

## 고압 전동기 고정자 권선의 상태진단을 위한 운전중 모니터링 시스템 개발

황 돈 하\* · 심 우 용\* · 김 용 주\* · 송 상 옥\*\* · 주 영 호\*\*\*

\*한국전기연구원 기기제어응용연구그룹 · \*\* (주)선진전자기술 · \*\*\*전력연구원 I&C그룹

### Development of On-Line Monitoring System for Insulation Diagnosis of High-Voltage Motor Stator Windings

Don-Ha Hwang\* · Woo-Yong Sim\* · Yong-Joo Kim\* · Sang-Ock Song\*\* · Yeung-Ho Ju\*\*\*

\*Machine Control & Application Research Group, KERI, \*\*Advanced Electronic Tech. Co. Ltd., \*\*\*KEPRI

**Abstract** - This paper introduces a on-line monitoring system for insulation diagnosis of high-voltage motor stator windings. This system monitors the insulation condition of the stator winding with sensor, coupling capacitor. Partial discharge (PD) signals are able to be continuously measured and digitalized with a peak-hold A/D converter to build the database of the high-voltage motor's insulation condition. This system can communicate with the central monitoring system via RS-485. This paper introduces an economic solution for data acquisition of partial discharges.

#### 1. 서 론

국내 산업현장에서는 고압 전동기의 고장시 예비 전동기를 이용하여 대체 운전하고 고장 전동기를 수리하는 방식이 일반적이다. 하지만 이러한 운용방식은 보수비용이 과다하게 소요되고, 돌발적인 사태에 따라 인명피해의 위험과 공장라인의 정지 등 많은 문제를 가지고 있기 때문에 예방진단의 필요성이 크게 요구되고 있다[1-3]. 더욱이 고압 전동기가 대형화함에 따라 운전의 신뢰성 확보가 필수적이다. 국내의 경우 전문가의 현장방문을 통한 이동형 측정기기를 이용한 진단이 대부분이었다. 하지만 이러한 방식은 비용이 많이 들고 시간적으로 낭비가 심해 발전기에 비해 상대적으로 저가인 고압 전동기에 적용하기에는 무리가 따른다. 그리고, 기존의 상시 On-Line 모니터링 시스템의 경우 발전기를 대상으로 한 것으로서 가격이 비싸기 때문에 고압 전동기에는 적합하지 않다. 또한, 현장의 실시간 모니터링과 고압 전동기 진단기술의 신뢰성 확보를 위해서는 지속적인 데이터 확보가 필수적이다. 따라서, 저가이며 고압 전동기의 운전중 실시간 모니터링이 가능하고, 측정 파라미터의 데이터베이스 구축이 가능한 고압 전동기에 적합한 진단 시스템의 개발이 우선적으로 필요하다[3-6].

본 논문에서는 고압 전동기 고정자 권선의 절연상태 진단을 위하여 부분방전 측정 신뢰성을 만족하면서 기존의 On-Line 측정기법에 비해 경제성을 가질 수 있도록 부분방전 신호의 최대값 검출회로를 적용한 고압 전동기 고정자 권선의 운전중 모니터링 시스템(DADU : data acquisition & diagnosis unit)을 제안한다.

또한, 본 연구에서 개발한 DADU를 보령화력 발전소에 설치하여 실제 발전소에서 운전중인 고압 전동기의 데이터를 확보하고, 이를 통한 고정자 권선의 운전중 모니터링 시스템의 현장시험 결과를 제시한다.

#### 2. 고압 전동기의 운전중 모니터링 시스템

##### 2.1 운전중 부분방전 검출기법

###### 2.1.1 펄스탐지 기법

회전기 고정자 권선의 On-line 부분방전 측정을 위해서 종래의 Single-channel analyzer를 이용한 펄스탐지 기법은 그림 1에서와 같이 부분방전의 크기를 60 [Hz] 상용 주파수의 1주기 내에서 미리 설정된 특정크기 및 특정 펄스폭의 부분방전만을 탐지하는 방식으로서, 설정값을 증가 또는 감소시켜 부분방전의 크기 스펙트럼을 구한다. 그러나 측정시간이 많이 걸리고, 불연속적인 부분방전 펄스 신호를 탐지할 수 없는 등의 단점이 있다[3].

