

다중음/단일채널 능동소음제어를 이용한 변압기의 소음저감에 관한 연구

박우용, 김성중, 이부원, 이옥륜*, 손석만*, 이준신*, 안경덕**, 김영달
 한밭대학교, 마이크로 S&V 콘트롤(주)*, 한국기계연구원**, 한전전력연구원***

A study of noise reduction for transformer using multi-tone/single-channel active noise control

Woo-Yong Park, Sung-Joong Kim, Boo-Won Lee,

*Ouk-Ryun Lee, *Sock-Man Shon, *Jun-Sin Lee, **Kyoung-Duck An, Young-Dal Kim

*Hanbat National University. *Korea Electric Power Research Institute, **Micro S&V Control Ltd

Abstract - 본 연구에서는 변압기의 주 소음원인이 되는 120[Hz]와 240[Hz] 및 360[Hz] 주파수에 대한 다중음/단일채널 적응 능동제어기법을 이용한 능동 제어시스템을 구성하였다. 이 능동 제어시스템을 이용하여 변압기에서 발생되어 나오는 소음을 저감시켰고 모의실험을 통해 소음이 감쇄되는 것을 확인하였다.

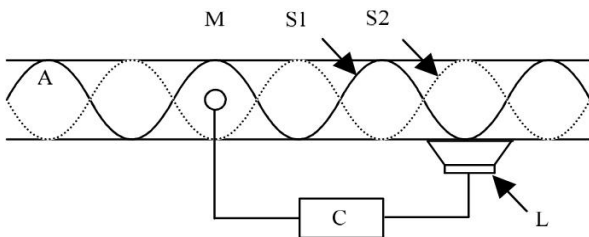
1. 서 론

고도화된 산업발전 및 경제성장으로 인하여 여러 가지의 환경문제가 사회문제로 크게 대두되고 있고 특히 소음공해에 대한 관심이 증대되고 있어 이에 대한 연구가 환경문제의 해결에 중요한 과제가 되고 있다. 특히 발전소 및 변전소 등에서 발생하는 전기기계 소음과 발전기 및 전동기 등에서 발생하는 회전기계에 의한 극심한 소음으로 인하여 많은 피해를 초래하고 있다. 그 예로 인근의 주민에게 많은 피해와 근로자들의 작업환경 악화, 이로 인하여 작업능률 감소가 증가하고 있고, 전력수요의 증가 및 도시화로 인해 도심지내에 기존 변전소의 설비의 증설 또는 주거지역내 변전소 신설이 필요하나 변전소의 주 소음원인 변압기 소음피해는 줄어들지 않고 있으며 향후 지속적으로 증가 될 것으로 예상하고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 소음공해로 인한 소음피해를 줄이기 위한 대책으로 변압기에서 발생되어 나오는 소음저감 방법을 제시하였다.

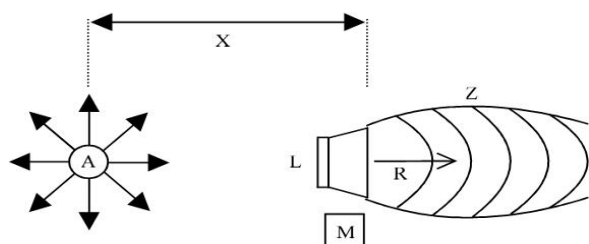
2. 적응능동소음제어의 원리 및 기법

2.1 적응능동소음제어 원리

능동 소음제어의 기본 원리는 1차 음원과 크기가 같고 위상이 반대인 2차 음원의 신호를 서로 중첩시키는 것으로, 이 중첩의 원리로 상쇄 간섭을 유도하여 소음이 감소되도록 하였으며, 이는 인위적인 음향을 소음과 혼합하여 상쇄 간섭이 되도록 유도하는 소리의 능동적 감쇄 개념을 도입한 것으로 그림 1과 2에 나타내었다.[1-3]



