

고압전동기 운전중 부분방전 감시 시스템 개발

김희동, 공태식, 주영호
한전 전력연구원

Development of On-Line Partial Discharge Monitoring System in High Voltage Motors

Hee-Dong Kim, Tae-Sik Kong, and Young-Ho Ju
Korea Electric Power Research Institute

Abstract

On-line partial discharge(PD) monitoring system has been developed to monitor in operating large motor stator insulations. This system makes use of remote diagnosis techniques for the evaluation of PD activity in the control center of thermal power plant. This system can be remotely accessed via a modem to build database, analyze status and interpret the pattern of PD activity. A personnel computer is generally connected to ten motors to continuous measurement of the PD activity. The test data can be easily interpreted by a maintenance staff. For assessing the condition of stator winding in motors, this system ensures a reliable measurement and accurate estimation. Capacitive couplers used for on-line PD measurement have been 80pF. The maximum PD magnitude(Qmax), PD pattern and normalized quantity number(NQN) were performed by this system.

Key Words : motor, on-line, partial discharge, monitoring system, stator insulation

1. 서론

발전소에서 운전중(on-line)인 고압전동기의 갑작스런 절연파괴 사고는 전력공급의 신뢰성을 저하시키고, 단시간에 복구가 곤란할 뿐만 아니라 상대적으로 경제적인 손실이 매우 크게 된다. 고압전동기 고정자 권선 결함은 제작할 때 존재하거나 장기간 운전되는 동안에 열적, 전기적, 기계적 및 환경적인 열화로 인해 결함이 형성되어 진전됨에 따라 최종적으로 절연파괴가 발생한다. 미국 EPRI는 정격전압이 2.3kV 이상의 대용량 전동기가 설치되어 운전 중인 발전소에서 7,500대를 조사한 결과, 37%는 고정자 권선에서 절연파괴가 발생한 것으로 발표하였다[1]. 따라서 전력연구원에서도 고압전동기 운전 신뢰성을 향상시키기 위해 중장기적으로 연구과제를 발굴하고 있으며, 고압전동기 고정자 권선에서 절연파괴가 발생하기 전에 열화상태를 연속적으로 평가하기 위해 주기적인 절연진단 수행과 운전중 감시기술 개발에 연구 역량을 집중하고 있다.

본 논문에서는 6.6kV급 고압전동기 고정자 권선 주절연재료 내부의 공극 형성과 권선 외부에 반도전층 테이프를 제거하여 인위적인 결함을 갖도록 제작하였다. 고압전동기 고정자 권선에 80pF의 에폭시-마이카 커플러를 설치하였으며, 개발된 부분방전 감시 시스템을 사용하여 NQN(normalized quantity number), 부분방전 크기 및 패턴 등을 측정하였다.

2. 시험 방법

본 논문은 실제 고압전동기에서 절연열화 상태를 확인하기 위해 6.6kV급 고압전동기 고정자 권선 3개를 내부방전, 슬롯방전 및 도체표면에서 방전이 발생되도록 제작하였다. 고압전동기 고정자 권선 상태와 동일하게 고정자 권선, 철심 및 웬지로 구성되어 있다. 그림 1은 부분방전 감시 시스템, 고정자 권선 및 에폭시-마이카 커플러를 나타냈다. 외부 전원장치를 사용하여 고압전동기 정격전압까지 전압을 인가하였다.

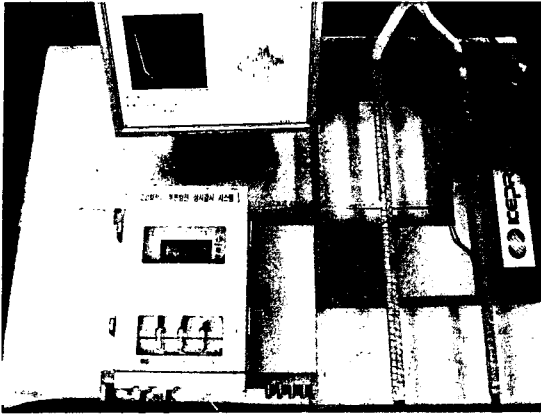


그림 1. 부분방전 감시 시스템.