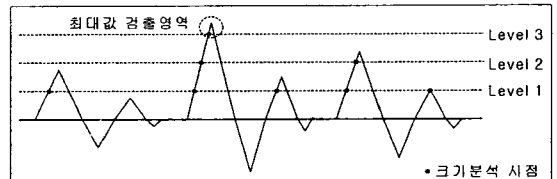


그림 1. 펄스탐지에 의한 부분방전 측정방법

###### 2.1.2 Full A/D 변환기법

Full A/D 변환기법은 그림 2와 같이 측정된 1주기 전체의 부분방전 신호를 고속 A/D 변환기에 의해 샘플링하여 디지털 신호로 변환하는 방식으로서, 부분방전 파형에 관한 정보의 손실이 거의 없고, 디지털 필터링이 가능하며, 주파수 영역 분석이 가능하다는 등의 장점이 있다. 하지만 Full A/D 변환기법의 경우, 고가의 A/D converter가 필요하고 전반적으로 시스템 구성이 고가로 되는 단점이 있다[1-3].

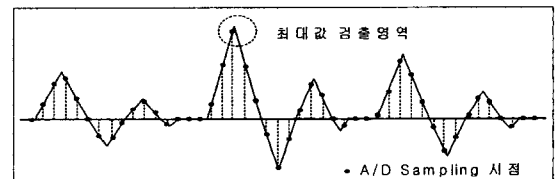


그림 2. Full A/D 변환에 의한 부분방전 측정방법

###### 2.1.3 최대값 검출기법

본 논문에서 적용한 부분방전 신호의 최대값 검출방식은 Peak detect & hold 회로를 이용하여 '가' 구간에서 최대값을 검출하고, A/D converter를 이용하여 '나' 구간에서 샘플링한다. 예를 들어 1°까지는 여러 개의 부분방전이 발생하였음에도 이 기간동안 발생된 부분방전 중에서 가장 큰 1개의 부분방전 값만이 첫 번째 Peak detect & hold 회로에 의하여 최대값이 검출되어 A/D 변환이 이루어지고, 2°까지는 두 번째 Peak detect & hold 회로에 의하여 연속적으로 부분방전의 최대값이 유지되고 측정된다. 또한, 3°부터는 위의 과정이 교대로 반복된다. 본 방식은 비교적 저가의 시스템 구성으로서 만족할 만한 신뢰성을 얻을 수 있다는 장점이 있으므로 고압 전동기에 적용하기에 적합하다[4-6].

