

# 발전기 고정자 권선의 운전중 부분방전 모니터링 시스템 개발

전 정우 · 황 돈하 · 김 용주  
한국전기연구소 발전기진단연구팀

## Continuous On-Line Partial Discharge Monitoring System for Stator Winding of Generators

Jeong-Woo Jeon · Don-Ha Hwang · Yong-Joo Kim  
Generator Diagnosis Research Team, K. E. R. I.

**Abstract** - On-line partial discharge monitoring system for generator stator insulation is developed. This system consists of remote and host units. The remote unit detects partial discharge signals from SSC(Stator Slot Coupler) installed between wedge and stator windings. The host unit monitors the condition of winding insulation. This system will be used as a module of a generator on-line monitoring system utilizing global network.

방전이 발생하는 주파수 대역이 각 발전기마다 상이하게 나타난다. 그러므로 넓은 주파수 대역에서 나타나는 부분방전 신호를 모두 모니터링하는 것이 바람직하지만, 기기의 가격상승을 초래하고, 외부잡음이 유입될 가능성이 많아진다. 본 논문에서는 부분방전의 변화를 예측하기가 비교적 용이하도록 주파수에 따른 부분방전 특성을 분석하여 가장 큰 응답특성을 나타내는 주파수 대역을 선정함으로써 소형 및 저가의 모니터링 시스템을 제작 가능하도록 하였다. 실제 가동중인 2개의 화력발전기에 On-Line 측정용 센서인 SSC를 설치하여, 주파수 분석기를 통해 측정된 부분방전 특성이 대부분 10 [MHz] 대역에서 가장 크게 나타남을 확인하여 본 연구에서는 측정 주파수 대역을 10 [MHz] 영역으로 설정하였다<sup>[6]</sup>.

### 1. 서 론

발전설비는 사용연수 증가에 의한 기계적·전기적 결합을 사전에 발견하기 위해 정기적인 예방정비를 필요로 하고 있다. 그 중에서도 발전기 고정자 권선 절연에 대한 예방정비는 반드시 필요하며, 종래에는 주로 절연저항, 부분방전,  $\tan \delta$  등을 Off-Line으로 측정하여 절연상태를 예측하여 왔다<sup>[1~4]</sup>. 하지만 인적·물적 비용절감과 불시적인 사고를 미리 예방할 수 있도록 On-Line으로 고정자 권선의 절연상태를 감시할 필요성이 대두되고 있으며, 그 중에서도 부분방전 신호는 권선의 절연상태를 가장 잘 나타내는 파라미터로 인정되고 있다<sup>[5]</sup>. 그러나 On-Line 측정방식도 고가의 측정기기 및 운전자의 Data 해석 기술을 요구하고 있으며, 운전조건에 따라 측정값이 변동하기 때문에 권선의 절연상태를 나타내는 절대적인 값으로 활용하기에는 어려운 실정이다. 이러한 배경으로부터 부분방전 신호를 연속적으로 자동 측정하고 감시하여 부분방전의 변화 정도를 Monitoring 할 수 있는 Continuous On-Line 부분방전 모니터링 시스템의 개발이 요청되고 있다. 본 논문에서는 이러한 요구를 충족시키는 On-Line 모니터링 시스템을 제안하고, 그 원리, 구성 및 특성평가 결과 등을 제시한다.

### 2.2 전체 시스템 구성

본 연구에서 개발한 Continuous On-Line 부분방전 모니터링 시스템의 전체 구성을 그림 1에 나타내었다. 발전기 1기당 1개의 리모트 유닛이 부착되는 것으로 하였으며, 여러개의 리모트 유닛을 1대의 PC로 통합하여 각종 데이터의 송·수신을 할 수 있도록 설계되었고, 최대 32개의 리모트 유닛이 연결 가능하다. 본 시스템의 구성을 크게 2개의 부분으로 구분하면, 설정된 시간마다 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 검출하고 임시 메모리에 저장하는 리모트 유닛과 각각의 리모트로 부터

