

## 전력기기 열화 진단을 위한 부분방전 모의 및 측정 알고리즘 개발연구

(Investigation of Simulation and Measuring Algorithm of Partial Discharge for Diagnosis of Electric Machinery Deterioration)

장형택\* · 곽선근 · 신판석 · 김창업 · 정교범\*\*

(Hyeong-Taek Jang · Sun-Geun Kwack · Pan-Seok Shin · Chang-Eob Kim · Gyo-Bum Chung)

### Abstract

This paper proposes a new intelligent diagnosis equipment for the partial discharge, which keeps deteriorating the insulating materials inside electric machineries, ultimately leading to electrical breakdown. In order to simulate experimentally the partial discharge inside the electric machinery, the tip-to-plate, the sphere-to-plate, the sphere-to-sphere and the plate-to-plate electrodes are used respectively, of which the gaps are 1[mm], 3[mm] or 5[mm] and the applied voltages are 3[kV], 5[kV] or 7[kV]. Ceramic coupler sensor and FIR digital filter are used to measure the partial discharge and the artificial neural network is used for the deterioration diagnosis of the electric machinery. The microprocessor of PD diagnosis equipment is DSP (TMS320C6713) with FPGA (CycloneII). The results of the real-time and on-line experiments performed with the developed equipment are also explained.

Key Words : Electric Machinery, Mold Transformer, Partial Discharge, Artificial-Intelligent Diagnosis Method, Neural Network

### 1. 서 론

산업 발전 및 전기 냉난방 설비의 증가로 전력 사용량이 빠른 추세로 증가하고 있다. 그로인해 발전설비 및 변전설비는 대용량화되어가고 있으며, 에너지 절감

을 위한 전력설비의 고효율화 및 소형화가 병행하여 요구되고 있다. 전력설비의 대용량화에 따라서 전력설비의 운전장애가 산업전반에 미치는 영향이 크게 증가되고 있으며, 대용량 전력설비의 안정적인 운전을 위한 진단기술 개발 연구가 수행되고 있다.

대용량 전력설비 중에서 큰 비중을 차지하는 변압기는, 환경보전, 에너지 절약, 보수용이 및 화재에 대한 안전성 등의 이유로 유입변압기보다는 에폭시 수지 소재의 몰드변압기를 선호하는 추세이다. 전력용 변압기 내부에서 점진적으로 진행되는 절연체의 부분적

\* 주저자 : 홍익대학교 대학원 졸업(석사)  
\*\* 교신저자 : 홍익대학교 전자전기공학과 교수  
Tel : 041-860-2595, Fax : 041-863-7605  
E-mail : gbchung@hongik.ac.kr  
접수일자 : 2011년 5월 16일  
1차심사 : 2011년 5월 18일, 2차심사 : 2011년 6월 10일  
심사완료 : 2011년 6월 21일

인 소손이나 열화는 절연파괴로 이어져 운전장에 또는 고장을 초래하게 된다. 따라서 대표적인 전력기기인 유입변압기는 유증가스 분석법, 부분방전 진단기법, 초음파 진단법과 같은 안정적인 진단기법[1]과 진단기준[2-3]이 연구되어 있으나, 몰드변압기의 경우는 아직까지 육안점검, 온도관리, 소음관리와 같은 초보적인 점검에 의해서 진단하는 수준이다[4]. 또한 대용량 전력설비에 대한 진단기법들은 실시간 진단을 시행하기가 어렵고, 환경에 따라 급속도로 열화가 진행되는 경우에 대한 예측이 어려운 문제점이 있다.

본 논문은 전력기기의 열화상태의 실시간 진단의 신뢰성을 제고하기 위해서, 세라믹 커패시터 센서를 사용한 부분방전 신호 측정[5] 및 FIR 디지털 필터에 의한 신호처리를 수행하고, 인공지능망을 이용하여 진단을 수행하는, 지능형 진단기기를 제안한다. 전력기기의 열화에 의한 부분 방전 발생을 모의를 위해서, 침-구, 침-판, 판-판, 구-구 형태의 전극을 1[mm], 3[mm], 5[mm]의 거리별로 3[KVac], 5[KVac], 7[KVac]의 고전압을 인가하여 검출한 신호를 이용하여 인공지능망 학습을 위한 데이터베이스를 구축하고, FPGA(Cyclone II)와 DSP(TMS320C6713)를 탑재한 지능형 전력기기 열화 진단장치를 개발하여 본 논문에서 제안한 알고리즘을 검증한다.

## 2. 전력기기 고장의 원인 및 진단

### 2.1 전력기기 고장 원인

변압기, GIS, 전력케이블과 같은 전력기기는 열적, 전기적, 기계적 및 환경적 요인에 의해서 절연물의 절연내력이 저하되며, 장기간 사용할 경우 적절한 진단에 의해 유지 보수가 이루어지지 않는다면 절연 파괴와 같은 고장이 발생할 가능성이 높아진다[6]. 여러 전력기기 중에서 최근 수요가 증가하고 있는 대용량 몰드변압기는 과전류, 단락 전류 및 열 사이클이 발생하게 되면 줄(Joule) 열이 발생하게 되고 변압기 권선의 온도가 급격히 상승하여 에폭시의 화학적 변화, 크랙, 동선의 열화에 의해서 변압기의 고장으로 진행하게 된다[7]. 도시철도에 설치된 몰드변압기 고장 원인은

절연열화, 소손, 단락 등의 사고가 전체 고장의 50.4[%] 이상을 차지하였으며 서지 보호시설이 충분하지 못한 경우, 낙뢰와 같은 외뢰와 개폐서지 등의 내뢰에 의한 이상 전압이 에폭시를 열화시켜 절연내력이 저하되기도 한다.

