

工學碩士 學位論文

저압용 전기전자부품의 절연시험을 위한
부분방전 측정시스템의 설계 및 제작

Design and Fabrication of a PD Measurement System for Dielectric
Test of Low-voltage Electrical and Electronic Components

指導教授 吉 暲 碩

2007年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

文 勝 寶

本 論 文 을 文 勝 寶 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함

委 員 長 : 張 樂 元 ㉠

委 員 : 吉 暻 碩 ㉠

委 員 : 徐 東 煥 ㉠

2006年 12月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 氣 電 子 工 學 科

文 勝 寶

목 차

목 차	i
그림 및 표 목차	ii
<i>Abstract</i>	iv
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 내용	3
제 2 장 이 론	4
2.1 절연평가기술	4
2.2 부분방전의 발생과 측정	4
2.3 저압용 전기전자부품의 절연평가	11
제 3 장 설계 및 제작	16
3.1 측정시스템의 구성	17
3.2 측정프로그램	29
제 4 장 평가 및 분석	34
4.1 포토커플러	35
4.2 절연변압기	41
제 5 장 결 론	49
참 고 문 헌	51

그림 및 표 목차

<그림 목차>

그림 2.1	내부 방전	5
그림 2.2	부분방전의 등가회로	6
그림 2.3	교류 전압에서의 부분방전 발생 패턴	7
그림 2.4	부분방전 검출의 개략도	10
그림 2.5	포토커플러	12
그림 2.6	부분방전 시험전압	14
그림 3.1	부분방전 측정시스템의 개략도	16
그림 3.2	결합회로망	18
그림 3.3	중폭회로	19
그림 3.4	시험전압 제어부	20
그림 3.5	외부 잡음의 전달 경로	21
그림 3.6	차폐함의 개략도	23
그림 3.7	전원공급부의 구성	24
그림 3.8	고전압 필터	26
그림 3.9	부분방전 측정시스템의 사진	27
그림 3.10	잡음 레벨	28
그림 3.11	측정프로그램의 순서도	29
그림 3.12	측정프로그램의 블록도	30
그림 3.13	교정프로그램	31
그림 3.14	분석프로그램	32
그림 4.1	교정 방법	34
그림 4.2	포토트랜지스터에 대한 PD 실험 결과	36
그림 4.3	달링톤 포토트랜지스터에 대한 PD 실험 결과	39
그림 4.4	절연변압기에 대한 PD 실험 결과 1	42
그림 4.5	절연변압기에 대한 PD 실험 결과 2	46

<표 목 차>

표 2.1	최대 반복 절연전압	13
표 4.1	포토티랜지스터에 대한 방전 파라미터	35
표 4.2	달링톤 포토트랜지스터에 대한 방전 파라미터	38
표 4.3	절연변압기에 대한 방전 파라미터 1	41
표 4.4	절연변압기에 대한 방전 파라미터 2	45

*Design and Fabrication of the PD Measurement System for Dielectric
Test of Low-voltage Electrical and Electronic Components*

by Seung-Bo, Moon

Department of Electrical & Electronics Engineering
The Graduate School of Korea Maritime University
Busan, Republic of Korea

Abstract

This thesis deals with the design and fabrication of a partial discharge (PD) measurement system to evaluate dielectric performance of low-voltage electrical and electronic components. The system consists of a test voltage source, a coupling network with a discharge free capacitor and detection impedance, a low-noise amplifier, and a data acquisition (DAQ) device.

Low cutoff frequency of the detection circuit was set at 1 MHz (-3 dB) to attenuate AC voltage by -270 dB and to pass discharge pulses only without any distortion. A shielding enclosure of Ni-Cu double structure and a high voltage filter with a high cutoff frequency of 570 Hz were designed to get a better measurement condition against

radiation and conduction noises from the outside.

Also, we designed a measurement software based on the LabVIEW programming tool. The software analyzes PD parameters such as sensitivity, apparent charge and frequency of PD pulse, discharge inception voltage (DIV), and discharge extinction voltage (DEV).

The sensitivity of the system calibrated by a standard pulse injection was 33.8 mV/pC for photo-couplers, and 31.3 mV/pC between primary windings and core, and 27.6 mV/pC between primary and secondary windings for isolation transformers, respectively.

From the experimental results, it was confirmed that the proposed PD measurement system detects PD pulses over 0.3 pC in photo-couplers and estimate dielectric performance of low-voltage electrical and electronic components.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

저압용 전기전자부품에 사용되는 절연시스템은 특성이 우수한 재료를 사용하여 최적의 절연설계가 이루어졌다 하더라도 기기의 운전 중에 나타나는 내적 또는 외적인 요인들에 의하여 절연열화가 진행된다. 이로 인해 설계단계에서 고려된 기대수명을 다하지 못하고 절연내력이 감소하여 최종적으로 절연파괴에 이르게 된다^{[1]~[3]}.

전기전자부품에 사용되는 고체절연체는 절연파괴에 이르는 전계의 세기가 대단히 높다. 그러나 최근에는 전기전자부품이 소형화됨에 따라 절연체가 급속도로 박막화되면서 동일한 전압에서도 절연층에 더 높은 전계가 형성되고, 고속 스위칭 소자를 사용하면서 이들 부품에 수 천 V의 과도전압이 나타나기도 한다^{[4],[5]}. 이러한 현상은 절연재료의 조기열화를 초래하게 되고, 절연체에 불규칙한 정전용량의 분포로 인하여 절연파괴를 일으키게 된다^{[6],[7]}.

특히 사무기기, 통신기기, 가정용 전자제품 등의 전기전자회로에서 전원의 분리 및 제어회로와 대전력을 사용하는 부하사이의 전기적인 절연을 목적으로 사용하는 포토커플러, 안정적인 전원을 공급하기 위한 저압용 절연 변압기에서의 절연파괴에 대한 문제는 매우 중요하다.

현재 사용되고 있는 절연평가기술에 대한 연구는 고압용 기기를 대상으로 한 것이 대부분이며 절연저항시험, 내전압시험, 부분방전시험 등이 적용되고 있다.

절연저항시험은 시료에 직류 전압을 인가하고 이때 시료에 흐르는 전

류를 이용하여 절연저항을 측정하는 방법이다. 이 시험법은 시료의 절연 성능에 변화가 있는지 여부만을 판단하기 위하여 사용되며, 내전압시험과 비교하여 낮은 전압에서 수행하는 것이 대부분이다. 따라서 절연저항시험은 절연재료의 변질상태 검사에만 사용되고 있기 때문에 절연체의 결함이나 보이드는 검사할 수 없다.

내전압시험은 시료에 교류 고전압을 인가하여 시료의 과손 여부만을 확인하는 파괴시험으로서 절연열화시에 흐르는 누설전류를 검출하여 절연 성능을 평가하는 방법이다. 따라서 내전압시험 후에 정상 판정을 받은 것이라 하더라도 열화가 진전되어 이미 복원할 수 없는 상태가 된다.

저압용 전기전자부품의 경우에는 절연평가기술에 대한 연구가 미진하여 고압용 기기에 사용되는 평가방법을 준용하고 있으며, 절연저항시험이나 내전압시험 등과 같이 절연성능에 직접적인 영향을 미치는 평가방법을 적용하고 있다.

생산단계에서부터 품질관리의 강화를 목적으로 주목받고 있는 부분방전시험은 저압용 전기전자부품의 절연성능에 영향을 주지 않으면서 효과적으로 절연성능 및 상태를 평가할 수 있는 비파괴시험이다^{[8]~[10]}. 몇 개의 시료를 대상으로 수행하던 기존의 평가방법과는 다르게 모든 시료에 대하여 절연성능을 평가할 수 있기 때문에 높은 신뢰성, 절연설계의 최적화, 제조상의 결함 감소, 안전성 향상 등의 장점이 있다.

그러나 고압용 기기를 대상으로 하는 기존의 부분방전시험은 저압용 전기전자부품에서와 같이 미소한 부분방전신호를 측정하기에는 적합하지 않다. 일부 규격이 부분방전시험에 대한 규정을 언급하고 있지만 구체적인 시험방법 및 평가기준은 제시하고 있지 못한 실정이다^{[11]~[13]}. 그러므로 저압용 전기전자부품의 절연성능평가를 위한 부분방전시험 설비 및 측정기법의 개발이 요구된다.

1.2 연구목적 및 내용

본 논문은 현재 저압용 전기전자부품의 절연평가방법으로 사용되고 있는 절연저항시험 및 내전압시험 등을 대체하기 위한 부분방전 측정시스템의 설계 및 제작을 목적으로 결합회로망, 저잡음 증폭회로, 잡음대책, 차폐함 및 분석프로그램에 대하여 연구하였다.

개발한 부분방전 측정시스템은 안정적인 시험전압을 공급하기 위한 전원부, 신호를 검출하기 위하여 결합콘덴서와 검출임피던스로 구성되는 결합회로망, 미소 부분방전신호를 증폭하기 위한 저잡음 증폭기, 내부 및 외부 잡음을 차단하기 위한 필터와 차폐함으로 구성된다. 또한, 측정된 부분방전신호를 분석하기 위하여 데이터 취득(DAQ ; Data Acquisition) 장치와 측정프로그램으로 이루어져 있다.

정확한 부분방전을 측정하기 위하여 측정시스템에 대한 잡음평가와 저압용 전기전자부품인 포토커플러와 절연변압기를 대상으로 교정실험과 부분방전실험을 수행하였다. 교정실험 결과, 포토커플러에서는 33.8 mV/pC, 절연변압기에서는 1차코일 및 2차코일과 철심에서 31.3 mV/pC, 1차코일과 2차코일에서 27.6 mV/pC으로 정극성 및 부극성에서 동일하게 측정되었다. 측정시스템의 평가를 위하여, 절연이 파괴되지 않은 시료와 가속열화시험을 통하여 절연이 파괴된 시료를 대상으로 부분방전실험을 수행한 결과, 절연이 파괴된 시료는 방전전하량과 발생빈도는 증가하고, 방전개시전압과 방전소멸전압은 낮아진 것으로 나타났다.

본 연구에서 설계 및 제작한 부분방전 측정시스템은 잡음레벨을 고려할 경우 최소 0.3 pC의 미소 부분방전신호의 측정이 가능하며, 절연체의 절연성능에 대한 합·부 판정뿐 아니라 부분방전펄스에 대한 파라미터를 분석함으로써 정확한 평가가 가능하다.

제 2 장 이 론

2.1 절연평가기술

효과적으로 절연성능을 평가하기 위해서는 시험시료에 대한 정확한 열화기구를 이해하고, 열화상황에 적합한 절연평가 방법을 선택하여야 한다. 현재 사용되고 있는 절연체의 절연평가방법으로는 절연저항을 측정함으로써 절연체의 흡습이나 오손 상태를 파악하는 절연저항시험, 절연물에 전압을 인가하여 전류-시간 특성으로부터 절연물의 상태를 판정하는 직류 전류시험과 교류 전류시험이 있다. 또한, 누설전류를 측정하여 $\tan\delta$ 로부터 절연 상태 및 열화 정도를 추정하는 유전정접시험과 품질관리 측면에서 적용하고 있는 절연파괴시험이나 내전압시험 및 절연시스템 내부의 보이드, 전기트리, 표면에서 발생하는 부분방전을 측정하는 부분방전시험 등을 통하여 절연체의 절연진단 및 평가를 시행하고 있다. 이 중에서 부분방전 시험은 열화에 의한 크랙이나 박리 등, 공극의 발생이나 진진 상황을 파악하여 열화의 진행과 열화원인을 분석하여 절연성능을 평가하는 방법이다. 또한 비파괴시험으로서 시료의 절연성능에 아무런 영향을 주지 않아 효과적인 절연평가가 가능하다^{[14]~[16]}.

2.2 부분방전의 발생과 측정

부분방전시험은 절연층 또는 결합에서 발생하는 방전펄스의 크기와 패턴 등을 검출하기 때문에 절연평가를 수행할 때 신뢰성 있는 분석이 가능하다. 그러나 부분방전펄스는 매우 복잡하고 다양한 형태로 나타나기 때문에 발생 메커니즘과 특성을 파악하고 그것을 기본으로 시료에서 발생하

는 부분방전에 대하여 검토하여야 한다.

고체절연체 내부에서의 방전은 보이드와 전기트리 방전으로 나눌 수 있으며, 보이드 방전이 발생하게 되면 절연재료 내부에 수지상의 전기트리가 발생하여 최종적으로 절연파괴에 이르게 된다.

절연시스템의 설계시 내부에 미소한 결함이나 보이드가 존재하지 않도록 제작하는 것이 불가능한 것이라 하더라도, 이것이 절연성능에 영향을 미치지 않아야 한다. 그러나 기기를 사용함에 따라 전기적, 열적, 기계적, 환경적 열화가 진행되며 미소한 결함이나 보이드에 열화가 진전되어 크기가 커질 뿐만 아니라 다 수의 결함이나 보이드 생성된다. 그림 2.1에서와 같이 고체절연체 내부에 보이드가 존재하는 경우, 절연체에 높은 전계가 형성되면 보이드 내부의 유전율이 절연재료에 비하여 크기가 작으므로 전계가 집중된다. 따라서 고체에 비하여 절연내력이 낮은 보이드 내부의 기체에서 방전이 발생하며, 이로 인하여 보이드는 열적, 화학적 열화가 촉진되어 보이드의 크기가 점차 증가되며 최종적으로 절연체의 유효 절연성능이 감소하게 된다.

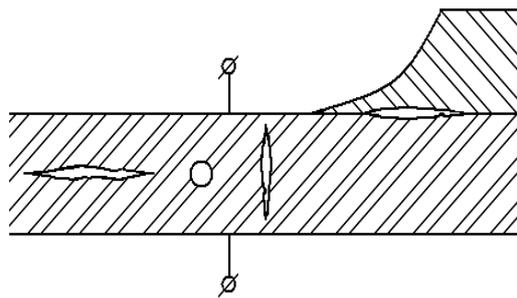
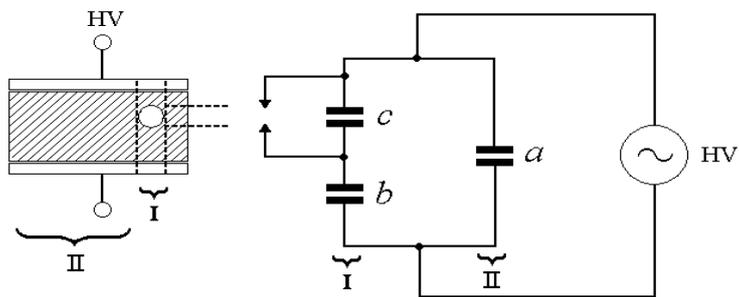
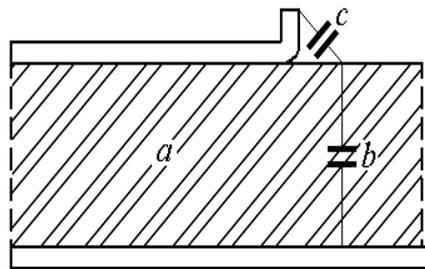


그림 2.1 내부 방전
Fig. 2.1 Internal discharges

이와 같이 보이드 내부에서 발생하는 부분방전의 발생 메커니즘은 그림 2.2의 절연체 등가회로를 이용하여 설명할 수 있다^[17]. 그림 2.2 (a)에서 영역 I은 절연체에 결함이 존재하는 부분이며, 영역 II는 절연체의 전체 부분으로 나타낼 수 있다.



