

# 스피커 어레이를 이용한 빔형성 가중회로 구성실험에 관한 연구

최낙진, \*임준석, 김현석, 성광모  
서울대학교 전기컴퓨터공학부, \*세종대학교 전자공학과

## Research of weighting circuits for beamforming using speaker array

Nakjin Choi, \*Jun-Seok Lim, Hyun-Seok Kim, Koeng-Mo Sung

School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University  
\*Department of Electronics Engineering, Sejong University

nakjin@acoustics.snu.ac.kr, jslim96@chollian.net, imp216@acoustics.snu.ac.kr,  
kmsung@acoustics.snu.ac.kr

### 요약

수중 음향 탐지 시스템에서 빔 형성 기법은 오랫동안 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔다. 빔 형성 기법은 탐지성능에 직결되기 때문에 최적의 빔 설계는 중요한 문제가 된다. 그리고 최적의 빔 형성을 구현하기 위해서는 개별 센서에 대한 가중회로의 구성이 필수적이며, 가중회로를 구성하기 위해서는 개별 센서에 대한 등가회로 모델링과 정합회로 설계가 필수적이다. 이전의 연구에서는 센서 등가회로 모델링 Tool과 정합회로 디자인 Tool 각각의 구성과 사용방법에 대해서 소개하였다. 본 논문에서는 이 두 가지 Tool을 모두 이용하여 센서 등가회로 및 정합회로를 모델링하였고, 이를 바탕으로 실제 가중회로를 구현하였다. 실험을 위해 물-공기의 상사효과를 가장하였으며, 공기 중에서 스피커 어레이를 이용하여 빔 형성을 하였다. 또한, 이론치와 실험치를 비교하여 BeamCAD, 센서 등가회로 모델링 Tool 그리고 정합회로 디자인 Tool로 이루어진 소나 센서 디자인 Tool의 타당성을 검증하였다.

### 1. 서론

수중에서 정보를 주고받는 효율적인 수단으로 초음파를 이용한다. 이런 초음파 시스템에서 최대의 전기에너지

를 초음파 에너지로 변환하기 위해서는 정합회로의 최적 설계가 필수적이다. 또한 정합회로를 구성하기 위해서는 초음파 진동자를 전기 회로로 모델링하는 것이 필요하다.

이전의 연구에서는 초음파 진동자의 임피던스를 직접 측정하여, 신호처리에서 사용하는 시스템 인식의 방법으로 등가의 모델을 구하는 방법이 제안되었고, 이를 S/W로 구현한 등가회로 모델링 Tool도 소개되었다.[1][2] 또한 주파수 영역에서 측정된 센서의 임피던스로부터 직접 정합회로의 소자값들을 구해내는 알고리즘과 이를 기초로 일련의 작업을 일괄 작업화한 설계프로그래밍이 소개되었다.[3][4]

실제보다 작은 공간에서도 효과적으로 실제와 유사한 wave propagation 연구를 가능하게 해주는 acoustical scale model이 있다. 이 모델을 이용하면 적은 경비와 장소로도 실제와 유사한 측정결과를 얻을 수 있다. [5]

본 논문에서는 acoustical scale model을 이용하여 공기 중에서의 스피커 어레이로 수중음향 어레이를 모델링 하였으며, 등가회로 모델링 Tool과 정합회로 디자인 Tool을 이용하여 실제 스피커 가중회로를 구성하였다. 그리고 실험을 통해 스피커 어레이의 빔패턴을 이론치와 비교 분석하였다.

## 2. Acoustical scale model

Acoustical scale model을 이용하면 넓은 공간에서 수행한 실험과 같은 결과를 작은 공간에서 손쉽게 얻을 수 있다는 장점이 있다. [5] 그림 2-1에서와 같이  $a=1.9$  cm인 초음파 센서가 35.3kHz 중심주파수에서 사용된다고 가정하자. 이때 직경  $a'=3.5$ cm인 스피커를 공기 중에서 사용해서 수중음향 센서와 같은 효과를 내기 위해서는 3.728 kHz를 사용하여야 한다.

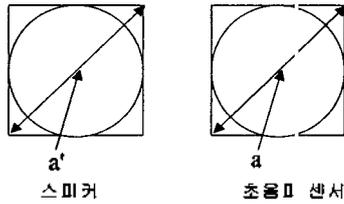


그림 2-1. Scaling Model

본 논문에서 목표로 한 piezo-electric transducer와 스피커는 서로 비슷한 복잡도의 등가회로를 가짐을 그림 2-2와 그림 2-3을 통해서 확인할 수 있다.