### 2.2 전력기기 진단 기법

전력기기의 열화진단은 가스누출여부 검사, 초음파 신호 검출 및 부분방전신호 검출 등의 방법을 적용하여 수행할 수 있다. 대표적인 전력기기인 유입변압기는 유증가스 분석, 절연저항 측정, 유전정접 측정, 절연유 특성변화 측정과 같은 다양한 진단 기법이 연구되어 적용되고 있다. 몰드변압기의 경우는 절연저항 측정, 내전압 시험, 초음파 측정[8], 부분방전 측정[9-10] 등의 방법을 사용하여 열화상태를 진단하는 연구가 진행되고 있다.

부분방전 측정기법은 전력기기 절연물에 열화가 진행되어 절연내력이 약화되고, 절연내력 저감이 상당히 진행된 부분에서 발생하는 부분방전 신호를 측정하여 변압기의 절연 상태를 진단하는 방법이다. 다른 진단 기법에 비해 부분방전 진단 기법은 운전 중에 발생하는 부분방전 신호 검출을 통해서 실시간 진단이 가능하다는 점과 절연 파괴가 발생하는 초기 시점에서 측정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 노이즈가 많은 경우 노이즈를 제거한 부분방전 신호의 검출이 어렵다는 단점이 있어서 실제 현장 적용에 어려움이 있다.

부분방전을 측정하기 위한 방법으로는 세라믹커패시터, 로고스키 코일을 사용한 전기적 측정법, 용량성 안테나를 사용한 전자파 측정법, 초음파 센서를 사용한 음향 측정법 등이 있다[10]. 전자파 측정법은 노이즈와 밀폐된 기기 내부에서 발생하는 부분방전 측정이 어렵다는 단점이 있어서, 세라믹커패시터를 이용한 전기적 측정법과, 초음파센서를 이용한 음향 측정법이 주로 연구되어 왔다. 본 논문에서는 노이즈의 영향을 많이 받지만, 음향 측정법보다 감도가 예민한 세라믹 커패시터를 이용한 전기적 측정법을 채택하였다.

### 3. 부분방전 데이터 취득 및 진단 알고리즘

#### 3.1 부분방전 데이터 취득

본 논문은 전력기기 내부에서 발생한 부분방전 신호의 측정을 위해 세라믹 커플러를 사용하고, 유한 임펄스 응답 디지털 필터를 이용하여 노이즈와 고주파 부분방전 신호를 분리하였다.

유한임펄스응답(FIR) 디지털필터는, 무한임펄스응답(IIR) 디지털필터와 비교하여 응답대역의 가장자리 부근에서 선형적 위상 응답을 갖고, 검출신호 위상에 왜곡이 발생하지 않는다. 그러나 급격한 천이영역을 갖기 위해서, IIR 디지털필터보다 많은 계수를 요구한다. 식 (1)은 FIR 디지털필터를 나타낸 수식이다[11].

$$y(nT) = \sum_{k=0}^M a_k x(nT - kT) \quad (1)$$

여기서 T는 표본화 주기, x(nT)는 표본화된 입력신호, y(nT)는 출력신호, ak는 필터의 임펄스 응답 계수이고, M은 필터계수의 갯수이다. 현재 및 과거의 입력 x(nT-kT)만으로 현재의 출력 y(nT)를 계산하는 것으로 임펄스 응답 h(nT)는 식 (2)와 같다.

$$h(nT) = \begin{cases} a_n, & 0 \leq n \leq M \\ 0, & M < n \end{cases} \quad (2)$$

그리고 식 (2)를 z 변환한 H(z)는 식 (3)과 같다.

$$H(z) = \sum_{n=0}^M a_n z^{-n} = \sum_{n=0}^M h(nT) z^{-n} \quad (3)$$

진달 함수의 계수는 창함수 방법, 최적화 방법, 주파수 표본화 방법 등을 이용하여 결정할 수 있으며, 본 논문에서는 창함수 방법 중에서 해밍창 함수를 사용하였다. 122.88[kHz]의 샘플링 주파수(fs)와 500[Hz]의 천이폭(Δf)을 사용하여 정규화된 천이폭(ΔF)은 식 (4-1)에 의해 0.00407이며 해밍창의 정규화된 천이폭과 필터길이의 상관관계인 식 (4-2)에 의해 816개의

계수로 구성된 필터를 사용하였다.

$$\Delta F = \Delta f / f_s \quad (4-1)$$

$$\Delta F = 3.32 / N \quad (4-2)$$

해밍창을 구성하기 위한 해밍창 함수 ω(n)은 식 (5)와 같으며 통과 대역 차단 주파수를 1[kHz]로 하여 816개의 해밍창 계수를 연산한 결과는 그림 1과 같다.

$$\omega(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (5)$$

그림 2는 세라믹 커플러 출력전압을 오실로스코프를 사용하여 측정한 부분방전 신호이며, FIR 디지털 필터를 적용하여 고주파성분만을 추출하여 출력한 결과는 그림 3과 같다.

