

# 해수연결 배관계 소음감소기의 투과손실 측정에 관한 연구

## A Study on Determining the Transmission Loss of Water-Borne Noise Silencer in a Sea-Connected Piping System

박 경 훈\*

(Kyung-Hoon Park\*)

\*국방과학 연구소

(접수일자: 2007년 5월 25일, 채택일자: 2007년 7월 16일)

해수연결 배관계에서 발생하는 주요한 소음원은 함 내부 탑재장비의 원활한 작동을 위해 해수를 순환시키는 해수순환 펌프이다. 이러한 펌프에서 발생하는 토널 성분을 가지는 유체전달 소음은 적절한 소음감소기를 통해서 감소되어야 한다.

본 논문에서는 실험적으로 유체전달 소음감소기의 음향 투과손실을 측정하기 위해서 해수연결 배관계의 끝단 반사가 존재하는 경우 배관 내의 음파를 입사파와 투과파로 분리하는 전달함수 기법을 제안하였다. 제작된 소음감소기 시험시편에 대한 이론적 투과손실과 제안된 기법을 통해 측정된 투과손실이 관심 주파수 영역에서 잘 일치함을 확인함으로써 기법의 타당성을 검증하였다.

핵심용어: 해수연결 배관계, 유체전달 소음, 소음감소기, 투과손실

투고분야: 수중음향 분야 (5.4)

The dominant source of noise in a sea-connected piping system is usually due to a seawater cooling pump which circulates seawater to operate onboard equipments normally, and so its water-borne noise with some tonal frequencies should be reduced using proper silencers. In order to obtain the transmission loss of water-borne noise silencers experimentally, the present paper suggests a transfer function technique that acoustic wave in the piping system is decomposed into its incident and transmitted components when the reflection at the termination of the system exists. Good agreement in the interested frequency range with theory and the proposed technique shows the validity of the technique.

Key words: Sea-connected piping system, Water-borne noise, Silencer, Transmission loss

ASK subject classification: Underwater Acoustics (5.4)

### I. 서론

함정의 내부에서 구동되는 많은 기계류들을 적절한 온도 범위 내에서 올바르게 작동시키기 위해 해수를 함 내로 유입시켜 각종 탑재 기계류 및 함내 공기를 냉각하게 된다. 이러한 냉각용 해수는 각종 펌프류를 이용하여 많은 직관 및 곡관 등으로 이루어진 배관계를 통해 유입되고 방출된다. 이 때 펌프의 유체 이동 메커니즘에 의해

유동 유기 소음이 발생될 뿐만 아니라, 펌프류에서 발생한 소음이 배관계에 설치된 각종 밸브나 곡관 등을 지나면서 유동 소음이 발생하며, 이로 인하여 수중 방사소음이 증가하게 된다. 이러한 소음은 함정에 있어 음향스텔스 성능을 저하시키는 원인이 되기 때문에 해수연결 배관계에 의한 방사소음의 수준을 감소시키기 위해서 소음원에 근접한 위치에서 배관에 소음감소기를 설계·적용하고 있다.

소음감소기의 음향성능은 삽입손실 (Insertion loss), 소음감소량 (Noise reduction), 투과손실 (Transmission loss) 등과 같은 다양한 지표에 의해 평가된다 [1]. 이 때

삽입손실과 소음감소량은 소음감소기가 설치되는 배관계의 소음원 특성인 음원강도, 음원 임피던스나 배관 끝단 요소의 임피던스, 소음감소기의 설치 위치와 같은 배관 시스템의 특성을 포함하고 있기 때문에 소음감소기 자체의 고유한 물리적 특성으로 볼 수 없는 반면, 투과손실은 소음감소기의 고유한 소음감소 정도를 표현할 수 있는 물성치로서 유용한 인자지만 측정에 있어서 상당한 주의가 요구된다.

