

다트-음향 시스템에서 소거용스피커 방향이 소음감소효과에 미치는 영향 An Attenuation Effect of Noise According to the Direction of Speaker in Duct ANC System

*이형석¹, #이응석²

*Hyung-Seok Lee¹(hyung@jsc.ac.kr), #Eung-Suk Lee²(eungsuk@chungbuk.ac.kr)

¹ 주성대학 자동차과, ² 충북대학교 기계공학과

Key words : ANC, FxLMS(filtered x least mean square), FIR(finite impulse response) , secondary sound source

1. 서론

환경오염의 하나인 소음을 저감하기 위해 흡차음재를 사용하는 수동제어방식으로는 500Hz미만의 저주파 영역에서는 효과가 미비하여, 점차로 능동소음제어(ANC)에 관심을 갖게 되었다. ANC의 기본적 개념은 소음원에서 발생한 음파를 마이크로 감지하여 제어하고자 하는 위치에, 전파되는 소음에 위상이 반대되는 2차음을 발생시켜 중첩시킴으로서, 상쇄간섭(destructive interference)을 일으켜 소음을 줄이는 것이다.¹⁾

국내에서도 FxLMS 알고리즘을 응용한 덕트내 평면파 소음의 능동제어에 대한 연구가 많이 이루어지고 있어 알고리즘의 개발 및 소음감소에 성과를 이루고 있다.²⁾³⁾

이와 같은 다트-음향 ANC시스템의 소음감소효과 관한 수많은 국내외의 연구결과물에 비해, 2차음원의 방향과 소음감소효과에 대한 고찰은 비교적 부족하였다고 생각한다.

따라서 본 연구에서는 다트-음향시스템에서 2차음원의 방향에 따라 소음 감소결과에 미치는 영향을 상대적으로 비교해 보고자 하였다. 2차음원의 방향을 소음 진행방향에 대해 30°, 90°, 150°방향으로 변경 가능하도록 다트를 제작하여 실험하였다. 배기소음은 스탠덱스 2500cc차량의 배기소음을 배기소음감사규정에 준해서 800rpm, 3500rpm, 5000rpm에서 녹음하여 사용하였으며, 디지털 필터는 FIR filter를 적용한 전향제어방식을 적용하였다. 알고리즘은 FxLMS algorithm을 사용하였으며, DSP 입출력특성 및 실험장치의 특성을 고려하여 일부 수정하였다.

2. 이론적 배경

2.1 FxLMS 알고리즘

앞먹임 FxLMS algorithm의 블록선도는 Fig.1와 같다. ANC시스템은 전기계와 음향계가 결합되어 작동하는 시스템으로 그림에서 합산표시(Σ)는 원소음과 능동필터의 출력인 스피커 음이 포개어 지는 것을 표시한다. 따라서 시스템을 정확히 제어하기 위해서는 여러 종류의 전달함수가 포함되어야만 한다. 스피커 출력 y(n)와 e(n)사이의 경로를 2차 경로라 하며, 출력음 발생과 잔류음향의 전달 및 감지에 관련된 여러 전달함수 전체를 2차경로 전달함수라 한다. 2차경로 전달함수에 관련된 인자는 D/A변환기, 출력용 필터, 동력증폭기, 스피커, 스피커와 오차마이크사이의 통로, 오차감지마이크, 예비증폭기, A/D 변환기 등이 있다. 이와 같은 2차경로의 영향을 보정한 알고리즘을 FxLMS algorithm 이라고 한다.

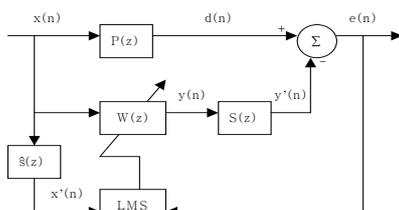


Fig. 1 FxLMS algorithm

FxLMS algorithm은 식 (1)과 같이 구해진다.

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

2.2 실험에 적용한 Modified-FxLMS 알고리즘

본 실험에 사용한 DSP의 입력신호 범위가 0~2.5v로 제한 되었다. 이 입력조건에 맞추기 위해, 0v를 중심으로 +, - 값으로 출력되는 마이크 신호에 shift회로를 통과시켜 +방향으로 1v정도 shift시켜 입력시켰다. 이처럼 shift되어 0~2.5v범위로 입력된 아날로그 data는 DSP CPU 내에서는 0~212 (0~4096)범위의 디지털 data로 변환되어 저장된다. 따라서 정확한 필터계수 w(n)의 연산처리를 위해서는 변환된 정수형태 데이터 xd를 실수형태 데이터 xf로 다시 변환시켜야만 한다. 따라서 DSP내에서 참조신호와 오차신호는 식 (2)을 이용하여 수정된다.

