# 바이몰프형 밴딩 엑츄에이터를 이용한 선집속형 초음파 트랜스듀서의 초점 거리 제어

채 민 구*, 김 무 준**, 하 강 열**
* 부경대학교 대학원 음향진동공학협동과정
** 부경대학교 물리학과

# Focal length control of line-focus ultrasonic transducer using bimorph-type bending actuator

Min-ku Chae*, Moo-Joon Kim**, Kang-Lyeol Ha**
* Dept. of Acoustic and Vibration Eng. Pukyong National Univ.
** Dept. of Physics Pukyong National Univ.

( E-mail : chaeminku@hanmail.net )

## 요 약

의료용 초음파 진단기는 음축 방향 초점거리의 제어를 위해서 각 진동요소의 전기단자에 전기회로를 이용한 가중치를 부가하는 방식을 사용하고 있다. 그러나 본 연구에서는 단일 PVDF로 구성된 트랜스듀서에 바이몰프 타입의 엑츄에이터를 부가하여 진동요소의 배열이나 전기적 가중치의 부가없이 기계적으로 곡률 반경(R.O.C. : Radius Of Curvature)을 제어하는 방법을 제안하였고, 바이몰프 타입 엑츄에이터에 인가한 전압 변화에 따른 트랜스듀서의 곡률 반경 변화를 측정하여 이에 따른 수중에서의 음장 분포 변화를 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

## 1. 서 론

의료용 초음파 진단기는 신체의 여러 부위를 진단하는데 폭넓게 이용되고 있다. 이러한 초음파 진단기에서 가장 중요한 부분이 진단 대상까지 초음파 신호를 보내고 다시 반아들이는 트랜스듀서이다. 이 트랜스듀서로 진단 대상에 대한 정보를 얻기 위해서 측방향의 스캐닝과 음축방향의 초점거리를 변화시킨다.[1] 측방향의 스캐닝방법은 크게 전기적 스캐닝 방법과 기계적 스캐닝 방법으로 나뉘어진다. 전자의 경우는 배열된 각 진동요소에 여기 하는 전기신호에 위상가중치를 주어 스캐닝 하는 방법이고, 후자의 경우는 트랜스듀서를 기계적인 구동력에 의해 스캐닝하는 방식이다. 하지만 위의 방법들 모두 음축 방향으로 초점을 변화시키기 위해서는 전기 회로를 부가하여 각 진동 요소에 여기 되는 신호에 위상가중치의 분포를 변화시키는 방식을 사용하고 있다. 하지만 본 연구에서는 음축 방향의 초점을 변화시키기 위해서 액츄에이터[2]를 이용하여 기계적으로 곡률 반경을 변화시키는 방법을 제안하였다.

## 2. 이론 및 제작

### 2-1. 이론

엑츄에이터란 어떠한 입력 에너지를 기계적 출력 에너지인 변위/응력으로 변환하는 변환기로 정의된다. 엑츄에이터에는 유니몰프, 바이몰프, 무늬, 심벌[3] 등이 있는데, 본 연구에서는 두 개의 세라믹 판을 접착시킨 구조인 바이몰프형을 제작하였다. 바이몰프는 인가 전압 하에서 한쪽 판이 늘어나면 나머지 판은 줄어들게 된다. 전체로서는 가운데 접착 면으로 고정되어 있기 때문에 일정

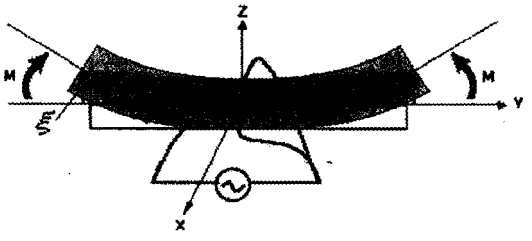


그림 1. 엑츄에이터의 동작원리

한 방향으로 휘게 된다.[4] 이때 액츄에이터의 변위 $\xi$는 아래의 식(1)로 구할 수 있다.

