論 文
57-12-13

옥외 변전소 변압기의 소음레벨 기준에 대한 연구

A Study on Standards of Transformer Noise Level for Outdoor Substation

具 敎 善† · 權 東 震* · 郭 周 植**
(Kyo-Sun Koo · Dong-Jin Kweon · Ju-Sik Kwak)

Abstract - Customer complaints on noise from the power transformer have been increased because of their concerns on environment. In order to solve fundamental noise problem of the transformer, KEPCO and domestic transformer manufacturers are developing 55 dBA class low noise transformers. To check accordance of the noise abatement law, we study relation between transformer noise level and substation border noise level. We present 'noise level of the substation border' under operating conditions and transformer noise level change. We also present an appropriate noise level of the transformer that satisfy the noise abatement law for outdoor substations.

Key Words : Power transformer, Noise, Prediction, Acoustic attenuation, Outdoor substation

1. 서 론

변압기 소음은 환경정책기본법, 소음·진동 규제법의 시행규칙, 공장·사업장 또는 건축설비에서 발생하는 소음 및 생활소음 규제기준에 준하여 소음배출 허용기준을 주간 55dB, 야간 45dB로 엄격하게 규제하고 있다[1-2]. 그러나 국내 전력용 변압기(154kV, 45/60MVA)의 소음레벨 기준치는 79dB로서 환경정책기본법 및 소음·진동규제법과 큰 차이를 보이고 있다. 이로 인하여 변압기 소음에 의한 민원이 발생하고 있으며, 향후 지속적으로 증가될 것으로 예상된다[3-4].

일반적으로 소음민원을 해결하기 위하여 옥외 변전소에 방진패드 설치, 방음벽(일반방음벽, 투명방음벽, 공명형 방음벽) 설치 및 변압기 탱크밀폐 등을 시행하고 있다[4]. 이러한 소음대책은 민원 발생이 예상되는 지역으로 소음이 전파되는 것을 차단하는 방식으로, 민가가 근접해 오거나 변전소 설비증설 등 변전소 환경 변화에 따라 소음대책을 재수립해야 하는 경우가 발생하고 있다. 이러한 문제점 해결을 위한 근본 대책으로는 소음원 자체의 소음레벨을 낮추는 것이 중요하며, 이를 위해 한전과 국내 변압기 제작사는 공동으로 154kV 변압기의 소음을 저감시키는 연구가 진행되고 있다[5].

변압기 자체 소음저감으로 근본적인 소음문제를 해결하기 위해서는 변압기 설치시 변전소 경계지역의 소음레벨이 소음규제기준인 45dB 이하를 만족시켜야 한다. 따라서 변전소 경계지역의 소음레벨이 소음규제기준을 만족시킬 수 있는 변압기 소음레벨 기준을 설정할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 변압기 소음레벨 변화에 따른 변전소 경계지역의 소음을 예측하고, 소음규제 기준을 만족시키는 변압기 소음레벨을 제시하였다. 또한 변압기 증설로 인한 경계지역의 소음레벨 변화를 예측하고, 차음설비와 저소음 변압기의 소음저감 효과를 비교·검토하였다.

2. 소음예측

변전소 경계지역의 소음레벨은 변압기 소음이 확산·전파되면서 감쇠되는 소음과 지면이나 구조물의 흡음으로 감쇠되는 소음을 계산함으로써 예측할 수 있으며, 변압기 1bank로 인한 변전소 경계지역의 소음 L_s는 식 (1)과 같이 계산된다[6-9].

$$L_s = L_t - A_{div} - A_{atm} - A_{ground} - A_{screen}\ [dB] \quad (1)$$

여기서, L_t : 변압기 1bank의 주파수별 소음레벨
A_{div} : 소음확산에 의한 소음감쇠량
A_{atm} : 공기중 흡음에 의한 소음감쇠량
A_{ground} : 지면의 흡음에 의한 소음감쇠량
A_{screen} : 구조물의 흡음에 의한 소음감쇠량

변압기는 2bank에서 4bank까지 수량을 달리하여 운전하므로 각각의 bank 별로 소음레벨을 계산하고, 소음의 주파수 성분에 따라 소음감쇠 특성이 다르게 나타나므로 가청주파수 영역의 1/1 옥타브 밴드 중심주파수를 8개의 주파수(63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1㎑, 2㎑, 4㎑, 8㎑)로 나누어 계

