

Development of On-Line Monitoring System for Pumped Storage Generator/Motor

金熙東* · 朱榮鎬**
(Hee-Dong Kim · Young-Ho Ju)

Abstract - On-line monitoring system(OMS) has been developed for the pumped storage generator/motor. The OMS is applied to diagnosis of the PD(partial discharge) activity of stator insulation, the shorted-turn of rotor winding and the variation of the air-gap between stator and rotor. The CMS consists of DAS(data acquisition system), main server system, gateway and display PC. The DAS measures the PD, the shorted-turn and air-gap from three sensors installed on the generator/motor. The gateway controls the data which sent by DAS. The main server system saves the data, analyzes the data and conducts the diagnostic algorithm. The display PC shows the diagnostic results of partial discharge, shorted-turn and air-gap. Field tests were conducted using PDA(partial discharge analyzer). The results of the OMS and PDA measurements can be directly correlated with normalized quantity number(NQN), PD magnitude(Qm) and PD pattern.

Key Words : OMS, generator/motor, partial discharge, shorted-turn, air-gap, DAS, PDA

1. 서 론

양수발전소는 주로 첨두부하 및 심야부하에서 빈번하게 기동정지를 반복함에 따라 기저부하를 담당하는 원자력과 석탄화력 발전소에 비해 가혹한 조건에서 운전하고 있다. 20년 이상 동안 장기간 운전중인 양수발전소는 반복적인 기동정지에 의한 열적, 전기적 및 기계적인 스트레스(stress) 영향으로 고정자와 회전자 권선에서 열화가 진행된다. 또한, 높은 이용률 때문에 설비의 노후화를 가속시켜 운전 신뢰도가 감소하여 발전-전동기의 고장예측이 중요한 문제로 부상하고 있다. 발전-전동기 고정자 권선에서 정지중 절연진단을 실시하여 건전성 여부를 분석하고 있으나 2~3년에 한번씩 측정함으로 진단 주기가 길어 연속성을 갖지 못하고 있는 실정이다. 따라서 발전-전동기의 이상상태를 사전에 파악하기 위해 운전중에 연속적으로 고장유무를 측정할 수 있는 감시 시스템 개발이 필요하다.

현재 발전회사들도 갑작스런 불시고장을 피하기 위해 초기단계에 발전기, 고압전동기 및 변압기 등의 열화상태를 감지할 수 있는 방법에 대해 많은 관심을 갖고 있다. 게다가 발전회사는 전력공급의 신뢰성을 저하시키지 않는 범위에서 발전설비의 수명연장을 목표로 하고 있기 때문에 운전중 감시 개념을 적용하여 사전에 예측준비를 수행함으로써 안정

적인 운전을 유지하면서 투자비용을 감소시키기를 희망한다. 영국, 캐나다 및 미국 등의 전력회사에서도 운전중 발전기 및 고압전동기 고정자 권선의 절연열화 상태를 상시감시할 수 있는 시스템 개발과 현장설치가 활발하게 진행되고 있다[1, 2].

본 논문에서는 양수발전소 발전-전동기 고정자 권선, 회전자 권선 및 공극 등을 운전중에 연속적으로 감시할 수 있는 진단 시스템을 개발하였다. 고정자 권선의 부분방전, 회전자 권선의 층간단락 및 고정자와 회전자 사이의 공극 등을 운전중에 실시간으로 분석하여 사전에 이상여부를 판정하였다. 또한, 운전중인 발전-전동기 고정자 권선의 NQN(normalized quantity number), 부분방전 크기 및 패턴 등을 PDA(partial discharge analyzer)와 새롭게 개발된 감시 시스템을 사용하여 측정 데이터를 비교한 결과 거의 일치하게 분석되었다.

2. 센서설치 및 시험방법

양수발전소 발전-전동기는 고정자 권선이 4병렬로 구성되어 있으며, 부분방전 감시를 위해 각 상당 2개씩 총 6개의 케이블 커플러(cable coupler, 80pF, ADWEL Inc.)를 고정자 권선에 설치하였다. 각 상당 2개의 케이블 커플러로부터 입력되는 부분방전 신호는 전송 시간차(time-of-flight) 방식에 의해 외부잡음을 제거하고 부분방전 크기와 패턴만을 측정한다. 또한, 현장에서 부분방전 신호의 측정을 용이하게 하기 위해서 발전-전동기 외함에 단자함을 설치하여 6개의 커플러에서 전송되는 신호선을 인출하였다. 운전중 고정자 권선의 부분방전 시험을 위해 PDA(partial discharge analyzer, IRIS Power Engineering Inc.)와 개발된 감시 시