(a) 보이드 방전



(b) 연면 방전

그림 2.2 부분방전의 등가회로

Fig. 2.2 Equivalent circuit of partial discharge

결함 부분에서 보이드의 정전용량은 c 로 표현되며, 이것은 절연과괴 통로로서 작용하게 된다. b 는 보이드와 직렬로 접속된 나머지 부분의 정전용량이고, a 는 정상적인 부분의 정전용량을 나타낸다. 그림 2.2 (b)는 연면방전의 예를 나타낸 것으로서 동일하게 표현된다. 절연체에 보이드가 존재하는 경우 교류 운전전압이 인가되면 결함 내의 정전용량 c 에 전계가 집중적으로 가해지고 공기의 절연내력 이상이 되면 보이드 내부에서 불꽃방전의 형태로 부분방전이 발생하게 된다.

부분방전펄스의 형태는 그림 2.3과 같이 인가전압이 상승하는 부분에서 일정 시점에 도달할 때 방전펄스가 발생되며 전압이 감소하면 소멸하는 형태를 가진다. 운전전압이 서서히 증가하면 전압 U 의 범위에서 보이드 내부에 방전이 발생하고, 다시 감소하는 시점에서 인가전압이 V 이하로 되면 방전이 소멸한다. 이와 같이 방전이 발생하는 전압 U 를 보이드 내부에서의 방전개시전압 (DIV ; Discharge Inception Voltage)이라 하고, 방전이 소멸되는 시점의 전압 V 를 방전소멸전압 (DEV ; Discharge Extinction Voltage)이라고 한다.

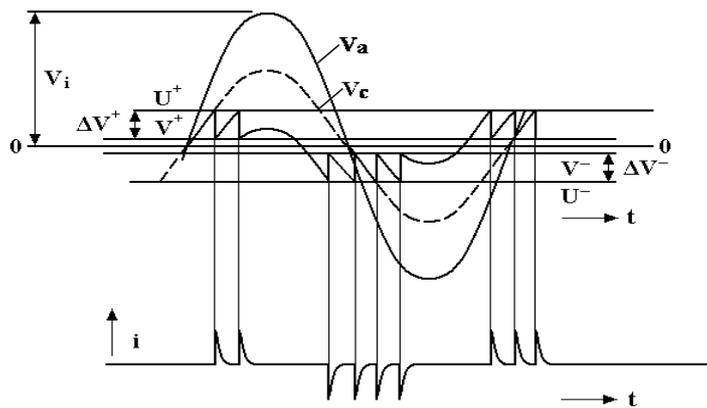


그림 2.3 교류 전압에서의 부분방전 발생 패턴
Fig. 2.3 Typical PD patterns in AC voltage

그림 2.3과 같은 방전과형에서 보이드 내부에서 발생하는 방전전하량 q_l 은 식 (2.1)과 같이 표현된다.

$$q_l \simeq (b + c)\Delta V \quad (2.1)$$

여기서, $\Delta V = U - V$ 로 보이드 내부에서 전압강하의 변화량이다. 그러나 q_l 은 직접 검출이 불가능한 값이므로 방전 발생 시 리드선을 통하여 흐르는 겔보기 방전전하량을 측정하여 방전의 크기를 정의한다. 겔보기 방전 전하량 q 는,

$$q = b\Delta V \quad (2.2)$$

로 나타낼 수 있으며, 실제 시료에서의 전압강하는 $(b\Delta V)/(a+b)$ 이고, 방전 검출기에서는 q 의 값이 측정된다.

방전전하량 q 가 존재할 경우 이때의 방전에너지는,

$$P = \frac{1}{2}c(U^2 - V^2) = \frac{1}{2}c \times \Delta V \times (U + V) \quad (2.3)$$

가 되는데, 여기서 V 는 U 에 비하여 약 10%정도로 작다고 한다면 식 (2.3)은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$P \simeq \frac{1}{2}c \times \Delta V \times U \quad (2.4)$$

그리고 방전개시전압은 $U = \frac{b}{(b+c)} V_i$ 와 같이 표현되는데 여기서, V_i 는 시료에서 방전이 발생하는 외부 방전개시전압이다. 그러므로 식 (2.4)는 아래와 같이 다시 정리할 수 있다.

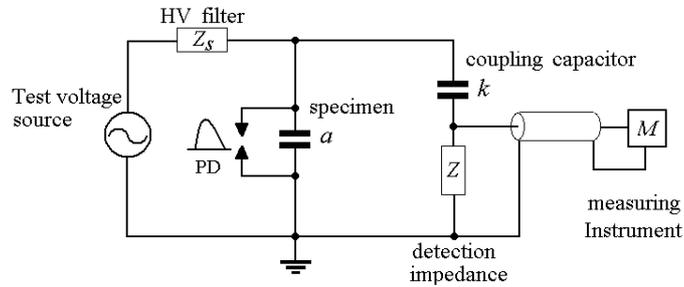
$$P = \frac{1}{2} c \times \Delta V \times \frac{b}{(b+c)} V_i \quad (2.5)$$

식 (2.5)에서 b 는 c 에 비교하면 무시될 수 있는 값이므로,

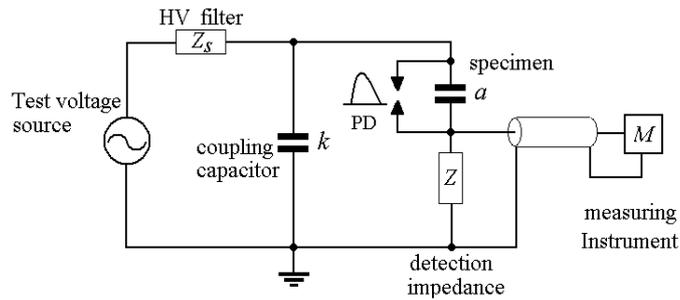
$$P \simeq \frac{1}{2} b \Delta V V_i = \frac{1}{2} q V_i \quad (2.6)$$

과 같다.

절연체 내부의 보이드에서 부분방전 발생 시 펄스전류가 흐르고 이 펄스전류를 검출함으로써 부분방전의 유무를 판정할 수 있다. 부분방전을 측정하기 위한 기본적인 회로는 그림 2.4와 같으며, 접지기기 또는 비접지기기에 따라 검출임피던스를 결합콘덴서와 접속할 것인지, 아니면 시료와 접속할 것인지를 선택할 수 있다^[18]. 실제 적용에서는 결합콘덴서와 직렬로 검출임피던스를 접속하는 방법이 사용되고 있으며, 이것은 시료에서 큰 방전이 발생할 경우 검출회로에 흐르는 과도전류에 의한 회로의 소손을 방지하기 위함이다.



(a) 접지기기



(b) 비접지기기

그림 2.4 부분방전 검출의 개략도

Fig. 2.4 Schematic diagram of PD detection

검출회로는 시험전압을 인가하기 위한 전원공급부, 방전펄스에 대하여 낮은 임피던스를 형성하기 위한 결합콘덴서, 펄스전류를 전압으로 변환하는 검출임피던스 및 관측장치로 구성된다. 또한, 전원과 시료사이에는 전원으로부터의 잡음 유입이나, 방전 전류가 전원으로 방출되는 것을 방지하기 위하여 직렬 인덕터를 접속한다.

절연성능평가 시에 사용하고 있는 파라미터는 방전전하량으로서, 이것의 최대값은 절연과괴가 일어나기 직전에 급격하게 변하게 되며, 절연체

에 시험전압을 인가 후 부분방전의 크기가 감소하는 것은 보이드 표면의 전기전도도가 증가하여 나타나는 현상이다^[19]. 부분방전의 크기는 전원 주파수 및 인가전압에 비례하며, 보이드가 전극에 가까이 위치하고 있으면 전원의 극성에 따라 부분방전의 크기는 달라진다. 또한 부분방전의 최대 값은 열화시간이 경과함에 따라 뚜렷한 전이현상을 나타내게 되므로 절연 시스템의 상태를 평가할 수 있다.

그러나 절연성능평가 시에 단순한 파라미터를 기준으로 열화정도를 추정하는 것은 불가능하며, 방전전하량, 발생빈도, 방전개시전압, 방전소멸전압 등의 파라미터를 종합적으로 측정 및 분석하여야 한다.

2.3 저압용 전기전자부품의 절연평가

절연평가는 절연체의 열화에 의한 사고 확대를 예방하여 기기의 안정적인 운전과 신뢰성 향상을 목적으로 기기 및 부품에 시행하는 진단방법으로서, 국내외 규격에서는 절연저항시험, 내전압시험, 등을 규정하고 있으며, 최근에는 부분방전시험이 주목받고 있다.

저압용 부품에서는 고압용과는 달리 사용되는 절연체의 두께나 구조, 재질 등에서 다소 차이가 있다. 따라서 발생하는 부분방전펄스는 미소한 크기로 나타나며, 부분방전시험 시 방전개시전압에서 수 십 pC 이상의 방전전하량이 나타났을 경우 심각한 열화가 진행된 것으로 평가하고 있다.

저압용 전기전자부품의 부분방전시험에 관한 규격에서는 단순히 방전전하량에 대해서만 판단기준을 정의하고 있지만, 방전전하량의 크기만으로는 절연성능의 정확한 평가가 불가능하므로 방전에 관련된 파라미터를 종합적으로 분석하여 절연평가를 수행해야 한다.

2.3.1 포토커플러

포토커플러는 입력과 출력사이의 전기신호를 광신호로 변환하여 전송함으로서 외부의 잡음에 대한 영향을 최소화하고 전기적으로 절연을 유지하는 역할을 하는 부품으로 발광부와 수광부가 하나의 패키지로 구성된 광결합 소자이다.

포토커플러에 사용되는 발광소자에는 발광효율이 높은 GaAs 다이오드, 고속스위칭이 가능한 GaAlAs 다이오드, GaAsP 다이오드 등이 사용되며 수광소자에는 출력 효율이 좋은 실리콘 포토트랜지스터, 고속 스위칭이 가능한 로직 IC, 그 밖에 포토다이오드 등이 사용된다.

포토커플러는 전기적인 절연특성을 이용하여 전위나 임피던스가 서로 다른 회로사이의 신호 전송을 목적으로 사무기기, 통신기기, 가정용 전자제품 등의 저압용 전기전자기기에 광범위하게 응용되고 있다.

포토커플러의 구조는 DIP, SOP, CAN 등의 타입이 그림 2.5와 같이 패키지 형태로 구성되며, 플라스틱 DIP 타입이 범용으로 사용되고 있다.

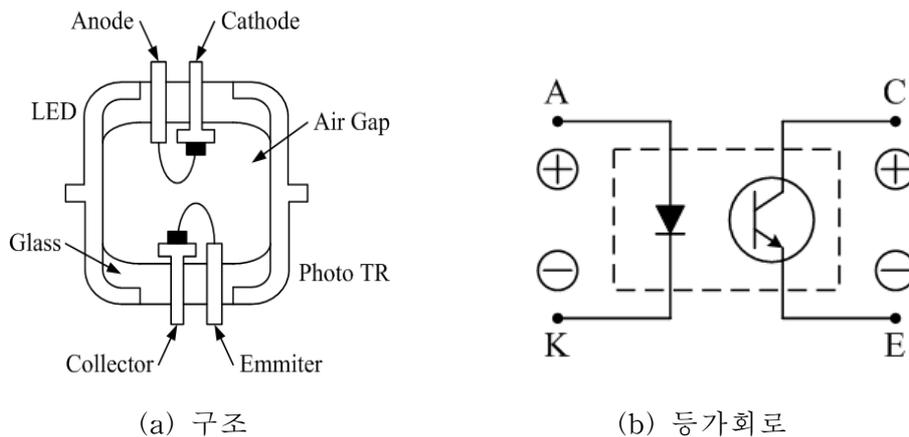


그림 2.5 포토커플러
Fig. 2.5 Photocoupler

현재 시행되고 있는 포토커플러의 절연평가 방법에는 내전압시험, 부분방전시험 등을 적용하고 있다. 내전압시험은 최대 반복 절연전압(V_{IORM} ; Maximum Repetitive Isolation Voltage)을 최소 10 초에서 최대 1 분간 인가하는 방법으로 시험을 수행하는 동안 어떠한 방전도 일어나지 말아야 한다. 제조사에서 제공하는 최대반복절연전압은 표 2.1과 같다.

표 2.1 최대 반복 절연전압
Table 2.1 Maximum repetitive isolation voltage

Type	V_{IORM} [V_{rms}]		
DIP	2,500	3,750	5,000
SMD	2,500	3,750	-

이와 같이 교류 고전압을 인가하는 내전압시험은 절연평가지험을 수행하는 과정에서 정격운전전압보다 매우 높은 전압을 인가하기 때문에 시료에 치명적인 결함을 일으킬 수 있다.

국제규격 IEC 60747-5에서 규정하고 있는 포토커플러의 부분방전시험은 내전압시험에 비하여 낮은 전압에서 절연평가를 시험을 수행하기 때문에 시료에 어떠한 영향도 주지 않고 절연평가를 할 수 있다. 국제규격 IEC 60747-5에서 규정하고 있는 부분방전시험에서 시험전압은 그림 2.6과 같이 직류 절연전압 (V_{IO} ; DC Isolation Voltage)을 인가하여 수행한다. 시험전압은 V_P 로 정의되며 식 (2.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_P = F \times V_{IO} \quad (2.7)$$

여기서, F 는 Multiple Factor 상수로서 1.875이며, 직류절연전압은 500 V로 규정하고 있다. 따라서 시험전압은 937.5 V의 전압을 사용하며, 내전압 시험과 비교하여 낮은 전압에서 절연평가지험을 수행하므로 시료에 아무런 영향도 미치지 않는다^{[20]~[22]}.

