

어군탐지기용 저주파 · 고출력 음향 변환기의 설계*

이대재 · 신현옥 · 신형호*
부경대학교 · *여수대학교
(2000년 1월 31일 접수)

Design of a low frequency, high power acoustic transducer to use in the echo sounder*

Dae-Jae LEE, Hyeon-Ok SHIN and Hyong-Ho SHIN*

Pukyong National University

*Yeosu National University

(Received January 31, 2000)

Abstract

A low frequency, high power hydroacoustic transducer with 7 tonpizl piston elements assembled in a circular array suitable for marine applications, such as the transmission of underwater information and the developement of new fisheries resources in the deep sea zone was designed.

A modified Mason's model was applied to monitor and to simulate the transducer behavior at each step during the fabrication. The in air, and in water constructed tonpizl transducer was tested experimentally and numerically by changing the size and the type of the material for head, tail and acoustic window. Also, the developed transducer was excited by pulse signals and the received waveform was analyzed.

The resonance peaks in the transmitting voltage response(TVR) of a single tonpizl element without housing were observed at 11.33 kHz in air and 10.93 kHz in water, respectively, with the overall electrical-acoustic efficiency of 43.7%. The value of TVR of single tonpizl element with aluminum housing in water was 129.87 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{V}$ at 12.25 kHz with the frequency bandwith of 2.15 kHz and the half beam angle of 30.2° at -3 dB.

The resonance peaks in the transmitting voltage response of the 7 element circular transducer were observed at 11.50 kHz in air and 11.45 kHz in water, respectively. The value of TVR in water 144.84 dB re 1 $\mu\text{Pa}/\text{V}$ at 11.5 kHz with the frequency bandwith of 4.25 kHz and the half beam angle of 22.3° at -3 dB.

Reasonable agreement between the experimental measurements and the theoretical predictions for the directivity patterns, TVRs and the impedance characteristics of the designed transducer was achieved.

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(981-0614-075-2) 지원으로 수행되었음.

서 론

지금까지 어군의 탐지나 어구의 동태 파악, 또한 어군의 식별 등과 같은 연구나 조사 활동을 행하는데 있어서는 38~200 kHz의 주파수 범위에 대한 각종의 어군탐지 시스템이 주로 사용되어 왔다.

그러나, 음향을 이용하여 어업생물의 자원조사를 행하는 경우, 가능한 한 다수의 주파수를 동시에 사용하고, 이들 각각의 주파수에 대한 어군의 군집밀도, 어체의 반사강도 분포, 반사기록의 형태, 어군의 체적산란강도 등을 분석, 고찰하면 어종의 식별에 필요한 다양한 정보를 수집하는 것이 가능하다. 이 때문에 종래에 관습적으로 사용해 오던 어군탐지기 및 소너(sonar) 시스템의 사용 주파수를 보다 낮추어 현재의 주파수 이용범위를 대폭적으로 확대시켜 보다 다양한 어업정보를 수집하려는 노력이 활발하게 진행되고 있다.

이 때문에 현재 세계 여러나라에서는 각종 어업용 수중음향장비의 사용주파수 범위를 저주파 영역에까지 확대시키기 위해 각종 기법을 도입한 저주파, 고출력용 수중음향진동자의 설계에 대한 이론적 및 실험적 연구가 활발히 행해지고 있다^{1)~6)}.

특히, Zakharia, Magand, Hetroit 및 Diner (1995)와 Simmonds, Armstrong 및 Copland (1995), 또한 Dziedzic, Chorier, Dubois 및 Vray(1995) 등은 거의 같은 시기에 어종의 식별 정보를 추출하기 위한 목적으로서 20~140 kHz의 범위에서 사용이 가능한 서로 다른 수중음향 변환기를 각자 설계, 개발하였는데, 이들 연구의 공통적인 특징은 음향 변환기의 사용 주파수를 저주파 영역인 20 kHz까지 확대시킨 점이다. 또한, 최근에 들어서는 노르웨이 Simrad사에 의해 18 kHz의 가청주파수에서 동작하는 split beam echo sounder가 개발되어 이에 의한 심해저 미개척 어업자원의 음향학적 조사가 실시되고 있다. 따라서, 향후에는 심해저 어업자원의 개발과 그 유효이용에 대한 관심이 고조됨에 따라 어군탐지 시스템의 사용 주파수가 20 kHz 이하의 가청주파수 영역으로 대폭적인 하향 이동이 예견되기 때문에 우리나라에서도 이에 대한 연구가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 이와 같은 문제에 주목하여 저주

파용 어군탐지 시스템의 송·수파기로서 사용하기 위한 저주파·고출력용 수중음향변환기를 설계, 개발하고, 이들 진동자의 음향진동특성 등에 대하여 분석, 고찰하였다.

재료 및 방법

1. 음향 변환기의 설계이론^{7)~10)}

Fig. 1과 같이 압전세라믹 stack의 전면에 두께가 t_1+t_2 인 cone형(하부직경 D_1 , 상부직경 D_2)의 알루미늄 블록, 후면에 직경 D_T , 길이 L_T 의 황동블록을 각각 붙이고, 이들을 강력볼트에 의해 체결한 후, 전면의 진동블록(head block)의 방사면에 고무 window를 흡착시켜 제작한 tonpiltz형 음향 변환기의 전기입력단자에 전기신호를 인가하면, 이들 구성요소는 서로 일체가 되어 진동한다. 이때, 음향 변환기에 대한 전기-기계-음향학적 등가 회로는 Fig.2와 같고, 압전 세라믹의 전기 입력 단자에서부터 음향 출력 단자까지의 4 단자 회로망에 대한 F 행렬의 4 단자 정수를 각각 A_t, B_t, C_t, D_t 라 할 때, 음향 변환기의 수중에 대한 입력 admittance Y_{in} 는

$$Y_{in} = \frac{C_t Z_L + D_t}{A_t Z_L + B_t} \quad (1)$$

이다. 이 식에서 공기중에 대한 입력 admittance Y_a 는 $Y_a = D_t / B_t$ 이고, 음향 변환기의 자유전기 임피던스는 $Z_{in} = 1/Y_{in}$ 에 의해 구할 수 있다.

