

# 음원주파수 판별을 위한 PVDF 음향센서

## A PVDF Acoustic Sensor for Identifying Sound Source Frequencies

이용국\*, 최용일, 송유리, 안형근, 한득영  
건국대학교 공과대학 전기공학과

Yong-Kuk Lee\*, Yong-Il Choi, Yu-Ri Song, Hyungkeun Ahn, Deuk-Young Han  
Dept. of Electrical Eng. Kon-Kuk Univ.

**ABSTRACT** An acoustic sensor using PVDF film is proposed in this paper. And its properties, such as sensitivity level, identification of sound source frequencies, and directivity, were experimented. Sensitivity level measured at the distance of 1[m] was limited in the range of  $\pm 10\text{dB}$ . Adjacent three frequencies were also tested to identify the frequency of sound sources. In the range of audible frequencies, it could distinguish the frequencies of a complex sound. In addition, it was found that the sensor outputs were maximum in the coincided direction with a source, when directivity was experimented with three sound sources and FFT. The proposed PVDF film sensor has good characteristics of directivity and identifying ability as an acoustic sensor.

### I. 서론

압전중합체 PVDF의 압전성과 초전성이 1969년 Kawai에 의해 발견된 이래로 이것을 이용한 트랜스듀서나 마이크로폰에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다[1,2,3]. 본 논문에서는 압전중합체 필름인 PVDF를 이용한 음향센서를 제안하고, 그의 특성과 그에 대한 음원주파수 판별에 관하여 연구되었다. PVDF 필름의 압전성을 이용하면 음압의 형태가 전기적 신호로 출력된다. 이 PVDF 필름은 압전세라믹보다 압전상수  $g_{31}$ 이 200~400배 정도 크며[4,5] 또한, 1방향을 사용할 경우 감도가 높아진다. 또한 1Hz~100kHz 주파수 범위의 넓은 대역폭을 가지므로 호흡제어로부터 고주파의 초음파 환경에 이르는 영역까지 적용할 수 있다. 즉, 넓은

동적영역(dynamic range)를 가진다[5]. 자기발전성을 가지므로 외부전압이 필요하지 않다는 점과 코팅된 필름의 형태이므로 상대적으로 견고하며 가격이 저렴하고 또한 소형 경량화가 가능하다.

따라서 압전중합체 필름 PVDF는 압전상수  $g_{31}$ 를 사용할 수 있도록 설계, 제작되었다. 이 음향센서의 감도를 가청주파수 영역 안에서 측정하였다. 또한, 수음성과 지향성을 알아보기 위하여 인접한 주파수의 합성음(complex sound)으로부터의 검출결과를 FFT를 통하여 고찰하였다.

### II. 실험방법

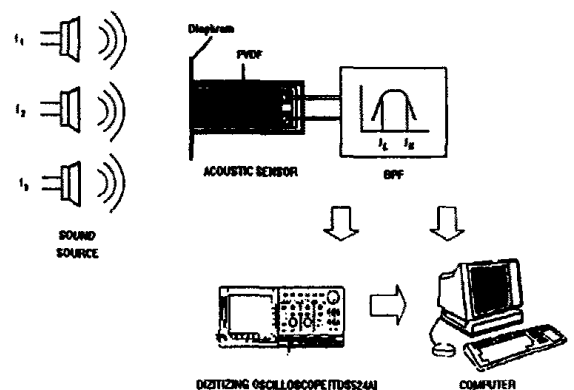


그림 1. 실험방법

실험방법은 그림 1과 같으며 3개의 음원으로부터 인접한 주파수의 음파를 발생시켰다. 음파는 음압의 형태로 나타나고 이것은 음원과 1m의 거리에 위치한 PVDF가 장착된 음

