

회전구동형 마이크로액츄에이터 전극의 최적형상

정성환, 전종업, 박유근, 이석한
삼성종합기술원

Optimal shape Design of Curved Electrodes for a Rotary Microactuator

Sunghwan Jung, Jong Up Jeon, Y. Eugene Pak, Sukhan Lee
Samsung Advanced Institute of Technology

Abstract - 평판전극배열을 이용한 회전구동형 마이크로 액츄에이터의 구동력을 증대시키기 위하여 전극의 형상을 최적화 하였다. 기존 평판구동형 마이크로 액츄에이터의 형상을 변형시켜 반경에 무관하게 전극의 수직간격을 최소간격으로 일정하게 유지함으로써 구동력을 배가시키는 효과를 발생시켰다. 이러한 구동력의 증가는 결국 요구되는 변위를 만족시키면서 고유진동수를 증가시켜 마이크로액츄에이터의 구동성능을 향상시킬 수 있다.

중전고안의 문제점을 해결하기 위하여 본 고안에서는 전극의 배열을 반경 방향에 대해 기울임을 갖도록 하여 구동방향과 전극간의 수직간격의 방향을 어긋나도록 설계하였다. 각 반경마다의 구동거리는 요구되는 구동각도를 θ_0 라고 하면 다음과 같이 정해진다.

1. 서 론

$$u_{\theta}(r) = r * \theta_0 \tag{1}$$

따라서 전기장이 존재할 때에 평판전극 구조물의 정적인 정성을 위해 구동 방향쪽의 전극간격(수직간격이 아닌 Clearance)은 다음과 같이 정해진다.

$$g_{\theta}(r) = 3r * \theta_0 \tag{2}$$

정전기력을 이용한 마이크로액츄에이터의 사용되는 전극의 배열은 크게 Comb형과 평판전극 형으로 크게 나눌 수 있는데 평판전극형의 경우에 정전기력은 전극간의 수직간격 거리에 제곱에 반비례하는 반면 Comb형의 경우 수직간격 거리에 반비례하는 특징을 갖고 있다. 따라서 현재 공정기술이 계속 발전됨에 따라 공정상 제작할 수 있는 전극간의 수직거리도 계속 작아지고 있어 평판전극 형의 장점이 앞으로 더욱 부각되리라고 예상된다. 본 연구도 평판전극형에 초점을 맞춰 기존 전극의 형상을 변형시켜 최적화하여 구동력을 극대화시키는 데 목적을 두고있다.

한편 전극간의 수직간격을 공정상의 최소간격(g_f)으로 배열할 때 위의 구동범위를 만족시키기 위하여 반경방향에 대해 필요로 하는 전극의 기울임 각을 다음과 같다.

2. 본 론

$$\theta_i(r) = \cos^{-1} \left(\frac{g_f}{3r * \theta_0} \right) \quad \frac{g_f}{3r * \theta_0} \leq 1$$

2.1 기존고안의 문제점

중전의 평판전극 배열을 이용한 회전구동형 마이크로액츄에이터의 경우[1]는 요구되는 구동각도를 만족시키기 위하여 반경이 증가할수록 전극간의 간격의 거리를 증가시키도록 설계되어야 하는 문제점이 있다. 따라서 액츄에이터의 반경 크기를 증가시킨다고 하더라도 구동력의 증가는 가져올 수 없게된다. 이러한 경우에 있어서 전극간의 간격은 구동각도와 회전 중심 축으로부터의 반경에 의해 미리 결정지어지므로 전극간의 간격은 공정상 제작할 수 있는 최소간격 이상으로 설계되어진다.

$$\theta_i = 0 \quad \frac{g_f}{3r * \theta_0} > 1 \tag{3}$$

단 공정상 전극의 최소간격이 구동방향쪽의 전극의 간격보다 클 경우 기울임각은 0도가 된다. 따라서 전극의 기울임 배열은 공정상 전극의 최소간격이 구동방향쪽의 간격보다 작을 때에 적용된다고 볼 수 있다.

이와 같이 전극의 형상을 반경에 따라 연속적으로 변화시켜 전극의 형상을 설계하면 그림 1에서 보는바와 같다. 이때의 액츄에이터의 단위 높이당 구동력(토크)의 크기를 계산하면 다음과 같다.

$$T_1 = \frac{\epsilon_0 (r_o^2 - r_i^2)}{2g_f^2} \tag{4}$$

여기서 발견될 수 있는 중전고안의 문제점의 근본원인은 전극의 수직간격과 구동방향을 동일한 방향으로 설정하였기 때문에 설계될 수 있는 전극의 간격은 요구되는 구동각도에 제약을 받는다고 볼 수 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 본 고안의 마이크로액츄에이터에서는 전극의 수직간격과 구동방향을 서로 어긋나도록 하여 전극의 수직간격은 공정상의 최소간격으로 반경에 무관하게 일정하게 유지하고 요구되는 구동범위도 만족시키도록 설계되어졌다. 본 고안의 구체적 최적설계 방식에 설명은 Section 2.2에 자세히 기술되어질 예정이다.

