한국소음진동공학회 2014년 춘계학술대회논문집, pp. 599~600

산란체의 크기분포를 고려한 수중 음향재료의 음향성능 해석

Acoustical Performance Analysis of Underwater Acoustic Material Considering Size Distribution of Scatterer

서영수† · 함일배*· 정우진*

Seo Young Soo, Ham Il Bae and Jung Woo Jin

1. 서 론

정수압을 받는 수중환경에서 운용되는 수중 몰수체의 음향성능에 대한 요구조건은 현대의 전장 환경에서 더욱 증대되고 있다. 특히 수중 몰수체는 표면에 음향 재료를 부착하여 적함의 능동소나에 대한 음향 성능을 더욱 향상 시키고 있다. 수중 음향재료는 고무 또는 폴리우레탄 등의 점탄성 재료를 사용하여 제작되며 정수압에 따라 최적의 음향 성능을 발휘하기 위하여 다양한 형태 및 크기의 산란체를 사용하여 설계 및 제작된다.

본 논문에서는 산란체의 크기 분포를 고려한 수중 음향재료의 음향성능 해석을 위하여 음향성능 해석 모델 및 해석기법을 소개하고 이에 따른 수중 음향재료의 음향 특성 변화에 대해 연구하였다.

2. 본 론

재료 내부에 산란체를 갖는 음향재료 내부의 음향전파 모델링은 재료 내부의 첨가제 위치를 정확히 알 수가 없고 모제(substrate)와 산란체(scatterer)의 경계면에서의 경계조건, 즉 응력과 변위의 연속조건을 만족해야 하는 문제점이 있다. 따라서 이러한 복잡한 문제를 해결하기 위하여 적절한 유효계수(effective parameter)로 대체하면 음향 전파 모델 및 해석이 용이하게 된다. 여기서는 산란효과를 고려한 유효매질이론을 이용하여 재료 내부에 다양한 크기의 첨가제가 포함된 다층구조의 음향 전파모델링을 수행하고 산란체의 크기분포를 고려한 음향성능 해석을 수행하였다.

2.1 산란체의 크기분포

그림 1은 재료 내부에 산란체가 포함된 음향재료의 개념도를 나타낸다. 산란체는 크기가 각각 다르며 재료 내부에 불규칙적으로 분포되어있다. 이러한 산란체를 일정한 크기와 매질의 특성을 가지는 구(sphere)로 가정할 수 있다. 그러면 외부에서 입사되는 음향전파에 의한 산란은 이론식을 이용하여 모델링 할 수 있으며 구에 의한 산란 효과를 쉽게 해석할 수 있다.

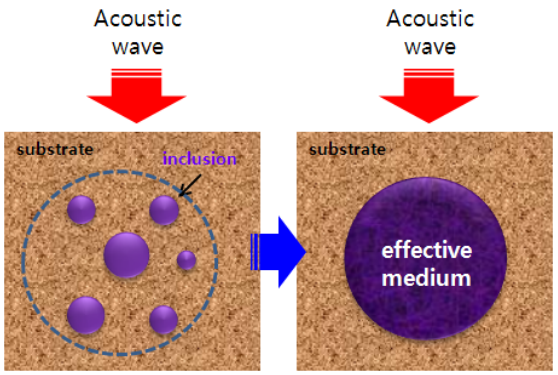

Fig. 1 Concept of multiple sphere problem

임의의 산란체의 내경(a_j), 외경(b_i) 그리고 셀 분량($\epsilon_{i,j} = 1 - a_j^3/b_i^3$)을 가진 산란체의 수를 $n_{i,j}$라고 하면 산란체의 체적율은 다음과 같이 정의할 수 있다.

† 교신저자; 정회원, 국방과학연구소
E-mail : ysseo.korea@gmail.com
Tel : 055-540-6419, Fax : 055-542-3737
* 국방과학연구소

$$\phi = \frac{4\pi}{3}\sum_{i,j} n_{i,j} b_i^3 = \frac{4\pi}{3} b^3 \sum_{i,j} n_{i,j} \quad (1)$$

산란체의 분포를 정규화된 크기 분포함수로 변환하면 다음 식과 같다.

$$\bar{n}_{i,j} = \frac{\frac{4\pi}{3} n_{i,j} b_i^3}{\phi} = \frac{\frac{4\pi}{3} n_{i,j} b_i^3}{\frac{4\pi}{3} b^3 \sum_{i,j} n_{i,j}} \quad (2)$$

