

임펄스 신호를 이용한 무향수조의 표면 반사 및 벽면의 흡음 특성 해석

°김시문, 이종무, 최영철, 박종원, 임용곤
한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Analysis of Surface Reflection and Wall Absorption of the Anechoic Tank at KRISO by Using Impulse Signals

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

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

smkim@kriso.re.kr, jmlee@kriso.re.kr, ycchoi@kriso.re.kr, poetwon@kriso.re.kr, yklim@kriso.re.kr

요약

해양연구원에서는 최근에 5면에 흡음재를 부착하여 반사파의 영향을 최소화한 무향수조를 제작하였다. 본 논문에서는 사각, 삼각, 해닝, 램프 등 4종류의 임펄스 신호를 이용하여 표면 및 벽면에서의 반사파 특성을 해석하고 있다. 표면 반사파의 경우 프로젝터의 가장 근접한 위치에서의 음압신호는 직접파 및 반사파의 관계가 주파수에 관계없이 일정한 반면 멀리 떨어진 위치에서는 반사파가 더 크게 나타나는 현상이 관찰되었다. 이는 중간에 위치한 하이드로폰의 간섭 현상에 의한 것으로 판단된다. 흡음 벽면의 경우 반사파는 거의 존재하지 않으며 따라서 반사계수는 측정된 주파수 범위(~100kHz)에서 거의 0에 가까운 것을 확인할 수 있었다. 이로써 무향수조의 특성이 만족할만한 수준인 것을 확인하였다.

1. 서론

최근에 한국해양연구원에서는 반사파가 존재하지 않는 수조의 필요성을 인식하여 약 9m×3m×5m 크기를 갖는 무향수조를 설계·제작하였다. 제작된 무향수조의 설계 기법 및 시·공간상에서의 음향학적 특성 및 무향수조 내에서의 음파전파 특성에 대해서 연구한 바가 있으나[1,2] 이는 흡음 벽면으로부터의 반사파의 영향이 무시할 정도로 작다는 연구 결과를 배경으로 하고 있으며 벽면의 반사파에 대해서 정량적인 해석은 시도되지 못하였다. 또한 표면 반사파의 해석이 시도되었으나[3] 한 지점에서의 측정 결과만을 바탕으로 하고 있어 여러 각도에서의 반사에 대한 영향이 고려되지 못하는 문제점이

존재한다. 본 연구에서는 4개의 하이드로폰을 이용하여 한 음원에서 발생하는 임펄스 신호를 동시에 측정하여 표면 반사 및 흡음 벽면에서의 반사 특성에 대한 정량적인 해석을 시도하고자 한다.

2. 임펄스 신호의 주파수 특성

본 연구에서는 가진하는 임펄스 신호로서 사각, 삼각, 해닝(Hanning), 램프(ramp) 형상 등 모두 4가지 형태를 사용하여 해석을 수행하였다(Fig 1). 임펄스의 최대값이 1이고 폭이 τ 인 경우에 시간 영역에서의 함수값은 각각

$$f_{rec}(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < \tau \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1a)$$

$$f_{tri}(t) = \begin{cases} \frac{t}{\tau/2} & 0 < t < \frac{\tau}{2} \\ 2 - \frac{t}{\tau/2} & \frac{\tau}{2} < t < \tau \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1b)$$

$$f_{han}(t) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi t}{\tau/2} \right) & 0 < t < \tau \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1c)$$

$$f_{ramp}(t) = \begin{cases} \frac{t}{\tau} & 0 < t < \tau \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (1d)$$