* 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 院 先 任 研 究 員 · 工 博

** 正 會 員 : 韓 電 電 力 研 究 院 責 任 研 究 員

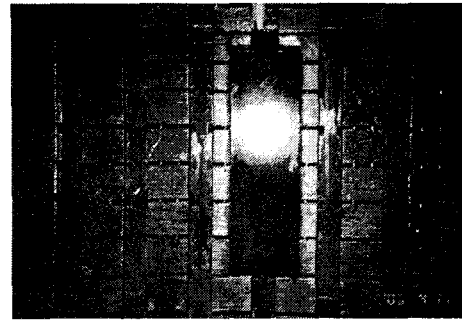
接 受 日 字 : 2003年 12月 15日

最 終 完 了 : 2004年 2月 10日

시스템을 사용하여 부분방전 크기, 부분방전 수 및 부분방전 패턴 등을 측정하여 절연열화 상태를 분석하였다. PDA의 측정 주파수 밴드는 0.1~350MHz이다.

발전-전동기 회전자 권선에서 충전단락이 발생한 경우 회전자계의 자장 분포에 불균형을 가져오기 때문에 출력과 회전자 진동에 영향을 미칠 수 있다[3]. 이와 같이 충전단락 여부를 측정하기 위해 자속 탐지기(flux probe, Generatortech Inc.)를 고정자 권선에 설치하였다. 또한, 고정자와 회전자 사이의 공극을 측정하기 위해 용량성 센서(capacitive sensor, VM 5.0, Vibrosystem. Inc.)를 고정자 권선에 90°간격으로 나누어 시계방향으로 4개를 설치하였다. 따라서 운전중에 회전자 권선의 충전단락, 고정자와 회전자 사이의 편심 정도를 개발된 감시 시스템을 사용하여 분석하였다. 그림 1은 발전-전동기 고정자 권선에 설치된 부분방전, 자속 탐지기 및 공극 센서를 나타내었다.

정지중에 발전-전동기 고정자 권선의 유전정점과 부분방전 시험을 위해 웨빙브리지(Schering Bridge), 커플링 캐패시터(coupling capacitor) 및 부분방전 측정기(partial discharge detector : PDD, Tettex Instruments TE 571)를 사용하였다. 웨빙브리지는 전원장치(HV supply, Type 5283), 브리지(Bridge, Type 2818) 및 공진 인덕터(resonating inductor, Type 5285)로 구성되어 있다. 그림 2는 발전-전동기 고정자 권선에서 부분방전을 측정하기 위한 회로도를 나타내었다. 발전-전동기 고정자 권선에 웨빙브리지(Tettex Instruments)를 연결하여 외부에서 교류전압을 인가하며, 커플링 캐패시터(Tettex Instruments, 4,000pF)는 권선에서 유입되는 신호를 커플링 유닛(coupling unit, Tettex Instruments AKV 572)에 보내어 증폭한 후 부분방전 측정기에서 부분방전 크기 및 패턴을 측정하였다. 부분방전 측정기의 주파수 대역폭은 40~400kHz 이다.



(c) 공극 센서

그림 1 설치된 센서의 종류

Fig. 1 Sensors installation

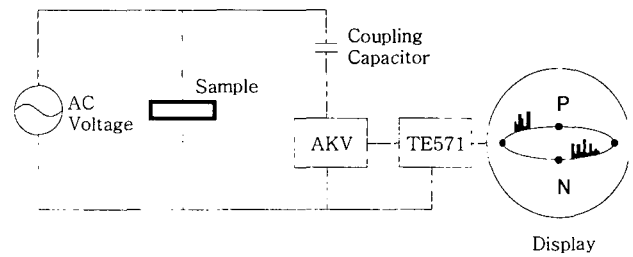


그림 2 부분방전의 측정 회로도

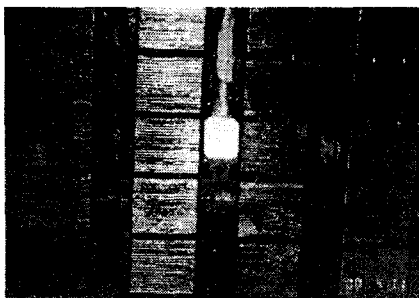
Fig. 2 The measurement of partial discharge

3. 운전중 감시 시스템의 구성

양수발전소 발전-전동기 운전중 감시 시스템의 전반적인 구성은 그림 3과 같으며, 데이터 취득 시스템(data acquisition system), 통신선, 게이트웨이(gateway), 메인 서버 시스템(main server system) 및 디스플레이용 PC(display PC) 2대가 현장 네트워크(local network)에 연결되어 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 발전-전동기 운전중 감시 시스템은 신호 검출을 위한 센서, 데이터 수집을 위한 데이터 취득 시스템, 상위와 하위의 중간자 역할을 하는 게이트웨이, 메인 서버 시스템 및 디스플레이용 PC 등으로 구성되어 있다.



