

## 발전기 운전중 종합 진단시스템 개발

이영준, 공태식, 김희동, 주영호  
한국전력공사 전력연구원

### Development of On line Diagnosis System for Generator

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

**Abstract** - The generator on-line diagnosis system has been developed. This system monitor the insulation condition of stator winding by on-line measurements of partial discharge and the shorted-turn condition of rotor winding by on-line measurements of slot leakage flux.

Sensor, such as SSC(Stator Slot Coupler) and flux probe are used for generator on-line diagnosis.

## 1. 서 론

최근 복합화력 등 일일기동정지(Daily Start Stop) 설비의 열악한 운전여건으로 인하여 발전기 고정자 권선의 절연사고 및 회전자 권선 단락에 의한 고장발생이 증가하는 추세에 있다. 고정자 권선의 절연파괴는 발전기 불시고장을 일으키며 복구에 많은 정비시간과 비용이 들어간다. 또한 회전자 단락 발생시에는 발전기 전동상승, 성능저하, 출력제한 등 비정상적인 운전상황이 야기될 수 있고 심한 경우 발전기 불시정지를 일으키기도 한다.<sup>[1][2]</sup> 발전기 운전중에 이러한 절연파괴 및 단락현상을 찾아내기 위해서는 발전기 정상운전중 이상유무를 사전 진단할 수 있는 진단시스템의 개발이 필요하나 국내에서는 아직 외국기술에 의존하고 있는 실정이다.

발전소 핵심 전기설비의 하나인 발전기의 고정자 및 회전자에 대한 정상 운전중 건전성을 진단할 수 있는 진단시스템은 고정자 권선의 부분방전 진단의 경우, 고압 전동기용 절연감시 시스템을 전력연구원에서 2002년에 개발 완료하여 보령화력, 삼천포화력 및 영종화력 등에 적용한 바 있다. 또한, 회전자 권선의 단락 진단시스템도 전력연구원에서 2000년에 개발 완료하여, 서인천복합, 신인천복합, 평택복합 및 북제주화력 등에서 활용중에 있다. 그러나 이들 개별 진단시스템을 하나로 묶어 발전기에 대한 종합적인 감시기능을 갖는 시스템은 현재 전무한 실정이다. 북미를 비롯한 선진 외국에서도 발전기에 대한 부분적인 진단시스템은 개발되어 사용중에 있으나 종합적으로 하나의 시스템으로 통합하여 운영하는 제품은 개발되지 않은 실정이다.

본 논문에서는 이미 선진국 및 국내에서 신뢰성이 입증된 발전기 고정자 권선의 부분방전 감시시스템과 회전자 계자권선을 정상운전중 진단할 수 있는 단락 감시시스템을 하나의 통합 감시체계로 관리, 운영할 수 있는 진단시스템을 국산화 개발하여 서인천복합화력발전소 5호기 가스터빈발전기에 적용 예정으로 전력연구원에서 연구개발중에 있는 발전기 운전중 종합 진단시스템의 전반적인 소개와 개발 현황에 대해서 논하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 고정자 권선 부분방전 센서

부분방전은 고장자 권선 절연물 내부의 결합부에서 발생하는 전기적 스파크 현상이다. 이것은 고정자 권선의 통해 전송되는 빠른 전류펄스를 발생시키고, 이 펄스가 클수록 권선 단자에 도달하는 전류펄스와 이에 따른 전압펄스가 증가한다. 이러한 부분방전 펄스 신호의 측정을 위한 상용 측정센서로 Stator Slot Coupler(이하 SSC)가 있다. SSC는 전자파의 진행에 따른 시간차에 의해 발생된 두개의 부분방전 신호를 RG-178 케이블을 통해서 전송한다. SSC의 차단주파수는 10[MHz]에서 1[GHz]까지이며, 특성 임피던스는 50[Ω], 주파수대역은 10~1000[MHz]이며, 열과 기계적인 충격에 견딜 수 있도록 NEMA Fire Retardant G10-rated Epoxy Glass Lamination으로 되어 있다.<sup>[3]</sup> SSC는 발전기 슬롯에 따라 폭과 길이를 가변할 수 있으며, 발전기의 권선과 엣지사이에 취부하는 방법으로 설치하며, 그림 1은 발전기에 설치된 부분방전 감시용 SSC 센서를 보여준다.

