

# 수력발전기 On-line 부분방전 측정 시스템을 이용한 절연상태 진단의 신뢰성 향상

논문  
58P-4-19

## Reliability Improvement of Insulation Diagnosis Using the Hydro-Generator On-Line Partial Discharge Monitoring System

옥연호<sup>†</sup> · 이은웅\* · 임재일\*\* · 박지균\*\* · 곽원구\*\* · 이재흥\*\* · 신재필\*\* · 신병철\*\*\*  
(Yeon-Ho Ok · Eun-Woong Lee · Jae-Il Lim · Ji-Kun Park · Won-Ku Kwak ·  
Jae-Heung Lee · Jae-Pil Shin · Byoung-Chol Shin)

**Abstract** - Accident dangerousness of domestic hydro power generators which are operated in Korea is on the increase because of use at the long term. On this, the Off-line diagnosis techniques developed to the On-line by continued domestic technical development since 2000. Especially, On-line insulation diagnosis of domestic hydro power generator is possible by localization of partial electric discharge sensor and On-line insulation diagnosis system. This paper shows the diagnosis result that is applied localized Ceramic Coupler and PDMS-HG(Partial Discharge Monitoring System for Hydro Generator) at four Chung-ju hydro Generator used for 25 years. Particularly, the confidence of insulation diagnosis is improved by using high frequency filter and sampling the partial discharge signals which occur in site. For reviewing the confidence of On-Line insulation diagnosis system, we measured the outside noises and partial discharge signals during practical operation by using the partial discharge diagnosis system of the Full A/D process. And we reviewed the confidence of the On-Line insulation diagnosis system by comparing and analyzing these data.

**Key Words** : Partial Discharge, Hydro-Generator, Noise Rejection, On-Line Monitoring, Ceramic Coupler

### 1. 서 론

수력발전기의 고장조사 분석에 의하면 고정자 권선의 절연고장이 많은 비중을 차지하고 있으며, 고압 전동기에서도 30%가 고정자 권선의 절연고장으로 보고되고 있다[1-6]. 이러한 고정자 권선의 절연고장은 발전설비 고장 중 가장 중대한 고장이며, 수리 및 복구에 장시간이 요구되어 발전정지에 따른 매우 큰 경제적 손실을 유발한다. 따라서 미연에 이러한 절연고장을 방지하기 위하여, 절연열화 상태를 상시로 진단하여야 하며, 현재 수력발전기 고정자 권선의 절연상태를 진단하는 방법은 수력발전기의 정지 중에 실시하는 방법(off-line법)과 운전 중에 실시하는 방법(on-line법)으로 구분된다[1,5]. 정지 중에 실시하는 방법은 절연저항 시험, 직류전류 시험, 교류전류 시험, 유전정접(tanδ) 시험, 부분방전 시험 등이 있으며, 운전 중 실시하는 방법은 부분방전 시험이 있다. 부분방전 시험은 다른 절연 진단법으로 측정할 수 없는 국부적으로 제한된 절연결함의 검출이 가능하여 현재 가장 신뢰성 있는 진단법으로 주목받고 있다[1-6]. 특히, 정

지 중 실시하는 방법은 시험을 위해서 발전기를 정지시켜야 하기 때문에 발전기 운전정지에 따른 경제적인 손실과 아울러 실제의 운전 상태에서 발생하는 이상상태를 감지할 수 없는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 발전기의 실제 운전 중에 실시하는 진단방법이 가장 효과적이며, 발전기의 운전 중에 발생하는 부분방전을 측정하여 고정자 권선의 절연상태를 신뢰성있게 진단하는 On-line 진단 시스템의 적용이 필수적이다. 하지만, 운전 중 진단법에서는 실제 발전기 이외의 주변기기들의 운전으로 인하여 발전기 고정자 권선 자체의 부분방전 신호만을 측정하기가 쉽지 않다. 일반적으로 부분방전 신호의 측정에서 잡음은 고주파 필터를 이용하여 제거하고 있으나, 이는 저주파의 기본파 성분 및 저주파 잡음의 제거에는 용이하나, 고주파의 잡음에는 효과적이지 못하다. 따라서 운전 중 수력발전기 고정자 권선의 절연상태를 진단하기 위해서는 운전 중에 발생하는 부분방전 신호 이외의 주변잡음에 관한 대처에 따라 진단의 신뢰성이 좌우 될 수 있다. 최근 국내외에서는 접촉식 부분방전 센서를 사용하여 운전 중에 발전기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 측정하는 방법이 확대 적용되고 있다. 특히, 국내에서는 세라믹 소체를 이용한 On-line 부분방전 측정용 센서를 고압 기기에 확대 적용 중이다[7-9].

