

수중 음향재료의 음향성능 설계기법 연구

A Study on the Acoustic Performance Design Technique of Underwater Acoustic Material

서 영 수[†] · 함 일 배^{*} · 전 재 진^{*}
Youngsoo Seo, Ilbae Ham and Jaejin Jeon

(Received September 3, 2013 ; Revised October 11, 2013 ; Accepted October 14, 2013)

Key Words : Underwater Acoustic Material(수중 음향재료), Effective Medium Theory(유효매질이론), Scatterer(산란체), Characteristic Impedance(특성 임피던스), Input Impedance(입력 임피던스), Echo Reduction(반향음 감소량), Transmission Loss(음향투과손실)

ABSTRACT

The requirement of acoustic performance about underwater acoustic material which is used in underwater environment more increases. Underwater acoustic material was made by viscoelastic material such as a rubber and a polyurethane etc. In order to increase an acoustic performance, several kinds of inclusions were added to viscoelastic material. In this paper, acoustic modelling and analysis techniques were introduced and the acoustic characteristics of underwater acoustic material were studied. Echo reduction and transmission loss were calculated with volume fraction of inclusion in the material. Also the characteristic impedance and the input impedance of underwater acoustic material were obtained and effects on the echo reduction and transmission loss of material were discussed.

1. 서 론

수중환경에서 음파의 반사 및 투과를 위해서 사용되는 수중 음향재료는 다양한 종류 및 형태로 제작되어 사용된다. 수중 음향재료는 주위 유체인 물과 임피던스를 유사하게 맞추기 위해서 주로 고무 또는 폴리우레탄 등의 점탄성 재료를 사용하여 제작되며 최적의 음향 성능을 발휘하기 위하여 기공 및 다양한 형태의 첨가제가 사용된다.

Gaunaurd⁽¹⁾는 점탄성 재료에 구형 산란체가 있을 때 점탄성 재료 내부의 파동 전파를 해석하였다. 그는 Kelvin-Voigt의 점탄성 모델을 이용하여 단순한

구형 산란체에 대하여 주위 산란 음장을 모델링하고 구형 산란체의 공진에 대해 연구하였다. 이후 Gaunaurd⁽²⁾는 다수의 동일한 구형 산란체가 포함된 점탄성 재료에 대해서 유효매질이론(effective medium theory)을 적용하여 유효 체적탄성계수(effective bulk modulus), 유효 밀도(effective density) 그리고 유효 전단탄성계수(effective shear modulus)를 계산하였다. Kerr^(3,4)는 Gaunaurd가 제시한 모델의 유효 체적탄성계수를 개선하고 종파의 속도 및 감쇠를 계산하고 실험결과와 비교하여 좀 더 향상된 결과를 보였다. Baird⁽⁵⁾는 Kerr와 함께 동일한 크기의 산란체가 아닌 다양한 크기의 산란체에 대해서 모델링을 수행하고 측정결과와 비교하여 모델의 신뢰도를 향상시

[†] Corresponding Author ; Member, Agency for Defense Development
E-mail : sys@add.re.kr
Tel : +82-55-540-6419, Fax : +82-55-542-3737
^{*} Member, Agency for Defense Development

[‡] Recommended by Editor Don Chool Lee
© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

켰다.

이 논문에서는 점탄성 재료에 구 형태의 산란체가 포함된 수중 음향재료의 음향성능 해석을 위한 음향성능 해석 모델 및 기법을 소개하고 산란체의 체적률에 따라 반향음 감소량(echo reduction) 및 음향투과손실(transmission loss)을 계산하였다. 수중 음향재료의 특성 임피던스(characteristic impedance)와 입력 임피던스(input impedance)를 계산하고 두 가지 임피던스가 반향음 감소량 및 음향투과손실에 미치는 영향에 대해서 연구하였다.

2. 본 론

재료 내부에 산란체를 갖는 음향재료 내부의 음향 전파 모델링은 재료 내부 산란체의 위치를 정확히 알 수가 없고 모재(substrate)와 산란체(scatterer)의 경계면에서의 경계조건, 즉 응력과 변위의 연속 조건을 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 산란체가 포함된 다층구조의 음향 전파모델링을 수행하고 산란체의 체적률에 따른 음향성능 해석을 수행하였다.

