

다층구조를 이용한 능동 소음 감소기법 연구

A Study on the Noise Reduction Technique Using Active Planar Multi-layer System

서영수† · 강명환* · 신구균* · 전재진*

Seo Young Soo, Kang Myung Hwan, Sin Ku Kyun and Jeon Jae Jin

층을 전달행렬로 나타낼 수 있다.

1. 서 론

수중물수체로부터 발생하는 소음은 매우 중요한 문제이다. 이러한 수중물수체의 소음을 감소시키기 위하여 오래전부터 많은 연구가 진행되었다. 대표적인 소음 감소기법으로 고분자 점성재료를 이용한 수동적인 방법이 있다. 그러나 이러한 수동적인 방법은 주파수에 따라 재료의 두께가 두꺼워져야하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 제어기법을 활용하여 능동적인 방법으로 소음을 감소하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 일반적으로 소음을 능동적인 방법으로 감소시키기 위하여 다층구조물은 외부에서 구조물로 들어오는 음파를 잘 수신하기 위한 임피던스 정합층과 음파의 입사파와 반사파를 분리하기 위한 센서층, 그리고 반사파를 줄이기 위한 구동층으로 이루어진다. 본 연구에서는 수치해석적인 방법을 통하여 소음 감소를 위한 다층구조로 이루어진 능동 소음 감소기법에 대해 연구하였다.

2. 본 론

2.1 지배방정식

Fig. 1에서 보인 일반적인 압전 탄성체 요소에서 z 방향으로의 평면파에 대한 응력과 속도 및 압전체에 인가되는 전압에 대한 관계식은 아래와 같이 얻을 수 있고 이 식을 이용하면 탄성층, 센서층, 구동

$$\begin{cases} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ V_z \end{cases} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ -z_{12} & -z_{11} & z_{13} \\ -z_{13} & z_{13} & z_{33} \end{bmatrix} \begin{cases} v_1 \\ v_2 \\ J \end{cases} \quad (1)$$

$$z_{11} = j \frac{\rho v}{\tan(kd)}, \quad z_{12} = -j \frac{\rho v}{\sin(kd)}$$

$$z_{13} = j \frac{e_{33}}{g_{33}\omega}, \quad z_{33} = -j \frac{d}{g_{33}\omega}$$

탄성층의 경우는 $J = V_z = 0$ 으로 외부에서 인가되는 전압이나 내부에서 발생하는 전압이 없다는 것을 의미한다. 센서층은 $J = 0, V_z \neq 0$ 으로 내부에서 전압이 발생하는 것을 의미한다. 그리고 구동층은 $J \neq 0, V_z \neq 0$ 으로 외부에서 전압이 인가되며 동시에 내부에서도 전압이 발생함을 의미한다.

2.2 전달행렬

다층구조의 전달행렬을 다음과 같이 구할 수 있다. 먼저 탄성층의 전달행렬은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \sigma_2 \\ v_2 \end{cases} = \begin{bmatrix} 0 & z_{12} \\ -1 & -z_{11} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 & -z_{11} \\ 0 & z_{12} \end{bmatrix} \begin{cases} \sigma_1 \\ v_1 \end{cases} = TM_{0n} \begin{cases} \sigma_1 \\ v_1 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 첨자 1과 2는 하부와 상부 표면에서의 값을 나타낸다.

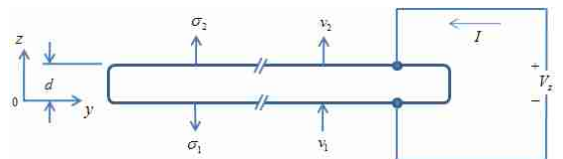


Fig. 1 The co-ordinates and state variables at the top and bottom faces of a layer

† 교신저자; 정회원, 국방과학연구소
E-mail : ysseo.korea@gmail.com
Tel : 055-540-6343, Fax : 055-542-3737

* 국방과학연구소

n번째 층에 위치하는 센서에 대해서는 아래와 같이 외부로 인가되는 전압으로 나타낼 수 있다.

$$V_{sn} = z_{13} \begin{Bmatrix} -1 & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{Bmatrix}_n = TM_{sn} \begin{Bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{Bmatrix}_n \quad (3)$$

