

## 세라믹 커플러를 이용한 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템 개발

서일수\*, 신병철\*, 이상민\*, 오봉근\*\*, 김현일\*\*  
 \*(주)인텍씨엔아이, \*\*한국수자원공사

### Development of an On-Line Insulation Diagnosis System when operating a High-Voltage Motor Using a Ceramic Coupler

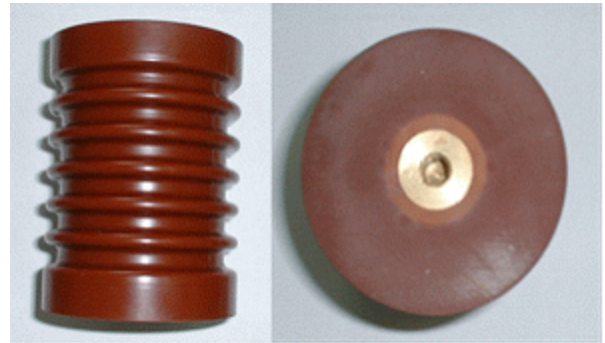
Il-Soo Se\*, Byoung Chol Shin\*, Sang-Min Lee\*, Bong-Keun Oh\*\*, Hyeon-Il Kim\*\*  
 \*Intech C&I Co.,Ltd. \*\* Korea Water Resources Corporation

**Abstract** - A high-voltage motor has had many problems due to its frequent startup, standstills and occasions of long period operation. As for a solution to the problem, many advanced countries have developed an on-line insulation diagnosis sensor and a same type of system and put them in use.

Recently, even in the domestic market, a ceramic coupler has been developed and attempted to be applied in the field.

This paper proposes an on-line insulation diagnosis system when operating a high-voltage motor along with the use of a domestic ceramic coupler. The proposed system is composed with a ceramic sensor, a PDMS-HM, and a Remote Monitoring System.

As the result of comparing this system with a PDAS, which is an expensive full A/D method, the reliability of the system has been verified, and furthermore, it is in the process of being commercialized.



〈그림 1〉 6.6kV급 Ceramic Coupler

## 1. 서 론

산업 현장에서 가장 널리 사용되고 있는 고압 전동기는 빈번한 기동 정지와 장기간 운전에 의해 열적, 전기적, 기계적 스트레스를 받게 되고, 이로 인해 절연파괴, 과열, 진동 등의 문제점이 발생되고, 결국 기기의 운전정지를 초래하는 심각한 사고로 이어진다. 본 논문은 이러한 고압 전동기의 절연파괴 사고를 미연에 예방할 수 있는 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템에 관한 내용이다. 선진 외국에서 운전 중 부분방전 측정 센서로 널리 사용되고 있는 EMC 센서를 이용한 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템은 이미 널리 사용되어지고 있으며, 국내에도 최근에는 발전소 등에 그 보급이 확대되고 있는 실정이다. 하지만, 수입 제품으로 인한 기술 종속, 가격 및 사후관리에 많은 애로가 있다. 따라서 최근 국내에서 이를 해결하고자 순수 국내 기술로 운전 중 부분방전 측정 센서인 세라믹 센서를 개발하였으며, 6.6kV 급의 고압 전동기용 세라믹 센서에 적합한 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템을 개발하여 상용화 중에 있다.[1,2] 본 논문에서는 세라믹 센서를 이용한 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템의 개발과 Lab Test 결과를 제시하며, 기존 외국 제품과의 품질 및 가격에서 충분한 경쟁력을 가질 수 있음을 제시한다.

