

PVDF 다층막을 이용한 초음파 변환기의 제작 및 특성조사

A Study on Manufacture and Properties of Ultrasonic Transducers made of Multi-Layered PVDF Films

김 정 구*, 배 중 림*
(Jeong Koo Kim*, Jong Rim Bae*)

* 이 논문은 1998년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의한 논문입니다.

요 약

고분자 압전 필름인 PVDF를 이용하여 단일막과 이층막의 초음파 변환기를 제작하여 임펄스 응답특성을 이론식에서 계산하여 실험적으로 확인하여 보았다. 또한 RF 펄스를 이용하여 초음파 변환기의 다층막에 따른 주파수 특성을 조사하였다. 그 결과 임펄스 응답특성은 이론식과 잘 일치 하였으며, 단일막의 변환기가 이층막에 비하여 지속시간이 짧은 펄스를 나타내었다. RF 펄스에 대한 주파수특성은 이층막의 변환기가 단일막에 비하여 광대역의 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

ABSTRACT

Ultrasonic transducers were fabricated with multi-layered piezoelectric PVDF[poly (vinylidene fluoride)] polymer films, and their impulse response characteristics were investigated through not only theoretical calculations but also experimental measurements. The impulse response of single-layered transducer shows shorter than that of double-layered one. The frequency bandwidth of the double-layered one shows more wide than that of single-layer's.

1. 서 론

초음파 변환기는 전기신호를 초음파 신호로, 초음파 신호를 전기신호로 변환하는 소자로서 각종 재료에 대한 물성연구,[1] 비파괴 검사,[2,3,4] 의료용 진단 및 치료장비 등[5,6] 광범위한 분야에 많이 이용되고 있다. 이와 같이 여러 분야에 사용되고 있는 초음파 변환기의 압전소자는 최근까지 주로 티탄산바륨계의 세라믹, 수정등의 무기물 단결정이나 ZnO 등의 금속산화물이 잘 알려져 왔으며, 이들 무기물 압전소자는 우수한 압전특성으로 인하여 정밀 기기의 핵심소자인 압전센서 및 초음파센서 등 여러분야

에서 폭 넓게 응용되어 왔다.[7,8] 그러나 이러한 압전소자는 전기기계 에너지 변환특성에 관계가 있는 결합계수가 좋은 반면, 공진 주파수 대역만을 사용하므로 대역폭이 좁아 광대역 압전소자로서의 사용이 어렵다는 점과 임펄스를 인가할 경우 짧은 펄스가 발생 될 수 없어 초음파 영상장치에서 분해능이 떨어지는 것과 재료의 유연성이 없어 자유로운 형태의 초음파 진동자를 제작하기 어렵다는 단점들이 지적되고 있다.[9] 따라서 이러한 무기물 압전소자의 단점을 보완하기 위하여 유기물 고분자에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.[10,11] 고분자 압전재료에 대한 연구는 1969년에 Kawai가 처음 보고한 이래[12] PVDF 고분자 재료에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. PVDF는 결정화도가 50% 정도인 반결정성 고분자로서 α 와 β 의 주된 두 종류의 결정을 가진다. 일반적으로 분극된 PVDF는 압전변형정수 d 값이 세라믹스에 비하여 낮아

* 대구대학교 물리학과
접수일자: 1998년 3월 27일

actuator로서의 성능이 떨어지지만 압전 전압정수 g 값은 매우 커 센서용으로는 적합하다.[13,14,15] 또한 두께가 얇으면서 탄성적인 유연성을 지니고 있고 다양한 면적과 형상으로 제작이 가능하다. 그리고 음향 임피던스는 물과 생체계의 음향 임피던스와 거의 같기 때문에 임피던스 정합이 좋아 의료용 진단 장비의 센서로서 사용할 경우 효율 좋은 초음파의 송수신을 할 수 있는 특징이 있다. 그리고 이러한 고분자 압전 초음파 변환기는 세라믹 진동자에 비하여 광대역의 특징을 나타낸다.