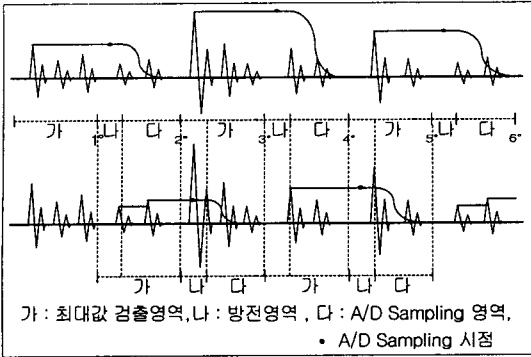


그림 3. Peak detect & hold 회로와 A/D converter를 이용한 부분방전 측정기법

## 2.2 DADU의 하드웨어 구성

본 연구에서 개발한 고압 전동기 고장자 권선의 절연 상태 진단을 위한 운전중 모니터링 시스템인 DADU (data acquisition & diagnosis unit)의 블록도를 그림 4에 나타내었다. 본 시스템은 발전기 고장자 권선의 각 상에 설치된 센서에 의해 검출되는 부분방전 펄스 아날로그 신호를 각 상별로 순차적으로 측정하여 고주파 필터를 통하여 부분방전 신호를 검출하고, 자체 내장된 A/D converter를 이용해서 디지털 데이터로 변환시키고, CPU(microprocessor)에 의하여 Digital signal processing을 수행한다. 또한, 직렬 통신을 이용한 통신기능을 내장하고 있기 때문에 중앙 집중식 원격감시가 가능하도록 하였다. 그림 5에 실제 제작한 사진을 나타낸 Data acquisition board는 고압 전동기에 적합한 경제성을 확보하기 위해, Intel사의 80C196KC 16 bit Microprocessor를 이용하여 개발하였다.

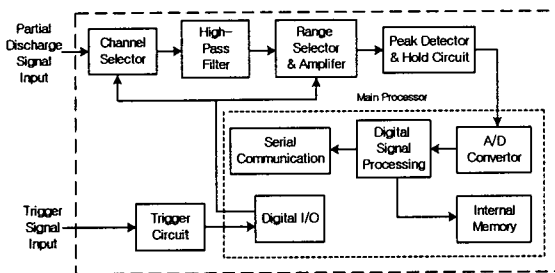


그림 4. DADU의 Block Diagram

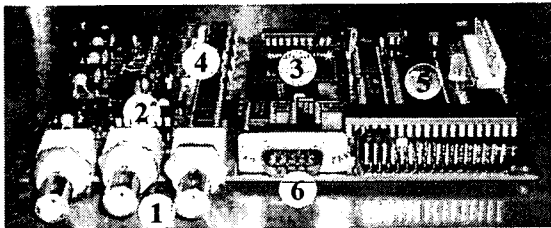


그림 5. DADU Data acquisition board의 실제 사진

① Input Port ② Channel Selector ③ 80196KC Microprocessor  
④ Peak Detector & Hold Circuit, ⑤ Memory, ⑥ 통신 Port

## 2.3 DADU의 소프트웨어 구성

DADU의 소프트웨어는 그림 6에 나타낸 것과 같이 고압 전동기 고장자 권선의 절연상태 진단의 편의성을 위해 다양한 기능을 가진 프로그램으로 구성되어 있다.

먼저 Data acquisition board에서 절연진단 파라메타인 최대 부분방전 크기(QM)와 NQN(normalized-quantity number)을 계산하여 직렬 통신으로 중앙 모니터링 시스템으로 전송하고, 중앙 모니터링 시스템에서는 이를 이용해서 보정작업과 데이터 변화추이 Display 및 진단 파라메타 데이터베이스를 구축한다. 또한, 이전의 분석결과와 비교하여 이상 발생시 경고를 발생하도록 구성되어 있다.

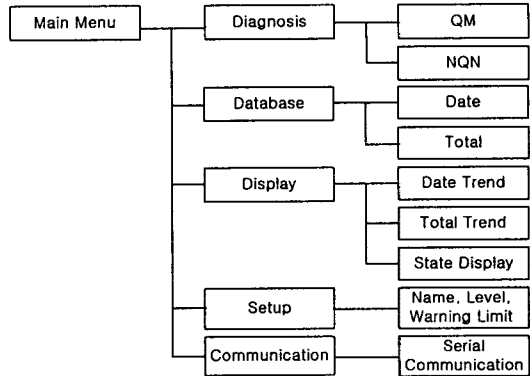


그림 6. DADU의 소프트웨어 구성도

그림 7은 중앙 모니터링 시스템의 실시간 모니터링 화면을 나타낸 것으로서, 전동기의 이름이 나타나고, 각 상별 QM(±), NQN(±)를 동시에 한 화면에 나타내어 전동기의 현재 부분방전 발생상태를 파악할 수 있도록 하였다. 그림 7의 경우에는 Belt Conveyor #37 전동기에 대한 각 상의 부분방전 크기를 Display하고 있고, 다른 권선에 비해 C상에서 부분방전이 보다 많이 발생하고 있음을 알 수 있다.