## 2. 본 론

### 2.1 부분방전 측정 센서

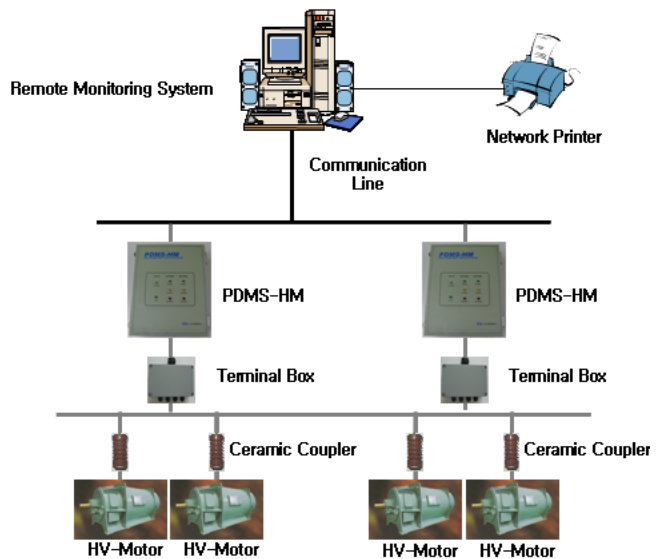
고압 회전기 고장자 권선의 도체부에 Capacitive Coupler를 부착하여 부분방전 신호를 측정하는 기술은 전통적인 Off-Line 진단기술로 이미 세계적으로 정착된 기술이다. 이에 선진 외국에서는 EMC 센서를 개발하여 보급 중에 있으며, 현재 고압 전동기에 이용되는 80pF EMC 센서는 내전압 특성이 15kV 이상이며, 8kV 이상에서 부분방전 개시전압인 3pC 이하의 특성을 가진다.[1,2] 본 논문에서 상기의 EMC 센서와 동일 이상의 특성을 가지는 Ceramic Coupler를 사용하였다. 그림 1.의 6.6kV 급 Ceramic Coupler는 100pF C값을 가지며, 표1과 같은 특성을 가진다.

〈표 1〉 6.6kV급 Ceramic Coupler의 특성

내전압 특성	15kV 이상
부분방전개시전압 (3pC)	8kV 이상
상운유전정점 4kV	0.5% 이하
수명평가(최악조건시)	60년 이상

### 2.2 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템

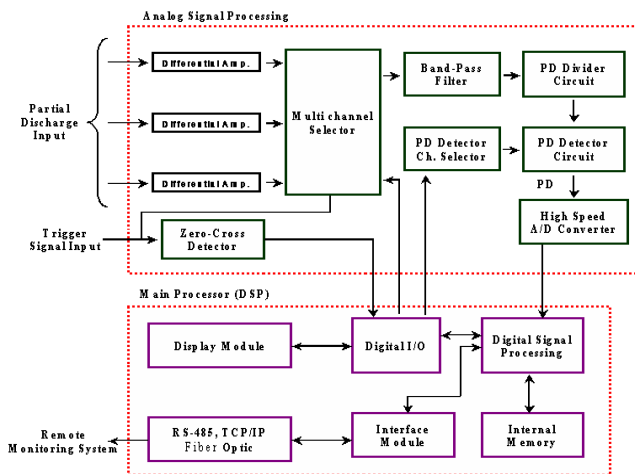
본 논문의 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템의 전체 구성은 그림2와 같이 구성된다. 최말단의 고압 전동기 상별 권선에 Ceramic Coupler를 직접 장착하고, Ceramic Coupler의 출력 신호는 50Ω 임피던스의 BNC 케이블을 이용하여 터미널 박스로 연결되어지며, 터미널 박스를 통하여 각 고압 전동기의 센서 신호는 부분방전 측정 시스템인 PDMS-HM으로 연결된다. PDMS-HM은 최단거리에 있는 고압 전동기 2대에서 순차적으로 부분방전 신호를 취득하고, 이를 분석하여, 중앙의 Remote Monitoring System으로 전송한다. 이렇게 전송된 부분방전 신호는 각 고압 전동기의 상별 권선의 절연 상태 및 변화 추이를 Data Base로 저장하고, 관리하며, 이를 통하여 이상 상태를 판단한다.[3] Remote Monitoring System은 최대 16대의 고압 전동기를 개별적으로 관리 진단할 수 있으며, 일, 월, 년 별로 최대 부분방전 신호의 크기와 부분방전 발생 에너지량의 진단 인자를 비교 분석하여, 이상 진단을 판단한다.



