

고압 회전기의 운전중 온도, 진동 및 절연상태 종합 감시진단 연구

황 든 하*, 심 우 용*, 강 동 식*, 김 용 주*, 송 상 옥**, 이 진 희***

*한국전기연구원 기기제어응용연구그룹, ***(주)선진전자기술, ***포항산업과학연구원

A Study on On-Line Monitoring & Diagnosis of Temperature, Vibration and Insulation Condition for High-Voltage Rotating Machines

Don-Ha Hwang*, Woo-Yong Sim*, Dong-Sik Kang*, Yong-Joo Kim*, Sang-Ock Song**, Jin-Hee Lee***

Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)*, Advanced Electronic Tech. Co. Ltd.** , RIST***

Abstract - In this paper, a novel monitoring system, data acquisition & diagnosis unit (DADU), for high-voltage rotating machines is proposed. This system monitors the insulation condition, current, voltage, vibration, and temperature of the stator winding by on-line measurements of partial discharge (PD), flux, etc. This helps more efficient operation and maintenance of the rotating machines.

1. 서 론

산업설비의 핵심 동력원으로 사용되는 고압 회전기는 빈번한 기동정지와 장기간 운전에 의해 열적, 전기적, 기계적 스트레스를 받게 되며, 이로 인하여 절연과파, 과열, 진동 등의 문제점이 발생되고, 결국에는 기기의 운전정지를 초래하는 심각한 사고로 진전된다. 회전기의 주요 고장 원인으로는 회전체 진동으로 인한 베어링 마모, 단자간의 고전압으로 인한 절연과파, 권선의 열화 또는 단락으로 인한 소손, 온도상승에 의한 과열 등이 가장 많이 발생된다고 보고되고 있다. 최근, 고장발생시 파급효과가 크고 보수비용이 과다하게 소요되는 진동, 과열, 절연열화 등에 의한 고장의 징후를 조기에 판별하고 대처하기 위한 감시 진단 시스템의 연구가 활발히 이루어져 왔다. 그러나 진동검출을 위한 자속 또는 Gap Sensor, 절연열화 감시를 위한 On-Line 부분방전 센서, 온도측정을 위한 RTD 센서 등의 고장 원인별로 개별적인 검출센서가 필요하고, 감시진단 시스템도 각각 설치해야 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 절연열화 상태진단을 위한 부분방전 뿐만 아니라 회전기의 전압, 전류 및 온도의 상시 감시와 회전자 자속 측정에 의한 진동유무 분석이 가능한 고압 회전기의 원격 감시 진단을 위한 복합 부분방전 측정센서와 다기능 계측진단 유닛(DADU; data acquisition & diagnosis unit)를 제안한다. 제안한 온도, 자속 및 부분방전을 동시에 검출할 있는 복합 부분방전 센서의 특성 실험 결과와 고압 회전기의 계측진단 시스템(DADU)을 3.3/6.6 [kV]급 발전기-전동기 시스템(M-G Set)에 의한 실험실적 특성평가 시험결과를 제시한다. 또한, 다양한 부분방전 파라미터의 산출과 변화추이 분석을 통한 고정자 권선의 절연상태 감시진단 기법과 전압, 전류, 온도 및 진동유무 감시를 위한 원격 모니터링 시스템을 소개한다.

2. 고압 회전기의 운전중 계측진단 시스템

2.1 운전중 감시진단 시스템 설계

회전기의 운전 신뢰성 확보를 위한 운전중 감시진단 시스템을 개발하기 위하여 절연물의 국부적인 열화상태를 가장 잘 나타내는 부분방전 신호의 측정 및 검출에

관한 연구가 많이 수행되었다. 그러나 부분방전 절연열화 뿐만 아니라 베어링 마모 등에 의한 회전자 진동과 과부하 등에 의한 온도상승도 기기의 심각한 고장을 발생시키므로 감시 진단의 필요성이 크게 요구된다.