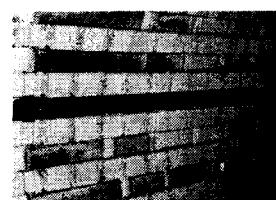


그림 1. 고정자 부분방전 감시용 SSC 센서

SSC 센서는 발전기가 2병렬 회로일 경우 각 상당 2개 씩 총 6개를 설치하며, 설치하는 위치는 각 상에서 가장 높은 전압이 걸리는 첫 번째 고정자 권선의 슬롯 엣지와 권선 사이에 삽입하여 설치한다. 그림 2는 SSC를 각 상별로 설치하는 개략도이다.

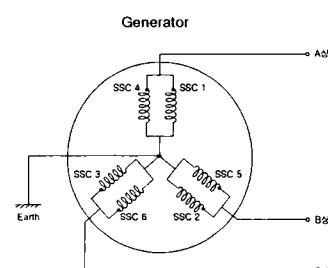


그림 2. SSC 센서 설치 개략도

## 2.2 회전자 권선 충간단락 센서

충간단락 현상은 회전자 권선 슬롯내에 여러층으로 이루어진 개별권선 사이의 접촉현상을 말한다. 이러한 충간단락 발생시 회전자 몸체의 열적 불평형을 가져와 축진동을 상승시키며, 발전기 안정운전에 악영향을 미친다. 이러한 충간단락 현상을 감지할 수 있는 센서는 전력연구원에서 2002년 연구개발 완료하여 상용화된 flux probe 센서가 있다. 이 센서는 발전기 정상운전중 회전자 권선 각 슬롯에서 발생되는 자속을 감지하여 이를 전압파형으로 유기하여 나타내주며, 충간단락이 존재하는 슬롯에서는 전압값이 낮게 측정되어 N, S극 전압값을 상호 비교하여 충간단락 발생여부를 측정하는 센서이다.<sup>[4]</sup> Flux probe 센서는 발전기 공극에 따라 센서의 길이가 결정되며, 회전자 인출후 고정자 웃지에 영구적으로 견고하게 부착한다. 센서는 발전기 1대당 단 한개만을 설치하여도 충간단락 진단이 가능하며, 설치 위치는 회전자 인,출입시 파손을 최소한으로 하기 위해 3시 또는 9시 방향에 설치한다. 그림 3은 고정자 웃지에 영구적으로 설치된 회전자 권선의 충간단락 진단용 센서인 flux probe이다.

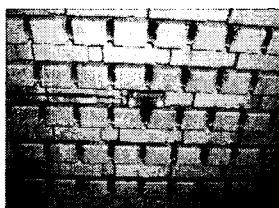


그림 3. 회전자 충간단락 감시용 flux probe 센서

## 2.3 발전기 종합 진단시스템

그림 4는 발전기 종합 진단시스템의 개요도이다. 부분방전 센서인 SSC를 통해 고정자 권선의 건전성을 진단하고 flux probe를 통해서는 회전자 권선의 이상유무를 진단하고, 데이터 수집, 가공 및 처리를 통해 최종적으로 하나의 감시 모니터를 통해 중앙제어실에서 상시 감시할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

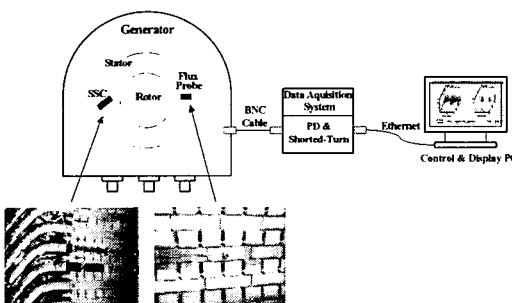


그림 4. 발전기 종합 진단시스템 개요도

### 2.3.1 데이터 수집시스템

데이터 수집시스템은 부분방전 및 충간단락 센서 출력신호를 증폭, 처리해주는 signal conditioner, 그리고 DSP 모듈(Digital Signal Processor Module), CPU, 전원장치 등으로 구성되어 있다. 부분방전 신호는 노이즈 성분과 분리되고 필요한 신호만을 추출하며, 충간단락 신호와 각각 개별적으로 데이터 수집시스템에서 가공, 처리되어 진단 알고리즘 계산을 통한 결과값을 디스플레이

