

옥내변전소 운전상황에 따른 변압기 소음예측

(The Prediction of Transformer Noise by Operating Situation at the Indoor Substation)

구교선* · 권동진** · 박주식

(Kyo-Sun Koo · Dong-Jin Kweon · Ju-Sik Kwak)

요 약

최근 생활수준의 향상으로 쾌적한 주거환경에 대한 요구가 증대되어, 변압기 소음으로 인한 민원이 끊임없이 발생하고 있다. 소음민원을 해결하기 위하여 옥내변전소에서는 공명형 소음기, 방음보조셔터 등의 대책을 시행하고 있으나, 주변환경 변화에 따라 소음대책을 재수립하는 경우가 발생한다. 따라서 소음문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 변압기의 소음전파를 예측하여, 변전소 경계지역에서 소음규제기준을 만족시키는 변압기 소음레벨을 제시할 필요가 있다. 본 논문에서는 옥내변전소에서 변압기 증설, 주변압기실 셔터의 개방 등의 운전상황에 따른 소음레벨 변화를 예측하고, 옥내변전소 경계지역에서 소음규제기준을 만족시키는 변압기 소음레벨을 제시하였다.

Abstract

Desire about agreeable habitat by enhancement of standard of living has been increased, and common complaints by transformer noise have been happening constantly. It has been installed resonator and sound-proof shutter in order to solve substation's noise problems. But those methods are not effective. Therefore, It is necessary to study transformer noise level that can satisfy noise regulation standard. In this paper described that predicted transformer noise level of substation boundary by operating situation at the indoor substation. Also, Presented most suitable noise level of transformer that satisfy noise regulation standard at the indoor substations through predicted results.

Key Words : Power Transformer, Noise, Prediction, Standard, Substation

1. 서 론

환경문제는 산업혁명 이후 공업화 과정에서 발생하기 시작하였으며, 우리나라도 공업화가 급속히 추진되기 시작한 1960년대에 들어 와서 환경문제가 싹트기 시작하였다. 2000년대에 들어 와서 국민소득이 크게 증가하고, 생활환경 보전에 대한 요구가 지속적으로 증가되고 있는 상황이다. 전력산업분야에서

* 주저자 : 한전 전력연구원 일반연구원
** 교신저자 : 한전 전력연구원 책임연구원
Tel : 042-865-5869, Fax : 042-865-5804
E-mail : kskoo@kepri.re.kr
접수일자 : 2008년 8월 6일
1차심사 : 2008년 8월 8일
심사완료 : 2008년 8월 18일

는 도심지역의 확대로 기존 변전소에 인접하여 대규모 주거지역이 건설되게 되었고, 이로 인하여 변압기 소음이 문제점이 되기 시작하였다.

변압기의 소음규제는 환경정책기본법과 소음·진동 규제법의 시행규칙 “공장소음·진동 배출 허용기준” 및 “생활소음 규제기준”에 준하여 소음배출 허용기준을 주간 55[dB], 야간 45[dB]로 엄격하게 규제하고 있다[1-2]. 그러나 국내 전력용 변압기(154kV)의 소음레벨 기준치는 79[dB]로 소음·진동규제법과 큰 차이를 보이고 있다[3]. 이로 인하여 변압기 소음에 의한 소음민원이 발생하고 있으며, 향후 민원이 지속적으로 증가될 것으로 예상된다.

이러한 현재 소음민원을 해결하기 위한 대책으로 옥내변전소는 풍도에 공명형 소음기를 설치하거나 주 변압기실 내부 벽면에 흡음재를 부착하는 방법을 사용하고 있다[4-5]. 이러한 소음대책은 소음민원이 발생 또는 예상되는 지역으로 소음이 전파되는 것을 차단하는 방식으로, 민가의 근접이나 설비증설 등의 변전소 환경의 변화에 따라 소음대책을 재수립해야 하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 이와 같은 소음 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 적절한 변압기 소음레벨의 기준을 제시하여 옥내변전소 경계의 소음레벨을 환경규제기준인 45[dB]이하로 낮추는 것이 필요하다.

본 논문에서는 옥내변전소의 변압기 수량변화, 소음전파 경로, 주변압기실 셔터개방 등의 여러 가지 운전조건에 따른 경계지역의 소음변화를 예측하고, 여러 조건에서 환경규제기준을 만족시킬 수 있는 적절한 변압기의 소음레벨 기준을 제시하였다.

