

관의 경사각이 음향 반사계수에 미치는 영향

Effect of the Pipe with Inclined Angle on the Acoustic Reflection Coefficient

양윤상* · 이동훈† · 백두산**

Yoon-Sang Yang, Dong-Hoon Lee and Du-San Beak

1. 서 론

엔진 배기시스템이나 덕트시스템에서 이용하고 있는 대표적 소음저감 장치는 소음기이다. 이와 같이 소음저감만을 목적으로 하는 소음기 외에도 관출구로 방사되는 소음의 지향성 제어를 통하여 소음수준을 기준이하로 감소시키는 다양한 방법이 활용되고 있다. 즉, 덕트나 배관의 출구를 곡관으로 하여 소음의 전파방향을 바꾸거나, 엔진 배기관 출구나 산업용 소음기의 출구단면을 경사지게 하여 지면을 향하도록 하는 예를 들 수 있다. 이외에도 고속철도나 자동차용 터널의 출구단면을 경사지게 하여 소음을 제어하는 예가 있다.

특히 제시된 예에서 경사단면을 갖는 관출구가 소음저감이나 제어에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서는 명확한 이론적 근거나 배경은 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 관출구 경사각에 따른 음향반사계수를 구하여 출구 경사각이 소음저감이나 제어에 어떤 영향을 미치는지를 규명하고자 한다.

2. 관련이론

Fig. 1은 두 개의 마이크로폰이 부착된 임피던스관의 개략도를 나타낸 것이다. Fig. 1에서와 같이 임피던스관의 출구측은 개구가 되어있으며, 개구면으로부터 마이크로폰까지의 거리는 각각 x_1 과 x_2 그리고 s 는 두 마이크로폰간의 간격이다. 또한 입

구측에는 스피커를 통해 정상불규칙 음향신호가 공급된다.

x_1 과 x_2 지점간의 음향전달함수 $H_{12}(f)$ 그리고 x_1 지점에서 측정된 자기스펙트럼 밀도함수 $S_{11}(f)$ 를 이용하여 입사파와 반사파에 대한 음향과외 스펙트럼 $S_{AA}(f)$ 와 $S_{BB}(f)$ 를 구하면 다음과 같다.

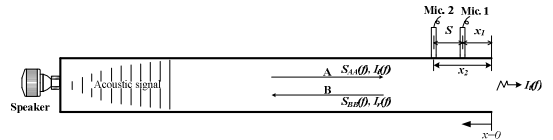


Fig. 1 Acoustic behavior in an impedance tube

$$S_{1A}(f) = S_{11}(f) \cdot [1 + |H_{12}(f)|^2 - 2\text{Re}\{H_{12}(f)\}\cos k(x_1 - x_2) + 2\text{Im}\{H_{12}(f)\}\sin k(x_1 - x_2)] / 4\sin^2 k(x_1 - x_2) \quad (1)$$

$$S_{1B}(f) = S_{11}(f) \cdot [1 + |H_{12}(f)|^2 - 2\text{Re}\{H_{12}(f)\}\cos k(x_1 - x_2) - 2\text{Im}\{H_{12}(f)\}\sin k(x_1 - x_2)] / 4\sin^2 k(x_1 - x_2) \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)는 Seybert가 제안한 스펙트럼 밀도법을 기반으로 한 음파분리 이론식이다. 식에서 Im 과 Re 는 전달함수의 허수부와 실수부를 뜻하며, f 는 주파수, $k = 2\pi f/c$ 는 파동수 그리고 c 는 음속이다. 또한 식 (1)과 식 (2)를 각각 입사음의 음향세기 $I_i(f)$ 와 반사음의 음향세기 $I_r(f)$ 로 표현하면 다음과 같다.

$$I_i(f) = \left\{ \begin{array}{l} S_{11}(f) \cdot [1 + |H_{12}(f)|^2 + \\ 2\text{Re}\{H_{12}(f)\}\cos k(x_1 - x_2) + \\ 2\text{Im}\{H_{12}(f)\}\sin k(x_1 - x_2)] \end{array} \right\} / 4\rho c \sin^2 k(x_1 - x_2) \quad (3)$$

$$I_r(f) = \left\{ \begin{array}{l} S_{11}(f) \cdot [1 + |H_{12}(f)|^2 - \\ 2\text{Re}\{H_{12}(f)\}\cos k(x_1 - x_2) - \\ 2\text{Im}\{H_{12}(f)\}\sin k(x_1 - x_2)] \end{array} \right\} / 4\rho c \sin^2 k(x_1 - x_2) \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서 ρc 는 공기의 특성임피던스이다. 식 (3)과 식 (4)의 관계를 이용하여 x_1 지점에서

