이터의 성능에 좌우되었다. 반복성은 3개 모두 1 μm 이하의 값을 나타내었다.

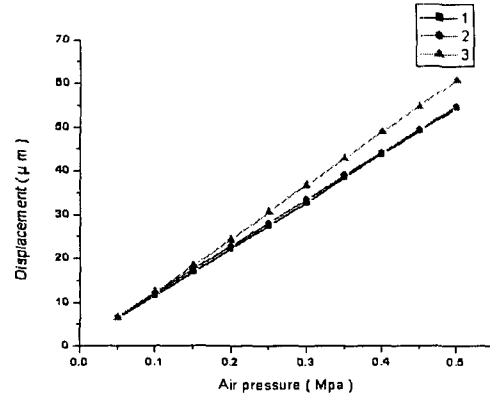


Fig.3 Relation between air pressure and displacement

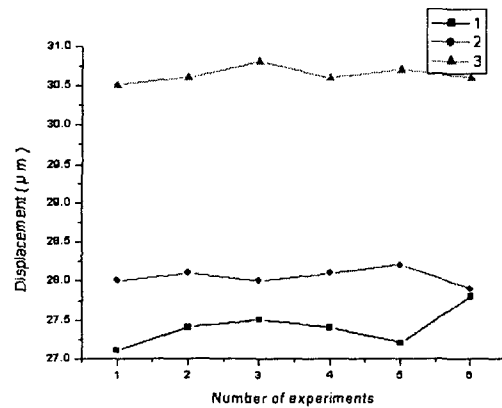


Fig. 4 Repeatability

시험품으로 제작된 3개의 액추에이터는 요구되는 설계사양을 만족시켜 주지 못했다. 최대 변위량이 60 μm 정도 밖에 되지 않았다. 변위량 편차는 1개의 액추에이터가 나머지 2개와 최대 5 μm 이상의 편차를 보였다. 원인분석을 한 결과 액추에이터의 변위량 차이는 액추에이터의 두께와 관련이 있었다. 3개의 액추에이터는 제작당시 두께 편차가 10 μm 이하가 되도록 주문을 했으나 제작된 시험품은 두께편차가 그 이상이었다. 그림 5는 액추에이터의 대략적인 단면도를 나타내고 테

이블 1은 액추에이터의 두께를 나타낸다. 측정결과 변위량이 크게 측정되었던 액추에이터는 다른 것 보다 두께가 약 100 μ m 정도 얇게 측정되었다.

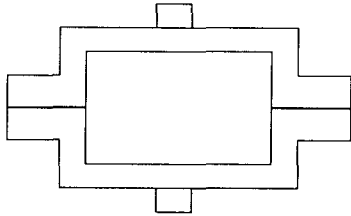


Fig. 5 Section of the actuator

Table 1 Thickness data

Actuator1	Actuator2	Actuator3
1.984mm	1.986mm	1.898mm

3. 설계

시험 제작된 액추에이터의 실험결과를 바탕으로 실제로 스테이지에 적용할 액추에이터를 설계하였다. 설계를 하면서 고려한 액추에이터의 성능은 반복성, 선형성, 최대 변위량 등이었다. 시험품을 테스트한 결과 반복성과 선형성은 설계사항을 만족시켰으나 최대 변위량은 요구사항보다 작게 측정되었다. 그러나 반복성이 요구사항을 만족시키기 때문에 미세 변위장치로서의 기능을 충분히 할 수 있다는 결론을 내리고 액추에이터의 재질과 두께 크기를 변경해서 설계를 하였다.

4. 실험 및 적용

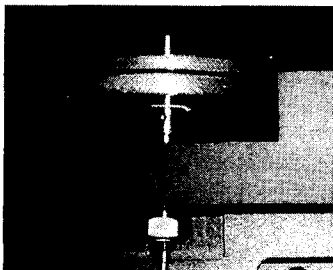


Fig. 6 pneumatic actuator

그림 6은 스테이지에 적용한 액추에이터 모습이니. 아래 부분을 통하여 연결된 에어튜브를 이용하여 공압을 조절한다. 액추에이터의 크기는 변위량을 크게 하기위해 시험품 보다 조금 크게 제작 하였으며 재질은 스테인레스 스틸이다.

성능 검사는 시험품과 마찬가지로 공압에 대한 액추에이터의 변위량과 반복성 등을 테스트 하였다. 액추에이터를 스테이지에 직접 세팅하여 측정하였으며 그림 7은 전기 마이크로미터를 이용하여 액추에이터의 변위량을 측정하는 모습이다.

