

1-3형압전복합진동자의 지지재료가 음향정수에 주는 영향

한서광, 리철수

최근 2-2, 0-3, 1-3형압전복합진동자를 리용하여 기하학적면적이 큰 음향수음기를 낮은 원가로 실현하고있다.[1, 3] 압전진동자에 대한 연구는 주로 파동방정식과 유한요소해석에 의한 압전사기요소크기와 음향정수사이의 호상관계해석에 집중되고있으며 요소의 고유주파수는 압전사기요소의 기하학적크기에 의존한다고 본다.

$\lambda/2$ 요소길이를 가지는 1-3형압전복합진동자에서는 지지재료를 변화시켜 여러개의 압전복합진동자군으로 구성되는 큰 면적을 가진 수음기의 위상과 감도 등 정수들을 변화시킬수 있다. 이 정수변화를 리용하여 주어진 주파수대역에서만 대역너비를 가지는 1-3형압전복합재료수음기를 실현할수 있다.

우리는 수중음향수음기로 뒤면지지재료를 가진 1-3형압전복합진동자를 리용하는 경우 요소지지재료가 음향정수에 주는 영향을 고찰하였다.

주파수대역조절을 위하여 KLM등가회로모형[2]에 기초한 1-3형압전복합진동자의 앞면정합층과 뒤면지지재료층의 방정식을 작성하고 주파수특성을 해석해보자.

해석을 위하여 하나의 요소로 구성된 1-3형압전복합진동자의 등가회로를 작성하였다. 이 등가회로모형[2]은 1-3형압전복합진동자의 주파수특성을 해석하는데서 보다 단순하며 모순되지 않는다.

압전사기요소는 직경과 길이의 비가 약 0.2인 막대기형으로서 주로 길이방향분극축에서만 진동모형이 이루어진다.

KLM등가회로리론에 기초한 1-3형압전복합진동자의 등가회로모형은 그림 1과 같다.[1]

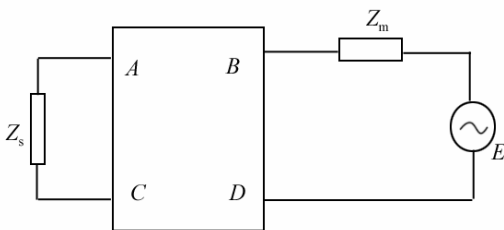


그림 1에서 E 는 수음기에 가해지는 음원, Z_m , Z_s 는 음향전달매질과 뒤면음향전달매질의 음향전저항이다.

뒤면지지재료를 가진 1-3형압전복합진동자의 전달함수를 주는 행렬식은 다음과 같다.

$$M = M_c \cdot (M_b \cdot Z_b) \cdot M_f \quad (1)$$

여기서 M_c 는 압전사기의 행렬적, M_b , Z_b 는 뒤면지지재료의 행렬적과 력학적전저항, M_f 는 압전사기복사면의 행렬적이다.

압전사기는 능동요소이므로 행렬은 다음과 같이 계산된다.

$$M_c = \frac{1}{(\cos v_c - 1) + j\xi \sin v_c} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\epsilon_{33}^s}{e_{33}C_c} & \frac{e_{33}}{j\omega\epsilon_{33}^s} \\ \frac{j\omega\epsilon_{33}^s}{e_{33}} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos v_c + j\xi \sin v_c & -Z_c(\xi \cos v_c + j \sin v_c) \\ \frac{\sin v_c}{jZ_c} & 2(\cos v_c - 1) + j\xi \sin v_c \end{pmatrix}$$

(2)

여기서 $v_c = \frac{\omega t_c}{C_c}$, $\xi = \frac{Z_B}{Z_c}$, $Z_c = z_c S$, $z_c = \rho c$, c 는 압전사기재료의 음속도, Z_B 는 공기의 파동저항, t_c 는 압전봉의 길이, C_c 는 압전사기요소의 길이방향제동용량, ρ 는 밀도, ω 는 각주파수, ϵ_{33} 은 압전정수, ϵ_{33} 은 유전률이다.

앞면과 뒤면매질은 피동재료이므로 행렬은 다음과 같다.

$$M_f = \begin{pmatrix} \cos v_f & jZ_f \sin v_f \\ j \frac{\sin v_f}{Z_f} & \cos v_f \end{pmatrix}, \quad M_b = \begin{pmatrix} \cos v_b & jZ_b \sin v_b \\ j \frac{\sin v_b}{Z_b} & \cos v_b \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 $v_b = \frac{\omega t_b}{C_b}$, $v_f = \frac{\omega t_f}{C_f}$ 이며 t_b , t_f 는 앞면과 뒤면재료의 두께이다.

행렬 M 의 성분들을 구한 다음 등가회로의 전달함수를 구하면 다음과 같다.

$$F = \frac{1}{E} = \frac{1}{A \cdot Z_m + B + C \cdot Z_b \cdot Z_m + D \cdot Z_s} \quad (4)$$

여기서 A, B, C, D 는 1-3형압전복합진동자를 구성하는 층재료의 물리적정수들로 이루어지는 행렬성분들이다.

식 (4)로부터 각이한 뒤면지지재료의 파동저항에 따르는 주파수특성을 얻을수 있다.[2]

파동저항에 따르는 1-3형압전복합진동자의 주파수감도특성은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 뒤면재료의 파동저항이 증가할수록 저주파수에서의 감도가 높아진다.

