

## ANSYS를 이용한 V-형 선형 초음파 모터의 해석과 설계

서산동, 박태곤  
창원대학교

### Design and Analysis of V-type Liner Ultrasonic Motor by Using ANSYS.

San-dong Seo, Tae-gone Park  
Changwon National University

**Abstract** - V-형 선형 초음파 모터를 설계하고 유한 요소 해석 소프트웨어인 ANSYS9.0 을 사용하여 모터를 해석하고 그 결과를 도출 하였다. 이 모터의 기본적인 구조는 압전 세라믹을 V-형 모터 stator 에 부착한 형태이다. 모터의 동작을 위해서 90도 위상차가 있는 2개의 교류전원을 각각 세라믹에 인가하였다. 그러면 각 세라믹은 압전 역효과와 위상의 차이에 의해 모터 arm을 대칭-비대칭 운동을 하게 만든다. 그리고 이 운동이 타원 궤적을 발생 시킨다. 즉 모터와 슬라이드의 접선에서 이 타원궤적 운동의 마찰력으로 모터가 동작하게 된다. 최적의 조건을 찾기 위해 ANSYS를 이용하여 모터의 구조에 여러 가지 변수-고정점, stator의 재질, arm-body 에 부착한 세라믹의 위치, 위상차, arm의 결합각 차, arm-body와 세라믹의 크기 변화, arm의 크기 변화-를 주어 선형 초음파 모터 구조의 최적 조건을 찾아 설계를 하였다.

의 교류전계의 인가로 모터의 arm은 대칭-비대칭 운동을 하게 된다. 대칭 모드일 때에 arm의 끝이 슬라이드와 법선 방향으로 운동을 하고 비대칭 모드일 때는

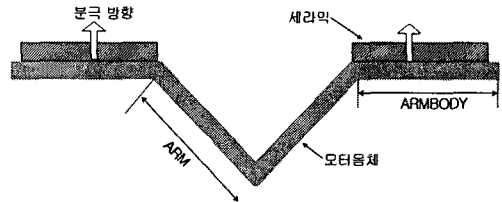


그림 1 모터의 기본적인 형태  
접선 방향으로 운동을 한다. 즉 각각의 세라믹에 위상이 다른 전원을 인가하면 대칭-비대칭 모드가 합성된 결과로서 arm의 끝 부분에서 타원 운동을 일으키게 된다. 그리고 이 운동이 모터 구동의 힘이 된다. 그림 2에서 T1과 T5는 대칭 모드이고 그 외엔 비대칭 모드이다.

## 1. 서 론

Jacques와 Pierre Curie 형제에 의해 압전효과가 발견된 지 120년이 넘었다. 압전이란 압력을 가하면 전계가 발생하고 또 전계를 가하면 변위가 발생하는 현상을 의미한다. 이 압전 특성을 이용하여 발전자의 주파수를 조절하는 공진자, 세라믹 필터, 측정용 센서, sonar 등에 이용되어 왔다. 1971년 독일의 Siemens에서 처음으로 압전 모터를 소개 하였고, 1980년 일본의 T.sashida에 의해 최초로 안정된 출력을 나타내는 모터가 나왔다.[1] 현재 액츄에이터로는 초음파 세척기, 초음파 가습기 등에 이용되고 있고, 모터로는 Canon사나 Nikon사의 고급 렌즈군의 줌과 초점조절용으로 사용되고 있다.[2][3] 그리고 현재 휴대 전화기 카메라의 렌즈 구동용으로 개발 응용되고 있다. 초음파 모터는 크기를 줄이더라도 그 특성이 전자기 모터에 비해 크게 줄어들지 않는다. 따라서 초소형 초정밀에 응용시 큰 효과가 기대된다. 이 논문에선 소형화가 가능한 형태인 단순 구조의 V-형 선형 초음파 모터를 해석하고 최적의 조건을 찾아 설계를 하였다.

표 1 모터의 크기[mm]

	arm	arm-body	길이	너비	두께
세라믹	.	.	6	3	1
stator	6	7	.	3	1

## 2. 모터의 동작 원리

### 2.1 모터의 구조

본 논문의 설계와 해석에 사용된 모터의 형태를 그림 1에 나타내었다. 그리고 각각의 크기를 표 1에 나타내었다. 모터의 stator는 arm-body와 arm으로 구성되어 있다. arm-body위에 세라믹을 에폭시를 사용하여 부착하였다. 이때 세라믹의 분극방향은 위를 향한다.

