

함정의 전투체계 콘솔 냉각 팬 소음저감을 위한 프리넘 챔버 설계

Design of the Plenum Chamber for Reducing Cooling Fan Noise of the Console for Combat Systems in a Naval Vessel

한 형 석† · 박 미 유* · 조 흥 기** · 김 중 길** · 임 동 빈**

Hyung-Suk Han, Mi-Yoo Park, Heung-Gi Cho, Joong-Gil Kim and Dong-Been Im

(2011년 3월 17일 접수 ; 2011년 5월 12일 심사완료)

Key Words : Plenum Chamber(프리넘 챔버), Sound Insertion Loss(음향삽입손실)

ABSTRACT

Indoor noise is very important related to the morale and fighting power of the crew as well as environmental condition for them in a navel vessel. Especially, the crew members working in CIC (combat information center) and sonar equipment room require much more quiet environment condition. One of the most serious noise source in CIC is the cooling fan noise installed in the console of the combat system. Therefore, in this paper, the design of the plenum chamber is studied to reduce the noise of the fan from these consoles by numerical analysis and experiment.

1. 서 론

함정의 실내소음은 함정의 작전수행 능력뿐만 아니라 승조원들의 근무 환경 개선을 위해 관리되는 함의 중요한 성능 중 하나이다. 특히 함정의 전투력과 연관된 격실의 경우 일반 격실에 비해 보다 정숙함이 요구되어지므로 이러한 격실의 소음저감을 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다^(1~3). 최근 함정에 장착되는 무기체계의 종류가 다양해지면서 이들 격실 내에는 많은 전투체계 콘솔들이 장착되는데 대부분의 콘솔은 내부 열 냉각을 위한 냉각 팬이 장착되어 있다. 이러한 냉각 팬의 유동소음이 전체 격실 소음에 미치는 영향도가 커짐에 따라 냉각 팬 소음 저감을 위한 적절한 소음기 개발이 필요하다.

이 연구에서는 이러한 전투체계 콘솔의 냉각 팬

소음 저감용 소음기로 프리넘 챔버(plenum chamber)를 선정하였으며, 소음기 성능을 결정하는 주요 설계인자에 대해 수치해석을 수행하여 주어진 조건에서 최대의 음향삽입손실을 얻을 수 있는 소음기 설계를 다루고자 한다.

2. 프리넘 챔버의 설계

프리넘 챔버는 HVAC(heating, ventilation and air-conditioning) 계통에서 일반적으로 사용되는 소음기로 Fig. 1과 같은 구조로 구성된다. 프리넘 챔버는 내부 흡음재에 의한 흡음 효과와 입출구 및 챔버 내부의 면적비에 따른 임피던스 부정합 현상에 의해 소음을 저감시킨다. 프리넘 챔버의 음향투과손실은 식 (1)의 근사식⁽⁴⁾이 많이 사용되고 있으며 주로 고주파 대역에서 잘 맞는 것으로 알려져 있다.

$$TL = 10 \log_{10} \left[S_{out} \left(\frac{Q \cos \theta}{4\pi r^2} + \frac{1 - \alpha_A}{S\alpha_A} \right) \right]^{-1} \text{ [dB]} \quad (1)$$

여기서 TL 은 투과손실, S_{out} 은 프리넘 챔버 출구면적,

† 교신저자; 정회원, 국방기술품질원
E-mail : hshan@dtaq.re.kr
Tel : (051)750-2533, Fax : (051)758-3992
* 정회원, 국방기술품질원
** 국방기술품질원

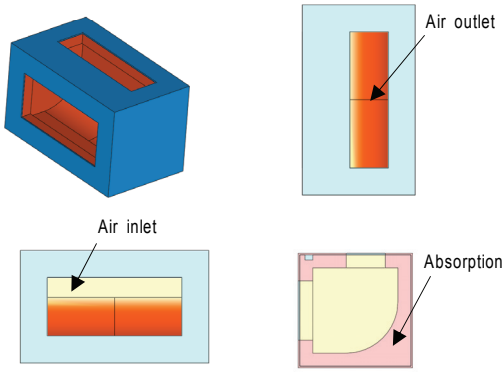


Fig. 1 Schematic design of the plenum chamber

S 는 프리넘의 벽면 면적, r 은 프리넘의 입구와 출구 간의 거리, Q 는 방향성 팩터(directionality factor, $\cong 4.0$), α_A 는 프리넘 라이닝(plenum lining)의 평균 흡음 계수, θ 는 프리넘의 길이에 대한 r 의 각도이다.