본 연구에서는 단일박막과 이중박막의 PVDF로 초음파 변환기를 제작하고, 그 특성을 조사하기 위하여 임펄스 응답특성을 확인하고 이론적 응답특성과 비교하였다. 또한 제작된 초음파 변환기의 RF 펄스에 대한 주파수 특성을 조사하였다.

II. 이론적 배경

초음파 변환기의 임펄스 응답특성 압전 변환기의 등가 회로는 2개의 기계적인 부분과 1개의 전기적 부분으로 이루어져 있으며 막의 양면에 작용하는 힘을 F_1, F_2 , 입사 속도를 v_1, v_2 , 전위차 V , 변환기를 통하는 전류를 I 라고 할 때, 압전변환기에 대한 전기-기계 변환식을 구하면[16]

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ V \end{Bmatrix} = -j \begin{bmatrix} Z_0 \cot(\omega l/v) & -Z_0 \operatorname{cosec}(\omega l/v) & h/\omega \\ Z_0 \operatorname{cosec}(\omega l/v) & -Z_0 \cot(\omega l/v) & h/\omega \\ h/\omega & -h/\omega & 1/(\omega C_0) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ I \end{Bmatrix} \quad (1)$$

여기서 h 는 압전상수, Z_0 는 압전 변환기에 대한 고유 음향 임피던스이며, 단면적 A , 밀도 ρ , 음속 v 를 이용하면 $Z_0 = A \rho v$ 이며 복소량을 나타낸다. C_0 는 두께 l 인 압전 변환기의 전기용량을 나타낸다. 또한 이중막인 경우 그림 1의 (b, c)와 같이 (1)식을 이용하여 다시 임피던스 행렬로 계산한다.

변환기에 임펄스를 가할 경우 변환기의 응답 특성 $f(t)$ 는 역 푸리에 변환에 의해 전압 변환함수 $H(\omega)$ 로부터 계산되어지며, 다음과 같은 식이 성립된다.

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega) A(\omega, D) e^{j\omega t} d\omega \quad (2)$$

$$A(\omega, D) = 22.68 \cdot \left(\frac{\omega}{2\pi}\right) \cdot D \cdot 10^{-11} \text{ neper} \quad (20^\circ\text{C의 물에 대해})$$

여기서 $A(\omega, D)$ 는 감쇠항이며, D 는 표적과 변환기 사이의 거리와 두배이며, 전달함수 ($H(\omega) = F/V$)는 (1)식으로부터 얻어진다. 고분자 압전 변환기에 대한 임펄스 응답특성을 (2)식을 이용하여 이론적으로 수치해석하여 구한다.

