

# 장시간 절연체 열화실험을 위한 부분방전 측정기술 연구

論 文

49C - 12 - 3

## A Study on the Technology Measuring Partial Discharge for Long Term Aging Experiments of Insulation Materials

宣鍾好\* · 金光和\*\* · 朴正后\*\*\* · 曹正守\*\*\*

(Jong-Ho Sun · Kwang-Hwa Kim · Jung-Hoo Park · Jung-Soo Cho)

**Abstract** - This paper described the measurement technology to analyze the partial discharge characteristics for long term aging of insulations. This system was consisted of high voltage generation and measurement part, PD detection part, digital conversion and signal processing part. We used the VXI system for digital conversion and signal processing part. In the digital conversion part, we studied the error of partial discharge magnitude and memory capacity for reading digital signal with the sampling rate. In the signal processing part, we showed the program algorithm to count pulses and read peak values of partial discharge. The allowable minimum sampling rate of digizer was decided to 250kS/s through analyzing tests. We confirmed that this system was very useful in the study of  $\phi-q-n$  characteristics of long term PD experiments with specimens being consisted of internal void defects and CIGRE II electrodes.

**Key Words** : Partial discharge,  $\phi-q-n$ , VXI system, Digital measurement, Aging, Ensulation,

### 1. 서론

현재 부분방전측정에 사용되고 있는 일반적인 부분방전 측정시스템은 대부분이 아날로그 측정시스템으로써 검출된 펄스를 일정 주파수대역의 방전펄스형태로 변형한 후 인가전압 파형과 함께 CRT에 나타내거나 지시계로 지시하여 펄스의 분포형태 및 그 크기 등을 측정하도록 되어 있다. 부분방전 측정법중 부분방전펄스와 펄스가 발생한 인가전압 위상과의 상관관계를 나타내는 위상분해측정법은 절연체의 물리적 특성을 잘 반영하고, 그 분포모양은 결합의 형태와 밀접한 관계를 가진다는 것이 알려지면서[1] 부분방전 측정법에서도 인가전압 파형상에서의 펄스분포형태의 유형분류를 이용하여 방전유형 및 결합형태를 해석한 연구가 보고되었고[2] 이러한 연구결과는 대표적인 방전유형의 구분은 가능하지만 아날로그 측정법상 위상과 펄스크기의 상관관계에 대한 정량화가 불가능하여 구체적이고 세부적인 방전인식은 어렵다. 그러나 1980년경 디지털 부분방전측정기술의 도입으로 위상분해 측정법에 따른  $\phi-q-n$ 의 정량화가 가능한 방전인식연구는 비약적으로 발전가능하게 되었다[3].

한편 전력기기의 고전압 대응량화로 고장에 대한 파급효과가 증대되면서 고장예방 및 수명예측에 적합한 부분방전측정과 평가에서 높은 기술수준을 요구하고 있다. 이에 따라 측정방식의 디지털화 및 신호처리 기술개발이 필요하고 장기 열화 평가를 위한 절연특성변화와 부분방전의

$\phi-q-n$ 분포 특성과의 상관관계 규명이 효과적인 것으로 보고되고 있다[4][5]. 실제 이러한 부분방전관련 연구는 기존의 아날로그 부분방전시스템으로는 불가능할 뿐만 아니라, 디지털 부분방전 측정시스템에서 절연체의 장기 열화실험에 측정의 효율성과 신뢰성 유지에 어려움이 많다.

본 연구에서는 절연체를 부분방전에 의하여 장기적으로 열화실험을 하기 위한 디지털 부분방전 측정시스템 구축에 관하여 기술하였다. 측정결과와 디지털처리에 측정오차와 신호처리시간을 고려하여 허용가능한 샘플링조건과 결정과 부분방전량 및 펄스수를 결정하는 프로그램의 알고리즘에 대하여 기술하였고 CIGRE II 전극형태로써 모의한 내부 부분방전 열화실험을 실시하여 본 부분방전 측정기술의 적합성과 신뢰성 및 유용성을 고찰하였다.

### 2. 디지털 부분방전 측정시스템의 구축

#### 2.1 부분방전 측정시스템

부분방전이 절연체에 유해한 현상이라는 점이 인식되면서 1900년대 초부터 부분방전을 측정하기 위한 여러 가지 계측법이 시도되어 왔다. 1920년 Germant와 Dawes 등은 브릿지를 이용하여 방전개시전압을 결정하였으나 감도는 매우 낮은 것으로 알려져 있다. 1927년 Lloyd와 Starr는 초기형태의 브라운관을 사용하여 송전선의 코로나방전에 의한 손실을 측정하였고 1932년 Germant와 Von Philippoff는 펄스형방전을 처음으로 오실로스코프를 사용하여 측정하였다. 오실로스코프의 사용과 더불어 Illinois 대학의 Tykociner 등에 의해서 개발된 RLC형 코로나 검출기술은 더 높은 감도의 펄스 측정을 가능하게 하였으며 RLC 공진형 검출회로는 빠른

\* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 新電力機器研究그룹 先任研究員

\*\* 正 會 員 : 韓國電氣研究所 新電力機器研究그룹 責任研究員 · 工博

\*\*\* 正 會 員 : 釜山大 工大 電子電氣通信工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2000年 2月 10日

最終完了 : 2000年 11月 5日

속도로 발전되고 개선되어 현재 IEC 270에서 규정하고 있는 3가지의 기본적인 형태로 전개 되었다[6]. 3가지의 기본적인 측정법은 회로구성에서 차이를 보이고 있지만 회로를 구성하고 있는 요소는 blocking 임피던스, 결합콘덴서, 측정용 임피던스, 부분방전 검출기 등으로 되어 있으며, 부분방전 검출기는 아날로그 방식을 사용하고 있다[7].