$$\xi = \frac{A\, l^2 e_{32}}{a^2 t^2 (4 - 3k_{32}^2) c_{22}^D} V \qquad (1)$$

$$A = \frac{\sin(a/2)\cos(aY) - \sinh(a/2)\cos(aY)}{\sin(a/2)\cosh(a/2) + \sinh(a/2)\cos(a/2)}$$

여기서 $l$은 세라믹판의 길이, $t$는 두께, $e_{32}$ 압전상수, $k_{32}$는 전기·기계 결합계수, $c_{22}^D$는 컴플랑이언스 이고, $a$는 주파수 정수, $Y = y/l$ y는 y축 방향의 임의의 지점, $V$는 전압이다.

2-2. 트랜스듀서의 제작

그림2와 같이 길이 7㎝, 폭 1.6㎝, 두께 0.03㎝인 세라믹판 두 장을 분극 방향이 같도록 에폭시로 접착한 후 10.5㎝의 반경을 가지는 원통에 그림3과 같이 틀을 만들어 실리콘으로 곡면을 만든다. 여기에 이미 제작한 액츄에이터를 삽입하고 다시 실리콘으로 완전히 채운다. 신호의 송수신을 위해서 앞쪽 곡면에 길이 7㎝, 폭 1.6㎝의 PVDF를 접착한다. PVDF는 수신 특성이 우수한 반면 송신 특성은 그렇지 못하기 때문이 PVDF와 같은 크기의 구리판을 접착하여 PVDF의 배면체로 사용하였다.

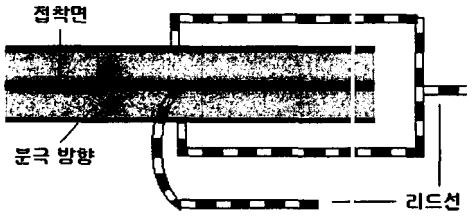


그림 2 액츄에이터

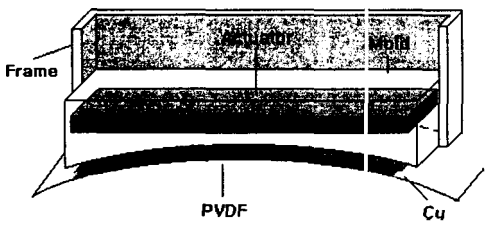


그림 3 트랜스듀서

## 3. 시뮬레이션 및 실험

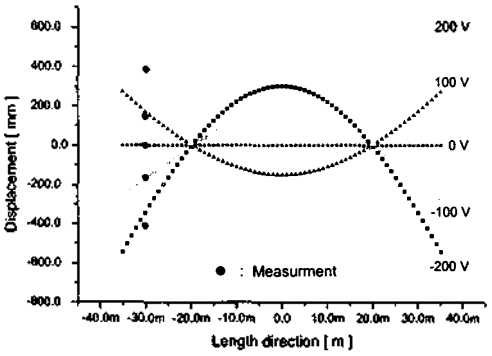


그림 4 전압 변화에 따른 변위

식(1)을 이용하여 액츄에이터에 전압을 -200V에서 200V까지 100V씩 변화시키면서 Y축 방향의 각 지점에서 Z축 방향의 변위를 계산한 것을 그림4에 나타내었다. 그래프를 보면 전압이 0V에서 -200V까지 변화하면 -Z축 방향으로 변위가 증가하고, 0V에서 200V까지 변화하면 +Z축 방향으로 변위가 증가함을 알 수 있다. 그림3과 같이 액츄에이터가 삽입된 트랜스듀서 구조라면 전압 변화에 따라 곡률 반경이 변화 할 것이다. 위 그림4에서 5개의 검은색 원은 측정한 값이다. 이를 보면 주어진 전압 범위에서 계산 결과와 거의 일치함을 보이고 있다. 전압에 대한 트랜스듀서의 곡률의 변화를 측정하기 위해서 아래의 그림5와 같이 장치하고, 입사한 평행광선이 곡면에 반사되어 모이는 초점은 곡률 반경의 2배와 같다는 사실을 이용한다.

$$R = 2f \qquad (2)$$

여기서 $f$는 초점거리이고 $R$은 곡률 반경이다.

