

능동머플러를 위한 안정한 다중채널 적응 IIR 필터

(Stabilized Multi-Channel Adaptive IIR Filters for Active Mufflers)

남현도* · 서성대 · 방경욱

(Hyun-Do Nam · Sung-Dae Suh · Kyung-Uk Bang)

요 약

능동 머플러는 스피커를 이용하여 배기 소음과 크기는 같으나 위상이 반대인 상쇄 소음을 발생시켜 소음을 제거하기 때문에 엔진 속도의 변화나 음향특성의 변화에 빠르게 적응할 수 있다.

본 논문에서는 안정도를 강화한 다중채널 적응 IIR 필터를 제안하고 이를 이용한 능동형 머플러를 구현하였다. 일반적으로 적응 IIR 필터는 차수에 비해 성능이 좋으나 안정성에 문제가 있기 때문에 능동소음제어 시스템의 작동 초기에 안정도를 개선하는 전처리 과정을 수행하였다.

자동차 머플러를 수학적으로 모델링하고 가솔린과 디젤 자동차의 엔진소음을 측정, 분석하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 안정도를 강화한 다중채널 IIR 필터를 이용한 능동소음제어의 유용성을 확인하였고 자동차 배기관을 모형화한 머플러를 제작하여 실험을 수행하였다.

Abstract

In this paper, implementation of active mufflers using multiple channel adaptive IIR filter is presented. Usually, recursive LMS(RLMS) algorithms for adaptive IIR filters are highly efficient than filtered-X LMS(FXLMS) algorithms, when the order of both algorithms are the same. However, RLMS algorithms usually diverge before the algorithms aren't yet converged. So, the prefilters are presented to improve the stability by pulling the poles of feedback control transfer function in the beginning of active noise control and returning the original poles after the filters converge.

The engine noises of diesel engine automobiles and gasoline engine automobiles are analyzed and the mathematical model of an active muffler is derived. Computer simulations and experiments are performed to show the effectiveness of the proposed systems.

Key Words : active noise control, active muffler, DSP, Multi-channel stabilized IIR filter, RLMS

* 주저자 : 단국대학교 전기공학과 교수
Tel : 02-709-2574, Fax : 02-709-2590
E-mail : hdnam@dku.edu
접수일자 : 2006년 4월 7일
1차심사 : 2006년 4월 17일
심사완료 : 2006년 5월 8일

1. 서 론

소음은 인간 생활에 직·간접적으로 영향을 미치는 요소로 인식되어 왔으며 흡음재를 사용하는 기존의 차폐방식으로는 저주파 대역의 소음을 잘 제거

능동머플러를 위한 안정한 다중채널 적응 IIR 필터

할 수 없어 능동소음제어기법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1-3]. 또한 최근의 자동차는 단순히 교통수단으로의 역할 뿐만 아니라 주거 공간으로서의 정숙한 승차감을 요구하고 있다. 특히 자동차의 배기소음은 저주파 성분이 대부분을 차지하고 있어 현재 사용되고 있는 수동형 머플러로는 효율이 작고 엔진 출력 저하, 연비를 나쁘게 하는 문제점[4]이 있으므로 능동 머플러를 사용하면 수동형 머플러의 이러한 문제점을 개선할 수 있다.

적용필터 알고리즘으로 많이 사용되는 FXLMS 알고리즘[1]은 수렴성은 보장되나 성능이 좋지 않고 RLMS 알고리즘은 성능은 좋으나 수렴성이 좋지 않은 단점이 있어 이를 개선한 단일채널 적응 IIR 필터(Single-channel Stabilized Adaptive IIR; SCSAIIR)가 제안되었다[5].

본 논문에서는 SCSAIIR 필터를 확장한 다중채널 적응 IIR(MCSAIIR) 필터를 제안하고 이를 이용하여 이중극 능동머플러를 구현하였다. 안정도의 향상을 위하여 적용필터 작동 초기에는 극점을 원점방향으로 끌어당겨 안정도를 개선하고 정상상태에는 원위치로 보내 필터성능에는 영향을 미치지 않는 전처리 과정을 수행하였다.

