

혼유니트와 알루미늄 진동판을 이용한 수중음향 방사체에 관한 연구

A study of Underwater Acoustic Transducer using Horn Driver Unit and Aluminum diaphragm

여등은* , 조성일** , 심동현** , 김천덕**
*부경대학교 음향진동공학과 , **부경대학교 전기공학과

Dong-Eun Yeo* , Sung-Il Cho** , Dong- Youn Sim** , Chun-Duck Kim**
* Dept. of Interdisciplinary Program of Acoustics and Vibration, Pukyong
** Dept. of Electronic Eng. Pukyong

요약

수중에서 가청주파수 대역에서 평탄한 수중음향 방사체의 제작을 목적으로 두고 사전 조사로서 알루미늄 진동판과 혼스피커 유니트를 이용하여 수압에 대한 영향과 구동전기계의 절연 문제등을 고려하여 설계 및 제작하였다. 수조와 해양의 20m수심층에서 음향신호의 방사실험 결과는 본 연구에서 설계·제작된 수중음향 방사체가 수압의 영향을 받으므로 이 영향을 고려하여 스피커의 후면에 설치한 공기주머니의 공기량에 따라 음향특성이 다르게 나타남을 확인할 수 있었다.

1. 서론

수중은 대기중에 비해 매질의 밀도가 약 850배이므로 파장이 짧은 매개체로서는 정보의 전달이 어려우므로 수중 정보전송에 일반적으로 음파를 가장 많이 이용하고 있다. 수중에 있어서 음파의 파장은 공기중의 약 5배 정도이며, 음향임피던스는 공기의 약 10^4 배로 되어 있으므로 수중음향기기의 설계에 있어서 대기중의 소리에 대한 성질을 그대로 적용할 수 없다.

상술한 상기의 환경에서 음의 방사가 가능한 전기음향 변환기로는 자계중에 설치해둔 가동코일에 의해서 진동판을 구동하는 직접방사 동전형 송파기와 자기력으로 공진진동판을 구동하는 자기송파기, 자외성 재료를 이용한 자외식송파기, 역압전 효과에 의해 발생한 기전력을 이용하는 수정송파기등 여러종류의 전기음향 변환기가 있다. ^{1) 2)} 수중에서 음의 방사를 목적으로 하는 전기음향 변환기는 해수로 인한 부식이나 수심에 따른 수압의 영향 그리고 구동전기계의 절연등의 문제가 중요시 되고 있다.

본 연구는 대기중과는 다른 물리적 성질을 가지며, 수심에 따른 압력의 영향이 많이 미치

는 해양중에서 가청주파수 대역의 특성이 평탄한 실험용 수중음향 방사체(이하 수중스피커라 명함)의 제작에 목적을 둔다. 사전 조사로서 알루미늄 진동판과 대기 중에 사용되는 혼스피커 유니트를 이용하여 수중스피커를 설계·제작하고, 수조와 해양실험을 통하여 주파수 특성을 분석하였다.

2. 실험용 수중스피커의 설계 및 제작

실험용 수중스피커의 전체 구성도는 그림1과 같다. 외장 케이스는 알루미늄으로 되어 있고 전체 크기는 직경 $\phi 210\text{mm}$, 길이 240mm이다. 음을 방사하는 방사원으로는 일반 혼스피커의 유니트를 사용하였다. 해수가 혼유니트의 진동판에 직접 영향을 주지 않도록 하기 위하여 외부 진동판을 사용하고 그 방사면의 직경은 $\phi 80\text{mm}$ 이고 두께는 $200\ \mu\text{m}$ 인 알루미늄판으로 되어 있다. 혼유니트 진동판의 방사출력을 손실없이 외부 알루미늄 진동판에 전달시키기 위해 실리콘 오일을 충실재로 사용하였다. 실리콘 오일(한국신예초실리콘사의 KF96-50)은 25℃에서 비중이 0.96이고 음 전달속도는 약 1000m/s인 비압축성 매질이다.

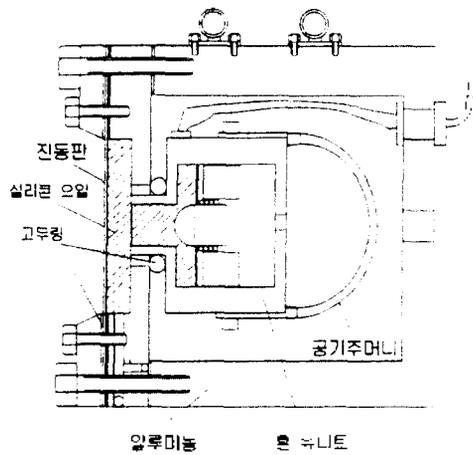


그림 1. 실험용 수중스피커의 전체구성도

해양에서 수심에 따라 약 4 lb/feet의 비율로 수압이 증가하므로 외부 알루미늄 진동판 및 혼유닛 진동판에 미치는 압력차를 제거하기 위하여 혼유닛 후면에 공기주머니를 부착하였다.

