

초고압 변전기기의 예방진단 및 종합 자동화

양항준, 김경근, 김성식, 유정식, 김홍석, 이학성
(주)효성 중공업 연구소

The Preventing and Diagnosis of Ultra High Voltage Substation Devices and Combination with An Automation System of A Substation

Hang Jun Yang, Kyung Geun Kim, Sung Sik Kim, Jeong Sik You, Hong Suk Kim, Hahk Sung Lee
Power System Team. of R&D Institute, Hyosung Corporation.

Abstract - In this paper a preventative and diagnostic system for high and ultra high voltage electric power transmission apparatus is proposed to secure substation normal operation.

The proposed system consists of monitoring sub-system and diagnostic sub-system, which are mainly for GIS and main transformer, and the system will be applied for newly established 765kV class substation in Korea.

Some guideline for combination with substation control system are presented, and engineering solution as an improved substation automation system is also proposed.

Keywords: Ultra High Voltage Transmitting Apparatus, Preventative Diagnostic, MTR, GIS, Expert System, Substation Automation

1. 서 론

국내에서 765kV 송/변전 라인의 상업운전이 가시화되면서 사고시의 간과할 수 없는 과급효과와 고가의 변전기기 운영에 따른 효과적인 유지보수 및 고장예측과 상시진단 등의 기술정립이 필요하게 되었다.

이에 대비하여 한전에서는 1998년부터 관련 연구를 시작하였으며, 최근 2년간의 연구에서는 변전기기 및 감시제어 설비 메이커와 더불어 초고압 기기에 적용하기 위한 예방진단 시스템 개발을 추진하는 한편 기기의 효과적인 진단, 보수를 위한 예방진단 전문가 시스템 개발에 착수하였다.

극초고압 변전기기에 적용하기 위한 구체적인 상태감시 기법과 적용 센서류 항목 선정, 진단기법의 개발 등이 현재 마무리 단계에 있으며, 765kV 상업운전에 앞서 345kV급 변전소에 시범적용하여 시 운전중에 있다.

예방진단 시스템이 기기의 효과적인 진단, 보수를 통해 설비의 수명 연장과 비용 절감을 목적으로 한다면, 변전소 자동화는 변전소를 운영하는 인력을 최소화하여 설비 운영의 효율성을 극대화하기 위해 설비의 운영 및 감시 제어를 자동화하는 것이다. 변전소 자동화 시스템은 이미 많은 변전소에서 도입하여 운영 중에 있다.

본 논문에서는 위의 사항과 관련되어 최근까지 진행되어 온 일련의 연구에 대한 방향을 조명하고 MTR, GIS분야로 나누어 지는 진단항목과 기법을 살펴본다. 또한, 변전소 자동화 시스템의 최근 기술 동향과 초고전압 변전소에서 이 두 시스템의 연계 필요성을 알아보고 향후 전망을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 초고압 변전기기의 예방 진단

2.1.1 예방진단 관련 개발 및 추진현황

지금까지의 변전기기 예방진단 관련 연구추진 현황 및 계획을 아래 <표 1>에 나타내었다

산학연별 추진현황	'99	'98	'99	'00	'01
Academic Circles					
PD/Wear Phenomenon Analysis	○				
Wearing mechanism research	○				
KEPCO/KEPRI					
Aging/Accident Reporting		○			
Collect Diagnosis Knowledge base		○	○	○	
Selecting Proper sensors for Items			○	○	
Heavy Electric Industries					
Develop Sensor applications			○		
On-Line Monitoring Technique			○	○	
Develop data acquisition Apparatus			○	○	
Common					
System Integration			○		
Construct Knowledge Base			○	○	
Construct expert system				○	○
Apply 345kV as Test Run				○	
Apply 765kV diagnosis system					○

<표 1> 연구추진 현황 및 계획

2.1.2 각 기기별 감시 항목

- 극초고압 주 변압기

절연유 열화

절연유를 활성상태에서 샘플링하여 용존하는 H2, C2H2, C2H4, CH4, C2H6, CO, CO2, H2O 등 7성분 가스의 양을 분석한다. 용존하는 가스의 양에 따라 한전 내부의 진단기준 <표 2> 또는 국제규격인 IEC standard 599 - 1978에 의한 열화 진단을 행한다.

부분방전

변압기 내부의 부분방전은 초음파 센서를 이용한 부분방전 음향검출기법과 누설전류 측정에 의한 부분방전 검출기법 두 가지를 병행한다.

