

2 차원위상조종수중음향안테나의 요소사이 신호간섭을 낮추기 위한 연구

김성훈, 리철수

현재 전자공업의 급속한 발전에 따라 여러개 음향요소들로 이루어진 위상조종수중음향안테나에 대한 요구가 많이 제기되고있다.

여러개 음향요소들로 이루어진 안테나의 정수에서 요소사이 신호간섭을 낮추는것은 위상조종지향성형성에서 요소사이 정수일치를 보장하는것과 함께 기본문제로 제기된다.[3] 여러 요소로 구성되는 음향안테나에 대하여서는 많이 논의[2]되었으나 그 구조적문제들에 대하여 구체적으로 서술한것은 없다.

우리는 여러개의 음향요소들로 이루어진 2차원위상조종수중음향안테나에서 지향성인자에 영향을 주는 요소사이 신호간섭을 낮추기 위한 완충 및 흡음재료의 기하학적구조문제를 논의하였다.

1. 요소사이 음향신호간섭에 대한 해석

요소사이 신호간섭은 요소의 4개 면과 요소보호를 위한 앞면투과층들에서의 신호손실에 의존한다.

우리는 김일성종합대학 전자재료연구소에서 제작되는 PZT압전사기인 1S재료와 몇가지 피동재료들을 리용하여 복사면적을 크게 하면서도 신호간섭을 낮추기 위한 견지에서 기하학적크기관계를 해석하였다.

실험에서 리용한 재료들의 정수는 표와 같다.

표. 몇가지 재료들의 정수

재료	밀도(ρ) / $(10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$	음속(C) / $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	유전률 (ϵ_{33}^S)	압전상수(e_{33}) / $(\text{N} \cdot \text{V}^{-1} \text{m}^{-1})$	파동저항(ρC) /Mrayl
압전사기(1S)	7.5	3 800	1 407	3.17	28.5
폴리우레탄수지	1.004	1 700	—	—	1.706
유리섬유+에폭시수지	2	2 740	—	—	5.48
코르크	0.24	500	—	—	$120 \cdot 10^{-6}$
공기	$1.2 \cdot 10^{-3}$	343.7	—	—	$412.4 \cdot 10^{-6}$

몇가지 재료들로 중첩을 이루는 진동계를 KLM등가전송선로모형으로 표시하면 그림 1과 같다.[1]

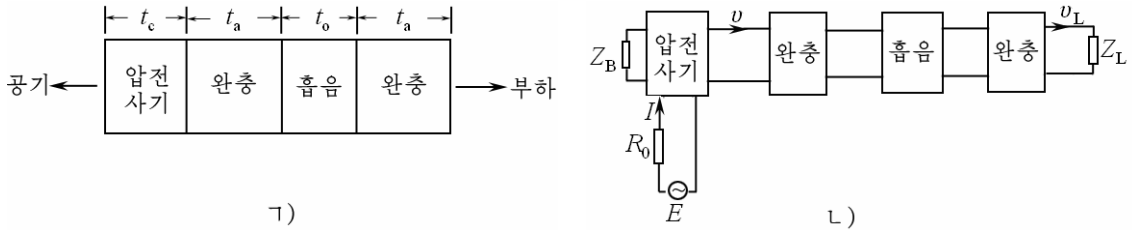


그림 1. 전송선로모형의 구조(㉠)와 그 등가회로(㉡)

 t_c, t_a, t_o 는 압전사기층과 완충층, 흡음층의 두께

먼저 재료의 두께에 따르는 음향손실을 전달함수를 통하여 논의하였다.