향센서의 다이어프램을 진동시킨다. 이 진동은 PVDF의 1방향 진동을 일으키고 압전 정효과에 의하여 PVDF 필름의 양 전극에는 전하가 발생된다. 이것은 음압의 크기에 비례하고 같은 주파수를 가진 전압의 형태로 나타난다. 이 전압은 가청주파수 영역의 BPF를 거쳐 digitizing oscilloscope를 통하여 출력이 나타난다. 실험에 사용된 PVDF 필름은 LDT1-028K(Maker : 미국 AMP사)이다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 음압감도레벨의 측정

음원과 1m의 거리에서 음압레벨과 다이어프램의 직경을 2.5, 10cm의 크기로 변화시키면서 음향센서의 출력전압을 측정하였다. 음압레벨 SPL은 Sound Level Meter SL-4001(Maker : 미국 TESTON사)을 사용하였으며 다음과 같이 표현된다[6].

$$SPL = 20 \log \left( \frac{P_e}{P_{ref}} \right) [dB] \quad (1)$$

$P_{ref}$ 는  $20 \mu Pa$ 을 기준으로 하여 계산되었다. 그 변환식은 다음과 같다.

$$P_e = 10^{(SPL/20 + \log 20 \mu)} [Pa] \quad (2)$$

음향센서의 음압감도 M은 다음과 같이 정의된다[7].

$$M = \frac{V}{P_e} [V/Pa] \quad (3)$$

여기서 V는 전기적 출력전압을 나타내고  $P_e$ 는 음압의 실효치를 나타낸다. 또한 일반적으로 음압감도는 감도레벨 (sensitivity level)  $L_M$ 으로서 표시하며 다음과 같이 정의된다[7].

$$L_M = 20 \log \left( \frac{M}{M_{ref}} \right) [dB] \quad (4)$$

여기서  $M_{ref}$ 는 기준음압감도를 나타내며 실험에서는 1kHz에서 측정된 값을 사용하였다. 다이어프램의 크기에 따라 직경 2cm에서 4.5mV/Pa, 5cm에서 6.2mV/Pa, 10cm에서 4.7mV/Pa의 값을 사용하였다. 그림 2는 주파수에 따른 감도레벨  $L_M$ 의 변화를 나타낸 감도 주파수 응답 곡선(sensitivity frequency response curve)이며 가청주파수 영역에서 어느 정도의 평탄성을 나타내고 있다.

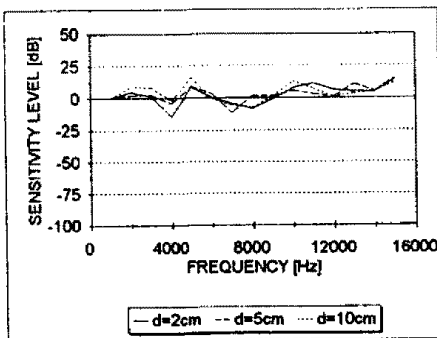


그림 2. 직경 2,5,10cm의 다이어프램에 대한 음압감도레벨

#### 2. 센서의 주파수 판별

그림 1에서 3개의 동일한 신호발생기를 이용하여 음원의 주파수가  $f_1, f_2, f_3$ 인 음을 합성하고 이 합성음 각각의 주파수가 정상적으로 음향센서에서 검출되었는지를 실험한다. 주파수가  $f_1, f_2, f_3$ 인 음을 합성하고 이 합성음 각각의 주파수가 정상적으로 음향센서에서 검출되었는지를 실험한다.

그림 3은  $f_1 = 300Hz, f_2 = 600Hz, f_3 = 900Hz$ 의 합성음을 검출한 파형을 나타낸 것이다. 그림 3의 아래부분은 합성파의 형태이고 위 부분은 검출된 파를 FFT한 것이다. 같은 방법으로 그림 4는  $f_1 = 2kHz, f_2 = 5kHz, f_3 = 8kHz$ 의 합성음을, 그림 5는  $f_1 = 10kHz, f_2 = 14kHz, f_3 = 18kHz$ 의 합성음을 검출한 파형을 나타낸 것이다. 검출된 합성파의 FFT 결과는 합성음 각각의 주파수가 정상적으로 검출되었음을 보여 주고 있다.