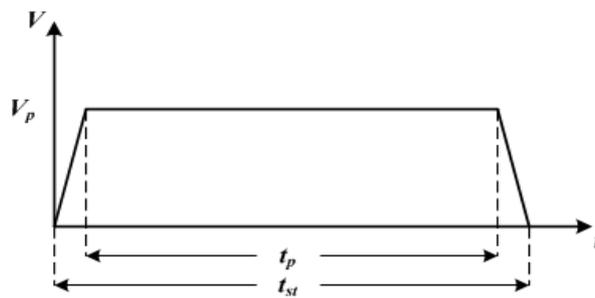


그림 2.6 부분방전 시험전압
Fig. 2.6 Test voltage of partial discharge

2.3.2 절연변압기

절연변압기의 경우에는 각종 전자회로의 전원공급부 등에 주로 사용되기 때문에 설치된 상태에서 절연성능을 평가하는 것은 불가능하므로 생산 단계 초기에 정확한 절연성능을 평가할 수 있어야 한다. 현재 절연변압기의 절연성능평가에는 내전압시험과 부분방전시험 등을 적용하고 있다.

내전압시험은 전기적으로 절연된 두 도체사이에 고전압을 인가하는 시험으로써 변압기에서는 1차코일과 철심, 2차코일과 철심, 1차코일과 2차코일사이에 시험전압을 인가하게 된다. 내전압시험에서 사용하는 시험전압은 식 (2.8)와 같다.

$$U = (U_n \times 2) + 1000 \quad (2.8)$$

여기서, U 는 시험전압이며 U_n 은 운전전압이다. 식 (2.8)에서 알 수 있듯이 시험전압은 최소 1000 V 이상으로서 시료에 결함을 일으킬 수 있다.

국내외 규격에서 저압용 전기전자부품에 부분방전시험을 적용하는 경우, IEC 60664-1에서는 10 pC 이상의 방전전하량이 검출되면 열화 상태로 판단하고 있으며, 특별한 경우에는 2 pC의 방전전하량을 판단기준으로 하고 있다. 또한 IEC 60558에서는 단순히 700 V 이하에서 부분방전이 발생하지 않아야 한다고 정의하고 있다. 그러므로 시료의 절연성능에 영향을 주지 않는 범위에서 절연평가를 수행하기 위하여 부분방전 측정시스템은 가능한 낮은 전압영역에서 1 pC 전후의 방전전하량 검출이 가능하여야 하며, 방전개시전압과 방전소멸전압에 대한 정확한 측정이 요구된다.

제 3 장 설계 및 제작

본 논문에서는 저압용 전기전자부품의 절연시험을 위하여 부분방전 측정기술을 적용하였으며, 개략적인 구성은 그림 3.1과 같다. 측정시스템은 시험전압을 인가하기 위한 전원공급부, 고주파 대역의 방전펄스를 검출하기 위한 결합회로망, 미소한 방전펄스를 증폭하기 위한 저잡음 증폭회로, 측정시스템으로 유입되는 노이즈를 최소화하기 위한 차폐함 및 필터, 검출된 방전펄스 신호를 취득하기 위한 데이터 취득 장치와 수집된 데이터로부터 검출감도와 방전 파라미터를 측정하는 교정프로그램과 분석프로그램으로 구성된다.

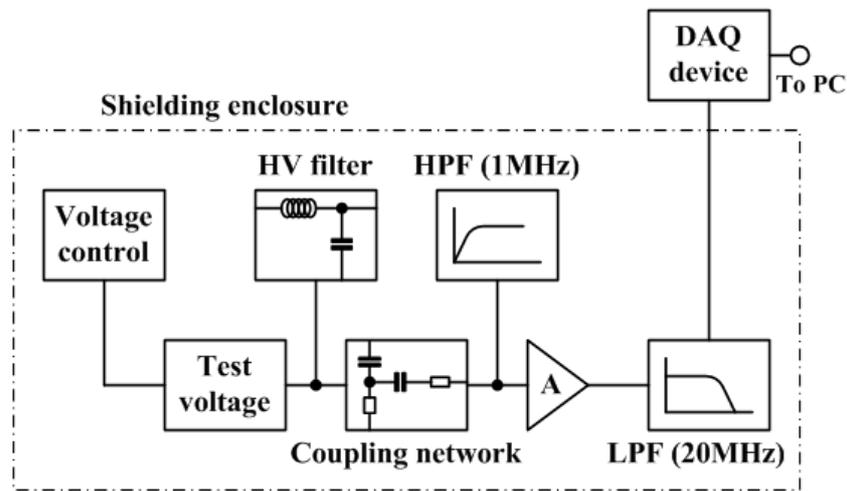


그림 3.1 부분방전 측정시스템의 개략도
 Fig. 3.1 Schematic diagram of the PD measurement system

3.1 측정시스템의 구성

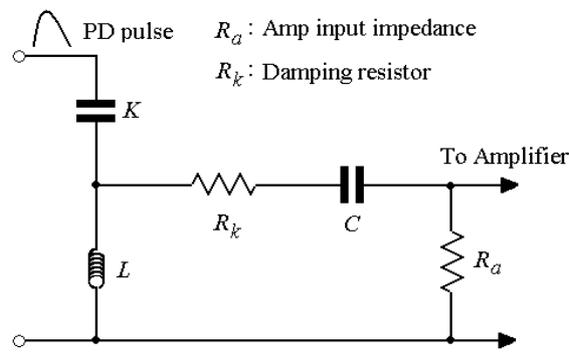
3.1.1 검출회로

임피던스 결합에 의한 부분방전 검출회로는 시료와 병렬로 결합콘덴서와 검출임피던스를 접속하여 절연체에서 발생하는 방전펄스를 검출한다. 검출회로에서 고전압 발생원과 결합콘덴서 (coupling capacitor) k 는 방전이 발생하지 않아야 하며, 방전은 시료 a 의 결합에서만 발생한다. 검출임피던스 Z 의 양단에는 시료에서 발생하는 방전펄스에 의한 전압 임펄스를 발생시키게 되며 증폭기 A 를 통하여 측정된다. 검출임피던스는 기기의 접지방식에 따라 시료에 직렬로 접속하는 방법과 결합콘덴서 k 와 직렬로 접속하는 두 가지 방법을 고려할 수 있으며, 고전압 발생원의 임피던스가 충분히 크다면 전기적으로 같은 전압이 발생한다.

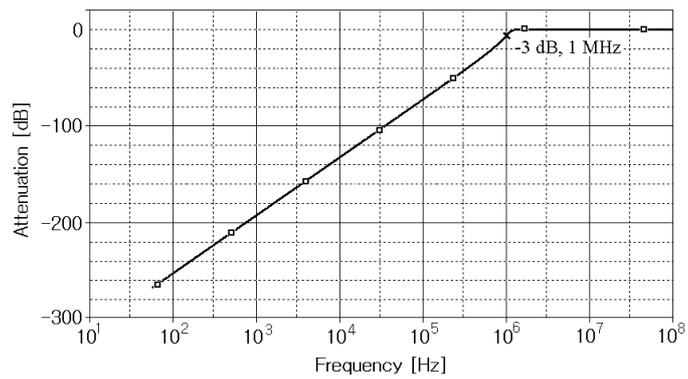
저압용 전기전자부품에서 발생하는 부분방전은 수 MHz 범위의 고주파 전류 임펄스 형태이기 때문에 결합콘덴서 k 와 검출임피던스 Z 로 구성되는 결합회로망이 필요하며, 여기에 사용되는 결합콘덴서 및 RLC 소자는 시험전압 범위에서 방전이 발생하지 않는 안정적인 소자를 사용하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 AC 8kV까지 방전이 발생하지 않는 결합콘덴서 (ceramic capacitor type 07761, Morgan)를 사용하였다.

본 연구에 적용한 결합회로망은 저압용 전기전자부품에서 발생하는 부분방전펄스의 특성을 고려하여 1 MHz 이상의 고주파 신호를 검출할 수 있도록 구성하였다. 주파수 선정 시 결합콘덴서를 포함하는 결합회로망은 RLC 조합으로 그림 3.2 (a)와 같이 구성할 수 있으며 결합콘덴서의 정전용량은 달라질 수 있기 때문에 결합콘덴서의 정전용량의 변화시에 결합회로망의 구성도 함께 고려하여야 한다. 결합회로망은 부분방전 시험전압인 60 Hz의 상용 주파수 전압신호는 완전히 차단하고, 고주파 펄스형태의 방

전펄스만을 통과시키는 고역통과필터의 특성을 가져야 한다. 그림 3.2 (b)는 결합회로망의 시뮬레이션 결과로써 -3 dB가 되는 차단 주파수를 1 MHz로 선정하여 시험전압은 -270 dB로 완전히 차단할 수 있으며, 시료에서 발생하는 부분방전펄스를 충분히 검출할 수 있다.



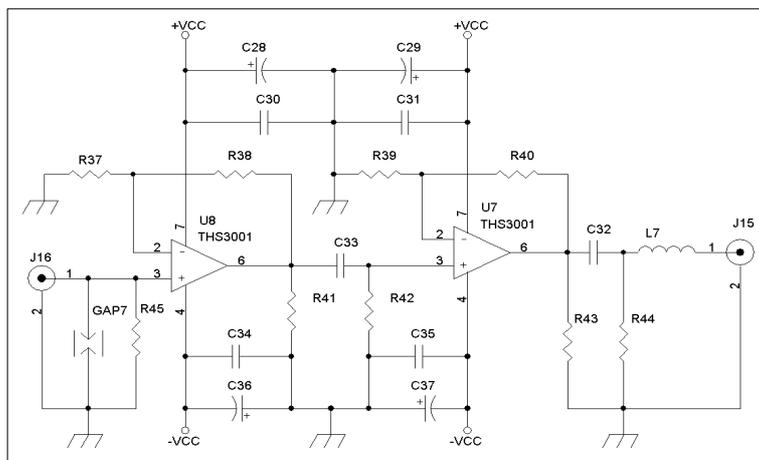
(a) 구성



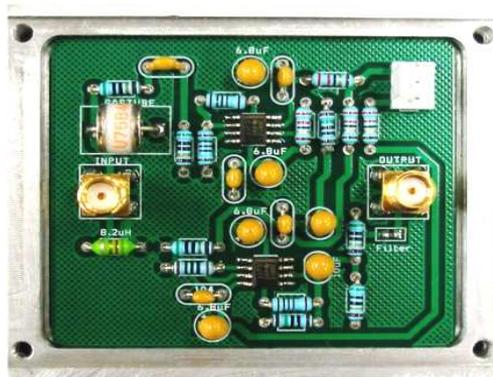
(b) 주파수 특성

그림 3.2 결합회로망
 Fig. 3.2 Coupling network

부분방전펄스의 크기는 대단히 작기 때문에 출력단에 증폭회로를 접속하여야만 방전펄스를 검출할 수 있다. 증폭회로는 충분한 주파수 대역과 낮은 잡음 특성을 갖도록 설계하여야 하므로 그림 3.3와 같이 2단으로 구성되는 증폭회로를 제작하였다^{[23],[24]}.



(a) 회로도



(b) 사진

그림 3.3 증폭회로

Fig. 3.3 Prototype amplifier

증폭회로에 사용된 TI사의 THS3001 연산증폭기는 주파수 범위가 DC 420 MHz로서 부분방전을 검출하기에 충분한 주파수 범위를 가지며, 입력 offset 전압은 3 mV_{max} 로서 대단히 낮은 잡음레벨을 갖는다. 증폭회로의 증폭도는 40 dB로 설계하였으며, 부분방전펄스의 발생 주파수 범위 및 외부 또는 내부의 방사 잡음에 대한 영향을 고려하여 출력단에 10 MHz의 저역통과필터를 접속하였다.

그림 3.4는 안정적인 시험전압을 공급하기 위한 전원공급부를 나타낸 것으로서 마이크로프로세서로 제어되는 스텝모터와 입력전원을 가변하기 위한 슬라이다스를 접속하여 일정한 비율로 시험전압을 공급할 수 있도록 제작하였다.

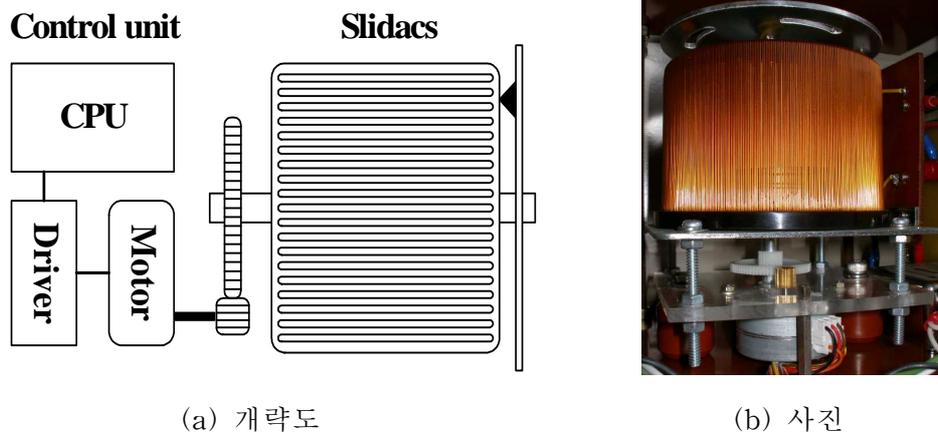


그림 3.4 시험전압 제어부

Fig. 3.4 Test voltage control unit

3.1.2 잡음대책

미소한 크기의 부분방전펄스를 검출하기 위해서는 외부 잡음을 효과적으로 차단할 수 있어야 하며, 부분방전 검출회로의 최소 검출감도는 잡음 레벨의 2 배 이상이어야 한다. 정확한 부분방전펄스를 검출하기 위해서는 잡음의 발생 원인을 분석하여 효과적인 잡음 대책을 적용하고, 억제되지 않는 잡음에 대해서는 검출회로의 주파수 대역을 조절하는 기법을 적용하여 부분방전펄스와 잡음 신호를 분리하여야 한다.

부분방전 측정에서 외부 잡음은 그림 3.5와 같이 전원공급부로부터 유입되는 전도 잡음, 외부로부터 유입되는 방사 잡음, 접지측으로부터 유입되는 접지 잡음의 3 가지로 구분할 수 있다^[25].

