

예방진단시스템의 데이터 신뢰성 분석

Analysis of the Data Reliability for the Preventive Diagnostic System

權 東 震[†] · 陳 相 範^{*} · 郭 周 植^{**} · 禹 貞 旭^{**} · 秋 鎭 夫^{***}

(Dong-Jin Kweon · Sang-Bum Chin · Joo-Sik Kwak · Jung-Wook Woo · Jin-Boo Choo)

Abstract - Abnormal symptoms on operating conditions of power transformer are monitored by a preventive diagnostic system which prevents the sudden power failure in case of quick progress of abnormal situation. The preventive diagnostic system helps plan the proper maintenance method according to the transformer conditions via accumulated data. KEPCO has adopted the preventive diagnostic system at nine of 345kV substations since 1997. Application techniques of the diagnostic sensors were settled, but diagnostic algorithm and practical use of accumulated data are not yet established. To build up the diagnostic algorithm and effective use of the preventive diagnostic system, the reliability of the data which were accumulated in a server computer is very important. This paper describes the data analysis in the server in order to advance the reliability of the accumulated data of the preventive diagnostic system. The principles and data flows of the diagnostic sensors were analyzed, and the data discrepancy between sensors and server were calibrated.

Key Words : Preventive diagnostic system, Transformer, Data analysis, Gas-in-oil analysis, Reliability, Monitoring program Sensor, Temperature

1. 서 론

변압기 예방진단시스템은 변압기의 운전상태에서 온라인으로 이상징후를 상시 감시하여 급속한 이상 진행시 경보를 발하여 불시정전을 방지하며, 축적된 데이터로 변압기의 상태에 따른 최적의 유지보수 계획을 수립하고, 고장시 누적된 데이터로 이상원인 및 이상위치를 판정하기 위한 것으로, 각종 온라인 이상검출 기술을 종합하여 변전소 운전입장에서 시스템화한 것이다.

변압기 예방진단시스템은 1980년대부터 미국, 일본을 중심으로 개발되어 왔으며, 일본의 경우, 변전소의 무인화, 자동화의 입장에서 예방진단시스템과 감시제어시스템을 통합한 변전소 자동화시스템을 적용하고 있다. 특히 일본은 중전기 제작사별로 예방진단시스템을 개발하여, 변압기 납품시에 예방진단시스템을 같이 공급하고 있으며, 전력회사는 변전소의 중요도에 따라 예방진단 항목을 선택하여 적용하고 있다.[1,2] 미국을 비롯한 유럽에서는 일본에 비하여 변전소 전체에 대한 자동화시스템 개발은 저조하나, 변압기, 차단기 및 GIS를 대상으로 설

비별 진단장치 개발에 주력하고 있다.[3]

국내에서는 1980년대 중반부터 변압기 및 GIS에 적용되는 각종 센서 및 이상검출장치를 개발하여 왔다.[4,5] 특히 초음파 측정기술을 이용한 변압기 부분방전 측정장치, 수소가스 및 가연성가스 측정장치, 피뢰기 누설전류 측정장치 및 GIS 부분방전 측정장치 등을 개발하여 왔다. 이러한 연구를 기반으로 한국전력공사에서는 1997년에 4개의 345kV 변전소에 예방진단시스템을 적용하였고, 1998년에는 5개의 345kV 변전소에 예방진단시스템을 추가로 적용하였으며, 2004년에 2개의 765kV 변전소에도 예방진단시스템을 적용하였다.[6,7]

그러나 현재 운전중인 변압기 예방진단시스템의 경우, 각종 센서의 적용기술은 확보되어 있으나, 예방진단 기술이 도입되기 시작하는 초기상태임에 따라 아직까지 측정 데이터의 활용기법이나 진단 알고리즘이 확립되어 있지 않은 상태이다. 이러한 측정 데이터의 활용기법이나 진단 알고리즘의 적용은 예방진단시스템의 운전경험과 누적되는 데이터의 분석이 지속적으로 이루어져야 하고, 이를 통하여 예방진단시스템의 운전신뢰성이 확보되어야 할 것이다. 이를 위해서는, 운전 초기에 있는 예방진단시스템의 측정 데이터가 정확히 안정적으로 서버에 누적되어야 할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 1997년부터 운전되어 데이터가 축적되고 있는 9개의 345kV 변전소의 예방진단시스템을 대상으로 2003년에서 2004년에 걸쳐 분기에 1회씩 주기적으로 점검하고, 예방진단시스템의 적용에 따른 문제점을 분석하고 해결책을 모색하였다. 특히 센서에서 측정된 데이터와 서버에 축적되는 데이터를 비교, 교정하여, 예방진단시스템의 안정화와 확대 적용을 모색하였다.

