

전력용 변압기(154kV 단상)의 구조진동 해석에 관한 연구

김영달, 박우용, 김선대
한밭대학교

A study on the structure-vibration analysis of power transformer(154kV Single Phase)

Young-Dal Kim, Woo-Yong Park, Seun-Dae Kim
Hanbat National University.

Abstract - 전력용 변압기의 고장 원인이 과도 진동에 의한 기계적 결함이 대부분을 차지하고 있으며, 그 원인 120Hz배수 조합으로 이루어진 진동이다. 전력용 변압기에 작용되는 기계적 가진력을 유형별로 분류하고, 기계나 구조물에 미치는 진동진달 경로를 통해 전력용 변압기의 기계적 손상 메커니즘을 규명한다. 일반적으로 120Hz 성분의 진동이 변압기별의 외함, 부상, 부호홀쯔, 방압변 및 탭체인 처의 진동영향에 대해 확인하였다.

1. 서 론

1842년 제임스 줄(James Joule)은 어떤 물질에 자장을 걸면 모양(부피)의 변형을 일으킨다는 자왜현상(Magnetostrictive Phenomena)을 처음으로 규명해냈다 [1]. 기계적 가진력을 갖는 장치는 고유진동수가 일치할 때 마다 공진현상이 발생하는데, 무거운 물체를 붙여서 질량을 변화시켜 고유진동수를 바꾸거나 또는 T형 구조와 같이 형상이 다른 물체를 접합시켜 고유진동수를 바꾸게 되면 특정 진동에 대응할 수 있다[2].

변압기의 경우 내부 철심의 자왜현상에 의해 발생하는 전기주파수는 120Hz의 배수 조합이 변압기 탱크외벽을 통하여 외부로 방출하게 된다. 이때 변압기 탱크가 가지는 고유진동수에 대한 변압기 내부 자장인 자왜현상의 진동수와 같은 주파수에 의해 공진현상이 발생이 크게 증가하게 될 것이다. 이러한 공진현상을 방지하기 위하여 탱크 시스템에 강제적으로 감쇠를 추가시키거나 강성과 질량의 조정을 통해서 공진현상의 조정할 수 있으나, 일반적으로 변압기 탱크처럼 큰 구조물에 감쇠를 추가하는 일은 비용적인 측면과 생산적인 측면에서 어려움이 따르므로 탱크의 재질에 대한 질량 및 강성을 조정할 수 있다. 이에 따라 변압기 탱크의 모드해석을 통하여 고유진동수가 얼마인지 알아보고 진동형태를 해석하여 변위를 알아내고자 한다. 고유진동수 변화추정치변이를 측정하여 이에 따라 변압기 소음 및 진동 평가의 기준이 되어야 할 것이다.

2. 전력용 변압기의 구조진동 해석

2.1 초기설정

기계 구조물에서 발생하는 진동은 장비의 이상 진동, 기계과파 또는 소음원의 원인이다..이런 진동을 방지하기 위해서는 구조물의 진동해석이 중요하다. 모드해석은 진

동모드에 의한 공진현상을 중심으로 진동이나 소음문제 의 원인규명이나 해결 등에 적용하는 방식이다. 진동 Impulse에 대한 FFT 분석기와 모드 해석 틀을 사용하여 그 구조물 표면의 진동거동을 해석한다.

여러 전달관의 피크로부터, 고유진동수, 진동모드, 감쇄계수 들의 모달 파라미터를 측정한다. ODS(Operating Deflection Shape)에서는 운전 시의 기계나 부품의 변형에 가해지는 모든 계수의 진동거동이 대한 정보가 얻는다. 신호분석기로부터 측정된 진동데이터에 의한 기계나 구조물의 동적 움직임의 분석 및 관찰과 소음데이터에 의한 음향 인텐시티 및 음향파워레벨의 측정을 한다.

그림 1에서와 같이 180Hz~10000Hz사이의 주파수에서 순음과 동일한 음압으로 느끼게 되므로 이 사이에서의 주파수범위를 모드해석의 범위로 설정할 수 있다. 단 120Hz는 제 1 mode이므로 무시할 수 없다. 따라서 120Hz ~ 10000Hz사이의 주파수 영역 내에서 모드 해석을 실시한다.