최근에는 전자산업의 급속한 발전과 더불어 펄스계측기술도 고도화되어 기존의 고전적인 아날로그 부분방전측정에 디지털측정기술을 부가함으로써 수 많은 방전펄스의 통계적인 데이터 처리를 이용하는 연구가 가능하게 되었으며, Hozumi 등은 신경망 알고리즘을 적용하여 결합종류에 따른  $\phi-q-n$  분포패턴을 인식하는 연구를 수행하였고[8], Gulsky 등은 각 방전통계량들의 finger print로 방전을 인식하는 연구를 수행하였다[9]. 이러한 디지털 기술의 적용은 부분방전 측정과 분석 평가기술을 비약적으로 발전시키게 되었다.

## 2.2 디지털 부분방전 측정시스템의 구축

절연체가 장기적으로 부분방전에 노출되어 있으면 절연체는 여러 단계의 열화과정을 거치면서 최종적으로 절연파괴를 일으킨다. 이러한 열화과정에서 결합의 형태 및 열화 정도에 따라서  $\phi-q-n$ 분포 특성이 달라지게 되며,  $\phi-q-n$ 분포 변화특성의 도출은 절연체의 상태분석이 가능한 것으로 보고되었다[5]. 이와 같이 열화에 따른  $\phi-q-n$ 분포 특성을 도출하기 위한 장시간의 실험에서는 요구되는 시간마다 반복회수만큼 자동으로 부분방전을 측정하고 측정데이터는 파일에 저장되어 필요한 시기에 분석 평가할 수 있는 부분방전 측정기술이 필요하며, 실험결과의 처리에서는 효율성과 신뢰성유지가 중요하다.

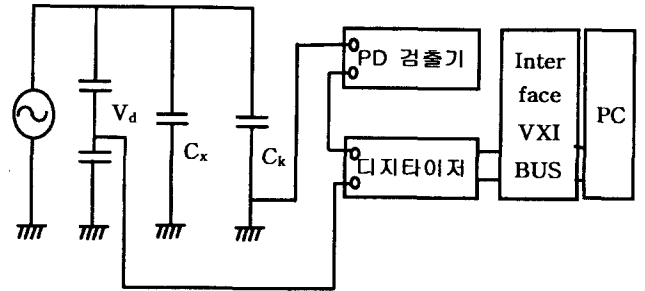
그림 1은 이러한 개념에서 구축된 본 부분방전측정시스템의 구성도를 보여주고 있다. 이 그림에서 시험용 변압기와 분압기, 결합콘덴서는 교류 50kV까지 자체에서 부분방전이 발생하지 않으며, 분압기의 분압비는 2000:1이고 결합콘덴서의 정전용량은 667pF이다. 부분방전측정 및 아날로그 출력을 위하여 상용화된 PD 검출기(일본 계측기사:CD-5)를 사용하였으며, 디지털변환을 위하여 디지털라이저(Tettex사:TVS610)를 사용하였고 디지털라이저 특성은 표 1과 같다. 디지털라이저와 컴퓨터와의 통신을 수행하는 VXI bus는 마이크로 프로세서 bus의 낮은 전송속도를 보완하기 위하여 만들어진 VMEbus를 확장시킨 것으로서 산업용 계측기의 제어, 자동화측정 및 on-line DAS 시스템에 많이 적용되는 것으로 알려져 있다[10].

부분방전측정기는 시료의 조건과 주변의 잡음환경에 따라 검출감도는 달라지지만 실험에서는 1pC정도의 감도이면 충분한 것으로 생각되며 본 측정시스템의 최저감도는 0.5pC이고, 실험은 차폐율이 75dB이상으로 차폐가 잘되는 실험실에서 행하였다.

표 1 디지털라이저의 특성

Table 1 Specification of digitizer

채널수	측정점수	샘플링시간	분해능
4	256-15,000	1s-10 <sup>-9</sup> s	8bit



V<sub>d</sub>: 분압기, C<sub>k</sub>: 결합콘덴서, C<sub>x</sub>: 시료

그림 1 부분방전측정시스템의 블록도

Fig. 1 Block diagram of PD measurement system

## 3. 디지털 부분방전측정 알고리즘과 오차분석

### 3.1 디지털 부분방전측정의 개념

디지털 분포측정의 기본 개념을 살펴보면 그림 2와 같으며, 인가전압 V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>에서 발생한 부분방전량 q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub>, q<sub>3</sub>, q<sub>4</sub> 와 각 부분방전량이 측정된 위상  $\phi_1$ ,  $\phi_2$ ,  $\phi_3$ ,  $\phi_4$ 를 디지털화함으로써 정량화된 부분방전량 q, 위상  $\phi$ 와 펄스 수 n을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