마지막으로 a번째 층에 위치하는 구동층에 대해서는 다음과 같이 전달행렬을 구성할 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_2 \\ v_2 \end{Bmatrix}_a = \begin{bmatrix} 0 & \left(z_{12} - \frac{z_{13}^2}{z_{33}} \right) \\ -1 & -\left(z_{11} + \frac{z_{13}^2}{z_{33}} \right) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & -\left(z_{11} + \frac{z_{13}^2}{z_{33}} \right) \\ 0 & \left(z_{12} - \frac{z_{13}^2}{z_{33}} \right) \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ v_1 \end{Bmatrix}_a$$

$$-\frac{z_{13}}{z_{33}} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix}_a V_a = TM_{1a} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ v_1 \end{Bmatrix}_a + TM_{2a} V_a \quad (4)$$

여기서 V_a 는 외부에서 인가되는 전압이고 TM_{1a} 와 TM_{2a} 는 구동층의 1차와 2차 전달함수이다.

2.3 경계조건

다층구조의 상부에서 평면파가 입사될 때 상부에는 입사파와 반사파가 존재하며 하부에는 투과파가 존재한다. 반사계수와 투과계수를 각각 R과 T로 나타내면 각각의 경계면에서의 연속조건 및 경계조건을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{Bmatrix} \sigma_2 \\ v_2 \end{Bmatrix}_1 = \begin{Bmatrix} -(1+R) \\ \frac{R-1}{\rho_2 c_2} \end{Bmatrix} \bar{p}^m, n=1 \quad (5)$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ v_1 \end{Bmatrix}_n = \begin{Bmatrix} \sigma_2 \\ v_2 \end{Bmatrix}_{n+1}, 1 \leq n \leq (N-1) \quad (6)$$

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ v_1 \end{Bmatrix}_N = -\begin{Bmatrix} 1 \\ \frac{1}{\rho_1 c_1} \end{Bmatrix} \bar{p}^{in} T, n=N \quad (7)$$

2.4 해석결과

반향음을 능동적인 방법으로 감소시키기 위하여 다층구조물을 Fig. 2와 같이 두 개의 센서층과 1개의 구동층으로 구성하였고 사용된 물성치 및 제원은 Table 1과 같다. Table 1에 주어진 특성을 가진 다층 능동구조에서 소음을 없도록 하기위하여 구동층에 가해져야하는 전압은 Fig. 3과 같다.

Table 1 Properties

Material	Structural Properties				
	ρ [kg/m ³]	c [m/s]			
Water	1000	1500	-	-	-
	ρ [kg/m ³]	c_{33} [N/m ²]			h [m]
Elastic Layer	920	2.4132E9	-	-	0.002
Backing Layer	7800	268.47E9			0.01
	ρ [kg/m ³]	c_{33} [N/m ²]	e_{33} [N/mV]	g_{33} [F/m]	h [m]
Sensor Layer	1470	1.5306E9	3.7	6.729E-11	515E-6
Actuator Layer	2430	23.791E9	3.95	1.543E-9	0.02

3. 결론

본 논문에서는 수치해석적인 방법을 통하여 반향음 감소를 위한 다층구조로 이루어진 능동 소음 감소기법의 가능성에 대해 연구하였다.

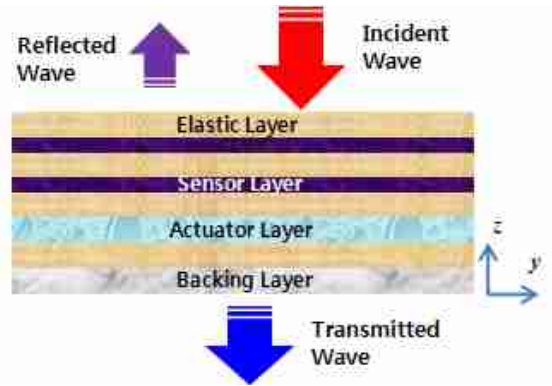


Fig. 2 Numerical model

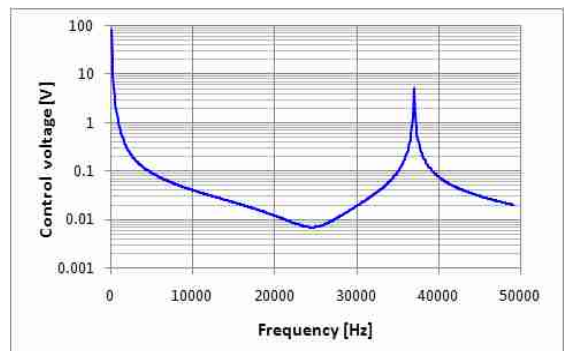


Fig. 3 Control voltage for cancelling noise