3. 운전중 부분방전 감시시스템 개발

고압전동기 운전중 부분방전 감시기술은 고정자 권선의 건전성 평가를 위해 가장 확실한 방법이며, 신뢰성 있게 감지되면 국부적으로 제한된 절연재료 결함을 찾을 수 있는 유일한 측정법이다. 그림 2는 고압전동기 운전중 부분방전 감시 시스템의 개략도를 나타냈다. 고압전동기 고정자 권선에서 신뢰성 있는 부분방전 측정과 분석에 필요한 모든 하드웨어를 자체적으로 설계 및 제작하였으며, 소프트웨어 알고리즘을 개발하여 컴퓨터에 내장하였다. 고압전동기 고정자 권선 결함부에서 발생하는 부분방전 신호를 취득하기 위해 단자박스에 각 상별로 1개씩 총 3개의 에폭시-마이카 커플러(epoxy-mica coupler, 80pF)를 설치하였다. 에폭시-마이카 커플러는 높은 주파수 응답 특성을 갖고 있으며, 고압전동기의 고압부스에 직접 설치하였다.

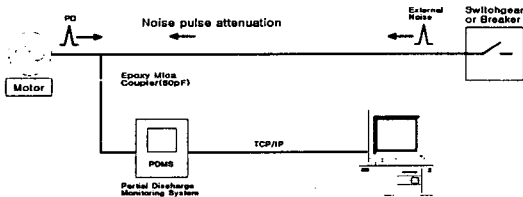


그림 2. 운전중 부분방전 감시 시스템의 개략도.

그림 3은 고압전동기 운전중 부분방전 감시 시스템의 블록도를 나타냈다. 고압전동기 고정자 권선 결함부에서 발생하는 부분방전 신호는 에폭시-마이카 커플러로 감지되어 동축케이블을 통해 감시시스

템으로 전송된다. 입력된 신호는 필터를 통해 외부 잡음을 제거하고 부분방전 펄스 신호만이 피크 홀드 회로(peak hold circuit)와 A/D 컨버터를 통해 디지털로 변환하여 DSP(digital signal processor)에 보내진다. 또한, 트리거(trigger) 회로를 통해 입력된 60Hz 동기신호와 더불어 NQN(normalized quantity number), 최대부분방전 크기 및 위상 등을 분석하여 2차원과 3차원의 실시간 그래프를 하드 디스크에 저장하였다가 시리얼(serial) 통신과 TCP/IP 통신을 통해 감시 시스템으로 전송한다. 감시 시스템의 주파수 대역폭 150kHz~100MHz이며, 고압회전기 고정자 권선에서 부분방전 펄스 전송 특성을 분석하여 설정되었다. 감시 시스템의 전원은 AC 100V ~ 250V를 자유롭게 사용할 수 있다. 그리고 운전중 감시 시스템의 장점은 주요한 기능을 수행하는 하드웨어 부분의 모듈화로 구성되어 설비변경에 따른 확장성과 유지정비가 매우 용이하다.

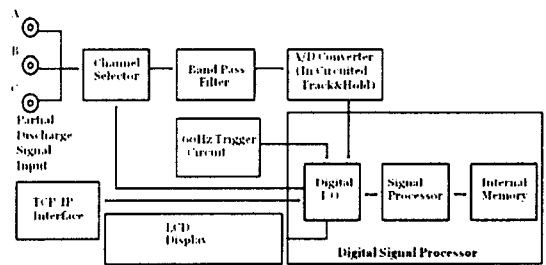


그림 3. 운전중 부분방전 감시 시스템의 블록도.

고압전동기 고정자 권선의 결함부에서 부분방전을 측정하여 분석하는 소프트웨어는 범용의 PC 환경에서 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 Windows 2000을 기반으로 하였다. 모든 입력 데이터는 특별한 소프트웨어 알고리즘에 의해 분석되고 사용자가 쉽게 인식할 수 있도록 실시간 모니터, 데이터 분석, 트렌드, 통신상태 표시 및 경보관리 등 다양한 화면으로 구성되어 있다.

