

무향 수조의 설계 기법 및 초음파 영역에서의 음향학적 특성

°김시문*, 임용곤*, 이종무*, 박종원*, 최영철*

The design technique of the underwater anechoic basin in KRISO and its acoustic characteristics in ultrasound region.

°Sea-Moon Kim, Yong-Kon Lim, Chong-Moo Lee, Jong-Won Park, and
Young-Chol Choi

ABSTRACT

In order to verify the performance of acoustic-based communication systems, a reliable check-up method is needed, which simulates similar oceanic conditions in low cost. One of the possible candidates would be the performance test in an underwater anechoic basin producing no reflecting waves. For this purpose KRISO (Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering) have constructed an underwater semi-anechoic basin from 1999 to 2001. This paper describes its design procedure, especially, how the material and size of the absorbing walls were chosen. Experiments were also performed to check its anechoic quality. Comparing the results with simple analytical results we concluded that the anechoic basin is working well for some selected frequency ranges.

1. 서론

수중에서는 광파 및 전자파의 급격한 감쇠 특성으로 인하여 음파를 주된 정보 전달 매체로 사용하고 있다. 그러나 음파의 전파 특성은 시공간상으로 변화하는 온도, 압력, 염도의 분포 등에 의해서

큰 영향을 받을뿐만 아니라 수중내에 존재하는 부유물 및 수면과 바닥면에 의한 산란 효과에 의해 수중 통신 신호의 왜곡 현상이 발생한다. 이러한 복잡한 수중 환경에 사용할 수 있는 초음파 통신 시스템을 개발하기 위해서는 최종적으로 실험실에서 그 성능을 검증하여야 하나 그 전에 작은 규모의 수조

* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소 (KRISO)

에서 기본적인 성능에 대한 시험이 이루어져야 한다. 그러나 수조에서의 시험은 비용과 시간이 적게 드는 반면에 벽면에 의한 많은 반사파로 인하여 정확한 해석에 어려움을 갖고 있다. 이러한 이유로 인해 한국해양연구원에서는 무향 수조의 필요성을 인식하게 되었으며 5면이 원뿔형의 흡음 벽면으로 이루어진 무향 수조를 제작하였다. 본 논문에서는 무향 수조 설계에 필요한 흡음 재료 및 치수의 검토 과정을 소개하고 주파수 및 시간 영역에서 해석한 무향 성능 시험 결과에 대하여 논하고자 한다.

2. 무향 수조 설계 기법

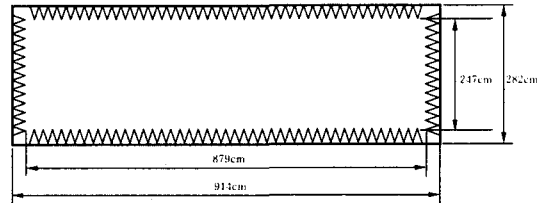
2.1. 흡음 벽면 재료

흡음 물질로 사용되는 재료로는 다공성 재생고무, 우레탄 폼, 알루미늄 폼 등이 있다. 이중 다공성 재생고무는 구조물 내에서의 감쇠에 의한 효과와 공극 내 유체의 점성 및 마찰에 의한 효과가 결합되어 우수한 흡음 성능을 가지고 있으며[1,2]. 또한 재생 고무를 활용한다는 환경적인 측면에서도 장점을 가지고 있어 무향 수조 흡음 벽면의 재료로 선정하였다[3,4]. 실제 흡음재 제작시 사용된 재료는 재생용 차 타이어에서 추출하였으며 이때 넓은 주파수 영역에서 좋은 흡음 성능을 갖는 0.35-5.0mm의 직경의 알갱이를 사용하였다[1]. 제작 방법을 설명하면, 먼저 추출된 알갱이들과 중합제가 가미된 접착제를 완전히 혼합하였으며, 미리 제작한 틀에 넣어 압력을 가하여 경화시킨 후, 압력을 해제하여 굳어진 샘플을 추출하는 방법을 사용하였다[3].

