

소나 음향센서의 진동유기 소음 차단 특성에 대한 실험적 연구

An experimental analysis of vibration-induced noise isolation characteristics of a sonar acoustic sensor

김경섭,^{1†} 제엽,¹ 김호준,¹ 조요한,¹ 이정민,¹ 김동현,² 장우석²

(Kyungseop Kim,^{1†} Yub Je,¹ Ho-Jun Kim,¹ Yo-Han Cho,¹ Jeong-Min Lee,¹ Donghyeon Kim,² and Woosuk Chang²)

¹국방과학연구소 제6기술연구본부, ²LIG넥스원(주) 해양2연구소

(Received November 8, 2018; revised January 31, 2019; accepted March 27, 2019)

초록: 본 논문에서는 선체부착형 음향센서의 플랫폼 진동유기 소음 차단 특성을 확인하기 위한 수중 진동 실험을 수행하고 결과를 분석하였다. 음향수조 환경에서 음향센서가 설치된 선체모사구조물과 가진기를 이용하여 플랫폼 진동유기 소음 조건을 구현하였고, 선체모사구조물 및 음향센서에 설치된 표준 가속도계와 음향센서의 출력신호 측정을 통해 음향센서의 진동차단율, 삽입손실 및 진동민감도와 같은 성능지수를 산출하였다. 산출된 성능지수 결과를 토대로 음향센서의 주파수별 소음 차단 특성을 분석하고 실험 기법의 유효성을 검토하였다.

핵심용어: 선체부착형 음향센서, 선체모사구조물, 진동유기 소음, 수중 진동 실험

ABSTRACT: In this paper, the results of underwater vibration experiment are analyzed to verify platform vibration-induced noise isolation characteristics of a hull-mounted acoustic sensor. The experimental condition causing platform vibration-induced noise is generated using the mock-up hull, where the acoustic sensor is installed, with shaker in an acoustic water tank. The performance indices of ATF (Acceleration Transfer Function), AVS (Acceleration Voltage Sensitivity), and IL (Insertion Loss) for the acoustic sensor are calculated from the output of the standard accelerometers, which are installed on the mock-up hull and the acoustic sensor, and the output signal of the acoustic sensor. The frequency-dependent noise isolation characteristics of the acoustic sensor are analyzed based on the calculated performance indices and an effectiveness of the experiment is examined.

Keywords: Hull-mounted acoustic sensor, Mock-up hull, Vibration-induced noise, Underwater vibration test

PACS numbers: 43.30.Xm, 43.50.Yw

1. 서론

일반적으로 함정은 다양한 수상/수중 표적으로부터의 방사소음 및 신호를 탐지하고 표적의 위치추정, 추적, 식별 등의 임무를 수행하기 위해 여러 종류의 소나 시스템을 탑재하고 있다. 소나 음향센서와 같이 특정 물리량을 측정하는 대부분의 장치들은 최

소/최대 감도 범위에 제한이 있으며 신호의 정상적인 수신 또는 처리를 방해하는 잡음에 의해 성능이 제한될 수밖에 없다. 소나 음향센서 또한 이러한 관점에서 잡음에 의한 영향을 고려하는 것이 설계 및 평가 등에 있어 중요한 문제 중 하나이다.

소나 음향센서의 잡음은 센서 자체의 전기적 잡음과 함정 플랫폼에 의해 발생하는 소음에 의한 것으로 구분할 수 있다. 이 중 함정 플랫폼에 의해 발생하는 소음은 자함의 피탐과 관련된 방사소음 관점에서

†Corresponding author: Kyungseop Kim (seop@add.re.kr)
The 6th R&D Institute, Agency for Defense Development, P.O. Box 18, Jinhae-gu, Changwon 51678, Republic of Korea
(Tel: 82-55-540-6147, Fax: 82-55-542-3737)

