

해상용 대형 가스터빈의 소음 저감을 위한 흡음형 소음기의 설계 및 성능 측정

Design and Measurement of Dissipative Silencers for Noise Reduction of Large Maritime Gas Turbine Engines

백성현[‡] · 이강희* · 권대훈* · 이일재[‡]

Seonghyeon Baek, Kanghee Lee, Daehun Gwon and Iljae Lee

Key Words : Dissipative silencers(흡음형 소음기), Insertion Loss(삽입손실), Splitter Silencers(스플리터형 소음기).

ABSTRACT

Based on ISO 7235, an experimental setup to measure the acoustic performance of splitter type dissipative silencers are fabricated. The length of each duct, sound source, microphone locations, modal filter, and anechoic termination are considered in the design of this setup. The modal filter is a particularly important factor because it affects the limit of measurement, which is also determined by the amount of flanking transmission of sound generated by the sound source to microphones. The effects of absorptive materials, media which covers the materials, and the number of splitters on the noise reduction of the sample silencers are experimentally investigated. The insertions loss of silencers with media and higher number of splitters increases, especially at higher frequencies.

1. 서 론

해상용 가스터빈 엔진은 높은 출력을 요구하는 해상플랜트 혹은 군함 등에 사용되고 있다. 이러한 엔진은 일반적으로 협소한 공간에 장착되기 때문에 여기서 발생하는 소음이 근무자들의 환경에 부정적인 영향을 미치기 쉽다. 특히 군함에 장착되는 경우에는 엔진에서 발생된 소음으로 인하여 승조원간의 의사소통에 방해가 될 수 있을 뿐만 아니라 적에게 함정의 위치가 노출될 위험성이 높아진다.

가스터빈에서 발생하는 소음은 배기계와 흡기계를 통해서 전달되는데, 배기계에서는 고온과 고압의

배기 가스에 때문에 소음저감 효과가 높은 소음기가 장착되고 있다. 흡기계에서 발생하는 소음은 상대적으로 낮지만 해상에서 운영되는 경우에는 바닷물의 유입 및 결빙으로 인한 문제점 등을 해결해야 하기 때문에 전체 흡기 시스템의 일부분으로 고려되어 설계된다. 또한 엔진의 성능과 관련하여 압력저하와 위치에 따른 유속의 차이가 적어야 한다는 요구조건을 만족해야 한다.

가스터빈 엔진에서 발생하는 소음은 엔진의 높은 회전수 때문에 고주파수의 특성을 보이고 있다. 또한 흡입구의 단면적이 크기 때문에 흡입구 단면적과 소음기 단면적의 비율에 따라서 소음저감 성능이 결정되는 반사형 소음기가 사용되기 어렵다. 따라서 일반적으로 스플리터 형태의 흡음형 소음기가 주로 사용되고 있다⁽¹⁾⁻⁽³⁾.

이러한 스플리터 소음기의 소음저감 성능은 ISO 7235⁽⁴⁾에서 제시한 방법으로 삽입손실을 측정하여 평가될 수 있다⁽⁵⁾. 덕트형 소음기의 삽입손실 측정

‡ 교신저자; 정회원, 전북대학교 기계공학과
E-mail : leej@jbnu.ac.kr
Tel : 063-270-2319, Fax : 063-270-2315
‡ 발표자; 전북대학교 기계공학과
* (주)성신엔스텍

표준인 ISO 7235의 초판은 1991년이 출판되었고, 개정판은 2003년도 출판되었다. 한국산업규격은 첫 번째 판을 번역하여 2004년도에 KS I ISO 7235⁽⁶⁾를 출판하였지만 그 후 개정판에 대한 번역판은 출판되지 않은 상태이다. 본 연구는 ISO 7235⁽⁴⁾에서 제시한 방법을 사용하여 대형 스피리티형 소음기 성능 측정장비를 제작한 과정을 제시하고, 이 장비를 이용하여 몇 가지 소음기에 대한 성능측정 결과를 비교하는 것을 목적으로 하고 있다.