소음감소기의 투과손실을 측정하는 방법으로는 정재파 기법 (Standing Wave Ratio) [2,3]이 널리 사용되어 왔다. Gately와 Cohen 등 [4-6]은 소음감소기의 상류측 및 하류측 배관에 각각 하나의 음향센서를 설치한 뒤, 몇 주기의 사인파를 입사시키는 펄스기법 또는 광대역 주파수의 음원이 발생될 수 있도록 임펄스가진 기법을 사용하여 시간영역에서 입사파와 반사파를 직접적으로 분리하여 투과손실을 측정하였다. 그러나 이러한 측정기법들은 단일 주파수 가진에 따라 많은 시간이 소요되는 단점과 물이 매질인 경우, 배관계의 길이가 상당히 증가되는 등 해수연결 배관계에 적용 시 많은 문제점을 가지고 있다.

Seybert와 Ross [7]는 광대역 랜덤 노이즈 음원을 이용하여 배관에 부착된 2개의 센서에서 측정되는 신호의 auto-spectrum과 cross-spectrum으로부터 입사파와 반사파의 크기와 위상을 역행렬 계산을 통해 투과손실을 측정하는 기법을 제안하였다. Chung과 Blaser [8,9]는 랜덤 노이즈 음원을 사용하여 광대역 주파수 영역에서 측정하였으며, 2개의 음향센서 사이의 전달함수를 이용하여 소음감소기의 투과손실을 계속할 수 있는 방법을 제시하여 역행렬 계산에 의해 발생하는 영향을 배제시켰다. 그러나 Seybert와 Chung 등은 제안된 투과손실의 측정 기법에 대한 실험적 검증 시 소음감소기의 하류측 배관의 끝단을 무반사 처리함으로써 하류측 배관으로부터의 반사파 영향을 없애고 실험을 수행하였다.

본 논문에서는 물의 순환이 이루어지는 해수연결 배관계를 모사한 시험장치에서 제거할 수 없는 끝단 반사파의 영향을 포함하지만 이를 보정한 소음감소기의 투과손실 측정기법을 유도하였다. 그리고 시험장치의 구성방법 및 고려사항을 기술하고, 소음감소기 시편을 이용하여 투과손실을 측정된 뒤 수학적 해석 결과와 비교하여 본 논문에서 제시된 측정기법을 검증하였다.

## II. 소음감소기의 투과손실 측정기법

해수연결 배관계는 크게 소음감소기, 소음감소기의 상류측에 위치한 소음원 및 배관으로 구성되어 있으며, 배관계 내의 해수 순환으로 인해 끝단에는 음파의 반사가 발생된다. 그림 1은 이러한 해수연결 배관계 소음감소기의 1차원 배관 내 음파 전파를 나타내고 있으며, 강체 배관 내에서 평면파 전파로 가정하였다. 음원은 광대역 주파수 영역에서 랜덤 가진되며 배관 내 유체는 비점성으로 고려하였다.

소음감소기는 좌우 대칭 형상을 이루고 있으며, 상류측 배관의 2지점  $x_1, x_2$  및 하류측 배관  $x_3, x_4$ 의 2지점에 하이드로폰이 벽면에 고정, 밀착되어 설치된다. 이 때 설치된 각 하이드로폰에서 측정되는 값은 +방향 진행파와 -방향 진행파가 중첩되어 있는 음파로서 이러한 두 진행파의 분리를 통해서 소음감소기의 투과손실을 계속할 수 있게 된다. 소음감소기의 전면을 x축의 기준으로 설정하였을 때, 4지점에 설치된 하이드로폰에서 측정되는 음압은 입사파와 반사파의 결합에 의해 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$p(x, f) = Ae^{-ikx} + Be^{+ikx} \quad (x \leq 0) \tag{1}$$

$$p(x, f) = Ce^{-ik(x-d)} + De^{+ik(x-d)} \quad (x \geq d) \tag{2}$$

여기서 A, B는 상류측의 입사파와 반사파의 진폭이며, C와 D는 하류측의 입사파와 반사파의 진폭, d는 소음감소기의 길이이다.

