

이중 공진을 고려한 소나 트랜스듀서의 전기적 등가회로 모델링 및 임피던스 변동에 따른 효과 분석

목형수¹, 최재혁[†], 한수희², 박상준³, 김성주³, 허준기³

Analysis of the Effects According to Changes in Impedance and Electrical Equivalent Circuit Modeling of a SONAR Transducer Considering Dual Resonance

Hyung-Soo Mok¹, Jae-Hyuk Choi[†], Soo-Hee Han², Sang-Zoon Park³,
Sung-Joo Kim³, and Jun-Ki Heo³

Abstract

The present study proposes a method for modeling a SONAR transducer with dual resonance. The Butterworth van-Dyke (BVD) model, a conventional SONAR transducer modeling method, can model only one resonance point. Hence, to address its disadvantage and to model the dual resonance, a dual resonance BVD model consisting of two serial BVD models is proposed. The two BVD models are connected in a series, and each simulate resonance at low frequency and high frequency, which allows the modeling of two resonance points. Eight elements compose the equivalent circuit by connecting the BVD models in a series, which is twice as great as that of the existing BVD model. The element value of the dual resonance BVD model is extracted by using the particle swarm optimization method. Analysis was also performed to identify the effects of changes in the value of elements that compose the equivalent circuit on the impedance characteristics of the equivalent circuit through simulation in which element values varied.

Key words: Dual resonance, BVD model, SONAR, Transducer

1. 서 론

소나(SONAR, sound navigation and ranging)시스템의 음향 송수신 계통은 크게 송신 빔포머(beam former)와 수신 빔포머로 구성되어지는 송수신 장치, 송수신 장치에서 만들어진 전기적 신호를 전력증폭기를 통해 증폭하여 음향신호로의 변환 및 표적에서 반향 되어 돌아오는 신호를 다시 전기적 신호로 변환하는 음향전환장치, 수신된 신호로부터 표적정보의 추출 및 탐지여부를

판단하여 표적정보를 처리하는 신호처리 및 탐지기로 구성된다.

소나 시스템용 구동시스템의 설계는 시스템의 사양과 전원 측 및 부하의 요구조건이 고려되어 설계되어야 하며 소나 트랜스듀서(transducer)를 구동하기 위해서는 특정 주파수의 전력증폭기가 필수적이고 이것은 시스템의 성능을 결정하는 중요한 역할을 한다.

일반적인 소나 트랜스듀서의 구성은 길이 방향으로 분극 된 압전세라믹(piezo ceramic)을 중앙에 적층하고, 금속재질의 전면추(head mass) 및 후면추(tail mass)를 장력볼트(tension bolt)로 결합한 형태로 구성되며 전면추와 방사 매질인 물(water) 사이에 음향 윈도우가 부착된다. 일반적인 소나 트랜스듀서는 그림 1과 같다.

고출력 능동 소나용 수중 음향 압전 트랜스듀서는 세라믹(ceramic)으로 적층한 진동체로 구성되기 때문에 저항성분과 리액턴스성분으로 나타낼 수 있는 매우 큰 복소 임피던스를 갖는다.

Paper number: TKPE-2015-20-2-6

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: riml86@konkuk.ac.kr, Dept. of Electrical Eng., Konkuk University

Tel: +82-2-444-4701 Fax: +82-2-447-9186

¹ Dept. of Electrical Eng., Konkuk University

² Dept. of Creative IT Eng., Pohang University of Science & Technology

³ Maritime R&D Lab, LIG Nex1

Manuscript received Dec. 12, 2014; accepted Feb. 23, 2015

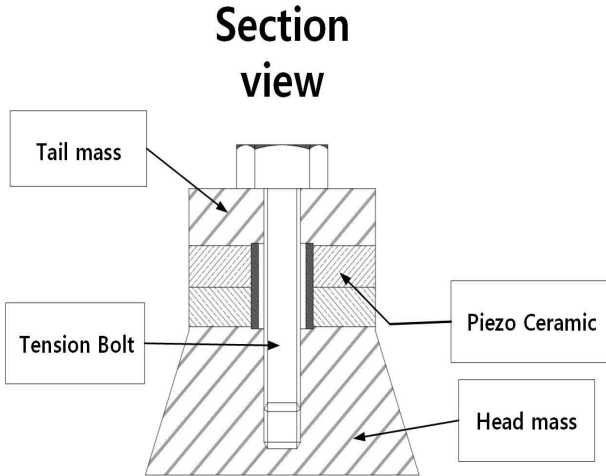


Fig. 1. Piezoelectric transducer.