자동차 머플러를 수학적으로 모델링하고 실제 자동차 배기소음을 이용한 시뮬레이션 및 실험을 통해 SAIIR 알고리즘을 이용한 이중극 능동머플러가 기존의 단일극 능동머플러보다 우수함을 확인하였다.

2. 적용필터 알고리즘

적용필터는 FIR 필터 구조와 IIR 필터 구조로 분류할 수 있다. FIR 필터는 IIR 필터에 비해 비슷한 성능을 얻기 위해 필터의 차수가 커져야 하므로 계산량이 많아지는 단점이 있으며, IIR 필터의 경우 성능에 비해 적은 계산량을 갖지만 극점이 존재하므로 안정성에 문제가 많다[1].

2.1 다중채널 Recursive LMS 알고리즘

다중채널 RLMS 알고리즘의 블록선도는 그림 1과 같다[4]. 여기서 J는 기준입력신호, K는 제어음원, M

은 오차센서의 수이고, P(z)은 주경로 전달함수 행렬로 J×M, S(z)은 2차경로 전달함수 행렬로 K×M 요소를 갖는다.

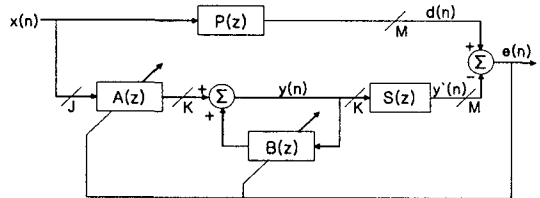


그림 1. 다중채널 순환 LMS 알고리즘의 블록선도
Fig. 1. Blockdiagram of MCRLMS algorithms

k번째 2차음원의 출력은 다음과 같다.

$$y_k(n) = \sum_{j=1}^J A_{kj}^T(n) X_j(n) + \sum_{i=1}^K B_{ki}^T(n) Y_i(n-1), \quad k=1, 2, \dots, K \quad (1)$$

전향제어 전달함수 행렬 A(z)과 궤환제어 전달함수 행렬 B(z)는

$$\vec{A}(z) = \begin{bmatrix} a_{11}(z) & a_{12}(z) & \dots & a_{1J}(z) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{k1}(z) & \dots & a_{k,j-1}(z) & a_{kj}(z) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\vec{B}(z) = \begin{bmatrix} b_{11}(z) & b_{12}(z) & \dots & b_{1K}(z) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{k1}(z) & \dots & b_{k,i-1}(z) & b_{kk}(z) \end{bmatrix} \quad (3)$$

L차의 전향제어 필터와 I차의 궤환제어 필터라 하면 필터계수 벡터는

$$a_{kj}(z) = a_{kj,0}(n) + a_{kj,1}(n)z^{-1} + \dots + a_{kj,L-1}(n)z^{L-1} \quad (4)$$

$$b_{kk}(z) = b_{kk,1}(n)z^{-1} + b_{kk,2}(n)z^{-2} + \dots + b_{kk,l}(n)z^{-l} \quad (5)$$

식 (4)와 (5)를 다시 쓰면

$$A_{kj}(n) \equiv [a_{kj,0}(n) \ a_{kj,1}(n) \ \dots \ a_{kj,L-1}(n)]^T \quad (6)$$

$$B_{kk}(n) \equiv [b_{kk,1}(n) \ b_{kk,2}(n) \ \dots \ b_{kk,l}(n)]^T \quad (7)$$

기준입력신호 벡터와 출력신호 벡터를 아래와 같이 정의하면 시스템의 출력신호 Y(n)은 다음과 같다.

$$X_j(n) = [x_j(n) \cdots x_j(n-L+1)]^T, j=1, 2, \dots, J \quad (8)$$

$$Y_k(n) = [y_k(n-1) \cdots y_k(n-D)]^T, k=1, 2, \dots, K \quad (9)$$

$$Y(n) = \overline{U}^T(n)W(n) \quad (10)$$

$$\text{여기서 } \overline{U}(n) = \begin{bmatrix} U(n) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & U(n) & \cdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & U(n) \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$U(n) = [X_1^T(n) \cdots X_J^T(n) Y_1^T(n) \cdots Y_K^T(n)]^T \quad (12)$$

$$\overline{W}(n) = [W_1^T(n) W_2^T(n) \cdots W_K^T(n)]^T \quad (13)$$

$$W_k(n) = [A_{k1}^T(n) \cdots A_{kj}^T(n) B_{k1}^T(n) \cdots B_{kk}^T(n)]^T \quad (14)$$