이 연구에서는 식 (1)로부터 프리넘 챔버의 음향 투과손실에 영향을 미치는 주요인자로 프리넘 챔버의 출구면적, 프리넘 입구와 출구간의 거리 및 프리넘 내부면적으로 두고 이에 대한 영향도 분석을 수치해석을 통해 예측하였다.

3. 음향삽입손실 해석

프리넘 챔버의 소음 저감 성능을 평가하기 위하여 음향해석 상용 소프트웨어인 SYSNOISE 5.5를 가지고 수치해석을 수행하였다. 수치해석을 위한 유한요소모델은 Fig. 2와 같다. Fig. 2에서 프리넘의 흡음재와 공기영역은 4절점(node)을 가지는 사면체 요소(tetrahedra element)로 모델링하였으며 가지는 속도로 덕트 입구면에 100 Hz에서 2000 Hz 주파수 범위에 1 m/s의 속도로 입력하였다. 또한 덕트 출구 끝단의 음향 임피던스를 “415 kg/m²s”로 설정하여 배출 덕트 끝단을 무반사 흡음체로 가정하였다.

프리넘 내부 라이닝은 폴리에스터 25t로 설정하였으며 유동저항(resistivity)과 공극률(porosity)은 조사된 자료^(5,6) 등을 참조하여 각각 50000 Ns/m⁴와 0.95로 설정하였다.

해석은 2절에서 언급한 바와 같이 프리넘 챔버의 출구면적, 프리넘 입구와 출구간의 거리 및 프리넘 내부면적의 변화에 대해 각각 수행하였으며 프리넘의 내부면적은 내부에 스피리터를 설치하고 스피리

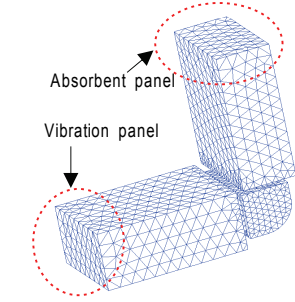
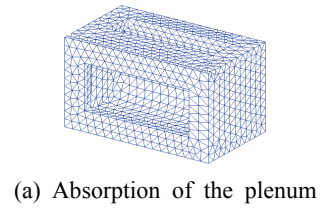
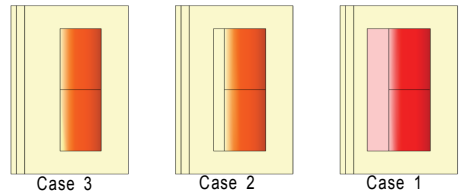
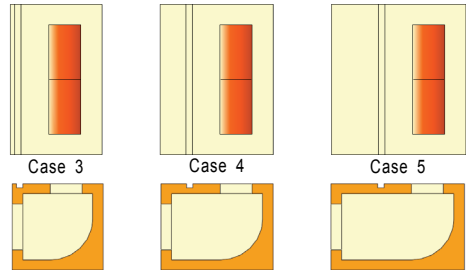


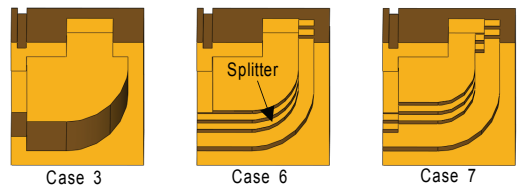
Fig. 2 FEM modeling for plenum



(a) Cases according to the outlet-area (case 1, case 2, case 3)



(b) Cases according to the length of the plenum (case 3, case 4, case 5)



(c) Cases according to the splitter in a plenum (case 3, case 5, case 6)

Fig. 3 Cases of the plenum to evaluate sound insertion loss

터의 길이 변화를 통해 변경하였다. 이와 같이 해석 경우(case)에 대한 모델은 Fig. 3과 같다.