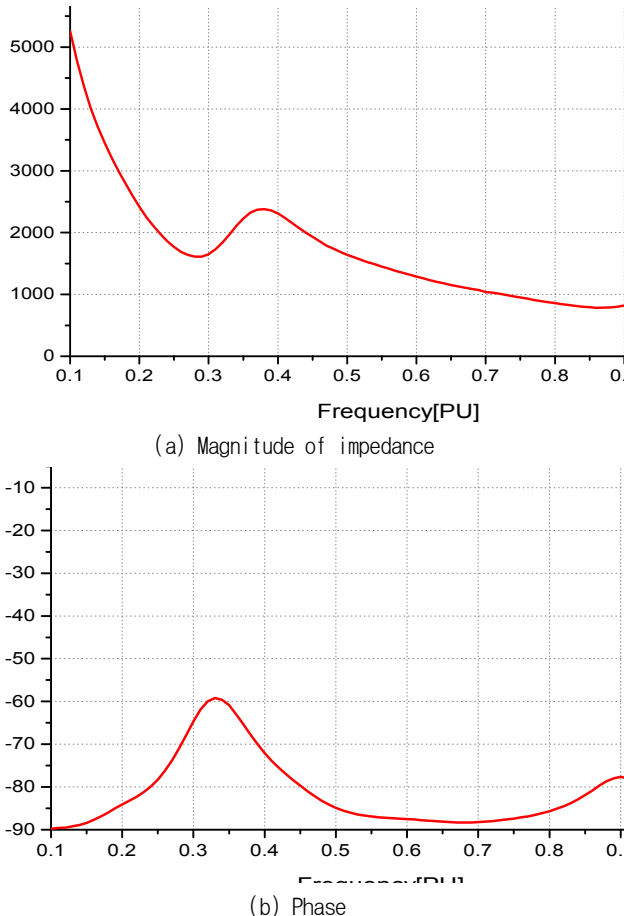


Fig. 2. The impedance characteristic of wideband sensor.

그림 2에서 본 연구의 대상인 광대역 센서(wideband sensor)의 임피던스 크기와 위상의 측정값을 그래프로 표현하였으며 그래프 상의 가로축이 주파수를 나타내는 축으로 주파수에 따라 가변되는 광대역 센서의 임피던스 및 위상정보를 표시한다. 본 논문에서 제시하는 모델링 기법의 주요 주제인 이중 공진을 갖는 전형적인 형

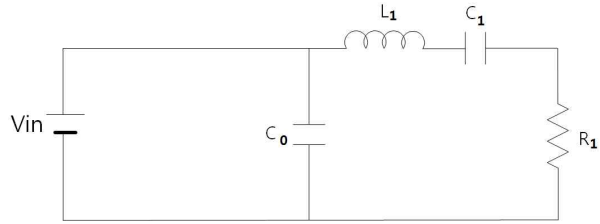


Fig. 3. BVD model.

태의 소나 트랜스듀서의 임피던스 특성을 보이며 그림 2-(b)와 같이 약 0.33[PU]에서 첫 번째 공진이 발생하고 이후 약 0.9[PU]에서 두 번째 공진이 발생한다. 이때 임피던스 특성은 그림 2-(a)와 같이 첫 번째 공진에서 약 $2[k\Omega]$, 두 번째 공진에서 약 $0.8[k\Omega]$ 으로 나타난다.

2. 소나 트랜스듀서의 전기적 등가회로 모델링

매우 큰 복소 임피던스를 갖는 트랜스듀서의 저항에서 소비하는 유효전력(음압의 형태로 송신된) 뿐만 아니라 무효전력 성분도 전원공급기에서 공급해야하기 때문에 전원공급기의 전력용량이 필요 이상 커야 하는 문제점이 존재하게 된다. 따라서 고효율, 고품질로 구동하기 위해서는 임피던스의 정합이 필요하며 시스템 사양에 적합한 성능을 갖는 정합회로의 효과적인 설계 및 파라미터 변동과 같은 특성 해석을 위해서는 인덕터, 커패시터, 저항 등으로 나타낼 수 있는 전기적 등가회로 모델을 필요로 한다. 전기적 등가회로는 압전 상수 및 재질의 물성치 정보를 바탕으로 한 mason 모델, redwood 및 KLM 모델이 있으나 정합회로나 필터회로의 설계에 활용하는데 부정확한 물성치로 인한 오차가 발생할 수 있어 정합회로 및 필터회로 설계에 활용하는데 한계를 갖고 있기 때문에 일반적으로 단일모드 공진점만 존재하는 경우 butterworth van-dyke(BVD) 모델^[1]을 사용하여 모델링한다.

2.1 한 개의 공진점을 갖는 소나 트랜스듀서의 모델링

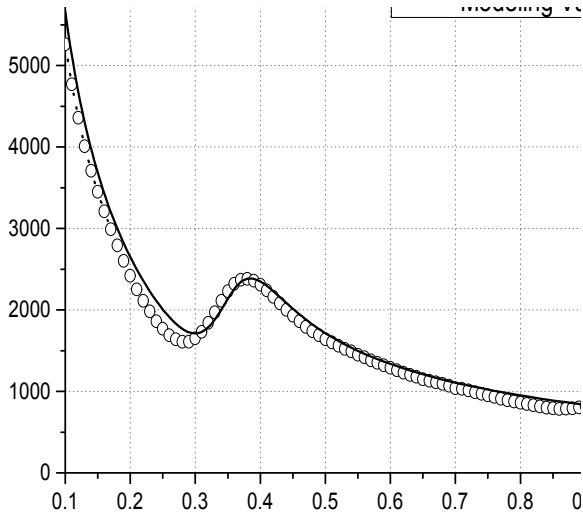
그림 3은 단일 공진점을 갖는 등가 BVD 모델이다. 단일 공진점을 갖는 BVD 모델에서는 총 4개의 파라미터(C_0 , C_1 , L_1 , R_1)를 실험에서 얻어진 임피던스 값을 사용하여 구한다. 그림 3의 등가회로로부터 임피던스의 역수인 어드미턴스 $Y_e(j\omega)$ 를 구하면^{[3][4]} 식 (1)과 같다.

