

진도-제주 HVDC 변환설비 소음특성 분석

김재한, 김찬기, 이성두, 김진영
한전 전력연구원

Analysis of Acoustic Noise Characteristics of Jindo-Cheju HVDC

Jae-Han Kim, Chan-Ki Kim, Seong-Doo Lee, Jin-Young Kim
KEPCO

ABSTRACT

HVDC converter station consists of a number of noise sources such as converter transformer, ac filter, cooling system and so on. In this paper, we analyzed the simulation results of the outdoor acoustic noise characteristics for HVDC converter station. It shows that maximum noise level in boundary of HVDC converter station exceeds regulation value. The main factors in generating maximum noise level are ac filter and converter transformer. Then we applied some soundproof countermeasure in HVDC converter station. Shielding wall is enough to reduce transformer noise level but not enough to reduce ac filter noise level. In case of ac filter, soundproof building is effective in satisfying noise level regulation in boundary of HVDC converter station. In addition, we also studied effects of season, soundproof woods, ground.

1. 서론

1.1 연구의 배경

본 논문에서는 HVDC 변환소의 옥외소음을 해석하고 그 결과 기준치를 초과하는 부분에 대하여 저감대책 효과를 검토하고자 하였다. 현 단계에서 입수 가능한 소음원 및 배치자료 등을 바탕으로 옥외소음 예측을 수행하였으며, 입수되지 않은 자료는 경험치 혹은 유사설비의 자료를 이용하였고, 이로부터 변환소의 옥외소음을 해석하였다. 기준치를 초과하는 소음레벨 저감을 위한 여러 가지의 방음 대책을 적용하고 예상되는 옥외소음분포를 예측하였다.

2. HVDC 시스템에서의 소음

2.1 HVDC 시스템에서의 주요 소음원

HVDC 시스템에서 주된 소음원은 아래와 같다.

2.1.1 Converter Transformer

HVDC변압기는 AC변압기에 비해서 같은 용량인 경우에 높은 소음을 발생시키고 있다. 그 이유는 컨버터 변압기에 흐르

는 전류는 AC에 비하여 높은 고조파를 가지고 있으며, 사이리스터 밸브가 연결되어 있는 권선에 DC전압이 인가되기 때문이다. 이러한 원인으로 인해 HVDC변압기가 AC변압기보다 음압레벨이 평균 10[dB] 높게 나오게 된다.

2.1.2 Reactor

HVDC시스템에서 리액터는 전류를 평활시키는 평활리액터와 고조파 리액터 그리고 무효전력을 흡수하는 Shunt 리액터로 구성되어 있으며 대부분의 리액터는 공심형이다. 리액터의 권선은 절연된 알루미늄 도체로 만들어져 캡슐화되고 송진으로 압축된 권선 층으로 구성되어 있다. 공심형 리액터의 소음은 주로 권선의 진동에 의해서 발생되고, 권선 진동은 권선에 흐르는 전류와 자계에 의한 상호작용에 의해서 발생된다.

2.1.3 Capacitor

HVDC 시스템에는 많은 커패시터가 존재한다. 대표적으로 무효전력을 보상하는 커패시터와 전압을 측정하는 CVT 그리고 고조파를 제거하는 필터를 예로 들 수 있다. 가압된 커패시터의 단면은 전하를 전달하는 알루미늄 판으로 이루어져 있으며, 각 단면은 서로 당기는 힘 때문에 힘의 평형을 유지한다. 평형을 유지하지 않는 호일은 힘의 균형을 이루어지지 않기 때문에 진동이 일어나고 이러한 진동은 소음을 유발하게 된다.