(a) 부분방전 센서



(b) 자속 탐지기 센서

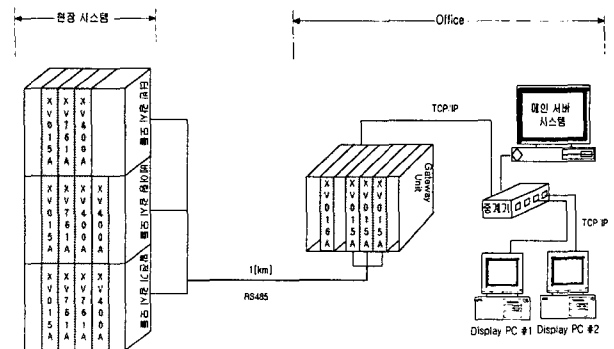


그림 3 운전중 감시 시스템의 구성도

Fig. 3 The diagram of on-line monitoring system

3.1 데이터 취득 시스템

데이터 취득 시스템은 현장에 설치되고 발전-전동기 고정자 권선에 부착된 센서를 통해 정보를 수집하여 게이트웨이로 전송한다. 원래 데이터 취득 시스템은 크게 발전기, 터빈 및 베어링 감시 등을 위해 세 가지의 모듈로서 구성되었다. 현재는 터빈, 베어링은 센서와 신호선이 설치되지 않은 관계로 발전기 감시 모듈만을 사용하고 있다. 데이터 취득 시스템은 RS 485 통신을 이용하여 게이트웨이로 데이터를 전송시킨다.

발전기 감시 모듈에서 공극 신호를 측정하기 위해서 전류를 전압으로 변환하는 전류-전압 변환장치가 설치되어 있으며, 부분방전 측정을 위한 피크-감지기(peak-detector), 필터 및 차동증폭기 등이 각 상마다 설치되어 있다. 하절기에는 지하 발전소의 내부 온도가 높아 시스템에 영향을 많이 미칠 것으로 판단되어 산업용 에어컨과 냉각팬을 설치하여 온도를 적절하게 유지하도록 하였다.

3.2 통신선, 게이트웨이 및 기타설비

통신선은 8심(core)의 쉴드(shield) 처리된 케이블을 사용하였으며, 대략적인 거리가 1km 정도 이다. 데이터 전송을 위해 지하발전소의 데이터 취득 시스템과 배전반의 게이트웨이 사이에 연결되어 있으며, 발전소 내부의 지하 덕트(duct)를 이용하여 설치하였다.

게이트웨이는 데이터 취득 시스템으로부터 전송되어지는 데이터를 제어하고 다시 메인 서버로부터의 명령을 데이터 취득 시스템으로 전달하기 때문에 메인 서버 시스템 가까이 설치되어 TCP/IP로 통신을 한다. 고정자 권선의 부분방전, 회전자 권선의 충전단락 및 고정자와 회전자 사이의 공극 등의 신호를 검출, 분석, 저장 및 전송하는 세 종류의 보드로 구성되어 있으며, 각 보드들은 메인 보드에 의해서 제어되어 진다. 또한, 각각의 보드들은 데이터 취득 시스템과 통신을 담당하며, 메인 서버의 명령과 데이터 취득 시스템의 데이터 전송을 제어한다.

게이트웨이, 메인 서버 시스템 및 디스플레이용 PC 2대는 서로 TCP/IP 통신으로 연결되어 있으며, 1개의 네트워크 중계기에 의해서 모두를 연결하여 현장 네트워크를 구성하였다.