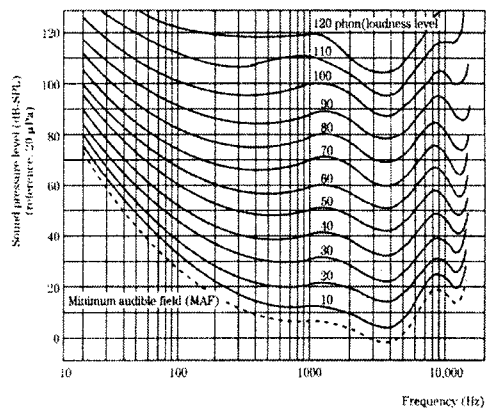


그림 1. 라우드니스 곡선

진동데이터 취득 및 분석장치는 B&K Pulse System 을 이용하였으며 해석 Tool로는 ANSYS를 이용하였다.

2.2. ANSYS의 FEM

본 연구에서 사용한 ANSYS/SOLID187의 경우 Prism /Tetrahedral 요소는 사용하지 않았다. Young's Modulus의 경계조건은 200GPa (Cast Carbon Steel 기준) 이고, Density는 7,800kg/m³ 이고, Poisson's ratio는

0.32로 하였다. 모드해석 방법으로 Block Lanczos를 이용하기 위한 Node size는 173,249이고, Element size는 87,016로 설정하였다[3]. 해석 Tool로는 ANSYS를 이용하였으며 mesh를 구성하고 있는 사면체 요소를 사용하였다. Free mesh는 변압기 탱크와 같은 복잡한 형상에 대하여 규칙성이 없는 형태의 mesh를 만드는데 용이하다. 또한 형상의존형의 mesh(smart size mesh)를 추가하여 모델 전체의 mesh의 수를 설정하였다. 그리하여

표 1. 차수별 FEM 해석 결과

차수	고유주파수 (Hz)	차수	고유주파수 (Hz)	차수	고유주파수 (Hz)
1	28.6	21	142.8	41	210.3
2	36.7	22	143.6	42	212.6
3	45.5	23	149.8	43	216.5
4	56.6	24	152.5	44	223.5
5	63.6	25	155.7	45	225
6	70.2	26	160.9	46	227
7	88.8	27	162	47	229.6
8	97.6	28	167.9	48	234.6
9	99.3	29	170.5	49	235.1
10	99.9	30	173.8	50	237.8
11	101.8	31	179.5	51	238.2
12	109.5	32	182.1	52	241.1
13	115.7	33	185.6	53	247.6
14	117.1	34	189.5	54	248.3
15	118.1	35	192.1	55	252.2
16	121.3	36	196.8	56	254.6
17	130.5	37	199.3	57	255.1
18	131.7	38	201.1	58	255.8
19	136.1	39	202.4	59	259.3
20	140	40	205.2	60	260

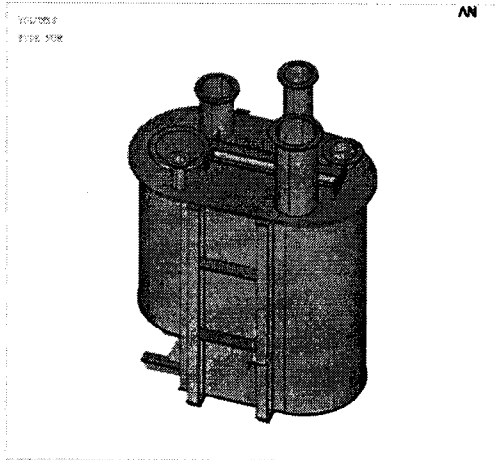


그림 2. 유한요소 모델

그림 2와 같이 변압기 탱크 전체에 대해 자중에 의해 지면과 닿는 부분은 거의 진동에 의한 변위가 없으며 완전 고정되어 있는 구속조건을 부여하였다. 절연유의 영향을 배제하였다.

그림 3같은 mesh 형상을 얻어내었다.

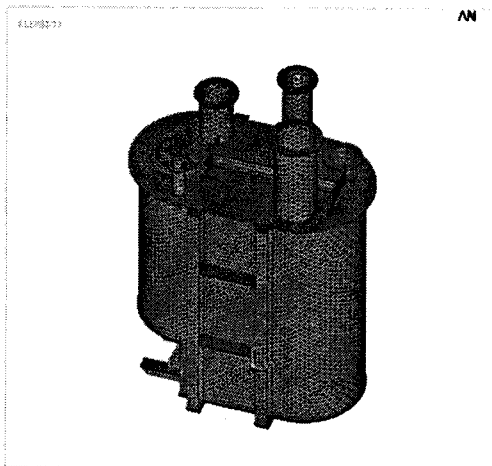


그림 3. mesh 형상

Block Lanczos를 해석범위로 고유 주파수 영역을 0~300Hz하였고 모드 추출 수는 60개로 셋팅 하였다. 가장 낮게 30Hz 범위에서 발생하였고 여러 개의 고유주파수가 발생하였다. 초기 응력을 가진 상태의 고유주파수 해석을 진행하였다. 표 1에서처럼 전체 진동은 개별모드 합성치 해석하였다.