$$Y_e(j\omega) = Y_1(j\omega) + \frac{1}{Z_2(j\omega)} \quad (1)$$

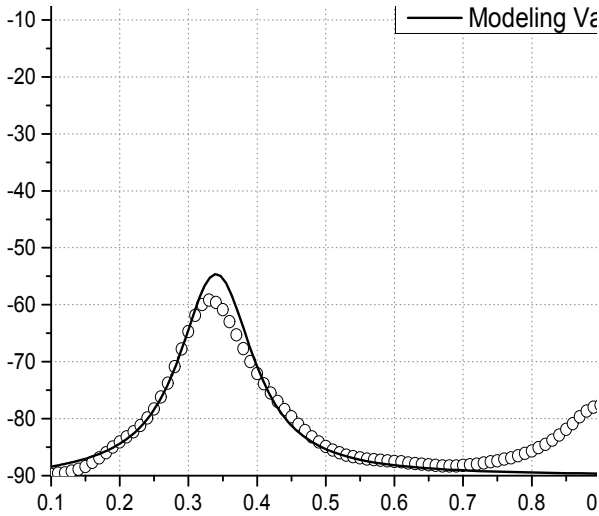
이때 저항, 커패시턴스, 인덕턴스는 수치 해석적 오차를 최소화하기 위해 각각 10^3 , 10^{-9} , 10^{-3} 만큼 스케일

TABLE I
PARAMETERS OF BVD MODEL

	Optimal Value	Standard Value
R_1	3.229 [$k\Omega$]	3.3 [$k\Omega$]
L_1	300.45 [mH]	300 [mH]
C_1	5.855 [nF]	5.6 [nF]
C_0	23.556 [pF]	22 [pF]



(a) Magnitude of impedance



(b) Phase

Fig. 4. The impedance characteristic of single resonance BVD model.

링하여 사용하며 $Y_1(j\omega) = j\omega C_0$ 이고,

$$Z_2(j\omega) = \frac{1}{j\omega C_1} + j\omega L_1 + R_1 \text{ 이다.}$$

$$\min |Y_r(j\omega) - Y_e(j\omega)| \quad (2)$$

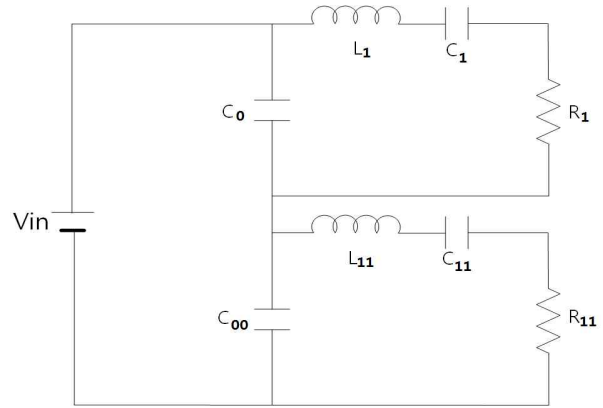


Fig. 5. Dual resonance BVD model.

실험을 통하여 얻어진 어드미턴스 값 $Y_r(j\omega)$ 을 식 (2)와 같이 비선형 최적화를 고려하여, 즉 실험치 어드미턴스 값 $Y_r(j\omega)$ 에 가장 근사화 된 4가지 파라미터 (C_0, C_1, L_1, R_1) 값을 도출^{[1][5][6][7]}한다. 비선형 최적화는 초기 값에 따라 최적화 성능이 크게 변화하기 때문에 무작위의 초기 값을 선정하여 반복 연산을 수행한다. 최적의 파라미터를 추출하고 최적 값과 가장 유사한 실제적으로 구현 가능한 표준적인 파라미터 값을 선정하면 표 1과 같다. 표 1의 값을 사용하여 구현한 단일 공진 BVD 모델의 임피던스 특성은 그림 4와 같으며 실선이 모델링을 통하여 추출한 파라미터 값을 사용하였을 경우의 임피던스 크기 및 위상을 나타내며 점선이 실제 실험을 통하여 얻어진 임피던스 크기 및 위상정보이다. 실제 실험치와 비교하여 모델링 된 임피던스의 크기 및 위상은 저주파대역에서 오차범위 내로 근사화되는 것이 확인되는 반면 고주파 대역에서 실제 실험치 상에 존재하는 두 번째 공진의 근사화가 되지 않음을 확인할 수 있다.

3. 제안하는 이중 공진 BVD 모델

일반적으로 음향 압전 트랜스듀서는 1개 이상의 공진점을 보유하며 인접된 다른 공진모드와의 간섭이 없는 단일모드 공진점만 존재하는 경우는 BVD 모델을 주로 사용하지만 사용 주파수 영역에서 서로 인접된 2개의 공진점을 갖는 경우에는 BVD 모델을 사용하여 파라미터 추출 시 오차가 발생하는 주파수 영역이 존재한다. 이 모델을 바탕으로 정합회로 및 전원장치 설계에 활용하면 역시 오차가 발생하기 때문에 2개의 공진점을 모두 모사할 수 있는 전기적 등가회로가 요구된다.

