

멀티톤/멀티채널의 FXLMS 알고리즘을 이용한 변압기 소음제어에 관한 연구

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

A study of transformer noise control using multi-tone/multi-channel of filtered LMS algorithm

Woo-Yong Park, Sung-Joong Kim, Boo-Won Lee, *Jong-Hwa Lee, **Bong-Gi Kim,
 ***Ouk-Ryun Lee, ***Jun-Sin Lee, *Kyoung-Duck An, Young-Dal Kim

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

Abstract - 본 연구에서는 대용량변압기의 주 소음원인 120[Hz]와 240[Hz] 및 360[Hz] 주파수에 대한 다중음을 다채널(4채널)의 FXLMS 알고리즘을 적용한 변압기 소음 감쇠시스템을 구축하고 현장실험을 통해 소음이 저감되는 것을 확인하였다.

1. 서 론

산업 및 경제의 발달에 따라 여러 가지의 환경문제가 사회문제로 크게 대두되고 있으며 특히 소음공해에 대한 관심이 증대하고 있어 이에 대한 연구가 매우 활발하게 이루어지고 있어 소음의 저감화는 환경문제의 해결에 중요한 과제가 되고 있다.[1] 전력수요의 증가 및 도시지역의 확대로 도심지내 기존 변전소의 설비 증설 또는 주거지역내 변전소 신설이 필요하나, 도심지내 변전소의 주 소음원인 변압기 소음으로 인한 소음피해 민원이 발생하고 있으며, 향후 민원이 지속적으로 증가될 것으로 예상되고 있다.

능동소음제어는 2차 음원(인위적인 소음)을 사용하여 소음과 동일한 진폭과 반대의 위상을 갖는 인공 음을 발생시켜 중첩시킴으로써[2] 소음의 음압레벨을 줄이는 방법으로 저주파를 제어하기에 적합하며 소음의 진행경로를 차단하는 수동적인 방법과 달리 적은 무게와 작은 부피로 인해 공간과 비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

본 연구의 대상인 변압기 소음은 소음·진동규제법에 명확히 변압기라고 명시된 것은 없으나, 소음·진동규제법 제39조의 생활소음·진동의 규제에 준하고, 소음·진동규제지역의 범위와 별표 15 제2항의 생활소음규제기준의 “공장·사업장 또는 건축설비에서 발생하는 소음”에 준하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 변전소 주변 거주자의 쾌적한 소음환경 제공 및 변전소 근무자의 청력 보호를 위해 본 연구의 필요성이 있다 할 수 있겠다.

따라서 본 연구에서는 변압기에서 발생되어 나오는 소음을 줄이는 방법으로 다중음/다채널의 FXLMS 알고리즘을 적용한 전향능동소음제어를 이용하여 변압기의 소음을 저감에 관해 현장 적용 연구를 하였다.

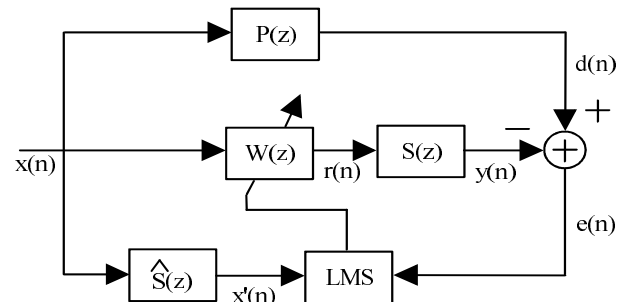
2. 본 론

2.1 적응 능동소음제어 기법.

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 것이다.

적용한 능동 소음제어 기법은 FXLMS 알고리즘을 사용한 전향제어 기법을 사용하였다. <그림 1>에서 음향경로의 전달함수 $S(z)$ 을 안다고 가정했을 때 Widrow 등에 의해 제안된 FXLMS 알고리즘을 사용하여 제어필터의 파라미터를 구할 수 있으나, $S(z)$ 을 모르거나 시변이면 FXLMS 알고리즘을 적용하기 전에 먼저 $S(z)$ 을 추정하여야 한다[3][4]. 일반적으로 스피커와 센서의 거리가 가까울 때는 보통 $S(z)$ 을 1로 둘 수 있으나 3차원 자유공간에서 소음제어의 경우에는 그렇게 할 수 없으므로 off-line으로 $S(z)$ 을 추정한다. 만일 $S(z)$ 이 시변일 경우 발산하거나 오차가 커질 수도 있으므로 $S(z)$ 를 매 스텝마다 추정하면서 이를 이용하여 $W(z)$ 을 구하는 적응 능동제어 기법이 적용되어야 한다.