한편, 매질(물)에 대한 음향방사임피던스 Z_L 은

$$Z_L = R_L + jX_L \\ = \frac{\rho C}{S} \left[\left(1 - \frac{2J_1(x)}{x} + \frac{2S_1(x)}{x} \right) \right] \quad (2)$$

이고, 여기서, R_L, X_L 은 음향방사 resistance 및 reactance이다. ρ, C 는 물의 밀도 및 수중음속, $x = ka$ (k : 파수, a : 음향 변환기의 유효방사면 반경), $J_1(x)$ 는 제 1종 1차 Bessel 함수, $S_1(x)$ 는 Struve 함수이다.

음향 변환기에서 송파되는 음향방사출력 P_a 는 음향방사면의 체적속도를 U_a 라 할 때,

$$P_a = R_L |U_a|^2 \quad (3)$$

이다. 여기서, 변환기에 인가한 입력전압 V 와 체적 속도 사이에는

$$V = (A_t Z_L + B_t) U_a \quad (4)$$

이 성립하기 때문에 음향방사출력 P_a 는

$$P_a = \frac{R_L V^2}{|A_t Z_L + B_t|^2} \quad (5)$$

이고, 변환기에서 거리 d 만큼 떨어진 지점에서의 송파음압레벨 SL_d (sound pressure level, dB re $1 \mu Pa$)는 송파지향성이득을 DI_T 라 할 때,

$$SL_d = 10 \log_{10} \left(\frac{R_L}{|A_t Z_L + B_t|^2} \right) + 20 \log_{10}(V) + DI_T + 170.6 - 20 \log_{10}(d) \quad (6)$$

이 된다.

따라서, 음향 변환기에 1 volt 의 전압을 인가했을 때, 변환기의 방사면에서 1 m 떨어진 지점에서의 송파음압레벨, 즉 송파전압감도 TVR (transmitting voltage response, dB re $1 \mu Pa/V$ at 1 m)은

$$TVR = 10 \log_{10} \left(\frac{R_L}{|A_t Z_L + B_t|^2} \right) + DI_T + 170.6 \quad (7)$$

에 의해 구할 수 있다.

한편, 본 연구의 수치 모델링에서는 insulator에 대한 영향은 고려하였으나, 볼트(prestress bolt), 전극(silver electrode), 접착층(bonding layer)에 대한 영향은 무시하였다.

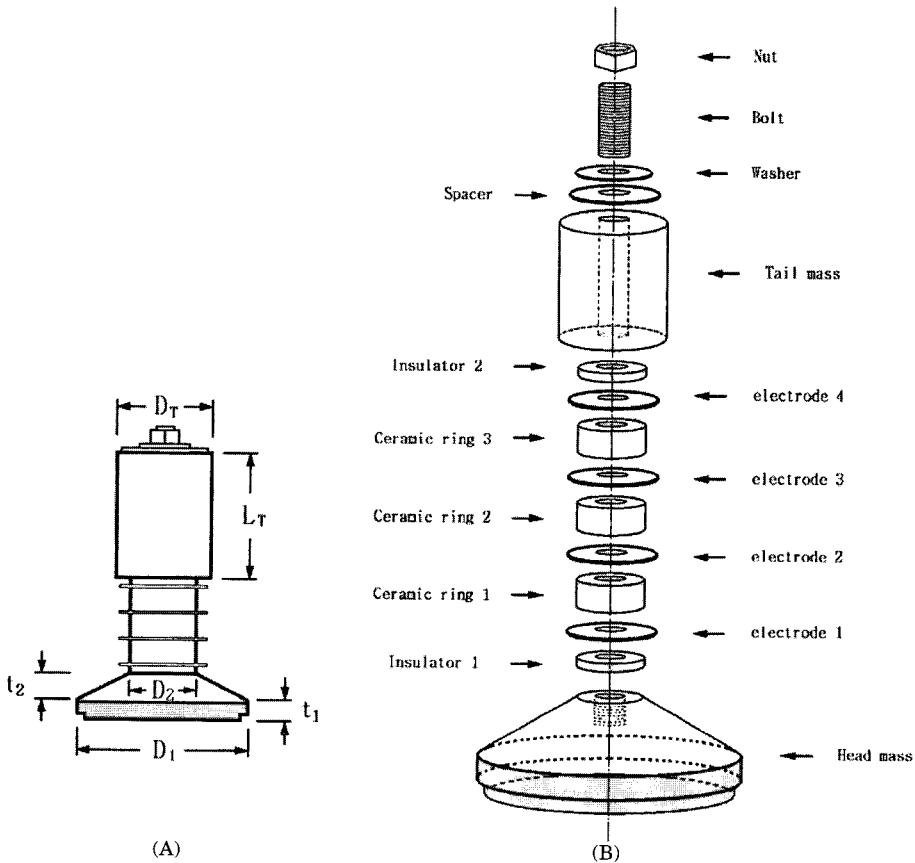


Fig. 1. (A) Schematic diagram of a tonpilz trans-ducer designed in this study.
(B) Exploded view of a tonpilz transducer.

2. 음향 변환기의 설계 제작

본 연구에서는 12 kHz 부근의 가청주파수에서 동작하는 저주파, 고출력의 음향 변환기를 설계하기 위해 우선 전송선 이론에 대한 등가회로 모델을 정립하고, 수치 시뮬레이션을 통해 추출한 각종 파라미터를 토대로 변환기를 설계, 제작하였다.

Fig. 1의 tonpiliz형 음향 변환기의 제작에 사용한 압전 세라믹은 덴마크 Ferroperm사의 Pz26(내경 12.8 mm, 외경 22.2 mm, 두께 10.3 mm)의 링(ring)형 압전소자(PZT4)이다. 본 연구에서 목적하는 음향출력의 기대치를 고려하여 압전소자는 3 배를 사용하였고, 전극판은 두께가 0.015 mm인 銅網絲板을 내경 8 mm, 외경 29.7 mm가 되도록 정밀 가공한 후, 그 외측에 銅版(내경 22.5 mm, 외경 29.7 mm)을 부착하여 신호선을 결선하였다. 음향 에너지를 방사하는 진동블록(head mass)은 알루미늄을 가공하여 사용하였는데, 그 형태는 물과의 접촉면을 증대시키기 위해 taper형으로 하였다. 또한, 후면블록(tail mass)은 음향 임피던스가 매우 큰 황동(brass)을 원통형으로 가공하여 사용하였다. 최종적으로는 이들 구성요소를 도전성 접착제로서 접착함과 동시에 강력 볼트로서 체결하여 저주파 음향 변환기를 제작하였다. 특히, 본 연구에서는 진동블록의 부식과 고전압이 복합 진동자에 인가되는 경우에 대한 안전을 고려하여 압전 세라믹스와 전면 및 후면블록을 완전히 절연시키기 위한 insulator를 세라믹 블록(ceramic stack)의 전·후면에 삽입하였다.