### 2. 본 론

#### 2.1 운전중 부분방전 특성

발전기 고정자 권선에 사용된 절연물의 종류가 다양하며, 용량에 따라 절연설계가 다르게 되어 있으므로 부분

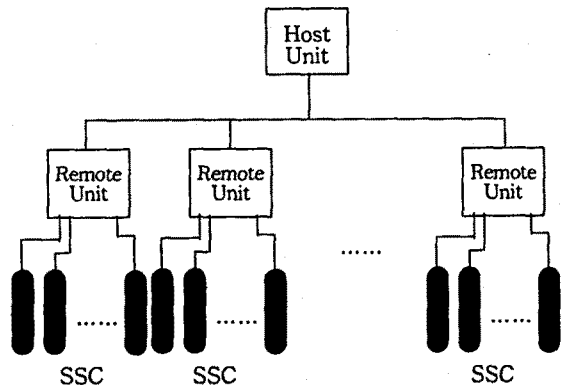


그림 1. Monitoring System의 전체 구성도

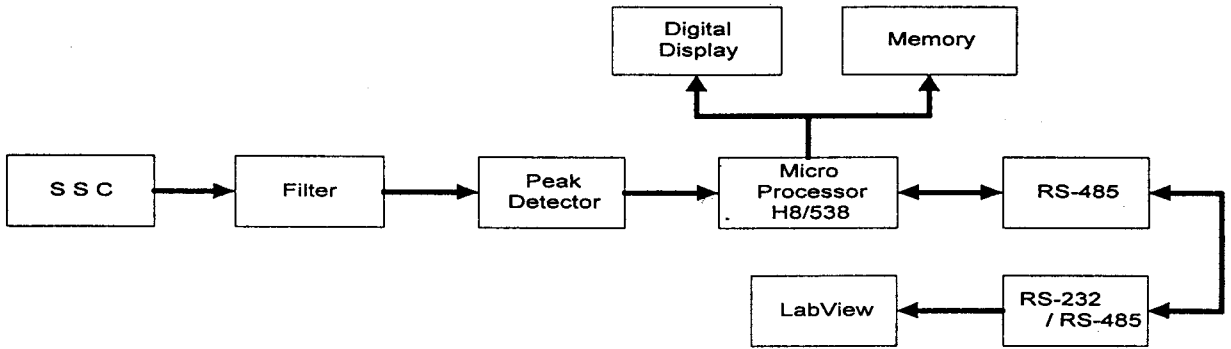


그림 2. On-Line 부분방전 모니터링 리모트 유닛의 구성도

데이터를 수신하여 데이터 베이스를 구축하며, 부분방전의 변화 추이를 분석해 주는 호스트 유닛으로 나누어진다. 제시한 모니터링 시스템은 발전소 현장에 독립적으로 부착되어 동작되며, 전문적인 지식이 없는 현장 작업자도 쉽게 감시가 가능하도록 설계되어 있다.

### 2.3 리모트 유닛의 구성

한 개의 리모트 유닛의 구성을 그림 2에 나타내었고, 크게 센서부분, 아날로그 신호처리 및 디지털 신호처리 부분으로 나누어진다. 부분방전 신호를 검출하는 센서는 캐나다의 IRIS에서 판매되는 SSC(Stator Slot Coupler)를 사용하였다<sup>[7]</sup>. 부분방전에 의해 전자파가 발생되면 SSC가 안테나와 같은 역할을 하여 그 신호를 검출한 후 부분방전 측정기의 입력단으로 전송된다. 이때 2개의 출력이 나오며, 하나는 슬롯내에서 발생한 부분방전이고, 다른 하나는 단말권선에서의 부분방전을 나타낸다. 이 SSC는 4 [kV] 이상의 발전기, 조상기 및 대형 전동기에 설치 가능하며, 통과 대역 주파수는 수 [MHz] ~ 1 [GHz] 범위이고, 통상적으로 권선과 wedge 사이에 SSC를 설치하고 있다<sup>[7]</sup>. 아날로그 신호처리 부분은 필터와 피크 검출기로 구성되고, 본 연구에서는 7 ~ 10 [MHz]

대역을 가진 Narrow Band-Pass 필터를 설계하였고, 또한 피크 검출기는 0 ~ 500 [mV] 크기의 부분방전 최대치를 검출하여 수십 [ms] 동안 유지하는 기능을 가진다. 피크 검출기에서 측정된 값을 종래에는 아날로그 미터(Meter)로 지시하였지만, 현장 적용시 건물의 진동과 교정(Calibration)에 따른 오차가 문제점으로 대두되었고, 측정된 값의 정밀성 향상과 데이터 베이스 구축을 위해 디지털 값으로 변환할 필요가 있다. 이를 해결하기 위해 본 시스템에서는 8-채널 10-bit A/D 변환기를 내장하였고, 16 bit 데이터 처리방식으로 20 [MHz]의 처리속도를 가진 Hitachi사의 H8/538 마이크로컨트롤러를 이용하여 디지털화 하였다. 또한 측정시간을 가변하여 메모리에 임시 저장할 수 있도록 프로그램되어 있으며, 측정과 동시에 디지털 값으로 표시할 수 있다.