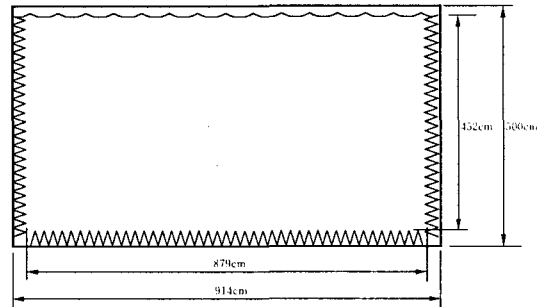
2.2. 형상 및 치수

무향 수조는 Fig. 1(a)와 (b)에서 보는 바와 같이 가로 914cm, 세로 282cm, 깊이 500cm되는 여유 공간을 사용하였다. Figure 1(c)는 제작된 무향 수조의 사진을 나타낸다. 흡음 벽면의 형상으로는 쐐기(wedge)형과 원뿔형 등이 주로 사용되는데 경제적인 측면을 고려하여 적은 재료가 사용되는 원뿔형

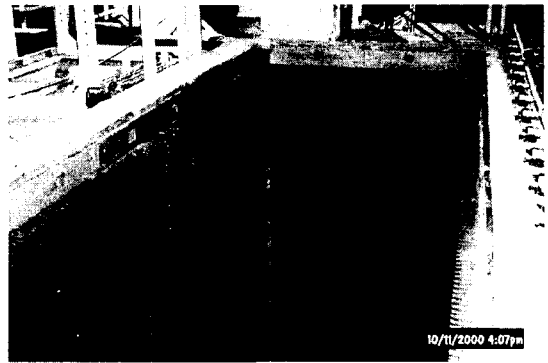
을 선택하였다. 원뿔의 길이는 최저 관심 주파수(3kHz)에 해당되는 파장(48cm)의 약 1/4인 12cm로 하였으며($c=1447\text{m/s}$, 20°C) 경사 각도는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 수직 입사시에 최고 6회의 반사가 일어나는 15도로 설정하였다.



(a) Top view



(b) Side view



(c) Photograph

Fig. 1 The underwater anechoic basin in KRISO

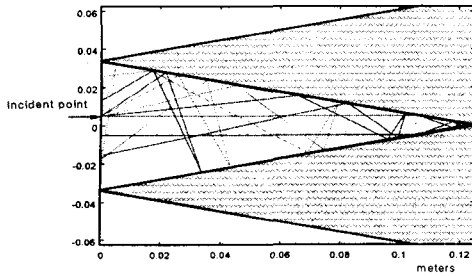


Fig. 2 Two dimensional analysis of reflecting waves for an absorbing wall with a wedge angle of 15°

3. 무향 수조의 음향학적 특성

무향실이 갖추어야 할 기본적인 음향학적 특성으로는 낮은 압소음 레벨, 적은 반사파 에너지 등을 들 수 있다. 따라서 제작된 무향 수조의 성능을 살펴보기 위하여 다음과 같이 배경 잡음, 주파수 영역에서의 응답 특성, 시간 영역에서의 반사파 등을 측정하였다.

3.1. 배경 잡음 (background noise)

무향수조 내에서의 정확한 실험 결과를 위해서는 신호대 잡음비(SNR)가 커서 구동된 소음원에 의한 신호가 배경 잡음의 영향을 받지 않아야 한다. ISO 3745에 규정되어 있는 바에 의하면 관심주파수 영역에서 12dB 이상의 신호대 잡음비를 요구하고 있다[5]. 따라서 무향실 내의 배경 잡음이 어느정도 인지를 살펴볼 필요가 있다. 본 연구에서는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 하이드로폰(hydrophone)을 우측 1/4정도에 위치시키고 128Hz간격으로 102.4kHz까지의 배경 잡음을 측정하였다. Fig. 4는 배경 잡음의 음압 레벨을 보여주고 있으며 이때 $1\mu\text{Pa}$ 의 기준음압을 사용하였다. 결과에서 알 수 있듯이 62.08kHz에 피크가 나타나는데 이는 하이드로폰에 연결된 신호증폭기에 의한 영향임을 확인하였으며 이를 제외하고는 50dB 미만의 값을 가짐을 알 수 있다. 따

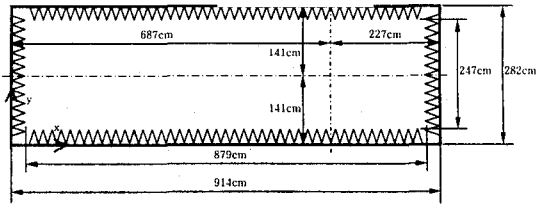


Fig. 3 Position of the hydrophone that measures background noise: $(x,y,z) = (687\text{cm}, 141\text{cm}, -194\text{cm})$