와 같이 표현할 수 있으며 Fig 1은 이를 나타낸다. 주파수 영역에서의 값을 살펴보기 위해 식 (1)을 푸리에 변환하면

$$F_{rec}(\omega) = \tau \frac{\sin \omega\tau/2}{\omega\tau/2} e^{-j\omega\tau/2} \quad (2a)$$

$$F_{\text{tri}}(\omega) = \tau \frac{1 - \cos \omega\tau/2}{(\omega\tau/2)^2} e^{-j\omega\tau/2} \quad (2b)$$

$$F_{\text{han}}(\omega) = \frac{\tau}{2} \left[\frac{\sin \omega\tau/2}{\omega\tau/2} - \frac{(\omega\tau/2) \sin \omega\tau/2}{(\omega\tau/2)^2 - \pi^2} \right] e^{-j\omega\tau/2} \quad (2c)$$

$$F_{\text{ramp}}(\omega) = \frac{\tau}{(\omega\tau)^2} [(j\omega\tau)e^{-j\omega\tau} + e^{-j\omega\tau} - 1] \quad (2d)$$

와 같이 얻어지며 이때 half power 대역폭은 해닝, 삼각, 램프, 사각 순으로 큰 값을 가짐을 알 수 있다 (Fig. 2, Table 1 참조).

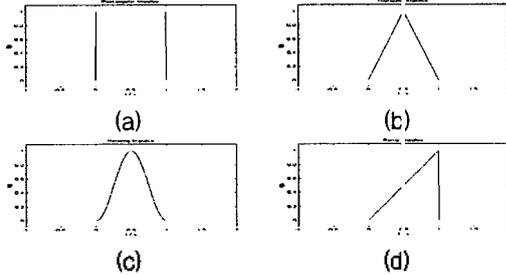


Fig. 1 Shape of four kinds of impulses (a) rectangular impulse (b) triangular impulse (c) Hanning impulse (d) ramp impulse

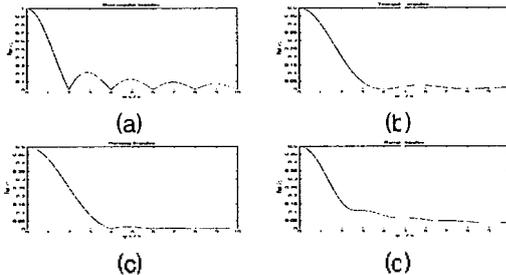


Fig. 2 Frequency spectra of the four kinds of impulses (a) rectangular impulse (b) triangular impulse (c) Hanning impulse (d) ramp impulse

Table 1 Basic parameters of the frequency spectra

파형	F(0)	half power 대역폭	F(ω)=0
사각	τ	ωτ/π=0.886	ωτ=±2π, ±4π, ±6π, ...
삼각	τ/2	ωτ/π=1.276	ωτ=±4π, ±8π, ±12π, ...
해닝	τ/2	ωτ/π=1.441	ωτ=±4π, ±6π, ±8π, ...
램프	τ/2	ωτ/π=1.107	없음

3. 프로젝터의 주파수 특성

이상적인 경우라면 임펄스 가진을 하였을 때 형성되는 음장 또한 임펄스 형태를 가진다. 그러나 실제로는 증폭기와 프로젝터의 특성에 의해서 신호가 왜곡되므로 형

성된 음장은 원하는 형태를 가지지 못하게 된다. 본 장에서는 표면 및 흡음 벽면의 특성을 해석하기에 앞서 프로젝터의 특성을 살펴보고자 한다. 해석시에는 앞서 살펴본 4 종류의 임펄스 신호 입력에 대해서 살펴보고 있다.

3.1. 실험 장치 및 방법

음장 형성을 위한 프로젝터와 음압 측정을 위한 하이드로폰을 Fig. 3에서 보는 바와 같이 39.4cm의 간격을 두고 무향수조 내에 설치하였다. 직접파만의 영향을 고려하기 위하여 프로젝터 및 하이드로폰은 벽면 및 표면에서 50cm 이상 떨어진 곳에 위치시켰다. 프로젝터의 가진을 위해서 신호발생기 및 파워증폭기를 사용하였으며 하이드로폰을 통한 음압 수신을 위해 전하증폭기를 사용하였다. 이때 100kHz의 cut-off 주파수를 갖는 저주파대역 통과여파기를 적용하였으며 1MHz의 샘플링 주파수로 수신 음압 신호를 저장하였다. 이때 프로젝터에 입력되는 가진신호도 동시에 저장하였다. 임펄스의 간격은 100kHz까지 충분히 가진할 수 있도록 1μs의 펄스폭을 갖는 임펄스를 사용하였다. 실험 수행시 물의 온도는 18.7°C였으며 이로부터 1478m/s의 음속값을 추정하였다.

