

어류의 유집과 구집용 수중 스피커 개발에 관한 연구

Development of Highly Efficient Underwater Loudspeaker for Attracting and Threatening Fish

이 채 봉*, 김 천 덕**
(Chai-Bong Lee*, Chun-Duck Kim**)

*동서대학교 정보시스템공학부, **부경대학교 전기공학과

(접수일자: 2005년 10월 13일; 수정일자: 2005년 11월 16일; 채택일자: 2005년 11월 25일)

잡는 어업에서 기르는 어업으로 전환하는 수산정책 과정에서 바다목장사업은 바다목장을 설치한 해역에서 육상에서 식이음으로 순치시킨 치어를 방류하여 사료투입사, 또는 성장한 어류들을 모이게 하는 수단으로 순치음을 해양에 방사하기 위해서는 수중 스피커의 개발이 필요하다. 본 연구에서는 수중에서 어류의 발생음과 인공적으로 음을 방성했을 때 어류반응에 대한 연구문헌을 조사하였다. 그 결과, 민감하게 반응하는 주파수는 150Hz ~ 2kHz이고 음압레벨은 100dB ~ 150dB (1 μ Pa를 0dB)으로 조사되었다. 따라서 수중 스피커 설계제작시 주파수대역과 출력레벨의 사양은 150Hz ~ 3kHz, 100dB ~ 145dB로 설정하였다. 그리고 설계사양 등가회로에 의한 전기임피던스 곡선과 반공진주파수를 등가회로법으로 구하고 수중 스피커를 제작하였다. 설계 제작된 수중 스피커를 수압탱크에서 안정성 평가와 최저 사용 주파수 범위를 결정하는 전기임피던스 특성실험을 실시하였으며 수심 10m에서 수중 스피커를 설치하여 해상실험을 한 결과를 정리하고, 제반 음향특성의 실험결과를 기술하였다.

핵심용어: 수중스피커, 임피던스, 등가회로, 음향특성

투고분야: 수중음향 분야 (5.2)

Fisheries policy change from catching to farming requires more intensive consideration for aquaculture industry. The oceanic farm is a desirable cost effective aquaculture method. However, in order to gather fish in the oceanic farm, eating sound or any attracting sound should be radiated through underwater loudspeaker. In this paper, it has been found in literature that the frequency range responding to fish is about 16Hz to 13kHz but sensitive frequency range is about 150Hz to 2kHz and sound pressure level is about 100dB to 150dB reference 1 μ Pa. Therefore, frequency range and output sound level of designed underwater loudspeaker has been specified as 150Hz to 3kHz and 100dB to 145dB reference 1 μ bar, respectively. To verify the stability and the endurance to the pressure of 40m water depth, manufactured underwater loudspeaker was examined before sea trial in manufactured water pressure tank which gives a maximum of 10 atmospheric pressure. We experimented on acoustic characteristic with manufactured underwater loudspeaker under water depth of 10m.

Keywords: Underwater Loudspeaker, Impedance, Equivalent Circuit, Acoustic Characteristic

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.2)

1. 서론

우리나라에서도 최근 바다 목장사업에 관심이 고조되고 오징어 조업 등에서 어군의 표층유도, 각종 어류의 생태에 맞는 음파를 인공적으로 합성하여 대상 어군이 좋아하는 음파를 방음하여 어군을 유집하거나 대상 어군

이 싫어하는 음파를 방음하여 어군을 구집하는 음향식 어군 제어기술의 개발 그리고 외국인산 수중 스피커 가격의 고가 및 고장에 대한 수리 문제 등으로 국산 수중 스피커 개발이 필요하다. 수산업에 사용되는 수중 스피커의 개발은 1980년대 초 일본의 FC-123형 시리즈의 수중 스피커가 개발되어 수심 30 ~ 200m에 사용되었다[1]. 이것은 일본의 바다목장 음향순치 시스템에 널리 사용되며, 사용 주파수의 범위는 대략 150Hz ~ 5kHz이고 최대 음압은 수중 스피커를 수심 20m에서 구동할 때 수중 스피

책임저자: 이 채 봉 (1cb@dongseo.ac.kr)
부산시 사상구 주례2동 동서대학교 정보통신공학부
(전화: 051-320-1755, 팩스: 051-313-2130)

피커의 전방 1m에서 155dB~170dB(0dB에서 1μ Pa)의 성능을 갖는다. 우리나라에서의 수중 스피커 개발은 오디오용 동전형 스피커의 Drive unit 4개를 아크릴판으로 직육면체 내에 설치하여 피마자 기름을 채우고 진동판으로 고무판을 사용하여 제작하였다. 사용 주파수 범위는 250~600Hz 범위에서 수심 80m까지 사용가능하고 음압은 72~102dB정도의 기초 연구로써 수행되었으나 체계적인 실용화에는 많은 문제점이 제기되고 있다[2].

