

## 765kV변전소 예방진단시스템 운영실태 및 대안

장성익, 서강영, 이희배, 명근식, 신명철\*  
한국전력공사, 성균관대학교\*

### Preventative Maintenance of 765kV Substation using the Preventative Diagnostic System

Jang Sung-ik, Seo Kang-young, Lee He-bae, Myung Keun-sik, Shin Myung-chul

**Abstract** - 765kV변전소의 운전 조건을 고려하여 유지보수(CBM) 기법을 활용한 예방진단시스템을 이용해 변전기기를 정비한 사례를 통하여 예방진단시스템의 운영실태를 살펴보고, 고장원인 및 고장설비를 더욱 정확히 구분할 수 있어 관계자에게 보다 신뢰성있는 시스템이 될 수 있도록 대안을 모색하며 향후 진단 및 감시항목을 더 발굴하기 위한 예방진단 시스템을 제도화 할 필요가 있다.

#### 1. 서 론

일반적으로 변전설비(GIS, 변압기)는 절연파괴나 내부부품 이상에 의해 내부사고로 이어지기 때문에 운전 중인 변전기기가 내부 문제없이 운전되고 있는 것을 확인하는 것은 상당히 중요하다. 그리하여 주기적인 maintenance(TBM)가 중요하다고 일컬어지지만, 각 기기들은 운전조건, 동작횟수, 차단용량 등에 의해 주로 영향을 받기 때문에, 765kV변전소는 운전 조건을 고려한 유지보수(CBM) 기법을 활용한 예방진단시스템을 운영하고 있다. 수년전만 하더라도 기기해체가 수반되는 정밀점검 후 새로운 사고를 발생시켰다는 통계 자료도 보고 되고 있는바 765kV변전소의 예방진단시스템은 변전소의 운전중지, Overhaul을 하지 않고 내부진단을 하는 것으로 개선점을 파악하고 보완하여 보다 안전한 시스템으로 제작사에서 만들도록 할 필요가 있고 이를 위해 예방진단시스템 운용 사례와 문제점 및 이의 대안을 논하고자 한다.

#### 2. 본 론

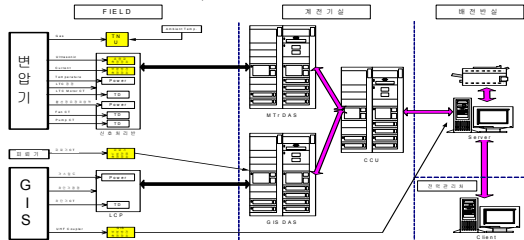
##### 2.1 예방진단시스템 개요

전력설비가 증가되고, 단위 설비당 용량이 증가되어 일정시간에 따른 시간정비로는 전력설비의 경제적인 이유와 신뢰성 있는 전력공급이 어렵게 되었다. 따라서 계통의 원활한 운용을 위하여 전력설비의 현재 상태를 파악하여 정비하는 상태점검으로 전환하고 있으며, 예방진단시스템은 전력설비의 운전상태(on-line)에서 설비의 이상 징후를 상시 감시하여 불시정전을 방지하고, 측정된 데이터로 최적의 유지보수 계획을 수립하며, 고장시 누락된 데이터로 이상원인 및 이상위치를 판정하는 변전소 자동화 운전에 대응하기 위한 시스템으로, 신뢰성있는 온라인 이상검출 기술을 종합하여 변전소 운영입장에서 시스템화한 것이다.

##### 2.2 예방진단시스템 구성 및 운영현황

###### 2.2.1 예방진단시스템 구성

예방진단시스템은 <그림1>과 같이 변전기기의 운전상태에서 이상을 검출하기 위한 온라인 이상검출 센서 및 이상검출장치, 데이터 취득장치(DAS)와 통신제어장치(FEP), 서버 및 프로그램으로 구성된다.