† 교신저자, 正會員 : 韓電 電力硏究院 硏究員
E-mail : kskoo@kepri.re.kr
* 正 會 員 : 韓電 電力硏究院 責任硏究員 · 工博
** 正 會 員 : 韓電 電力硏究院 先任硏究員
接受日字 : 2008年 5月 22日
最終完了 : 2008年 10月 18日

산한다. 이와 같이 각각의 변압기 bank 및 주파수 대역별로 나누어 계산하여 합성하면 변전소 경계지역의 소음레벨 L_A는 식 (2)와 같이 계산된다.

$$L_A = 10\log_{10}\left[\sum_{i=1}^{n}\left\{\sum_{j=1}^{8}10^{0.1(L_s)_{ij}}\right\}\right][dB] \qquad (2)$$

여기서, i : 변압기 수량 (2bank~4bank)

j : 1/1 옥타브 밴드의 중심주파수(63㎐~8㎑)

식 (1)과 식 (2)를 바탕으로 변전소 경계지역의 소음레벨을 예측할 수 있는 변압기 소음예측 프로그램을 개발하였고, 프로그램의 신뢰성을 검증하기 위하여 소음의 측정값과 예측값을 비교한 결과 오차 5% 이내의 신뢰성이 확인되었다 [10].

변압기 소음예측 프로그램은 지형·구조물의 모델링, 소음원의 모델링, 소음예측 계산, 소음예측 결과로 구성되어 있다. 지형·구조물의 모델링을 위하여 소음감쇠에 영향을 미치는 지형, 설비 위치 및 형태, 흡음률, 투과손실 등을 입력한다. 소음원의 모델링을 위해서는 변전소 경계지역의 소음레벨에 가장 큰 영향을 미치는 변압기 소음을 1/1 옥타브 밴드(63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1kHz, 2kHz, 4kHz, 8kHz)로 측정하여 입력하고, 변압기의 크기, 위치, 수량 등을 설정한다. 소음예측 계산은 ISO 9613-2에서 명시된 지형 및 구조물 등의 흡음, 반사, 회절 영향을 고려한 공기 중의 소음감쇠 공식을 적용하였다. 소음예측 결과의 분석은 음압레벨의 등고선 표시, 주 소음원 판별 및 소음원간의 영향 비교 등으로 구성된다. 그림 1은 변압기의 소음예측 과정을 나타낸 것이다.

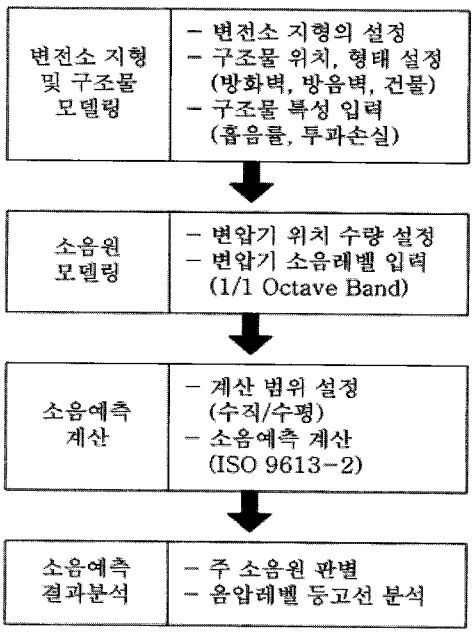


그림 1 변압기 소음예측 과정

Fig. 1 Process of transformer noise prediction

3. 소음예측

3.1 옥외 변전소 소음예측

옥외 변전소 경계지역의 소음을 예측하기 위해서는 변전소 도면을 바탕으로 변전소의 크기, 주변지형의 특성, 변압기로부터 변전소 경계까지의 거리, 설비의 위치 등을 모델링하고, 측정된 변압기의 소음레벨 및 변압기의 위치, 수량을 입력해야 한다. 그림 2는 변전소 도면을 보여주고 있으며, 그림 3은 이 도면을 바탕으로 변전소를 모델링한 결과이다.