이 때 상류측 배관 내에서는 소음감소기와 배관 연결부에서의 임피던스 부정합으로 인하여 임의의 정재파가 형성되며, 하류측 배관 내에서도 끝단에서 음파 반사가 발

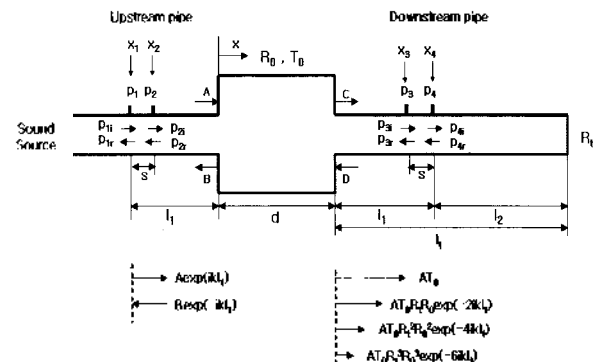


그림 1. 해수연결 배관계 소음감소기의 1차원 음장  
Fig. 1. One dimensional sound field in the sea-connected piping system with a silencer.

생하게 된다. 배관 내부에서 유체가 순환할 경우, 식 (1) 및 식 (2)에서 입사파와 반사파의 파수 (wave number) 는 평균 유동 속도의 영향으로 상이한 값을 가진다. 그러나 해수연결 배관계 내 유체의 평균 유동 유속은 일반적으로 배관 내를 전파하는 음속에 비해 상당히 작으며, 배관이 강체로 가정됨에 따라 감쇠는 발생되지 않으므로 입사파와 반사파에서의 파수 ( $k$ )는 동일하게 표현될 수 있다.

상류측 배관에 설치된 하이드로폰에서의 음압과 하류측 배관에 설치된 하이드로폰에서의 음압은 식 (1) 및 식 (2)에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-ikx_1} & e^{+ikx_1} \\ e^{-ikx_2} & e^{+ikx_2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A \\ B \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{Bmatrix} p_3 \\ p_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-ik(x_3-d)} & e^{+ik(x_3-d)} \\ e^{-ik(x_4-d)} & e^{+ik(x_4-d)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} C \\ D \end{Bmatrix} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)로부터 상류측 배관 내 음압과 하류측 배관 내 음압의 음파 분리를 위해 역행렬을 수행하면 다음 수식으로 표현된다.

$$\begin{Bmatrix} A \\ B \end{Bmatrix} = \frac{1}{e^{-ik(x_1-x_2)} - e^{+ik(x_1-x_2)}} \begin{bmatrix} e^{ikx_1} & -e^{ikx_2} \\ -e^{-ikx_1} & e^{-ikx_2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{Bmatrix} C \\ D \end{Bmatrix} = \frac{1}{e^{-ik(x_3-x_4)} - e^{+ik(x_3-x_4)}} \begin{bmatrix} e^{ik(x_3-d)} & -e^{ik(x_3-d)} \\ -e^{-ik(x_4-d)} & e^{-ik(x_4-d)} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} p_3 \\ p_4 \end{Bmatrix} \quad (6)$$

이 때 상류측 및 하류측 배관에 설치된 하이드로폰의 간격이 동일하다면, 즉  $x_1 - x_2 = x_3 - x_4 = -s$  라면, 식 (5)와 식 (6)의 분모항은 다음과 같이 동일하게 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta &= e^{-ik(x_1-x_2)} - e^{+ik(x_1-x_2)} = e^{-ik(x_1-x_2)} - e^{+ik(x_1-x_2)} \\ &= e^{iks} - e^{-iks} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (5)~ 식 (7)을 이용하여 상류측 배관에서의 +방향 진행파에 대한 하류측 배관에서의 +방향 진행파의 비 (ratio)를 측정된 음압 ( $p_1, p_2, p_3, p_4$ )을 이용하여 식 (8)과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{C}{A} &= \frac{e^{ik(x_4-d)} p_3 - e^{+ik(x_3-d)} p_4}{e^{ikx_1} p_1 - e^{-ikx_1} p_2} \\ &= e^{-ikd} \frac{p_3}{p_1} e^{+ik(x_3-x_1)} \frac{e^{ik(x_4-x_1)} - p_4 / p_3}{e^{+ik(x_2-x_1)} - p_2 / p_1} \\ &= H_{13} e^{ik(2l_1-s)} \frac{e^{iks} - H_{34}}{e^{iks} - H_{12}} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서  $H_{ij}$  는  $i$  번째 하이드로폰에서 측정된 음압에 대한  $j$  번째 하이드로폰에서 측정된 음압의 비인 전달함수로 다음 식과 같다.

