

대용량 변압기 예방진단 시스템 적용 사례

김용한, 이창용, 황보승욱, 최영찬, 신용택, 박군수, 이재봉
 현대중공업 기계전기연구소, *배전반설계부, **변압기설계부, ***여수화력

Application of On-line Diagnostic System for Oil-filled Power Transformers

Y. H. Kim, C. R. Lee, S. W. Hwangbo, Y. T. Shin, K. S. Park, G. C. Park and J. B. Lee
 Hyundai Heavy Industries, Co., Ltd. Yeo-Su T. P.

Abstract - This paper presents recent trends on the on-line monitoring and diagnostic systems for oil-immersed transformers. Specially, our system on Yeo Su thermal power plant is introduced for high sensitivity and accuracy of ours. It is combined with communication networks to provide an on-line remote monitoring system. Several alarm criteria are formulated to enable a superimposed monitoring system to perform decisive action. The reasons for monitoring the condition and maintaining the health of electrical apparatus were discussed. The experience at the fields and the criteria for the judgment are also discussed in detail.

변화가 예상된다.

이러한 규제완화, 자유화 및 민영화는 지속적으로 진행되어 왔으며, 경제적인 원인 등의 이유로 그간 종사하였던 기술자 및 운전인원의 현저한 감축을 가져왔다. 이에 전력분야에서 축적된 know-how를 가진 전문 기술자들이 격감하고 있는 상황이다. 반면에 변압기, 회전기, 차단기, 케이블 등의 전력기기는 설치된 지 수십년이 지나가면서 노령화가 가속되고 있어서 전력기기의 유지보수의 개념이 기존방식인 사후보수 또는 점검보수 방식의 관리기법에서 신뢰성을 기반으로 한 예측보수 방식으로 변환해야 하는 현실에 직면하고 있다. 이러한 연유로 대용량 전력기기의 상태감시 및 예방진단의 필요성이 대두되고 있으며, 이러한 전력기기 예방진단 시스템은 기기의 사고 예방 및 전력기기의 보수 기준 제시하는데 있어 필요한 중요 정보를 제공해야 한다.

현재의 사회는 고도화된 정보사회라 할 수 있으며, 이러한 정보화는 문명의 발전과 더불어 생활환경·사회 전반 기능의 전력의존도를 극도로 증대시키고 있으며, 전력시스템의 주변 환경은 고품질의 전력, 전력공급의 신뢰도 및 서비스의 질적 개선을 한층 더 강하게 요구하고 있다. 이와 더불어 실 사이트의 자사 작업자 업무환경 개선과 사고의 방지를 통한 공공의 안전이 요구되고 있

1. 서 론

국내의 전력계통은 산업의 고도화로 인하여 지속적으로 대용량화되고 있으며, 발전방식이나 배전부하의 양상에 따라 다변화가 되고 있다. 특히, 발전시장을 선두로 하여 전력시장은 민영화는 많은 규제를 완화시키고 있으며, 전력제품의 소형·경량화의 추세는 기기의 고 신뢰성을 요구하고 있다. 또한 제조물 책임법의 발효에 의해