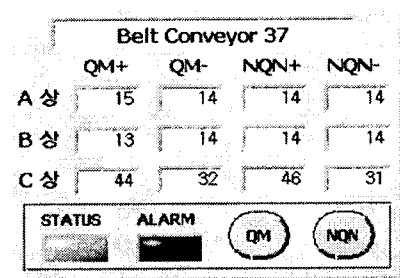


그림 7. DADU의 실시간 모니터링 화면

## 3. DADU의 현장설치 및 측정결과

### 3.1 DADU의 현장설치

그림 8은 DADU의 설치 구성도를 나타낸 것으로서, 고압 전동기 터미널 박스 내에 전동기 각 상의 입력전원 라인과 병렬로 부분방전 측정을 위한 센서인 Coupling Capacitor를 설치하여 부분방전 신호를 상시 검출할 수 있도록 한다. On-line 부분방전 측정센서의 출력은 동축케이블을 통하여 DADU로 전달되고, 각 상별로 측정 임피던스 회로에 의해 순차적으로 부분방전 신호가 검출된다. 이렇게 검출된 부분방전 신호는 Microprocessor를 통하여 부분방전 진단 파라미터 QM과 NQN을 산출하고, RS-485 직렬 통신을 이용하여 중앙 모니터링 시스템으로 전송된다.

그림 9와 그림 10은 보령화력 발전소에서 가동중인 고압 전동기에 실제 설치한 On-line 부분방전 측정센서와 DADU의 사진을 각각 나타내고 있다.

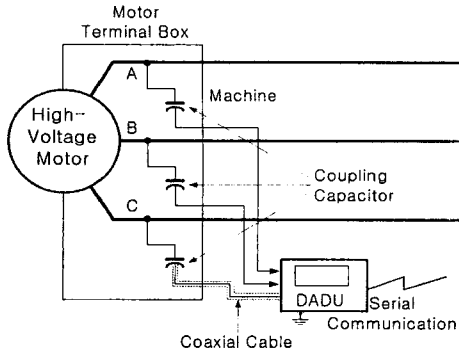


그림 8. DADU의 설치 개념도

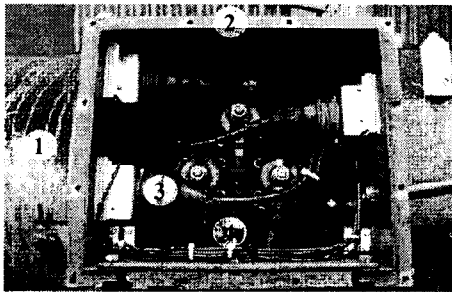


그림 9. 부분방전 측정 Sensor의 설치사진

- ① High-Voltage Motor ② Motor Terminal Box
- ③ Coupling Capacitor ④ Input Power

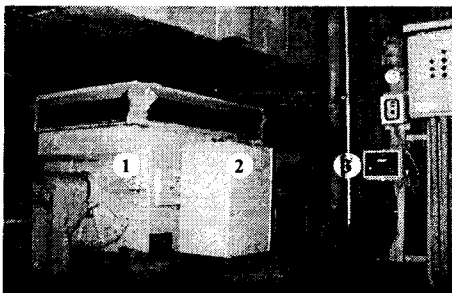


그림 10. DADU 설치사진

- ① High-Voltage Motor
- ② Motor Terminal Box ③ DADU

### 3.2 발전소 현장 측정결과

그림 11과 그림 12는 보령화력 발전소에서 운전중인 고압 전동기에 실제 설치한 DADU를 통하여 취득한 부분방전 데이터를 이용하여 각 상별로 QM과 NQN의 변화추이를 보여주는 모니터링 화면을 나타내고 있다. 전동기의 운전일자와 운전시간에 따라 부분방전 파라미터인 QM과 NQN을 분석할 수 있고, 임의의 기간동안에 대한 변화추이의 모니터링이 가능하도록 하였다. 그림 11 및 그림 12에서와 같이 각상별 QM과 NQN 값의 변화추이를 쉽게 볼 수 있고, 운전 및 정지 상황을 파악할 수 있음을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 고압 전동기 고장자 권선의 절연상태 진단을 위한 경제적이고 신뢰성 있는 On-line 부분방전 측정 기법으로서, 최대값 검출회로를 적용한 DADU 및 모니터링 시스템을 제안하였다.