수중 스피커를 설계하고 제작하기 위해서는 먼저 목적 대상 어류들의 음신호의 주파수 특성과 음압특성이 설계 사양으로써 결정되어야 하고 다음으로 수심 40m정도에 사용시에 수압이 작용하므로 전자기계변환기인 진동판 전후에 작용하는 힘이 평형되어야 한다. 그리고 재질로써 해수중에 사용하므로 염분에 의한 부식성과 전기단자의 정밀한 수밀이 요구된다. 또 어민들이 저렴한 가격으로 구입하여 사용가능하고 수리보수가 용이해야 한다.

본 연구의 개발대상 해상용 수중 스피커는 어류를 대상으로 하고 있으며 수심 40m 층에서 장시간 구동되고 고출력(허용 전기입력 100W)으로 주파수 대역 150Hz~3kHz 범위, 음압레벨은 130~150dB로 설정하고 등가회로에 의해 구조를 결정하였으며 구동원은 동전형 방식을 채택하였다[3]. 본 연구의 최종 모델의 수중 스피커는 일반오디오용 동전형 직접 방사형 스피커를 개량하여 주파수 사용대역과 음압레벨을 충족할 수 있는 사양에 의거하여 등가회로 해석법에 의해 수중 스피커의 규격과 형상을 결정하였다. 설계 제작된 수중 스피커를 수압탱크에서 안전성 평가와 최저 사용주파수 범위를 결정하는 전기임피던스 특성실험을 하였다. 그리고 실음장인 해양에서 재생주파수 대역의 출력특성, 방성한 신호의 음압레벨, 지향특성, 거리에 대한 실험을 하였다.

II. 수중 스피커의 설계 및 제작

2.1. 어류의 음향신호 반응

어류를 대상으로 한 음파를 발생하는 수중 스피커의 설계에 있어서 출력특성은 어류가 발생하는 포식음, 마찰음, 유평음 그리고 수중에서 음파를 인공적으로 방신했을 때 어류가 반응하는 주파수 대역과 음압레벨을 연구 발표된 문헌들에서 조사하였다[4-10].

1988년 국립 수산 진흥원 연구보고에 의하면 수중에 장현파 순음을 방신했을 때 어류의 유집효과는 방어 200~400Hz, 말쥐치 250~450Hz, 돌돔 600Hz, 농어 200~450Hz, 매패 250~800Hz, 뱀어돔 800Hz, 꽃게류는 250~2500Hz에 나타난다고 보고되었다. 또 일본의 수산연구지에 의하면 참돔은 200~3000Hz에서 순치행동을 나타내며 음압레벨은 110~150dB이며 넙치에 관해서는 93~110dB로 나타났다. 결론적으로 수중 스피커의 개발에 있어서 주파수 대역은 대략 150Hz~3kHz, 음압레벨은 110~130dB의 범위에서 어류가 음향신호에 반응이 나타난 것으로 조사되었다. 따라서 설계제작되는 수중 스피커의 성능 구비조건은 주파수 대역은 150Hz~3kHz, 음압레벨은 110~130dB 이상이 요구되며 이런 조건이 만족될 때 어류를 대상으로 한 음의 반응실험 및 순치실험에 충분히 사용할 수 있다.

2.2. 등가회로 구성

그림 1은 수중 스피커에 대한 전기계, 기계계, 음향계의 임피던스와 간략화 된 등가회로를 나타내었다. 수중 스피커에 대한 전기계의 임피던스인 보이스 코일의 임피던스(Z_e)와 진동판의 진동에 의한 기계임피던스(Z_m) 그리고 음이 방사될 때 수중 스피커의 내부구조와 압력 등화기의 배플작용에 의해 발생하는 음향임피던스(Z_a)와의 관계는 각각 힘 계수 A 와 스피커의 면적 S_d 를 권선비로 하는 변압기로 구성된 등가회로로 나타낸다.

각 계의 임피던스를 나타내면 전기계인 보이스 코일의 임피던스 Z_e 는 코일의 저항 r_e 와 인덕턴스 L_e 의 합으로 식 (1)과 같다.

$$Z_e = r_e + j\omega L_e \tag{1}$$

그리고 기계계의 진동판에 대한 임피던스 Z_m 은 식 (2)와 같다.

