

# 능동제어기법을 이용한 자동차의 급가속 흡기소음 저감을 위한 Moving Bandpass Filter의 개발

전 기 원<sup>1)</sup> · 오 재 응<sup>\*2)</sup> · 이 충 휘<sup>1)</sup> · 아미누딘 아부<sup>1)</sup> · 이 정 운<sup>3)</sup>

한양대학원 자동차공학과<sup>1)</sup> · 한양대학교 기계공학부<sup>2)</sup> · 경기대학교 기계시스템 디자인공학부<sup>3)</sup>

## The Development of Moving Bandpass Filter for Improving Noise Reduction of Automotive Intake in Rapid Acceleration Using ANC

Kiwon Jeon<sup>1)</sup> · Jaeung Oh<sup>\*2)</sup> · Choonghui Lee<sup>1)</sup> · Aminudin Abu<sup>1)</sup> · Jungyun Lee<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Automotive Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

<sup>2)</sup>School of Mechanical Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea

<sup>3)</sup>Department of Mechanical Engineering, Kyounggi University, Suwon City, Guounggi 443-760, Korea

(Received 7 January 2005/ Accepted 18 March 2005)

**Abstract** : The method of induction noise reduction can be classified by using passive control or active control method. However, the passive control method has a demerit to reduce the effect of noise reduction to low frequency (below 500Hz) range and to be limited in a space of the engine room. Whereas, the active control method can overcome the demerit of passive control method. The algorithm of active control is mostly used in LMS (Least-Mean-Square) algorithm because it can obtain the complex transfer function easily in real-time. Especially, Filtered-X LMS (FXLMS) algorithm is applied to an ANC system. However, the convergence performance of LMS algorithm could not match if the FXLMS algorithm is applied to an active control of the induction noise under rapidly accelerated driving conditions. So, in order to solve the problem in this study, the Moving Bandpass Filter(MBPF) was proposed and implemented. The ANC using MBPF for the reduction of the induction noise shows that more noise reduction as 4dB than without MBPF.

**Key words** : Intake noise(흡기소음), Noise reduction(소음저감), LMS algorithm(최소평균자승 알고리즘), Rapid acceleration(급가속), Moving bandpass filter:MBPF(가변대역 통과 필터)

### Nomenclature

$d(n)$  : desired signal

$e(n)$  : error signal

$H1(z), H2(z)$ : band pass filter

$\vec{x}(n)$  : reference signal

$\vec{y}(n)$  : control signal

$W(z)$  : adaptive filter

$S(z)$  : secondary path transfer function

$\hat{S}(z)$  : estimated secondary path transfer function

### Subscripts

(z) : Z-Transform of transfer function

\*To whom correspondence should be addressed.  
jeoh@ihanyang.ac.kr

### 1. 서론

자동차의 흡기소음은 자동차의 주요 소음원인 엔진에 대한 소음저감 노력이 진행되면서 배기소음과 함께 새로이 등장한 소음원 중 하나이다. 따라서 최근 흡,배기계에 대한 소음저감 연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다.

흡기 소음을 제어하는 방법은 수동적인 방법과 능동적인 방법으로 나눌 수 있다. 수동적인 방법은 흡음재와 차음재를 이용하는 방법과 현재 널리 사용되는 공명기를 사용하는 방법이 있다. 수동적인 방법은 500Hz의 저주파 대역에서는 소음저감 효과가 미미하고 공명기의 경우 엔진룸의 크기 및 다른 부품과의 연계성으로 인해 사용상 제한을 많이 받게 된다. 이에 반해 능동적인 방법은 참조신호를 이용하여 부가음원을 만들어 내고 이것을 가지고 제어를 수행하는 방식인데, 이는 공명기에 비해 설치공간이 비교적 작고 여러개의 공명주파수에 해당하는 소음을 제어할 수 있어 능동소음제어 방법은 최근 많은 관심이 집중되고 있다. 이러한 능동소음제어는 주로 LMS알고리즘이 사용된다. 이는 LMS알고리즘은 적응 알고리즘으로써 시간과 주변환경에 따라 변화하는 시스템의 전달함수를 실시간으로 구할 수 있기 때문이다. 하지만 실제 차량의 진동 소음 분야의 제어에는 LMS알고리즘의 성능을 보완한 Filterd-x LMS(FXLMS)알고리즘이 많이 적용되고 있다.

