

다층 음향배플 위에 설치된 하이드로폰의 신호 수신 해석 연구

Theoretical Analysis on the Signal Reception of a hydrophone placed on the Multi-layerded Acoustic Baffle

전 재 진*

(Jae Jin Jeon)

요 약

음향 배플위에 설치된 하이드로폰의 음파 수신과 내부의 소음으로 인한 배플의 센서 자체 소음의 감소 효과에 대한 연구로 배플은 탄성 다층 구조로 되어 있다.

이 논문은 탄성과 이론을 도입하여, 배플에 의한 하이드로폰의 수신 신호 수준과 배플의 투과 손실을 해석할 수 있는 이론적인 모델을 세우고, 입사각, 각 층의 두께, 배플의 재질과 배플과 하이드로폰과의 거리에 따른 수신 신호 수준 변화를 주파수 영역에서 이론적으로 해석하고 그 결과를 비교 분석하였다.

ABSTRACT

An investigation is made of the signal reception of a hydrophone placed in front of an baffle layer and the effect of one on the reduction of self-noise by the interior noise. The baffle layer is consisted of an elastic multi-layered plate. This paper describes the development of a theoretical model for evaluation the signal reception of the hydrophone and the transmission loss of baffle layer by using the elastic wave theory, and comprises with the theoretical results in accordance with the incident angle, the thickness of layers, the kinds of materials of the baffle layers, and the distance between the baffle and hydrophone in frequency domain.

I. Introduction

수중에서 정보를 얻기 위해 선체에 음향센서를 설치하는데 이때 선체는 음향 센서의 수신 성능향상에 기여할 수 있는 음향 배플의 역할을 한다. 음향센서의 수신능을 향상시키기 위해 음향 배플(acoustic baffle)을 이용할 때, 음향 배플위에 설치되어 있는 하이드로폰에 받아드러지는 신호 수준을 해석하여 배플의 음향적 특성 및 하이드로폰의 위치에 따라

*국방과학연구소

신호수준의 변화를 이론적으로 예측하는 것이 논문의 목적이다. 수음하고자하는 주파수, 음향 배플의 특성, 하이드로폰의 상대적인 위치에 따라 수신 수준이 상당한 변화를 가지며 소음 감소를 위한 배플이 음향학적으로 soft하면 수신 신호 수준을 감소시키는 경향을 가지므로 효과적인 수신을 위한 하이드로폰 설치 및 baffle 설계에 대한 수신 수준의 해석이 필요하다.

튜브형 하이드로폰에서의 compliant baffle에 대한 수신 수준 해석이 Junger등에 의해 연구되어 왔으며¹⁾, S. Chonan²⁾은 multi-layer에 대한 공기층에서의 음투과 특성을 연구하였으며 복합 다층에 대한

음향 특성 연구가 이루어져 왔다.

이 논문에서는 선체 부착형 음향 센서의 경우 음향 센서의 설치에 따른 수신 신호 수준의 변화를 이론적으로 해석하였고, 선체를 다층 배플로 고려 입사각, 하이드로폰의 상대적위치, layer들의 두께 변화에 따라 신호수준 변화를 주파수에 따라 이론적으로 고찰 하였으며, 선체 내부 소음의 자체 소음화 현상을 파악하기 위하여 baffle의 소음 차단 효과를 연구 하였다.

II. Theory

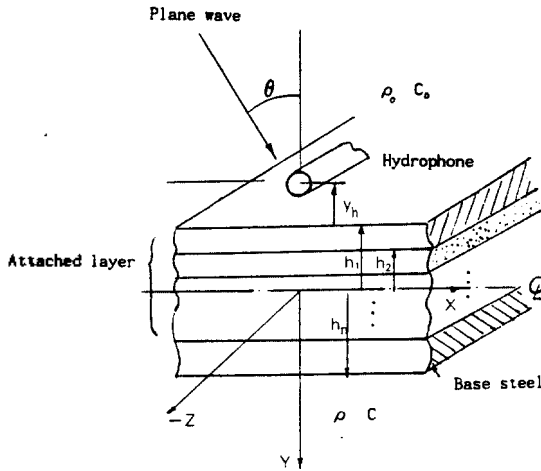


Fig.1 Geometry of problem and coordinates

이 연구에 이용된 다층 baffle에 대한 수학적 모델은 Fig.1과 같으며, 입사쪽은 물이며 반대쪽은 공기인 경우에 대하여 입사각 θ 를 가지고 평면파가 입사될 때 하이드로폰에 수신되는 신호수준을 해석하였다.

유체내에서의 음파는 다음 Helmholtz Eq.을 만족한다. ⁶⁾

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \phi = \frac{1}{c_0^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$$

$$c_0^2 = \frac{k_0}{\rho_0} \quad (1)$$

여기서 ϕ 는 속도 포텐셜(velocity potential), k_0 는 오체의 bulk modulus, ρ_0 는 유체의 밀도이다.

유체 내부에서의 y방향 particle velocity는

$$\dot{v} = \frac{\partial \phi}{\partial y} \quad (2)$$

로 주어지며, 음압은

$$p = -\rho_0 \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (3)$$

으로 주어진다.