2.2 크기분포를 고려한 유효계수

모제의 특성을 첨자 1, 산란체의 특성을 첨자 x 그리고 산란체 내부 유체의 특성을 첨자 2로 나타내어 유효매질 이론을 적용하면 유효 질량(ρ^*), 전단계수(μ^*) 및 체적탄성계수(K^*)를 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$\rho^* = \rho_1(1-\phi) + \rho_2\phi\sum_{i,j}\bar{n}_{i,j}(1-\epsilon_{i,j}) + \rho_x\phi\sum_{i,j}\bar{n}_{i,j}\epsilon_{i,j} \quad (3)$$

$$\frac{6\mu_1\left(\frac{\mu^*}{\mu_1}-1\right)}{6\frac{\mu^*}{\mu_1}(K_1+2\mu_1)+(9K_1+8\mu_1)} = \phi\sum_{i,j}\bar{n}_{i,j}M_{1,i,j} \quad (4)$$

$$\frac{K^*-K_1}{K^*+\frac{4}{3}\mu_1} = \phi\sum_{i,j}\bar{n}_{i,j}M_{0,i,j} \quad (5)$$

위의 식과 동강성행렬을 이용한 음향성능 해석을 수행하면 음향재료의 특성을 구할 수 있다.

2.3 해석결과

산란체의 크기 분포를 고려한 수중 음향재료의 음향특성은 기존의 논문에서 제시된 물성치를 이용하여 해석을 수행하였다. 산란체의 크기는 Rayleigh 분포를 가지는 것으로 가정하였다.

그림 2와 3은 산란체의 크기 분포를 고려한 경우와 고려하지 않은 경우에 대한 반향음 감소량(Echo reduction) 및 음향투과손실(Transmission loss)을 나타낸다. 그림을 보면 주파수가 증가함에 따라 크기분포를 고려한 경우와 그렇지 않은 경우의 차이가 점점 차이가 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 반향음 감소량의 경우 산란체의 크기분포를 고려하면 미고려한 경우에 비해서 작게 나타나고 음향투과손실의 경우 크기분포를 고려한 경우가 더 높게 나타나고 있다.

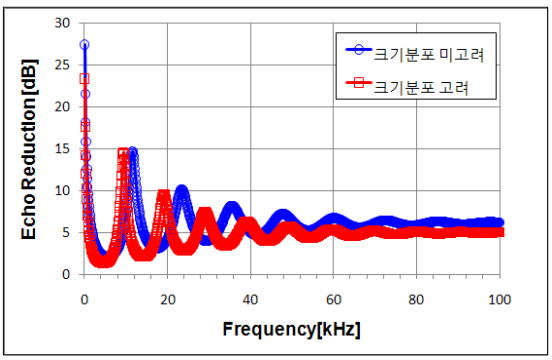

Fig. 2 Comparison of echo reduction

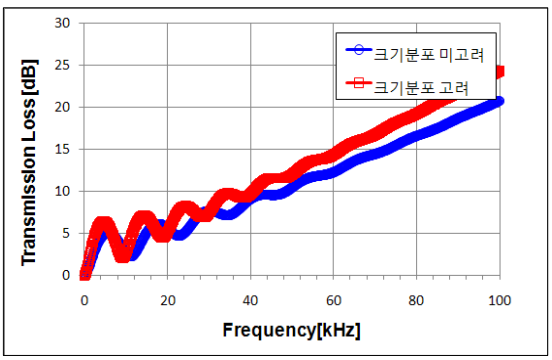

Fig. 3 Comparison of transmission loss

3. 결 론

산란체의 크기분포에 따른 수중 음향재료의 해석모델 및 해석기법을 소개하고 음향특성 변화에 대해 해석하였다. 수중 음향재료의 특성은 적절한 유효계수를 가지는 유효매질이론을 적용하여 산란효과를 고려한 음향 전파를 모델링하였으며 동강성행렬을 이용한 음향성능 해석기법을 수행하여 산란체의 크기분포를 고려한 수중 음향재료의 음향 특성을 해석하였다. 해석결과 주파수가 증가함에 따라 산란체의 크기분포를 고려함에 따라 음향투과손실 및 반향음 감소성능이 점점 큰 차이가 발생함을 알 수 있었다.