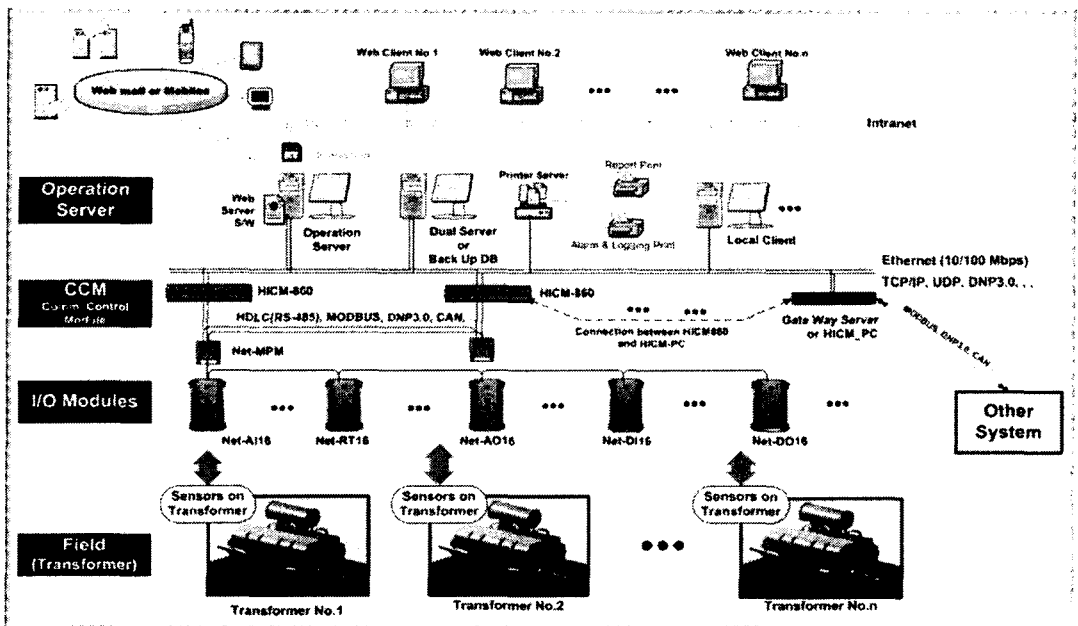


Figure 1. Schematic diagram of the monitoring and diagnostic system for transformers developed by HHI.

전력기기 제조 메이커의 제품생산 및 사후관리에 급격하

다. 이러한 환경에 대한 책임의 증가 또한 현재의 전력

다. 이러한 환경에 대한 책임의 증가 또한 현재의 전력 시장의 변화 추세라 할 수 있다. 이러한 변화에 대응하기 위한 접근방법으로서 운전중인 변전설비를 감시·진단하여 정밀진단 또는 점검의 필요여부를 판단하고 수명 예측 등을 통해 전력기기의 운영을 자동적으로 수행할 수 있는 온라인 시스템에 대한 기대가 일층 더 높아지고 있다.

따라서, 변전기기의 온라인 진단시스템의 역할은 변전설비의 이상 징후를 운전상태에서 상시 감시하여 사고를 방지하고 감시하여 축적된 데이터를 통해 최적의 유지보수 계획을 수립하고 고장 시에 누적된 데이터로 이상원인 및 이상위치를 판정하여 사고를 복구 및 대책수립에 필요한 정보 제공을 하는데 있다. 향후 변전소 자동화 운전에 대응하기에 적합한 시스템으로, 전력기기 메이커의 자사 제품의 대외적인 신뢰도 향상에 기여할 것으로 여겨진다. 당사에서는 이러한 분야의 연구의 일환으로 변압기 및 GIS를 대상으로 하는 온라인 진단시스템을 개발하였으며, 그 중 전력용 변압기 예방진단 시스템(HIPDS)를 당사 154kV 변전소에 설치 및 적용하여 운전 중에 있으며, 남동발전 산하 여수화력 주변압기에 적용하였다. 또한 최근에는 미주 전력회사로부터 변압기 진단시스템을 수주하여 제작을 진행하고 있다. 본 연구에서는 전문가 지식을 탑재한 전력용 변압기 온라인 예방진단 시스템을 실 사이트에 적용한 사례를 통해 예방진단 기술의 발전과 적용과정을 분석하고 향후 진단기술의 전개 방향을 고찰하고자 한다.

2. 진단시스템의 구성 및 알고리즘

2.1. 일반 구성

본 연구에서 적용한 전력용 변압기 예방진단시스템의 일반적인 구성도를 그림 1에 나타내었다. 당사 진단시스템은 주 변압기에 설치되는 각종 센서와 센서로부터 데이터를 취득하는 이상검출장치, 이상검출장치에서 데이터를 수집하는 DAS (Data acquisition system), DAS와 서버를 연결하는 통신제어장치 (CCU 또는 PCM), 윈도우즈 기반의 모니터링 프로그램과 진단프로그램이 설치된 서버를 포함하여 각종 부가장치를 포함하는 요소들로 구성되어 있다.