본 논문에서는 수력발전기 고정자 권선의 운전 중 절연상태를 분석, 진단할 수 있는 On-line 부분방전 측정 시스템과 13 [kV]급 접촉식 부분방전 측정용 Ceramic Coupler를 25년 이상 장기간 운전 중인 충주댐 수력발전기 4대에 각각 적용하여 고정자 권선에서 운전 중 발생하는 부분방전 신호와 잡음을 실시간으로 측정 및 분석한 결과를 제시하였다. 또한, 기본적인 고주파 필터 이외의 Differential 기법을 이용

<sup>†</sup> 교신저자, 정회원 : 한국수자원공사  
E-mail : yhok@kwater.or.kr

\* 펠로우회원 : 충남대학교 전기공학과 교수 · 공박

\*\* 비 회원 : 한국수자원공사

\*\*\* 정 회원 : (주)인텍C&I 대표이사

접수일자 : 2009년 8월 21일

최종완료 : 2009년 9월 3일

<본 논문은 본 학회 2009년도 하계학술대회에서 우수논문으로 선정되어 편집위원회에서 심사 후 본 논문지에 게재 되었음>

한 외부잡음 제거 방식을 사용하는 On-line 부분방전 측정 시스템을 통하여 운전 중 수력발전기 고정자 권선의 부분방전 신호를 취득하여 분석하였다.

## 2. 시스템의 개요

충주댐 수력발전기에 설치한 수력발전기 On-line 부분방전 측정 시스템은 최말단의 각 상별 2개의 접촉식 부분방전 측정용 센서인 Ceramic Coupler와 On-line으로 부분방전 신호를 측정하는 PDMS-HG(Partial Discharge Monitoring System for Hydro Generator), 그리고, 이를 원격에서 분석 감시 진단할 수 있는 Remote Monitoring System으로 구성하였다. 그림 1은 시스템의 전체 구성도이며, 그림 2는 On-line 부분방전 측정 시스템인 PDMS-HG와 접촉식 부분방전 측정용 센서인 Ceramic Coupler를 나타내고 있다.

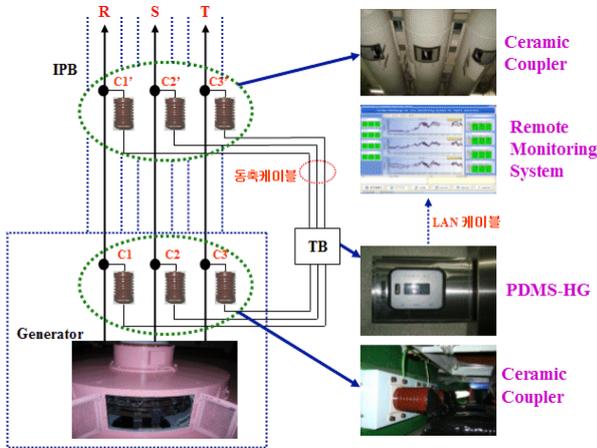


그림 1 전체 구성도  
Fig. 1 Block Diagram



그림 2 PDMS-HG와 Ceramic Coupler  
Fig. 2 PDMS-HG & Ceramic Coupler

### 2.1 On-line 부분방전 측정 시스템

On-line 부분방전 측정 시스템은 고주파의 부분방전 신호를 추출하기 위한 아날로그 회로와 측정된 데이터를 처리하기 위한 디지털 회로로 구성되어 있으며, 부분방전 신호는 주로 아날로그 회로에서 처리되어 마지막에 고속 A/D Converter를 통하여 디지털로 변환된다. On-line 부분방전 측정 시스템은 각 상별 2개씩 설치되어 있는 부분방전 센서에서 전원 주파수인 60 [Hz] 동안 2개의 센서 각각에서 동

시에 3,600 Point의 Peak값을 연속적으로 측정하며, 이를 반복하여 상별 1회 측정에 120주기 동안 측정하여 저장한다. 3,600 Point는 0.1°(4.63us) 내에서 발생하는 부분방전 신호 중 Peak값이 최대인 값이며, 이는 고속 Peak Detector & Holder를 통하여 구현되었다. 그림 1의 전체 구성도에서 보면, C1 센서와 C1' 센서의 신호는 동시에 측정되어지며, 이는 외부잡음 제거를 위하여 측정 시스템 내부에서 처리되어 저장되게 된다. On-line 부분방전 측정 시스템의 기본적인 사양은 아래와 같다.

- 1) 입력 범위 : 0 ~ 3,500 mV
- 2) 입력 채널 : 13 [kV] 급 부분방전 센서 입력 6 채널
- 3) 측정 주파수 대역 : 3 ~ 100 MHz (6dB 기준)
- 4) 4단계 Auto-Range 기능
- 5) Peak Detector & Hold 기법
- 6) Differential 기법을 이용한 외부 잡음 제거 기능
- 7) TCP/IP Communication

### 2.2 부분방전 측정용 센서

충주댐 수력발전기에 설치된 부분방전 센서는 13 [kV]급 부분방전 측정용 센서로 110 [pF]의 C값을 가지며, 내부는 세라믹 소재로 구성되어 있으며, 외부 재질은 Epoxy Mica로 그림 2에서와 같이 애자형태로 제작되어져 있다. 표 1은 부분방전 측정용 센서인 Ceramic Coupler의 사양이다[7].

표 1 Ceramic Coupler 센서의 사양  
Table 1 Specification of Ceramic Coupler Sensor

내전압 특성	35kV 이상
부분방전개시전압 (3pC)	30kV 이상
상온유전정접 8kV	0.05% 이하
수명평가(최악조건 시)	60년 이상



그림 3 Ceramic Coupler 센서 설치  
Fig. 3 Installation of Ceramic Coupler Sensor

그림 1의 전체 구성도에서 보는 바와 같이 발전기 전원 출력부와 IPB 입력부에 각 상별 2개씩 모두 6개의 센서가 설치되었으며, C1, C2, C3은 수력발전기 고정자 권선의 출력단에 그림 3의 왼쪽 그림과 같이 설치되어졌다. 고정자 권선의 절연물을 제거하고, 부스 바로 연결한 후 이를 다시 절연 보장하여 센서 설치를 마감하였다. 그리고 C1', C2', C3'는 IPB 내부에 그림 3의 오른쪽 그림과 같이 설치되어졌다. IPB 내부에 센서를 설치하기 위한 지지대는 전류에 의한 영향을 제거하기 위하여 알루미늄 재질의 지지대와 볼트 등을 사용하였으며, 고압측과는 편조선으로 연결하였다.