〈그림 2〉 고압 전동기 운전중 절연 진단 시스템 전체 구성도

## 2.2.1 PDMS-HM

PDMS-HM의 세부 구성도를 그림3에 나타내었다.



〈그림 3〉 PDMS-HM의 세부구성도

먼저 Monitoring System에서 부분방전 신호 측정 요구가 있으면, 이를 Main Processor가 받아서, 각종 제어 신호를 Analog Signal Processor로 전달한다. 위상 동기를 위하여 Zero-Cross Detector의 동기 신호와 EPLD의 제어 신호에 따라 Analog Signal Processor는 부분방전 신호를 디지털화 하기 쉬운 신호로 Processing 한다. Processing 된 부분방전 신호는 EPLD의 제어 신호를 받은 AD Converter가 고속 디지털화 한다. 다시 디지털화 된 부분방전 신호 데이터를 Main Processor가 Remote Monitoring System으로 전송한다.

세부적인 구성을 보면, Analog Signal Processor 입력 단은 6 채널의 접촉식 센서 입력 단, 서지 보호회로 피뢰기 그리고 노이즈 제거용 Differential Amp로 구성된다.

Multi Channel Selector에서 상 선택은 고속 Relay에 의해 제어 된다. 선택된 상은 잡음을 제거하기 위해 High Speed OP-Amp를 이용하여 Differential로 구성하였다. 또한 부분방전 신호는 측정의 용이성을 위하여 적당한 크기의 신호로 증폭 또는 감쇠된다.

Band-Pass Filter 단은 접촉식 센서의 저주파 잡음을 제거하기 위한 것으로, 3 MHz ~ 100 MHz 대역의 Band를 갖는다.

PD Divider 단은 Filter를 통과한 PD 신호를 Negative PD와 Positive PD로 분리하는 역할과 Peak Detector 단의 다이오드 전압 강하를 보상하기 위한 Offset을 만드는 역할을 한다.

PD Detector Circuit 단은 고주파의 부분방전 신호를 샘플링하기 위해서 RF Schottky Diode와 RF Switch를 사용하여 고속 측정 방전이 가능하도록 하였다. Peak Detector는 총 4개로 구성되어 있으며, Negative PD와 Positive PD를 각 2개의 Peak Detector 회로가 담당하고 있다. 부분방전 신호를 검출하는 구간은 463  $\mu$ S로, 60 Hz 한 주기 동안 총 3600 개의 최대 부분방전 신호를 검출한다.

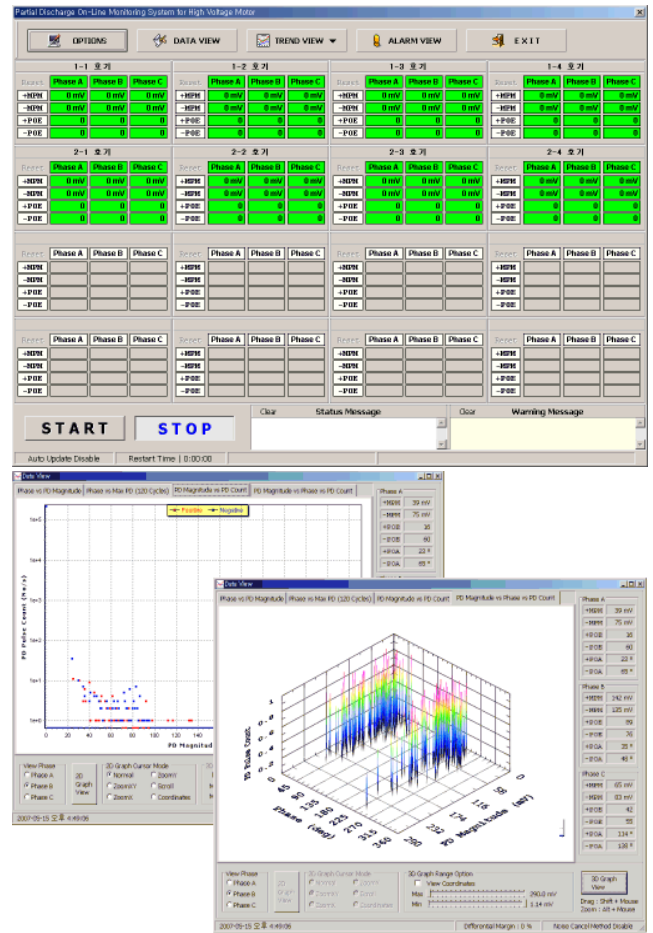
Main Processor의 DSP는 Ti사의 TMS320VC33를 사용하였다.