대부분의 발전소의 경우, 주 감시실의 역할이 발전장

비에 치중되어있다. 이에 전력기기들은 주 감시실과 멀리 떨어져 있기 때문에, 노후화된 발전소의 경우는 통신선의 이동경로를 확보하기가 매우 힘들다.

당사는 상기의 문제점을 해결하기 위하여 아날로그 신호 입력과 접점의 on/off 신호 등의 디지털 입력신호를 처리하는 AIM (Analogue input module)과 DIM (Digital input module) 등으로 구성되는 RTU와 통신제어기를 주 감시실 외부(해당 변압기측면)에 설치하였으며, IP54 이상의 등급에 해당하는 공사를 수행하여 습기와 먼지 등에 의한 영향을 고려하였다. 아울러 예상하지 못한 원인에 대하여도 취득된 데이터를 상시 감시하고 보관하기 위하여 외부에 설치된 DAS와 주 감시실의 Server의 통신선과 통신제어장치를 이중화하였으며, 바이러스나 운영자의 실수에 의한 Server 고장을 대비하여 Back-Up용 Server를 설치하고 데이터를 연동하고 서로 공유하게 하여 비상시에도 취득된 데이터를 최대한 보관할 수 있도록 고려하였다.

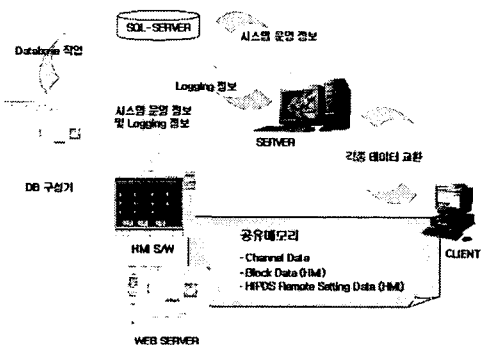


Figure 2. Systematic diagram of server.

서버의 구성을 살펴보면, 데이터베이스 구성기는 PCM (Process Control Module)이 수행하는 제어기능의 알고리즘을 구성하고, 이를 관리하며, 또한 해당 PCM에게 다운로드하는 소프트웨어의 모음이다. 데이터베이스 구성기로 작업된 데이터베이스 정보는 SQL-Server로 저장되며, SQL-Server는 데이터베이스 구성기에서 이루어진 정보를 바탕으로 각종 시스템 운영 정보 및

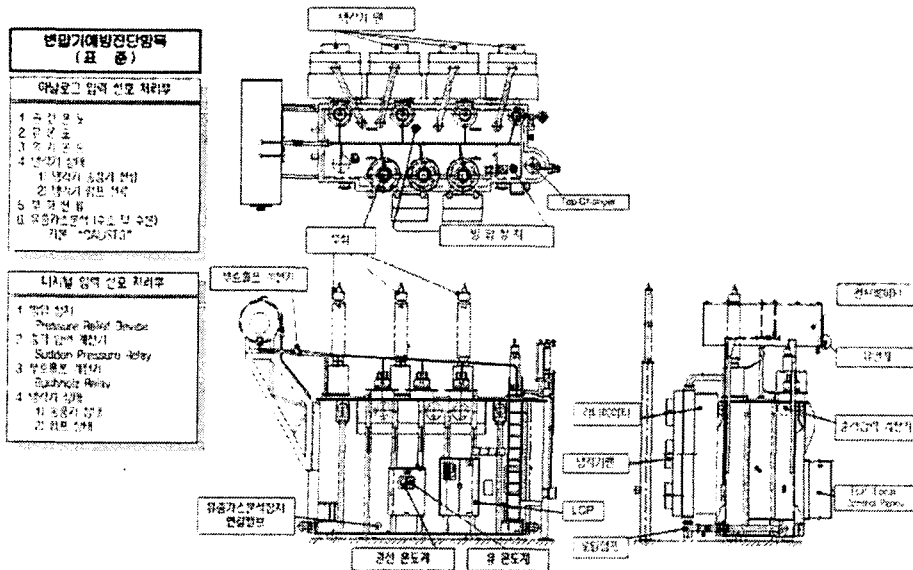


Figure 3. Measuring points of HIPDS (Example).

