

저소음변압기 설계 및 제작기술 개발

우장수, 오원근, 조익춘, 구교선*
(주)효성, 한전전력연구원*

The development of the low noise transformer design and manufacturing technology

J.S Woo, W.G Oh, I.C Cho, K.S Koo
Hyosung Corporation, KEPCO

Abstract - 본 논문은 154kV급 전력용변압기의 소음저감 기술 연구에 대한 것으로, 변압기의 소음저감을 위하여 전기설계 변경 및 외함의 구조개선을 실시하였다. 기본적으로 저소음변압기 외함은 차음판을 가지는 이중구조를 채택하였고, 변압기의 자왜를 감소시키기 위해서 Core를 Step-Lap 적용하고, 자속밀도를 감소시켰다.

1. 서 론

전력수요의 증가 및 도심지역의 확대로 인해 변전소의 설비증설 또는 주거지역내 변전소의 신설이 필요하지만 변압기에 의해 발생하는 소음문제로 각종 민원이 지속적으로 발생하고 있어 장기적으로 변전소의 건설과 운용에 차질을 가져올 수 있다.

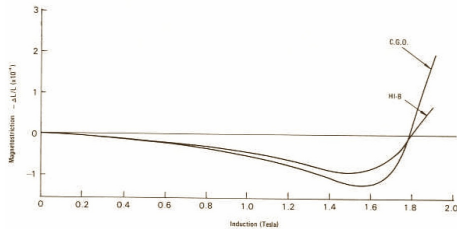
지금까지는 운전중인 변압기의 소음 민원 발생시 방진패드 설치, 방음벽 설치, 본체탱크 밀폐 등의 외부대책을 시행하고 있지만, 근본적인 소음저감 대책이 아니어서 적용하기 곤란하고, 그 효과도 만족할 정도에 이르지 못하고 있다. 변압기 소음의 원인은 크게 3가지로 볼 수 있는데, 첫 번째로는 철심재료의 자기변형에 따른 철심의 진동과 전자기력에 따른 권선의 진동이며, 두 번째는 탱크나 부속품에 전달되어 이것들을 진동시켜 생기는 본체소음과 마지막으로 냉각기, 송유펌프에서 발생하는 냉각기 소음이 있다. 본 연구에서는 이러한 변압기의 소음원들에 대한 효과적인 소음저감을 위해서 철심 적층방법 개선, 철심 Binding, 고효율 차음판 적용, 자속밀도 저감, 차음구조 설계 등의 기술을 정립하고자 한다.

2. 본 론

2.1 저소음 변압기 본체 소음저감 설계

2.1.1 고배향성 방향성 규소강판 채용

소음의 주요인은 철심재료의 자왜진동으로서, 철심의 자왜특성을 개선한 Hi-B 강판 적용을 통하여 변압기의 소음저감이 가능하다. 그림 1은 Hi-B 강판과 일반규소강판의 자왜 특성으로서 변압기 설계 자속밀도인 1.4~1.75 Tesla 영역에서 기존 방향성 규소강판에 비해 자왜의 크기가 감소함을 보여주고 있다.



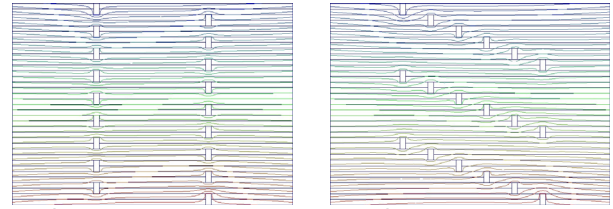
<그림 1> Hi-B 강판과 일반규소강판의 자왜특성 비교

2.1.2 Step-Lap 적층방식 적용

전력용 변압기 제작시 일반적으로 규소강판을 2단으로 교차하여 서로 엇갈리게 적용하는 Symmetric-D 방식을 적용하고 있으며, 이 적용방식은 교차점에서 자속밀도가 증가하여 자왜현상에 의한 진동소음 및 손실이 증가하는 단점이 있다.

