

PVDF 극소형 수중 청음기의 제작 및 특성 평가

현 병국, 이기욱, 하강열*, 김무준*, 배종림**

부경대학교 대학원 음향진동공학과, *부경대학교 물리학과, **대구대학교 물질과학부

Design and Fabrication of PVDF Miniature Hydrophone and its Characteristic Evaluation

Byung-Gook Hyun, Gi-Wook Lee, Kang-Lyeol Ha*, Moo-Joon Kim*, Jong-Rim Bae**

Dept. of Acous. & Vib. Eng. Pukyong Nat'l Univ., *Dept. of Phys., Pukyong Nat'l Univ.,

**School of Material Sci. Taegu Univ. (Email: hakl@dolphin.pknu.ac.kr)

요약

초음파 음장의 상대적인 변화를 측정하는데 사용하기 위한 극소형 수중 청음기를 제작하고 그 특성을 평가하였다. 압전체로서는 PVDF(Poly Vinylidene Di Fluoride) 고분자막을 사용하였으며, 수신 특성을 향상시키기 위해 임피던스 변환회로를 부가하였다. 본 논문에서는 실제된 수중 청음기의 초음파 수신특성을 Mason 등가회로에 의해 이론적으로 평가한 결과 및 극소형 수중 청음기의 제작 방법, 그리고 제작한 청음기의 초음파 수신 특성에 대하여 보고한다.

I. 서론

비파괴 검사 혹은 초음파 진단장치용 트랜스듀서의 재료로 널리 이용되는 압전세라믹 PZT의 경우 전기회로와의 임피던스 정합이 우수하고, 압전 d정수 및 전기-기계 결합계수가 크기 때문에 송신용으로 적합한 물질로 알려져 있으나, 음향 부하로의 효율적인 에너지 전달을 위하여 임피던스 정합이 필요하며, 이러한 임피던스 정합층의 구현에는 많은 시간과 노력을 필요로 한다.^{[1]~[3]} 이에 비하여 고분자 물질인 PVDF는 압전 g정수가 크기 때문에 수신 성능이 우수하며, 전기-기계 결합 계수는 작으나, 밀도가 작고 유연하므로 원하는 형태의 제작이 쉽다. 또한 횡방향의 결합진동이 없으며 물과 임피던스가 비슷하므로 수중 사용시 별도의 임피던스 정합층이 불필요하다는 장점이 있다.

본 연구는 PVDF를 이용하여 실험실에서 음장의 상대치 측정에 사용하기 위해 극소형 수중 청음기를 제작하는 것을 목적으로 하고 있다. 수중청음기의 수신특성을 좋게 하기 위해서는 먼저 배면체와 정합층의 선택이

중요시되어진다. 본 연구에서는 PVDF의 경우 물과 임피던스가 비슷하므로 정합층은 없는 것으로 하고 배면체를 구리, 알루미늄, 에폭시, 베크라이트, 공기로 할 경우에 대해 수신특성을 이론적으로 계산하여 보았다. 이론 해석 결과, 배면체를 베크라이트, 에폭시로 하였을 경우 비교적 평탄한 주파수 특성을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 베크라이트, 에폭시를 배면체로 사용하여 임피던스 변환회로가 부가된 PVDF 수중청음기를 제작하였다. 그 부가된 회로의 신호응답을 PSpice를 사용하여 시뮬레이션하였다. 그리고 제작된 수중청음기의 수신 특성을 시판용 극소형 수중청음기(MH28-10)와 비교하였다.

II. Mason 등가회로에 의한 해석

얇은 PVDF 압전막이 두께 모드로 손실이 없이 진동한다고 볼 때 Mason 등가회로^[4]에 의해 해석할 수 있고, 다음 그림1과 같이 나타낼 수 있다. 그림1에서 2개의 기계적 단자 중 하나는 압전체 전면의 부하(ZL)와의 관계를 나타내는 단자이고 다른 하나는 후면의 배면체(Zb)와의 관계를 나타내는 단자가 된다. 그리고 나머지는 전기적 단자를 나타낸다. Mason 등가회로의 각각의 요소들은 다음과 같은 값을 갖게 된다. 이때, 사용되어진 물성표와 배면체에 따른 특성을 [표1]에 나타내었다. 그리고 배면체에 따른 삽입손실과 임펄스 응답을 그림2 및 [표2]에 각각 나타내었다. 등가회로에서의 파라미터는 각각 다음과 같이 주어진다.