2.1 단일 산란체의 해석 모델

Fig. 1은 구형 산란체의 개념도이다. 내부에 유체를 갖는 구형의 탄성체가 무한영역의 점탄성 매

질에 놓여 있고 외부에서 구형 탄성체로 평면파가 입사하는 것으로 가정한다.

모재(substrate) 및 탄성체(shell)의 재질은 등방성으로 가정한다. 모재의 특성을 첨자 1, 산란체의 특성을 첨자 x 그리고 탄성체 내부 유체의 특성을 첨자 2로 나타낸다. 구형 산란체를 포함한 점탄성 매질의 운동방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\lambda + 2\mu)\nabla\nabla \cdot \mathbf{u} - \mu\nabla \times \nabla \times \mathbf{u} = -\rho\omega^2\mathbf{u} \quad (1)$$

여기서 λ, μ 는 복소 Lamé 파라미터, ρ 는 밀도 그리고 \mathbf{u} 는 변위벡터를 나타낸다. 음향장 내의 변위벡터, \mathbf{u} 는 Helmholtz 분해이론에 의해서 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{u} = \nabla\phi + \nabla \times \boldsymbol{\psi} \quad (2)$$

여기서 ϕ 는 평면파가 진행하는 방향의 운동을 나타내는 스칼라 포텐셜이고 $\boldsymbol{\psi}$ 는 전단방향의 운동을 나타내는 벡터 포텐셜이다. 입사파의 스칼라 포텐셜은 레이리히 전개(Rayleigh's expansion)에 의해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_{inc} = \phi_0 e^{-iat} \sum_{n=0}^{\infty} i^n (2n+1) j_n(k_{d1}r) P_n(\cos\theta) \quad (3)$$

여기서 ϕ_0 는 입사파의 크기, k_{d1} 은 모재내의 종파의 파수, j_n 은 제 1종 구형베셀함수 그리고 P_n 은 르장드르 다항식이다. 모재에서 산란 음장을 표현하는 스칼라 포텐셜은 다음과 같다.

$$\phi_{sc} = \phi_0 e^{-iat} \sum_{n=0}^{\infty} i^n (2n+1) A_n h_n(k_{d1}r) P_n(\cos\theta) \quad (4)$$

$$\chi_{sc} = \phi_0 e^{-iat} \sum_{n=0}^{\infty} i^n (2n+1) B_n h_n(k_{s1}r) P_n(\cos\theta) \quad (5)$$

Fig. 1의 구형 산란체에서 전체 부피에서 셸이 차지하는 부피를 셸 분량(shell fraction)이라고 하고 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = 1 - \frac{a^3}{b^3} \quad (6)$$

위의 식에서 셸 분량이 작은 경우 저주파수 대역

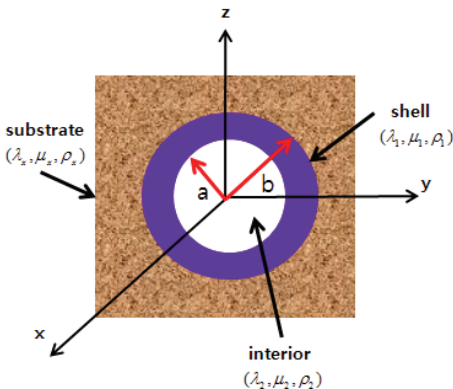


Fig. 1 Concept of single scatterer model

에서 모노폴 공진을 고려하지 않는 저차의 산란 계수는 다음과 같다.

$$A_0 = \frac{\left(\frac{y_{d1}^3}{3i}\right) \alpha_1 - \frac{y_{d1}^2}{10} \alpha_2 - \frac{y_{d2}^2}{10} \alpha_3 - \frac{y_{d2}^2}{9} \epsilon \left(K_x + \frac{4}{3} \mu_x\right)}{\beta_1 + \frac{y_{d1}^2}{10} \beta_2 - \frac{y_{d2}^2}{10} \beta_3 - \frac{y_{d2}^2}{9} \epsilon \left(K_x + \frac{4}{3} \mu_x\right)} \quad (7)$$

$$A_1 = \left(\frac{y_{d1}^3}{9i}\right) \left[1 - \frac{\rho_x}{\rho_1} \epsilon - \frac{\rho_2}{\rho_1} (1 - \epsilon)\right] \quad (8)$$