[†] 교신저자, 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員 · 工博
E-Mail : djkweon@kepri.re.kr

^{*} 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員 · 工博

^{**} 正會員 : 韓電 電力研究院 先任研究員

^{***} 正會員 : 韓電 電力研究院 電力系統研究室長 · 工博
接受日字 : 2005년 4월 12일
最終完了 : 2005년 4월 28일

2. 예방진단시스템 적용현황

2.1 예방진단시스템 적용현황

변압기 예방진단시스템은 현재 9개의 변전소에서 총 84대의 345kV 변압기에 적용되어 운전중에 있다. 또한 2004년에 2개의 765kV 변전소에도 적용되었다. 345kV 변전소에 적용된 예방진단시스템은 2000년 기능보완 및 활용성 제고를 위해, 감시 항목을 보강하고, 모니터링 프로그램을 web으로 구축하여, 한전의 전국 사업소에서 변압기의 운전상태를 확인할 수 있도록 하였다.

표 1은 현재 운전중인 예방진단시스템의 변전소별 설치현황과 진단항목을 나타낸 것이다.

표 1 예방진단시스템의 설치수량 및 진단항목

Table 1 The items and installed number of the preventive diagnostic system

변전소명 진단항목	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계
유증가스	9	8	10	13	10	10	12	6	6	84
절연유 온도	9	8	10	13	10	10	12	6	6	84
권선온도	9	-	9	12	9	9	12	6	6	72
OLTC 동작전류	9	8	10	13	10	10	12	6	6	84
OLTC 차온도	9	8	7	13	1	1	1	1	1	42
탱크압력	9	8	7	13	1	1	1	1	1	42
냉각팬 동작전류	18	-	18	24	18	18	24	12	12	144
냉각펌프 동작전류	18	-	18	24	18	18	24	12	12	144
부하전류	3	-	3	4	3	3	4	2	2	24
외기온도	1	-	1	1	1	1	1	1	1	8

2.2 예방진단시스템 구성

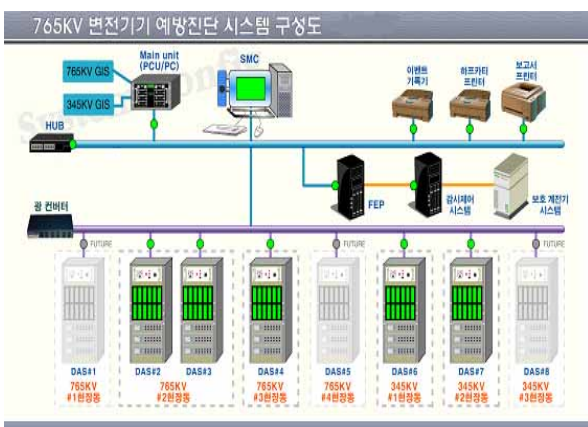


그림 1 765kV 변전기기 예방진단시스템의 구성도

Fig. 1 The schematic diagram of the preventive diagnostic system for 765kV substation equipment

예방진단시스템은 그림 1과 같이 변압기에 설치되어 운전상태를 측정하는 센서, 센서에서의 데이터를 측정하는 이상검출장치, 센서나 이상검출장치에서의 데이터를 수집하는 DAS (Data Acquisition System), DAS와 서버를 연결하는 FEP (Front End Processor), 모니터링 프로그램과 진단 알고리즘이 설치된 서버로 구성된다.

2.3 예방진단시스템의 진단항목

세계적으로 변압기 예방진단시스템에 적용되는 예방진단 항목으로는 유증가스 분석, 부분방전 측정, 온도측정, 냉각시스템 감시, 절연유증의 수분측정, 유동대전 감시, 부상 모니터링, OLTC 모니터링 등으로 구분된다. 이 중에서 유증가스 분석에는 수소가스, 가연성가스 총량 및 다종류 가스 분석장치가 이용되며, 부분방전 측정에는 초음파 및 누설전류(외함접지선, 부상탭, 중성점접지선) 측정이 이용된다. 온도측정에는 절연유 온도, 권선온도(간접식, 광파이버를 이용한 직접식) 및 외기온도가 측정되며, 냉각시스템으로는 냉각 팬과 냉각펌프의 동작상태를 감시한다. OLTC는 접점마모, 토오크, 온도 및 탭위치를 감시하며, 변압기 본체와 OLTC unit의 온도차를 감시하는 방법도 있다.

최근 센서기술의 발달로 다양한 진단항목을 선정할 수 있으나, 진단항목의 수가 많아지면 예방진단시스템의 가격이 높아진다. 따라서 진단항목의 선정은 변압기의 중요도에 따라 경제성을 고려하여 선정되어야 한다. 또한 진단목적에 따라서는 몇 가지의 중요한 진단항목에 집중할 필요도 있다.