### 2.2 모터 구동 원리

그림 1의 모터 구조에서 각각의 세라믹에 90도 위상 차이가 나는 동작 주파수대 전계를 인가한다. 그러면 각 세라믹은 굽힘 진동을 일으킨다. 그리고 다른 위상(90도)

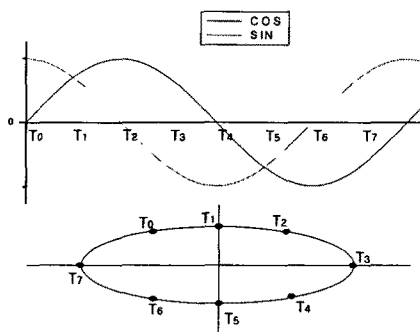


그림 2 초음파 모터의 구동 원리

## 3. 결과 및 고찰

해석을 위해 그림 1 과 표 1의 사이즈를 기본 형태로 모델링 하였다. 그리고 유한 요소 해석 프로그램인 ANSYS9.0을 사용하여 고정점, stator의 재질, arm-body에 부착한 세라믹의 위치, 위상차, arm의 결합각 차, arm-body와 세라믹의 크기 변화, arm의 크기 변화의 변수를 주어 해석을 하였다. 세라믹은 Tokin 사의 NEPEC6을 사용 하였다. 그리고 해석에 사용된 금속

들의 물성치를 표 2에 나타내었다.

표 2 재료 물성치

NEPEC6 "stiffness" Matrix[c]*10 <sup>-10</sup> N/m <sup>2</sup>					NEPEC6 piezoelectric Matrix[e]C/m <sup>2</sup>		
12.8	6.8	6.6	0	0	0	0	-6.1
	12.8	6.6	0	0	0	0	-6.1
		11.0	0	0	0	0	15.7
			2.1	0	0	0	0
				2.1	0	0	0
symmetric					0	0	0
					0	0	0
					0	0	0
					0	0	0
					0	0	0
					0	0	0
					0	0	0
NEPEC6 dielectric Matrix[e]C/m <sup>2</sup>							
8.7969	0	0					
0	8.7969	0					
0	0	8.7969					

	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Young's Modulus (10 <sup>10</sup> N/m <sup>2</sup> )	Poisson's ratio
Sus	8080	19.3	0.31
Fe	7840	19.86	0.29
Al	2700	7.0	0.33

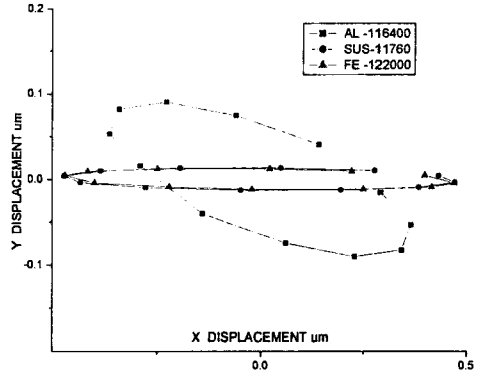


그림 4 stator의 재질에 따른 변위

### 3.1 고정점에 따른 변위

그림 3은 ANSYS로 유한 요소 해석을 할 때 고정점을 주지 않은 경우와 arm-body의 양 side에 준 경우 그리고 세라믹의 위에 준 경우 최대 변위점을 비교한 것이다. 각각 최대 변위 동작주파수와 궤적의 형태가 달랐다. 세라믹의 위에 고정점을 준 경우는 수직방향의 운동성이 강하고 free인 경우는 수평 방향의 운동이 강하다. 이때 해석한 모터의 형태와 크기는 그림 1과 표 1에 주어졌다. 각각 동작주파수는 달랐다. 이후의 해석에서 고정점은 stator의 양 끝에 주었다.