$$A_2 = \left(\frac{2y_{d1}^3}{9i}\right) \frac{\epsilon \alpha_{x,2} \left(\frac{\mu_x}{\mu_1} - 1\right) + (1 - \epsilon) \alpha_{x,x} \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)}{\epsilon \alpha_{x,2} \alpha_{1,x} + (1 - \epsilon) \alpha_{x,x} \alpha_{1,2}} \quad (9)$$

$$\alpha_1 = K_2 - K_1 + \epsilon \left(K_1 + \frac{4}{3} \mu_x\right) (K_x - K_2) / \left(K_x + \frac{4}{3} \mu_x\right) \quad (10)$$

$$\beta_1 = K_2 + \frac{4}{3} \mu_1 + \frac{4}{3} \epsilon (\mu_x - \mu_1) (K_x - K_2) / \left(K_x + \frac{4}{3} \mu_x\right) \quad (11)$$

$$\alpha_{m,n} = \frac{4}{3} \left(\frac{9K_m}{8\mu_m} + 1\right) + \frac{\mu_n}{\mu_m} \left(\frac{K_m}{\mu_m} + 2\right) \quad (12)$$

여기서 $y_{d1} = k_{d1}b$, $K_m (m = 1, 2, x)$ 는 각 재료의 체적탄성계수, $\mu_m (m = 1, 2, x)$ 는 각 재료의 전단탄성계수를 나타낸다.

2.2 다중 산란체의 해석 모델

Fig. 2는 재료 내부에 동일 크기의 산란체가 포함된 음향재료의 개념도를 나타낸다. 반경 b 를 갖는 구형 산란체가 반경이 R 인 모재의 체적 V_0 내에 불규칙적으로 N 개가 분포한다고 가정한다. 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. 다중 산란체에 의한 음파 산란 해석은 Gaunard와 Überall에 의해서 개발된 GU 모델을 적용하여 수행할 수 있다.

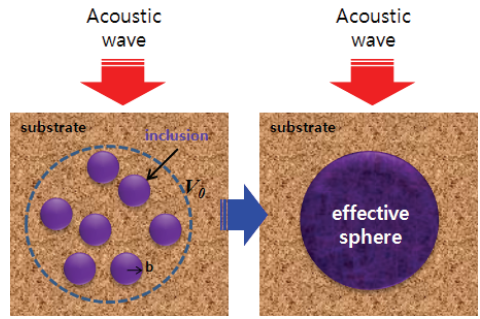


Fig. 2 Concept of effective medium theory

GU 모델은 평면파가 입사할 경우 각 산란체에 의한 원거리 산란장의 총합이 일정한 크기를 갖는 유효구에 의한 원거리 산란장과 같도록 유효구의 유효 파라미터를 정하는 것이다. 여기서 유효 파라미터는 밀도, 체적탄성계수 그리고 전단탄성계수이다. GU 모델의 기본적인 가정은 아래와 같다.

- (1) 체적 V_0 내의 산란체는 불규칙적으로 분포한다.
- (2) 원거리 산란장 조건을 만족해야하므로 각 산란체의 중심은 유효구의 중심과 같다.
- (3) 산란체간의 산란효과는 무시한다.

체적 V_0 내에 산란체가 불규칙적으로 분포하는 경우 각 산란체에 의한 원거리 산란장에서 변위(u_{tot}) 및 유효구의 변위(u_{tot}^*)는 다음과 같다.

$$u_{tot}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = u_{inc} + \sum_{i=1}^N u^{sc}(\mathbf{r} - \mathbf{r}_i) = u_{inc} + N u^{sc}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) \quad (13)$$

$$u_{tot}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = u_{inc} + u^*(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) \quad (14)$$

$$u^*(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = N u^{sc}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) \quad (15)$$

여기서 \mathbf{r} 은 원거리 산란장의 위치벡터이고 \mathbf{r}_0 는 산란체 및 유효구의 중심 위치벡터이다. 식 (4)에서 제시된 단일 산란체의 변위 포텐셜을 이용하면 각 산란장의 변위는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$u^{sc}(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = \nabla \phi_{sc} \quad (16)$$

$$\phi_{sc} = -i\phi_0 \frac{e^{i(k_{d1}r - \omega t)}}{k_{d1}r} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1) A_n P_n(\cos \theta) \quad (17)$$

$$\mathbf{u}^*(\mathbf{r}, \mathbf{r}_0) = \nabla \phi^* \tag{18}$$

$$\phi^* = -i\phi_0 \frac{e^{i(k_{d1}r - \omega t)}}{k_{d1}r} \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)A_n^* P_n(\cos \theta) \tag{19}$$

