

전자(電磁)형 수중스피커의 구현

송창용*, 박순종**, 김천덕***, 노의철***

*부경대학교 대학원 음향진동공학과, **대학원 전자공학과, ***공과대학 전기·제어계측공학부

Implementation of Electro-Magnetic Underwater Speaker

Chang-Yong Song*, Soon-Jong Park**, Chun-Duck Kim***, Eui-Cheol Nho***

*Interdisciplinary Program of Acous. & Vib. Eng., Graduate School of Pukyong Nat'l Univ.

**Electronic Eng., Graduate School of Pukyong Nat'l Univ.

***Faculty of Electrical & Control Eng., Pukyong Nat'l Univ.

E-mail: songcy@mail1.pknu.ac.kr

요약

목적으로 하는 특정 주파수에서 고출력의 음향에너지를 방사하는 단일음 전자형 수중스피커를 설계·제작하고자 한다.

유한요소법과 이분식을 사용하여 진동판의 기계적 공진주파수를 구한 후 이를 토대로 전자형 수중스피커를 제작하였다.

간이수조 및 해상 실험을 통하여 280Hz~285Hz에서 최대 음압이 발생되고, SL을 산출한 결과 162dB로 충분히 높은 음향 출력을 가지므로서 어류 집어용 수중스피커로 적용 가능하다는 것을 확인하였다.

1. 서론

전기·음향 변환기를 이용한 수중스피커는 음성정보 전달용과 어류의 집어용으로 연구 개발이 진행되고 있으며, 기존의 연구는 가청주파수 대역의 동전형 변환기를 이용한 수중스피커에 관하여 수행되어졌다.

동전형 변환기를 이용한 수중스피커는 자계(磁界)중에 설치해 둔 가동코일에 흐르는 전류에 의해 전자력으로 진동판을 구동하는 구조로 되어 있고, 가청 주파수 대역에서의 음향 특성은 좋은 것으로 알려져 있다. 그러나 제작이 복잡하고 전기·음향 에너지 변환효율이 낮은 출력률 내기에는 어려운 점이 있다[1],[2].

한편, 어류 집어용 수중스피커의 경우 대상 어종이 특정 주파수 대역에서 반응을 보이기 때문에 광대역 주파수 특성보다는 특정 주파수 대역에서 큰 출력이 요구된다. 따라서, 구동계의 공진특성을 이용하는 전자(電磁)형 변환기를 이용하여 특정 주파수 대역(280Hz~300Hz)에서 변환효율이 극대화되도록 고출력의 단일음 수중스피커를 제작하고자 한다.

II. 전자형 전기·음향 변환기

전자(電磁)형 전기·음향 변환기는 그림 1에 나타내는 바와 같이 자기 구동부와 진동판으로 구성된다. 동작원리는 영구자석의 자극에 감긴 코일의 신호전류에

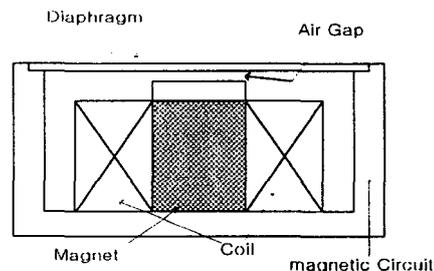


그림 1. 전자형 전기·음향 변환기의 구성도

의해 자석의 흡인력이 변화하며, 이것을 구동력으로 주위가 고정된 진동판에 기계적 공진이 발생하도록 하여 목적으로 하는 주파수 영역에서 음향출력이 극대화되도록 한다[3].

이러한 전자형 전기·음향변환기의 동작은 구동력을 나타내는 기계 및 전기 단자에 기준한 기본식과 진동판의 공진주파수를 결정하는 식으로 설명할 수 있다[4].

구동부의 기계단자에 기준한 기본식은 진동판에 작용하는 구동력 F_m 과 외적인 구동력 F , 진동판의 속도 V , 기계 임피던스 Z_m 으로 하여 다음과 같이 평형식으로 나타낸다.

$$F + F_m = Z_m V \quad (1)$$

$$F = \left(Z_m \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot \frac{\mu_0 S U_0^2}{d_0^3} \right) V - \frac{\mu_0 S N U_0}{d_0^2} I \quad (2)$$

(S : 자석의 면적, U_0 : 영구자석에 의한 기자력, I : 코일에 흐르는 전류, N : 코일의 권선수, d_0 : 공극)

