

An Analysis on the Audible Sound Due to Load and Cooling Fan for 154kV Power Transformers

구 교 선* · 우 정 옥** · 광 주 식*** · 김 경 탁[§] · 권 동 진[†]

(Kyo-Sun Koo · Jung-Wook Woo · Joo-Sik Kwak · Gyeong-Tak Kim · Dong-Jin Kweon)

Abstract - Recently, the audible sound level of power transformer has been reduced due to development of new material and enhancement of manufacturing technology. There is lack of research on the audible sound of winding and cooling fan because the research on reduction of audible sound is concentrated on the core sound. Therefore this paper describes 3 kinds(core, winding and cooling fan) of transformer sound source. Also this paper analyzes the effect of load sound and cooling fan sound on the total transformer sounds. As the results, total sound level of 79dBA class transformer rises 0.2~0.3dB due to effect of load sound and rises 2.1~3.5dB due to effect of cooling fan sound. Also, total sound level of 55dBA class transformer rises 2.3~2.9dB due to effect of load sound and rises 1.9~3.5dB due to effect of cooling fan sound.

Key Words : Power Transformer, Audible Noise, Core, Winding, Cooling Fan

1. 서 론

변전소는 교류 전력계통에서 전력공급을 위한 필수적인 요소이며, 송전손실을 최소화하기 위해 주거지역근처에 건설하는 것이 필수적이다. 그러나 변전소의 필수 기기인 변압기 소음으로 인해 주거지역에서는 변전소 건설을 기피하는 현상이 발생하고 있다.

이에 따라 변압기 소음저감에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며, 최근 국내에서는 55dBA 이하의 소음레벨을 지닌 154kV 저소음 변압기까지 개발된 상태이다[1]. 그러나 지금까지의 연구는 변압기의 주소음인 철심 진동에 의한 소음 저감에 집중되고 있으며, 부하소음이나 냉각팬 소음에 대한 연구는 상대적으로 미비한 실정이다. 더욱이 철심에서 발생하는 소음(무부하소음)이 저감됨에 따라 상대적으로 부하소음이나 냉각팬 소음이 변압기 전체소음에 미치는 영향이 커지고 있다[2]. 또한 최근 한전에서 변전소 부지확보의 어려움을 해결하기 위하여 변전소 면적을 축소시킨 콤팩트형 변전소를 표준으로 건설함에 따라 변압기와 주거지역과의 거리는 더욱더 가까워지고 있어 부하소음 및 냉각팬 소음 연구의 중요성이 더욱더 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 변압기의 소음발생 원인인 철심(무부하소음), 권선(부하소음) 및 팬 소음을 개별적으로 분석하였으며, 또한 주거지역과 근접해서 건설되는 154kV 변전소

의 45/60MVA 상분리형 변압기의 부하에 따른 권선소음과 냉각팬 소음이 전력용 변압기 전체 소음레벨에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 변압기의 소음기준

국내 전력용 변압기의 최대 사용처인 한전의 기준에 따르면 변압기의 소음에 대해 기준충격과절연강도(BIL, Basic Impulse Insulation Level), 등가2권선용량 및 냉각방식에 따라 소음레벨을 제한하고 있다. 주거지역과 가장 근접한 위치에 설치되는 전력용 변압기는 154kV 상분리형 변압기가 표준으로 기준충격과절연강도는 650kV, 등가2권선용량은 자랭식(OA) 냉각에서 45MVA, 냉각팬을 가동하는 방식인 풍랭식(FA) 냉각에서는 60MVA이다. 이와 같은 사양의 변압기 소음레벨 기준은 표 1에서와 같이 자랭식(OA)에서 77dBA, 풍랭식(FA)에서 79dBA의 소음레벨을 넘지 못하도록 제한하고 있다[3]. 국외에서도 NEMA (National Electrical Manufacturers Association) TR-1 규격에 의해 국내와 마찬가지로 자랭식에서 77dBA, 풍랭식에서 79dBA의 소음기준을 제시하고 있다[4].

그러나 표 2에 나타난 바와 같이 국내 환경규제법에 의한 주거지역의 소음규제기준은 45dBA 변압기 제작시 소음기준과 큰 차이를 보이고 있다. 일본 및 유럽의 소음규제기준도 35~50dBA로 변압기 제작시 소음기준과 큰 차이를 보이고 있어 일본 및 유럽의 전력회사에서는 자국의 소음규제기준을 만족시키기 위해 변압기 구매시 변전소 주변상황을 고려하여 낮은 소음레벨을 지닌 변압기를 제작하도록 요구하고 있다[5, 6]. 이에 따라 변압기 제작사들은 변압기의 주요소음원인 무부하소음(철심소음)을 저감하여 변압기를 제작하고 있다.