여기서 A_n^* 는 유효구의 산란계수이다. 위의 식을 식 (15)에 대입하면 다음과 같다.

$$\sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)A_n^* P_n(\cos \theta) \approx N \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)A_n P_n(\cos \theta) \tag{20}$$

체적 V_0 에 분포하는 산란체의 체적률(volume concentration)은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\Phi = \frac{NVb^3}{R^3} \tag{21}$$

체적률을 적용하면 유효파라미터 산출을 위한 관계식은 다음과 같다.

$$\widetilde{A}_n^* = \Phi \widetilde{A}_n, n = 0, 1, 2 \tag{22}$$

위의 식을 이용하면 산란체의 체적률에 따른 유효 파라미터를 쉽게 구할 수 있다. 그리고 압축 및 전단에 대한 유효파수는 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$(k_d^*)^2 = \frac{\omega^2 \rho^*}{K^* + \frac{4}{3}\mu^*} \tag{23}$$

$$(k_s^*)^2 = \frac{\omega^2 \rho^*}{\mu^*} \tag{24}$$

여기서 K^* 는 유효 체적탄성계수, μ^* 는 유효 전단탄성계수 그리고 ρ^* 는 유효 밀도를 나타낸다. 그리고 유효 음속 및 감쇠는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$k_d^* = \frac{\omega}{c_d^*} + i\alpha_d \tag{25}$$

$$k_s^* = \frac{\omega}{c_s^*} + i\alpha_s \tag{26}$$

유효구는 내부에 첨가제가 포함되지 않은 균질 성이므로 셀 분량이 1이며 아래와 같은 특징을 가

진다.

$$K_2 = K_x = K^* \tag{27}$$

$$\mu_2 = \mu_x = \mu^* \tag{28}$$

$$\rho_2 = \rho_x = \rho^* \tag{29}$$

식 (7)-(9)와 식 (22)를 적용하면 유효 체적탄성계수, 밀도 및 전단계수를 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{K^* - K_1}{K^* + \frac{4}{3}\mu_1} \tag{30}$$

$$= \Phi \frac{\alpha_1 - \frac{y_{d1}^2}{10}\alpha_1 - \frac{y_{d2}^2}{10}\alpha_3 - \frac{y_{dx}^2}{9}\epsilon \left(K_x + \frac{4}{3}\mu_x \right)}{\beta_1 + \frac{y_{d1}^2}{10}\beta_2 - \frac{y_{d2}^2}{10}\beta_3 - \frac{y_{dx}^2}{9}\epsilon \left(K_x + \frac{4}{3}\mu_x \right)} \tag{30}$$

$$\rho^* = \rho_1(1 - \Phi) + \rho_2\Phi(1 - \epsilon) + \rho_x\Phi\epsilon \tag{31}$$

$$\frac{6\mu_1 \left(\frac{\mu^*}{\mu_1} - 1 \right)}{6\frac{\mu^*}{\mu_1} (K_1 + 2\mu_1) + (9K_1 + 8\mu_1)} = \Phi \frac{\epsilon \alpha_{x,2} \left(\frac{\mu_x}{\mu_1} - 1 \right) + (1 - \epsilon) \alpha_{x,x} \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1 \right)}{\epsilon \alpha_{x,2} \alpha_{1,x} + (1 - \epsilon) \alpha_{x,x} \alpha_{1,2}} \tag{32}$$

위의 식 (30)-(32)와 동강성행렬^(6,8,9)을 이용하여 음향성능 해석을 수행하면 산란체가 포함된 음향재료의 특성을 구할 수 있다. 그리고 평면파가 다층구조로 이루어진 수중음향재료에 임의의 각도(θ)로 입사할 경우 입력 임피던스⁽⁷⁾는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Z_r = \frac{T_{11}Z_0 + T_{12}}{T_{21} + T_{22}} \tag{33}$$