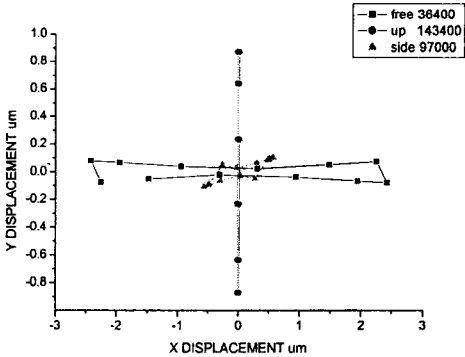


그림 3 고정점에 따른 변위

### 3.2 Stator의 재질에 따른 변위

그림 4는 그림 1의 형태에서 모터 stator의 재질에 따른 변위를 나타낸 것이다. 그리고 재질에 따른 물성치는 표 2에 나타내었다. 해석 결과 알루미늄 합금이 가장 큰 타원 변위를 나타내었으나 기준 축에 기울어져 있다. 그러므로 역방향 운동시 정방향과 비교했을 때 낮은 torque를 나타낼 것으로 보인다. 스테인리스와 철은 비슷한 특성을 나타내나 동작 주파수가 철이 약간 높았다.

### 3.3 위상차에 따른 변위

그림 5는 각각의 세라믹에 인가해 주는 전계의 위상차이에 따른 변위의 양을 나타낸 것이다. 10도에서 90도 까지 10도씩 차이를 주었다. 위상차가 90도일 때 최대 타원 변위를 나타낸다. 위상차가 커질수록 Y축 변위는 작아지고 X축 변위는 커진다. 해석한 재질은 알루미늄이고 형태와 크기는 그림 1과 표 1을 따른다.

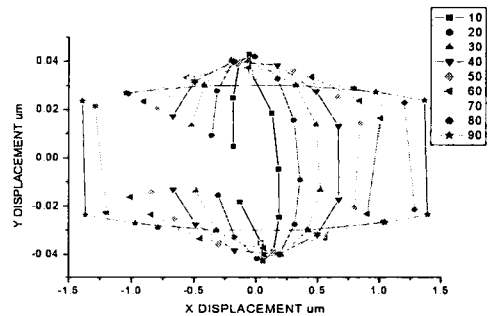


그림 5 위상차에 따른 변위

### 3.4 세라믹의 부착 위치에 따른 변위

그림 6은 arm-body의 길이가 9mm 일 때 길이가 6mm 너비3mm 두께 1mm의 세라믹을 중앙과 양 끝에 부착하였을 때의 변위량을 나타낸 것이다. 중앙에 부착하였을 때 가장 안정적인 타원 궤적 형태를 나타내었다.

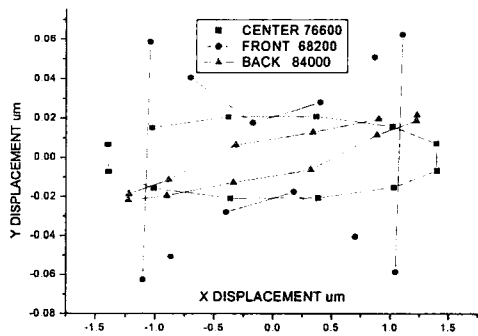


그림 6 arm-body에 부착한 세라믹의 위치

### 3.5 Arm의 결합각에 따른 변위

그림 1에서 arm-body의 길이를 9[mm]로 하고 arm의 결합부 각의 변화에 따른 동작주파수와 변위량을 그림 7에 나타내었다. 각이 커질수록 동작 주파수는 커진다. 그리고 변위량은 작아진다. 60도 일 때는 타원변위가 아니라 직선 변위가 나타난다. 해석한 재질은 철이다.

#### 4. 결 론

이 논문에서는 V-형 선형 초음파 모터를 설계하고 ANSYS를 사용하여 해석 하였다. 그리고 이 해석을 바탕으로 최적의 모터 특성을 찾고 디자인 하였다. 해석 시 X축의 변위량을 중점적으로 타원변위 해석을 하였다. 그리고 변위량의 단위는  $[\mu\text{m}]$ 이다. 모터의 타원 궤적 운동 발생과, 정역의 운동 변화, 그리고 인가해준 전계의 주파수차이에 의한 정역의 운동 변화도 유한 요소 해석을 통해 확인 하였다.