따라서 제어필터의 출력과 오차센서 사이에 2차 경로 전달함수가 존재하므로 일반적인 LMS알고리즘을 이용할 경우 계통이 불안정해질 수 있으므로 FXLMS 알고리즘을 적용한다. 이를 FXLMS 알고리즘을 이용한 전향 능동 소음제어 시스템으로 다음<그림 1>에 나타내었다[3][4].

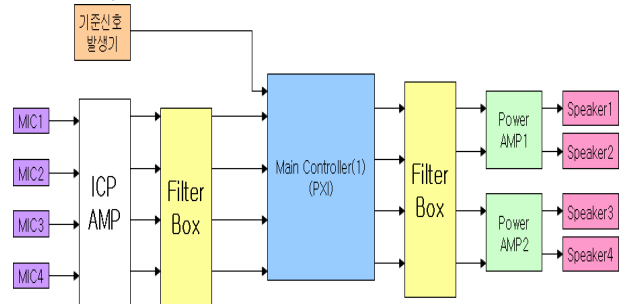


<그림 1> FXLMS 알고리즘을 이용한 전향 능동 소음제어 시스템의 블록도

<그림 1>과 같이 FXLMS 알고리즘에서는 입력 $x(n)$ 대신에 2차 경로 모델로 필터링된 신호 $r(n)$ 을 사용하며, 2차 음원과 오차센서 사이의 음향 전달경로 $S(z)$ 에 대한 정보가 필요하다. 그러므로 2차 경로 전달함수 $S(z)$ 을 해석적으로 구할 수 없으므로 일반적인 능동 소음제어 시스템에서는 파라미터 추정기법을 이용하여 구한 $\hat{S}(z)$ 을 적용한다. 이러한 전향제어 기법은 기준 센서부터 감지된 신호와 오차 센서로 입력된 신호의 상관관계를 이용함으로써 오차 센서에서 감지된 잉여 소음신호를 최소화시키는 방법으로 소음 저감에 효과적으로 적용된다. 그러나 기준 센서에 2차 음원의 제어 신호가 음향 제환이 되어 시스템의 안정도가 파괴되거나 성능 저하를 가져오는 문제점이 발생하게 된다.[5]

2.2 실험방법 및 결과

다중음/다채널 전향능동제어시스템의 하드웨어구성은 <그림 2>와 같이 구성하였으며, 실제 운전 중인 154[kV] 60[MVA] 변압기에 적용하였다.



<그림 2> 능동소음제어 하드웨어 구성 블록도

또한 현장실험 조건에 따라 여러 가지의 결과를 얻을 수 있으나 그 중에 다음 <그림 3>, <그림 4>과 같은 경우를 측정하여 비교분석하였다.

2.2.1 현장실험 조건

실험조건은 다음과 같으며, 셔터 문을 닫았을 때와 열었을 때를 비교 분석 하였으며, 마이크의 위치와 스피커의 방향에 따라 비교 측정하였다. <그림 5>와 같이 측정 위치를 나타낸 도면이다



<그림 3> 실험조건 1~2



<그림 4> 실험조건 3~4

<표 1> 현장실험조건

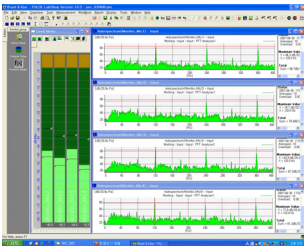
항 목	조건 1	조건 2	조건 3	조건 4
서티상태	닫힘	열림	닫힘	열림
마이크와 스피커 간격	10cm	10cm	10cm	10cm
변압기와 스피커 간격	1m	1m	사진참조	사진참조
스피커 방향	변압기 정면	변압기 정면	변압기 반대방향	변압기 반대방향