변압기 내부 부분방전은 주로 권선의 절연파괴에 기인하는데, 이는 누설전류를 증가시키고, 부분 방전음을 발생. 따라서 절연파괴 이전에 증가하는 누설전류를 측정하고, 방전음을 초음파 센서를 이용하여 외부 노이즈의 영향을 제거한 부분 방전신호를 검출함으로써 부분방전 진행부위를 추정함.

순환계통

절연유 온도 및 냉각팬, 절연유 순환용 펌프모터의 과부하를 감시한다. 절연유의 과열과 이에 따른 냉각팬의 작동유무 및 순환펌프의 작동유무를 감시하여 순환계통의 고장여부를 유추하고, 냉각팬 및 순환펌프의 모터 동작전류를 상시 감시함으로

써 기계적 이상을 검출한다.

H_2	400 이하	400 이상	800 이상	1200 이상
CO	350 이하	350 이상	600 이상	800 이상
C_2H_2	20 이하	20 이상	60 이상	120 이상
CH_4	250 이하	250 이상	750 이상	1000 이상
C_2H_6	250 이하	250 이상	750 이상	1000 이상
C_2H_4	300 이하	300 이상	750 이상	1000 이상
CO_2	5000 이하	5000 이상	7000 이상	
C	1000 이하	1000 이상	2500 이상	4000 이상
Change/M	200 이하	200 이상	200 이상	300 이상
Frequency	1년	3달	1달	즉각

<표 2> 유증가스 진단치(단위:ppm - 한진)

OLTC(On-Load Tap Changer)감시

OLTC의 경우 지속적인 탭 절환으로 발생할 수 있는 접점의 마모상태(접점수명 예측)와 탭절환 메커니즘의 기계적 특성을 점검한다. 접점마모상태는 탭절환시의 토오크와 상관관계가 있으며, 기계적 이상상태는 탭절환 속도를 측정함으로써 유추한다.

활선정유장치

정유장치는 계통에 걸리는 압력을 검출하여 그 추이를 살피고, 필터의 적절한 교체시기를 결정하기 위해 감시한다.

- 가스 절연 개폐기 (GIS)

부분방전

GIS에서의 부분방전 검출은 UHF Coupler를 이용한다.

SF6 GAS 밀도

GIS의 절연매체인 SF6 gas의 충전상태를 밀도센서를 이용하여 상시 감시한다. 센서는 가스구획별로 1개씩 부착하여 누기를 감시하며, 각 구역에서 순간적인 밀도변화가 생기는지를 감시하여 부분방전의 검출에도 간접적으로 이용하도록 한다.

피뢰기 누설전류

피뢰기는 GIS에서 가장 우선적인 보호장치이므로, 반드시 기기가 적절히 동작하는지에 대하여 검사하여야 한다. 800kV/362kV GIS용 피뢰기의 내부 ZnO 소자의 열화율을 감시하여, 피뢰기의 누설전류를 계산한다. ZnO소자가 열화되면 누설전류 중 저항분 전류가 증가하는 경향을 이용하며 이의 측정을 위하여 3고조파 성분을 측정하여 진단을 행한다.

2.1.3 모니터링 시스템 구축

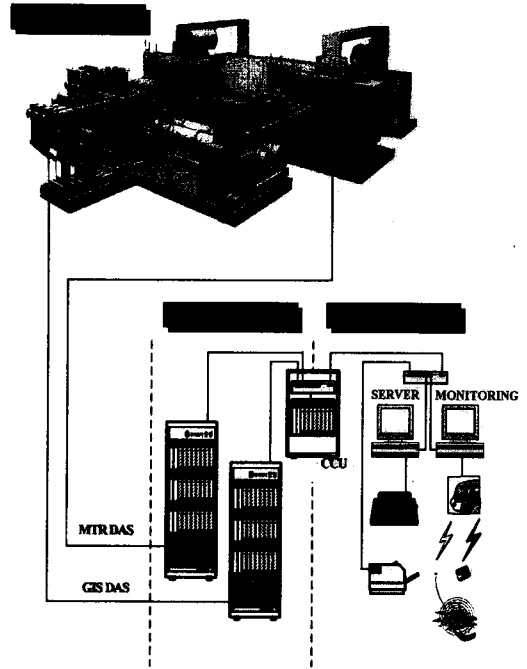
위에 서술한 상태감시 적용항목의 센서로부터 검출되는 값을 각 변전소의 local control room에 설치된 데이터 취득장치로 검출하고, 이를 중앙 사령실의 host computer에 전송하여 감시데이터의 DB를 구축한다.

모니터링 시스템의 감시화면은 WEB 기반으로 설계되어 변전소 이외의 장소에서도 Internet을 통해 상시 감시가 가능하다.

