

# 경험 모드 분석법을 이용한 FXLMS 알고리즘

남명우\*, 박진홍\*

\*해전대학 디지털전자디자인과

e-mail : mwnam@hj.ac.kr

## FXLMS Algorithm using Empirical Mode Decomposition

Myung Woo Nam\*, Jin Hong Park\*

\*Dept. of Digital Electro Design, Hyejeon College

### 요 약

소음은 현대 사회에서 쉽게 접하게 되는 환경 오염원이다. 능동소음제어(Active Noise Control)는 발생된 소음을 제거하기 위해 구현이 간단한 LMS 알고리즘을 많이 사용하고 있다. 그러나 LMS 알고리즘은 수렴 속도와 소음신호의 변화속도에 따라 발산의 위험을 가지고 있다. 본 논문에서는 이러한 LMS의 문제점을 보완하기 위해 경험 모드 분석법을 이용한 feedback FXLMS(Filtered-X Least Mean Square) 알고리즘을 제안하였다. 소음제거 시스템의 출력단에서 검출된 잔차소음을 경험 모드 분석법(Empirical Mode Decomposition)을 이용하여 IMF 신호들로 분해하고, 분해된 각 신호를 FXLMS 알고리즘을 이용하여 수렴시킨 후, 결과들을 다시 결합하여 소음 제거에 이용하였다. 각각의 IMF 신호를 FXLMS 알고리즘으로 수렴시킬 때 수렴속도에 변화를 주어 소음제거의 효율성을 높였다. 제안한 알고리즘을 Matlab을 이용하여 시뮬레이션하였고 기존의 FXLMS 알고리즘보다 향상된 수렴속도 및 안정성을 가짐을 입증하였다.

### 1. 서론

소음은 일상생활뿐 아니라 산업현장에서도 중요한 안전요소로서 사람의 청력 및 정신에 많은 영향을 미쳐 업무효율을 떨어뜨리고 안전사고를 유발시키기 쉽다. 최근에는 생활수준이 향상됨에 따라 쾌적한 환경과 근무의 효율성 등을 고려하여 소음공해에 대한 관심이 증가하고 있으며 이데 대한 연구 및 제품 개발이 활발히 이루어지고 있다.

발생된 소음을 제거하기 위해서는 소음의 전달경로를 막아 소음을 줄이는 방법과 소음원의 소음을 저감시키는 방법, 수음자에 대한 제어방법 등이 있다. 소음이나 진동을 방지하는 소음 및 진동제어에 대한 연구는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 먼저 소음원으로부터 소음을 적게 방출시키는 방법, 두 번째로 흡음, 차음 등의 부가적인 방법으로 소음을 줄이는 수동적인 방법, 마지막으로 소음을 줄이기 위해서 부가적인 소음원을 사용하는 능동소음제어(active noise control) 방법이 있다. 이 중에서 수동적인 방법은 대부분의 전기적·기계적 소

음인 500Hz보다 작은 저주파 소음에 대해서는 구조물의 크기가 커져야 하는 많은 제약이 따른다[1]. 따라서 이런 수동 소음제어의 단점을 극복하기 위해 저주파 소음에 대해 탁월한 효과를 보이는 ANC(active noise control)가 최근 많이 연구되고 있다. ANC 시스템은 DSP(Digital Signal Processing) 기술의 발전으로 경량화와 고속화가 가능하게 되어 최근 항공기의 소음제어나 전자장치의 소음제어에 많이 적용되고 있다.

본 논문에서는 ANC에서 주로 사용되는 LMS 알고리즘이 가지고 있는 수렴 속도에 따른 발산의 위험을 해결하기 위해 경험 모드 분석법을 이용한 feedback FXLMS 알고리즘을 제안하였다. 소음제거 시스템의 출력단에서 검출된 잔차소음(residual error signal)을 경험 모드 분석법(Empirical Mode Decomposition)을 이용하여 IMF 신호들로 분해하고, 분해된 각 신호를 FXLMS 알고리즘을 이용하여 수렴시킨 후, 결과들을 다시 결합하여 소음 제거에 이용하였다. 각각의 IMF 신호를 feedback FXLMS 알고리

증으로 수렴시킬 때 수렴속도에 변화를 주어 소음제거의 효율성을 높였다. 제안한 알고리즘을 Matlab을 이용하여 시뮬레이션 하였고 기존의 feedback FXLMS 알고리즘보다 향상된 수렴속도와 안정된 결과를 얻을 수 있었다.