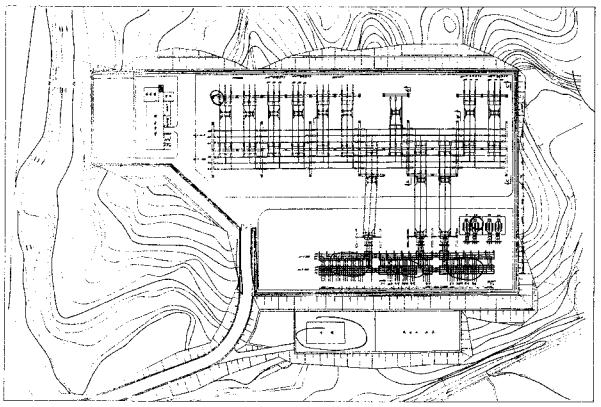


그림 2 옥외 변전소 도면

Fig. 2 Drawing of the outdoor substation

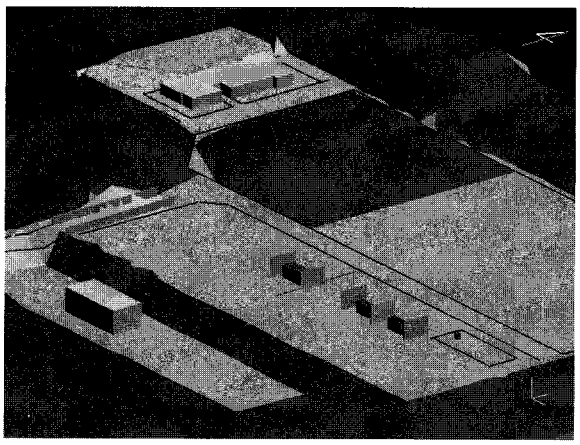
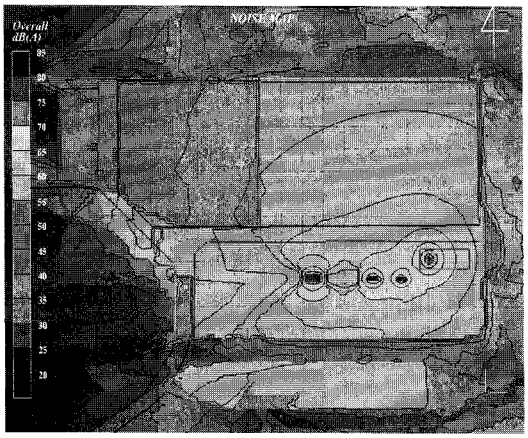


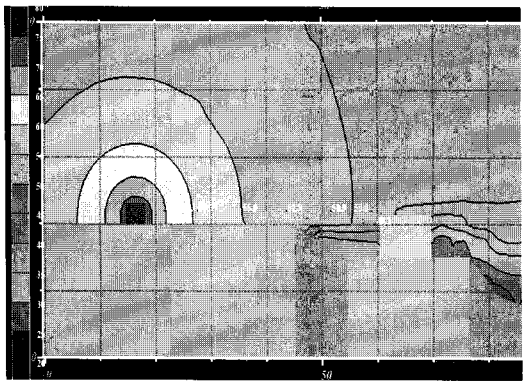
그림 3 옥외 변전소의 모델링

Fig. 3 Modeling of the outdoor substation

본 논문에서 변전소 경계지역의 소음예측을 위해 분석한 변전소는 154kV급 변압기 3bank가 운전되고 있는 옥외변전소이다. 각각의 변압기에서 발생하는 소음은 #1Bank에서 73.34dB, #2Bank에서는 72.32dB, #3Bank에서는 71.95dB이고, 변압기 이외에 리액터에서 소음이 발생하고 있다. 또한 변압기 주변에는 소음의 반사, 회절에 영향을 미치는 방화벽이 설치되어 있고, 변전소 경계지역에는 2층 규모의 민가가 근접해 있다.