<그림 1> 예방진단시스템 구성

###### 2.2.2 변압기 예방진단시스템

변압기의 유지보수는 일상순시와 정기점검에 의하여 불량개소를 발견하고 보수하는 일정주기에 따른 예방보전(Time Based Management)을 하였으나, 최근 경제적인 유지보수와 신뢰성있는 전력공급을 위하여 변압기의 상태를 점검하여 정비하는 상태점검(Condition Based Management)으로 전환하고 있다. 따라서 변압기의 열화상태를 운전상

태(on-line)에서 상시 감시하여 변압기의 상태를 정량적으로 파악하고, 변압기의 이상징후와 장애에 일어날 사태를 예측하고, 여기에 대응한 보수를 실시하는 예방진단기술이 적용되고 있다. 변압기를 대상으로 초음파 기술을 이용한 온라인 부분방전 측정장치, 유증가스 상시 감시장치 및 피뢰기 누설전류 측정장치 등 온라인 이상검출 기술을 개발하여 765kV변전소에 적용 중에 있다<표1>.

<표 1> 변압기 예방진단시스템 감시항목

감시항목	센서종류	수량	비고
유증가스	H2	Tank 별 1대	
절연유온도	측온저항체	Tank 별 1대	
O L T C	접점마모	전류	Tank 별 1대
	토오크	전동기동작전류	
	온도	측온저항체	
	접점위치	캡스위치동작시간	
활선정유 압력	압력계	Tank 별 1대	
팬 동작전류	CT + TD	Tank 별 5조	
펌프 동작전류	CT + TD	Tank 별 5조	
부하전류	감시제어시스템	상별 1	감시제어반연계
권선온도	감시제어시스템	상별 1	감시제어반연계
외기온도	측온저항체	M.Tr별 1대	
부하전압		상별 1개	감시제어반연계

###### 2.2.2.1 변압기 유증가스측정장치

변압기는 부분방전이 발생하여도 바로 절연파괴에 도달하지 않고, 부분방전이 다수 발생함에 따른 생성가스가 발생한 후, 절연파괴로 이어진다. 또한 변압기의 내부이상으로 절연파괴와 국부과열에 의한 발열을 동반하므로 이러한 발열원에 접하는 절연유, 절연지, 프레스보드 등의 절연물은 분해 반응하여 탄화수소계 가스가 발생한다. 이 발생가스의 대부분은 절연유 중에 용해되므로 변압기에서 절연유센서를 거쳐 유증가스(특히 H2)를 측정하여 내부 이상여부를 진단한다.

변압기 절연유 중의 가스성분을 측정하여 가스농도의 절대량, 트렌드 및 구성가스의 패턴 등의 정보를 기초로 예방진단 전문가 시스템과 연계하여 처리한다.

###### 2.2.2.2 절연유 온도 측정장치, 외기온도 측정장치

변압기에 비정상적인 온도가 발생하여도, 바로 사고로 이어지지 않기 때문에 온도측정만으로 사고를 예측하는 데는 어려움이 있으나, 과부하, 권선이나 절연유의 절연파괴 등 대부분의 고장은 절연유의 온도상승을 초래하므로, 변압기의 최종사고를 판단하는 항목으로 사용된다. 유온은 주위온도 부하율 등에 의하여 계산된 유온과 실측유온을 비교하여 국부과열과 냉각장치의 운전상태를 감시한다.

###### 2.2.2.3 OLTC 접점마모, 토오크, 온도, 접지위치 측정장치

탭절환장치는 변압기 내부의 유일한 가동부위로서 동작빈도가 많고, 고장율이 높아 온라인 감시의 필요성이 강조된다. 탭절환장치는 내부구조가 복잡하나, 사고는 주로 기구부(spring, bearings, shafts, drive mechanisms)에서 발생하므로, 탭절환장치는 주로 기구부 즉 OLTC 각 접점의 접점마모량, 토오크, OLTC 과부하 및 OLTC 전동기 동작시간, 탭위치, 동작회수를 감시한다.

###### 2.2.3 GIS 예방진단시스템

GIS의 열화상태를 운전상태(on-line)에서 상시 감시하여 GIS의 상태를 정량적으로 파악하고, GIS의 이상 징후와 장애에 일어날 사태를 예측하고, 여기에 대응한 보수를 실시하는 예방진단기술이 적용되고 있다.