AD Converter 제어, Peak Detector 제어 및 각종 외부 IO 제어는 모두 EPLD가 담당한다. 또한 EPLD 내부에 Watch Dog 기능을 구현하여 DSP의 이상 동작 시 자동 Reset이 가능하도록 하였다. Static Ram은 측정된 AD Data를 임시 저장하여 Data를 PC로 전송하거나, 자체 알고리즘에 의해서 노이즈를 제거하고, 부분방전에 따른 시스템의 상태를 나타낼 수 있는 인자를 계산하는 공간으로 사용된다. Flash Rom은 프로그램 메모리, Key Pad로 입력한 각 메뉴의 Data값의 저장 메모리, 그리고 부분방전 판단을 위한 인자의 Data Base를 위한 공간으로 활용된다. 또한 부분방전 측정 시 Data 저장 시간을 제공하기 위하여 RTC(Real Time Clock)를 내장 하였다.

## 2.2.2 Remote Monitoring Program

PDMS-HM Remote Monitoring Program은 각각의 PDMS-HM으로부터 전송되어진 부분방전신호 데이터를 저장 및 분석하여, 부분방전 관련 인자들을 산출하고 데이터 베이스화 및 2차원, 3차원, 경향 그래프 등을 제공하여 사용자가 보다 쉽게 부분방전 신호를 분석 및 진단, 관리할 수 있도록 도와준다. 이러한 PDMS-HM 모니터링 프로그램은 각종 기능설정 및 데이터들을 분석하기위한 메뉴 버튼들이 존재하는데, 그림 3에서 보이듯이 "OPTIONS" 메뉴는 PDMS-HM 모니터링 프로그램의

동작 및 분석과 관련된 각종 파라미터들을 설정 및 관리하는 메뉴이다. "DATA VIEW" 메뉴는 PDMS-HM 시스템에서 전송된 데이터로부터 산출된 각종 부분방전 진단 관련 데이터들을 살펴보고 검색하기 위한 화면을 제공한다. 또한 취득 데이터별 부분방전 신호의 원본 데이터 및 2차원, 3차원 그래프 등을 호출해 볼 수 있다. "TREND VIEW" 메뉴에서는 산출된 각각의 부분방전 진단 파라미터들의 경향을 살펴볼 수 있으며, "ALARM VIEW" 메뉴는 각 상의 개별 진단 파라미터들에서 발생한 경고메시지들을 보여준다.