지금까지 변압기의 주요 소음원은 철심소음이었으므로 무부하 상태의 소음레벨을 전통적인 검수기준으로 채택하여

* 정 회 원 : KEPCO 전력연구원 선임보연연구원
 ** 정 회 원 : KEPCO 전력연구원 선임연구원 · 공박
 *** 정 회 원 : KEPCO 전력연구원 선임연구원
 § 정 회 원 : KEPCO 전력연구원 일반연구원
 † 교신저자, 정회원 : KEPCO 전력연구원 책임연구원 · 공박
 E-mail : kskoo@kepri.re.kr

접수일자 : 2010년 7월 27일
 최종완료 : 2010년 8월 23일

표 1 전력용 유압변압기의 소음레벨기준치

Table 1 The audible sound levels for oil-immersed power transformers

냉각방식* ^{주1)}	기준충격과절연강도[BIL]			소음레벨 (dBA)
	450~650kV			
	A	B	C	
등가 2권선 용량* ^{주2)} [kVA]	15,000	12,500	-	72
	20,000	16,667	-	73
	20,000	20,000	20,800	74
	30,000	26,667	25,000	75
	40,000	33,333	33,333	76
	50,000	40,000	41,667	77
	60,000	53,333	50,000	78
	80,000	66,667	66,667	79
100,000	80,000	83,333	80	

주1) A : 유입자냉식(OA), 유입수냉식(OW), 유수냉식(FOA)
 B : 유입풍냉식(FA), 송유풍냉식(FOA) 제1단계
 C : 유입풍냉식(FA), 송유풍냉식(FOA) 제2단계
 주2) 등가 2권선 용량은 모든 권선용량의 합계의 1/2한 용량
 주3) 해당용량이 없을 경우는 차상위 용량의 것을 적용

표 2 국내의 생활소음·진동의 규제기준

Table 2 The regulation of environment noise·vibration in the country

대상지역	시간별 소음원	조식	주간	심야
		(5-8시, 18-22시)	(8-18시)	(22-5시)
주거지역 및	확성기(옥외설치)	70이하	80이하	60이하
	공장·사업장	50이하	55이하	45이하
녹지지역	공사장	65이하	70이하	55이하
기타 지역	확성기(옥외설치)	70이하	80이하	60이하
	공장·사업장	60이하	65이하	55이하
	공사장	70이하	75이하	55이하

왔으나, 철심소음이 감소되고 부하소음 및 팬소음이 변압기 전체소음에 미치는 영향이 커짐에 따라 부하소음과 팬소음을 검수시 시험하는 경우가 늘어나고 있다[6]. 마찬가지로 국내에서도 철심소음이 낮아짐에 따라 부하소음 및 팬소음의 영향이 커지고 있으므로 이들에 대한 분석 및 검토의 중요성이 증가하고 있다.

3. 변압기 소음이론

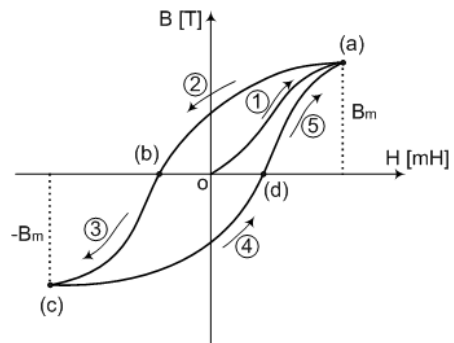
3.1 일반적 특징

변압기의 주요한 소음은 철심, 권선 및 냉각기에 의한 3가지 소음으로 분류할 수 있다. 철심소음은 자왜현상(magnetostriction phenomenon)의 영향과 불규칙한 철심 적층면 사이에서 일어나는 자기력에 의해 발생되며, 부하소음은 부하전류에 의한 누설자속에 의해 권선, 외함 등의 전자기력에 의해 발생된다. 또한 냉각기 소음은 냉각팬의 경우 발생하는 바람의 공기역학적인 원인에 의해 발생되고, 펌프

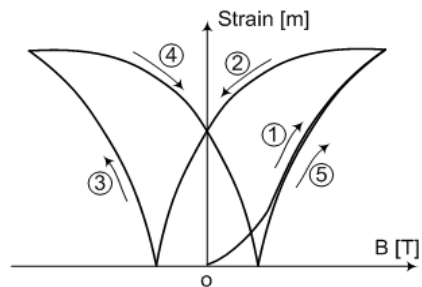
의 경우 압력이 낮은 쪽의 공동현상(空洞現象, cavitation)과 모터, 베어링에 의해 발생된다[2]. 냉각기 소음의 경우 전대역의 주파수 특성을 가지지만, 철심과 권선 소음은 100~600Hz의 낮은 주파수 특성을 지닌다. 이들 저주파수 소음은 전원 주파수의 n배의 하모닉(harmonic) 성분을 가지며, 고주파수 소음보다 낮은 소음감쇠 특성을 지니고 있어 멀리 전파되는 특성이 있다[2]. 더욱이 철심소음과 부하소음과 같이 낮은 주파수 대역의 소음은 투과 및 회절효과가 높아, 변압기 주변에 설치한 방음벽 또는 밀폐장치 등의 소음저감 장치의 효과가 잘 나타나지 않으므로, 변압기 자체 소음레벨을 낮추어 제작하는 것이 효과적이다.