표 1. 생활소음·진동의 규제기준
Table 1. The regulation standard of environment noise·vibration

대상 지역	시간별 소음원	조 석	주 간	심 야
		(5~8시, 18~22시)	(8~18시)	(22~5시)
주거지역 및 녹지지역	화성기(옥외설치)	70이하	80이하	60이하
	공장·사업장	50이하	55이하	45이하
기 타 지 역	공 사 장	65이하	70이하	55이하
	화성기(옥외설치)	70이하	80이하	60이하
	공장·사업장	60이하	65이하	55이하
	공 사 장	70이하	75이하	55이하

2. 본 문

2.1 옥내변전소의 소음예측

변압기에서 발생된 소음은 그림 1과 같이 1[kHz] 이하의 저주파수로 120[Hz] n배수의 하모닉 성분이다. 따라서 생활소음이나 도로소음에 비하여 반사, 흡음이 작고, 회절이 크게 일어나는 특징을 갖는다[4-5]. 이와 같이 특수한 변압기 소음의 예측을 위하여 변압기 소음예측 프로그램을 개발하였고, 이를 이용하여 옥내변전소의 소음전파를 예측하였다[6].

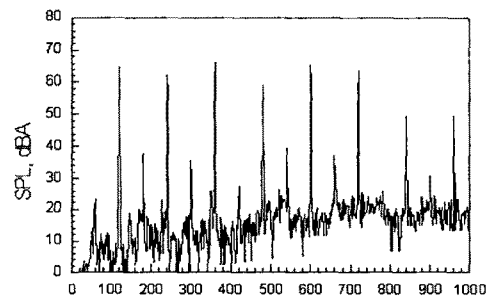


그림 1. 변압기 소음의 주파수 특성
Fig. 1. Frequency characteristics of transformer Noise

옥내변전소의 변압기 소음은 변압기 반출입용 셔터를 통해 소음이 유출되고 일부는 통풍을 위해 마련된 상부풍도 및 하부풍도로 소음이 유출되어 경계 지역까지 전달된다.

옥내변전소의 소음예측은 변압기 자체를 소음원으로 가정할 경우, 주변압기실 내부의 반사 및 흡음을 모두 고려하여야 하므로 소음예측이 복잡해지며 오차범위가 커질 우려가 있다. 따라서 소음의 주요 전달경로인 상부풍도, 하부풍도 및 셔터를 소음원으로 가정하고 소음을 예측하여 정확도를 향상시켰다. 그림 2와 그림 3은 전형적인 옥내변전소의 형태와 그것을 모델링한 것이다.

변전소 경계지역에서 소음규제기준을 만족시키는 변압기 소음레벨을 제시하기 위해서는 현재 운전중인 변압기 소음의 예측을 통해 감쇠 특성을 파악하

옥내변전소 운전상황에 따른 변압기 소음예측

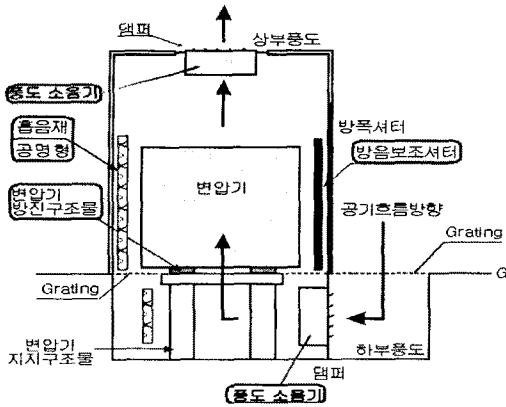


그림 2. 옥내변전소의 내부구조
Fig. 2. Inner structure of indoor substations

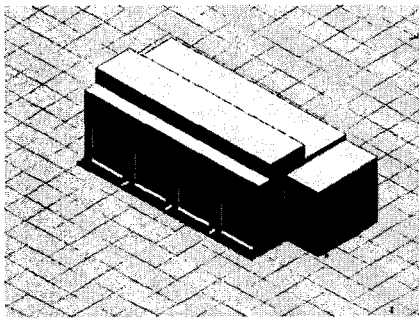


그림 3. 옥내변전소 모델링
Fig. 3. Modeling of indoor substation

고, 그 결과에 따라 적절한 변압기 소음레벨을 결정해야 한다. 따라서 변압기 소음감쇠에 가장 큰 영향을 미치는 요인인 변압기와 경계지역간의 거리를 파악하는 일이 선행되어야 한다.