(a) 수평방향



(b) 수직방향

그림 4 옥외 변전소 소음예측 결과

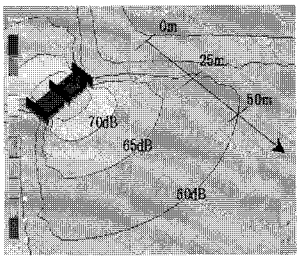
Fig. 4 Results of noise prediction at the outdoor substation

소음예측 결과는 그림 4와 같다. 그림 4(a)는 수평방향의 소음예측 결과로서 지면에서 1.5m 높이의 소음레벨을 등고선으로 표시한 것이다. 변압기를 중심으로부터 거리에 따라 소음이 감쇠됨을 알 수 있으며 변압기 주위에 설치된 방화벽의 영향으로 변압기 양쪽 옆면으로는 차음현상이 나타나고 있다. 그림 4(b)는 변압기와 민가사이의 소음레벨을 수직방향 단면으로 표시한 것이다. 변압기로부터 거리에 따라 동심원 모양으로 소음이 감소되는 경향이 나타나고 있으며, 민가 근처에서는 지형의 영향으로 소음이 급격히 낮아지는 것을 알 수 있다.

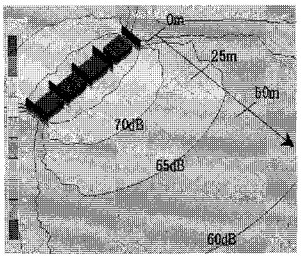
소음예측 결과, 민가의 낮은 부분은 지형의 영향으로 소음이 급격히 감소되어 40dB 이하의 소음레벨로 예측되었으며, 민가의 높은 부분은 변압기의 소음이 그대로 전파되어 소음레벨이 상대적으로 높은 49.3dB로 소음규제기준을 초과하는 것을 볼 수 있다. 따라서 현재는 민가의 높이가 낮아 방음벽의 설치를 통해 소음문제를 해결할 수 있을 것으로 예상되지만, 고층 아파트가 건설될 경우에 방음벽으로는 아파트 고층으로 전파되는 소음을 차단하기 어려우므로 별도의 대책이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 변압기 수량에 따른 소음예측

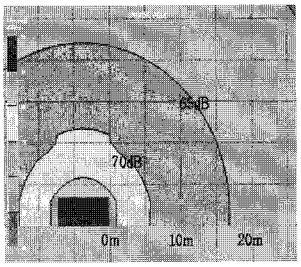
변전소는 부하에 따라 2bank에서 4bank까지 변압기의 수량을 달리하여 운전한다. 부하 증가에 따라 변압기를 2bank로 운전중인 변전소를 4bank로 증설하여 운전할 경우, 소음레벨 증가로 문제가 발생할 가능성이 있다. 그림 5는 79dB 변압기를 2bank에서 4bank로 증설했을 때, 옥외 변전소에서의 소음을 예측한 것이다.



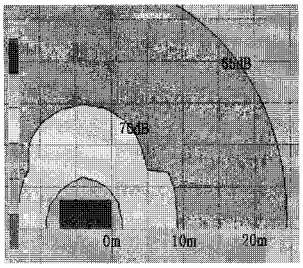
(a) 2bank 수평방향



(b) 4bank 수평방향



(c) 2bank 수직방향



(d) 4bank 수직방향

그림 5 변압기 수량에 따른 소음예측 결과

Fig. 5 Results of noise prediction by the number of transformers

소음예측 결과 변압기 운전 대수에 따라 소음레벨의 차이는 있지만, 그림 5와 같이 변압기로부터의 거리 증가에 따라 소음이 지수함수적으로 감소되는 동일한 경향이 나타났으며, 변압기의 좌우 측면은 방화벽의 영향으로 급격히 소음이 감소됨을 알 수 있다. 표 1과 그림 6은 옥외 변전소에서 변압기가 각각 2, 3, 4bank로 운전될 때 거리에 따른 소음감쇠 경향을 비교한 것이다.

표 1 변압기 수량에 따른 변전소 경계지역 소음레벨

Table 1 Noise level of substation boundary by the number of transformers

소음레벨 / 변압기 수량	변압기로부터의 거리			45dB 도달지점
	25m	50m	100m	
2bank	67.3 dB	62.1 dB	56.5 dB	435 m
3bank	69.0 dB	63.8 dB	58.2 dB	525 m
4bank	69.9 dB	64.9 dB	59.4 dB	595 m

변압기 2bank 운전시 25m 거리에서 소음레벨은 67.3dB, 4bank 운전시 소음레벨은 69.9dB로, 2bank에서 4bank로 변압기 수량을 증가시켰을 때 소음레벨이 약 2.6dB 상승한 것