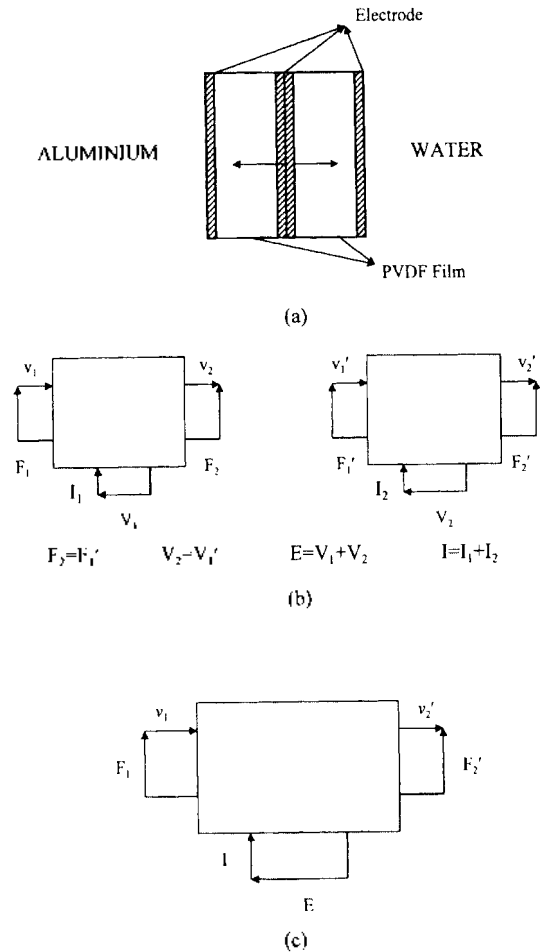


그림 1. (a) 이중막 변환기의 개략도 (b,c) 압전변환기의 3단자 박스
Fig.1 (a) Schematic diagram of double-layered transducer, (b,c) Piezoelectric transducer regarded as three port box.

III. 실험

1. 고분자 압전 초음파 변환기 제작

고분자 압전 필름은 전극제작의 어려움 등으로 인하여 초음파 변환기로서의 제작이 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 고분자 압전 필름인 PVDF를 이용하여 초음파 측정

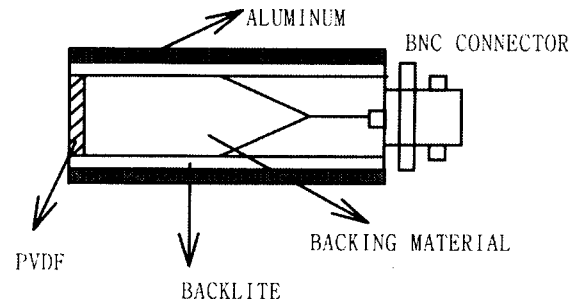


그림 2. PVDF 초음파 변환기의 개략도
Fig.2 Schematic construction of PVDF ultrasonic transducer.

에 있어 필수적인 부품인 초음파 변환기를 제작하였다.

그림 2는 본 연구에서 제작한 다층 고분자 압전 초음파 변환기의 개략도를 나타내고 있다. 먼저 길이가 70mm이며 내경이 16mm, 외경이 19mm인 원통형 알루미늄 파이프에 절연을 유지하기 위하여 그 속에 내경 10mm인 원통형 backlite를 삽입하고 그 위에 알루미늄을 이용하여 지름 10mm, 길이 45mm인 원뿔형의 배면재를 각각 삽입하였다. 이때 배면재로 알루미늄을 이용한 것은 먼저 가공이 쉬우며, 제작한 초음파 변환기가 오랜 시간 동안 물 속에서 사용되어야 하므로 부식방지 면에서 유리한 점을 가지기 때문이다. 또한 원뿔형으로 한 이유는 반사되어 돌아오는 음파와의 상호간섭에 의한 공진현상의 교란을 없애기 위함이다. 그 다음 두께가 각각 52 μ m인 두 종류의 PVDF 고분자 압전 필름(KYNAR)을 각각 지름 10mm인 원형으로 잘라내어 그림(1)과 같이 분극방향이 반대로 접착한후 배면재에 전도성 에폭시 접착제로 접착하였다. 접착방법은 접착할 두 재료를 소형 프레스로 압착시켰으며, 12시간 경화하였다. 경화가 완전히 이루어진 후 배면재와 BNC를 리드선으로 연결하여 전기적인 신호를 인가할 수 있도록 하였다. 이때 신호원과 주변의 측정장치들은 일반적으로 고주파이므로 외부의 잡음을 차단하기 위하여 가능한 리드선을 짧게 하였다. 마지막으로 PVDF 필름의 외부전극을 전도성 접착제를 이용하여 바깥쪽 알루미늄 파이프에 연결하였으며, PVDF 필름의 두께가 얇음으로 물에 의한 두 전극 사이의 단락을 막기 위하여 변환기 앞 단 가장자리에 다시 에폭시 수지 접착제를 둘러 접착하여 초음파 변환기를 제작하였다.