2.2 소음원 모델링

옥외소음 해석을 위해서는 소음원 특성, 특히, 각 기기별 주파수 특성을 가능한한 실제와 유사하게 정의하는 것이 필요하다. 각 기기별 전체 음향 파워 레벨 ($L_{w,total}(dB)$)만이 제공되기 때문에 주파수 특성은 유사 기기의 주파수 특성을 참조하여 동일한 음향 파워 레벨을 갖도록 주파수 특성을 정의하였다^[3, 4]. 식 (1)은 본 논문에서 사용한 주파수 보정식이다.

$$L_{W,Total} = L_{W,base} + C_f \text{ (dB)} \quad (1)$$

여기서, $L_{W,base}$ 는 기준 음향파워레벨이고 C_f 는 주파수 보정치이다. 각 소음원은 해석 프로그램상에서 외형 치수 및 위치 등의 정보로 모델링 하였는데 그림 1은 변환소 소음원 위치를 모델링 한 결과를 나타내고 있다. 여기서, 모든 소음원은 점음원, 즉, 방향성이 없는 소음원(monopole-source)으로 가정하였다. 표 1은 각 기기별 소음원 크기와 옥타브밴드 중심주파수를 기준으로 한 주파수 특성을 정리한 것이다.

표 1 기기별 소음 특성 (dB)

Table 1 Noise characteristics by equipments (dB)

Description	Octave-band Center Frequency (Hz)								Total (dB)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
변압기	98	100	95	95	89	84	79	72	104
AC필터 리액터	87	88	89	89	86	84	81	76	95
밸브	진도	85	82	79	76	73	70	68	88
	제주	89	86	83	80	77	74	72	92
변압기냉각기	89	90	91	91	88	86	83	78	97

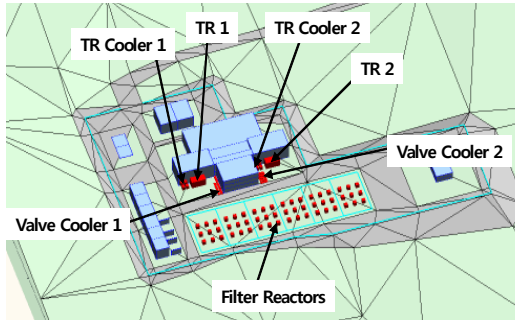


그림 1 변환소 소음원 모델링 결과

Fig. 1 Modelling result of noise source in HVDC converter station

3. 옥외 소음분포 예측

3.1 이론적 배경

3.1.1 옥외 소음전파 기본공식

수음점에서의 옥타브밴드 중심주파수 음압 레벨, L_p 는 기본적으로 모든 소음원에 대해서 다음과 같다.

$$L_p = L_W + D_c - A_{comb} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

여기서, L_W : 소음원의 음향 파워 레벨(dB), D_c :소음원의 방향성 보정계수(dB), A_{comb} : 수음점에 도달할 때까지의 감쇄 계수의 합(dB)이다. 여기서 감쇄계수는 다음과 같이 주어진다.

$$A_{comb} = A_{div} + A_{atm} + A_{ground} + A_{screen} + A_{site} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

여기서, A_{div} : 거리감쇄 감쇄 계수, A_{atm} : 대기 흡수에 의한 감쇄량, A_{ground} : 지면 효과, A_{screen} : 방음벽, 건물등의 구조물에 의한 확산 또는 감쇄량, A_{site} : 숲, 주거지역, 공단지역 등 세세한 모델링이 불가능한 특정 영역 감쇄량

3.2 소음원의 음향 파워 레벨

소음원의 음향 파워 레벨은 기본적으로 실제 측정값을 기준으로 하는 것이 가장 바람직하나, 대부분의 경우 설계 단계에서는 예측치를 기준으로 할 수 밖에 없다. 기기별 음향 파워 레벨은 경험치나 제조사에서 제공하는 음향파워레벨을 활용하였다.

3.3 방향성 보정 계수

대부분의 소음원은 방향에 따라 방사되는 소음 레벨이 조금씩 차이가 나게 되고, 이를 나타내는 것이 방향성 보정계수이다. 하지만, 대부분의 경우 방향성 보정계수는 실측을 하지 않는 이상 판단하기 어렵고, 예측 단계에서는 대부분 점음원(monopole source), 즉, 방향에 따른 소음 방사량의 차이가 없는 것으로 간주한다.