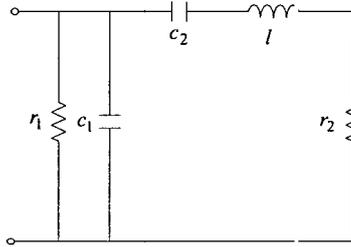


그림 2-2 압전변환기의 등가회로

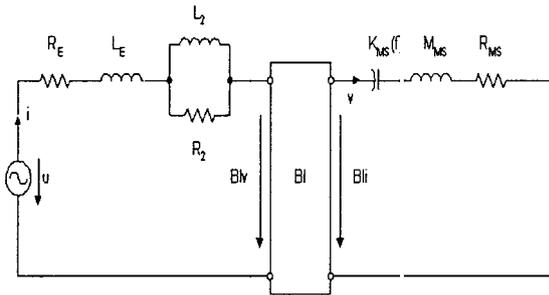


그림 2-3 스피커의 등가회로

이와같이, acoustical scale model을 이용하면, 적은 비용으로 손쉽게, 수중에서의 가중회로를 이용한 빔포밍 실험을 공기 중의 스피커 어레이를 이용하여 할 수 있다.

## 3. 가중회로 디자인

### 3.1 등가회로 모델링 Tool

초음파 진동자 시스템 설계에서 정합 회로 구성을 위해서는 진동자 등가회로에 대한 정확한 추정이 필수적이다. 등가회로를 구하는 여러 가지 방법 중 한 방법으로 임피던스 측정 장치로부터 얻은 데이터를 바탕으로 시스템 인식 방법에 의해서 등가의 모델을 구하고 이로부터 전기회로화된 모델을 구현하는 방법이 있다. [1][2]

이 방법으로 구현한 Tool이 그림 3.1-1이다. 등가회로 모델링 Tool(그림 3.1-1)의 "Open" 버튼을 눌러서 측정된 임피던스를 읽는다. 그런 후에 "Calculate" 버튼을 누르면 등가회로 R, L, C 값들이 자동으로 계산되어서 그 값들이 GUI에 출력된다.

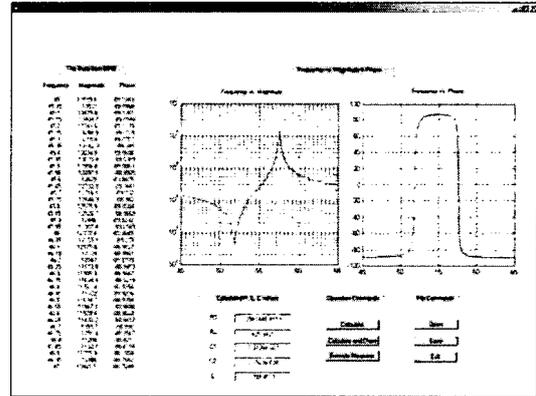


그림 3.1-1. 등가회로 모델링 Tool

### 3.2 정합회로 디자인 Tool

정합회로 디자인 Tool에서는 그림 3.2-1에서와 같이 주파수 영역에서 측정된 임피던스를 입력으로 받는다.

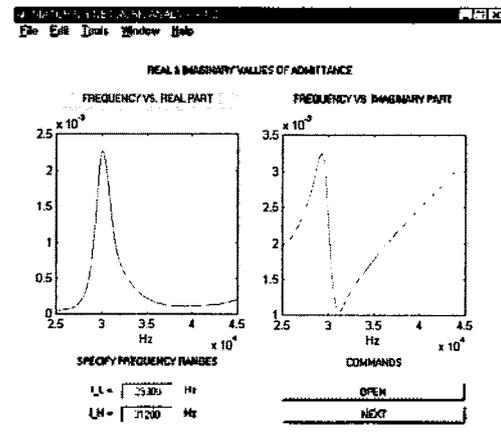


그림 3.2-1 측정된 임피던스를 불러들임

그리고 나서 그림 3.2-2와 같이 원하는 타입의 정합 회로 모델을 선택하고 사용하고자 하는 주파수와 소자 값의 범위를 지정한다. 그런 후에 계산을 통해 그림 3.2-1과 같이 정합회로의 소자값들을 얻을 수 있다.