Logging 정보를 HMI에 전송하게 되며, Local Server와 시스템 운영 정보 및 Logging 정보를 상호 교환한다. Client는 Server에 저장되어 있는 각종 데이터를 제공받아 필요한 정보를 얻을 수가 있다. 그림 2에 이러한 시스템에 대한 개략적인 구성도가 나타나 있다.

HiPDS의 특징은 30,000 포인트 이상의 태그로부터의 정보를 처리할 수 있으며, 멀티화된 서버의 기능과 네트워크의 이중화를 구현하여 시스템의 안정성을 높였다는 점을 들 수 있다.

2.2. 감시 및 진단항목

당사 변압기 예방진단 시스템에서 적용하고 있는 변압기 진단항목은 IEEE Guide for the Application of On-line Monitoring to Liquid-immersed Transformer와 같은 연구결과와 한전 765kV 변전소 예방진단시스템 구매시방서에 기초하여 적용하고 있으며, 여수화력의 경우, 고객의 요구와 해당변압기의 사양에 따라 진단항목을 적합하게 적용하였다 (그림 3 참조). 미주에 납품되는 진단시스템의 경우, 보다 진단항목이 증가하여, LTC 제어기능, 냉각기 제어기능, 각종 릴레이 등의 동작, 병렬운전 등의 부가 기능을 탑재하고 있다.

여수화력 주 변압기를 대상으로 설치된 변압기 예방진단시스템에는 전력기기의 운영자에게 양질의 정보를 제공하기 위하여 유증가스 분석 알고리즘, 과부하 내량 알고리즘, Hot-Spot 온도계산 알고리즘 등이 탑재되어 있다.

변압기 진단에 있어 유증가스 분석은 매우 중요한 요소라 할 수 있다. 그러나 대부분의 송배전변전소 및 민영변전소의 경우에 있어, 변압기의 이상유무와 상관없이 정기점검의 일정에 따라 변압기 절연유를 채취하고 분석을 타사 또는 원거리에 위치한 시험실 등에 의뢰하고 진단결과를 확인하는 절차를 거치게 된다. 이러한 경우, 시료의 채취나 이동에 의한 변수가 상당히 존재하게 되며, 분석 및 진단의 전문가가 항상 필요하다. 여수화력의 경우, 다중가스 측정 장비를 설치하여 상시감시가 가능하며 측정된 데이터를 근거로 IEC-60599에 명시된 Code 분석을 실시하여 운영자에게 진단결과를 상시로 제공한다. 또한 인공지능 기법을 활용한 알고리즘을 탑재하여 Code에 없는 데이터의 경우에도 전문가적인 지식을 가진 사람의 도움을 받지 않고도 적절한 판단을 하여 진단결과를 사용자에게 제공한다 (그림 4 참조).

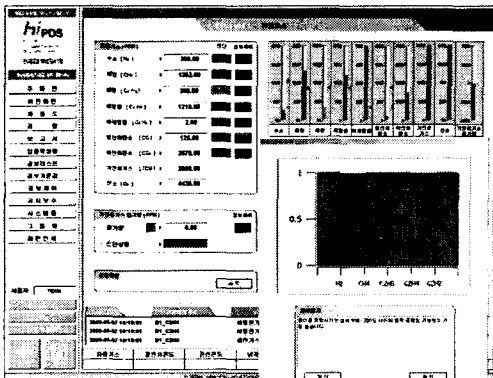


Figure 4. Dissolved gas-in-oil contents and Fuzzy analysis of Dissolved gas in oil.