급가속시의 흡기 소음은 감속이나 정상주행 시보다 현저히 크기 때문에 이 경우에 주목할 필요가 있다. 급가속시 흡기 소음은 주파수와 크기가 급변하기 때문에 FXLMS알고리즘의 성능을 매우 떨어뜨리게 되고 심지어 LMS알고리즘의 안정성에 큰 영향을 미친다.<sup>9)</sup> 본 연구에서는 급가속시 발생하는 흡기소음에 대하여 제어성능을 향상시키고, 안정성을 보장할 수 있도록 참조신호에서 변화하는 주파수에 따라서 각각의 고조파만을 분리시킬 수 있는 Moving Bandpass Filter(MBPF)를 제안하고 이를 Hardware와 software로 하나의 Board로 구현하였다. MBPF와 Host Computer의 DSP(TMS320C32)에서 참조신호의 파워 변화에 의한 LMS알고리즘의 안정성을 개선한 Normalized FXLMS 알고리즘을 이용하여

흡기계의 ANC시스템을 구성하고 실제 실험을 통하여 급가속 상황에서의 능동흡기소음제어 성능을 개선시켰다.

### 2. 이론

#### 2.1 Filterd-x LMS(FXLMS) Algorithm

FXLMS알고리즘의 블록선도를 Fig. 1에 나타내었다. 부가경로 전달함수  $S(z)$  오차 센서와 제어 액츄에이터 사이의 전달함수  $S(z)$ 는 오프라인(off-line)으로 모델링 되도록 하며 그 예측치는  $\hat{S}(z)$ 로 표시한다. Fig. 1에서 제어신호  $\vec{y}(n)$ 을 발생시키기 위해 참조신호  $\vec{x}(n)$ 을 필요로 한다.

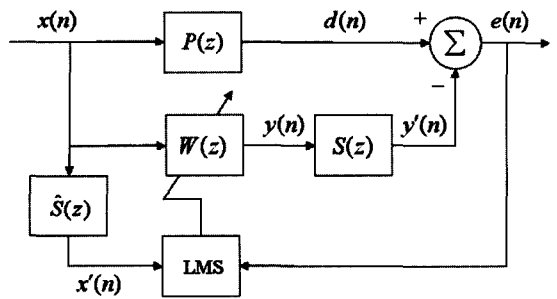


Fig. 1 Block diagram of ANC system using FXLMS algorithm

주음원(primary noise)으로부터의 원하지 않는 신호는 참조 신호 센서에 의해 관측되고 적응 필터  $W(z)$ 를 통하여 필터링 되어 오차 센서 신호  $e(n)$ 을 최소화하기 위하여 이 차음(secondary noise), 즉 제어음을 구동시키기 위하여 사용된다. 참조신호는 또한 적응필터  $W(z)$ 의 계수를 갱신하기 위해 사용되는 부가경로가 보상된 참조신호  $\vec{x}(n)$ 을 얻기 위하여 부가경로 전달함수의 예측치  $\hat{S}(z)$ 에 의해 필터링 된다. 부가경로 전달함수 예측치  $\hat{S}(z)$ 와 함께 적응필터  $W(z)$ 는 유한응답필터(FIR filter)로 구현된다. 시간  $k$ 에서의 오차신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 e(n) &= d(n) - \hat{y}(n) \\
 &= d(n) - s(n) * y(n) \\
 &= d(n) - s(n) * [\vec{w}^T(n) * \vec{x}(n)]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$s(n)$ 는 시간  $k$ 에서의 부가경로 전달함수  $S(z)$ 의 충격응답이며 \*은 선형 중첩(convolution)을 나타낸다.  $y(n)$ 는 제어신호로서 참조 신호를 주제어필터  $W(z)$ 에 통과시킴으로써 발생된다.

시간  $k$ 에서 주제어 필터  $W(z)$ 의 계수 벡터와 참조신호는 다음과 같다.

$$\vec{w}(n) = [w_0(n)w_1(n-1) \cdots w_{L-1}(n-L+1)]^T \quad (2)$$

$$\vec{x}(n) = [x(n)x(n-1) \cdots x(n-L+1)]^T \quad (3)$$

여기서,  $L$ 은 주제어 필터의 차수이다.