설계·제작된 스피커를 해양에서 후면 방사가 없는 직접방사형 스피커로 가정하고 외부 진동판에서 임의의 거리에서의 출력음압 레벨을 계산하였다.

외부진동판의 전체 기계임피던스는 식 (1)과 같다.³

$$Z = Z_m + 2Z_s \quad (1)$$

(1)식에서

$$Z_s = R_s + jX_s$$

$$= \pi a^2 \rho c \left[1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} - j \frac{K_1(2ka)}{2k^2 a^2} \right]$$

이며 $J_1(2ka)$ 는 제1차의 베셀함수, $K_1(2ka)$ 는 베셀함수의 변형 특수함수이다. Z_s 는 방사임피던스, Z_m 은 진동판의 기계임피던스이다. ρ 는 매질의 밀도, a 는 진동판의 반경, c 는 매질에서의 음속이다.

실효 진동속도치는 식(2)와 같다.

$$|V| = \frac{|F_m|}{|Z|} = \frac{|F_m|}{|Z_m + 2Z_s|} \quad (2)$$

여기서 F_m 은 진동판의 실효구동력이다

진동판의 음향출력 파워는 식(2)를 이용하여 식(3)과 같이된다.

$$W = R_s |V|^2 \quad (3)$$

임의의 거리만큼 떨어진 지점에서의 출력음압 p 는 진동판 전체에 대한 속도 포텐셜의 함수식(4)를 이용하면 식(5)와 같이 표현된다.

$$v = \frac{a^2 V e^{-jkr}}{2r} \quad (4)$$

$$P = \rho \frac{\partial v}{\partial t} = j \frac{\rho \omega a^2}{2r} V e^{-jkr} \quad (5)$$

식(5)에서 출력음압의 실효치는 식(6)와 같이 나타낸다. r 은 거리, k 는 파장상수이다.

$$P = \frac{\rho \omega a^2}{2r} \cdot V = \frac{\rho \omega a^2}{2r} \cdot \frac{F}{Z} \quad (6)$$

임의의 지점에서의 음압레벨(SPL: Sound Pressure Level)은 식 (7)과 같이 계산된다

$$SPL = 20 \log_{10} \left| \frac{P}{P_0} \right| \quad (7)$$

P_0 는 수중에서의 기준음압이다.

이 연구에서 설계한 스피커에 대하여 식 (7)을 이용하여 출력음압 레벨을 계산하였고 시뮬레이션 결과를 그림 2에 나타내었다

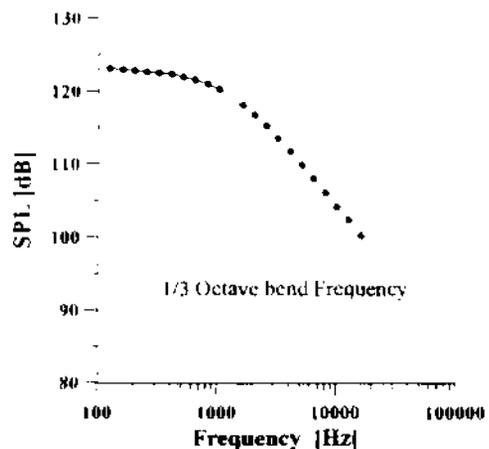
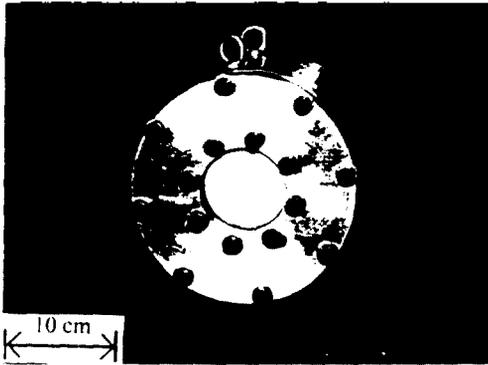


