관 경사출구에 부착된 플랜지가 음향반사계수에 미치는 영향

The effect of the flange attached to the inclined exit of tube on the sound reflection coefficient

백두산‡· 양윤상*· 이동훈† · 조재형**

Du-San Baek, Yoon-Sang Yang, Dong-Hoon Lee and Jae-Hyeong Jo

Key Words : Sound radiation(음향방사), Sound reflection coefficient(음향반사계수), Inclined exit(경사출구)

ABSTRACT

This research is to review the possibility of reducing the noise radiated from the tube exit by controling the sound reflection coefficient at the inclined exit. The sound reflection coefficient at the inclined exit of flanged tube was measured by both transfer function method and standing wave ratio method. Accuracy on the sound reflection coefficient measured by transfer function method was verified through comparison with sound reflection coefficient measured by standing ratio method. The flanged tube had lower sound reflection coefficient than the tube which have no flange. Also the sound reflection coefficient was decreased in accordance with increasing the inclined angle of unflanged tube.

기 호 설 명

P : 복소 음압 진폭
T : 음향 전달 계수
R : 음향 반사 계수
ρ : 밀도
c : 음속
S : 단면적
$H(f)$: 음향 전달 함수
$S(f)$: 음향 밀도 함수
p : 음압
k : 파수
f : 주파수
d : 임피던스관 직경

† 교신저자; 정회원, 서울과학기술대학교 기계공학과
E-mail : ldh@seoultech.ac.kr
Tel : 02) 979 - 7331 , Fax : 02) 979 - 7331
‡ 발표자; 서울과학기술대학교 일반대학원 기계공학과
* 서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지시스템공학과
** 서울과학기술대학교 기계공학과

1. 서 론

엔진 배기계나 덕트계의 관 내부를 전파하는 소음이 관 출구로부터 방사될 때, 방사소음 저감을 위하여 다양한 연구가 시도되어 왔다. 대표적인 소음저감 장치로는 반사형 소음기 또는 흡음형 소음기 등을 들 수 있으나, 이들 소음기는 구조상 큰 용적을 갖기 때문에 설치장소에 많은 제약이 수반된다. 즉 소음기와 같이 큰 부피를 차지하지 않고도 비교적 작은 비용으로 관 출구로 방사되는 소음을 저감해야 하는 경우가 종종 있다.(1~3)

이에 대한 대안으로 관 출구를 경사지게 하거나 관 출구에 플랜지 부착 등으로 소음전파 세기를 제어하는 방안에 대하여 검토하고자 한다. 관 출구 경사각을 변화시키면 경사각에 따라 출구 단면적 크기가 다르게 되어 음향반사계수에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 또한 관 경사출구에 크기가 다른 플랜지를 부착하는 경우에도 음향반사계수에 영향을 있을 것으로 예상된다.

본 연구는 관 출구의 형상변화를 통하여 음향반사계수를 제어함으로서 관 출구로 방사되는 소음제어

의 가능성을 판단하기 위한 기초연구이다. 경사출구에서의 음향반사계수의 측정은 음향전달함수법을 이용하여 측정하였다. 경사출구에서의 두 개의 마이크로폰을 이용한 음향반사계수 측정에 대한 신뢰성은 정재파비법으로 측정한 음향반사계수와의 비교를 통하여 검증하였다.

2. 관련이론

Fig. 1은 두 개의 마이크로폰이 부착된 임피던스관의 개략도를 나타낸 것이다. Fig. 1에서와 같이 임피던스관의 출구측은 개구가 되어있으며, 개구면으로부터 마이크로폰까지의 거리는 각각 x_1과 x_2 그리고 s는 두 마이크로폰간의 간격이다. 또한 입구측에는 스피커를 통해 정상불규칙 음향신호가 공급된다.

x_1과 x_2지점간의 음향전달함수 $H_{12}(f)$ 그리고 x_1 지점에서 측정한 자기스펙트럼 밀도함수 $S_{11}(f)$를 이용하여 입사파와 반사파에 대한 음향파워 스펙트럼 $S_{AA}(f)$와 $S_{BB}(f)$를 구하면 다음과 같다.