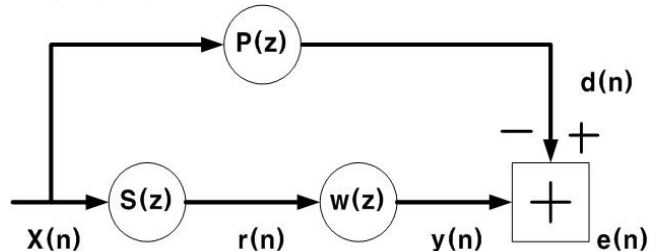
〈그림 1〉 덕트에 적용한 능동소음제어 개념도



〈그림 2〉 공간상에 적용한 능동소음제어 개념도

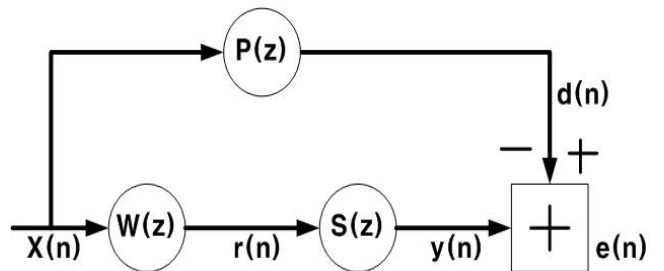
2.2 적응능동소음제어 기법

능동 소음제어 기법은 제한제어 기법과 전향제어 기법으로 나뉜다. 제한제어 기법은 제어하고자 하는 소음을 기준 마이크로폰(이하 센서라 한다)으로 검출하지 않고 오차센서 주위에 소음을 최소화시키는 국부제어 방식으로 소음을 포함한 모든 잡음을 제거할 수 있기 때문에 여러 소음이 혼합되어 소음이 큰 곳에 효과적으로 적용될 수 있다.[4-5] 그러나 전체 시스템에는 제한루프가 형성되어 시스템이 불안정해질 수 있기 때문에 오차센서 주변의 소음신호를 예측하기 위한 적응 예측기를 이용하고 1차 소음 검출용인 기준 센서를 제거하여 전향제어 기법에서 발생되었던 음향 제한 문제를 해결할 수 있는 적응 제한제어 기법의 장점도 있다. 또한 전향제어 기법은 1차 소음원에 대한 사전 지식을 얻을 수 있을 때 사용이 가능하며, 다른 음향과 무관한 원하지 않는 소음만 제거할 수 있어 덕트 또는 3차원 폐공간에 많이 응용되고 있다. 이러한 전향제어 기법을 이용한 능동 소음제어 시스템의 블록선도는 다음 그림 3과 같다.[6] 그림에서 $x(n)$ 은 소음원에서 검출된 신호이고, $e(n)$ 은 $x(n)$ 이 1차 경로를 통과한 신호로 오차센서에서 검출되는 신호이다. 또 $r(n)$ 은 2차 경로를 통과한 신호이며 $y(n)$ 은 제어필터의 출력으로 $d(n)$ 과의 차는 오차 신호 $e(n)$ 이 된다. $W(z)$ 은 FIR 또는 IIR 필터를 이용한 제어필터이고, $S(z)$ 은 스피커 입력과 센서의 출력사이에서 음향경로의 전달함수이며 이를 2차 경로 전달함수라 하고, $P(z)$ 은 1차 소음원의 전달 경로의 전달함수로 1차 경로 전달함수라 한다.[7-9]

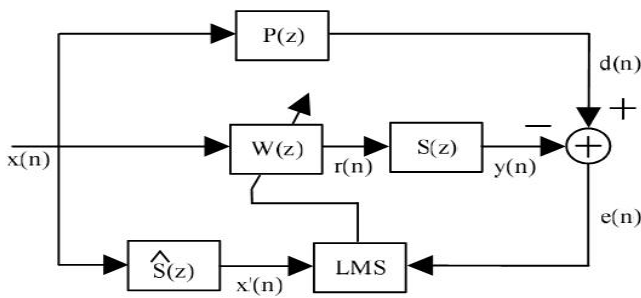


〈그림 3〉 능동 소음제어 시스템의 블록선도

제어 알고리즘으로는 일반적인 LMS 알고리즘을 사용하는데 이때 $e(n)$ 은 $d(n)$ 과 $y(n)$ 의 차이므로 $e(n)$ 을 제한시켜 필터 파라미터를 계속 추정하면 제어 필터가 발산할 가능성이 있기 때문에 시스템을 안정하게 하기 위해 제어 필터와 2차 경로 전달함수의 순서를 바꾸어 다시 나타내면 그림 4와 같은 전향제어 기법의 능동 소음제어 시스템의 블록선도가 된다.