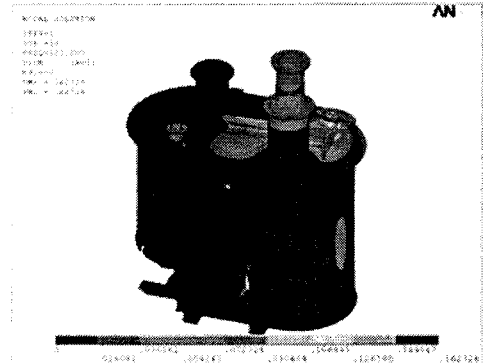


그림 4. 공진 16차 (121.3Hz)

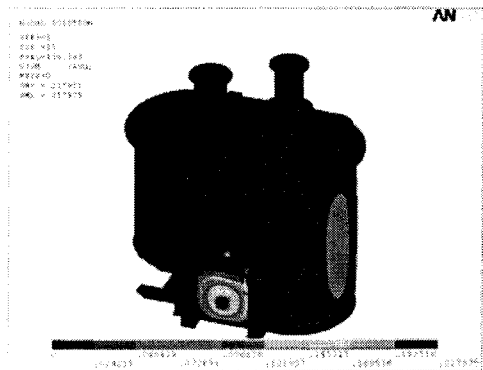


그림 5. 공진 15차 (118.1Hz)

그림 4는 고유 모드 형상 120Hz에서 해석되었으며 공진상태는 국부 공진을 나타내었고 공진이 변압기에 영향이 없었다. 하지만 그림 5의 경우 변압기에 큰 영향은 없으나 부싱에서 진동 유발될 수 있는 가능성이 있다고 판단하였다.

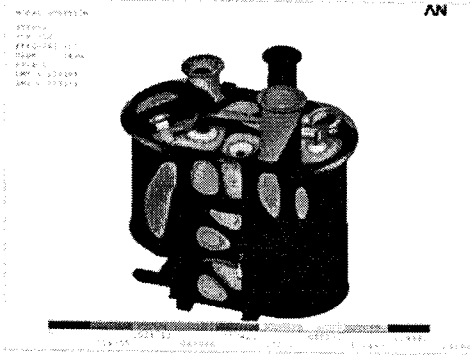


그림 6. 공진 52차 (241.1Hz)

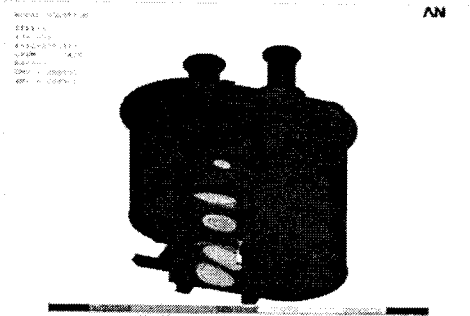


그림 7. 공진 51차 (238.2Hz)

그림 6은 고유 모드 형상 240Hz에서 해석되었으며 공진상태는 국부 공진을 나타내었고 공진이 변압기에 영향이 없었다. 하지만 그림 7의 경우 변압기에 상부 공진 상태의 공진상태가 되었고, 각종 부정부위에서 큰 진동 유발될 수 있는 가능성이 있다.

변압기의 구조 해석 및 동적 응답 특성을 해석으로 고유모드 해석한 결과 120Hz, 240Hz 부근에 존재하는 고유주파수를 검출되었으며 진동을 유발할 가능성이 있다고 판단하였다.

2.3. 변압기 진동

본 연구에서 사용한 B&K 4384 가속도계와 B&K Nexus Charge Type Amplifier 및 B&K Pulse System 데이터 취득/분석 장치를 사용하였다. FFT와 CPB Analysis Type 은 PULSE를 운전 중인 변압기의 각 측정 위치에서 진동속도(mm/sec)를 구하기 위해 그림 8와 같이 시스템을 갖추었다. 모드 해석을 어느 수준까지 해야 하는가는 운전조건에 따라 결정되며, 변압기의 경우 사람이 들을 수 있는 가청 주파수범위가 20Hz~15000Hz이다. 특히 소리의 물리적인 강약은 음압에 의해 정해지지만 인간이 어떤 소리를 들었을 때 감각적으로 느껴지는 강약은 음압뿐 아니라 소리의 주파수에 따라 서로 달라진다. 측정 주파수대역은 20~2KHz(Step = 1Hz)로 설정하였다.