2 초음파 변환기의 임펄스 응답특성

임펄스 응답특성의 시험은 초음파 변환기의 시간영역에서의 특성을 관측하기 위한 것으로 재료의 종류, 진동자의 면적이나 두께, 배면재의 음향 임피던스 등에 의해 그 응답특성이 달라지므로 초음파 변환기의 특성조사 및 설계를 위한 중요한 시험방법이다. 그림 3은 고분자 압전 초음파 변환기의 임펄스 응답특성을 조사하는 실험장치

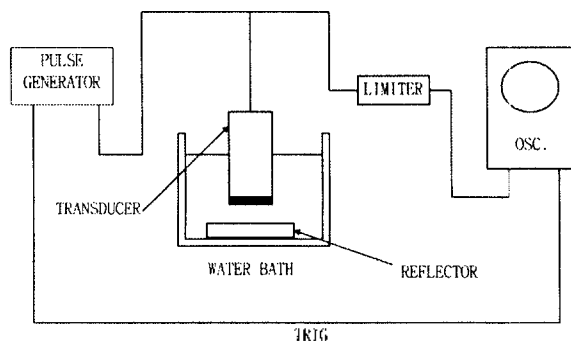


그림 3. 임펄스 응답특성 측정장치의 개략도
Fig. 3 Apparatus for measurement of impulse response.

이다. 먼저 펄스발생기(Metrotek P105A)에서 발생된 임펄스를 PVDF 변환기로 보내면 초음파가 발생되고, 이 초음파 신호는 반사판에서 반사되어 다시 PVDF 변환기에 수신되어 limiter를 통하여 저장형 오실로스코프(TeXtronix 468)에서 펄스 응답특성으로 관측된다. 여기서 수조속의 반사판은 지름 70mm, 높이 40mm인 원형 스테인레스이고, 반사판과 PVDF 진동자 사이의 거리는 20mm이며 변환기는 송수신 겸용으로 사용하였다. 펄스발생기에서 발생된 임펄스신호로 초음파 변환기에 가한 임펄스의 전압은 약 150V - 200V 정도이며 이 신호의 상승시간은 10ns이다.

3 초음파 변환기의 주파수 특성

현재 초음파 변환기의 압전 소자로 많이 사용되는 세라믹 압전소자는 우수한 압전특성을 지니는 반면 공진주파수만을 사용하는 단점을 가지고 있다. 그러나 고분자 압전 소자는 일반적으로 광대역의 특성을 지니고 있다. 따라서 PVDF 다층박막을 이용한 초음파 변환기의 광대역성을 확인하며, 제작된 변환기의 RF 펄스특성을 조사하기 위하여 고분자 압전 초음파 변환기의 응답특성을 주파수 범위에 따라 조사하였다. 그림 4는 PVDF 변환기의 주파수 특성을 알아보기 위한 장치이다. 먼저 펄스발생기(HP 8116A)에서 주파수를 변화시킬 수 있는 사인파를 펄스형태의 반송파에 실어 보내는 burst 펄스 파를 발생시킨다. 이때 burst pulse의 신호는 작기 때문에 초음파 변환기가 충분히 구동될 수 있도록 고주파용 파워 앰프를 이용하여 크게 증폭한 후 PVDF 변환기를 구동하였다. 수중으로 전파된 음파는 수신용 PVDF 변환기에 의해 수신되고 오실로스코프에서 관찰된다. 이때 수신용으로 사용한 변환기는 송수신의 변환기와 동일하게 제작된 것이다.