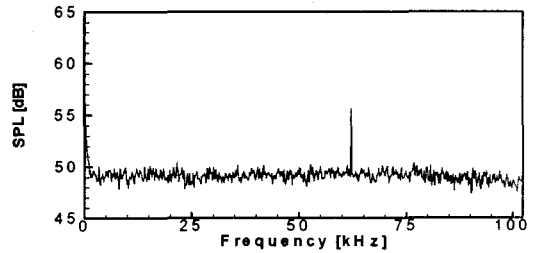


Fig. 4 Background Noise ($\Delta f=128\text{Hz}$, reference pressure: $1\mu\text{Pa}$, The peak at 62.08kHz was caused by the charge amplifier that is connected to the measuring hydrophone)

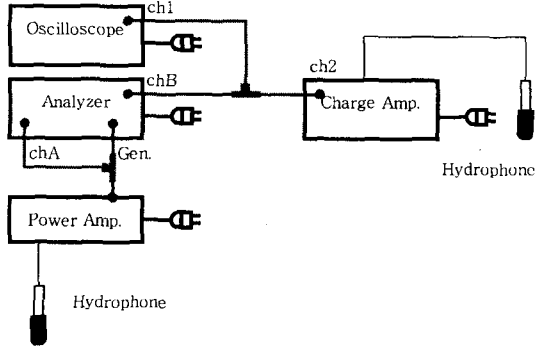
라서 최소 약 62dB 이상의 음압 레벨의 측정이 이루어졌을 시에 ISO 규격에 충족함을 알 수 있다.

3.2. 주파수 응답 함수 (frequency response functions)

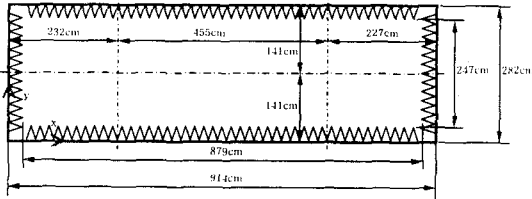
실내 벽면 반사 계수가 큰 경우 특정 주파수에서 공진이 일어나며 여러 주파수에서 피크를 가지는 주파수 응답 특성을 얻는다. 이와는 반대로 무반사 조건에서는 크기가 일정한 주파수 응답 결과를 얻으므로 무향 성능을 가늠해 보는 방법으로 주파수 응답 함수를 구하는 방법을 생각할 수 있겠다. 이를 위해 Fig. 5(a)와 같은 실험장치를 구성하였다. 음원의 가진 및 수음시 같은 종류의 압전형 하이드로폰을 이용하였으며 음원의 가지는 백색 잡음(white noise)이 되도록 하였다. Fig. 5(b) 및 (c)는 측정시

하이드로폰의 위치 및 측정 장면 사진을 보여주고 있다.

Figure 6은 실험 결과로서 0-64kHz 영역에서 주파수 응답 함수의 크기 및 위상을 나타내고 있으며



(a) Diagram of the equipment system

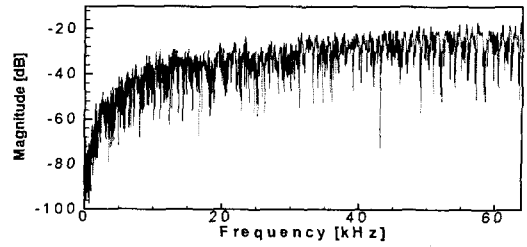


(b) Positions of the hydrophones (left one is an acoustic source and right one is an acoustic sensor)

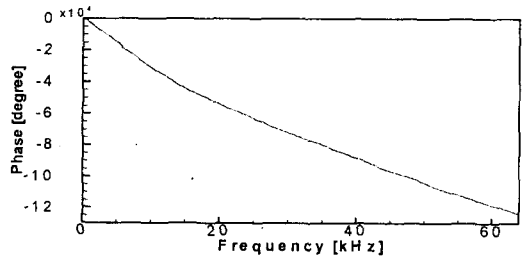


(c) Photograph

Fig. 5 Experimental set-up for the measurement of frequency response functions

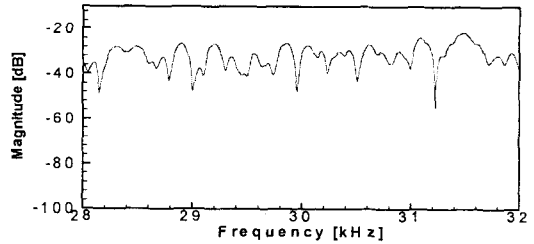


(a) Magnitude

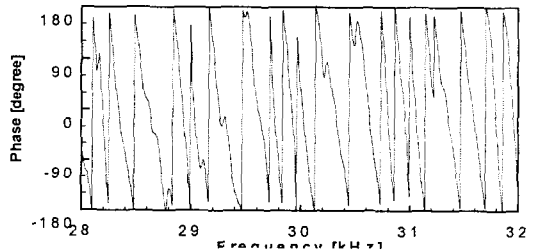


(b) Unwrapped phase

Fig. 6 Experimental results: frequency response function (frequency: 0 - 64kHz, $\Delta f=8\text{Hz}$)