### 2.3 Remote Monitoring System

중압의 Remote Monitoring System의 절연진단 프로그램은 부분방전 측정 시스템으로부터 실시간으로 측정된 수력발전기의 각 상별 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 Database로 저장하고, 부분방전 진단인자의 변화추이(trend)를 분석하여, 수력발전기 권선의 절연상태를 감시한다. 절연진단 프로그램은 수력발전기 권선의 각 상별 최대 부분방전값(MPM), 부분방전 발생에너지(POE)를 표시하고, 부분방전 신호의 2차원 및 3차원 분석 그래프 및 Trend 그래프를 도식하여 사용자에게 분석의 편의를 제공하며, Differential 기법을 통하여 외부잡음과 부분방전 신호를 1차로 구분하고, 잡음 특성분석을 통한 2차 외부잡음 제거 알고리즘을 통하여 신뢰성 있는 부분방전 신호 Data를 제공한다. 그림 4는 절연진단 프로그램의 주화면 및 분석용 화면들을 나타내고 있다. 주 화면은 각 수력발전기별 전체 상태, 최근 진단인자 및 Trend를 볼 수 있으며, 이외에 위상 대 최대 부분방전 신호의 그래프와 측정된 부분방전 신호의 2, 3차원 그래프를 볼 수 있도록 구성하였다.

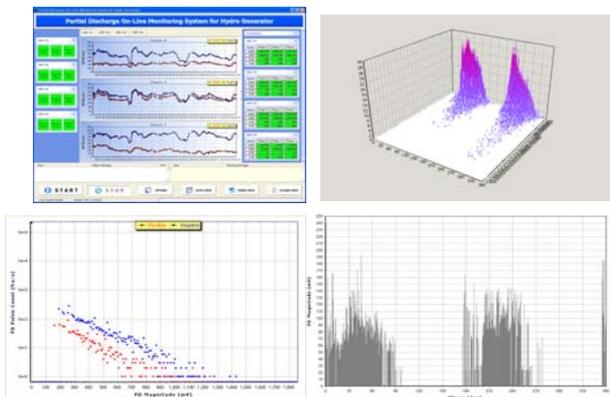


그림 4 절연진단 프로그램 화면  
Fig. 4 Display of Insulation Diagnosis Program

### 3. 외부잡음 제거 기법 적용

외부잡음 제거 기법은 부분방전 측정 시스템의 아날로그 회로에서 가장 먼저 3 [MHz] High-Pass Filter에 의하여 이루어지며, 이는 기본과 성분과 수백 [kHz] 대역까지의 잡음을 제거하는 역할을 수행한다. 필터에 의하여 제거되지 않는 고주파의 외부잡음 신호는 Differential 기법의 외부잡음 제거 알고리즘에 의하여 제거되는데, 이는 각 상별 설치되어 있는 2개의 부분방전 센서의 동축케이블 길이를 조정하여 부분방전 측정 시스템으로 입력되는 신호의 도달시간을 조절하게 된다. 그림 5와 같이 동일 상의 두 개의 센서 신호를 선로와 동축케이블의 길이를 조정하여 신호를 측정한다. 부분방전 신호가 A지점에서 발생한다고 가정하면 신호는 CC1 센서를 통하여 L2의 길이를 가지는 동축 케이블을 통하여 전달되고, CC2를 통하여 전송되는 신호는 L1+L3의 길이를 거쳐 전달되게 된다. 이때 L2가 L1+L3보다 짧으면 CC1을 통하여 전달되는 신호는 먼저 나타나게 된다. 외부잡음은 B지점 밖에서 발생한다고 가정하면, CC2 센서 측에서는 L3의 길이를 가지는 동축케이블을 통하여 전달되

고, CC1 센서 측에서는 L1+L2의 길이를 거쳐 신호가 전달되게 된다. 이때 L3과 L1+L2의 길이가 동일하다면 외부잡음은 CC1과 CC2를 통하여 동일한 시점에 도달하게 된다. 물론 실제에서는 선로와 동축케이블의 감쇄 및 전달 속도에 차이가 있으므로, 이는 동축케이블의 길이와 시스템의 아날로그 회로에서 보정하여 처리한다. 그리고 CC1을 통하여 나타나는 신호에서 CC2을 통하여 나타나는 신호를 차감하게 되면, A지점의 신호는 CC1 신호가 그대로 남게 되며, B지점의 신호는 소멸하게 될 것이다.