본 연구에서는 고압 회전기의 운전중 감시 진단을 위하여 고정자 권선의 전압, 전류 및 온도의 상시 감시와 더불어 회전자 자속 측정에 의한 진동유무 분석과 부분방전 신호의 On-Line 측정이 동시에 가능한 다기능 계측진단 시스템을 개발하였다

2.2 운전중 계측진단 시스템의 구성

그림 1은 본 연구에서 개발한 고압 회전기의 On-Line 감시진단을 위한 계측진단 시스템(DADU)의 설치 구성도를 나타내고 있다. 기기의 단자함에서 각상별로 운전전압과 전류를 측정하고, 부분방전 신호, 온도 및 자속은 고정자 권선의 웨지(Wedge) 아래 부분에 설치한 복합 부분방전 측정센서를 이용해서 검출하도록 하였다. 또한, DADU에서 측정 및 가공된 파라미터를 중앙 집중 감시 모니터링 시스템으로 전송하여 기기의 이상상태를 원격에서 감시 진단할 수 있도록 구성하였다.

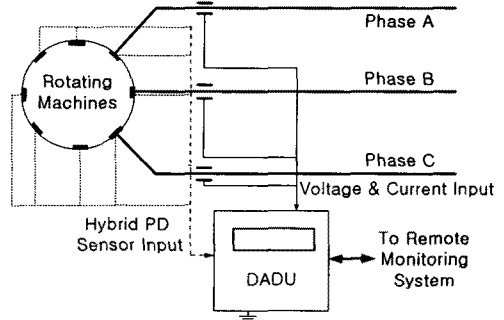


그림 1. 운전중 계측진단 시스템의 구성도

2.3 복합 부분방전 계측센서

회전기의 고장원인 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 진동, 과열 및 절연열화를 검출하기 위해서 기존에는 개별적으로 센서를 설치하였다. 본 연구에서는 기존의 온도센서로 사용되는 RTD 센서의 구조를 그림 2와 같이 변경하여 회전자 자속, 고정자 권선의 온도 및 부분방전 신호를 동시에 측정할 수 있는 복합 계측센서를 개발하였다. 그림 2에 나타낸 복합 계측센서의 구조를 보면, 직경 0.081 [mm] Wire를 턴 수가 20이 되도록 센서의 중심에서부터 Search Coil 형태로 감아서 자속측정과 고주파 부분방전 신호가 동시에 측정되도록 하였다. 이때 온도측정을 위하여 Wire의 저항을 100 [Ω]이 되도록 제작하여 RTD 센서와 동일한 PT100[Ω]의 특성을 가지게

하였다. 복합 계측센서의 크기는 기기의 슬롯 폭에 따라 변경이 가능하고, 6.6 [kV], 150 [kW]급 동기발전기에 부착하기 위해 실제 제작한 그림 3의 복합 계측센서는 폭 9 [mm], 두께 2 [mm], 길이 155 [mm]으로서 발전기 슬롯내의 웨지 아래에 설치되도록 하였다.

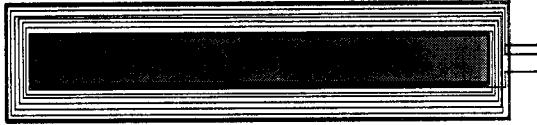


그림 2. 복합 부분방전 측정 센서의 개념도

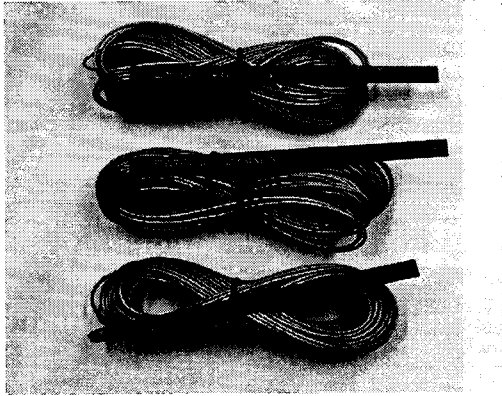


그림 3. 복합 부분방전 측정 센서의 실물사진

2.4 계측진단 시스템의 하드웨어 구성

그림 4는 본 연구에서 개발한 고압 회전기의 전압, 전류, 온도, 자속 및 부분방전 신호 취득 및 감시진단 파라메타 연산을 위한 운전중 계측진단 시스템(DADU)의 블록도를 나타내고 있다. 센서로부터 입력되는 각종 측정 신호에 대한 외부잡음 제거, 정확한 측정을 위한 Filter 및 위상 동기 회로를 포함하는 Signal Input 모듈, 전압, 전류, 온도 및 자속을 측정하는 Sub Processor 모듈, 고주파 부분방전 신호 검출을 위한 Data Acquisition 모듈, 부분방전 신호처리를 담당하는 Main Processor 모듈과 취득되어진 파라메타를 중앙 집중 감시 시스템으로 전송하는 Communication 모듈로 구성되어 있다.