4×4=16개 압전요소로 1-3형압전복합진동자를 구성하였으며 압전사기재료로는 김일성종합대학 첨단과학연구원 전자재료연구소에서 개발한 1S계열 PZT를 리용하였다. 상대주파수감도측정에는 스펙트르분석기(《LBO115》), 기준수음기(《Typ8100》), 측정증폭기(《Typ2636》), 수자식오실로그래프(《TDS2022B》)를 리용하였다.

1S계열 PZT의 재료정수는 표와 같다.

표. 1S계열 PZT의 재료정수

$\epsilon_{33}/(\text{N} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1})$	ϵ_{33}	$s_{33}/(10^{-12} \text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1})$	k_{33}	$N/(\text{kHz} \cdot \text{m})$	$\rho/(10^3 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$
3.2	2 500	20.5	0.52	1.32	7.5

피동재료인 앞면정합층은 $Z_f=1.9\text{Mrayl}$ 인 폴리우레탄수지이다. 뒤면제동층의 두께를 7mm로 고정하고 에폭시수지와 월프람분말을 1 : 0, 0.97 : 0.03, 0.95 : 0.05, 0.92 : 0.08, 0.90 : 0.10, 0.85 : 0.15의 각이한 체적비로 혼합하여 파동저항을 변화시켰다.

공기(430rayl)를 기준으로 할 때 파동저항에 따르는 상대주파수감도특성은 그림 3과 같다.

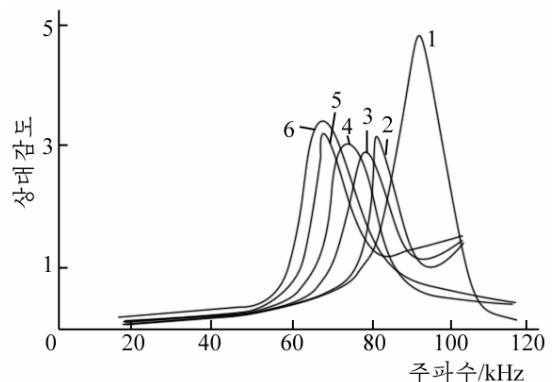


그림 2. 파동저항에 따르는 1-3형압전복합진동자의 주파수감도특성

1-6은 파동저항이 각각 0, 0.1, 0.5, 1.0, 3.0, 6.0Mrayl인 경우

우에서 얻은 결론에 기초하여 뒤면제동층의 파동저항이 각각 3.5, 7.1Mrayl인 1-3형압전복합요소로 구성되는 수음기의 주파수감도특성을 물속에서 고찰하였다.

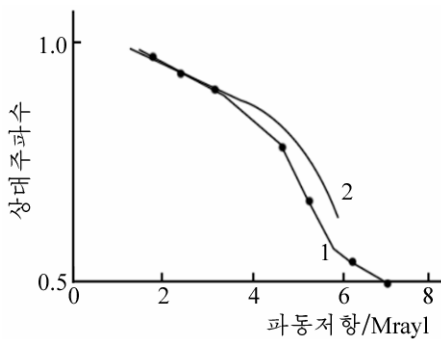


그림 3. 파동저항에 따르는 상대주파수 감도특성

1-실험곡선, 2-계산곡선

압전요소들사이 충진재료는 1.8Mrayl인 우레탄 수지로 하였으며 앞면으로 입사하는 음에너지의 효율을 높이기 위하여 0.1mm 황동판을 전극으로 입힌 다음 그우에 우레탄수지층을 3mm로 입히었다. 이렇게 제작한 1-3형압전복합진동자에 물이 침투하지 못하도록 금속함을 씌우고 무향수조에서 비교법으로 음향감도를 측정하였다.

제작한 1-3형압전복합진동자의 주파수감도는 뒤면제동층의 파동저항이 3.5Mrayl일 때 52~76kHz의 주파수대역에서 $-191 \pm 2\text{dB}$, 파동저항이 7.1Mrayl일 때 1~10kHz대역에서 $-194 \pm 3\text{dB}$ 이다.

이와 같이 1-3형압전복합진동자로 구성되는 수음기의 주파수감도특성은 제동층으로 리용되는 지지재료에 의존한다.

맺 는 말

기하학적면적이 크고 비교적 넓은 주파수대역을 요구하는 수중음향수감부에서는 진동자뒤면정합층을 리용하여 저주파광대역수음기를 실현할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] M. Castillo; Ultrasonics, 41, 671, 2003.
- [2] C. G. Oakley; IEEE Transactions, UFFC, 44, 5, 1018, 1997.
- [3] A. Jemai et al.; Composite Structures, 135, 176, 2016.

주제107(2018)년 12월 5일 원고접수

Effect of Support Material of the 1-3 Piezo-Composite Transducer on the Acoustic Constant

Han So Gwang, Ri Chol Su

We investigated 1-3 piezo-composite transducer with support material by using KLM model. The change of support material makes the change of phase and sensitivity in the large area of hydrophone which is constructed the group of with several piezo-composites, so we can design low frequency transducer which has wide bandwidth by 1-3 piezo-composites.

Key words: 1-3 piezo-composite transducer, KLM model