· 변압기와 경계지역의 거리 기준을 결정하기 위하여 현재 운전중인 옥내변전소를 조사한 결과 평균거리가 약 15[m]로 나타났다. 더욱이 변압기의 반출입을 위한 트레일러의 회전반경을 고려하여 변압기와 경계지역의 거리를 15[m] 이상의 공간을 확보할 것을 권장하고 있으므로 소음예측을 위한 변압기와 경계지역의 거리는 15[m]로 설정하여 소음을 예측하였다.

2.2 변압기 수량변화에 따른 소음예측

변압기의 수량은 지역부하에 따라 결정되며, 2[bank]

로 운전 중인 변전소에서 지역부하가 증가할 경우 추가적으로 변압기를 4[bank]까지 증설하여 운전할 경우가 있다. 이때 변압기 수량증가에 의하여 변전소 경계지역의 소음레벨이 상승하게 되며 이로 인하여 소음문제가 발생할 가능성이 있다. 따라서 변압기 증설에 따른 경계지역의 소음레벨 변화를 파악하기 위하여, 변압기 수량에 따른 소음감쇠 특성을 예측하였다.

그림 4는 옥내변전소에서 79[dB] 변압기를 각각 2[bank]와 4[bank]로 운전하였을 때, 수평방향과 수직방향의 소음분포를 예측한 결과이다.

그림 4 (a), (b)는 지면으로부터 1.5[m] 높이에서의 수평방향의 소음레벨을 예측한 것으로 소음은 주로 주변압기실 전면방향으로 유출되고, 후면방향은 건물의 차음영향으로 소음유출이 작은 것을 알 수 있다. 또한 2[bank]와 4[bank] 모두 주변압기실을 중심으로 거리가 멀어질수록 소음이 점차 감쇠되는 동일한 특성이 있으나, 소음레벨의 크기는 4[bank]의 경우 2[bank]보다 큰 것을 알 수 있다. 그림 4 (c), (d)는 수직단면의 소음레벨을 예측한 것으로 상부풍도를 통하여 주변압기실의 전면과 후면 양쪽방향으로 소음이 유출되고, 전면셔터와 하부풍도는 전면방향으로만 소음이 유출되는 것을 알 수 있다. 경계지역인 15[m] 지점에서는 상부, 하부풍도 및 셔터를 통해 유출된 소음이 합성되어 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 수평방향의 소음예측과 마찬가지로 2[bank]로 운전할 때 보다 4[bank]에서 소음레벨이 더 큰 것을 알 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 2[bank]로 운전중인 옥내변전소에서 경계지역의 소음레벨이 소음규제기준치는 45[dB]를 만족하더라도, 지역부하 증가에 따른 변압기 증설로 소음레벨이 상승하여 소음규제기준을 초과하는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 변압기 수량증가에 따른 소음레벨 상승의 정량적인 분석을 통하여 대책수립이 필요하다.

그림 5와 표 2는 옥내변전소에서 변압기를 2[bank], 3[bank], 4[bank]로 수량을 증가시켰을 때 주변압기실 정면으로 셔터부터 거리에 따른 소음레벨 변화와 경계지역의 소음레벨을 나타낸 것이다.