본 연구에서 사용한 insulator는 알루미늄(Al_2O_3) 소결체로서 제작한 것인데, 그 치수는 내

경 12.8 mm, 외경 22.2 mm, 두께 3.0 mm이었고, head mass의 전면에는 고무재의 음향 window를 접착, 성형하였다.

최종적으로는 이들 tonpiliz형 음향 변환기 7 개를 Fig. 3에서와 같이 알루미늄 원판에 배열 수납한 후 고무재의 상부 케이스를 장착 및 수밀 처리하여 저주파용 음향 변환기를 완성하였다.

3. 음향 진동 특성의 측정

본 연구에서 시험 제작한 각종의 음향 변환기에 대해서는 공기중 및 수중에 있어서의 전기적인 임피던스를 정밀 LCR meter(QuadTech 7600)를 이용하여 측정하고, 그 결과를 프룰터(DXY-1300, Roland)를 통해 출력하였다.

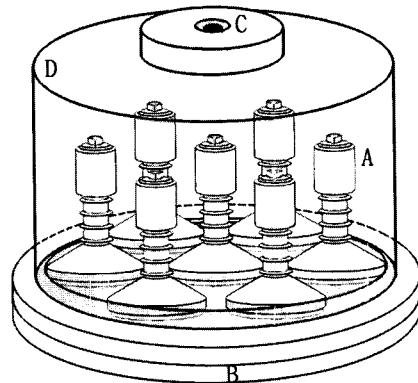


Fig. 3. Schematic diagram of the transducer with seven tonpiliz piston elements assembled in a circular array.

- (A) Tonpiliz piston element
- (B) Aluminum casing
- (C) Cable hole
- (D) Water tight cover

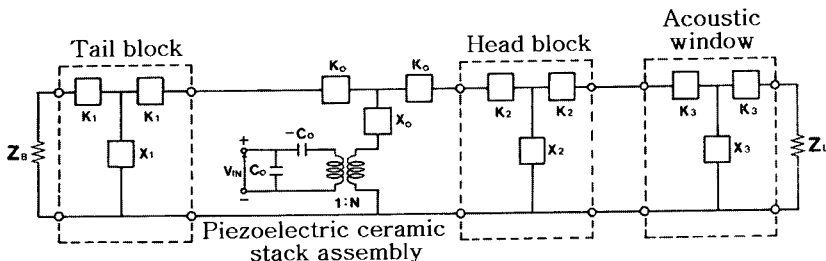


Fig. 2. A modified Mason's model for the seven element transducer array designed in this study. The left hand end, in contact with air is short circuited and the other extremity is loaded by the radiation impedance of the water.

음향 변환기의 송파전압감도 및 지향특성은 실험수조($L \times B \times D$, $5 \times 6 \times 5$ m)에서 측정하였는데, 이를 위해 먼저 임의파형발생기(HP33120A)에서 측정주파수에 대한 정현파 신호를 발생시키고, 이 신호를 gating system (B&K 4440)에 입력하였다. 여기서, 일정한 펄스 폭과 펄스 반복주기를 갖는 송신펄스신호를 발생시켜 전력 증폭기(B&K 2713)를 통해 증폭시켜 음향 방사면이 수조의 저면을 향해 설치된 초음파 진동자에 인가하였다. 초음파 진동자에서 발사된 송신 펄스 신호는 hydrophone (B&K 8105)을 통해 수신하였으며, 이 신호를 charge amplifier (B&K 2635) 및 measuring amplifier (B&K 2610)를 통해 digital storage oscilloscope(Gould 475) 및 FFT 분석기(AD3525, A&D)에 입력시키고, 수신신호의 전압을 측정하여 송파전압감도 및 주파수 특성을 분석하였다.

한편, 음향 변환기의 설계 파라미터를 추출하는데 있어서는 head mass, tail mass, bolt 및 nut 등의 형상, 재질 등을 매우 다양하게 변화시키면서 연구를 행하였으나, 현재 시중에서 시판되는 각종 재료의 음향학적 상수가 불확실하여 음속은 5 MHz의 초음파 탐상기(USD15, KrautKramer Branson)를 이용하여 직접 실측한 자료를 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 단일 음향 변환기의 음향진동 특성

본 연구에서 설계, 제작한 단일 tonpiliz형 저주파 음향 변환기의 공기중에 대한 전기적인 임피던스를 측정한 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 (A)는 임피던스의 진폭특성이고, (B)는 임피던스의 위상특성이며, 그림에서 ○은 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치이다. Fig. 4에서 단일 음향 변환기에 대한 공기중에 있어서의 공진특성을 살펴보면, 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 11.33 kHz, 13.01 kHz이었고, 임피던스의 위상각은 공진과 반공진 사이의 12.35 kHz 주파수에서 최대의 위상각 53.2°를 나타내었다. 또한, 이들 임피던스의 진폭과 위상의 측정치

는 계산치와 거의 일치하는 경향을 나타내었고, 공진과 반공진 사이의 측정주파수의 차는 1.38 kHz이었다.

한편, 단일 tonpiliz형 저주파 음향 변환기의 수중에 대한 전기적인 임피던스를 측정한 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 (A)는 임피던스의 진폭특성이고, (B)는 임피던스의 위상특성이며, 그림에서 ○은 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치이다.

Fig. 5에서 단일 음향 변환기에 대한 수중에 있어서의 공진특성을 볼 때, 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 10.93 kHz, 12.67 kHz이었고, 임피던스의 위상각은 공진과 반공진 사이의 11.79 kHz 주파수에서 최대의 위상각 26.52°를 나타내었다. 또한, 이들 임피던스의 진폭과 위상의 측정치는 계산치와 거의 일치하는 경향을 나타내었고, 공진과 반공진 사이의 측정주파수의 차는 1.74 kHz이었다.