$$H_{13} = \frac{p_3}{p_1}; H_{12} = \frac{p_2}{p_1}; H_{34} = \frac{p_4}{p_3} \quad (9)$$

식 (8)의 상류측 배관의 +방향 진행파와 하류측 배관의 +방향 진행파의 비는 소음감소기의 고유 특성인 음압 투과계수와는 다른 값이다. 음압 투과계수는 소음감소기의 입사음압에 대한 투과음압의 비를 의미하는데 상류측 배관에서는 소음원에 의한 정재파 형성으로 입사음압을 A로 보는 것이 타당하지만, 하류측 배관의 +방향 진행파의 음압은 소음감소기를 투과한 음압의 영향뿐만 아니라, 해수배관계의 끝단에서 실제로 발생하는 음파 반사 및 소음감소기 후면에서의 반사에 의한 음압의 영향까지 포함되어 있다. 해수연결 배관계 끝단에서의 경계 조건을 끝단 반사계수  $R_0$ 로 표현하였을 때, 소음감소기 하류측 배관에서의 +방향 진행파 C는 소음원에서 발생되어 진행되어 오는 소음감소기 입사음압 A에서 소음감소기 투과계수의 영향이 고려되어 감소된 투과음압 크기에 더해 하류측 배관에서의 무한 다중반사에 의해 상승된 음압 성분까지 포함되어 증첩되어 나타내게 되며 최종적인 음압의 크기는 다음의 수식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} C &= AT_0 + AT_0(R_0 R_0 e^{-2ikl}) + AT_0(R_0 R_0 e^{2ikl})^2 + L \\ &= AT_0(1 + z + z^2 + z^3 + L + z^n) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서  $z$ 는 하류측 배관에서 길이방향으로 음파가 전파됨에 따라 발생하는 다중반사에 의한 감쇠비 ( $z = R_0 R_0 e^{-2ikl}$ )로 해석할 수 있다. 이 때 식 (10)의 무한 급수 항을 다음과 같이 표현하였다.

$$S_n = 1 + z + z^2 + z^3 + L + z^n \quad (11)$$

만일 하류측 배관에서 발생하는 다중반사 감쇠비가 상당히 작다면 (즉,  $R_0 R_4 e^{-2ik_1} < 1$  이라면), 다음과 같이 식 (12)로 정리될 수 있다.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1-z^{n+1}}{1-z} ; \frac{1}{1-z} \quad (12)$$

따라서 식 (10)과 식 (12)로부터 소음감소기의 입사파에 대한 하류측 배관에서 +방향으로 진행되는 음파의 비는 식 (13)과 같다.

$$\frac{C}{A} = \frac{T_0}{1-R_0 R_4 e^{-2ik_1}} \quad (13)$$

식 (13)을 살펴보면 앞서 언급된 바와 같이  $C/A$ 는 소음감소기의 투과계수 ( $T_0$ ) 뿐만 아니라, 배관계의 끝단 반사계수와 하류측 배관의 길이와 같은 시스템의 항이 포함되어 있다. 그러나 식 (13)에서 표현된 소음감소기의 반사계수는 소음감소기 바로 전면, 또는 후면에서의 값이다. 따라서 이를 상류측 배관에 장착되어 있는 하이드로폰에서 측정 가능한 반사계수로 변환시켜 표현해야 하며, 배관계의 끝단 반사계수 역시 하류측 배관에 장착되어 있는 2개의 하이드로폰에 의해 측정된 값으로 변환시켜 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$R_0 = \frac{B}{A} = \frac{B e^{-ik_1}}{A e^{+ik_1}} e^{2ik_1} = R_1 e^{2ik_1} \quad (14)$$

$$R_4 = \frac{D e^{+ik_4}}{C e^{-ik_4}} = \frac{D e^{+ik_4} e^{+ik_2}}{C e^{-ik_4} e^{-ik_2}} = R_4 e^{2ik_4} \quad (15)$$