이를 개선한 적층방식이 Step-Lap Joint 방식이다. 이 방식은 철심의 적층을 여러 단 교차시켜, 교차점에서 자속의 흐름을 원활하게 함으로써, 자왜현상에 의한 진동소음저감 및 손실저감 효과를 얻을 수 있다. 저소음변압기 개발품은 Step-Lap 적층방식을 적용하여 설계를 실시하였다.

그림 2는 변압기의 대표적인 철심 적층방식인 Symmetric-D 와 Step-Lap 적층방식의 자속밀도 분포를 보여주고 있다.



a) Symmetric-D 적층 b) Step-Lap 적층
<그림 2> 철심 적층방식

2.1.3 철심결합 기술의 적용

일반적으로 철심 결합방식은 bolting을 사용하는 방법과 binding을 사용하는 방법으로 구분된다. 그러나 bolting을 하게 될 경우 bolting 부분에서 자속밀도가 집중되어 자기변형 및 진동이 발생할 수 있다. 이러한 단점을 피하기 위해 철심 결합방식으로 binding을 사용하였으며, 에폭시 계열의 resin tape를 활용하여 기존변압기 대비 binding 개소를 증가시킴으로써 철심의 적층방향 체결력을 철심전체에 고르게 분포시켜 부분적인 철심진동을 최소화하였다.

2.1.4 자속밀도 저감 설계

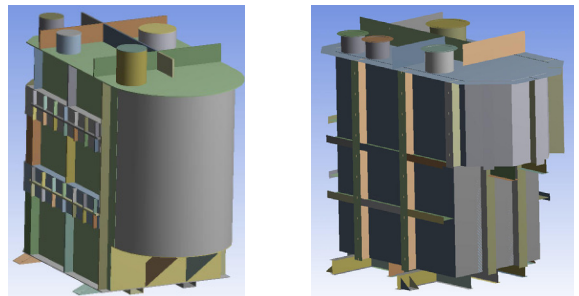
변압기 소음발생의 주요인은 철심재료의 자왜진동으로서, 자속밀도를 저감시 자왜의 크기를 줄일 수 있어 소음 저감이 가능하다. 축소형 모델 및 154kV급 실모델 변압기에 대해 자속 밀도별 소음측정을 실시하여 1000 Gauss 당 3dB~4dB의 소음저감효과가 있음을 확인하였다. 하지만, 자속밀도를 저감시키면 철심의 단면적이 늘어나게 되어 철심의 부피와 중량이 증가하게 된다. 따라서 자속밀도 선정시 Size 및 중량 제한을 고려하여 최적의 자속밀도가 되도록 설계하는 것이 중요하다.

2.2 변압기 탱크의 차음구조 설계

2.2.1 변압기 탱크 공진회피 설계

본 연구에서 적용한 변압기외함의 구조는 변압기의 소음을 저감시킬 목적으로 이중탱크 구조로 하였다. 변압기 외함의 고유진동수와 진동모드를 검토하고, 부가적으로 사용될 차음판의 크기, 차음판의 부착방법, 외함 벽면과 차음판간 거리를 고려하여 외함의 구조가 소음저감에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

154kV급 한전표준형 변압기 외함의 모드해석을 실시한 결과 변압기의 OLTC 측 곡면부에서 주 소음원인 120Hz 성분과 이의 고조파성분 공진이 나타났다. 이에따라 저소음변압기용 외함의 공진회피를 위해 보강재와 형상을 변경, 외함의 고유진동수를 128Hz에서 308Hz로 변경하여 주 소음원인 120Hz 성분에 의한 소음진동을 줄일 수 있었다.

