

# 임펄스 신호를 이용한 음향재료의 수중 음향 특성 측정 Measurement of underwater acoustic properties using impulse signal

이성현† · 김재승\* · 김현실\* · 김봉기\* · 김상렬\*

Seong-Hyun Lee, Jae-Seung Kim, Hyun-Sil Kim, Bong-Ki Kim and Sang-Ryul Kim

## 1. 서 론

수중 음향 분야는 1 Hz 미만의 주파수부터 1 MHz 이상의 주파수 대역에 대한 다양한 분야에 응용된다. 수중에서 사용되는 재료의 음향학적 특성은 소나 시스템 등을 설계 함에 있어서 매우 중요한 인자이다. 수중 음향 재료는 음향 창 (acoustic window), 반사체 및 방해판 (reflector and baffle), 음향 차단막 (acoustic barrier), 디커플링 재료 (decoupling material), 무반향 코팅재 (anechoic coating) 등으로 다양한 목적을 위하여 사용된다. 다양한 목적을 위하여 사용되는 음향재료는 일반적으로 천연고무, 합성고무, 폴리우레탄 등의 고무재료가 많이 사용된다. 이러한 재료들은 점탄성 재료여서, 온도나 수압 (깊이에 의한)에 따라서 그 특성이 쉽게 변하는 특성을 갖는다. 따라서 수중음향특성을 측정함에 있어서, 다양한 조건에서의 측정이 필요하다.

음향특성을 측정하기 위한 방법은 임피던스 튜브 방법과 수조시험 방법으로 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 임피던스 튜브 방법은 지름 대 길이의 비가 매우 큰 물이 채워진 강재 튜브 내부에서 진행파 (traveling wave)를 이용하여 음향성능을 측정하는 방법이다. 수조시험은 재료를 패널의 형태로 수조에 설치하고 패널의 앞/뒤에 하이드로폰을 설치한 후, 프로젝터로 만든 가진 신호에 대한 입사, 투과, 반사파 신호를 측정하여 각각 전달손실 (transmission loss)과 잔향감소(echo reduction)를 측정하게 된다.

본 논문에서는 임피던스 튜브를 이용하여 음향재료의 특성을 측정함에 있어서, 임펄스 신호 (impulse signal)를 이용한 신호 분석 방법을 톤 버스트 (tone burst)를 이용한 측정방법과 비교하여 분석하였다.

## 2. 임피던스 튜브 측정

벽면은 물의 임피던스보다 큰 임피던스를 갖는 것으로 가정하며, 물이 채워진 튜브는 내부지름 (50 mm)에 대한 길이 (3800mm)의 비가 1 보다 매우 큰 값을 갖는다. 임피던스 튜브의 고주파수 한계 주파수는 튜브 내부에서 고차모드 전달이 시작되는 평면파 전파 한계주파수로 다음과 같이 결정된다.

$$f_{m \text{ ax}} \approx \frac{C_{w \text{ ater}}}{1.7D} \quad (1)$$

튜브의 상단은 압력 기밀을 유지할 수 있는 뚜껑으로 제작되어 시편의 설치가 가능하도록 하였으며, 튜브의 하단에는 음향 신호를 발생시키기 위한 하이드로폰 (B&K 8104)를 설치하였으며, 튜브 내부의 음압 신호를 측정하기 위하여 압력센서 (PCB 112A22)를 설치하였다.

음향재료의 성능은 하단의 하이드로폰을 이용하여 임펄스 신호 혹은 단일 사인 신호를 공급하고 각각의 압력센서를 통하여 측정되는 입사파, 반사파, 투과파의 시간 파형을 FFT (Fast Fourier Transform) 하여 측정하게 된다. 본 논문에서는 음향재료 샘플에 대한 시험을 수행하기에 앞서 진행되었던 튜브의 측정 절차 검증에 대한 내용으로서, 튜브의 끝단을 공기와 접하게 개방하는 완전 반사 조건에 대한 흡음율을 측정/검토 하였다.

임펄스 신호는 전 주파수 대역에서 일정한 에너지를 공급할 수 있으며, 톤 버스트 방법 (단일 주파수의 사인 (sine) 함수로 각 주파수 별로 가진)에 비하여 매우 빠르게 측정할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 각 주파수에 공급되는 에너지가 크지 않아서 신호 대 잡음비 (signal to noise ratio)가 낮은 경우에는 측정 결과가 정확하지 않을 수 있다. 본 연구에서는 임펄스 신호를 이용하여 측정한 결과와 톤 버스트로 측정한 결과를 비교하여 임펄스 신호의 적용성을 검토하였다.

