

# 무향 수조 내에서의 음파 전파 특성 연구

김시문\* · 최영철\* · 박종원\* · 임용곤\*

\*한국해양연구원 해양시스템안전연구소

## Wave Propagations in the Underwater Anechoic Basin in KRISO

Sea-Moon Kim\* · Young-Chol Choi\* · Jong-Won Park\* · Yong-Kon Lim\*

\*Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering (KRISO), KORDI

E-mail : smkim@kriso.re.kr

### 요 약

수중에서는 광파 및 전자파의 급격한 감쇠 특성으로 인하여 원거리 수중 통신을 위해서 음파를 주로 사용한다. 그러나 음파의 전파 특성은 시공간상으로 변화하는 해수의 온도, 압력, 염분 등에 따라 큰 영향을 받기 때문에 신호의 왜곡 현상이 발생하며 보다 정확한 정보 전달을 위해서는 신호 왜곡에 대한 현상을 반드시 파악하여야 한다. 본 논문에서는 실험실에서의 적용에 앞서 기본적인 해석으로서, 무향 수조 내에서의 가청주파수 영역 및 통신에 주로 사용되는 초음파 영역에서의 전파 특성을, 특히 신호 왜곡에 가장 큰 영향을 미치는 표면 반사에 대한 특성을 시간영역과 주파수 영역에서 분석 비교를 수행하였다.

### ABSTRACT

Because of rapid damping of light and electromagnetic wave, acoustic wave has been widely used for underwater communication. However, the propagation of the acoustic wave is highly dependent on the environment: such as water properties(temperature, pressure, salinity), bottom and surface conditions, etc.. This paper deals with the surface reflection effect on the wave propagation in the underwater anechoic basin in KRISO. Both theoretical and experimental approaches are performed and the results are compared.

### 키워드

무향 수조, 음파 전달, 표면 반사, 신호 왜곡, 초음파

I. 서 론수중 채널에서의 음파 전달 특성을 결정짓는 인자로는 시공간상으로 변화하는 음파 전달 속도, 다중 경로를 초래하는 바닥 및 표면에서 음향 경계 조건, 수중 내에 존재하는 부유물의 산란 특성등이 있다. 그러나 위치에 따라 시시각각 변화하는

주위 환경을 고려하여 음파 전달 특성을 파악하기란 쉽지 않다. 따라서 실험실에서의 수중 음향 통신 장치의 검증은 수행하기에 앞서 기본적으로 주위 환경이 제어 가능한 공간 내에서 이루어져야 한다. 이를 위하여 해양연구원에서는 무향 수조를 제

작한 바 있다[1,2].

본 연구에서는 제작된 무향 수조 내에서 주파수 및 거리에 따라 음장 분포 및 음파가 전달되는 특성을 파악하고자 하며 특히 신호 왜곡에 가장 큰 영향을 미치는 표면에서의 반사파에 대한 영향을 살펴보고자 한다. 이를 위하여 이론적인 해석 및 실험을 수행하였으며 그 결과를 비교하였다.

II. 이론적 해석

현재 한국해양연구원의 무향 수조는 수면을 제외한 5면에 흡음 벽면 처리를 하였다. 무향 특성 실험 결과[3] 흡음 벽면으로부터의 반사파의 크기는 원래의 신호에 비해서 무시할 정도로 작음을 확인하였다. 그러나 표면에서의 반사는 음장 형성 결과에 큰 영향을 미치고 있다. 이는 두 개로 서로 다른 매질(공기와 물)이 접하고 있는 것으로 모델링 할 수 있으며 두 매질 사이의 밀도 및 음파 속도가 큰 차이가 나므로 공기와 접하는 물의 경계조건은 자유 면(pressure-release surface)으로 근사화시킬 수 있다[4]. 이와 같이 3차원 공간 내에서 자유 경계 조건을 만족하는 벽면에 음파가 입사되는 경우 180도 위상이 반전된(반사계수: -1) 반사파가 발생한다[5]. 이는 벽면을 기준으로 대칭되는 위치에 180도의 위상 차이를 보이는 동일한 음원이 있는 것과 동일한 결과를 나타낸다.

그림 1은 무지향성 단극 음원(non-directional monopole source)이 (x,z)=(4m,-1.87m)의 위치에서 1kHz의 주파수로 가진되고 있는 경우에 대한 음장 방사 형태를 보여준다. 음원 근처에서는 음원의 영향이 강해 원형의 방사 형태를 보여주고 있으나 음원에서 멀어질수록 상대적으로 표면 반사파의 효과가 강해

복잡한 음장 분포를 가진다.