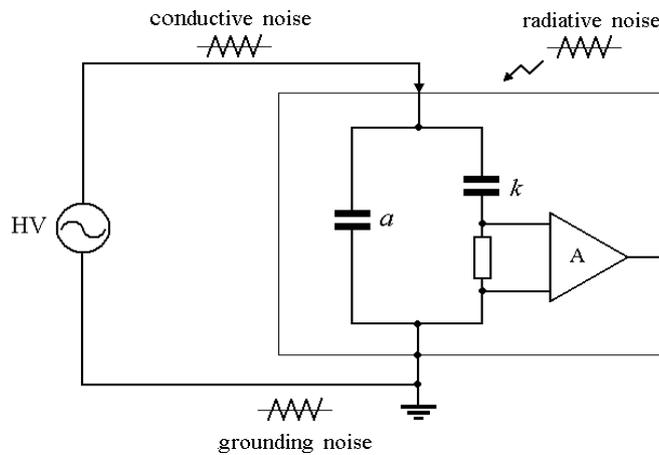


그림 3.5 외부 잡음의 전달 경로

Fig. 3.5 Propagation channel of external noises

첫 번째로 부분방전을 측정하기 위하여 외부로부터 공급되는 입력전원에 의한 잡음은 수 십 ~ 수 백 kHz의 주파수 대역을 갖는 전도성 잡음이다. 이러한 전도성 잡음을 차단하기 위해서는 전원 공급부와 부분방전 검

출에 사용되는 기기 및 소자를 시험전압 범위에서 방전이 발생하지 않는 안정적인 것을 사용하고, 서지 및 고주파 잡음에 대한 보호회로의 구성과 직렬필터회로 등이 요구된다.

두 번째로 방송국 등에서 송신되는 수 십 MHz의 대역을 가지는 고주파 통신신호, 외부 기기로부터 발생하는 방사 성분의 잡음이 있다. 이러한 방사 잡음은 차폐기법 등을 적용하여 차단할 수 있다.

세 번째로 불안정한 접지 시스템으로 인하여 발생하는 접지 잡음으로서 생산 공정과 같이 각종의 전기전자기기를 사용할 때 발생하는 고주파 잡음이 대부분이며, 낙뢰 또는 전력계통의 지락 사고 등에 의하여 대지 전위가 상승으로 인하여 발생한다. 접지 잡음을 차단하기 위해서는 단일 접지방식의 적용하고 접지필터를 사용하여야 한다.

부분방전 펄스의 검출을 위하여 S/N 비가 크고 잡음 신호가 최소화 되도록 하는 구성이 요구되며, 잡음의 원인별로 적합한 대책을 마련하여야 한다. 본 연구에서는 검출회로를 차폐함 내부에 구성하고, 전원 공급부에 필터를 접속하여 외부 잡음을 차단하였으며, 접지로부터 유입되는 잡음은 단일접지 방식을 적용하였다.

차폐 기법은 방송용 반송파 등의 방사잡음 제거를 위한 대책으로 전원 공급부의 인입선, 결합회로망에 사용되는 결합콘덴서와 검출회로부 등에 방송 주파수 및 통신신호가 감지되지 않도록 구리 및 알루미늄과 같이 도전율이 높은 금속으로 차폐시키는 것이 가장 효과적이다.

차폐함의 차폐효과는 금속 재질의 재료적인 특성에 큰 영향을 받기 때문에 가능한 도전율이 높은 재질을 사용해야한다. 본 연구에서는 차폐함의 구조를 그림 3.6과 같이 2중 차폐구조로 구성하였으며, 외부에는 투자율이 높은 재질을 사용하고 내부 차폐물은 도전율이 높은 재료를 사용함으로써 차폐효과를 극대화하였다^[26].

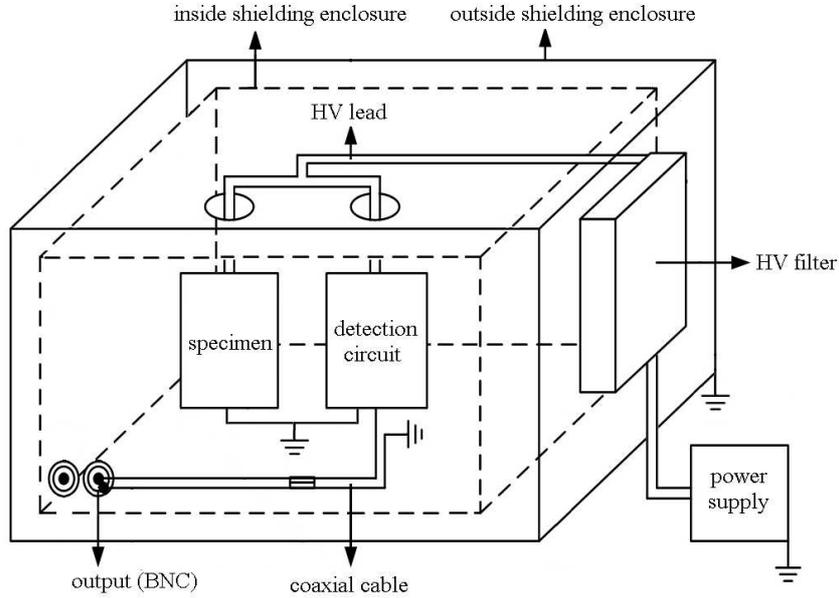


그림 3.6 차폐함의 개략도

Fig. 3.6 Schematic diagram of the shielding enclosure

방사 잡음에 대한 차폐함의 차폐효과는,

$$SE(\text{dB}) = [1.314t \sqrt{f\mu_r\sigma_r}] + [322 - 10\log_{10}(\frac{\mu_r r^2 f^3}{\sigma_r})] \quad (3.1)$$

와 같이 나타낼 수 있다.

2중 구조의 차폐함에서 외부 차폐함은 360 dB, 내부 차폐함은 190 dB로 계산되며, 외부로부터의 방사 잡음에 대하여 550 dB의 차폐효과를 기대할 수 있다.

차폐함을 적용하면 방사 잡음은 효과적으로 차단할 수 있지만, 전원 공급원으로부터 발생하는 전도 잡음에 대한 대책은 되지 못하기 때문에

전도 잡음을 제거하기 위하여 전원 공급원 인입단에 필터를 설치하는 것이 효과적이다. 전원 필터 적용 시에는 정상적인 전원주파수 신호는 그대로 통과시키고, 수 십 kHz의 대역을 가지는 잡음 신호는 차단할 수 있도록 구성하여야 한다. 부분방전 시험을 위한 전원 공급원은 220 V의 전원을 공급받아 시험용 변압기로 승압시키는 과정을 거치게 되므로 입력 전원에 고주파 잡음이 존재하면 시험용 변압기에 그대로 전달된다. 따라서 그림 3.7과 같이 시험용 변압기의 출력단에 직렬 인덕터를 접속함으로써 부분방전 검출을 위한 결합회로의 시료 및 결합콘덴서의 정전용량을 이용하여 LC 고전압 필터회로를 구성하였다^[27]. 최종적으로 전도 잡음은 시험 전압 출력단에 고전압 LC 필터에 의하여 차단된다. 여기서 사용한 직렬 인덕터는 결합콘덴서의 정전용량이 비교적 작고 제한적으로 사용되기 때문에 충분한 감쇄비를 얻기 위하여 높은 투자율을 갖는 적층구조의 코어를 사용하였다. 코어에 감아놓은 권선은 부분방전이 발생하는 것을 방지하기 위하여 절연내력이 40 kV인 실리콘 케이블을 사용하였다.

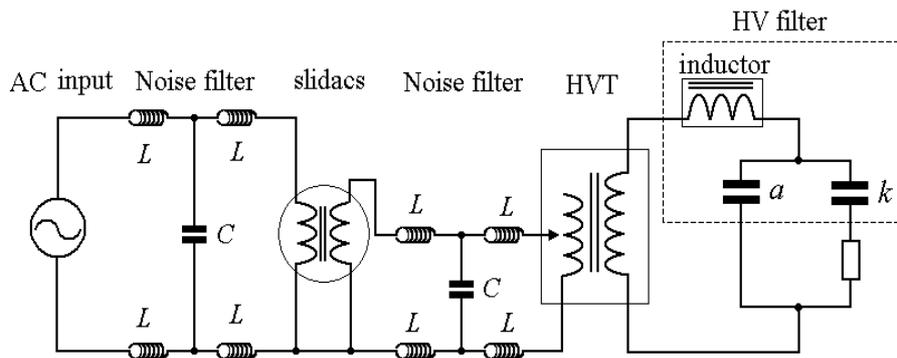


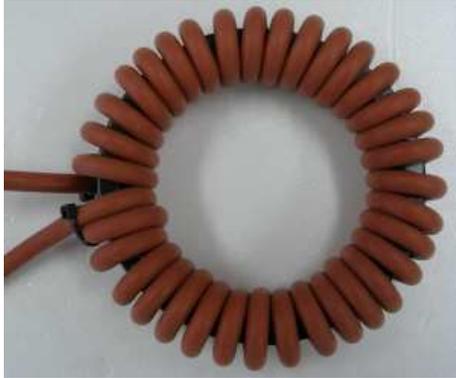
그림 3.7 전원 공급부의 구성
Fig. 3.7 Configuration of the power supply

조건에 의한 인덕터의 용량은 다음 식과 같이 표현된다.

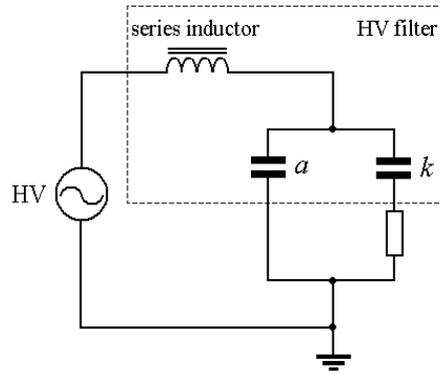
$$L = \frac{\mu\mu_r N^2 s}{2\pi b} \text{ [mH]} \quad (3.2)$$

여기서, μ_r : Mn 코어의 비투자율 (4,000), N : 감은 권선수 (35 T), s : 코어의 단면적, b : 코어의 반경이다. 식 (3.2)에 의해 계산된 인덕터의 용량은 약 14.56 mH가 된다. 제작한 직렬 인덕터는 RLC 미터로 인덕턴스 값을 측정한 결과 100 Hz 범위에서 약 14 mH의 값을 나타내었다. 고전압 출력단에 구성된 LC 필터회로의 주파수 특성을 평가하기 위하여 PSpice 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과는 그림 3.8과 같다. 전도성 잡음에 대한 차단주파수는 570 Hz로 시료에 인가되는 60 Hz의 시험전압은 그대로 통과하고, 570 Hz이상의 잡음에 대해서는 효과적인 차단이 가능하다.

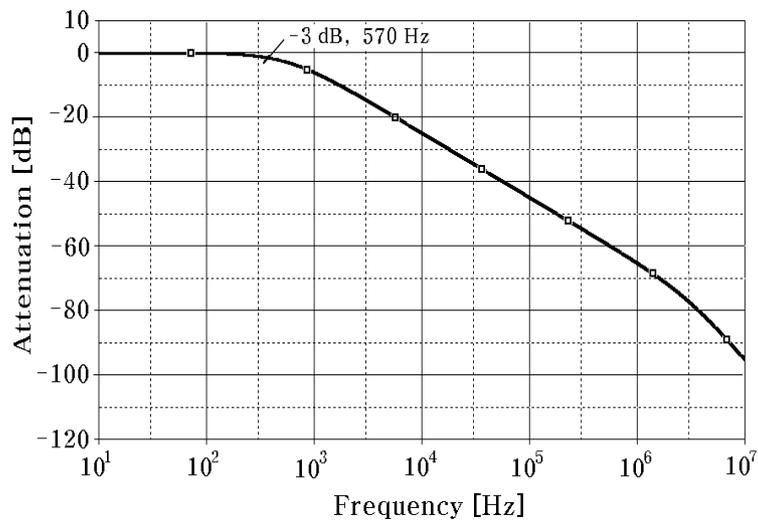
접지측을 통해 유입되는 잡음은 생산 공정과 같이 각종의 전기기기를 사용할 때 발생하는 고주파 잡음이 대부분이며, 낙뢰 또는 전력계통의 지락 사고 등에 의해 대지전위가 상승함에 따라 발생하기도 한다. 이러한 잡음에 대한 대책으로는 단일접지방식이 가장 현명한 방법으로 판단되며, 본 연구에서는 접지시스템이 양호한 실험실내의 평가가 이루어지므로 전원공급부와 측정시스템의 접지에 단일접지방식을 적용함으로써 접지 잡음을 최소화하였다.



(a) 직렬 인덕터



(b) 구성



(c) 주파수 특성

그림 3.8 고전압 필터

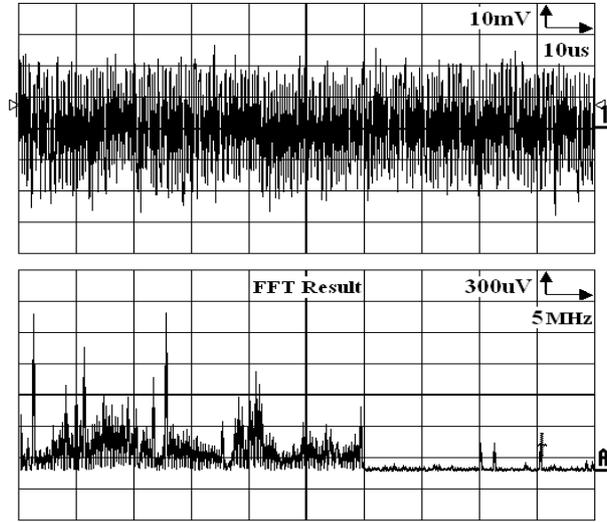
Fig. 3.8 High voltage filter

최종적으로 설계 및 제작한 측정시스템은 그림 3.9와 같이 전원공급부, 결합회로망, 저잡음 증폭회로 구성되며, 검출회로는 외부 잡음에 대한 영향을 최소화하기 위하여 차폐함 내부에 설치하였다.