3.2 철심소음

변압기 철심과 같은 강자성체(強磁性體)는 자화(磁化)될 때 아주 작은 크기의 형태변화가 발생하는데, 이것을 자기왜곡(磁氣歪曲) 또는 자기변형(磁氣變形)이라 한다. 그림 1은 철심의 자기이력(磁氣履歷)을 나타내는 히스테리시스(hysteresis) 곡선과 철심의 변형특성을 나타낸 것이다.



(a) 히스테리시스 곡선



(b) 철심의 변형곡선

그림 1 히스테리시스 곡선과 철심의 변형곡선

Fig. 1 Hysteresis curve and strain curve of the core

변압기에 60Hz 주파수의 교류전원이 인가되면, 자성체에서 잔류하는 자속의 영향으로 발생하는 히스테리시스(hysteresis)라는 현상으로 인해 그림 1 (a)와 같이 비선형적으로 철심이 자화된다. 이때의 자속밀도에 따라 철심의 자기변형의 크기가 결정되고, 자속의 방향과는 관계없이 변형이 일어나므로 전원주파수의 2배인 120Hz의 n배인(120, 240, 360, 480Hz ...) 하모닉 진동이 발생한다[7].

자화와 자왜진동이 일어나는 현상을 단계별로 살펴보면 최초로 변압기가 자화되면서 그림 1 (a)의 ①구간과 같이

최대 자속밀도 1.7[T](일반적인 설계되는 자속밀도)까지 자화되며, ②구간에서는 잔류자속의 영향으로 완만하게 자속밀도가 감소하다가 ③구간에서는 자속의 방향이 반대로 형성되고 -1.7[T]까지 자속밀도의 절대값이 증가한다. ④구간에서는 ②구간과 마찬가지로 잔류자속에 의해 완만하게 자속밀도의 절대값이 감소하며, ⑤구간에서는 잔류자속과 인가되는 전원의 영향으로 ①구간과는 다른 형태로 자화된다. 이후 ②~⑤ 루프곡선의 특성을 나타내며, 이때 그림 1 (b)의 ②~⑤의 형태로 철심의 변형이 생긴다[7].

이와 같은 철심의 변형이 지속적으로 반복되어 진동이 발생되고, 이에 따라 소음으로 전파된다. 이러한 소음을 줄이기 위해 자기변형의 크기를 줄일 필요가 있으며, 그 방법으로 고배향성 방향성 규소강판과 자구미세화 강판이 철심의 재료로 이용된다. 고배향성 방향성 규소강판은 자속의 통로인 자구를 자속의 이동방향으로 방향성을 강화하여 자기변형을 줄임으로써 소음을 저감시킬 수 있다. 또한 자구 미세화 강판은 제작시 레이저로 강판에 인위적인 흠집을 만들어 자구의 크기를 작게하여 자기변형의 크기를 줄여 소음을 저감시킬 수 있다.



(a) 일반 적층방식 (b) 스텝랩 적층방식

그림 2 일반적층 방식과 스텝랩 적층방식

Fig. 2 normal stacking method and step-lap stacking method for the core

자기변형뿐만 아니라 철심에서의 자기력에 의해 진동이 일어나면서도 소음이 발생된다. 이 자기력은 철심면 사이로 자속이 이동될 때 또는 에어갭(air gap)을 통과할 때 발생하는데, 철심의 접합면(interleaved joint)과 볼트의 구멍과 같이 철심이 연속적이지 않거나 투자율이 일정하지 않은 지점에서 발생된다. 이들 지점에서는 국부적으로 자속을 왜곡하고 자속밀도의 크기와 자속의 방향을 변경시킨다[2].

변압기 철심소음의 크기에 영향을 주는 요소는 자속밀도, 철심의 재질, 철심의 형상에 따라 다르다. 따라서 최근 전력용 변압기는 철심의 설계자속 밀도를 낮추고, 포화자속밀도가 높은 철심을 사용하여 자기변형에 의한 소음을 줄이고 있으며, 철심의 기계적 강도 유지를 위한 볼트 체결 및 철심 적층시 에어갭에 의해 자기력이 발생하는 문제는 바인딩 방식으로 철심을 결합하여 기계력을 강화하고 그림 2와 같이 스텝랩 방식으로 철심을 적층하여 에어갭의 위치를 분산시킴으로써 소음을 저감시키고 있다[1].

3.3 부하소음

부하소음 발생의 원인은 누설자속에 의한 전자기력에 의한 것으로, 전자기력은 부하전류의 제곱에 비례하여 증가하고, 부하소음은 부하전류에 4제곱에 비례한다. 이와 같은 부

하소음의 권선의 수직방향과 방사방향의 진동에 의해 발생되고, 주로 권선의 수직방향에 의한 진동이 부하소음의 주된 원인이다. 또한 권선 소음은 일반적으로 부하전류의 2배(120 Hz)의 주파수 특성을 지닌다[2].

