

능동 수중음향 트랜스듀서의 장기동작 특성 Characteristic Variation of Underwater Acoustic Transducer with Long Term Operation

서희선*
Hee-Seon Seo

Key Words : Underwater acoustics(수중음향), Transducer(트랜스듀서), Long term operation(장기동작)

ABSTRACT

The Tonpiliz transducer is one of the essential elements in active sonar application. The characteristics of transducer depend on the piezoelectric ceramics and mechanical elements such as head mass, tail mass, pre-stress rod and so on. One of the important characteristics is electric and mechanical stability of transducer for long term high power transmitting operation. This paper presents the results about long term endurance tests of the underwater acoustic transducer.

1. 서론

소나(SONAR) 장비는 음파를 이용하여 수중의 표적을 탐지하는 시스템으로 수중 음향 센서는 소나 장비의 주요 구성 요소 중 하나이다. 수중 음향센서는 음파를 송신하여 표적에서 반사된 반향음(echo sound)을 수신하여 표적을 탐지/식별하는 능동형 방식과 표적에서 발생한 음원을 수신하여 표적 정보를 얻는 수동형 방식으로 구별된다.⁽¹⁾ 능동형 소나에 사용되는 수중음향 트랜스듀서는 방사효율이 큰 Tonpiliz 형이 많이 사용되며, 그 개발 성능은 운용 주파수, 송수신 감도, 송수신 대역폭, 입력 임피던스 등의 기본 성능 외에 장기 동작에 따른 성능 변화가 없을 것, 운용 환경에서 견고한 특성을 유지할 것 등의 환경에 대한 신뢰성 성능이 포함된다. 또한 트랜스듀서는 탐지거리의 증대를 위하여 큰 음원 준위(source level)가 요구되므로 고전압을 인가하여 운용하게 된다. 이렇게 인가된 고전압에 의해 구동되는 트랜스듀서는 내부 온도 증가와 압전 세라믹에 열화현상 등에 의해 장기 동작에 따른 신뢰성이 성능의 필수 요소이며, 주요한 기술적 문제점이 된다.

이러한 문제를 사전에 점검하기 위해서는 설계 및 모형 시제 단계에서 그 특성을 예측하고 시험하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 이러한 이유로부터 이 연구는 Tonpiliz 형 트랜스듀서에 대한 고전압 장기 동작에 따른 신뢰성을 검증하기 위한 큰 입력 전원으로 장기간 동작 시험하기 위한 구조의 제작과 이와 관련된 시험 및 그 결과에 대해 다루고 있다.

2. 트랜스듀서 설계 기본 모델

트랜스듀서의 특성을 해석하는 방법은 각 요소를 집중 파라미터로 가정하고 전기적으로 치환하여 해석하는 등가회로 해석 방법과 유한요소법과 같은 수치 해석 방법을 이용한 방법으로 나누어 연구되고 있다⁽²⁻⁷⁾. 이 연구에서는 전기-기계-음향이 동시에 연성된 문제를 취급할 수 있는 상용 해석 코드인 ATILA⁽⁸⁾를 이용하여 수중에서 전면추의 횡 방향 모드가 고려된 Tonpiliz 형 트랜스듀서를 설계 및 제작하였다. Fig. 1 은 설계를 위한 Tonpiliz 형 트랜스듀서의 모델이고, Fig. 2 는 설계를 바탕으로 제작된 수중 음향 트랜스듀서의 1/4 단면모양이다.

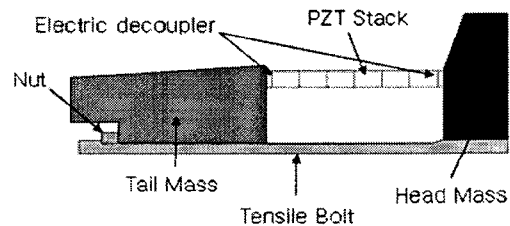


Fig. 1 Configuration of Tonpiliz transducer with electric decoupler.

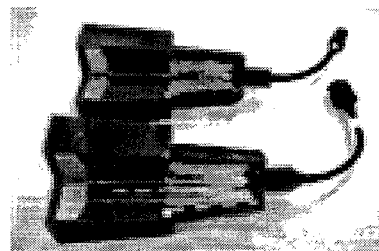


Fig. 2 1/4 cutting model of Tonpiliz transducer.