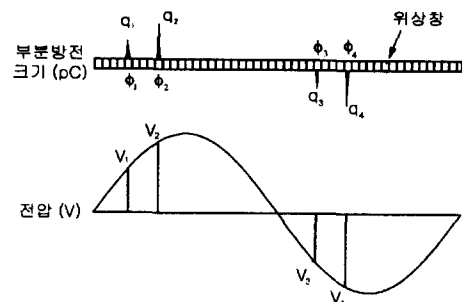


그림 2. 디지털 부분방전 측정의 개념

Fig. 2 Concept of digital partial discharge measurement

### 3.2 부분방전량과 발생위치 인식 알고리즘

본 부분방전측정시스템의 부분방전검출기로부터 디지털라이저에 입력되는 하나의 부분방전 펄스의 형태는 부분방전량에 따라 그림 3과 같은 형태를 취한다. 이 그림은 '6.항'에서 설명될 CIGRE II 전극형태[11]를 모의한 내부 부분방전 시료의 고압측과 접지측 사이에 상승시간이 30ns인 교정용 펄스를 인가한 후 부분방전 검출기에서 걸보기 부분방전형태로 변형된 부분방전펄스를 오실로스코프로 측정하는 것이다. 교정용 펄스의 크기는 각각 50, 100, 150, 200(pC)이고 각 교정량에 해당하는 부분방전 펄스의 최대전압은 그림 4에서 0.79, 1.55, 2.34, 3.10(V)를 보이고 있으며, 이 그림에서 알 수 있듯이 부분방전 검출기에 입력된 부분방전량과 부분방전펄스의 최대전압값은 비례하고 있다. 그러므로 부분방전펄스의 최대전압을 측정하여 단위 전압에 해당하는 부분

방전량을 곱하면 각 펄스의 부분방전량을 구할 수 있다.

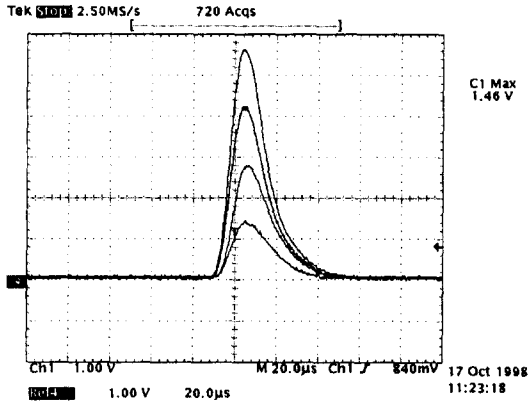


그림 3 겹보기 부분방전 펄스형태  
Fig. 3 Waveform of apparent partial discharge pulse

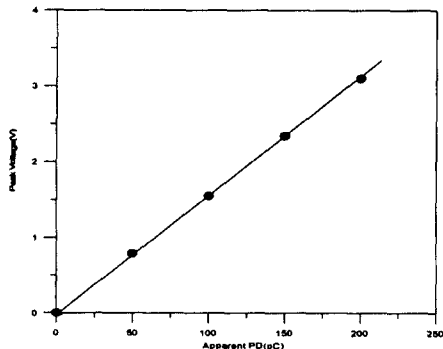
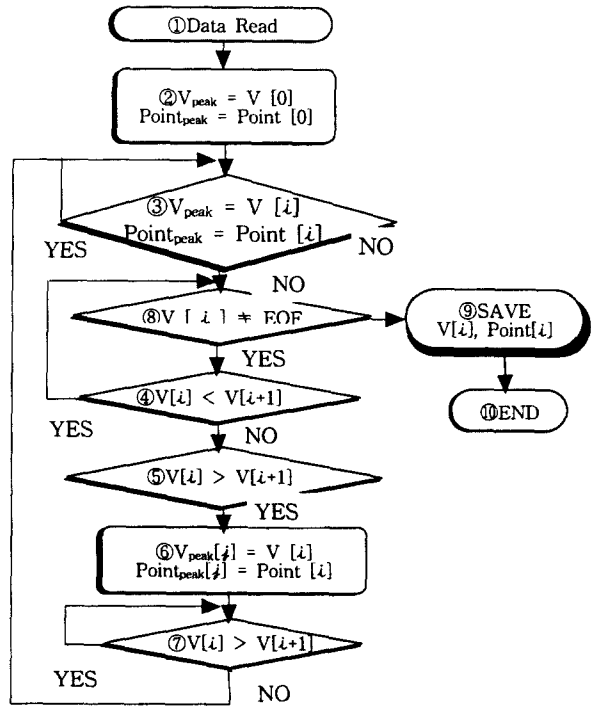


그림 4 부분방전량과 부분방전 펄스의 최대치전압  
Fig. 4 PD magnitude vs peak voltage of PD pulse

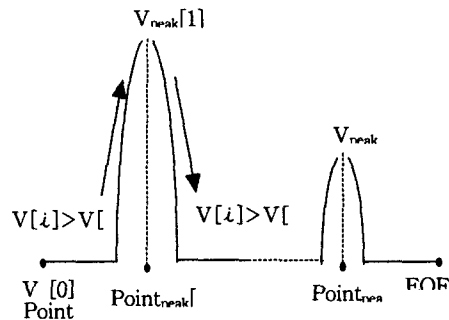
따라서  $\phi-q-n$ 분포를 구하기 위해서는 우선 부분방전 펄스열에서 각 펄스의 최대치전압과 최대치전압 발생 샘플링 위치를 찾아야 하며, 그림 3과 같은 부분방전펄스는 그림 5(a)와 같이 모델화 할 수 있고 여기서 최대치를 구하는 프로그램의 흐름도는 그림 5(b)와 같다. 흐름도에 따라 C언어로 프로그램하면 그림 6과 같다. 그림5(b)는 다음과 같이 설명된다.