소음기의 성능 평가는 음향삽입손실로 평가하였다. 음향삽입손실은 소음기 적용 전, 후에 대한 음압차이로 식 (2)⁽⁷⁾와 같이 나타낼 수 있다.

$$IL = \overline{L_{p3}'} - \overline{L_{p3}} \quad \text{where} \quad \overline{L_p'} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0.1 L_{pi}'} \right] \quad (2)$$

여기서 IL 은 삽입손실, $\overline{L_{p3}'}$ 는 프리넘을 연결하지 않았을 때 배출 덕트 수직면에서의 음압 평균, $\overline{L_{p3}}$ 는 프리넘을 연결하였을 때 배출 덕트 수직면에서의 음압 평균, n 은 측정점의 수(=16), L_{pi} 는 배출 덕트 수직면의 각 노드에 대한 음압레벨이다.

음향삽입손실은 Fig. 2(b)의 유한요소모델에 대해 배출구의 총 16개 노드의 음압을 프리넘 챔버가 있는 경우와 없는 경우에 대해 계산하고 이들의 평균 값을 가지고 음향삽입손실을 계산하였다.

4. 해석결과

4.1 주요인자에 대한 영향도 분석

이 절에서는 프리넘 챔버의 소음 저감 성능에 영향을 미치는 인자에 대한 각각의 영향도를 해석을 통해 파악하고자 한다. 해석에 대한 각각의 경우는 Table 1과 같다.

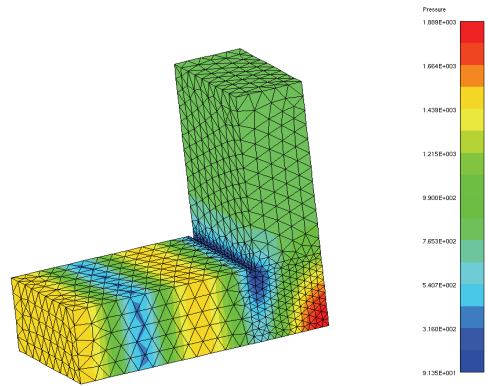
Case 1에 대한 해석결과 음압 분포는 Fig. 4와 같으며 고주파로 갈수록 출구에서의 음압이 감소함을 알 수 있다.

Fig. 5는 case 1에 대해 출구면적 저감에 따른 출구에서의 음압 및 음향삽입손실 해석결과이다. 여기서 음향삽입손실은 프리넘이 없이 일반 덕트로 연결되어 있는 구조(without plenum)와 프리넘이 적용된 구조(case 1~3)에 대해 배출구단의 음압 차이로 정의하였다.

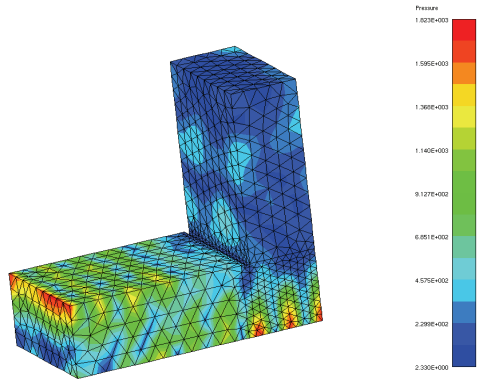
Fig. 5에서처럼 프리넘 적용을 통해 소음이 줄어들을 수 있으며 프리넘 출구면적을 35% 줄였을 때(case 3) 음향삽입손실은 case 1 대비 2 kHz에서 최대 1.9 dB 감소하며, 전체 소음은 약 0.8 dB 감소함을 예측할 수 있었다. Fig. 6은 프리넘의 출구면적을 case 3과 동일하게 한 상태에서 입출구간 거리

Table 1 Cases for numerical analysis of the plenum

Case no.	Outlet area	Length btw inlet and outlet	Splitter
1	266×115	166	×
2	266×95	166	×
3	266×75	166	×
4	266×75	206	×
5	266×75	250	×
6	Same as 266×75	166	○ (height=25)
7	Same as 266×75	166	○ (height=40)