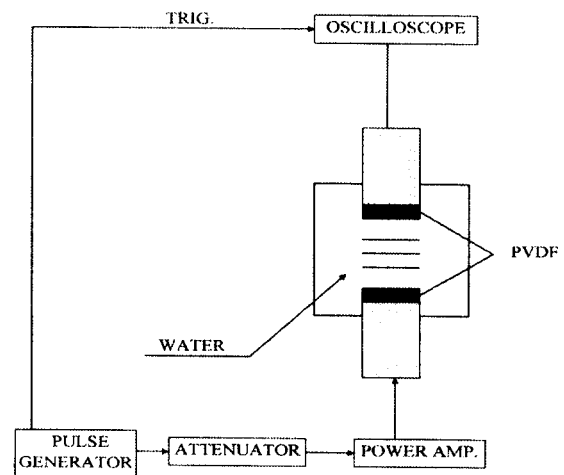


그림 4. 주파수 특성 측정장치의 개략도
Fig. 4 Apparatus for measurement of frequency characteristics.

IV. 결과 및 논의

1. PVDF 초음파 변환기의 임펄스 응답특성

본 연구에서 제작한 PVDF 변환기의 성능을 시험하기 위하여 임펄스 응답특성을 조사하였다. 일반적으로 임펄스 응답특성은 배면재의 음향 임피던스에 따라 그 응답특성이 Mason 등가회로에 의한 (1)식에 의해 다름을 알 수 있다. 초음파 변환기의 압전소자로 사용한 PVDF 압전 필름의 음향 임피던스는 $4.02 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{sec}$ 이며 매질로 사용한 물의 음향 임피던스는 $1.48 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{sec}$ (20°C)이다. 그림 5는 PVDF 단일막에 대해 알루미늄이 배면재로 사용되었을 때 펄스 응답특성에 대한 이론적 결과를 나타낸다. 여기서 배면재가 공기일 경우 진폭 축의 최대치를 1로 규격화 하였다. PVDF 변환기와 배면재와의 음향

임피던스 차이가 적은 알루미늄인 경우에는 펄스 길이가 짧은 응답 특성을 보임을 알 수 있다. 그림 6은 알루미늄 배면재($Z_w = 16.9 \times 10^6 \text{ kg/m}^2\text{sec}$)이며 두께가 $52\mu\text{m}$ 인 단일막으로 제작된 초음파 변환기의 임펄스 응답특성이다. ringing이 적은 짧은 펄스를 나타내고 있으며, 그림 5의 이론적 응답특성과 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 7은 두께가 $52\mu\text{m}$ 인 두장의 PVDF 압전 필름을 각각 분극 방향과 반대로 구성하여 접합시킨 이중구조이고 알루미늄을 배면재로 할 경우 초음파 변환기의 임펄스 응답특성을 이론식으로부터 계산한 것을 보이고 있다. 단일막에 비하여 펄스 길이가 길게 나타났다. 그림 8은 이중막막으로 제작된 초음파 변환기의 응답특성을 실험적으로 알아본 것으로 이론식과 비교적 잘 일치하였다. 초음파 영상장치에서 해상도를 높이기 위하여 높은 주파수의 필

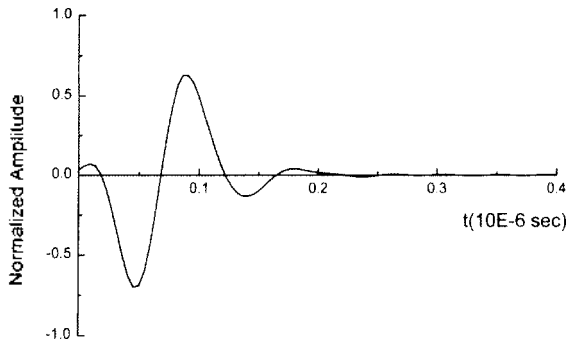


그림 5. 알루미늄을 배면재로한 단일막 PVDF 변환기의 이론적 임펄스 응답특성

Fig. 5 Theoretical impulse response of single-layered PVDF transducer with aluminum backing.