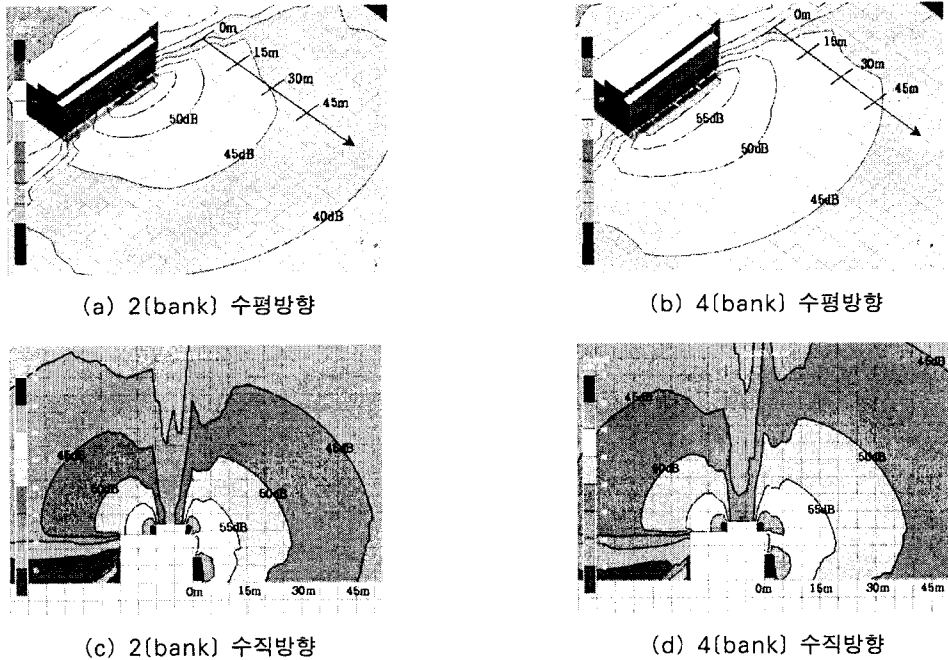


그림 4. 옥내변전소 변압기 수량변화에 따른 소음분포
 Fig. 4. Noise distribution of indoor substation by transformer quantity variation

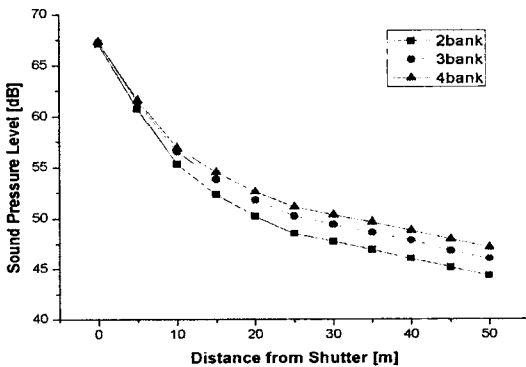


그림 5. 옥내변전소 변압기 수량변화에 따른 소음레벨
 Fig. 5. Noise level of indoor substation by transformer quantity variation

그림 5와 표 2에서와 같이 모두 거리에 따라 소음레벨이 감소하지만, 변압기 수량이 많을수록 소음감쇠가 완만하게 나타나는 것을 알 수 있다. 주요지점별 소음레벨은 옥내변전소의 경계지점인 15[m] 떨어진 지점에서 2[bank]는 52.3[dB], 3[bank]는 53.8[dB], 4[bank]는 54.5[dB]로 나타나, 2[bank]와 4[bank]의 소음레벨 차이는 2.2[dB]임을 알 수 있다.

표 2. 옥내변전소 변압기 수량변화에 따른 주요지점의 소음레벨

Table 2. Noise level of indoor substation at the major points by transformer quantity variation

	소음레벨 예측지점			45[dB] 도달지점
	15[m] (경계지역)	25[m]	50[m]	
2[bank]	52.3	48.5	44.3	46[m]
3[bank]	53.8	50.2	46.0	57[m]
4[bank]	54.5	51.1	47.1	65[m]

또한, 50[m] 떨어진 지점에서의 소음레벨은 2[bank]는 44.3[dB], 3[bank]는 46.0[dB], 4[bank]는 47.1[dB]로 나타나, 2[bank]와 4[bank]의 소음레벨 차이는 2.8[dB]임을 알 수 있다. 2[bank]에서 4[bank]로 증설했을 때, 지점에 따라 소음레벨 증가량이 다른 이유는 거리가 가까울수록 각각의 변압기마다 독립적인 구조를 이루는 옥내변전소의 구조물의 차임으로 인하여 가까운 거리에서 먼 거리에서보다 소음의 합성이 덜 이루어지는 것으로 판단된다.

2.3 소음전파 경로별 소음의 영향

육내변전소의 변압기 소음은 셔터, 상부풍도 및 하부풍도 등의 여러 경로로 소음이 전파된다. 각각 경로의 위치와 소음의 크기가 다양하므로 경계지역의 소음레벨에 미치는 영향도 다르게 나타난다. 따라서 효과적인 소음대책을 수립하기 위하여 각 소음전파 경로별로 소음을 예측하여 육내변전소 경계지역의 소음레벨이 가장 큰 곳과 각각의 소음전파경로가 미치는 영향을 분석하였다.