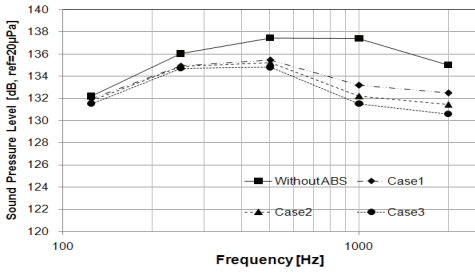
(a) 500 Hz



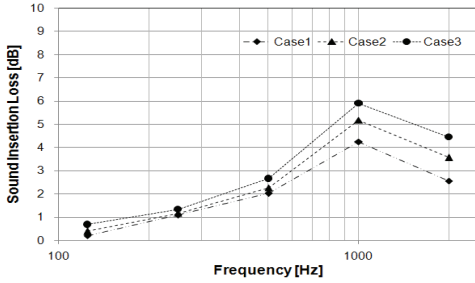
(b) 2000 Hz

Fig. 4 Distribution of the sound pressure from numerical analysis

증가에 따른 출구에서의 음압 및 음향삽입손실 해석 결과이다. Fig. 6에서 프리넘의 길이를 50% 늘였을 때 음향삽입손실은 case 3에 비해 2 kHz에서 최대 2.0 dB 감소하며, 전체 소음은 약 0.5 dB 감소함을



(a) 1/1 octave spectrum of the sound pressure level



(b) 1/1 octave spectrum of the sound insertion loss

Fig. 5 1/1 octave spectrum of the sound pressure level and sound insertion loss according to the outlet-area(case 1, case 2, case 3)

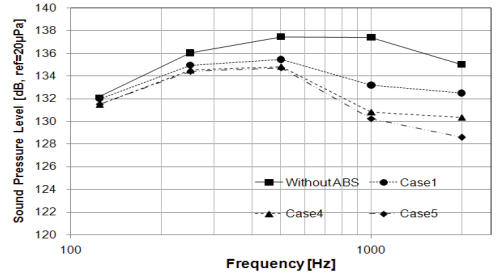
예측할 수 있었다. Case 1과 case 5 비교 시 전체 소음은 case 5가 case 1에 비해 약 1.3 dB 추가 감소함을 알 수 있었다.

Fig. 7은 프리넘의 출구면적을 case 3과 동일하게 한 상태에서 프리넘 내부에 스프리터 형상을 추가함에 따른 출구에서의 음압 및 음향삽입손실 해석 결과이다. Fig. 7에서 프리넘 내부에 높이 40 mm, 너비 15 mm의 스프리터를 7개 설치하였을 때(case 7) 음향삽입손실은 case 3 대비 2 kHz에서 최대 3.3 dB 감소하며, 전체 소음은 약 0.7 dB 감소함을 예측할 수 있었다. Case 1과 case 7 비교 시 전체 소음은 case 7이 case 1에 비해 약 1.5 dB 추가 감소함을 알 수 있었다.

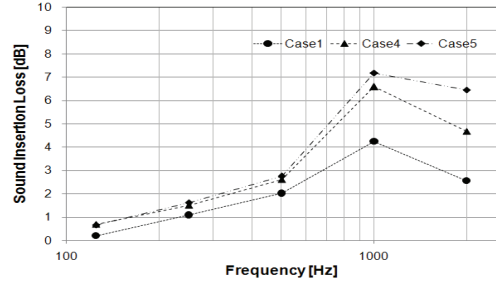
4.2 프리넘 디자인 결정 및 해석

4.1절의 결과로부터 프리넘의 디자인을 Fig. 8과 같이 출구면적을 기존(case 1)대비 35% 줄이고 길이를 50% 늘림과 동시에 내부에 40 mm 높이의 스프리터를 추가하는 것(case 8)으로 결정하였다.

Fig. 9는 Fig. 8의 프리넘 챔버에 대한 음향삽입손실 해석결과이다.