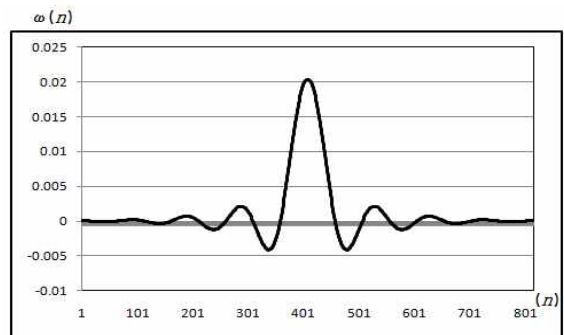


그림 1. 816개 계수를 갖는 해밍창 함수의 계수 특성  
Fig. 1. Hamming Window with 816 Coefficients

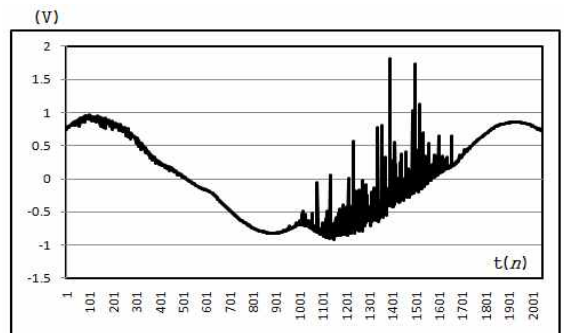


그림 2. 부분방전 발생시의 세라믹커플러 출력 파형  
Fig. 2. Ceramic Coupler Output of Partial Discharge

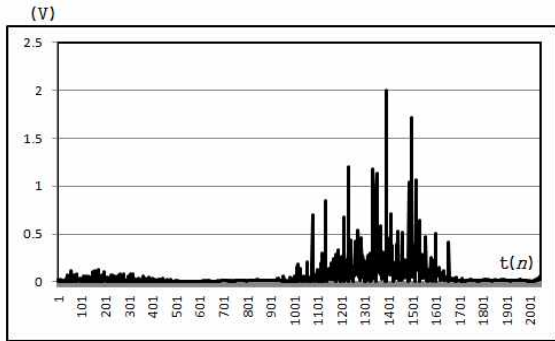


그림 3. FIR 필터의 출력파형  
Fig. 3. Output of FIR Filter

### 3.2 부분방전 진단 알고리즘

세라믹커플러 센서를 이용하여 측정된 노이즈 성분이 포함된 검출신호로부터 부분방전의 발생여부를 판정하는 방법으로, 인공신경망을 이용하는 지능형 진단 기법의 신뢰성은 여러 논문을 통해 검증되었다 [12-13]. 본 논문은 부분방전 진단을 위해서 입력 벡터와 가중치를 연산한 값의 합이 전달함수를 통하여 출력되는 퍼셉트론이 다층으로 구성되어 있는 지도학습 계열의 다층퍼셉트론 이론을 채택하여 인공신경망을 구성하였다.

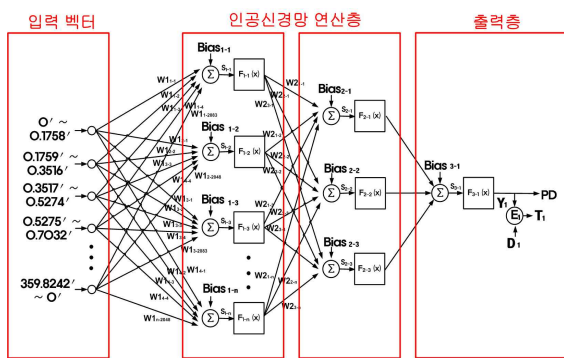


그림 4. 본 논문에서 사용한 인공신경망 구조  
Fig. 4. The Proposed Artificial Neural Network Structure

인공신경망은 복잡한 문제를 학습을 통해 각각의 입력벡터들 사이의 연결강도를 조절하여 일련의 출력을 도출하므로 입력벡터로 사용될 특성 요소를 선정

하는 것이 인공신경망의 성능을 좌우하는 핵심 사항이다[14-16]. 본 논문에서는 부분방전의 발생확률을 정량화하기 위해서 그림 4와 같이 입력층, 2개의 은닉층 및 출력층으로 구성된 인공신경망을 사용하였다. 기본파신호의 위상각 0~360[°] 영역을 2048간격(8.14 [μs])으로 나누고, 각 영역에서의 검출된 신호의 크기를 정량화함으로써, 검출신호의 크기 및 위상특성을 인공신경망 학습을 위한 입력벡터로 사용하였다. 또한, 본 신경망의 학습과정과 활용은 5.3절에서 기술하였다.

### 4. 지능형 열화 진단장치

본 논문에서는, 전력기 내부에서 발생하는 부분방전 신호를 검출하고 인공신경망을 이용하여 지능형 진단을 수행하는 DSP (TMS320C6713)와 FPGA (Cyclone II) 를 탑재한 진단장치를 개발하였다.