3.3 진단 및 감시 프로그램

발전-전동기 고정자 권선의 부분방전, 회전자 권선의 충전단락 및 고정자와 회전자 사이의 공극 등을 감지하는 소프트웨어는 범용의 PC 환경에서 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 Windows 2000을 기반으로 하였으며 Windows 프로그램과 비슷한 인터페이스를 갖는다. 발전-전동기 고정자 권선에서 전체적인 방전활동을 파악하기 위해 부분방전 펄스 개수, 부분방전 크기 및 위상을 2차원과 3차원으로 나타냈으며, 절연열화 상태와 정도를 실시간으로 분석함으로써 운전 중에 이상여부를 파악할 수 있다. 그리고 충전단락과 공극 데이터의 취득일시, 파일 이름 및 알고리즘 수행결과를 하드 디스크에 저장하였다가 디스플레이 화면에서 보여준다. 충

간단락 데이터로부터 알고리즘을 수행한 후에 단락 발생률, 단락 발생 극 및 어떤 극에서 알람이 발생되었는지를 알 수 있다. 최근에 취득된 공극 데이터를 가지고 알고리즘을 수행한 후에 회전자의 평균 반지름, 중심위치, 이동거리 및 각도 등을 나타낸다. 따라서 부분방전, 충전단락 및 공극 등의 모든 데이터를 분석하고 실시간 그래프를 하드 디스크에 저장하였다가 TCP/IP 통신을 통해 감시 시스템으로 전송한다. 또한, 이들 데이터는 특별한 소프트웨어 알고리즘에 의해 분석되고 사용자가 쉽게 인식할 수 있도록 실시간 모니터, 데이터 분석, 통신상태 및 경보 등 다양한 화면으로 구성되어 있다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 공극 분석

공극 측정에 대한 기본 알고리즘은 용량성 센서에서 얻은 데이터로부터 전류를 거리로 환산하며, 식 (1)과 같은 실험식에 의해서 편심정도를 계산하게 된다. 이 식의 선형 구간은 5~50[mm]이며, 전류로는 4~20[mA]로 나타난다. 따라서 선형 구간내의 거리만이 측정 가능한 것이다. 식 (1)에서 I_{out} 는 용량성 센서에서 측정된 전류를 나타내며, d는 거리로서 고정자와 회전자 사이의 편심정도를 나타낸다. 따라서 공극 측정은 우선 전류 신호가 거리로 변환된 데이터들로부터 회전자의 전반적인 이동 정보를 얻기 위해서 우선 이동되어진 중심과 평균거리를 계산해야만 한다.

$$d(mm) = \frac{I_{out} - 2.2222}{0.355} \quad (1)$$

그림 4는 공극을 측정한 결과를 나타냈으며, 데이터를 이용하여 현재의 고정자와 회전자사이의 위치 정보와 편심 정도를 알 수 있다. 분석 결과 고정자와 회전자 사이의 거리가 일정하여 회전자가 편심되지 않고 아주 양호한 상태로 운전하고 있었으며, 주기적으로 실시간 트렌드(trend)를 분석하여 이상 여부를 빠르게 확인할 수 있었다.

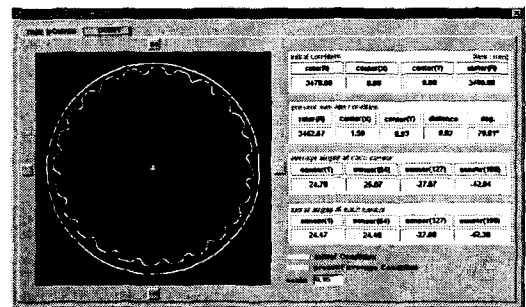


그림 4 공극 측정 결과
Fig. 4 The measurement results of air-gap

4.2 회전자 권선의 충전단락 분석

회전자가 한바퀴 회전하면 12주기의 유사한 파형이 나타나는데, 이와 같은 형태의 파형이 나오는 원인은 총 24극이

상호 반대 극성을 갖고 교차하도록 배치되어 있기 때문이다. 자속 탐지기에 감지되는 신호 크기가 자장의 세기와 비례하기 때문에 서로 반대극성을 갖는 위치에서 신호 비율의 차이가 크게 생기면 층간단락 발생을 의심할 수 있다. 층간 단락 감시를 위해 16[bit] resolution을 갖는 A/D 변환기(analogue/digital convertor)를 사용하였다.

전압의 극한값은 계자 슬롯과 직접적인 관련이 있으며, 화력의 경우는 극한값의 위치가 슬롯의 중심선에서 전압의 최대값이 발생하였다[4]. 반면에 양수의 경우는 반대극성을 갖는 극(pole)이 서로 인접하여 위치하기 때문에 서로 영향을 받게 되어 극의 위치는 그림 5에서 나타낸 바와 같이 자속밀도(flux density)가 극한위치에 존재하며, 극의 위치에 따라 극 번호도 역시 알 수 있다.