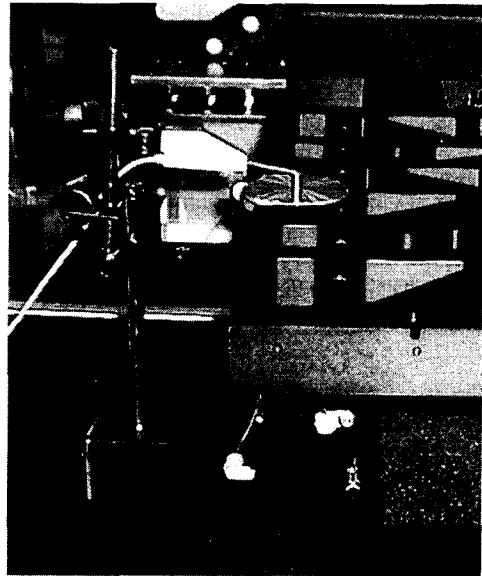


Fig.7 Displacement measurement by an electrical micrometer

공압과 변위량 관계를 측정한 결과 새로 제작된 액추에이터는 시험품보다 공압에 대한 변위량이 훨씬 크고 더 낮은 공압에서 100 μ m의 변위량을 나타내었다. 3개의 액추에이터는 같은 공압에서 높이 편차가 최대 10 μ m까지 측정되었다(Fig.8).

액추에이터의 성능을 좌우하는 중요한 부품중의 하나가 전공 레귤레이터(E/P regulator)이다(Fig.9). 액추에이터의 공압은 전공 레귤레이터를 사용하여 조절 하도록 되어 있는데 전압을 입력 해주면 레귤레이터가 입력된 전압에 해당하는 공압을 제어 하도록 되어있다. 때문에 레귤레이터의 전압 분해능과 공압 분해능이 액추에이터의 미세변위 분해능을 결정하게 되었다. 액추에

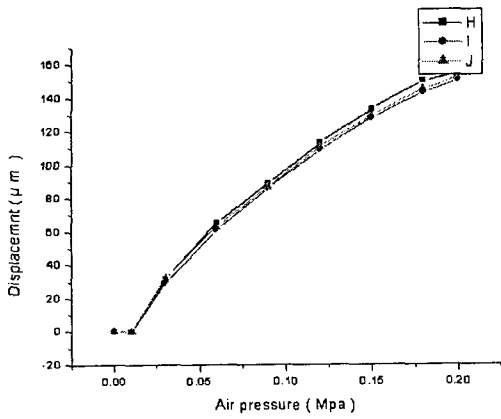


Fig.8 Relation between air pressure and displacement

를 얻을수 있었다. 같은 공압에서 액추에이터 3개의 변위량 편차는 최대 10 μ m이하였기 때문에 미세 변위장치로 사용 할 수 있다는 결론을 내렸다.

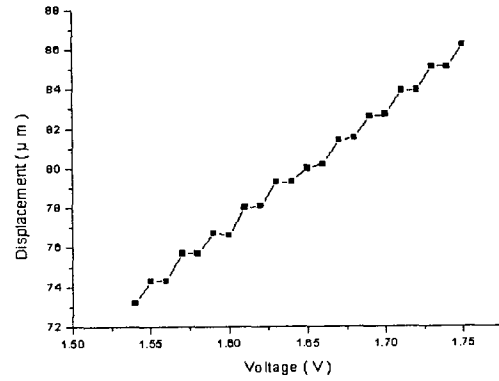


Fig. 10 Relation between voltage and displacement

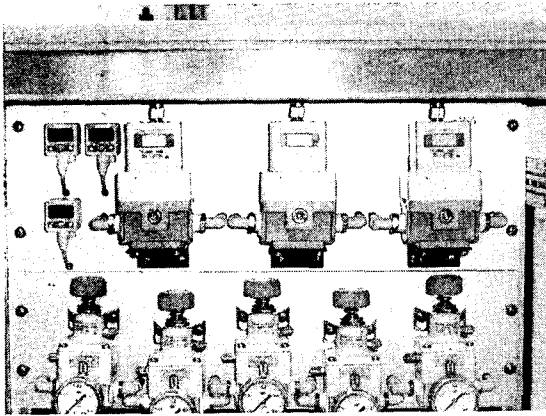


Fig. 9 E/P regulator

이터의 최소 분해능을 알아보기 위하여 전압을 0.01볼트 단위로 조정하여 액추에이터의 변화량을 측정하였다. 그림 10에 있는 것처럼 진공 레귤레이터의 전압 분해능은 0.02볼트 이다. 액추에이터의 변위를 측정 하는동안 전기 마이크로미터의 눈금이 0.5 μ m정도 흔들리는 것을 관찰 할 수 있었는데 레귤레이터의 특성상 공압이 항상 일정 하지 않고 조금씩 흔들리기 때문이었다.