* 경희원, 국방과학연구소 2 체계 수중음향센서연구실
E-mail: hsseo@add.re.kr
Tel: (055) 540-6081, Fax: (055) 542-3737

3. 시험방법 및 장비의 구성

본 연구의 목적은 2장에서 설계된 방법으로 제작된 수중 음향 트랜스듀서를 고전압 입력으로 장기 운용하였을 때를 가정하여 가속조건 하에서 내구성을 평가하기 위한 시험과 그 결과의 분석이다. 여기서 가속조건이 의미하는 것은 일반적인 소나의 운용환경에서와 같이 시간 간격과 일정 시간 폭을 갖는 펄스 형태의 송신 신호를 사용하여 송신하는 것이 아니라 연속적인 신호를 이용하여 시험함으로써 트랜스듀서를 일반적인 사용조건에 비하여 더욱 열악한 조건에서 시험하는 것을 의미한다.

이를 위한 시험 장치의 구성은 Fig.3에 보인 바와 같이 간이 수조, 시험용 수중 음향 트랜스듀서, 하이드로폰 및 측정 시스템으로 구성되어 있다. 송신부는 시험 시료인 수중 음향 트랜스듀서와 신호 발생기 및 전력 증폭기로 구성하였다. 시험 신호의 특성을 파악하기 위한 신호 수신 부분은 하이드로폰과 트랜스듀서의 장시간 동작에 의한 시험 수조의 내부 온도 상승을 관찰하기 위한 온도센서로 구성하였다. 또한 48시간 이상의 오랜 시간 동안 계획된 시험 과정 동안 트랜스듀서의 동작 특성이 저하되는 지를 시험 후에 분석하고, 시험과 관련된 많은 연구원들이 시험 상황을 동시에 관찰하기 위해 수신 신호를 실시간으로 인터넷을 통해 확인 할 수 있는 측정시스템을 별도로 구성하였다.

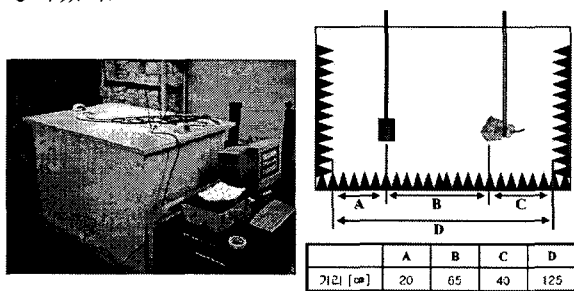


Fig. 3 Experimental setup of long period endurance test for Tonpizl transducer.

시험에 사용된 소형 음향수조는 장기간 연속적인 송신시험을 위해 내부 반사파 및 외부로 나가는 음파를 줄이기 위해 흡음소재로 된 췌기를 부착하여 별도로 제작하였으며, 그 크기는 가로, 세로, 높이가 각각 140 cm × 135 cm × 100 cm이다. 시험에 앞서 소형 음향수조 내부의 음향특성을 예측하여 적절한 송수신 하이드로폰의 위치를 선정하기 위한 음향학적 해석이 필요할 것이다. 음향 해석을 위해서 경계 요소법을 사용하여 음향해석을

수행할 수 있는 상용 프로그램인 SYSNOISE를 사용하였다. 음향수조의 가장 길이가 긴 변(1.4m)을 기준으로 최대 주파수가 8 kHz 정도가 될 수 있도록 요소를 나누어 모델링 하였다. 그리고 수조 내부에 위치한 음향 트랜스듀서를 표현하기 위해서 무지향성 단극 음원(monopole source)을 트랜스듀서가 위치한 곳(1.4m 길이 변의 1/3 위치, 1.35m와 1m 길이 변의 1/2 위치)에 인가하였다. Fig. 4는 해석을 위해 요소로 분할된 음향 수조와 관측을 위해 설정된 면을 보이고 있다.

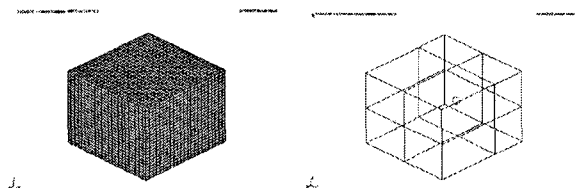


Fig. 4 Mesh and measuring plane of the test acoustic tank.

