

# Support Vector Machine 기반 부분방전 진단 기법 개발

조현빈, 안재범, 홍석진 류홍제  
 중앙대학교

## Development of partial discharge diagnosis method based on Support Vector Machine

Hyun-Bin Jo , Jae-Beom Ahn, Seok-Jin Hong, Hong-Je Ryoo  
 Chung-Ang University

### ABSTRACT

In this paper, we describe the development of a diagnostic algorithm using SVM (Support Vector Machine) as a procedure for developing a diagnostic system based on partial discharge data acquired in a Online state. The partial discharge data obtained through the sensor (wedge type) inserted into the stator slot of the high voltage motor has specific failure information. When processing raw data for each type of acquisition and converting it into a digital signal, it is economical because it does not require high ADC sampling rate through data processing. In addition, in this paper, the classification accuracy of each kernel of multi-class SVM was analyzed, and a diagnostic algorithm developed for SVM performance was developed.

### 1. 서론

고압 전동기의 열화로 인해 기동 정지 현상이 나타나는 상황을 해결하기 위해 부분방전 진단장치가 연구되었다[1]-[3]. 절연 열화가 이루어진 고정자 권선은 단말 권선의 열화가 진행되는 경우가 빈번히 발생하며, 보이드, 박리 등의 부분방전 종류가 존재한다. 그리고 절연 열화가 가속되면 절연파괴가 발생한다. 대형 발전소에서 사용되는 고압 전동기의 절연파괴가 발생할 경우, 단기간 복구가 어려워 전력공급을 어렵게 만들며 이는 경제적인 손실을 야기시킨다.

고압 전동기의 정비는 상시로 이루어지지 않으며, 긴 주기의 정비 기간 사이에 실시되는데 긴 주기 사이에 발생하는 고장을 막기 어렵다. 전동기의 절연파괴의 대부분은 고정자 권선에서 발생하고 있으며 본 연구에서는 커패시터 슬롯 커플러를 6.6kV 정격 전동기의 고정자 슬롯에 직접 장착하여, 센서로 사용한다. 이 CSC (Capacitive Slot Coupler) 센서는 높은 SNR 비율을 갖고, 수백 MHz 대역의 신호의 검출이 가능하다.

본 논문에서는 부분방전 유형별 신호를 디지털 신호로 변환한 뒤 유형을 판정하기 위한 과정 중 제안하는 진단시스템 구조와 진단 방식 그리고 결과에 대해 기술한다. 유형 판정은 머신러닝 기법인 SVM을 활용한다.

### 2. 부분방전 진단 시스템

### 2.1 제안하는 부분방전 진단 시스템

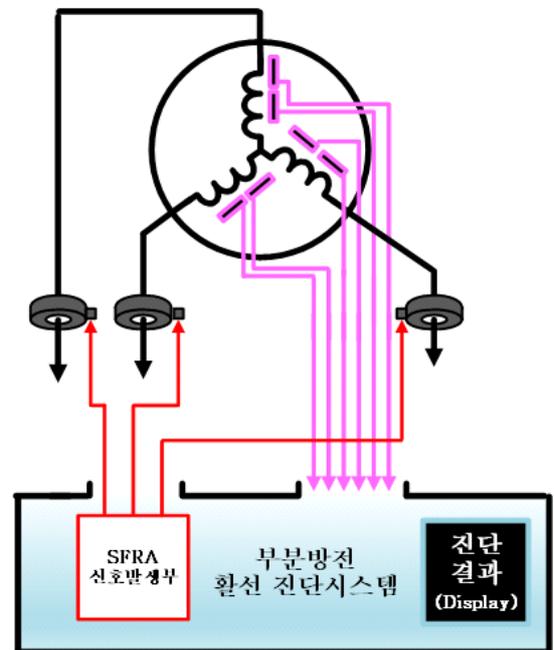


그림 1 제안하는 부분방전 활성진단시스템 구조  
 Fig. 1 Structure of proposed online partial discharge diagnosis system

그림1은 본 논문의 부분방전 진단 시스템의 다이어그램이다. 제안하는 시스템은 활성상태에서 부분방전을 판정하기 위하여 고정자 권선에 직접 연결되는 센싱부와 데이터를 처리 및 진단부로 구성된다. 6.6 kV 전동기 고정자의 열화 상태를 진단하기 위하여 연결되는 6개의 커패시터 슬롯 센서 CSC 는 SFRA 신호를 센싱한다.

SFRA 는 750 kHz - 1.5MHz 스윙 주파수 신호로, SFRA 신호 발생기로부터 CT를통해 3상 고정자 권선에 주입되고, 이는 CSC를 통해 센싱한다. CSC센서를 통해 입력받는 신호는 MHz 스케일의 주파수 신호이므로 해당 신호를 ADC 변환하기위한 장치 선정의 제약이 있으며, 이를 위해 본 구조에서는 아날로그 영역에서 MHz 스케일을 kHz 스케일로 변경하는 회로를 적용하여 250kHz sample rate 로 ADC 변환을 하였고, 6개의 다

중 채널을 입력받는다. 입력받은 신호는 디지털 필터링을 하며, SVM 분류를 위한 입력데이터 형식으로 자동변환된다. SVM을 통해 분류된 결과는 시스템 내부 디스플레이를 통해 조작자가 직접 확인 가능하도록 출력된다.