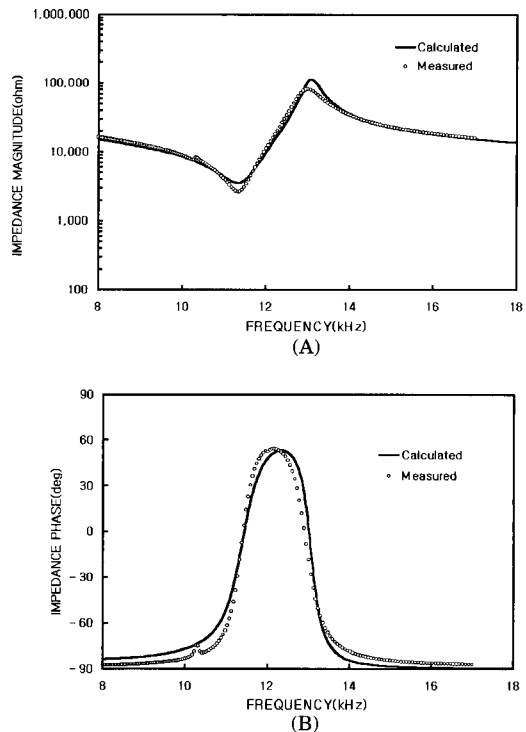


Fig. 4. Measured and calculated impedance of a single tonpiliz transducer in air without housing. (A) Magnitude (B) Phase

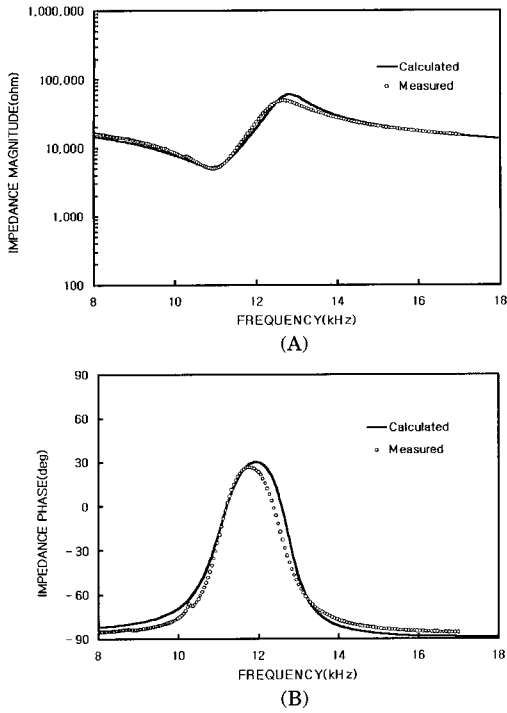


Fig. 5. Measured and calculated impedance of a single tonpiliz transducer in water without housing. (A) Magnitude (B) Phase

공기중 및 수중에 있어서의 단일 음향 변환기의 전기 단자에서 측정된 공진주파수 부근에 대한 자유전기임피던스의 resistance 성분과 reactance 성분의 주파수 궤적을 상호 중첩시켜 나타낸 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 종축은 reactance 성분(Ω)이고, 횡축은 resistance 성분(Ω)이다. 그림에서 큰 원은 무부하시, 즉, 공기중에 대한 자유 임피던스의 vector diagram이고, 작은 원은 부하시, 즉, 수중에 대한 자유 임피던스의 vector diagram이다. Fig. 6의 임피던스 circle에서 공기중에 대한 직렬공진주파수(f_s)는 $f_s=13.01\text{ kHz}$ 이었고, 象限周波數 f_1 과 f_2 는 각각 $f_1=12.72\text{ kHz}$, $f_2=13.30\text{ kHz}$ 로서 공기중에 대한 기계적인 품질계수 Q 는 $Q=f_s/(f_2-f_1)\approx 22.4$ 이었다. 또한, Fig. 6에서 수중에 대한 직렬공진주파수(f_s)는 $f_s=12.55\text{ kHz}$ 이었고, 象限周波數 f_1 과 f_2 는 각각 $f_1=12.06\text{ kHz}$, $f_2=13.07\text{ kHz}$ 로서 수중에 대한 기계적인 품질계수 Q 는 $Q=f_s/(f_2-f_1)\approx 12.4$ 이었다. 또한, 이들 임피던스의 주파수 궤적을 이용하여 단일 tonpiliz형 음향

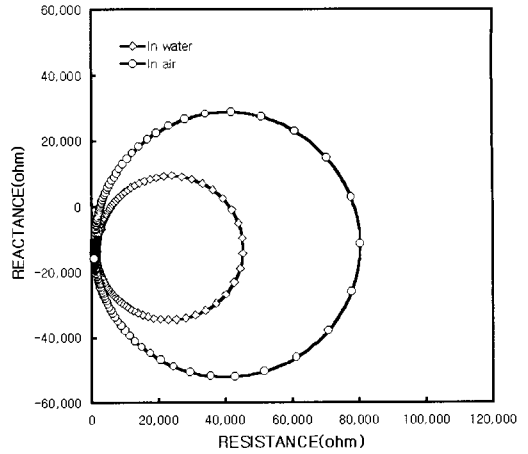


Fig. 6. Comparison of impedance circles for a single tonpiliz transducer in air (large circle) and in water (small circle).

변환기의 전기음향변환효율 η 를

$$\eta = \frac{D_w}{R_m} \left(1 - \frac{D_w}{D_a} \right) \quad (8)$$

에 의해 구하였는데, 여기서, R_m 은 수중의 자유 임피던스 loop에 대한 resistance의 최대치, D_w 는 수중에 대한 동임피던스(motional impedance) circle의 직경, D_a 는 공기중에 대한 동임피던스 circle의 직경이다. (8)식에 의해 구한 단일 tonpiliz형 음향 변환기의 전기음향변환효율은 43.7%이었다.