전력용 변압기에서 120Hz 하모닉 소음이 발생하는 부위는 철심, 권선(1차 및 2차) 및 탱크에서 여러 곳에서 발생되므로 이들이 공진할 경우 소음을 크게 증가시킬 우려가 있다. 따라서 ...등의 설계 변수를 조절하여 공진되는 주파수를 변경하여 공진주파수를 회피할 수 있으므로, 적절한 기계적인 설계가 필요하다.

3.4 냉각기 소음

변압기에서 발생하는 냉각기의 소음은 펌프 소음과 냉각팬에 의한 소음으로 나눌 수 있다. 펌프에서 발생하는 소음은 절연유를 송출할 때 압력이 낮은 쪽의 공동현상과 펌프 모터 및 베어링에 의해 발생된다. 냉각팬의 소음은 날개회전에 의한 공기역학적인 원인에 의해 발생되며, 일반적으로 넓은 주파수 대역폭을 가진다.

154kV 변압기는 일부 수냉식 냉각방식을 쓰는 경우도 있지만, 대부분의 변압기는 냉각팬에 의한 풍랭식을 사용한다. 이들 냉각팬은 축류식으로 구조 및 설치가 간단하고, 경량으로 값이 싼 장점이 있으나 원심식에 비하여 소음이 큰 단점이 있다. 전력용 변압기의 냉각팬 소음발생 원인을 좀더 자세히 살펴보면 표 3과 같이 자려소음(自勵騒音, self-excited noise)과 간섭소음(干涉騒音, interaction noise)으로 분류할 수 있다.

표 3 냉각팬의 소음발생 메커니즘 및 특성

Table 3 The Mechanism and the characteristics of cooling fan noise

분류	소음특성	메커니즘
자려 소음	B.P.F와 조화주파수 성분	압력분포의 불균일성에 기인한 양력변화
간섭 소음	광대역 중, 저주파수 성분	소규모 난류성 유동에 기인한 압력 변화
	광대역 고주파수 성분	날개 표면의 층류경계층 섭동

자려소음은 냉각팬 날개(blade)의 회전에 의해 주기적인 압력변동이 생기고 이로 인해 발생하는 소음이다. 이 소음의 주파수특성은 날개통과주파수(blade passage frequency, B.P.F)와 그 정수배의 조화 주파수대에서 뚜렷한 피크값이 나타나는데 저주파수대역에서 주로 발생하지만, 중고주파수대역까지도 조화주파수가 분포한다. 날개통과주파수는 식 (1)과 같다[8]. 식 (1)에서와 같이 날개의 수가 늘어날수록 팬의 회전속도가 빨라질수록 자려소음은 고주파수 성분을 나타내게 된다.

$$f_{bpf} = N \times \frac{B}{60} \tag{1}$$

여기서, f_{bpf} : 날개통과 주파수
 N : 팬의 회전수[rpm]
 B : 날개수

간섭소음은 주로 날개의 와류진동(vortex shedding)에 의해 발생하는 것으로, 날개 후면에 공기흐름의 박리(separation)로 인한 와류에 의해 발생하는 소음, 선행 날개에서 발생한 와류가 뒤따라오는 날개에 부딪히면서 발생하는 소음, 날개 표면의 층류경계층의 섭동(擾動)에 의해 발생하는 소음 등이 있다[8-10].

4. 국내 154kV 변압기의 소음분석

4.1 철심 소음의 분석

철심에서 발생하는 무부하 소음레벨은 전력용 변압기 검수시험에 포함되어 있는 항목으로 최근 제작된 변압기의 소음레벨 시험결과를 조사하였으며, 음향파워레벨은 국외로 수출되는 변압기중 일부는 이 값을 명시하도록 되어있으나 국내에서 요구하는 사항이 아니므로 소음레벨 시험결과로부터 얻어진 소음레벨 값에 대해 변압기 표면적을 적분하여 계산되었다.

그 결과 철심에서 발생하는 소음은 무부하소음으로 표 5와 같이 국내의 일반 79dBA급 154kV 45/60MVA 상분리형 변압기의 경우, 음압레벨(Sound Pressure Level, SPL)로는 73~76dBA, 음향파워레벨(Sound Power Level, PWL)로는 약 82dB이며, 55dBA급 154kV 저소음 변압기의 경우 음압레벨로는 약 50.2~52.4dBA, 음향파워레벨로는 약 66dB의 소음레벨을 갖는다.