## 2. feedback ANC

소음은 분포된 주파수 범위에 따라 광대역(wideband) 소음과 협대역(narrowband) 소음으로 분류될 수 있다. 광대역 ANC에는 광대역 소음 제거를 위해 다양한 알고리즘들이 사용되고 있으나 잡음을 효과적으로 제거하려면 수백 개의 단으로 이루어진 적응 필터를 필요로 하며, 이러한 필터들은 많은 연산량과 느린 수렴 속도의 원인이 된다[2][3]. 이러한 문제는 경험 모드 분석법을 이용한 feedback ANC를 이용하여 보완될 수 있다. 경험모드 분석법은 광대역 소음을 몇 개의 단일 주파수 성분인 IMF 신호들로 나누어 주므로 적응 필터의 차수가 현저히 줄어들고 수렴 속도가 빨라지는 장점을 가진다.

그림 1은 일반적인 feedback ANC의 구성도이다.

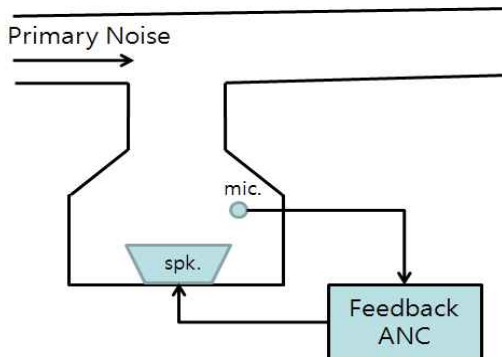


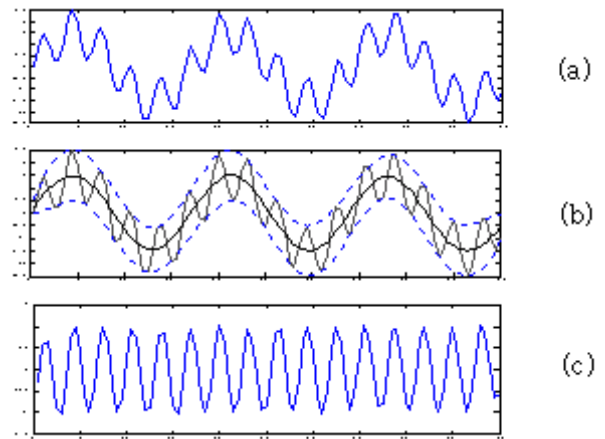
그림 1. feedback ANC의 구성도

### 2.1. 경험모드분석법(EMD)을 이용한 feedback FXLMS 알고리즘

EMD(Empirical Mode Decomposition) 방법은 다중 주파수 성분으로 구성된 신호를 단일 주파수 성분 신호인 IMF들로 분류해 내는 것이다. IMF는 각 주기에서 영 교차하고, 국부적으로 다른 복잡한 파형을 포함하지 않은 주파수 성분을 가지는 파형을 의미한다[4]. IMF로 분해된 성분들은 식 (1)과 같이 IMF 성분들과 나머지 잔차신호의 합으로 나타낼 수 있다[5].

그림 2는 EMD 방법을 이용하여 잡음신호의 IMF를 구하는 과정을 설명하고 있다. 먼저 (b)와 같이 잡음신호의 국부적 극대 값들로 상단 포락선과 하단 포락선을 고차 스플라인

(spline)을 사용하여 구한다. 상,하단 포락선의 평균값을 잡음신호 (a)에서 빼주면 (c)와 같은 신호가 나오며, 이 신호가 IMF조건을 만족한다면 첫 번째 IMF 신호가 된다. 만약 조건을 만족하지 못한다면 (c) 신호를 가지고 같은 과정을 되풀이 한다. 최종적으로 더 이상 IMF를 구할 수 없게 되면 식 (1)과 같이 IMF신호와 잔차신호(residual signal)로 잡음 신호를 나타낼 수 있다.



(a) 잡음신호 (b)EMD과정 (c) 잡음신호와 평균값의 차

그림 2. EMD과정의 예

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t) \quad (1)$$

$r_n(t)$ 는 잔차신호,  $c_j(t)$ 는 IMF 각각의 성분을 의미하며, IMF 값들을 feedback FXLMS 알고리즘에 입력으로 사용하여 출력신호를 생성한다. 아래 그림 3과 4에 제안한 알고리즘의 흐름도를 보였다.

