

# 능동 소음 제어를 이용한 실제 디젤 엔진의 배기 소음 저감 An active noise control of actual diesel engine exhaust system

민동기\* · 남상원\*\* · 박준홍†  
Dongki Min, Sangwon Nam and Junhong Park

## 1. 서 론

최근 선박 및 발전용 디젤 엔진의 수요가 증가하면서 그로 인한 소음 문제가 발생하고 있다. 디젤 엔진에서 발생하는 소음은 배기 소음기를 통해 방사되어 주거 지역에 소음 공해를 일으킨다. 소음을 저감시키기 위하여 주로 배기단에 공명기를 장착하거나, 흡음재를 통한 수동적인 소음 제어 방식을 사용하고 있다. 하지만 수동소음제어는 제어 주파수의 폭이 매우 좁고, 부피가 커지게 되며, 500Hz 이하의 저주파수 대역을 저감시키기 힘들다는 단점이 있다. 능동소음제어는 제어음원을 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 기반으로 디젤 엔진의 특성에 맞는 알고리즘을 통해 실제 디젤 엔진의 배기 소음을 저감하였다. 또한, 단극음원 형태의 디젤 엔진 배기소음을 쌍극 및 4극음원 형태로 변형시켜 소음을 저감시키는 방법을 적용하였다.

## 2. 엔진 소음 특성을 이용한 능동 소음 제어

### 2.1 디젤 엔진의 소음 특성

디젤 엔진의 소음은 엔진 행정의 폭발 주파수와 고조파에 의해 발생되고, 엔진의 회전 수와 기통 수 등에 따라 주요 주파수가 결정된다. 소음 분석 상용 프로그램을 통하여 주파수 특성을 분석한 결과, Fig. 1과 같이 100Hz 이하의 저주파 특성이 두드러지는 것을 확인하였고, 단일 주파수에 대한 기여도가 높

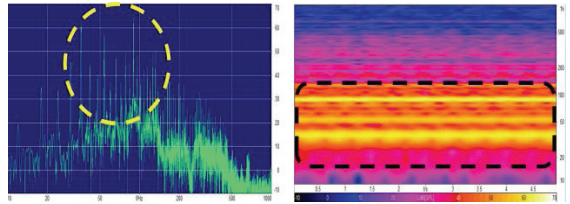


Fig. 1 디젤 엔진 소음의 FFT, FFT vs Time

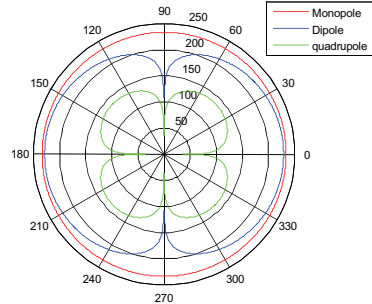


Fig. 2 단극, 쌍극, 4극음원의 음압 분포

은 것을 알 수 있으며 시간에 대한 주파수 분석으로 소음의 변화가 크지 않은 것을 알 수 있다.

### 2.2 쌍극 및 4극 음원

디젤 엔진의 배기 소음은 주로 저주파수이므로, 환경소음으로 변환되어 전달되는 음원의 방사 형태가 거리에 따른 음압이 같은 단극음원의 형태를 띠고 있다. Fig. 2와 같이 쌍극음원은 위상이 180° 다르고 동일한 크기를 가지는 두 단극음원이 가까이 위치한 경우로, 두 극 사이 평면의 음압이 상쇄된다. 4극음원은 두 쌍극음원을 대칭으로 위치시키는 경우로, 대칭의 쌍극음원 사이의 평면 까지 음압을 상쇄시켜서 쌍극음원보다 전체적인 파워를 줄일 수 있는 효과가 있다. 각 음원의 음압은 동일한 크기의 음원을 가질 때, 단극, 쌍극, 4극음원의 순으로 음압이 더 작아진다<sup>(2)</sup>.