표 4 국내 154kV 전력용 변압기의 무부하 소음레벨

Table 4 no-load sound pressure level of 154kV power transformers in the country

변압기 구분	음압레벨 [dBA]		음향 파워레벨 [dB]	
	국내 기준	소음 레벨	국내 기준	소음 레벨
79dBA급 변압기	77.0 이하	73.0~76.0	-	약 82.0
55dBA급 변압기	53.0 이하	50.2~52.4	-	약 66.0

4.2 부하소음의 분석

부하소음은 무부하소음(철심소음)과 동시에 발생되기 때문에 일반적인 방법으로는 부하의 영향에 의한 음압레벨만 별도로 산출하기 어렵다. 그러나 식 (2)의 변압기 용량과 소음레벨의 관계를 나타낸 Reiplinger의 공식에 의해 부하소음의 음향파워레벨을 추정할 수 있다[11].

$$PWL = 39 + 18 \log(S_N / S_0) \quad (2)$$

여기서, PWL 은 부하로 인한 음향파워레벨

S_N 은 변압기의 정격용량

S_0 는 기준 1MVA

식 (2)에 따라 154kV 45/60MVA 변압기의 음향파워레벨은 OA냉각모드에서 45MVA가 정격이므로 약 68.8dB, FA냉각모드에서 60MVA가 정격이므로 약 71.0dB가 된다.

부하운전을 할 경우 변압기의 전체소음은 무부하소음(철심소음)과 부하소음이 합성되어 나타나기 때문에 두가지 소음을 합성하면 전체 변압기의 소음레벨을 파악할 수 있다.

식 (3)은 변압기뿐만 아니라 모든 합성소음을 계산하는 일반적인 공식으로, 이 공식을 이용하여 무부하소음과 부하소음을 합성하여 전체 변압기 소음을 계산하는 것이 가능하다[12].

$$C = 10 \log(10^{\frac{A}{10}} + 10^{\frac{B}{10}}) \quad (3)$$

여기서, A, B는 부하소음레벨과 무부하소음레벨

C는 A와 B의 합성소음레벨

식 (3)을 이용하여 전체 변압기소음을 계산하고, 부하소음이 변압기 전체소음에 미치는 영향을 분석하여 표 5에 표시하였다.

표 5 154kV 변압기의 무부하 및 부하 음향파워레벨 계산 결과

Table 5 the calculated value of no-load and load sound power level for 154kV transformer

구분	음향파워레벨[dB]	소음증가	
		종류	용량 [MVA]
79dBA급 변압기	무부하	부하	합성값
	45	60	82.2
55dBA급 변압기	무부하	부하	합성값
	45	60	70.6

79dBA급 154kV 전력용 변압기의 무부하 음향파워레벨은 약 82dB로, 45MVA로 운전할 경우 합성소음은 82.2dB로 무부하 음향파워레벨에 비해 0.2dB 상승하였으며, 60MVA에서 합성소음은 82.3dB로 0.3dB 상승하였다. 또한 55dBA급 154kV 저소음 변압기의 무부하 음향파워레벨은 약 66dB로, 45MVA로 운전할 경우 합성소음은 70.6dB로 4.6dB 상승하였으며, 60MVA에서 합성소음은 72.2dB로 6.2dB 상승하였다. 이와 같이 79dBA급 일반 변압기에서는 부하소음이 변압기 전체 소음에 미치는 영향이 작지만, 무부하 소음을 감소시킨 55dBA급 154kV 저소음 변압기에서는 부하소음의 영향이 크게 나타나는 것을 알 수가 있다.

표 6은 부하소음 영향이 큰 55dBA급 저소음 변압기 3bank의 현장설치 후 무부하 소음 및 부하소음을 측정한 것

표 6 55dBA급 변압기의 무부하 및 부하소음 측정결과
Table 6 measured value of no-load and load sound for 55dBA class transformer in site

bank	현장적용 소음레벨 [dBA]		소음증가량
	무부하 소음	합성소음 (무부하+부하)	
#1	57.8	60.7	2.9
#2	56.2	58.0	2.8
#3	59.2	61.5	2.3

이다. 전력용 변압기 현장설치 전에서는 실부하 조건을 조성하기 어려우며, 현장설치 후에는 부하를 연구자의 요구사항대로 조절할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 정격부하가 아닌 변압기의 현장부하 조건인 28MW(bank1), 27MW(bank2), 3MW(bank3) 일 때의 부하소음을 측정하였다.

55dBA급 154kV 저소음 변압기가 무부하일때의 소음레벨은 56.2~59.2dBA로 측정되었으나, 부하운전을 할 때의 소음레벨은 58.0~61.5dBA로 2.3~2.9dB 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같이 무부하소음을 저감시킨 변압기의 경우 부하소음이 전체변압기 소음레벨의 증가를 가져올 수 있다.

4.3 냉각팬의 소음

현재 154kV 전력용 변압기에 사용되는 냉각팬은 그림 3과 같이 2가지 형태로 분류된다. 일반 냉각팬은 79dBA급 154kV 전력용 변압기에 적용되는 모델이며, 저소음 냉각팬은 55dBA급 저소음 변압기에 적용되는 모델이다.