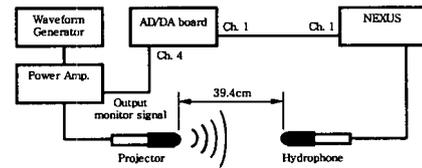


Fig. 3 Experimental set-up for the measurement of characteristics of the projector

3.2. 실험 결과

Fig. 4는 각각의 임펄스 신호에 대해서 프로젝터의 입력신호 및 하이드로폰에서 수신된 음압신호를 나타낸다. 사각 임펄스가 다른 임펄스에 비해서 4배의 큰 에너지를 가지므로 결과도 약 2배의 음압 값을 가짐을 알 수 있다. 크기 차이를 제외하고는 모두 유사한 임펄스 형상 및 에너지를 가짐을 알 수 있다. 측정 음압 신호는 약 100kHz의 주파수로 진동하고 있는데 이는 하이드로폰 및 증폭기의 특성에 의해서 나타나는 현상이다. Fig. 5는 주파수 영역에서 나타낸 것으로 임펄스는 전 주파수 범위에서 ±3dB 이내의 값을 유지하는 반면 프로젝터의 신호는 주파수에 따른 값의 차이가 큰 것을 알 수 있다.

4. 표면 반사파 해석

4.1. 실험 장치 및 방법

표면 반사파 해석을 위해서 한 개의 프로젝터와 4개

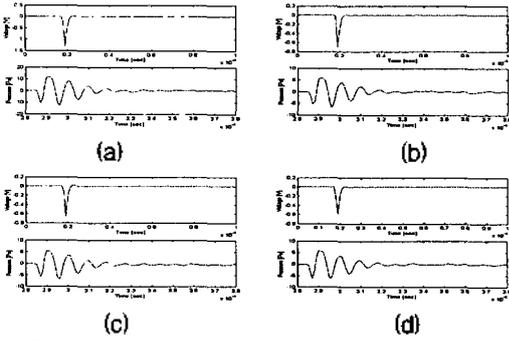


Fig. 4 Time data of impulse signals for the projector (a) rectangular impulse (b) triangular impulse (c) Hanning impulse (d) ramp impulse

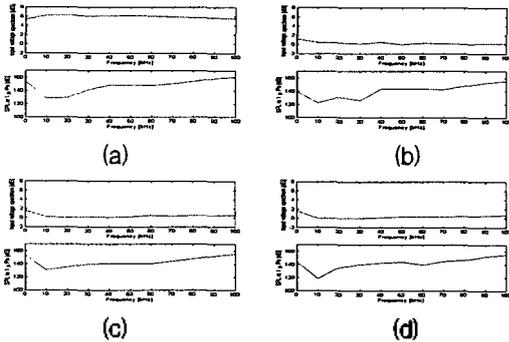


Fig. 5 Frequency spectra of the projector impulse signals (a) rectangular impulse (b) triangular impulse (c) Hanning impulse (d) ramp impulse