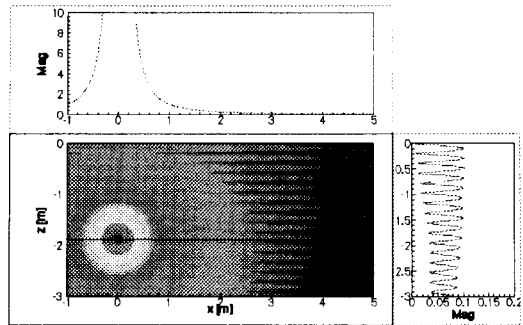


그림 5. 단극 음원이 존재하는 경우의 음압 크기 분포 (음원의 위치: (x<sub>s</sub>,z<sub>s</sub>)=(0m,-1.87m), 표면: z=0m, 음파전달속도: 1453m/s, 주파수: 1kHz)

그림 2는 (x,z)=(4m,-1.87m)의 위치에서 주파수에 따른 음압의 크기 및 위상을 나타낸다. 그림 3은 이를 30kHz 주변을 확대하여 나타낸 그림이다. 반사파가 없는 경우와의 비교를 위해서 그림에 같이 나타내었다. 음압 크기를 보면 표면 반사파가 없는 경우 일정한 크기를 가지고 있는 반면 반사파가 있는 경우에는 일정한 주기를 가지고 반복되는 형태를 취하고 있다. 산의 위치에서는 실제 음원 및 가상 음원에 의한 음압이 같은 위상을 가짐으로서 보강이 일어나는 주파수이며 골에서는 서로 반대의 위상을 가져 상쇄가 일어나는 주파수이다. 이때 주기를 나타내는 간격(Δf=984Hz)은

$$\frac{2\pi\Delta f}{c} \Delta r = 2\pi \tag{1}$$

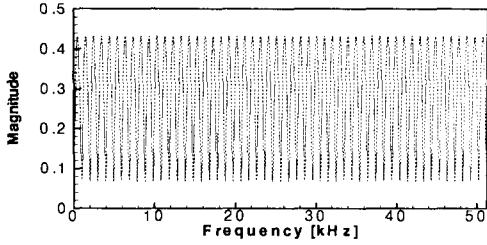
$$\Delta r = r_2 - r_1 \tag{2}$$

$$r_1 = \sqrt{x^2 + (z_s - z)^2} \tag{3a}$$

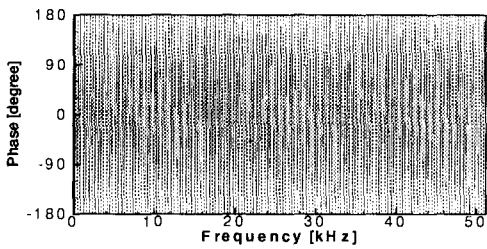
$$r_2 = \sqrt{x^2 + (z_s + z)^2} \tag{3b}$$

와 같이 주파수 간격과 실제 음원 및 가상 음원까지의 거리 차이와의 곱이 한 주기가 된다는 식으로부터 얻을 수 있다. 위상은 일

정한 기울기를 가지고 감소하고 있으며 난 크기가 가장 작은 주

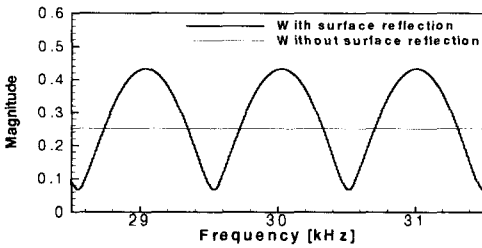


(a) 음압 크기

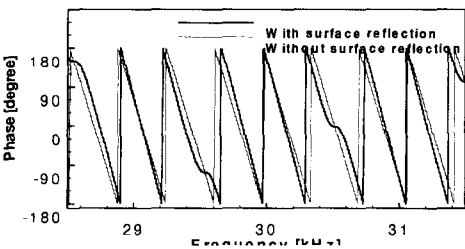


(b) 위상 (단위: 도)

그림 2.  $(x,z)=(4m,-1.87m)$ 의 위치에서 주파수(0 ~ 51.2kHz)에 따른 음압의 크기 및 위상 (음원의 위치:  $(x_s,z_s)=(0m,-1.87m)$ )



(a) 음압 크기

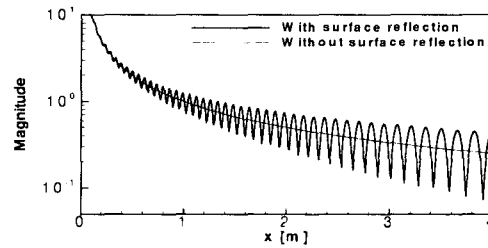


(b) 위상 (단위: 도)

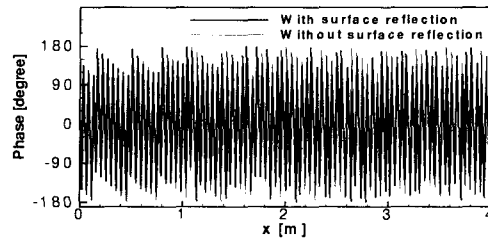
그림 3.  $(x,z)=(4m,-1.87m)$ 의 위치에서 주파수(28.5 ~ 31.5kHz)에 따른 음압의 크기 및 위상 (음원의 위치:  $(x,z)=(0m,-1.87m)$ )

파수에서 기울기가 증가하는 형태를 취하고 있다. 이는 상쇄가 일어나는 주파수에서 반사파의 위상 왜곡 영향이 크게 나타남을 의미한다.