(a) 일반 냉각팬 (b) 저소음 냉각팬

그림 3 일반 냉각팬과 저소음 냉각팬
Fig. 3 normal cooling fan and low noise cooling fan

냉각팬은 회전수 및 날개의 직경을 줄일수록 소음을 줄일 수 있지만, 이러한 설계변수의 변화는 냉각팬의 풍량을 감소시킬 우려가 있다. 따라서 저소음 냉각팬의 냉각성능 저하를 최소한으로 하기위해 날개의 각도를 완만하게 하여 자려소음을 저감시켰으며, 날개의 배치간격을 좁혀 선행날개에서 발생하는 와류에 의한 소음을 감소시키는 구조로 설계된 것이다[13].

냉각팬이 변압기 전체소음에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 냉각팬의 개별적인 소음레벨을 파악할 필요가 있다. 표 7은 일반 냉각팬과 저소음 냉각팬의 소음레벨을 측정된 결과이다.

표 7 냉각팬 소음 및 냉각성능 측정 결과
Table 7 the measured value of sound pressure level and cooling performance for cooling fan

항 목	일반 냉각팬	저소음 냉각팬	비 고	
소음레벨	67.0dBA	44.4dBA	한국냉동공조 인증센터 시험결과	
풍량	m ³ /h	8,396	6,198	평균면적 : 0.385m ²
	CFM	4,942	3,648	

일반 냉각팬은 67.0dBA, 저소음 냉각팬은 44.4dBA로 나타났다으며, 냉각성능과 상관관계가 있는 풍량은 저소음 냉각

팬이 일반 냉각팬보다 약간 적은 것을 알 수 있다.

변압기의 전체소음은 냉각팬의 개별적인 소음레벨 뿐만 아니라 냉각팬의 개수와 설치위치에 따라서도 영향을 받는다. 냉각팬은 변압기 제작사마다 개수와 설치위치가 다르지만, 일반적으로 79dBA 154kV 변압기는 방열판 하부에 15~18개의 일반 냉각팬이 설치되어 있으며, 저소음 변압기의 경우 9~12개의 저소음 냉각팬이 설치되어 있다. 냉각팬은 주로 변압기 양쪽에 위치한 방열판 하부에 설치되므로, 변압기 본체가 반대쪽에 설치된 냉각팬의 소음전파를 차단한다. 따라서 한쪽면의 냉각팬의 합성 소음레벨 계산하면, 변압기 전체 소음에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

표 8은 변압기 한쪽 면에 설치된 냉각팬의 합성소음레벨과 변압기 전체 소음 증가량을 계산한 것으로, 일반 냉각팬의 경우 한쪽면 9개, 저소음 냉각팬은 한쪽면 개수 6개를 분석한 결과를 나타낸 것이다.

표 8 154kV 변압기의 무부하 및 냉각팬 소음레벨 계산 결과

Table 8 the calculated value of no-load and cooling fan sound for 154kV transformer

소음레벨	냉각팬 종류	무부하 소음레벨	냉각팬 합성소음	변압기 전체소음	소음 증가량
일반 변압기	일반	73~76	(9개) 76.5	78.1~79.3	3.3~5.1
	저소음	73~76	(9개) 53.9	73.1~76.1	0.1
저소음 변압기	저소음	50.2~52.4	(6개) 52.2	54.3~55.3	2.9~4.1

79dBA급 일반 변압기에서 일반 냉각팬을 적용했을 때 변압기 전체소음레벨은 78.1~79.3dBA로 무부하 소음레벨보다 3.3~5.1dB 증가하고, 저소음 냉각팬을 적용했을 때는 약 0.1dB 증가로 소음증가 영향이 거의 없는 것을 알 수 있다. 이와 같이 저소음 냉각팬을 79dBA 일반 변압기에 적용했을 때 냉각팬에 의한 소음증가 영향을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 저소음 변압기에 저소음 냉각팬을 적용했을 때 변압기 전체소음레벨은 54.3~55.3dBA로 약 2.9~4.1dB 증가하는 것으로 나타났다.

이와 같이 일반 변압기에 저소음 팬을 적용하는 경우와 같이 특수한 경우에는 냉각팬에 의한 소음증가 영향이 거의 없지만, 79dBA급 및 55dBA급 변압기의 일반적인 경우에는 냉각팬에 의해 변압기 전체소음이 증가하는 것을 알수가 있다. 물론 냉각팬의 상부의 방열판에 의해 소음이 차단되는 효과를 고려하면 표 8에 나타난 냉각팬으로 인한 소음증가의 영향은 줄어들 가능성이 있지만, 냉각팬에 의해 변압기 전체소음이 증가할 수 있다는 결론은 변함이 없을 것이다.

표 9는 55dBA급 저소음 변압기에 저소음 냉각팬을 설치했을 때 변압기 전체소음을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 소음측정은 3대의 변압기를 무부하 조건에서 저소음 냉각팬을 가동하지 않았을 때와 가동했을 때의 소음레벨을 측정된 것으로, 상분리형 변압기가 단상으로 운전할 경우와 3상 조합을 했을 경우 모두 측정하였다.