컴퓨터 화면에 나타내어준다. 그림 5는 발전기 하부에 설치된 데이터 수집시스템을 나타낸 것으로, 왼쪽부분이 부분방전 신호 처리용 보드이며, 오른쪽에 충간단락 신호처리용 보드가 설치되어 있다. 각 진단데이터 신호는 여기서 수집, 가공, 처리되어 통신써버를 통해 감시용 모니터에 실시간으로 전달하게 된다.

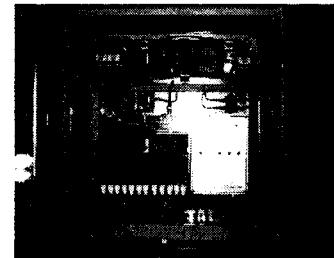


그림 5. 데이터 수집시스템 내부

### 2.3.2 진단용 소프트웨어

디스플레이용 컴퓨터 모니터는 중앙제어실에 설치하여 발전기 정상운전중 고정자 권선 및 회전자 권선의 건전성 유무를 다양한 화면을 통해 사용자가 직관적으로 인지하기 쉽도록 개발하였으며, 소프트웨어 개발언어는 사용 및 수정작업이 용이한 Visual Basic 6.0을 사용하였다. 그림 6은 발전기 종합감시 프로그램의 메인화면으로 하나의 화면에서 부분방전 및 충간단락 상황을 동시에 감시가 가능하도록 구성하였다.

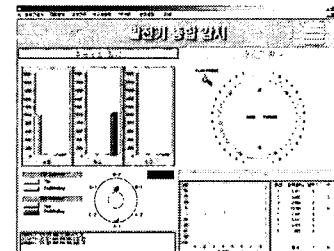


그림 6. 발전기 종합감시 메인화면

그림 7은 발전기 고정자 권선의 부분방전 감시화면으로 각 상별 부분방전의 크기 및 발생량을 나타내주는 화면으로, 더욱 자세한 부분방전과 관련된 정보는 2차원 및 3차원 그래프로 분석한 결과 화면을 통해 확인이 가능하다. 또한 부분방전 발생추이(Trend)를 통해 발전기 고정자 권선의 부분방전 발생의 변화상태를 쉽게 확인 가능하도록 구성하였으며, 모든 진단 데이터는 데이터베이스화하여 언제든지 과거의 데이터를 다시 확인이 가능하도록 하였다.

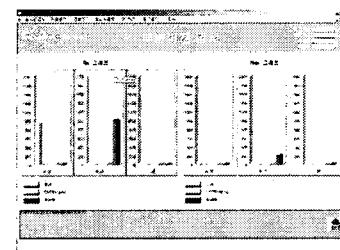


그림 7. 각 상별 부분방전 분석화면

그림 8은 발전기 회전자 권선의 충간단락 감시화면으로 회전자 각 권선에서 유기된 센서 전압파형 및 이를 근거로 계산된 단락율, 단락 발생위치 등을 한 화면에서 확인 가능하도록 구성하였다. 더욱 자세한 정보는 각 화면을 간단한 클릭만 하면 다른 분석 화면으로 이동하도록 구성하였다. 현장에 설치되어 있는 발전기의 종류가 여러 가지인 점을 감안하여 발전기 회전자 권선 수, 권선 총수 등에 따라 단락 알고리즘 계산법이 다르기 때문에 이에대한 정보는 처음에 프로그램 셋팅시 간단한 발전기 정보 입력만을 통해 설정이 가능하도록하여 회전자 권선의 조건이 서로 다른 어떠한 발전기에도 적용이 가능하도록 하였다.