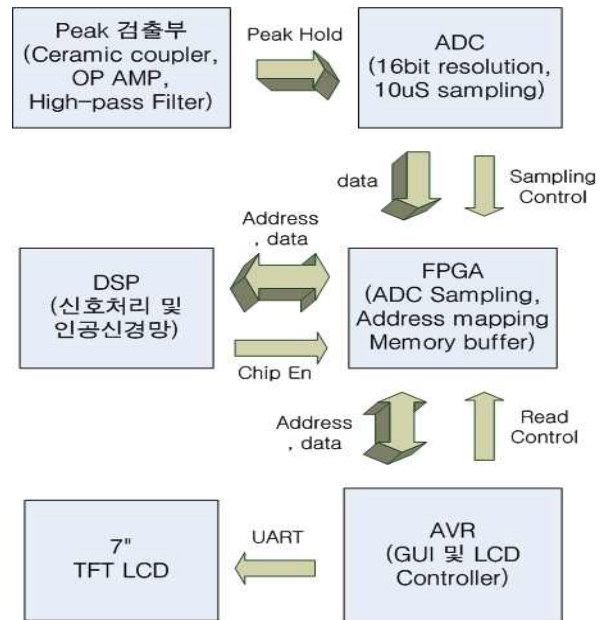


그림 5. 지능형 전력기 진단장치의 구성  
Fig. 5. Configuration of Intelligent Diagnosis Equipment for Electric Machinery

그림 5는 진단장치의 구성도이다. 부분방전 신호측정을 위한 아날로그 입력부(Peak검출부), A/D 컨버

터, A/D 컨버터제어, LCD 데이터 인터페이스를 위한 FPGA, 인공신경망을 수행하기 위한 DSP, 7인치 LCD 출력을 위한 Display로 구성되어 있다. 아날로그 입력부의 Peak 검출회로는 샘플링 포인트 사이에서 발생했다가 사라지는 신호의 검출을 가능하게 한다. A/D 컨버터는 BURR-BROWN사의 ADS7805로,  $\pm 10[V]$  입력범위에서  $8[\mu s]$ 의 샘플링 속도 및 16[bit] 양자화 성능 특성을 갖는다.

ALTERA사의 EP2C5Q208이 사용된 FPGA부의 역할은 내부에 메모리를 구성하고 A/D 컨버터부를 제어하여 부분방전 신호를 샘플링하여 저장하는 역할과 저장된 데이터를 DSP 및 AVR에 인터페이스하는 역할, DSP 및 AVR사이의 어드레스 맵핑을 해주는 역할을 담당한다.

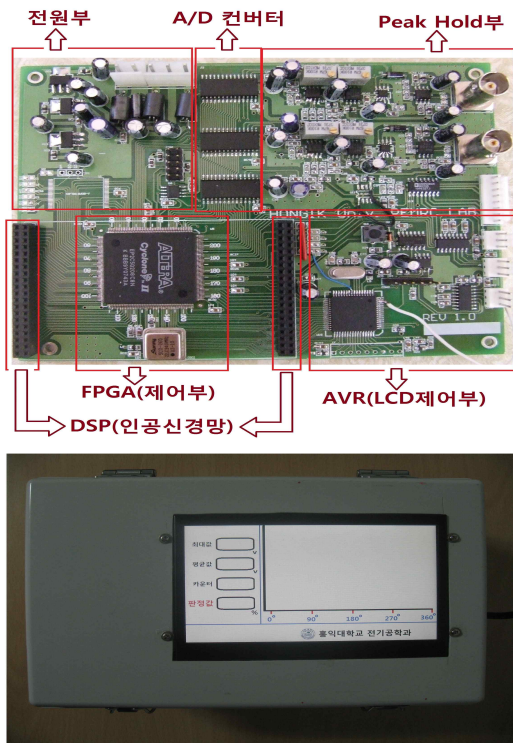


그림 6. 개발된 지능형 진단장치  
Fig. 6. Developed Intelligent Diagnosis Equipment

DSP모듈은 ND-Tech사의 PM6713을 사용하여 인공신경망의 연산처리를 수행하며, 모듈 내부에는 TI사

의 300[MHz] Floating point DSP인 TMS320C6713과, 1M-byte Flash 메모리, 32M-byte SDRAM이 내장되어 있다. 7인치 LCD모듈은 진영콘택사의 DSTAR70 터치모델로, 해상도는  $800 \times 480$ 이고, Atmega128을 사용하여 8bit parallel방식으로 제어하였다. 그림 6은 개발된 지능형 진단장치의 내부회로 및 외관의 사진이다.

## 5. 실험

### 5.1 실험장치 구성

본 논문에서 제시한 진단기법 및 제작한 진단장치의 성능을 평가하기 위해서, 그림 7과 같이 부분방전 모의 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 입력전압 240[Vac], 최대출력전압 100[kVac]의 고전압발생장치, LeCroy 500[MHz] 디지털 오실로스코프 6050[A], LeCroy PMK-14[kVac] 고압프로브, 정전용량 100~150[pF], 내전압 30[kVac], 주파수 대역 10~50[MHz]의 세라믹커패시터 및 금속전극으로 구성되었다.