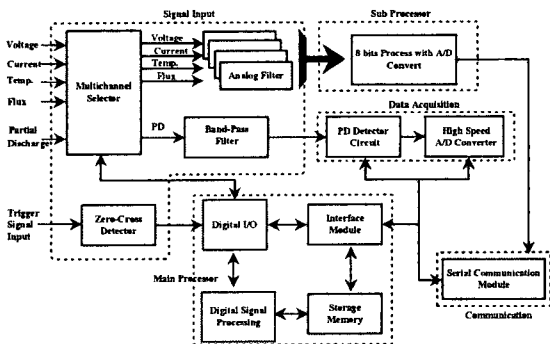


그림 4. On-Line 계측진단 시스템의 Block Diagram

2.5 중앙 집중 감시 모니터링 시스템

다기능 계측진단 시스템(DADU)에서 취득된 각종 파라메타를 Multi-drop 방식의 통신망을 통하여 배전반, 사무실 등의 원격지에 있는 중앙 집중 감시 모니터링 시스템에서 수신하여 각각의 파라메터별로 감시진단이 가능하도록 하였다. 그림 5는 감시진단 모니터링 프로그램의 주화면을 나타낸 것으로서, 각 상별로 최대 부분방전 크기($\pm QM$), Normalized Quantity Number ($\pm NQN$)

및 Dynamic Stagnation Voltage ($\pm DSV$) 등의 절연상태 판정을 위한 부분방전 감시진단 파라메타와 전압, 전류, 온도 등의 운전상태를 나타내게 하였고, 진동의 원인이 되는 회전자의 편심정도를 감시할 수 있도록 회전자 자속의 변화상태를 분석하도록 하였다.

또한, 회전기 고정자 권선의 이상에 따른 경고기능, 정확한 이상발생 시간과 해당 데이터 저장기능, 각 파라메타별 이력관리를 위한 Database 구축 및 변화추이 분석기능, 그리고 절연열화 상태진단을 위한 부분방전 파라메타의 펄스크기 분석(Pulse Height Analysis)과 펄스 위상분석(Pulse Phase Analysis)이 가능하도록 하였다. 그림 6은 회전기 입력전압의 위상에 따른 부분방전의 크기와 갯수의 분포를 3차원적으로 나타낸 3D View 그래프의 한 예를 나타낸 것으로서, 0~90° 및 180~270° 사이에서 부분방전이 많이 발생하는 전형적인 부분방전의 위상분포 특성을 확인할 수 있고, 부분방전 펄스의 발생형태도 쉽게 볼 수 있다