그림 6은 각 소음전파 경로별 소음분포 특성을 나타낸 것이다.

그림 6 (a)와 같이 상부풍도를 통한 소음전파는 주변압기실의 전면과 후면 양쪽으로 소음이 전파되고 있으며, 지면으로부터 약 15[m] 높이에 위치하고 있어 높은 지역에 소음영향을 가장 많이 끼치는 것으로 나타났다. 그림 6 (b)와 같이 하부풍도는 주변압기실 정면에 위치하여 주변압기실 후면에는 소음에 영향을 거의 미치지 못하고 있다. 또한 소음전파 방향이 위쪽을 향하고 있어 주변압기실 전면으로는 회

절에 의해 소음이 전파되고 있으며, 이로 인하여 상부풍도나 셔터를 통한 소음전파에 비하여 상대적으로 작은 소음이 전파되는 것을 알 수 있다. 그림 6 (c)에 나타낸 주변압기실 셔터에 의한 소음전파는 하부풍도와 마찬가지로 주변압기실 후면에는 소음의 영향을 미치지 못하고 있으며, 소음유출경로의 단면적이 크기 때문에 풍도에 비하여 상대적으로 많은 소음의 유출이 일어나고 있는 것을 알 수 있다. 그림 6 (d)에서는 육내변전소의 모든 소음전파 경로를 종합하여 합성소음의 분포를 나타내고 있다. 소음의 합성으로 인하여 개별적인 소음전파경로보다 소음레벨이 높아진 것을 볼 수 있으며, 상부풍도와 셔터를 통해 전파된 소음이 합성되어 경계지역인 변압기로부터 15[m] 이격된 지점에서는 지면으로부터 약 10[m] 높이의 지점에서 높이에서보다 소음이 가장 큰 것을 알 수 있다.

표 6은 육내변전소 경계지점인 변압기로부터 15[m] 이격된 지점에서 높이에 따른 소음레벨 분포를 나타낸 것이다.

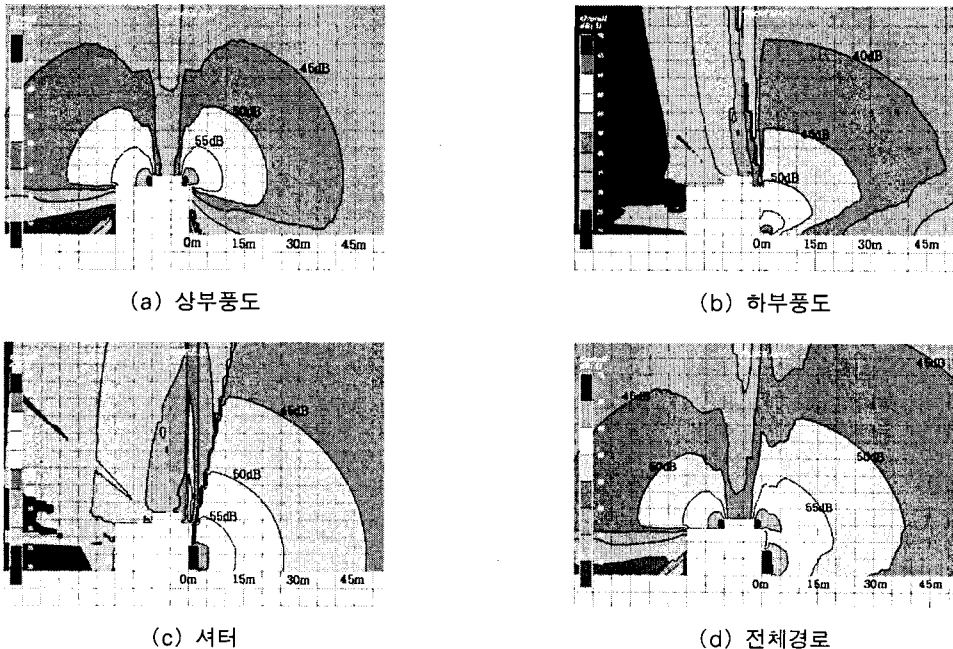


그림 6. 육내변전소 소음전파 경로별 소음예측
Fig. 6. Noise prediction of indoor substation by noise propagation path