임펄스 신호로 사용한 haversine의 경우, 가진 주파수의 2배 큰 주파수를 임계주파수로 갖는 함수로서 10 kHz haversine 함수는 0~20 kHz범위에서

† 이성현: 정회원, 한국기계연구원

E-mail : sh.lee@kimm.re.kr

Tel : 042-868-7895, Fax : 042-868-7440

\* 한국기계연구원

에너지를 갖는 함수이다. Haversine의 가진 주파수가 측정에 미치는 영향을 검토하기 위하여 가진 주파수를 5, 10, 15 kHz로 변화시키면서 측정결과를 비교하여 그림 1~3에 보이고 있다. 튜브의 평면과 전파 한계주파수가 약 14kHz임에도 불구하고 약 8.5 kHz 대역에서 dip이 발생하고 있음을 알 수 있다. 이에 대한 원인은 튜브의 특성으로 추정되며, 추후에 규명되어야 할 부분이다. 5 kHz haversine 함수의 경우 10 kHz까지 에너지를 갖는 함수 이지 만, 7 kHz 이상부터 에너지가 급격히 감소하여 측정에 큰 오차가 발생함을 알 수 있으며, 10 kHz이상의 함수는 튜브의 평면과 전달 한계주파수인 14 kHz 내에서 가진이 잘 되고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 개방단 (open end) 조건에 대하여 측정된 시간 파형, FFT 결과, 반사계수를 나타내고 있으며, 임펄스 신호로는 10 kHz의 haversine 신호를 사용하였다. 개방단의 경우 이론적인 반사계수는 1 인데 반하여, 앞에서 설명한 대로 약 8.5 kHz 대역에서 dip이 발생하고 있음을 볼 수 있다. 측정 측정 결과에서 볼 수 있듯이 전 주파수 대역에서 임펄스 신호와 톤 버스트 방법이 같은 결과를 보임을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 임피던스 튜브를 이용한 재료의 수중음향특성을 측정함에 앞서 측정장치 및 방법에 대한 검토를 위하여 가진신호를 변경시키며 그 영향을 검토하였다. 임펄스 신호를 통한 가진으로 톤 버스트 방법과 같은 결과를 낼 수 있음을 확인하였으며, 가진 주파수에 의한 영향도 검토하였다. 튜브의 고유한 특성으로 보이는 8.5 kHz 대역에서 발생하는 dip에 대해서는 추후 보완되어야 할 내용이다.

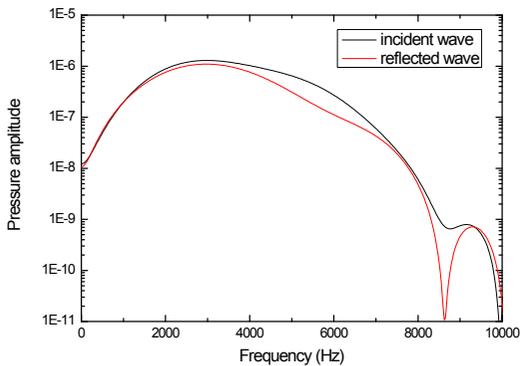


Figure 1. Spectrum of incident and reflected wave by 5 kHz haversine signal

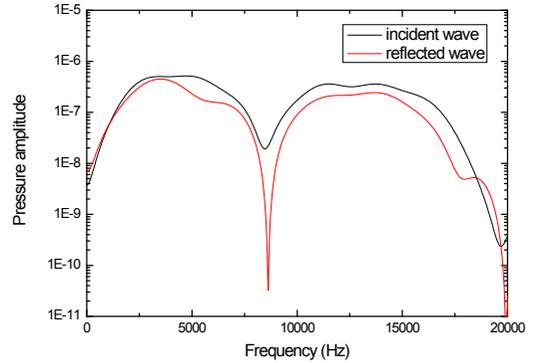


Figure 2. Spectrum of incident and reflected wave by 10 kHz haversine signal

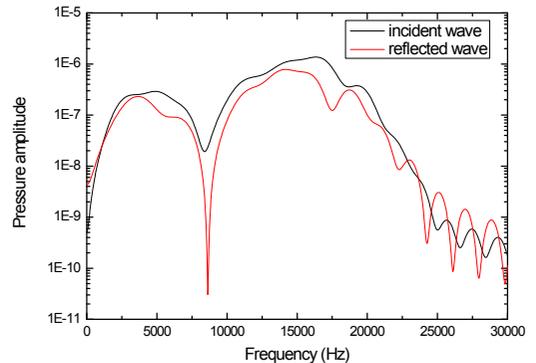


Figure 3. Spectrum of incident and reflected wave by 15 kHz haversine signal

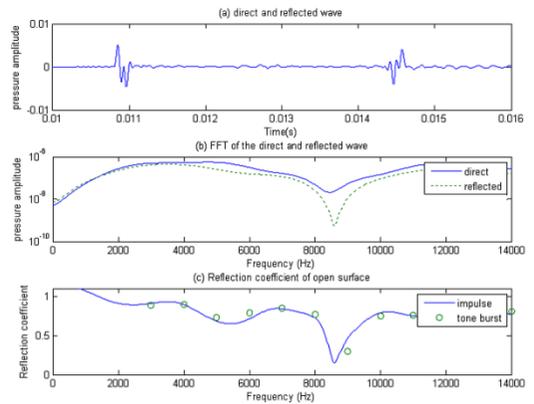


Figure 4. Measured reflection coefficient of the open end boundary condition