뿐만 아니라, 탑재 소나 시스템의 성능에 영향을 주는 자체소음 관점에서도 중요하게 다루어져야 한다. 함정 플랫폼에는 자체소음과 관련된 많은 소음원이 존재하는데, 이를 크게 분류하면 선체 및 부가구조물과 주변 유동 간의 상호작용에 의한 유체역학적 소음(유동소음 및 유동유기 진동에 의한 소음), 기계류에 의한 토널 및 광대역 소음, 프로펠러 소음, 기타 정수압 효과에 의한 소음 등으로 나눌 수 있다. 이렇게 생성된 소음들은 다양한 유체전달 경로와 구조전달 경로를 통해 소나 음향센서에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 플랫폼 자체소음 중 기계류 등의 선체 가진에 의한 진동유기 소음 영향에 대해 초점을 맞춰 논의하고자 한다. 이러한 진동유기 소음은 다른 소음원과 달리 넓은 함정 운항속도 범위에 걸쳐 소나 음향센서에 큰 영향을 주며,^[1] 특히 함정 선체에 직접 설치되는 선체부착형 음향센서에서 중요한 문제이다.

소나 음향센서 설계 측면에서 플랫폼 진동유기 소음 영향을 최소화하기 위해서는 음향센서의 하이드로폰을 진동에 둔감하게 설계한다거나, 마운트 및 다층구조 음향배플을 이용하여 진동·소음을 차단하는 등의 복합적인 노력이 필요하다.^[2] 한편, 설계 및 제작된 음향센서의 플랫폼 진동유기 소음 차단 특성은 여러 실험적 방법들을 통해 검증될 수 있다. 가장 직접적인 방법은 소나 음향센서가 장착된 함정 플랫폼에서 실제 운용조건에 대해 특성 실험을 수행하는 것이다. 하지만 이 경우 측정 환경이나 실험을 위한 제어조건에 제약이 따르는 경우가 많고, 설계 단계에서 시제품에 대한 검증이 불가하다는 단점이 있다. 설계 단계에서 많이 사용되는 방법으로는 공기중 진동 특성 측정 방법이나 음향센서의 전후방 수신감도 비와 같은 수중 음향특성 측정 방법 등이 있다. 전자의 경우 주어진 진동 조건에 대한 음향센서 특성의 경향을 간접적으로 파악할 수는 있으나, 수중 환경에서의 진동 및 음향적 특성에 대한 정량적 예측이 쉽지 않다. 후자의 경우 음향적인 차단 특성 확인은 가능하나, 진동을 포함한 복합적인 플랫폼 진동유기 소음 영향을 파악하기 어렵다는 제한점이 있다.

본 논문에서는 선체부착형 음향센서의 플랫폼 진

동유기 소음 차단 특성을 고찰하기 위하여 수중 진동 실험을 수행하고 결과를 검토하였다. 수중 진동 실험과 관련한 기존 연구들의 경우 대부분 플랫폼 구조 자체에 대한 동적 특성 파악이나 플랫폼 진동 제어 성능 확인 등을 목적으로 수행되었으며,^[3,4] 일반적인 소나 음향센서의 진동유기 소음 차단 특성 확인을 위한 실험적 연구는 거의 발표된 바가 없다. 본 연구에서는 제어된 음향수조 환경에서 선체모사 구조물과 가진기를 이용하여 플랫폼 진동유기 소음 조건을 구현하고, 선체모사구조물 및 음향센서에 설치된 표준 가속도계와 음향센서 출력신호 측정을 통해 진동차단율, 삽입손실 및 진동민감도와 같은 성능지수를 산출하여 결과를 분석하였다.

II. 실험 구성

2.1 수중 진동 실험 구성

실험에 사용된 음향센서는 모듈형으로 설계되었으며, 동일 단위모듈이 길이방향으로 선체에 부착되는 구조이다. 음향센서 단위모듈은 크게 음향수신모듈, 배플조립체 및 고정 마운트로 구성된다. 음향수신모듈은 하이드로폰, 디지털전처리기 및 조절판 등의 부품이 폴리우레탄 재료에 몰딩되어 있는 구조이며, 음향신호를 수신하고 신호전처리 및 전송 등의 기능을 수행하는 구성품이다. 배플조립체는 차음재가 포함된 음향배플과 고무 재질의 제진패드로 구성되며, 음향수신모듈을 선체에 고정하고 플랫폼으로부터 전달되는 진동·소음이나 충격이 음향수신모듈에 전달되는 것을 차단하는 기능을 수행하는 구성품이다.