### 2.4 리모트 유닛의 특성시험

리모트 유닛의 현장적용에 앞서 실험실적 특성시험을 수행하기 위해 1차적으로 전압 및 주파수에 따른 응답특성시험을 실시하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 입력전압은 100, 200, 500 [mV]를 인가하였으며, 각 전압에 대해 0 ~ 13 [MHz] 사이의 다양한 주파수를 가변하여 입력하였다. 측정결과 7 ~ 10 [MHz] 대역의 신호가 가장 크게 나타남을 볼 수 있다. 따라서 실제 발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전의 주파수 특성과 동일한 대역을 나타내므로, 이 대역에서 발생하는 부분방전 신호의 크기를 발전기의 운전중에 측정하여 그 경향을 신뢰성 있게 분석할 수 있음을 확인하였다.

### 2.5 호스트 유닛의 구성

리모트 유닛으로부터 전달된 데이터는 NI에서 개발된 범용 데이터 취득 프로그램인 LabView를 통해 처리되도록 모니터링 시스템을 구성하였고, 데이터 취득 및 분석부는 그림 4와 같다. 그림에서 왼쪽에 보이는 부분이 부분방전의 변화 추이를 보여주는 화면으로 시간에 따른 부분방전 크기를 나타내고 있다. 오른쪽 상단의 미터는 리모트로부터 전송되어온 부분방전의 크기를 지시한다.

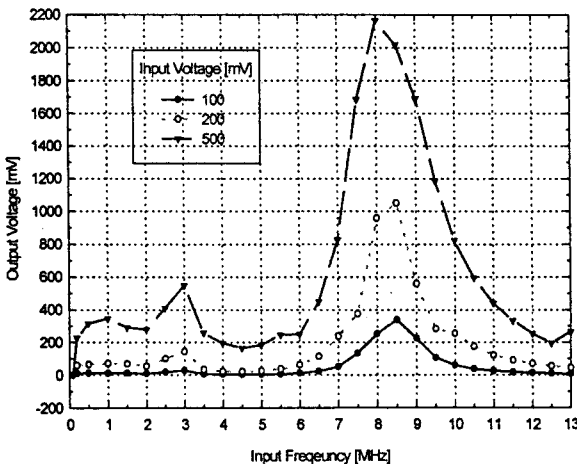


그림 3. 리모트 유닛의 주파수 특성

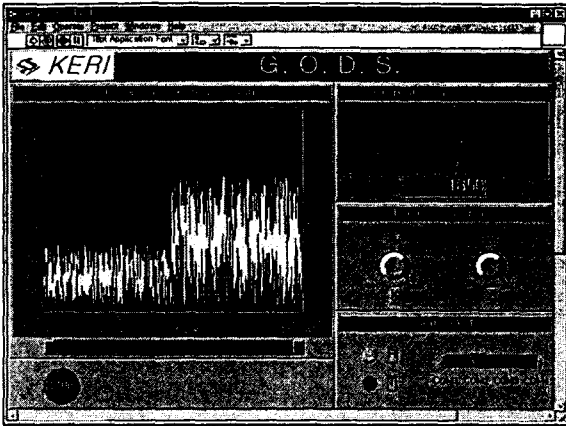


그림 4. LabView로 개발된 데이터 취득 및 분석부

측정시간 간격은 초, 분, 시 단위로 조정이 가능하며, 측정범위는 30 ~ 3,000 [mV]까지 측정할 수 있도록 설계되었다. 또한, 최대 32개의 리모트에서 데이터를 수신받을 수 있으나, 현재는 4개만을 수신할 수 있도록 설정하였고, 측정값들을 기록하여 데이터 베이스 구축이 가능하도록 설계하였다.

