

충주 수력 부분방전 진단 시스템 신뢰성 고찰

옥연호*, 임재일*, 박지곤*, 광원구*, 이재흥*, 최형철*, 이남형*, 신병철**
한국수자원공사*, (주)인텍씨엔아이**

The consideration of the Partial Discharge Diagnosis System in Chungju Hydro

Ok, Yeon-Ho*, Lim, Jae-Il*, Park Ji-Kun*, Kwak, Won-Ku*, Lee Jae-Heung*, Choi Hyeong-Cheol*, Lee, Nam-Hyung*, Shin, Byoung-Chol
The Korea Water Resources Corporation, Intech C & I

Abstract - 진단기술은 기기의 열화 현상 및 이상 현상으로 진전되는 특성을 측정하여 향후 발생이 예상되는 이상을 조기에 발견하는 것을 목적으로 한다. 기기를 정밀 진단, 분석하여 잔여 수명을 평가하고 적절한 대체계획을 수립함으로써 신뢰도 향상 및 경제적인 설비 운용이 가능하다. 본 논문에서는 수력 발전기 운전 중 부분방전 진단 시스템을 이용하여 수력 발전기 운전 중에 발생하는 부분방전 신호를 실시간으로 측정, 분석하고 수력 발전기 권선의 절연 상태를 감시 진단하여 기기의 열화 및 이상 현상등을 조기에 발견하고 발전설비의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

1. 서 론

발전기 고정자 권선의 절연상태를 진단하는 방법은 발전기의 정지 중에 실시하는 방법(off-line법)과 운전 중에 실시하는 방법(on-line법)으로 구분된다. Off-line 진단법은 절연물에 대한 저항, 누설전류, 유전정접 및 부분방전시험 등이 있는 데, 이와 같은 시험을 실시하기 위해서는 발전기를 정지시켜야 하기 때문에 발전기 운전정지에 따른 경제적인 손실과 아울러 실제의 운전 상태에서 발생하는 이상상태를 감지할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 발전기의 실제 운전 중에 발생하는 부분방전을 측정하여 고정자 권선의 절연상태를 신뢰성 있게 진단하는 On-line 진단 시스템의 적용이 필수적이다. 본 논문에서는 수력발전기 고정자 권선의 운전 중 절연상태를 분석, 진단 할 수 있는 On-Line 절연 진단 시스템을 장기간 사용된 충주 수력발전기에 적용하였으며, 수력발전기 고정자 권선에서 운전 중 발생하는 부분방전 신호와 잡음을 실시간으로 측정, 분석하여 고정자 권선의 절연 상태 및 이상을 진단하였다.

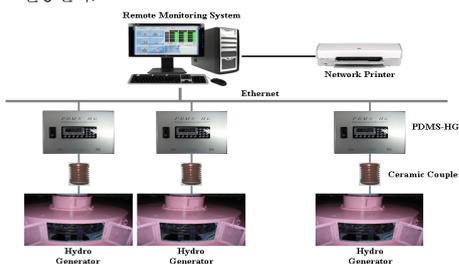
2. 본 론

2.1 On-Line 절연 진단 시스템의 개요

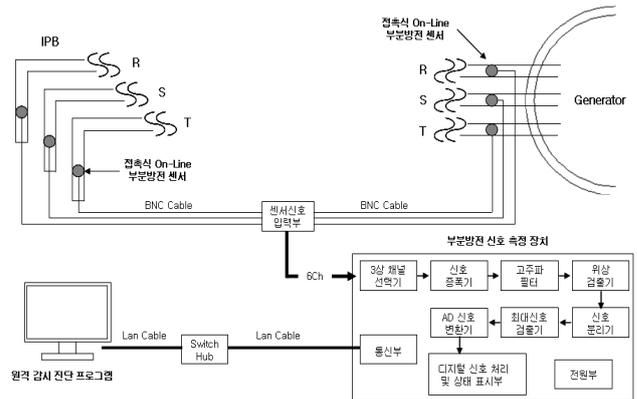
충주 수력발전기에 설치한 수력 발전기 운전 중 절연 진단 시스템은 최발단의 접촉식 부분방전 측정용 PD 센서(Ceramic Coupler)와 부분방전 신호를 측정하는 PDMS-HG, 그리고, 이를 원격에서 분석 감시 진단 할 수 있는 Remote Monitoring System으로 구성되며, 그림 1.은 시스템의 전체 구성도이며, 그림 2.는 시스템의 세부 설치 구성도이다.