으로 나타났다. 일반적으로 소음원의 수량이 2배로 증가하면 소음레벨이 3dB 상승하지만, 25m 이내의 근거리에서는 방화벽의 차음영향과 변압기의 수평배열로 인한 소음의 분산으로 이론치만큼 상승하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 거리가 멀어질수록 방화벽의 영향이 작아지므로 변압기 수량에 따른 소음레벨이 차이가 조금씩 커져 100m 거리에서는 변압기 수량증가에 따른 소음의 차가 2.9dB로 이론적인 소음상승치인 3dB에 근접하는 것으로 나타났다. 따라서 2bank에서 4bank로 변압기 증설시 약 3dB의 소음이 증가할 것을 예상하고 소음대책을 수립하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

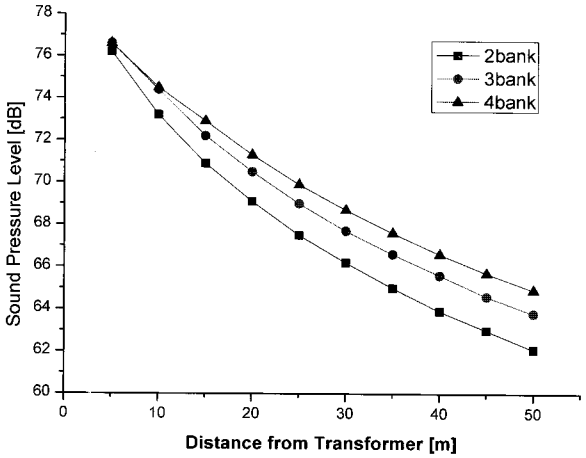


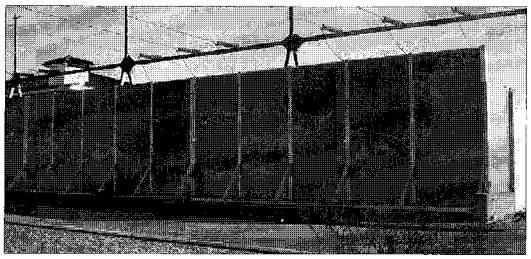
그림 6 변압기 수량에 따른 변전소 경계지역 소음레벨

Fig. 6 Noise level of substation boundary by the number of transformers

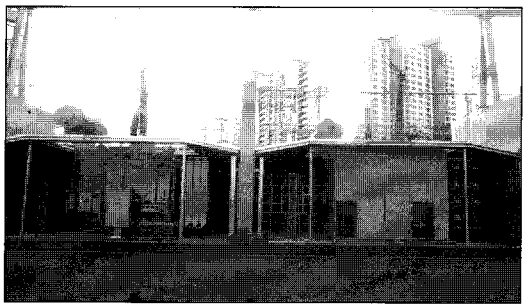
3.3 변압기 소음저감 대책

변전소 경계지역의 소음레벨이 소음규제기준을 초과하는 경우, 일반적으로 사용되는 소음저감 대책으로는 변압기와 민가사이에 흡음, 반사를 일으키는 구조물을 설치하여 소음을 차단시키는 방법과 저소음 변압기 설치를 통하여 변압기 자체의 소음을 저감하는 방법이 있다.

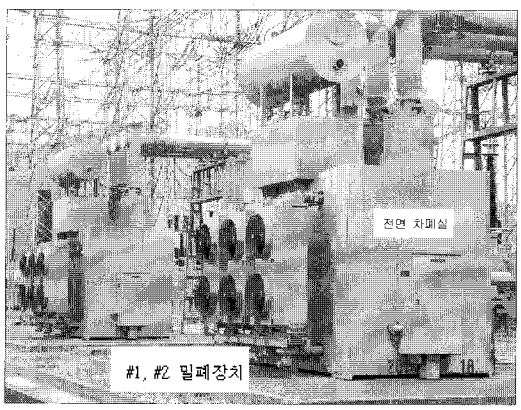
현재 한전에서는 일반 방음벽, 반밀폐장치, 밀폐장치 등의 구조물을 설치하여 소음을 저감하고 있으며 향후 저소음 변압기 설치를 추진할 예정이다. 그림 7(a)와 같은 일반 방음벽은 가장 간단한 소음대책으로 약 5dB 이상의 소음저감 효과가 있지만, 수음점이 높은 고층 아파트와 같은 건물에는 소음저감 효과가 낮은 단점이 있다. 그림 7(b)와 같은 반밀폐장치는 작업자의 접근성을 용이하게 하거나 공기순환을 순조롭게 하기 위하여 변압기의 3면을 둘러 싼 구조로 되어 있으며, 약 10dB 이상의 소음저감 효과를 얻을 수 있다. 그림 7(c)와 같은 밀폐장치는 변압기를 밀폐시켜 소음을 차단하는 장치로 약 15dB 이상의 소음저감 효과를 얻을 수 있지만, 변압기에서 발생된 소음이 변압기와 밀폐장치 사이에서 증폭이 되는 현상이 있으므로, 이러한 현상을 방지하기 위하여 밀폐장치 내부에는 흡음재 및 공명형 소음기를 설치해야 한다.