구동부의 전기단자에 기준한 기본식은 자속 변화에 의한 기전력 E_m , 외부전압 E , 누설자속에 의한 임피던스를 Z 라 놓으면 식 (3)과 (4)의 평형식으로 나타내어진다.

$$E + E_m = Z \cdot I \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \left(Z_e + j\omega \frac{\mu_0 S N^2}{d_0} \right) I + \frac{\mu_0 S N U_0}{d_0} V \\ &= Z_e' I + A V \end{aligned} \quad (4)$$

원형 진동판의 경우 공진주파수의 결정은 재질과 치수에 따라 식(5)와 같이 나타낼 수 있으며, 음향 매질의 부가에 따라 밀도비를 추가하여 식 (6)으로 나타내어진다[5].

$$f_n = \frac{0.467t}{a^2} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\sigma^2)}} \quad (5)$$

(t:두께, a:반지름, E:영율, ρ:밀도, σ:포아손비)

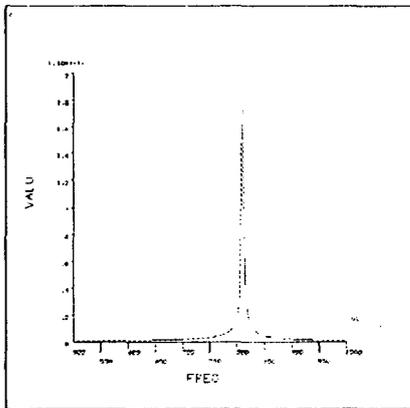
$$f_{nm} = \frac{0.467t}{a^2 \sqrt{1 + 0.669 \frac{w_1 a}{wh}}} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\sigma^2)}} \quad (6)$$

(w₁ : 유체의 밀도, w : 진동판의 밀도)

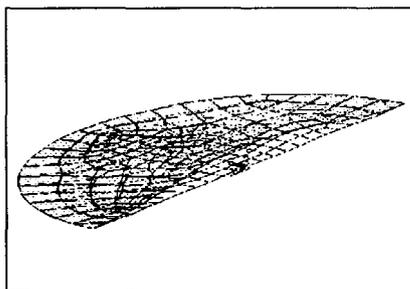
III. 진동판 해석 및 스피커 설계

전자형 전기·음향변환기를 사용한 수중스피커의 제작에 앞서 진동판의 진동 특성을 유한요소 해석하여 이론식의 결과와 비교하며, 외장 케이스를 장착하여 목적 주파수 대역에서 동작 가능하도록 설계하고자 한다.

상용 유한요소법(FEM) 소프트웨어인 ANSYS5.3을 이용하여 진동판의 공진주파수와 모드특성을 해석하였다. 쉘 요소(Shell Element)를 이용하여 171개의 요소(Element)와 195개의 절점(Node)으로 분할하여 기하학적 모델로 형상화하였고, 진동 모드(Modal Analysis)와 주파수 응답(Frequency Response)을 해석하였다.

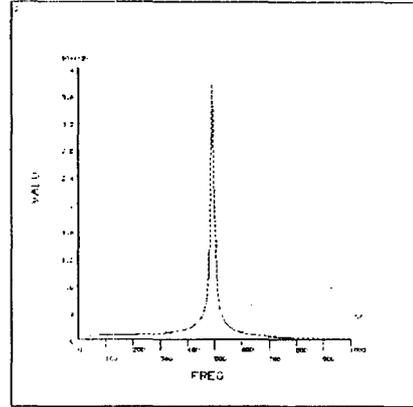


(a) 공진주파수

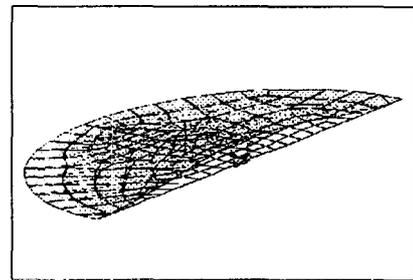


(b) 진동모드

그림 2. 지름 100mm 진동판의 유한요소 해석



(a) 공진주파수



(b) 진동모드

그림 3. 지름 78mm 진동판의 유한요소 해석

강철 원형 진동판을 대상으로 두께 0.5mm로 설정하고 반지름이 50mm와 39mm인 두 경우에 대하여 해석한 결과를 그림 2와 그림3에 각각 나타내었으며, 표 1에 이론식에 의해 계산된 결과와 비교하여 나타내었다. 진동판의 공진주파수는 각각 493Hz, 811Hz로 식(5)에 의한 결과와 일치하며, 공진 모드는 (0,0)모드로 진동함을 알 수 있다.