수중 진동 실험은 음향수조에서 선체모사구조물을 이용하여 수행하였다. 선체모사구조물은 음향센서가 장착되는 선체 일부를 모사하여 제작한 부유식 구조물이다. 선체 외부는 실험 대상 음향센서가 설치되어 수중에 위치하고, 늑골 구조가 반영된 선체 내부는 공기중에 노출되어 가진기 등을 설치할 수 있도록 설계되었다. Figs. 1과 2에 수중 진동 실험의 장비 설치도 및 구성도를 나타내었다. 플랫폼 진동유기 소음 조건을 구현하기 위하여 선체모사구조물 내부에 가진기를 설치하였으며, 가진기의 탭에는 실

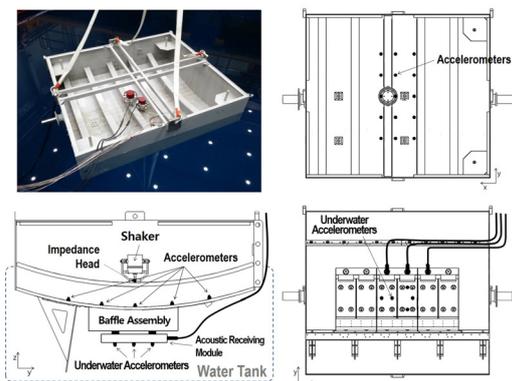


Fig. 1. Experimental configuration of the vibration-induced noise isolation experiment in water.

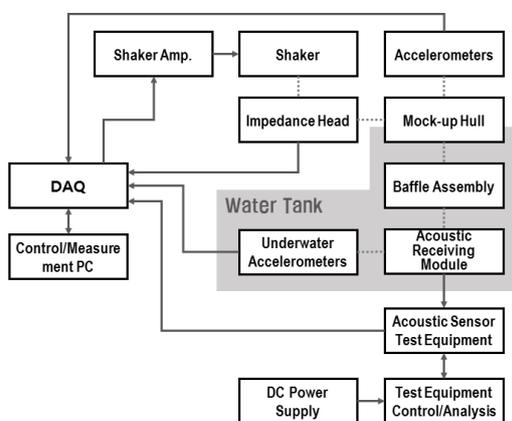


Fig. 2. Block diagram of the vibration-induced noise isolation experiment in water.

제 발생하는 작용력과 가속도를 모니터링하기 위한 임피던스 헤드를 장착하였다. 임피던스 헤드의 작용력 감도는 22.4 mV/N, 가속도 감도는 100 mV/g이다. 선체모사구조물 내부의 선체면에는 가진기 위치를 중심으로 주변 15개소에 계측용 가속도계를 설치하여 음향센서가 설치되는 선체면의 가속도 분포를 측정할 수 있도록 하였다. 또한 선체 외부에 설치된 음향센서의 음향수신모듈 상부 표면 5개소에는 수중 가속도계를 설치하였다. 공기중 및 수중 가속도계의 감도는 동일하게 100 mV/g 내외이며 전송방식은 ICP(Integrated Circuit Piezoelectric) 타입이다. 가속도계 측정값은 DAQ(Data Acquisition) 장비(LMS SCADAS)를 통해 모니터링 및 저장되었으며, 분석 소프트웨어는 LMS Test Lab.을 사용하였다. 가진 시 음향수신모듈의 디지털 출력신호는 전용장비인 음향센서 시

험장비를 통해 D/A 변환된 뒤 DAQ 장비를 통해 함께 저장되었다. 가진은 규정된 주파수 범위 내에서 주파수 스위프(sweep) 형태로 이루어졌으며(rate: 1.0 Oct/min), 가진력은 임피던스 헤드 측정값을 이용한 피드백 방식으로 DAQ 장비를 통해 제어되었다.