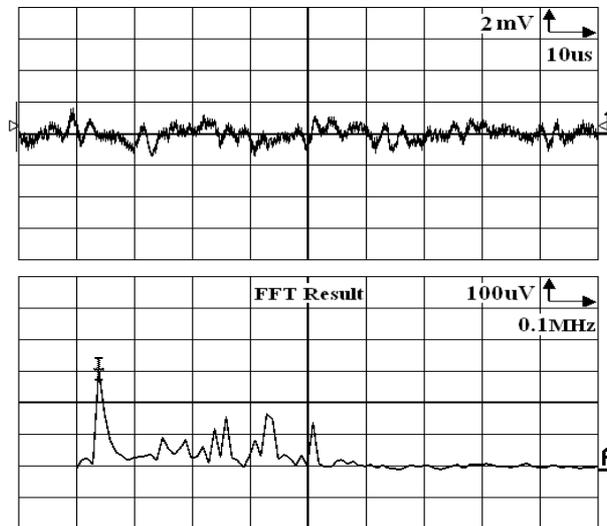


그림 3.9 부분방전 측정시스템의 사진
Fig. 3.9 Photograph of the PD measurement system

저압용 전기전자부품에서 발생하는 부분방전펄스는 미소한 신호이기 때문에 잡음에 대한 영향을 최소화하여야 하므로, 부분방전시험을 수행하기에 앞서, 개발한 측정시스템에 대한 잡음평가를 실시하였다. 측정된 잡음신호는 그림 3.10과 같이 차폐함의 개구부가 열려 있는 상태에서의 잡음레벨은 $50\text{ mV}_{\text{p-p}}$ 로 측정되었고, 주요 주파수 범위는 $2 \sim 45\text{ MHz}$ 범위에서 관측되었다. 개구부가 닫혀 있는 상태에서의 잡음 신호는 $3\text{ mV}_{\text{p-p}}$ 로 측정되었고, 주요 주파수 성분은 400 kHz 이하로 방사잡음은 완전히 차단된다.



(a) 개구부 열림



(b) 개구부 닫힘

그림 3.10 잡음 레벨
Fig. 3.10 Noise level

3.2 측정프로그램

측정프로그램은 시료의 감도를 산출하여 판단기준을 마련하기 위한 교정프로그램과 방전 파라미터를 측정하는 분석프로그램을 설계하였다. 그림 3.11은 측정프로그램의 순서도를 나타낸 것으로서, 시험을 시작하게 되면 교정단계를 거쳐 인가전압과 시간을 설정하고 부분방전시험을 수행 후 측정된 데이터를 저장하게 된다.

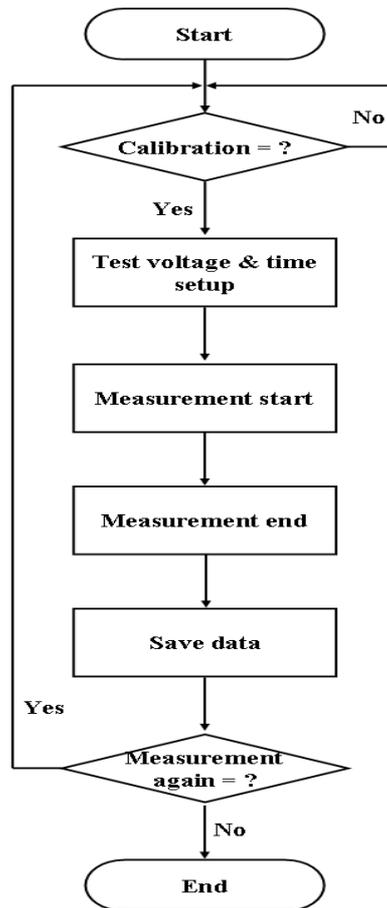


그림 3.11 측정프로그램의 순서도

Fig. 3.11 Flowchart of measurement program

교정 및 분석프로그램은 크게 신호 설정부 (Signal conditioning), 신호 검출부 (Signal detection), 측정부 (Measurement)로 나누어지며 그림 3.12은 프로그램의 기본 블록도를 나타낸 것이다.

신호 설정부는 방전펄스신호를 데이터 취득 장치를 통해 입력 받아 입력임피던스와 대역폭을 조절해 줌으로서 측정하고자 하는 신호에 대한 최적의 조건을 만들어 준다. 신호 검출부에서는 최대입력전압, 트리거 레벨, 극성을 조절하여 입력 신호를 검출하는 역할을 하며, 측정부는 검출된 신호의 최대값, 최소값, 시간정보 등을 이용하여 프로그램적인 연산을 통해 분석을 하기 위한 정보들을 도출한다.

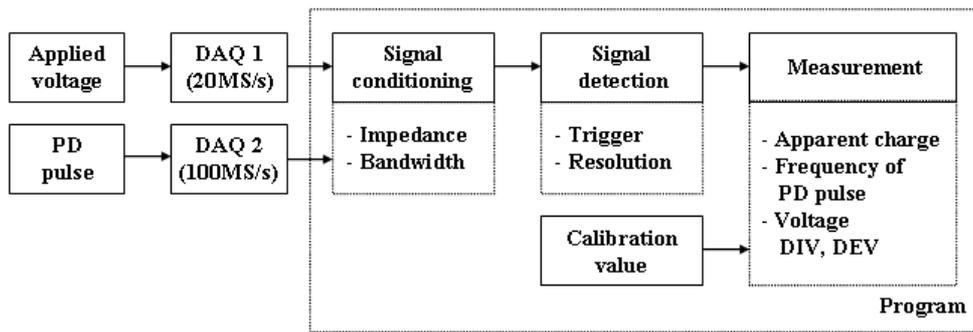
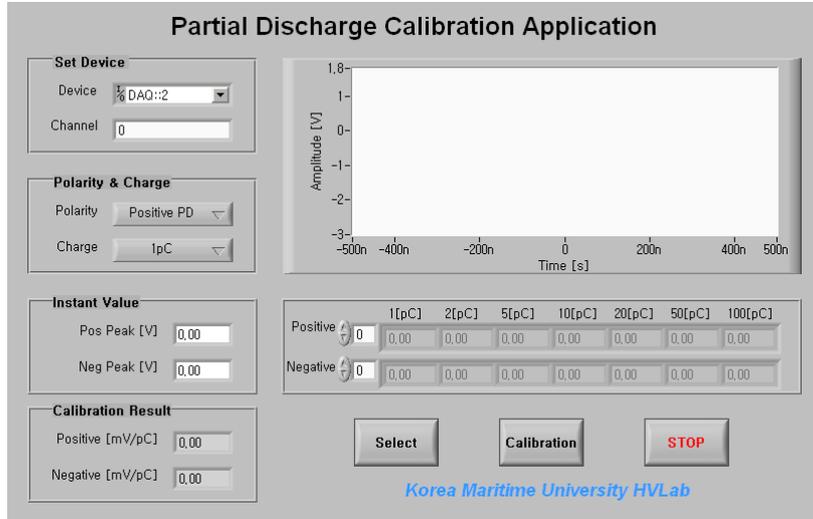
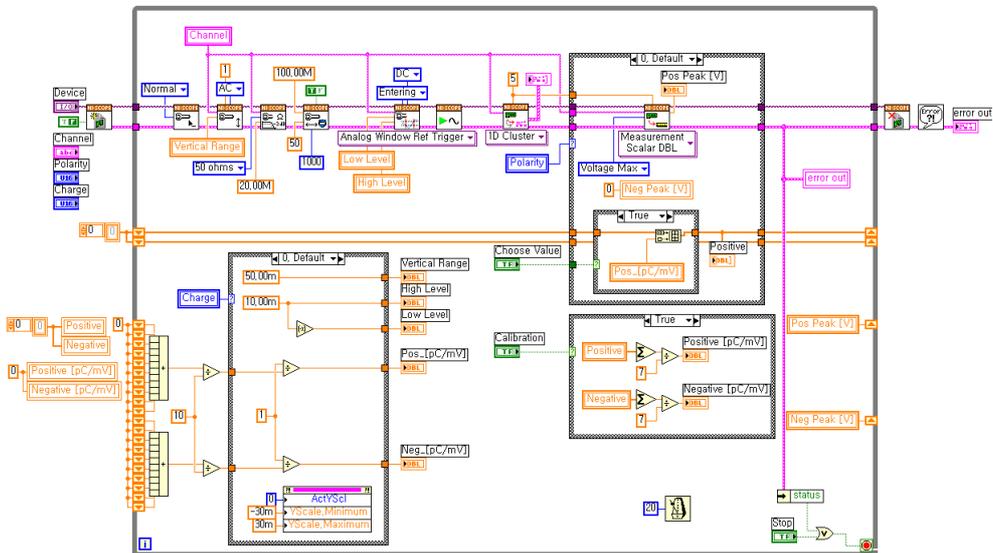


그림 3.12 프로그램의 블록도
Fig. 3.12 Block diagram of program

교정프로그램에서는 이미 알고 있는 크기의 방전펄스를 주입하여 정극성 및 부극성에 대한 피크값을 검출하며, 검출된 피크값은 측정 오차를 줄이기 위하여 여러 개의 값을 평균하여 출력하게 된다. 정확한 측정 감도를 산출하기 위하여 각각의 전압값에 대한 전하량을 산출하고, 이것을 다시 평균하여 검출 감도를 산출하도록 프로그램을 구성하였다. 그림 3.13은 교정프로그램의 주화면과 VI를 나타낸 것이다.



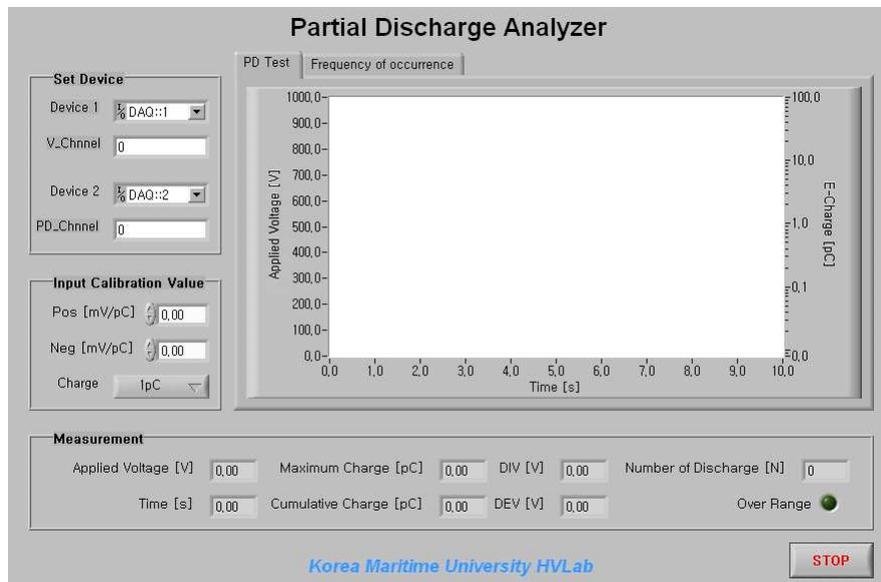
(a) 주 화면



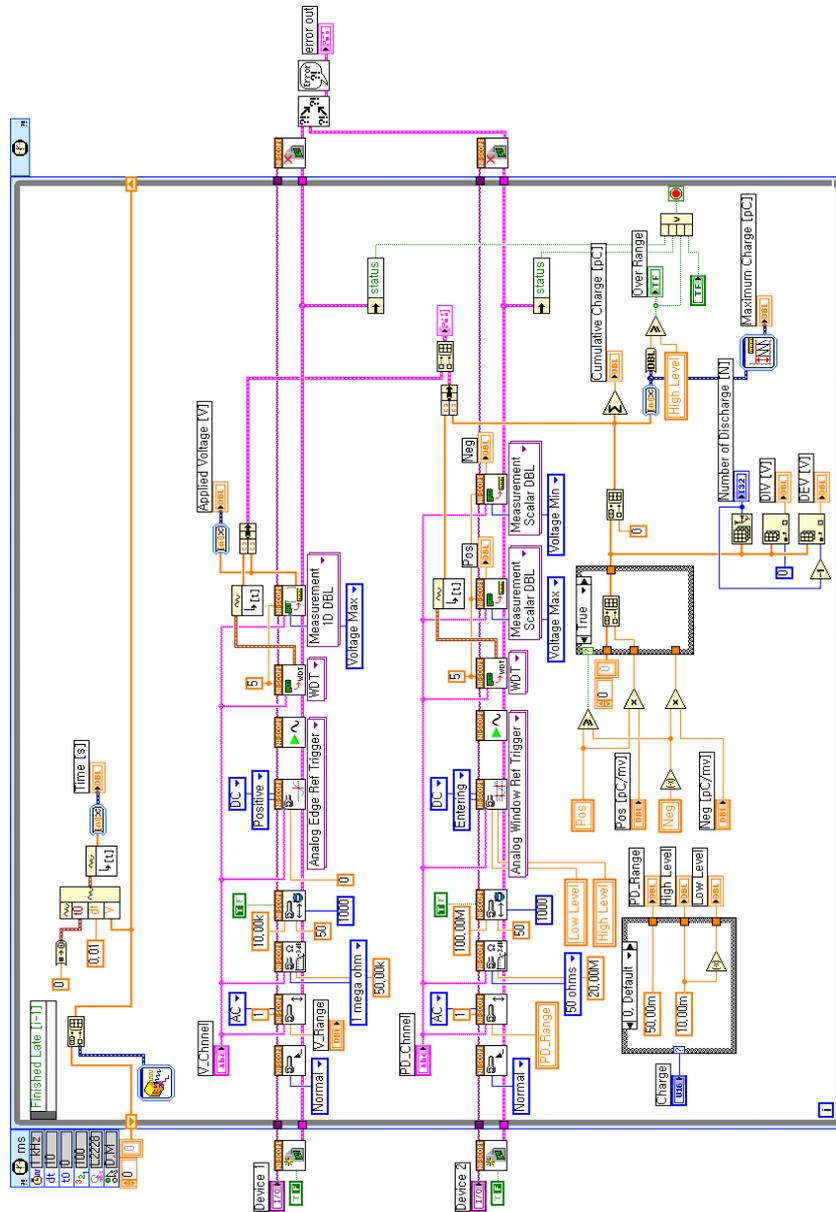
(b) 교정 VI

그림 3.13 교정프로그램
Fig. 3.13 Calibration program

분석프로그램은 시험전압과 부분방전 신호의 중심 주파수의 차이가 매우 크기 때문에 두 개의 데이터 취득 장치를 이용하여 각각의 신호를 동시에 입력받아 시험전압, 최대 방전전하량, 발생빈도, 방전개시전압, 방전소멸전압과 같은 방전 파라미터를 산출하여 분석한다. 그림 3.14은 분석프로그램의 주화면과 VI를 나타낸 것이다.



(a) 주화면



(b) 분석 VI

그림 3.14 분석프로그램
Fig. 3.14 Analysis program

제 4 장 평가 및 분석

설계 및 제작한 부분방전 측정시스템의 적용평가를 위하여 포토커플러와 절연변압기를 대상으로 교정실험과 부분방전실험을 수행하였다. 부분방전시험을 수행하기 위해서는 이미 알고 있는 크기의 전하량을 주입하여 시료에 대한 감도를 산출하는 교정단계를 거쳐야 한다. 특히 동일한 측정시스템에서 시료가 변경될 경우, 시료의 정전용량의 변화에 의하여 검출되는 부분방전의 크기가 달라지기 때문에 부분방전시험에 앞서 교정시험이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 전용의 교정기 (CAL1A, 1 ~ 100 pC, Power Diagnostix)를 이용하여 교정실험을 수행하였다.