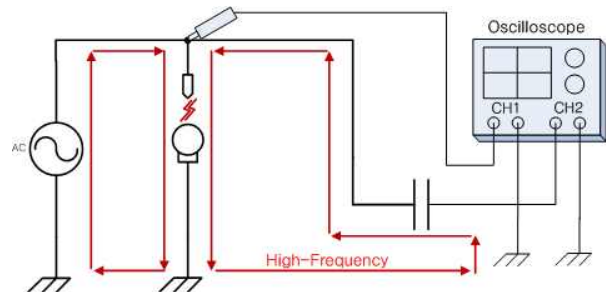


그림 7. 부분방전 측정을 위한 실험장치 결선도  
Fig. 7. Wiring Diagram of Experimental Set for Partial Discharge Measurement

금속전극은 전력기기 내부에서 발생하는 여러 형태의 부분방전을 모의하며, 그림 8과 같이 침-구, 침-판, 구-구, 판-판 형태의 조합으로 구성된다.

전극은 높이 24.5[cm], 폭 16[cm], 깊이 12[cm] 부도체 내부에 설치하였으며, 침은 끝직경 2[mm], 높이 4[mm], 밑변직경 6[mm]의 원추형이며, 구전극의 직경은 4[cm], 판전극은 두께 1[cm], 가로 8[cm], 세로 8[cm]이다.

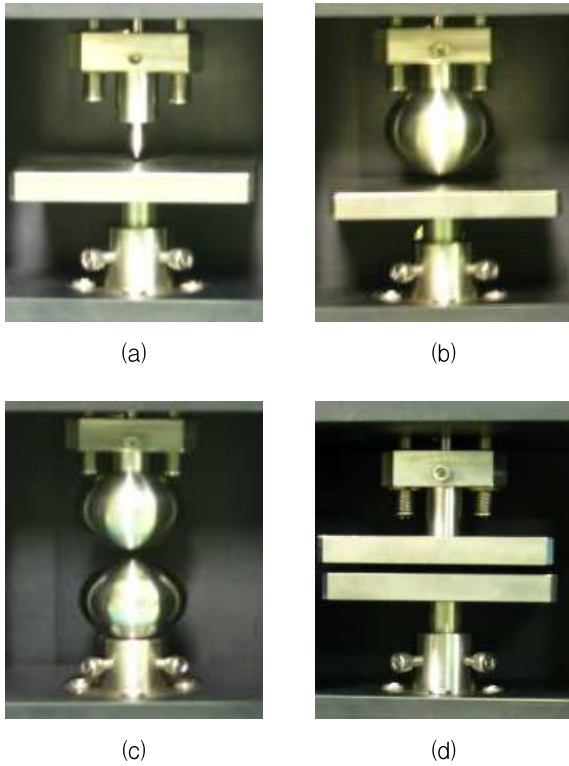


그림 8. 전극 구성 (a) 침-판, (b) 구-판, (c) 구-구, (d) 판-판  
 Fig. 8. Electrode Configuration (a) tip-to-plate, (b) sphere-to-plate, (c) sphere-to-sphere, (d) plate-to-plate electrodes

전극간격을 1[mm], 3[mm], 5[mm]거리로 조절하고, 인가전압은 3[KVac], 5[KVac], 7[KVac] 로 조절하였으며, 7[KVac]이상의 전압을 인가한 경우에는 절연 파괴 현상이 발생하였다. 전극간의 부분방전은 공기 중에서 발생하기 때문에 온도와 습도의 영향을 받을 수 있으며, 실험은 온도 19.5[°], 습도 21.3[%]에서 진행하였다. 부분방전신호 검출을 위한 세라믹 커플러 센서는 용량 100~150pF, 내전압 30[kVrms] 이상, 주파수 대역은 10~50MHz의 특성을 갖는다.

그림 9는 1[mm]간격의 침-판 형태의 전극에 3[KVac]의 고전압을 인가하여 1000:1의 고압 프로브와 세라믹 커플러를 오실로스코프에 연결하여 측정된 파형이다. 인가된 고전압의 0~90[°] 및 180~270[°] 위상각 범위에 고주파 신호가 밀집하여 부분방전이 발생하였음을 확인할 수 있다.

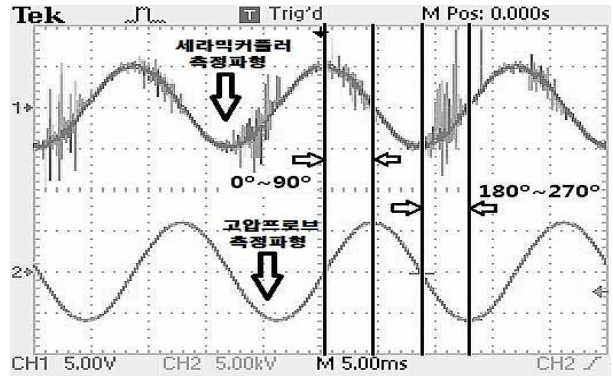


그림 9. 세라믹커플러와 고압프로브를 이용한 측정파형  
 Fig. 9. Waveform measured by Ceramic Coupler and High Voltage Probe.

### 5.2 부분방전의 파형의 특징

각 형태의 전극조합에 대해서 부분방전을 모의하였으며, 그림 10은 세라믹커플러를 사용하여 검출한 신호를 유한임펄스응답 디지털필터를 사용하여 고주파 성분을 검출한 결과 파형이다.