2.2 성능지수

음향센서의 진동유기 소음 차단 특성을 확인하기 위한 성능지수 항목으로서, 설치된 가속도계와 음향수신모듈의 출력신호 측정값을 이용하여 다음과 같은 음향센서 진동차단율, 삽입손실 및 진동민감도를 정의하였다.

진동차단율(Acceleration Transfer Function, ATF)은 Eq.(1)과 같이 음향센서 선체 설치면의 평균 입력가속도(\bar{a}_h)에 대한 음향수신모듈 표면에서의 평균 가속도(\bar{a}_s)의 비로 정의한다. 이 성능지수는 선체로부터 음향센서 음향수신모듈까지의 진동 가속도의 전달함수 또는 손실을 의미하며, 음향센서 구성품들의 전체적인 진동 감쇄 특성을 나타낸다고 할 수 있다.

$$ATF \equiv -20 \log \left(\frac{\bar{a}_s}{\bar{a}_h} \right) \text{ [dB]}. \quad (1)$$

삽입손실(Insertion Loss, IL)은 Eq. (2)와 같이 음향센서 선체 설치면의 동일 입력가속도 조건에서 음향센서의 배플조립체 유·무에 따른 음향수신모듈 평균 출력전압의 비로 정의한다. 삽입손실 시험에서는 배플조립체를 장·탈착해야 한다. 이 때문에 음향수신모듈을 배플조립체에 조립하지 않고 선체모사구조물에 음향수신모듈만을 고정할 수 있는 프레임 형태의 별도 지지구조를 장착하여 실험하였다. 이 성능지수는 선체 진동유기 소음 중 유체전달소음에 대한 배플조립체만의 음향적 차단 특성을 나타낸다.

$$IL \equiv -20 \log \left(\frac{|p_{s-w/baffle}|}{|p_{s-w/o baffle}|} \right) \text{ [dB]}. \quad (2)$$

진동민감도(Acceleration Voltage Sensitivity, AVS)는 Eq. (3)과 같이 음향센서 선체 설치면의 평균 입력

가속도(\bar{a}_h)에 대한 음향수신모듈 평균 출력전압(\bar{p}_s)의 비로 정의한다. 이 성능지수는 선체의 단위 진동 가속도에 의해 발생하는 음향센서의 소음 레벨을 의미하며, 여기서 음향센서에 발생하는 소음은 선체 진동에 의해 유기되는 구조전달소음 및 유체전달소음(회절에 의한 유입도 포함) 모두를 포함하므로 다른 두 성능지수에 비해 좀 더 복합적인 성능지수로 생각할 수 있다.

$$AVS \equiv 20 \log \left(\frac{|\bar{p}_s|}{|\bar{a}_h|} \right) \text{ [dB re. } 1V/(m/s^2)\text{]}. \quad (3)$$

III. 실험결과 및 분석

실험은 중·저주파의 음향센서 수신 주파수 대역에 대해 수행하였으며, 2.2절에서 정의한 성능지수를 주파수에 따라 산출하여 결과를 분석하였다. 이후 본 논문에서 제시할 결과 그림에서의 주파수 표기는 특정 주파수로 정규화한 값을 사용하였다.

결과 분석에 앞서 실험에 사용된 선체모사구조물의 가진 특성에 대해 먼저 검토하였다. 선체모사구조물 가진에 사용한 가진기의 경우 점(point)가진 형태의 가진 방식인데다, 구조물 크기에 비하여 출력 파워가 제한적일 수밖에 없다(특히 저주파의 경우). 따라서 주파수에 따라 가진점을 중심으로 동일 위상으로 가진되는 영역의 크기가 달라진다. 음향센서에 대한 입력가속도 산출을 위해 내부 선체면에 설치된 가속도계 측정값을 평균할 때 관심영역의 진동 위상이 다를 경우 결과에 오차가 발생할 수 있으므로, Fig.