3.1 두 개의 공진점을 갖는 소나 트랜스듀서의 모델링

본 논문에서 제안하는 두 개의 공진점을 갖는 BVD 모델(Dual Resonance BVD Model)은 일반적인 한 개의 공진점을 가지는 BVD 모델 두 개를 직렬로 접속한 형

TABLE II
PARAMETERS OF DUAL RESONANCE BVD
MODEL

	Optimal value	Standard value
R_1	3.229 [$k\Omega$]	3.3 [$k\Omega$]
L_1	300.45 [mH]	300 [mH]
C_1	5.855 [nF]	5.6 [nF]
C_0	23.556 [pF]	22 [pF]
R_{11}	12.5 [Ω]	12 [Ω]
L_{11}	0.833 [mH]	0.8 [mH]
C_{11}	612.07 [nF]	680 [nF]
C_{00}	423.59 [pF]	390 [pF]

테이며 그림 5와 같다. 그림 5에서 윗부분 회로의 어드미턴스를 $Y_{e1}(j\omega)$, 아랫부분의 어드미턴스를 $Y_{e2}(j\omega)$, 실험으로 얻어진 어드미턴스를 $Y_r(j\omega)$ 으로 표현하고 최적화 문제를 고려하면 식 (3)과 같다.

$$\min \left| \frac{Y_{e1}(j\omega)Y_{e2}(j\omega)}{Y_{e1}(j\omega)+Y_{e2}(j\omega)} - Y_r(j\omega) \right| \quad (3)$$

단일 공진점을 갖는 BVD 모델과 비교하여 두 배의 파라미터 개수를 보유함으로써 단일 공진 BVD 모델 대비 실험치와 보다 근사한 결과 도출이 가능하다. 위의 제시된 방법을 공진점에 따라 세분화하여 적용한 다음의 방법을 사용하면 두 번의 최적화 과정을 거쳐 파라미터 도출을 실시하며 보다 효율적으로 결과 도출이 가능하다.

$$\min \alpha(j\omega) |Y_r(j\omega) - Y_{e1}(j\omega)| \quad (4)$$

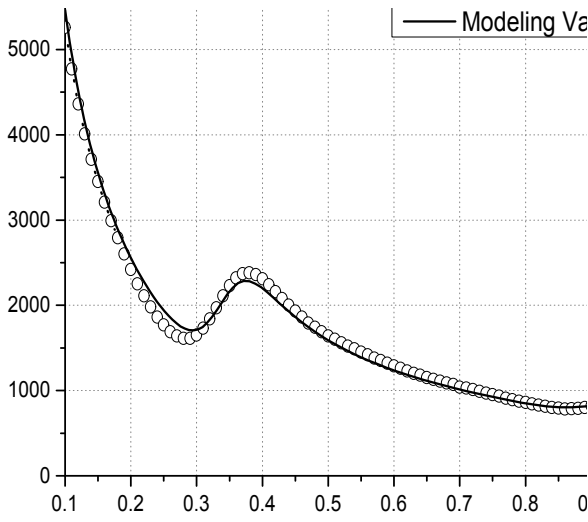
식 (4)에서 $Y_r(j\omega)$ 는 실험으로부터 얻어진 어드미턴스이고 $Y_{e1}(j\omega)$ 는 제안된 이중 공진 BVD 모델의 윗부분 회로의 어드미턴스이며 $\alpha(j\omega)$ 는 주파수에 대한 가중치로써 보다 정확한 근사화가 요구되는 주파수 영역에 가중치를 설정함으로써 설정한 주파수 영역을 중점적으로 근사화된다. 이때 발생하는 오차 $E(j\omega) = Y_r(j\omega) - Y_{e1}(j\omega)$ 는 식 (5)와 같은 가격함수를 사용하여 다시 한 번 최적화를 수행한다.

$$\min \alpha(\omega) |E(j\omega) - Y_{e2}(j\omega)| \quad (5)$$

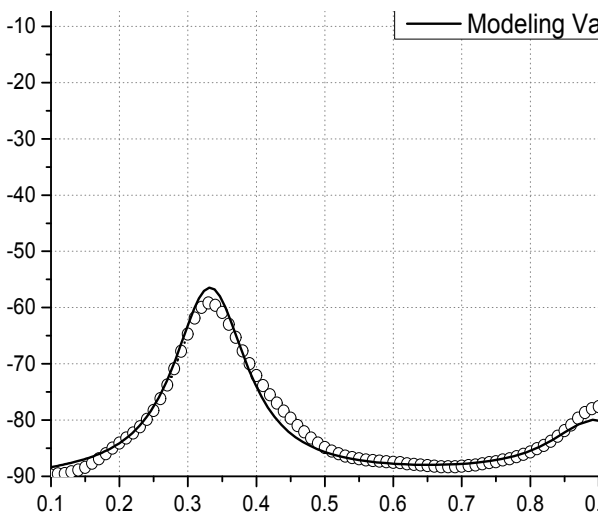
식 (5)에서 $Y_{e2}(j\omega)$ 는 제안된 이중 공진 BVD 모델의 아랫부분 회로의 어드미턴스이다. 위 방법으로 윗부분과 아랫부분 회로에 대한 파라미터를 모두 추출하면 표 2와 같다. 그림 6는 제안된 방법을 사용하여 구성한 회로의 임피던스 특성으로 기존 BVD 모델에서 구현 불가능했던 두 개의 공진점을 오차범위 내로 근사화 됨이 확인된다. 그림 7은 최적화된 값과 가장 근사한 표준값을 사용할 경우의 임피던스 특성을 나타내며 이 경우 또한 임피던스 특성이 오차범위 내로 근사화 됨이 확인된다.