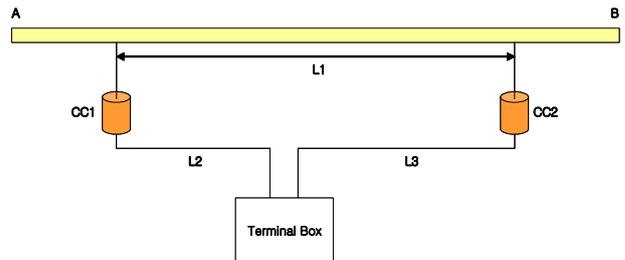


그림 5 Differential 잡음 제거 기법의 개념도  
Fig. 5 A Conception of Differential Noise Rejection

수력발전기의 각 상별 부분방전 신호를 측정하여 보면 외부잡음 이외에 인접상의 부분방전 신호가 유도되어 나타나는 경우가 있으며, 이는 절연진단 프로그램에 탑재되어 있는 잡음 특성분석을 통한 인접상 유도잡음 제거 알고리즘에 의하여 제거하였다.

이상에서와 같이 On-line 부분방전 측정 시스템은 외부잡음 제거를 3단계의 과정을 거쳐 수행하게 되며, 이를 통한 최종 부분방전 신호를 분석하여 절연상태를 진단한다.

## 4. 측정 데이터 분석

### 4.1 Full A/D 방식의 측정 시스템

On-line 부분방전 측정 시스템의 측정 데이터를 분석하기 위하여, 먼저 Full A/D 방식의 부분방전 측정 시스템인 Partial Discharge Analysis System(PDAS)를 통하여 각 호기별 발생하고 있는 부분방전 신호를 정밀하게 측정하여, 이들 데이터를 기준으로 비교분석하였다. PDAS는 250 [MHz]의 고속 A/D Conversion으로 고주파의 부분방전 신호 뿐만 아니라 부분방전 센서에서 나타나는 모든 신호가 측정 가능하다. PDAS는 연속된 60 [Hz] 한주기의 신호를 매우 정교하게 측정하여 나타낼 수 있으며, FFT를 통하여 고주파 신호를 분석할 수도 있다. 실제 부분방전 측정에서 Full A/D 방식이 가장 신뢰성이 높은 방법이지만, 1회 측정에서 발생하는 방대한 데이터량과 시스템 구축비용이 매우 고가인 단점이 있다. 따라서 주로 On-site 측정장비 및 연구용으로 활용되고 있으며, 본 연구에서는 On-line 부분방전 측정 시스템의 신뢰성 검증에 활용하였다.

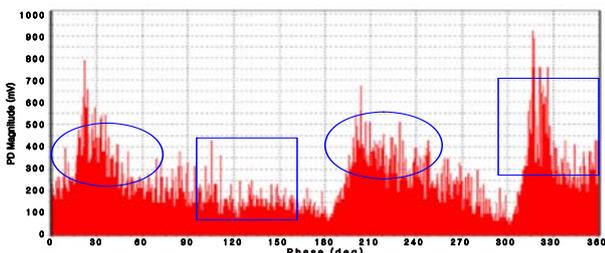
### 4.2 On-line 측정 데이터 분석

충주댐 수력발전기는 1호기에서 4호기까지 총 4대가 1985년부터 상업 운전을 시작하여 현재까지 장기간 운전되고 있으며, 설비용량 117.6[MVA], 정격전압 13.8 [kV]급이다. 본

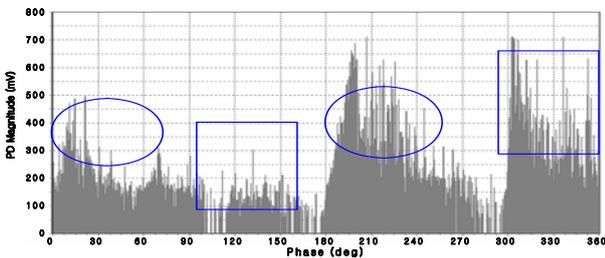
논문에서는 4기 중 부분방전 신호의 크기가 크고, 외부잡음이 많이 발생하는 2호기와 3호기의 데이터를 분석하였다. 표 2는 충주댐 수력발전기의 고정자 사양 사양이다.

**표 2** 충주 수력발전기의 고정자 사양 정격사양  
**Table 2** Specifications of stator windings of Chungju-Dam Hydro-generator

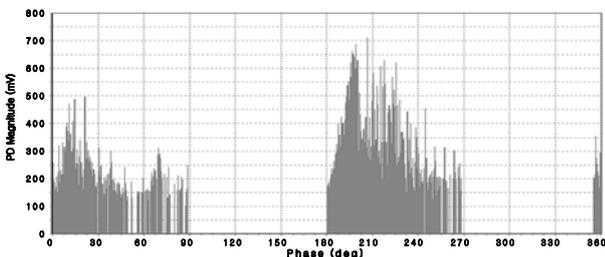
구분	내용
Number of Phase	3
Connection	Y×3
Number of Poles	56
Total Number of Slots	324
Number of Coils per Pole per Phase	2×1/4
Number of Turns per Coil	3