그림 1의 ㉡)에서 압전사기는 능동요소이므로 행렬식은 다음과 같다.[4]

$$\begin{pmatrix} V \\ I \end{pmatrix} = H_c \begin{pmatrix} F \\ v \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 V, I 는 압전사기요소량단사이 전압과 전류이고 F, v 는 력학적힘과 속도이다.

$$H_c = \frac{1}{(\cos v_c - 1) + j\xi \sin v_c} + \begin{pmatrix} \frac{\varepsilon_{33}^s}{e_{33}C_0}, \frac{e_{33}}{j\omega\varepsilon_{33}^s} \\ \frac{j\omega\varepsilon_{33}^s}{e_{33}}, 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos v_c + j\xi \sin v_c, -Z_c(\xi \cos v_c + j \sin v_c) \\ \frac{\sin v_c}{jZ_c}, 2(\cos v_c - 1) + j\xi \sin v_c \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서 $v_c = \frac{\omega t_c}{C_c}$, $\xi = \frac{Z_B}{Z_c}$, C_c 는 압전사기의 음속도, Z_B 는 공기의 파동저항, Z_c 는 압전사기요소의 파동저항, C_0 은 압전사기요소의 제동용량이다.

파동재료에 대한 행렬식은

$$\begin{pmatrix} F \\ v \end{pmatrix} = H_i \begin{pmatrix} F_L \\ v_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos v_i, jZ_i \sin v_i \\ j \frac{\sin v_i}{Z_i}, \cos v_i \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F_L \\ v_L \end{pmatrix} \quad (3)$$

여기서 $v_i = \frac{\omega t_i}{C_i}$, Z_i, C_i 는 매 층재료의 파동저항과 음속도, F_L 은 매질부하가 주는 힘, v_L 은 매질속에서 완충면의 진동속도이다.

이로부터 그림 1의 등가회로에 대한 전체 행렬식은

$$H = H_c \cdot H_a \cdot H_o \cdot H_a = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix} \quad (4)$$

로 주어지며 전달함수는

$$T = \frac{F_L}{E} = \frac{Z_L}{\alpha Z_L + \beta + (\gamma Z_L + \delta) R_0} \quad (5)$$

여기서 Z_L 은 부하매질의 파동저항이다.

신호원의 내부저항 $R_0 = 300\Omega$, 제동용량 $C_0 = 2\text{nF}$, $t_c = 16.2\text{mm}$, $t_a = 0.5, 1.0, 1.5\text{mm}$, $t_o = 3.5, 3.0, 2.5\text{mm}$ 일 때 완충층과 흡음층의 두께에 따르는 요소사이 신호간섭은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는바와 같이 완충층과 흡음층의 두께의 합이 4mm일 때 완충층의 두께가 클수록 신호간섭이 더 크게 나타났다. 또한 주파수 30kHz이상에서는 기하학적크기에는 관계없이 거의 일정하였다. 여기서 완충층은 유리섬유+에폭시수지혼합물, 흡음층은 코르크이다.

다음으로 우와 같은 폴리수법으로 안테나의 앞면층재료에 의한 신호간섭관계를 폴리우레탄수지를 선택하여 그것의 두께변화에 따라 해석하였다.

앞면수지층두께와 주파수에 따르는 음향감쇠는 그림 3과 같다.

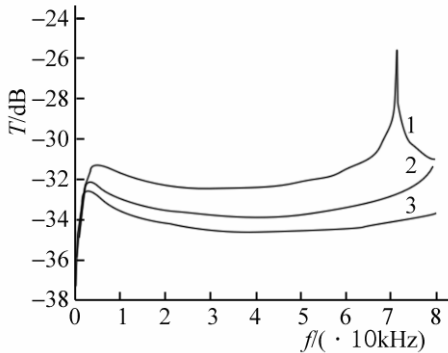


그림 2. 완충층과 흡음층의 각이한 두께에서 주파수에 따르는 신호간섭
1-3은 t_a+t_o 가 각각 0.5+3.5, 1.0+3.0, 1.5+2.5mm인 경우