여기서 g_f 는 공정상의 최소간격, r_o 은 액츄에이터의 외반경, r_i 는 전극의 내반경, ϵ_0 전극의 유전율을 나타낸다.

위의 언급된 동일한 개념을 적용한 또 다른 형상은 다음 그림 2에서 보는 바와 같다. 그림1에서 보여준 형상은 전극을 기울임 때 한 방향으로만 기울인 반면 그림 2에 나타난 형상은 전극을 일정한 간격마다 반경축을 기준으로 서로 대칭이 되도록 바꾸어 가면서 형상을 설계한 경우이다. 그림 2의 형상의 경우도 전극의 수직간격은 반경에 관계없이 동일하고 따라서 발생하는 구동력(토크)의 크기도 그림 1의 형상의 경우와 동일하다. 이러한 zig-zag 형상의 경우는 그림1의 형상보다 전체 전극의 길이가 짧고 반경축 방향의 힘(구동력의 수직 방향)은 서로 상쇄되도록 설계됨으로서 전극자체의 변형이

2.2 전극의 최적설계

그림1의 형상보다 상대적으로 작게 나타나는 장점이 있다. 위의 기울임각의 공식 (4)도 전극의 자체변형이 없는 강체로 해석하여 제시되었기 때문에 실제 마이크로액츄에이터 제작 시에는 그림 2의 형상을 사용하는 것이 바람직하다.

2.3 기존고안과의 상대비교

본 고안의 구동력 증가의 효과를 나타내기 위하여 기존의 일반적 고안과 다음과 같은 상대비교를 수행하였다. 일반적 기존고안의 전극의 형태는 기울임 각이 항상 0도일 경우이다 (그림 3 참조). 기존 고안의 경우 발생하는 액츄에이터의 단위높이당 구동력의 크기는 다음과 같다.

$$T_2 = \frac{\epsilon_0 \ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{\theta_0^2} \quad (5)$$

여기서 θ_0 요구되는 구동각도, r_o 은 액츄에이터의 외반경, r_i 는 전극의 내반경, ϵ_0 전극의 유전율을 나타낸다. 기존 고안과 본 고안의 요구되는 구동각의 크기 (Required Angular Displacement), 액츄에이터의 내반경 (Inner Radius), 외반경 (Outer Radius) 및 설계된 전극의 개수를 동일하게 하고 상용프로그램 [2] 및 이론식(공식 4, 5)을 이용하여 상대비교를 하였을 때 계산된 구동력 크기의 상대적 비($\frac{T_1}{T_2}$)는 Table 1에 보는 바와 같다.

공정상 제작할 수 있는 전극의 최소간격 g_r 은 액츄에이터의 높이가 45 micron의 경우일 때 3 micron이고 높이가 30 micron의 경우일 때는 2 micron이다. Table 1에서 보는 바와 같이 최적화된 형상의 구동력 증가는 공정으로 제작할 수 있는 전극의 최소간격이 작을수록 기존 고안에 비해 상대적으로 급격히 증가함을 알 수 있다.

3. 결 론

요구되는 구동각도가 주어졌을 때 전극의 수직간격을 반경에 무관하게 공정상 최소간격으로 일정하게 유지하도록 전극의 형상을 설계하였을 때의 기존의 일반적 고안에 비해 상대적으로 구동력이 크게 증가됨을 발견하였다. 또한 이러한 구동력의 상대적 비는 공정상 최소간격이 작아질수록 급격히 증가함을 볼 수 있다. 따라서 앞으로 공정기술이 개발됨에 따라 전극간의 간격이 작아질수록 기울임 각에 의한 구동력 증가 효과는 극대화될 것으로 예상되어진다.

대기의 damping효과와 Bias전압을 부가하였을 때 발생하는 전극간의 Negative stiffness는 효과는 실제 마이크로액츄에이터 설계 시에 더불어 고려할 필요가 있다고 판단된다.

후기

본 연구 수행을 위한 연구비의 일부는 선도기술개발사업 (초소형정밀기계기술개발)으로부터 지원을 받았습니다.