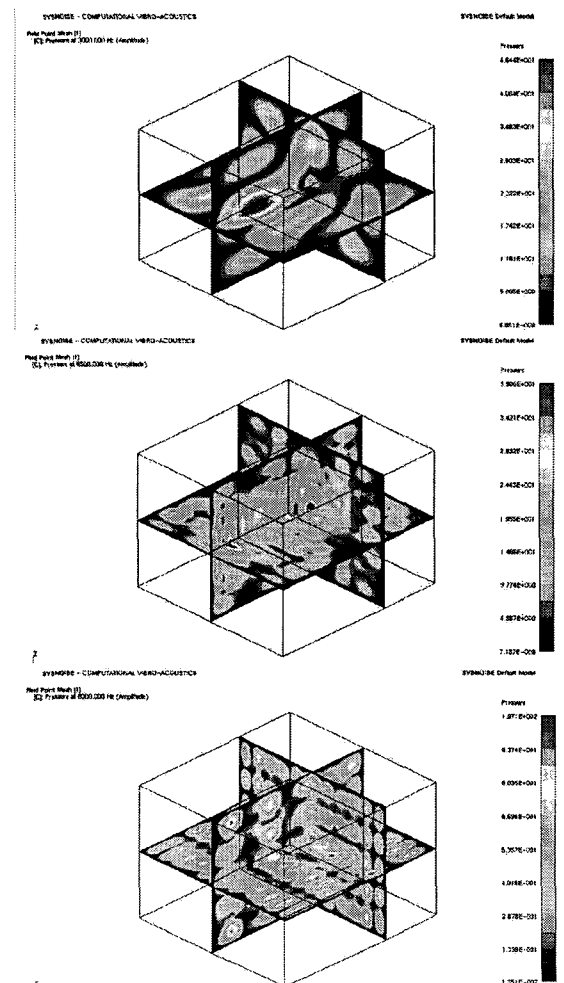


Fig. 5 Acoustic pressure distribution of test acoustic tank at low, middle, high frequencies.

한편, 음향수조의 벽면에는 흡음 썬기로 흡음 처리가 되었으므로 이에 대한 경계조건을 설정해 주기 위해 모델의 경계면을 특성 임피던스가 $3+3i$ 의 값을 갖는 임피던스 경계로 설정하였다. 그리고 3 kHz에서 8 kHz에 걸쳐서 내부 음압분포를 분석하였다. Fig. 5는 대표적인 주파수 3 개에 대한 음압의 공간 분포를 보이고 있다. 음원을 중심으로 좌우대칭이 되는 음압 분포를 보이고 있어 해석하고자 하는 요소의 개수가 충분한 것을 알 수 있다. 낮은 주파수에서는 모드 특성이 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있으나 높은 주파수에서는 많은 모드 겹침이 발생하여 음압의 공간 분포가 모드 특성에 많은 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. 보다 낮은 주파수에서 시험이 가능하도록 하기 위해서는 경계에 흡음률이 크고 길이가 충분히 긴 (보통의 경우 가장 낮은 주파수에 해당하는 파장의 1/4) 흡음재가 시공 되어야 할 것이다. 하지만 이 시험의 목적이 간이 수조에서 음향 트랜스듀서의 성능을 확인하고자 하는 것이 아니라 장기 동작에 따른 신뢰성을 확인하는 시험이므로 시험 목적에는 충분히 사용될 수 있음을 알 수 있다.

4. 시험결과 및 고찰

트랜스듀서에 큰 전압을 연속적으로 인가 함으로써 흡음재가 부착된 수조를 이용하여 시험하여도 주변에 순음 성분의 큰 소음이 발생하는 문제 때문에 시험 시간을 다른 사람이 근무하지 않는 연휴를 택하여 시험하였다. 1차 시험은 2005년 12월 30일 16:00부터 2006년 1월 3일 9:00까지 89시간, 2차 시험은 2006년 1월 27일 17:00부터 2006년 2월 1일 9:00까지 112시간 동안 수행되었다.

Fig. 6은 시험 전후에 측정된 트랜스듀서의 임피던스 크기 및 위상의 변화이다. 공진주파수와 반 공진주파수가 모두 5%이하의 변화를 보인 것을 확인할 수 있다. Fig. 7은 시간의 경과에 따른 하이드로폰에서 측정되는 전압과 음향수조 내부의 온도의 변화를 나타낸 것이다. 1차 장기 동작 시험은 앞에서 언급한 바와 같이 총 89시간 동안 진행되었고 그 중에서 데이터를 저장한 시간은 84시간이었으며 각 데이터는 1분 단위로 저장되었다. 이렇게 저장된 데이터 중에서 매 시간 10분에 저장된 데이터를 평균한 것이 Fig. 7이다. 수조 내부의 온도는 8.2°C에서 21°C까지 상승하는데 이것은 트랜스듀서에 의한 발열뿐만 아니라 수조 외부의 실내가 향한 상태가 아니므로 수조 내의 물이 열 평형에 도달하기 위해 상승된 영향도 포함되어 있다. 또한 수신 전압의 크기는 0.5V를 기준으로

하여 $\pm 0.005V$ 이내의 값에서 변화하였다. 약 32시간 경과 후에 수신된 전압이 97%로 떨어지고 약 70시간이 경과하면 95%로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 트랜스듀서에 가혹한 동작환경으로 연속적인 신호를 인가하는 경우 5% 정도의 성능 변화가 발생할 수 있음을 보이는 것으로 추정할 수 있다.