식(1)의 일반해를 $\phi(x,y,t) = \Phi(y) e^{-ikx} e^{i\omega t}$ 라 가정하면 입사단에서의 속도포텐셜은 입사와 반사파의 합으로 표현된다.

$$\phi_I = \{A \exp(i\alpha y) + B \exp(-i\alpha y)\} \exp(-ikx) \exp(i\omega t) \quad (4)$$

여기서 $\alpha = k_0 \cos \theta$, $k = k_0 \sin \theta$, $k_0 = \omega / c_0$ 이다.

투과단의 매질은 공기이며 투과단에서의 음파도 Helmholtz Eq.을 만족하므로

$$\phi_T = D \exp(-i\alpha' y) \exp(-ikx) \exp(-i\omega t) \quad (5)$$

로 표현할 수 있다. 여기서

$$\alpha' = (k'^2 - k^2)^{1/2}, \quad k' = \omega / c \quad (6)$$

$c =$ 투과단 매질내의 음속

식(2), (3)으로부터 입사단의 입자속도와 음압을 구하면 다음과 같다.

$$\dot{v}_I = \{i\alpha A \exp(i\alpha y) + \alpha P_0 \exp(-i\alpha y)\} / \rho_0 \omega \exp(-ikx) \exp(-i\omega t) \quad (7)$$

$$P_I = \{-i\rho_0 \omega A \exp(i\alpha y) + P_0 \exp(-i\alpha y)\} \exp(-ikx) \exp(i\omega t) \quad (8)$$

윗 식에서 P_0 는 입사 평면과의 음압 크기이다.

투과단의 입자속도와 음압을 식(5)로부터 구하면

$$\dot{v}_T = -i\alpha' D \exp(-i\alpha'y) \exp(-ikx) \exp(i\omega t) \quad (9)$$

$$P_T = -i\omega \rho D \exp(-i\alpha'y) \exp(-ikx) \exp(i\omega t)$$

으로 주어진다.

Elastic layer내에서의 음 전파 현상을 해석하기 위하여 elastic wave 이론을 이용하여 j 번째 layer에서의 음장에 대하여 다음 수식으로 표현된다.

$$2\left(\frac{1-\nu_j}{1-2\nu_j}\right) \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) \phi_j = \frac{\rho_j}{G_j} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} \quad (11)$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}\right) \psi_j = \frac{\rho_j}{G_j} \frac{\partial^2 \psi_j}{\partial t^2} \quad (12)$$

여기서 $G_j = E_j / 2(1+\nu_j)$, ν_j = j 번째 layer의 Poisson's ratio, E_j = j 번째 layer의 Young's modulus 이며, ψ_j 는 vector potential이다.

식(11), (12)의 일반해는 변수 분리 형태로 가정할 수 있다.

$$\phi_j(x, y, t) = \Phi_j(y) \exp(-ikx) \exp(i\omega t) \quad (13)$$

$$\psi_j(x, y, t) = \Psi_j(y) \exp(-ikx) \exp(i\omega t) \quad (14)$$

하이드로폰 후면에 위치해 있는 다층 baffle내에서의 변위는

$$u_j = \frac{\partial \phi_j}{\partial x} + \frac{\partial \psi_j}{\partial y} \quad x \text{ 방향} \quad (15)$$

$$v_j = \frac{\partial \phi_j}{\partial x} - \frac{\partial \psi_j}{\partial y} \quad y \text{ 방향}$$

layer안에서의 인장응력과 전단응력은 다음 수식으로 주어진다.

$$\sigma_{yj} = \frac{2 G_j}{(1-2\nu_j)} \left\{ (1-\nu_j) \frac{\partial v_j}{\partial y} + \nu_j \frac{\partial u_j}{\partial x} \right\}$$

$$\tau_{xyj} = G_j \left(\frac{\partial v_j}{\partial x} + \frac{\partial u_j}{\partial y} \right) \quad (16)$$

식(13), (14)에서 $\Phi_j(y)$, $\Psi_j(y)$ 를 반사파를 고려하여 표현하면

$$\Phi_j(y) = A_{j1} \exp(iay) + A_{j2} \exp(-iay)$$

$$\Psi_j(y) = A_{j3} \exp(iby) + A_{j4} \exp(-iby) \quad (17)$$

식(13)에서 (17)을 이용하여 변위와 응력을 구하면

$$u_j = -ikA_{j1}E(-\epsilon_j y) - ikA_{j2}E(\epsilon_j y) - \delta_j A_{j3}E(-\delta_j y) + \delta_j A_{j4}E(\delta_j y) \quad (18)$$

$$v_j = -\epsilon_j A_{j1}E(-\epsilon_j y) + \epsilon_j A_{j2}E(\epsilon_j y) + ikA_{j3}E(-\delta_j y) + ikA_{j4}E(\delta_j y) \quad (19)$$

$$\sigma_{yj} = T_{1j}A_{j1}E(-\epsilon_j y) + T_{1j}A_{j2}E(\epsilon_j y) - iT_{2j}A_{j3}E(-\delta_j y) + iT_{2j}A_{j4}E(\delta_j y) \quad (20)$$

$$\tau_{xyj} = 2ik\epsilon_j G_j A_{j1}E(-\epsilon_j y) - 2ik\epsilon_j G_j A_{j2}E(\epsilon_j y) + T_{3j}G_j A_{j3}E(-\delta_j y) + T_{3j}G_j A_{j4}E(\delta_j y) \quad (21)$$