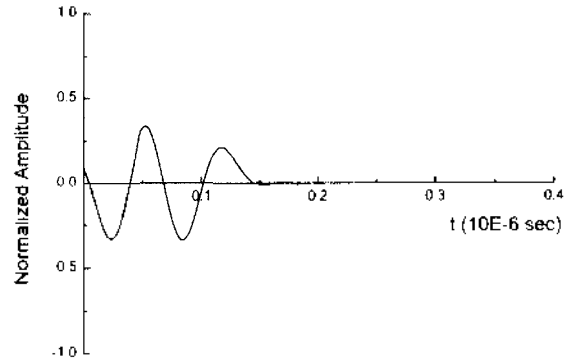


그림 7. 알루미늄을 배면재로한 이중막 PVDF 변환기의 이론적 임펄스 응답특성

Fig. 7 Theoretical impulse response of double-layered PVDF transducer with aluminum backing.

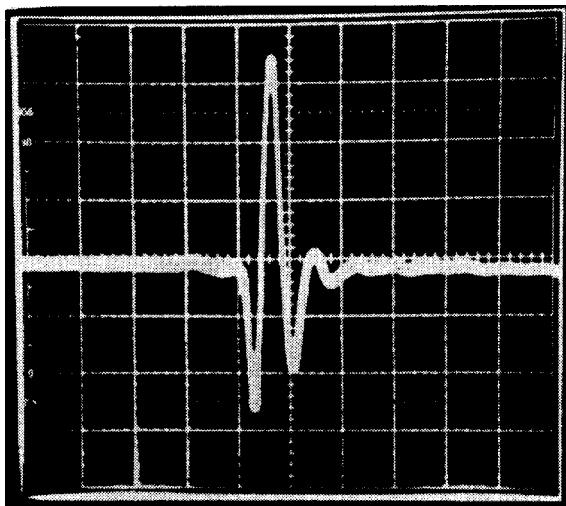


그림 6. 알루미늄을 배면재로한 단일막 PVDF 변환기의 임펄스 응답특성 (5mV/div, 0.1µsec/div)

Fig. 6 Impulse response of single-layered PVDF transducer with aluminum backing (5mV/div, 0.1µsec/div).

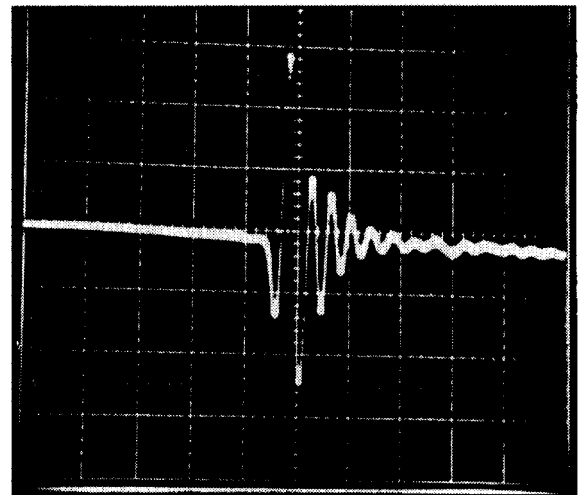


그림 8. 알루미늄을 배면재로한 이중막 PVDF 변환기의 임펄스 응답특성 (0.1mV/div, 0.05µsec/div)

Fig. 8 Impulse response of double-layered PVDF transducer with aluminum backing(0.1mV/div, 0.05µsec/div).

스를 신호원으로 사용할 경우 각 펄스에 의한 응답파의 중복이 발생하게 되므로 수 MHz이상의 높은 주파수대에서 초음파 변환기를 사용할 경우 영상장치의 해상도에 문제가 발생함을 예상할 수 있다. 따라서 이와같은 해상도의 측면에서 볼 때 단일막의 PVDF 초음파 변환기가 펄스 길이가 더 짧기 때문에 초음파 영상장치의 해상도 문제를 개선할 수 있으므로, 이러한 PVDF 변환기를 의용 초음파 진단 장치의 센서로서 이용할 경우 해상도 증진에 크게 기여할 것이라 생각된다. 또한 이층막에 의한 변환기는 단일막막에 비하여 펄스 길이가 다소 길어 임펄스 응답 특성이 그리 좋지 않음을 알 수 있다.