- Z_L = 부하의 음향특성임피던스,
- Z_b = 배면체의 음향특성임피던스,
- Z_0 = PVDF의 특성임피던스,

$$Z_1 = -j \frac{Z_0}{\sin(kd)}, Z_2 = -j Z_0 \tan\left(\frac{kd}{2}\right)$$

; 단, $j = \sqrt{-1}$

$$C_0 = \text{PVDF의 체중용량}, n = k_r A \frac{\sqrt{Z_0 v \epsilon^s}}{d}$$

k_r = 결합계수, A = PVDF의 면적, ϵ^s = 유전율
 v = PVDF의 음속, k = 파수, d = PVDF의 두께

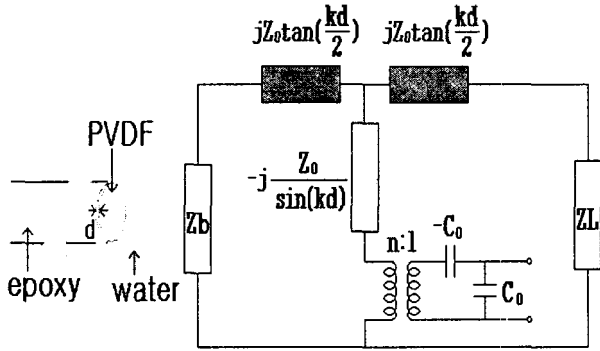


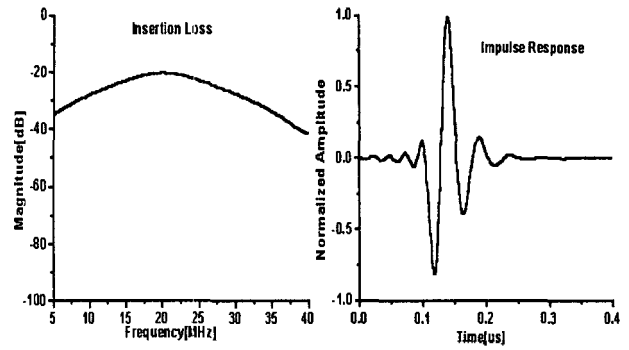
그림 1. PVDF 수중청음기의 구조 및 Mason 등가회로

[표1] 물질의 물성표

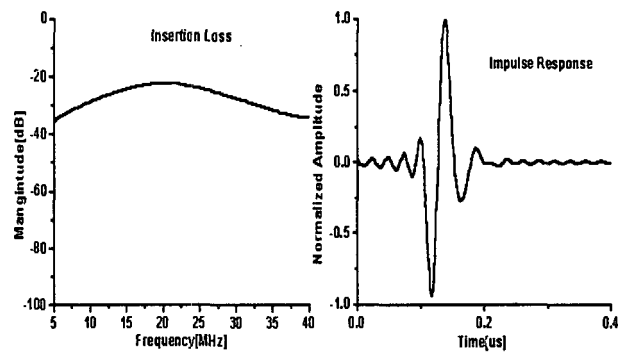
	음속 [m/s]	밀도 [kg/m ³]	음향 임피던스 [Mrayl]	유전율 [F/m]	두께 [μm]
PVDF	2200	1780	3.9	5.58×10^{-11}	52
Cu	4700	8900	42		
Al	6350	2695	17.1		
Epoxy	2450	1100	2.7		
Bakelite	3320	1346	4.47		
Air	343	1.21	4.15×10^{-6}		

