

6.6kV 건식변압기 고장분석연구

선중호, 허종철, 이상화, 김광화
한국전기연구원

Fault Analysis of 6.6kV Dry Power transformer

J. H. Sun, J. C. Heo, S.H. Yi, K.H.Kim
KERI

Abstract - 현장에서 사용중 고압권선에 고장이 발생한 6.6kV 건식변압기 고장의 원인분석을 위하여 설계와 제조방식이 동일하고 사용기간이 비슷한 건식변압기에 대한 전기적 열적 시험을 실시하였다. 전기적 시험으로는 교류 및 충격 내전압시험, 부분방전시험을 실시하였고 열적시험으로는 단락법을 사용하여 온도를 상승시켰으며, 내부 및 외부권선표면의 온도분포와 열화상에 의한 온도분포를 측정하였다. 시험결과 부분방전특성이 기준치에 비하여 높게 나타났으며, 권선온도분포는 사용환경온도이하인 것으로 분석되었다.

기계적 지지에 의한 응력 단락시의 전자력 및 온도변화에 의한 열응력 등의 기계적 스트레스를 받는다. 또한 절연시스템은 기기의 종류 등에 의해서 그 상황이 다르지만 습기와 오염 혹은 약품, 특수 분위기 등의 여러 절연열화 요인이 된다. 이상과 같이 건식변압기에는 운전중에 전압, 열, 기계력 및 환경의 4종류의 열화요인(열화스트레스)이 가해진다. 다음 표는 건식 변압기의 파괴모드와 열화관계를 나타낸 것이다.

표 1 건식변압기의 파괴모드와 열화스트레스 관계

열화 요인	파괴 모드	열화스트레스				금구의 전식, 부식열화
		권선의 트래킹 열화	권선의 부분방전 열화	단자부 크랙열화	권선부의 관통절연 파괴	
온도						
습도						
오손						
진동						
전기적 스트레스						
기계적 스트레스						
열적 스트레스						

:영향 큼 :영향 비교적 큼 :영향 적음

1. 서 론

고전압을 사용하는 전력기기는 초기결함이나 운전 중 과도한 전기적, 열적 및 기계적인 스트레스 등에 의하여 불시고장을 일으킬 수 있다. 이와 같은 전력기기의 고장이 계속적으로 발생하면 사용자는 물론 제작자에게도 큰 손실을 발생시키게 된다. 그러므로 고장이 발생할 경우 고장원인 분석을 통하여 초기결함을 제거하거나 사용환경을 개선시키는 기술은 전력기기의 신뢰성 향상에 매우 중요하다.

건식변압기의 열화는 권선의 절연에서 일어나며 권선 절연특성에 크게 좌우된다. 건식변압기 권선의 절연시스템은 내부의 도체와 이를 둘러싸는 고체절연체 및 에폭시 수지의 절연체에 의해 이루어지고 있다. 일반적으로 이러한 건식변압기의 권선은 사용 중에 상시 운전시의 전압과 뇌 전압, 침입 서지 등 전기적 스트레스를 받는다. 또한 절연시스템은 일반적으로 전기 절연뿐만 아니라, 기계적 구조물로서의 기능도 포함하고 있는 것으로 기계적 지지에 의한 응력 단락시의 전자력 및 온도변화에 의한 열응력 등의 기계적 스트레스를 받는다. 이상과 같이 건식변압기에는 운전 중에 전압, 열, 기계력 및 환경의 4종류의 열화요인(열화스트레스)이 가해진다.

본 연구에서는 현장에서 사용되던 중 고장이 발생한 건식변압기의 사용환경과 운전기간이 유사하고 용량이 동일한 상상 6.6kV급 건식변압기를 대상으로 전기적 열적 실험을 실시하였으며, 그 결과를 분석하여 고장원인을 규명하였다.

