펄스 튜브를 이용한 수중 음향 특성 시험에서 잔류 가진 신호에 대한 연구

A Study on the Residual Excitation of Underwater Acoustic Performance Measurement

서윤호† · 김상렬* · 김재승* · 변양헌** · 서영수***

Yun-Ho Seo, SangRyul Kim, Jae-Seung Kim, Yang-Heon Byun and Youngsoo Seo

1. 서 론

수중 구조물의 소음 제어를 위해 사용되는 각종 방음재의 음향 특성 측정은 Figure 1 과 같은 펄스 튜브에서 실제 온도와 압력 조건을 인가하여 시험이 실시된다. 펄스 튜브 최하단의 음향원(source)에서 발생된 임펄스 형태의 가진 신호는 시편에 도달하여 반사 또는 전달되며, 이를 각각 측정함으로써 시편의 수중 반사 및 전달에 대한 음향 특성을 각각 측정할 수 있다.

Figure 2 는 Figure 1 의 dynamic pressure sensor #1 에서 측정된 시편에 입사되는 가진 신호(입사파)와 반사되어 측정된 신호(반사파)를 각각 보여주고 있다. 입사파의 경우 명확한 신호를 확인할 수 있지만, 반사파의 경우 반사에 의한 음향 감쇠로 인하여 입사파 이후 나타나는 잔류 음압 신호에 묻혀서 확인하기 어려운 경우가 많다. 이 경우 센서와 시편 사이의 정확한 거리와 음속 측정을 바탕으로 반사파를 구별해내거나, 참고 문헌 [1]에서 제시한 시편이 없을 때의 측정 결과를 이용하여 보상하는 방법을 이용할 수 있다. 하지만, 위와 같이 신호 처리를 이용하여 반사파를 구별하는 방법은 주위 환경 및 시험 조건 변화에 매우 민감하여 정확한 시험을 위해서는 많은 노력이 요구된다.

본 논문에서는 Figure 2 에 나타난 것과 같은 입사파 생성 이후에 발생되는 잔류 가진 신호의 원인을 분석하고 이를 줄일 수 있는 방법에 대해 논한다. 잔류 가진 신호를 줄임으로써 반사파의 구별을 명확히 할 수 있을 뿐만 아니라 현 펄스 튜브에서 측정 가능한 반사에 의한 음향 감쇠 최대 성능을 높일 수 있다.

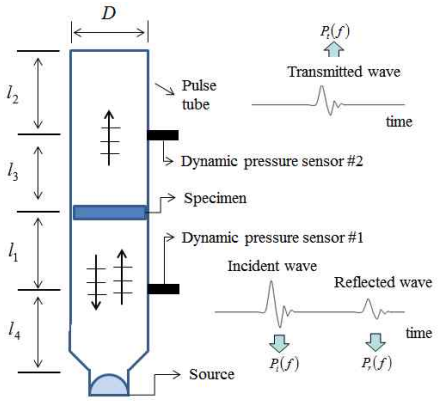

Figure 1 Schematic diagram of pulse tube

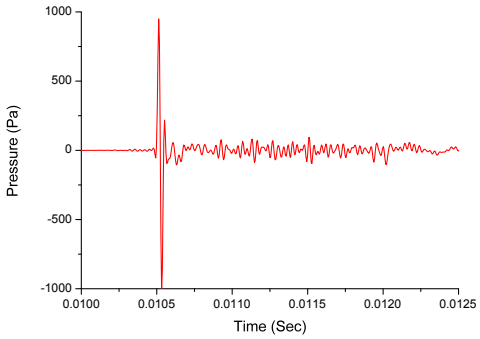

Figure 2 Example of dynamic pressure signal

2. 잔류 가진 신호 감소

잔류 가진 신호의 생성은 두가지 원인에 의해 나

† 교신저자; 정회원, 한국기계연구원
E-mail : yhseo@kimm.re.kr
Tel : 042-868-7533, Fax : 042-868-7440
* 한국기계연구원
* 화승 R&A
** 국방과학연구소

타날 수 있다. 하나는 실제 음향원에 펄스 신호 생성 후에 잔류 진동이 발생하여 이것이 펄스 튜브 내부의 물을 타고 전파하는 경우이고, 다른 하나는 음향원에서 발생된 진동이 펄스 튜브 벽면을 타고 전파하는 경우이다. 전자의 경우 펄스 튜브가 없는 수조에서의 가진 시험을 통해 잔류 진동이 발생하지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서, Figure 1 의 잔류 가진 신호는 펄스 튜브 벽면을 따라 전파되는 축방향 또는 굽힘 진동에 의해 발생되는 신호라고 판단된다.