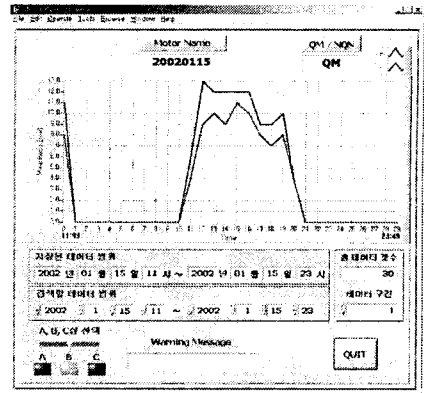


그림 11. QM 변화추이 그래프

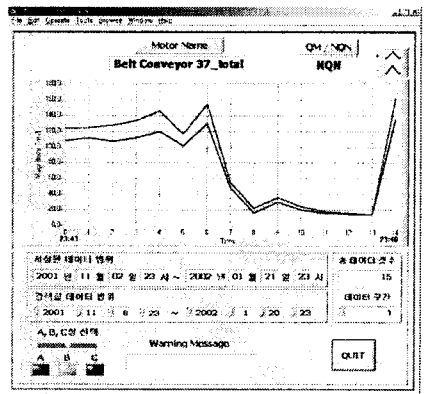


그림 12. NQN 변화추이 그래프

또한, 부분방전 측정 센서와 DADU를 보령화력 발전소에 설치하여 실제 운용을 통한 부분방전 파라미터의 변화추이 모니터링 결과를 제시하였다. 본 연구에서 개발한 DADU는 QM과 NQN 등의 절연열화 진단을 위한 부분방전 파라미터를 동시에 측정 및 분석할 수 있고, 부분방전 신호의 데이터를 중앙 집중 모니터링 시스템에서 분석, 저장 등이 가능하도록 Database를 구축함으로써, 현장의 운전자가 전동기의 이상발생 유무를 쉽게 모니터링 할 수 있기 때문에 고압 전동기의 운전 신뢰성 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### [참고 문헌]

- [1] 한국전기연구원, "발전소 고압 전동기 절연감시 시스템 개발", 전력연구원 수탁 연구과제 최종보고서, 2001. 7.
- [2] 황돈하, 신병철, 심우용, 박도영, 김용주, 송상욱, "고압 전동기 고장자 권선의 절연진단을 위한 운전중 부분방전 측정기법", 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (C), pp. 1727-1729, 2001. 7. 18-20.
- [3] G.C. Stone and J.F. Kapler, "Stator Winding Monitoring", IEEE IA Magazine, Vol. 4, No. 5, pp. 15-20, 1998.
- [4] 황돈하, 심우용, 박도영, 강동식, 김용주, 송상욱, 김희동, "고압 전동기 고장자 권선의 운전중 절연감시 시스템 개발", 2001년도 대한전기학회 전기물성·응용부분회 추계 학술대회 논문집, pp. 224-226, 2001. 11. 3.
- [5] 김용주, 이기창, 황돈하, 박도영, 강동식, "Hybrid Conversion Scheme을 이용한 부분방전 측정기법", 2001년도 대한전기학회 전기물성·응용부분회 추계 학술대회 논문집, pp. 192-194, 2001. 11. 3.
- [6] Y.J. Kim, K.C. Lee, D.H. Hwang, D.Y. Park, S.O. Song, "Hybrid Conversion Scheme Digital Measurement of Partial Discharge Spectra", Conf. Rec. of the 2002 IEEE ISEI, Boston, USA, pp. 5-8, Apr. 7-10, 2002.