적용 필터의 목적은 순간 자승오차  $\hat{\zeta}(n) = e^2(n)$ 를 최소화시키는데 있다. 이 목적을 달성하기 위하여 사용되는 LMS 알고리즘은 다음과 같이 정의 된다.

$$\vec{w}(n+1) = \vec{w}(n) - \frac{\mu}{2} \nabla \hat{\zeta}(n) \quad (4)$$

$\nabla \hat{\zeta}(n)$ 는 시간  $k$ 에서의 평균 자승 오차의 순간 예측치 값이며 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \nabla \hat{\zeta}(n) &= \nabla e^2(n) \\ &= 2[\nabla e(n)]e(n) \\ &= -2\vec{x}(n)e(n) \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)를 식 (4)에 대입하면 FXLMS 알고리즘의 필터계수 갱신식은 다음과 같다.

$$\vec{w}(n+1) = \vec{w}(n) + \mu \vec{x}(n)e(n) \quad (6)$$

여기서,  $\mu$ 는 수렴 계수이며 이론적으로 안정하기 위해 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$0 < \mu < \frac{2}{LP_x} \quad (7)$$

### 2.2 급가속 참조신호의 LMS알고리즘의 성능

참조신호의 주파수 성분이 시간에 따라 변하는 경우 LMS알고리즘의 입력신호  $\vec{x}(n)$ 는 다음과 같다.

$$\vec{x}(n) = \sigma_s \exp \left[ j \left( \vec{w}_0 n T + \frac{\vec{w}}{2} (n T)^2 + \phi \right) \right] \quad (8)$$

여기서,  $w_0$ 는 초기주파수,  $\vec{w}$ 은 신호의 주파수 변화율,  $\sigma_s^2$ 은 신호의 파워,  $\phi$ 는 신호의 위상,  $T$ 는 샘플링 간격이다.

일반적인 LMS알고리즘의 가중치벡터 갱신알고리즘은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \vec{w}(n+1) \\ &= \vec{w}(n) + \mu [d(n) - \vec{x}(n)\vec{w}(n)] \vec{x}^*(n) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,  $\vec{w}(n)$ 는 시간  $n$ 에서의 필터 가중치벡터,  $d(n)$ 은 제어 시점에서 요구되는 신호,  $\vec{x}(n)$ 는 시간  $n$ 에서의 입력 신호 벡터, \* 켈레복소수,  $T$ 는 벡터 트랜스포즈이다.

입력신호  $\vec{x}(n)$ 가 시간에 대해 통계적으로 독립이며 현재의  $\vec{w}(n)$ 와  $\vec{x}(n)$ 가 확률적으로 독립이라 가정하고 (9)번 수식에 기대 값을 취하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E[\vec{w}(n+1)] &= E[\vec{w}(n)] \\ &+ \mu \{ \vec{R}_{dx}(n) - \vec{R}_{xx}(n) E[\vec{w}(n)] \} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서,  $\vec{R}_{xx}(n)$ 와  $\vec{R}_{dx}(n)$ 는 각각 입력신호의 자기 상관행렬과 입력신호와 Plant 출력신호의 상호 상관 벡터이다.

(10)번식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{R}_{xx}(n) = \sigma_n^2 \vec{I} + \sigma_s^2 \vec{D}(n) \vec{D}^H(n) \quad (11)$$

$$\vec{R}_{dx}(n) = \sigma_s^2 a(n) \vec{D}(n) \quad (12)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \vec{D}^T(n) &= [e^{jw_0 T} e^{jw T^2(n+1)} e^{-j\frac{w}{2} T^2} \cdots \\ &e^{jw_0 T M} e^{jw T^2(n+1)M} e^{-j\frac{w}{2} T^2 M^2}] \end{aligned} \quad (13)$$

$M$ 은 가중치 벡터의 개수,  $a(n)$ 는 플랜트를 FIR 필터로 표현 시 나타나는 계수이다. 식 (11)과 (12)를 (10)번식에 대입하여 정리하면 다음과 같은 필터 기대치에 대한 차분식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} E[\vec{w}(n+1)] &= \vec{I} \\ &- \mu (\sigma_n^2 \vec{I} + \sigma_n^2 \vec{D}(n) \vec{D}^H(n)) E[\vec{w}(n)] \\ &+ \mu \sigma_s^2 \vec{D}(n) \end{aligned} \quad (14)$$

식 (14)를 상계수를 갖는 차분방정식으로 만들고 이를 다시 변형시키면 식 (15)와 같은 정상상태에서 가중치 벡터의 기대치를 얻을 수 있다.