4. 제안된 이중 공진 BVD 모델의 파라미터 값 변동 시 TVR의 변화 분석

제안된 두 개의 공진점을 갖는 BVD 모델의 전기적 모델링 방법을 통하여 추출된 8가지 파라미터가 각각 크게 가변되었을 경우에 TVR의 변화를 모의 실험하였다. 여기서 TVR은 소나 트랜스듀서에 $1[V_{rms}]$ 의 입력



(a) Magnitude of impedance



(b) Phase

Fig. 6. The impedance characteristic of dual resonance BVD model with optimal value.

TABLE III
RANGE OF PARAMETER VARIATION

	Standard value	Min(-40%)	Max(+40%)
R_1	3.3 [k Ω]	1.98 [k Ω]	4.62 [k Ω]
L_1	300 [mH]	180 [mH]	420 [mH]
C_1	5.6 [nF]	3.36 [nF]	7.84 [nF]
C_0	22 [pF]	13.2 [pF]	30.8 [pF]
R_{11}	12 [Ω]	7.2 [Ω]	16.8 [Ω]
L_{11}	0.8 [mH]	0.48 [mH]	1.12 [mH]
C_{11}	680 [nF]	408 [nF]	952 [nF]
C_{00}	390 [pF]	234 [pF]	546 [pF]

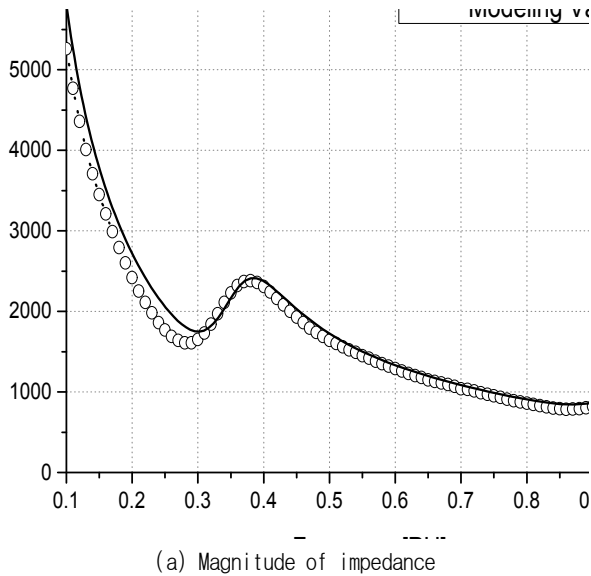


Fig. 7. The impedance characteristic of dual resonance BVD model with standard value.

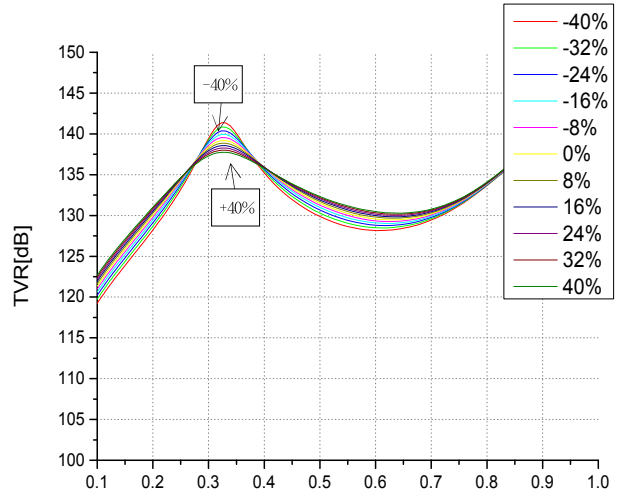


Fig. 8. TVR (R_1 Variable).

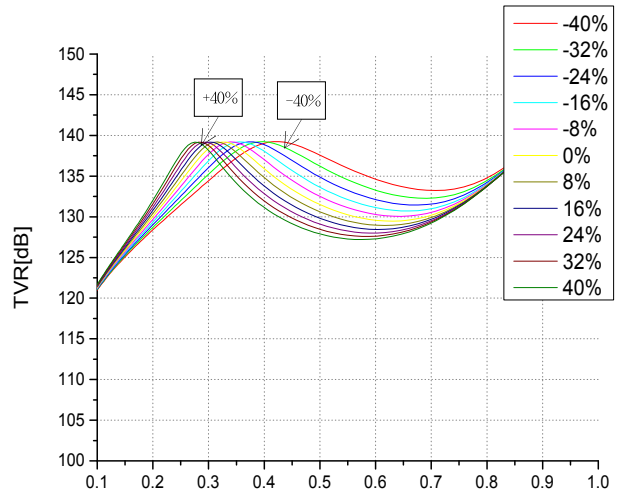


Fig. 9. TVR (L_1 Variable).