[표2] 배면체에 따른 중심주파수, 대역폭 및 비대역

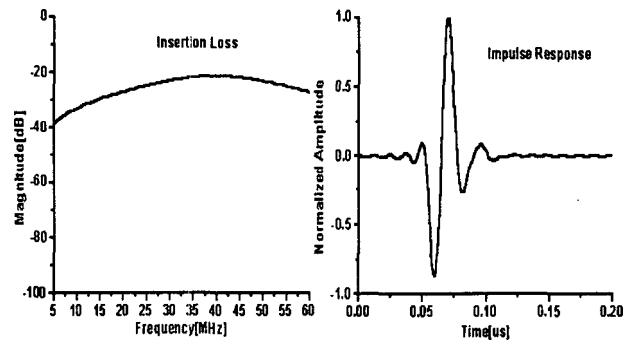
	중심주파수 [MHz]	대역폭 [MHz]	비대역 [%]
Cu	20	16.88	84.38
Al	20.78	20.31	97.74
Epoxy	40	40	100
Bakelite	40	56.25	140.63
Air	40	16.25	40.63



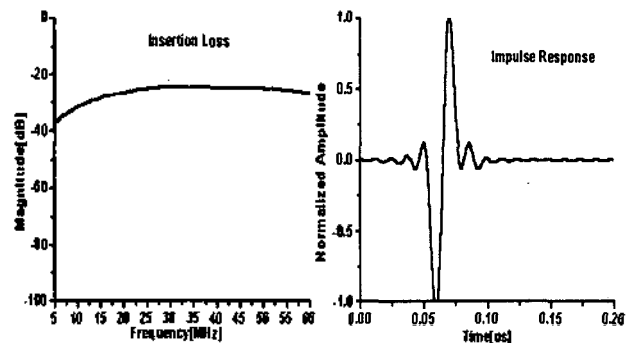
(a) 배면체가 Cu 경우



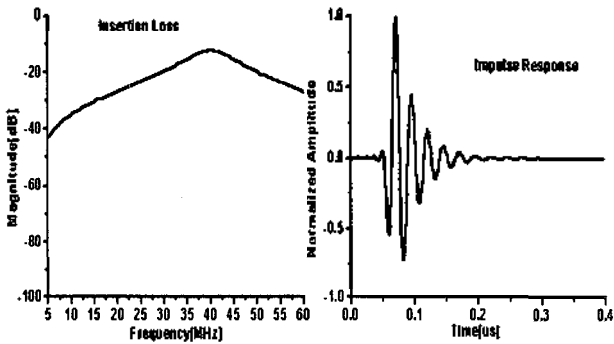
(b) 배면체가 Al 경우



(c) 배면체가 Epoxy 경우



(d) 배면체가 Bakelite 경우



(e) 배면체가 Air 경우

그림 2. 배면체에 따른 삽입손실과 임펄스응답

그림에서 알 수 있는 바와 같이 이론적 해석의 결과, 베크라이트와 에폭시의 경우 대역폭이 56MHz와 40MHz로 넓어, 비대역이 141%와 100%로 크게 나타났다. 따라서 수중청음기의 경우 넓은 대역폭이 요구되므로 베크라이트 또는 에폭시를 사용하는 것이 적합하다고 사료된다.

III. 극소형 수중청음기의 제작 및 특성평가

그림 3과 4는 본 연구에서 설계한 극소형 수중 청음기의 구조 및 사진이다. 그림5는 제작한 수중청음기에 삽입된 임피던스 변환회로를 나타내었다. 이 임피던스 변환회로의 출력 임피던스는 약 50Ω이며 출력단의 병렬 커패시터들은 주파수 특성을 평탄하게 만들기 위한 것이다. 여기에서 입력단에 정현파나 임펄스를 인가하여 출력단의 결과를 PSpice를 사용하여 주파수 특성을 시뮬레이션한 결과를 그림 6과 7에 각각 나타내었다. 그림 6, 7로부터 임피던스 변환회로가 비교적 주파수 특성이 양호함을 알 수가 있다. 다음의 그림8은 실제 특성 평가를 하기 위한 실험 장치도를 나타내었다. 여기에서 특성평가의 비교를 위해 1~5MHz의 NDT용 트랜스듀서를 사용하여 동일한 조건에서 송신하고, 제작된 극소형 수중 청음기로 수신하도록 하였다. 또한 특성 비교를 위하여 시판용 극소형 수중청음기(MH28-10)를 같은 방법으로 실험하였다. 그림9는 제작된 수중청음기(베크라이트:3mm)와 시판용 수중청음기(직경1mm)의 실험 결과를 비교하여 나타낸 것이다. 다음의 그림10은 관심주파수대에서 면적의 제곱에 따른 감도 특성을 각각 비교하여 나타낸 것이다. 그리고 그림11은 MH28-10(±5dB 감도내의 특성)을 기준으로 하여 제작한 3mm, 1mm의 수신 감도 특성을 나타내었다.