2. 본 론

2.1 건식변압기의 열화

건식변압기의 열화는 권선의 절연에서 일어나며 권선 절연특성에 크게 좌우된다. 건식변압기 권선의 절연시스템은 내부의 도체와 이를 둘러싸는 고체절연체 및 에폭시 수지의 절연체에 의해 이루어지고 있다. 일반적으로 이러한 건식변압기의 권선은 사용 중에 상시 운전시의 전압과 뇌 전압, 침입 서지 등 전기적 스트레스를 받는다. 또한 절연시스템은 일반적으로 전기 절연뿐만 아니라, 기계적 구조물로서의 기능도 포함하고 있는 것으로

2.2 고장변압기의 육안점검

고장변압기는 전력용 건식변압기로서 주요 사양으로서 절연등급이 H중이고, 용량은 3상 1800kVA이며, 변압비는 6,600V/450V 이고 1차 정격전류는 157.5A이다. 고장전 변압기는 외함에 쌓인 형태로 사용된다. 건식변압기는 사용중 고장이 발생하였으며, 고장은 삼상중 가장 끝 상인 T상에서 발생하였으며, 권선의 상부 쪽에서 발생한 것으로 나타났다. 고장부위를 세밀하게 관찰하기 위하여 고장지점이 나타날 때까지 권선을 해체하였다. 고압권선은 사각 각도체로 되어 있으며, 내열성 절연지를 사용하여 단간절연과 층간절연을 한 후 에폭시 페인트가 칠해졌다. 그림 1은 해체되어 나타난 고장부위를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 고압권선부의 층간절연파괴에 의해서 고장이 발생한 것으로 나타났으며, 파괴부위가 아크열에 의하여 모두 용해되어 육안점검에 의한 정확한 고장원인을 추정할 수 없었다.



그림 1 고장부위 사진

2.3 건식변압기의 전기적시험

2.3.1 시료준비

시험을 할 수 있는 형태로 고장변압기 시료를 제작하기 위하여 고장변압기의 고장 상(T상)을 제거하고 그 같은 자리에 비슷한 시기에 제작되어 사용되어온 동일모델의 다른 변압기의 건전상을 대체하여 3상변압기 시료를 준비하였다. 고장분석을 위하여 이 변압기에 대하여 다음과 같은 시험을 실시하였다.

2.3.2 시험결과

각 시험결과는 다음과 같다. 표 2는 권선저항측정결과를 보여주고 있다. 권선저항시험은 권선의 늘어남, 절단과 같은 기계적인 특성을 고찰하기 위한 시험으로서 초기치와의 비교를 통하여 이상유무를 판정하므로 표의 결과로서 이상유무를 판정할 수 없다.

표 2 권선저항측정결과

	1차권선 (Ω)	2차권선 (mΩ)	주위온도 (t)
	R-S	u-v	
Rated tap	0.137	0.387	10.0

표 3은 유도내전압시험결과를 보여주고 있다. 180 Hz의 주파수로 1차 권선간에 2배의 전압을 40초간 유지하였으며 이상이 없는 것으로 나타났다.

표 3 유도압시험결과

시험기준	시험결과	판정
13.2kV	이상없음	양

표 4는 1, 2차 권선에 교류내전압 시험결과를 보여주고 있는 시험결과는 양호한 것으로 나타났다.

표 5는 뇌임펄스 내전압시험결과를 보여주고 있으며, 시험결과는 이상이 없는 것으로 나타났다.

표 6은 부분방전시험결과를 보여주고 있다. 시험전압은 유도내전압시험법으로 인가되었다. ES 140-650-755나 JEM 1424 등의 시험규격에 의하면 부분방전시험은 정격전압의 1.1배에서 실시하도록 되었으며, 이 때의 부분방전량은 50pC를 넘어서는 안되는 것으로 되어있다. 위 표에 의하면 495V에서 최소 70pC에서 400pC 이상까지 분포하는 것으로 되어 있으므로 규정치보다 많은 것