- ① : 부분방전 펄스열의 각 측정데이터( $V[i]$ )와 각 측정데이터의 위치(Point $[i]$ )를 데이터가 수록되어 있는 파일을 개방하여 읽기 시작한다.
- ②③ : 펄스열의 첫 번째 전압과 위치인  $V[0]$ 와 Point $[0]$ 를  $V_{peak}$ 와 Point $_{peak}$ 로 설정한 후  $V[i+1]=V_{peak}$ 이면 계속 데이터를 읽어 나가고 아니면 다음을 수행한다.
- ④⑤⑥ : 펄스의 상승부분으로서 다음 위치의 전압크기  $V[i+1]$ 가 현재의 전압크기  $V[i]$ 보다 크면 탐색을 계속하며, 다음 위치의 전압크기가 현재 위치의 전압크기보다 작은 펄스의 하강특성이 나타나면 현재의 전압크기와 현재 위치를 첫 번째 부분방전량과 위상정보를 주는  $V_{peak}[1]$ 과 Point $_{peak}[1]$ 로 한다.
- ⑦ : 펄스의 최대치전압을 찾은 후 다시 상승부분이 나타날 때까지 탐색을 계속한다.

⑧⑨⑩ : 탐색중 저장데이터의 끝(EOF)을 만나면 탐색을 멈춘 후 탐색된 각 펄스의 최대치전압( $V_{peak}[j]$ )과 최대치전압 발생 위치(Point $_{peak}[j]$ )를 새로운 파일에 저장하고 분석을 끝낸다.



(a) 부분방전 펄스열 모델



(b) 흐름도

그림 5. 부분방전량과 발생위치 결정 흐름도  
Fig. 5 Flowchart for decision of PD magnitude and its location

#### 4. 측정의 오차분석

그림 3에서 알 수 있듯이 부분방전 검출기의 출력단에서 측정된 부분방전파형은 부분방전크기에 관계없이 폭이 약  $50 \mu s$ 인 일정한 펄스 형태로 변화되어 출력되고 있다. 이러한 펄스가 여러 개 이어져 있는 아날로그 부분방전 펄스열을 디지털화 해서 펄스의 최대치전압값과 최대치전압 발생 위치를 정확히 결정해야 만 신뢰성 있는  $\phi-q-n$ 분포를 얻을 수 있다. 디지털 측정에서 시간축의 샘플링수는 디지털화된 부분방전 펄스의 형태를 결정하기 때문에 탐색된 최대치전압값과 그 발생 위치의 결정에 큰 영향을 미치며, 또한 다음 관계식에 의하여 측정창에서의 전체 측정시간을 결정한다.

```

double temp_max;
int i,j=0, n=0 ;
int flag;
if (event==EVENT_COMMIT) {
GetCtrlVal(panelHandle,PANEL_MODE_TYPE,&mode_status);
switch (mode_status) {
case 0:
temp_max = tmpVal_2[0];
for( i =1; i < datapoints; i++) {
if( temp_max < tmpVal_2[i] ) /* positive
direction*/
temp_max = tmpVal_2[i];
flag = 1;
}
if( temp_max > tmpVal_2[i] ) /* negative
direction*/
if( flag == 1) {
local_max[j] = temp_max;
local_point[j++] = i-1;
flag = 0;
}
else temp_max =
tmpVal_2[i];
}
}
    
```

그림 6 부분방전량과 발생위치 결정 프로그램

Fig. 6 Program for decision of PD magnitude and its location

$$\text{전체측정시간} = \text{샘플링수} \times \text{샘플링시간} \left( = \frac{1}{\text{샘플링율}} \right) - (1)$$

전체측정시간이 일정할 때 부분방전 펄스열의 디지털화에 대한 신뢰성을 높이기 위해서는 샘플링수를 많게 하고 샘플링시간을 짧게 하는 것이 바람직하지만 샘플링수가 많아지면 컴퓨터의 기억용량을 많이 요구하게 되며 A/D변환된 부분방전펄스열의 화면표시나 최대치의 탐색과 같은 신호처리시간이 길어진다. 그러므로 컴퓨터의 기억용량이나 신호처리시간을 고려하고 디지털화에 대한 신뢰도가 저하되지 않는 최적의 샘플링수 결정과정이 필요하다.

디지털라이저의 샘플링시간은 표 1의 범위에서 26가지로 한정되어 있으며, 샘플링수도 최대 15,000으로 제한되어 있다. 1 sweep에서 전체 측정시간을 인가전압의 1주기인 16.67ms로 하였을 때 식(1)에 따라서 구성이 가능한 샘플링율과 샘플링수의 조합은 표 2와 같으며, 단 샘플링율이 1MS/s일 때의 전체측정시간은 제한된 측정점수로 인하여 15ms로 하였다.