### 2.2 부분방전 진단을 위한 Multi-Class SVM

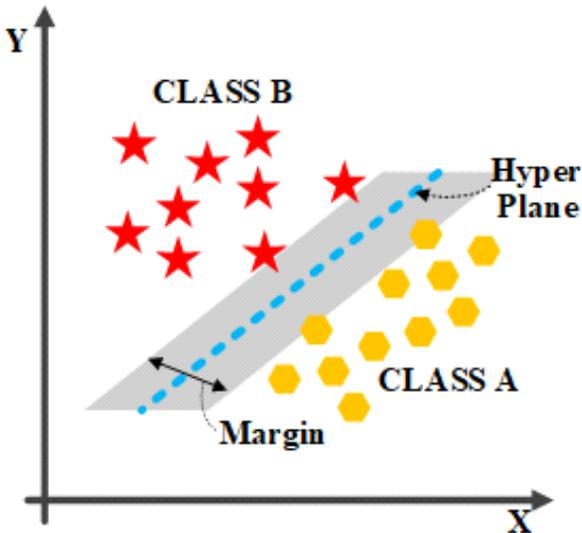


그림 2 2 클래스 선형 SVM 다이어그램  
Fig. 2 2-class linear SVM diagram

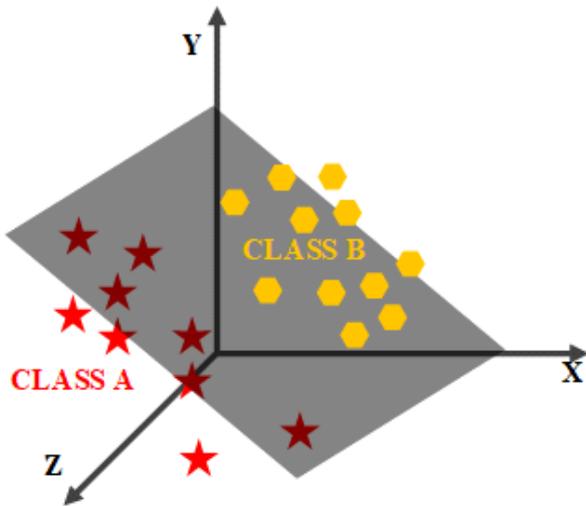


그림 3 SVM을 통한 2 클래스의 3차원 분리 다이어그램  
Fig. 3 Class Separation Diagram in three dimensions via SVM

SVM (Support Vector Machines) 은 일반적으로 두개의 유형을 구분하기위하여 마진을 최대화 하는 최적의 초평면 (Hyperplane)을 찾는 것을 목적으로 하며, 다양한 분포를 갖는 데이터 유형을 분류할 수 있는 기법으로, 우수한 분류 정확도를 갖는다. 그림 2는 두 개의 클래스 사이에 하이퍼플레인과 마진을 보여준다. 해당 그림은 선형 SVM 이나, 비선형 클래스의 경우 마진을 허용하는 비선형 SVM 방식이 적용된다. 또한 차원을 변경하여 비선형 클래스를 선형 분리가 가능하도록 하는 수단으로 커널이 사용된다. 커널의 종류로는 Polynomial

kernel, Sigmoid kernel, Radial basis function(RBF) kernel 이 있다. 그림 3은 3차원으로 변경하여 비선형 클래스를 선형 하이퍼 플레인으로 분리하는 모습을 보여준다. 3개 이상의 유형은 Multi-class SVM 으로 구분한다.

이 멀티 클래스 SVM의 경우 하나의 클래스와 나머지 클래스를 구분하는 One vs rest 방식을 사용한다. 본 시스템에서는 다중 클래스를 분류하는 해당 방식에서 초 평면을 설정할 때 파이썬의 사이킷 런 라이브러리에서 지원하는 Multi-class SVM 을 활용한다. 사이킷-런 방식에서 요구하는 SVM 입력 형식은 1열 ~ N-1 열 까지 Data 이며, 마지막 N 열은 Class 정보이다. 그리고 training data로 사용한 6개의 클래스를 test 에서 분류해낸다. 또한, 다중 차원으로 분류하기위하여 RBF 커널이 사용되고, RBF 커널은 감마 ( $\gamma$ ) 와 cost (c) 파라미터를 가지고 최적의 분류 정확도를 결정하며, 최종적으로 감마 0.01 cost 10에서 최적의 분류정확도 95.7%를 얻을 수 있었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 제안하는 부분방전 활성진단시스템의 구조와 적용하는 SVM 기법 그리고 RBF 커널의 최적 파라미터 선정을 통한 분류정확도 95.7%를 갖는 진단 정확도를 통해 진단시스템의 구현을 검증하였다.

본 연구는 2020년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원과 한국연구재단의 지원(No.NRF2020R1A2C2099663)을 받아 수행된 연구 과제입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] W. Koltunowicz, and R. Plath, " Synchronous multi-channel PD measurements," IEEE Transactions on Dielectrics and electrical Insulation, Vol. 15, No. 6, Dec. 2008, pp. 1715-1723
- [2] M. Kawada. 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309), 10.1109/PESW.2002.985270, (1482-1487), (2002).
- [3] H.G. Sedding, S.R. Campbell, G.C. Stone and G.S. Klempner, " A new sensor for detecting partial discharges in operating turbine generator," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol.6, no. 4, Dec. 1991, pp. 700-706.