### 2.6 통신 방식

호스트와 리모트간의 통신방식은 OSI(Open Systems Interconnection) Reference Model의 7계층을 기준으로 하여, 그 중 간략하게 4계층만으로 구성되었으며, 그림 5.에 대략적으로 나타내었다. 1계층인 Physical Medium은 통신 케이블을 의미하며, 외부잡음의 영향을 감소시키기 위해 2개의 선이 꼬여서 전체가 shield된 형태이다. 2계층은 외부잡음에 강할 뿐만 아니라 전송거리가 1.2 [km]까지 가능한 RS-485 방식을 사용하며, 호스트 측은 상용 PC에서 직접 연결할 수 있도록 RS-232 방식으로 다시 변환한다. 3계층의 프레임은 전체 35 Bytes로 구성되어 있으며, 그 중 30 Bytes가 4계층의 패킷으로 사용되어 최종적으로 호스트 및 리모트로 각각 전달된다. 여기서 패킷의 내용은 측정기기, 기기상태, 데이터 종류 및 측정시간 코드와 부분방전 데이터로 구성되어 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서 제시한 On-Line 부분방전 모니터링 시스템은 발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 센서인 SSC를 통해 일정시간 간격마다 디지털 값으로 변환하여 메모리에 저장하도록 되어 있는 리모트 유닛과 RS-485를 통해 상용 PC로 전송된 데이터를 수신하여 LabView를 통해 부분방전의 변화추이를 연속적으로 기록하는 호스트 유닛으로 구성된다. 리모트 유닛의 측정 주파수 대역은 7 ~ 10 [MHz]이고, 측정전압의 범위는 0 ~ 500 [mV]이다. 그리고 호스트 유닛은 최대 32개의 리모트 시스템으로부터 부분방전 데이터를 수신하여 그

Host	Remote
LabView	H8/538 OS
Packet	Packet
Frame	Frame
RS-232 / RS-485	RS-485
Physical Medium (Shield Twisted Pair Line)	

그림 5. 호스트와 리모트의 통신방식 (4계층)

변화를 모니터링할 수 있으며, 이를 기록하여 데이터 베이스를 구축할 수 있다. 또한 발전소 현장에 독립적으로 부착되어 현장 작업자들도 비교적 용이하게 발전기 고정자 권선의 시간에 따른 절연상태의 변화추이를 분석 가능하도록 하여 권선의 절연파괴와 같은 불시적인 사고를 미연에 방지할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 실제의 고정자 권선을 이용한 추가적인 실험실적 시험을 수행할 계획이며, 현장 적용시험을 통한 신뢰성 확보와 고정자 권선의 온도, 출력, 주파수 및 전압 등의 파라미터를 추가하고, 글로벌 네트워크와의 연계를 통한 중앙 집중식 무인 원격 모니터링 시스템을 개발할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] "Standard Methods for Detection and Measurement of Partial Discharge(Corona) Pulses in Evaluation of Insulation Systems", Philadelphia, Pa. : American Society of Testing Materials, Volume 10.02, ASTM Std. D1868-1986, 1986.
- [2] I.M.Culbert, H.Dhirani and G.C.Stone, "Handbook to Assess the Insulation Condition of Large Rotating Machines", EPRI EL-5036, Vol. 16, Project 2577-1, 1989.
- [3] G.C.Stone, H.G. Sedding, N.Fujimoto and J.M.Braun, "Practical Implementation of Ultrawideband Partial Discharge", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 27, No. 1, pp. 70~81, 1992.
- [4] S.R.Campbell, G.C.Stone and H.G.Sedding, "Characteristics of Partial Discharge Pulses from Operating Rotating Machines", 1994 International Symposium on Electrical Insulation, June 1994.
- [5] 황돈하, 김용주, 김진봉, 전정우 외 2인, "발전기 고정자 권선의 새로운 절연열화 판정기준 설정에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, Vol. E, pp. 548~551, 1997. 7.
- [6] 전정우, 황돈하, 김용주, "발전기 고정자 권선의 운영중 부분방전 측정 시스템 개발", 대한전기학회 방전 및 고전압 연구회 춘계학술발표회 논문집, pp. 132~134, 1998. 5.
- [7] H.G.Sedding, S.R.Campbell, G.C.Stone and G.S.Klemper, "A New Sensor for Detecting Partial Discharge in Operating Turbine Generators", IEEE/PES 1991 Winter Meeting, 91WM065-3EC, Feb. 3-7, 1991.