식 (15)에서 볼 수 있듯이  $E[\vec{w}_{ss}(n)]$ 의 위상은  $\vec{D}(n)$ 의 위상에 의해 영향을 받고 원소들 사이의 크기는  $[\vec{V} - (1 - \mu\sigma_n^2)\vec{I}]^{-1}$ 에 영향을 받는다. 이로부터 주파수 변화가 있을 때 가중치 벡터의 구성이 뒤쪽의 원소들이 앞쪽의 원소들보다 작아지는 경향을 확인할 수 있으며 필터의 길이가 길면 길수록 필터 뒤쪽 원소들의 값이 작아지게 됨을 알 수 있다. 따라서 주파수 변화에 덜 민감한 필터 뒤쪽이 원소들을 줄임으로써 LMS 알고리즘의 계산부담을 줄이고 빠른 수렴 성능을 확보할 수 있다.<sup>1)</sup>

$$\begin{aligned}
 E[\vec{w}_{ss}(n)] &= \vec{P}^{-1}(n)\vec{Z}_{ss} \\
 &= \frac{\mu\sigma_s^2[\vec{V} - (1 - \mu\sigma_n^2)\vec{I}]^{-1}\vec{D}(n)}{1 + \mu\sigma_s^2 \sum_{k=1}^M \frac{1}{e^{j\omega kT^2} - (1 - \mu\sigma_n^2)}}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

**2.3 Moving Bandpass Filter(MBPF)**

FXLMS 알고리즘은 급가속시와 같이 속도 변화가 큰 경우에는 효과적인 제어 성능을 얻을 수 없다. 이것은 LMS 알고리즘의 추종특성 때문인데 이를 보완하기 위하여 Fig. 2와 같은 Modified FXLMS 알고리즘을 제안하였다.<sup>1)</sup>

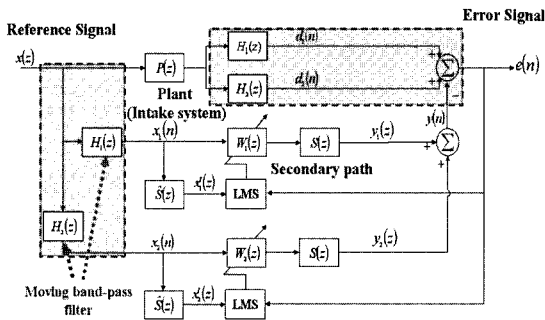


Fig. 2 Block diagram of MBPF in ANC system

Fig. 2에서  $H_1(z)$ 과  $H_2(z)$ 는 50Hz의 일정한 대역폭을 가지고 변화하는 대역통과 필터이다. 이러한

필터를 제안한 이유는 LMS 알고리즘의 추종성능 저하가 빠른 주파수 변화와 더불어 여러 차수의 조화 성분 때문에 발생하기 때문이다. Modified FXLMS는 측정된 흡기계의 급가속 소음신호를 조화 주파수 별로 분리를 시켜준다. 따라서 Modified FXLMS 알고리즘의 필터계수 갱신식은 다음과 같다.

$$\vec{w}_1(n+1) = \vec{w}_1(n) + \mu_1(n)\vec{x}_1(n)e(n) \tag{16}$$

$$\vec{w}_2(n+1) = \vec{w}_2(n) + \mu_2(n)\vec{x}_2(n)e(n) \tag{17}$$

**2.4 Normalized LMS Algorithm**

LMS 알고리즘의 안정성은 수렴계수와 참조신호에 의존하며 참조신호의 파워와 최대안정 수렴계수 사이에는 반비례관계가 성립한다. 따라서 참조신호의 파워가 시간에 따라서 변화하는 경우에는 고정된 수렴계수로 정상적인 제어 성능을 나타내지 못한다. 이러한 점을 보완하기 위해 참조신호의 파워에 대해 수렴계수를 정규화 하는 알고리즘이 Normalized LMS 알고리즘이다. 필터계수 갱신식은 다음과 같다.

$$\vec{w}(n+1) = \vec{w}(n) + \mu(n)\vec{x}(n)e(n) \tag{18}$$

$$\mu(n) = \alpha / L\hat{P}_x \tag{19}$$

여기서,  $\hat{P}_x$ 는 참조신호  $\vec{x}(n)$ 의 파워에 대한 추정치이고  $\alpha$ 는 0에서 2사이의 값이다.