음향 매질의 부가에 의한 공진주파수 특성을 해석하기 위하여 두 경우의 진동판에 대한 외장케이스를 제작하여 수중에서 공진주파수 변화를 관찰하였다. 부식이나 전기적 절연문제를 해결하기 위해 외장 케이스는 폴리에틸렌계의 MC를 사용하고, 수중에 접하는 진동판 전면에는 방수도료를 칠하였다.

반지름 50mm인 진동판의 경우 약 180Hz에서 최대 음압이 나타났으며, 반지름 39mm인 경우 280Hz에서 최대 음압이 발생되었다. 이론식 (6)에 의한 계산 결과와 수중 실험에 의한 결과를 표 2에 비교하여 나타내었다. 이러한 결과로부터 공진 주파수는 반지름의 자승에 반비례하고, 음향매질의 부가에 따라 감소한다는 것을 알 수 있다.

이러한 결과들로부터 목적 주파수에 근접한 반지름 39mm의 진동판을 가지는 단일음 수중스피커를 그림 4와 같이 최종적으로 제작하였다.

표 1. 진동판의 공진주파수

구분 \ 반지름	50mm	39mm
식 (5)	492.7Hz	809.9Hz
유한 요소	493.0Hz	811.0Hz

표 2. 음향매질의 부가에 따른 공진주파수 변화

구분 \ 반지름	50mm	39mm
식 (6)	158.4Hz	260.4Hz
수중 측정	180.0Hz	280.0Hz

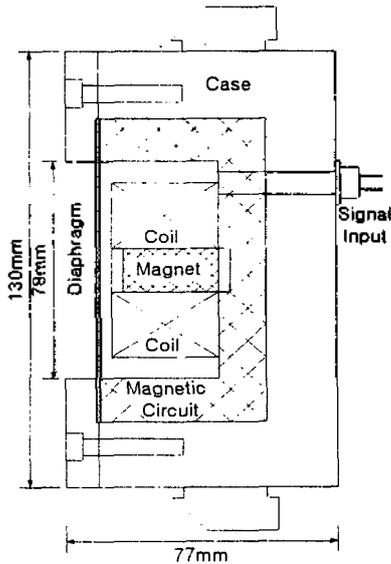


그림 4. 수중스피커의 설계도

IV. 전기 음향 특성 실험

지금까지의 해석을 바탕으로 제작된 반지름 39mm 진동판을 갖는 수중 스피커에 대하여 전기 입력 임피던스 특성과 주파수 특성 및 최대 음압을 측정함으로써 수중 음원으로서의 성능을 평가하고자 한다.

그림 5와 그림 6은 공기중과 수중에서의 전기 입력 임피던스 및 위상차를 측정된 결과이다. 전기 입력 임피던스의 경우 공기중 및 수중 모두 선형적으로 증가한다. 약 800Hz와 280Hz 부근에서 약간의 변화를 일으키고 있다. 위상차의 경우 저주파수에서 급격히 증가하여 200Hz 부근에서 약 75° 정도의 일정한 값을 유지하지만, 전기 입력임피던스와 마찬가지로 약 800Hz와 280Hz 부근에서 약간의 변화를 일으키고 있다.