현재 한전에서 운전중인 변압기 예방진단시스템에 적용된 진단항목은 유증가스, 절연유 온도, 권선온도, 외기온도, OLTC 동작전류, 냉각 팬 및 펌프 동작전류, 부하전류 등이다. 표 2는 예방진단 센서의 종류와 진단목적이다.

표 2 센서의 종류와 진단목적

Table 2 The type of sensors and its diagnostic purpose

진단항목	센서종류	진단목적
유증가스	Hydran 201i	절연유증 가스 감시
절연유 온도	측온저항체	과부하, 절연열화, 냉각시스템 감시
권선온도	측온저항체	과부하, 절연열화, 냉각시스템 감시
OLTC	토오크	***OLTC 구동축 및 과부하 감시
	차온도	
탱크 압력	압력계	변압기 탱크 이상 압력 감시
냉각팬 동작전류	CT + TD	냉각시스템 동작상태 및 과부하 감시
냉각펌프 동작전류	CT + TD	냉각시스템 동작상태 및 과부하 감시
부하전류	감시제어시스템	과부하 및 냉각시스템 감시
외기온도	측온저항체	절연유 및 권선온도, 냉각시스템 감시

*CT : Current Transformer, **TD : Transducer

***OLTC : On Load Tap Changer

3. 예방진단 센서의 문제점 분석 및 해결

3.1 유증가스 측정장치의 문제점 분석 및 해결

지금까지 변압기 절연유의 용존가스는 변압기에서 채유된 절연유 샘플을 시험실에 운반하여, 가스 크로마토그래피(gas chromatography)로 분석하고 있다. 일반적으로 분석대상 가스는 O₂, N₂, H₂*, CH₄*, C₂H₆*, C₂H₄*, C₂H₂*, C₃H₈*, CO*, CO₂ 등 10종류의 가스이다.(여기서 *는 가연성 가스이다.) 변압기 내부 이상의 종류에 따라 표 3과 같은 가스성분이 발생하므로, 발생가스의 양을 검출하여 내부이상의 유무 및 이상의 정도를 추정한다.

표 3 변압기 내부고장에 따른 발생가스
Table 3 The produced gases according to the internal faults of transformer

이상의 종류	유증 용존 가스 (주요 발생가스)
절연유 과열	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
유침 고체 절연물 과열	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₄ , C ₂ H ₆ , C ₃ H ₆ , C ₃ H ₈
절연유중 방전	H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆
유침 고체 절연물 방전	CO, CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₂ , C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆

현재 가스 크로마토그래피에 의한 유증가스 분석방법은 여러 성분의 가스를 높은 정밀도를 가지고 측정할 수는 있으나, 구조가 복잡하고, 측정시 고도로 훈련된 숙련가가 필요하며, 가스분석을 위한 시간이 많이 필요한 단점이 있다. 따라서 유증가스 분석의 온라인화를 목적으로 유증가스 검출센서를 변압기에 상시 부착시켜 특정가스만을 감시하여 변압기 이상의 유무를 판단하는 방법이 적용되고 있다.

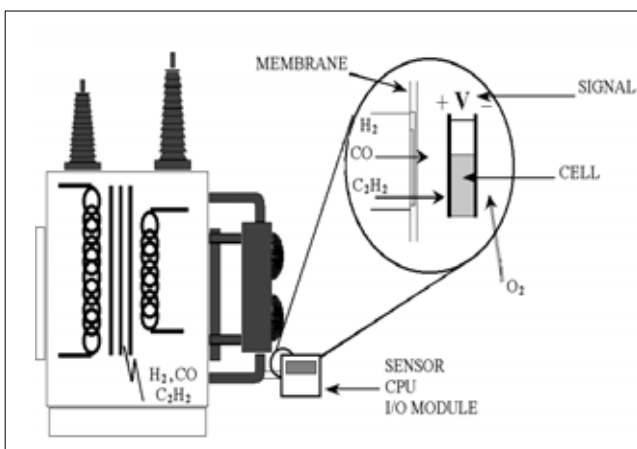


그림 2 Hydran 201i의 검출원리
Fig. 2 Detection principle of the Hydran 201i

현재 예방진단시스템에 적용되고 있는 온라인 유증가스 측정장치는 경제성의 관점에서 특정가스를 상시 감시하고, 이상 검출시에 다성분 가스분석장치를 이용하여 정밀 진단할 수 있도록, 절연유 내의 용존가스 중 H₂ 가스를 주 감시가스로 하는 Hydran 201i를 적용하고 있다.