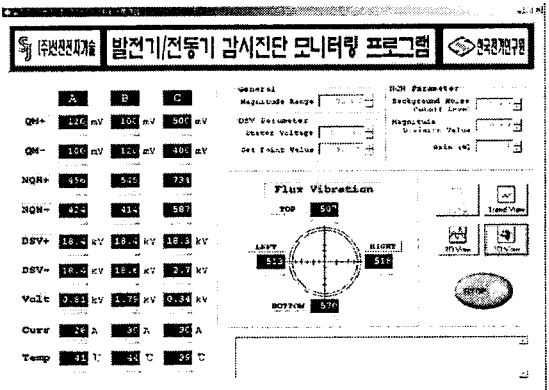


그림 5. 중앙 집중 감시 모니터링 프로그램의 주화면

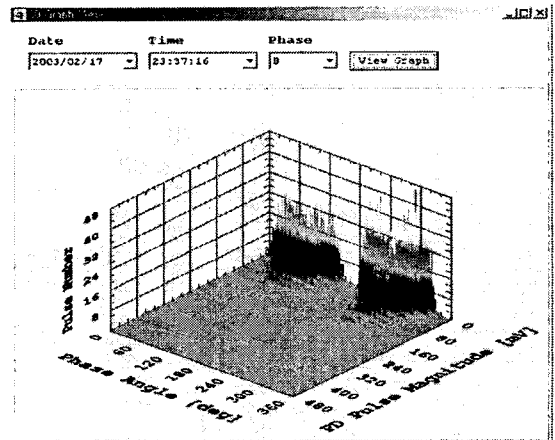


그림 6. 부분방전 신호의 3D View 화면

3. 센서 및 계측진단 시스템 실험결과

3.1 복합 부분방전 계측센서의 특성실험

본 연구에서 개발한 복합 부분방전 계측센서의 응답특성을 분석하기 위하여 고전압에 직접 접촉시키는 Epoxy-Mica Coupler (EMC) 부분방전 센서와 일반적인 온도 측정용의 RTD 센서에 의한 부분방전 응답특성을 비교하였다. 그림 7은 부분방전 Calibrator(Model NPG-2)를 사용하여 펄스 상승시간이 20 [ns]인 모의 부분방전 펄스를 전동기 단자에 인가하였을 때 부분방전 펄스 크기에 따른 각 센서별 응답특성을 나타낸 것으로서, 모의 부분방전 펄스의 크기가 커짐에 따라 각 센서에서 측정

되는 전압도 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 또한, 전동기의 입력단자에 직접 연결하여 부분방전을 검출하는 EMC 센서보다는 검출감도가 낮지만, 일반 RTD 센서보다는 부분방전 검출특성이 양호함을 확인할 수 있다.

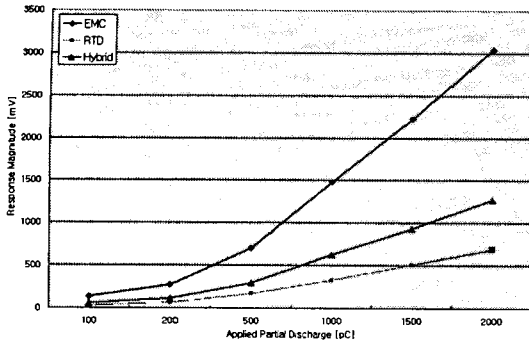


그림 7. 모의 부분방전 펄스에 대한 센서의 응답특성

3.2 실험실적 성능평가 시스템에 의한 실험

본 논문에서 제안한 복합 계측센서와 On-Line 계측진단 시스템의 성능평가를 위하여 4극, 3.3/6.6 [kV], 150 [kW], 1800 [rpm] 정격의 동기발전기-유도전동기 시스템(M-G Set)을 그림 8과 같이 구축하여 실험실적 특성평가 시험을 수행하였다. 각 상별로 고정자 권선의 고압측 슬롯 내에 부분방전, 온도 및 자속을 측정하기 위한 복합 계측센서를 설치하였고, 각각의 단자함에서 전압과 전류를 측정하도록 하였다. 회전자의 진동을 모의하기 위해 그림 9와 같이 회전자에 Disk를 설치하고 Disk상에 Weight를 인가하여 강제적으로 진동을 발생시킬 수 있도록 하였고, 복합 계측센서를 대각선이 되는 슬롯에 취부하여 자속의 크기를 측정함으로써 회전자의 편심정도를 알 수 있게 하였다. 전압, 전류 및 온도는 일반적인 방법으로 측정이 가능하므로 복합 센서에 의한 부분방전 계측과 회전자 자속측정의 가능 여부를 우선적으로 확인하였다.



그림 8. 고압 전동기발전기 시스템 (M-G Set)

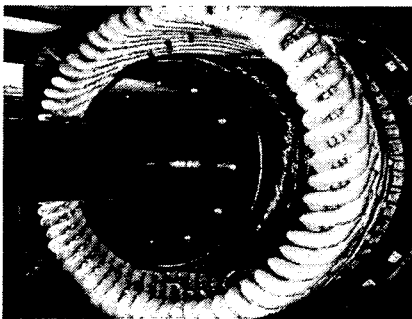


그림 9. 진동모의를 위한 회전자 Disk

그림 10은 인가전압 7.16 [kV]일 때의 고정자 권선에서 발생하는 부분방전을 검출한 것으로서, 위에서부터 EMC, RTD 및 복합 부분방전 계측센서로 측정된 부분방전 파형을 보여주고 있다.