여기서 $\epsilon_j = -ia$, $\delta_j = -ib$,

$$\epsilon_j^2 = k^2 - \frac{\rho_j \omega^2 (1-2\nu_j)}{2 G_j (1-\nu_j)}$$

$$\delta_j^2 = k^2 - \frac{\rho_j \omega^2}{G_j} \tag{22}$$

$$\begin{aligned} T_{1j} &= \frac{2G_j}{1-2\nu_j} \{ (1-\nu_j) \epsilon_j^2 - \nu_j k^2 \} \\ T_{2j} &= 2 G_j k \delta_j \\ T_{3j} &= k^2 + \delta_j^2 \end{aligned} \tag{23}$$

이며 $E(a)=e^a$ 를 나타낸다.

윗 수식들로부터 신호수준을 얻기 위해서는 계수 A를 얻어야 한다. 윗 식을 풀기 위해 필요한 경계조건은 다음과 같다.

i) 입사면 ($y=h_1$)

$$\tau_{xy1} = 0, \quad \sigma_{y1} = -P_1, \quad v_1 = u_{y1} \tag{24}$$

ii) 부과면 ($y=h_n$)

$$\tau_{xyn} = 0, \quad \sigma_{yn} = -P_T, \quad v_n = u_{yT} \tag{25}$$

iii) n-1 layer ($y=h_{n-1}$)

$$\begin{aligned} \tau_{xyn-1} &= \tau_{xyn}, \quad \sigma_{yn-1} = \sigma_{yn}, \\ v_{n-1} &= v_n, \quad u_{n-1} = u_n \end{aligned}$$

경계조건식 (24)를 이용하여 변수 A를 구하면

$$\begin{aligned} A &= \frac{i P_0}{\omega \rho_0} E(-2i\alpha h_1) + \{-i\omega \epsilon_1 A_{11} E(-\epsilon_1 h_1) \\ &+ i\omega \epsilon_1 A_{12} E(\epsilon_1 h_1) - k\omega A_{13} E(-\delta_1 h_1) \\ &- k\omega A_{14} E(\delta_1 h_1)\} / i\alpha E(i\alpha h_1) \end{aligned} \tag{27}$$

식(27)의 변수는 식(24), (25), (26)의 경계조건을 이용하여 얻을 수 있으며, 경계조건을 적용하면 $4n \times 4n$ 의 matrix 형태로 주어진다.

$$\begin{aligned} [C_{ij}] &= \{A_{11}, A_{12}, A_{13}, \dots, A_{n3}, A_{n4}\}^T \\ &= \{-2P_0 \alpha E(-i\alpha h_1) / \rho \omega, 0, 0, \dots\}^T \end{aligned} \tag{28}$$

식(28)의 C_D 는 Appendix에 주어져 있다.

식(28)로부터 $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}$ 를 구하여 식(2

7)에 대입하면 A를 쉽게 구할 수 있다.

하이드로폰에 수신되는 신호 수준(signal level)은 입사파와 입사단의 음압 강도비로 주어진다.

$$\begin{aligned} SL(\text{dB}) &= 10 \log \left| \frac{P_1}{P_0} \right|^2 \\ &= 20 \log \left| 1 - i \rho_0 \omega A E(2i\alpha y_h) / P_0 \right| \end{aligned} \tag{29}$$

또한 baffle의 하이드로폰 자체소음 감소의 기여를 살펴보기 위해 baffle에 의한 소음 차단효과를 알아보기 위해서는 baffle에 의한 음파 투과 손실을 계산해야 한다. 투과 손실을 구하기 위하여 식(10)의 D를 구하여야 한다. 경계조건식 (26)을 이용하여 D를 표현하면,

$$\begin{aligned} D &= \{ T_{1n} A_{n1} E(-\epsilon_n h_n) + T_{1n} A_{n2} E(\epsilon_n h_n) \\ &- i T_{2n} A_{n3} E(-\delta_n h_n) + i T_{2n} A_{n4} E(\delta_n h_n) \} \\ &/ i \rho \omega E(-i\alpha' h_n) \end{aligned} \tag{30}$$

으로 주어지며, 식(28)로부터 $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}$ 를 구하여 식(30)에 대입하면 D를 쉽게 구할 수 있다. Baffle에 의한 소음 차단효과인 투과 손실(transmission loss)은

$$TL(\text{dB}) = 10 \log \left| \frac{P_T}{P_0} \right|^2 \tag{31}$$

로 주어지며, 식(10)을 이용하여 TL은 쉽게 얻어진다.

III. Numerical Calculation and Discussions

하이드로폰의 음파를 수신할 때 수신신호 수준이 0 dB인 경우 입사파의 음압 그대로 수신됨을 나타내므로 수준이 0 dB이상이면 수신이 양호하다. 그러나 센서가 수중에서 움직일 때 주위의 유체유동에 의한 자체 소음이 발생하므로 신호 수준을 되도록 증가시

키는 것이 수신에 효과적이다. 그러므로 수신을 향상시키기 위하여 적당한 음향 배플을 이용하는 것이 바람직하다.