식 (14)와 식 (15)를 식 (13)에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{C}{A} = \frac{T_0}{1-(R_1 e^{2ik_1})(R_4 e^{2ik_4}) e^{-2ik_1}} = \frac{T_0}{1-R_1 R_4} \quad (16)$$

식 (8)과 식 (16)로부터 실제 소음감소기의 고유 특성치인 투과계수는 식 (17)과 같이 정리되어 표현된다.

$$T_0 = (1-R_1 R_4) H_{13} e^{ik_1(2l_1-r)} \frac{e^{ik_4} - H_{34}}{e^{ik_4} - H_{12}} \quad (17)$$

이 때 상류측 배관의 첫 번째 하이드로폰 위치에서의 음압 반사계수  $R_1$  및 하류측 배관의 네 번째 하이드로폰 위치에서의 음압 반사계수  $R_4$  는 Blaser 등 [8]이 발표한 바와 같이 상류측 배관에 위치한 2개의 하이드로폰 및 하류측 배관에 설치된 2개의 하이드로폰 사이에서의 전달함수를 이용하여 측정할 수 있으며, 다음과 같이 표현된다.

$$R_1 = \frac{H_{12} - H_{12r}}{H_{12r} - H_{12}} \quad (18)$$

$$R_4 = \frac{H_{34} - H_{34r}}{H_{34r} - H_{34}} \quad (19)$$

$$H_{12r} = \frac{P_{2r}}{P_{1r}} = e^{-ik_1 r} ; H_{12} = \frac{P_{2l}}{P_{1l}} = e^{+ik_1 l} \quad (20)$$

$$H_{34r} = \frac{P_{4r}}{P_{3r}} = e^{-ik_4 r} ; H_{34} = \frac{P_{4l}}{P_{3l}} = e^{+ik_4 l} \quad (21)$$

여기서 아래첨자  $i$  는 입사파를 의미하며,  $r$  은 반사파를 의미한다.

최종적으로 소음감소기의 투과손실은 식 (22)와 같이 표현될 수 있다.

$$TL(dB) = 20 \log \left| \frac{1}{T_0} \right| \quad (22)$$

### III. 해수연결 배관계를 모사한 시험장치 구성 및 소음감소기의 투과손실 측정

상류측 배관에 설치된 2개의 하이드로폰과 하류측 배관에 설치된 2개의 하이드로폰으로부터 측정되는 전달함수 및 이를 이용한 소음감소기의 반사계수와 끝단의 반사계수를 이용하여, 해수연결 배관계에 부착되는 유체소음저감을 위한 소음감소기의 투과손실을 측정하기 위한 시험장치 및 측정분석 장비에 대한 개략도를 그림 2에 나타내었다. 펌프는 배관 내부 충수 및 유동유속을 제어한다. 신호 발생기 (B&K 1054)에서 발생된 랜덤 노이즈 신호는 파워앰프 (R&K 2706)를 통해 증폭되어, 음원발생장치인 수중스피커 (UETAX, UW-30)를 통해 배관 시험장치 내로 전파된다. 시험장치의 배관 내경은 100mm이며 배관

의 두께는 6mm이다. 음향센서인 하이드로폰은 B&K 8103으로 flush mounted되어 배관에 설치되어 있다.

설치된 하이드로폰에서 얻어진 신호는 증폭기 (B&K NEXUS charge amplifier)를 통해 증폭되며, 신호 분석기 (B&K PULSE system Type 3560)를 통해 하이드로폰 사이의 전달함수를 측정하였다. 원형 단면 배관의 내경이 100mm인 경우 배관 내부에 평면파 전파를 위한 상한주파수 한계는 약 8kHz로써, 일반적으로 해수 냉각수 공급을 위한 펌프의 작동이 이루어지는 경우와 같은 소음의 발생 주파수 영역 (2kHz 이내)을 충분히 포함하고 있다.