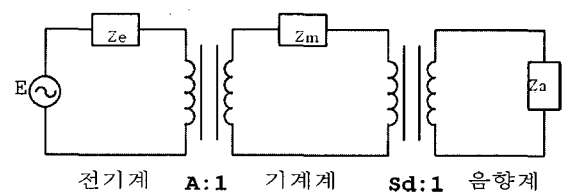


그림 1. 수중 스피커에 대한 각 계의 임피던스와 등가회로
Fig. 1. Impedance and simplified equivalent circuit.

$$Z_m = r_m + j\omega m_m + \frac{1}{j\omega C_m} \quad (2)$$

저항성분 r_m 은 진동판의 방사저항 R_s 와 진동판을 지지하는 댐퍼나 예지의 기계저항 r_d 의 합으로 표현된다. 그리고 m_m 은 진동판 자체의 질량과 부가질량을 진동판의 면적에 곱한 값의 합이며, C_m 은 진동판을 지지하는 컵플라이언스이다.

Z_a 는 진동판 후면의 유니트 내부구조와 등압기를 배플로 간주했을 때의 음향계에 대한 음향임피던스이며 식 (3)과 같다.

$$Z_a = \frac{1}{j\omega c_a} + \frac{1}{j\omega m_{a1} + \frac{1}{j\omega c_a + \frac{1}{j\omega m_{a2} + \frac{1}{j\omega m_{a3} + \frac{1}{j\omega m_{a4} + \frac{1}{j\omega c_{ab}}}}}} \quad (3)$$

식에서 c_a 와 m_a 성분들은 유니트 내부 및 후부의 공동과 관에 대한 음향임피던스 성분들이다. c_{ai} , m_{aj} 의 첨자 i 와 j 는 공동과 관의 번호이다. 본 연구에서는 수중 스피커의 구조에 대한 각각의 음향계 요소를 헬름홀츠 공명기에 대한 수식 (4)를 적용하였다.

$$C_a = V/\rho c^2 S_a^2 \quad (4)$$

$$m_a = \frac{\rho(l_v + 1.7a)}{S_a^2}$$

V 는 공동의 용적, ρ 는 음향 매질의 밀도, c 는 음속이며 S_a 는 관의 입구면적, a 는 진동판의 반경, l_v 는 관의 길이이다. 전기계와 등가화 된 기계계가 결합한 등가회로는 동전형 변환기의 구동력이 전류에 비례하고 있으므로 힘을 전류, 속도를 전압에 대응시키는 힘-전류법을 이용하였다. 그림 2는 전기계로 변환된 등가회로를 나타내었다.

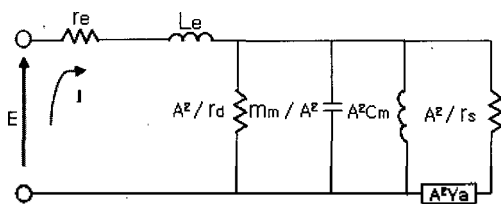


그림 2. 전기계, 기계계 및 음향계의 등가회로
Fig. 2. Equivalent circuit of acoustical, mechanical and electrical system.

2.3. 수중 스피커의 전기임피던스 특성

진동판과 수중 스피커의 내부공간은 각각 기계계와 음향계의 소자들로 구성되어지며 이들을 등가화한 등가회로와 회로정수를 구하였다. 주요 파라메타의 회로정수는 $r_e:5.2\Omega$, $L_e:2.384 \times 10^4 H$, $r_d:0.0425 N \cdot sec/m$, $r_s:5.2\Omega$, $m_m:4.19 \times 10^{-3} kg$, $c_m:2.65 m/N$ 등으로 회로 시뮬레이터인 Pspice로 주파수에 따른 전기임피던스 특성을 수치해석 하였다. 이때 수치해석은 음향매질을 공기중과 수중일 때로 분리하여 하였으며 그 결과를 그림 3에 나타내었다.

공기중에서 수치해석한 수중 스피커의 전기임피던스 특성을 살펴보면 629Hz 부근에서 반공진이 발생하며 임피던스 크기는 78Ω이다. 반공진에 앞서 작은 굴곡이 관찰되며 이의 원인은 수중 스피커 내부구조와 등압기에 의해 발생하는 다중 공진현상으로 보여진다. 음향매질을 물로 하였을 경우, 공기중에 비해 반공진주파수는 저역으로 천이하고 반공진시 임피던스 크기는 감소되어 159Hz, 22Ω으로 나타났다. 이와 같은 현상은 수중 음향매질의 특성에 의한 것으로 진동판의 진동시, 진동판 전면에 작용하는 부가질량 증가 때문으로 나타난다.