Hydran 201i는 그림 2와 같이 선택적 투과막(membrane)의 센서부, CPU 및 I/O 모듈부가 내장된 본체부, 가스농도를 전기적 신호(DC 4~20mA) 및 Serial Signal(0~1,999ppm)로 송신할 수 있는 제어부로 구성되어 있다. Hydran 201i는 변압기 절연유의 드레인 밸브 등에 설치하며, 절연유에 용해된 가스중에서 H₂(100%), CO(18%), C₂H₂(8%), C₂H₄(1.5%) 가스가 선택적 투과막을 통과하여, 산소와 화학반응하여 전류신호를 발생시킨다. 측정된 가스농도는 서버로 전송되며, Hydran 201i 자체의 LCD에 현재 측정값을 표시한다.

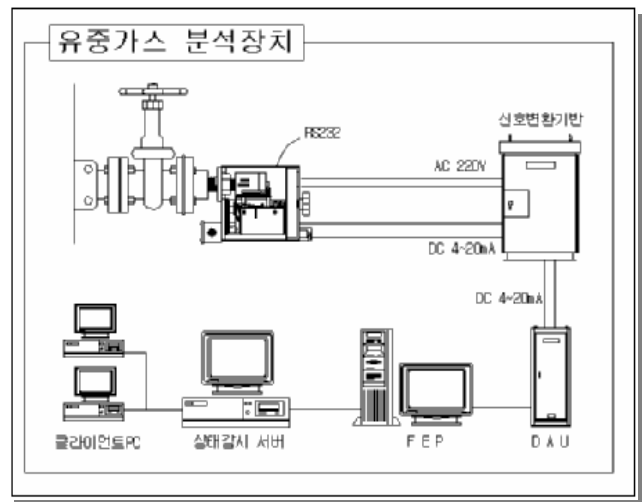


그림 3 유증가스 측정장치의 구성도
Fig. 3 The schematic diagram of the gas in oil detector

표 4 유증가스 측정장치의 점검 결과
Table 4 Inspection results of the gas in oil detector

변전소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계	
측정장치 수량	9	8	10	13	10	10	12	6	6	84	
고장 수량	2003	2	2	0	1	0	0	0	1	0	6
	2004	2	3	1	2	0	0	0	1	0	9

그림 3은 유증가스 측정장치의 데이터 취득과정을 나타낸 것이다. 유증가스 측정장치에서 취득된 신호는 DC 4~20mA로 변화되며, 신호변환기반을 거쳐 DAS로 전송한다. DAS로 전송된 신호는 디지털 신호로 변환하여 FEP를 통해 서버에 저장한다. 서버에 저장된 데이터는 자체의 모니터링 화면이나, 다른 클라이언트 컴퓨터에서 확인할 수 있다.

표 4는 유증가스 측정장치의 수량과 점검을 통해 나타난 고장장치의 수량을 나타낸 것이다. 유증가스 측정장치는 2003년

에서 2004년까지 분기에 1회씩 주기적으로 점검하였으며, 표 4에서의 데이터는 그 중에서 년도별로 대표적인 데이터를 나타낸 것이다. 9개 변전소에 설치된 유중가스 측정장치는 총 84대로 이중에서 2003년에는 6대가 고장났으며, 2004년에는 9대가 고장나 약 11%의 불량률을 나타내었다.

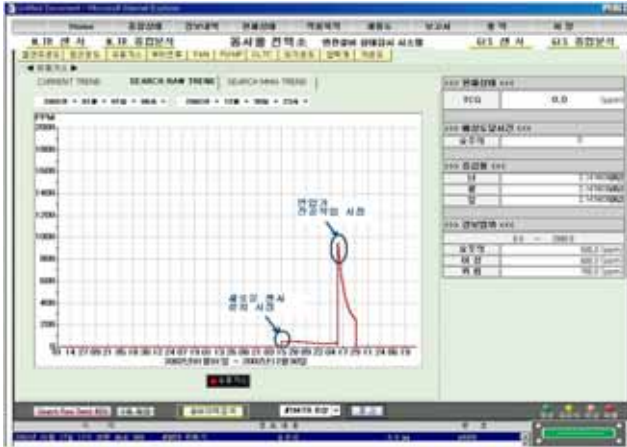


그림 4 유중가스 측정장치 고장에 의한 급격한 가스증가
 Fig. 4 Sudden increment of the gas due to the failure of the gas in oil detector

유중가스 측정장치가 고장을 나타낸 경우의 일례를 들면, 그림 4에서처럼 2002년 8월에 유중가스 측정장치를 설치하고, 2002년 10월에 급격한 가스량 증가가 나타났다. 정상적인 데이터라면 변압기에 심각한 이상이 발생한 경우이나, 실제로 변압기 이상으로 인한 이러한 급격한 가스 증가는 아주 드문 경우로, 해당 변전소의 작업일지를 검토한 결과, 같은 날 변압기 정밀점검이 있었음이 확인되었다.