3과 같이 임피던스 헤드 측정값과 각 가속도계 측정값 간의 상관값을 확인하였다. Fig. 3에서 검정색 실선은 각 가속도계에 대한 상관값(회색 실선)의 평균치를 나타내고 있는데, 대략 정규화주파수 0.04 이하 영역에서는 상관값이 큰 폭으로 감소하고 있다(이러한 위상차 영향은 이후 제시할 진동민감도 결과 등에서도 확인할 수 있다.). 따라서 본 연구에서는 정규화주파수 0.04 이하의 영역에 대한 결과는 분석에서 제외하였다.

Fig 4는 주파수에 따른 음향센서 진동차단을 산출 결과이다. 진동차단을 Eq. (1) 계산 시 입력가속도(\bar{a}_h)는 선체면 설치 가속도계 15개의 측정값 평균을 사용하였다. 전체적인 경향을 살펴보면, 저주파 대역에서는 진동차단율이 낮게 나타나고 있으며 주파수가 올라가면서 진동차단율이 증가하다 중주파수 이후 대역에서는 수렴하는 경향을 보임을 알 수 있다. 그림에는 배플조립체의 제진패드 유·무에 따른 결과를 비교하여 제시하였는데, 두 결과를 비교하면 제진패드를 설치한 경우가 미설치한 경우보다 전반적인 주파수 대역에서 약 5 dB~10 dB 정도 진동차단율이 높게 나오는 것을 확인할 수 있다. 진동차단율 레벨을 비교해 볼 때 저주파 영역에서 제진패드가 배플조립체의 음향배플이나 고정 마운트에 비해 수중 진동 감쇄에 큰 역할을 하고 있음을 유추할 수 있다. 한편, 결과 그래프에서 주파수를 따라 음향센서의 모드별 고유주파수에 해당하는 여러 골(dip)이 관찰된다. 일반적으로 수중에서의 구조물 모드 고유주파수는 유체의 부가수 질량 효과에 의해 공기중과 비교하여 대폭 감소하며 댐핑비는 증가하는 것으로

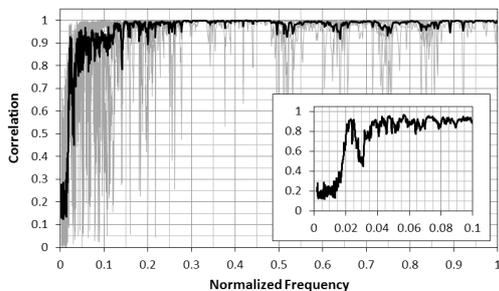


Fig. 3. Coherence between acc. value from the impedance head and acc. values from accelerometers installed on the surface of the mock-up hull.

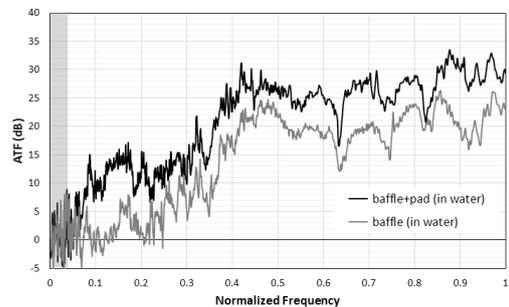


Fig. 4. Acceleration transfer function of the sensors with the acoustic baffle in water: w/ and w/o vibration damping pad.

알려져 있는데,^[4] 본 실험의 수중 진동차단을 결과에서는 저주파 영역의 주요 기본 모드에 대한 고유주파수가 실험 유효 주파수 대역 아래 영역에 위치하여 명확한 분석이 제한되었다.