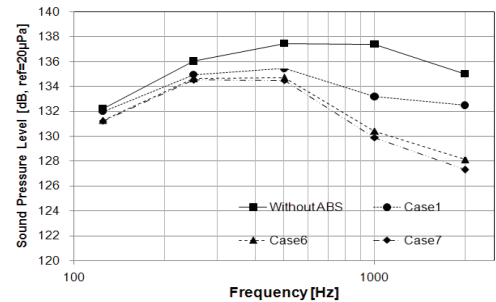


(a) 1/1 octave spectrum of the sound pressure level

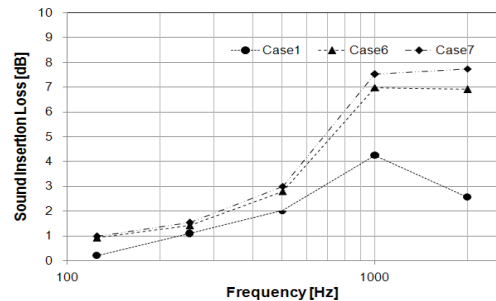


(b) 1/1 octave spectrum of the sound insertion loss

Fig. 6 1/1 octave spectrum of the sound pressure level and sound insertion loss according to the length of the plenum(case 1, case 4, case 5)



(a) 1/1 octave spectrum of the sound pressure level



(b) 1/1 octave spectrum of the sound insertion loss

Fig. 7 1/1 octave spectrum of the sound pressure level and sound insertion loss according to the splitter in a plenum(case 1, case 6, case 7)

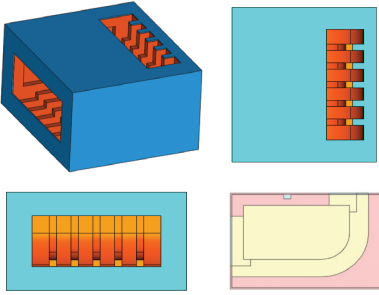
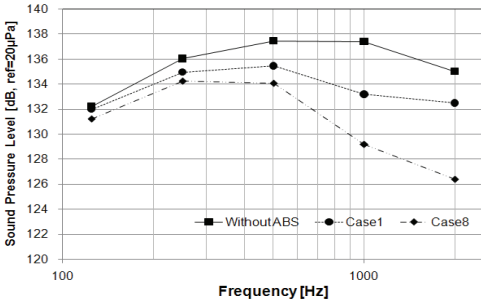
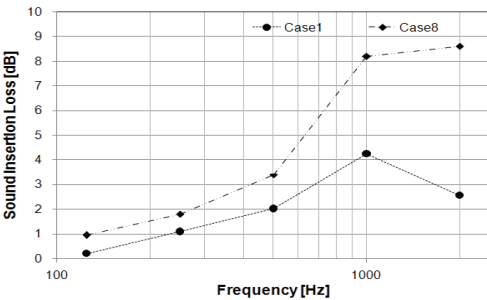


Fig. 8 Suggested design of plenum chamber



(a) 1/1 octave spectrum of the sound pressure level



(b) 1/1 octave spectrum of the sound insertion loss

Fig. 9 1/1 octave spectrum of the sound pressure level and sound insertion loss for suggested design

해석결과 제안된 디자인의 프리넘 챔버 적용 시 음향삽입손실이 2 kHz에서 8.6 dB, 전체소음 기준 4.1 dB 감소함을 알 수 있었다. 이는 case 1에 비해 2 kHz에서 최대 6.1 dB, 전체소음 기준 약 1.9 dB 추가 저감된 수치임을 알 수 있었다.

5. 음향삽입손실 실험

5.1 단품평가

4절의 검토 결과를 바탕으로 프리넘 챔버를 제작

하여 소음기 평가 장치를 Fig. 10과 같이 구성하여 소음기의 삽입손실을 평가하였다. 소음기의 음향 투과손실을 구하는 것보다 음향 삽입손실을 구하는 것이 보다 손쉬우므로 이 논문에서는 소음기 적용 유무에 대한 소음 차이인 음향 삽입손실로 소음기의 성능을 평가하였다.

