

부하가진력에 의한 초고압변압기의 방사소음예측 Prediction of Radiated Noise from Ultra-high-voltage Transformers under the Load Excitation

유 석 진* · 홍진숙† · 정의봉** · 김태용*** · 하정우***

Suck-Jin Yoo, Chinsuk Hong, Weui-Bong Jeong, Tae-Yong Kim and Jung-Woo Ha

1. 서 론

초고압변압기의 주요소음원인은 철심(Core)의 자왜현상, 권선(Windings)의 로렌츠 힘 그리고 냉각팬의 공기마찰 등을 들 수 있다. 현재까지 무부하시 철심의 자왜현상으로 생기는 철심의 진동 및 소음에 관한 연구는 많이 이루어졌다. 그러나 부하시 권선의 로렌츠 힘에 의해 발생하는 부하소음에 대한 연구는 상대적으로 미비한 실정이다. 본 연구에서는 초고압변압기가 부하상태에 놓여 있을 때 로렌츠 힘에 의해 발생하는 부하가진력과 이로 인한 방사소음을 예측하고 실험결과와 비교하고자 한다.

2. 전자기장해석을 통한 부하가진력 해석

유한요소 모델링을 기반으로 하는 전자기장해석을 통해 권선에 정격전류 및 단락회로에 전압을 인가하는 부하실험과 동일한 조건을 구현하여 권선의 부하가진력을 추출하였다. 전자기장해석을 위한 권선의 유한요소모델은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 권선에 인가된 전류는 저압권선 2159.5A, 고압권선 93.0A 그리고 탭권선 93.0A이며, 이때 주파수는 60Hz이다. 전자기해석은 Fig. 1의 유한요소모델을 이용하여 시간영역해석으로 수행하였으며 권선표면에 발생하는 전자기력을 얻었다. Fig. 2는 강제진동해석을 위한 권선구조의 유한요소모델이며 전자기장 해석을 통해 얻은 전자기력을 여기에 인가하였다. Fig. 2에서 보인 색띠는 권선 표면의 모든 노드 점에 작용하는 전자기력의 크기를 나타내고 있다.

전자기력 분포를 살펴보면 3상의 권선 모두 HV권선에서 큰 부하가진력이 나타나며 최고 5.61N의 힘 벡터가 발생하였다.



Fig. 1 Finite element model of windings for electromagnetic analysis



Fig. 2 Distribution of induced electromagnetic forces on the windings.

권선에 주파수가 60Hz인 전원이 인가되었을 때 발생하는 부하가진력은 아래와 같이 로렌츠 힘으로 표현되고 주파수는 120Hz가 된다.

$$|\vec{f}_v| = |\vec{i} \times \vec{B}| = \hat{f}_v \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} \hat{f}_v (1 - \cos 2\omega t) \quad (1)$$

여기서 \vec{i} 는 전류밀도벡터, \vec{B} 는 자속밀도벡터, \vec{f}_v 는 로렌츠의 체적 힘, $|\vec{f}_v|$ 는 로렌츠의 체적 힘의 크기 그리고 \hat{f}_v 는 로렌츠 힘의 진폭을 나타낸다.