2. 삽입손실 측정 장비

Fig. 1과 같이 유동이 존재하지 않는 상태에서 무반사단을 사용하여 삽입손실을 측정하는 장비를 제작하였다. 관심주파수 영역은 옥타브의 중심주파수 기준으로 63~8,000Hz이다. 삽입손실의 측정은 대체덕트를 설치하고 측정된 음압에서 소음기를 설치하고 측정된 음압의 차이를 계산하여 결정한다. 소리의 발생은 300W 출력을 갖는 15인치 크기의 스피커 두 개를 사용하였다. 이 스피커의 주파수 영역은 41.4~14,000Hz로 관심주파수 영역을 모두 포함하고 있다. 음압은 측정대상 소음기의 하류부에 위치한 테스트 덕트에 설치된 최소 3개 이상의 마이크로폰에서 측정된 값을 평균하여 계산할 수 있는데, 본 실험장치에서는 5개의 마이크로폰을 사용하였다. ISO 7235에서는 반향챔버, 무반사단, 반사단 등 세 가지 끝단 조건을 제시하고 있는데, 본 연구에서는 무반사단을 사용하였으며 유동이 존재하지 않기 때문에 무반사단의 제작에는 어려움이 없었다. 실험장치의 각 덕트의 최소 길이는 관심주파수를 기준으로 계산된 값에 의해서 제한되기 때문에 장치의 전체 길이는 약 15m로 제작되었다.

ISO 7235의 초판과 비교하여 개정판의 가장 특

이한 점은 모달필터(modal filter)를 설치하는 것이다. ISO 7235 개정판⁽⁴⁾에서 “모달필터는 cut-off frequency보다 낮은 주파수 영역에서는 3dB이상, 그보다 높은 주파수에서는 5dB이상의 축방향 음압저감 성능을 가지고 있어야 한다”고 제시하고 있다. 이 모달필터는 스피커와 상단덕트 사이에 위치하여 스피커에서 발생하는 higher modes의 전달을 억제하기 위하여 설치된다⁽³⁾. 이러한 음압의 저감을 구현하기는 어렵지 않지만, 모달필터에서 과도한 저감은 측정대상에 입사하는 신호의 크기를 저하시키기 때문에 실험장치의 측정한계를 낮추는 부정적인 효과를 초래한다. ISO 7235에서 추천하는 바와 같이 측정대상 소음기에 사용되는 흡음재를 사용하여 모달필터를 제작하였다. 흡음재만을 사용하면 저주파수에서는 기준보다 낮은 축방향의 저감을 나타내고, 너무 많은 양의 흡음재를 사용하면 고주파수에서 과도한 저감이 되어 문제가 발생한다. 따라서 흡음재의 일부분을 판으로 감싸서 모달필터를 제작하였고, 측정된 축방향 저감 정도를 Table 1에 제시하였다. Cut-off frequency인 190Hz를 기준으로 3dB와 5dB이상의 저감을 만족하고 있다.

스피커에서 발생한 소리는 덕트 내부의 소음기를 통과하는 것도 있지만 일부분은 덕트의 벽을 따라서 마이크로폰으로 전달되거나 외부의 공기를 통해서 전달될 수 있다. 이러한 우회경로를 통한 전달은 삽입손실의 측정한계를 결정한다. 대체덕트를 장착한 상태에서 측정된 음압과 덕트 내부를 통한 소리의 전달을 최소화한 상태에서 측정된 음압의 차이가 측정한계이다. 측정한계에 대한 실험은 덕트 내부에서 소리전달의 차단 정도에 따라서 그 정확도가 결정된다. 덕트 내부에서 전달되는 소리를 최소화하기 위하여 내부에 철 강체를 설치하고 덕트와 강체 사이

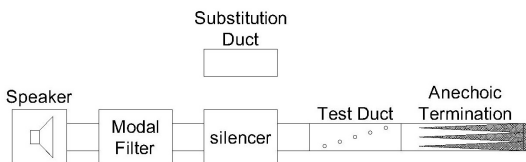


Fig. 1 Schematic of an experimental setup

Table 1 Attenuation of sound pressure level in the axial direction due to the modal filter

| Frequency(Hz) | Attenuation(dB) |
|---------------|-----------------|
| 63 | 5.7 |
| 125 | 4.7 |
| 250 | 12.2 |
| 500 | 16.0 |
| 1,000 | 13.4 |
| 2,000 | 13.3 |
| 4,000 | 9.3 |
| 8,000 | 10.6 |