그림 5 유중가스 측정장치의 삼투막 파손
 Fig. 5 Damage of the membrane of the gas in oil detector

이와 같이 유중가스 측정장치의 대부분의 고장원인은 변압기 정밀점검시에 절연유의 진공 주입 때 유중가스 측정장치로 연결되는 밸브를 잠그지 않아, 그림 5와 같이 센서의 삼투막에 진공이 걸려서 파손되는 경우였다. 이러한 현상은 예방진단시스템이 적용되는 초기시점에서 작업자들이 기기의 구조를 제대로 파악하지 못했기 때문이라고 생각한다. 따라서 이러한 문

제의 해결을 위하여 운전자들을 대상으로 센서의 탈부착에 대한 정비교육을 지속적으로 수행하였으므로, 향후 유중가스 측정장치의 고장은 현저히 줄어들 것으로 판단된다.

3.2 온도센서의 문제점 분석 및 해결

예방진단시스템에 적용되는 온도센서로는 절연유 온도센서, 권선 온도센서, OLTC 차온도 센서, 외기온도 센서가 있으며, 변압기의 온도측정은 과부하, 절연열화 및 냉각시스템의 감시 등, 변압기 내부의 과열을 조기에 발견하기 위한 방법으로 기존 변압기에도 적용되어 왔다.

㉠ 절연유 온도센서

절연유 온도의 측정시스템은 변압기에 설치되는 센서인 측온저항체와 아날로그 표시부 및 신호변환기(transducer)로 구성된다. 변압기 내부에 설치되는 백금 측온저항체는 온도변화에 따라 Pt-100Ω의 저항값이 변화되고, 이 저항값의 변화를 계기의 아날로그 지침을 통해 표시하고, 신호변환기를 통해 DC 4~20mA의 값으로 변화하여 DAS로 전송한다. 이 신호는 DAS에서 디지털 신호로 바꾸어 FEP를 통해 서버로 전송한다. 표 5는 절연유 온도센서의 수량과 점검을 통해 나타난 고장센서의 수량을 나타낸 것이다.

표 5 절연유 온도센서 점검 결과

Table 5 Inspection results of the oil temperature sensor

변전소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계
센서수량	9	8	10	13	10	10	12	6	6	84
2003	센서 고장	0	0	0	1	2	0	0	0	3
	T/D 고장	0	0	1	1	1	3	0	0	6
2004	센서 고장	0	0	0	1	1	0	1	0	3
	T/D 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0

절연유 온도센서의 고장원인은 변압기에 설치된 온도계 자체의 고장으로 인한 것과 신호변환기의 고장으로 인한 것으로 나누어진다. 그 중 온도계 자체의 고장은 대부분 표시기의 고장이 대다수를 차지하였으며, 84대의 센서 중에서 3대가 불량으로 나타났다. 이러한 절연유 온도센서 표시기는 교체가 되지 않는 한 수리가 어려운 상황이다. 그러나 표시기의 고장은 현장에서의 온도 확인만이 불가능할 뿐, 예방진단시스템의 절연유 온도 데이터는 정상적으로 취득되고 있다.

또한 신호변환기의 고장은 2003년 점검 이후에 추가로 불량 신호변환기는 발생하지 않고 있지만, 지속적인 관찰이 요구된다. 신호변환기는 절연유 온도, 권선온도, 팬 및 펌프 동작전류, OLTC 동작전류 등의 신호를 서버에 전달하기 위하여 DC 4~20mA의 신호로 바꾸어 주는 장치로서, 예방진단시스템의 데이터 취득에서 많은 양의 중간 매개체 역할을 하고 있다. 따라서 현장상황에 강인한 신호변환기를 선택하는 것과 신호변

환기의 고장원인을 정확히 파악하는 것은 매우 중요하다.

㉠ 권선온도 센서

권선온도의 측정은 절연유 온도의 측정과 같은 원리이나, 변압기에서 측정된 고압권선, 중압권선 및 저압권선의 온도는 배전반실의 모자이크 판넬의 온도표시기를 통해 표시되며, 이 온도표시기에서 출력되는 DC 4~20mA를 DAS로 전송한다.