실시간 모니터는 고정자 권선에서 전체적인 방전 활동을 파악하기 위해 위상별로 NQN을 표시하고, NQN과 최대부분방전 크기(Qm)값을 나타내고 있다. 데이터 분석은 NQN, 최대부분방전 크기 및 위상 등을 2차원과 3차원으로 표시하여 모든 정보를 신속하고 정확하게 판별할 수 있다. 그림 3은 부분방전 데이터 분석을 3차원으로 나타냈으며, 트렌드(trend)는 NQN과 부분방전 크기를 시간별, 일별 및

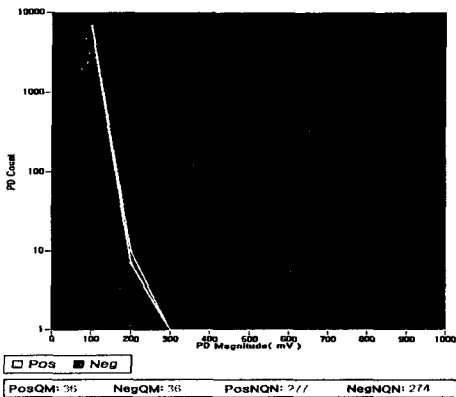
월별로 분석함으로써 이상여부를 파악하고 있다.

통신상태 화면은 감시시스템 하드웨어와 감시 프로그램 사이의 연결 상태를 나타내며, 녹색은 정상 상태, 적색은 이상상태를 표시한다. 경보관리 화면은 통신상태, NQN 및 부분방전 크기의 이상유무를 나타내며, 화면의 하단에 위치한 경보설정 버튼을 이용하여 경보의 수위를 조절하고 검색 버튼을 사용하여 과거에 발생한 경보를 모두 검색 할 수 있다.

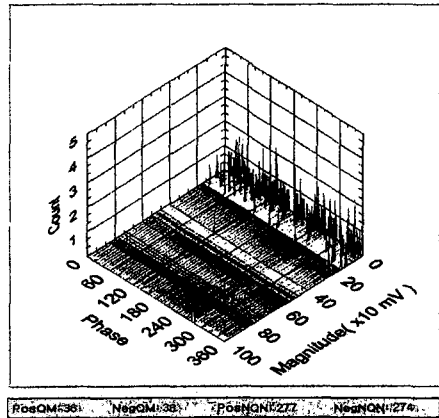
따라서 운전중에 고압전동기 고정자 권선의 결함 부에서 발생하는 부분방전 활동을 파악하기 위해 NQN, 최대부분방전 크기 및 위상 등을 2차원과 3차원으로 나타냈으며, 절연연화 상태와 정도를 실시간으로 분석함으로써 운전중에 이상여부를 파악할 수 있다. 실제로 실험실에서 여러 가지 결함 요소를 갖도록 회전기 고정자 권선을 제작하여 내부방전, 슬롯방전 및 도체표면에서 방전 등과 같은 부분방전 패턴 분석을 통해 결함 발생 원인을 명확하게 규명하였다.

4. 시험결과 및 고찰

그림 4(a), (b)에서 보인 바와 같이 내부방전 (internal discharge)은 정극성 PD와 부극성 PD가 거의 동일하기 때문에 부분방전 패턴이 내부방전으로 분석되었다. 내부방전은 제작할 때 바니쉬나 수지의 부적절한 함침 혹은 절연층의 박리와 같이 열화과정에 의해 발생한다. 장기간 운전에 따라 주로 열적 및 전기적 열화에 의해 주절연 사이의 계면에서 보이드가 만들어 진다[2].

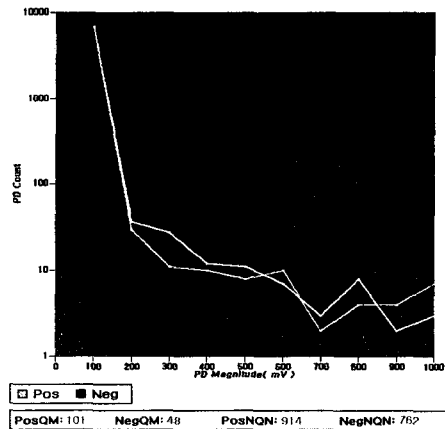


(a) 2차원

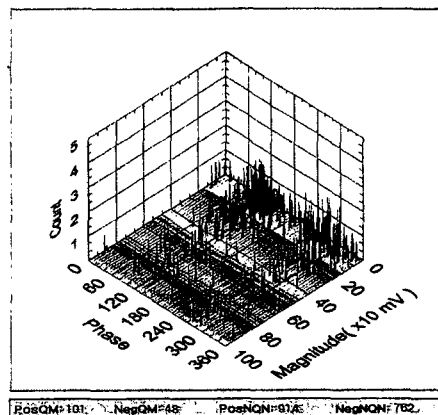


(b) 3차원

그림 4. 내부방전.