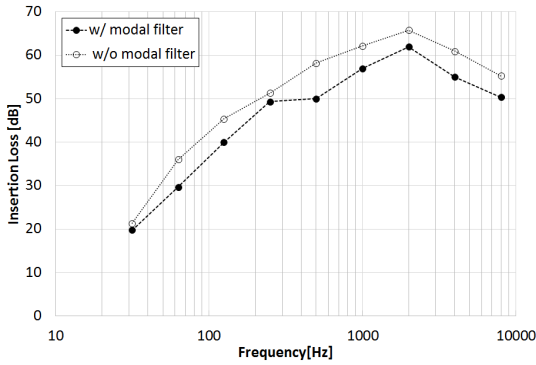


Fig. 2 The measured limiting of insertion loss of the experimental setup

를 밀봉하였다. 측정한계를 높이기 위해서는 방진 고무 등을 사용하여 덕트를 따라 전달되는 소리를 최소화 하여야 한다. Fig. 2는 실험적으로 얻은 측정한계를 보여주고 있다. 특히 모달필터가 측정한계에 미치는 영향을 파악하기 위하여 모달필터의 유무에 따른 결과를 비교하였다. 거의 모든 주파수 영역에서 모달필터에 의해서 측정한계가 감소하는 것을 알 수 있다.

3. 삽입손실 측정 결과

일반적으로 가스터빈 엔진에 사용되는 스플리터형 소음기의 단면적은 상당히 크기 때문에, 소음기의 일부분을 제작하여 실험을 하게 된다. ISO 7235에서는 전체에서 어떠한 부분을 제작하는 것이 타당한지 제시하고 있으며, 본 연구에서도 이를 따라서 샘플을 제작하였다. Fig. 3과 같이 단면은 0.9 X 0.7m이고, 내부에는 폭 0.1m의 공기통로가 3개 있으며, 흡음재의 전체 폭의 합은 0.6m로 전체 단면적의 3분의 2를 차지하고 있다. 흡음재는 유동 등 외부의 충격으로부터 보호하기 위해서 미디어(부직포)로 감싸여져 있고, 천공율이 35%인 천공판에 의해서 고정되어 있다. 샘플 소음기의 전체 길이는 2.5m이다.

Fig. 4는 두 개의 서로 다른 업체에서 제작한 흡음재에 대한 삽입손실 측정결과를 보여주고 있다. 2kHz까지는 서로 다른 흡음재를 사용한 소음기가 거의 동일한 성능을 보이고 있지만, 4kHz보다 고주파수에서는 A사의 흡음재를 사용한 소음기가 더 높은

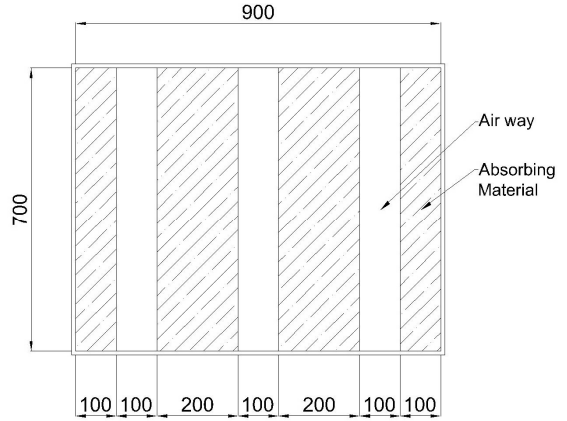


Fig. 3 Dimension of the sample silencer with 3-air ways (unit: mm)

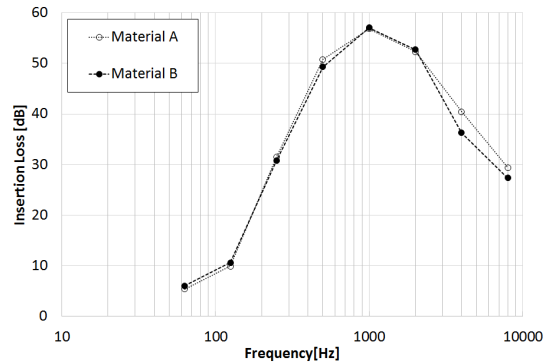


Fig. 4 The measured insertion loss of silencers with different dissipative materials

소음저감 성능을 보이고 있다.