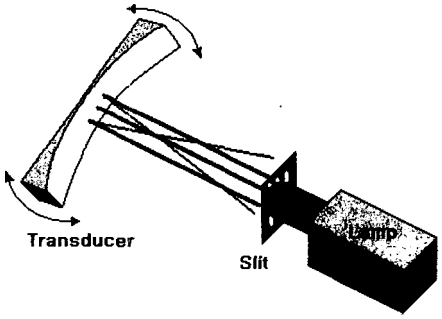


그림 5 곡률 반경 측정 구성도

위 그림5의 실험에서 초점의 뚜렷한 구별을 위해 광원 앞에 슬릿을 설치하여 세가닥의 평행광선으로 만들었다. 아래의 그림6은 그림5와 같은 구성으로 평행광선이 트랜스듀서의 곡면에서 반사하여 초점에서 모이는 모습이다.

그림 6. V = 200V일 때 곡률 반경 측정

이와 같은 방법으로 전압을 -200V에서 200V까지 변화시키면서 그에 따른 곡률 반경을 측정한 값을 표1에 나타내었다.

표 1 전압 변화에 따른 곡률 반경

| voltage [V] | Radius of curvature [mm] |
|---|---|
| -200 | 96.5 |
| -100 | 99.4 |
| 0 | 103.2 |
| 100 | 105.4 |
| 200 | 108.5 |

이 결과를 보면 엑츄에이터에 인가한 전압을 -200V에서 200V까지 변화시켰을 때 총 초점거리의 변화 폭은 13㎜였다. 표1의 곡률 반경의 측정치를 대입하여 수중에서 음장분포의 전압 변화에 따른 초점 거리 변화를 시뮬레이션하고 실제 수중에서의 음장 분포를 하이드로폰을 이용하여 측정하였다. 시뮬레이션에는 음장 계산 프로그램인 Ultrasim[5]을 이용하였다. 그림7은 수중에서의 음장 분포를 측정하기 위한 구성도 이다. 트랜스듀서에 펄스 신호를 여기하기 위한 Pulser와 엑츄에이터에 전압 변화를 주기 위한 Power supply, 음장을 측정하기 위한 하이드로폰을 컴퓨터에 연결하여 데이터를 분석하였다.

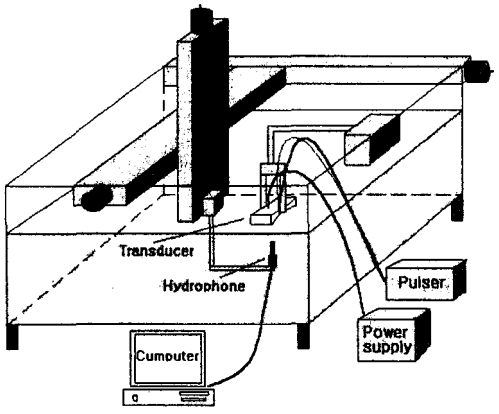


그림 7 음장 분포 측정 구성도

## 4. 결과 및 고찰

표1의 곡률 반경 측정치를 이용하여 -200V에서 200V까지 전압을 변화시킬 때의 곡률 반경 변화에 대해 수중에서의 음장 변화를 시뮬레이션하여 그림8에 나타내었다. 이 결과를 보면 인가

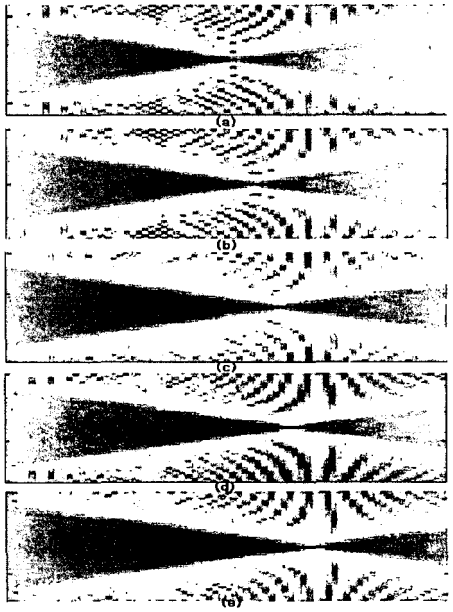

그림 8. 시뮬레이션
(a) -200V, f = 96.5㎜ (b) -100V, f = 99.4㎜
(c) 0V, f = 103.2㎜ (d) 100V, f = 105.4㎜
(e) 200V, f = 108.5㎜