부분방전펄스는 시료측에서 발생하여 검출임피던스로 전달되므로 그림 4.1과 같이 시료의 양단에 교정기를 접속한 상태에서 교정실험을 하였다. 교정기 내부의 정전용량은 시료의 정전용량에 비해 1/10 이하의 작은 값을 가질 때 정확한 교정이 가능하다^[18].

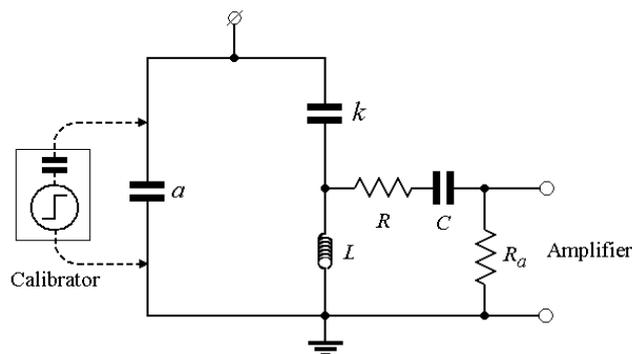


그림 4.1 교정 방법
Fig. 4.1 Calibration method

4.1 포토커플러

절연전압이 2500 V인 포토커플러 중에서 포토트랜지스터 타입과 달링톤 포토트랜지스터 타입을 대상으로 교정실험과 부분방전실험을 수행하였으며, 절연파괴가 일어나지 않은 시료와 절연이 파괴된 시료의 시험 결과를 비교함으로써 설계 및 제작한 측정시스템을 평가하였다.

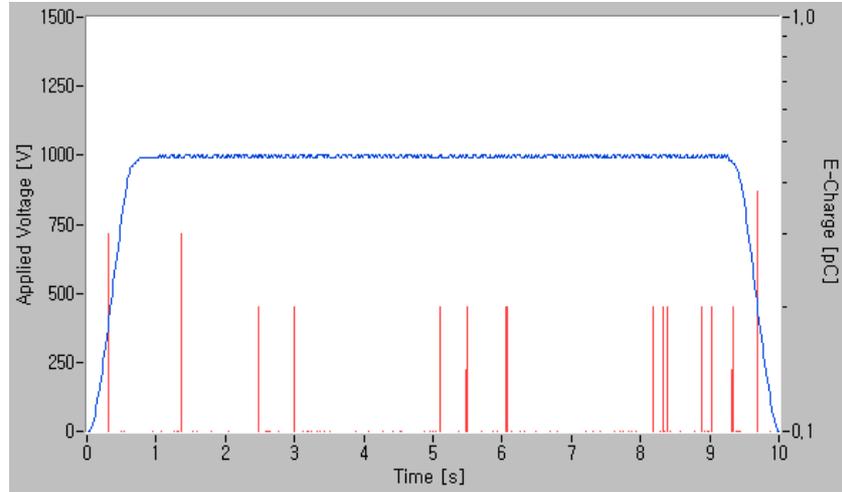
교정실험은 시료에 시험전압을 인가하지 않은 상태에서 포토커플러의 입력단과 출력단 사이에 1 ~ 100 pC의 교정펄스를 주입하고 교정프로그램을 이용하여 검출감도를 산출하였다. 측정된 전압신호는 각 전하량에 비례하여 선형적으로 나타났으며, 33.8 mV/pC으로 동일하게 측정되었다.

부분방전실험시의 인가전압은 국제규격 IEC 60747-5에 의하여 1000 V를 인가하였으며, 포토트랜지스터 타입에 대한 방전 파라미터와 실험 결과를 표 4.1과 그림 4.2에 나타내었다.

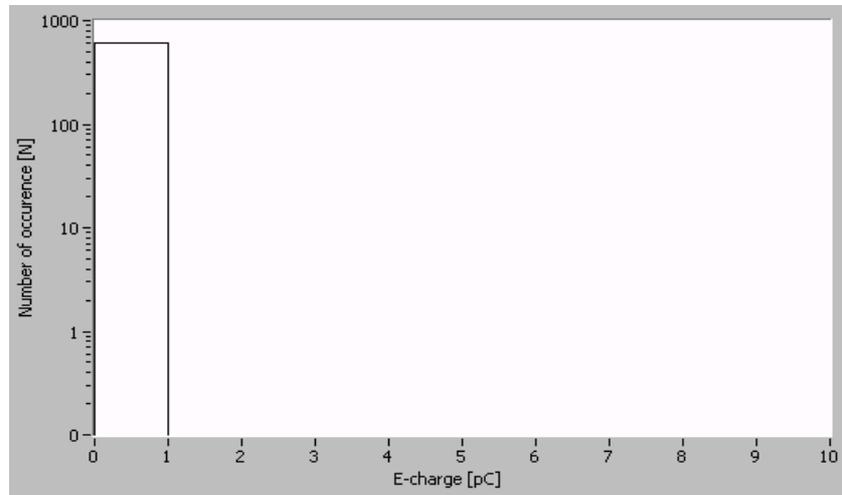
시료 A에서는 최대 0.4 pC의 방전전하량이 측정되었으며, 1 pC 이하의 방전만 발생하였다. 시료 B의 경우에는 최대 8.5 pC의 방전전하량이 측정되었고, 정상인 시료에 비하여 방전개시전압과 방전소멸전압이 낮아진 것으로 나타났으며, 5 pC 이상의 방전이 수차례 발생한 것으로 나타났다.

표 4.1 포토트랜지스터에 대한 방전 파라미터
Table 4.1 Discharge parameters for phototransistors

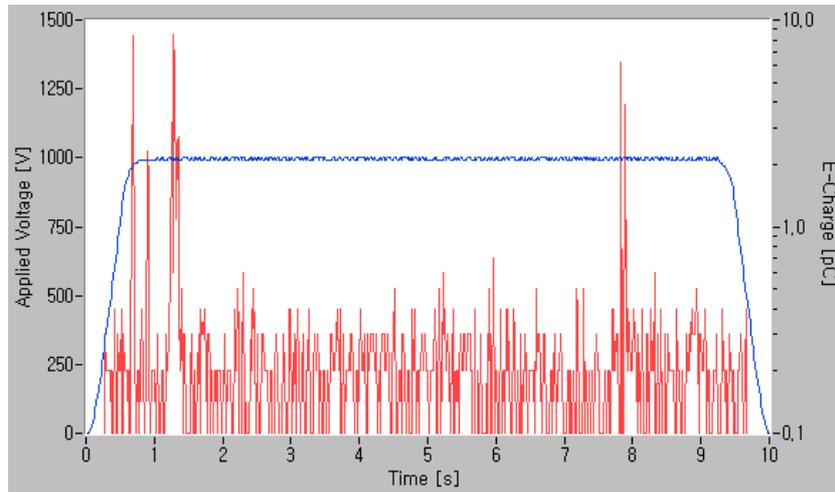
구분	방전전하량 [pC]	방전개시전압 [V]	방전소멸전압 [V]
시료 A	0.4	370 at 0.4 pC	520 at 0.38 pC
시료 B	8.5	340 at 0.32 pC	500 at 0.4 pC



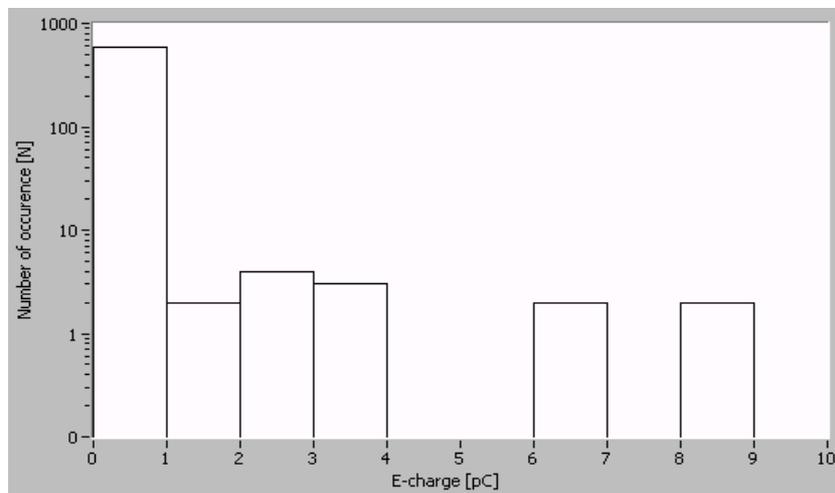
(a) 실험파형 (시료 A)



(b) 발생빈도 (시료 A)



(c) 실험과형 (시료 B)



(d) 발생빈도 (시료 B)

그림 4.2 포토트랜지스터에 대한 PD 실험 결과
 Fig. 4.2 PD test results for phototransistors

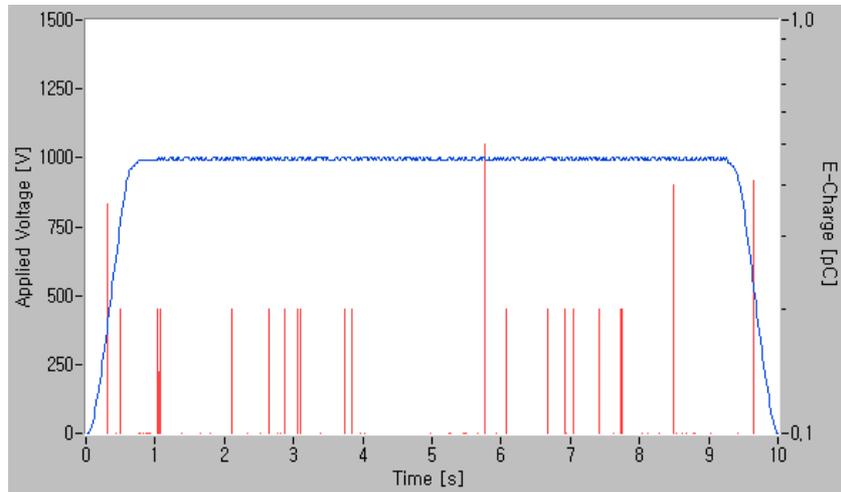
표 4.2와 그림 4.3은 달링톤 포토트랜지스터 타입에 대한 방전 파라미터와 실험 결과를 나타낸 것으로서, 시료 C에서는 최대 0.5 pC의 방전전하량이 측정되었으며, 1 pC 이하의 방전만이 발생하였다.

반면에, 시료 D의 경우에는 최대 59 pC의 방전전하량이 측정되었고, 정상인 시료에 비하여 방전개시전압과 방전소멸전압이 낮아진 것으로 나타났으며, 전하량이 수 십 pC인 방전이 수 십 차례 이상 발생한 것으로 나타났다.

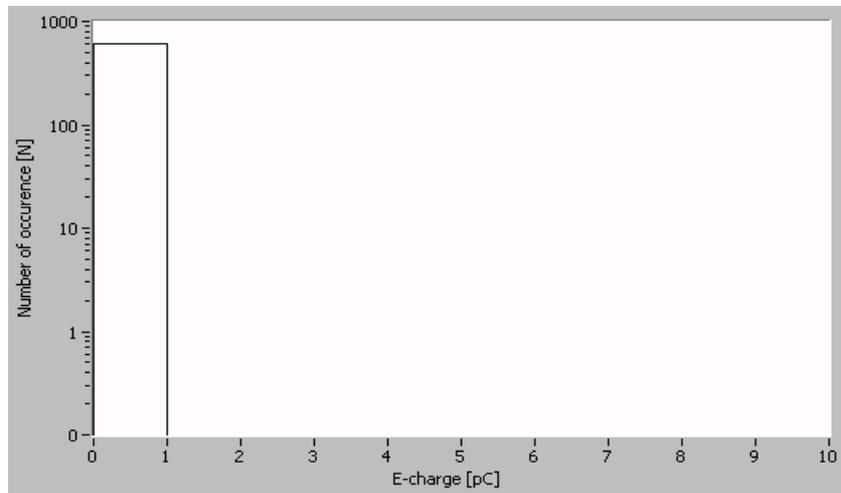
표 4.2 달링톤 포토트랜지스터에 대한 방전 파라미터

Table 4.2 Discharge parameters for darlington phototransistors

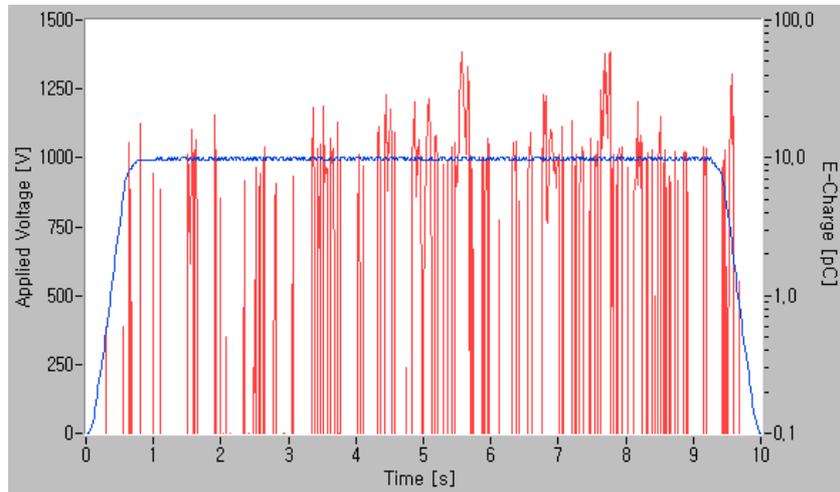
구분	방전전하량 [pC]	방전개시전압 [V]	방전소멸전압 [V]
시료 C	0.5	400 at 0.36 pC	530 at 0.41 pC
시료 D	59	370 at 0.6 pC	470 at 1.27 pC