흡기계의 급가속시 소음특성은 시간에 따라 참조신호 파워의 변화가 심하므로 LMS 알고리즘의 안정성을 보장하기 위하여 Normalized LMS Algorithm을 사용하였다.

**3. 능동흡기소음제어**

이 장에서는 기존의 FXLMS 알고리즘의 한계성에 대해 새로 제안한 Modified FXLMS 알고리즘을 실제로 구현한 Moving Bandpass Filter(MBPF)를 사용한 실험을 통하여 MBPF의 성능을 확인하였다.

**3.1 FXLMS 알고리즘의 성능한계**

대상계(흡기계)와 참조신호의 분석을 위하여 우

선 급가속 상태의 실차의 흡기소음을 마이크로폰(B&K, type4130)을 이용하여 2군데에서 측정하였다. 대상 차량은 4기통 엔진, 2400cc급의 승용차로 기어 2단인 상태에서 최대로 가속하였다.<sup>1)</sup>

Fig. 5로부터 흡기소음의 주요 성분이 엔진 폭발 주파수와 엔진 폭발 주파수의 조화 성분으로 구성되어 있음을 확인 할 수 있다. 따라서 속도 변화에 따른 FXLMS알고리즘의 성능 한계를 조사하기 위하여 엔진폭발주파수 성분과 그의 2차 조화성분만으로 구성된 시간에 따라 선형적으로 변화하는 참조 신호들을 가지고 FXLMS알고리즘으로 능동소음제어를 시뮬레이션 했고 이 결과로부터 자동차의 가속 정도가 증가 할 수록 FXLMS 알고리즘을 이용한 제어 성능이 저하 된다.<sup>1)</sup> 또한 필터 차수를 30으로 하고 수렴계수를 안정성 범위 내에서 최대 값을 사

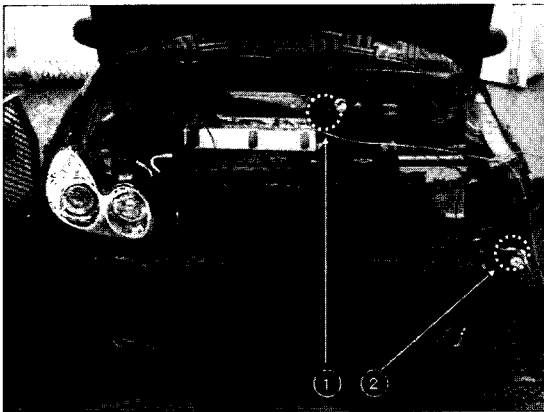


Fig. 3 The experimental vehicle(⊙: measuring point)

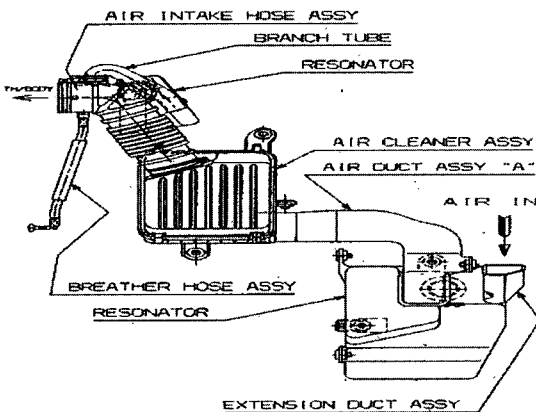
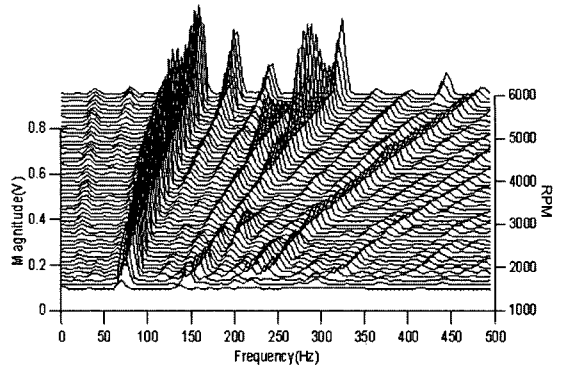
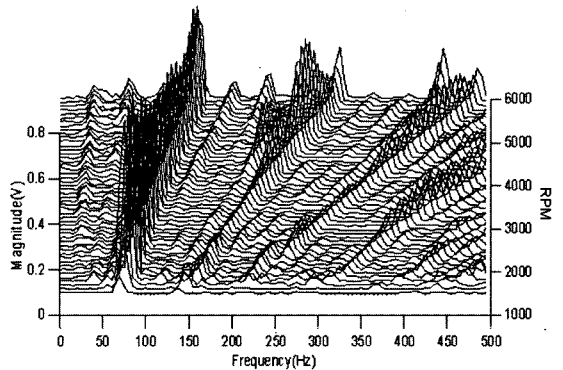