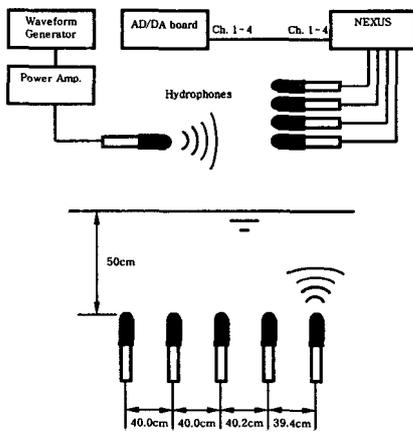


Fig. 6 Experimental set-up for the measurement of surface reflection

의 하이드로폰을 사용하였으며 프로젝터 및 하이드로폰은 Fig. 6에서 나타난 바와 같이 약 40cm간격을 두고 설

치하였다. 표면과 센서와의 거리는 50cm가 되게 하였으며 흡음 벽면에서의 반사파 영향을 받지 않도록 하기 위해 흡음 벽면에서부터는 50cm보다 멀리 떨어뜨렸다. 그 외의 조건은 프로젝터의 주파수 특성을 얻는 과정과 동일하게 하였다.

Table 2 Spatial and time difference between direct and reflected waves (distance from the surface = 50cm)

하이드로폰 번호	직접파 도달거리 [cm]	반사파 도달거리 [cm]	거리차 [cm]	시간차 [μ s]	거리비
1	39.4	107.5	68.1	461	0.367
2	79.6	127.8	48.2	326	0.623
3	119.6	155.9	36.3	246	0.767
4	159.6	188.3	28.7	194	0.847

4.2. 실험 결과

Fig. 7은 직접파 및 반사파의 음압 신호를 나타내고 Fig. 8은 직접파와 반사파 사이의 관계를 나타낸다. 거리가 39.4cm인 경우 반사계수는 1보다 작은 반면 다른 지점에서는 1보다 큰 값이 나타난다. 이는 다른 하이드로폰의 간섭에 의한 영향으로 사료된다.

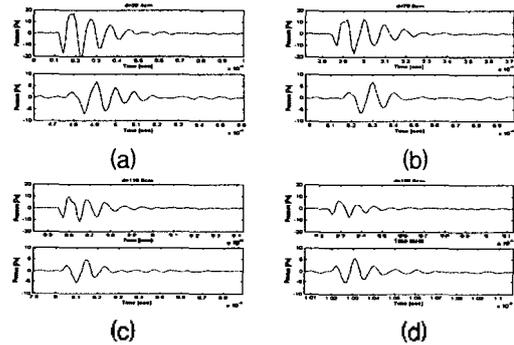


Fig. 7 Time signal of direct and reflected waves for surface reflection (a) $d=39.4$ cm (b) $d=79.6$ cm (c) $d=119.6$ cm (d) $d=159.6$ cm

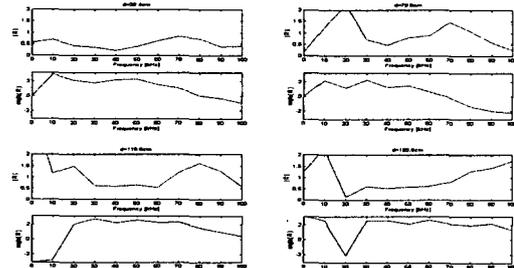


Fig. 8 Reflection coefficients for surface reflection (a) $d=39.4$ cm (b) $d=79.6$ cm (c) $d=119.6$ cm (d) $d=159.6$ cm

5. 흡음 벽면의 반사파 해석

5.1. 실험 장치 및 방법

흡음 벽면의 반사파 해석은 표면 반사파 해석의 경우와 동일하게 하였으며 단 위치만 표면에서 50cm 떨어진 위치 대신 벽면에서 51cm 떨어진 곳에 위치시켰다. Table 3는 직접파 및 반사파 사이의 거리 및 시간차를 나타낸다.

Table 3 Spatial and time difference between direct and reflected waves (distance from the wall = 50cm)

하이드 로폰 번호	직접파 도달거리 [cm]	반사파 도달거리 [cm]	거리차 [cm]	시간차 [μ s]	거리비
1	39.4	109.3	69.9	473	0.360
2	79.6	129.4	49.8	337	0.615
3	119.6	157.2	37.6	254	0.761
4	159.6	189.4	29.8	202	0.843

5.2. 실험 결과

표면 반사파와는 달리 벽면에서의 반사가 거의 일어나고 있지 않음이 관찰되며 이때 반사계수는 거의 0에 가까운 것을 확인할 수 있다.