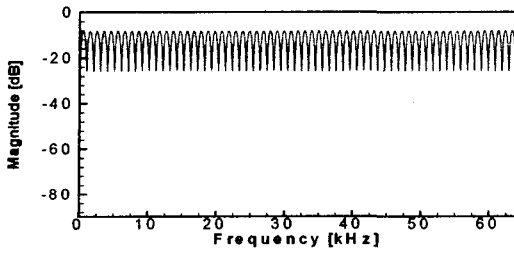


(a) Magnitude

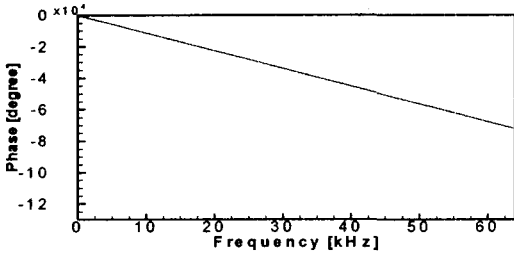


(b) Phase

Fig. 7 Experimental results: frequency response function (frequency: 28 - 32kHz, $\Delta f=8\text{Hz}$)

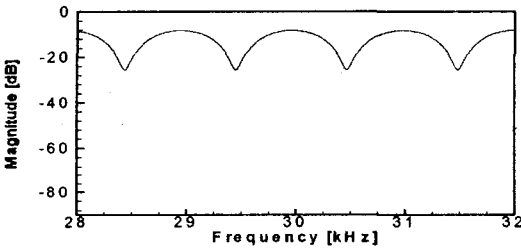


(a) Magnitude

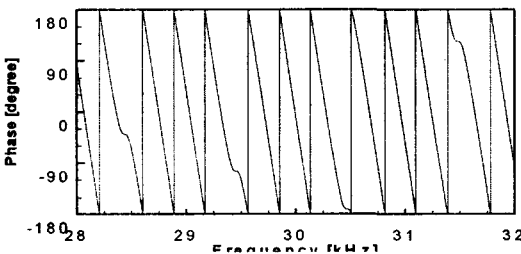


(b) Unwrapped phase

Fig. 8 Simulation results: frequency response function (frequency: 0 - 64kHz, $\Delta f=1\text{Hz}$)



(a) Magnitude



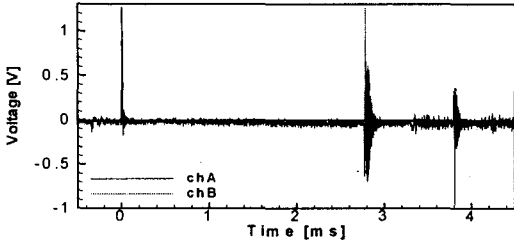
(b) Phase

Fig. 9 Simulation results: frequency response function (frequency: 28 - 32kHz, $\Delta f=1\text{Hz}$)

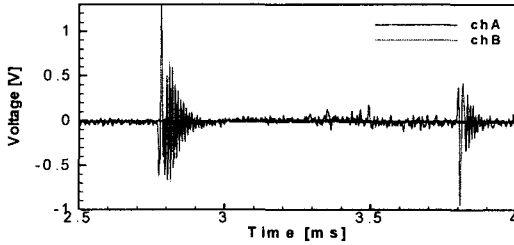
Fig. 7은 28-32kHz 영역만을 확대해서 보여주고 있다. 음원이 전 주파수 영역에서 일정한 반응을 가진 단극 음원이고 전무향성 조건을 만족하는 무향 수 조라면 주파수 응답 함수는 일정한 크기를 가지며 위상은 주파수에 비례하여 감소한다. 그러나 한 벽면에서 반사가 일어나는 경우 반사파에 의한 영향으로 인하여 왜곡이 발생한다. Figure. 8과 9는 표면에서 완전반사가 일어난다는 가정 하에 얻은 모의 실험 결과인데 크기는 일정한 간격($\Delta f=c/\Delta r$, 직접파와 반사파의 경로차에 해당되는 간격)을 가진 작은 굴곡이 나타나며 골에 해당되는 주파수에서의 위상 변화가 심하게 일어나는 것을 알 수 있다. 실험 결과에서도 이와 유사한 경향이 나타나며 이는 표면 반사에 의한 효과로 인한 것임을 의미한다. 다만 모의실험과 차이점을 보이는 것으로 크기가 저주파 영역에서의 작게 나타나며 굴곡의 모양이 일정하지 않다. 또한 저주파 영역에서의 위상의 기울기가 보다 급격한 것을 알 수 있다. 이는 저주파에서의 음원의 가진이 효과적으로 일어나고 있지 않으며 벽면에서의 반사파에 의한 영향이 나타나고 있음을 의미한다. 이 결과는 시간 영역에서 얻은 반사파로부터도 알 수 있다.