(a) 일반 방음벽



(b) 반밀폐장치

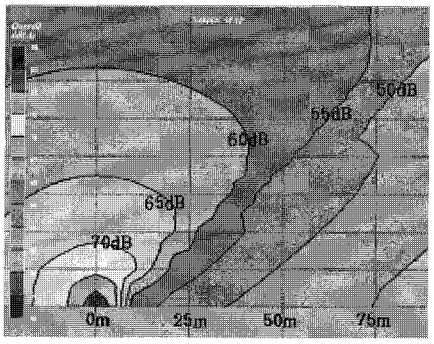


(c) 밀폐장치

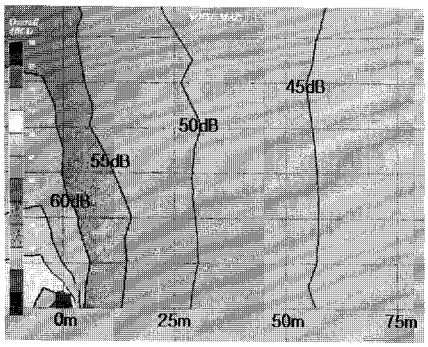
그림 7 소음저감 대책 적용 사례

Fig. 7 The examples of noise reduction solution

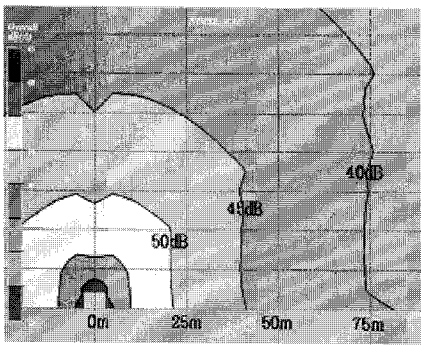
소음저감 대책은 수음점의 높이에 따라 소음저감 효과가 다르게 나타난다. 따라서 소음저감 대책 적용시 변전소 경계지역에서의 높이에 따른 소음저감 효과를 분석하였다. 그림 4는 79dB의 4bank 변압기 운전시 소음저감 방법에 따른 소음예측 결과를 나타낸 것이다.



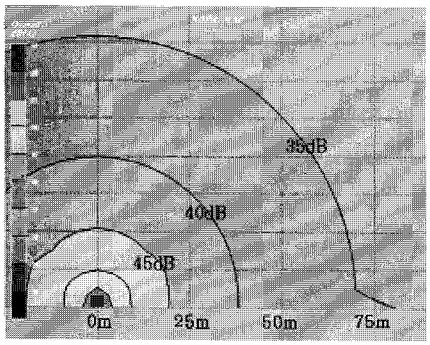
(a) 일반형 방음벽



(b) 반밀폐형 방음벽



(c) 밀폐형 방음벽



(d) 저소음 변압기

그림 8 소음저감 대책에 따른 소음예측 결과

Fig. 8 Results of noise prediction by the variation of noise reduction solutions

일반 방음벽은 그림 8(a)에 나타난 바와 같이 높이가 낮은 지역에서는 방음벽의 차음에 의하여 소음저감 효과가 크지만 높은 지역에서는 방음벽에 의한 차음효과가 작고, 회절 영향으로 소음저감 효과가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 그림 8(b), (c)에 나타난 바와 같이 반밀폐장치와 밀폐장치는 높이에 관계없이 일정한 소음저감 효과가 나타나고 있다. 55dB급 저소음 변압기를 단독으로 사용하였을 경우, 그림 8(d)와 같이 기존 변압기와 동일하게 변압기를 중심으로 동심원 모양으로 소음이 전파되며, 거리에 따라 소음이 저감됨을 알 수 있다. 그림 9와 표 2는 각각의 소음저감 대책에 따른 변전소 경계지역에서의 높이별 소음레벨과 소음저감 효과를 나타낸 것이다.