배관 내 음파의 전파에 있어 유효 측정 가능 주파수 범위를 설정하는데 있어서 중요한 역할을 하는 것은 앞서 언급된 평면파 전파 조건과 더불어 하이드로폰 간격에 따른 제한조건이다. ASTM E-1050 [10]에서는 하이드로폰의 간격을 관심하한주파수에 상응하는 파장의 1%를 초과하도록 제안하였다. 반면 하이드로폰 사이의 간격이 넓어지게 되면 측정에 있어서의 정확도를 향상시킬 수 있지만, 하이드로폰의 간격이 음파의 반파장의 정수배에 상응하는 주파수 근처에서는 반사계수를 계산하는데 있어 부정해 (indeterminate)가 발생하기 때문에 관심 주파수 대역 내에서 관심 상한주파수에 상응하는 반파장보다 작아야 하므로 다음과 같은 제한된 측정 주파수 범위에서 측정이 가능하다.

$$\frac{1}{100} \frac{c}{s} < f < \frac{1}{2} \frac{c}{s} \cdot 0.8 \quad (23)$$

여기서 c는 배관 내 음속으로 배관의 재질, 배관의 치수와 유동 유체의 물성치에 의하면 약 1350m/s이며, s는 하이드로폰 사이의 간격으로 본 시험장치에서는 85mm로써 식 (23)에 따르면 약 160Hz에서 6400Hz까지의 주파수 영역에서 소음감소기의 투과손실 측정이 가능하다. 따

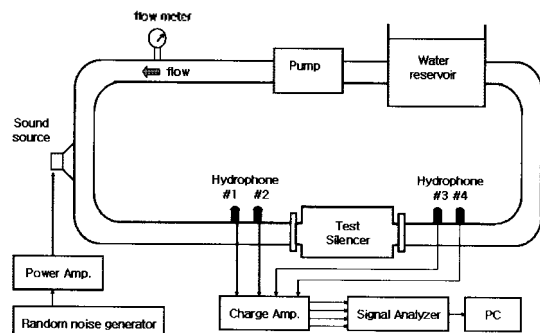


그림 2. 소음감소기의 투과손실 측정 시험장치 구성  
Fig. 2. Experimental setup for the measurement of transmission loss of a water-borne noise silencer.

라서 평면파 전파를 위한 주파수 영역과 주파수 간격에 따른 측정 주파수 영역을 만족시키는 160Hz~6400Hz에서 소음감소기의 투과손실 측정이 가능하다. 이 때 상류측 배관과 하류측 배관에 설치되는 하이드로폰은 등간격으로 위치시켜 측정주파수 대역에서의 계측 오차의 민감성을 감소시켰다 [11]. 음원으로부터 하이드로폰까지의 거리는 평면파가 충분히 발달하여 형성시키기 위해 5m 가량 떨어져 있으며, 배관 내 충수 시 내부에 잔존하는 공기의 영향에 의해 하이드로폰에서 측정되는 음압이 영향을 받지 않도록 시험 대상 소음감소기 및 하이드로폰 주변에서의 기포를 제거하였다.

본 논문에서 제시한 측정기법의 검증을 위한 실험대상 소음감소기는 광대역 주파수 영역의 소음 수준 저감을 위한 단순확장형 소음감소기 1종과 해수순환 펌프가 작동될 경우에 발생하는 토널 주파수 영역의 소음 감소를 위해 적용 가능한 Side-branch resonator형 소음감소기 1종이며, 이에 대한 투과손실을 측정하고 그 특성에 대해 알려진 이론적인 해석 결과와 비교하였다.

본 실험에 사용된 단순확장형 소음감소기의 확장부는 길이가 400mm, 직경이 250mm로 제작되었으며, 이에 대한 이론적인 투과손실 예측치 [12]는 다음 수식을 통해 계산되었다.

$$TL = 10 \log_{10} \left( 1 + \frac{1}{4} \left( m - \frac{1}{m} \right)^2 \sin^2 kl \right) \quad (24)$$

$$여기서 \quad m = \frac{c_p S_p}{c_s S_s} \quad (25)$$

이 때 m은 유효확장비이며, 배관과 소음감소기의 확장부의 단면적 ( $S_p, S_s$ ) 뿐만 아니라 배관과 소음감소기 확장부에서의 음파 전파속도 ( $c_p, c_s$ )가 영향을 미치게 된다. 식 (25)에서 아래첨자 p는 배관 (pipe)를 의미하고, s는 소음감소기 (silencer)를 의미한다.