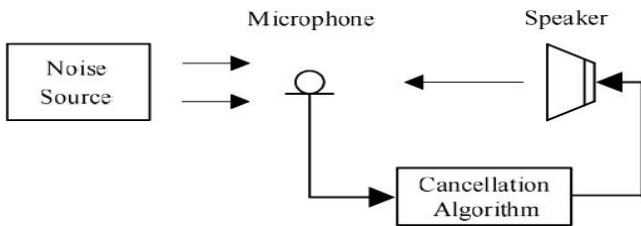


〈그림 4〉 전향제어 기법을 이용한 능동 소음제어 시스템



〈그림 5〉 FXLMS 알고리즘을 이용한 전향 능동 소음제어 시스템의 블록선도

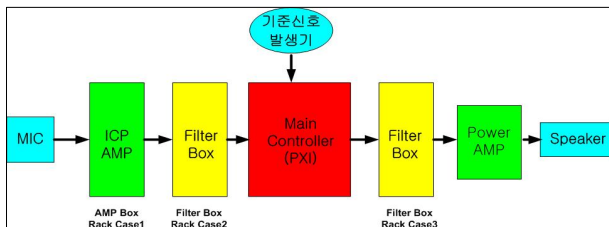
그림 5와 같이 FXLMS 알고리즘에서는 입력 $x(n)$ 대신에 2차 경로 모델로 필터링된 신호 $r(n)$ 를 사용하며, 2차 음원과 오차센서 사이의 음향 전달경로 $S(z)$ 에 대한 정보가 필요하다. 그러므로 2차 경로 전달함수 $S(z)$ 를 해석적으로 구할 수 없으므로 일반적인 능동 소음제어 시스템에서는 파라미터 추정기법을 이용하여 구한 $\hat{S}(z)$ 를 적용한다. 이러한 전향제어 기법은 기준 센서부터 감지된 신호와 오차 센서로 입력된 신호의 상관 관계를 이용함으로써 오차 센서에서 감지된 잉여 소음신호를 최소화시키는 방법으로 소음 저감에 효과적으로 적용된다. 그러나 기준 센서에 2차 음원의 제어 신호가 음향회환이 되어 시스템의 안정도가 파괴되거나 성능 저하를 가져오는 문제점이 발생하게 된다. 단일 센서를 이용한 능동 소음제어 시스템을 아래 그림 6에 나타내었다. 제어 스피커는 두 개의 센서를 사용하는 경우와 같이 2차 음원만을 방사시키는데 사용되며, 하나의 센서를 이용하는 이 시스템에서는 1차 음원과 2차 음원의 신호를 동시에 측정하여 제어 알고리즘에 입력한다.



〈그림 6〉 단일 센서를 이용한 능동소음 제어 시스템

3. 실험방법 및 결과

다중음/단일채널 능동제어시스템의 하드웨어구성은 그림 7과 같이 구성하였으며, 모의실험을 통해 그 결과를 알아보았다.[10]

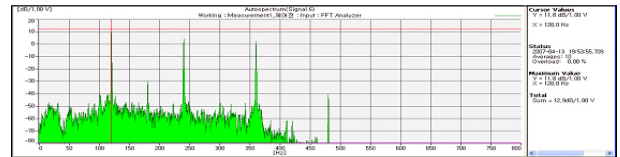


〈그림 7〉 능동소음제어 하드웨어 구성도

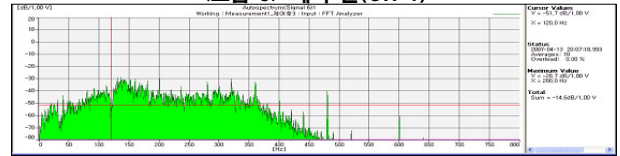
그림 8에서 그림 9까지는 능동제어 전,후의 실험결과를 나타내었고 그림 10은 능동제어 전과 후의 결과파형을 한번에 확인할 수 있도록 겹쳐놓은 파형이다.

그림 8에서 보여지듯이 특정 채널 120[Hz]와 240[Hz] 및 360[Hz]에서는 소음이 높게 나타났지만 그림 9의 능동제어 후의 특정 채널에서는 소음이 현저히 감소됨을 알 수 있었다. 이것은 곧 능동제어시스템이 올바르게 작동되고 있다는 것을 증명할 수 있었다.

