

고압 전동기 고정자 권선의 활선 부분방전 모니터링 기술개발

황 돈 하, 이 주 훈, 강 동 식, 김 용 주, 이 재 영, 신 병 철*
한국전기연구원 기기제어응용연구그룹, (주)선진전자기술, 인텍*

Development of On-Line Partial Discharge Monitoring Techniques for Stator Winding of High-Voltage Motors

Don-Ha Hwang, Joo-Hoon Lee, Dong-Sik Kang, Yong-Joo Kim, Jae-Young Lee, Byoung-Chol Shin*
KERI, AET Co., INTECH*

Abstract

Recently many research activities on the diagnosis of stator winding insulation of high-voltage motors have been reported. Most of them utilize a trend analysis of partial discharges. In this paper, a novel on-line monitoring system for an insulation diagnosis is proposed. This system displays magnitude and phase angle distribution of partial discharge. The partial discharge activities can be interpreted more precisely by these techniques.

Key Words : High-Voltage Motor, Insulation Diagnosis, Partial Discharge, On-Line Monitoring

1. 서 론

산업 플랜트 및 발전설비의 증대, 자동화 및 정보통신 기기의 증가와 함께 고압 회전기가 대형화함에 따라 운전의 신뢰성 확보가 필수적이다. 고압 전동기의 장기간 운전에는 따른 고정자 권선의 절연열화가 원인이 되어 발생하는 절연파괴에 의한 돌발적인 운전정지는 사고로 인한 파급효과가 크고, 장기간의 복구시간이 요구되며, 보수비용이 과다하게 소요되기 때문에 예방진단의 필요성이 크게 요구되고 있다. 따라서 운전중의 불시적인 절연파괴 사고를 방지하기 위한 진단기술과 진단 시스템의 개발이 우선적으로 필요하다.

고압 전동기의 절연진단에는 Off-line 진단법과 On-line 진단법이 있지만 전동기의 실제 운전중에 발생하는 부분방전 신호를 측정하여 권선의 절연상태를 진단하는 On-line 진단법이 슬롯 방전과 권선단말 방전 등의 다양한 종류의 방전이 측정 가능하여 점차 확대 적용되고 있다^[1].

선진외국에서는 고정자 권선의 절연진단 및 부분방전 측정기술의 확보와 함께 운전중 진단 시스

템의 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일부 제품은 상용화되어 현장에 적용중인 상태이다^[1-4]. 국내에서도 발전설비 운전의 신뢰성 향상, 경제적인 유지보수 계획의 수립과 선진국의 기술중속 탈피 등을 위해서, 고압 전동기의 절연상태를 상시 감시할 수 있는 On-Line 진단 시스템의 독자적인 개발이 진행되어 왔지만, 가격경쟁력이 부족하여 보급이 확산되지 못하고 있는 실정이다^[3-5].

본 연구에서는 부분방전 측정 신뢰성을 만족하면서 기존의 On-Line 측정기법에 비해 경제성을 가지는 부분방전 On-Line 측정 시스템을 제안하고, 기존의 고정자 권선 절연상태 진단 시스템들의 단점을 보완하고, 비전문가도 용이하게 고정자 권선의 절연상태를 진단할 수 있는 고압 전동기 고정자 권선의 활선 부분방전 모니터링 시스템 (Motor On-Line PD Detector)을 개발하였다^[5-7].

2. 고압 전동기의 절연감시 시스템

2.1 운전중 부분방전 측정기법

고압 회전기 고정자 권선의 On-line 부분방전

측정 시스템은 Single-channel Analyzer를 채용한 것이 일반적이었다^[1]. 이러한 Single-channel Analyzer는 부분방전의 크기를 60 [Hz] 상용 주파수의 한 주기 내에서 설정된 크기의 부분방전만을 측정하는 방식으로서, 크기의 설정을 점진적으로 증가 혹은 감소시켜 부분방전의 크기 스펙트럼을 구하는 방식이다. 하지만, 불연속적인 신호를 가지는 부분방전 펄스는 탐지할 수 없다. 따라서 한 주기에 대해서 완전한 부분방전 신호를 이러한 방식으로는 검출할 수 없기 때문에 잘못된 절연상태의 판단 가능성이 상존하고 있다.