그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 자속밀도가 극한값을 갖는 위치는 자속 탐지기 데이터가 '0'을 지나는 점의 근처임을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 자속밀도가 식 (2)와 같이 구해지기 때문이다.

$$FD(T) = \int_0^T FP(t)dt \quad (2)$$

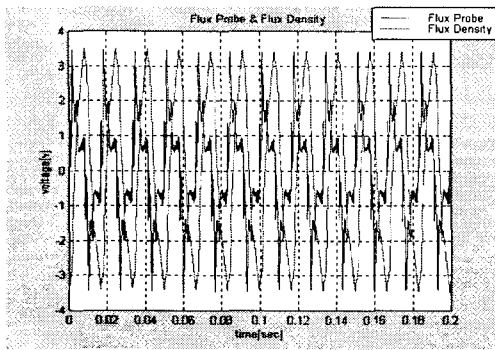


그림 5 자속측정기 및 자속밀도 데이터
Fig. 5 Flux probe & flux density data

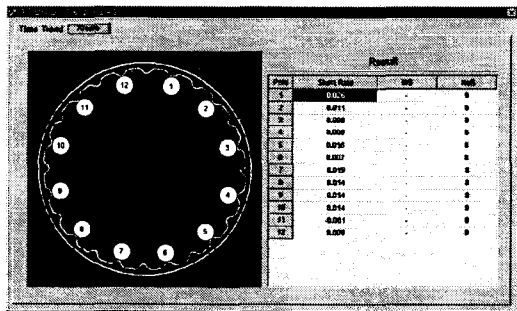


그림 6 회전자 층간단락의 측정 결과
Fig. 6 The measurement results of rotor shorted-turn

즉 24극에 의한 자속 탐지기 데이터는 12개의 비슷한 형태의 파형을 만들어내고 1주기의 파형은 voltage [V] 축을 기준으로 매우 유사하게 나타난다. voltage [V] 축을 기준으로 서로 유사한 형태의 신호가 12번 반복되기 때문에 적분한 값은 자속 탐지기 데이터가 '0'점 근처를 지날 때 최대값

을 갖게 된다. 그림 6에서 나타낸 바와 같이 회전자 권선의 층간단락이 24극에서 한곳도 발생하지 않았으며, 주기적으로 실시간 트렌드를 분석하여 이상 여부를 빠르게 확인할 수 있었다.

4.3 고정자 권선의 부분방전 분석

양수발전소 발전-전동기(정격전압 18kV, 336MVA)에 설치되어 있는 케이블 커플러(cable coupler)에서 개발된 감시 시스템과 PDA를 사용하여 운전중에 부분방전을 측정하였다. 그림 7은 개발된 운전중 감시 시스템을 사용하여 발전-전동기 고정자 권선의 부분방전 패턴을 2차원과 3차원으로 측정한 결과를 나타내었다. 또한, 외부에서 고정자 권선에 교류전압을 인가하면서 정지중에 부분방전을 측정하여 운전중의 진단결과와 비교를 통해 부분방전 크기, 부분방전 수 및 패턴 등의 변화를 고찰하고 유전정점과 부분방전에 의해 절연열화 상태를 종합적으로 분석하였다.

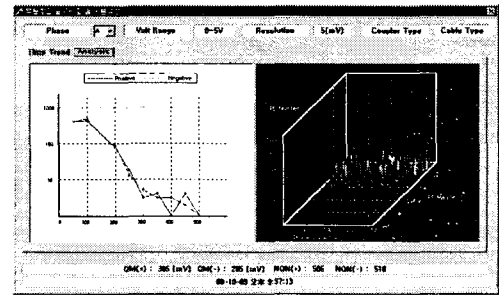


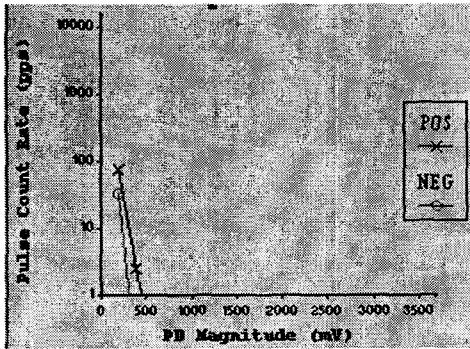
그림 7 고정자 권선에서 부분방전의 측정 결과
Fig. 7 The measurement results of partial discharge in stator windings