$\overline{U}(n)$ 은 $(JL+KD)K \times K$ 행렬이고 $\overline{W}(n)$ 은 $(JL+KD)K \times 1$ 적응필터 벡터이다. 따라서 시스템 오차는 2차경로 전달 함수 $\overline{S}(z)$ 을 적용하여

$$E(n) = D(n) - \overline{S}(n) * [\overline{U}^T(n)W(n)] \quad (15)$$

여기서 *는 컨볼루션이다.

오차의 자승의 합을 미분하여 정리하면 다중채널 LMS 알고리즘은 다음 식과 같다.

$$W(n+1) = W(n) + \mu \overline{U}^T(n)E(n) \quad (16)$$

여기서 $\overline{U}^T(n) \equiv \overline{S}^T(n) * U(n)$ 으로 $(JL+KD)K \times M$ 행렬이고 $S_{mk}(z)$ 은 $\overline{S}(z)$ 의 구성요소이다.

다중채널을 갖는 순환 LMS 알고리즘은 다음과 같이 표현된다.

$$A_{kj}(n+1) = A_{kj}(n) + \mu_a \sum_{m=1}^M X'_{ikm}(n)e_m(n) \quad (17)$$

$$B_{ki}(n+1) = B_{ki}(n) + \mu_b \sum_{m=1}^M Y'_{ikm}(n)e_m(n) \quad (18)$$

$$\text{여기서 } X'_{ikm}(n) \equiv \widehat{S}_{mk}(n) * X_j(n) \quad (19)$$

$$Y'_{ikm}(n) \equiv \widehat{S}_{mk}(n) * Y_i(n) \quad (20)$$

식(19)와 (20)에서 $\widehat{S}_{mk}(n)$ 은 2차 경로 전달함수 벡터 $S_{mk}(n)$ 을 추정된 값이다.

2.2 안정도 강화를 위한 전처리

일반적으로 적용 IIR 필터는 차수에 비해 성능이 좋으나 소음제어 초기에 극점이 z평면의 단위 원 밖으로 빠져나가서 발산하는 경우가 많으므로 초기에 필터 극점의 위치를 단위원의 중심 방향으로 조금 옮겨 주는 전처리 과정을 거침으로써 좀 더 안정된 순환 LMS 알고리즘을 적용할 수 있다[5].

폐환제어 전달함수 행렬 $\overline{F}(z) = [I_K - \overline{B}(z)]$ 을 다음식과 같이 정의한다. \overline{I}_K 는 $K \times K$ 단위행렬이다.

$$\overline{F}(z) = \begin{bmatrix} f_{11}(z) & f_{12}(z) & \cdots & f_{1K}(z) \\ f_{21}(z) & \cdots & \cdots & f_{2K}(z) \\ \vdots & \cdots & \cdots & \vdots \\ f_{K1}(z) & \cdots & \cdots & f_{KK}(z) \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$f_{kk}(z) = 1 + kb_{kk,1}(n)z^{-1} + \cdots + k^l b_{kk,l}(n)z^{-l}, 0 \leq k \leq I \quad (22)$$

폐환제어 전달함수의 $f_{kk}(z) = [1 - b_{kk}(z)]$ 의 근을 z_1 라 한다면 $f_{kk}(z)$ 를 만족시키는 근은 kz_1 이 된다.

$$f_{kk}(z) = 1 + b_{kk,1}(n)z^{-1} + \cdots + b_{kk,l}(n)z^{-l} = 0 \quad (23)$$

$$f_{kk}(kz_1) = 1 + kb_{kk,1}(kz_1)z^{-1} + \cdots + k^l b_{kk,l}(kz_1)z^{-l}, 0 \leq k \leq I \quad (24)$$