그림 11은 발전기를 운전중일 때 회전자 자속에 의한 복합 계측센서에서 유기되는 전압을 측정된 것으로서, 한 극당 12개의 펄스 형태 전압이 좌우 대칭적이고 비교적 일정한 크기로 유기됨을 확인할 수 있다.

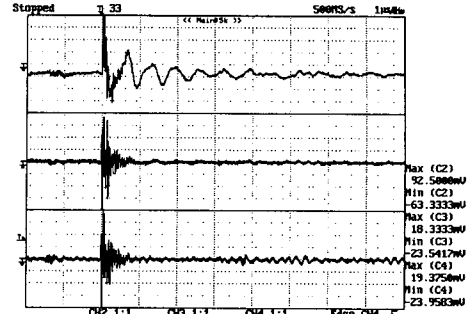


그림 10. 고정자 권선에서의 부분방전 측정 파형

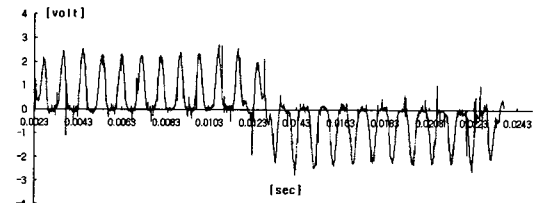


그림 11. 복합 센서로 측정된 자속에 의한 유기전압

3. 결 론

본 논문에서는 고압 회전기의 주요 고장원인인 절연물의 열화, 과전압, 과전류, 과열, 진동 등의 종합적인 감시진단을 위하여, 1개의 센서를 이용하여 부분방전, 온도 및 자속을 동시에 측정할 수 있는 복합 On-Line 부분방전 계측센서와 전압, 전류, 온도, 진동 감시 및 부분방전 절연열화 진단이 가능한 다기능 계측진단 유닛(DADU) 및 중앙 집중 감시 방식의 모니터링 시스템을 제안하였다. 제안한 복합 계측센서의 특성실험과 3.3/6.6 [kV]급 M-G Set을 이용한 DADU의 특성평가를 통하여 부분방전, 온도, 자속의 동시 측정이 가능함을 확인하였다.

향후, 본 연구에서 개발한 고압 회전기의 On-Line 감시진단을 위한 센서 및 진단 유닛의 현장적용을 통하여, 고압 회전기 고정자 권선에서의 정밀한 부분방전 신호 측정에 의한 절연열화 상태진단과 전압, 전류, 온도 및 진동 등의 종합적인 상시 감시진단 시스템의 구축이 가능할 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] (주)선진전자기술, 한국전기연구원, "복합 부분방전 센서 및 발전기/전동기의 진단모듈 개발에 관한 연구", 산업자원부 부품·소재기술개발사업 최종보고서, 2002. 11.
- [2] 황돈하, 심우용, 강동식, 김용주, 송상욱 "고압 회전기의 운전중 감시진단을 위한 계측진단 시스템 개발", 2003년도 대한전기학회 고전압 및 방전용융기술연구회 춘계학술대회 논문집, pp. 122-124, 2003. 4. 25-26.
- [3] 황돈하, 신병철, 심우용, 박도영, 김용주, 송상욱, "고압 전동기 고정자 권선의 절연진단을 위한 운전중 부분방전 측정기법", 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집(C), pp. 1727-1729, 2001. 7. 18-20.
- [4] Y.J. Kim, D.H. Hwang, B.C. Shin, D.Y. Park, J.W. Kim, "Development of Continuous Partial Discharge Monitoring System for Generator Stator Insulations", Conf. Record of the 2000 IEEE-ISEI, USA, pp. 5-8, April 2-5, 2000.
- [5] 황돈하, 심우용, 박도영, 강동식, 김용주, 송상욱, 김희동, "고압 전동기 고정자 권선의 운전중 절연감시 시스템 개발", 2001년도 대한전기학회 전기물성·용융부품회 추계학술대회 논문집, pp. 224-226, 2001. 11. 3.