표 6 권선온도 센서 점검 결과

Table 6 Inspection results of the winding temperature sensor

변전소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계
센서수량	9	0	9	12	9	9	12	6	6	72
2003	센서 고장	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	표시기 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	센서 고장	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	표시기 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0

표 6은 권선온도 센서의 수량과 점검을 통해 나타난 고장 센서의 수량을 나타낸 것으로, 72대의 센서중에서 1대가 고장으로 나타났다. 권선온도 센서도 절연유 온도센서와 같이 온도센서를 교체하지 않는 한 고장센서가 취부된 변압기의 데이터를 정상적으로 취득할 수 없는 상황이다. 그러나 신호변환기의 역할을 하는 모자이크 판넬의 온도표시기는 현장의 온도값과의 교정이 이루어지지 않아 많은 수량의 온도표시기에서 오차가 발생하는 문제점이 나타났다. 이러한 교정은 계절에 따라서도 오차를 유발하는 등, 지속적인 점검 및 교정을 필요로 하였다.

그림 6은 온도센서의 데이터를 교정하기 전과 교정한 후, 약 1년 동안의 절연유 온도 및 권선온도 데이터의 일례를 나타낸 그래프이다.

일반적으로 변압기는 부하에 의해 권선에서 열이 발생하고, 절연유는 권선에서 발생하는 열을 적절히 분산시키는 기능을 하므로, 절연유 온도가 권선의 온도보다 더 높게 나타나는 경우는 거의 없다. 따라서 정상적인 변압기의 권선온도는 절연유 온도보다 높게 나타난다. 그러나 그림 6의 변압기는 정상적으로 운전되고 있었지만, 온도센서의 데이터를 교정하기 전에는 절연유 온도가 권선온도보다 약 10℃ 이상 높게 나타나는 비정상적인 데이터들이 축적되고 있었으며, 온도의 변화도 서로 일치하지 않는 실정이었다. 따라서 온도센서의 점검과 온도표시기의 교정을 실시한 후에는 권선온도가 절연유 온도보다 높게 나타나고, 온도의 변화도 일정하게 나타나는 등 신뢰성이 있는 데이터의 축적이 이루어지고 있다.

이와 같이 절연유 온도와 권선온도의 신뢰성 확보를 위해서는 절연유 온도가 권선의 온도보다 더 높게 나타나는 경우는 모니터링 프로그램에서 경보를 발생하여 운전자가 시스템의 점검 및 데이터를 교정할 수 있도록 하는 방안이 바람직할 것으로 생각된다.

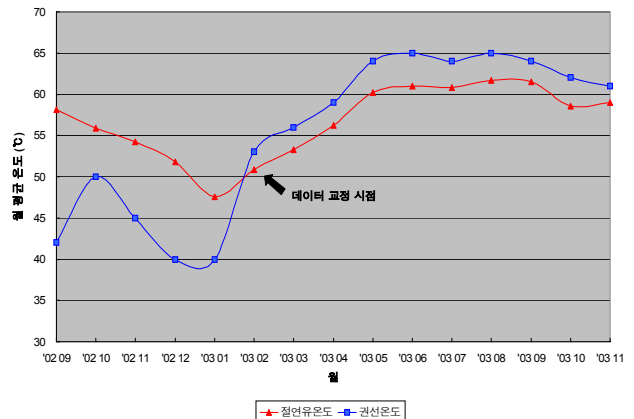


그림 6 절연유 온도 및 권선온도 센서의 교정 결과

Fig. 6 Results of the calibration of the oil and winding temperature sensors

㉡ 외기온도 센서

외기온도 센서는 온도감지부와 신호처리부로 구성되어 있고, 변압기 주위의 온도를 측정하여 신호변환기에서 DC 4~20mA로 바꾸어 DAS로 전송한다. 이 신호는 DAS에서 디지털 신호로 바꾸어 FEP를 통해 서버로 전송한다. 외기온도 센서는 절연유 온도나 권선온도 센서와 마찬가지로 Pt-100Ω의 측온저항체를 이용한 저항센서를 사용한다.

표 7은 외기온도 센서의 수량과 점검을 통해 나타난 고장 센서의 수량을 나타낸 것이다. 외기온도센서에는 별다른 이상은 발생하지 않았으며 양호한 상태를 나타내었다.

표 7 외기온도 센서 점검 결과

Table 7 Inspection results of the ambient temperature sensor

변전소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계
센서수량	1	0	1	1	1	1	1	1	1	8
고장 센서	2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2004	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3 전류센서의 문제점 분석 및 해결

전류센서에는 OLTC 동작전류 센서, 냉각 팬 동작전류 센서, 냉각 펌프 동작전류 센서, 부하전류 센서가 있으며, CT(Current Transformer)를 이용하여 전류 값을 측정한다.

㉠ 냉각 팬 및 펌프 동작전류 센서

냉각 팬 및 펌프의 동작전류는 변압기 제어반 내에 CT(20:5)를 설치하여 냉각 팬 및 펌프의 동작시 동작전류를 측정하고, 신호변환기를 통해 DC 4~20mA로 바꾸어 DAS로 전

송한다. 이 신호는 DAS에서 디지털 신호로 바꾸어 FEP를 통해 서버로 전송한다.