$$xf = (xd \times 2.5 / 4096) - 1.0 \quad (2)$$

연산 수행결과 산출된 출력값 y(n)의 정상적인 출력을 위해서는 실수 연산값을 정수값으로 다시 역변환해야 됨은 물론, FxLMS 알고리즘의 특성인 2차경로의 전달특성을 파악하여 프로그램에 추가시켜야 한다. 식 (3)에서 T1, T2, T3은 실험장치의 특성을 반영한 값으로, 다트길이, 참조마이크와 오차마이크의 위치, 앰프의 전달특성 등에 따라 출력파형을 확인하면서 여러 번의 Trial을 통해 적절히 선정해야 한다.

$$yd = \{(yf + T1) \times 4096 / 2.5 + T2\} \times T3 \quad (3)$$

ECU연산능력, 다트길이, 컴퓨터시뮬레이션 결과 등을 고려하여 본 결과, 차수 L=64를 적용하였으며, Px는 0.1~4범위로 예측되었고, 이를 다음 식 (4)에 적용할 경우 μ의 범위는 0.015~0.000078 해당된다. 따라서 수렴시간 및 시스템 안정성을 고려하여 본 실험에서는 μ=0.0005를 적용하였다. 그 외에도 센서간의 Coherence, Causality condition, 앰프전달특성 등을 확인하여 알고리즘의 일부를 수정하였다.

$$\frac{0.01}{LP_x} < \mu < \frac{0.1}{LP_x}, \quad P_x = E[x^2(n)] \quad (4)$$

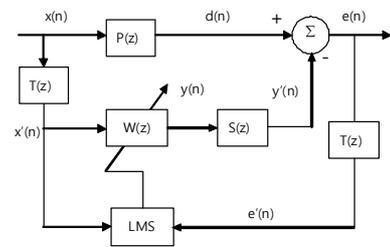
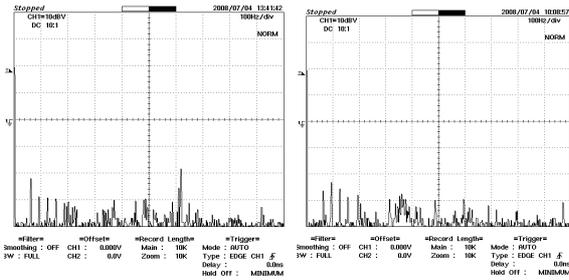


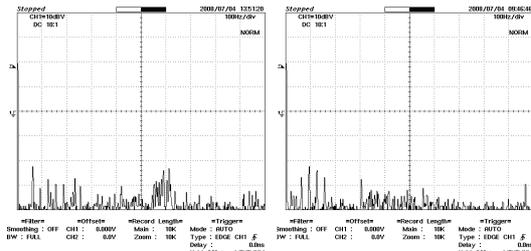
Fig. 2 The modified FxLMS algorithm

3. 실험 결과

실험은 원소음 진행방향에 대해 2차음원 방향이 30°, 90°, 150°일 경우 배기소음 저감효과에 대해 비교 실험 하였다. 모든 실험에서 앰프의 볼륨은 일정하게 유지하였다.

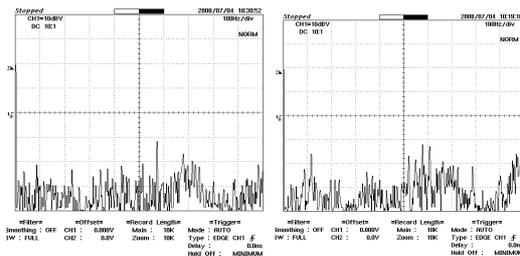


(a) Automobile exhaust noise at 800rpm
 (b) When secondary sound direction is 30°

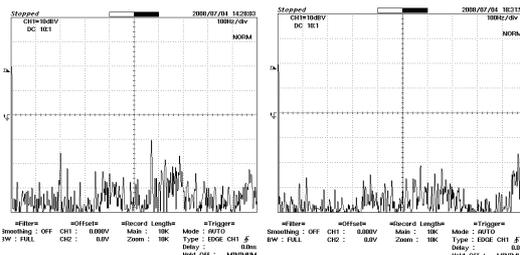


(c) When secondary sound direction is 90°
 (d) When secondary sound direction is 150°

Fig.3 Attenuation effect according to secondary sound direction on automobile exhaust noise at 800rpm

