

# 음향튜브를 이용한 수중 음향특성 계측시스템

## Echo Reduction Measurement System Using Acoustic Pulse Tube

김재승†·이성현\*·김상렬\*·윤진민\*\*·함일배\*\*\*·김재호\*\*\*

Jae Seung Kim, Seong Hyun Lee, Sang Ryul Kim, Jin Min Yoon, Il Bae Ham and Jae Ho Kim

### 1. 서 론

수중에서 상대방 능동소나에 의한 피탐지 가능성을 낮추기 위해 표면에 무반향코팅재를 부착하여 사용하고 있다. 이 때, 무반향코팅재의 효과는 반향음 감소 성능(Echo Reduction)으로 나타나며 이 값은 물체의 표면에 입사되는 음파의 입사파와 반사파를 사용하여 다음과 같이 정의된다.

$$ER = 20 \log_{10}(\text{입사음압진폭} / \text{반사음압진폭})$$

반향음 감소성능 계측에는 일반적으로 음향수조가 이용되고 있다. 또한, 높은 수압에서 반향음 감소성능을 계측하기 위해서는 압력을 가할 수 있는 음향수조 즉, 압력음향수조가 필요하나 이와 같은 설비를 설치한 기관은 아직까지 국내에서 찾아볼 수 없다.

본 논문에서는 압력음향수조 계측이 불가능할 경우 또는 사용하기 간편한 반향음 감소성능 보조 계측장비로 압력과 온도조절이 가능하도록 개발한 수중 음향튜브(water-filled acoustic pulse tube) 계측시스템을 소개하고자 한다.

### 2. 음향튜브 시스템 설계 및 제작

수중 음향튜브(water-filled acoustic tube)는 1950년대부터 시작하여 지금까지 사용하고 있는 수중 재료의 음향특성 계측장비로 공기 중에서 많이 사용하는 임피던스 튜브와 유사하다. 튜브의 두께와 길이는 내부에 채워진 물의 특성을 고려하여야 한다. 즉 두께는 내부의 물과 튜브의 연성을 가능한 한 억제시켜야 한다는 조건으로부터 결정하고 있으며, 연속신호(continuous signal)를 이용하는 공기중 임피던스 튜브와는 달리 지금까지

발표된 대부분의 수중 음향튜브에서는 tone burst를 비롯한 펄스신호를 이용하는 관계로 상대적으로 길이가 긴 관을 사용하고 있다. 이 밖에도 수중 음향튜브는 내부 유체에 압력을 가하기 위한 가압시스템, 그리고 필요시 온도 유지 또는 조절을 위한 온도 조절시스템을 갖추고 있고 시편설치, 유체내 공기제거의 용이성 등 여러 가지 인자를 고려하여 수직으로 설치하는 것이 일반적인 경향이 다.

그림 1은 내부 유체인 물의 음향특성과 계측환경 요구조건을 고려하여 설계 및 제작이 완료된 수중 음향튜브를 보여주고 있다. 압력조절 시스템은 최대 50 기압으로 가압할 수 있으며 온도조절 시스템은 내부 유체를 2~30 °C 범위에서 임의로 조정할 수 있다. 개발 음향튜브 시스템의 특징은 착탈이 가능하도록 두 개의 튜브로 구성되었으며 모두 4개의 동적 압력센서를 튜브에 장착하여 음향 가진 신호로 전통적인 펄스신호 뿐 아니라 공기중 임피던스 튜브와 같이 연속신호를 사용하여서도 반향음 감소성능 계측이 가능하도록 제작하였다는 점을 들 수 있다.

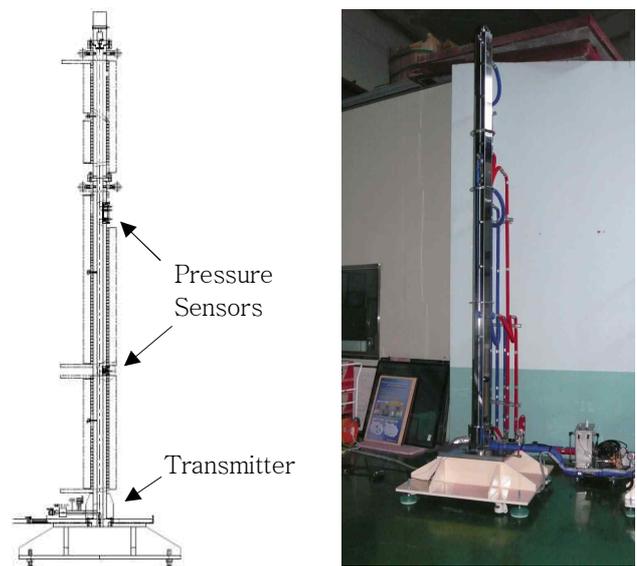


그림 1 수중 음향튜브

† 교신저자; 한국기계연구원

E-mail : [jskim@kimm.re.kr](mailto:jskim@kimm.re.kr)

Tel : (042) 868-7460, Fax : (042) 868-7440

\* 한국기계연구원

\*\* (주)화승알앤에이

\*\*\* 국방과학연구소

### 3. 음향특성 계측예

그림 2는 그림 1에 보인 장치에서 transmitter에 tone burst 신호를 줄 때 하부에 위치한 압력센서 신호의 시간이력을 보여주고 있다. 이 신호에서 첫 번째와 두 번째 tone burst 신호가 각각 입사파와 시편에 의해 반사된 반사파를 나타내는 것으로 이들의 진폭으로부터 반향음 감소성능을 계산할 수 있다.