유효확장비가 6.95인 시험대상 단순확장형 소음감소기에 대한 실험 결과와 이론의 비교 결과는 그림 3과 같다. 실험결과가 다소 분산되어 있지만 경향이 이론과 잘 일치하고 있으며, 특히 600Hz 이상의 주파수 영역에서 3dB 이내의 오차범위 내에 존재한다.

Side-branch resonator형 소음감소기의 측지관은 배관에 수직하며 측지관의 내경은 100mm로 배관의 내경과 동일하고, 길이는 500mm로 공명발생 주파수는 식 (26)에 따르며 이 주파수에서 최대 투과손실이 발생한다.

$$f_r = \frac{c_p(2n-1)}{4l} \tag{26}$$

여기서  $n$ 은 양의 정수이며,  $c_p$ 는 배관 내 음속,  $l$ 은 측지관의 길이이다. 그림 4는 Side-branch resonator형 소음감소기의 투과손실 측정결과를 이론해와 비교한 결과이다. 최대 투과손실 발생 위치가 이론해와 차이는 있지만 잘 표현되고 있으며, 투과손실의 수준은 Resonator형 소음감소기의 일반적인 경향인 공진주파수에서 이론해에 비해 낮게 예측이 되고 있으나, 전체적인 소음감소 경향은 소음 제어 주파수 영역부근(약 500Hz~1000Hz)에서는 전반적으로 일치하고 있다. 실험값과 이론값의 차이는 실제 side-branch의 끝단에서의 반사의 영향으로 peak 값이 약간 감소하고, side-branch 내부에서 형성된 파장이 짧아져서 공진주파수가 약간 높게 나타나기 때문이다.

그러나 2종의 시험대상 소음기의 500Hz 이하 저주파수 영역에서는 이론해와 실험결과가 잘 일치하지 않고 있

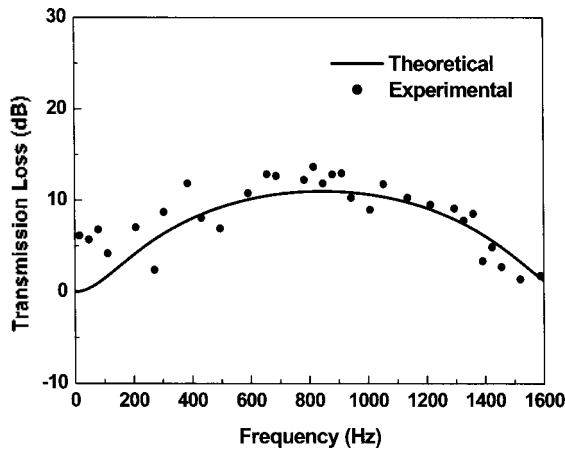


그림 3. 단순확장형 소음감소기의 투과손실 비교  
 Fig. 3. Comparison of theoretical and measured transmission loss of a simple expansion chamber silencer.

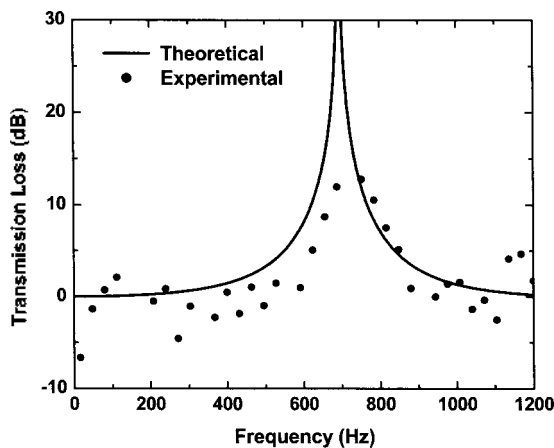


그림 4. Side-branch resonator 소음감소기의 투과손실 비교  
 Fig. 4. Comparison of theoretical and measured transmission loss of a side-branch resonator silencer.

