

저주파수 배기소음 저감을 위한 소음기개발 Development of silencer for low frequency exhaust noise

최충영†, 이보하*, 권혁*, 엄재광*, 황보승면*, 김태균**, 이정권**
Choong-Young Choi, Bo-Ha Lee, Hyuk Kwun, Jae-Kwang Eom, Seung-Myun Hwangbo,
Tae-Kyoon Kim, Jeong-Guon Lee

본 연구에서는 선박용 디젤엔진의 저주파수 대역 소음저감을 위해, 엔진 점화주파수 성분을 제어하고자 연장관과 헬름홀츠 공명기, 흡음재로 구성된 소음기를 제안하고, 성능테스트를 통해 저감성능을 확인하였다. 개발된 소음기의 성능 예측결과, 저주파수 대역에서 5dB 이상의 감음성능을 확인할 수 있었다.

1. 서 론

선박용 디젤엔진의 배기토출음은 소음기를 배기계열에 배치하여 소음 저감을 도모한다. 고주파수 성분의 소음은 소음기 내부 흡음재를 통해 저감효과를 충분히 얻을 수 있는 반면, 저주파수 성분의 소음은 파장의 길이가 매우 길기 때문에 흡음재에 의한 저감이 어렵다. 이와 같은 저주파수 대역의 소음은 대부분 엔진 점화성분(Engine firing order)이 지배적이며, 이 성분에 대한 저감이 큰 관건이라 할 수 있다.

그러므로, 본 연구에서는 엔진 점화 성분의 소음제어를 위해 연장관과 헬름홀츠 공명기 개념을 이용하였다. 소음기 내부에 연장관 및 헬름홀츠 공명기를 제작하고 실험을 통하여 소음기의 저주파수 대역의 저감성능이 향상됨을 알 수 있었다.

2. 본 론

2.1 소음기 성능 지표

본 연구에서는 음원, 소음기계, 미관출구에서의 방사등의 특성이 포함된 삽입손실을 이용하여 소음기의 성능을 예측하였으며, 그 식은 아래와 같다:

$$L_{IL} = 20 \log_{10} \left| \frac{A_0 Z_R + B_0 + C_0 Z_R Z_S + D_0 Z_S}{A Z_R + B + C Z_R Z_S + D Z_S} \right|. \quad (1)$$

여기서, A~D는 소음계의 전달행렬, A₀~D₀는

소음기 대신 같은길이의 직관이 장착된 소음계의 전달행렬을 의미한다. Z_R은 미관의 방사 임피던스, Z_S는 음원 임피던스를 나타낸다. 본 연구와 같이 설계단계에서 소음기를 설계하는 경우, 이상적인 음원 가정을 통하여 소음기 성능을 예측할 수 있으며, Prasad[1]등은 무반사 음원이 8기통 디젤엔진의 소음계 삽입손실에 적용될 수 있음을 보여주었다. 그러므로, 식(1)에 무반사 음원 임피던스 값인 식(2)를 대입하여 삽입손실 계산식을 얻을 수 있다:

$$Z_S = \frac{\rho_0 C_0}{S}. \quad (2)$$

여기서, ρ₀는 평균밀도, C₀는 평균음속, S는 배관단면적을 나타낸다.

소음기 내부 구조의 연장관과 헬름홀츠 공명기에 대한 전달행렬은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} A_{res} & B_{res} \\ C_{res} & D_{res} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_r & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Extended tube resonator: $Z_r = -j \frac{\rho C}{S} \cot(kl)$

Helmholtz resonator: $Z_r = -j \frac{\rho C}{S_c} \cot(kh) + Z_h$

여기서, k는 파수, l은 연장관 길이, h는 공명기 내부 단면 길이, S는 연장관을 제외한 소음기 내부 단면적, S_c는 공명기 내부 단면적을 의미하며, Z_h는 [3]에서 언급된 Sullivan의 경험식이다.

2.2 소음기 설계 방향

박용엔진의 저주파수 소음성분은 엔진 점화주파수 성분이 지배적이므로, 이 성분의 소음을 제어함으로써 소음 저감효과를 얻을 수 있다. 그러므로, 점화주파수 및 고조파 소음성분 중, 음향 에너지가 높은 1차~4차까지를 제어범위에 두었다. 소음제어를 위한 내부구조로,

† 최충영; 삼성중공업 조선해양연구소 진동소음연구파트

E-mail : cy3053.choi@samsung.com

Tel : 055)630-1257

* 삼성중공업 조선해양연구소

** KAIST 기계공학부 소음진동센터

연장관 길이는 엔진 점화주파수 파장길이의 1/4로 정할 수 있는데, 이는 180°위상 차이를 통한 음파상쇄효과를 이용한 것이다. 헬름홀츠 공명기의 경우, 목길이와 홀면적, 홀개수를 적절히 선택함으로써 저감대상의 소음을 제어할 수 있다.

