

# 미세거리 조정 마이크로 액추에이터

박 세 광

경북대학교 전기공학과

Microdisplacement Control Microactuator

Sekwang Park

Kyungpook National University, Electrical Engineering Department

### Abstract:

A small linear incremental device, which is called a microworm, is introduced, and this paper explains working principle, design considerations and theoretical force analysis of the microworm. A fluid control microvalve and a piezoelectric motor as an application of the microworm are explored for feasibility.

따라 다소 차이는 있으나 고전압이 필요로 되고 정확도의 어려움이 있었기 때문이다. 실리콘을 이용한 미세 가공기술이 발달됨에 따라 이러한 압전형 모터 또는 정전형 모터의 제작 가능성이 있게 되었고 [2] 또한 마이크로 로봇이나 실리콘 칩을 다룰 수 있는 미세거리 조정용으로나 생체공학의 응용 등에 대한 필요성에 따라 그 이용도가 높아지고 있다.

요약 : 미세거리 조정용 극소형 기기인 마이크로웜을 소개하고 그 원리 및 설계에 필요한 사항의 이론 분석한 것을 설명하였다. 또한 이의 응용으로서 유량을 제어 할 수 있는 밸브, 압전형 모터 등에 관해 소개한다.

### 2. 원리 및 구조

#### 2-1. 압전형 선형거리 조정기

압전형 선형거리 조정기의 재료로서 압전 상수가 가장 큰 물질로서 PZT를 들 수 있다. 그러나 PZT 그 자체로는 아주 작은 변위 ( $10^{-8}$  m/V)를 가지고 있어서 미세 액추에이터로서 사용이 부적합하다. PZT 바의 길이 L, 폭 W, 두께 t 이고 인가전압을 V 라면 변위  $\Delta L$  은

### 1. 서론

자기적인 특성을 이용한 모터와 액추에이터가 대형의 움직임을 제어하는데 주로 사용 되어져왔다. 소형의 시스템에서 압전력 (Piezoelectric Force) 이나 정전력 (Electrostatic Force) 을 이용한 것이 보다 나은 특성을 지닐 수 있다. 현재 범용으로 사용되는 자기형 전기 모터가 나오기 100년 전경인 1750 년대에 정전형 모터를 고든과 프랭크린은 만들었다.[1] 그러나 지금까지 정전력을 이용한 모터가 실제 이용률이 거의 없는 것은 응용분야에

$$\Delta L = d_{31} V \left( \frac{L}{t} \right) \quad \text{----- (1)}$$

로 주어지고  $d_{31}$  은 압전 상수이다. L/t 비가 200-400 (예, L=0.5cm, t=0.254mm) 이고 압전상수  $d_{31}$  은  $(100-400) \times 10^{-12}$  m/V 범위 이다. 따라서 (1) 식의  $\Delta L$  은 약  $10^{-8}$  m/V 범위이다. 즉 이것은

액추에이터로서 이용하기에는 너무 작아서 보다 큰 변위량을 얻기위해 PZT 바를 두개 포진 바이모프 (Bimorph) 를 이용하면

$$\Delta L = \frac{3d_{31}V}{4} \left(\frac{L}{t}\right)^2 \quad \text{-----(2)}$$

으로 주어지고 변위량  $\Delta L$ 은  $10^{-6}$  m/V 범위가 된다. 실제적으로 선형거리 조정기로서 이용되기 위해서는 그림 1 과 같은 구조의 마이크로칩이 소개 되어진다.

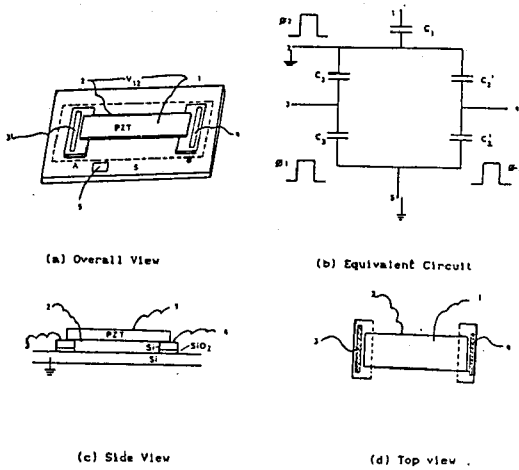


그림 1. 마이크로칩 구조

이 마이크로칩은 PZT 바, 두개의 Si 패드 A 와 B는 PZT 바와 접착 되어져 Si Substrate S 위를 자유로이 움직일 수있다. 전기적인 등가회로가 그림 1.(b) 에 나타나 있고 이 마이크로칩이 작동되기 위해서는 위상자가 각각 다른 3 상 펄스전압 ( 그림 3 참조 )을 인가함으로써 PZT 바와 패드 A, B 가 함께 움직인다.

PZT 바의 크기 : 9.14mm x 2.16mm x 254um

재료 : PZT 5-A

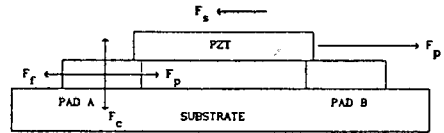
Si 패드의 크기 : 4.0mm x 4.0mm x 370um

재료 : P-형 양면 폴리시드 Si

Substrate 는 직사각형 N-형 Si 웨이퍼이다.

2-2. 힘의 분해 및 등가회로의 캐패시턴스의 계산

그림 1,2 에서 패드A는 고정되어 있고 패드 B는 자유로이 움직일 수 있으며 패드B 위에 부하로 부터 요구되어지는 힘  $F_p$ 가 있다.