3.4 지면 효과

본 논문에서 활용된 ENPro는 지면 계수 G를 0또는 1로 정의하고 있으며, 0일 경우에는 hard ground, 1일 경우에는 soft ground로 정의하고 있다. 즉, 도로 등은 hard ground로 분류되며, 잔디가 깔린 경우에는 soft ground로 정의할 수 있다.

4. 방음 대책

방음대책은 여러 가지 형태로 적용되고 있으며, 그 중 대표적인 것으로는 방음벽 (Noise Barrier)과 차음덮개 (Noise Enclosure) 그리고, 제한적으로 방음림 (Noise-proof Foliage) 등을 들 수 있다.

4.1 방음벽 (Noise Barrier)

방음벽은 가장 일반적인 방음대책으로 문제가 되는 소음의 전달을 차단시키는 역할을 한다. 방음벽 설계 시 주요 인자는 방음벽의 높이 (또는 소음원과 수음점의 상대적 위치 차이)와 길이이다.

4.2 방음림 (Noise-proof Foliage)

제한적인 경우 소음원 주변에 나무나 숲을 조성하여 감음효과를 얻는 경우도 있다. 하지만, 일반적인 예상과는 달리 그 효과는 그리 크지 않으며, 방음림의 면적 또는 음파의 진행거리가 최소 50m 이상은 되어야 청각으로 느낄 수 있는 감음효과를 기대할 수 있고, 그 효과도 주로 고주파수 대역에 한정되어 있다.

4.3 지면 효과

부지경계 내 지면에 대해서 그 효과를 살펴보면, 각각 Hard ground와 Soft ground로 하였다.

5. 시뮬레이션 결과

5.1 소음 설계기준 및 평가

일반적으로 환경소음에 있어서는 국내법상 생활소음 규제를 받게 된다. 다음 표 2는 국내 소음진동 규제법상의 생활소음 규제기준을 정리한 것이다. 본 논문의 HVDC 변환소는 일반 사업장으로 분류될 수 있지만, 향후 주거지 확대 및 개발 등으로 주변에 환경소음에 의한 문제의 발생 소지가 있어서 보수적인 설계를 위해 부지경계에서 45 dB(A) (야간소음기준)를 기준으로 적용하였다.

표 2 생활소음 규제기준 [단위: dB(A)]
Table 2 regulation standard of life noise[unit: dB(A)]

대상 지역	시간별			
	소음원	조식	주간	심야
주거지역, 준도시 지역중 취락지구, 기타 지역 안에 소재한 학교·병원 ·공공도서관	공장/사업장	50 이하	55 이하	45 이하
	공사장	65 이하	70 이하	55 이하

5.2 시뮬레이션 결과

표 3은 HVDC변환소에서의 옥외 소음예측 결과를 보여준다. 방음대책이 전혀 없는 경우, 부지경계에서의 소음도를 45dB(A)로 제한할 경우 그림 3에서도 볼 수 있듯이 변환소 경계부근에서 규제치를 크게 상회함을 알 수 있다.

이러한 발생소음의 방음대책으로서 방음벽, 차폐용 별도 건물, 방음림 등을 검토하였으며, 계절효과 및 지면효과 등도 추가적으로 검토하였다. 검토결과를 분석하면, 계절효과, 지면효과 및 방음림은 소음 저감에 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있고, 가장 큰 소음원인 필터의 방음벽으로 인한 효과는 크지만, 기준인 45dB(A)를 만족하지 못하여서 차폐용 별도 건물을 추가적으로 설치해야함을 그림 3을 통해 알 수 있었다. 변압기의 경우, 방음벽 설치만으로도 충분한 방음대책이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.