Fig. 5는 음향센서 배플조립체의 삽입손실 결과이다. 전체적인 경향은 진동차단율과 유사하게 저주파 대역에서 낮게 나타나다가 주파수가 올라가면서 증가하여 수렴하는 경향을 보이고 있다. 배플조립체의 제진패드 유·무에 따른 결과를 비교하면, 중주파수 이후 대역에서는 제진패드를 설치한 경우가 미설치한 경우보다 약 5 dB~10 dB 정도 삽입손실이 높게 나타났으나, 저주파 대역에서는 상대적으로 큰 차이가 발생하지 않았다. 이는 제진패드가 물과의 음향임피

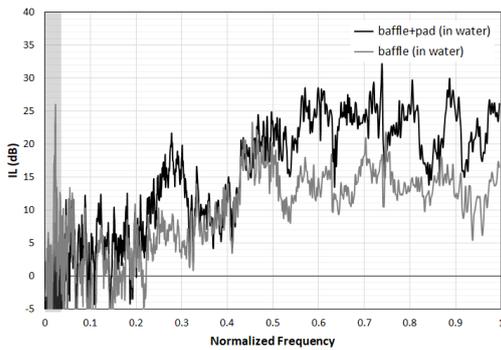


Fig. 5. Insertion loss of the baffle assembly (acoustic baffle and vibration damping pad) in water.

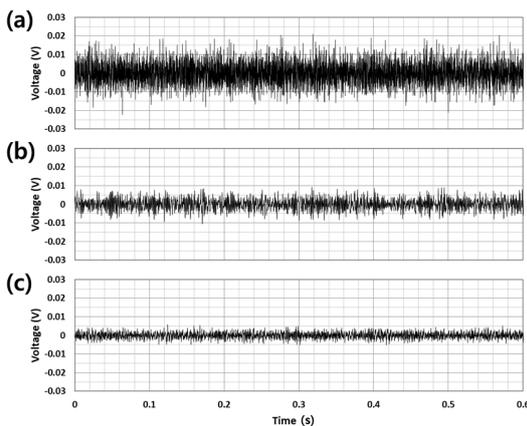


Fig. 6. Time data of output voltage from one of the acoustic receiving module of the sensors: (a) w/o the baffle assembly (acoustic baffle and vibration damping pad), (b) w/ the baffle assembly an w/o fixing mounts for the acoustic receiving module, (c) full sensor system.

던스 차가 크지 않아 유체전달소음에 대한 음향적 차단 성능은 제한적이기 때문이다.

한편, 삽입손실 결과에서는 특히 저주파 영역에서 그래프의 변동성이 심한 것을 관찰할 수 있는데, 이는 측정 시 음향수신모듈을 별도 지지구조에 장착했기 때문에 이 지지구조를 통해 전달된 일부 구조전달소음 영향이 결과에 포함되었기 때문으로 판단된다. Fig. 6에는 삽입손실 실험 시 측정된 음향수신모듈 출력전압 신호의 시간영역 데이터 일부를 나타내었다. 그림에서 (a)는 배플조립체 제거 시, (b)는 배플조립체 설치 시, (c)는 기본 단위모듈 설치 상태(음향수신모듈이 고정 마운트로 배플조립체에 조립된 상태)이다. (a)와 (b)를 통해 배플조립체의 삽입손실 만큼 소음 레벨이 저감되는 것을 알 수 있으며, (b)와 (c)를 비교하면 앞서 언급한 대로 시험용 음향수신모듈 지지구조를 통한 진동유기 소음 영향을 확인할 수 있다.

Figs. 7과 8에는 음향센서 진동민감도 산출 결과를 나타내었다. 먼저 Fig. 7은 선체모사구조물에 설치된 음향센서 음향수신모듈 중 측정이 이루어진 3개의 음향수신모듈(Fig. 1 참조) 각각에 대한 진동민감도 결과이다. 주파수가 증가함에 따라 진동민감도가 감소하는 특성 및 전체적인 레벨 등은 유사하게 나타나고 있으나, 각 음향수신모듈의 위치와 주파수 등에 따라 약간의 편차가 있음을 알 수 있다. Fig. 8은 배플조립체의 제진패드 유·무에 따른 진동민감도 결과 비교 그림이다. 여기서 각 결과는 3개 음향수신모듈 측정값의 평균값을 나타내었으며, 제진패드를 설치한 경우가 미설치한 경우보다 전반적인 주파수 대역에서 평균 약 7 dB 정도 진동민감도가 낮게 나타났다.