Fig. 5는 B사 흡음재를 사용한 소음기에 대하여 흡음재를 감싸고 있는 미디어가 삽입손실에 미치는 영향에 대한 실험적 결과를 보여주고 있다. 미디어가 없을 때 1kHz이상에서 삽입손실의 상당한 감소를 볼 수 있다. 미디어는 유동 등 외부의 영향에서 흡음재를 보호하는 것이 일차적인 목적이지만 삽입손실에도 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있으므로 소음기의 설계 시 이를 고려하여야 한다. 일반적으로 천공율이 30%이상이면 소음기의 성능에 영향을 미치지 않는 것으로 알려져 있기 때문에 본 연구에서는 천공판에 대한 효과는 무시하였다. 하지만 미디어가 천공판과도 접촉하고 있기 때문에 미디어가 천공판에 미치는 영향에 대한 추가 연구가 필요하다.

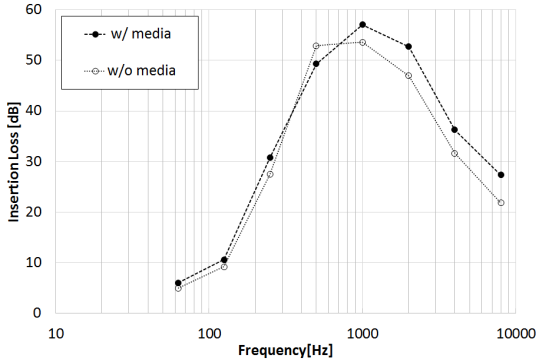


Fig. 5 The measured insertion loss of silencers with and without media

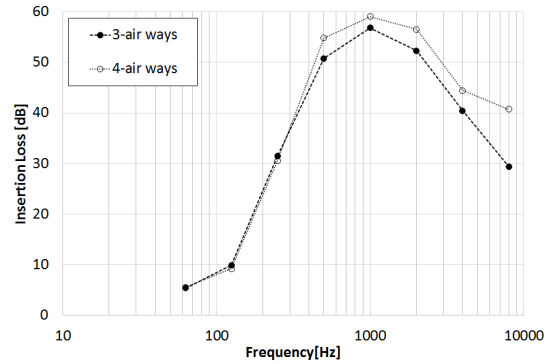


Fig. 7 The measured insertion loss of silencers with 3- and 4- air ways

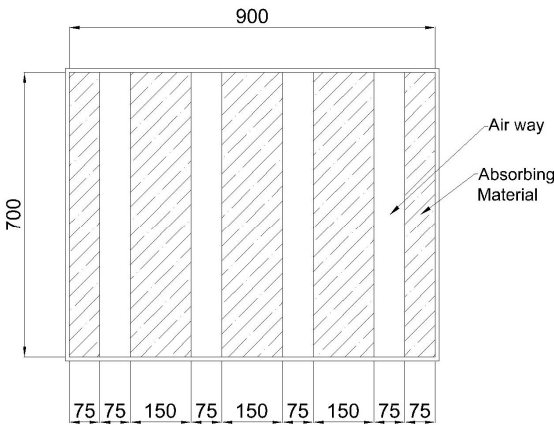


Fig. 6 Dimension of the sample silencer with 4-air ways (unit: mm)