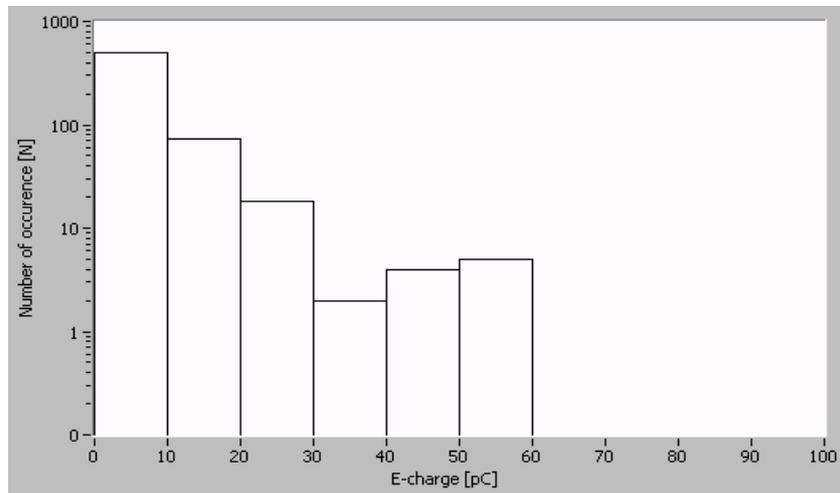
(a) 실험과형 (시료 C)



(b) 발생빈도 (시료 C)



(c) 실험파형 (시료 D)



(d) 발생빈도 (시료 D)

그림 4.3 달링톤 포토트랜지스터에 대한 PD 실험 결과
 Fig. 4.3 PD test results for darlington phototransistors

4.2 절연변압기

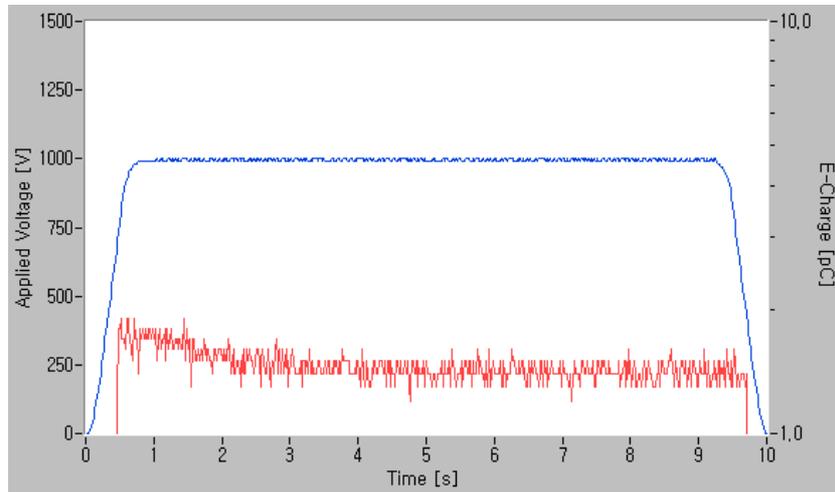
절연변압기에서는 가속열화시험을 통하여 절연이 파괴된 시료를 대상으로 1차코일과 철심, 2차코일과 철심, 1차코일과 2차코일에 대하여 국제규격 IEC 60664-1과 IEC 60558 규정에 의하여 부분방전실험을 수행하였다. 검출감도는 1차코일 및 2차코일과 철심에서 31.3 mV/pC, 1차코일과 2차코일에서 27.6 mV/pC으로 정극성 및 부극성에서 동일하게 나타났다.

절연변압기에서의 부분방전실험은 국제규격을 모두 만족하기 위하여 두 가지 형태의 시험전압을 인가하여 부분방전실험을 수행하였다. 최대 방전전하량에 기준을 두고 있는 국제규격 IEC 60664-1의 규정을 만족하기 위하여 직각과 형태의 시험전압을 인가하여 실험을 수행하였다. 1차코일과 철심에서는 최대 1.9 pC으로 측정되었고, 10 pC 이하의 방전만이 발생하였다. 2차코일과 철심에서는 최대 1100 pC으로 측정되었고, 수 백 pC 방전이 많이 발생하였다. 1차코일과 2코일사이에서는 최대 1200 pC으로 측정되었고, 수 백 pC의 방전이 많이 발생한 것으로 나타났다. 표 4.3 과 그림 4.4는 절연변압기에 대한 방전 파라미터와 부분방전실험 결과를 나타낸 것이다.

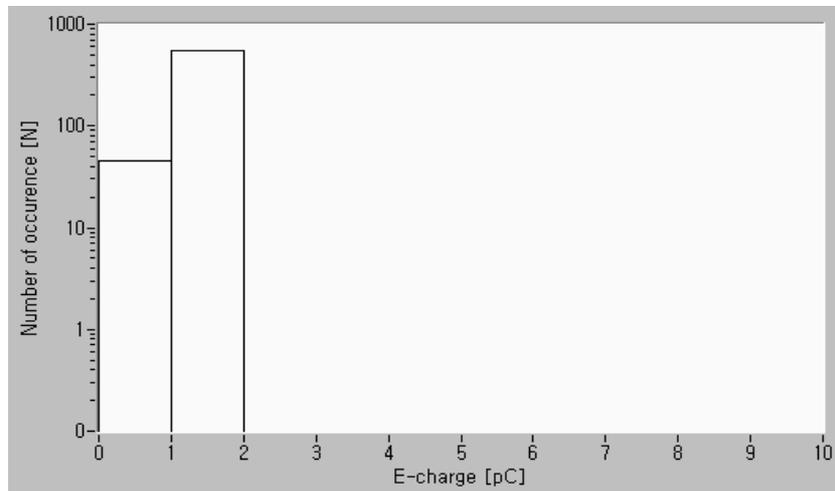
표 4.3 절연변압기에 대한 방전 파라미터 1

Table 4.3 Discharge parameters 1 for isolation transformers

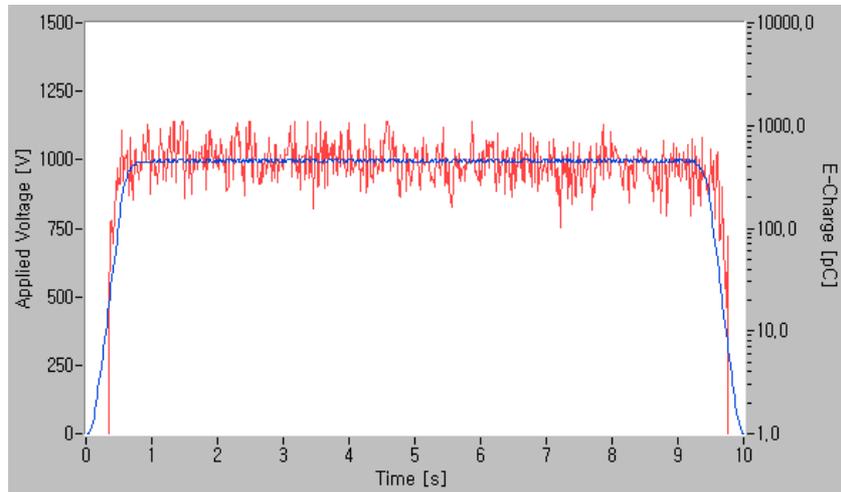
구분	방전전하량 [pC]	방전개시전압 [V]	방전소멸전압 [V]
1차코일-철심	1.9	700 at 1.2 pC	440 at 1.4 pC
2차코일-철심	1100	470 at 16 pC	310 at 1 pC
1차코일-2차코일	1200	440 at 3 pC	250 at 3 pC



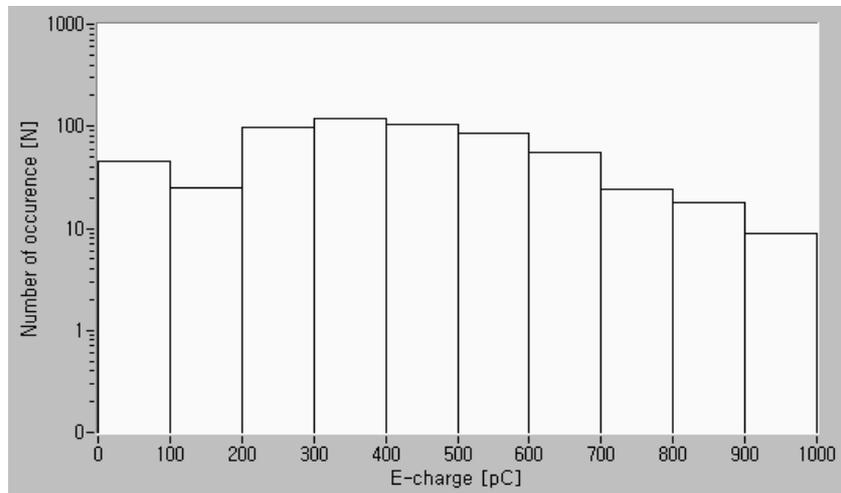
(a) 실험파형 (1차코일-철심)



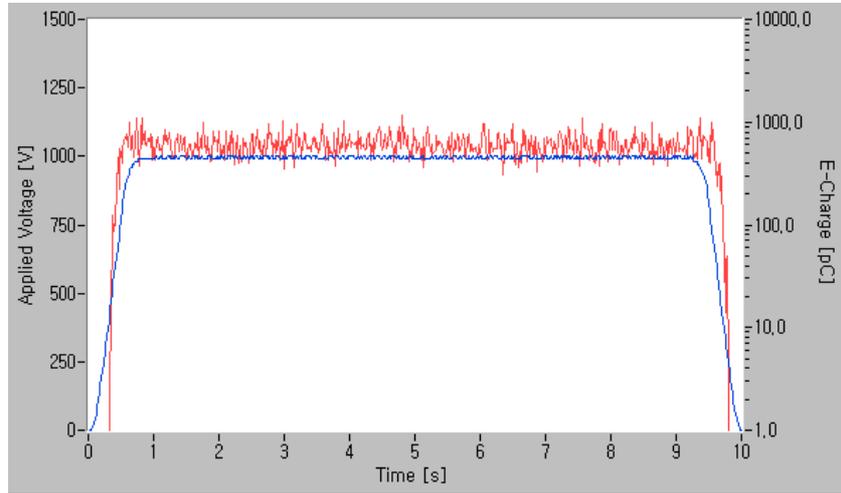
(b) 발생빈도 (1차코일-철심)



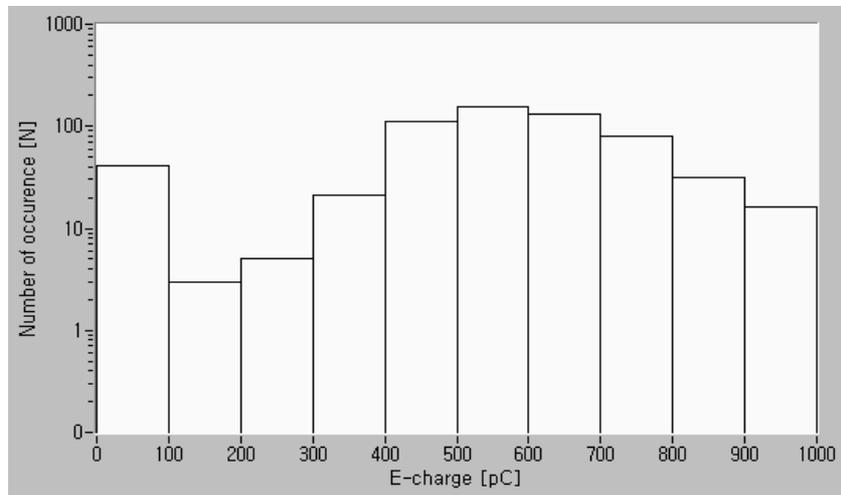
(c) 실험파형 (2차코일-철심)



(d) 발생빈도 (2차코일-철심)



(e) 실험 파형 (1차코일-2차코일)



(f) 발생빈도 (1차코일-2차코일)

그림 4.4 절연변압기에 대한 PD 실험 결과 1

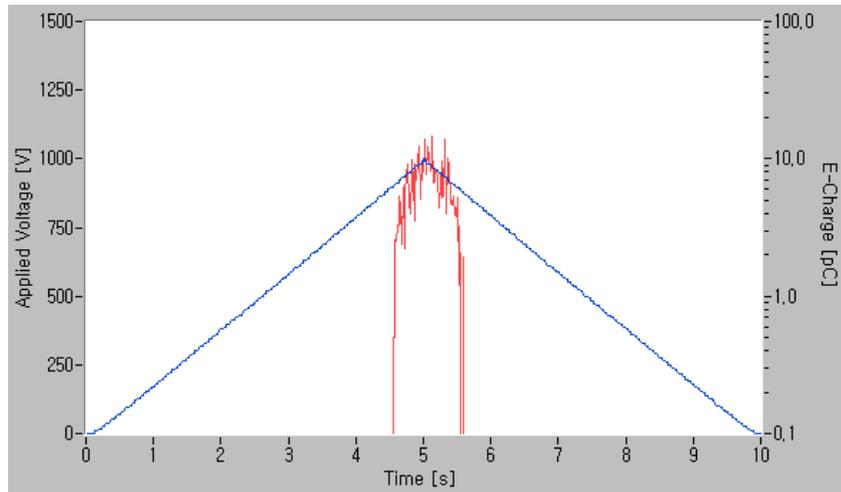
Fig. 4.4 PD test results 1 for isolation transformers

방전개시전압 및 방전소멸전압에 기준을 두고 있는 국제규격 IEC 60558의 규정을 만족하기 위하여 삼각과 형태의 시험전압을 인가하여 실험을 수행하였다. 1차코일과 철심에서는 최대 14 pC으로 측정되었고, 20 pC 이하의 방전만이 발생하였다. 2차코일과 철심에서는 최대 18 pC으로 측정되었고, 20 pC 이하의 방전이 많이 발생한 것으로 나타났다. 1차코일과 2코일사이에서는 최대 916 pC으로 측정되었고, 수 백 pC의 방전이 많이 발생한 것으로 나타났다. 또한, 700 V 이하에서 많은 방전이 발생한 것으로 측정되었다. 표 4.4과 그림 4.5는 절연변압기에 대한 방전 파라미터와 부분방전실험 결과를 나타낸 것이다.