2 PVDF 초음파 변환기의 주파수 특성

그림 9는 두께 52 μ m인 단일막으로 제작된 PVDF 초음파 변환기의 RF 펄스 특성을 조사하기 위하여 초음파 변환기의 주파수특성을 알아본 결과이다. 일반적인 세라믹 초음파 변환기가 공진주파수 대역만을 사용하는 반면, PVDF 초음파 변환기는 500KHz - 10MHz까지 관측 가능

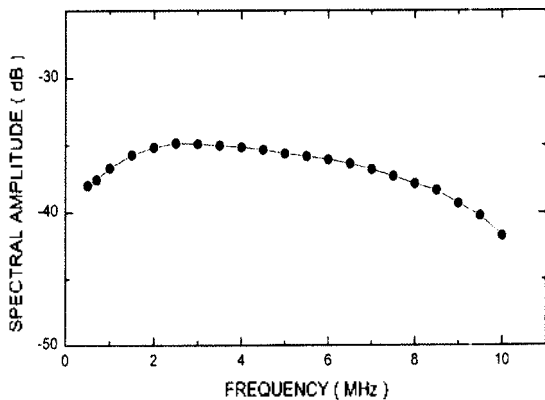


그림 9. 단일막 PVDF 변환기의 주파수 특성
 Fig. 9 Frequency characteristics of single-layered PVDF transducer.

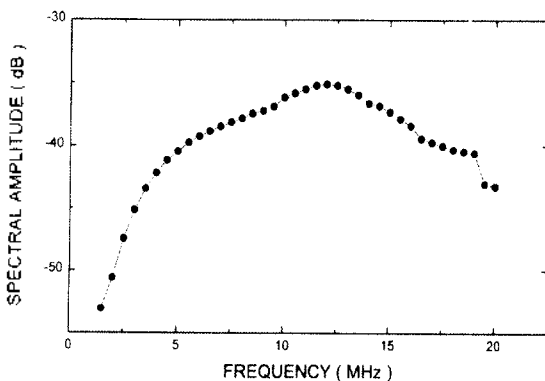


그림 10. 이층막 PVDF 변환기의 주파수 특성
 Fig. 10 Frequency characteristics of double-layered PVDF transducer.

함을 알 수 있다. 이것은 PVDF 고분자 압전 소자를 사용한 초음파 변환기는 측정 가능한 주파수의 범위가 넓음을 알 수 있다. 또한 그림 10은 두께 52 μ m인 두장의 PVDF 압전필름을 접합시킨 이층막으로 제작된 초음파 변환기의 주파수 특성을 조사한 것이다. 단일소자에 대한 주파수 응답특성보다 관측 가능한 주파수 범위가 500KHz - 20MHz로 훨씬 크게 나타남을 알 수 있으며, 이것은 이층막으로 제작된 초음파 변환기가 임펄스 응답특성은 그리 좋지않은 반면 관측 가능한 주파수 특성은 오히려 단일막보다 더욱 좋음을 알 수 있다.