한편, Fig. 7은 Fig. 3의 7개로 구성된 음향 변환기를 완전 수밀상태로 몰딩을 한 후에 중심에 배열한 단일 음향 변환기를 대상으로 공기중에 대한 전기임피던스를 측정된 결과이다. Fig. 7에서 (A)는 임피던스의 진폭특성이고, (B)는 임피던스의 위상특성이며, 그림에서 \circ 는 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치이다.

Fig. 7에서 몰딩 상태에 있는 단일 음향 변환기의 공기중에 대한 공진특성을 살펴보면, 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 11.93 kHz, 13.59 kHz이었고, 임피던스의 위상각은 공진과 반공진 사이의 12.83 kHz 주파수에서 최대의 위상각 1.28°을 나타내었다. 또한, 이들 임피던스의 진폭과 위상의 측정치는 계산치와 약간의 차이를 나타내었고, 공진과 반공진 사이의 측정주파수의 차는

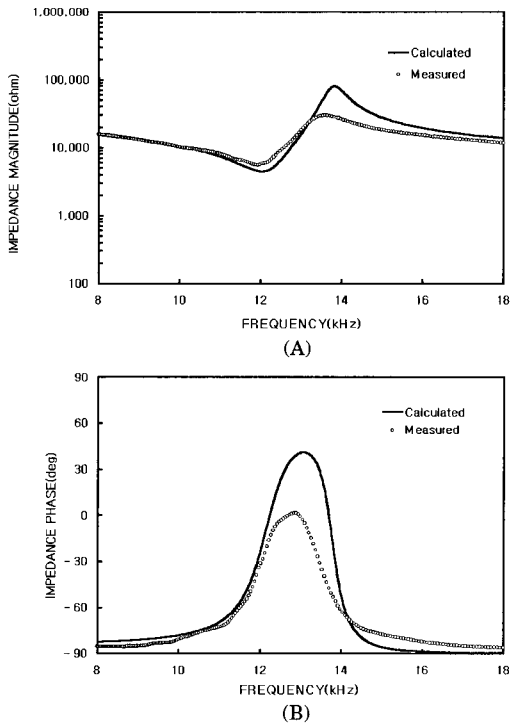


Fig. 7. Measured and calculated impedance of a single tonpilz transducer in air with housing. (A) Magnitude (B) Phase

1.66 kHz이었다.

한편, Fig. 8은 물딩 상태에 있는 단일 음향 변환기의 수중에 대한 전기임피던스를 측정된 결과이다. Fig. 8에서 (A)는 임피던스의 진폭특성이고, (B)는 임피던스의 위상특성이며, 그림에서 ○은 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치이다. 물딩 상태에 있는 단일 음향 변환기의 수중에 대한 공진특성을 살펴보면, 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 11.69 kHz, 13.64 kHz이었고, 임피던스의 위상각은 공진과 반공진 사이의 12.78 kHz 주파수에서 최대의 위상각 14.71°을 나타내었다. 또한, 이들 임피던스의 진폭과 위상의 측정치는 계산치와 약간의 차이를 나타내었고, 공진과 반공진 사이의 측정주파수의 차는 1.95 kHz이었다.

또한, 물딩 상태에 있는 단일 음향 변환기의 수중에 대한 음향방사특성을 조사하기 위해 송파전압감도를 측정하였는데, 그 결과는 Fig. 9와 같다.

Fig. 9에서 종축은 송파전압감도(TVR, dB re 1

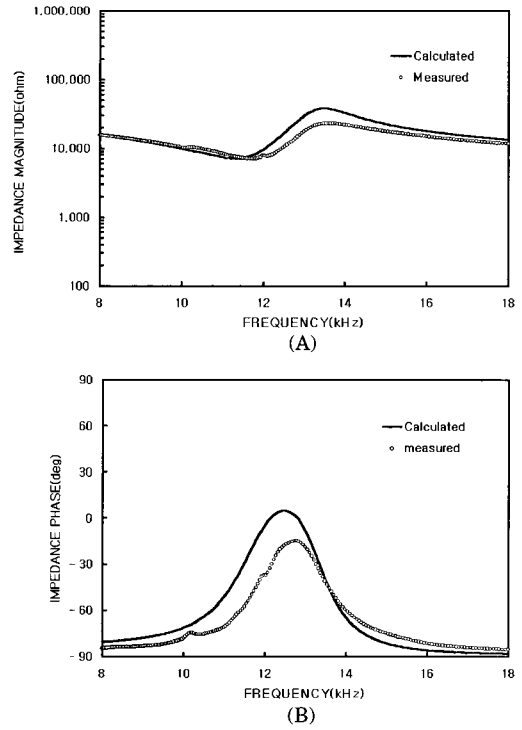


Fig. 8. Measured and calculated impedance of a single tonpilz transducer in water with housing. (A) Magnitude (B) Phase

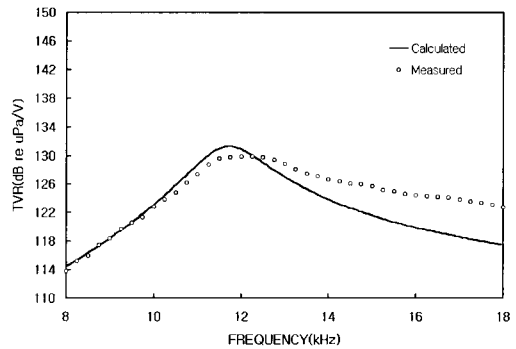


Fig. 9. Measured and calculated transmitting voltage responses for a single tonpilz transducer with housing.

μPa/V at 1 m) 이고, 횡축은 주파수이며, 그림에서 ○은 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 단일 음향 변환기의 송파전압감도의 측정치는 공진주파수 부근인 12.25 kHz에서 129.87 dB이었고, 계산치는

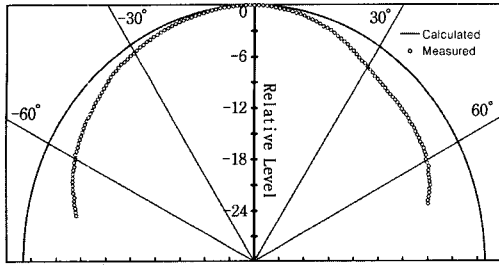


Fig. 10. Measured and calculated beam patterns for a single tonpilz transducer at 12.0 kHz.