표 2 소음저감 대책별 경계지역에서 소음저감 효과

Table 2 Noise reduction effect by noise reduction solutions at the substation boundary

구분 / 높이 / 소음대책	경계지역 소음레벨 [dB]			소음저감효과 [dB]		
	1.5m	10m	20m	1.5m	10m	20m
일반 변압기	68.8	68.4	67.2	-	-	-
일반 방음벽	54.5	58.9	63.8	14.3	9.5	3.4
반밀폐장치	53.0	53.4	53.1	15.8	15.0	14.1
밀폐장치	48.9	48.6	48.5	19.9	19.8	18.7
저소음 변압기	44.7	44.3	43.1	24.1	24.1	24.1

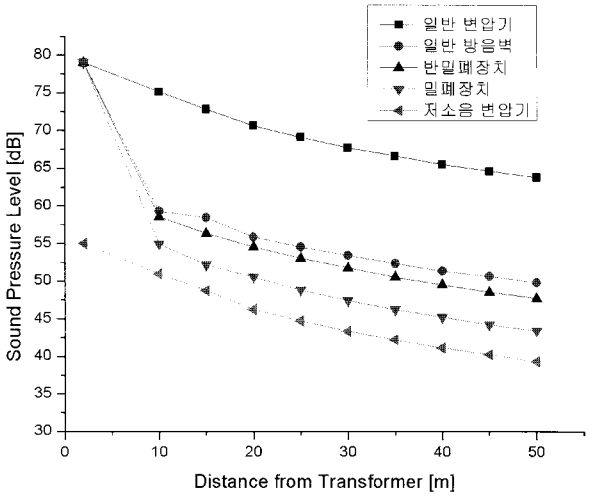


그림 9 소음저감 대책에 따른 소음레벨 변화

Fig. 9 Variation of noise level by noise reduction solutions

소음저감 대책별로 경계지역 1.5m, 10m, 20m 높이에서 소음저감 효과는 일반방음벽의 경우 14.3, 9.5, 3.4dB, 반밀폐장치는 15.8 15.0 14.1dB로 나타났고, 밀폐장치는 19.9, 19.8, 18.7dB로 나타났다. 또한 55dB의 저소음 변압기는 높이에 상관없이 24.1dB의 소음저감 효과가 나타났다. 저소음 변압기를 제외한 소음저감 대책은 차음설비의 형태, 흡음재의 재질에 따라 소음저감 효과가 달라지며, 특히 방음벽의 경우 주변 민가가 고층화 될수록 소음저감 효과가 떨어지므로 초기 소음대책 수립 후 주변상황의 변화에 의해 추가적인 비용투자가 발생할 가능성이 있다. 따라서 소음문제 발생이 우려되는 도심지 변전소의 경우 원천적으로 소음문제를 차단할 수 있는 저소음 변압기를 설치하는 것이 바람직하다고 판단된다.

3.4 옥외 변전소 소음기준

소음규제기준을 만족시키기 위해서는 변전소 경계지역의 소음레벨을 예측하고, 그 결과에 따라 변압기 소음레벨의 크기를 결정해야 한다. 변압기 소음감쇠에 가장 큰 영향을 미치는 요소인 변압기와 경계지역간의 거리는 운전 중인 옥외 변전소의 평균 이격거리인 약 25m로 결정하였다.

옥외 변전소에 저소음 변압기 설치시 소음규제 기준에 만족하는 변압기 소음레벨을 제시하기 위하여 각각 79dB, 65dB, 60dB, 55dB의 변압기를 운전하였을 경우, 옥외 변전소 경계지역의 소음레벨을 예측하였으며 그 결과는 그림 10과 같다.