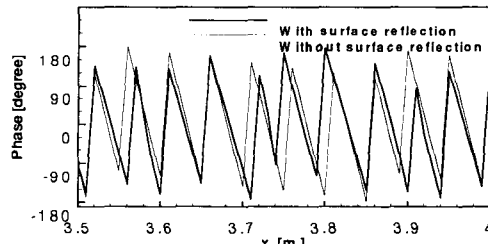
그림 4는 30kHz에서 위치( $0 < x < 4m$ ,  $z = -1.87m$ )에 따른 음압의 크기 및 위상을 나타낸다. 음원 근처에서는 크기가 점진적으로 감소하고 있는 반



(a) 음압 크기



(b) 위상 (0~4m, 단위: 도)



(c) 위상 (3.5~4m, 단위: 도)

그림 4. 30kHz에서 거리 변화에 따른 음압의 크기 및 위상 (음원의 위치:  $(x,z)=(0m,-1.87m)$ )

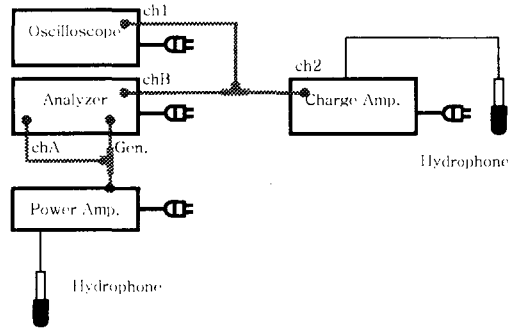
면 음원에서 멀어질수록 크기의 변화가 큰 폭으로 나타난다. 이때 산과 산 사이의 간격은

$$\frac{2\pi f}{c} \Delta r = 2\pi \quad (4)$$

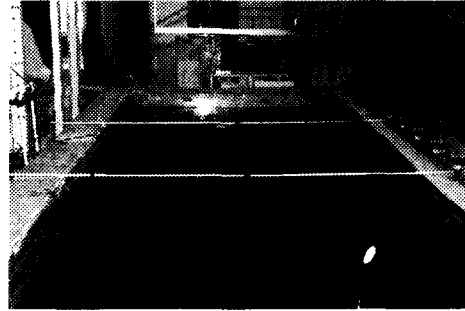
와 같이 주파수와 곱이 한 주기가 된다는 식으로부터 얻을 수 있다. 위상은 거리가 멀어질수록 점점 감소하며 그림 4(c)에서 알 수 있듯이 반사파의 영향으로 위상이 변화하는 것을 알 수 있다.

### III. 실험 및 결과

앞에서 얻은 이론적인 해석이 실제 무향 수조 내에서도 동일하게 나타나는지 확인하기 위하여 실험을 수행하였다. 하이드로폰(hydrophone)은 2개를 사용하였으며 각각 음원의 가진 및 음압 측정을 위해 사용하였다. 둘 사이의 거리는 4m로 하였으며 1.87m의 깊이에 설치하였다(그림 5). 이때 주파수 및 거리의 변화에 따른



(a) 실험 장치 개요도



(b) 실험 장면 사진

그림 5. 실험 장치 (개요도 및 장면 사진)

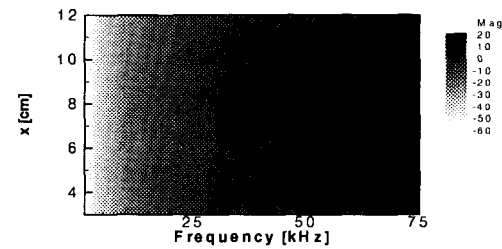
함수(가진 신호 입력 대 측정 음압 신호)를 측정하였다.

그림 6은 3cm~12cm의 거리에서의 결과를 나타낸다. 주파수 응답 함수의 크기 및 위상이 거리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 가지며 이는 이론적인 해석과 같은 결과다. 주파수가 증가함에 따라 크기는 증가하고 위상은 감소한다. 크기가 증가하는 이유는 고주파 영역에서 가진이 잘 일어나기 때문이며 위상 감소는 이론 해석 결과와 같다. 그림 7은 400~409cm의 거리에서의 결과다. 반사파의 영향이 상대적으로 증가함으로 인하여 복잡한 분포를 가지고 있는 것을 알 수 있다.