식(28)과 식(29)를 이용하여 신호수준을 여러 경우에 대하여 구하고 신호수준의 변화를 고찰하였다. 식(28)은 layer 갯수 1개에서 다층을 해석할 수 있는 수식으로 본 연구에서는 단일 layer와 고무가 붙어 있는 2-layer, 4-layer baffle의 경우 하이드로폰에 입사되는 입사파의 입사각, 각 layer의 두께, 입사단과 투과단의 매질 변화, 하이드로폰의 위치에 따라 이론해석 결과를 그림으로 표현하였다.

Fig.2는 하이드로폰 위치가 baffle면에 있고 baffle이 steel인 경우 음파가 수직으로 입사될 때 baffle 두께의 변화에 따른 수신신호수준 변화를 계산한 결과이다. Steel의 두께 1cm인 경우 steel의 방사 임피던스는 물과 비교하여 저주파에서 상대적으로 낮아 저주파에서 수신신호 수준은 상당히 좋지 않다. 점차 두께가 두꺼워지면서 rigid 조건에 가까워지면서 6 dB로 수렴함을 볼 수 있어, 오히려 baffle이 있으므로 역효과가 발생하고 있다. 이것은 입사각이 grazing angle에 가까워지면서 Fig.3에서 보는바와 같이 점차 곡선이 우측으로 이동함을 볼 수 있어, 이 경우 하이드로폰의 효과적인 수신 주파수 범위는 3000Hz이상이 된다.

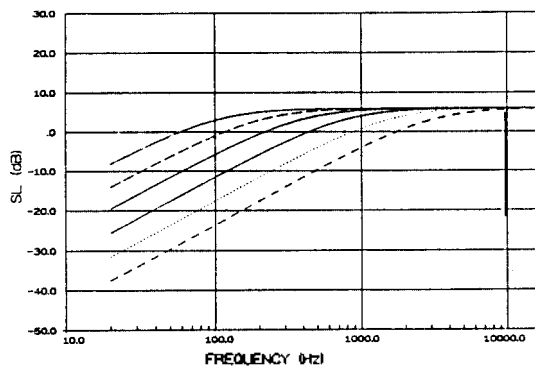


Fig.2. Comparison of calculated results in accordance with thickness of layer.(1st-layer : steel, wave : water→air, $y_h=0$ m, $\theta=0^\circ$, 1) - - - $t=0.3$ m, 2) - - - $t=0.15$ m, 3) - - - $t=0.08$ m, 4) - - - $t=0.04$ m, 5) $t=0.02$ m, 6) $t=0.01$ m)

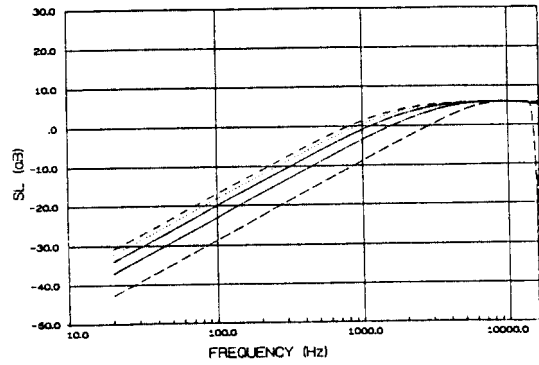


Fig.3. Signal level in accordance with the incident angle. (1st-layer : 2cm steel, wave : water → air, $y_h=0$ m, 1) - - - $\theta=0^\circ$, 2) $\theta=30^\circ$, 3) - - - $\theta=45^\circ$, 4) - - - $\theta=60^\circ$, 5) - - - $\theta=75^\circ$

Fig.4는 steel layer위에 hard rubber 1cm가 부착된 baffle위에 하이드로폰의 위치가 변화할 때 수직입사의 경우 수신신호 수준을 계산한 결과이다. Fig. 2와 비교해볼 때 rubber 1cm의 효과는 거의 없음을 알 수 있으며, 수신 영역을 저주파로 하기 위해서는 하이드로폰의 위치가 baffle면에서 멀리 떨어질수록 좋은 경향을 보이나 고주파로 가면서 반사파의 간섭으로 baffle에 가까운 것보다 나쁜 결과를 보이고 있으므로 주의하여야 한다.

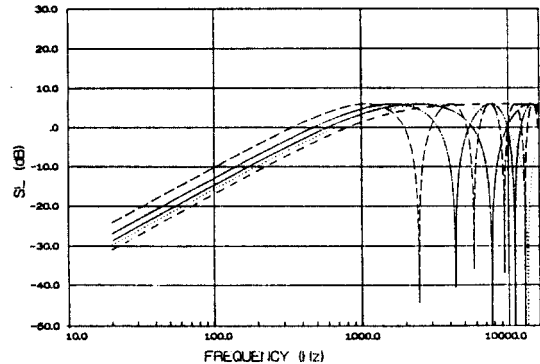


Fig.4. Effect of the standoff distance y_h on the signal level. (1st-layer : 1cm hard rubber, 2nd-layer : 2cm steel, $\theta=0^\circ$, wave : water → air, 1) - - - $y_h=0$ m, 2) $y_h=0.025$ m, 3) - - - $y_h=0.05$ m, 4) - - - $y_h=0.1$ m, 5) - - - $y_h=0.2$ m)

Fig.5는 baffle 양쪽면의 매질이 공기인 경우 센서 위치에 따른 신호 수준을 보여주고 있다. 음파가 물에서 공기로 전파될 때와는 달리 저주파에서 좋은

수준을 나타낸 baffle의 방사 임피던스가 물에 비교해서는 작으며, 공기에 비해서는 큰 결과로 인한 것이다. 이런 현상은 식(10)과 (28)을 이용하여 steel 2 cm의 경우 매질 변화에 따른 음파 전달 손실을 구한 Fig.6을 보면 더 확실히 이해할 수 있다.