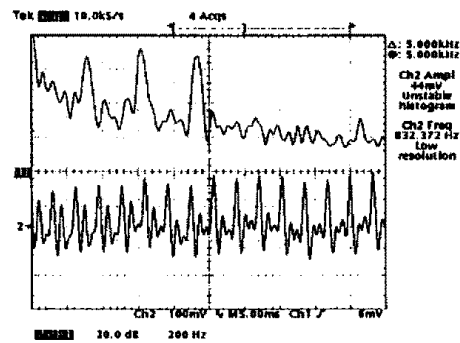


그림 3.  $f_1=300Hz, f_2=600Hz, f_3=900Hz$ 의 합성음 검출

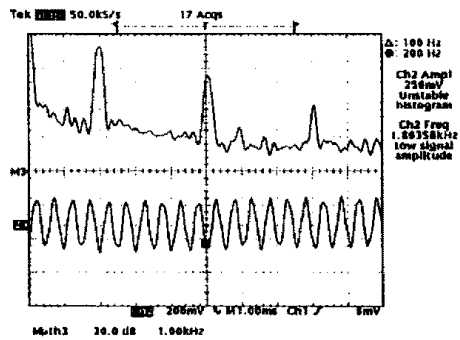


그림 4.  $f_1=2kHz, f_2=5kHz, f_3=8kHz$ 의 합성음 검출

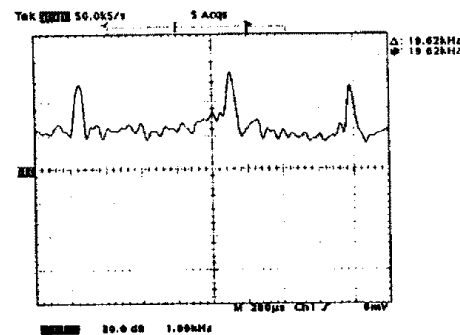


그림 5.  $f_1=10kHz, f_2=14kHz, f_3=18kHz$ 의 합성음 검출

### 3. 센서의 지향성 실험

음원  $f_2=5\text{kHz}$ 를 음향센서의 정면,  $f_1=4\text{kHz}$ 를 반시계방향  $45^\circ$ ,  $f_3=6\text{kHz}$ 를 시계방향  $45^\circ$ 로 각각  $1\text{m}$ 의 거리에 두었다. 이때 음향센서를 음원  $f_2$ 를 향하였을 경우는 그림 6과 같이  $5\text{kHz}$ 에서의 출력이  $4\text{kHz}$ 와  $6\text{kHz}$ 에서의 출력보다 크게 나타난다. 또한 음향센서를  $f_1$ 을 향하게 하였을 경우의 출력은 그림 7과 같이  $4\text{kHz}$ 에서 가장 크게 나타나며 음향센서와 최대 각을 이루고 있는  $6\text{kHz}$ 에서의 값은 가장 작게 나타난다.  $f_3$ 를 향한 음향센서의 출력에서도 그림 8과 같이  $6\text{kHz}$ 에서 가장 큰 값을 가지며 최대의 각을 이루는  $4\text{kHz}$ 에서 가장 작은 값을 출력한다. 따라서 PVDF를 이용한 음향센서는 강한 지향성을 가진다는 것을 알 수 있다.