2.4. 수중 스피커의 제작

수중 스피커의 설계사양 등가회로에 의한 전기임피던스 곡선과 반공진주파수를 등가회로법으로 구하여 설계 제작한 수중 스피커의 구조는 그림 4와 같다. 구동원리는 직접 방사형의 동전형이며 일반 혼 스피커의 구동 유니트를 사용하였다. 그리고 제작시 사용된 유니트 내부의 소용적 공실과 혼을 제거하고 동형 진동체가 직접 수중에 음을 방사하도록 제작하였다. 일반 혼 스피커의 구동원과 진동판을 수중 스피커에 사용하는 것은 진동판 구조가 간단하고 진동체가 동형으로 되어 있어 외력의

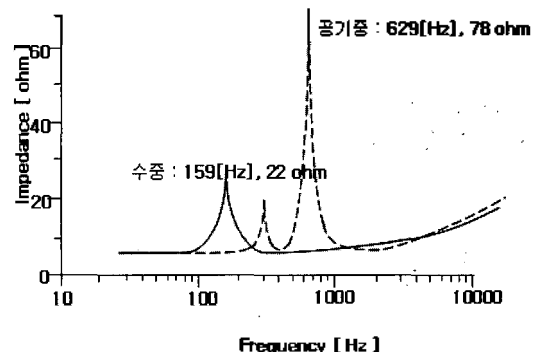


그림 3. 수중 스피커의 전기임피던스 시뮬레이션 결과
Fig. 3. Impedance by simulation of a underwater loudspeaker in the air and underwater.

분산작용을 하며 전기 허용입력이 크기 때문이다. 그리고 수중 스피커의 진동부, 영구자석부를 수밀해 주기 위한 케이스, 압력조절부 외부케이스 등 각각 3등분으로 분리되게 수중 스피커를 설계·제작하였다. 이는 제작시나 작동시 고장이 있을 경우 잘못된 부분만 교환하도록 하고 제작비 절감 등을 고려한 것이다. 각 부분의 재질을 폴리에틸렌인제인 MC와 알루미늄을 사용하여 해수에 의한 부식과 내압성 문제를 보완하였다.

III. 수중 스피커의 음향특성 실험

3.1. 수압챔버를 이용한 수중 스피커의 전기임피던스 측정

수심변화에 따른 해양음장과 유사한 환경을 재현하기 위해 수압챔버를 설계·제작하였으며 챔버내에 대상 수중 스피커를 설치하고 압력을 증가시켜 임피던스의 변화와 반공진주파수 그리고 반공진시 임피던스값을 측정하고 특성을 평가하였다[10]. 수압챔버의 내부구조는 그림

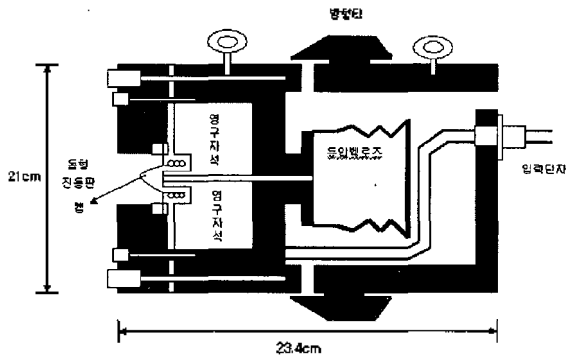


그림 4. 제작된 수중 스피커의 구조
Fig. 4. The structure of manufactured underwater loudspeaker.

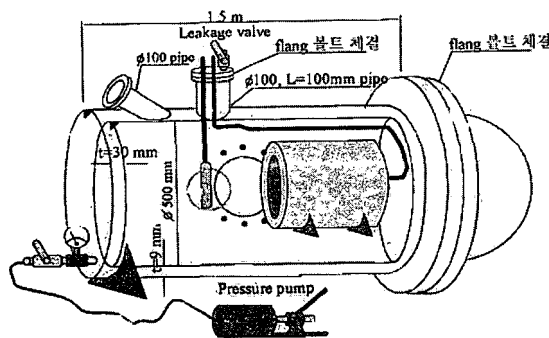


그림 5. 압력챔버의 내부구조
Fig. 5. Inner structure of the water-pressure chamber for water pressure test.

5와 같으며 최대 10기압까지 가능하다.