표 2 샘플링율과 샘플링수의 조합

Table 2 Combination of sampling rate and sampling number

샘플링율	1MS	500kS	250kS	100kS	50kS
샘플링수	15000	8335	4668	1667	834
측정시간/sweep	15ms	16.67ms			

표 2의 조합 중에서 최적의 샘플링수를 결정하기 위하여 부분방전실험을 실시하였다. 그림 1의 부분방전 실험회로에서 연속적으로 일정한 값을 갖는 모의부분방전 펄스를 만들기 위하여 고압측과 접지측사이에 그림 7의 ch1과 같은 주파수가 10kHz인 펄스폭 100 μs의 구형파를 입력하였다. 그림 7의 ch2는 검출된 모의부분방전 펄스열을 보여주고 있

으며, 그림 7에서 알 수 있듯이 부분방전 펄스는 입력된 구형파의 상승부분과 하강부분에서 발생하고 있고 최대점의 크기는 약 2.75V의 일정한 값을 보이고 있다. 이러한 부분방전 펄스열을 디지털라이저에 입력하여 표 2의 각 샘플링 조건에 대한 부분방전 펄스열의 최대치 분포를 조사하였다.

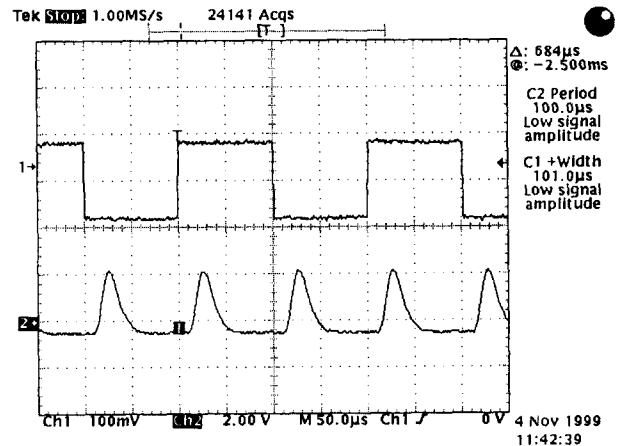


그림 7 입력구형파형과 출력 모의부분방전 펄스열

Fig. 7 Input of rectangular waveform and output of PD pulses train model

그림 8은 각 샘플링 조건에 대한 대표적인 부분방전 펄스열의 최대치 분포예를 보여주고 있다. 그림 8에서 알 수 있듯이 샘플링율이 1MS/s에서 250kS/s까지의 최대치 분포는 약 2.6V에서 2.7V의 분포특성을 보이고 있다. 또한 100kS/s일 때는 2V에서 2.7V, 50kS/s일 때는 0.8V에서 2.7V까지의 분포를 보이고 있어 샘플링수가 적을수록 분포차는 급격하게 커지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 분포차를 통계적으로 정량화 시키기 위하여 각 샘플링조건에 대한 최대치 분포실험을 10회씩 실시한 후 표준편차[12]를 구한 결과는 그림 9와 같다. 이 그림에서 표준편차는 같은 샘플링율에 대하여 10회 모두 거의 일정한 표준편차를 나타내고 있으며, 샘플링율이 250kS/s까지는 펄스의 최대치인 2.75V를 기준으로 약 1.8%의 표준편차를 보이고 있지만 그 이후에서는 크게 증가하여 100kS/s에서는 7.3%, 50kS/s에서는 22.9%의 큰 표준편차를 보이고 있다. 그러므로 샘플링율이 250kS/s이하에서는 부분방전 크기분포의 신뢰성이 저하되고 그 이상의 샘플링 수를 사용하면 신호처리속도가 감소하고 기억용량이 증가하므로 본 부분방전 시스템에는 샘플링율을 250kS/s로 하므로서 디지털화에 따른 부분방전크기와 발생위치에 대한 오차를 최소화하고 장시간 열화측정에서 컴퓨터저장장치의 용량부족을 해결할 수 있을 것으로 사료된다.

### 5. 디지털라이저 제어 및 부분방전 신호처리 프로그램

지금까지 설명된 부분방전시스템과 측정 및 분석알고리즘을 기본으로 디지털라이저를 제어하여 부분방전펄스열을 필요한 형태로 A/D변환하고 변환된 데이터를 컴퓨터에 전송하여 화면에 표시하며, φ-q-n분포를 분석할 수 있는 프로그램을 작성하였으며 그림 10은 C언어를 기반으로 하는

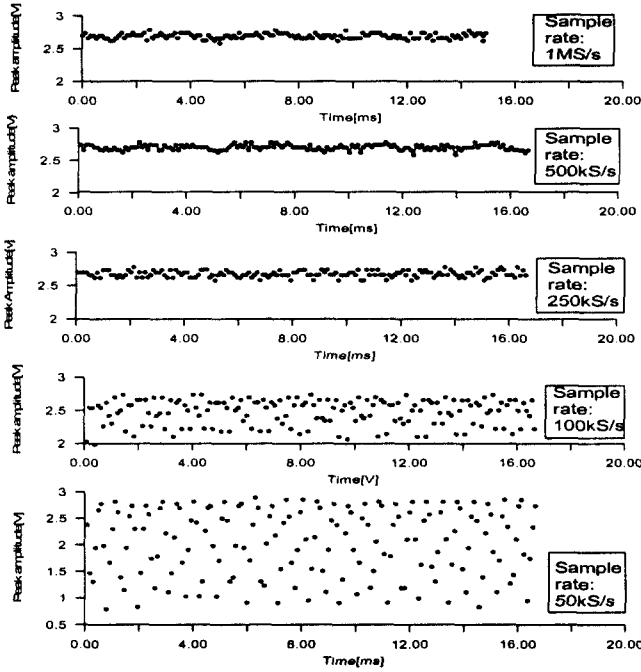


그림 8 샘플링율에 따른 부분방전펄스 최대치의 분포  
 Fig. 8 Peak values distribution of PD pulses with sampling rates