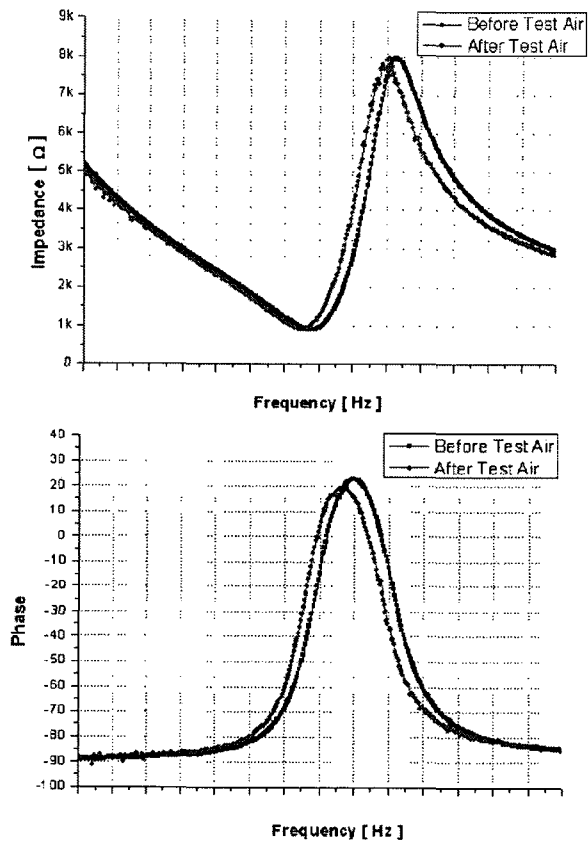


Fig. 6 Impedance magnitude and phase of Tonpiltz transducer before and after endurance test.

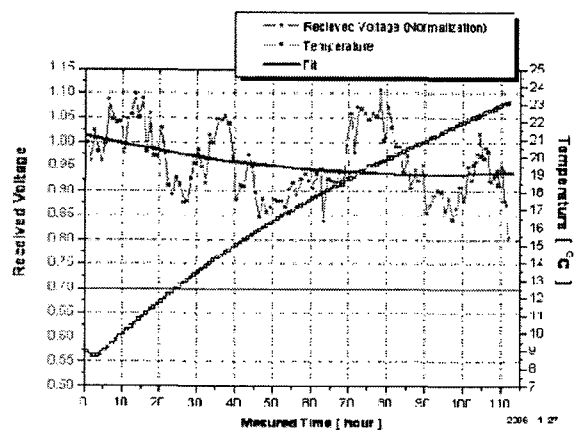


Fig. 7 Receiving voltage and temperature of water tank during endurance test.

보다 정확한 분석을 위해 대형 수조에서 음향 특성을 장기동작 시험 전후에 실시하여 비교하였다. Fig. 8 과 Fig. 9 는 시험 전후에 측정된 송신 전압감도(TVR)과 송신 빔 패턴이다. 음향시험을 통한 시료의 특성 변화를 보면 주파수가 높은 쪽으로 이동하였음을 알 수 있다. 이러한 경향은 시간의 경과에 따른 압전 세라믹의 특성 변화에 의한 것으로 추정된다. 그러나 이러한 공진주파수의 변화에도 불구하고 감도 자체의 손실은 없다. 빔 패턴도 큰 변화를 보이지 않고 있는데, 뒤쪽으로 방사되는 경향이 약간 감소한 것을 확인할 수 있다. 장기 동작으로 인해 트랜스듀서 내부의 몰딩 부분에 약간의 변화가 발생한 것으로 추정된다. 하지만 그 변화가 크지 않아 장기 동작시험을 통한 트랜스듀서의 성능 저하가 발생하였다고 판단하기는 힘든 상황이다.