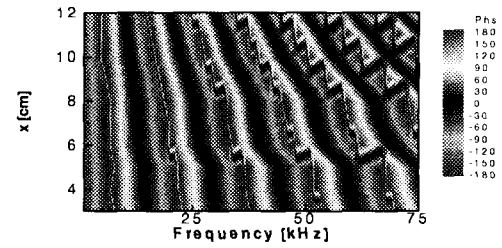
그림 8은 임펄스 가진을 하였을 때의 측정 음압 신호를 나타낸다. 첫 번째 피크(2.7ms 근방)는 음원으로부터 직접 전달된 음압을, 두 번째 피크(3.8ms 근방)는 표면으로부터 반사되어 전달된 음압을 나타낸다. 이로부터 무향 수조 내에서의 음파 전달은 표면 반사파에 의한 영향이 가장 크게 일어남을 알 수 있었으며 음장 해석 시에 표면 반사 효과를 반드시 고려해야 함을 알 수 있다.

IV. 결 론

무향 수조 내에서 주파수 및 거리에 따른 음파의 전달 과정을 이론 및 실험을 통해 살펴보았다. 음원 근방에서는 직접음에 의한 영향이 강하며 음원에서 멀어질수록 반사파에 의한 영향이 점점 강해져 복잡한 음장분포를 가짐을 확인하였다. 반사파는

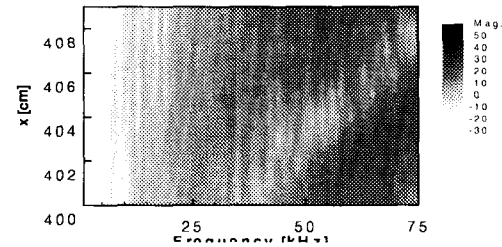


(a) 크기

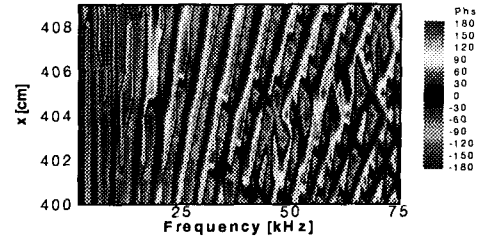


(b) 위상 (단위: 도)

그림 6. 거리(3cm~12cm) 및 주파수에 따른 주파수 응답 함수의 크기 및 위상

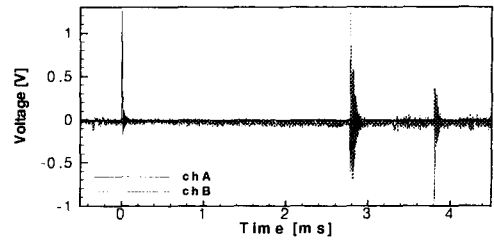


(a) 크기

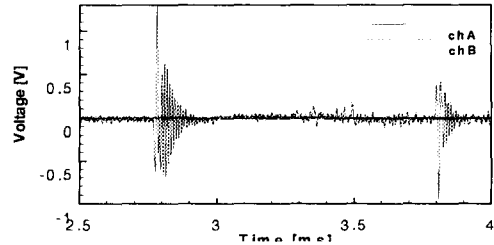


(b) 위상 (단위: 도)

그림 7. 거리(400cm~409cm) 및 주파수에 따른 주파수 응답 함수의 크기 및 위상  
표면 반사에 의한 영향이 가장 크게 나타나 음장 해석을 위해서 이를 반드시 고려해야 함을 알았다.



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



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

그림 8. 시간 응답 곡선

후 기

본 연구결과는 한국해양연구원에서 수행한 기관고유 사업인 “수중 음향수조 시험 기법 개발” 및 민군 겸용기술 사업인 “초음파를 이용한 수중 영상정보 전송기술 개발” 연구결과의 일부임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] 음향파 거동 해석 기법을 이용한 수중 초음파 시스템 시험기법 개발, 한국해양연구원 연구 보고서 UCNE 99914-2203, 1999.
- [2] 임용곤, 이종무, 박종원, "무향 수조 설계기법 연구," 한국해양정보통신학회 2000년도 춘계 학술대회 논문집, 제 4권, pp. 371~377, 2000.
- [3] 김시문, 임용곤, 이종무, 박종원, 최영철, "무향 수조의 설계 기법 및 초음파 영역에서의 음향학적 특성," 2001년도 한국소음진동공학회 춘계 학술대회, 2001.5.17~18, 부산컨벤션센터.
- [4] A. D. Pierce, *Acoustics: An Introduction to Its Physical Principles and Applications*, Acoustical Society of America, pp. 130~137, 1991.
- [5] P. M. Morse and K. U. Ingard, *Theoretical Acoustics*, pp. 259~263, 1954.