

## Active multi-peak noise control에 의한 대용량 변압기 소음감쇄시스템

박우용, 이대동, 심재명, 김영달  
한밭대학교

### The power transformer noise reduce system of Active multi-peak noise control

Woo-yong Park, Dea-dong Lee, Jea-myoung Sim, Young-dal Kim  
Hanbat National University

**Abstract** - 소음이 심각한 환경공해로 인식하면서 쾌적한 생활환경을 만들기 위한 다각적인 노력이 진행되고 있으며, 또한 많은 민원이 증가되고 있는 추세이다. 특히 도심 인근에 설치된 대용량 변압기에서 발생하는 소음은 근무자의 작업 환경을 열악케 하는 직접적인 요인이 될 뿐만 아니라 정신적인 스트레스를 받게 되어 작업능률 저하되고 인접한 주민들의 일상생활 환경을 저해하는 요인이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 변압기의 멀티피크소음을 줄이는 능동소음제어시스템을 개발하고 현장실험을 통해 확인하고자 한다.

#### 1. 서 론

산업의 발달과 소득의 증대에 따라 쾌적한 환경에서 살고자하는 삶의 욕구가 증대되고 이에 따라 많은 전력소비가 증가되고 있다. 이러한 전력수요의 증가와 도심지역의 확대로 도심지의 기존변전소에 변압기를 증설하거나 주거지역에 새로운 변전소의 건설이 요구된다. 특히 도심지의 변압기에서 발생하는 소음은 생활환경 보전요구의 증대로 최근에 많은 문제점을 제기하고 있다.

최근 변압기의 소음 저감에 대한 주민들의 요구에 따라 한국전력공사에서도 운전 중인 변압기를 대상으로 방진패드의 설치, 방음벽의 설치, 본체 탱크의 밀폐 등을 시행하여 왔으며, 옥내 방음문, 방음보조셔터 및 통풍형 방음장치 설치의 외부대책을 시행하여 왔다[1]. 또한 최근 전력연구원을 중심으로 전력용변압기 제작사인 (주)효성, 현대중공업(주) 및 일진중공업(주) 등이 저소음 변압기 개발이 이루어지고 있다[2].

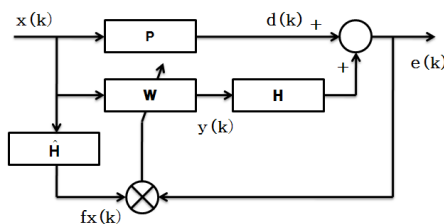
그러나 이러한 저소음변압기가 개발단계로 적용되지 않고 있어 변전소에서 운용하는 변압기에서 발생하는 소음으로 인해 주변 민가에서의 소음민원이 증가되고 있는 추세이며, 이에 따라 변전소 건설 및 운영에 차질이 발생한 물론 추가적인 경비 지출이 발생하고 있다. 특히, 주거지역의 확대로 인해 대용량 변압기 (60[MVA]급 이상)를 운용중인 변전소 주변에 민가가 새로이 들어서면서 대용량 변압기에 대한 소음 저감이 절실히 요구된다.

따라서 본 연구에서 하고자 하는 능동소음제어는 2차 음원을 사용하여 소음과 동일한 진폭과 반대의 위상을 갖는 인공 음을 발생시켜 중첩시킴으로써 소음의 음압레벨을 줄이는 방법으로 저주파를 제어하기에 적합하고 보다 저렴한 가격에 높은 소음 저감성능을 확보할 수 있는 시스템을 개발하고, 현장실험을 통해 그 성능을 확인하고자 한다[3-5].