표 4 교류내전압시험

인가부위	시험전압 (kV)	시험시간 (s)	시험결과	판정
1차권선-2차권선, 대지간	20	60	이상없음	양
2차권선-1차권선, 대지간	3			

표 5 뇌임펄스 내전압시험

인가부위	시험전압 (kV)	극성	인가횟수 (회)	시험결과
1차권선-2차, 대지간, RST	전파 : 60	부극성	반파 1 전파 3	이상없음

로 나타났다. 또한 정격전압에서도 S상과 T상은 부분방전량이 50pC를 초과하는 것으로 나타났다. 또한 부분방전개시전압과 소멸전압도 정격전압인 6.6kV이하인 것으로 나타났다. 또한 권선의 절지물과 2차 권선사이에서 부분방전이 발생하는 지를 분석하기 위하여 절지물과 2차 권선사이 상용주파교류내전압을 인가하여 부분방전시험을 실시하였으며, 시험결과 10kV까지 부분방전이 발생하지 않았다. 이 결과로부터 건식변압기는 권선에서 부분방전이 발생하는 것으로 나타났으며 따라서 부분방전에 취약한 특성을 보이는 것으로 분석되었다.

표 6 부분방전 시험결과

2차측 인가전압	R상(w-u)	S상(v-w)	T상(u-v)
Prestress 전압 600V/ 1분	1000pC	600pC	1,200pC
450V X 1.1(495V)	200pC	70pC	400pC
450V (정격)	10pC	60pC	500pC
PD 개시전압 (개시전하량 : 10 pC)	6.9 kV (2차 470V)	6.5-7.0 kV (2차 483V)	6.1 kV
PD 소멸전압 (소멸전하량 : 10 pC)	6.1 kV (2차 418V)	5.75 kV (2차 392V)	5.47kV
* Calibration 최대치는 400pC임. * 권선과 절지물 간에는 10kV까지 부분방전 없음			

표 7은 단락'으로 동손만을 발생시키고 저항법으로 온도를 측정한 온도상승시험결과를 보여주고 있다. 온도상승 시험은 부하율 100%와 130%에 대하여 실시하였다. 주위온도가 약 16t임을 감안할 때 평균권선온도는 부하율100%에서 약 79t가 되고 130%에서는 약 110t가 된다. 권선의 최고점온도를 알 수는 없지만 절연물이 180t까지 사용이 가능한 H중 절연물임을 감안할 때 정격부하에서는 여유가 있을 것으로 사료된다.

표 7 온도상승시험결과

구분	시험결과(t)	
권선 100% Load loss급 157A	HV(R-S)	56.9
	LV(u-v)	62.9
권선 130% Load loss급 201A	HV(R-S)	93.8
	LV(u-v)	92.4

3. 결 론

이상과 같은 6.6kV급 건식변압기의 고장분석을 위한 전기적 시험과 온도상승시험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고장이 발생한 건식변압의 육안점검결과 고장은 층간절연파괴로 추정되었다.
2. 유도내전압과 교류내전압, 뇌충격내전압시험결과는 양호한 것으로 나타났다.
3. 부분방전시험에서 정격전압에서 부분방전은 최대 500pC까지 발생하였으며, 부분방전 개시전압과 소멸전압은 6.6kV 이하에서 발생하는 것으로 나타났다.
4. 온도상승시험에서 H종 절연물의 열적 등급을 기준으로 하였을 때 정격부하에서 건식변압기의 온도는 여유가 있는 것으로 나타났다.
5. 결론적으로 고장변압기의 고장원인은 층간절연에서 발생한 부분방전 때문인 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Pierce, L.W., "Thermal considerations in specifying dry-type transformers", Industry Applications, IEEE Transactions on Volume 30, Issue 4, July-Aug. 1994 Page(s):1090 - 1098
- [2] Gockenbach, E.; Werle, P.; Borsi, H., "Monitoring and diagnostic systems for dry type transformers", Solid Dielectrics, 2001. ICSD '01. Proceedings of the 2001 IEEE 7th International Conference on 25-29 June 2001 Page(s):291 - 294
- [3] IEEE standard test code for dry-type distribution and power transformers IEEE Std C57.12.91-2001 9 March 2001