

쌍극 음원을 이용한 디젤 엔진 배기 소음의 능동 소음 제어

Active noise control of exhaust noise of diesel engine using dipole source

민동기* · 김덕만* · 박준홍†

Dongki Min, Deokman Kim and Junhong Park

1. 서 론

디젤 엔진에 의해 발생하는 소음은 머플러를 통해 배출되고, 주로 저주파수 대역이 지배적인 특성을 가지고 있다. 이러한 저주파수 대역의 소음은 엔진의 폭발 주파수와 고조파에 의하여 발생되어 단극 특성을 가지고 소음이 방사된다.

디젤 엔진 배기 소음 저감을 위하여 주로 배기단에 공명기를 장착하거나, 흡음재를 통한 수동적인 소음 제어 방식을 사용하고 있다. 하지만 공명기를 이용한 제어는 제어 주파수의 폭이 매우 좁고, 흡음재를 사용하는 제어는 부피가 커지게 되며, 500Hz 이하의 저주파수 대역을 저감시키기 힘들다는 단점이 있다. 능동소음제어는 제어 음원을 구동하여, 소음 신호와 제어음이 소멸간섭을 이루도록 제어하는 기술로써 흡음재나 차음재 등에서 해결할 수 없는 저주파 대역의 소음까지 감소시킬 수 있는 제어 방법이다

본 연구에서는, 능동 소음 제어에서 주로 사용되는 FxLMS 알고리즘을 이용하여 능동소음 제어를 통해 디젤 엔진의 배기 소음을 저감하고자 하였다. 또한, 단극 음원 형태의 디젤 엔진 배기소음을 쌍극 음원 형태로 변형시켜 소음을 저감시키는 방법을 연구하였다.

2. 쌍극 음원을 이용한 능동 소음 제어

2.1 FxLMS 알고리즘

FxLMS 알고리즘은 정상 불규칙과정 하에 있는 임의의 계를 FIR필터로 실시간으로 모델링하는 방법으로 필터계수의 적응화에 필요한 연산이 비교적 단순하여 많이 사용되고 있다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : parkj@hanyang.ac.kr

Tel : 02)2220-0424, Fax : 02)2298-4634

* 한양대학교 기계공학과

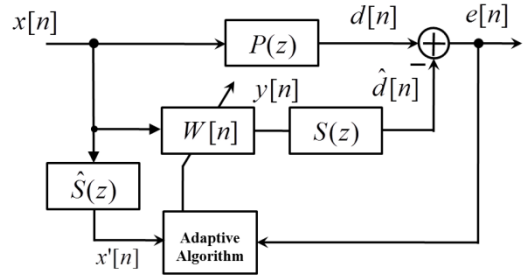


Fig. 1 FxLMS algorithm block diagram

FxLMS 알고리즘의 블록선도는 Fig. 1 과 같이 나타낼 수 있으며, $x[n]$ 은 입력신호, $y[n]$ 은 필터의 출력신호, $d[n]$ 은 제어되어야 하는 신호, $e[n]$ 은 오차신호이다. FxLMS 알고리즘은 오차신호의 파워를 최소화 시키는 방향으로 $w[n]$ 의 계수를 갱신하여 $y[n]$ 과 $d[n]$ 을 근사화시켜 $e[n]$ 을 0으로 수렴하도록 한다.

$$e[n] = d[n] - s[n] * [w^T[n]x[n]] \quad (1)$$

순간 평균자승오차를 최소화 하기 위하여 필터 계수를 갱신하기 위해 steepest descent법을 사용한다.

$$\hat{\xi}[n] = e^2[n] \quad (2)$$

$$w[n+1] = w[n] + \frac{\mu}{2} \nabla \hat{\xi}[n] \quad (3)$$

두 식을 통해 FxLMS 알고리즘에서 사용되는 필터계수 μ 를 구할 수 있으며 $x'[n] = \hat{s}[n] * x[n]$ 로 나타낼 수 있다.

$$w[n+1] = w[n] + \mu e[n]x'[n] \quad (4)$$

2.2 쌍극 음원

디젤 엔진의 배기 소음은 폭발에 의한 저주파수와 고조파 성분이 주를 이루고 있으며, 환경소음으로 변환되어 전달되는 음원의 방사 형태는 거리에 따른 음압이 같은 단극 음원의 형태를 띠고 있다. 쌍극 음원은 위상이 180° 다르고 동일한 크기를 가지는 두 단극 음원이 가까이 위치한 경우로, 두 극