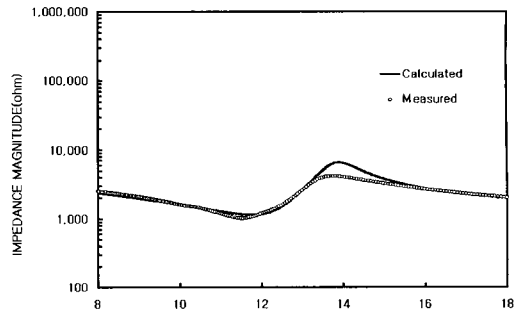
10.95 kHz에서 128.52 dB이었는데, -3 dB점에 대한 측정 및 이론적인 주파수 대역폭은 각각 2.15 kHz, 1.75 kHz로서, 측정치가 이론치보다 0.5 kHz 더 높았다.

Fig. 10은 물딩 상태에 있는 단일 음향 변환기의 수중에 대한 송신지향특성을 나타낸 것이다. 그림에서 종축과 횡축은 상대음압레벨(dB)이고, 방사선상의 실선은 지향각이며, 그림에서 ○은 측정치이고, 실선은 계산치를 나타낸 것이다. Fig. 10에서 본 연구에서 제작한 단일 음향 변환기의 -3 dB 점에 대한 반감각은 30.2° 이었고, 지향각이 증가함에 따라 실제 측정된 지향성 패턴은 이론적인 지향성 패턴과 큰 차이를 나타내었다.

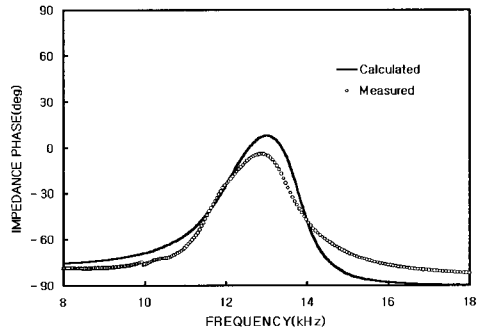
2. 평면배열 음향 변환기의 음향진동 특성

본 연구에서 설계, 제작한 단일 tonpilz형 음향 변환기 7 개를 Fig. 3과 같이 알루미늄의 원판에 평면배열하고, 완전 수밀상태로 물딩을 한 후, 공기중에 대한 전기적인 임피던스를 측정 한 결과는 Fig. 11과 같다. Fig. 11에서 (A)는 임피던스의 진폭특성이고, (B)는 임피던스의 위상특성이며, 그림에서 ○은 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치이다.

Fig. 11에서 평면배열 음향 변환기에 대한 공기중에 있어서의 공진특성을 살펴보면, 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 11.50 kHz, 13.81 kHz 이었고, 임피던스의 위상각은 공진과 반공진 사이의 12.89 kHz 주파수에서 최대의 위상각 -4.21° 을 나타내었다. 또한, 이들 임피던스의 진폭과 위상의 측정치는 계산치와 약간의 차이를 나타내었고, 공진과 반공진 사이의 측정주파수의 차는 2.31



(A)



(B)

Fig. 11. Measured and calculated impedance of the seven element transducer array in air. (A) Magnitude (B) Phase

kHz이었다.

한편, 평면배열 음향 변환기의 수중에 대한 전기적인 임피던스를 측정 한 결과는 Fig. 12와 같다. Fig. 12에서 (A)는 임피던스의 진폭특성이고, (B)는 임피던스의 위상특성이며, 그림에서 ○은 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치이다.

Fig. 12에서 평면배열 음향 변환기에 대한 수중에 대한 공진특성을 살펴볼 때, 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 11.45 kHz, 13.70 kHz이었고, 임피던스의 위상각은 공진과 반공진 사이의 12.47 kHz 주파수에서 최대의 위상각 -17.45° 을 나타내었다. 또한, 이들 임피던스의 진폭과 위상의 측정치는 계산치와 거의 일치하는 경향을 나타내었고, 공진과 반공진 사이의 측정주파수의 차는 2.25 kHz이었다.

또한, 평면배열 음향 변환기의 수중에 대한 음향방사특성을 조사하기 위해 송파전압감도를 측정하였는데, 그 결과는 Fig. 13과 같다.

Fig. 13에서 종축은 송파전압감도(TVR, dB re $1 \mu Pa/V$ at $1 m$) 이고, 횡축은 주파수이며, 그림에서 \circ 은 측정치이고, 실선은 수치모델에 의한 계산치를 나타낸 것이다. Fig. 12에서 평면배열 음향

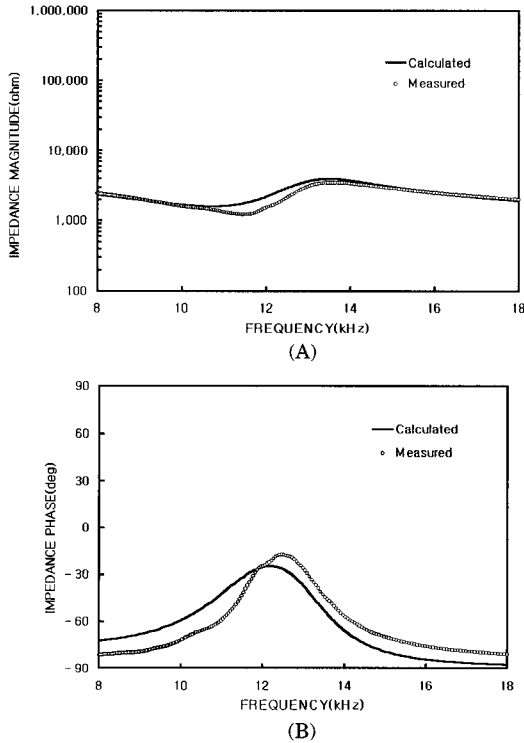


Fig. 12. Measured and calculated impedance of the seven element transducer array in water. (A) Magnitude (B) Phase

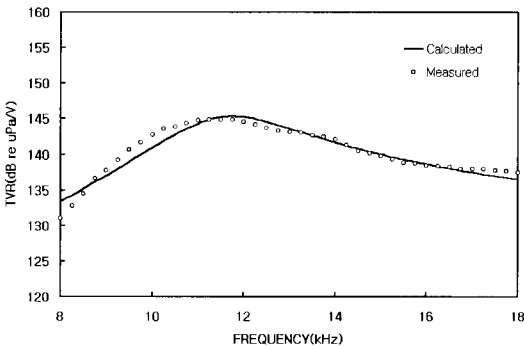


Fig. 13. Measured and calculated transmitting voltage responses for the seven element transducer array.