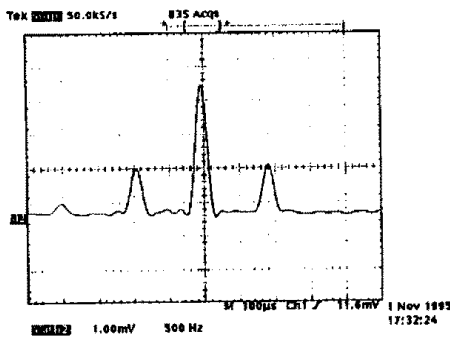


그림 6. 음원  $f_2=5\text{kHz}$ 를 향한 음향센서의 출력

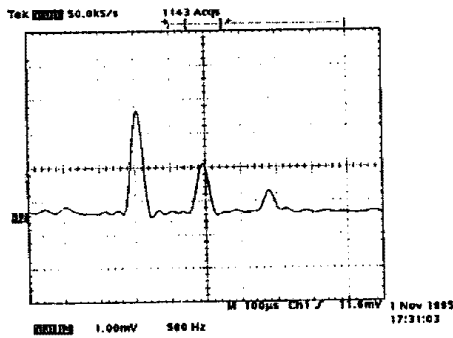


그림 7. 음원  $f_1=4\text{kHz}$ 를 향한 음향센서의 출력

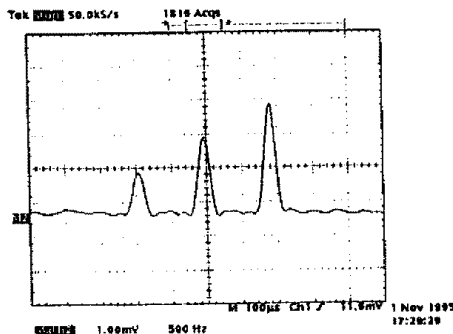


그림 8. 음원  $f_3=6\text{kHz}$ 를 향한 음향센서의 출력

### V. 결 론

본 논문에서는 압전중합체 PVDF를 이용한 음향센서의 음향특성에 관한 실험을 하였다. 음원으로부터  $1\text{m}$  거리에서 나타나는 감도레벨은 약  $\pm 10\text{dB}$ 의 범위 내에 있었으나 이것은 실험환경, 음원의 특성과 음향센서의 제작상에서 나타나는 오차에 의한 것으로 추정된다. 그러나 전체적인 형태는 평탄한 주파수 응답을 나타내고 있어 음향센서로서의 이용이 기대된다. 합성된 음원에 의한 출력파형으로부터 각각의 주파수 성분이 FFT를 통하여 정상적으로 검출되었다. 또한, 지향성을 가지며, 서로 다른 각도에 위치한 음원으로부터 합성음이 발생할 경우 지향방향의 주파수성분이 가장 크게 출력된다.

PVDF를 이용한 음향센서는 평평한 주파수 응답과 합성된 음원으로부터의 정상적인 검출능력을 가지고 있으며, 지향성을 가지고 있다. 따라서, PVDF와 센서제작의 정밀성에 대한 개선을 통하여 음향센서로서의 충분한 이용이 기대된다.

### 참고문헌

- [1] Lerch R., "Piezopolymer Transducers With Point-Supported Membranes", J. Acoust. Soc. Am. vol.70, pp.1229-1234, 1981.
- [2] Gross B., Gerhard-Multhaupt R., Berraissoul A., Sessler G. M., "Electron-Beam Poling of Piezoelectric Polymer Electrets", J. Appl. Phys. vol. 62, pp.1429-1432, 1987.
- [3] Fukada E., Sessler G. M., West J. E., Berraissoul A., Gunther P., "Bending Piezoelectricity in Monomorph Polymer Films", J. Appl. Phys. vol.62, pp.2643-3646, 1987
- [4] Peter Hauptmann, "Sensors - principles & applications," Prentice Hall, 1991, pp.169-172.
- [5] M. C. Petty, M. R. Bryce, D. Bloor, " An Introduction to Molecular Electronics," Edward Arnold, 1995, pp.60-69.
- [6] Lawrence E. Kinsler, Austin R. Frey, Alan B. Coppens, James V. Sanders, "Fundamentals of Acoustics," John Wiley & Sons, Inc., 1982, pp.98-117.
- [7] H. H. Bau, N. F. deRooy, B. Kloeck, "Sensors - mechanical sensor," VCH, vol 7., pp.577-644, 1989.