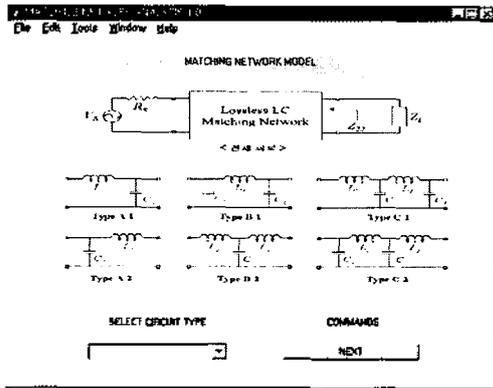


그림 3.2-2. 정합회로 모델을 선택

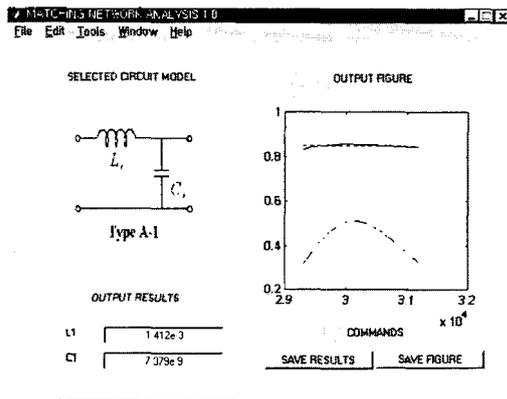


그림 3.2-3. 정합회로 소자값 계산이 끝난 후

## 4. 가중회로 구성실험

### 4.1 실험환경(마이크, 스피커, 앰프 등)

본 논문에서는 그림 4.1-1과 같이 빔패턴을 측정하였다. 마이크와 스피커의 거리는 1.6 m이며, 스피커의 정면을 기준으로  $\pm 70^\circ, \pm 60^\circ, \pm 50^\circ, \pm 40^\circ, \pm 30^\circ, \pm 25^\circ, \pm 20^\circ, \pm 15^\circ, \pm 10^\circ, \pm 5^\circ, 0^\circ$ 에서의 빔패턴을 측정하였다.

Scale model로 에서 구한  $f_c=3.728\text{Hz}$  정현파로 그림 4.1-2와 같은 스피커 어레이를 구동하였으며, 스피커 간의 간격은 반파장으로 하였다.

실험은 무향실이 아닌 그림 4.1-3과 같은 일반 시정실에서 수행하였다. 반사음의 효과를 배제하기 위하여 빔패턴을 구할 때, 수신된 신호의 앞부분만을 고려하였다.

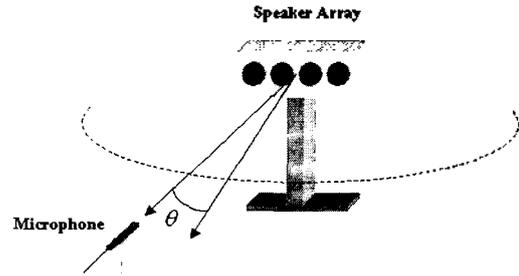


그림 4.1-1 빔패턴 측정 개념도

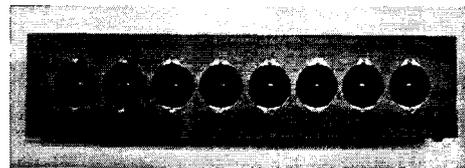


그림 4.1-2 스피커 어레이 사진

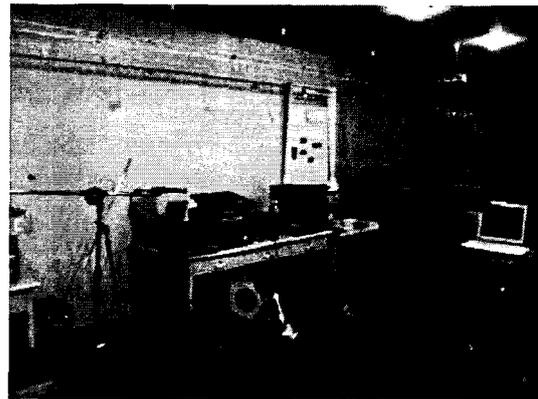


그림 4.1-3 실험장면 사진

실험에 사용된 장비의 사양은 아래와 같다.

- P 4192A Impedance Analyzer
- Sound Card : Hammerfall DSP Multichannel Interface
- Microphone : B&K 4011 Microphone
- Power Amp.: Alesis RA150 Amplifier
- Software : Cool Edit Pro 2.0

### 4.2 실험결과 및 분석

정합회로를 구성하지 않고 스피커 어레이를 파워앰프에 직접 연결해서 구동했을 때의 빔패턴은 그림 4.2-1과 같다. 실험은 파워앰프로부터 나오는 구동전압을 가지고 계산한 빔패턴을 점선은 각 스피커의 임피던스로

부터 구한 빔패턴을 마지막으로 ○ 표시는 실험에 의해 측정된 빔패턴을 나타낸다. 실험치가 예측치와 거의 비슷함을 확인할 수 있다.