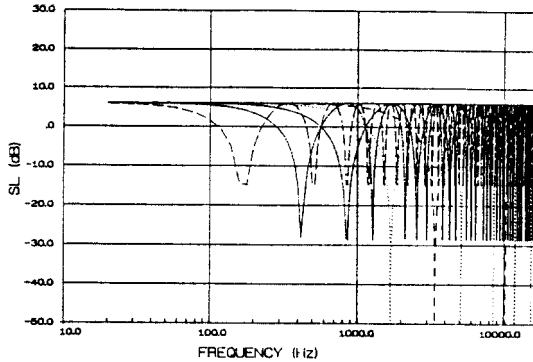


Fig.5. Signal level in accordance with the location of hydrophone. ($\theta=0^\circ$, baffle=2cm bare steel, wave: air \rightarrow air, 1) ——— $y_h=0.0$ m, 2) - - - $y_h=0.025$ m, 3) $y_h=0.05$ m, 4) - . - . $y_h=0.1$ m, 5) - - - - $y_h=0.2$ m, 6) - - - - $y_h=0.5$ m)

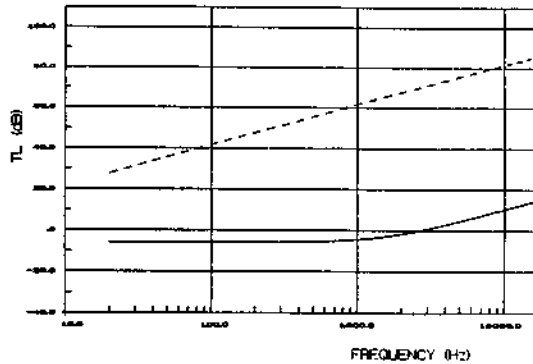


Fig.6. Comparison of transmission loss in accordance with ambient medium. (Normal incidence, baffle = 2cm bare steel, 1) air to water, 2) - - - - air to air).

Table 1. Baffle 재료의 특성

Materials	Young's modulus (N/m ²)	Density (kg/m ³)	Poisson's Ratio
Steel	19.5×10 ⁹	7800.0	0.28
Hard Rubber	0.23×10 ⁹	1100.0	0.4
Soft Rubber	5×10 ⁸	950.0	~0.5

Fig.7은 steel layer 위에 hard rubber가 위치된 경우와 soft rubber가 위치된 경우의 신호 수준 변화를 계산한 결과이다. Rubber의 특성은 Table 1에 주어져 있다.

Fig.7을 보면 soft baffle인 경우 신호수준은 상당히 나빠짐을 볼 수 있어 baffle의 재료는 강한 재질 즉 특성 임피던스 ρc 값이 큰 재질을 이용하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 이러한 결론은 reference (1), (2)에서 tube array에 대하여 나타나고 있다.

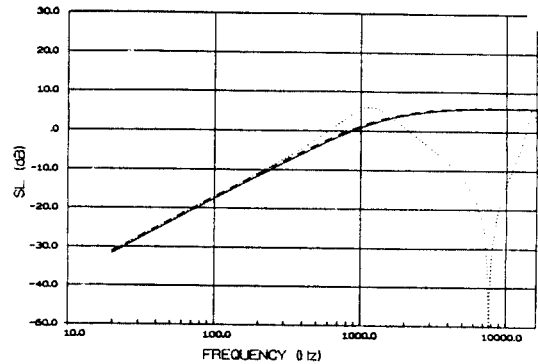


Fig.7. Effect in accordance with the material of baffle layer. ($\theta=0^\circ$, $y_h=0$ m, wave: water \rightarrow air, 1) - . - . 2cm bare steel, 2) - - - hard rubber/steel: 1/2 cm, 3) soft rubber/steel: 1/2 cm)

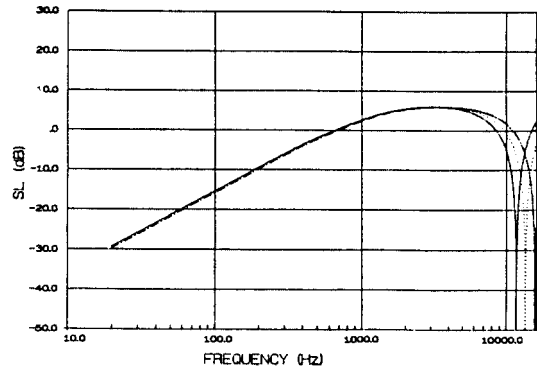


Fig.8. Signal level in accordance with the construction of baffle. ($\theta=0^\circ$, $y_h=0.025$ m, wave: water \rightarrow air 1) - - - steel/hard-rubber: 2/2cm, 2) - . - . steel/hard-rubber: 2/2cm, 3) hard-rubber/steel: 1/2 cm, 4) - . - . hard-rubber/steel: 2/2 cm)