(a) PDAS 측정 그래프  
 (a) Graph of PDAS



(b) PDMS-HG 측정 그래프  
 (b) Graph of PDMS-HG

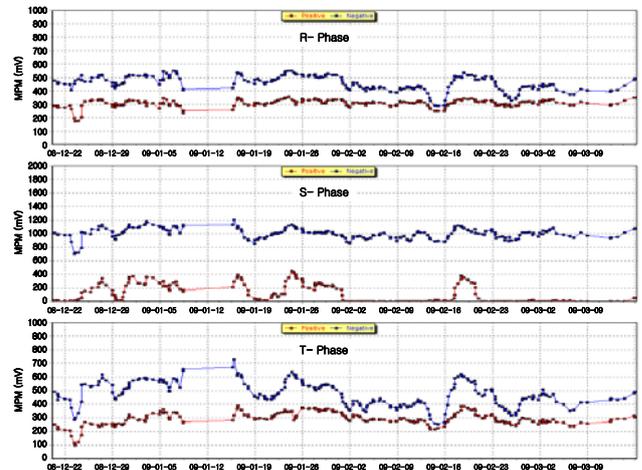


(c) On-line 측정 시스템의 최종 그래프  
 (c) Last Graph of PDMS-HG

**그림 6** 위상 대 최대 부분방전 그래프 (2호기 R상)  
**Fig. 6** Phase vs Max PD(120 Cycles) (#2 R-Phase)

그림 6은 운전 중 측정된 충주댐 수력발전기 2호기 R상의 Phase vs Max PD(120 Cycles) 그래프이다. 그림 6 (a)는 PDAS로 측정된 그래프이며, 그림 6 (b)는 On-line 부분방

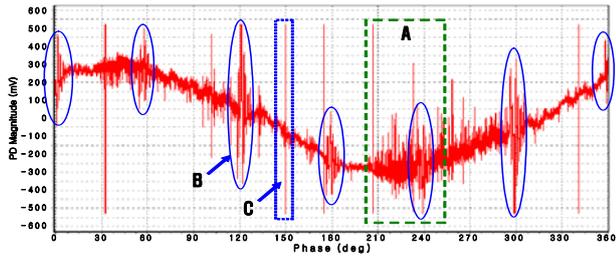
전 측정 시스템인 PDMS-HG로 측정된 그래프이다. 그림 6 (a)와 (b) 두 그래프를 비교하여 보면, 전체적인 경향이 매우 유사한 것을 알 수 있으며, PDAS에 비하여 PDMS-HG의 크기가 조금 작게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 정밀 측정 장비인 PDAS 보다 PDMS-HG의 분해능 및 Peak Detector & Holder 기법에서의 감쇄로 인한 것이다. 하지만, 전체적인 경향 분석에서는 큰 차이가 없으므로, 신뢰성에 크게 문제가 되지는 않는다. 그림 6 (a)와 (b)의 타원으로 표시된 부분은 2호기 R상 권선에서 발생하는 부분방전 신호이며, 사각형으로 표시된 부분은 인접상의 부분방전 신호가 유도되어 나타나는 것이다. On-line 부분방전 측정 시스템은 이와 같은 인접상에서 유도되는 부분방전 신호를 인접상 유도잡음 제거 알고리즘에 의하여 최종적으로 제거하여 그림 6 (c)와 같이 실제 측정된 위상인 R상에서만 발생하는 부분방전 신호만을 추출할 수 있도록 하여 부분방전 신호 취득의 신뢰성을 향상 시켰다.



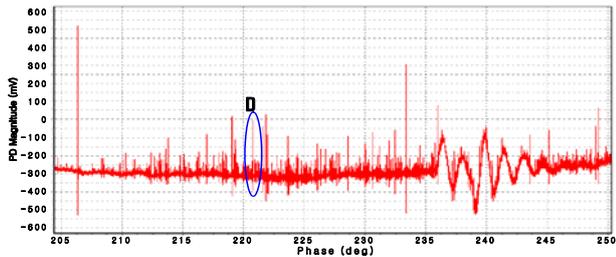
**그림 7** 최대 부분방전 크기의 변화추이 (2호기)  
**Fig. 7** Max PD Magnitude Trend (#2 Generator)

이상과 같은 방법으로 부분방전 신호를 취득하여 절연진단 인자를 추출하고 변화추이를 분석하였다. 그림 7은 충주댐 수력발전기 2호기의 최대 부분방전 크기의 변화추이 그래프이다. 그림 7에서 보면 R상과 T상은 크기 및 변화추이가 심하지 않아 정상적인 것으로 판단할 수 있으며, S상은 정(+)극성 부분방전 신호와 부(-)극성 부분방전 신호의 크기 차이가 매우 심하게 나면서 부극성 부분방전 신호가 다른 상에 비하여 매우 크게 나타나고 있고, 전체적인 변화추이는 일정하게 나타나고 있다. 따라서 S상은 향후 지속적인 변화추이를 관찰할 필요가 있다고 판단된다.

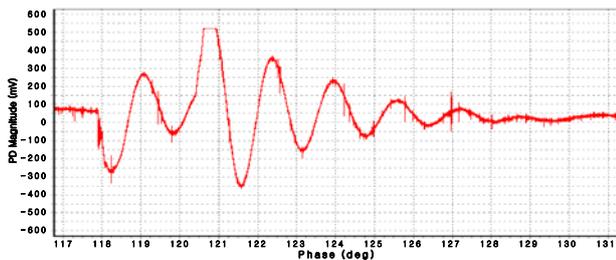
충주댐 수력발전기 2호기와 달리 3호기에서는 운전 중에 매우 큰 크기를 가지는 고주파의 외부잡음 신호가 유입되는 것을 볼 수 있는데, 그림 8은 충주댐 수력발전기 3호기 S상에 나타나는 신호를 PDAS로 측정된 60 [Hz] 1주기의 파형으로서, 부분방전 신호 이외에 AVR에 의한 60° 위상차를 가지는 6개의 사이리스터 파형과 매우 큰 간헐적인 외부잡음이 동시에 존재하는 것을 볼 수 있다. 그림 8 (a)에서 보면 기본적으로 전원 주파수인 60 [Hz] 성분의 저주파 신호가 나타나며, 타원으로 표시된 부분에 AVR에 의한 6개의