모니터링시스템의 구성과 관련한 개념도가 <그림 1>에 도시되어 있다.

2.1.4 전문가 시스템

변전기기 예방진단 시스템의 효과적 운용을 위한 전문가시스템의 구축을 위해서 먼저 해당 기기들의 특성 데이터는 물론 기존 변전기기들의 고장형태 및 이에 매칭되는 특징적 현상, 여러 가지 사고상황에 대한 개개의 정황에 대한 자료 등



<그림 1> 시스템 개념도

많은 경험적 데이터가 필요하다.

이를 위해 먼저 이 계통의 전문가들의 의견을 수집하고 이를 근거로 KB(Knowledge Base)를 구성하며, 이들 데이터로 추론규칙을 만들어 사고상황의 예측 및 대처방안을 제시하도록 한다.

또한 지속적인 운전에 의해 얻어지는 데이터와 발생하는 사건을 자료로 하는 학습능력을 갖추도록 한다. 학습에 의한 현상유추기법은 최근 많은 분야에서 우수성을 입증받고 있는 역전파 인공지능회로망 이론을 적용한다.

<표 3> 에는 각 기기별 진단요소에 대한 데이터 특성과 평가방법을 나타내었다.

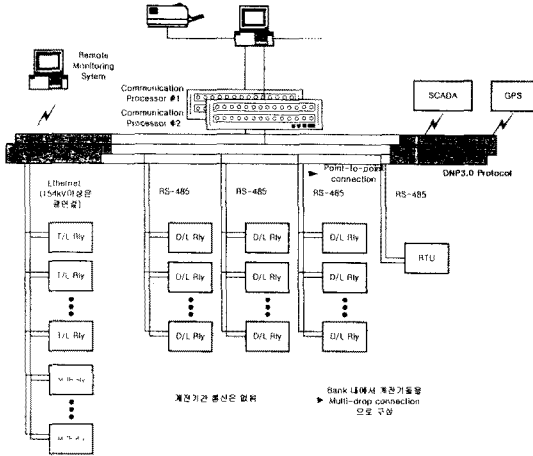
항 목	데이터 형식	평가 방법	
MTR	부분 방전	numeric	경향, 피크치
	유증 가스	numeric	평균, 총량
	활선정유장치압력	numeric/status	경향
	외기 온도	numeric	평균
	절연유면 레벨	numeric	경향, 피크치
	OLTC	numeric/status	경향
	냉각 팬	numeric/status	피크치
GIS	냉각 펌프	numeric/status	피크치
	SF ₆ 가스밀도	numeric	경향, 평균
	CB 투입/차단시간	numeric	평균
	피뢰기 누설전류	numeric	평균
부분방전	numeric	경향, 피크치	

<표 3> 진단데이터 특성 및 평가방법

2.2 변전소 종합 자동화 시스템의 최근 기술 동향

변전소 종합 자동화는 변전소 전력 설비의 원방 감시 및 제어 위한 모든 H/W 및 S/W와 이를 연계하는 통신망을 포함한 전체 시스템으로서의 의미를 갖는다. 더 나아가 변전기기의 단순 상태 및 제어 이외에도 기기 상태를 진단하고 사고를

예측하여 기기를 보호하기 위한 전문가 시스템 구성까지도 포함하고 있다고 할 수 있다. <그림 2>에 변전소 종합 자동화 시스템의 구성 예를 도시하였다.



<그림 2> 변전소 종합 자동화 시스템 구성 예

2.2.1 운영체제

자동화 시스템을 운영하는 핵심적인 운용도구는 HMI S/W(Human Man Interface Software)라 할 수 있다. HMI S/W는 넓은 의미로 하위 데이터 취득 장치로부터 취득된 데이터를 통신 라인을 통해 전달 받아 저장 및 가공하고 감시하는 S/W를 총칭하는 개념으로 사용된다. 이러한 HMI S/W 구성에 가장 큰 영향을 미치는 것은 바로 시스템 운영체제라 할 수 있다. 과거에는 안정성 면에서 뛰어난 Unix를 운영체제로 많이 사용하였으나 윈도우 시스템의 안정성이 윈도우 NT 4.0 및 윈도우 2000에서 상당부분 확보됨에 따라 운영체제도 사용자에게 친숙한 윈도우로 전환되고 있다.