표 3 대책별 주요위치 소음도(진도변환소, dB(A))
Table 3 Noise diagram of key position by countermeasures(Jin-Do converter station, dB(A))

적용 소음 저감 대책	기준위치 ⁽¹⁾						비고 ⁽³⁾	
	#1	#2	#3	#4	#5	#6		
현황	여름	50.1	55.1	65.2	46.1	51.1	46.1	N/G
	겨울	49.7	54.8	65.1	45.9	50.9	45.8	N/G
필터(방음벽)		48.4	44.8	45.5	44.0	50.2	46.1	N/G
필터 (별도건물)	여름	41.1	40.8	25.0	38.1	40.6	41.8	G
	겨울	40.8	40.4	24.8	37.9	40.4	41.5	G
방음림 조성 ⁽²⁾		41.1	40.8	25.0	38.1	37.6	41.8	G
지면효과: Soft Ground ⁽²⁾		40.2	39.3	24.8	36.4	36.6	39.6	G
Converter TR 방음벽 설치 ⁽²⁾		41.1	40.7	24.9	38.0	40.4	41.8	G

(1) 기준위치 = #1: 변환소 입구, #2: 부지경계(북측), #3: 부지경계(서측, Filter Reactor 근접), #4: 부지경계(남측), #5: 부지경계(동남측, TR근접지점), #6: 부지경계(동측).

(2) AC Filter Reactor에 별도 건물 설치 기준 (하절기)

(3) 부지경계 45dB(A) 기준 (G=만족, N/G=초과)

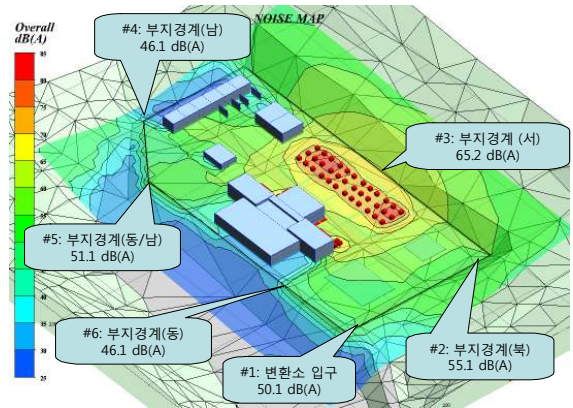


그림 2 변환소 옥외소음분포도 및 기준위치
Fig. 2 Distribution diagram of outdoor noise and reference point of Jin-Do converter station

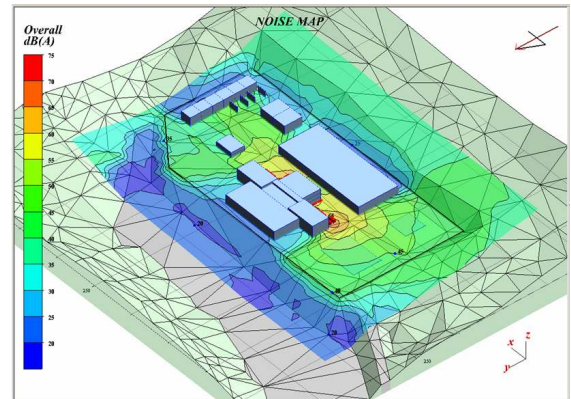


그림 3 변환소 소음 예측결과 (필터건물 설치)
Fig. 3 Estimated result of noise in Jin-Do converter station (installation of filter building)

6. 결론

본 논문에서는 HVDC 변환소에 대해서 설계단계에서의 환경소음 예측 및 평가를 수행하였고, 소음 현황 분석을 통해 설계 기준치 대비 초과 지역을 분석하고 이에 따른 방음대책을 적용하여 그 효과를 살펴보았다. 그 결과 부지경계에서 설계 기준치인 45 dB(A)를 모두 만족하였으며, 추가적으로 여러 환경변수에 따른 옥외 소음 분포의 변화를 예측하였다.

참고 문헌

- [1] ISO 9613-1: 1993, Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere
- [2] ISO 9613-2: 1996, Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation
- [3] SNAME TR 3-37: 1983, Design guide for shipboard airborne noise control
- [4] NEBB (National Environmental Balancing Bureau): 1994, Sound and Vibration - Design and Analysis
- [5] CreaTech: 2001, ENPro Version 3.1 user manual