그림 10 (a)는 침-판 전극의 조합의 경우, 전극 간격 [mm]일 때 5[KVac], 7[KVac]를 인가하면 완전방전현상이 발생한다. 또한 7[KVac]를 전압을 인가하면 3[mm], 5[mm]의 전극간격에서 방전현상이 발생하여 본 연구에는 적용할 수 없는 조건이다. 그림 10 (b), 그림 10 (c), 그림 10 (d)는 각각 구-판, 구-구, 판-판 형태의 전극조합의 경우에 부분방전이 검출된 경우의 파형이다. 모든 실험조건에서 1[mm]의 작은 전극 간격에서는 5[KVac], 7[KVac]의 전압을 인가하면 완전 방전현상이 발생하였다. 부분방전이 모의된 경우에는, 고주파성분이 인가전압의 위상각 140~270[°] 영역에 주로 분포되어 있음을 확인하였다.

### 5.3 개발 장비를 이용한 측정 및 진단

침-판, 구-판, 구-구, 판-판 형태의 금속전극, 1[mm], 3[mm], 5[mm]의 전극간격, 3[KVac], 5[KVac], 7[KVac]의 인가 전압의 조합에서 측정된 부분방전 신호를 이용하여 36개의 데이터베이스를 구축하여 인공지능망 학습에 사용하였다.

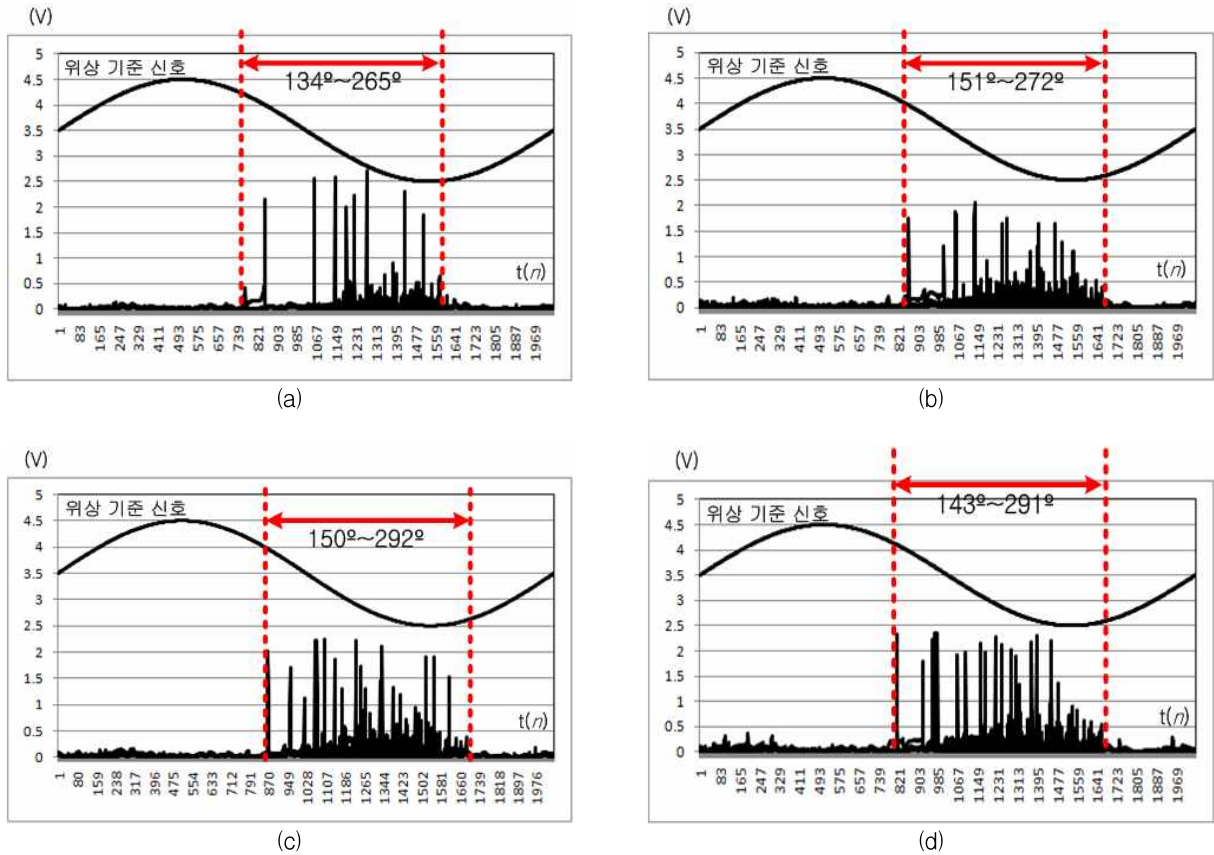


그림 10. 부분방전 모의 실험에서 검출된 고주파 성분과 기본파성분 (a) 침-판, (b) 구-판, (c) 구-구, (d) 판-판  
 Fig. 10. High-Frequency and Fundamental Components from Hardware Simulation of Partial Discharge.  
 (a) Tip-Plate, (b) Sphere-Plate, (c) Sphere-Sphere, (d) Plate-Plate.