〈그림 3〉 PDAS로 측정된 부분방전 신호 파형

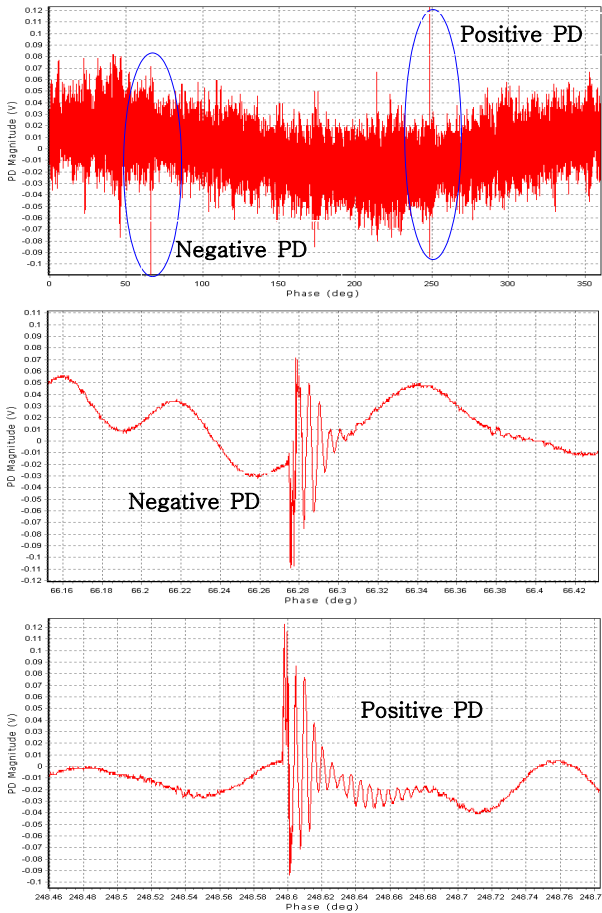
PDMS-HM 모니터링 프로그램의 화면에 나타난 부분은 관찰하고자 하는 부분방전 진단 파라미터들인 A상, B상, C상의 각 상별 최대 부분방전 크기(±MPM), 부분방전 발생에너지(±POE)의 값을 보여주는 표시기 및 현재 상태를 나타내는 상태표시등이다. 각 상 및 부분방전 파라미터들의 상태를 나타내는 상태표시등은 현재 개별 부분방전 진단 파라미터 및 각 상별 상태에 따라서 특정한 색으로 표현이 되는데, 정상상태가 아닐 경우에는 경고 메시지 창과 함께 이상 유무를 나타낸다. 각각의 상태에 따른 상태표시등의 색은 정상/주의/이상상태에 따라 연두색/노란색/적색으로 표현된다.

## 2.3 Lab Test 결과

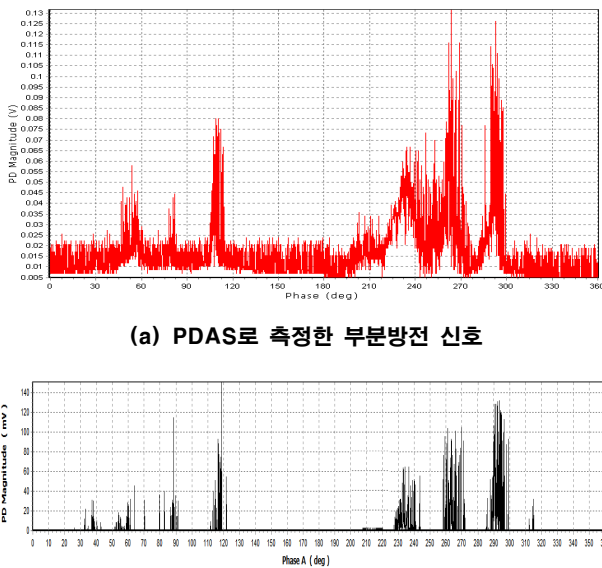
본 논문에서 개발한 고압 전동기 운전중 절연 진단 시스템의 신뢰성을 판단하기 위하여, PDAS라는 고속의 Full A/D 방식의 부분방전 신호 측정 시스템을 사용하였다. 우선 PDAS는 EMC 또는 Ceramic Coupler의 부분방전 신호 출력을 100MHz Sampling으로 취득하여, 센서로부터 나오는 주변 외부 잡음과 부분방전 신호의 파형을 정밀하게 볼 수 있다.