따라서 폐환제어 전달함수의 $[1 - b_{kk}(z)]$ 을 전처리하여 극점을 k배 만큼 원점방향으로 조정이 가능하다. 능동소음제어 초기에 오차가 커서 극점이 크게 변동되기 때문에 k를 0에 가까운 값으로 정해 원점방향으로 당겨주며 정상상태에는 k를 1로 하여 원래의 극점값을 가진다[5]. 즉

$$k(n+1) = \lambda k(n) + (1-\lambda), k(0) = 0, 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (25)$$

식 (25)와 같이 k를 가변시켜 가면서 순환 LMS 알고리즘의 안정도를 강화할 수 있다.

3. 능동머플러의 수학적 모델링

자동차의 머플러를 능동머플러로 대체할 경우 15[dB] 정도의 소음 감쇠와 10[%] 정도의 출력 향상 및 고속도로에서는 2~3[%]의 연료절약과 시내 주행에서는 5[%]의 연료가 절약되는 효과를 얻은 것으로 알려져 있다[6].

제안한 MCSAIRR 필터의 유용성을 보이기 위해 제어스피커가 2개인 머플러를 수학적으로 모델링하였다. 능동머플러의 구성은 그림 2와 같다.

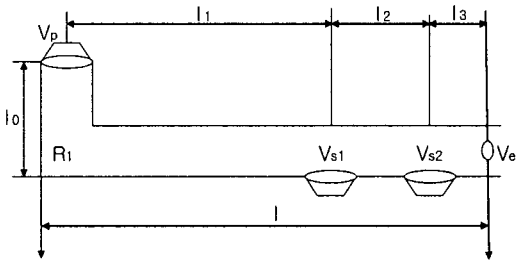


그림 2. 능동 머플러의 구성
Fig. 2. Structure of active mufflers

R_1 는 머플러의 상단 반사 계수(reflection coefficient)이며, V_p 와 V_{s1} 과 V_{s2} 는 소음원 및 제어 스피커를 구동하기 위한 전기적인 입력 신호이고, V_e 는 검출 및 오차 센서에서 측정되는 전기적인 출력 신호이다. 이를 블록선도로 나타내면 그림 3과 같다.

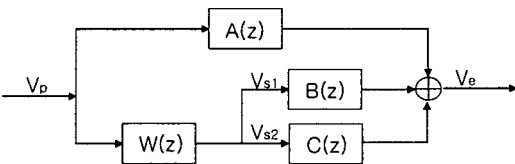


그림 3. 능동 머플러의 블록선도
Fig. 3. Block diagram of active mufflers

전기적 전달 함수는 중첩의 원리를 이용하여 제어기 전달 함수를 유도하면 출력전압은 다음과 같다.

$$V_e = AV_p + BV_{s1} + CV_{s2} \quad (26)$$

머플러에 대한 전기 음향 시스템에서 음원 및 센서를 무지향 트랜스듀서라고 가정하면 각각의 머플러 경로에 대한 전달 함수 A, B, C의 계산이 가능하며[7], 이것을 이용하여 이상적인 제어기의 모델을 얻을 수 있다. 여기서 k는 복소 전파계수이며, 트랜스듀서의 전달 함수 H 및 지향 지수 D는 복소주파수 함수로 표현된다. 아래 첨자 e는 각각 오차 센서, 아래 첨자 p와 s는 소음원과 제어 스피커의 전달 함수 및 지향 지수를 의미한다.

$$A = H_e H_p e^{-k(l_1 + l_2 + l_3)} \quad (27)$$

$$B = H_e H_{s1} e^{-k(l_2 + l_3)} \times (1 + D_s R_1 e^{-2kl_1}) \quad (28)$$

$$C = H_e H_{s2} e^{-kl_3} \times (1 + D_s R_1 e^{-2k(l_1 + l_2)}) \quad (29)$$

위의 식을 z 변환 형태로 정리하면 다음과 같다. 여기서 $n_i = \frac{l_i f_c}{c}$, $i=1,2,3$ 으로 계산된 가장 가까운 정수이고 f_c 는 샘플링 주파수, c 는 음속이다.