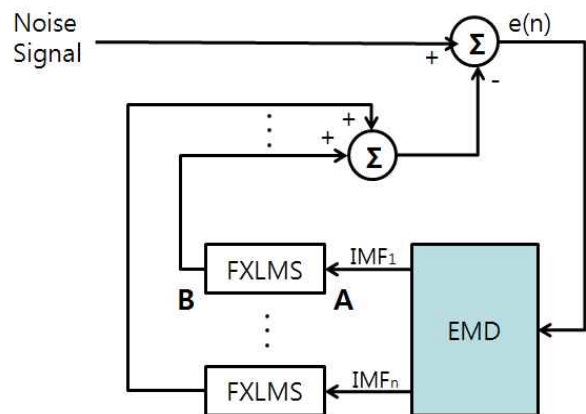


그림 3. EMD를 이용한 feedback FXLMS 소음제거 흐름도

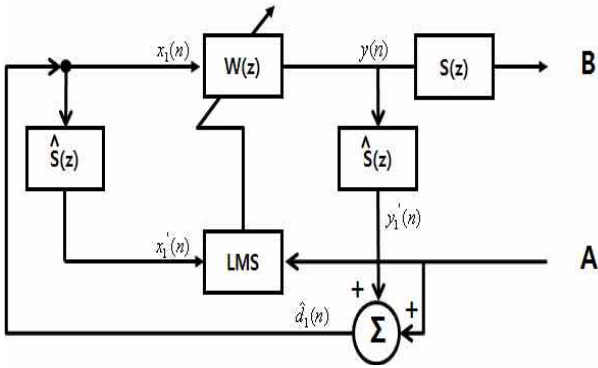
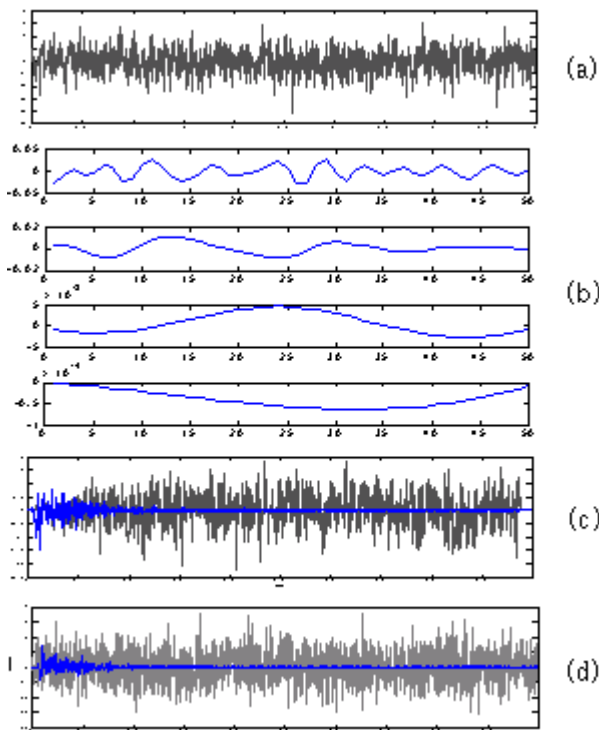


그림 4. FXLMS 흐름도

### 3. Matlab을 이용한 시뮬레이션

제안한 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 Matlab을 이용해 시뮬레이션을 수행하였다. 입력으로 사용된 소음은 랜덤 함수로 임의의 노이즈를 생성한 것이며, 그림 (5)는 시뮬레이션 결과들이다. 그림 3의 EMD에 입력된 잔차소음은 에너지가 큰 순서대로 정렬되어 그림 4의 FXLMS의 입력 A로 사용된다. 그리고 얻어진 출력신호 B는 다시 더해져서 발생된 소음을 제거하기 위해 반대 위상을 가진 신호로 출력되게 된다.



(a) 잡음신호 (b)  $e(n)$ 의 IMF들 (c) 기존의 FXLMS 결과  
(d) 제안한 방법의 결과

그림 5. sig1에 대한 실험결과

IMF는 차수가 높아질수록 저주파 성향이 크게 나타나며, 이러한 IMF의 특성을 이용하여 IMF의 차수가 높아질수록 수렴계수의 값을 작게 하는 방법으로 각각 다른 수렴계수를 적용하였다.

시뮬레이션 결과인 그림 5의 (c)와 (d)를 비교해 보면 기존 방법보다 제안한 방법의 결과가 안정된 상태에서 소음이 빠르게 제거되어지는 것을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 능동소음제어에 이용되는 LMS 알고리즘이 수렴속도에 의해 발생되는 문제점을 보완하기 위해 경험 모드 분석법을 이용한 feedback FXLMS 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 Matlab을 이용하여 시뮬레이션하였고 입력신호에 단일 수렴계수를 사용한 기존의 방법보다 향상된 수렴 속도와 안정된 결과를 얻을 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] P.M. Joplin and P.A. Nelson, "Active control of low-frequency random sound in enclosures", J. Acoustic. Soc. Am., Vol. 87, No. 6, 1990
- [2] Bharath Siravara et al., "A novel approach for single microphone active noise cancellation", Speech and Audio Processing., 45th IEEE MWSCAS Conference, 2002
- [3] Sen M. Kuo, Dennis R. Morgan(1996), "Active Noise Control Systems", John Wiley & Sons. pp.187-212
- [4] 이인재 외 3인(2005), "경험모드분리법을 이용한 감쇠 진동신호의 분석", 한국소음진동공학회논문집 제15권 제2호, p192-198
- [5] N. E. Huang et al(1998), "The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis", Proceedings of the Royal Society of London, A. 454, 903-995
- [6] 박진홍,남명우, "PCB산업현장의 능동소음제어" 전자공학회논문지 제42권 TE편 제4호 41-46, 2005.