#### 2. 본 론

##### 2.1 FXLMS 알고리즘

대형 변압기 소음은 60Hz의 주파수 신호에 의해 자속이 120회 교번되며, 코아와 코일에 의해 노이즈가 야기된다. 그리고 소음의 전달경로가 온도, 습도, 장애물들의 여러 가지 요소들로 시변하는 시스템이기 때문에 정확한 모델링이 어렵다는 단점이 있다. 그러나 변압기의 진동이나 진류로부터 기준신호를 측정하기가 용이하며, 이러한 기준신호를 측정할 수 있는 복잡한 구조물의 제어가 가능하다. 또한 효과적인 전향제어 방법을 이용하여 제어하는 것이 바람직하다.



<그림 1> FXLMS 알고리즘의 블록도

LMS 알고리즘에서는 제어출력이 직접 오차 신호를 측정하는 센서에 잡히는 구조를 가지고 있다. 즉, 센서와 가진기가 같은 위치에 있어야 한다. 그러나 대부분의 경우에 있어서는 부가가진기와 센서는 그 위치가 다르므로 LMS 알고리즘을 바로 적용할 수 없게 된다.

본 연구에서는 대형 변압기의 소음을 소음 및 진동에 많이 사용되고 있는 LMS방법을 근거로 한 Filtered-X LMS 알고리즘을 이용하여 제어하도록 한다. 제어출력으로부터 센서까지의 시스템이 존재할 때, 이를 고려하여 수정된 Filtered-X LMS알고리즘을 적용하였으며, 블록선도는 <그림 1>과 같이 나타내었다.

$\hat{H}$ 는 오차계의 모델이며 길이가  $L_k + 1$ 인 FIR필터로 가정한다. FXLMS 알고리즘은 LMS 방법에서와 동일하게 순간에러 제곱인  $e^2(k)$  최소화하기 위해 최급하강법을 이용한다. 제어기  $W$ 의 입력은  $x(k)$  신호이고, 출력은  $y(k)$ 이다. 오차계 모델과 오차계가 같다고 가정할 때 오차 신호는

$$e(k) = d(k) + \sum_{j=0}^{L_k} h_j y(k-j) \quad (1)$$

$$= d(k) + \sum_{i=0}^{L_k} \sum_{j=0}^{L_k} h_i w_i(k-j) x(k-i-j)$$

가 된다. 한편 적용 필터의 계수는

$$w_i(k+1) = w_i(k) - \mu \nabla_i(k) \quad (2)$$

와 같이 갱신되며, 순간 기울기는  $w_i(k) \approx w_i(k-1) \approx \dots \approx w_i(k-L_n)$ 를 만족한다고 가정할 때 즉, 적용 필터의 계수가 천천히 변한다고 가정할 때, 다음과 같이 구해진다.

$$\nabla_i(k) = \frac{\partial e^2(k)}{\partial w_i(k)} = -2e(k) \sum_{j=0}^{L_k} h_j x(k-i-j) \quad (3)$$

그러므로 필터계수 갱신식은

$$w_i(k+1) = w_i(k) - 2\mu e(k) \sum_{j=0}^{L_k} h_j x(k-i-j) \quad (4)$$

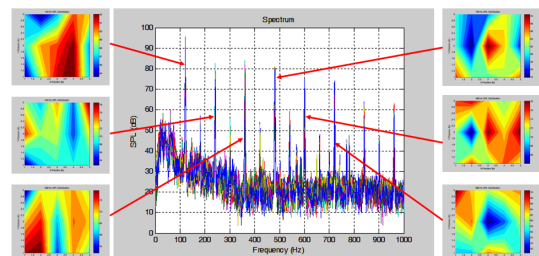
$$\equiv w_i(k) - 2\mu e(k) f_x(k-i)$$

가 된다.

여기서  $f_x(k)$ 는 기준신호가 오차계 모델을 통과한 신호이다[6].

##### 2.2 변압기 소음 분석 및 ANC 시스템 구성

대형 변압기의 소음을 측정분석하기 위해 <그림 4>의 우측에 배치한 에러마이크로폰 위치에서의 측정하였으며, 각 주파수에 대한 소음 맵을 <그림 2>와 같이 나타내었다. 그 결과, 각 주파수 120Hz는 95.55[dB], 240Hz는 82.59[dB], 360Hz는 84.07[dB], 480Hz는 80.62[dB], 600Hz는 75.05[dB], 720Hz는 72.56[dB]로 각각 최대치를 나타내었다.