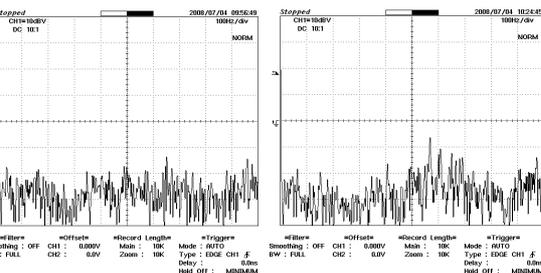


(a) Automobile exhaust noise at 3500rpm
 (b) When secondary sound direction is 30°

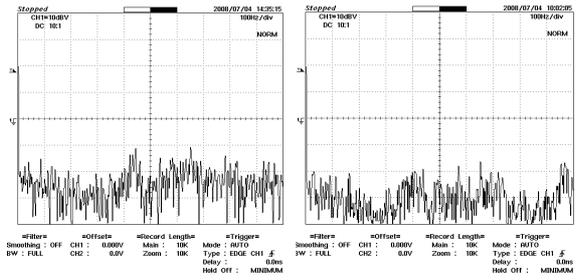


(c) When secondary sound direction is 90°
 (d) When secondary sound direction is 150°

Fig.4 Attenuation effect according to secondary sound direction on automobile exhaust noise at 3500rpm



(a) Automobile exhaust noise at 5000rpm
 (b) When secondary sound direction is 30°



(c) When secondary sound direction is 90°
 (d) When secondary sound direction is 150°

Fig.5 Attenuation effect according to secondary sound direction on automobile exhaust noise at 5000rpm

실험결과 Table3과 같이 2차음 방향 및 음압에 따라 주파수 영역별로 음압 감소효과가 다르게 나타났다. 이와 같은 원인은 2차음원 방향이 DSP 출력신호가 소리로 바뀌어 원소음과 합성되는 음향적 과정에 영향을 미치고 있는 것으로 예측할 수 있다.

2차음 방향별 배기소음에 대한 실험결과에서는 150°각트의 경우가 전반적으로 감소효과가 제일 크게 나타났으며, 증가하는 영역은 없었다. 90° 각트의 경우에는 주파수영역에 따라 증가하는 경우도 발생하였다. 30°각트의 경우에는 음압과 주파수대별 소음이 감소하기도 하고 증가하기도 하였다.

90°각트에서 효과가 없는 것은 원소음 진행방향에 대해 소거용 소음의 방향이 직교(orthogonal)하므로 비교적 상쇄간섭이 잘 일어나지 않는 것으로 추측되며, 150°각트의 경우에는 완전하지는 않으나 90° 각트에 비해 상쇄간섭이 보다 쉽게 일어나는 것으로 생각된다. 단지 30°각트에서 감소효과가 크지 못한 것은 2차음(기본소음 및 고조파 성분)의 반사음이 오차마이크 입력신호에 영향을 미친 것으로 추측된다.

4. 결론

본 연구에서는 ANC system에서 2차음원의 방향에 따라 소음감소효과에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 실험하였다.

실험결과 2차음원의 방향이 소음제거효과에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 결론적으로 본 연구에서 실시한 각트-음향시스템에서는 2차음원 방향이 150° 일 때 소음저감효과가 제일 큰 것으로 나타났다. 감소효과가 큰 이유는 2차음방향이 150°의 경우 원소음과 2차소음이 비교적 상쇄간섭을 잘 일으킨 효과로 추측된다. 따라서 감소효과를 보다 높이기 위해서는 "Y"형과 같은 각트 구조를 이용하여 원소음과 2차음이 동일조건에서 합성하고 합성한 이후 두 각트의 중간방향으로 소음이 진행하도록 한다면 소음감소가 더 클 것으로 생각된다. 2차음원의 방향에 따른 소음감소효과에 미치는 영향에 대해 보다 명확한 결론을 위해서는 소음감소효과에 영향을 미치는 각트구조, 필터차수, step size, 참조마이크와 오차마이크의 위치등과 병행한 더 많은 연구가 필요할 것으로 생각한다.

참고 문헌

- (1) Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan, 1996, "Active Noise Control System : Algorithm and DSP Implementation", John Wiley & Sons, New York.
- (2) J. H. Woo, I. S. Kim, J.G. Ih, K. J. Kim, 1992, "Active noise control of the plane wave travelling in a duct using filtered-x LMS Algorithm", KSNVE, Vol.2, No.2, pp.107~116.
- (3) O-Cheol Kwon, Gyeong-Tae Lee, Sang-Gil Park, Jung-Youn Lee, Jae-Eung Oh, 2008, "Performance Improvement of active noise control using Co-FXLMS algorithm", KSNVE, Vol.18, No.3, pp.284~292.