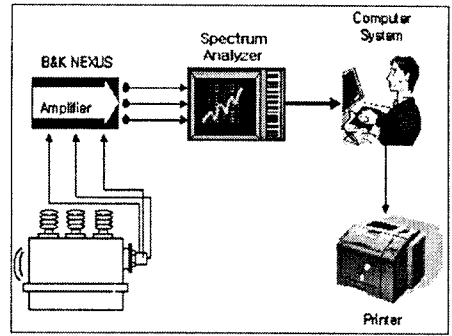


그림 8. 진동 측정 시스템 구성

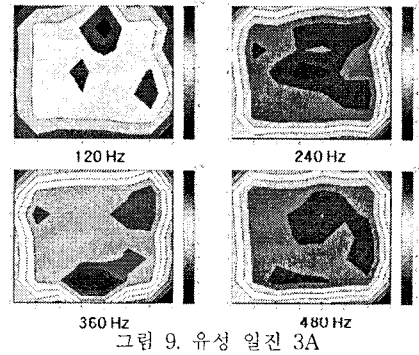


그림 9. 유성 일진 3A

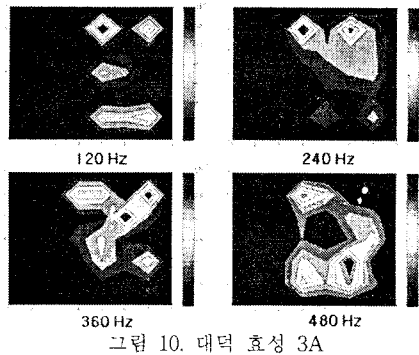


그림 10. 대덕 효성 3A

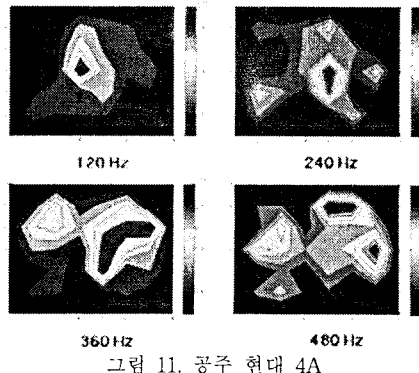


그림 11. 공주 현대 4A

측정 변전소는 공주, 유성 및 대덕변전소이며 변압기별 최대 진동치는 0.01mm/s~3.36mm/s이고 일반적으로

120Hz성분의 진동이 가장 크게 발생하였다. 일부 변압기의 경우 360Hz 및 420Hz에서 진동이 크게 발생하였다. 이는 변압기별로 외함 표면 진동의 형태가 다양하게 나타나고 있음을 확인하였다.

3. 결 론

단상 전력용 변압기의 구조진동분석하고 이에 따른 Magnitude, Phase 와 Coherence를 외함, 부싱, 부호홀쯔, 방압변 및 탭체인처에 대해 진동영향에 해석하고 Mobility 측정을 통해 분석하였다.

변압기에 공진시험 결과 Mobility응답특성을 나타내었으며, 시험 신뢰도에 대한 Coherence를 확인하였다. 외함 공진은 120Hz부근에서 공진 가능성이 있으나 크게 나타나지 않았으나 이것은 구조체의 맵핑 영향이 크다고 판단되었다. 부싱, 부호홀쯔 및 방압변의 경우 120Hz 부근에서 공진현상이 없었는데 이것도 공진이 없도록 설계가 반영된 것으로 판단된다. 변압기 탭크 설계 시 구조진동의 영향에 대해 Magnitude, Phase 와 Coherence의 요소를 고려하여 설계를 병행되어야 할 것이다.

이 논문은 기초전력연구원의
지원에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] MOU, GANG. Modeling and Control of a Magnetostrictive System for High Precision Actuation at a Particular Frequency, p4~5,2002
- [2] Advanced Mechanical Vibration by Rao V. Dukkipati
- [3] Effects of Block Size on the Block Lanczos Algorithm by Christopher Hsu,p9~13,2003