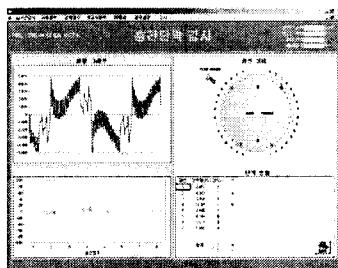


그림 8. 충간단락 분석화면

### 2.3.3 Network 구성

그림 9는 발전기 고정자 권선의 부분방전 감시와 회전자 권선의 충간단락 감시를 여러대의 발전기에 대한 집중 감시가 가능한 local network 구성도를 나타내었다. 고정자 권선의 부분방전 신호 및 회전자 권선의 충간단락 신호는 현장에서 데이터 수집시스템(Data Aquisition System)에 의해 신호처리 및 가공, 분석되어 데이터를 통신서버를 통해 중앙감시 모니터에 전달하여 실시간으로 감시가 가능하도록 구성하였다. 따라서 하나의 모니터를 통해 여러대의 발전기에 대한 고정자 권선 및 회전자 권선의 이상유무를 상시 감시가 가능하게 되었다. 여러대의 발전기에서 얻어진 진단정보는 데이터베이스화하여 추이관리 및 재검토 또는 분석이 가능하도록 하였으며, 이상상태 발생시에는 사용자에게 경보를 통해 전달함으로써 사용자가 발전기의 이상유무 상태를 사전 인지하도록하여 차기 정비시기에 효율적인 정비계획 수립이 가능하도록 하였다.

금번에 서인천복합에 적용 예정인 진단시스템은 1차적으로 발전기 1대에 대한 감시를 시행하나, 향후에는 같은 발전소 태호기 발전기들에 대한 확대적용시 그림 9와 같이 여러대의 발전기를 하나의 모니터를 통해 상시 감시할 수 있도록 시스템을 구성할 예정이다.

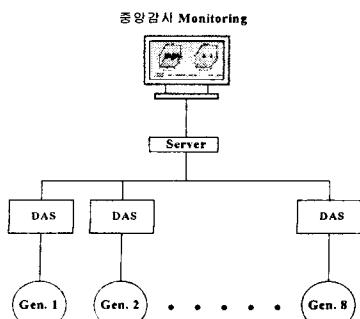


그림 9. 발전기 종합 진단시스템 Network 구성도

### 3. 결 론

본 논문에서는 발전기 정상운전중에 고정자 권선의 부분방전 및 회전자 권선의 충간단락 신호를 연속적으로 측정하여 상시감시가 가능한 발전기 종합 진단시스템을 소개하였다. 부분방전 감시는 매우 짧은 시간에 발생하는 부분방전 신호와 비교적 긴 시간동안 발생하는 노이즈 신호의 형태를 분석하여 부분방전 신호와 노이즈를 분리하였다. 또한, 부분방전 신호의 위상, 크기, 발생량 등을 분석할 수 있도록 구성하였다. 충간단락 감시는 발전기 각 출력별로 N, S극 회전자 권선의 단락 발생 수, 발생위치 등을 정확히 분석할 수 있도록 하여 이를 근거로 사전에 정비계획 수립이 가능하도록 하였다.

현재 발전기 종합 진단시스템은 서인천복합화력발전소 5호기 가스터빈발전기에 설치 완료하였으며, 각종 현장시험 및 기능보완을 위한 추가 연구가 진행중에 있으며, 향후 현장시험에서 나타난 문제점을 수정 보완하여 여러 대의 발전기를 하나의 모니터를 통해 종합 감시할 수 있는 완벽한 진단시스템으로 개발할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이영준, 공태식, 김희동, 주영호, '발전기 회전자 on-line 단락 감시시스템 개발' 최종보고서, TR.98GS06.S2000.208, 한전 전력연구원, pp.20-21, 2000.
- [2] 김희동, 이영준, 박종정, 주영호, '발전기 회전자 권선의 운전중 충간단락 탐지' 대한전기학회 논문지, Vol. 48c, No.3, pp.192-199, 1999.
- [3] IRIS Power Inc. "Stator slot coupler" Internet Homepage.
- [4] Generatortech. Inc. "The need for a shorted-turn detection system" Internet Homepage.