전압 인가 시에 전면추에서 전방으로 방사되는 음파를 방사된 소나 트랜스듀서로부터 0.9144[m](=1[yard]) 이격된 위치에서 측정된 음압의 세기로써 단위는 데시벨(decibel)을 사용한다. 따라서 TVR은 소나 트랜스듀서의 특성 및 성능을 표현하는 중요 지표 중 하나이며 임피던스의 변동으로 인한 TVR의 변화는 소나 트랜스듀서의 음향 발생 성능 및 탐지 성능에 직접적인 영향을 야기한다. TVR은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있으며 여기서 P_{tot} 는 소나 트랜스듀서에 인가된 총 유효전력이다.

$$TVR = 10\log(P_{tot}) + 171.5 \quad (6)$$

일반적인 소나 트랜스듀서는 전원 공급 장치에서 인가 가능한 범위 내의 주파수 전 범위의 사용이 제한된다. 이는 소나 트랜스듀서의 임피던스 특성이 인가되어지는 전압의 주파수에 따라 약 500[%] 이상으로 급변하기 때문이며 이로써 인가 가능한 전 범위의 주파수대역

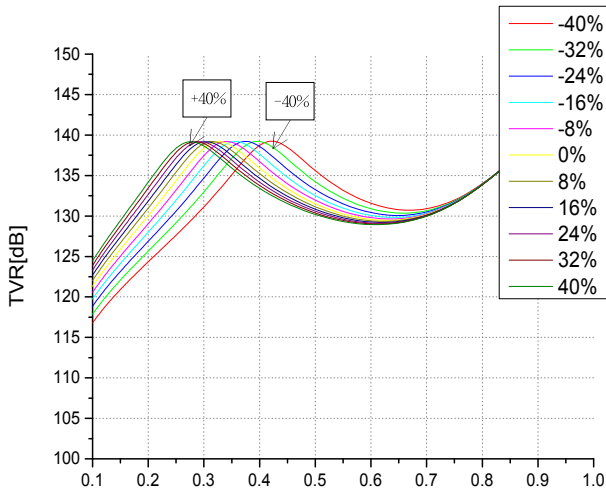


Fig. 10. TVR (C_1 Variable).

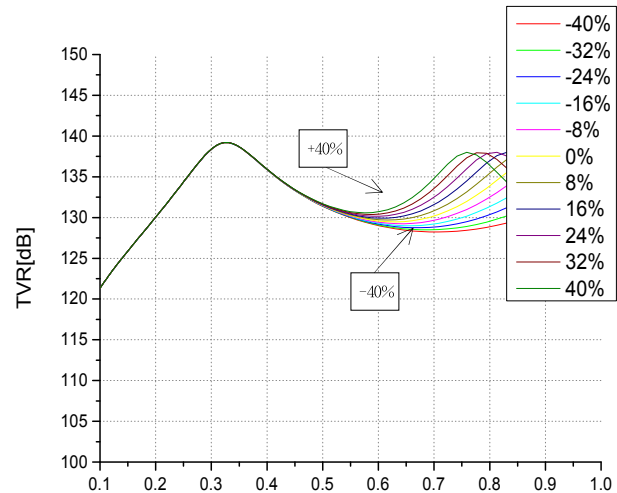


Fig. 13. TVR (L_{11} Variable).

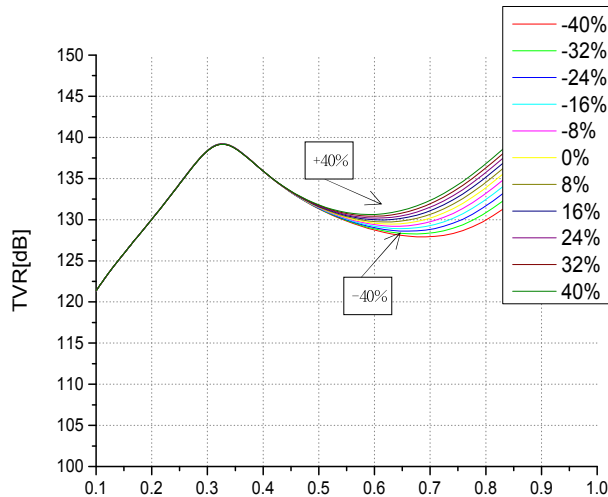


Fig. 11. TVR (C_0 Variable).

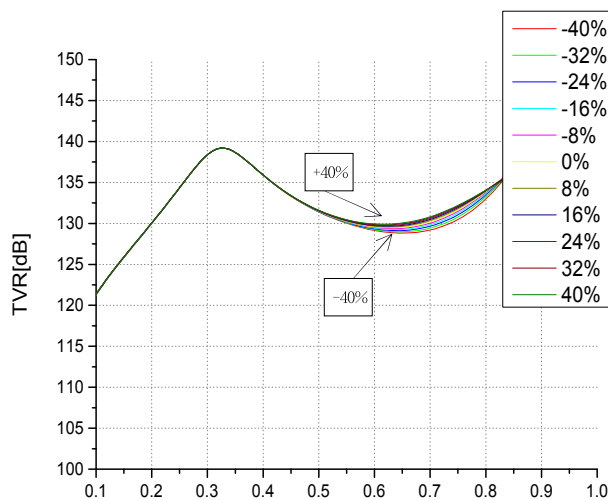


Fig. 12. TVR (R_{11} Variable).

을 사용할 경우 고전압 인가로 인한 소나 트랜스듀서의 물리적 파손 및 저전압 인가로 인하여 소나 트랜스듀서 로써의 기능을 수행하기 위한 최저 성능의 확보가 불가능하다. 이에 따라 중심이 되는 중점 주파수의 설정이 필요하며 본 논문에서는 연구 대상인 광대역 센서의 실 구동에 사용되는 주파수 대역인 0.25[PU]부터 0.3[PU]까지의 주파수 대역을 중점 주파수로 선정하여 중점 주파수 대역 내에서의 출력을 TVR 측면에서 분석하였으며 제안되어진 이중 공진 BVD모델의 구성 소자 값의 변동에 대한 영향을 분석하였다.