<그림 2> 변압기 소음 맵과 주파수와의 관계

또한 변압기의 멀티 피크 소음을 저감하기 위한 능동제어시스템의 하드웨어의 ANC시스템은 <그림 3>과 같이 제작하였다. 현장실험을 위해 <그림 4>의 좌측과 같이 20채널까지 적용할 수 있는 시스템을 제작하였으며, 현재 운전 중인 154[kV] 60[MVA] 3상 변압기에 15채널까지 적용하여 실험하였다.



<그림 3> ANC시스템 시작품



<그림 4> 다채널 ANC시스템 및 제어출력 위치

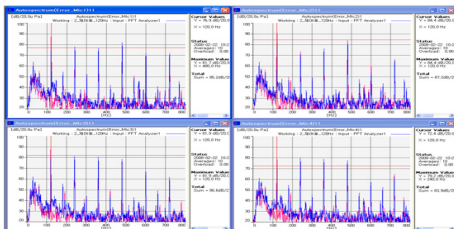
**2.3 현장실험 측정 및 분석**

현장 실험하는데 조건은 <표 1>과 같이 수행하였으며, <그림 4>의 우측과 같이 15개소에서 제어를 하였으며, 소음측정 위치는 <그림 4>의 우측 하단과 같이 4개소에서 실시하였다.

또한 제어주파수 120Hz, 240Hz, 360Hz의 단일 음과 그 주파수들을 조합한 다중 음에 대한 데이터를 측정하였다. 그 결과 120Hz에서는 <표 1>의 실험조건 1과 같이 하였으며, <그림 5>와 <표 2>에서 보는 바와 같이 측정위치-1에서 약 13.1[dB]로 크게 감소하였다.

<표 1> 현장 실험조건

| 제어 항목         | 실험조건 1 | 실험조건 2 | 실험조건 3 |
|---------------|--------|--------|--------|
| 서터문 상태        | 단합     | 단합     | 단합     |
| 제어주파수         | 120Hz  | 240Hz  | 360Hz  |
| Main AMP Gain | 50%    | 50%    | 50%    |
| 기준신호 각 주파수 레벨 | 80%    | 80%    | 50%    |
| 기준신호 전체레벨     | 80%    | 80%    | 80%    |

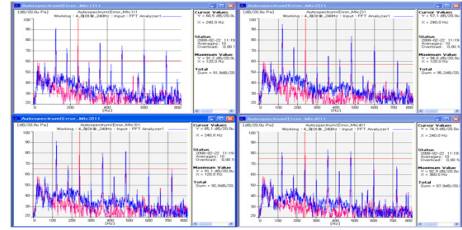


<그림 5> 120Hz 단일음 측정 파형

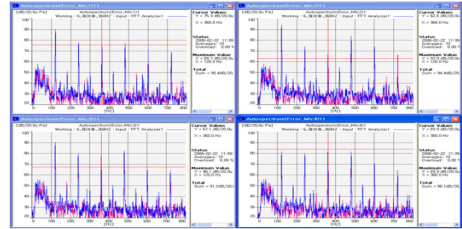
240Hz에서는 <표 1>과 같은 실험조건 2로 구성하여 실험하였으며, <그림 6>과 <표 2>와 같이 측정위치-1에서 약 16.3[dB] 감소되었으며, 또한 360Hz에서는 <표 1>의 실험조건 3으로 <그림 7>과 <표 2>와 같이 측정위치-3에서 약 14.0[dB] 감소됨을 알 수 있었다.