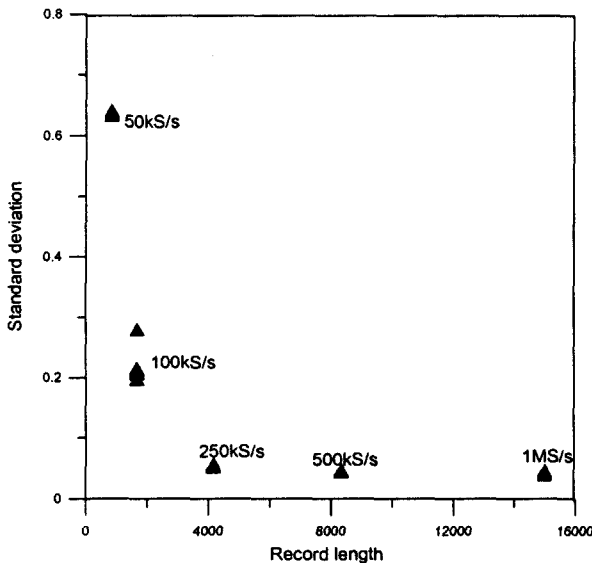


그림 9 샘플링율에 대한 표준편차의 분포  
 Fig. 9 Distribution of standard deviations with sampling rates

LabWindows/CVI로써 작성된 프로그램의 전면패널을 보여주고 있다.

본 프로그램의 주요 기능을 살펴보면 설정된 sweep회수 만큼 인가전압 및 부분방전펄스가 수동 혹은 자동으로 측정되어 각각 CH1과 CH2 WAVEFORM화면에 표시되며, 자동인 경우는 그림 10의 왼쪽 아래에 위치한 interval set에서 설정된 시간마다 자동으로 측정된다. 1회 sweep시 시간 창의 전체측정시간을 60Hz 인가전압의 한 주기인 16.67ms로 하였으며, 디지털라이저의 트리거전압을 조절하여 인가전압

의 위상이 항상 0 혹은 180도일 때 인가전압파형 및 부분방전펄스열이 측정되도록 하였다. 측정된 인가전압과 부분방전 펄스열은 수동 혹은 자동으로 file에 저장되며 자동저장인 경우 file명은 저장되는 시간(일시분초)으로 되도록 하였고 저장된 펄스열로부터 부분방전량과 위상을 결정하였다.

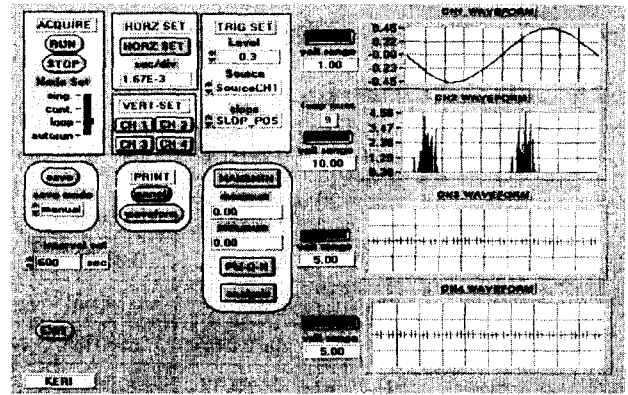


그림 10 프로그램의 전면패널  
 Fig. 10 Front panel of program

### 6. 실험에 의한 측정시스템의 적용

그림 11과 같은 CIGRE II전극 형상으로 실제 내부보이드 부분방전을 발생시킨 후 본 디지털 부분방전 측정시스템으로 측정, 분석된  $\phi-q-n$ 분포 결과의 특성에 대하여 살펴 보았다. 반복측정회수는 20회로 하였으며, 샘플링수와 샘플링율은 4168과 250kS/s로 하였다. 표 3은 디지털라이저에 의하여 A/D변환되어 파일에 저장된 하나의 부분방전펄스가 존재하는 측정결과와 일부분의 예를 보여주고 있으며, 저장파일은 측정의 반복회수, 샘플링위치, 인가전압크기, 부분방전펄스 크기로 구성되어 있다. 표 3과 같은 형태로 측정된 결과를 그림으로 나타내면 그림 12와 같으며, 그림 12에서 정현적인 파형은 인가전압파형이고 펄스형태의 파형은 발생된 부분방전파형이다. 이러한 측정결과를 '3.2항'에서 설명한 최대값 및 발생위치 프로그램으로 처리한 결과 예는 표 4와 같으며, 표 3의 측정결과로부터 처리한 결과는 표 4의 번호 '1'에 나타나있다. 이와 같이 최대값 및 발생위치 프로그램으로 얻어진 결과를  $\phi-q-n$ 분포 그림으로 나타내면 그림 13과 같은 형태로 된다. 그림 14는 내부보이드의 장시간 부분방전 열화에 대한  $\phi-q-n$ 분포 예를 보여주고 있으며, 그림 15는 그림 14의 결과로부터 구한 총 부분방전량, 최대 부분방전량, 펄스수를 열화시간에 대하여 3차원형태로 나타낸 것이다.