모의실험 조건은 그림 5에서의 8가지 파라미터를 각각 -40[%]에서 +40[%] 까지 11단계로 변화하는 상황을 모사하여 모의실험 하였으며 각각 파라미터 변동에 대한 최댓값(+40[%]) 및 최솟값(-40[%])은 표 3과 같다.

그림 8과 같이 R_1 의 가변은 최대 데시벨(decibel, dB)의 크기에 영향을 주며 중점 주파수인 0.25[PU]부터 0.3[PU] 범위 부근에서 최대 데시벨이 나타나는 주파수인 약 0.33[PU]에서 기준 값의 저항 값보다 -40[%]일 때 약 143[dB]로 최대치를, +40[%]일 때 약 135[dB]로 최소치를 보인다. 최대치 및 최소치의 차이는 약 8[dB]로 R_1 의 저항 값이 8[%] 증가하면 평균 0.727[dB]가 감소한다.

그림 9과 같이 L_1 의 가변은 최대 데시벨에 영향을 미치지 않으며 최대 데시벨이 나타나는 주파수가 이동하는 효과로 나타난다. 이 때 최대 데시벨은 중점 주파수인 0.25[PU]부터 0.3[PU] 범위 부근에서 약 139[dB]이며 기준 값의 인덕턴스 값에서 -40[%]일 때 약 0.27[PU]에서 데시벨 최대치를, +40[%]일 때 약 0.43[PU]에서 데시벨 최대치를 보인다. 최대치의 데시벨이 발생하는 최소 주파수와 최대 주파수의 차이는 약 0.16[PU]로 L_1 의 인덕턴스 값이 8[%] 증가하면 최대치의 데시벨이 발생하는 주파수가 평균 0.1454[PU] 감소한다.

TABLE IV
EFFECT OF 8% INCREASE OF PARAMETER
VALUE

	Max TVR [dB]	Max TVR Frequency [PU]
R_1	0.727 decrease	invariable
L_1	invariable	0.1454 decrease
C_1	invariable	0.1454 decrease
C_0	invariable	invariable
R_{11}	invariable	invariable
L_{11}	invariable	invariable
C_{11}	invariable	invariable
C_{00}	invariable	invariable

그림 10와 같이 C_1 의 가변은 최대 데시벨에 영향을 미치지 않으며 최대 데시벨 발생 주파수가 이동하는 효과로 나타난다. 이 때 최대 데시벨은 중점 주파수인 0.25[PU]부터 0.3[PU] 범위 부근에서 최대 데시벨은 약 139[dB]이며 기준 값의 커패시턴스 값에서 -40[%] 일 때 약 0.27[PU]에서 데시벨 최대치를, +40[%]일 때 약 0.43[PU]에서 데시벨 최대치를 보인다. 최대치의 데시벨이 발생하는 최소 주파수와 최대 주파수의 차이는 약 0.16[PU]로 C_1 의 인덕턴스 값이 8[%] 증가하면 최대치의 데시벨이 발생하는 주파수가 평균 0.1454[PU] 감소한다. 그림 11~15와 같이 $C_0, R_{11}, L_{11}, C_{11}$ 및 C_{00} 의 가변은 중점 주파수인 0.25[PU]에서 0.3[PU] 범위에서 TVR 파형에 영향을 미치지 않는다.

모의실험 결과 R_1, L_1 및 C_1 의 가변은 중점주파수 대역에서의 TVR 가변을 초래하며 소나 트랜스듀서에 인가 가능한 전압의 주파수에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 임피던스 가변에 따른 TVR의 변화를 고려하여 광대역 센서의 물리적 파손이 발생하지 않고 최저 성능을 확보하는 실제 사용 가능한 주파수 대역의 선정이 필요하다. 반면 $C_0, R_{11}, L_{11}, C_{11}$ 및 C_{00} 의 가변은 미사용 영역인 고주파 대역에서의 TVR 가변을 야기하며 중점 주파수 대역에서 TVR 파형에 영향을 미치지 않는다. 각각의 소자별 소자값이 8[%] 증가 시에 TVR 측면에서 발생하는 효과는 표 4와 같다.

5. 결 론

본 논문에서는 단일 공진점을 갖는 소나 트랜스듀서의 모델링에 일반적으로 사용하는 BVD 모델을 적용 시 구현이 불가능한 두 개의 공진점을 갖는 소나 트랜스듀서의 전기적 등가 모델링 방법을 제안한다. 제안되어진

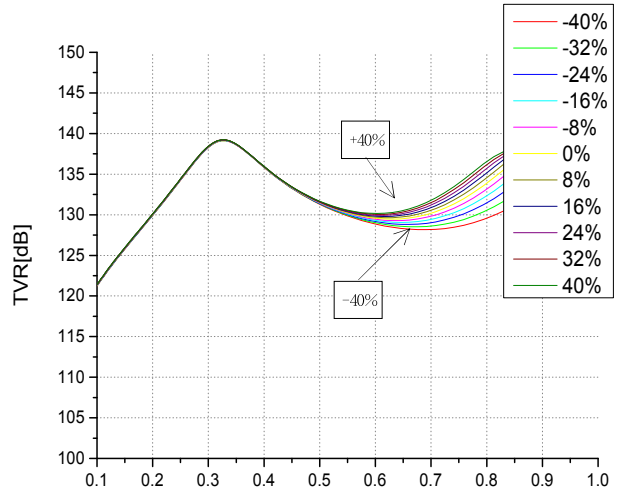


Fig. 14. TVR (C_{11} Variable).