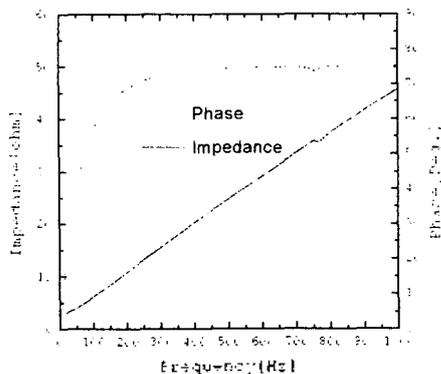


그림 5. 공기중에서 전기적 임피던스

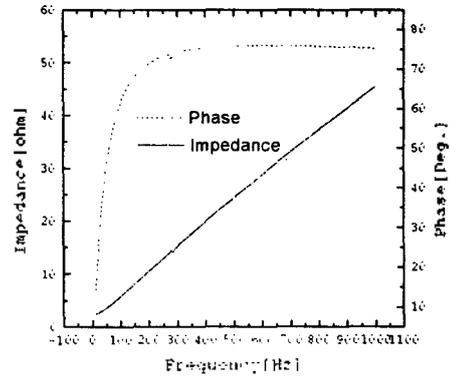


그림 6. 수중에서 전기적 임피던스

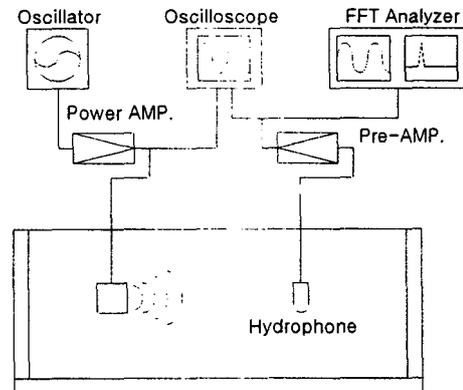


그림 7. 수중에서 음압측정 실험 구성도

제작된 수중스피커의 출력특성 실험은 그림 7과 같이 간이수조에서 수중청음기를 스피커로부터 60cm 떨어진 지점에 놓고 정현파 구동시의 주파수 특성을 주파수 분석기로 측정하였다.

그림 8은 수중스피커의 음압레벨 측정된 결과를 최대 값을 0dB로 하여 상대적으로 나타낸 결과이다. 목적으로 하는 280Hz ~ 285Hz 주파수 대역에서 최대 음압이 발생하고 그외의 대역에서는 현저히 감소하므로써 단일 음을 적절히 방사하고 있는 것을 알 수 있다.

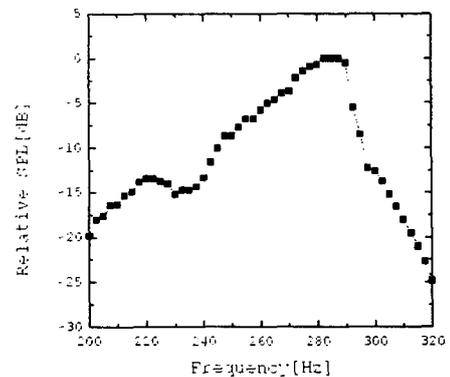


그림 8. 수중에서 주파수 특성

구동 주파수에서의 출력 특성을 파악하기 위하여 기준거리(1m)에서의 SL(Source Level)을 구하였다[6]. 수중청음기를 스피커로부터 5m 떨어진 지점에 위치하고, 최대 음압이 발생하는 주파수의 SPL를 측정한 후 식 (7)을 사용하여 SL을 구한 결과 162dB로 계산되었고, 일반인이 듣기에도 상당히 크게 느껴졌다.

$$SPL = SPL_0 - 20 \log_{10} \frac{r}{r_0} \quad (7)$$

V. 결 론

특정 주파수대역에서 최대 음압이 발생하도록 유한요소법을 이용하여 전자(電磁)형 전기·음향 변환기의 진동판을 설계하고, 매질부가에 따른 주파수 감쇄를 계산하여 단일음의 어류 집어용 수중스피커를 제작하였다.

수중에서 280Hz~285Hz에서 최대 음압이 발생되고, 그때의 SL은 162dB로 측정되어 충분히 높은 음압이 발생됨을 알 수 있었다. 따라서 제작된 단일음의 전자형 수중스피커를 특정 주파수에 반응하는 어류를 대상으로 하는 어류 집어용으로 적절히 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

추후과제로는 사용환경에 따른 검토를 위해 해상 실험을 통하여 수심 변화에 관한 영향과 지향 특성등에 관해 고찰하고, 구동부의 손실을 감소시키는 방법에 관하여 검토하고자 한다.

REFERENCES

- [1] 여동은, *돌형 진동판을 이용한 적접방사 동전형 수중스피커에 관한 연구*, (학위논문, 1998).
- [2] 김성민, *수중스피커의 방사임피던스 및 음장해석에 관한 연구*, (학위논문, 2000).
- [3] 이재봉, 차경환, *음향공학개론*, (형실출판사, 1999), pp 86-89.
- [4] 윤종락, 김천덕 편역, *전기음향공학 상* pp. 53-86, 하 pp14-19.
- [5] Mario Di Giovanni, *Flat and Corrugated Diaphragm Design Handbook*, (Marcel Dekker, INC., New York and Basel), pp. 193-200.
- [6] 김상한, *응용음향학*, (태화출판사, 1981), pp. 121-123.