2.2.2 인터넷 및 인트라넷의 지원

최근 인터넷 분야의 기술 발전으로 변전소 단위로 독립적으로 운영되던 시스템을 하나의 네트워크로 연결하여 사용할 수 있는 시스템으로 발전하고 있다. 또한 HMI 시스템을 다수의 클라이언트가 네트워크를 통해 접근할 수 있도록 하고 있다. 네트워크를 통해 HMI 시스템에 접근하는데 있어서 보안, 네트워크 속도 등의 문제가 완전히 해결된 것은 아니지만, 클라이언트 프로그램만 있으면 어디에서나 서버에 접속하여 원하는 작업을 수행할 수 있다는 장점이 있다. 보안상의 위험이 문제가 되는 경우, 인트라넷 환경을 구축하여 인터넷에서의 효과를 대부분 누릴 수 있으며, 인터넷과 분리하여 보안성을 높일 수 있다.

2.2.3 개방형 시스템 및 시스템 개발 도구

자동화 시스템은 대부분 개방형 시스템으로 설계되어 외부의 시스템, 사용자 응용 프로그램, 상용 패키지들과의 데이터 교환을 지원하는 추세이다. 대규모 시스템의 경우 다양한 하드웨어 및 소프트웨어의 구성으로 이루어질 수 있으며 이의 통합은 매우 중요하다고 할 수 있다. 개방형 시스템의 이점은 이러한 시스템에 대해 확장성과 유연성을 높일 수 있다는 것이다. 최근 자동화 시스템은 다양한 하드웨어를 위한 I/O 드라이버를 지원하며 OLE Automation을 통한 프로그램간의 데이터 교환을 지원한다. 이러한 기술 동향에 따라 다양한 변전소 설비에 대응하여 변전소 자동화 시스템을 구축하고 개발비를 감소시키기 위하여 각 변전소의 운영환경에 적합한 Solution을 제공할 수 있는 Engineering Tool을 이용한 System의 최적화도 널리 이용되고 있다.

2.2.4 이중화

이중화는 네트워크의 동장과 함께 시스템의 안전성을 확보하기 위해 중요한 요소로 인식되고 있다. 이중화는 네트워크 라인 이중화, 서버의 이중화, 컨트롤러의 이중화로 나눌 수 있는데, 이 세가지 요소가 모두 만족될 때 진정한 이중화 시스템이 구축되었다고 할 수 있다.

2.3 변전소 종합 자동화와 예방 진단 시스템의 연계

최근 국내에서 초고압 송/변전 라인의 상업 운전이 가시화되면서, 변전소 종합 자동화 시스템뿐만 아니라 예방 진단 시스템의 필요성 또한 중요하게 인식되고 있다. 지금까지 변전소 종합 자동화 시스템과 예방진단 시스템은 서로 별개의 시스템으로 개발 설치되어 왔다. 그러나 보다 효율적인 운용을 위해서는 두 시스템을 연계 또는 하나의 시스템으로 통합하여 운용할 필요가 있다. 두 시스템을 통합하여 운용하게 되면 첫째, 두 시스템을 각각 설치하는 것에 비해 시스템 설치비가 적게 든다. 두 시스템의 상위 시스템은 많은 부분에서 비슷한 기능을 가지고 있기 때문에 이러한 기능들을 통합하여 보다 효율적으로 운영할 수 있게 되고 설치비 또한 감소하게 된다. 둘째, 두 시스템의 데이터를 하나의 DB로 관리할 수 있게 되어, 사고가 발생하였을 경우 보다 정확한 사고 해석이 가능하게 될 것이다. 셋째, 시스템과 운영자 모두 보다 많은 정보를 가지고 기기를 동작 시키게 되므로 오동작을 줄일 수 있을 것이다.

3. 결 론

765kV 변전소의 건설에 따라 예방진단시스템은 이들 변전소에 필수 장비로 도입되는 것이 고려 중에 있으며, 기존의 345kV급 이하의 변전소에도 확장, 적용하여 변전소의 운영 효율을 높이는 방안이 검토되고 있다. 또한 보다 효율적인 운용을 위해 변전소 종합 자동화 시스템과 예방 진단 시스템의 연계·통합 운용이 필요해 짐에 따라, 두 시스템의 연계·통합 방안이 검토되고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] D.J. Kweon et al: The Application of Preventative and Diagnostic System for 765kV Substation, KIEE annual summer conference, pp1885~1887, 2000
- [2] D.J. Kweon et al: Development of the preventive diagnostic expert system of gas in oil power transformer, KIEE annual spring conference, pp1019~1021, 1999
- [3] I.H. Choi et al: Basic design of the preventive diagnostic expert system for 765kV substation equipments, KIEE annual summer conference, pp2133 ~ 2135, 1999