(참 고 문 헌)

- [1] D.A. Horsley et al. "Design and Fabrication of an microactuator for magnetic disk drives", Journr microelectromechanical systems, vol 2, 141-148, 1998
- [2] Ansoft, Maxwell, 1998

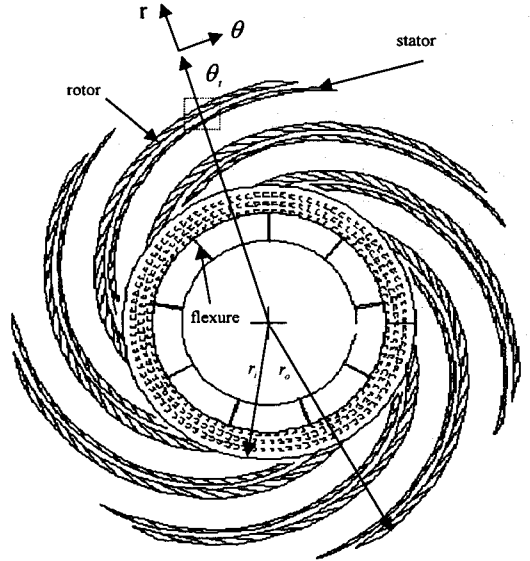


그림 1.a 공식 4에 제시된 기울임각 갖는 전극의 형상 및 회전구동형 마이크로액츄에이터

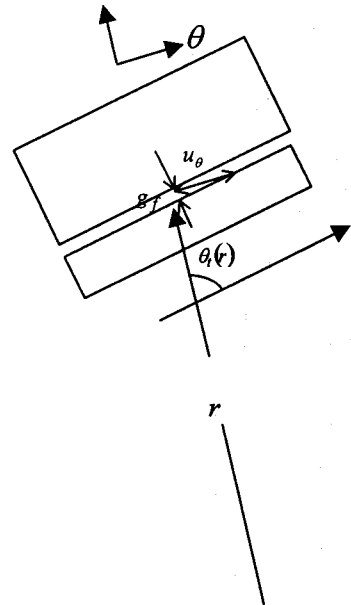
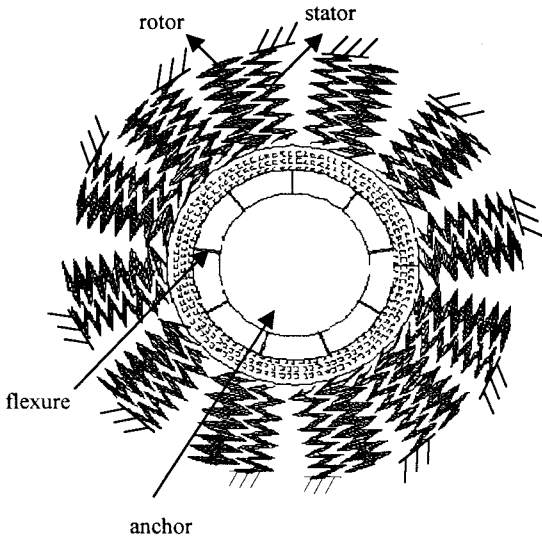


그림 1.b 반경 r인 지점에서 전극의 수직간격 및 전극방향 쪽의 간격을 보여주는 상세도



성능사양	설계사양 (micron)			$\frac{T_1}{T_2}$		θ (r) degree
	요구구동각 (rad)	내반경	외반경	액츄에이터 높이 (공정상 최소간격)	이론식 (4), (5) 수치 해석	
설계1	0.00193	800	1500	50(3)	4.76 4.78	49-70
설계2	0.00193	800	1500	30(2)	10.73 11.5	65-77

Table 1. 본 고안과 기존고안과의 구동력 상대 비교

그림 2 전극 자체의 변형을 감소시키기 위한 전극의 형상 및 회전구동형 마이크로액츄에이터

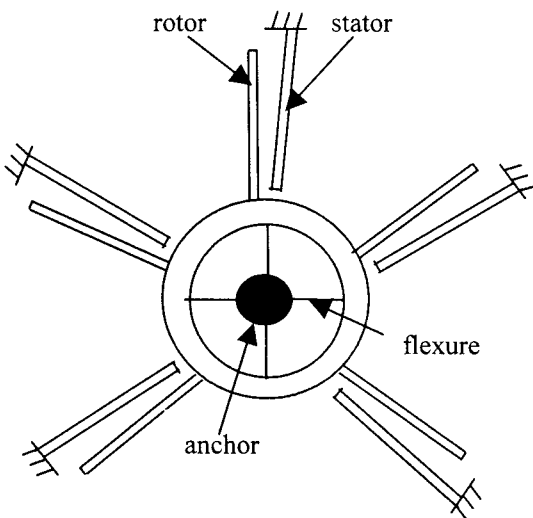


그림 3. 기존의 전극형상 및 회전구동형 마이크로액츄에이터