여기서 $Z_0 (= \rho_0 c_0)$ 는 주위 유체의 특성 임피던스이고 $T_{p,q} (p, q = 1, 2)$ 는 다층구조 전달행렬의 계수이다. 따라서 M 개의 층으로 이루어진 다층구조의 전달행렬은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\{T\} = \prod_{l=1}^M \{T_l\} = \begin{Bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{Bmatrix} \tag{34}$$

$$\begin{Bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{Bmatrix} = \prod_{i=1}^M \begin{Bmatrix} \cos(\gamma_i h_i) & -iZ_i \sin(\gamma_i h_i) \\ -i \frac{\sin(\gamma_i h_i)}{Z_i} & \cos(\gamma_i h_i) \end{Bmatrix} \quad (35)$$

여기서 $Z_i = \frac{\rho_i \omega}{\gamma_i} = \frac{\rho_i \omega}{\sqrt{(\omega/c_i)^2 - (\omega/c_0 \sin \theta)^2}}$ 이고 ρ_i , c_i , h_i 는 각 층의 밀도, 음속 그리고 두께이다.

2.3 해석결과

산란체가 포함된 수중음향재료의 음향특성을 분석하기 위해서 수치해석을 수행하였다. 수치해석에 사용된 모재 및 산란체의 특성은 Table 1에 나타내었으며 해석에 수행된 재료의 두께는 10 mm, 주변 유체는 물($\rho_0=1000 \text{ kg/m}^3$, $c_0=1500 \text{ m/s}$)이다. 각각의 재료에 대해서 반향음 감소량 및 음향투과손실을 계산하고 그 특성을 분석하였다. 먼저 모재의 물성은 동적열기계분석법(dynamic mechanical thermal

Table 1 Material properties of samples

Contents	Stiff polymer	Soft polymer
Bulk modulus of substrate(Pa)	3×10^9	3×10^9
Density of substrate(kg/m^3)	1090	935
Dynamic shear modulus coefficients	A0	6.67569
	A1	3.954×10^{-2}
	A2	9.39×10^{-3}
	A3	3.85×10^{-3}
Dynamic loss tangent(tan delta) coefficients	B0	9.792×10^{-2}
	B1	5.9×10^{-4}
	B2	6.89×10^{-2}
	B3	-9.25×10^{-3}
Bulk modulus of shell(Pa)	2.1×10^9	2.1×10^9
Density of shell(kg/m^3)	1700	1700
Shear modulus of shell(Pa)	1.26×10^9	1.26×10^9
Loss tangent of shell	0.1	0.1
Bulk modulus of air at 1 atm(Pa)	1.4×10^5	1.4×10^5
Density of air at 1 atm(kg/m^3)	1.28	1.28
Average shell fraction	2.5×10^{-2}	2.5×10^{-2}
Average outer shell radius(m)	5×10^{-5}	5×10^{-5}

analysis)이 가능한 장비를 이용하여 다양한 온도 영역에서 재료의 특성을 계측하고 이를 시간 온도 중첩 원리(time temperature superposition)를 이용하여 주파수로 변환한다. 모재의 특성상 전단탄성계수 및 손실계수는 주파수에 따라 3차 다항식으로 표현될 수 있으며 아래와 같다.

$$\log(\mu_1^R) = A_0 + A_1 \times \log(f) + A_2 \times \log(f)^2 + A_3 \times \log(f)^3 \quad (36)$$

$$\delta_1 = B_0 + B_1 \times \log(f) + B_2 \times \log(f)^2 + B_3 \times \log(f)^3 \quad (37)$$

Stiff polymer의 특성 임피던스를 산란체의 체적률, 5%에서 25%까지 5% 간격으로 계산하고 물의 특성 임피던스에 대하여 나눈 값을 Fig. 3에 나타내었다. 이 값은 물의 특성 임피던스와 stiff polymer의 임피던스 차이로 볼 수 있으며 1보다 작아지거나 커질수록 임피던스 차이가 커지는 것을 의미한다. Stiff polymer의 특성 임피던스는 물의 특성 임