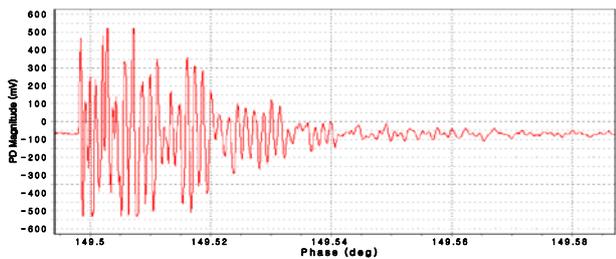
(a) 1 주기 파형  
(a) 1 Cycle Waveform



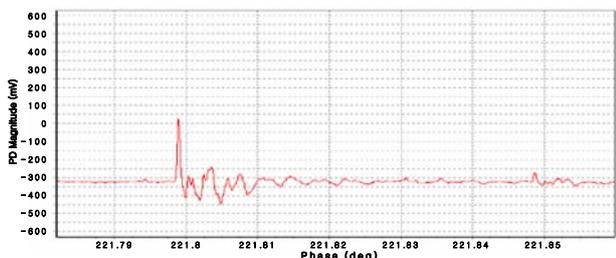
(b) A 영역 확대 파형  
(b) Waveform of Area A



(c) B 영역 확대 파형  
(c) Waveform of Area B



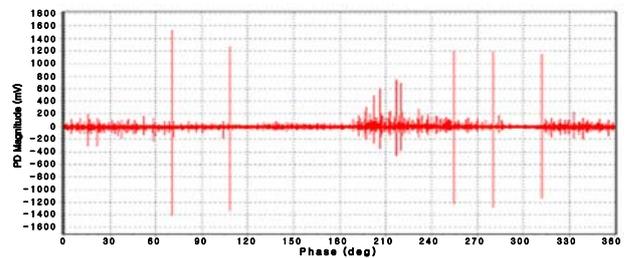
(d) C 영역 확대 파형  
(d) Waveform of Area C



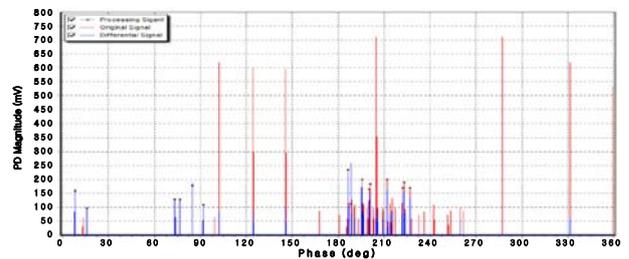
(e) D 영역 확대 파형  
(e) Waveform of Area D

그림 8 3호기 S상 파형 (PDAS)  
Fig. 8 Waveform of # 3 S-Phase (PDAS)

싸이리스터 과형이 주기적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 이 두 종류의 저주파 잡음은 고주파 필터에 의하여 완전히 제거되어진다. 그림 8 (b)는 그림 8 (a)에서 A로 표시한 사각형 영역을 확대한 것으로 과형에서 고주파의 외부잡음과 싸이리스터에 의한 잡음, 그리고 부분방전 신호가 함께 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 그림 8 (c)는 그림 8 (a)의 B 영역을 확대한 것으로서, 싸이리스터에 의하여 발생하는 잡음 과형이다. 그림 8 (d)는 그림 8 (a)의 C영역을 확대한 것으로서, 고주파의 매우 큰 외부잡음을 보여주고 있다. 이 신호는 주파수 대역이 10 [MHz] 이상으로 그림 8 (e)의 부분방전 신호와 같이 고주파 필터에 의하여 제거되지 않는다. 이는 부분방전 신호의 측정에 많은 영향을 미치며, 실제 부분방전 신호 취득을 어렵게 하고, 나아가 절연상태 진단의 신뢰성 저하의 원인이 된다.



(a) HPF 적용 후 1주기 측정 파형(PDAS)  
(a) After HPF Using Measurement Waveform (PDAS)



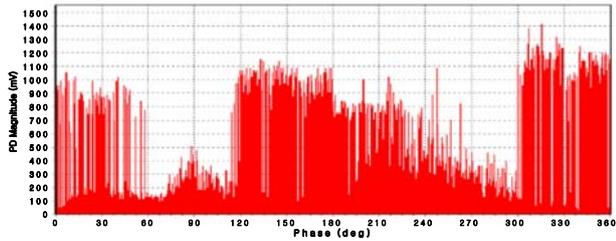
(b) PDMS-HG 1주기 측정 파형  
(b) 1Cycle Waveform of PDMS-HG