수중 스피커의 임피던스 측정장비는 HP4129A (LF Impedance Analyzer)를 사용하였고 수압 환경하에서 주파수에 따른 임피던스 변화 및 반공진주파수에서 최대 임피던스 크기 등을 자동측정이 가능하도록 GP-IB 인터페이스 장치를 이용하여 퍼스널 컴퓨터에서 측정 데이터의 자동저장 및 제어 등을 하도록 하였다. 측정실험은 공기중과 수중에서 각각 수행하였으며 수중 측정시 물만 채운상태에서 1기압씩 가압시켜 최대 4기압까지 실험하였다. 그림 6은 공기 중과 물만 채운상태에서 측정한 결과로 반공진주파수와 임피던스는 600Hz, 61Ω, 99Hz, 22Ω으로 나타났다. 임피던스의 감소현상은 진동판 전면 에 작용하는 음향매질의 특성차에 의한 결과로 진동판에 대한 부가질량의 증가에 의한 현상이다.

내부 압력상태를 대기압에서 4기압까지 양수펌프로 수압을 증가시켜 각 압력에 따른 임피던스의 변화를 그림 7로 나타내었다. 결과에서 내부압력이 증가함에 따라 반공진주파수도 증가되었으며 반공진시의 임피던스값은 감소한다. 이것은 진동판 전면의 압력증가로 인하여 강성이 증가되었음을 나타낸다.

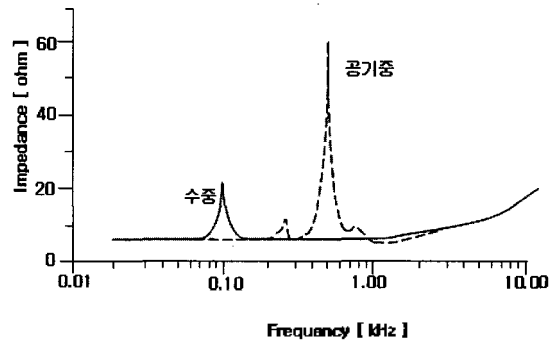


그림 6. 공기중과 수중에서 전기임피던스 특성
Fig. 6. The characteristics of electric impedance.

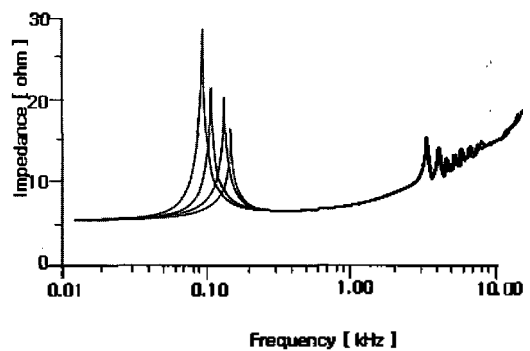


그림 7. 수압에 따른 수중 스피커의 전기임피던스 특성
Fig. 7. The characteristics curve of measured impedance vs the water pressure.

3.2. 수중 스피커의 해상실험

3.2.1 주파수 스펙트럼 특성

본 실험은 구동음에 대한 수중 스피커의 응답주파수 특성을 구하는 것으로써 수중 스피커의 재생주파수 대역과 음압레벨, 대역내 진폭특성의 평탄화 및 음질경향 등을 조사하였다. 측정실험의 위치는 경남 남해군 삼동면 동천리, 창선면 진동리 지족해협외 천해 (북위 34° . 49' .573, 동경 128° .03' .508)이다. 실험방법은 그림 8과 같으며 수심 10m층에서 수중 스피커와 하이드로폰의 거

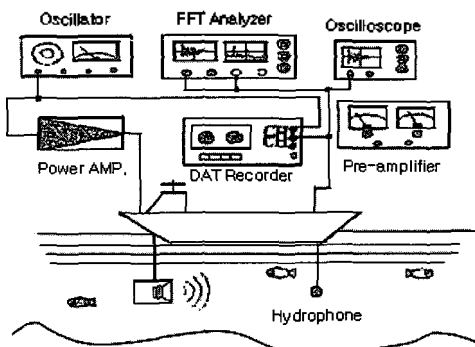


그림 8. 수중 스피커의 해상실험 구성도
Fig. 8. The configuration of a ocean experiment with underwater loudspeaker.

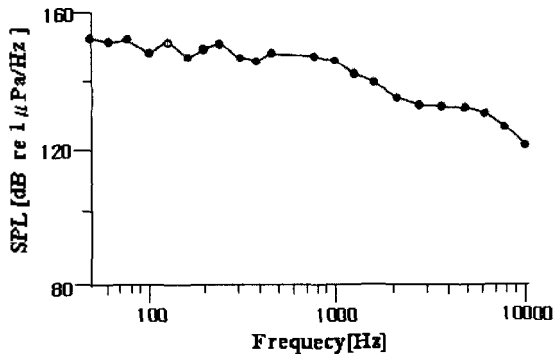


그림 9. 1/9~1/3 옥타브대역 중심주파수의 정현파 신호에 대한 SPL 특성
Fig. 9. SPL characteristics for the center frequency of 1/9~1/3 octave band.