GIS를 대상으로 초음파 기술을 이용한 온라인 부분방전 측정장치 및 피뢰기 누설전류 측정장치 등 온라인 이상검출 기술을 개발하여 765kV 변전소에 적용 중에 있다<표2>.

<표 2> GIS 예방진단시스템 감시항목

감시항목	센서종류	제작사	모델명	수량	비고
부분방전	UHF Coupler	DMS	PDM	site 1대	
SF6 가스 밀도접점				가스 구획당1	감시제어반 연계
CB 누적 차단전류				상별1개	보호배전반 연계
피뢰기 누설전류	Shunt 저항 영상전류계	현대 효성	-	피뢰기 당 1대	

**2.2.3.1 부분방전 측정장치**

GIS 내부에 자유금속입자나 손상된 전극과 같은 결함으로 부분방전이 생기면 초고주파신호(UHV)가 발생한다. 부분방전 측정장치(UHF Coupler)는 이러한 신호(500~1500MHz)데이터를 지속적으로 검출, 측정하는 장치이다.

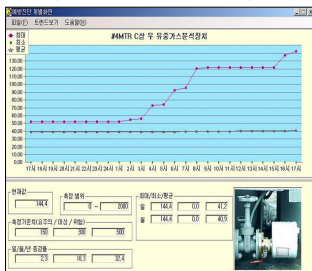
**2.2.3.2 피뢰기 누설전류 측정장치**

GIS 내장형 피뢰기 ZnO 소자의 누설전류를 측정하여, ZnO 소자의 열화도를 나타내는 누설전류를 상시 감시하는 장치이다.

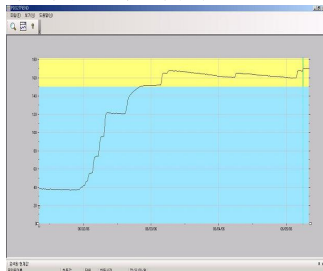
**2.3 예방진단시스템 적용사례**

**2.3.1 변압기 예방진단시스템 활용**

#4M.Tr C상 우탱크 유증가스의 급격한 증가신호가 검출 <그림2> : [765kV 신가평S/S '06.06.02, 160ppm, (오주의:150ppm, 이상:300ppm, 위험:500ppm)]되고, <그림3>과 같이 지속적인 패턴을 유지하여 분석결과 변압기 내부이상 징후로 추정되어 가연성 Gas증가 판정 (전력연구원, 제작사 Gas분석) 후 긴급 휴전하여 정밀점검을 시행하였다.



<그림 2> 예방진단 개별화면



<그림 3> 유증가스 증가 추이

주변압기 1,2,3차 붕싱분리 후 내부 정밀점검을 시행하였다<그림4>. 원인분석을 위해 부분방전시험, 전압비 시험, 절연저항 측정, BCT 시험 절연력을 시험, 권선저항 측정, 소음, 진동측정 등 8개 항목의 각종 시험을 시행하였으며, 붕싱 접속상태, OLTC연결단자 및 Tap 아크여부, 접지단자, Core/Clamp 이상여부 등 7개 항목의 내부점검을 시행하였다.



<그림 4> 분해(실드분리) 점검

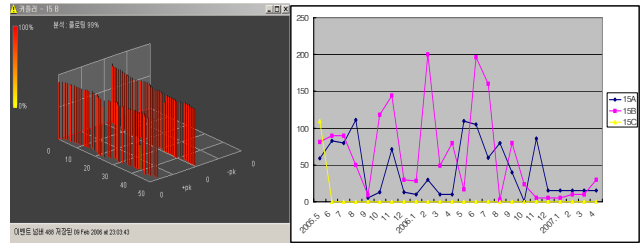


<그림 5> 아크 흔적

고압붕싱 상부(GIB측) 터미널 Guide Ring 내부의 아크현상이 발견 <그림5> 되었으나 이물질에 의한 절연유 중 방전개시 후 고장 증상의 소멸로 추정되어 터미널 Guide Ring을 교체하고 유증가스 발생상태 점검 및 Gas분석 등을 시행하여 설비를 정비하였다.