변압기 단상으로 운전했을 때 냉각팬 미가동시 소음레벨은 49.5~50.2dBA였으며, 냉각팬을 가동했을 때는 50.7~54.3dBA로 0.8~4.1dB 증가하였다. 또한 3상 운전을 했을 경우 냉각팬 미가동시 소음레벨은 50.2~52.4dBA, 냉각팬을 가동했을 때는 53.7~54.3dBA로 1.9~3.5dB 증가하였다.

표 9 55dBA급 변압기의 무부하 및 냉각팬 소음 측정결과
Table 9 measured value of no-load and cooling fan sound for 55dBA class transformer

구분	소음레벨[dBA]		소음증가량 [dB]
	냉각팬 미가동	냉각팬 가동	
단상 운전	49.5	52.3	2.8
	49.9	50.7	0.8
	50.2	54.3	4.1
3상 운전	50.2	53.7	3.5
	51.9	54.1	2.2
	52.4	54.3	1.9

4.4 소음영향도 분석

지금까지 부하소음과 냉각팬 소음이 변압기 전체 소음레벨에 대해 분석한 결과를 보면, 79dBA급 154kV 변압기의 경우 무부하 소음레벨이 73~76dBA로 변압기 전체소음의 대부분을 차지하고 있기 때문에 부하소음에 의해 0.2~0.3dB 정도의 작은 음향과위레벨의 증가 영향을 주고 있으며, 일반 냉각팬 가동으로 인해 3.3~5.1dB까지의 소음증가 영향이 있지만, 저소음 냉각팬을 적용할 경우 변압기 전체소음증가는 0.1dB로 큰 영향을 줄 수 없는 것으로 나타났다.

그러나 최근 무부하소음을 감소시킨 저소음 변압기의 경우 부하소음으로 인해 음향과위레벨이 4.6~6.2dB까지 증가할 수 있으며, 음압레벨로는 약 3dB이상 증가할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 저소음 냉각팬을 가동했을 때에도 1.9~3.5dB까지 증가하는 것으로 나타났다.

이와 같이 79dBA급 일반 변압기에서는 부하소음으로 인해 전체 소음레벨이 증가하는 문제가 적으며, 저소음 냉각팬 적용으로 냉각팬 가동으로 인한 소음증가 문제를 해결할 수가 있다. 그러나 55dBA급 저소음 변압기에서는 부하소음과 냉각팬 소음의 영향으로 변압기 전체소음레벨이 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 현재 변압기가 소음레벨 기준치를 만족하고는 있지만, 보다 친환경적인 저소음 변압기를 만들기 위해서는 부하소음 및 냉각팬 소음의 영향을 고려하여 소음저감 설계를 할 필요성이 있을 것이다. 또한 소음문제가 심각한 변전소에서는 저소음 변압기의 적용뿐만 아니라 부하소음 및 냉각팬 소음을 고려한 제작기준 적용이 필요할 것으로 판단된다.

5. 고 찰

154kV 전력용 변압기는 주거지역과 가장 근접한 곳에 설치되는 전력용 변압기로서 345kV, 765kV 변압기에 비해 주거지역과의 거리적으로 가까이 때문에 소음민원의 대상이 되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 소음 차단시설과 저소음 변압기 설치 등으로 소음문제를 해결하려고 노력하고 있다.

그러나 현재의 소음레벨 시험은 무부하 소음레벨만을 측정하고 있으므로, 이 결과를 토대로 소음문제 발생시 소음대책을 수립하고 있다. 이와 같은 경우 부하소음에 의한 소음증가는 고려하지 못하므로, 효과적인 대책을 세우기 어려운 문제가 있다.

국외의 연구결과를 보면 일반적으로 변압기 소음저감에 초점이 맞추어져 있으며, 소음원별 변압기 소음증가의 영향 검토는 사례는 미비한 실정이다. 또한 변압기 부하소음에 초점이 맞추어진 문헌도 변압기 설계사양에 따라 부하소음의 10dB까지 증가하는 경우도 있지만, 전혀 증가하지 않는 경우도 있는 것으로 나타나있다[2, 6].

국내의 경우 전력용 변압기에 대한 부하소음 및 냉각팬 소음에 대해 연구한 사례가 없으므로, 국내에서만 유일하게 사용되는 154kV 상분리형 전력용 변압기에 대한 부하소음 및 냉각팬 소음에 대한 연구 또한 사례를 찾아볼 수 없다. 따라서 국내에서 변전소 소음민원과 가장 밀접한 관련이 있는 154kV 변압기의 소음영향도를 검토할 필요가 있다.

본 논문에서 부하소음과 냉각팬 소음의 영향을 검토한 결과 79dBA 일반 변압기의 전체소음은 부하소음으로 인해 0.2~0.3dB 증가하고, 냉각팬에 의해 3.3~5.1dB 소음이 증가할 수 있으며, 55dBA 저소음 변압기의 경우 부하소음에 의해 4.6~6.2dB 증가하고, 냉각팬에 의해 2.9~4.1dB까지 상승할 수 있는 것으로 분석되었다.