고정점은 stator의 끝단에 주었다. 금속 재질은 철과 스테인리스는 X축 방향이 Y축 방향보다 상대적으로 큰 타원 변위를 보였다. 알루미늄은 사선 형태의 타원 변위를 보였다. 세라믹은 arm-body의 중앙에 부착 하였을 때 안정적인 타원 운동을 보였으나 상대적으로 Y축 변화량이 적었다. 인가해준 두 전위의 위상차는 90도로 갈수록 X축 변위가 크게 나타났다. arm의 결합각의 차이는 30도 일 때 가장 큰 X축 중심의 타원 변위를 나타내었다. arm의 크기 변화에서는 6[mm]일 때 가장 큰 변위를 나타내었다. 해석 결과 모터 구동에 가장 좋은 타원 변위를 위해선 고정점을 양 끝단에 두고 재질은 알루미늄을 사용한다. Stator의 넓이는 3[mm] 두께는 1[mm], arm의 크기는 6[mm] 결합각은 30도 이다. 그리고 arm-body는 9[mm]이고 세라믹의 크기는 6\*3\*1[mm]이다. 그리고 세라믹은 arm-body의 중간에 부착을 하였다. 그림 9에서 최종 설계한 V-형 선형 초음파 모터의 주파수대에 따른 타원 변위의 해석을 그래프로 나타내었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2004년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 김범진, "L1-B4모드를 이용한 선형 초음파 모터의 특성 연구", 1-3, 2001.6
- [2] [www.canon.com/technology/detail/device/usm/](http://www.canon.com/technology/detail/device/usm/)
- [3] Kenji Uchino, "Piezoelectric Actuators And Ultra-sonic Motors", Kluwer Academic Publishers, pp.227-284, 1997
- [4] 최명일, "관류반형 압전 진동자를 이용한 선형 초음파 모터의 특성 연구", 18-19, 2003.12

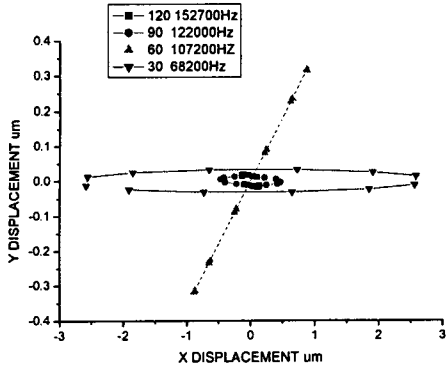


그림 7 arm의 결합각에 따른 변위

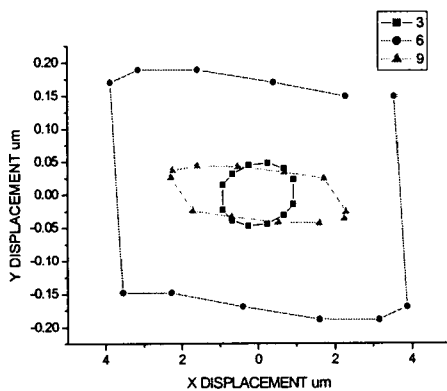


그림 8 Arm의 크기 변화

#### 3.6 Arm의 크기 변화에 따른 변위

Arm-body의 길이는 9[mm], arm의 각도는 30도를 주고 arm의 길이를 3, 6, 9[mm]로 변화를 주고 ANSYS로 해석을 하였다. 그 결과 6[mm]일 때 가장 큰 변위를 보인다. arm 끝단의 변위 형태는 타원이 아닌 직사각형의 형태이지만 슬라이드를 운동시키기에 충분한 운동 형태로 보여 진다. 이를 그림 8에 나타내었다. 해석에 사용된 모터 몸체의 재질은 철이다.

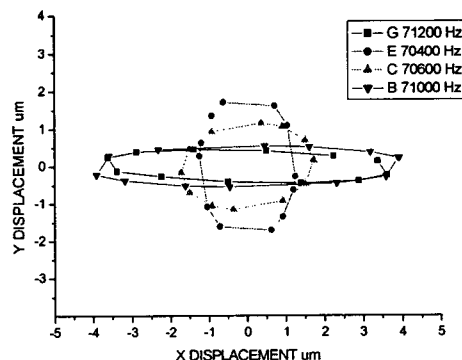


그림 9 최종 설계한 V-형 선형 초음파 모터의 변위