Fig.8은 hard rubber를 입사면에 위치한 경우와 반대의 경우에 대하여 하이드로폰이 linch 떨어져

있을 때 수직 입사에 대한 계산 결과이다. 그림으로 부터 투과단 쪽에 rubber가 부착된 경우는 신호 수준에 거의 변화가 없지만 입사단쪽에 rubber가 두꺼워지면서 경계의 임피던스 변화로 신호수준 SL이 0 dB이상인 영역이 점차 좁아짐을 볼 수 있다. 그러므로 입사단쪽이 soft boundary화 되면서 SL은 나빠짐을 볼 수 있다.

이러한 현상을 Fig.9에서 잘 나타내주고 있다. 위 그림들에서 보이는 깊은 골짜기는 반사파와 입사파와의 간섭에 의한 소멸 현상에 의해 발생한다. 이러한 현상을 억제하기 위해서는 Fig.5에서 보는 바와 같이 입사파와 투과단의 매질이 같은 경우 저주파 영역에서 신호수준이 좋게 나타남을 볼 수 있는 것을 고려하여 하이드로폰의 baffle 양면의 매질이 물인 경우에 대하여 센서위치에 따라 수준 변화를 고찰하였다. Fig.10은 2cm steel이 baffle로 되어 있는 하이드로폰에서의 신호수준을 계산한 결과로 Fig.6에서 볼 수 있듯이 baffle의 radiation impedance가 저주파에서는 물에 비해 상당히 작으므로 수신 신호는 baffle에 영향을 받지 않음을 볼 수 있다. 하지만, 하이드로폰을 이용하여 탐지할 때 탐지거리가 음원 세기에 의해 결정되고 rigid baffle이 있는 경우의 2배 가량의 탐지거리 확장은 기대할 수 없게된다.

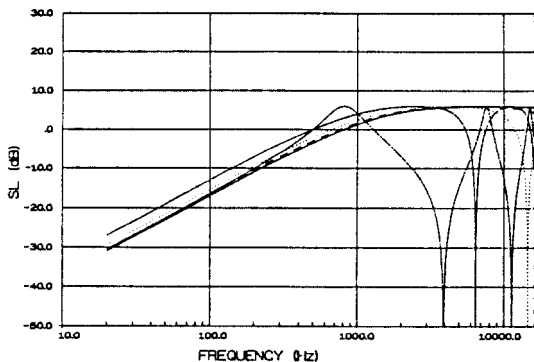


Fig.9. Effect of the thickness of 1st-layer on the signal level. ($\theta=0^\circ$, $y_h=0.0$ m, wave : water \rightarrow air, 2nd-layer : 2cm steel, 1) ——— 1cm hard rubber, 2) - - - 2cm hard rubber, 3) 4cm hard rubber, 4) - . - . - 10cm hard rubber, 5) - . . . - 2cm soft rubber)

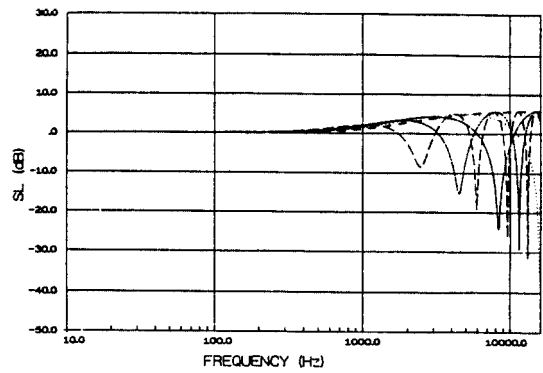


Fig.10. Effect of the standoff distance y_h on the signal level. ($\theta=0^\circ$, baffle=2cm bare steel, wave : water \rightarrow air, 1) - - - - $y_h=0.0$ m, 2) $y_h=0.025$ m, 3) - . . . - $y_h=0.05$ m, 4) - . . . - $y_h=0.1$ m, 5) - . . . - $y_h=0.2$ m)

Fig.11은 음파가 공기 중에서 수중으로 전파될 때의 입사각에 따른 투과 손실로 선체부착형 센서의 경우 선체 내부의 소음 수준이 크면 센서의 self-noise의 증가가 초래될 수 있음을 알 수 있다.

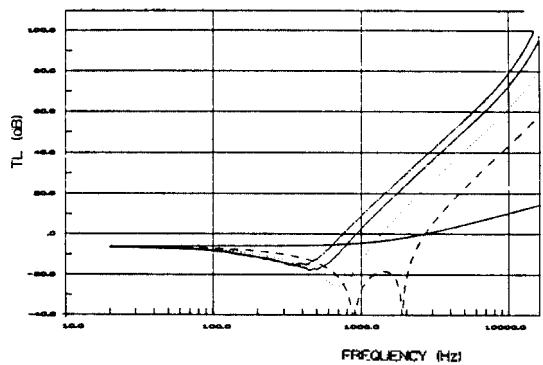


Fig.11. Transmission loss in accordance with incident angle. (baffle=2cm bare steel, 1) ——— $\theta=0^\circ$, 2) - - - $\theta=30^\circ$, 3) $\theta=45^\circ$, 4) - . - . - $\theta=60^\circ$, 5) - . . . - $\theta=75^\circ$).