Fig. 4 The scheme of intake system



(a) Measuring point ①



(b) Measuring point ②

Fig. 5 The intake noise of the experimental vehicle

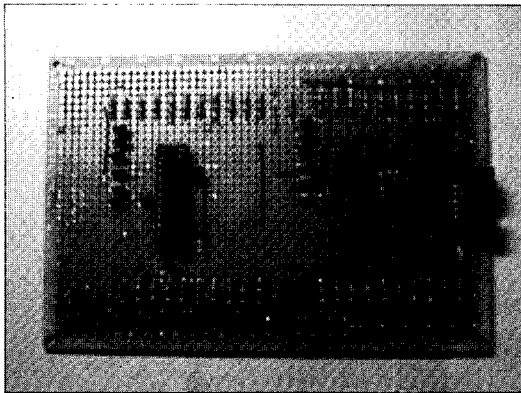
용하면 FXLMS알고리즘의 추종성능이 참조신호의 주파수가 시간에 따라 변하는 경우라도 저하되지 않는 것을 알 수 있다.<sup>1)</sup>

### 3.2 MBPF를 이용한 능동소음제어

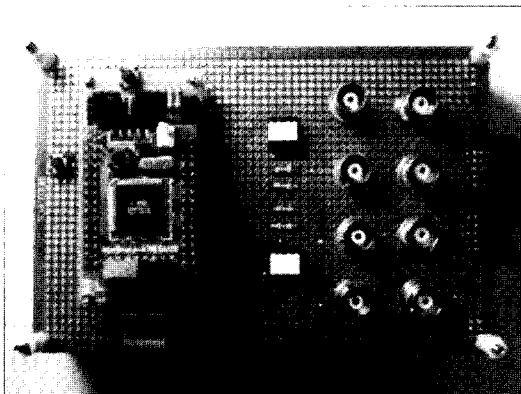
#### 3.2.1 MBPF의 구현

MBPF는 National Semiconductor 사의 MFCC10이라는 Chip과 AVR microprocessor를 가지고 구현하였다. MFCC10는 Switched Capacitance Technology를 이용한 필터로서 원하는주파수에서 필터링 특성을 얻기 위해 입력되는 Clock을 조정해준다. 이 Clock은 AVR microprocessor에서 참조신호를 가지고 FFT를 수행 한 후 만들어 준다.

Fig. 6에 제작된 MBPF를 나타내었다. Fig. 6의 (a)는 MFCC10을 이용한 MBPF이며 (b)는 MBPF가 제대로 된 필터링을 수행 할 수 있도록 하기 위해 즉, MBPF가 급가속 흡기신호의 주파수 변화에 따라 통



(a) The MBPF using dual switching capacitor filter



(b) The AVR, photo coupler and MBPF's interface

Fig. 6 The MBPF board using MF10 and AVR

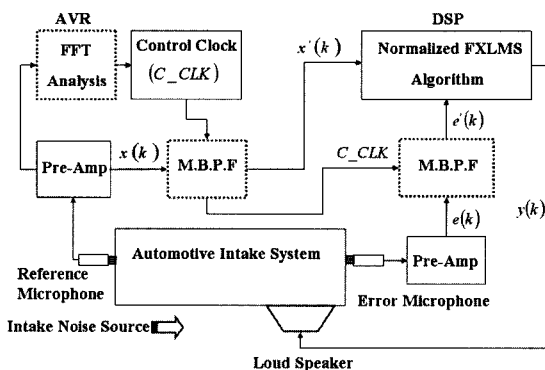


Fig. 7 The block diagram of ANC for intake system using MBPF and normalized FXLMS