표 3. 옥내변전소 소음전파 경로별 경계지역 소음레벨
Table 3. Noise level of substation boundary at the indoor substation by noise propagation path

경로 \ 높이	1.5[m]	10[m]	20[m]	30[m]
전체경로	54.5	56.4	55.3	53.3
서터	53.9	53.4	51.2	48.8
상부풍도	41.4	51.4	52.0	50.3
하부풍도	43.4	49.2	46.8	44.4

전파 경로별 소음예측결과 경계지역 1.5[m] 높이에서는 서터에 의한 소음영향이 가장 큰 것으로 나타났으며, 지면에서 높이가 올라갈수록 상부풍도와 가까워짐에 따라 상부풍도의 영향을 가장 크게 받는 것으로 나타났다. 특히 경계지역 높이가 10[m] 부근에서는 상부풍도와 서터의 소음이 합성되어 소음레벨이 가장 큰 것으로 나타났다.

2.4 서터개방에 따른 소음의 영향

옥내변전소는 하계부하시 변압기의 온도저감을 위하여 서터를 개방하여 운전하는 경우가 있다. 주 변압기실의 서터개방은 변압기의 온도를 저감시킬 수 있는 장점이 있지만, 변압기 소음이 그대로 외부에 유출되는 단점이 있다. 따라서 서터 개방높이에 따른 소음레벨의 변화를 파악할 필요가 있다. 그림 7 과 표 3은 주변압기실 서터의 개방높이에 따른 경계 지역의 소음레벨을 예측한 것이다.

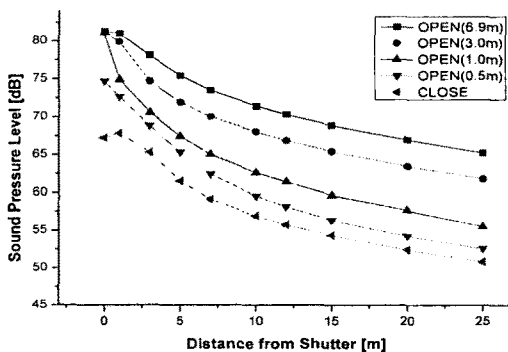


그림 7. 서터 개방높이별 경계지역의 소음레벨
Fig. 7. Noise level of substation boundary by opened shutter height

서터 개방높이에 따라 경계지역의 소음을 예측한 결과 서터를 완전개방 했을 때와 닫았을 때의 경계 지역에서 소음레벨 차이는 14.4[dB]로 나타났다. 특히 서터를 1[m]만 개방해도 경계지역의 소음레벨은 4.3[dB] 상승하였다.

2.5 옥내변전소 적정 변압기 소음레벨 기준

앞에서 언급한 바와 같이 서터를 약간만 개방하여도 소음레벨의 차이가 크게 나타나므로, 서터 개방했을 때와 서터를 닫았을 때 두 가지 경우에 경계지역에서 소음규제기준을 만족시키는 변압기 소음레벨을 제시할 필요성이 있다. 따라서 옥내변전소에서 서터를 완전히 열었을 때와 닫았을 소음규제기준을 만족시키는 변압기 소음레벨을 예측하였다. 그림 8 과 그림 9는 변압기실 서터를 닫았을 때와 서터를 열었을 때의 변압기 소음레벨별 거리에 따른 소음변화를 나타낸 것이다.

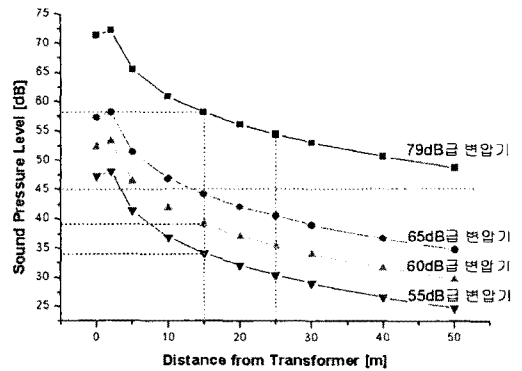


그림 8. 옥내변전소에서 서터 폐쇄시 변압기 소음레벨별 소음예측
Fig. 8. Noise prediction of indoor substation by transformer noise level variation with closed shutter