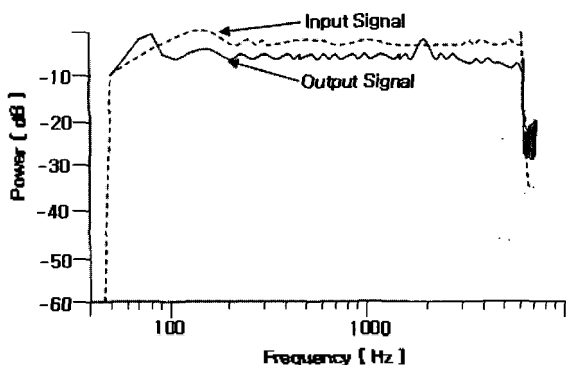


그림 10. 80Hz~5kHz 대역 Sweep 신호에 대한 주파수 특성
Fig. 10. Frequency response characteristics for sweep signal of 80Hz~5000Hz band.

리를 5m로 하여 재생 주파수대역의 주파수 특성과 방성한 신호의 음압레벨 등을 평가하였다. 실험에서 음원으로 사용한 신호는 80Hz~5kHz인 스위프 신호 등을 방성신호로 하였다. 구동신호는 HP 8904로 발생하였다. 그리고 수중 스피커에 대한 주파수 특성을 향상시키기 위해 16밴드 이퀄라이저를 보완하여 사용하였다. 수음측은 B&K사의 수중 청음기 8101과 8106으로 수음하였으며 수음된 신호는 디지털 오디오 테이프 레코드 (SONNY 57ES DAT)에 녹음하였다. 디지털 오디오 테이프 레코드에 수록된 데이터는 주파수 분석기에 의해 최대값을 0dB로 기준하여 상대적 데시벨 값을 표시하였다.

그림 9는 1/3과 1/9 옥타브밴드 중심주파수의 정현파 신호를 방성했을 때 수음된 신호를 1m 거리로 환산하여 나타낸 SPL (Sound Pressure Level)이다. 규정된 4지점의 주파수를 선정하여 각각 음압레벨의 산술평균을 취한 결과 약 140dB로 계산되었다. 그림 10은 스위프 신호에 대한 주파수 특성을 분석한 것으로 원음 신호와 수중 청음기로 수음한 신호를 주파수 분석하여 동시에 나타내었다. 그 결과 1.6kHz 부근을 제외한 80Hz 이상의 전체 대역에서 약 ±1dB 이하의 편차를 가지는 아주 우수한 재생특성을 나타내었다. 그리고 수음된 신호분석에서 스위프 신호의 주파수 대역을 벗어난 5kHz이상에서 음이 분석되는 것은 수중 암소음에 의한 것이다.

3.2.2. 지향특성

수중 스피커의 지향특성은 주파수에 대응하여 음파를 방사하는 상황을 판단하는데 중요한 요소로서 수중 스피커의 경우는 전방향에 음을 방사하는 무지향성을 원한다. 실험방법은 두 척의 배를 이용하여 한 척의 배에 수중 스피커를 고정시키고 다른 한 척의 배로 수중 스피커

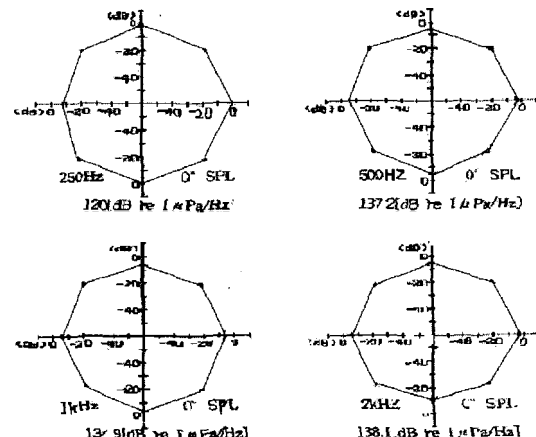


그림 11. 수중 스피커의 지향 특성
Fig. 11. The directional characteristics of underwater loudspeaker.