절연과피에 해당하는 방전과형을 제외한 25개의 부분방전 데이터를 이용하여 인공신경망 학습과정에서 얻어진 학습에러의 변화는 그림 11과 같다. 총 1326번의 반복학습을 진행한 결과 25개 데이터의 에러 합은 0.1 미만이 된다. 학습이 완료된 가중치를 적용한 인공신경망을 탑재한 지능형 진단기기를 사용하여 침-판 형태의 전극을 3[mm]거리를 두고 5[KV]의 전압을 인가하였을 때, 진단기기의 출력화면은 그림 12와 같다. 한주기의 신호를 측정하여 주기내의 최대값, 평균값, 평균값의 10배 이상의 펄스형 신호를 검출한 횟수, 부분방전의 진단결과 및 고주파 파형을 LCD화면에 출력하였다. 진단결과는 백분율 값으로 표시되며, 고주파 성분은 기본파의 위상각을 기준으로 하여 검출된 위상에 표시하여, 기기 사용자의 경험에 의한 판단이

가능하도록 하였다.

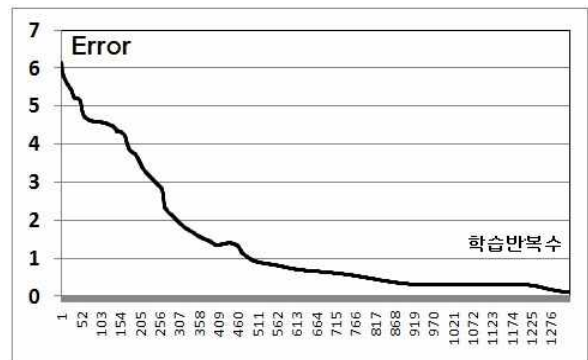


그림 11. 인공신경망의 학습에러 변화  
 Fig. 11. Learning Error Change of Artificial Neural Network

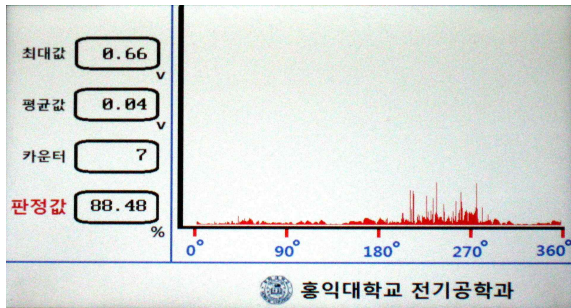


그림 12. 판-침 전극, 3[mm] 전극간격, 5[KV] 인가 전압의 진단장비 화면출력  
Fig. 12. LCD Display of Developed Equipment with Tip-Plate Electrode, 3[mm] Electrode Gap, 5[KVAc]

표 1~4는 전극형태, 인가전압 및 전극간격을 조절 하였을 때, 개발한 진단장비의 판정값이다. 표 1~4의 괄호값은 학습과정에서 부분방전 신호의 크기에 따라 부분방전 판정에 사용된 목표값이다.

표 1. 구-구 전극의 인공지능망을 이용한 판정값  
Table 1. Diagnosis Results of ANN in Sphere-Sphere Electrode Case

구-구	3[KVAc]	5[KVAc]	7[KVAc]
1[mm]	X	X	X
3[mm]	73.29(70)[%]	82.12(80)[%]	88.95(90)[%]
5[mm]	64.75(60)[%]	66.34(70)[%]	79.67(80)[%]

표 2. 판-구 전극의 인공지능망을 이용한 판정값  
Table 2. Diagnosis Results of ANN in Plate-Sphere Electrode Case

판-구	3[KVAc]	5[KVAc]	7[KVAc]
1[mm]	89.71(80)[%]	X	X
3[mm]	71.04(70)[%]	80.69(80)[%]	88.74(90)[%]
5[mm]	45.48(60)[%]	67.58(70)[%]	88.50(80)[%]

표 3. 판-침 전극의 인공지능망을 이용한 판정값  
Table 3. Diagnosis Results of ANN in Plate-Tip Electrode Case

판-침	3[KVAc]	5[KVAc]	7[KVAc]
1[mm]	82.86(80)[%]	X	X
3[mm]	71.84(70)[%]	88.48(80)[%]	X
5[mm]	60.51(60)[%]	69.87(70)[%]	X

표 4. 판-판 전극의 인공지능망을 이용한 판정값  
Table 4. Diagnosis Results of ANN in Plate-Plate Electrode Case

판-판	3[KVAc]	5[KVAc]	7[KVAc]
1[mm]	77.92(80)[%]	X	X
3[mm]	72.77(70)[%]	80.33(80)[%]	89.52(90)[%]
5[mm]	55.66(60)[%]	65.12(70)[%]	79.84(80)[%]

전극에 인가전압을 일정하게 유지하고 전극 간격이 멀어지면 부분방전의 판정값이 작아지고, 전극간격이 일정하게 유지하고 인가전압을 증가시키면 판정값이 증가한다. 학습을 끝낸 인공지능망을 이용한 지능형 진단장비의 판정값은 정상적인 신호를 인가하였을 때는 5[%] 미만의 진단값을 출력하며, 부분방전의 크기에 따라 최소 45[%]에서 최대 90[%]까지 진단결과를 출력하였다.