그림 9 3호기 S상 최종 1주기 파형  
Fig. 9 Last 1Cycle Waveform of #3 S-Phase

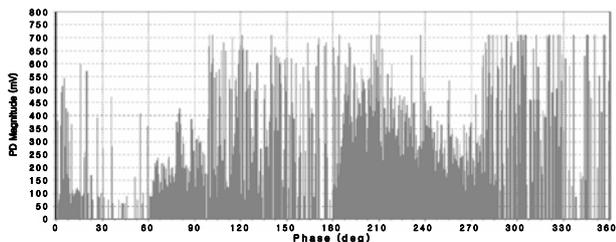
그림 9 (a)는 PDAS에서 고주파 필터를 적용한 이후에 나타나는 60 [Hz] 1주기 파형으로 외부잡음 신호와 부분방전 신호가 함께 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 9 (b)는 PDMS-HG에 의하여 측정된 60 [Hz] 1주기 파형으로 부분방전 신호는 작게 나타나며, 외부잡음 신호는 간헐적으로 매우 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 결국 두 시스템에서 모두 고주파의 외부잡음 신호는 고주파 필터에 의하여 제거되지 않고 부분방전 신호와 함께 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 9의 파형을 1회 측정 주기인 120주기만큼 반복 측정하여 나타내면 그림 10의 (a), (b)와 같은 형태의 Phase vs Max PD(120 Cycles) 그래프가 도출된다. 그림 10 (a)는 PDAS에서 취득한 부분방전 신호 그래프이고, 그림 10 (b)는 PDMS-HG에서 취득한 부분방전 신호 그래프이다. 총주

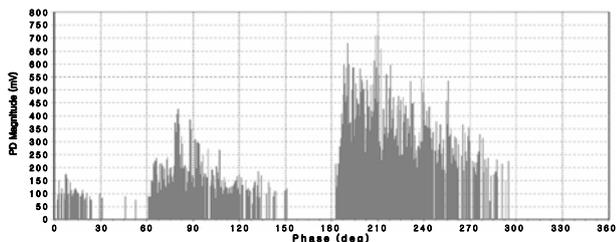
댐 수력발전기 3호기에서는 부분방전 신호 이외에 외부잡음 신호가 나타나는 것을 앞에서 확인하였다. 하지만 On-line 부분방전 측정 시스템인 PDMS-HG는 이와 같은 외부잡음을 Differential 외부잡음 제거 기법을 적용하여 제거할 수 있으며, 그림 10 (c)는 외부잡음을 제거한 그래프로 부분방전 신호만 남기고, 외부잡음이 모두 제거된 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 10 (d)는 인접상 잡음 제거 알고리즘이 적용된 최종 부분방전 신호 그래프로써, 신뢰성있는 부분방전 신호만을 추출하였다는 것을 확인할 수 있다.



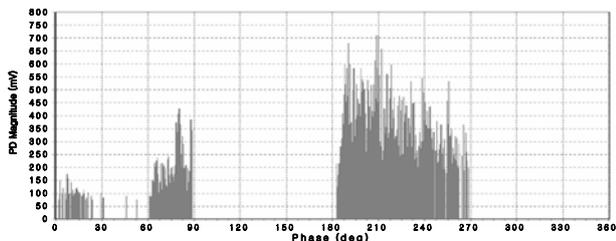
(a) PDAS 측정 그래프  
(a) Graph of PDAS



(b) PDMS-HG 측정 그래프  
(b) Graph of PDMS-HG



(c) Differential 잡음 제거 기법 적용 후 그래프  
(c) Graph of PDMS-HG after Differential Methode



(d) PDMS-HG 최종 그래프  
(d) Last Graph of PDMS-HG

그림 10 위상 대 최대 부분방전 그래프 (3호기 S상)  
Fig. 10 Phase vs Max PD(120 Cycles) (#3 S-Phase)

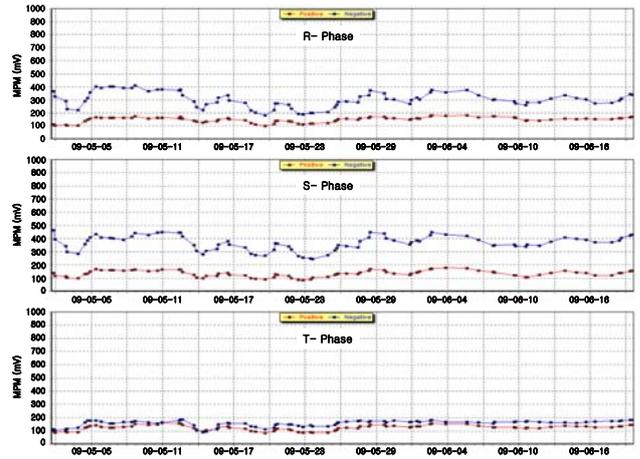


그림 11 최대 부분방전 크기 변화추이 (3호기)  
Fig. 11 Max PD Magnitude Trend (#3 Generator)

이와 같은 방법으로 외부잡음을 제거하고, 추출된 부분방전 신호에서 절연진단 인자를 계산하여 변화추이를 관찰하였다. 그림 11은 충주댐 수력발전기 3호기의 최대 부분방전 크기의 변화추이 그래프이다. 그림 11에서 보면 R, S, T상 모두 크기 및 변화추이가 심하지 않아 정상적인 것으로 판단할 수 있다. 만약, 외부잡음을 효과적으로 제거하지 못하였을 경우에는 그림 11과 같은 변화추이를 도출하기는 매우 어려울 것이다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 장기간 운전중인 수력발전기에 On-line 부분방전 측정 시스템을 설치하여 발전기의 운전 중에 부분방전 신호를 측정하여 절연상태를 진단한 결과를 제시하였다. 정지 중에 실시하는 절연진단 시험에서는 나타나지 않고, 실제 운전 중에서 발생하는 수력발전기 고정자 권선에서의 부분방전 신호 및 외부잡음을 확인할 수 있었으며, 실제 운전 중에는 정지 중에 발생하지 않는 주변기기들에 의한 외부잡음들이 많이 존재하고 있으며, 이러한 외부잡음을 효과적으로 제거하고, 부분방전 신호만을 추출하여 절연상태 진단의 신뢰성을 향상시켰다.