변압기 소음레벨별 소음예측 결과 서터를 닫은 상태에서는 79[dB] 변압기 4[bank] 운전시 경계지역의 소음레벨은 약 58[dB]로 나타났고, 65[dB] 변압기는 약 44[dB]로 경계지역에서 소음규제 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

옥내변전소 운전상황에 따른 변압기 소음예측

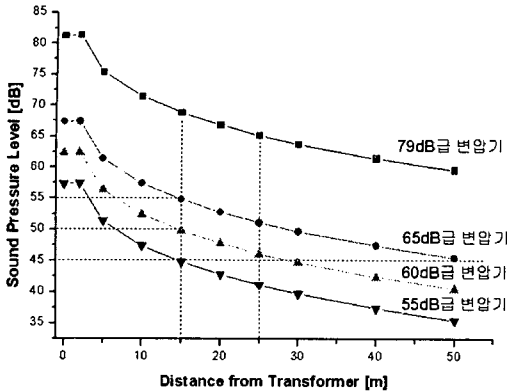


그림 9. 옥내변전소에서 셔터 개방시 변압기 소음레벨별 소음예측

Fig. 9. Noise prediction of indoor substation by transformer noise level variation with opened shutter

변압기 소음레벨별 소음예측 결과 셔터를 개방한 상태에서는 79[dB] 변압기 4[bank] 운전시 경계지역의 소음레벨은 약 70[dB], 65[dB] 변압기는 약 55[dB], 60[dB] 변압기는 약 50[dB]로 나타났으며, 55[dB] 변압기는 약 45[dB]로 경계지역에서 소음규제 기준치를 만족하는 것으로 나타났다.

3. 결 론

본 논문에서는 소음규제기준을 만족시키는 최적의 변압기 소음레벨을 제시하기 위하여 운전상황에 따른 변압기 소음의 감쇠를 예측하여 최적의 변압기 소음레벨을 제시하였다. 주요한 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 옥내변전소에서 2[bank]에서 4[bank]로 변압기 증설시, 경계지역의 소음레벨은 약 2.2[dB] 상승한다.
- (2) 옥내변전소의 상부풍도와 셔터에서 유출되는 소음이 합성되어 경계지역에서 가장 큰 소음레벨을 높이 10[m] 지점이다.
- (3) 옥내변전소에서 셔터를 1[m] 열었을 때 소음레벨은 약 4.3[dB] 상승하며, 셔터를 완전히 열었을 때는 약 14.4[dB] 상승한다.
- (4) 옥내변전소에서 셔터를 닫았을 때 79[dB] 4[bank] 운전시 경계지역의 소음은 약 58[dB]

로 나타났으며, 65[dB] 변압기 운전시 소음규제기준을 만족할 것으로 예측된다.

- (5) 옥내변전소에서 셔터를 열었을 때 79[dB] 4[bank] 운전시 경계지역의 소음은 약 70[dB]로 나타났으며, 55[dB] 변압기 운전시 소음규제기준을 만족할 것으로 예측된다.

References

- [1] "공장소음·진동배출 허용기준", 소음·진동 규제법, 제 8조, 별표 4, 1990.
- [2] "생활소음 규제기준", 소음·진동 규제법, 시행규칙 제 29조, 제 3항, 1990.
- [3] "변압기 소음레벨 기준치", 한국전력공사 표준규격, 1978.
- [4] 권동진 외, "저소음 변압기 개발을 위한 기초 조사 연구", 한전전력연구원 최종보고서, pp.1~92, 2004.
- [5] 권동진 외, "환경친화형 저소음 변압기 개발", 한전전력연구원 중간보고서, pp.1~80, 2007.
- [6] 구교선 외, "변전소 소음예측 프로그램 개발", 대한전기학회 논문지, Vol. 56, No. 9, 2007.

◇ 저자소개 ◇

구교선 (具敎善)

1974년 9월 27일생. 2001년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 연구원.
Tel : (042)865-5869
E-mail : kskoo@kepri.re.kr

권동진 (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
E-mail : djkwon@kepri.re.kr

곽주식 (郭周植)

1972년 1월 10일생. 1994년 충북대학교 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한전전력연구원 전력계통연구소 선임연구원.
Tel : (042)865-5868
E-mail : kwakjs@kepri.re.kr