## 6. 결 론

본 연구는, 전력기기의 절연과피 상태의 진단을 위해서 부분 방전 신호의 검출과 지능형 인공지능망을 이용하는 방법을 적용한 On-line 지능형 진단기기 개발을 수행하였다. 부분방전 모의를 위한 전극형상은 침-판, 구-판, 구-구 및 판-판 전극으로 구성하였고, 전극간격과 인가전압을 조절한 36개 조건에 대한 부분방전 신호를 세라믹 커플러 센서 및 유한 임펄스 응답 디지털 필터를 이용한 신호처리의 결과는 인공지능망 학습에 사용하였다. 그리고 FPGA(Cyclone II)와 DSP(TMS320C6713)를 이용하여 개발된 부분방전 진단장치의 성능은 본 논문에서 기술된 모의실험을 통해 검증되었다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2008-32)주관으로 수행된 과제임.



References

- [1] 유철로 “유입변압기의 열화현상과 열화진단방법에 대하여” 고경력과학기술인 자료.
- [2] 권동진, 구교선, 광주식, 우정욱, 강연웅 “전력용 변압기 예방진단시스템의 진단기준치 설정” 대한전기학회 Vol 54A, No 9. pp 449~456. SEP 2005.
- [3] 선종호, 김광화 “유중가스분석에 의한 변압기 이상 진단법 기술 동향” 대한전기학회, 전기의 세계, 제 52권 제 12호 2003,12. pp35~41.
- [4] 김도윤, 정호성, 박영, 한석윤, 이상빈 “도시철도용 몰드 변압기 상태감시를 위한 사례조사 연구”한국철도학회 2008년도 추계학술대회 논문집 2008,11 pp235~240.
- [5] 오봉근, 김현일, 강성화, 임기조 “세라믹 커패시터를 이용한 고전압회전기 고정자권선의 on-line 및 off-line 부분방전 특성 시험 및 분석” Journal of the Korea institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.20, No.10 pp.895~900 October 2007.
- [6] 전영갑, 선종호 “전력용 변압기의 열화진단 시험기술” 대한전기학회 Vol 38, No 11. pp 21~33. 11월 1989년.
- [7] 최원호, 김재철 “몰드변압기의 소음 원인 분석” 한국동력 기계공학회지 제 4권 제 4호 pp 59~64. 11월 2000년.
- [8] E. Howells, E. T. Norton “DETECTION OF PARTIAL DISCHARGES IN TRANSFORMERS USING ACOUSTIC EMISSION TECHNIQUES” IEEE Transformers on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97 No 5, Sept/Oct 1978.
- [9] 강동식, 선종호, 조국희, 이상민, 윤영호, 이동준, 어수영, 김준현, 최교남 “몰드변압기용 부분방전 측정 센서 및 시스템 개발” 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회 논문집 pp 99~102 11월 2005년.
- [10] 박찬용, 김성욱, 최재성, 박대원, 길경석 “몰드변압기에서 부분방전 검출방법의 비교분석” 한국조명전기설비학회 추계학술대회 논문집 pp 301~306 10년 2008년.
- [11] 하영호 “디지털 신호처리” 도서출판 그린, 2009년.
- [12] 이준호, 이진우 “부분방전 패턴의 인식” 한국조명전기설비학회 제14권 제2호 2000,3 pp 8~17.
- [13] 이호근, 김정태, “부분방전 패턴인식기법으로서의 Neural Network 알고리즘 비교 분석” 대한전기학회 전기설비전문위원회 추계학술대회 논문집 2004.5, pp. 109~112(4pages).
- [14] 정술 “신경회로망의 구조 및 사용법” 충남대학교 출판부, Aug. 2004.
- [15] Sun-Geun Kwack, Gyo-Bum Chung, Jaeho Choi, Ginkyu Choi, “Development of Artificial-Intelligent Power Quality Diagnosis Equipment for Single-Phase Power System”, Proceedings of 2nd IEEE International Conference on PECon., pp 351-356, Dec. 1-3, 2008.
- [16] 정교범, 광선근, “DSP를 이용한 인공지능형 전력품질 진단기법 연구” 조명설비학회논문지 Vol 23. No 1. pp 116~124. Jan., 2009.

◆ 저자소개 ◆



**장형택**(張亨宅)

1982년 3월 16일생. 2009년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2011년 동대학원 전기공학과 석사 졸업.



**곽선근**(郭善根)

1977년 4월 22일생. 2005년 학점은행제 정보통신공학과 졸업. 2009년 홍익대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 2004~2006년 (주)피에스디테크 근무. 2006~2008년 MicroPower 부설연구소 근무. 2009년~현재 (주)COMMAX 부설연구소 근무.



**신판석**(申判錫)

1953년생. 1977년 서울대학교 공과대학 졸업. 1986년 R.P.I. 전기공학 졸업(석사). 1989년 R.P.I. 전기공학 졸업(박사). 1980~1993년 한국전기연구원 선임연구원. 1993~현재 홍익대학교 전기공학과 교수.



**김창엽**(金昌業)

1960년 1월 1일생. 1983년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1990년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1983~1997년 (주)효성중공업기술연구소 책임연구원. 2000~2001년 Southampton

University. 2009~2010년 Duke University Visiting Scholar. 1997년~현재 호서대학교 전기공학과 교수.



**정교범**(鄭教範)

1959년생. 1983년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 Univ. of Florida(박사). 1992~1993년 Virginia Tech(Post Doc.). 1993~1995년 한국전기연구원 선임연구원. 2003년 Univ. of

Florida 방문교수. 1995년~현재 홍익대학교 전자전기공학과 교수.