Fig.12는 음향배플이 4-layer로 구성된 경우의 신호 수준 해석 결과로 선체 위에 고무와 steel constraint layer가 포함된 다층구조의 여러가지 조합에 따라 신호 수준의 변화를 분석하였다. 센서의 수신 주파수 영역을 저주파로 하기 위해서는 입사면의 임피던스가 작은 것이 좋으나 반면에 상한계 주파수가 점차 줄어든다. 2nd layer를 steel로 하고 양면에 hard rubber로한 경우는 높은 주파수 영역까지

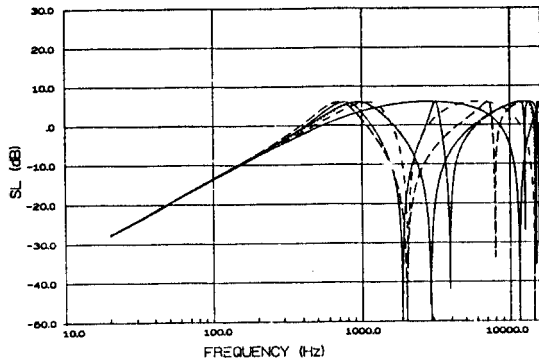


Fig.12. Signal reception of a hydrophone placed in front of 4-layered baffle.

(Normal incidence, $y_n=0$, m, 1) ——— HR/S/HR/S=1/0.5/1/2 cm, 2) - - - HR/S/SR/S=1/0.5/1/2 cm, 3) SR/S/IR/S=1/0.5/1/2 cm, 4) - . - . SR/S/SR/S=1/0.5/1/2 cm, 5) - - - SR/S/HR/S=1/0.5/2/2 cm, 6) - - - SR/S/HR/S=2/0.5/1/2 cm)

지 수신에 양호하나 저주파 영역에서는 soft rubber의 경우보다 좋지 않은 결과를 보이고 있다. 그리고 Fig.4, Fig.7과 비교해 볼때 2-layer보다 4-layer의 경우가 저주파 영역을 수신하는데는 유리함을 알 수 있다.

IV. Results

하이프로본의 수신 성능을 증가하기 위해서는 baffle을 설치할 경우 많은 제한 조건이 따름을 고찰하였다. 앞의 해석으로부터 음향 센서가 baffle이 있는 위치에 부착될 경우, 센서의 활용 주파수 범위에 따라 센서의 baffle과의 거리, baffle의 재질 특성, baffle의 layer 구조, 수신하고자하는 음파의 방향 등에 따른 수신신호 수준 향상을 위해서는 해석적인 검토가 필요함을 알 수 있다.

앞에서 서술한 바와 같이 수신신호를 향상시키기 위해서는 음파가 입사되는 면의 임피던스는 되도록 크게 하여야 한다. 즉, 음향적으로 soft한 boundary는 소음 감소 효과는 있지만 신호수준은 감소시키므로 신호수준을 위해서는 임피던스가 큰 것이 바람직하다. 그리고 센서의 주파수 대역을 저주파보다는 고주파로 함으로서 baffle내의 소음에 의한 영향도 줄일 수 있으며, 신호수준도 향상시킬 수 있다. 그러

나 고주파로 가면서 센서의 위치가 신호 수준에 영향을 크게 미치므로 위치에 따른 수신 주파수 영역에 대한 고려가 필요하다. 또한 배플이 다층인 경우 주파수 영역을 층의 재질을 적당히 선택하므로써 저주파 영역으로 수신 영역을 변화시킬 수 있다. 이것으로 주파수 영역은 센서의 위치, 배플의 구조와 재질의 변화에 영향을 받음을 알 수 있다.

본 논문의 해석 결과는 baffle이 multi-layered plate로 구성된 경우에 대하여 음향센서의 신호 수준 및 음향 투과 손실을 매질 변화에 따라 해석할 수 있다.

References

1. M.C. Junger, "Water-borne sound insertion loss of a planar compliant tube array," J. Acoust. Soc. Am. 78, 1010-1012 (1985).
2. S.H. Ko and H.H. Schloemer, "Signal pressure received by a hydrophone placed on a plate backed by a compliant baffle," J. Acoust. Soc. Am. 89, 559-564(1991).
3. S. Chonan and Y. Kugo, "Acoustic design of a three-layered plate with high sound interception," J. Acoust. Soc. Am. 89, 792-798(1991).
4. S. Chonan and Y. Kugo, "Acoustic characteristics and the design of two layered soundproof plates," J. Sound Vib. 129, 501-511(1989).
5. L. M. Brekhovskikh and R. T. Beyer, Waves in layered media, 2nd ed., Academic Press Inc., 1980, Chap. I.