최적의 능동소음제어기가 이루어지는 경우를 찾기 위해 여러 가지 조건에서 실험을 수행하였다. 단일주파수뿐만 아니라 두 개 이상의 주파수를 합성하는 방법과 개별주파수로 제어하는 방법 그리고 소음 맵과 유사한 기준신호의 주파수와 크기로 제어하는 방법들을 수행하였다. 그 결과 각 측정위치에서 각 주파수별로 평균을 구하였는데

<표 2>와 같은 결과를 얻었으며, 전체적으로 9.45[dB]가 감소하였다.



<그림 6> 240Hz 단일음 측정 파형



<그림 7> 360Hz 단일음 측정 파형

<표 2> 현장 조건에서의 각 주파수별 측정 평균

| 주파수    | 위치-1[dB] | 위치-2[dB] | 위치-3[dB] | 위치-4[dB] | 조건평균 |       |
|--------|----------|----------|----------|----------|------|-------|
| 120Hz  | 제어전      | 90.0     | 93.8     | 90.3     | 81.7 | 88.95 |
|        | 제어후      | 76.9     | 84.4     | 81.9     | 72.4 | 78.90 |
|        | 감쇄량      | 13.1     | 9.4      | 8.4      | 9.3  | 10.05 |
| 240Hz  | 제어전      | 76.8     | 72.2     | 80.1     | 82.0 | 77.78 |
|        | 제어후      | 60.5     | 57.1     | 65.1     | 74.9 | 64.40 |
|        | 감쇄량      | 16.3     | 15.1     | 15.0     | 7.1  | 13.38 |
| 360Hz  | 제어전      | 76.4     | 70.5     | 81.1     | 80.6 | 77.15 |
|        | 제어후      | 75.3     | 62.6     | 67.1     | 83.9 | 72.22 |
|        | 감쇄량      | 1.1      | 7.9      | 14.0     | -3.3 | 4.92  |
| 감쇄량 평균 | 10.17    | 10.80    | 12.47    | 4.37     | 9.45 |       |

**3. 결 론**

본 연구에서는 FXLAMS 알고리즘을 적용한 능동소음제어시스템을 이용한 운전 중 변압기 소음감쇄에 관한 현장실험을 수행하였다. 멀티 피크 소음에 대하여 120Hz, 240Hz, 360Hz만을 고려하였으나 실제 멀티 피크 소음원과 비교해 보면 480Hz에서는 80[dB]이상의 소음이 발생하였으며, 600Hz, 720Hz에서도 70[dB]이상으로 무시할 수 가 없는 피크 주파수가 발생됨을 알 수 있었다. 그러므로 향후 멀티 피크 소음에 대한 제어주파수를 720Hz까지로 확대할 필요가 있으며, 폐공간에서의 반사음에 대한 대책이 절실히 요구되었다. 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 것으로 기대된다.

이 논문은 산업자원부 전력산업기반기금센터의 지원에 의해 수행되었습니다.

**[참 고 문 헌]**

[1] 이준신 외, “의정부 변전소 소음저감방안 적용연구”, 전력연구원, pp.1~60, 2003.  
 [2] 권동진 외, “저소음 변압기 기술동향”, 조명·전기설비학회지, 제20권, 제6호, pp.54~62, 2006.  
 [3] 김영달, 이민명, 정창경, “적용 모델을 이용한 단일채널 능동소음제어”, 대한전기학회, 제49-D권, 제8호, pp.442~450, 2000.  
 [4] 김영달, “주변압기의 소음저감 및 소음기 개발에 관한 연구”, 한국조명·전기설비학회논문지, 제20권, 제1호, pp.111~118, 2006.  
 [5] 박우용 외, “멀티톤/멀티채널의 FXLMS 알고리즘을 이용한 변압기 소음제어에 관한 연구”, 대한전기협회 하계학술대회 논문지, p.379~380, 2007.  
 [6] Sen M. Kuo, et al., “Active Noise Control Systems Algorithms and DSP Implementations”, John Wiley & Sons, 1996.