변압기의 절연수명은 절연지의 기계적 강도의 저하에 의해 결정된다고 알려져 있다. 변압기에 사용되는 절연지는 절연성과 기계적 지지력을 위하여 설치되며, 일반적으로 프레스보드를 사용한다. 특히, 코일의 상단부에 설

치된 도체절연부의 절연물이 가장 고온에 놓여있게 되며, 따라서 변압기에서는 hot spot point에서 절연지 열화정도를 예측하는 것이 필요하다. 또한 과부하운전이 예상될 경우에 대비하여 운전자가 원하는 조건에서 hot spot 온도가 얼마나 상승할 지에 대한 고려도 필요하다. 본 시스템에서는 실시간적인 hot spot 온도의 제공과 더불어 과부하량과 과부하 운전시간을 운전자의 입력에 따라 계산한 과부하 운전가능 결과 정보를 절연지의 열화측면에서 고려하여 제공한다.

이와 더불어서 현재의 부하율과 유온도를 고려하여 2시간 이후의 변압기 온도를 예측하여 냉각기의 운전을 제어한 알고리즘을 개발하였다. 본 알고리즘의 개념을 그림 5에 나타내었다. 이와 같은 제어기능을 활용하면 변압기의 운전온도 편차를 줄일 수 있게 되며, 변압기 내부 절연물에 가해지는 온도를 저하하여 절연물의 수명연장에도 도움을 줄 수 있을 것으로 여겨진다. 또한 호흡식 변압기의 경우 온도의 변화에 의해 내부로 유입되는 수분의 양도 저하하는 것으로 알려져 있다.

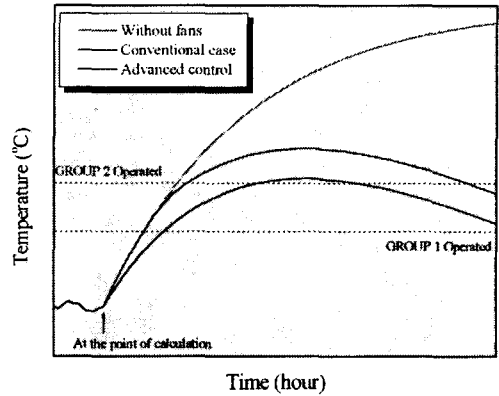


Figure 5. Concept of temperature control on the cooling equipment.

3. 설치 운영중인 진단시스템

그림 5는 여수화력에 설치운영중인 변압기 예방진단시스템의 DAS와 다중가스 측정 장비이다. 그리고 그림 6은 예방진단 시스템이 설치된 여수화력 주변압기 2호기의 외관을 나타내고 있다.



Figure 5. DAS & Oil monitoring system in Yeosu T. P.

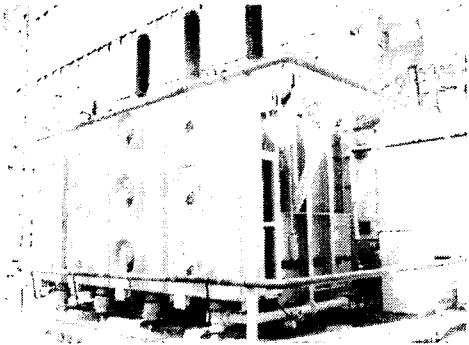


Figure 6. Transformer in Yeosu T. P.

상기의 시스템의 MMI는 한전의 요구사항에 따라서 어느 화면에서나 최근 경보내용을 표시하고 있으며, 경보의 표시는 발생시각, 경보내용, 경보 값 등을 제공할 수 있도록 구성되었다. 이상유무를 정상, 요주의, 이상, 위험 단계로 색상별로 표시하고, 경보레벨을 변경할 수 있도록 하여 해당사업소별로 원하는 기준관리가 가능하도록 하였다. 아울러 웹서버를 통해 관한 사업소의 인터넷망에서는 어디서든지 중요정보를 확인할 수 있도록 하였다.