참고로 Fig. 8에는 결과의 비교를 위해 단순 하이드로폰에 대한 이론적 진동민감도 기준치를 함께 나타내었다(점선 및 파선). 하이드로폰에 단위 진동 가속도(1 m/s^2)가 인가되었을 때 하이드로폰의 출력 레벨(즉, 하이드로폰의 진동민감도 또는 가속도감도)은 동일한 단위 입자 가속도 크기를 가지는 평면파 음압에 대한 하이드로폰 출력 레벨보다 작아야 한다(하이드로폰은 평면파 파장 대비 충분히 작은 크기이며, 지지구조 등은 고려하지 않는다고 가정). 단위 입자 가속도 크기를 가지는 평면파 음압은 다음과

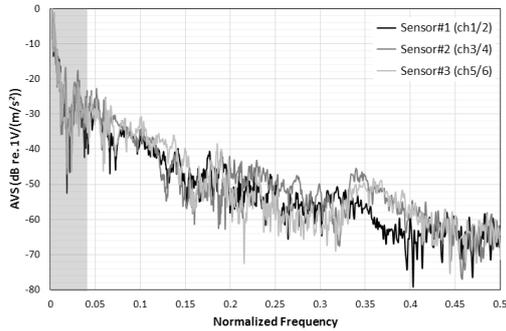


Fig. 7. Acceleration voltage sensitivity of the sensors with the acoustic baffle and vibration damping pad in water: comparison of results from each acoustic receiving module.

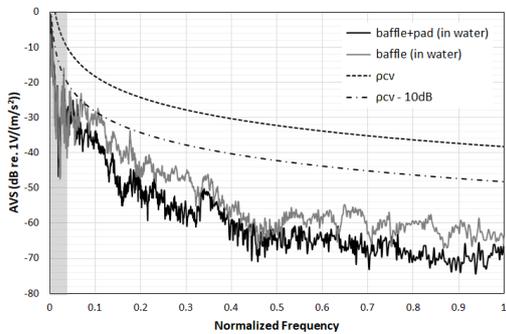


Fig. 8. Acceleration voltage sensitivity of the sensors with the acoustic baffle in water: w/ and w/o vibration damping pad.

같이 계산할 수 있다.

$$p'_h = \rho cv = \frac{a}{\omega} \rho c, \quad (4)$$

여기서 ρ 와 c 는 물의 밀도 및 음속, ω 는 각주파수, v 와 a 는 음파의 입자 속도 및 가속도 크기이다. Fig. 8에 표시한 하이드로폰 진동민감도 기준치(점선)는 이를 하이드로폰 감도 및 디지털전처리기 이득을 반영하여 출력전압 레벨로 환산한 값이다. 통상적으로 음향수신모듈 단위의 진동민감도는 p'_h 대비 -6 dB ~ -10 dB 이하 값을 가져야 한다(파선). Fig. 8에서 음향센서 진동민감도를 하이드로폰 진동민감도 기준치와 비교하면, 음향센서의 전체적인 진동유기 소음 저감 효과가 충분히 나타나고 있는 고주파 영역에 비해, 음향센서 크기 대비 파장의 크기가 커지는 저주파 영역으로 갈수록 음향센서의 민감도 특성이 단

일 하이드로폰 특성에 가까워지는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 선체모사구조물을 이용한 수중 진동 실험을 통해 선체부착형 소나 음향센서의 플랫폼 진동유기 소음 차단 특성을 확인하고자 하였다. 모사구조물 선체면에서 음향센서로 입력되는 가속도 크기 대비 음향센서 음향수신모듈 위치에서의 가속도 및 음향수신모듈 출력신호 크기를 비교하여 음향센서의 소음 차단 정도를 나타내는 전달함수 형태의 세 가지 성능지수를 산출하고 결과를 분석하였다.