Single-channel Analyzer에 의한 부분방전 탐지기법의 문제점을 극복하기 위해서 사용한 방식이 Full A/D 변환 기법이다. A/D 변환기에 의해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하고, 디지털 필터링 기법을 사용하여 부분방전 신호를 주파수 영역에서 상세히 분석할 수 있고 Single-channel Analyzer 탐지기법에서는 검출할 수 없는 신호를 측정할 수 있다^[4]. 그러나 Full A/D 변환방식은 만족할만한 성능을 위해서는 수 [ns]의 샘플링이 가능한 고가의 아날로그 디지털 변환기가 필요하다. 따라서 시스템의 가격이 높아져 전동기에 적용하기에는 경제성이 떨어지는 단점이 있다.

이러한 배경으로부터 본 연구에서는 부분방전 신호 측정을 위한 저가형 고속 A/D 변환 보드를 개발하여, 신뢰성은 만족하면서 저가로 시스템을 구현하여 전동기에 적용함에 있어서도 경제성을 확보할 수 있는 새로운 부분방전 측정 시스템을 개발하였다. 본 연구에서는 두개의 고속의 A/D 변환 Chip을 이용하여 부분방전 신호를 측정하고, 이를 Director Memory Access 방식으로 부분방전 Data를 저장한다. 이렇게 측정된 부분방전 신호를 DSP에서 진단 파라미터를 추출하고, 이를 중앙의 모니터링 시스템으로 전송하도록 하였다.

2.2 활성 부분방전 모니터링 시스템

그림 1은 본 연구에서 개발한 고압 전동기의 On-Line 감시진단을 위한 계측진단 시스템의 설치 구성도를 나타내고 있다. 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 Motor On-Line PD Detector로 전달되고, 각 상별로 측정 임피던스 회로에 의해 순차적으로 부분방전 신호가 검출된다. 이렇게 검출된 부분방전 신호는 Microprocessor를 통하여 부분방전 진단 파라미터인 QM과 NQN을 산출하고, RS-485 직렬 통신을 이용하여 중앙 모니터링 시스템으로 전송된다^[1].

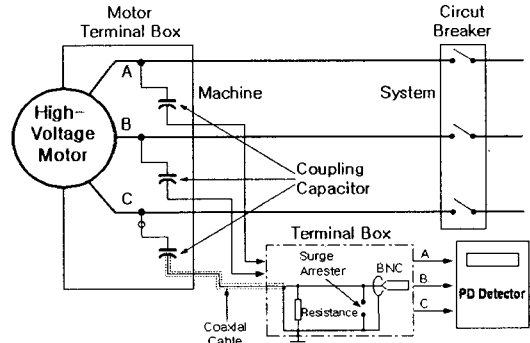


그림 1. PD Detector의 설치도

그림 2는 본 연구에서 개발한 Motor On-Line PD Detector의 구성도를 나타내고 있다. Signal Input 및 Data Acquisition 부분에서 부분방전 신호를 상별로 받아들이고, 이를 증폭한 후 3~100 [MHz] 대역의 Analog Filter를 통과한 후 Negative PD와 Positive PD로 분리하여, 고속 A/D 컨버터를 통하여 부분방전 신호를 측정한다. 그리고 이를 DSP에서 고압 전동기 고정자 권선의 절연진단 파라미터인 QM, NQN을 구하게 하였다.

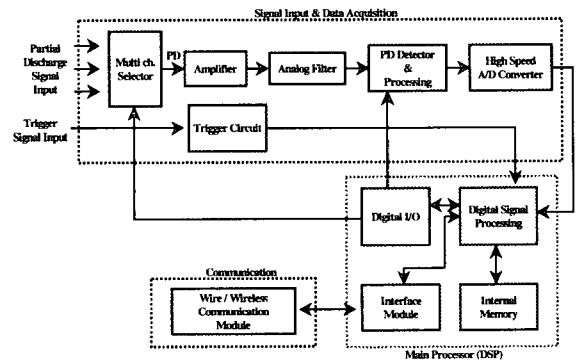


그림 2. Motor On-Line PD Detector의 구성도

그림 3은 TMS320VC33 DSP 보드를 사용하여 실제 제작한 Main Processor 모듈의 사진을 나타

내고 있고, 그림 4는 잡음에 취약한 입력단의 Analog 부분을 모듈화시킨 Input 모듈, Filter 모듈 및 Amplifier 모듈의 사진이다.

그림 5는 고압 전동기 고정자 권선의 절연감시를 위한 활선 부분방전 모니터링 시스템의 외형을 보여주고 있다.