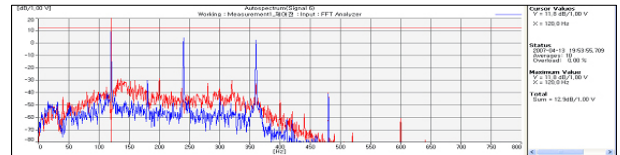
3.1 모의실험 측정결과



〈그림 8〉 제어 전(CH 1)



〈그림 9〉 제어 후(CH 2)



〈그림 10〉 제어 전과 제어 후(CH1/CH2)

4. 결 론

본 연구에서는 다중음/단일채널 능동소음제어를 이용한 운전 중 변압기 소음저감에 관한 모의실험을 수행하였다. 그 결과로 능동제어시스템의 동작으로 인하여 특정 채널에서의 소음이 현저히 감소하게 되었고 또한 운전 중 변압기 소음 감쇠시스템 개발을 위한 기초 연구를 달성하였다. 아직까지 국내에서 흡음장치와 능동소음제어를 이용한 소음 감쇠시스템 상용화 연구에 성공한 사례가 없기에 시장성이 매우 좋을 것으로 판단된다.

국내의 시장으로는 환경에서 운영 중인 변압기와 원자력 발전소의 변압기 및 타 발전소의 변압기에 1차적으로 적용하고자 하며, 차 후 대형빌딩의 지하에서 운영 중인 변압기에도 적용할 수 있을 것이다. 이와 같이 현재 운전 중인 변압기에 적용할 경우, 발전소 인근 주민으로부터 발생하는 민원을 해소할 수 있을 뿐만 아니라, 발전소나 발전소에서 근무하는 작업자들의 직업병을 해소하며, 작업능률 향상에 크게 기여할 것이므로 환경문제가 사회문제화 되는 현 시점에 매우 중요하게 적용될 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] B. Widrow, J. M. McCool, and M. G. Larimore, C. R. Johnson, "Stationary and Nonstationary Learning Characteristics of the LMS Adaptive Filter", Proc. of the IEEE, Vol.64, No.8, pp.1151-1162, 1976.
- [2] S. J. Elliott, and P. A. Nelson, "Active Noise Control", IEEE signal proc. magazine, pp.12-35, Oct., 1993.
- [3] P. L. Feintuch, N. J. Bershad, and A. K. Lo, "A Frequency Domain Model for "Filtered" LMS Algorithm - Stability Analysis, Design, and Elimination of the Training Mode -", IEEE Trans. on Signal Processing, Vol.41, No.4, pp.1518-1531, 1993.
- [4] T. Hayashi, A. Enamito, and S. Suzuki, "A Study on Active Control in 3-Dimensional Space (Location of Evaluation Microphone for minimizing total acoustic power)", Trans. of The Japan Society of Mechanical Eng., Vol.60, No.575, pp.2293-2298, 1994.
- [5] T. Hayashi, A. Enamito, and S. Suzuki, "A Study on Active Noise Control in 3-Dimensional Space (Approximation Error in the Estimation of Acoustic Power Reduction)", Trans. of The Japan Society of Mechanical Eng., Vol.62, No.593, pp.104-109, 1996.
- [6] J. Lu, M. M. Shafiq, and T. Yahagi, "Model reference adaptive control for MIMO nonminimum phase discrete-time systems using approximate inverse systems", T. IEE Japan, Vol.116-C, No.5, pp.570-576, 1996.
- [7] 김영달 외 2, "변압기 소음제어를 위한 음향시스템의 동특성 해석 및 전달함수 추정", 한국조명·전기설비학회지, 제13권, 제3호, 1998.
- [8] 김영달 외 1, "단일센서 방식의 적응소음제어", 한국소음진동공학회지, 제10권, 제6호, pp.941~948, 2000.
- [9] 김영달 외 2, "적응 모델을 이용한 단일채널 능동소음제어", 대한전기학회, 제49-D권, 제8호, pp.442~450, 2000.
- [10] 김영달, "주변압기의 소음저감 및 소음기 개발에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회논문지, 제20권, 제1호, pp.111~118, 2006.