2.3 성능평가

그림1과 같이 소음기 내부는 연장관과 헬름홀츠 공명기, 흡음재로 구성하였다. 이때, 연장관 및 공명기는 표1과 같이 엔진 점화주파수에 맞춰서 설계되었다. Fan과 Speaker를 이용하여 소음기 성능테스트 설비를 구성하고, 소음기 감음성능을 확인하였다. 성능테스트의 온도가 상온(20℃)이기 때문에, 배기계 온도(336℃)를 바탕으로 설계한 소음기의 Target frequency 역시 표1과 같이 변하게 됨을 염두해 두었다. 계측결과, 표2와 같이 100Hz이하 저주파수 대역에서 소음 저감성능이 5dB이상 향상된 것을 확인할 수 있었다.

그림2는 NR(소음기 입출구 SPL차이)스펙트럼을 200Hz까지 나타낸 것이다. Outlet연장관 길이에 의해 29Hz, 87Hz는 저감효과가 기대되는 주파수 성분이며, 87Hz는 연장관 뿐만 아니라 소음기 전체 길이에 의한 최대 투과손실이 예상되는 주파수이므로, 높은 소음 저감성능을 보이고 있다. 한편, 29Hz는 연장관의 저감성능만 나타나므로 87Hz에 비해 낮은 저감성능을 보인다. Inlet연장관 길이에 의한 117Hz 성분 역시 87Hz와 같은 이유로 저감효과가 높게 나타난 것으로 판단된다. 헬름홀츠 공명기의 소음저감 효과는, 60Hz에서 확인할 수 있는데 연장관에 의한 효과보다 낮았다. 120Hz 이상에서는 주파수가 증가할 수록, 흡음재 영향으로 소음 저감효과가 증가하는 경향을 보이며, 유속이 있는 경우, 소음저감성능이 떨어짐을 확인할 수 있었다. 이는 유속에 의한 2차 소음생성 및 유속에 따른 흡음재의 성능저하가 원인으로 판단된다.

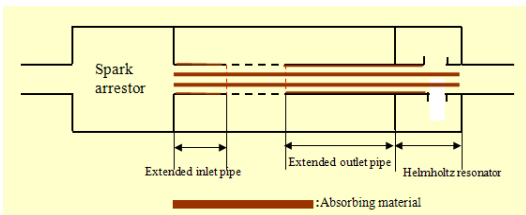


그림1. 소음기 설계안[4]

Item	Design	Shop test
	Target frequency	Shifted target frequency
Extended outlet pipe	42Hz(1 st EF)	29Hz
Helmholtz resonator	84Hz(2 nd EF)	56Hz
Extended outlet pipe	126Hz(3 rd EF)	87Hz
Extended inlet pipe	168Hz(4 th EF)	117Hz

표1. 저감대상 주파수(EF: Engine firing order)

Silencer	Flow velocity	Insertion loss(dB)		
		31.5Hz	63Hz	125Hz
Redesigned type	0m/s	4.0	10.0	22.4
	21.3m/s	5.1	9.9	15.7
Dissipative type	20m/s	0.6	5.3	14.3

표2. 저주파수 대역의 소음저감

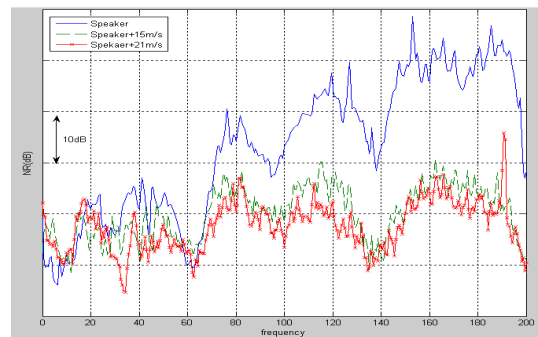


그림2. 소음기 NR 스펙트럼

4. 결론

본 연구는 선박용 발전 디젤엔진의 저주파수 대역 소음저감 향상을 위해, 엔진 점화주파수 성분을 제어하고자 연장관과 헬름홀츠 공명기, 흡음재로 구성된 소음기를 제안하고, 성능테스트를 통해 저감성능을 확인하였다. 저주파수 대역에서 5dB 이상 저감성능이 향상된 것을 확인할 수 있었으며 이를 통하여, 제안된 소음기가 저주파수 소음저감향상에 도움이 될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 이정권, 김태균, “박용엔진 저주파수 배기소음 감쇠를 위한 소음기 해석 프로그램 개발,” 산학파제 보고서, 삼성중공업 2010.
2. M.G. Prasad, M.J. Crocker, “Studies of acoustical performance of a multi-cylinder engine exhaust muffler system,” Journal of Sound and Vibration, **90**, 491-508(1993).
3. 서상현, 김양한, “공명기 배열을 이용한 소음기의 음향학적 특성,” 한국소음진동공학회 논문집 제 14 권 10 호, pp975~982, 2004.
4. 대한민국특허, 출원번호:10-2010-0065764