4.3.1 운전중 부분방전 분석

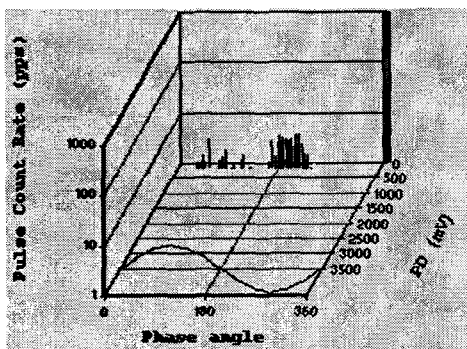
그림 8, 그림 9 및 그림 10은 발전-전동기 A, B, C상에서 PDA를 사용하여 운전중에 NQN(normalized quantity number)과 부분방전 패턴 등을 나타내었다. 부분방전 패턴을 분석한 결과 A, C상은 정극성 PD가 부극성 PD보다 높기 때문에 부분방전 패턴이 슬롯방전(slot discharge)으로 나타났다. 슬롯방전은 주절연과 슬롯의 상대적인 움직임으로 마모가 발생되어 반도체 코팅(semiconducting coating)이 손상됨에 따라 일부 주절연의 접지상태는 나빠지고 표면에 전하가 축적되어 철심과 권선 사이에서 방전을 일으킨다. 따라서 이러한 방전은 고정자 권선의 표면과 철심사이에서 상당한 에너지가 발생하며, 방전시에 오존을 생성하여 고정자 철심과 고무성분의 절연재료를 심하게 산화시킨다[5]. 슬롯방전으로 분석되기 때문에 계획예방정비공사를 수행할 때 정밀 분해점검과 절연보강이 필수적이다.

반면에 B상은 정극성 PD에 비해 부극성 PD가 높기 때문에 부분방전 패턴이 도체표면에서 방전(discharge at conductor surface)으로 분석되었다[5]. 도체표면에서 방전은 주절연과 소선절연 사이의 미소 보이드(void)에 의해 발생하며, 함침 바니쉬나 수지에 의해 완전히 채워지지 않은 소선

사이와 전이된 소선의 교차점에서 형성된다. 미소 보이드는 운전중에 열적 싸이클에 의해 역시 발생되고 주절연에서 분리된 동도체에서도 야기된다. 미소 보이드에 의해 발생한 부분방전은 전기적 트리로 진전되며, 주절연, 소선 및 턴절연을 마모시키고 소선-소선, 턴-턴 사이를 단락시킨다[6].

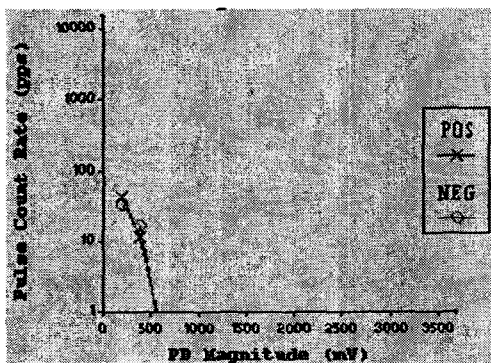


(a) 2차원

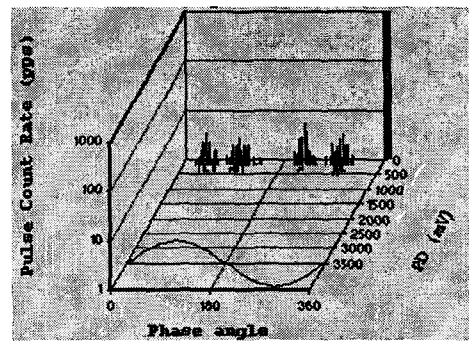


(b) 3차원

그림 8 A상에서 PDA를 사용한 부분방전 패턴
Fig. 8 Partial discharge pattern using PDA in phase A

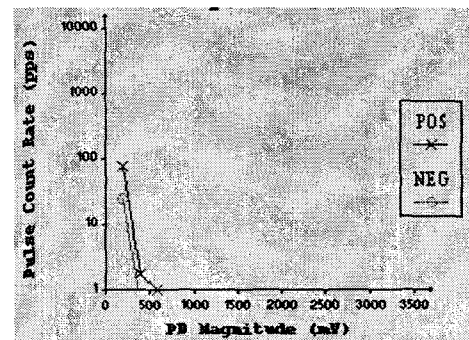


(a) 2차원

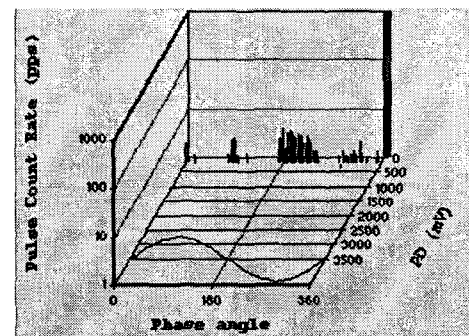


(b) 3차원

그림 9 B상에서 PDA를 사용한 부분방전 패턴
Fig. 9 Partial discharge pattern using PDA in phase B



(a) 2차원



(b) 3차원

그림 10 C상에서 PDA를 사용한 부분방전 패턴
Fig. 10 Partial discharge pattern using PDA in phase C