전압 -200V일 때 초점거리가 96.5㎜ 이고 200V일 때 초점거리가 108.5㎜로 총 초점거리의 변화 폭은 13㎜이다. 그림7과 같은 장치를 이용하여 엑츄에이터에 전압을 -200V에서 200V까지 변화시키면서 수중에서의 음장 분포를 측정한 결과를 그림9에 나타내었다. -200V에서 초점거리가 100.6mm 이고 200V에서 초점거리는 110.4mm로 전압변화에 대해 총 9.8㎜의 초점거리 변화를 확인하였다.

그림8과 그림9를 비교해보면 실제 측정한 초점거리의 변화가 시뮬레이션 값보다 3.2㎜ 작은 것

을 알 수 있는데 이것은 실제 측정에서 엑츄에이터의 변위가 표1에서 측정한 값보다 작음을 나타낸다. 그 원인으로는 수중에서 측정할 때 트랜스듀서를 스펀지로 고정한 것과 물의 저항에 의한 엑츄에이터의 변위의 감소 때문이다.

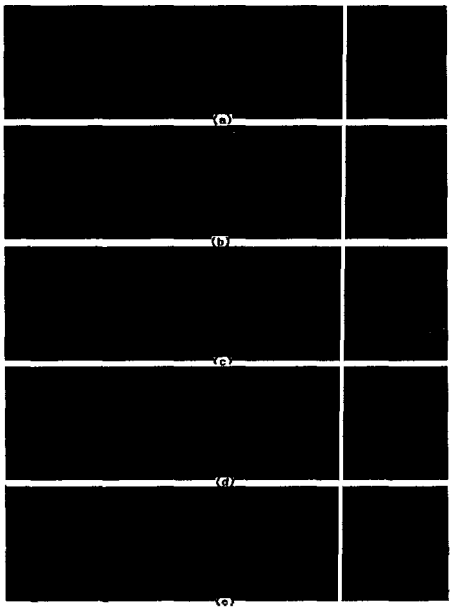

그림 9 음장분포의 측정값

(a) -200V, f = 100.6㎜ (b) -100V, f = 103.7㎜

(c) 0V, f = 106.7㎜ (d) 100V, f = 108.9㎜

(e) 200V, f = 110.4㎜

## 5. 결 론

분극 방향이 나란하게 접착한 바이몰프형 밴딩 엑츄에이터를 제작하여 일정한 곡률 반경을 가지는 실리콘 속에 삽입하여 집속형 트랜스듀서를 제작하였다. 엑츄에이터에 인가하는 전압 변화에 따른 트랜스듀서의 곡률 반경의 변화로 부가적인 전기회로 없이 기계적으로 초점거리를 제어할 수 있음을 확인하였다.

## 6. 참고 문헌


1. A. Goldstein, R. L. Powis, " Ultrasonic Instruments and Devices I " Physical Acoustics, Vol. XXIII, pp 102-123, 1999.

2. Quing-Ming Wang, Xiao-Hong Du, " Electromechanical Coupling and Output Efficiency of piezoelectric Bending Actuators "IEEE. Trans. UFFC. Vol 46. No 3. 1997.

3. 김진수, " 압전 엑츄에이터와 초음파 전동기", 명현출판, pp 85-88, 2000.

4. Takuro Ikeda, " Fundamentals of Piezoelectricity " (1990)

5. Sverre Holm, " Ultrasim - a toolbox for ultrasound field simulation " in Proc. Nordic Matlab Conference, Oslo, Norway, Oct. 2001.