그림 4는 PDAS로 측정된 부분방전 신호와 외부 잡음의 파형이다. 60Hz 한주기 동안 발생한 부분방전 신호를 정확하게 나타내어 주고 있으며, 동시에 부분방전 신호의 세부 파형 또한 확인할 수 있다. PDAS와 같은 시스템은 부분방전 신호 분석에 매우 유용하나, 가격이 고가이므로, On-Line 시스템으로 활용하기가 어렵고, On-Site 형태로 활용할 수 있다. 본 논문에서는 고압 전동기 권선에 3.8kV, 4.6kV 각각 인가하였을 경우 발생하는 부분방전 신호를 PDAS와 본 논문에서 제시하는 저가의 고압 전동기 운전 중 절연 진단 시스템과 비교 분석하였다. 그림

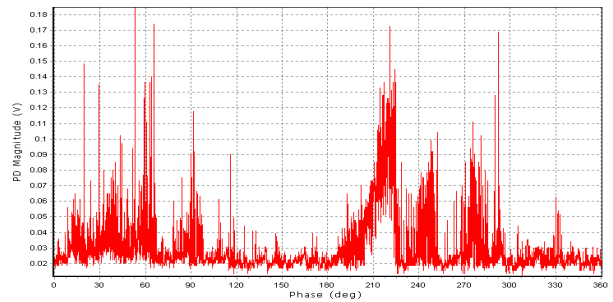
5.는 3.8kV를 인가하였을 경우 고압 전동기 권선에서 발생하는 부분방전 신호이며, 그림 6.은 4.6kV를 인가하였을 경우 고압 전동기 권선에서 발생하는 부분방전 신호이다. 두 시스템이 측정된 부분방전 신호를 비교해보면 유사한 위상에서 동일한 크기의 부분방전 신호가 발생하는 것을 알 수 있다. 그리고 두 시스템에서 측정된 최대 부분방전 신호 또한 유사하게 나타났다.



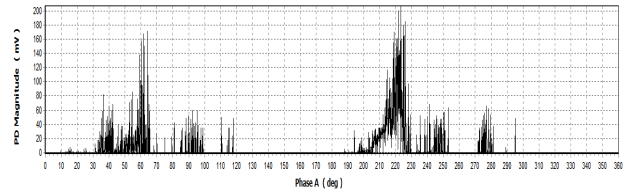
<그림 4> PDAS로 측정된 부분방전 신호 파형



(b) PDMS-HM으로 측정된 부분방전 신호  
<그림 5> 3.6kV인가시 발생하는 부분방전 신호



(a) PDAS로 측정된 부분방전 신호



(b) PDMS-HM로 측정된 부분방전 신호  
<그림 6> 4.8kV인가시 발생하는 부분방전 신호

### 3. 결 론

본 논문은 최근 국산화된 집속식 부분방전 센서인 세라믹 커플러를 이용한 On-Line 절연 진단 시스템을 개발하였다. 그리고, Lab Test를 통하여 신뢰성 있는 부분방전 신호를 검출하는 것을 보여주었으며, 고가의 외국 제품을 대체 할 수 있는 저가의 고압 전동기 On-Line 절연 진단 시스템 상용화 할 수 있게 되었다. 향후 각종 현장에서 발생하는 외부 잡음을 효과적으로 제거하기 위한 외부 잡음 제거 기법 또한 연구 중에 있으며, 현장 시범 설치를 통하여 상용화를 위한 마지막 준비를 진행 중에 있다. 최근 국내의 감시 진단 분야에 대한 인식의 고조로 On-Line 절연 진단에 관한 외국 제품들의 도입이 가속화 되고 있는 시점에 가격 및 성능에서 경쟁력을 가지는 제품의 개발로 수입 대체 및 기술 종속 탈피 등 그 기대 효과가 클 것으로 본다.

### [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 고장자 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 고장자 권선의 절연 진단을 위한 중앙 집중 감시 시스템 개발”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집(C), pp. 1906-1908, 2000.