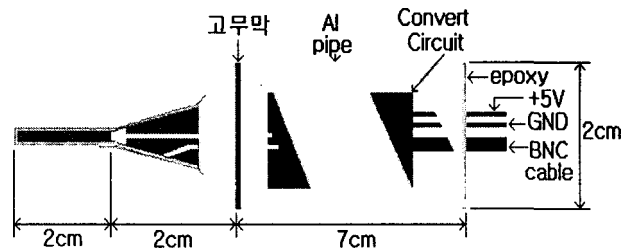


그림 3. 극소형 수중 청음기의 구조

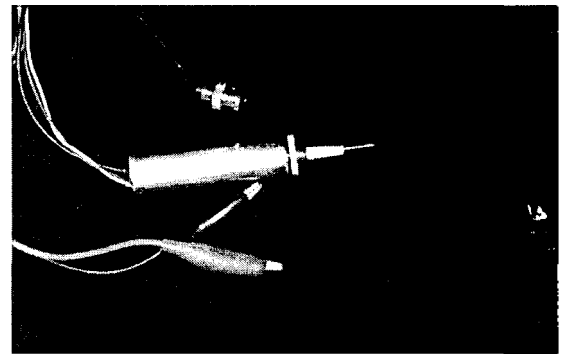


그림 4. 제작한 수중 청음기

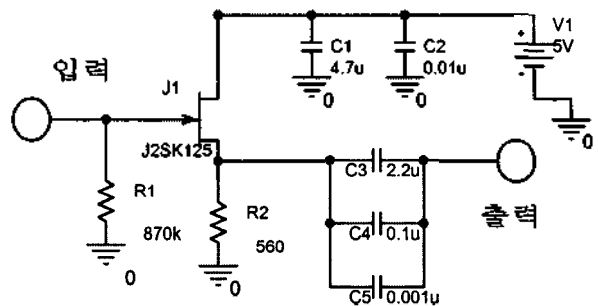


그림 5. 수중청음기용 임피던스 변환회로

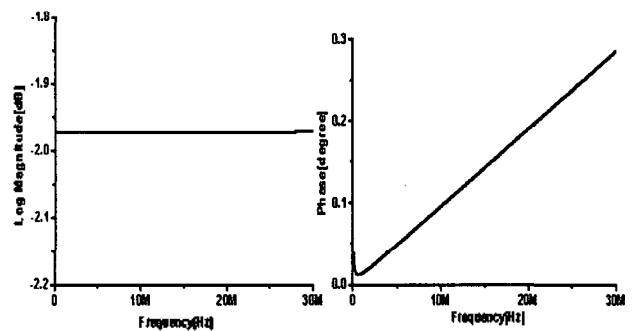


그림 6. 입력신호가 정현파일 때의 전압이득 및 위상 그래프

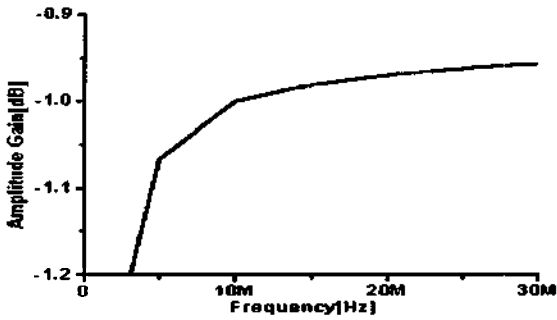


그림 7. 입력신호가 Impulse일 때의 전압이득

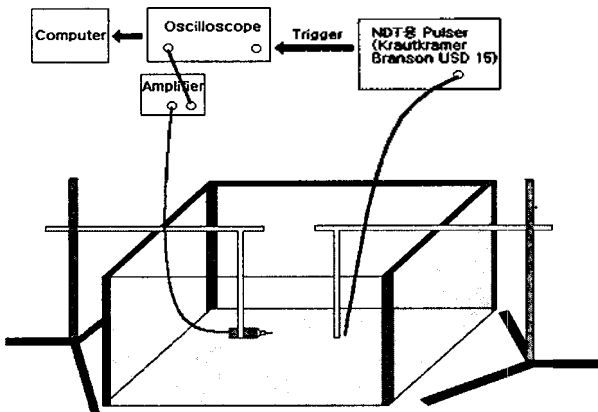


그림 8. 실험 장치도

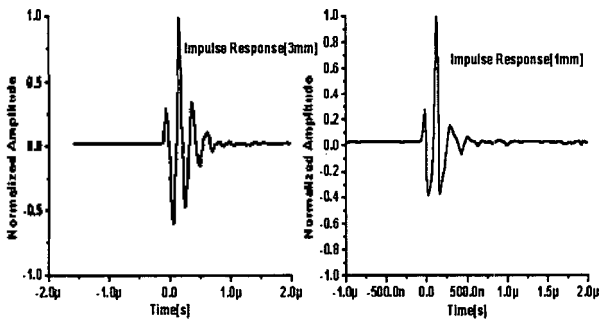


그림 9. 임펄스 응답 과형 비교(3mm, MH28-10)

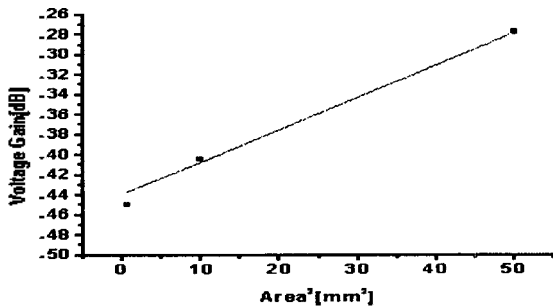


그림 10. 면적에 따른 수신감도 특성

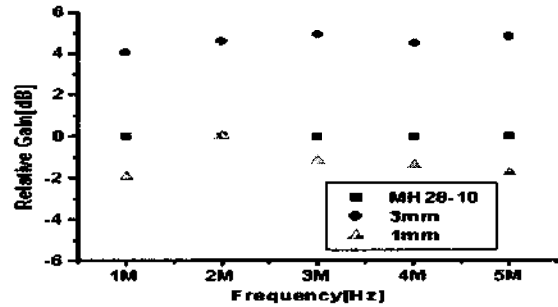


그림 11. MH28-10을 기준으로 한 수신감도비교

IV. 결론

본 연구에서는 PVDF 압전막을 이용하여 수중청음기를 제작하였으며, 또한 그 특성을 분석하였다. 이론적 해석 결과, 배면체가 다른 매질(구리, 알루미늄, 공기)의 경우보다 베크라이트, 에폭시의 경우가 우수한 것으로 알 수가 있었으며, 이것을 고려하여 제작시 베크라이트와 에폭시를 배면체로 사용하였다. 