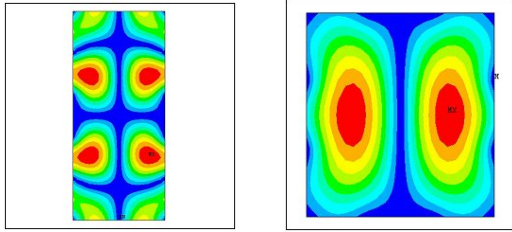


(a) 154kV 한전표준형 변압기(128Hz) (b)154kV 저소음 변압기
<그림 3> 변압기 외함 진동모드 해석모델

2.2.2 차음판의 설계

변압기 2중구조의 외함에서 차음판 설계시 변압기의 소음주파수, 공기층의 두께, 판재의 강성, 판재의 밀도, 판재의 두께, 판재를 지지하는 구조 등을 고려하여 최적화 설계를 실시하였다.

우선 차음판의 두께와 외함 벽면과 차음판 사이의 공기층 두께에 대한 차음성능을 알아보기 위하여, 소음이 차음판에 입사 전 음향효과와 투과 후 음향효과에 대해 해석적으로 평가하였다. 또한 변압기의 주소음원인 120Hz 성분과 고조파 성분에 대해 차음판의 고유진동수를 검토하여 공진을 회피할 수 있도록 차음판의 형상 및 크기를 설계하였다. 그림 4는 각 차음판의 진동모드를 ANSYS 프로그램으로 해석한 결과를 나타내고 있다. 해석에 이용된 요소는 shell 93이며, 볼트위치에 대한 경계조건으로 X, Y, Z 방향의 변위를 구속하였다.



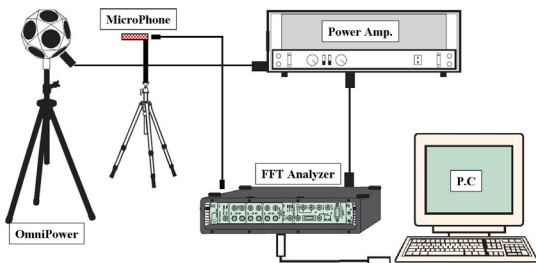
(a) 초기모델 (235.2Hz) (b) 최종모델 (223.9Hz)

<그림 4> 설계변형 전, 후 차음판의 유한요소해석 결과

2.2.3 외함의 방사소음특성 시험

154kV 한전표준형 외함과 저소음형 외함의 방사소음 특성시험을 위하여 외함 내부에 소음발생원(sound generator)을 설치하고, 120Hz와 이의 고조파성분(240Hz, 360Hz, 480Hz, 600Hz)들에 대한 외함의 방사소음특성을 평가하였다. 그림 5는 시험을 한 시스템의 개요도를 나타낸다. 두 종류의 외함에 대한 상대비교를 위하여 외함 내부에 소음발생원(sound generator)을 동일한 위치에 설치하였으며, 외함 외부에서 방사되는 소음은 외함과 일정간격을 유지하여 단위 미터당 외함높이 1/3, 2/3 지점에서 각각 음압을 측정하여 1/3옥타브밴드 및 Narrow band 분석을 실시하였다.

그림 6은 각 외함의 방사소음시험을 실시하는 전경이며, 방사소음특성 시험결과를 비교하여 표 1과 같이 정리하였다.



<그림 5> 외함 방사소음특성 시험을 위한 개략도



(a) 154kV 한전표준형 외함 (b) 154kV 저소음형 외함

<그림 6> 변압기 외함의 방사소음특성시험 전경

방사소음시험결과, 표준형 외함의 경우 240Hz 성분의 소음의 크기가 가장 지배적으로 나타났으며, 저소음형 외함에서는 이 성분의 크기가 약 78% 감소되어 13dB의 소음저감효과를 나타냈다. 또한 480Hz 성분은 오히려 106%가 증가되었는데 이는 OLTC측 맨홀부위의 차음판 공진에 의한 것으로, 향후 본체를 조립하고 부싱, 방열기 등의 부속물을 부착하게 되면 공진주파수의 변화가 일어나 문제가 없을 것으로 예상하