이상과 같이 장시간 보이드 부분방전실험으로부터 얻어진 측정 및 분석결과로부터 본 부분방전측정시스템은 장시간 부분방전 열화에 따른  $\phi-q-n$ 분포변화특성을 양호하게 보여주었다.

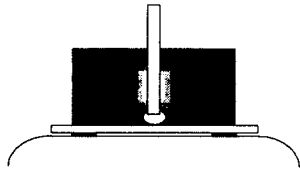


그림 11 보이드 모델시료

Fig. 11 Specimen of void model

표 3 A/D변환된 부분방전펄스의 예

Table 3 Example of A/D transformed PD pulse

loop수	샘플링위치	인가전압	펄스크기
0	195	-0.253154	0.200000
0	196	-0.269841	0.286726
0	197	-0.285714	0.793651
0	198	-0.301587	1.583735
0	199	-0.285714	0.793651
0	200	-0.293651	3.333333
0	201	-0.285714	2.159568
0	202	-0.301587	1.666666
0	203	-0.293651	1.079784
0	204	-0.317460	0.431913
0	205	-0.309524	0.238095
0	206	-0.301587	0.200000

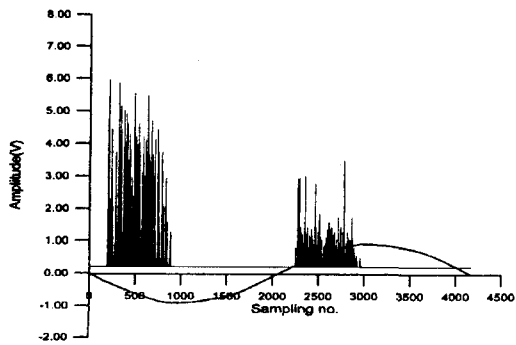


그림 12 부분방전펄스열의 분포형태

Fig. 12 Distribution pattern of PD pulse array

표 4 처리된 부분방전량과 그 위상의 예

Table 4 Example of processing PD quantity and its phase

번호	샘플링위치	최대치크기	위상	부분방전량
1	200	3.333333	17.27447	193.3333
2	312	5.873015	26.99136	340.6349
3	450	1.587301	38.86756	92.06346
4	492	0.714286	42.53839	41.42859
5	522	1.269841	45.12956	73.65077
6	570	3.095238	49.23225	179.5238
7	655	0.952381	56.57389	55.2381
8	702	0.238095	60.67658	13.80951
9	727	0.31746	62.83589	18.41268
10	760	0.634921	65.643	36.82542