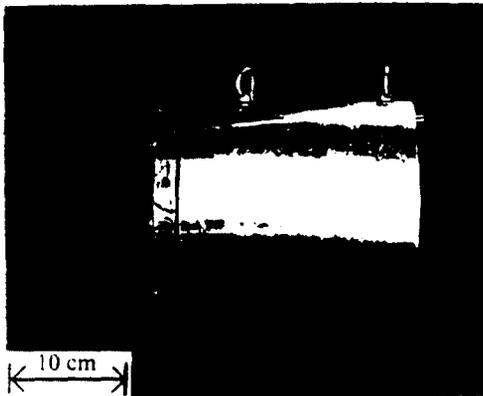
그림 2. 출력음압레벨의 시뮬레이션 결과

그림2에서 주파수가 증가함에 따라 음압레벨이 감소함을 나타낸다. 그리고 모든 감쇠성분이 충분히 고려되어지지 않았기에 음압레벨은 전체적으로 높게 나타났다.

상술한 설계지침에 따라 제작된 수중스피커는 그림 3에 나타낸다.



(a) 정면사진



(b) 측면사진

그림 3. 실험용 수중스피커의 실물사진

3. 수조에서의 수중스피커 방사특성

해양실험에 앞서 그림 4와 같은 콘크리트 간이용 수조에서 사전 특성조사를 행하였다. 수조의 크기는 가로 3m × 세로 3m × 높이 2m이다. 수중에서 스피커를 구동하기 위한 구동신호원으로 HP 8904A 신호발생기를 사용하였고 방사된 음의 측정에는 수중하이드로폰 88K 8101을 이용하였다. 수용된 신호는 디지털 오디오 테이프 레코드(Sony 57ES DAT)로 녹음하였다. 신호의 음향특성 분석은 그림 5와 같은 절차에 의하여 행했다.

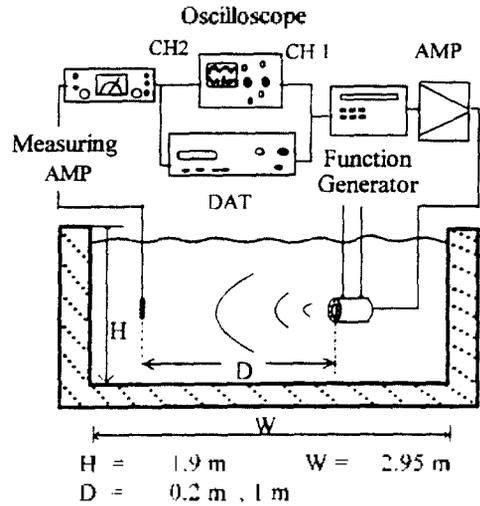


그림 4. 수조에서의 실험장치도

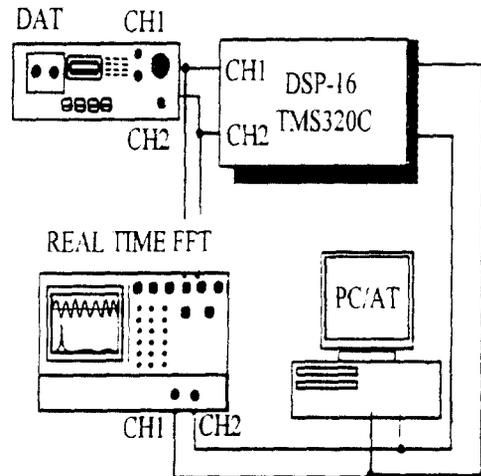


그림 5. 음향특성 분석방법의 개략도

수조에서의 음의 방사는 압력동화음 공기주머니를 대기압 상태로 만든후 실험을 행하였다. 주파수 1kHz인 정현파로 구동했을 때의 시간파형과 주파수 스펙트럼을 분석한 결과를 그림 6에 나타낸다.

주파수 스펙트럼에서 저주파의 영향과 그주파의 성분이 많은 것을 알 수 있다. 추측되는 이유로는 수조가 콘크리트로 되어 있어서 외부의 저주파 영향을 받기 쉽고 그 크기가 작기 때문에 반사음의 영향이 크게 미치는 것으로 사료된다