측정한 결과를 종합해 보면 공압 액추에이터의 성능은 최대 변위량, 반복성 등에서 원하는 결과

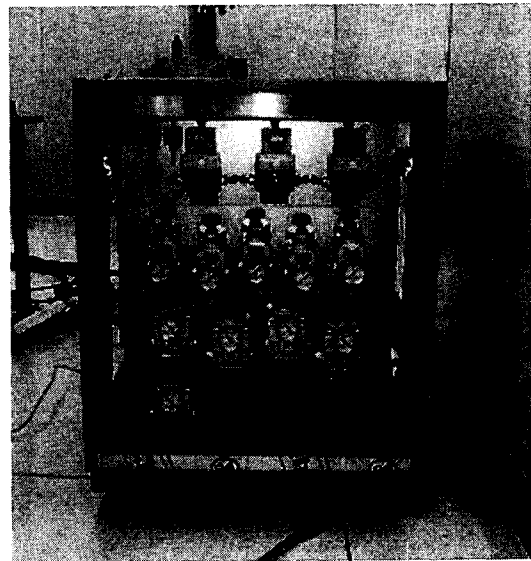


Fig. 11 Air pressure controller

실제로 스테이지에 적용하기 위해서는 오차 보정의 과정을 통하여 액추에이터 3개의 변위량을 똑같이 조정해 주는 과정이 필요하다. 액추에이터의 성능 중에서 반복성을 중요시한 이유가 오차 보정 때문 이었는데 여러번의 실험을 통하여 얻어진 데이터를 바탕으로 액추에이터의 변위량

편차만큼 오차 보정을 하였다. 이를 위해 프로그램을 개발하고 DA(Digital-to-Analog conveter) 보드를 제작하여 액추에이터 3개를 각각 제어하였다. 그림 11은 액추에이터를 제어하는 공압 콘트롤러의 모습이다.

그림 12는 스테이지위에 액추에이터 3개를 장착한 모습이다. 액추에이터 위에 올려지는 판은 3점 지지를 하기 때문에 안정성이 있고 3개의 액추에이터를 각각 제어하기 때문에 높이 조절과 레벨링이 가능하도록 되어있다. 그림 13은 액추에이터위에 판을 올려놓아 조립한 모습이다.

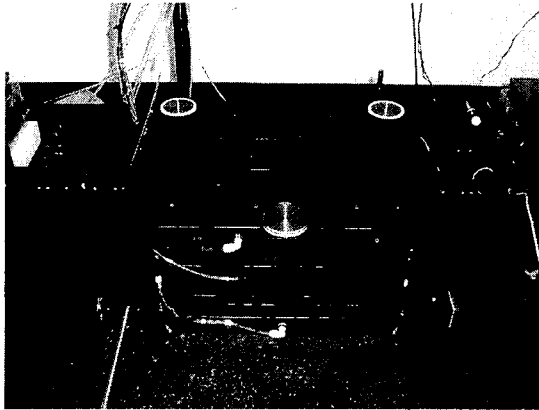


Fig. 12 XYZ stage equipped with the actuator

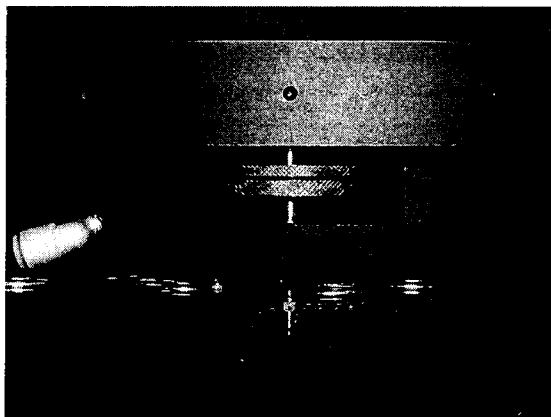


Fig. 13 Plate equipped with the actuator

스테이지 받침대는 에어 댐퍼(Air damper)를 사용하였다(Fig.14). 스테이지는 매우 정밀하게 움직이기 때문에 진동을 흡수 할 수 있어야 한다. 뿐만 아니라 받침대를 통하여 레벨링도 가능해야 하는데 이러한 조건을 모두 만족시킬 수 있는 받침대가 에어댐퍼 이다. 스테이지가 놓이는 바닥이 수평하지 않기 때문에 에어댐퍼를 이용하여 스테이지를 레벨링을 할 수가 있다.