$$A(z) = z^{-(n_1 + n_2 + n_3)} \quad (30)$$

$$B(z) = z^{-(n_2 + n_3)} \times (1 + R_1 z^{-2n_1}) \quad (31)$$

$$C(z) = z^{-n_3} \times (1 + R_1 z^{-2(n_1 + n_2)}) \quad (32)$$

4. 컴퓨터 시뮬레이션

능동 머플러의 성능을 시험하기 위하여 가솔린 및 디젤 자동차의 소음을 측정하여 시뮬레이션 및 실험에 사용하였다. 실험차종과 제원은 표 1과 같다.

표 1. 실험용 자동차의 제원
Table 1. Dimension of experimental vehicles

항 목	제 원	
차 명	아반테 XD 1.5	카니발 II 2.9
배기량	1493[cc]	2902[cc]
기통수	4기통	4기통
연료종류	가솔린	디젤

자동차 소음의 측정은 자동차 배기 소음의 정확한 측정을 위하여 주변 소음원을 최대한 제거한 후 1분씩 측정하였다. 가솔린 엔진과 디젤 엔진 회전수를 각각 1000[rpm]에서 4000[rpm]까지 500[rpm]씩 증가시키면서 회전수의 소음의 주파수 분석을 실시하였다. 그림 4, 5는 가솔린 엔진과 디젤 엔진의 3500[rpm] 일 때 측정된 소음의 스펙트럼이다.

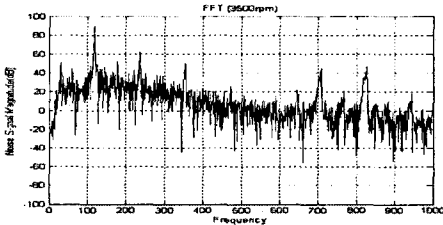


그림 4. 소음 스펙트럼(가솔린엔진, 3500(rpm))
Fig. 4. Spectrum of noise(Gasoline engine, 3500(rpm))

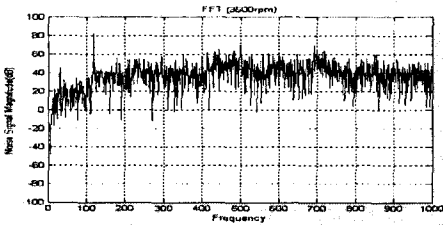


그림 5. 소음 스펙트럼(디젤엔진, 3500(rpm))
Fig. 5. Spectrum of noise(Diesel engine, 3500(rpm))

자동차 엔진과 같은 내연기관의 배기소음은 엔진의 회전수에 연동하는 기본 주파수 및 정수배의 고조파 성분을 가지며 4행정 기관에서의 기본주파수는 다음 식과 같이 계산할 수 있다.

$$f(Hz) = \left(\frac{N(rpm)}{60} \right) * \left(\frac{2}{\text{행정}} \right) * (\text{기통수}) \quad (33)$$

그림 4 및 5의 가솔린 및 디젤엔진의 2500[rpm]일 때 기본 주파수는 116[Hz]로 비슷하게 나타났으나 디젤 엔진의 경우가 random noise에 가깝게 나타났다. 다른 [rpm]의 경우도 비슷한 결과를 보였다.

제안한 안정도가 강화된 다중채널 SAIIR 필터의 성능을 검증하기 위하여 3장의 모델을 이용하여 제

어음원이 1개인 단일극 시스템[6] 및 2개인 이중극 시스템의 경우에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 모형 머플러의 파라미터 값은 표 2와 같다.

표 2. 모형 머플러의 파라미터
Table 2. Dimension of experimental mufflers

변 수	기 호	값
반사 계수	R1	0.2
덕트 치수	10	0.35
	11	2.4
	12	0.35
	13	0.15
	1	2.9

제안한 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 단일극 및 이중극 시스템에 대하여 기존의 filtered-x 알고리즘을 사용한 FIR 필터(FXFIR)의 경우와 제안된 MCSAIIR 필터를 사용한 경우를 비교하였다.