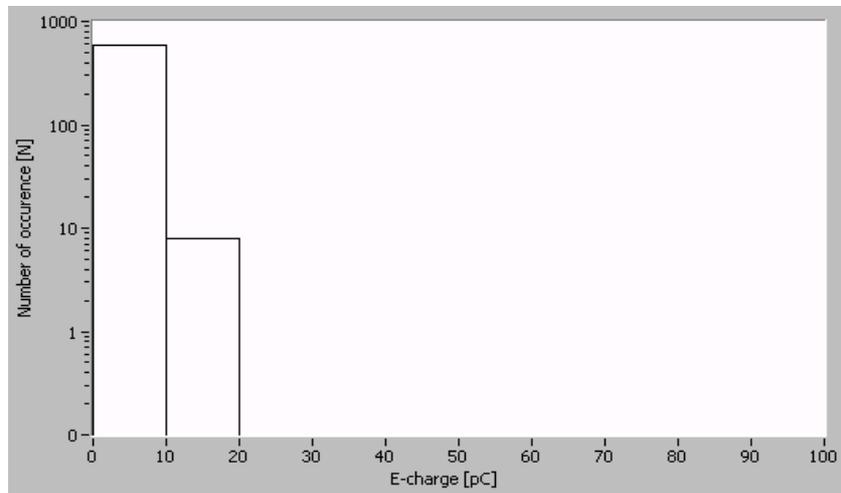
표 4.4 절연변압기에 대한 방전 파라미터 2

Table 4.4 Discharge parameters 2 for isolation transformers

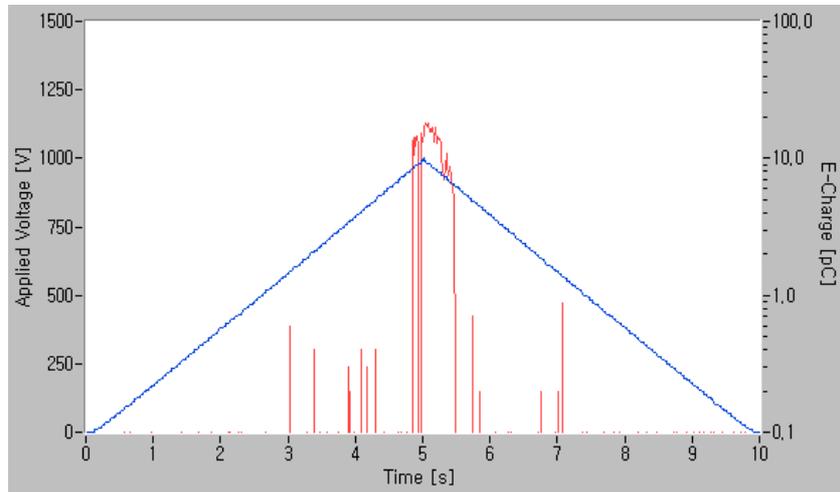
구분	방전전하량 [pC]	방전개시전압 [V]	방전소멸전압 [V]
1차코일-철심	14	890 at 0.5 pC	870 at 1.9 pC
2차코일-철심	18	590 at 0.6 pC	560 at 0.8 pC
1차코일-2차코일	916	520 at 6.1 pC	530 at 4.8 pC



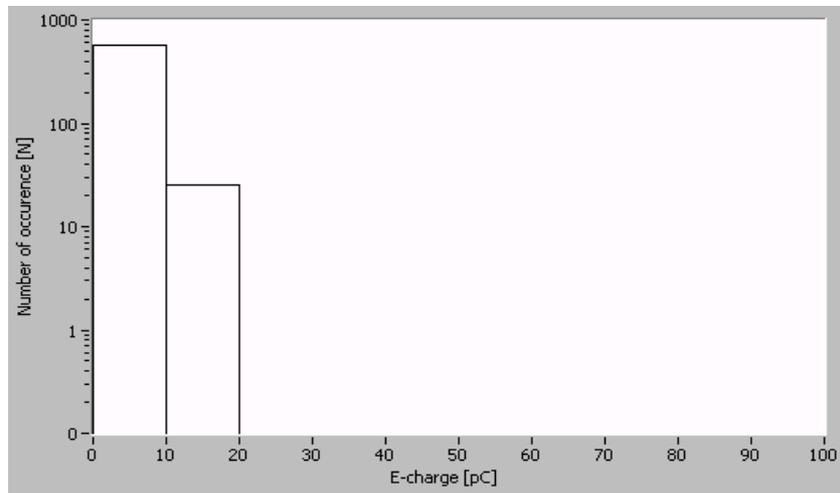
(a) 실험파형 (1차코일-철심)



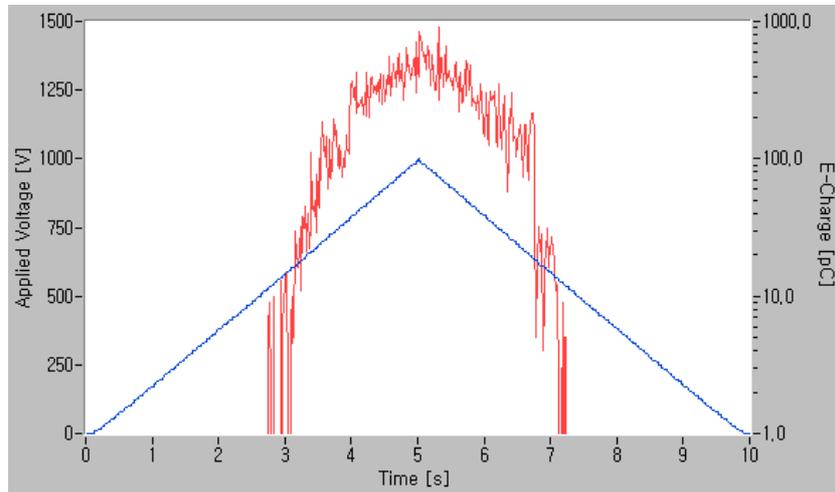
(b) 발생빈도 (1차코일-철심)



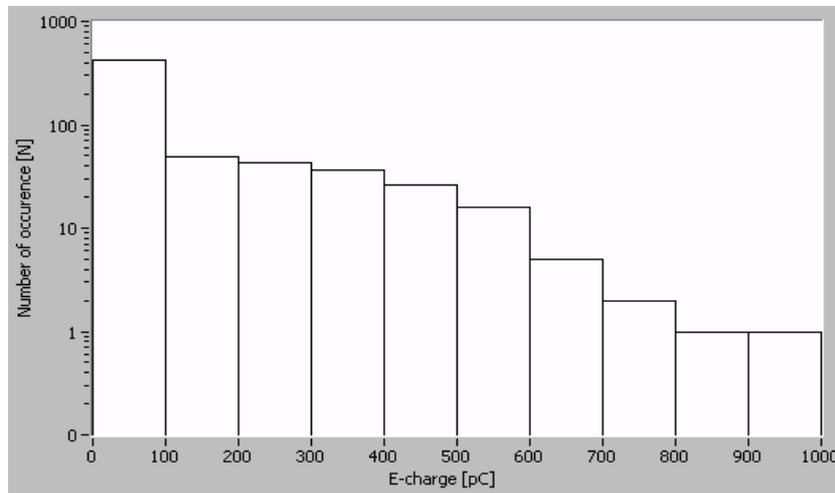
(c) 실험파형 (2차코일-철심)



(d) 발생빈도 (2차코일-철심)



(e) 실험 파형 (1차코일-2차코일)



(f) 발생빈도 (1차코일-2차코일)

그림 4.5 절연변압기에 대한 PD 실험 결과 2
 Fig. 4.5 PD test results 2 for isolation transformers

제 5 장 결 론

본 논문에서는 저압용 전기전자부품의 절연평가를 위한 부분방전 측정 시스템을 설계 및 제작하였다. 포토커플러와 절연변압기를 대상으로 교정 실험과 부분방전실험을 수행하였으며, 세부적인 결론은 다음과 같다.

1. 부분방전 측정시스템은 방전펄스의 주파수와 크기를 고려하여 광대역 결합회로망과 저잡음 증폭회로로 구성하였으며, 잡음에 대한 영향을 최소화하기 위하여 고전압 필터와 차폐함을 적용하였다. 마이크로프로세서로 제어되는 스텝모터를 이용하여 전압 조정기를 제어함으로써 안정적인 부분방전 시험전압을 공급할 수 있도록 설계하였다.
2. 결합콘덴서 및 검출임피던스로 구성되는 결합회로망은 부분방전 시험 전압인 60 Hz의 상용주파수 전압신호를 -270 dB로 완전히 차단하고, 저역측 차단주파수는 1 MHz로 측정 주파수대역 내에서 고주파 방전신호만을 통과시키는 특성을 가지도록 설계하였다.
3. DAQ 장치를 통하여 취득된 부분방전펄스를 측정하기 위한 교정 및 분석프로그램을 LabVIEW를 이용하여 설계하였다. 교정프로그램은 정극성 및 부극성에 대한 검출감도를 산출하고, 분석프로그램은 방전전하량, 발생빈도, 방시개시전압 및 방전소멸전압과 같은 파라미터를 도출하여 시료에서 발생하는 방전펄스의 분석이 가능하다.
4. 포토커플러와 절연변압기를 대상으로 교정실험을 수행하였으며, 각각의 시료에서의 검출감도는 선형적으로 나타났다. 포토커플러에서는 정극성 및 부극성에서 33.8 mV/pC로 동일하게 측정되었으며, 절연변압기

에서는 1차코일 및 2차코일과 철심에서 31.3 mV/pC, 1차코일과 2차코일에서 27.6 mV/pC으로 정극성 및 부극성에서 동일하게 측정되었다.

5. 포토커플러를 대상으로 부분방전실험을 수행한 결과, 시료 B와 D의 경우 방전전하량, 발생빈도는 증가하였으며, 방전개시전압과 방전소멸전압은 낮아진 것으로 나타났다. 가속열화시험을 수행한 절연변압기의 1차코일과 철심, 2차코일과 철심, 1차코일과 2차코일에서 부분방전실험을 수행한 결과, 10 pC 이상의 방전이 발생하였고 700 V 이하에서 많이 방전이 발생한 것으로 측정되었다.
6. 설계 및 제작한 부분방전 측정시스템은 잡음레벨을 고려할 경우 최소 0.3 pC의 미소 부분방전신호의 측정이 가능하며, 절연체의 절연성능에 대한 함·부 판정뿐 아니라 부분방전펄스에 대한 파라미터를 분석함으로써 정확한 평가가 가능하다.

본 연구에서 설계 및 제작한 부분방전 측정시스템은 방전펄스에 대한 여러 가지 파라미터를 이용하여 저압용 전기전자부품의 절연성능을 분석하여 평가할 수 있으므로, 저압용 전기전자부품의 절연평가 및 품질관리 측면에서 활용가치가 높을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] L. A. Dissado and J. C. Fothergill, "Electrical Degradation and Breakdown in Polymers", Redwood Press, pp.242-262, 1992.
- [2] J. C. Fothergill, L. A. Dissado and P. J. J. Sweeney, "A Discharge Avalanche Theory for the Propagation of Electrical Tree", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 1, No. 2, pp.474-486, 1994.
- [3] L. A. Dissado, S. J. Dodd, J. V. Champion, P. I. Williams and J. M. Alison, "Propagation of Electrical Tree Structures in Solid Polymeric Insulation", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 4, No. 3, pp.259-279, 1997.
- [4] Christopher J Melhorn and Le Tang, "Transient Effect of PWM Drives on Induction Motors", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol.33, No.4, pp.1065-1072, 1997.
- [5] A. Mbaye, F. Grigorescu, T. Lebey and Bui Ai, "Existence of Partial Discharges in Low-voltage Induction Machines Supplied by PWM Drives" IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol.31 No.4, pp.554-560, 1996.
- [6] J. A. Oliver, G.C. Stone, "Implications for the Application of Adjustable Speed Drive Electronics to Motor Stator Winding Insulation," IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 11, No. 4, pp. 32-36, 1995.
- [7] S. A. Boggs, "Partial Discharge - Part II : Detection Sensitivity", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.6, No.5, pp.35-42, 1990.
- [8] A. Lapp and H. G. Kranz, "The Use of CIGRE Data Form at for PD Diagnosis Application", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, pp. 102-112, 2000.

- [9] B. Fruth and L. Niemeyer, "The Importance of Statistical Characteristics of Partial Discharge", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 23, No. 2, pp.59-70, 2000.
- [10] J. P. Zondervan, E. Gulski and J. J. Smit, "Fundamental Aspects of PD Patterns of On-Line Measurements on Turbogenerators", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, pp.59-70, 2000.
- [11] IEC Publication 60664-1, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems - Part 1 : Principles, requirements and tests, 2002.
- [12] IEC Publication 61558-1, Safety of power transformers, power supplies, reactors, and similar products, 2005.
- [13] IEC Publication 60664-2-3, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems-Part 3 : Use of coating, potting or moulding for protection against pollution, 2003.
- [14] A. Lapp and H. G. Kranz, "The Use of CIGRE Data Form at for PD Diagnosis Application", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 7, No. 1, pp. 102-112, 2000.
- [15] W. Hutter, "Partial Discharge - Part XII : Partial Discharge Detection in Rotating Electrical Machines", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 4, pp.25-31, 1992.
- [16] A. Cavallini, M. Conti, A. Contin and G. C. Montanari "Advanced PD Inference in On-Field Measurements. Part2: Identification of Defects in Solid Insulation Systems" IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol.10, No.3, pp.527-538, 2003.
- [17] S. A. Boggs, "Partial Discharge - Part III : Cavity-Induced PD in Solid Dielectric", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 6, No. 6, pp.11-20, 1990.
- [18] IEC Publication 60270, High-voltage test techniques-Partial discharge measurement, 2000.

- [19] E. Gulski, "Diagnosis of HV Components by Digital PD Analyzer", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp.630-640, 1995.
- [20] IEC Publication 60747-5-1, Discrete semiconductor devices and integrated circuits Part 5-1 : Optoelectronic devices-General, 2002.
- [21] IEC Publication 60747-5-2, Discrete semiconductor devices and integrated circuits Part 5-1 : Optoelectronic devices-Essential ratings and characteristics, 2002.
- [22] IEC Publication 60747-5-3, Discrete semiconductor devices and integrated circuits Part 5-1 : Optoelectronic devices-Measuring methods, 2002.
- [23] 길경석, 송재용, 서황동, 황돈하, 강동식, 김용주 "저압 유도전동기에 서 미소 부분방전 측정에 관한 연구" 전기전자재료학회 논문지 제18 권 제10호, pp.960-964, 2005.
- [24] 길경석, 송재용, 서황동, 문승보, 조영진, 황돈하,"저압용 전열수구에 서 방전신호의 발생과 검출에 관한 연구" 대한전기학회 논문지 제54 권 제11호, pp. 498-502, 2005.
- [25] Richard Lee Ozenbaugh, "EMI Filter Design", Marcel Dekker, inc., 1996.
- [26] Ralph Morrison, "GROUNDING AND SHIELDING TECHNIQUES" 4th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1998.
- [27] L.M. Schneider, "Noise Source Equivalent Circuit Model for Off line Converters and its Use in Input Filter Design", IEEE Symposium oh Electro-magnetic Compatibility, Arlington VA, August, 1983.