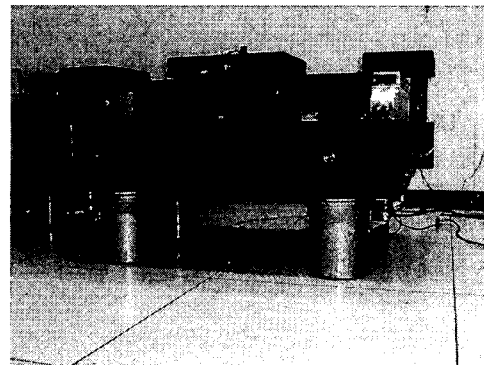


Fig. 14 Air damper of stage

그림 15는 최종 조립된 스테이지를 측정하는 모습이다. 액추에이터의 변위량 편차는 실험을 통하여 알고 있기 때문에 오차보정을 해서 3개의 액추에이터를 똑같은 변위량으로 움직일 수 있다. 또한 3개를 각각 움직일 수 있기 때문에 레벨링이 가능하며 에어댐퍼 보다 정밀한 분해능으로 레벨링이 가능하다.

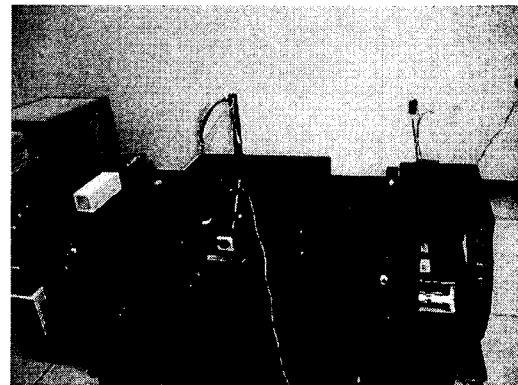


Fig. 15 Measurement of Z-axis displacement of the XYZ stage

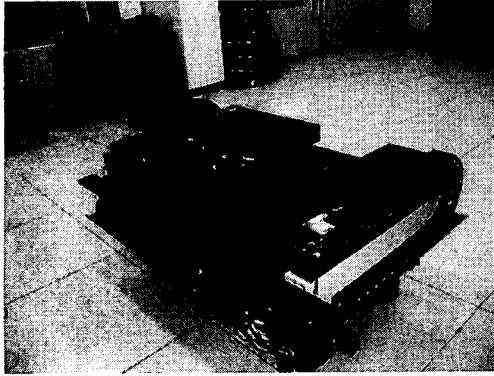


Fig. 16 XYZ Stage

5. 결론

미세 변위장치에는 대표적으로 PZT (piezoelectric translators) 를 비롯하여 여러 가지가 있고 이에 대한 여러 연구⁽²⁾가 있지만 이러한 장치를 스테이지에 직접 적용하기에는 몇 가지 문제점이 있었다. 스테이지에 정확히 맞는 원하는 형상의 미세변위장치를 찾기가 어려웠고 이는 스테이지를 설계하는데 있어서 많은 제약사항이 되었다. 그래서 스테이지에 적용 할 수 있는 미세변위장치를 개발하여 스테이지를 완성 할 수 있었다(Fig.16). 액추에이터 개발과정의 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 새로운 공압 액추에이터를 개발하여 스테이지에 성공적으로 적용하였다.
- 2) 개발된 공압 액추에이터의 성능은 전공 레귤레이터의 전압 및 공압 분해능과 관련이 있다.
- 3) 액추에이터를 각각 제어할수 있는 프로그램을 개발하고 DA(Digital-to-Analog Conveter)보드를 제작 하였다.

참고문헌

1. 심중엽, 권대갑, "유연기구를 이용하 초정밀 단일체 3축 스테이지의 모델링 및 최적설계에 관한 연구" 대한기계학회논문집(A), 제22권, 제5호, PP.868-878, 1998
2. Watanabe.s, Fujiu.T, Fujii,T "PZT thin Flim Actuator/Sensor for Atomic Force Microscope" ISAF, vol.1, pp199-204, 1996
3. James M.Gere & Stephen P.Timoshenko, "Mechanics of Materials" Brooks/Cole, 2000
4. White, Frank M, "Fluid Mechanics" McGraw-Hill, 1999
5. Logan, Darl L. "A first course in the finite element method" PWS, 1998
6. 하재현, "최신 유압공학" 청문각, 1990
7. CHARLES K.ALEXANDER, "회로이론" McGraw-Hill KOREA, 2001