표 1에서 알 수 있는 바와 같이 운전중에 PDA와 개발된 감시 시스템을 이용하여 NQN과 부분방전 크기(Qm)를 측정 한 결과 B상에서 가장 크게 나타났으며, A상, C상 순서로 작아지고 있다. 따라서 B상에서 가장 많이 절연열화가 진행 되었으며, A상, C상 순서로 열화가 작게 됨을 의미한다. PDA를 이용하여 측정된 Qm값을 상별로 분석한 결과 가장 크게 나타난 B상에서 Qm(+) <435mV이고 Qm(-) <488mV로 나타났지만 고정자 권선이 양호하게 판정되었다[8]. 운전 중에 PDA와 개발된 감시 시스템 등을 사용하여 부분방전을 분석한 결과 측정 장비의 주파수 밴드가 서로 다르기 때문에 NQN값이 다소 차이를 보이고 있지만, 부분방전 패턴은 삼상에서 모두 PDA를 사용하여 측정 한 결과와 일치하고 있었다[7, 9].

표 1 운전중 PDA와 OMS 측정 결과

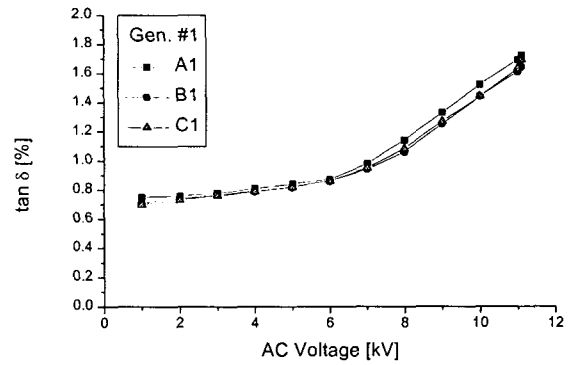
Table 1 The measurement results of on-line PDA and OMS

상별	NQN/Qm[mV]	PDA	OMS
A	NQN(+)	460	586
	NQN(-)	306	510
	Qm(+)	380	305
	Qm(-)	341	285
B	NQN(+)	548	643
	NQN(-)	555	597
	Qm(+)	435	355
	Qm(-)	488	445
C	NQN(+)	429	483
	NQN(-)	277	425
	Qm(+)	378	290
	Qm(-)	321	240

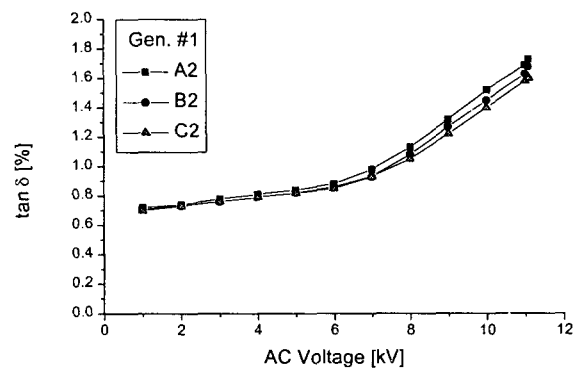
4.3.2 정지중 유전정접 및 부분방전 분석

대략 20년이상 동안 운전한 양수발전소 발전-전동기 고정자 권선을 각 상별로 분리하고 정지중에 유전정접과 부분방전 등을 측정하였다. 유전정접 특성을 분석함으로써 부분방전의 발생 여부, 부분방전 개시전압 및 부분방전 발생량의 평균적인 값을 예측할 수 있다[7]. 그림 11은 교류전압을 11.1kV까지 증가시키면서 tanδ-전압 특성을 나타냈으며, Δ tanδ가 A1, B1, C1상에서 각각 0.96%, 0.90%, 0.96%이며, A1, B1, C1상에서 각각 0.99%, 0.95%, 0.87%로 나타났다. Δ tanδ가 매우 작고 유전정접 특성이 양호하기 때문에 고정자 권선 절연재료의 내부가 양호하게 판단되었다. tanδ-전압 특성에서 유전정접이 7.0kV에서 급격하게 증가하고 있으며, 이 전압 부근에서 부분방전의 개시가 발생되고 tanδ 증가 패턴이 크지 않기 때문에 부분방전 발생량도 작게 나타날 것으로 예상할 수 있다.