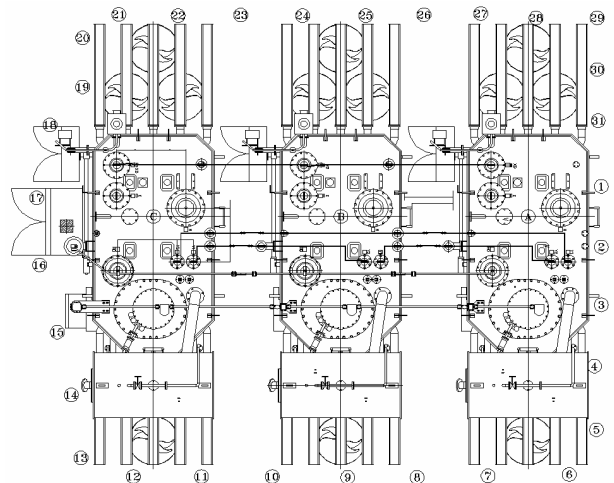
였으며, 실제 확인시험을 통해 문제 없음을 검증하였다. 실변압기에서 발생하는 주파수별 소음이 시험에서와 같이 120Hz 소음성분과 이의 고조파성분의 크기가 모두 동일하다면, 전체적으로 약 73%인 11dB의 소음저감 효과를 기대할 수 있다.

<표 1> 한전표준형 및 저소음형 변압기 외함의 방사소음특성 결과비교

Frequency (Hz)	154kV 한전표준형 (Pa)	154kV 저소음형 (Pa)	Reduction (%)	Reduction (dB)
120	0.110	0.024	78.2%	13.2
240	0.220	0.047	78.4%	13.3
360	0.059	0.012	79.9%	14.0
480	0.019	0.039	-106.7%	-6.3
600	0.025	0.009	62.3%	8.5
Overall	0.207	0.056	73.1%	11.4

2.3. 저소를 변압기 소음특성 시험

저소음변압기를 3상 결선하여 외함의 둘레길이 방향으로 매 1m 마다 총 31개 Point의 1/3과 2/3 높이 지점에서 소음을 측정하여 결과를 산출하였다. 그림 7은 소음측정 Point의 개략도를 나타낸다.



<그림 7> 외함 방사소음특성 시험을 위한 개략도

<표 2> 저소음변압기 소음측정 결과

	평균소음	보정소음	암소음
OA	53.7	53.2	44.5
FA	58.6	58.4	

표 2는 평균소음을 측정된 결과와 합성소음계산식을 적용하여 변압기의 합성소음을 계산한 결과를 나타내고 있다. 위의 결과로부터 저소음 변압기의 합성소음은 OA기준 53.2dB, FA기준 58.4dB로 나타났다.

3. 결 론

변압기 외함 내 본체에 대해 고효율 구조강판 사용, 지속밀도 저감, Step-Lab 적용방식 적용, Binding 개소 증가 등을 통해 변압기 내부 소음을 저감하였고, 탱크에 전달된 소음은 변압기 외함의 공진회피 설계 및 고효율 차음판을 적용하여 차음시키도록 하였다. 제작된 저소음변압기는 소음 특성시험을 통해서 소음저감 효과를 검증하였다. 일반적으로 전력용변압기의 소음은 70dB 이상으로, Fan 소음이 변압기 자체소음보다 5dB 이상 작기 때문에 Fan에 의한 합성소음 증가는 없다. 그러나 저소음변압기의 경우 저소음 팬을 사용하더라도 팬 소음이 변압기 자체소음과 비슷한 수준이어서 Fan 운전시 약 3.5dB의 소음증가가 있었다. 향후에는 Fan 소음을 보다 저감하기 위한 연구를 계속해나갈 예정이며 또한, 변압기에 철판 방음실을 적용하였을 때의 소음저감 효과 연구도 계속하여 변압기의 저소음화 기술을 정립하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 권동진의 3명, “전력용 변압기의 소음저감 기술”, 전력용변압기 워킹 그룹 학술대회, pp. 27~31, 2004. 6
- [2] “Transformer Noise Abatement using Tuned sound Enclosure Panels”, IEEE/PES, pp.184~191, 1997
- [3] “The Sound-field characteristics of a Power Transformer” Applied Acoustics 60, pp.257~272, 1998