는데, 이는 저주파수 영역에서 충분한 음향에너지를 발생시키지 못하여 낮은 신호대 잡음비로 인하여 하이드로폰에서 측정된 전달함수에 많은 오차가 포함된 것으로 판단된다.

### IV. 결론

함정 내 탑재장비의 정상적인 작동을 위해 필요한 해수연결 배관계에서 발생하는 유체소음의 감소를 위해 적용되는 소음감소기의 고유 음향특성인 투과손실의 측정을 위해 전달함수를 이용한 음파분리이론을 적용하였다. 일반적인 소음감소기의 특성 파악이 이루어진 기존 논문들에서는 음향 투과손실의 측정에 있어서 시험장치의 끝단 반사를 제거하기 위한 무반사조건을 시험장치에 구현하였다. 그러나 해수연결 배관계와 같은 물의 순환이 이루어지는 경우 끝단에서의 반사의 영향을 없애기 위한 무반사조건을 구현이 힘들다. 따라서 이러한 시스템의 끝단 반사가 존재하는 경우 시스템의 특성을 보정하기 위한 측정법이 필요하다. 본 논문에서는 시스템의 끝단 반사가 존재하는 보다 실질적인 음장에서의 입사파 및 투과파 분석을 통해 해수연결 배관계에 적용되는 소음감소기의 투과손실을 측정하는 기법을 유도하여 제시하였다. 또한 해수연결 배관계를 모사한 시험장치를 구현하고, 2종의 소음감소기 시험시편에 대한 투과손실을 측정하여 이론적인 해석해와 비교를 통해 소음제어 주파수 영역에서 일치하는 경향을 확인함으로써 제시된 측정기법의 타당성을 검증하였다.

### 참고 문헌

1. M. L. Munjal, *Acoustics of Duct and Mufflers* (John Wiley & Sons, New York, 1987), Chap.2, pp. 55-60.
2. P. M. Morse and K. U. Ingard, *Theoretical Acoustics* (McGraw Hill, New York, 1968), Chap.9, pp. 467-471.
3. ASTM C384-03, "Standard Test Method of Impedance and Absorption of Acoustic materials by the Impedance Tube Method" American Society for Testing and Materials, 2004.
4. W. S. Gately and R. Cohen, "Methods for evaluating the performance of small acoustic filters," *J. Acoust. Soc. Am.* 46, 6-16, 1969.
5. M. M. Loudon, "The single pulse method for measuring the transmission characteristics of acoustic system," *Acoustica* 25, 167-172, 1971.
6. R. Singh and T. Katra, "Development of an impulse technique

- of measurement of muffler characteristics," J. Sound and Vib. 56, 279-298, 1978.
7. A. F. Seybert and D. F. Ross, "Experimental determination of acoustic properties using a two-microphone random excitation technique," J. Acoust. Soc. Am. 61, 1362-1370, 1977.
  8. D. A. Blaser and J. Y. Chung, "A transfer function technique for determining the acoustic characteristics of duct systems with flow," Inter-noise 78, 907-913, 1978.
  9. J. Y. Chung and D. A. Blaser, "Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory," J. Acoust. Soc. Am 68, 907-913, 1980.
  10. ASTM E1050-98, "Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustic Materials Using A Tube, Two microphone and A Digital Frequency Analysis System" American Society for Testing and Materials, 1998.
  11. S. H. Jang and J. G. Ih, "On the multiple microphone method of measuring in-duct acoustic properties in the presence of mean flow," J. Acoust. Soc. Am. 103, 1520-1526, 1997.
  12. Conesco, *Study of Fluid-borne Noise and the Development of Fluid Acoustic Filter Test Specifications and Design Rules*, (Conesco, Inc., 1964)

---

### 저자 약력

---

#### • 박 경 훈 (Kyung-Hoon Park)



2002년 : 부산대학교 기계공학부 졸업  
 2004년 : 한국과학기술원 기계공학과 석사  
 2004년~ 현재: 국방과학연구소 연구원