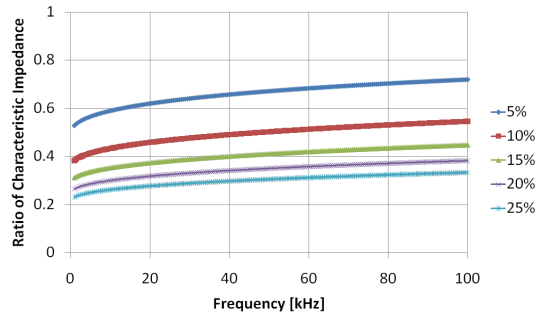


Fig. 3 Ratio of characteristic impedance of stiff polymer

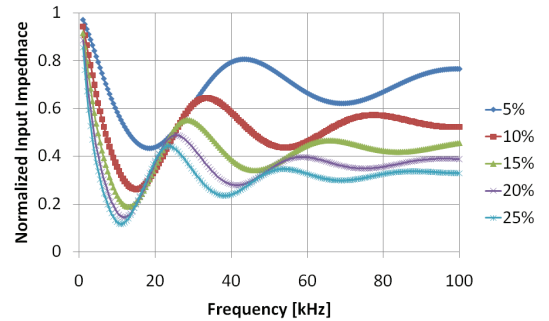


Fig. 4 Normalized input impedance of stiff polymer

피턴스보다 작은 값을 가지고 있으며 산란체의 체적률이 증가할수록 작아지는 것을 알 수 있다. 또한 주파수에 따라 일정하게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Fig. 4는 stiff polymer의 입력 임피던스를 계산한 후 물의 특성 임피던스에 대해서 나눈 값이다. 특성 임피던스와 같이 산란체의 체적률에 따라 감소하고 있으나 주파수에 따라 일정하게 증가하는 값이 아닌 변동하는 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이는 음향재료의 두께에 따른 효과로 볼 수 있다.

Fig. 5와 6은 stiff polymer에 대하여 산란체의 체적률에 따른 반향음 감소량 및 음향투과손실의 변화를 나타낸 그림이다. 반향음 감소량과 음향투과손실의 정의는 다음 식과 같다.

$$Echo\ Reduction [dB] = -20\text{Log}\left|\frac{p_r}{p_i}\right| \quad (38)$$

$$Transmission\ Loss [dB] = -20\text{Log}\left|\frac{p_t}{p_i}\right| \quad (39)$$

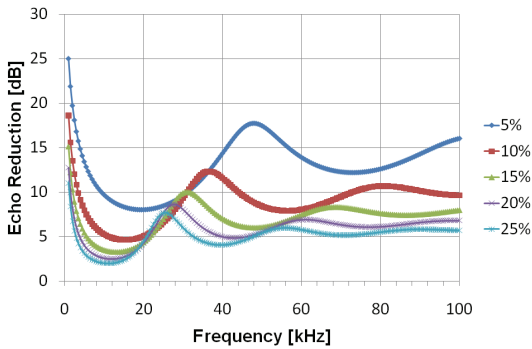


Fig. 5 Echo reduction of stiff polymer

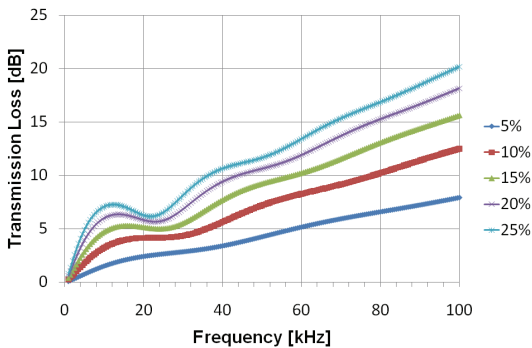


Fig. 6 Transmission loss of stiff polymer

여기서 p_i 는 입사파, p_r 는 반사파 그리고 p_t 는 투과파이다. 반향음 감소량의 경우 산란체의 체적률이 증가할수록 반향음 감소량이 감소하였다. 그러나 음향투과손실의 경우 산란체의 체적률이 증가할수록 음향투과손실이 증가한다는 것을 알 수 있었다. Fig. 5에 나타낸 반향음 감소량의 경우 입력 임피던스와 유사한 경향을 보이는 것을 확인할 수 있고 이는 반향음 감소량과 입력 임피던스 간에 일정한 관계를 가지는 것을 알 수 있다.

음향투과손실의 경우 산란체의 체적률이 증가할수록 증가하는 것을 알 수 있는데 이는 stiff polymer의 특성 임피던스 값이 점차 감소하여 주위 물의 임피던스와 차이가 발생하여 음향투과손실이 증가함을 알 수 있다.