그리고 수중청음기용 임피던스 변환회로를 부가하여 수중청음기를 제작하고, 이를 가지고 시판용 극소형 수중청음기와 비교하였다. 그리고 수신감도가 수신면적의 제곱에 비례함을 알 수가 있었고, 제작한 수중청음기의 관심주파수 영역에서의 수신 감도 특성이 시판용 극소형 수중청음기와 유사하게 될 수 있음을 알 수가 있었다.

참고문헌

- [1] H.W. Persson, C.H. Hertz, "Acoustic Impedance Matching of Medical Ultrasound Transducers," Ultrasonics, pp.83-89, 1985
- [2] Inoue, Ohta, and Takahashi, "Design of Ultrasonic Transducers with Multiple Acoustic Matching Layers for Medical Application," IEEE Trans. Sonics & Ultrason., Vol. UFFC-34, No.1, pp.8-15, 1987
- [3] S.Desilets, D.Fraser, and S.Kino, "The Design of Efficient Broad-Band Piezoelectric Transducers," IEEE Trans. Sonics & Ultrason., Vol. SU-25, No.3, pp.115-125, 1978
- [4] V.M. Ristic, "Principles of Acoustic Devices", JOHN WILEY & SONS, pp.117-165, 1983

* 이 논문은 1998년 한국학술진흥재단의 학술 연구비에 의하여 지원되었음.