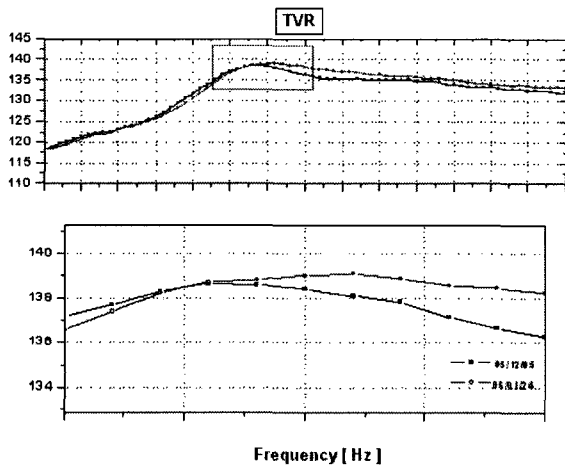


Fig. 8 Transmitting Voltage Response of transducer before and after endurance test.

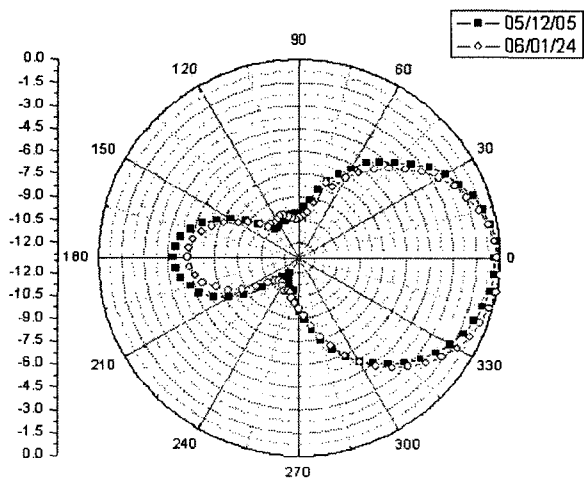


Fig. 9 Beam pattern of transducer before and after endurance test.

5. 결론

고출력센서에 대한 두 차례에 걸친 장기 동작 시험 결과, 잔향음 등의 영향으로 측정결과를 정확하게 분석하는 것은 어려웠지만 음향 특성에는 큰 변화가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 연속적인 동작으로 인해 예상되는 압전 세라믹의 열화와 같은 트랜스듀서 내부 문제로 공진주파수가 약간씩 변화하긴 했지만, 트랜스듀서의 작동이 어려울 정도의 심각한 손상이 발생했거나 트랜스듀서의 수명이 다했음을 확인할 수 있는 징후를 확인할 수는 없었다. 그러므로 현재 적용 중인 트랜스듀서 디자인은 장기 운용에 대해서 어느 정도 충분한 내구성을 가지고 있다고 말할 수 있다.

그리고 이번 시험은 단일 트랜스듀서에 대해서 수행된 것이므로, 앞으로 배열 소나 등에 대한 추가적인 시험도 필요하다면 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- (1) 조치영, 김인수, 윤행규, 1995, "수중 음향 트랜스듀서용 샌드위치형 압전 진동체의 설계," 한국소음진동공학회지, 제 5 권 제 4 호, pp. 577~583.
- (2) 조치영, 서희선, 이정민, 1996, "수중 음향 압전 트랜스듀서의 등가 회로 모델링," 한국음향학회지, 제 15 권 제 4 호, pp. 77~82.
- (3) 조치영, 서희선, 1996, "정합층을 이용한 광대역 압전 진동체 설계," 한국소음진동공학회지, 제 6 권 제 6 호, pp. 749~754.
- (4) 김정석, 이정민, 조요한, 2005, "전기-기계 연성해석 코드 ATILA 를 이용한 수중 음향 트랜스듀서 설계," 한국음향학회지, 제 15 권 제 10 호, pp. 1211~1216.
- (5) D. Church and D. Pincock, 1985, "Predicting the Electrical Equivalent of Piezoceramic Transducers for Small Acoustic Transmitters," IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU-32, No.1, pp61-64.
- (6) Smith, R. R., et al., 1973, "Finite element analysis of acoustically radiating structures with application to sonar transducers", J. Acoust. Soc. Am., 54(5).
- (7) B. Tocquet and D. Boucher, 1985, "In-air analysis of piezoelectric Tonpiltz transducers in a wide frequency band using a mixed finite element-plane wave method," Journal of Acoustic Society of America, Vol. 78(5), Nov., pp1499-1507.
- (8) ATILA Finite element analysis for piezoelectric and magnetostrictive structures Version 5.2.2 User's Manual, 2003, Institut Supérieur d'Electronique du Nord Acoustics Laboratory.