가솔린 엔진 소음과 디젤 엔진 소음에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과 가솔린 소음의 경우가 다소 나은 결과를 보였으나 비슷한 경향을 보였다.

그림 6~9에 디젤 엔진, 3500[rpm]에 대한 결과를 보였다.

샘플링 주파수는 2[kHz], FXFIR 필터의 차수는 128차, MCSAIIR 필터의 차수는 A(z)와 B(z)를 각각 64차와 8차(64+8차)로 두었다.

그림 6~9의 결과에서 알 수 있듯이 단일채널, FFIR의 경우만 제외하고는 수렴한 후에는 30[dB] 이상의 감쇄를 보였으며, 단일채널, FXFIR의 경우에도 25[dB] 이상의 감쇄를 보여 모두 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

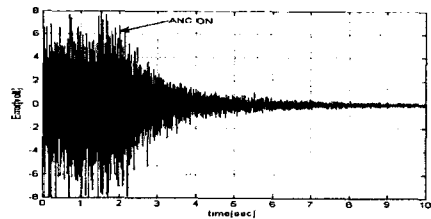


그림 6. FXFIR 필터, 단일극
Fig. 6. FXFIR filter, monopole

능동머플러를 위한 안정한 다중채널 적응 IIR 필터

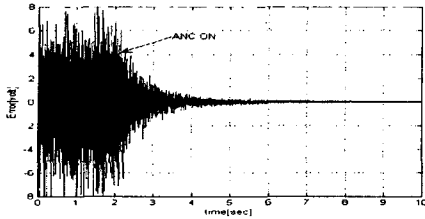


그림 7. FXFIR 필터, 이중극
Fig. 7. FXFIR filter, dipole

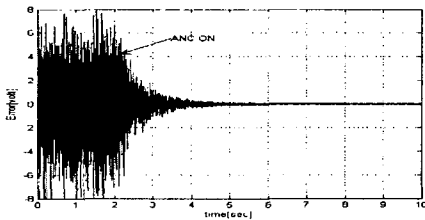


그림 8. SCSAIIIR 필터, 단일극
Fig. 8. SCSAIIIR filter, monopole

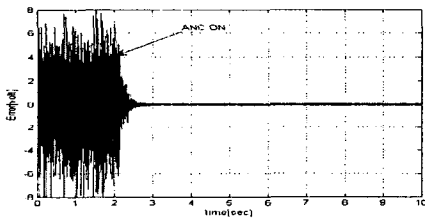


그림 9. MCSAIIIR 필터, 이중극
Fig. 9. MCSAIIIR filter, dipole

과도상태 특성을 살펴보면, 계산량이 더 적은데도 불구하고 FXFIR 보다는 MCSAIIIR 필터의 경우가 더 좋은 수렴 특성을 보였으며, 단일극 보다는 이중극 시스템의 경우가 더 좋은 특성을 보여 이중극 MCSAIIIR 필터의 경우가 제일 좋은 수렴특성을 보였다. 디젤엔진의 다른 [rpm] 소음의 경우 및 가솔린 엔진 소음의 경우에도 비슷한 결과를 얻을 수 있었으며, 안정도를 강화하지 않은 기존의 IIR 필터의 경우에는 수렴계수를 조금만 증가시켜도 발산하여 좋은 결과를 얻을 수 없었다.

5. 실험 및 검토

5.1 시스템 및 하드웨어 구성

실험을 위하여 실제 자동차의 머플러와 같은 크기의 모형 머플러를 제작하였다. 그림 10은 이중극 능동머플러의 구성도이다. 그림 11은 실제 제작된 모형 능동머플러이다.