향후, On-line 부분방전 측정 시스템의 지속적인 활용으로 불시에 발생할 수 있는 수력발전기 고정자 권선의 절연사고를 미연에 방지하고, 운전 중에만 발생하는 여러 가지 외부잡음 신호를 같이 분석하여, 효과적인 발전설비의 유지보수 계획을 수립할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] I.M. Culbert, H. Dhirani and G.C. Stone, "Handbook to Assess the Insulation Conduction of Large Rotating Machines (Volume 16)", EPRI publication EL-5036, 1989.
- [2] Paoletti, G. J. and A. Rose, "Improving Existing Motor Protection for Medium Voltage Motors", IEEE Trans. on Industry Applications, 25(3), 456-464. 1989.

- [3] Stone, G., "Importance of Bandwidth in PD Measurement in Operating Motors and Generators", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, 7(1), 6-11. 2000.
- [4] Stone, G. C., Howard G. Sedding, Michael J. Costello, "Application of Partial Discharge Testing to Motor and Generator Stator Winding Maintenance", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 32, No. 2, pp. 459-464. 1996.
- [5] Motor Reliability Working Group, "Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations-Part I", IEEE Trans. on Industry Applications, IA-21(4), 853-864. 1985.
- [6] IEEE Std 1434-2000, "IEEE Trial-Use Guide to the Measurement of Partial Discharges in Rotating Machinery", Aug. 2000.
- [7] 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.
- [8] 강동식 외, "고압 회전기 On-line 부분방전 측정용 Ceramic Coupler 특성", 대한전기학회 논문지, Vol. 51C, No. 5, pp. 205-212, 2002.
- [9] 강동식 외, "권선형기기 On-line 부분방전 측정용 6.6 [kV]급 Ceramic Coupler의 신뢰성 평가", 대한전기학회 논문지, Vol. 54C, No. 2, pp. 69-75, 2005.



**임재일(林 裁逸)**

1954년 8월27일생, 1992년 대전공대 전기공학과 졸업, 1997년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 1979년 ~ 한국수자원공사, 현재 충주권관리단 발전팀장  
Tel : 043-840-220  
Fax : 043-840-1237  
Email : lji3949@hanmail.net



**박지군(朴 持君)**

1959년 11월7일 생, '95년 대전산업대학교 전기공학과 졸업, 1986년 ~ 한국수자원공사 현재 충주권관리단 발전팀  
Tel : 043-840-1228  
Fax : 043-840-1237  
Email : pkji@kwater.or.kr



**곽원구(郭 元求)**

1971년 5월20일 생, '98년 대전산업대학교 전기공학과 졸업, 2009년 충남대학교 대학원(재학 중), 1996년 ~ 한국수자원공사 현재 충주권관리단 발전팀  
Tel : 043-840-1229  
Fax : 043-840-1237  
Email : sun@kwater.or.kr



**이재흥(李 載興)**

1979년 10월21일 생, 2006년 광운대학교 전과공학과 졸업, 2007년 ~ 한국수자원공사 현재 충주권관리단 발전팀  
Tel : 043-840-1297  
Fax : 043-840-1237  
Email : ljh4601@kwater.or.kr



**신재필(申 載弼)**

1971년 04월14일 생, 1997년 충북대학교 전과공학과 졸업, 1997년 ~ 한국수자원공사 현재 댐·유역관리처 발전설비팀  
Tel : 042-629-2775  
Fax : 042-629-2799  
Email : jpshin@kwater.or.kr



**신병철(辛 炳喆)**

1971년 3월 4일생. 1997년 창원대 제어계측공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기전자제어공학과 졸업(석사). 1999년~2001년 한국전기연구원 위촉연구원. 2001년~ 현재 (주)인텍C&I 대표이사.  
Tel : 055-262-4533  
Fax : 055-262-4858  
Email : bc.shin@intechnci.co.kr

저 자 소 개



**옥연호(玉 然浩)**

1960년 2월 2일생. 1982년 부산대학교 전기공학과 졸업. 2006년 충남대학교 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국수자원공사 댐·유역 관리처 발전 설비팀  
Tel : 042-629-2798  
Fax : 042-629-2799  
E-mail : yhok@kwater.or.kr



**이은웅(李 殷雄)**

1944년8월14일생 1971년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1982년~83년, 1984년~5년 캐나다 McGill 대학 방문교수. 1987년~현재 당 학회 평의원. 1995년 당 학회 편집 위원장 및 전기기연구회 간사장. 1995년~1997년 충남대 공대 학장 산업대학원장('96~7), 1997년~2000년 당 학회 부회장. 2004년도 당 학회 회장. 현재 충남대 전기공학과 교수  
Tel : 042)821-5652  
Email : ewlee@cnu.ac.kr