Fig. 10에서 평가 시스템의 소음원은 축류 팬을 이용하였으며 연결 덕트 끝단 출구 크기는 프리넘을 함정에 적용할 콘솔의 냉각배출구와 동일하게 제작하였다. 여기서 팬과 배출구간의 연결 덕트는 아크릴로 제작된 2 m 길이의 사각 덕트를 사용하였다. 소음기 설치 유무에 따른 소음 및 삽입 손실을 측정하기 위해서 출구로부터 수직 500 mm, 수평 500 mm 떨어진 지점에 마이크로폰(B&K Type 4189)을 설치하였다.

프리넘 챔버는 4절의 case 3와 case 8로 제작하였다. 측정결과 1/1 옥타브 음압 스펙트럼과 음향삽입손실은 Fig. 11과 같다. Fig. 11에서 case 3 소음기 적용 시 250 Hz 이상 주파수에서 음압이 4.3~7.7 dB 저감됨을 알 수 있었으며 전체음압은 55.6 dB에서 52.9 dB로 약 2.7 dB 저감됨을 알 수 있었다. 또한 4절에서 최종적으로 제시한 case 8의 경우 1 kHz 이상 주파수에서 음압이 case 3 대비 2.1~5.2 dB 추가 감소됨을 알 수 있었다.

5.2 함정 적용 평가

Fig. 12는 4절의 분석 결과로부터 제작된 프리넘을 실제 콘솔에 적용한 예이다. 4절의 검토 결과에서 case 8의 음향삽입손실이 가장 좋았지만 설치공간부족, 풍량저감 등의 문제로부터 최종적으로 case 3으로 제작하여 함정의 수증정보실의 예인 음탐기 콘솔에 적용하였다. 여기서 콘솔 후면의 냉각팬 배출구에 프리넘 챔버 설치 시 프리넘 챔버간 거리가 좁아 반사음이 발생될 가능성이 있어 토출구에 흡음재와 타공판을 경사지게 설치하였다.

프리넘 챔버 적용 전 후에 대해 수증정보실 중앙에 마이크로폰을 설치하여 예인 음탐기 콘솔만 동작시킨 상태에서 실내소음을 측정하였다. 시험결과 Fig. 13과 같이 250 Hz 이상 주파수에서 소음레벨이 크게 저감됨을 알 수 있었으며 A 보정 전체소음레벨은 소음기 설치 전 64.5 dBA에서 57.1 dBA로 약 7.4 dB 저감됨을 알 수 있었다.

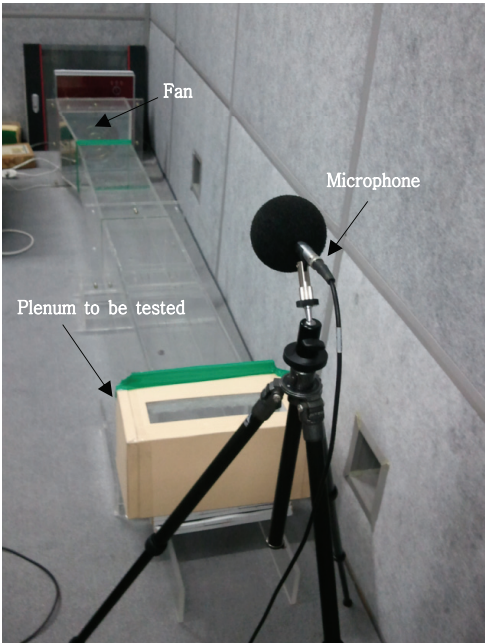
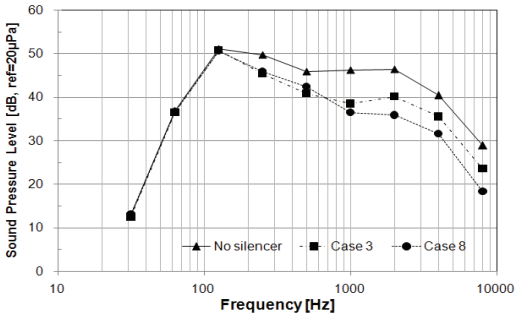


Fig. 10 Configuration of the test setup to measure sound insertion loss of the plenum chamber