Fig. 3에서 제시한 샘플을 대상으로 측정된 삽입 손실에 대한 검토 결과 고주파수에서 소음저감 성능에 대한 개선의 필요성이 제기되었다. 고주파수에서 성능이 좋은 흡음재를 사용하는 것이 효과적인 방법이지만 그러한 흡음재를 구하기 어려워 구조의 변경을 추진하였다. 같은 양의 흡음재에 대하여 스플리터의 수가 증가하면 소음저감 성능이 높아진다⁷⁾는 결론을 따라서 Fig. 6과 같이 공기의 통로와 스플리터의 수를 증가시킨 새로운 샘플을 제작하였다. Fig. 3과 비교하여 전체 흡음재의 양과 공기통로 면적은 동일하지만, 공기통로 수 및 스플리터의 수가 증가하였다. Fig. 7은 공기통로가 3단(Fig. 3)과 4단(Fig. 6)인 두 소음기의 삽입손실을 측정한 결과를 보여주고 있다. 예상한 바와 같이 더 많은 수의 스플리터

를 갖는 Fig. 6의 소음기가 500Hz이상의 모든 주파수에서 더 높은 소음저감 성능을 보이고 있다.

4. 결 론

ISO 7235를 기초로 하여 대형 스플리터형 소음기의 삽입손실을 측정하는 실험장비를 제작하였다. 주요 장치는 스피커, 모달필터, 마이크로폰 장착, 무반사단 등이 있으며, 이 중에서 모달필터는 higher modes 전달을 억제하지만 측정한계를 낮추기 때문이다 측정방향으로 너무 큰 감소가 일어나지 않도록 제작하여야 한다. 측정한계는 또한 스피커에서 발생하는 소리가 덕트의 내부가 아닌 우회경로를 통해 전달되는 정도에 의해서 결정된다. 따라서 덕트 자체와 외부공기를 통해서 전달되는 소리를 저감하기 위해서 적절한 방진 및 방음이 필요하다. 각 덕트의 최소길이는 관심주파수에 의해서 제한되기 때문에 전체시스템의 길이는 15m정도로 길어졌다.

스플리터 소음기 샘플을 제작하여 삽입손실을 측정하였다. 제작사가 다른 두 가지의 흡음재에 의한 효과 및 흡음재를 감싸고 있는 미디어의 효과에 대한 실험적인 결과를 제시하였다. 본 연구에 적용된 샘플의 경우 미디어의 존재는 특히 1kHz이상의 주파수 영역에서 삽입손실의 증가를 가져 온다.

같은 흡음재를 사용하여 고주파수에서 소음저감 성능을 향상시키고자 스플리터 및 공기통로의 개수를 늘려 새로운 소음기 샘플을 제작하였다. 같은 종류 및 양의 흡음재에 대하여 공기 통로를 3개에서

4개로 늘리면 특히 고주파수에서 삽입손실이 증가함을 확인하였다.

후 기

이 연구는 민·군 겸용 기술개발사업(해상용 가스 터빈 흡기장치 개발)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Kim, C. Y., Yun, D. J., Kim, K. W. and Kim, H. J., 2010, The Research for Performance Improvement of Splitter Type Sound Attenuator, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 642~643.

(2) Jeon, S. H., Hong, C. S. and Jeong, W. B., 2008, Acoustic Performance Analysis of a Splitter Silencer, Proceedings of the KSNVE Fall Conference, pp. 332~333.

(3) Kirby, R., Herries, D. and Amott, K., 2009, Validating Insertion Loss Predictions for HAVC Silencers, 16th International Congress on Sound and Vibration, Krakow, July 5~9.

(4) ISO 7235, 2003, Acoustics- Laboratory Measurement Procedures for Ducted Silencers and Air-terminal Units -Insertions Loss, Flow Noise and Total Pressure Loss.

(5) Kim, B. K., Kim, S. R., Kim, H. S. and Shin, M. C., 2008, Performance Test and Evaluation of Ship Exhaust Muffler, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 18, No. 12, pp. 1237~1242.

(6) KS I ISO 7235, 2004, Acoustics- Laboratory Measurement Procedures for Ducted Silencers and Air-terminal Units -Insertions Loss, Flow Noise and Total Pressure Loss.

(7) Ver, I. L. and Beranek, L. L., 2006, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons, Inc.