부분방전 측정용 PD 센서는 수력발전기의 전원 출력부와 IPB 입력부에 상별로 각각 설치되며, PDMS-HG와 15m 이내의 위치에 설치한다. PD 센서의 사양은 표1.과 같으며, 13kV급 PD 센서는 110pF의 C값을 가지며, 내부는 Ceramic 소재로 구성되어 있으며, 외부의 재질은 Epoxy Mica로 애자형태로 제작되어져 있다.[1, 2]

PDMS-HG는 수력 발전기 각 상당 설치되어 있는 PD 센서로부터 부분방전 신호를 검출한다. PD 센서로부터 나오는 신호는 50Ω 동축 케이블을 통하여 PDMS-HG의 입력단으로 연결되며, 고압 써지에 대한 보호 기능을 내장하고 있다. PDMS-HG의 주요기능은 PD 센서 입력 신호로부터 외부 잡음을 제거하고, 전원 주파수의 1주기 동안 발생하는 부분방전 신호를 연속적으로 측정하고, 최대 120주기 동안 측정된 부분방전 신호를 추출하여, Remote Monitoring System으로 전송한다.



<그림 1> 전체 구성도



<그림 2> 세부 설치 구성도

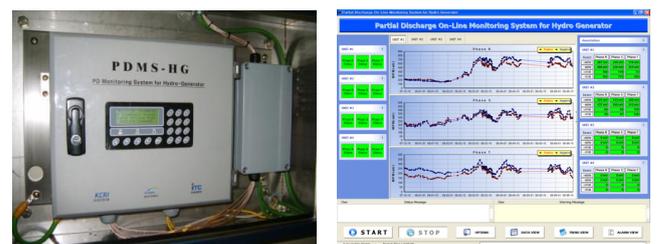
<표 1> 13kV급 Ceramic Coupler의 특성

내전압 특성	35kV 이상
부분방전개시전압 (3pC)	30kV 이상
상용유전정접 8kV	0.05% 이하
수명평가(최약조건시)	60년 이상

중앙의 Remote Monitoring System의 절연 진단 프로그램은 PDMS-HG로부터 실시간으로 측정 된 수력 발전기 각 상별 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 D/B로 저장하고, 부분방전 진단 파라미터들의 변화추이(Trend)를 분석하여, 수력 발전기 권선의 상태를 감시한다.[3] 절연 진단 프로그램은 수력 발전기 권선의 각 상별 최대 부분 방전값(MPM), 부분방전 발생에너지(POE)를 표시하고, 부분방전 신호의 2차원 및 3차원 분석 그래프 및 Trend 그래프를 도식하여 사용자에게 분석의 편의를 제공하며, Differential 기법을 통하여 외부 잡음과 부분방전 신호를 1차로 구분하고, 잡음 특성 분석을 통한 2차 외부 잡음 제거 알고리즘을 통하여 신뢰성 있는 부분 방전 신호 Data를 제공한다.[4]