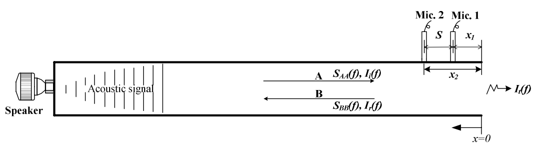


Fig. 1 Acoustic behavior in an impedance tube

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

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

식 (1)과 식 (2)는 Seybert[4]가 제안한 스펙트럼 밀도법을 기반으로 한 음파분리 이론식이다. 식에서 Im과 Re는 전달함수의 허수부와 실수부를 뜻하며, f 는 주파수, $k=2\pi f/c$는 파동수 그리고 c는 음속이다. 또한 식 (1)과 식 (2)를 각각 입사음의 음향세기 $I_i(f)$와 반사음의 음향세기 $I_r(f)$로 표현하면 다음과 같다.

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

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

식 (3)과 식 (4)에서 ρc는 공기의 특성임피던스이다. 식 (3)과 식 (4)의 관계를 이용하여 x_1지점에서의 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. 실험방법

Fig. 2은 전달함수법을 이용한 반사계수 측정을 위한 임피던스관과 측정기기의 구성도를 나타낸 것이다. 임피던스관은 길이 2,260mm 그리고 두께 5 mm이며, 출구의 형상과 크기에 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 출구단에서 방사된다. 전달함수법을 이용한 반사계수 구하는 방법은 Fig. 2과 같이 출구 앞에 설치된 두 개의 1/4인치 압력형 마이크로폰으로 3,200Hz까지 8Hz간격으로 전달함수를 측정하였다. Fig. 2에서 마이크로폰의 거리$s_1=s_2=$40mm이다.

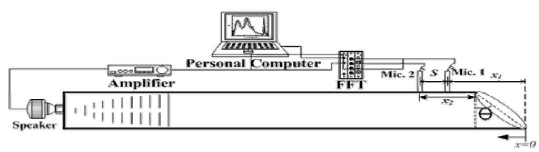
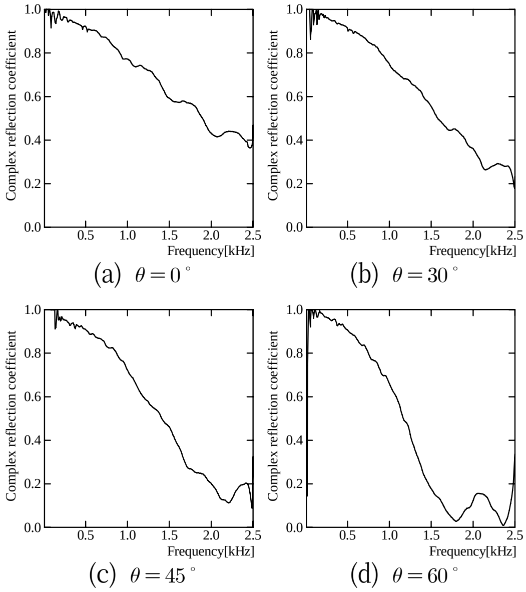


Fig. 2 Experimental setup for sound reflection coefficient measurement by Transfer function method

4. 결과 및 고찰

Fig. 3은 관 출구의 경사각의 변화에 따른 음향 반사계수를 음향전달함수법을 이용하여 측정한 결과이다. 임피던스관 직경은 80mm이며, 관 출구의 경사각은 0° ~ 60°로 변화하였다. 그 결과 음향반사계수가 경사각에 크게 의존하는 것을 확인하였고, 관 출구의 경사각이 클수록 음향반사계수가 1kHz 이상의 고주파수 대역에서 크게 낮아짐을 확인하였다. 이는 경사각이 커지면 방사면적이 커지므로 음의 투과가 많기 때문이다.