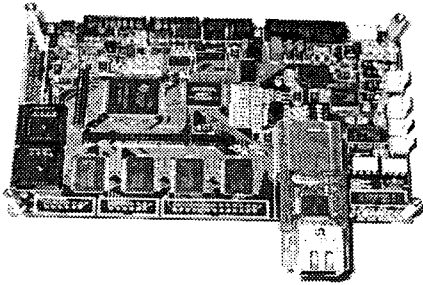


그림 3. Main DSP Board

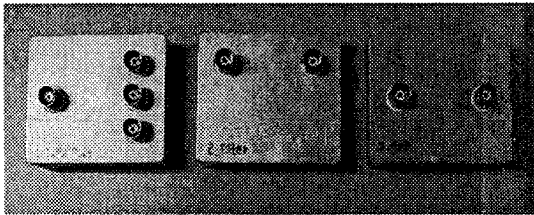


그림 4. Analog Module

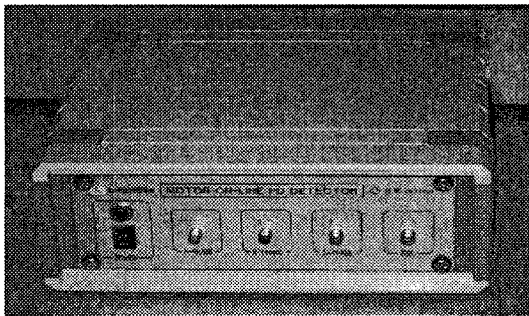


그림 5. Motor On-Line PD Detector의 외형

Motor On-Line PD Detector의 기본 사양은 아래와 같다.

- Input Frequency : 1 ~ 100 [MHz]
- Input Range : 1 [mV] ~ 5 [V]
- Analog Signal Filtering : 3 ~ 100 [MHz]
- Sampling Rate : 50 [MSPS]
- Resolution : 8 bits
- Main Processor : TMS320VC33-150

그림 6은 부분방전 신호의 2차원 그래프로 부분방전 크기 및 개수의 그래프이며, 그림 7은 위상, 크기 및 개수를 나타내는 부분방전 신호의 3차원 그래프를 보여주고 있다^[8].

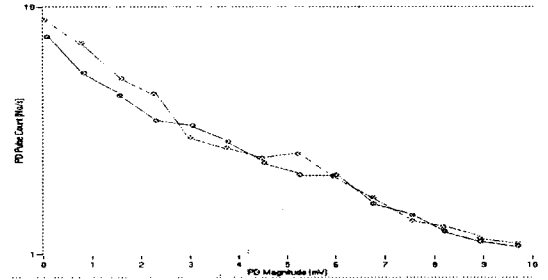


그림 6. 2차원 그래프 (부분방전 크기 및 개수)

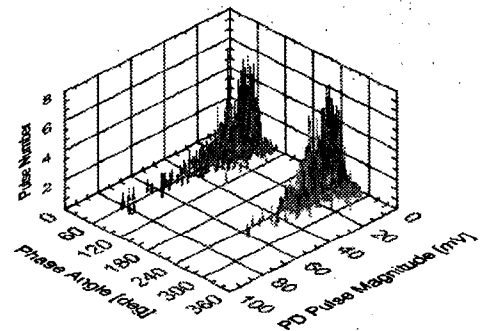


그림 7. 3차원 그래프 (위상, 크기, 개수)

2.3 실험실적 성능평가

본 연구에서 개발한 고압 전동기 고정자 권선의 활선 부분방전 모니터링 시스템의 성능평가를 위하여 그림 8과 같이 모의슬롯(화력발전기 및 고압 전동기 고정자 권선)을 구성하였다.

종래의 Partial Discharge Analyzer (PDA)와 Turbine Generator Analyzer (TGA) 등의 운전중 부분방전 측정기는 각 제품별로 정해진 일정한 주파수 성분의 부분방전만 측정하므로 측정 주파수 대역이 한정되어 있다. 또한, 이들 측정기는 일정한 진폭씩 단계적으로 측정하여 전체 진폭(크기)의 분포를 나타내므로 전원전압의 한 주기(1cycle)에 걸쳐 동시에 발생하는 부분방전의 위상과 크기의 분포는 나타내지 못한다.

이에 비해 전동기 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호를 자체 개발한 고속 A/D 변환방식으로 측정하여 전동기의 절연상태를 감시하는 Motor On-Line PD Detector는 부분방전의 연속적인 측

정이 가능하다. Motor On-Line PD Detector는 EMC 센서 등의 On-line 센서에서 측정된 부분방전 펄스를 전원의 한 주기에 대해 전체를 표시할 수 있다.

그림 9는 본 연구에서 개발한 Detector로 측정된 실제의 부분방전 파형을 나타내는 것으로서, 한 주기에 대해 부분방전 펄스를 연속적으로 측정이 가능함을 보여주고 있다.