과 대역을 변경하는 것을 제어하기 위해 사용한 AVR microprocessor(Fig. 6(b)의 좌측 모듈)와 인터페이스(Fig. 6(b)의 우측) 그리고 디지털 시스템과 아날로그 시스템을 전기노이즈 없이 연결시키기 위

한 Photo coupler(Fig. 6(b)의 중심)이다. 여기서 AVR 은 Fig. 3의 ①번에서 측정된 참조신호를 가지고 128 Point FFT를 수행하여 급가속 흡기계의 주파수 변화에 대한 정보를 얻어 낸다. 이 두 Board를 이용하여 능동소음제어를 수행하는 Block Diagram을 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에서 AVR Microprocessor는 Microphone에서 측정된 참조신호를 FFT분석하여 MBPF가 능동소음제어를 수행할 조화성분만을 필터링할 수 있도록 Control Clock을 발생시켜 주는 역할을 한다. Control Clock에 1/50 혹은 1/100에 해당하는 주파수로 MFCC10의 중심 주파수가 맞추어 진다. Control Clock은 참조신호를 필터링 시키는 입력측의 MBPF와 오차신호를 필터링 시키는 출력측의 MBPF에 동시에 입력되어 두 MBPF의 동작을 동기화 시켜주게 된다. 이렇게 필터링된 참조신호  $x'(n)$ 와 오차신호  $e'(n)$ 를 가지고 DSP에서 Normalized FXLMS 알고리즘을 통하여 능동 소음제어를 수행하게 된다. 본 논문에서는 식 (16)에 해당하는 제 1 고조파 성분에 대해서만 능동소음제어를 수행하여 MBPF를 사용한 제 1 고조파 성분과 사용하지 않은 제 2 고조파 성분의 소음저감 효율을 비교하였다.

### 3.2.2 MBPF의 동작

Fig. 6의 MBPF의 동작을 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8은 Fig. 3의 Point ①에서 측정된 참조신호를 MBPF가지고 1차 조화 성분만을 필터링 한 결과를 나타 낸 것이다. Fig. 5(a)에서 나타낸 것과 같이 측정된 참조신호에서는 여러 차수의 조화 성분들이 혼합되어 있지만 MBPF를 가지고 1차 조화 성분만을 필터링 했을 때 1차 조화 성분을 제외하고는 거의 사라지는 것을 확인할 수 있다.

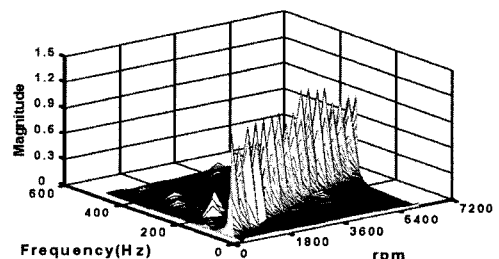


Fig. 8 Operation of MBPF

### 3.2.3 MBPF를 이용한 능동소음제어

급가속 흡기계의 능동소음제어 실험은 2단 급가속시 주파수와 크기의 급격한 변화를 보이는 Fig. 3의 측정점 ①에서 실측한 데이터를 가지고 이것을 실제 대상 자동차와 동일한 흡기계에 측정점 ①지점에서 재생시키면서 수행 하였다. Fig. 9는 이렇게 재생한 급가속 흡기 소음신호를 Normalized FXLMS로 능동소음제어를 수행 한 결과이고 Fig. 10은 Normalized FXLMS와 본 연구에서 제안한 MBPF를 이용하여 능동소음제어를 수행한 결과이다.

Normalized FXLMS 알고리즘만을 가지고 능동소음제어를 수행했을 경우 평균 1dB의 소음제어성능을 보인 반면 Normalized FXLMS와 MBPF를 동시에 사용한 능동소음제어에서는 엔진의 폭발주파수의 1차 고조파 성분을 평균 5dB 저감되었다. 능동소음제어 결과 Fig. 9와 Fig. 10에서 엔진의 폭발주파수의 1차 고조파 성분외에 다른 고조파 성분은 같은 결과를 보이는 것은 MBPF의 저감 성능을 비교하기 위하여 1차 고조파 성분만을 필터링 하도록 MBPF