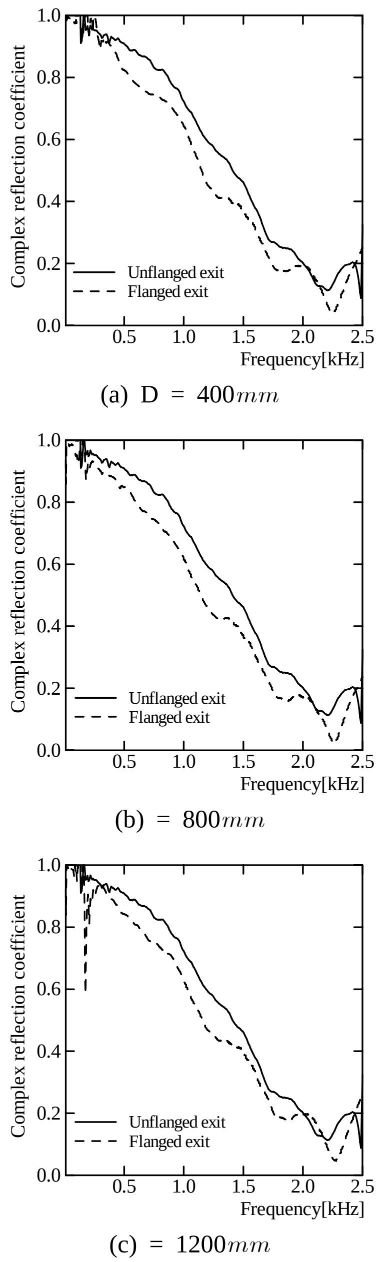


(a) $\theta = 0^\circ$ (b) $\theta = 30^\circ$

(c) $\theta = 45^\circ$ (d) $\theta = 60^\circ$

Fig. 3 The effect of the inclined angle of tube exit on the acoustic reflection coefficient

Fig. 4는 임피던스관 직경의 5배, 10배, 15배가 되는 직경을 갖는 flange를 경사 출구에 부착 했을 때와 부착하지 않았을 때에 따른 음향반사계수를 전달함수법을 이용하여 측정한 결과이다. 관의 직경은 80mm이고 관 출구의 경사는 45°이다. 도시된 그래프에서 볼 수 있듯이 플랜지를 부착하였을 경우가 플랜지를 부착하지 않은 경우보다 500Hz 이상의 주파수 대역에서 낮은 음향반사계수를 갖는 것을 확인하였으며, 플랜지의 유무가 반사계수에 미치는 영향은 크지만 관 직경에 5배 이상의 직경을 갖는 플랜지가 500Hz 이상의 주파수 대역의 반사계수에는 영향을 주지 않는 것을 확인하였다. 이는 플랜지가 500Hz 이상의 주파수대역에서 무한플랜지로 인식되기 때문이다.



(a) D = 400mm

(b) = 800mm

(c) = 1200mm

Fig. 4 the effect of the flange diameter size on the reflection coefficient

결 론

1. 관 출구 경사각이 커질수록 음향반사계수는 작아진다. 이것은 출구 경사각이 커지면 방사 단면적이 커지게 되어 단위 시간당 음의 투과가 많기 때문이다.
2. 관 출구에 플랜지를 부착하였을 때가 부착하지 않았을 때보다 음향반사계수가 작아지는 것은 플랜지 설치로 인하여 관 출구로 방사된 음이 회절되기보다는 플랜지에 재 반사되어 외부로 방사되기 때문이다.

후 기

이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비(학과통합지원금)의 지원으로 일부 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Yang Y. S., Lee D. H. and Baek D. S, 2013, Effect of the Pipe with Inclined Angle on the Acoustic Reflection Coefficient, Journal of The Korean Society for Sound and Noise Engineering, Vol. 13, No. 2, pp. 445-446.

(2) Lee D. H., Kim H. D. and Lee M. H. and Park J. H. , 2002, A Study on the Characteristics of the Impulse Wave Discharged from the Exit of a tube, Journal of The Korean Society for Sound and Noise Engineering, Vol. 12, No. 11, pp. 48-56.

(3) Kim H. D., 1994, Wave Phenomenonin High-Speed Railway Tunnel, KSME, Vol. 34, No. 10, pp. 796-807.

(4) Seybert, A. F., 1998, Two-sensor methods for the measurement of sound intensity and acoustic properties in ducts, J. Acoustic. Soc. Am., 83(6), pp. 2233-2239