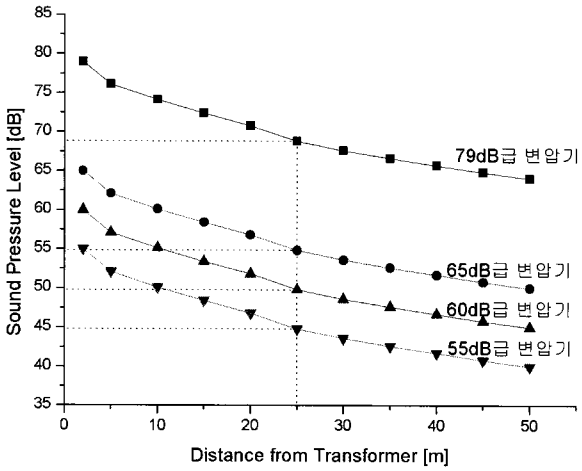


그림 10 옥외 변전소 변압기 소음레벨에 따른 소음예측
Fig. 10 Noise prediction by variation of transformer noise level

변압기 소음레벨에 따른 옥외 변전소 경계지역의 소음예측결과 소음레벨은 모두 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 79dB, 65dB, 60dB의 변압기를 설치했을 때 옥외 변전소 경계지역의 소음레벨은 각각 68.8dB, 54.8dB, 49.8dB로 소음규제기준 45dB를 초과하는 것으로 나타났으나, 55dB 변압기 설치시 경계지역의 소음레벨은 44.8dB로 소음규제기준을 만족함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 소음규제기준을 만족시키는 최적의 변압기 소음레벨을 제시하기 위하여 옥외 변전소 운전상황에 따른 변압기의 소음감쇠를 예측하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

(1) 옥외 변전소 소음대책별 소음저감 효과는 일반 방음벽의 경우 3.4~14.3dB로서 수음점의 높이에 따라 저감효과가 10dB이상 차이가 있었으며, 반밀폐장치는 14.1~15.8dB, 밀폐장치는 18.7~19.9dB로 나타났고, 55dB급 저소음 변압기는 24.1dB의 소음저감 효과가 있음을 알 수 있다.

(2) 옥외 변전소에서 79dB 변압기를 4bank로 운전했을 때 경계지역의 소음은 68.8dB로 예측되어, 소음규제기준을 23.8dB 초과하였으나, 55dB의 소음을 발생하는 변압기를 4bank로 운전했을 때 경계지역의 소음은 44.8dB로 소음규제기준을 만족함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

[1] "공장소음 ·진동배출 허용기준", 소음·진동 규제법, 제8조, 별표 4, 1990.
[2] "생활소음·진동의 규제", 소음·진동 규제법, 시행규칙 제29조, 제3항, 1990.
[3] "변압기 소음레벨 기준치", 한국전력공사 표준규격, 2006.
[4] 이준신, "의정부변전소 소음저감방안 적용연구", 전력연구원, pp. 1~60, 2003.
[5] 권동진, "환경친화형 저소음 변압기 개발", 전력연구원 중간보고서, pp. 1~80, 2007.
[6] ISO 9613-2 "Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation", 1996
[7] C. G. Gordon, "A Method for Predicting the Audible Noise Emissions from Large Outdoors Power Transformers", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, Issue 3, pp. 1109-1112, 1979.
[8] G. O. Usry, et al. "Prediction of Far Field Sound Radiation from Transformers", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, Issue 1, pp. 358-364, 1980.
[9] I. L. Ver, et al., "Field Study of Sound Radiation by Power Transformers", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, Issue 7, pp. 3513-3524, 1981.
[10] 구교선 외 4인, "변전소 소음예측 프로그램 개발", KIEE Trans 제 56권, 제 9호, pp. 1556~1560, 2007.

저 자 소 개

구 교 선 (具 敎 善)
1974년 9월 27일생. 2001년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 2005년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 연구원
Tel : 042) 865-5869, 042-865-5804
E-mail : kskoo@kepri.re.kr

권 동 진 (權 東 震)

1963년 1월 20일생. 1986년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1992년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 책임연구원

Tel : 042) 865-5862, 042-865-5804

E-mail : djkweon@kepri.re.kr

곽 주 식 (郭 周 植)

1972년 01월 10일생. 1994년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업, 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한전 전력연구원 선임연구원

Tel : 042) 865-5868, 042-865-5804

E-mail : kwakjs@kepri.re.kr