의 정면 측상을 기준으로 각 45° 방향에 하이드로폰을 이동시켜 방성음을 수음하였다. 수중 스피커는 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz의 정현파를 측정신호음으로 사용하고 측정수심과의 거리는 각각 5m로 하였다. 그림 11은 측정결과로 250Hz 신호음의 경우 스피커의 정면을 기준으로 하여 후면을 제외한 전방향으로 최고 약 4dB의 차가 있으며 후면의 경우 약 8dB의 차를 보였다. 다른 신호음도 비슷한 결과를 나타내고 있으며 500Hz의 신호음은 최고 약 3dB, 1kHz, 2kHz는 약 4dB의 차이를 나타내는 결과를 보여 전체적으로 무지향성을 나타냄을 알 수 있다.

3.2.3. 거리에 따른 특성

두 척의 배를 이용하여 수중 스피커를 수심 10m에 설

치하고 측정거리를 5m, 500m, 1km 거리에서 방성된 음을 수음하는 동시에 헤드폰으로 신호음을 확인하였다. 신호음으로 대중가요 양희은의 「작은배」를 선택하였으며 이는 음성신호의 에너지 분포가 5kHz이내의 주파수 대역에 집중되어 있으며 전파거리가 멀어짐에 따라 주위 수중소음과 구별하기 위함이다. 수음된 신호의 주파수에 대한 파워스펙트럼은 그림 12로 나타내었다. 5m 거리의 신호분석 데이터에서 원음인 입력신호와 방성된 음을 수음한 출력신호의 주파수 특성을 비교해 보면 거의 일치하며 측정거리 1km의 경우 전파거리가 멀어짐에 따라 음파의 감쇠, 경계층에서의 반사와 간섭, 수중 소음의 영향 등으로 상당한 차가 나타났으나 수신음을 헤드폰으로 직접 청취한 결과 노래가사를 정확히 판별할 수 있을 정도로 음이 방성됨을 확인할 수 있었다.

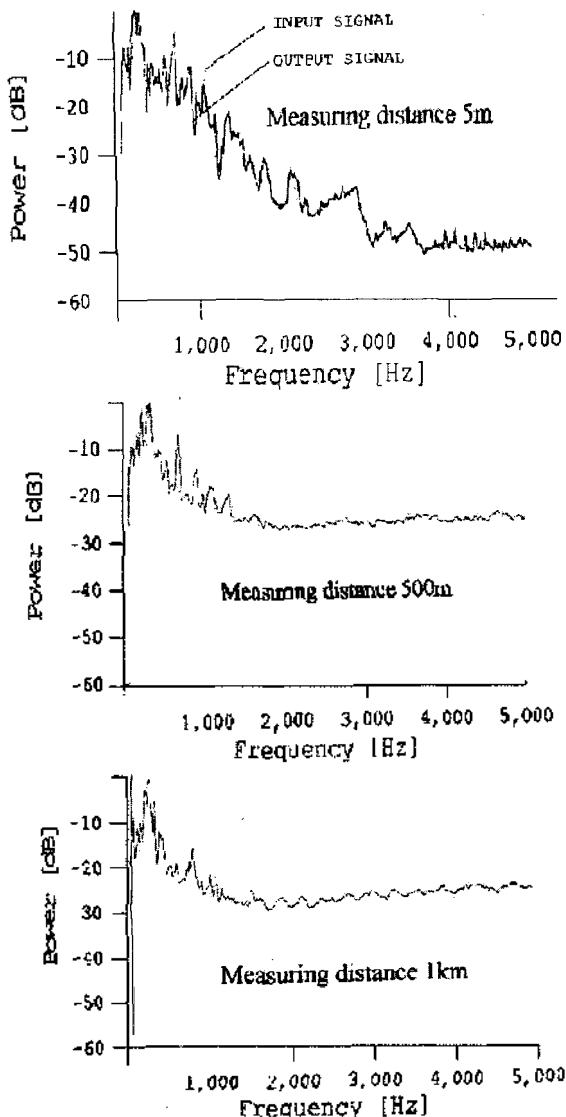


그림 12. 전파거리에 따른 파워스펙트럼
Fig. 12. The power spectrum vs propagation distance.

IV. 결론

본 연구에서는 어류 유집과 구집용 수중 스피커의 개발에 있어서 먼저 어류가 음향 신호에 반응하는 주파수 대역과 음압레벨을 문헌 조사하였다. 그 결과 주파수 대역은 150Hz~3kHz, 음압레벨은 110dB~130dB의 범위에서 어류가 음향신호에 반응이 나타난 것으로 조사되었다. 주파수 사용대역과 음압레벨을 충족할 수 있는 사양에 의거하여 수중 스피커의 임피던스와 음향출력의 주파수 특성에 대해 등가회로 계산법을 기술하였다. 공기중에서 수치해석한 수중 스피커의 전기임피던스 특성은 629Hz 부근에서는 반공진이 발생하며 임피던스의 크기는 78 Ω이다. 수중의 경우는 공기중에 비해 반공진주파수는 저역으로 천이하고 반공진시 임피던스 크기는 감쇠되어 159Hz, 22 Ω으로 나타났다.