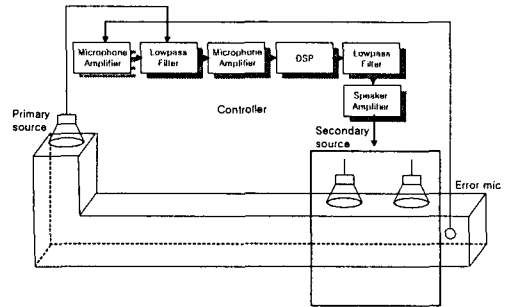


그림 10. 능동머플러의 구성도
Fig. 10. Configuration of active mufflers

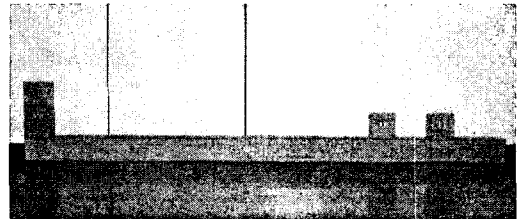


그림 11. 모형능동 머플러
Fig. 11. Experimental active mufflers

실험을 위하여 TMS320VC33 DSP 보드[8], 마이크 증폭기, low pass filter, AD/DA 보드, 신호 증폭기, 스피커 증폭기 등을 제작하였다. 제어음원을 위한 스피커 2개를 사용하였으며 실험용 덕트의 치수는 시뮬레이션의 경우와 같으며, 스피커는 각각 수차례 시뮬레이션을 통해 최적 위치에 설치하고 오차 마이크로폰은 두 번째 제어스피커와 15[cm] 떨어진 곳에 설치하였다.

5.2 실험 결과 및 검토

가솔린 엔진 및 디젤 엔진 소음을 적용하여 단일극 및 이중극 능동머플러에 대한 실험을 수행하였다.

샘플링 주기는 2[kHz]로 하였으며 MCSAIR 필터의 차수는 16+8차로 하였다. FXFIR 필터의 경우에는 32차로 하였으나 수렴하지 않았다. 차수를 늘이면 수렴할 것으로 예상되나 제한한 알고리즘이 같은 계산량에서는 더 좋은 수렴 특성을 보였다.

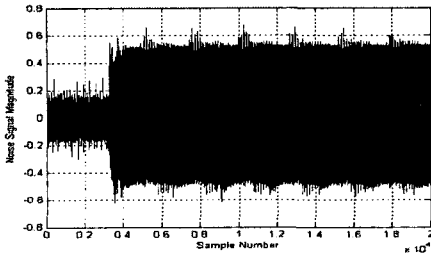


그림 12. 일반적인 순환 LMS 알고리즘의 오차
Fig. 12. Error of conventional RLMS algorithms

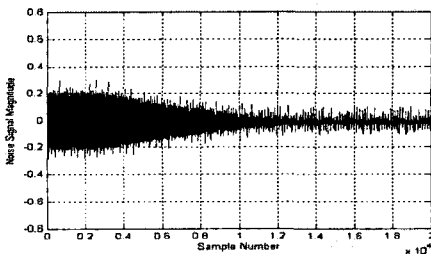


그림 13. 안정된 순환 LMS 알고리즘의 오차
Fig. 13. Error of stabilized RLMS algorithms

본 논문에서 제안한 알고리즘의 안정성을 확인하기 위하여 일반적인 순환 LMS 알고리즘과 비교하였다. 그림 12는 일반적인 순환 LMS 알고리즘으로 실험한 결과이고 그림 13은 MCSAIR 알고리즘으로 실험한 결과이다. 일반적인 순환 LMS 알고리즘의 경우 시스템이 불안정하였으나 MCSAIR 알고리즘의 경우에는 안정한 상태를 유지함을 알 수 있다.

실험 결과, 가솔린 자동차의 경우에는 2500[rpm]에서 최고 15[dB] 이상 평균 10[dB], 3500[rpm]에서 최고 25[dB] 이상 평균 16[dB] 의 소음 감쇄를 얻었다. 디젤 자동차의 경우에는 2500[rpm]에서 최고 17[dB] 이상 평균 10[dB], 3500[rpm]에서 최고 19[dB] 이상 평균 12[dB] 정도의 소음감쇄를 얻을 수 있었으며 차수를 늘이면 더 좋은 결과가 예상된다

다. 그림 14 및 15에 디젤엔진, 3500[rpm] 경우의 실험 결과를 보였다.