변환기의 송파전압감도의 측정치는 공진주파수 부근인 $11.5 kHz$ 에서 $144.84 dB$ 이었고, 계산치는 $11.75 kHz$ 에서 $145.28 dB$ 이었는데, $-3 dB$ 점에 대한 측정 및 이론적인 주파수 대역폭은 각각 $4.25 kHz$, $3.25 kHz$ 로서 측정치가 이론치보다 $1.0 kHz$ 더 높았다. Fig. 14는 평면배열 음향 변환기의 수중에 대한 송신지향특성을 나타낸 결과이다. 그림에서 종축과 횡축은 상대음압레벨(dB)이고, 방사선상의 실선은 지향각이며, 그림에서 \circ 은 측정치이고, 실선은 계산치를 나타낸 것이다.

Fig. 14에서 본 연구에서 제작한 평면배열 음향 변환기의 $-3 dB$ 점에 대한 반감각은 22.3° 이었고, 측정된 지향성 패턴은 이론적인 지향성 패턴과 유사한 경향을 나타내었다.

한편, 본 연구에서 설계, 개발한 어군탐지기용 저주파, 고출력 음향 변환기에 Fig. 15의 구형 펄스 신호를 인가하였을 때, 음향 변환기의 시간응

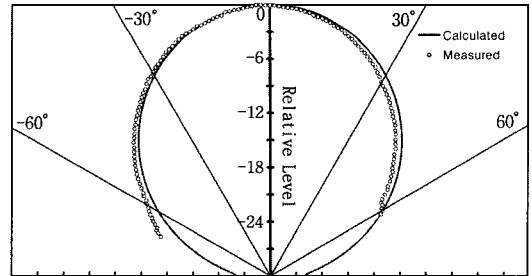


Fig. 14. Measured and calculated beam patterns for the seven element transducer array at $11.5 kHz$.

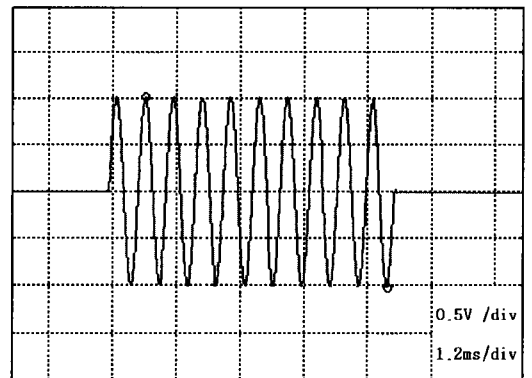


Fig. 15. The electrical pulse signal applied to the transducer.

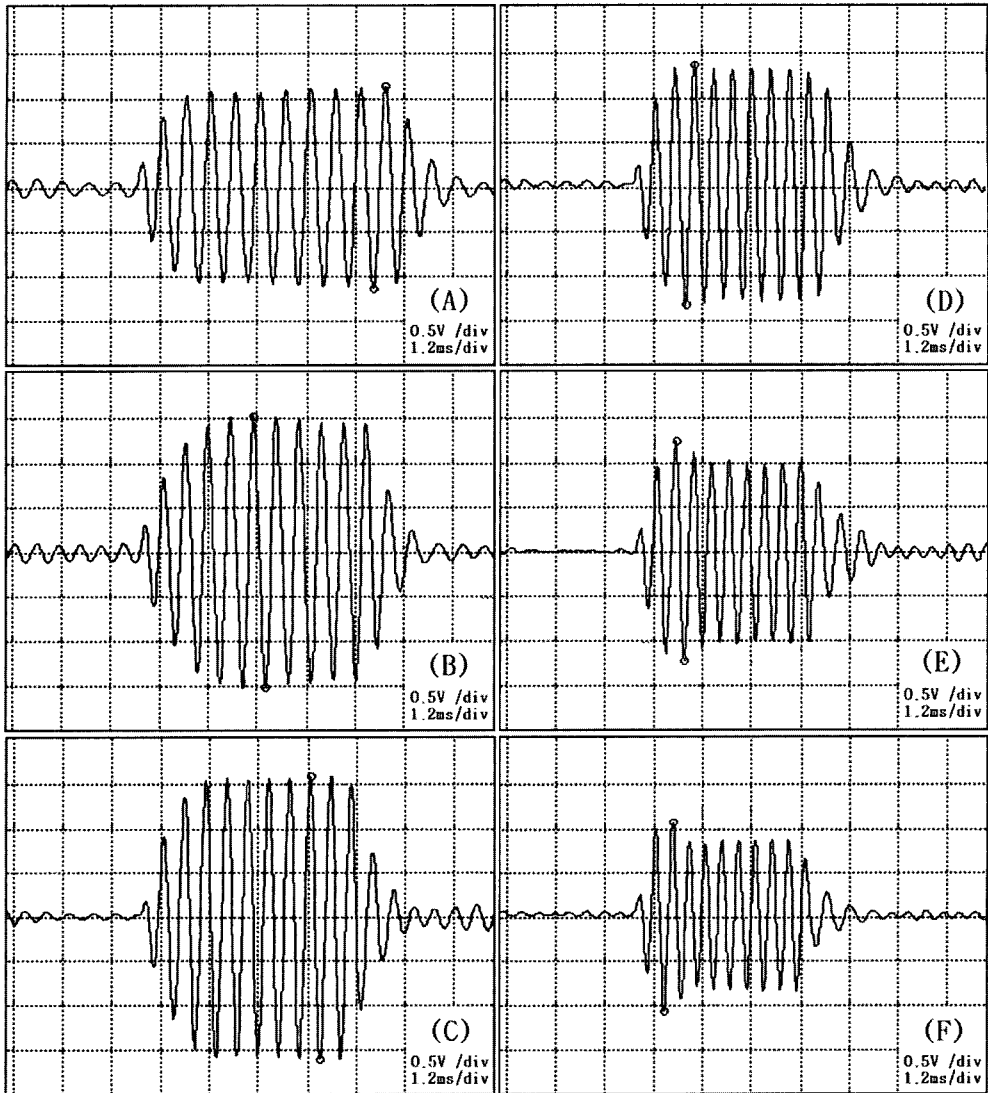


Fig. 16. The acoustic pulse signals received by a hydrophone for six frequencies.