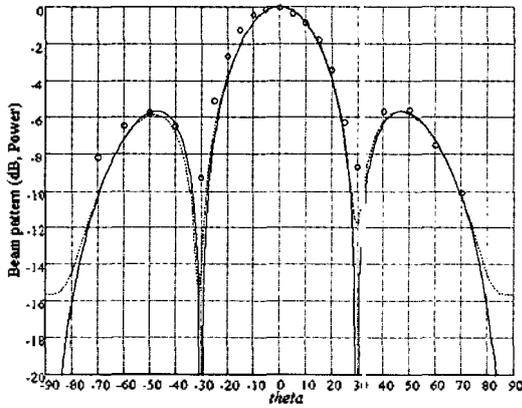


그림 4.2-1 정합회로를 고려하지 않았을 때의 빔패턴 (○ 측정치, 실선 - 이상치, 점선 - 예측치)

정합회로 디자인 Tool 중 Type A-J 정합회로를 LC 회로로 구현하였다. 그런 후에, 정합회로까지 포함된 스피커 어레이의 임피던스를 HP 4192A Impedance Analyzer를 이용하여 측정하였다.

그림 4.2-2는 측정된 스피커 임피던스로부터 계산된 빔패턴 그림이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 LC만으로 정합회로를 구성하였을 경우에 센서 가중치의 보정이 필요함을 알 수 있다. 이러한 가중치의 보정은 트랜스포머의 권선비율 조정함으로써 구현될 수 있다.

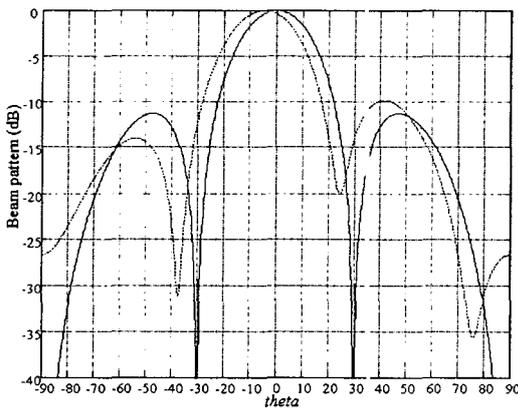


그림 4.2-2 정합회로를 고려했을 때의 빔패턴 (실선 - 이상치, 점선 - 예측치)

## 5. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 센서 등가회로 모델링 Tool과 정합회로 디자인 Tool 모듈을 이용하여 센서 등가회로 및 정합회로를 모델링하였고, 이를 바탕으로 실제 가중회로를 구현하였다. 또한 실험을 위해 물-공기의 상사효과를 가정하였으며, 공기 중에서 스피커 어레이를 이용하여 빔 형성을 하였다. 향후에는 가중회로 중 트랜스포머에 대한 등가회로 모델링과 트랜스포머까지 고려한 가중회로의 구현을 통해서 BeamCAD, 센서 등가회로 모델링 Tool 그리고 정합회로 디자인 Tool로 이루어진 소나 센서 디자인 Tool의 타당성 검증과정을 보완해 나갈 계획이다.

## 참고문헌

1. Byung-Doo Jun and Koeng-Mo Sung, Estimation of Equivalent Circuit Parameters for Piezoelectric Transducer Using Least Square Method, ICA/ASA98, Seattle.
2. 최낙진, 송준일, 성평모, 전병두, 임준석, "정합회로 설계를 위한 초음파 진동자 Modeling S/W Tool 구현," 한국음향학회 학술대회 논문집, 제19권, 제2(s)호, pp.341-44, 2000.
3. 송준일, 최낙진, 전병두, 임준석, 성평모, "수중 음향 센서 시스템에 관한 임피던스 정합회로의 구현," 한국음향학회 하계 학술대회 논문집, Vol. 20, No.1(s), pp. 8339-36, 2001.
4. 최낙진, 송준일, 임준석, 성평모, "임피던스 정합회로의 설계를 위한 Design S/W Tool 구현," 한국음향학회 하계 학술대회 논문집, Vol. 20, No.1(s), pp. 841-44, 2001.
5. Heinrich Kuttruff, *Room Acoustics*, 4th ed., Spon Press, 2000