6. 결론 및 토론

임펄스 신호를 이용하여 무향수조의 표면 및 흡음 벽면의 반사 특성 해석을 수행하였다. 표면 반사는 $d=39.4\text{cm}$ 인 경우에 주파수에 관계없이 일정한 관계를 가지는 반면 거리가 큰 경우에는 1보다 큰 값이 얻어지는 것을 관찰하였다. 이는 하이드로폰의 간섭에 의한 영향으로 사료되며 이에 대해서는 다른 접근방법을 사용해야 할 것으로 생각된다. 흡음면에서는 반사파는 거의 존재하지 않음을 확인하였으며 이로써 우수한 음향학적 특성을 가지는 무향수조임을 알 수 있었다.

후기

본 연구결과는 한국해양연구원에서 수행중인 “해양 개발을 위한 설계 엔지니어링 기술고도화” 사업(기판교유 사업)과 “초음파를 이용한 수중영상정보 전송기술 개발” 사업(산업자원부의 민군겸용기술 과제)의 연구결과임을 밝히며 관계자 여러분께 감사드립니다.

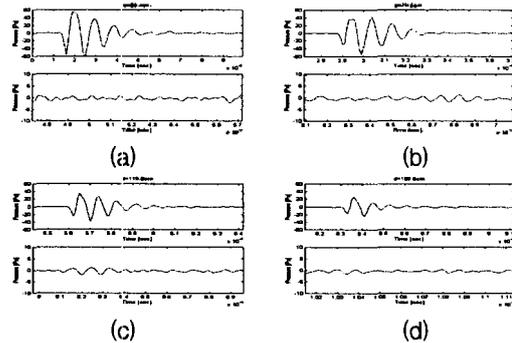


Fig. 9 Time signal of direct and reflected waves for absorbing wall reflection (a) $d=39.4\text{cm}$ (b) $d=79.6\text{cm}$ (c) $d=119.6\text{cm}$ (d) 159.6cm

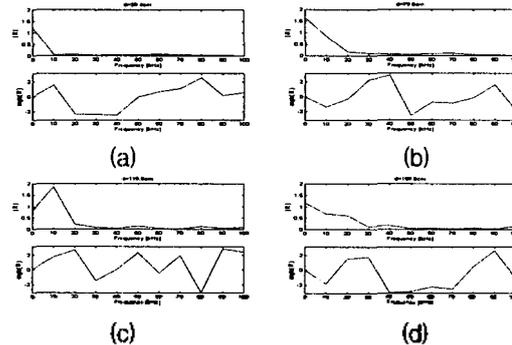


Fig. 10 Reflection coefficients for absorbing wall reflection (a) $d=39.4\text{cm}$ (b) $d=79.6\text{cm}$ (c) $d=119.6\text{cm}$ (d) 159.6cm

참고문헌

1. 김시문, 임용곤, 이종무, 박종원, 최영철, “무향 수조의 설계 기법 및 초음파 영역에서의 음향학적 특성”, 한국소음진동공학회 2001년도 춘계 학술대회 논문집, pp. 350~355, 2001.
2. 김시문, 최영철, 박종원, 임용곤, 무향 수조 내에서의 음파 전파 특성 연구, 한국해양정보통신학회 2001년도 춘계종합학술대회, 제 5권, 제 1호, pp. 363~368, 2001.
3. Sea-Moon Kim, Chong-Moo Lee, Young-Cheol Choi, Jong-Won Park, and Yong-Kon Lim, An experimental model of surface reflection in the underwater anechoic basin at KRISO, Underwater Technology 2002, pp. 257~260, 2002.