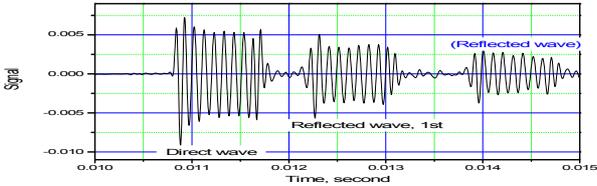


그림 2 압력센서 출력 신호

그림 3에는 개발 시스템의 계측 정확도를 유추할 수 있는 계측자료로 음향특성이 잘 알려진 두가지 재료 알루미늄과 스테인리스 시편의 반향음 감소성능을 계측하여 이론적 결과와 비교한 것이다. 측정시 가진신호로는 3 kHz와 10 kHz의 tone burst 신호를 사용하였다. 이 결과에서는 최대 오차가 2 dB 이하로 나타나고 있으며 평균 약 1 dB 정도임을 짐작할 수 있다.

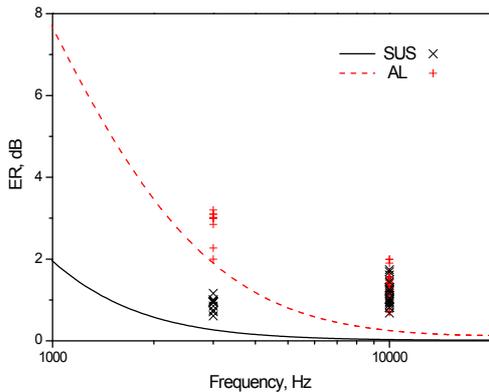


그림 3 이론적 ER과 계측결과 비교

그림 4는 동일한 재료에 대하여 가진 신호로 펄스신호를 사용하였을 때와 tone burst 신호를 사용했을 때 계측결과를 비교한 것이다. 이 결과 역시 두 가지 서로 다른 가진 신호를 사용하였을 때 나타난 최대 오차가 약 2 dB 정도임을 말해주고 있다. 따라서 일정 주파수 범위에 걸쳐 반향음 감소성능을 계측하여야 할 경우에는 여러 번에 걸쳐 계측을 수행해야 하는 tone burst 신호보다는 단 한번의 계측으로 결과를 얻을 수 있는 pulse 신호를

사용하는 방법이 유리함을 알 수 있다.

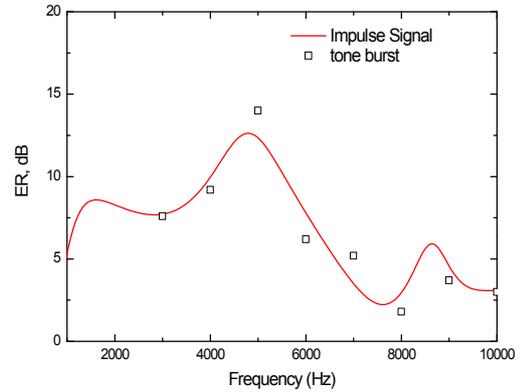


그림 4 펄스와 tone burst 가진 결과 비교

표 1은 내부에 시편이 없을 때 두 압력센서 위치에서 출력신호를 비교함으로써 내부 유체에서의 음속을 측정할 것으로 이 결과로부터 관과 유체의 연성정도 등 튜브시스템의 기본 음향특성을 짐작할 수 있다. 결과에 의하면 튜브 내부에서는 유체내 음속이 자유음장의 그것에 비하여 약 5 % 줄어든 것으로 나타나고 있다. 또한 미미하나 마 압력에 의한 영향도 나타나고 있음을 보여준다.

표 1 유체내 음속, m/sec

압력	1 기압	10 기압	20 기압
계측	1,423	1,425	1,429
이론(자유음장)	1,490	1,492	1,493
오차	4.5%	4.4%	4.3%

### 4. 결 론

본 논문에서는 수중재료의 음향특성 계측에 활용되는 수중 음향튜브 계측시스템의 설계/제작 및 기본적인 계측 결과에 대하여 소개하였다. 여기에서 다룬 수중 음향튜브 시스템은 외국의 경우 압력 음향구조와 함께 오래전부터 수중재료의 음향특성 계측에 사용하고 있는 보조 계측 장비로서 그동안 수집한 정보에 의하면 본 시스템을 효과적으로 사용하기 위해서는 오랜 경험으로부터 축적된 노하우가 요구되는 것으로 짐작된다. 그러나 국내에서는 이와 유사한 장치의 개발이 비교적 최근에서야 이루어진 관계로 아직까지 충분한 노하우가 축적되지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서 획득한 수중 음향튜브의 설계/제작 경험은 본 장비의 원활한 운용에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대하고 있다.