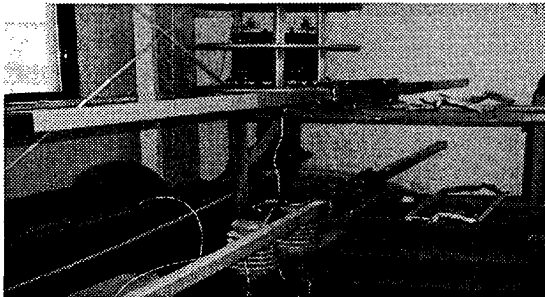


그림 8. 모의 슬롯의 형상

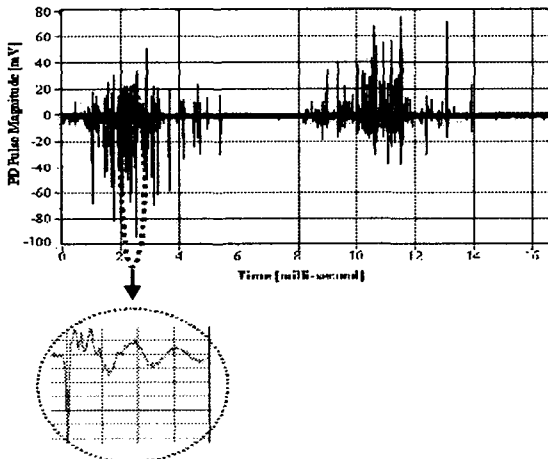


그림 9. 부분방전 측정 파형 (60 Hz 1주기)

3. 결 론

본 연구에서는 고압 전동기의 운전중에 고정자 권선에서 발생하는 부분방전 신호의 연속적인 측정에 의한 절연상태의 상시 감시를 위하여 기존의 펄스탐지 기법이나 Full A/D 변환 기법의 단점을 보완하여 새로운 운전중 부분방전 측정 시스템을 제안하였다. 개발된 Motor On-Line PD Detector는 고속 A/D 변환 보드를 자체 개발하여 저가의

시스템으로 고가의 A/D 변환기를 이용한 것과 거의 유사한 신뢰도로서 QM과 NQN 등의 부분방전 절연열화 진단 파라미터를 동시에 측정 및 분석할 수 있다. 본 연구에서 개발한 Motor On-Line PD Detector에 의하여 회전기 절연진단의 신뢰성과 정확성을 높일 수 있고, 발전기에 비해 비교적 저가인 전동기에도 적용이 가능하여 앞으로 전동기 On-Line 진단 시스템의 현장설치가 확대될 것으로 기대된다.

향후 보다 다양하고 신뢰성 있는 파라미터의 검출기능을 부가시킨 On-Line 진단 시스템으로의 상품화 개발을 추진할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] G.C. Stone and J.F. Kapler, "Stator Winding Monitoring", IEEE IA Magazine, Vol. 4, No. 5, pp. 15~20, 1998.
- [2] K. Itoh, et al., "Partial Discharge Detection for Turbine Generator in Operation", IEEJ, DEI-95-33, pp. 33~38, Feb, 1995.
- [3] 황돈하, 김진봉, 김용주, 박명수, 김택수, "수력 발전기 권선에서의 운전중 부분방전 측정기법", 대한전기학회 논문지, 제45권, 제2호, pp. 294~300, 1996. 2.
- [4] Y.J. Kim, D.H. Hwang, B.C. Shin, D.Y. Park, J.W. Kim, "Development of Continuous Partial Discharge Monitoring System for Generator Stator Insulations", Conference Record of the 2000 IEEE-ISEI, Anaheim, USA, pp. 5-8, April 2-5, 2000.
- [5] 황돈하, 신병철, 심우용, 박도영, 김용주, 송상옥, "고압 전동기 고정자 권선의 절연진단을 위한 운전중 부분방전 측정기법", 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집(C), pp. 1727~1729, 2001. 7. 18.-20.
- [6] 한국전기연구원, "고압 회전기 On-Line 감시기술 개발(최종보고서)", 과학기술부, 1998. 12.
- [7] 한국전기연구원, "발전소 고압 전동기 절연감시 시스템 개발", 전력연구원 수탁 연구과제 최종보고서, 2001. 7.
- [8] 황돈하, 심우용, 김용주, 송상옥, 주영호, "고압 전동기 고정자 권선의 상태진단을 위한 운전중 모니터링 시스템 개발", 2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집(C), pp. 1701 ~ 1703, 2002. 7. 10-12.