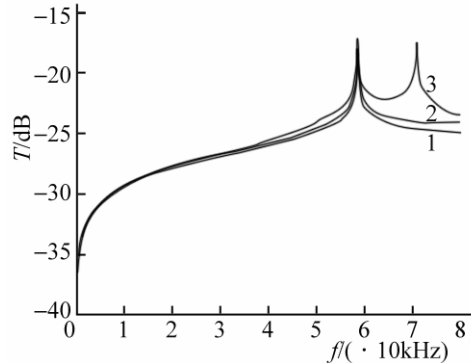


그림 3. 각이한 앞면수지층두께에서 주파수에 따르는 음향감쇠
1-3은 앞면수지층두께가 각각 2, 4, 6mm인 경우

그림 3에서 보는바와 같이 수지층두께에 따르는 전달함수는 파장의 영향을 받았다. 다시말하여 앞면수지층두께를 선행연구[2]와 같이 선택하는 경우 신호전달손실은 작고 임펄스2차원위상조종안테나의 위상특성은 나빠지므로 동작주파수는 선형구역에 놓여야 한다.

우리는 이상의 해석을 통하여 안테나의 복사면적을 크게 하기 위하여서는 요소측면의 음향감쇠가 크도록 주파수를 선택하는것과 함께 앞면투과층은 피로한계에서 될수록 얇게 해야 한다는것을 알수 있다.

2. 실험 분석

2차원위상조종수중음향안테나설계에서는 요소들의 정수와 요소사이 신호간섭을 낮추어야 한다. 이로부터 우리는 앞의 해석에 기초하여 린접요소사이의 측면신호간섭과 앞면재료에 의한 신호간섭을 기하학적크기변화에 따라 실험하였다.

실험에서는 가로 9개, 세로 9개 요소(중심공용)로 배열된 교차형구조를 제안하였다.

수중음향안테나의 동작주파수는 37kHz로 정하였다. 요소사이 간격을 4mm로 조립하고 측정한 결과 요소사이 신호간섭은 약 (-25 ± 2) dB인데 이것은 해석적결과와 거의 일치하였다.

유효복사면적을 크게 하기 위하여 요소사이 간격을 $t_o=2$ mm, $t_a=0.5$ mm로 한 경우 요소사이 신호간섭은 -22dB, 폴리우레탄앞면수지층두께를 3.2mm로 한 경우 -19dB로 되었다.

이와 같은 구조로 제작된 수중음향안테나를 음향수조에서 측정증폭기(《Bruel & Kjaer 2636》), 수음기와의 수평각도분할기를 리용하여 위상변화에 따르는 음향지향각변화를 측정하였다.

결과 송, 수파기의 수평각분해는 약 1° 로서 식별가능하였다.

17개 요소로 구성된 교차형2차원위상조종수중음향안테나의 기술지표는 송파음압감도 156dB, 수파음압감도 -180dB, 주극대지향성 $\pm 6^\circ$, 위상조종각분해 1° , 주파수 37kHz이다.

우리는 실험에서 요소사이 신호간섭이 -15dB이상으로 되는 경우 위상조종때 주극대지향성이 정확히 보장되지 못할뿐아니라 위상조종각분해도 떨어진다는것을 확인하였다.

맺 는 말

우리는 수중음향안테나의 설계에서 출력감도를 높이면서도 임폴스2차원위상조종안테나의 지향성분해능을 1° 로 보장하였다. 요소사이 신호간섭은 -19dB을 보장하면서 송파음압감도 156dB, 수파음압감도 -180dB인 2차원위상조종수중음향안테나를 실현하였다.

참 고 문 헌

- [1] C. G. Oakley; IEEE Tran., **44**, 5, 1018, 1997.
- [2] J. E. Kirkebo; Ultrasonics, **46**, 119, 2007.
- [3] L. F. Yeung; Applied Acoustics, **71**, 276, 2010.
- [4] N. Lamberti; IEEE Tran., **44**, 1, 83, 1997.

주체105(2016)년 4월 5일 원고접수

On the Attenuating Signal Interference between Elements of 2D Phase Control Underwater Acoustic Antenna

Kim Song Hun, Ri Chol Su

We aimed at developing pulse 2D phase control underwater acoustic antenna with high output sensitivity and directivity resolution of 1° . Research results show that signal interference between elements is -19dB and sound pressure sensitivity of projector is 156dB, one of hydrophone is -180dB.

Key words: phase control, underwater acoustic antenna, signal interference