등가회로 해석법에 의해 전기임피던스 곡선중 음을 발생하기 시작하는 반공진주파수를 100Hz 근방에 생기도록 수중 스피커의 진동판 후부의 공동과 수압평형기인 고무벨로즈 용적 등을 최적의 치수가 되도록 설계사양의 결과를 얻었다.

설계 제작된 수중 스피커는 해상실험에 앞서 가압 압력이 약 10기압 정도의 비압축성 수압챔버를 만들어 수중 스피커가 구동할 때의 안정성, 수밀성 등에 관하여 조사하였다. 수압챔버 내의 실험은 수중 스피커를 설치하고 전면의 약 50cm 거리에 하이드로폰을 설치하여 압

력변화에 따라 진동판이 구동할 때 파손여부에 대한 안정성 평가와 전기임피던스 변화에 대하여 조사하였다. 그 결과 진동판이 구동할 때 진동판의 안정적으로 진동하고 전기단자 및 진동판 후부에 설치한 수압조절용 고무벨로즈 등의 수밀성도 양호하였다.

수중 스피커를 실음장인 해상에서 실험하여 그 제반 특성을 분석하였으며 그 결과 재생 주파수 대역 80~4.8kHz에서 ± 10 dB 범위에 주파수 특성을 나타내었고 음향출력은 약 130~150dB이며 거리에 따른 평가에 의해 수평적 전파거리를 조사하여 1km의 거리에서도 음이 전파됨을 확인하였다. 또한 지향특성 평가에서 무지향 특성을 나타내어 본 연구에서 목적으로 하는 어류가 반응하는 주파수 대역과 음향출력을 만족하는 특성을 얻었다. 따라서 향후 바다 목장화 사업, 그리고 음에 반응하는 주요 어종의 유집 및 구집에 사용할 수 있다고 사료되어 널리 활용할 것을 기대한다.

감사의 글

본 연구는 1998년도 해양수산부에서 시행한 수산특징 연구 개발사업에 의한 연구비 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. SPC(島田理化工(株)), "저주파 음원용 수중스피커 설명서," 1-17, 1984.
2. 이창현, "가동코일형 Drive unit를 이용한 수중확성기의 주파수 특성," 한국어업기술학회지 31 (1), 25-32, 1994.
3. 박순중, 김 무준, 김 전덕, "구형 베플상의 피스톤 음원에 대한 방사임피던스 계산," 한국음향학회지 22 (1), 54-60, 2003.
4. 老松建成, "水中にある聴感特性," 日本音響學會講演論文集, 1159-1160, 1994.
5. 서 옥두, "가청 수중음에 대한 오징어 어군의 위집," 한국어업기술학회지 31 (3), 220-227, 1995.
6. 間庭受信, "海中生物の鳴音の例と水中音に対する反應の實驗と實用例," 月刊海洋科學 16 (5), 285-290, 1984.
7. 추 해대, "음향어법연구-I, 방어와 말쥐치의 식이음에 관하여," 수진원 연구보고 34, 151-155, 1985.
8. 추 해대, "음향어법연구-II, 수조에서 어류의 음향반응에 관하여," 수진원 연구보고 42, 105-117, 1988.
9. 김 동수, "어류의 식이음과 그에 대한 반응," 한국어업기술학회지, 18 (2), 71-75, 1982.
10. 山口正男, "養殖の基礎と實例," 恒星社厚生閣, 357-359, 1978.
11. 여동은, 조성일, 심동연, 김천덕, "혼유니트와 알루미늄 진동판을 이용한 수중음향 방사체에 관한 연구," 한국음향학회 영남지구 학술발표회 논문집, 51-55, 1996.

저자 약력

• 이 채 봉 (Chai-Bong Lee)



1985년: 동아대학교 전자공학과 (학사)
1988년: 동북대학 전기 및 통신 전공 (석사)
1992년: 동북대학 전기 및 통신 전공 (박사)
1993년~현재: 동서대학교 정보시스템공학부 부교수
※주관심분야: 전기음향

• 김 천 덕 (Chun-Duck Kim)

한국음향학회 제22권 제8호 참조