부분방전 측정시 계통잡음은 각상에서 대략 300pC이며, 부분방전 개시전압이 A1, B1, C1상에서 각각 8.9kV, 8.9kV, 8.8kV이며, A2, B2, C2상에서 각각 9.5kV, 8.6kV, 8.5kV 부근에서 나타났다. 또한, 부분방전 크기는 상전압에서 A1, B1, C1상이 각각 2.7nC, 3.1nC, 2.5nC이며, A2, B2, C2에서 각각 2.3nC, 2.5nC, 2.0nC로 나타났다. 정지중에 측정한 부분방전 크기도 B상에서 가장 크게 나타났으며, A상, C상 순서로 작게 분석되었다. 따라서 정지중에 측정한 부분방전 크기와 패턴이 운전중에 분석한 결과와 상호 일치하고 있음을 확인할 수 있었다[10].



(a) A1, B1, C1상



(b) A2, B2, C2상

그림 11 양수발전기의 tanδ-전압 특성

Fig. 11 The tanδ-voltage properties of the pumped storage generator/motor

5. 결 론

양수발전소 운전중에 발전-전동기 고정자 권선의 부분방전, 회전자 권선의 층간단락 및 고정자와 회전자 사이의 공극 등을 감시 할 수 있는 시스템을 개발하여 시험을 완료하고 현장설비에 설치하였다. 발전-전동기 운전중에 고정자 권선의 부분방전, 회전자 권선의 층간단락 및 공극 등을 측정된 결과 모두 양호한 상태이며, 주기적으로 실시간 트렌드를 분석함으로써 절연열화와 이상상태를 사전에 예측하여 갑작스런 불시고장을 직접적으로 예방할 수 있다. 운전중에 PDA와 개발된 감시 시스템을 사용하여 부분방전을 분석한 결과 측정 장비의 주파수 밴드가 다르기 때문에 NQN값이 차이를 보이고 있으며, 각 상별로 분석된 부분방전 패턴은 거의 일치하고 있음을 확인하였다. 운전중에 부분방전 패턴을 측정된 결과 A, C상은 슬롯방전, B상은 도체표면에서 방전으로 분석되었다. 또한, 운전중에 측정한 NQN과 부분방전 크기는 B상이 가장 크고 A, C상 순서로 작게 나타났으며, 정지중에 부분방전 크기를 측정된 결과와도 상호 일치성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] H. G. Sedding et al, "On-Line Partial Discharge Measurements on Turbine Generator : Experience with Stator Slot and Bus Coupler Measurements", CIGRE, Paris, 1998.
- [2] W. McDermid and J. C. Bromley, "Experience with Directional Couplers for Partial Discharge Measurements on Rotating Machines in Operation", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 14, No 2, pp. 175-184, 1999.
- [3] 김희동, 이영준, 박종정, 주영호, "발전기 회전자 권선의 운전중 층간단락 탐지", 대한전기학회 논문지, Vol. 48C, pp. 192~199, 1999.
- [4] E. Woschnagg, "Turbogenerator Field Winding Shorted Turn Detection by AC Flux Measurement", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 9, No 2, pp. 427-431, 1994.
- [5] G. C. Stone, Partial Discharge Seminar, Iris Power Engineering Inc., Vol. 1, pp. 56~78, 2001.
- [6] 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.
- [7] G. C. Stone, B. A. Lloyd and S. R. Campbell, "On-Line Monitoring for Condition Assessment of Motor and Generator Stator Windings", IEEE Pulp and Paper Industry Technical Conference, pp. 94-103, 1994.
- [8] V. Warren, G. C. Stone and M. Fenger, "Advancements in Partial Discharge Analysis to Diagnose Stator Winding Problems", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 497-500, 2000.
- [9] G. C. Stone, "Importance of Bandwidth in PD Measurement in Operating Motors and Generators", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No 1, pp. 6-11, 2000.
- [10] Hee-Dong Kim, "Analysis of Partial Discharge to High Voltage Motor Stator Windings", IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 340-343, 2001.

저 자 소 개



김희동(金熙東)

1961년 12월 15일생. 1985년 홍익대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 일본 큐슈공업대학 초빙연구원. 현재 한전 전력연구원 선임연구원

Tel : 042-865-5261

Fax : 042-865-5304

E-mail : hdkim@kepri.re.kr



주영호(朱榮鎬)

1956년 5월 1일생. 1981년 인하대 전기공학과 졸업. 2000년 한밭대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전 전력연구원 책임연구원

Tel : 042-865-5260

Fax : 042-865-5304

E-mail : juyh@kepri.re.kr