**2.3.2 GIS 예방진단시스템 활용**

765kV신가평변전소 75Bay 15B(345kV신가평 #2T/L ES부분) 부분방전(PD) 신호가 지속적 발생('07.06.09~06.14) <그림6>하여 부분방전 시스템 Graph 분석결과 Floating Electrode에 의한 부분방전으로 확인되었으며 75BAY 15B 부분방전에 의한 트렌드는 <그림7>과 같이 분석되었다. 이에 UHF 기기(ESA-E SERIES SPECTRUM ANALYZER)의 한 주파수 파형 확인 후 내부 정밀점검을 실시하게 되었다.



<그림 6>부분방전 분석 Graph <그림 7>부분방전 분석 트렌드

점검결과 Rod와 Pin사이의 공극이 많을 경우 미세한 진동에 의해 Pin이 좌우로 이동할 수 있으며 이때 조립되어 있는 Shield 또는 연결용 Link와 부딪힘으로 이음 및 이물의 발생 가능성이 있는 Rod와 Pin사이 공극 발생으로 인한 7562, 7502 DS에서 이물질이 발견 되었다<그림8>.



<그림 8>DS고정자상부 Particle <그림 9>DS 가동부 보강

공극이 많은 부분을 테프론 와셔로 취부하여 공극을 최소화 시킴으로써 Pin의 이동이 없도록 정비하여 이음 및 PD발생을 확인하였다<그림 9>.

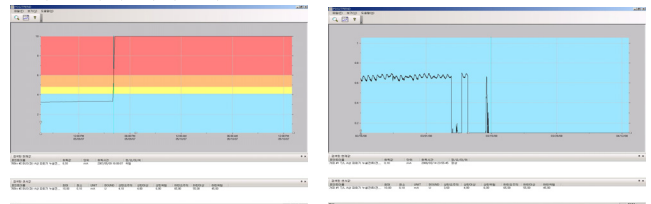
**2.4 예방진단시스템 운영상 문제점과 대안**

**2.4.1** 대상설비의 예방진단시스템 운영에 있어 분석항목을 세분화 및 다양화하여 종합 분석하므로 분석결과의 신뢰성을 향상시켜야 할 필요가 있다.

**2.4.2** 외부 노이즈에 의한 예방진단시스템 분석결과에 영향을 줄 수 있으므로 외부 노이즈 차단시스템과 함께 운영자의 분석 능력을 향상하여 예방진단시스템 운영의 효율성을 증대할 필요가 있다.

**2.4.3** 현장 데이터와 예방진단시스템 모니터 상의 데이터의 내용이 불일치되는 경우가 있어 적용 센서나 TD 등 데이터 취득장치 불량으로 이상 값이 발생되지 않아야 한다.

다음은 피뢰기누설전류에 의한 예방진단시스템의 운용결과로 누설전류 측정 센서의 단락<그림10>이나 단선<그림11>에 의한 결과를 각각 나타낸다.



<그림 10> 피뢰기누설전류(단락) <그림 11>피뢰기누설전류(단선)

**2.4.4** 통신제어장치(FEP)나 SMC(Sensor Monitoring Console) 등의 에러로 상시진단에 문제점이 발생되지 않아야하고 이에 대한 대처 능력을 갖출 수 있는 시스템의 운영이 요구된다.

**3. 결 론**

765kV변전소는 운전 조건을 고려한 유지보수(CBM) 기법을 활용한 예방진단시스템을 이용하여 변전기기를 정비한 경험을 근거로 임박한 설비고장을 예방하였으며, 이는 예방진단시스템이 갖고 있는 기기상태의 Digital화, 기기운전상태의 감시, 기기상태진단, 진단 Data의 Library화, 기기의 수명예측 각종 효과를 적절히 활용함으로써 획득된 것이다.

그러나 예방진단시스템의 신뢰성 있는 운영을 위해 운영자의 능력 향상과 함께 향후 진단 및 감시항목을 더 발굴하여 고장개소를 더욱 정확히 구분할 수 있도록 예방진단시스템의 지속적인 개발이 요구된다.

**[참 고 문 헌]**

- [1] TGE태광이엔지, “예방진단시스템 매뉴얼 V6.0”
- [2] 효성(주), “예방진단시스템용 센서 사양서”,