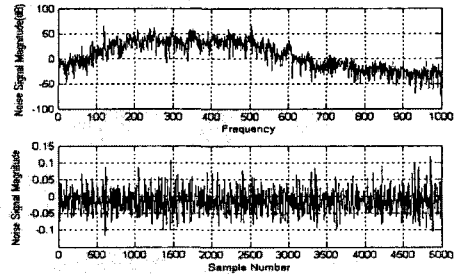


그림 14. 제어전의 FFT와 오차신호(3,500(rpm))
Fig. 14. Error and FFT before control

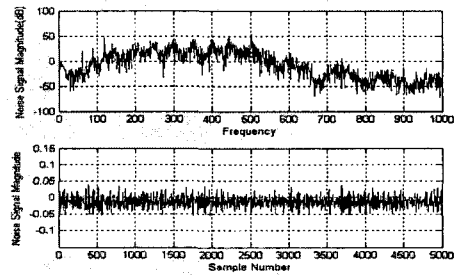


그림 15. 제어후의 FFT와 오차신호(3,500(rpm))
Fig. 15. Error and FFT after control

6. 결 론

본 논문에서는 안정성이 강화된 다중채널 순환 LMS 알고리즘을 제안하고 이를 자동차의 배기소음을 제거하는 이중극 능동형 머플러를 구현하였다. MCSAIR 필터의 안정성을 위해 능동 소음제어 시스템의 작동 초기에는 케환제어필터 계수벡터를 원점방향으로 끌어당겨 안정도를 개선하고 정상상태에는 원위치로 보내 필터성능에는 영향을 미치지 않는 전처리 과정을 제안하였다.

자동차 배기관을 수학적으로 모델링하고 실제 자동차 배기소음을 측정, 분석하여 모형 머플러에 적용하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 같은 계산량의 기존의 알고리즘과 비교하여 MCSAIR 필터의 유용성을 확인할 수 있었으며 기존의 단일극 능동 머플러에 비해 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 실험

능동머플러를 위한 안정한 다중채널 적응 IIR 필터

을 통한 실제 소음 제어시 가솔린 자동차와 디젤 자동차에서 모두 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

실제 시스템에 적용한다면 소음감소로 인한 환경 개선 및 자동차의 고급화에 기여할 수 있을 것이다.

이 연구는 2004년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었음.

References

- [1] S.M. Kuo and D.Morgan, "Active Noise Control System," John Wiley and Sons. Inc., New York, 1996.
- [2] R.R. Leitch and M.O. Tokhi, "Active Noise Control System," IEEE Proc., Vol.134, Pt.A, No.6, pp.525-546, 1987.
- [3] C.H. Hansen, "Current and future industrial applications of active noise control," Active 04, Virginia, 2004.
- [4] Suyama, E., Inaba, M., and Mashino, R., "Characteristics of Dual Mode Mufflers", SAE paper, 890612, pp.1-9, 1989.
- [5] H.D. Nam and K.H. Baek, "Satbilized recursive LMS algorithms for active noise control," Intemoise 2003, Jeju, pp.467-473, 2003.
- [6] J.N. Denenberg, "Anti-noise: Quieting the environment with avtive noise cancellation technology," IEEE Potentials, Vol.11, No.2, pp.36-40, 1992.
- [7] Elliot S. J. and Nelson P. A., "Models for describing active noise control in ducts", ISVR Technical Report No. 127, University of Southampton, U. K. 1984.
- [8] Texas Instruments, TMS320VC33 Programmer' s Guide, 2000.

◇ 저자소개 ◇

남현도 (南炫道)

1956년 3월 27일생. 1979년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1986년 서울대학교 대학원 전기공학과(박사). 1991~1992년 Visiting fellow, ISVR, England. 1982년~현재 단국대학교 전기공학과 교수. 1998년~현재 단국대학교 부설산업기술연구소장.

서성대 (徐成大)

1960년 2월 25일생. 1987년 2월 단국대학교 전자공학과 졸업. 1998년 2월 단국대학교 산업대학원(석사). 현재 단국대학교 대학원 전기공학과 박사과정.

방경욱 (方景煜)

1979년 2월 14일생. 2004년 단국대학교 전기공학과 졸업. 2006년 단국대학교 대학원 전기공학과.