(A) 9.75 kHz (B) 10.75 kHz (C) 11.75 kHz (D) 12.75 kHz (E) 13.75 kHz (F) 14.75 kHz

답특성을 분석, 고찰하였다. 실험은 공진점 부근의 9.75~14.75 kHz 범위의 주파수에 대하여 10 cycle의 펄스신호를 임의파형발생기를 통해 발생시켜 이 신호를 변환기에 인가하고, 변환기에서 방사되는 음향신호파형을 수중청음기를 이용하여 수신한 시간응답파형은 Fig. 16과 같다. Fig. 16에서 (A)~(F)는 각각 9.75 kHz, 10.75 kHz, 11.75 kHz, 12.75 kHz, 13.75 kHz, 14.75 kHz에 대한 수신신호파형인데, 그림에서 공진점 부근인

11.75 kHz의 주파수에 있어서는 출력파형이 음향 변환기에 인가한 전기신호파형과 매우 일치하는 시간응답특성을 나타내고 있지만, 그 주파수가 공진점에서 점차 벗어남에 따라 응답신호파형에 큰 波形歪(distortion)가 발생하였다.

이와 같은 출력신호파형에 일그러짐이 발생하는 현상은 음향 변환기의 송신주파수특성에 기인하고 있는 문제이기 때문에 전기적인 입력신호파형을 그대로 음향신호파형으로 변환시켜 수중에

방사하기 위해서는 무엇보다도 음향 변환기의 주파수 대역폭을 확장시킬 필요가 있다고 판단된다.

요 약

음향을 이용하여 어업생물의 생물학적 정보를 보다 정량적으로 수집, 분석하기 위한 연구의 일환으로 저주파용 어군탐지 시스템의 송·수파기로서 사용하기 위한 저주파·고출력용 수중 음향 변환기를 설계, 개발하고, 그 진동자의 음향진동 특성에 대하여 분석, 고찰한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 단일 tonpiliz형 음향 변환기의 수중에 대한 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 10.93 kHz, 12.67 kHz이었고, 수중에 대한 기계적인 품질계수는 12.4이었으며, 또한, 단일 tonpiliz형 음향 변환기의 전기음향변환효율은 43.7%이었다.

2. 물딩 상태에 있는 단일 음향 변환기의 수중에 대한 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 11.69 kHz, 13.64 kHz이었고, 송과전압감도의 측정치는 공진주파수 부근인 12.25 kHz에서 129.87 dB, 계산치는 10.95 kHz에서 128.52 dB이었으며, 이 단일 음향 변환기의 -3 dB 점에 대한 반감각은 30.2°이었다.

3. 평면배열 음향변환기의 수중에 대한 공진 및 반공진 주파수의 측정치는 각각 11.45 kHz, 13.70 kHz이었고, 임피던스의 진폭과 위상의 측정치는 계산치와 거의 일치하는 경향을 나타내었다. 또한, 평면배열 음향 변환기의 송과전압감도의 측정치는 공진주파수 부근인 11.5 kHz에서 144.84 dB, 계산치는 11.75 kHz에서 145.28 dB이었고, -3 dB점에 대한 측정 및 이론적인 주파수 대역폭은 각각 4.25 kHz, 3.25 kHz로서 측정치가 이론치보다 1.0 kHz 더 높았다.

4. 평면배열 음향 변환기의 수중에 있어서의 -3dB 점에 대한 반감각은 22.3°이었고, 측정된 지향성 패턴은 이론적인 지향성 패턴과 유사한 경향을 나타내었다.

5. 음향 변환기에 펄스신호를 인가하고, 그 시간 응답특성을 고찰한 결과, 공진점 부근인 11.75 kHz에 대한 출력파형은 전기입력신호의 파형과

거의 일치하는 응답특성을 나타내었고, 공진 주파수를 벗어남에 따라 응답신호파형에는 큰 波形歪가 발생하였다.

참고문헌

1. MacLennan, D.N. and Simmonds, E.J.(1992) : Fisheries Acoustics, Chapman & Hall, London, 13~20.
2. Zakharia, M.E., Magand, F., Hetroit, F. and Diner, N.(1995) : Wide band sounder for fish species identification at sea. ICES Int. Symp. on Fish. and Plank. Acoustics, Aberdeen, Scotland, 1~9.
3. Simmonds, E.J., Armstrong, F. and Copland, P.J.(1995) : Species identification using wide-band backscatter with neural network and discriminant analysis, ICES Int. Symp. on Fish. and Plank. Acoustics, Aberdeen, Scotland, 1~14.
4. Dziedzic, A., Chorier, C., Dubois, J.P. and Vray, D. (1995) : Broadband target strength functions of 3 species freshwater free-swimming fish, ICES Int. Symp. on Fish. & Plank. Acoustics, Aberdeen, Scotland, 1~9.
5. Person, R.(1990) : Transducer needs for oceanography, in Power Transducers for Sonics and Ultrasonics, edited by Harmonic B.F., O.B. Wilson and J.N. Decarpigny, Spring-Verlag, Gremany, 14~21.
6. Gallego-juarez, J.A.(1990) : Transducers needs for macrosonics, in Power Transducers for Sonics and Ultrasonics, edited by Harmonic B.F., O.B. Wilson and J.N. Decarpigny, Spring-Verlag, Gremany, 35~47.
7. Mason, W.P.(1948) : Electromechanical Transducers and Wave Filters, D.Van Nostrand, New York, 225~238.
8. Rosenbaum, J.F.(1988) : Bulk Acoustic Wave, -Theory and Device-, Artech House, Boston, 371~410.
9. Wilson, O.B.(1991) : Introduction to Theory and Design of Sonar Transducers, Peninsula Publishing, California, 11~108.
10. Stansfield, D.(1991) : Underwater Electroacoustic Transducers, Bath Univ. Press, Claverton Down, 196~266.