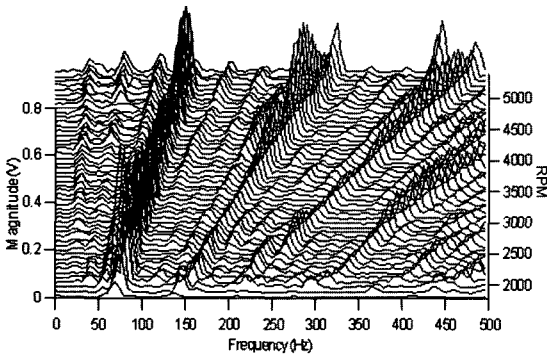


Fig. 9 After control using normalized FXLMS

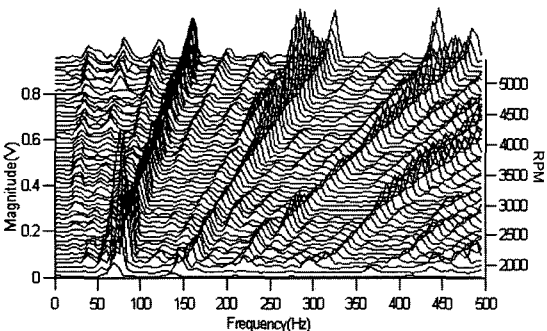


Fig. 10 After control using normalized FXLMS with MBPF

를 1채널만 사용하였기 때문이다. 두 알고리즘의 능동소음제어 결과에서 확인 할 수 있듯이 MBPF는 본 연구에서 능동소음제어 알고리즘으로 사용된 Normalized FXLMS의 추종 성능을 높여주어 제어성능을 평균 4dB 향상시켰다.

## 4. 결론

본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 자동차의 급가속 흡기소음의 능동소음제어시 MBPF를 이용하면, 엔진의 폭발 주파수와 그 조화성분을 따로 따로 분리시킬 수 있고 급가속시 변하는 주파수를 추적하여 대역통과 필터링을 할 수 있다.
- 2) 자동차의 급가속 속도에 맞춰 필터링시킨 참조신호와 오차신호를 가지고 Normalized FXLMS 알고리즘으로 능동소음제어를 MBPF를 사용하지 않았을 때 보다 평균 4dB의 급가속 흡기 소음 저감 효과를 얻을 수 있다.
- 3) 본 연구에서는 ‘급가속시 자동차 흡기계의 능동소음제어 성능향상<sup>1)</sup>’에서 제안되어 시뮬레이션을 통해 검증된 Modified FXLMS 알고리즘을 Hardware와 Software를 사용해 MBPF Board로 구현하였고 MBPF와 Normalized FXLMS 알고리즘을 이용한 ANC시스템을 통하여 급가속 흡기 소음 저감 효과를 검증하였다.

## References

- 1) C. H. Lee, J. E. Oh, Y. Y. Lee and J. Y. Lee, “The Performance Improvement for an Active Noise Control of Automotive Intake System Under Rapidly Accelerated Condition,” Transactions of KSAE, Vol.11, No.6, 2003 .
- 2) H. S. Kim, J. S. Hong and J. E. Oh, “Active Noise Control with the Active Muffler in Automotive Exhaust Systems,” JSME International Journal Series C, Vol.41, No.2, pp.178-183, 1997.
- 3) Y. Nishio and T. Kohama, “New Approach to Low-Noise Air Intake System Development,”

- SAE 911042, 1991.
- 4) S. M. Kuo, D. R. Morgan, Active Noise Control Systems Algorithms and DSP Implementations, John Wiley & Sons, NewYork, 1996.
  - 5) T. Y. Lee, J. Shin, H. S. Kim and J. E. Oh, "The Study on the Multi-Channel Active Noise Control for Noise Reduction of the Vechile Cabin 1: Computer Simulation," Jounal of KSAE, Vol.14, No.5, 1992.
  - 6) T. C. Kim and S. B. Hong, "Noise Control of an Air Intake System For a Four-Cylinder Engine," KSNVE 1996 Autumn Annual Conference, pp.77-83, 1996.
  - 7) Y. Tu and C. R. Fuller, "Multiple Reference Feedward Active Noise Control Part1: Analysis and Simulation of Behavior," JSV, Vol.233, No.5, pp.745-759, 2000.
  - 8) Ian R. McLean, "Active Control of Automotive Air Induction Noise via Source Coupling," SAE 2001011613, 2001.