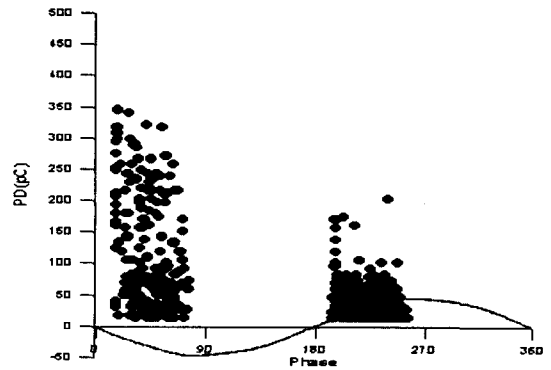


그림 13 처리된 결과로 부터의 2차원적인  $\phi-q-n$  분포

Fig. 13 Two dimensional  $\phi-q-n$  distribution after processing data

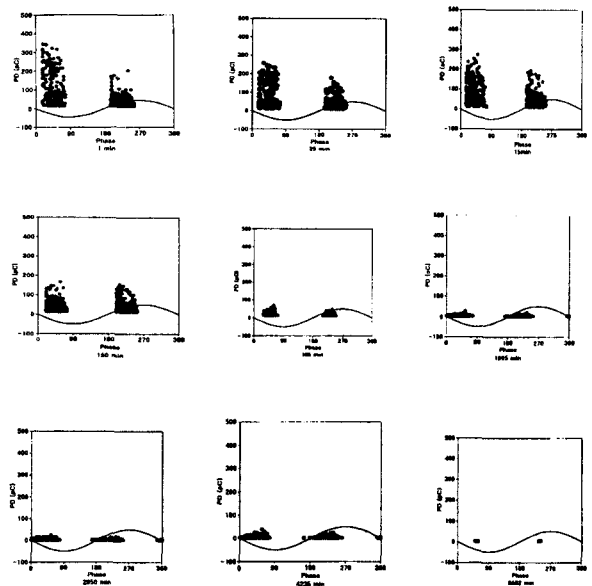


그림 14 열화시간에 따른  $\phi-q-n$  분포 변화특성

Fig 14 Variation characteristics of  $\phi-q-n$  distribution with aging time

참 고 문 헌

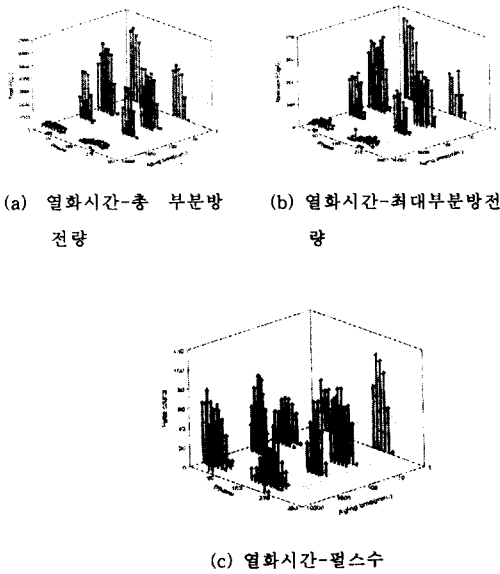


그림 15 위상과 열화시간에 따른 총 및 최대부분방전량과 펄스수의 3차원 출력

Fig. 15 3D Outputs of total and maximum magnitudes and number of pulses of partial discharge with phase and aging time

7. 결론

부분방전 검출기와 VXI 디지털이저를 이용한 본 디지털 부분방전 측정시스템의 구축과정과 부분방전실험의 적용에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 장기열화실험용으로 VXI 시스템을 이용한 디지털 부분방전측정기를 구축하였다.
- (2) 부분방전펄스크기와 펄스수를 분석하는 알고리즘작성하여 프로그램하였다.
- (3) 부분방전크기와 펄스수 측정에 대한 신뢰도와 컴퓨터의 신호처리시간 및 기억용량을 고려하여 본 디지털 부분방전 측정시스템에서 인가 전압1주기 최적의 샘플링 조건은 샘플링 수 4668, 샘플링율 250kS/s로 결정되었다.
- (4) 장기 부분방전 열화실험에서 얻어진 측정데이터의 분석에서 최대값 및 샘플링위치 프로그램의 적용으로 각 부분방전펄스의 최대치와 그 최대치 발생 샘플링 위치를 검출하여  $\phi-q-n$ 분포를 2차원 및 3차원의 그래픽으로 출력할 수 있었다.
- (5) 본 디지털 부분방전 측정시스템을 부분방전열화에 따른 절연체의 물리적 특성변화와 부분방전 특성변화와의 상관관계 분석연구에 활용하면 절연시스템의 고장예방 및 수명예측을 위한 부분방전연구에 유용성이 매우 클 것으로 사료된다.

- [1] F. H. Kreuger et al., "Classification of partial discharges", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol 28, No. 6, 1993
- [2] David A. Natrass, "Partial discharge measurement and interpretation", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 4, No. 3, 1988
- [3] 岡本, 穂積, "部分放電パルス計測におけるコンピュータ應用", 電學誘電絶縁材料研資, DEI-90-36(1990)
- [4] 古森, 西口, 匹田, 水谷, 林 "部分放電發生パターン認識による劣化診断および余壽命推定", 電學誘電絶縁材料研資, DEI-92-37(1990)
- [5] Andrej KRIVDA, "Recognition of discharges : Discrimination and classification", Delft Univ. press, pp. 107-155, 1995
- [6] R. Bartnikas, "1987 WHITEHEAD MEMORIAL LECTURE", IEEE Trans. on Electrical Insulation Vol. EI-22 No. 5, Oct. 1987
- [7] IEC, "Partial Discharge Measurements", IEC Pub. 270, 1968
- [8] N. Hozumi et al., "Discrimination of partial discharge patterns using a neural network", IEEE Trans. on EI-27, No. 3, June 1992
- [9] E. Gulski, "Computer-aided Measurement of Partial Discharge in HV Equipment of Partial Discharge in HV Equipment", IEEE Trans. Electr. Insul., EI-28, No. 6, 1993
- [10] David Howarth, "VXI bus/VXI plug&play test and measurement", EDNASIA, VXI workshop, 1996
- [11] W. R. Kodoll et. al., "Internal partial discharge Registivity , International Conference on Large High Voltage Electric Systems 1988 session, 15-04, paris, 1988
- [12] 김우철 외, "현대통계학", 영지문화사, pp16-23, 1993

저 자 소 개



선 증 호 (宣 鍾 好)

1962년 10월 10일생. 1986년 부산대 전기공학과. 1988년 부산대 대학원 전기공학과(석사). 1989-현재 한국전기연구소 신전력기기 연구그룹 선임연구원

Tel : 055-280-1578, Fax : 055-280-1589

E-mail : jhsun@keri.re.kr



박 정 후 (朴 正 后)

1945년 4월 8일생. 1975년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980년~1983년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학). 현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수

Tel : 051-510-2369, Fax : 051-513-0212

E-mail : Parkch@hyowon.cc.pusan.ac.kr



김 광 화 (金 光 和)

1956년 5월 12일생. 1983년 부산대 대학원 전기공학과(석사). 1992년 부산대 대학원 전기공학과(공학). 1993년-현재 한국전기연구소 신전력기기 연구그룹 책임연구원

Tel : 055-280-1570, Fax : 055-280-1589

E-mail : khkim124@keri.re.kr



조 정 수 (趙 井 守)

1935년 2월 21일생. 1961년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 부산대 공대 전기공학과 대학원 졸업(공학). 1983년~1984년 미국 Oregon Univ. 교환교수. 현재 부산대 공대 전자전기통신공학부 교수

Tel : 051-510-2367, Fax : 051-513-0212

E-mail : chojs@hyowon.cc.pusan.ac.kr