표 8 냉각 팬 동작전류 점검 결과

Table 8 Inspection results of the cooling fan current

변전소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계
센서수량	18	0	18	24	18	18	24	12	0	132
2003	CT 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T/D 고장	4	3	3	2	2	1	2	2	20
2004	CT 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T/D 고장	2	0	2	1	0	0	0	0	5

표 9 냉각 펌프 동작전류 점검 결과

Table 9 Inspection results of the cooling pump current

변전소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계
센서수량	18	0	18	24	18	18	24	12	12	144
2003	CT 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T/D 고장	4	2	1	2	1	2	2	1	2
2004	CT 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T/D 고장	3	0	0	1	0	0	0	0	4

표 8과 표 9는 냉각 팬 및 펌프의 동작전류 센서의 수량과 점검을 통해 나타난 고장 CT의 수량 및 고장 신호변환기의 수량을 나타낸 것이다. 냉각 팬 및 펌프의 CT는 고장을 나타내지 않았으나, 냉각 팬의 신호변환기는 총 132대중 20대가 고장을 나타내었으며, 냉각 펌프의 신호변환기는 총 144대중 17대가 고장을 나타내었다. 이와 같이 신호변환기가 많은 고장을 나타내는 것은 냉각 팬 및 펌프의 동작시, 모터 정격전류의 최고 3배가 넘는 과도한 기동전류가 발생하여 신호변환기의 측정한도를 넘어서 미치는 영향이 있을 수 있다. 특히 A사 변압기는 보통 7대에서 9대의 팬이 한 그룹으로 연결되어 있고, B사 변압기의 경우는 10대에서 12대가 한 그룹으로 연결되어 있다. 따라서 많은 수의 팬이 동시에 과도한 기동전류를 발생시키므로 신호변환기 불량률이 높아진 것으로 판단된다. 또한 옥외에 설치한 신호변환기반 내의 온도가 하절기에 매우 높아지는 것도 플라스틱 재질로 되어 있는 신호변환기의 동작에 영향을 주는 원인으로 판단된다. 따라서 신호변환기를 선정할 경우에는 과도한 기동전류와 온도변화에 강인한 사양으로 선정하는 것이 바람직하다.

냉각 팬 및 펌프의 점검에서 나타난 특이사항은 냉각 팬 및 펌프가 동작할 때에 경보가 지속적으로 발생한다는 것이었다. 이는 냉각 팬 및 펌프의 기동에 의해 발생하는 과도한 기동전

류를 모니터링 프로그램에서 고려하지 않았기 때문이었다.

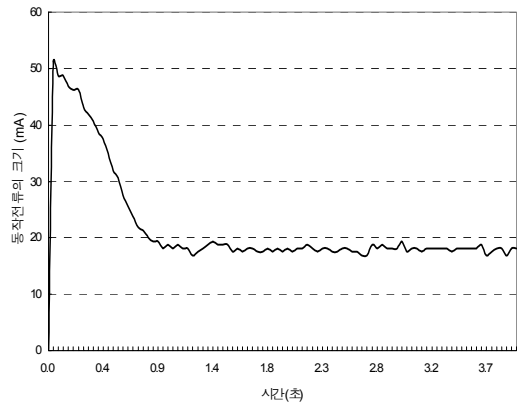


그림 7 냉각 팬의 기동전류

Fig. 7 Starting current of the cooling fan

그림 7은 냉각 팬이 기동할 때 측정된 동작전류에 대한 대표적인 그래프이다. 그림 7과 같이 냉각 팬이 기동할 때는 정상전류의 2배 이상의 기동전류가 측정되었고, 약 1.5초 후에 정상적인 동작전류가 나타났다. 따라서 만약 이러한 기동에 따른 시간지연을 고려하지 않는다면, 기동전류에 의해 예방진단시스템에서 경보를 나타내는 오동작을 발생할 수 있을 것이다.

㉞ OLTC 동작전류 센서

OLTC 동작전류는 제어반에 있는 구동모터 전원의 s상에 CT(5:1)를 설치하여 OLTC 동작시의 전류를 측정한다. 측정된 전류는 신호변환기를 통해 DC 4~20mA로 바꾸어 DAS로 전송하며, DAS에서 디지털 신호로 바꾸어 FEP를 통해 서버로 전송한다.

표 10은 OLTC 동작전류 센서의 수량과 점검에 의해 나타난 고장 CT의 수량 및 신호변환기의 고장 수량을 나타낸 것이다. OLTC 동작전류 센서의 불량은 총 84대중 2대로 전체적으로 양호한 상태를 나타내었다.