$F_c$ -- Clamping force       $F_f$  -- Frictional force  
 $F_p$ -- Pulling force       $F_s$  -- Force developed by strain

그림 2. 마이크로칩 패드에 가해진 힘

고정력 ( $F_c$ )이 패드 A 와 Si Substrate 사이에 다음 (3)식으로 주어진다.

$$F_c = \frac{\epsilon A V_{Si}^2}{2 X^2} \quad \text{-----(3)}$$

여기서 X : SiO2 두께  
 A : Si 패드의 면적  
 $\epsilon$  : 절연물질의 유전율  
 $V_{Si}$  : Si 패드에 가해진 전압

최대 마찰력  $F(f-max)$  은

$$F(f-max) = RFc \quad \text{------(4)}$$

여기서 R : 마찰계수이고 변위에 의해 발생하는 힘  $F_s$  는

$$F_s = Y(d_{31})W(V_{pzt}) \quad \text{------(5)}$$

여기서 Y : 영률상수  
 $d_{31}$  : 압전상수  
 W : PZT 바의 폭  
 $V_{pzt}$  : PZT바에 가해진 전압

Si 페드의 고정력은 마이크로웜이 미끄러 지지 않기 위해 부하에서 요구되는 힘  $F_p$  보다 커야 한다. 따라서 이 마이크로 웜이 적절히 작동되기 위해서는

$$F_p < F_s < F(f\text{-max}) \quad \text{-----}(6)$$

라는 힘의 관계가 유지되어야 한다. 또한, PZT바와 Si 페드사이의 예폭시 접착 두께와 Si페드와 Si Substrate 사이에 겹이 없다고 가정하면 그림 1.(b)의 전기적인 등가회로에 대한 캐패시턴스는

$$C_1 = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{PZT} \frac{A_1}{t} \quad \text{-----}(7)$$

$$C_2 = C_2' = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{SiO_2} \frac{A_2}{d_2} \quad \text{-----}(8)$$

$$C_3 = C_3' = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{SiO_2} \frac{A_3}{d_3} \quad \text{-----}(9)$$

여기서

$\epsilon_0$  : 진공중유전율 =  $8.85 \times 10^{-12}$  F/M

$\epsilon_{PZT}$  : PZT의 유전율 = 830

$\epsilon_{SiO_2}$  : SiO2의 유전율 = 3.9

A1 : PZT 바의 면적

A2 : PZT 바와 Si 페드사이의 접착면적

A3 : Si 페드면적

t : PZT 바의 두께

d2 : PZT와 Si 페드 사이의 SiO2 두께

d3 : Si 페드와 Substrate 사이의 SiO2 두께

SiO2 두께가 0.5 $\mu$ m 이고 Si Substrate의 두께가 0.2 $\mu$ m 이면  $C_1=573$ pf,  $C_2=149$ pf,  $C_3=789$ pf 이다.

### 3. 작동순서 ( 그림 3 참조 )

1.  $t=t_1$  에서 페드 A 를 고정시키기 위해 전압을 가한다.
2.  $t=t_2$  에서 페드 B 로부터 전압을 제거 한다.

3.  $t=t_3$  에서 PZT 바에 전압 ( V12 ) 를 가한다.
4.  $t=t_4$  에서 페드 B 를 고정시키기 위해 전압을 가한다.
5.  $t=t_5$  에서 페드 A 로부터 전압을 제거한다.
6.  $t=t_6$  에서 PZT 바로부터 이전압을 제거 한다.
7. 위의 순서 1-6 을 반복한다.

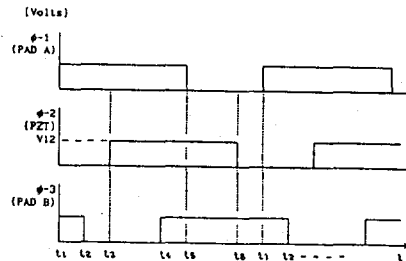


그림 3. 타이밍 다이어그램

마이크로웜의 움직이는 방향을 변화시키기 위해서는  $\phi-1$ 와  $\phi-3$ 의 펄스전압원을 서로 바꿔주면 방향이 반전된다.

### 4. 응용예

앞의 절에서 선형거리 조정용 마이크로웜의 원리 및 구조에 대해 살펴보았으나 같은 원리로서 움직이는 가이드를 원형으로 만들면 로터리형 모터의 제작이 가능하다. 또한 그림 4와 같이 미세한 유량의 흐름을 제어할 수 있는 밸브로서의 사용도 가능하다.

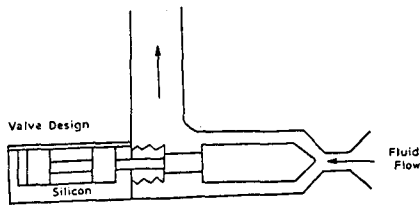


그림 4. 마이크로칩을 이용한 밸브로서의 응용

## 5. 결론 및 향후 연구방향

미세거리 조정용 마이크로 액투에이터 원리 및 설계를 위한 이론적 분석에 대해 알아 보았으며 그 응용으로서 선형거리 조정용 기기, 압전형 모터 및 그밖의 용도 등에 대해 살펴보고 제작의 복잡성을 줄이고 신뢰성등을 높이기 위한 제작법과 용도에 따른 패키징 방법등이 개별적으로 고려되어야 한다.

## 6. 참고문헌

1. Oleg D. Jefimenko, Electrostatic Motors, Electret Scientific Company, Star City, 1973.
2. A.M.Feury, T.L.Potat and W.S.N. Trimmer, A micromachined manipulator for submicron positioning of optic fibers, IEEE Solid- State Sensors, IEEE Electron Devices Society, June, 1986.