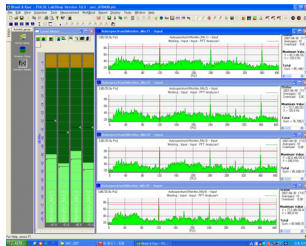
<그림 5> 현장실험 측정위치점 도면

2.2.2 현장실험 측정결과

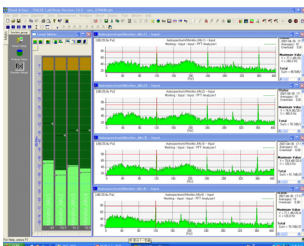
위의 실험조건에 따라 제어전과 제어 후의 측정결과 파형이다



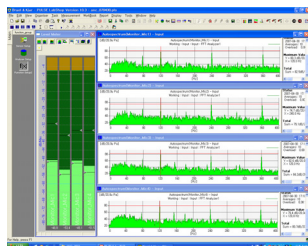
<그림 6> 조건 1의 제어 전



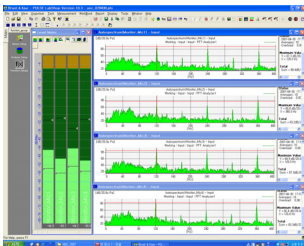
<그림 7> 조건 1의 제어 후



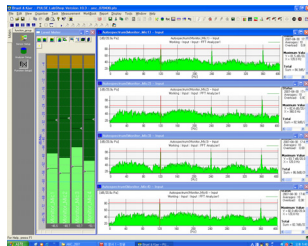
<그림 8> 조건 2의 제어 전



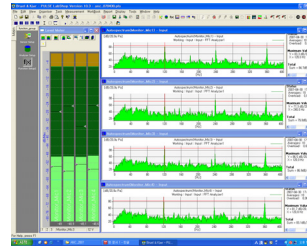
<그림 9> 조건 2의 제어 후



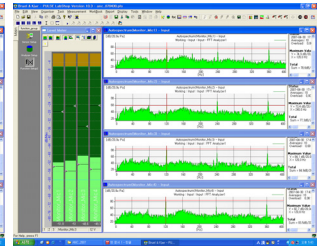
<그림 10> 조건 3의 제어 전



<그림 11> 조건 3의 제어 후



<그림 12> 조건 3의 제어 전



<그림 13> 조건 3의 제어 후

2.2.3 현장실험 분석

현장실험을 통해 <표 2>와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 공간이 사면으로 폐쇄된 경우와 한쪽 면이 오픈된 경우를 살펴보았다. 결과를 통해 오픈된 공간이 감쇄효과가 큰 것을 알 수 있었다.

<표 2> 현장실험의 소음 감쇄량[dB] 비교

측정위치	조건1	조건 2	조건3	조건4
1	1.6	2.0	4.1	6.1
2	2.7	0.4	0.3	2.5
3	2.0	2.5	0.5	2.0
4	0.3	1.0	0.6	-0.4

3. 결 론

본 연구에서는 다중음/다채널의 FXLMS 알고리즘을 적용한 전향 능동소음제어시스템을 이용한 운전 중 변압기 소음저감에 관한 현장실험을 수행하였다. 그 결과 한 면이 오픈된 공간에서 6(dB) 정도의 소음을 감쇠시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 운전 중 변압기 소음 감쇠시스템 개발을 위한 기초 연구를 달성하였다. 이와 같이 현재 운전 중인 변압기에 적용할 경우, 변전소 인근 주민으로부터 발생하는 민원을 해소할 수 있을 뿐만 아니라, 변전소나 발전소에서 근무하는 작업자들의 직업병을 해소하며, 작업능률 향상에 크게 기여할 것이므로 환경문제가 사회문제화 되는 현 시점에 매우 중요하게 적용될 것으로 사료된다.

이 논문은 산업자원부 전력산업기반기금센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. O. Tokhi, and R. R. Leitch, "Active Noise Control", Clarendon Press Oxford, 1992.
- [2] P. Leug, "Process of Silencing Sound Oscillations", U.S. Patent No. 2,043,416, 1936.
- [3] S. J. Elliott, C. C. Boucher, and P. A. Nelson, "The behavior of a multiple channel active control system", IEEE Trans. of Signal Proc., Vol.40, No.5, pp.1041-1052, 1992.
- [4] B. Widrow, et.al., "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall, 1987.
- [5] C. F. Ross, "An algorithm for designing a broadband active sound control system", J. Sound and vibration, Vol.80, No.3, pp.373-380, 1982.
- [6] 김영달, 정창경, 심재명, "변압기 소음제어를 위한 음향시스템의 동특성 해석 및 전달함수 추정", 한국조명·전기설비학회지, 제13권, 제3호, 1998.
- [7] 김영달, 장석구, "단일센서 방식의 적응소음제어", 한국소음진동공학회지, 제10권, 제6호, pp.941~948, 2000.
- [8] 김영달, 이민명, 정창경, "적용 모델을 이용한 단일채널 능동소음제어", 대한전기학회, 제49-D권, 제8호, pp.442~450, 2000.
- [9] 김영달, "주변압기의 소음저감 및 소음기 개발에 관한 연구", 한국조명·전기설비학회논문지, 제20권, 제1호, pp.111~118, 2006.