Fig. 12 Installation of the suggested plenum chamber to the TASS console



(a) 1/1 octave spectrum of the sound pressure level

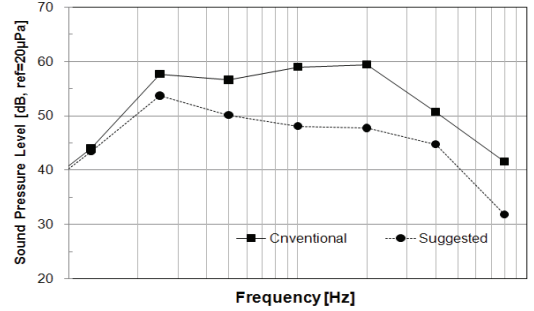
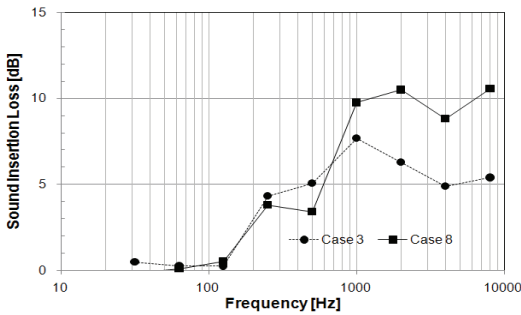


Fig. 13 Variation of 1/1 octave spectrum of the sound pressure level for the TASS console when the suggested plenum is applied



(b) 1/1 octave spectrum of the sound insertion loss

Fig. 11 1/1 octave spectrum of the sound pressure level and sound insertion loss for plenums of case 3 and case 8 measured in a lab

6. 결 론

이 연구에서는 전투체계 콘솔의 냉각 배출 팬의 공기 유동 소음 저감을 위한 소음기로 프리넘 챔버를 선정하고 음향삽입손실을 최대한 높이기 위해 음향삽입손실을 결정하는 주요인자에 대한 영향도 분석을 수행하였다. 영향도 분석은 수치해석을 통해 수행하였으며 공기 배출구 면적, 입출구간 거리 및 프리넘 내부 면적을 주요 결정 인자로 선정하여 이

들 변화에 따른 프리넘의 음향삽입손실을 분석하였다. 분석결과 선정된 프리넘 챔버 적용 시 냉각 배출 팬 소음이 2 kHz에서 최대 8.6 dB 저감됨을 알 수 있었으며 전체 소음 레벨은 약 4.1 dB 감소함을 알 수 있었다.

실제 프리넘 챔버를 제작(case 3)하여 운용하고 있는 함정의 예인 음탐기 콘솔에 적용한 결과 예인 음탐기만 동작시킨 상태에서의 실내소음이 적용 전 대비 약 7.4 dB 저감됨을 확인할 수 있었다.

이와 같이 프리넘을 전투체계 콘솔의 냉각 배출구에 적용함으로써 실내소음을 크게 저감할 수 있음을 예측, 검증할 수 있었으며 이를 통해 전투정보실, 수중정보실 등과 같이 극도의 정숙함이 요구되는 격실의 저소음 요구조건을 충족시킬 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 연구에 도움을 주신 부산대학교 기계공학부 진동소음실험실에 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) Kim, J. C., Park, I. K. and Cho, D. S., 2003, Statistical Investigation on Airborne Noise Levels of Navy Shipboard Compartments, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering,

Vol. 13, No. 8, pp. 637~644.

(2) Han, H. S., Park, M. Y. and Cho, H. G., 2010, Study of the Indoor Noise Limit for Naval Vessels Considering the Satisfaction of the Crew, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 47, No. 4, pp. 567~575.

(3) 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.

(4) Vèr, I. L. and Beranek, L. L., 2006, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons.

(5) Park, H. J., Jeong, M. G., Shim, S. Y. and Lee, J., 2003, A Study of the Effect of Acoustic Properties on the Absorption Characteristics of Polyester Fiber Materials, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 885~891.

(6) Jeon, S. H., Hong, J. S. and Jeong, W. B., 2009, Acoustic Performance Analysis of a Splitter Silencer, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 332~333.

(7) ISO 7235, 2003, Acoustic-laboratory Measurement Procedure for Duct Silencers and Air-terminal Unit-insertion Loss, Flow Noise and Total Pressure Loss.