Appendix

1) $n=1$

$$\begin{aligned} C_{11} &= (\alpha T_{11} / \rho_0 \omega + i\omega \epsilon_1) E(-\epsilon_1 h_1) \\ C_{12} &= (\alpha T_{11} / \rho_0 \omega + i\omega \epsilon_1) E(\epsilon_1 h_1) \\ C_{13} &= (-i\alpha T_{21} / \rho_0 \omega + k\omega) E(-\delta_1 h_1) \\ C_{14} &= (i\alpha T_{21} / \rho_0 \omega + k\omega) E(\delta_1 h_1) \\ C_{21} &= 2ik\epsilon_1 E(-\epsilon_1 h_1) \quad C_{22} = -2ik\epsilon_1 E(\epsilon_1 h_1) \\ C_{23} &= T_{21} E(-\delta_1 h_1) \quad C_{24} = T_{21} E(\delta_1 h_1) \end{aligned}$$

2) $n>1$, $k=3, 7, \dots, m-2$, $j=4(n-2)$

$$\begin{aligned} C_{k \ j+1} &= 2ik\epsilon_{n-1} G_{n-1} E(-\epsilon_{n-1} h_{n-1}) \\ C_{k \ j+2} &= -2ik\epsilon_{n-1} G_{n-1} E(\epsilon_{n-1} h_{n-1}) \\ C_{k \ j+3} &= T_{2n-1} G_{n-1} E(-\delta_{n-1} h_{n-1}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{k+1,4} &= T_{2n-1} G_{n-1} E(\delta_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+1,5} &= -2ik\epsilon_n G_n E(-\epsilon_n h_{n-1}) \\
 C_{k+1,6} &= 2ik\epsilon_n G_n E(\epsilon_n h_{n-1}) \\
 C_{k+1,7} &= -T_{2n} G_n E(-\delta_n h_{n-1}) \\
 C_{k+1,8} &= -T_{2n} C_n E(-\delta_n h_{n-1}) \\
 C_{k+1,9} &= T_{1n-1} E(-\epsilon_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+1,10} &= T_{1n-1} E(\epsilon_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+1,11} &= -i T_{2n-1} E(-\delta_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+1,12} &= i T_{2n-1} E(\delta_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+1,13} &= -T_{1n} E(-\epsilon_n h_{n-1}) \\
 C_{k+1,14} &= -T_{1n} E(\epsilon_n h_{n-1}) \\
 C_{k+1,15} &= i T_{2n} E(-\delta_n h_{n-1}) \\
 C_{k+1,16} &= -i T_{2n} E(\delta_n h_{n-1}) \\
 C_{k+2,1} &= -ik E(-\epsilon_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+2,2} &= -ik E(\epsilon_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+2,3} &= -\delta_{n-1} E(-\delta_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+2,4} &= \delta_{n-1} E(\delta_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+2,5} &= ik E(-\epsilon_n h_{n-1}) \\
 C_{k+2,6} &= ik E(\epsilon_n h_{n-1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_{k+2,7} &= \delta_n E(-\delta_n h_{n-1}) \\
 C_{k+2,8} &= -\delta_n E(\delta_n h_{n-1}) \\
 C_{k+3,3} &= ik E(-\delta_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+3,4} &= ik E(\delta_{n-1} h_{n-1}) \\
 C_{k+3,5} &= \epsilon_n E(-\epsilon_n h_{n-1}) \\
 C_{k+3,6} &= -\epsilon_n E(\epsilon_n h_{n-1}) \\
 C_{k+3,7} &= -ik E(-\delta_n h_{n-1}) \\
 C_{k+3,8} &= -ik E(\delta_n h_{n-1})
 \end{aligned}$$

3) $m=4n$, $n=\text{layer}$ 개수

$$\begin{aligned}
 C_{m-1,3} &= 2ik\epsilon_n E(-\epsilon_n h_n) \\
 C_{m-1,2} &= -2ik\epsilon_n E(\epsilon_n h_n) \\
 C_{m-1,1} &= T_{2n} E(-\delta_n h_n) \\
 C_{m-1,0} &= T_{2n} E(\delta_n h_n) \\
 C_{m-1} &= (T_{1n}\alpha' / \rho\omega - i\omega\epsilon_n) E(-\epsilon_n h_n) \\
 C_{m-2} &= (T_{1n}\alpha' / \rho\omega + i\omega\epsilon_n) E(\epsilon_n h_n) \\
 C_{m-1} &= (-iT_{1n}\alpha' / \rho\omega - k\omega) E(-\delta_n h_n) \\
 C_{m-1} &= (iT_{2n}\alpha' / \rho\omega - k\omega) E(\delta_n h_n)
 \end{aligned}$$

▲ Jae Jin Jeon



Date of Birth :
 Oct. 7, 1960
 November, 1987 ~
 Senior Researcher
 Chinhae Machine Depot
 March 1984 ~ August 1987
 Ph.D in Mechanical En-

gineering, (Acoustics and Dynamics)
 Korea Advanced Institute of Science and Techno-

March 1982 ~ Feb. 1984

M.S. in Mechanical Engineering (Acoustics and
 Dynamics), Korea Advanced Institute of Science
 and Technology

March 1978 ~ Feb. 1982

B.S. in Mechanical Engineering, Yonsei Univer-

sity