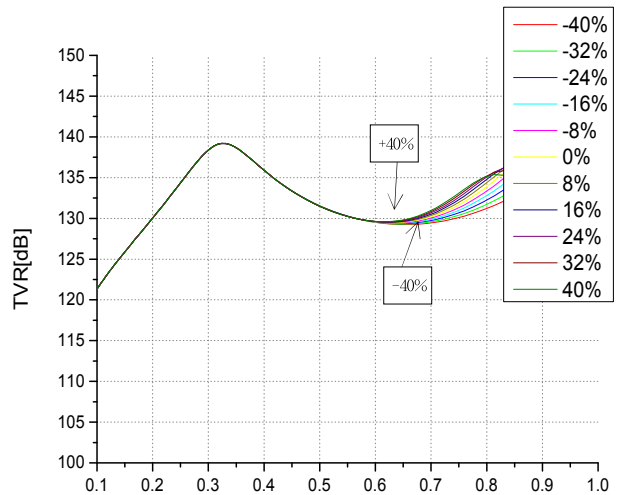


Fig. 15. TVR (C_{00} Variable).

이중 공진 BVD 모델링 기법을 활용하여 저주파 대역에서의 공진뿐만 아니라 고주파 대역에서의 공진 또한 고려된 등가회로 및 등가회로를 구성하는 각 소자에 대한 파라미터 값을 도출 하였고 제안된 방법을 통하여 압전 트랜스듀서의 전기적 등가 모델링을 실시하면 저주파 대역에서 발생하는 공진점 뿐만 아니라 고주파 대역에서 발생하는 공진점 또한 오차범위 내로 근사화 됨을 실험치의 임피던스 특성과 비교하여 검증하였다. 또한 각각의 모델링된 소자별 임피던스 특성이 -40[%]에서 +40[%]로 크게 변화하였을 경우 야기되는 효과를 TVR 측면에서 모의실험을 통해 분석하였다.

본 연구는 2014년도 LIG넥스원의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

References

[1] D. Church and D. Pincock, "Predicting the electrical equivalent of piezoceramic transducers for small acoustic transmitters," *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, Vol. SU-32, No. 1, pp. 61-64, 1985.

[2] J. M. Lee, B. H. Lee, and K. R. Beak, "Estimation of equivalent circuit parameters of underwater acoustic piezoelectric transducer for matching network design of sonar transmitter," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 12, No. 3, pp. 282-289, Jun. 2009.

[3] R. Coates and P. T. Magurie, "Multiple-mode acoustic transducer calculations," *IEEE Trans. Ultrason, Ferroelect., Freq. Contr.*, Vol. 36, No. 4, pp. 471-473, 1989.

[4] R. Ramesh and D. D. Ebenezer, "Equivalent circuit for broadband underwater transducers," *IEEE Trans. U.F.F.C.* Vol. 55, No. 9, pp. 2079-2083, 2008.

[5] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *IEEE International Conference on Neural Networks*, pp. 1942-1948, 1995.

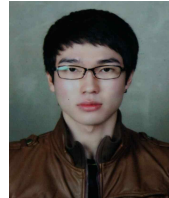
[6] S. Mostaghim and J. Teich, "Strategies for finding good local guides in multi-objective particle swarm optimization(MOSPSO)," *Proc. IEEE 2003 Swarm Intelligence Symp.*, pp. 26-33, 2003.

[7] A. S. Elwer and S. A. Wahsh "Improved performance of permanent magnet synchronous motor by using particle swarm optimization techniques," *Journal of Power Electronics*, Vol. 9, No. 2, pp. 207-214, 2009.



목형수(睦亨洙)

1963년 10월 31일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1993년~1997년 서울과학기술대 제어계측공학과 조교수. 1997년~현재 건국대 전기공학과 교수. 당 학회 재무이사.



최재혁(崔才赫)

1986년 6월 18일생. 2005년~2010년 삼성전자 LCD 사업부 근무. 2012년 학점은행제 전기공학전공 졸업. 2013년~현재 건국대 대학원 전기공학과 석사과정.



한수희(韓水熙)

1974년 8월 26일생. 1998년 서울대 전기공학부 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학박). 2003년~2007년 서울대 제어계측신기술연구소 연구원. 2008년 서울대 기계항공공학부 BK연구교수. 2009년~2014년 건국대 전기공학과 부교수. 2014년~현재 포스텍 창의IT융합공학과 부교수.



박상준(朴相俊)

1974년 12월 29일생. 2012년 건국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2014년 LIGnex1 maritime 연구소 선임연구원.



김성주(金性柱)

1982년 1월 8일생. 2008년 청주대 공과대학 전자공학과 졸업. 2007년~2010년 이화전기공업(주) 기술연구소 연구원. 2011년~2013년 건국대 공과대학 전기공학과 졸업(석사). 2013년~현재 LIG넥스원 Maritime 1연구센터 선임연구원.



허준기(許準起)

1983년 8월 15일생. 2008년 한국해양대 공대 전파,정보통신공학부 전자통신심화전공 졸업. 2008년~2013년 대양전기공업 기업연구소 해양시스템팀 선임연구원. 2013년~현재 LIG넥스원 Maritime 1연구센터 선임연구원.