표 10 OLTC 전동기 동작전류 점검 결과

Table 10 Inspection results of the OLTC motor current

변전소	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계
센서수량	9	8	10	13	10	10	12	6	6	84
2003	CT 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T/D 고장	0	0	0	0	0	0	0	2	2
2004	CT 고장	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	T/D 고장	0	0	0	0	0	0	0	2	2

㉟ 부하전류 센서

부하전류는 배전반실의 감시제어시스템에 표시되는 신호에 신호변환기를 직렬로 설치하여 DC 4~20mA 값을 DAS로 전송한다. 이 신호는 DAS에서 디지털 신호로 바꾸어 FEP를 통해 서버로 전송한다. 부하전류는 배전반실의 신호와 서버에 축적되는 신호 사이에 오차가 거의 나타나지 않은 양호한 상태를 나타내었다.

4. 결 론

변압기 유지보수 기술의 변화에 따라 향후 예방진단시스템은 한전을 비롯하여 철도청 등의 대용량 수용가에 확대 적용될 예정이다. 그러나 변압기 예방진단시스템이 국내에 적용되기 시작하는 초기단계에 있으므로, 시스템 적용에 따른 다양한 문제점이 발생하고 있다. 본 논문에서는 예방진단시스템의 운전 신뢰성을 확보하기 위하여, 9개의 345kV 변전소에서 운전중인 예방진단시스템을 주기적으로 점검하고, 문제점을 분석하여 해결책을 제시하였으며, 주요한 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 유증가스 측정장치는 변압기 정밀점검시에 절연유의 진공 주입 때 유증가스 측정장치로 연결되는 밸브를 잠그지 않아, 센서의 삼투막에 진공이 걸려서 파손되는 사례가 많이 발생하였다.
- (2) 절연유 온도센서는 변압기에 설치된 온도계 자체 및 신호 변환기에서 고장이 발생하였으며, 권선온도는 배전반실의 모자이크 판넬의 온도표시기가 현장의 온도값과의 교정이 이루어지지 않아 오차가 발생하였다.
- (3) 냉각 팬 및 펌프의 CT는 고장을 나타내지 않았으나, 신호 변환기는 과도한 기동전류와 하절기에 신호변환기판 내의 온도상승으로 인하여 고장이 발생하였다.
- (4) 외기온도센서, OLTC 동작전류 센서 및 부하전류는 별다른 이상을 발생하지 않았다.

참 고 문 헌

- [1] Y.Fujimoto, et. al., "Operation of an On-Line Substation Diagnosis System", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.3, No.4, pp.1628~1635, 1988
- [2] T.Kawada, T.Yamagiwa and F.Endo, "Predictive Maintenance Systems for Substations", Hitachi Review, Vol.40, No.2, pp.135~144, 1991
- [3] J.S. Pearson, B.F. Hampton and A.G. Sellars, "A continuous UHF monitor for gas-insulated substations," IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.26, No.3, pp.469~478, 1991
- [4] 권동진 외, "초음파 신호 수의 이동평균에 의한 전력용 변압기의 예방진단," 대한전기학회 논문지, Vol.45, No.3, pp.432~437, 1996
- [5] 권동진, "온라인 변압기 부분방전 측정기법 적용," 대한전기학회 논문지, Vol.50C, No.8, pp.394~400, 2001
- [6] 권 동진 외, "765kV 변전기기 예방진단시스템 개발", 한전 전력연구원 최종보고서, pp.1~128, 2001.
- [7] 권동진 외, "전력용 변압기 예방진단 기준설정에 관한 연구," 한전 전력연구원 최종보고서, pp.1~69, 2005

저 자 소 개



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 한전전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5862, Fax : 042-865-5844

E-mail : djkwon@kepri.re.kr



진 상 범 (陳 相 範)

1970년 11월 11일생. 1995년 숭실대학교 전기공학과 졸업. 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년~현재 한전전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 031-467-7961, Fax : 031-444-3244

E-mail : matt@tge.co.kr



곽 주 식 (郭 周 植)

1972년 1월 10일생. 1994년 충북대학교 전기공학과 졸업. 1996년 충북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5868, Fax : 042-865-5844

E-mail : jskwak@kepri.re.kr



우 정 옥 (禹 貞 旭)

1968년 9월 19일생. 1986년 서울산업대학교 전기공학과 졸업. 1992년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년~한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5864, Fax : 042-865-5884

E-mail : jwwoo@kepri.re.kr



추 진 부 (秋 鎭 夫)

1950년 1월 7일생. 1977년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1987년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1977년~현재 한전전력연구원 전력계통연구실장

Tel : 042-865-5800, Fax : 042-865-5804

E-mail : jbc@kepri.re.kr