따라서 변전소 주변에 주거지역이 근접하여 소음문제가 발생될 우려가 있을 경우 변전소 설계와 소음대책 수립시에도 본 논문에서 언급한 부하소음의 영향을 고려가 필요하며, 현재 국내에서는 무부하 소음레벨시험만을 시행하고 있지만 부분적으로 소음문제가 민감한 지역에서는 부하소음을 포함한 소음레벨 시험을 도입할 필요성도 있을 것이다. 또한 변압기 제작시에도 부하소음을 고려하여 설계하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 논문에서는 전력용 변압기의 부하소음(권선소음) 및 냉각팬 소음이 변압기 전체소음 증가에 미치는 영향에 대해 분석하였으며, 주요한 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 79dBA의 일반 변압기는 정격부하 운전시, 부하소음에 의해 0.2~0.3dB의 음향과위레벨이 상승하고, 저소음 냉각팬 적용으로 0.1dB의 소음레벨이 증가할 것으로 분석되었다.
- (2) 55dBA인 저소음 변압기는 정격부하 운전시 부하소음에 의해 4.6~6.2dB의 음향과위레벨이 상승하고, 저소음 냉각팬 적용시 1.9~3.5dB까지 소음이 증가하는 것으로 분석되었다.
- (3) 79dBA 일반 변압기는 부하소음 및 냉각팬 소음의 영향으로 전체 소음레벨 증가에 큰 영향을 주지 못하지만, 55dBA 저소음 변압기는 부하소음 및 냉각팬 소음이 변압기 전체 소음레벨에 영향을 주는 것으로 나타났다.
- (4) 부하소음 및 냉각팬 소음에 의해 변압기의 전체소음은 무부하소음에 비해 6.2dB까지 증가할 수 있으므로 부하소음 및 냉각팬 소음의 영향이 큰 것으로 나타났다.

으며, 소음대책 수립, 소음레벨 시험 및 변압기 제작시에도 부하소음 및 냉각팬 소음을 종합적으로 검토하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 권동진 외, “환경친화형 저소음 변압기 개발,” 한전전력연구원 최종보고서, pp.1~121, 2008.

[2] IEEE Std C57.136-2000(R2005) “IEEE Guide for Sound Level Abatement and Determination for Liquid-Immersed Power Transformers and Shunt Reactors Rated Over 500 kVA”.

[3] “변압기 소음레벨 기준치,” 한국전력 표준규격 ES 5950-0009, 2006.

[4] NEMA(National Electrical Manufactures Association) Standars publication No. TR1-1993(R2000) “Transformers, Regulator and reactors”.

[5] “생활소음·진동의 규제”, 소음진동 규제법, 시행규칙 제 29조, 제3항, 1990.

[6] Ramisis S. Girgis, et al., “Comprehensive analysis of load noise of power transformer”, IEEE PES General Meeting, pp. 1-7, 2009.

[7] 유승렬 외, “자왜현상에 의한 변압기 진동 해석”, 한국정밀공학회 2006년도 추계학술대회논문집, pp. 75-76, 2006.

[8] 김동규 외, “실험적 방법에 의한 축류형 팬의 저소음화에 관한 연구”, 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집, pp.178~184, 1993.

[9] 이승배, “송풍기 소음 규격 동향 및 팬소음 이론”, 대한설비공학회, 설비저널 공기조화 냉동공학, 제 26권, 제 6호, pp.481~490, 1997.

[10] 최대휴 외, “축류형 팬의 소음해석에 관한 연구”, 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, pp.339~343, 1996.

[11] E. Reiplinger, “Study of Noise Emitted by Power Transformers based on Today’s Viewpoint”, CIGRE Session 1988, Paper #12 - 08, 1988.

[12] 이규성 외, “소음, 진동공학,” 형설출판사, pp.89~90, 1999.

[13] 구교선, “전력용 변압기 저소음 냉각팬의 소음레벨 및 냉각성능 분석”, 조명전기설비학회 논문지, Vol. 23, No. 8, pp. 110-115, 2009.

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 KEPCO 전력연구원 송배전연구소 선임보연구원.
Tel : 042-865-5894
E-mail : kskoo@kepri.re.kr



우 정 옥 (禹 貞 旭)

1968년 9월 19일생. 1992년 경북대학교 전기공학과 졸업. 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 KEPCO 전력연구원 선임연구원.
Tel : 042-865-5892
E-mail : jwwoo@kepri.re.kr



곽 주 식 (郭 周 植)

1972년 1월 10일생. 1994년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 KEPCO 전력연구원 선임연구원.
Tel : 042-865-5893
E-mail : joosiki@kepri.re.kr



김 경 탁 (金 慶 鐸)

1978년 10월 1일생. 2005년 경북대학교 공대 전기공학과 졸업(학사). 2004년~현재 KEPCO 전력연구원 송배전연구소 일반연구원.
Tel : 042-865-5895
E-mail : eiff@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 KEPCO 전력연구원 송배전연구소 책임연구원.
Tel : 042-865-5890
E-mail : djkwon@kepri.re.kr