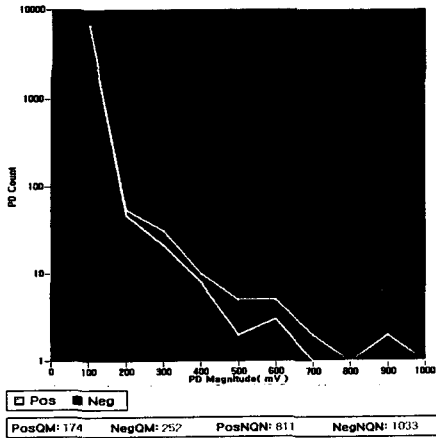


(a) 2차원

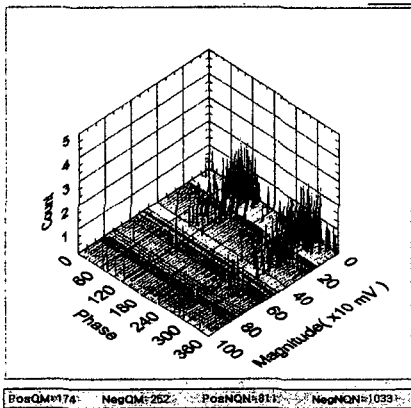


(b) 3차원

그림 5. 슬롯방전.



(a) 2차원



(b) 3차원

그림 6. 도체표면에서 방전.

슬롯방전(slot discharge)은 그림 5(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 부극성 펄스에 비해 정극성 펄스가 크게 나타난다. 주절연과 슬롯의 상대적인 움직임으로 인해 반도체 코팅(semiconducting coating)이 손상됨에 따라 일부 주절연의 접지상태는 나빠지고 표면에 전하가 축적되어 철심과 권선 사이에서 슬롯방전을 일으킨다[2].

그림 6(a), (b)에서 나타낸 바와 같이 정극성 펄스(positive pulse)에 비해 부극성 펄스(negative pulse)가 우세하게 나타났다. 따라서 정극성 PD에 비해 부극성 PD가 높기 때문에 부분방전 패턴이 도체표면에서 방전(discharge at conductor surface)으로 분석되었다[2].

도체표면에서 방전은 주절연과 소선절연 사이의

미소 공극(void)에 의해 발생하며, 함침 바니쉬나 수지에 의해 완전히 채워지지 않은 소선 사이와 전이된 소선의 교차점에서 형성된다. 미소 공극은 운전중에 열적 싸이클에 의해 역시 발생되고 주절연에서 분리된 동도체에서도 야기된다. 미소 공극에 의해 발생한 부분방전은 전기적 트리로 진전되며, 주절연, 소선 및 턴절연을 마모시키고 소선-소선, 턴-턴 사이를 단락시킨다[3].

5. 결론

실제로 고압전동기 고정자 권선에서 부분방전 수, 크기 및 패턴을 측정하였다. 고압전동기 고정자 권선은 오손, 제작 결함 및 절연열화로 인해 내부 방전, 슬롯방전 및 도체표면에서 방전 등이 발생하며, 운전중에 부분방전 패턴을 측정함으로써 결함을 인지하여 절연열화 상태를 직접적으로 예측할 수 있다. 국내 최초로 고압전동기 운전중 부분방전 감시 시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 성공적으로 개발하여 현장시험을 완료하였으며, 발전회사 및 산업체 등에 확대 적용하였다. 따라서 고압전동기 운전중 감시 시스템은 절연열화 상태를 실시간 트렌드로 분석하여 사전 예측정비를 수행함으로써 절연파괴에 의한 돌발적인 고장 억제, 설비의 운전 신뢰성 향상 및 고장으로 인한 경제적인 손실 감소 등에 크게 기여할 것으로 판단되었다.

참고 문헌

- [1] G. Stone and J. Kapler, "Stator Winding Monitoring", IEEE Industry Applications Magazine, pp. 15~20, 1998.
- [2] G. C. Stone, Partial Discharge Seminar, Iris Power Engineering Inc., Vol. 1, pp. 56~78, 2001.
- [3] I. M. Culbert, H. Dhirani, and G. C. Stone, Handbook to assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines, EPRI, EL-5036, Vol. 16, pp. 3-25~3-28, 5-13~5-14, 1989.