Fig. 7와 8은 soft polymer에 대하여 산란체의 체적률에 따른 특성 임피던스 및 입력 임피던스를 계산하여 물의 특성 임피던스에 대하여 나눈 값이다. 산란체의 체적률에 따른 특성 임피던스는 stiff polymer와 같은 경향을 나타내고 있고 그 크기는 stiff

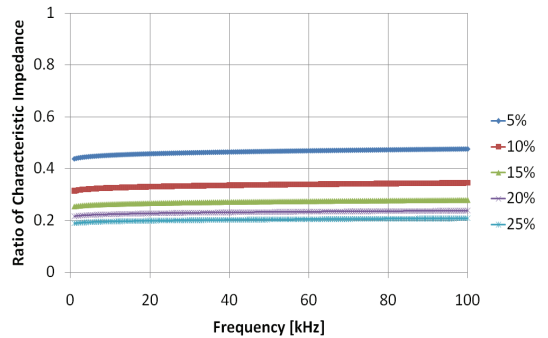


Fig. 7 Ratio of characteristic impedance of soft polymer

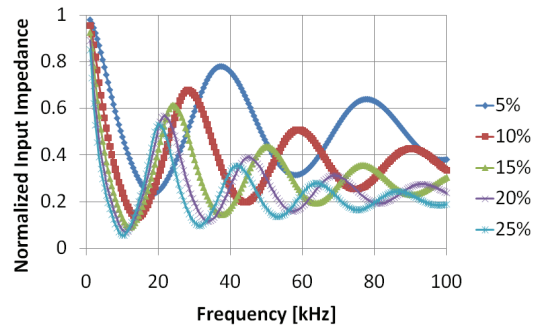


Fig. 8 Normalized input impedance of soft polymer

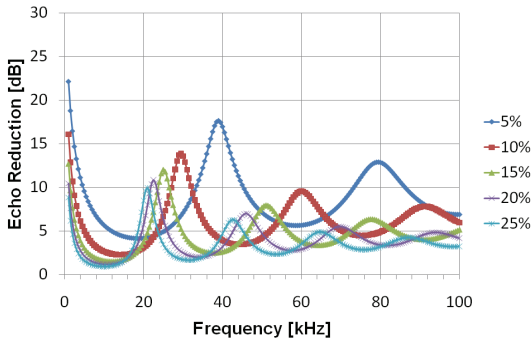


Fig. 9 Echo reduction of soft polymer

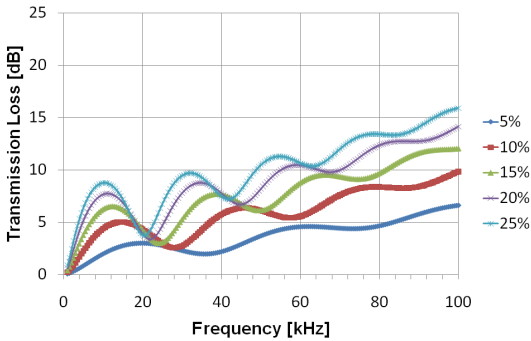


Fig. 10 Transmission loss soft polymer

polymer에 비해 작은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 입력 임피던스 역시 산란체의 체적 및 주파수에 따라 stiff polymer와 같은 경향을 보였다.

Fig. 9와 10은 산란체의 체적률에 따른 soft polymer의 반향음 감소량 및 음향투과손실 값이다. Soft polymer 역시 stiff polymer와 같이 입력 임피던스와 반향음 감소량 간에 유사한 경향을 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 음향투과손실 역시 산란체의 체적률 증가와 함께 특성 임피던스가 감소하고 음향투과손실이 증가하였다.