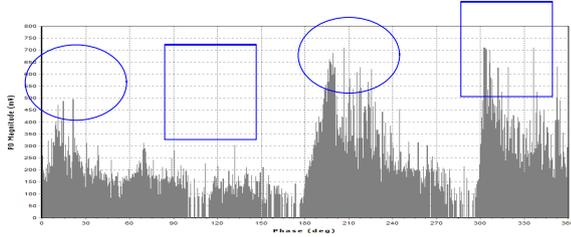
<그림 3> IPB 및 발전기 권선 측 센서 설치 사진



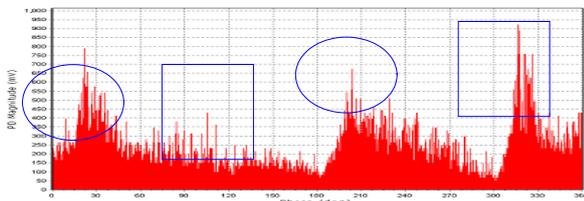
<그림 4> PDMS-HG 및 절연 진단 프로그램

2.2 측정 데이터 분석

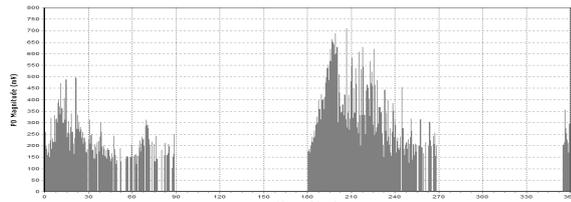
그림 5는 운전 중 충주 수력발전기 2호기 R상의 Phase vs Max PD(120 Cycles) 그래프이며, 그림 6은 Full A/D 방식의 Portal 정밀 측정 장비인 PDAS(Partial Discharge Analysis System)의 그래프이다. 두 그래프를 비교하여 보면, 동일한 결과를 갖는 것을 알 수 있으며, 원으로 표시된 부분은 R상 자신의 부분방전 신호이며, 사각형으로 표시된 부분은 인접상의 부분방전 신호가 유기되어 나타나고 있음을 알 수 있다. On-Line 절연진단 시스템은 이와 같은 인접상에서 유기되는 부분방전 신호를 최종적으로 제거하여 그림 7과 같이 실제 해당 상에서 발생하는 부분방전 신호만을 분석할 수 있도록 하여 분석의 신뢰성을 높여 준다.



〈그림 5〉 PDMS-HG의 측정 파형

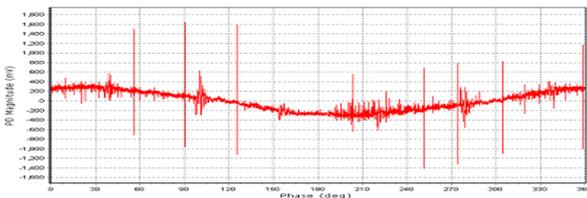


〈그림 6〉 PDAS의 측정 파형

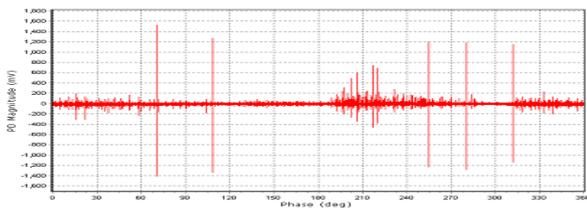


〈그림 7〉 PDMS-HG의 최종 분석 파형

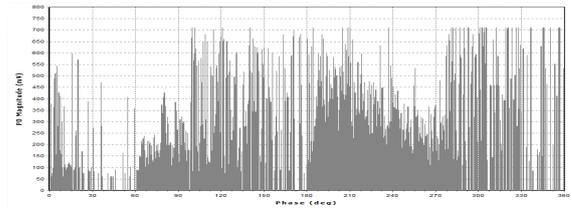
충주 수력발전기 3호기의 운전 중에 매우 큰 크기를 가지는 고주파의 외부잡음 유입되는 것을 볼 수 있는데, 그림 8은 PDAS로 측정된 전원 주파수 한 주기의 파형으로 부분방전 신호 이외에 AVR에 의한 6개의 싸이리스터 파형과 외부잡음이 동시에 존재하는 것을 알 수 있다. AVR에 의한 6개의 싸이리스터 파형은 그림 9.에서와 같이 고주파 필터단에서 제거되어지나, 고주파의 외부잡음은 제거되지 않고 측정에 영향을 미치는 것을 볼 수 있었다. On-Line 절연진단 시스템은 이와 같은 외부잡음을 1차 잡음제거인 Differential 기법을 통하여 제거하고, 유도 잡음 및 인접상 잡음 제거인 2차 잡음제거를 통하여 최종적인 신호를 추출한다. 그림 10.은 On-Line 절연진단 시스템에 의하여 나타나는 Phase vs Max PD(120 Cycles) 그래프로 고주파 필터에 의하여 제거되지 않은 고주파 외부잡음이 포함된 파형이다.