† 교신저자; 울산과학기술대학교 기계공학부

E-mail : cshong@uc.ac.kr

Tel : (052)279-3134, Fax : (052)279-3137

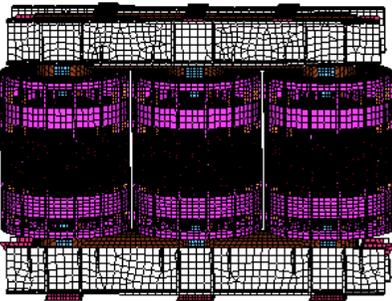
* 부산대학교 대학원 기계공학부

** 부산대학교 기계공학부

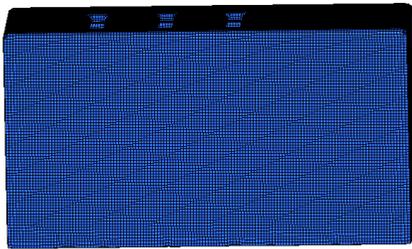
*** (주)효성 중공업연구소 변압기연구팀

3. 부하가진력에 의한 진동해석

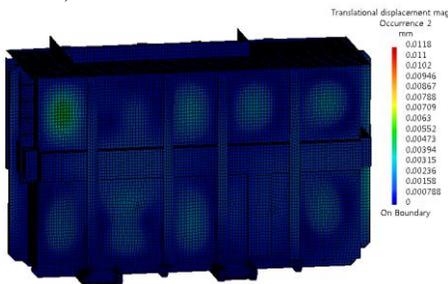
권선, 절연유 및 외함 등을 포함하는 초고압변압기 구조의 부하가진력에 의한 강제진동응답 해석을 수행하였다. 해석을 수행하기 위해 각 구성품을 Fig. 3에서 보인바와 같이 유한요소로 모델링 하였다. Fig. 3(a)에서는 외함내부에 있는 유한요소모델, (b)에는 절연유의 유한요소모델, (c)에는 외함 구조의 유한요소모델을 보이고 있다. 절연유와 권선 및 외함 구조물 사이의 구조-유체 상호작용을 고려하여 모델링 하였다. 앞 절에서 전자기장해석을 통해 얻은 부하가진력을 권선 표면의 모든 노드점에 인가하였다. 구조와 절연유의 연성을 고려한 강제진동해석 결과 Fig. 3(c)와 같이 얻을 수 있었다. Fig. 3(c)에 보인 색띠는 외함 벽면의 변위분포를 보이고 있다. 이로 인한 법선방향 속도성분을 경계치로 경계요소법을 통해 외부로 방사되는 소음을 해석하였다.



a) Finite element model of internal structures



b) Finite element model of oil



c) Finite element of the tank and displacement response

Fig. 3 Forced response analysis

4. 초고압변압기 방사소음예측

Fig. 4에서 보인 경계요소와 Fig. 3에서 보인 외함표면의 변위벡터를 사용하여 변압기의 방사소음해석을 수행하였다. 방사소음 해석은 LMS.Virtual Lab에 있는 Acoustic BEM method 모듈을 이용하였다. Fig.4에서 볼 수 있듯 밀부분에 대칭면(symmetry plane)을 만들어 주고 실제 부하실험에서 소음을 측정된 위치와 동일하게 수음점을 지정하였다.

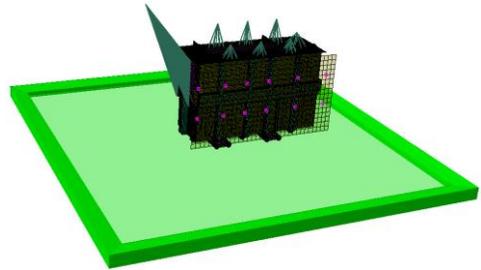


Fig. 4 Symmetry plane and field point

외함 정면의 수음점에서 부하상태 소음이 지배적인 120Hz의 음압레벨(Sound Power Level)의 평균 값이 62.8dB(A)로 예측되었다. 동일한 지점에 대하여 측정하여 평균한 값이 59.4dB(A)이었다. 예측치와 측정치 간의 차이 3.4dB(A)는 해석 대상인 초고압변압기의 소음발생 현상이 복잡한 점과 측정 환경이 변전소 생산현장인 점을 고려하면 공학적인 오차 범위에 있다고 생각할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 초고압변압기의 전자기장해석을 통해 부하상태에서 발생하는 권선의 로렌츠 힘을 구하고 구조 권선모델링에 인가하여 강제진동응답해석을 수행하였다. 또한 이를 통해 얻은 외함의 변위벡터를 이용하여 방사소음을 예측하고 실험과 비교, 분석하였다. 그 결과 정면에서 120Hz의 주파수성분의 음압레벨의 평균이 3.4dB(A) 오차 범위 내의 예측이 가능하였다. 이 연구에서 정립한 방사소음 프로세스를 사용하여 향후 무부하상태, 정상상태에서의 방사소음을 예측하고 그 결과를 이용하여 저감방안을 수립하는데 활용할 수 있을 것으로 기대한다.