위와 같은 원인으로 발생되는 잔류 가진 신호는 Figure 3 과 같은 주파수 특성을 가지고 있다. 음향원에서 발생되는 입사 가진 신호가 약 30 kHz 의 펄스 신호이기 때문에 이에 대응하여 약 30 kHz 대역의 성분을 갖는 잔류 신호가 발생되는 것이다. 이를 억제하기 위해서 Figure 4 와 같이 음향원이 설치된 하우징(housing)의 질량을 높이는 방법을 사용할 수 있다. 일반적으로 질량체는 저주파 대역 통과 필터(low pass filter)의 역할을 하기 때문에 적절한 설계로 잔류 가진 신호를 억제할 수 있다.

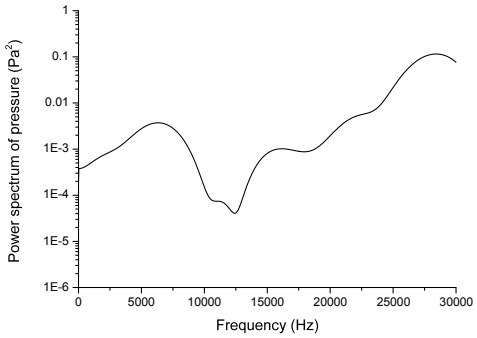

Figure 3 Spectrum of residual pressure

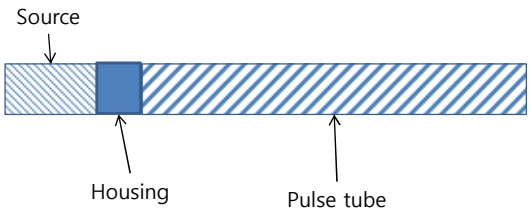

Figure 4 Simplified model of pulse tube

음향원 하우징과 펄스 튜브를 단순화하여 등가의 보(beam)로 가정했을 때, housing 전/후의 전달 손실(transmission loss, TL)은 다음과 같은 식으로부터 구할 수 있다[2].

$$TL = -20\log\left|\frac{-j\left(4+\kappa-\theta^2\kappa^3\right)}{\left(\kappa+\theta^2\kappa^3\right)-j\left(4+\kappa-\theta^2\kappa^3-\theta^2\kappa^4/2\right)}\right| \quad (1)$$

$$\kappa = \sqrt[4]{\frac{m'}{B}}\sqrt{\omega}\sqrt{\frac{m}{m'}},\ \theta = \frac{m}{m'}\sqrt{\frac{\Theta}{m}} \quad (2)$$

여기에서 m', m, Θ, B 와 ω 는 펄스 튜브 단위 길이당 질량, housing 의 질량, housing 의 moment of inertia, 펄스 튜브 굽힘 강성(flexural rigidity)과 주파수를 각각 의미한다. 위 식을 이용하여 현재 housing 의 경우와 질량을 약 28 배 증가시킨 경우의 전달 손실의 아래 Figure 5 와 같이 약 30 dB 줄어들 것으로 예상된다.

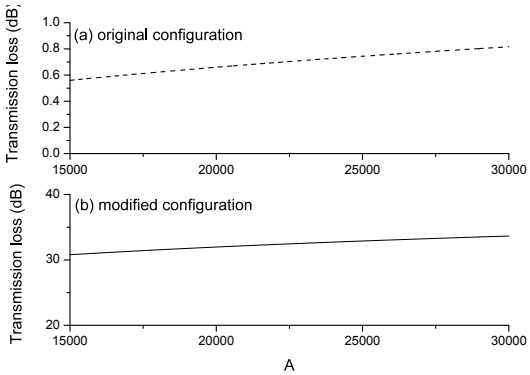

Figure 5 Transmission loss of residual excitation

3. 결 론

펄스 튜브를 이용한 수중 음향 특성 시험에서 입사파 이후에 발생하는 잔류 가진 신호의 특성을 분석하여 이를 억제하는 방법을 제안했다. 음향원 하우징의 질량을 증가시키는 방법으로서 간단한 모델링을 통해 잔류 가진을 줄일 수 있는 설계를 제시했으며, 향후 시험을 통해 효과를 확인할 예정이다.

참 고 문 헌

(1) Seo, Y. H., Kim, S. R., Lee, S. M., Byun, Y. H. and Seo, Y. S., 2014, Development of Underwater Acoustic Performance Measurement System Using Pulse Tubes, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 24, No. 5, pp. 399~406.

(2) Cremer, L., Heckl, M. and Petersson, B., 2005, Structure-Borne Sound, Springer.