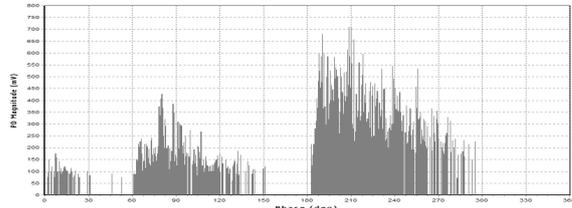
〈그림 8〉 PDAS 한 주기 파형 - 고주파 필터 미사용



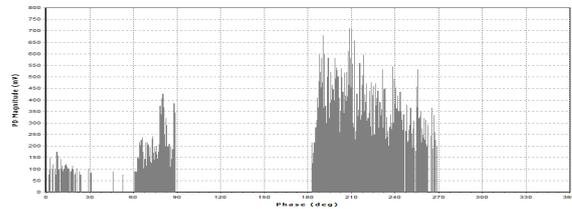
〈그림 9〉 PDAS 한 주기 파형 - 고주파 필터 사용



〈그림 10〉 PDMS-HG 파형 - 잡음제거 미적용



〈그림 11〉 PDMS-HG 파형 - 1차 잡음제거 적용



〈그림 12〉 PDMS-HG 파형 - 2차 잡음제거 적용

외부잡음이 부분방전 신호보다 더 크게 나타나고 있으며, 이는 부분방전 신호의 분석을 어렵게 한다. 그림 11.은 Differential 기법을 적용하여 그림 10.에서 외부잡음만을 제거한 파형으로 외부잡음이 모두 제거된 것을 알 수 있다. 그리고 그림 12.는 최종 잡음제거 알고리즘이 적용된 최종 분석 파형으로, 본 파형을 통하여 권선의 절연상태를 분석할 수 있는 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 있다.

이와 같이 실제 운전 중에는 정지 중에 발생하지 않는 주변기기들에 의한 외부잡음들이 많이 존재하고 있으며, 이러한 외부잡음을 효과적으로 제거하고, 부분방전 신호만을 추출할 수 있어야 시스템의 신뢰성이 확보될 것이다. 이상의 데이터 분석을 통하여, 현재 충주 수력발전기에 설치되어 있는 On-Line 절연진단 시스템의 측정 파형의 신뢰성을 고찰하였다.

3. 결 론

본 논문에서는 장기간 운전 중인 수력발전기에 On-Line 절연진단 시스템을 설치하여 정지 중에 실시하는 절연진단 시험에서는 나타나지 않고, 실제 운전 중에 발생하는 수력발전기 고정자 권선에서의 부분방전 신호 및 외부잡음을 보여주었으며, On-Line 측정 시스템이 외부잡음을 효과적으로 제거하여, 측정의 신뢰성을 향상시켜 수력발전기 고정자 권선의 절연상태를 정확하게 분석할 수 있었다. 특히, 정지 중 진단 뿐 아니라, 운전 중 진단의 필요성을 입증하였으며, 충주 수력발전기 3호기와 같은 경우 운전 중 파형을 분석함으로써, 주변기기들의 상태에 관한 정보를 추론 할 수도 있을 것이다.

향후, On-Line 절연진단 시스템의 지속적인 활용으로 불시에 발생할 수 있는 수력발전기 고정자 권선의 절연 사고를 미연에 방지하고, 운전 중에만 발생하는 여러 가지 외부잡음 신호를 같이 분석하여, 효과적인 발전설비의 유지 보수 계획을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 강동식 외, "고압 회전기 On-Line 부분방전 측정용 Ceramic Coupler 특성", 대한전기학회 논문지, Vol. 51C, No. 5, pp. 205-212, 2002.
- [2] 강동식 외, "13 kV급 수력발전기 고정자 권선용 On-Line 부분방전 측정 시스템 개발 및 현장적용 평가", 대한전기학회 논문지, Vol. 55C, No. 4, pp. 189-198, 2006.
- [3] 신병철 외, "고압 회전기 고정자 권선의 절연 진단을 위한 중앙 집중 감시 시스템 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집(C), pp. 1906-1908, 2000.
- [4] 강동식 외 "수력발전기 고정자 권선용 운전중 부분방전 측정 센서 및 시스템 개발", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, pp. 103-106, 2005.