4. 공정도 화면구성

HiPDS의 MMI는 크게 초기화면, 주화면 (변압기 전체 모니터링 화면), 개별 변압기 모니터링 화면, 각 진단항목별 모니터링 및 진단화면, 주메뉴 화면들과 보조 메뉴화면들로 구성되어 있다. 각 화면에서는 주메뉴와 보조메뉴화면, 이전화면 등으로 이동할 수 있는 URL을 갖추었다.

당사에서 개발된 HiPDS의 초기화면과 계통도 화면을 비롯한 화면은 한전의 요구사항에 따라서 어느 화면에서나 최근 경보내용을 표시하고 있으며, 경보의 표시는 발생시각, 경보내용, 경보 값을 제공할 수 있도록 구성되었다. 주화면은 변압기의 전체를 바탕으로 각 탱크의 이상유무를 정상, 요주의, 이상, 위험 단계로 색상별로 표시하고, 설치되어 있는 진단용 센서 (사진)의 URL을 클릭하면 해당화면으로 이동된다. 그림 7은 웹 기반의 GUI로 인터넷을 통해 권한을 가진 사용자는 사내 어디에서나 변압기의 상태가 감시가능하도록 개발되어 운용중에 있다.

5. 결론

본 논문에서는 당사 154kV 변전소에 기설치 운영중인 변압기 예방진단 시스템을 근간으로 하고 고객의 환경 및 요구에 적합하게 설계된 여수화력용 변압기 예방진단 시스템의 적용기법과 진단기법에 대하여 소개하였다.

이러한 전력기기 예방진단 시스템은 전력계통의 운영에 있어 점차 많은 부분을 점유해 가는 추세이며, 이는 변전소 무인자동화의 필수요건이라 할 수 있다.

전력기기 예방진단 시스템의 실적용은 해당 전력기기의 환경과 고객의 요구에 따라 적합한 시스템의 설계가 필요하며 이를 위해서는 진단시스템의 진단기법 및 사양의 표준화가 필요하다.

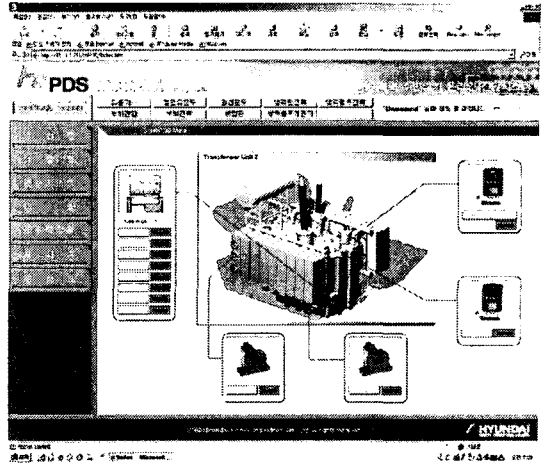


Figure 7. Web-based windows of HiPDS.

향후, 전력기기 예방진단 시스템의 나아가야할 방향은 모든 전력기기에 동일한 기준과 동일한 알고리즘을 적용하는 단순한 감시시스템에서 벗어나 해당 전력기기의 설계 요소와 특성을 고려한 알고리즘을 탑재하고 이를 바탕으로 한 진단을 수행하여 정확한 정보를 운영자에게 제공할 수 있어야 한다. 특히 변압기의 경우, 사용자의 요구에 따라 설계되고 제작되기 때문에 각각의 변압기마다 고유의 특성을 지니고 있으므로 개별 기기의 특성과 요소를 고려한 예방진단 시스템이 필요하며 이를 통해 예방진단 전력기기의 운영이나 유지보수에도 올바른 정보를 제공할 수 있어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- (1) J. P. van Bolhuis, et al., IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 17, No. 2, pp. 528-536, 2002.
- (2) I. E. Kunimov and V. M. Pak, IEEE Intern. Symp. on Electr. Insul., Anaheim, USA, April, pp. 532-534, 2000.
- (3) 일본전기학회기술보고, “電力設備の運轉中絶縁診断技術”, 1992.
- (4) 일본전기학회, 전기협동연구, Vol. 50, No. 2, 1994.