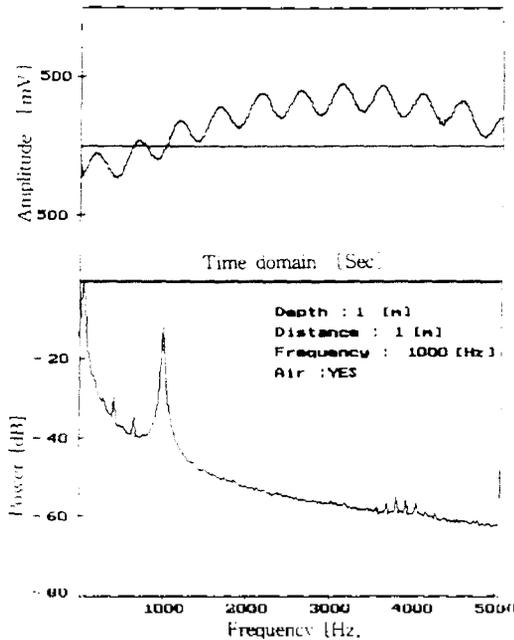


그림 6. 시간파형과 주파수특성 분석

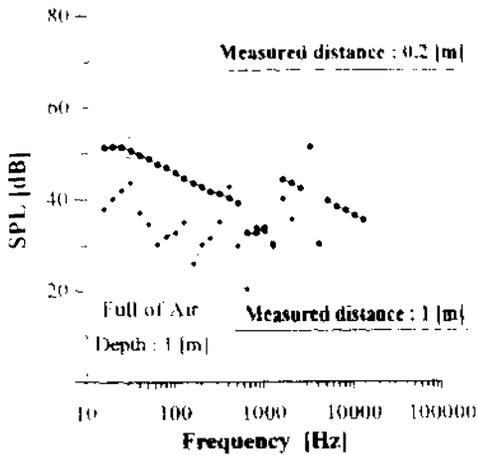


그림 7. 1/3옥타브간격의 출력음압 레벨

거리를 변화시켜 가면서 1/3 옥타브 주파수 간격으로 측정된 출력음압 레벨을 그림7에 나타낸다. 그림 7에서 거리 1m인 경우 주파수에 따른 출력음압 레벨이 평탄성을 나타내지 않는 것은 반사파의 영향으로 사료된다.

4. 해양에서의 수중스피커 방사특성

해양에서의 실험은 그림 8과 같은 방법으로

하였다. 수심 10m, 20m에 대해 공기주머니를 대기압 상태와 공기가 전혀없는 경우로 구분하여 실험을 행하였다. 실험장비는 수조에서의 실험과 동일하며, 분석방법 또한 동일하다

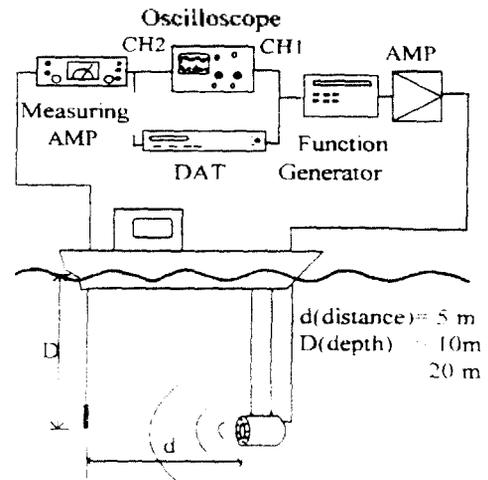


그림 8. 해양에서의 실험방법 개략도

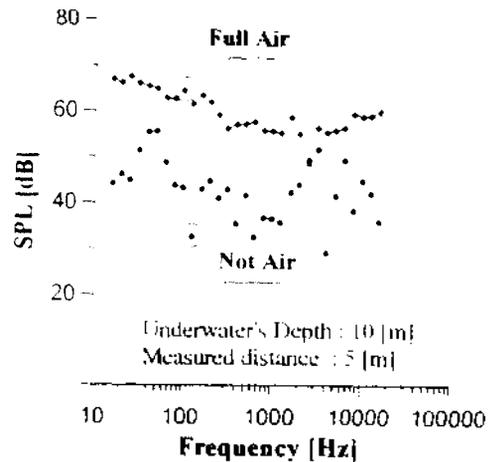
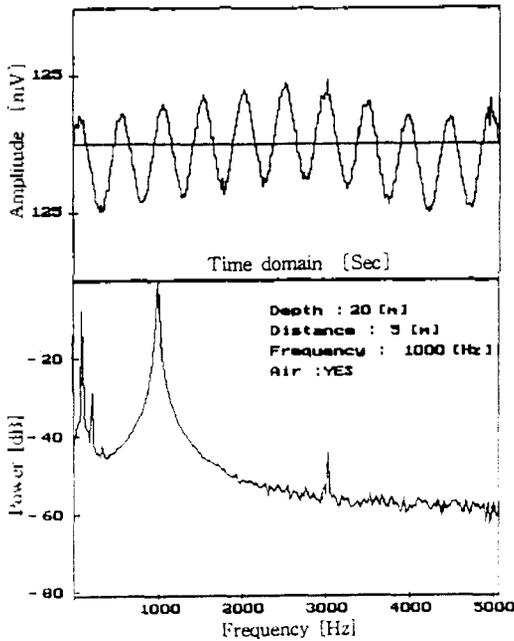