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

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : [parkj@hanyang.ac.kr](mailto:parkj@hanyang.ac.kr)

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

\* 한양대학교 기계공학과

\*\* 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부

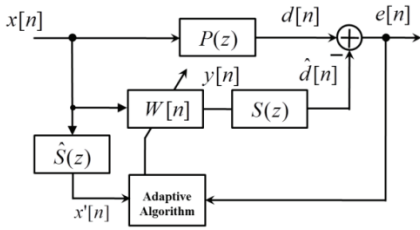


Fig. 3 FxLMS algorithm block diagram

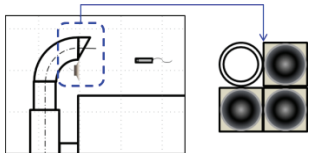


Fig. 4 실제 실험 장치 및 개략도

### 2.3 FxLMS algorithm

FxLMS 알고리즘은 정상 불규칙과정 하에 있는 임의의 계를 FIR필터로 실시간으로 모델링하는 방법으로 필터계수의 적응화에 필요한 연산이 비교적 단순하여 많이 사용되고 있다. FxLMS 알고리즘의 블록선도는 Fig. 3 과 같이 나타낼 수 있으며 오차 신호의 파워를 최소화 시키는 방향으로  $w[n]$ 의 계수를 갱신하여  $y[n]$ 과  $d[n]$ 을 근사화시켜  $e[n]$ 을 0으로 수렴하도록 한다.

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

순간평균자승오차를 최소화하기 위하여 필터 계수를 갱신하기 위해 steepest descent법<sup>(1)</sup>을 사용한다.

$$\xi[n] = e^2[n], \quad w[n+1] = w[n] + \frac{\mu}{2} \nabla \xi[n] \quad (2)$$

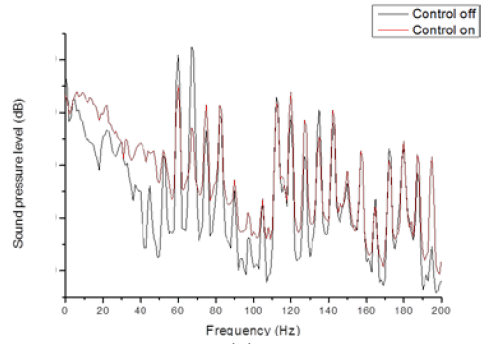
두 식을 통해 FxLMS 알고리즘에서 사용되는 필터계수  $\mu$ 를 구할 수 있으며  $x'[n] = \hat{s}[n] * x[n]$ 로 나타낼 수 있다.

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

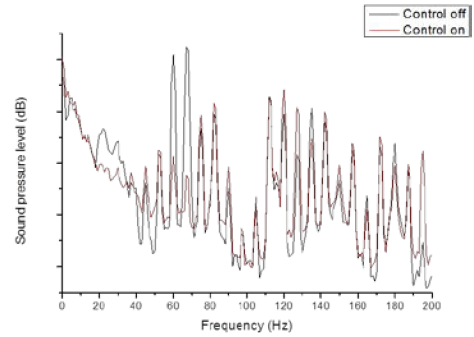
본 실험에서는 엔진음의 특성을 이용한 협대역 정규화 FxLMS 알고리즘을 사용하였다.

### 3. 능동 소음 제어를 이용한 실험 결과

실험장치는 Fig. 4과 같이 구성하였고, 실험 결과 에러마이크에서의 음압이 Fig. 5의 (a)와 (b)로 나타났다. 60Hz와 67.5Hz 가 쌍극음원에서는 각각 5.6 15.3dB, 4극음원에서는 각각 19.5, 24.8dB 저감되어, 디젤 엔진의 주요 주파수를 효과적으로 제어하였다.



(a)



(b)

Fig. 5 쌍극음원, 4극음원 실험 결과 FFT

### 4. 결 론

본 연구에서는 디젤 엔진 배기 소음을 저감시키기 위하여 쌍극 및 4극 음원을 이용한 실험장치를 구성하고 실험을 통하여 실제 스케일의 디젤 엔진 배기 소음을 저감시켰다. 소음의 특성을 이용한 능동 소음제어를 이용하여 디젤 엔진 소음을 효과적으로 저감할 수 있다.

### 참고문헌

1. Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan, "Active Noise Control Systems algorithm and DSP implementations"
2. Maria Cuesta, Pedro Cobo, "Active control of the exhaust noise radiated by an enclosed generator", Applied Acoustics 61 (2000) 83-94