3.3. 시간 영역에서의 반사파 해석

Figure 5와 같은 실험 조건에서 임펄스 가진을 주어 응답 특성을 구하고자 하였다. Figure 10은 이때 얻은 결과로서 입력 신호와 음압 신호를 동시에 보여주고 있다. 임펄스 가진 후 약 2.75ms 후에 최초 응답이 나타나며 약 3.81ms에서도 보다 작은 응답이 나타난다. 최초 응답은 음원으로부터 직접 전달된 파를 나타내며 두 번째 응답은 표면에서 반사된 파를 나타낸다. 이는 음원과 수음 장치의 위치 및 음파의 전달 속도로부터 계산된 결과로부터 확인할 수 있다. 또한 수음 장치의 위치를 변화시켜 가면서 측정하여 확인하였다. 반사파는 직접파와 반대의 위상을 가지고 있음을 알 수 있는데 이는 표면에서 180도의 위상 반전된 반사파가 발생하기 때문이다. 약 3.3ms이후에 신호보다는 작지만 배경 잡



(a) -0.5 - 4.5ms ($\Delta t=0.05 \mu s$)



(b) 2.5 - 4.0ms ($\Delta t=0.05 \mu s$)

Fig. 10 Response function in the time domain for the anechoic basin

음보다는 큰 음압이 존재하는 것을 알 수 있는데 이는 벽면으로부터 반사되는 파에 영향으로 추측된다. 그러나 그 크기가 원래 신호에 비해서는 아주 작은 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

해양연구원에서 제작한 무향 수조의 제작 기법 및 음향학적 특성에 대하여 살펴보았다. 벽면 흡음 재료로는 타이어를 재활용한 다공성 재생고무를 이용하였으며 원뿔 형상으로 제작하였다. 원뿔의 경사 각도는 수직 입사시 6회의 반사가 가능하도록 15도로 선정하였으며 원뿔 길이는 3kHz 이상에서 사용할 수 있도록 약 12cm가 되게 하였다. 음향학적 특성 시험 결과 배경 잡음은 50dB 미만임을 확인하였으며 반사는 표면에 의한 것이 가장 크게 나타나고 벽면에 의한 것은 무시할 정도로 작게 나타남을 확인하였다. 최종적으로 표면 반사가 일어나는 환경에서 수중 초음파 통신 시스템의 검증에 적합한 환경

을 가지고 있음을 확인하였다.

현재 제작된 무향 수조의 상면에도 흡음 벽면을 설치할 계획에 있으며 이로써 표면 반사 효과도 제거하여 완전 무향 조건에서의 수중음향 실험이 가능하게 할 예정이다.

후기

본 연구결과는 한국해양연구원에서 수행한 기관 고유 사업인 “수중 음향수조 시험기법 개발” 및 민간 겸용기술 사업인 “초음파를 이용한 수중 영상정보 전송기술 개발” 연구결과와 일부임을 밝힙니다.

참고문헌

- (1) Swift, M. J., Bris, P., and Horoshenkov, K. V., 1999, "Acoustic absorption in re-cycled rubber granulate," *Applied Acoustics*, Vol. 57, pp. 203-212.
- (2) Allemon, P., and Hazebrouk, R., 1996, "Influence of pore-size distribution on sound absorption of rubber granulates," *Inter-Noise 96 - The International Congress on Noise Control Engineering, Liverpool, Proceedings*, pp. 927-930.
- (3) 음향파 거동 해석 기법을 이용한 수중 초음파 시스템 시험기법 개발, 1999, 한국해양연구원 연구보고서 UCNE 99914-2203.
- (4) 임용곤, 이종무, 박종원, 2000, "무향수조 설계 기법 연구," 한국해양정보통신학회 2000년도 춘계학술대회 논문집, Vol. 4, pp. 371-377.
- (5) ISO 3745:1977 Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources - precision methods for anechoic and semi-anechoic rooms