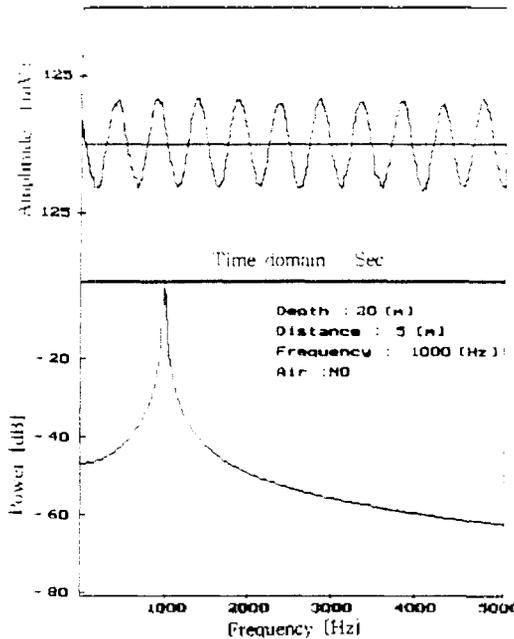
그림 9. 해양의 수심10m, 거리 5m의 SPL 특성

수심 10m, 측정거리 5m에서 1/3 옥타브밴드 주파수 간격으로 신호음을 방사하고 수음된 신호를 SPL로 환산하여 그림9에 나타내었다. 그림9는 공기주머니의 상태변화가 수중스피커의 출력음압에 영향을 주고 있는 것을 잘 나타내고 있다.

수심 20m, 측정거리 5m이고 공기주머니의 공기량을 대기압, 공기가 전혀없는 상태로 구분하여 주파수 1m인 정현파로 구동했을 때 측정된 시간파형과 주파수 스펙트럼 결과를 그림 10에 나타내었다



(a) 대기압



(b) 공기가 전혀 없을 때

그림 10. 공기주머니의 공기량에 따른 수중스피커의 특성변화

공기주머니의 상태가 대기압일 때 시간파형

과 주파수특성에서 입력신호 이외의 저주파와 고주파가 관찰되었고 공기가 없는 상태의 실험 결과에서는 이들 주파수성분들이 관찰되지 않음을 알 수 있다. 상기의 결과로부터 공기주머니의 공기가 없을 때는 수심에 따른 수압과 수중스피커 내부의 압력차에 의해 외부 진동판이 초기변형을 일으킨다. 이와 같은 경우에도 입력신호음의 방사는 가능하지만, 진동판의 구동에 많은 구동력의 손실이 생기므로 그림9의 결과에서 나타나듯이 출력음압이 낮고 주파수에 따른 많은 굴곡이 나타난다. 그러나 공기주머니의 상태가 대기상태와 동일할 때는 수압에 대한 수중스피커의 진동판에 미치는 외부압력과 내부압력이 동압력이 되어지므로 구동력에 의한 진동판의 자유로운 진동이 이루어 지고 또한 진동판이 가지는 여러가지 구동모드가 저주파나 고주파의 형태로 나타나는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 수중에서 가청주파수 대역의 음을 충분히 방사할수 있는 수중스피커의 설계 및 제작에 필요한 기초자료를 마련하고자 여러가지 실험을 행하였다. 수조에서의 실험과 해양 실험을 통하여 공기주머니의 상태변화가 수중스피커의 특성에 영향을 미치는 것을 알 수 있었고 공기주머니의 압력이 대기압과 동일할 때 최적조건임을 찾아 내었다.

앞으로 연구진행 방향으로는 진동판의 재질, 크기 및 모양등을 변화시켜 가며, 계산기상의 시뮬레이션을 통하여 최적 음향특성을 가지는 수중스피커를 설계하고 그에 따라 제작 및 실험을 행할 예정이다.

< 알림 >

이 연구는 수산특정 연구·개발 사업과제의 일환으로 연구개발비를 지원받고 있으며, 이 실험에 연구장비를 지원해주신 거창수산진흥청 분들께 심심한 감사를 포함합니다.

<참고문헌>

- [1] 김상한 "응용음향학" 태화출판사 1981
- [2] 차일환 "음향공학개론" 한신문화사 1980
- [3] 川村 雅哉 "電気音響工学概論"