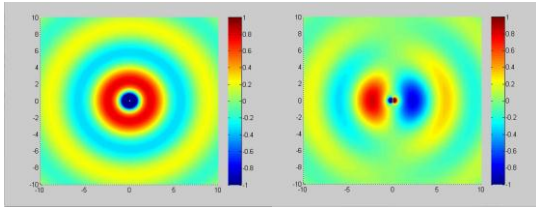


Fig.2 Simulated pressure distribution
(a) monopole and (b) dipole

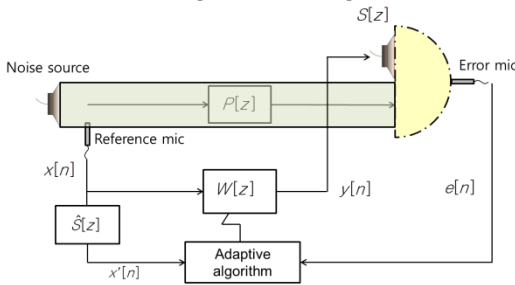


Fig. 3 Experimental setup of dipole ANC

사이 평면의 음압이 상쇄되어 Fig. 2와 같은 음장이 나타나며, 단극 음원과 쌍극 음원의 음압은 아래와 같으며 동일한 크기의 음원을 가질 때 쌍극 음원의 음압이 더 작다.

$$P_{monopole}(r, \theta, \phi) = i \frac{Q\rho ck}{4\pi r} e^{i(\omega t - kr)} \quad (5)$$

$$P_{dipole}(r, \theta, \phi) = -i \frac{Q\rho ck^2 d}{4\pi r} \cos\theta e^{i(\omega t - kr)} \quad (6)$$

이와 같은 특징을 이용하여 능동 소음 제어의 제어 음원으로 위상이 반대인 단극 음원으로 모델링하여 디젤 엔진 배기 소음을 저감하였다.

3. 능동 소음 제어를 이용한 실험 결과

쌍극 음원을 구성하기 위한 실험장치는 Fig. 3과 같이 구성하였고, 제어스피커와 에러마이크 사이의 음장을 표현하였다. 2m 길이의 파이프를 통해 배기 소음기를 모델링하고, 제어 음원을 소음이 방사되어 나가는 곳의 상단에 설치하여 쌍극 음원의 효과를 낼 수 있도록 하였다. 레퍼런스 마이크는 소음원로부터 10cm 떨어진 곳에서 측정하였고, 에러 마이크는 제어 스피커로부터 30cm 떨어진 곳에 위치하였다.

위와 같이 구성된 실험 장치를 통해 능동 소음 제어를 수행하여 디젤 엔진 배기 소음을 저감시켰다. 소음은 에러 마이크에서의 음압을 측정하였으며, Fig. 4에서 제어하기 전과 후의 FFT를 비교하였을

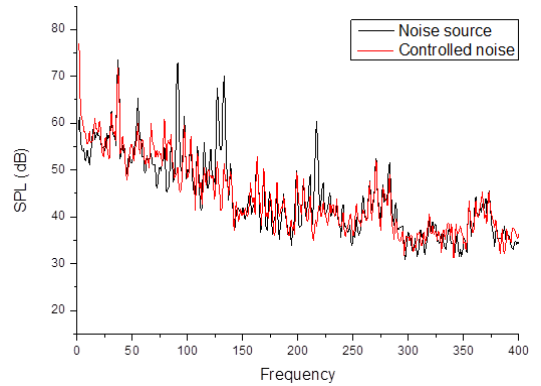


Fig. 4 Measured sound pressure level (SPL) of noise source and controlled noise

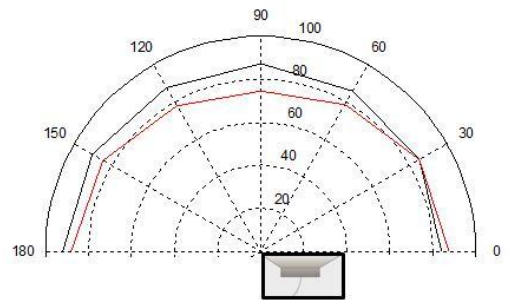


Fig. 5 Near field pressure distribution

때 주요 주파수에서 19dB이상 감소하는 것을 확인하였다. 또한, Fig. 3과 5와 같이 제어스피커의 상단을 기준으로 주변의 음장을 측정한 결과 전체적으로 음압이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 디젤 엔진 배기 소음을 저감시키기 위하여 쌍극 음원을 이용한 실험장치를 구성하고 실험을 통하여 검증하였다. 향후 마이크의 위치를 최적화하여 디젤 엔진 배기 소음이 발생하는 곳에 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Maria Cuesta, Pedro Cobo, "Active control of the exhaust noise radiated by an enclosed generator", Applied Acoustics 61 (2000) 83-94
2. Daniel A. Russell, Joseph P. Titlow, and Ya-Juan Bemmen, "Acoustic monopoles, dipoles, and quadrupoles: An experiment revisited", Am. J. Phys. 67 (8) August 1999