† 교신저자; 정희원, 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과

E-mail : ldh@seoultech.ac.kr

Tel : 02-979-7331, Fax : 02-979-7331

* 서울과학기술대학교 에너지시스템공학과

** 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과

의 음향세기 반사계수 $R_{p,1}(f)$ 을 구하여 정리하면 다음과 같다.

$$R_{p,1}(f) = \frac{1 + |H_{12}(f)|^2 - 2Re[H_{12}(f)]\cos ks - 2Im[H_{12}(f)]\sin ks}{1 + |H_{12}(f)|^2 - 2Re[H_{12}(f)]\cos ks + 2Im[H_{12}(f)]\sin ks} \quad (5)$$

식 (5)의 음향세기 반사계수는 관의 단면적이 같다면 음향파워 반사계수와도 같다.

3. 실험

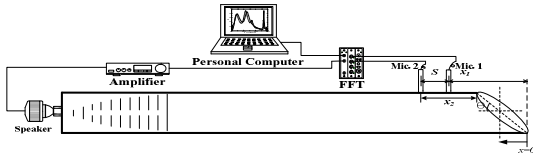


Fig. 2 Experimental setup for acoustic reflection coefficient measurement

Fig. 2는 전달함수법을 이용한 반사계수 측정을 위한 임피던스관과 측정기기의 구성도를 나타낸 것이다. 임피던스관은 길이 2.260mm 그리고 두께 5mm이며, 출구각에 따른 반사계수를 측정하도록 설계하였다. 관의 입구 측에는 스피커가 부착되어 있으며, 출구 측은 개구되어 있다. 음향신호는 음신호발생기에서 발생되어 증폭기를 거쳐 증폭된 다음에 스피커를 통해 임피던스 관에 공급되어 출구 단에서 방사된다. 전달함수법을 이용한 반사계수 구하는 방법은 Fig. 2와 같이 출구 앞에 설치된 두 개의 1/4인치 압력형 마이크로폰으로 3,200Hz까지 8Hz간격으로 전달함수와 자기스펙트럼 밀도함수를 측정하였다. Fig. 2에서 마이크로폰의 거리 $x_1 = 260mm$, $s = 40mm$ 이다.

4. 결과 및 고찰

Table 1 Dimension of a tube with inclined angle

test tube diameter [mm]	inclined angle [°]	Adjusted parameters
80	30	Inclined angle
	45	
	60	
	90	

Table 1은 관의 출구의 경사각에 따른 반사계수

측정에 사용된 관의 제원을 나타낸 것이다. 관 출구의 경사각 θ 를 Table 1과 같이 변화시키면서 음향반사계수를 측정하였다.

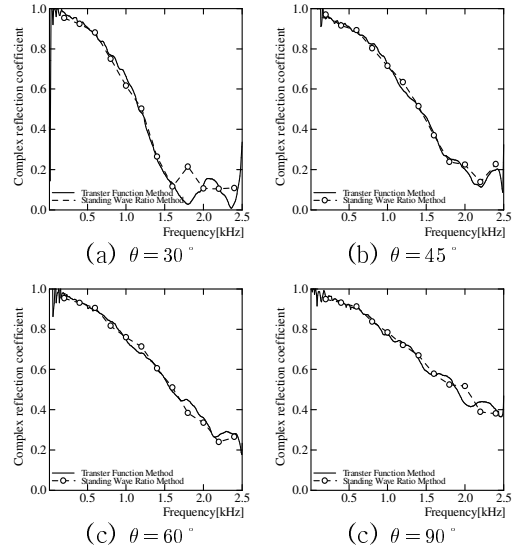


Fig. 4 Effect of the inclined angle of test tube on the acoustic reflection coefficient

Fig. 4는 관출구 경사각에 따른 음향반사계수를 전달함수법과 정재파비법으로 측정하여 비교한 결과이다. 두가지 실험결과는 거의 동일한 경향을 나타내었다. 또한 음향반사계수가 경사각에 크게 의존하는 것을 확인하였고, 관출구 경사각이 클수록 그리고 관출구 단면적이 작아질수록 음향반사계수가 전 주파수대역에서 높게 됨을 확인하였다. 이것은 방사 단면적이 출구각에 의존적이기 때문이다.

5. 결론

음향 반사계수가 출구 경사각에 따라 크게 의존하는 것을 확인하였고, 경사각이 클수록 방사 단면적이 줄어들어 음향 반사계수가 전 주파수 대역에서 높게 나오는 것을 확인하였다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구 지원비로 수행되었습니다.