먼저 진동차단을 결과를 통해 음향센서의 전체적인 주파수별 구조전달소음 저감 특성을 확인하였으며, 구성품 중 선체면과 음향배플 사이에 설치되는 제진패드가 저주파 영역에서 수중 진동 감쇄 특성에 많이 기여하는 것으로 판단되었다. 삽입손실 결과에서는 유체전달소음에 대한 배플조립체의 음향적 차단 특성을 확인할 수 있었다. 전체적인 경향은 진동차단율과 유사하게 나타났으나, 실험 조건의 제한으로 인한 구조전달소음 유입 영향으로 저주파 영역에서 결과의 변동성이 심하게 관찰되었다. 선체 진동에 의해 음향센서에 발생하는 소음 정도를 직접적으로 나타내주는 진동민감도 결과의 경우 단순 하이드로폰에 대한 이론적 진동민감도 기준치와 비교하였을 때 저주파 영역에서도 10 dB 이상의 여유를 확보하였음을 확인하였다.

본 논문에서 제시한 수중 진동 실험 방법과 결과를 토대로 향후 보다 효율적이고 다양한 각도에서 소나 음향센서의 소음 차단 특성을 검증할 수 있는 실험 기법 및 분석 방법 개선이 필요하다. 또한 서론에서 언급했던 공기중 진동특성 실험 및 수중 음향 특성 실험 결과와의 연계 분석 부분에 대해서도 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

1. R. D. Collier, "Ship and platform noise, propeller noise," in *Handbook of Acoustics*, edited by M. J.

- Crocker (A Wiley-Interscience Publication, New York, 1998).
2. C. H. Sherman and J. L. Butler, *Transducer and Arrays for Underwater Sound* (Springer, Switzerland, 2016), pp. 279-300.
 3. J. Leader, J. Pan, P. Dylejko, and D. Matthews, "Experimental investigation into sound and vibration of a torpedo-shaped structure under axial force excitation," *Proc. Meetings on Acoustics* 19, 065059 (2013).
 4. J. W. Sohn, O. C. Kwon, and S. B. Choi, "Modal characteristics and vibration control of cylindrical shell structure: experimental results comparison in the air and water" (in Korean), *Proc. Korean Soc. Noise Vib. Eng. Annual Spring Conference*, 384-389 (2009).

저자 약력

▶ 김 경 섭 (Kyungseop Kim)



2002년 8월: 서울대 조선해양공학과 학사
 2008년 8월: 서울대 조선해양공학과 박사
 2010년 2월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임 연구원

▶ 제 업 (Yub Je)



2006년 2월: 포항공대 기계공학과 학사
 2013년 8월: 포항공대 기계공학과 박사
 2014년 2월 ~ 현재: 국방과학연구소 선임 연구원

▶ 김 호 준 (Ho-Jun Kim)



2015년 2월: 경남대학교 조선해양공학과 학사
 2017년 2월: 부산대학교 조선해양공학과 석사
 2017년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 연구원

▶ 조 요 한 (Yo-Han Cho)



1992년 2월: 경남대학교 기계공학과 학사
 1994년 2월: 경남대학교 기계공학과 석사
 1994년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 책임 연구원

▶ 이 정 민 (Jeong-Min Lee)



1990년 2월: 전북대학교 전기공학과 학사
 2001년 8월: 부산대학교 전기공학과 석사
 2010년 2월: 부산대학교 전기공학과 박사
 1990년 3월 ~ 현재: 국방과학연구소 책임 연구원

▶ 김 동 현 (Donghyeon Kim)



2010년 2월: 고려대학교 기계공학과 학사
 2012년 2월: 고려대학교 기계공학과 석사
 2012년 ~ 현재: LIG넥스원 해양2연구소 선임 연구원

▶ 장 우 석 (Woosuk Chang)



1994년 2월: 한양대 기계설계공학과 학사
 1996년 2월: Lehigh University 기계공학 석사
 2001년 2월: Pennsylvania State University 기계공학 박사
 2002년 ~ 2006년: National University in Singapore 연구원
 2006년 ~ 현재: LIG넥스원 해양2연구소 수석 연구원