V. 결 론

초음파 변환기로 제작이 어려운 고분자 압전필름인 PVDF 압전막을 이용하여 단일막과 이층막의 초음파 변환기로 제작하였다. impulse 응답특성을 조사한 결과 단일막의 변환기가 이층막에 비하여 짧은 펄스임을 알 수 있었고, Mason 등가회로를 이용한 이론값과도 비교적 잘 일치하였다. 또한 PVDF 변환기의 주파수 특성을 조사한 결과 측정 가능한 주파수의 범위가 일반적인 세라믹 초음파 변환기에 비하여 넓음을 알 수 있었다. 이층막으로 제작된 PVDF 초음파 변환기는 단일막보다 측정 가능한 주파수의 범위가 더욱 넓음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. Abdullah Atalar, "An Angular-Spectrum Approach to Contrast in Reflection Acoustic Microscopy," J. Appl. Phys., 49, pp. 5130-5139, 1978
2. C. C. H. Guyott, and P. Cawley, "Evaluation of The Cohesive Properties of Adhesive Joint Using Ultrasonic Spectroscopy," NDT INT. 21, pp. 233-240, 1988
3. M. G. Silk, "Ultrasonic Transducers for Nondestructive Testing," Bristol, Adam Hilger Ltd,p136, 1984
4. J. Krautkramer, and H. Krautkramer, "Ultrasonic Testing of Materials," Berlin, Springer Verlag, p.151, 1977
5. J. Hunt, M. Arditì and F. Foster, "Ultrasonic Transducer for Pulse-Echo Medical Imaging," IEEE Trans. Biomed. Eng., 30, pp. 453-481, 1983
6. T. R. Gururaja, W. A. Schulze, L. E. Cross, and R. E. Newnham, "Piezoelectric Composite Material for Ultrasonic Transducer Applications. Part II : Evaluation of Ultrasonic Medical Applications," IEEE Trans. Sonics Ultrason., 32, pp. 499-513, 1985
7. K. Shiloh, I. J. Bond and A. K. Som, "Detection Limits for Single Small Flaws and Groups of Flows When Using focused Ultrasonic Transducer," Ultrasonics, 31,

- pp. 395-404, 1993
8. 池田石郎, "壓電材料科學의 基礎," 오-ム, 東京, p. 84, 1984
 9. B. Jaffe, W.R. Cook and H. Jaffe, "Piezoelectric ceramics", Academic Press Inc LTD, London and New York, pp. 69-71, 1971
 10. C. F. Schueler, Hua Lee, and G. Wade, "Fundamentals of Digital Ultrasonic Imaging," IEEE Trans. Son. Ultrason., 31, pp. 195-217, 1984
 11. J. I. Scheinbeim, "Piezoelectricity in γ -form Nylon 11," J. Appl. Phys. 52, pp. 5939-5942, 1981
 12. H. Kawai, "The Piezoelectricity of Polyvinylidene Fluoride," Jpn. J. Appl. Phys. 8, pp. 975-976, 1969
 13. T. T. Wang, J. M. Herbert, and A. M. Glass, "The Application of Ferroelectric polymers," Blackie & Son, London, p. 255, 1988
 14. K. Kobayashi and T. Yasuda, "An Application of PVDF-Film to Medical Transducer," Ferroelectrics, 32, pp. 181-184, 1981
 15. D. K. Das-Gupta, K. Doughty, "Piezoelectricity in Uniaxially Stretched and Corona Poled Polyvinylidene fluoride," J. Phys. D:Appl. Phys., 13, pp. 95-105, 1980
 16. V. M. Ristic, "Principles of acoustic devices", John Wiley & sons, New York, pp. 121-136, 1983

김 정 구(Jeong-Koo Kim)

1963년 9월 5일생



1987년 2월:동아대학교 물리학과 졸업

1989년 2월:동아대학교 대학원 물리학과 졸업(석사)

1996년 8월:대구대학교 대학원 물리학과 졸업(박사)

현재:대구대학교 기초과학연구소 연구원

*주관심분야:음향센서, 신호처리, 초음파 영상

배 종 림(Jong-Rim Bae)

1953년 12월 19일생

1979년 2월:경상대학교 물리학과 졸업

1988년 3월:동경대학 응용물리학과 졸업(공학박사)

1988년 10월-현재:대구대학교 자연과학대학물리학과 교수

1996년 7월~1997년 8월: Ohio University(미국) 물리학과 객원 연구원

*주관심분야:초음파 spectroscopy와 그 응용