Fig. 6과 Fig. 10에 나타난 stiff polymer와 soft polymer의 음향투과손실을 비교하면 stiff polymer가 크다. 그리고 Fig. 3과 Fig. 7에 나타난 특성 임피던스는 soft polymer가 상대적으로 작은 값을 가지고 있어서 물과 임피던스 차이가 크다는 것을 알 수 있다. 일반적으로 재료와 주위 유체간의 임피던스 차이가 크면 음향투과손실이 크게 나타나는 것이 일반적인 현상이나 이 재료는 재료의 흡음성능 뿐만 아니라 산란체의 산란효과로 인한 영향으로 판단된

다. 산란효과를 높이기 위해서는 가능한 입력 임피던스를 물의 임피던스와 유사하게 함으로써 외부의 음파가 수중음향재료로 잘 입사되어 산란체에 의한 산란 및 재료 자체의 흡음이 잘 일어날 수 있도록 하여야 한다. Fig. 4와 Fig. 8에 나타난 두 가지 재료의 입력 임피던스를 살펴보면 stiff polymer가 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

이 논문에서는 수중 음향재료의 해석 모델 및 해석기법을 소개하고 산란체의 체적률에 따른 음향 특성 변화에 대해 해석하였다. 수중 음향재료의 특성은 적절한 유효계수를 가지는 유효매질이론을 적용하여 산란효과를 고려한 음향 전파를 모델링하였으며 동강성행렬을 이용하여 음향성능을 해석하였다. 수중음향재료 내부의 산란체의 체적률이 특성 임피던스, 입력 임피던스, 반향음 감소량 및 음향투과손실에 미치는 영향을 고찰하였다. 산란체의 체적률이 증가함에 따라 특성 임피던스 및 입력 임피던스는 감소하였다. 그리고 반향음 감소량은 감소하였고 음향투과손실은 증가하였다. 그리고 특성 임피던스는 주파수에 따라 거의 일정한 값을 가지나 입력 임피던스는 주파수에 따라 변화가 있었으며 이는 반향음 감소량 및 음향투과손실에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 그리고 산란체를 포함하는 수중 음향재료는 재료의 특성 임피던스뿐만 아니라 입력 임피던스도 음향투과손실에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 따라서 산란체를 포함하는 수중 음향재료 설계시 재료의 특성 임피던스 뿐만 아니라 입력 임피던스를 동시 검토하여 설계를 수행해야 설계 요구조건에 맞는 설계 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

References

- (1) Gaunard, G. C. and Überall, H., 1978, Theory of Resonant Scattering from Spherical Cavities in Elastic and Viscoelastic Media, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 63, No. 6, pp. 1699~1712.
- (2) Gaunard, G. C. and Überall, H., 1982, Resonance Theory of Effective Properties of Perforated

Solid, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 71, No. 2, pp. 282~295.

(3) Kerr, F. H., 1992, The Scattering of a Plane Wave by Spherical Elastic Inclusion, International Journal of Engineering Science, Vol. 30, No. 2, pp. 169~186.

(4) Kerr, F. H., 1992, An Effective Medium Approach to the Study of Plane Wave Propagation in an Elastic Matrix with Spherical Elastic Inclusions, International Journal of Engineering Science, Vol. 30, No. 2, pp. 187~198.

(5) Baird, A. B., Kerr, F. H. and Townend, D. J., 1999, Wave Propagation in a Viscoelastic Medium Containing Fluid-filled Microspheres, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 105, No. 3, pp. 1527~1538.

(6) Skelton, E. A. and James, J. H., 1997, Theoretical Acoustics of Underwater Structures, Imperial College Press.

(7) Meng, T., Wei, L. T. and Hong, X. H., 2010, Noise Reduction Analysis of an Underwater Decoupling Layer, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 132, pp. 061006-1~7.

(8) Seo, Y. S., Kang, M. W., Shin, K. K. and Jeon, J. J., 2011, Acoustic Performance Study of FRP Acoustic Window, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 10,

pp. 890~896.

(9) Shin, K. K., Seo, Y. S., Kang, M. W. and Jeon, J. J., 2013, The Influence of Design Factors of Sonar Acoustic Window on Transfer Function of Self Noise due to Turbulent Boundary Layer, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 23, No. 1, pp. 56~64.



Youngsoo Seo is currently a senior researcher at Agency for Defense Development(ADD). He received the B.S. degree, M.S. degree and the Ph.D. degree in Mechanical Engineering from Pusan National University, Korea in 1999, 2001 and 2005, respectively. His research interests are in the reduction of noise in the ship.



Jae-Jin Jeon received Ph.D. in Mechanical Engineering at KAIST in 1987. He works at ADD as Principal Researcher. His research interests are structural acoustics, underwater radiated noise for naval systems.