

# 초고압 전력기기 진단을 위한 UHF PD 센서 및 패턴분석 기술에 관한 연구

論 文

53C-2-6

## A Study on the UHF PD Sensor and Novel Pattern Analysis Technology for Diagnosis of the High Power Apparatus

康元鐘\*·李昌峻\*·姜允植\*\*·李熙喆\*\*\*·朴鍾華§

Wonjong Kang · Changjoon Lee · Yoonsik Kang · Heecheol Lee · Jongwha Park

**Abstract** - This paper describes investigations of the UHF(Ultra High Frequency) PD(Partial Discharge) measuring technology designed for monitoring of PD in high power apparatus. Based on the spiral antenna theory, the hole type sensor for GIS with metal flange spacer and injection type sensor for oil filled transformer are developed. The experimental results show measurement characteristics of the PD sensor for several artificial defects in gas-insulated system(GIS) and oil transformer. Moreover, we proposed the new  $\Phi$ -f-q method for the purpose of condition assessment of high power apparatus.

**Key Words** :UHF PD, GIS,  $\Phi$ -f-q analysis, hole type sensor, injection type sensor

### 1. 서 론

최근 들어 급증하는 전기에너지의 소비를 충족하기 위하여 고기압/대용량으로 개발되어 운전되고 있는 각종 전력설비들에 대한 사고의 피해 규모나 파급효과는 엄청나게 크다. 따라서 설비를 운영함에 있어서 사고 발생의 예방 및 운전의 신뢰도 향상을 위한 상시적인 설비의 예방진단 시스템의 필요성은 절대적이다. 이러한 전력 설비의 예방진단 시스템을 개발하기 위하여, GIS 및 유입식 변압기 내부 결함을 검출하는 연구가 진행되어 왔다. 여러 가지 진단기법 중 현장 적용에 적합한 기술로서는 UHF PD 측정 기법과 AE PD 측정 기법을 중심으로 연구가 진행되어, 현재 많은 부분이 on-line 상태의 설비에 적용되어 시험 되고 있다.[1]

초고압 GIS용 UHF PD 센서는 내장형과 외장형으로 크게 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 내장형 센서의 경우, 감도는 우수하나 센서의 취부는 GIS의 제작이나 유지 보수 기간을 이용해야만 하는 단점이 있다. 반면, 외장형 센서는 내장형에 비하여 감도는 떨어지나 어느 현장에서도 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.[2,3,4] 따라서, 현재 설치중인 GIS에는 내장형 UHF PD 센서를 취부하고 있으며, 운전 중인 GIS의 진단에는 외장형 UHF 센서와 방전 발생위치 추적이 용이한 AE PD 측정 시스템이 동시에 이용되고 있다. 그러나 이미 설치되어 운전중에 있는 GIS 중에서 스페이서 금속 프렌지가

있는 일부 GIS에서는 기존의 외장형 UHF PD 센서를 이용한 PD 진단이 불가능 하다. 이것은 GIS내에서 발생한 전자파가 금속 프렌지 때문에 스페이서를 통해 방사되지 못하기 때문이다. 그러나, 모든 금속 프렌지에는 에폭시 몰드물 주입을 위한 지름 수 cm 정도의 구멍이 존재하는데, 이것을 통하여 PD 신호를 검출 할 수 있는 홀형 UHF PD 센서를 개발하였다.[5] 또한, 초고압 유입식 변압기의 PD 측정의 경우에도 PD 센서를 취부하여 측정을 수행하여야 한다. 그러나, 현재 상용화 되어있는 UHF PD 센서는 변압기가 운전 중인 상태에서는 센서의 취부가 불가능 하다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 운전중인 유입식 변압기의 Oil-drain으로 주입할 수 있는 UHF PD 센서를 개발하여 측정을 수행하였다.[6]

본 논문에서는 스파이럴 형태의 광대역 안테나 이론을 이용하여 금속 프렌지가 있는 GIS에 대하여 설비의 운전 중에도 적용할 수 있는 홀형 UHF PD 센서 및 유입식 변압기의 진단에 적용할 수 있는 주입식 센서를 개발하였다. 이들 센서를 모의 GIS 및 변압기에 적용하여 UHF PD를 측정하였으며, 국내의 최초로 제안하는 3D  $\Phi$ -f-q기법을 이용하여 신호를 측정하여 기존의  $\Phi$ -q 패턴과 비교하여 보여주었다.[7] 이러한 결과를 바탕으로, 외부 노이즈에 취약한 기존의 광대역 UHF PD 측정 기법의 단점과 좁은 주파수 대역에서의 측정만 가능한 협대역 UHF PD 측정기법의 단점을 보완한 새로운 형태의 3D  $\Phi$ -f-q 분석 기법의 적용 가능성을 확인하였다.

\* 正 會 員 : LG産電 電力試驗技術센터 主任研究員

\*\* 正 會 員 : LG産電 電力試驗技術센터 研究員

\*\*\* 正 會 員 : LG産電 電力試驗技術센터 責任研究員

§ 正 會 員 : LG産電 電力試驗技術센터 센터장

接受日字 : 2003年 7月 4日

最終完了 : 2003年 11月 25日

### 2. UHF PD 센서의 설계 및 제작

초고압 GIS 및 유입식 변압기 내부에서 PD가 발생할 경우 전류 펄스에 의해서 전자파가 방출된다. 이때 전류펄스의 상승시간은 약 50pS이고, 방출되는 전자파의 주파수 성분은 약

20GHz 까지 존재하는 것으로 알려져 있다.[8] 이러한 신호를 측정하여 PD의 발생 유무 및 위험도를 평가하는 방법이 1980년대 이후 연구되고 있다. 본 연구에서는 전력기기 내에서 발생하는 PD 신호를 검출하기 위하여 광대역의 주파수 응답 특성을 갖는 스파이럴 형태의 PD 센서를 제작하였다.

**2.1 스파이럴 안테나의 원리 및 구조**

본 연구에서는 GIS의 스페이서 주위에 금속 플렌지가 있는 GIS에 대하여 운전 중에 외부에 설치하여 사용할 수 있는 홀형 UHF PD 센서와 유입식 변압기의 PD 측정을 위한 주입식 UHF PD 센서를 archimedean 스파이럴 안테나의 원리를 이용하여 제작하였다. 이러한 형태의 안테나는 주파수에 무관한 특성을 갖고 있으며, 이것의 구조는 그림 1과 같고, 스파이럴 형태의 팔의 궤적은 식 1과 같다.

$$r = r_0\phi \text{ and } r = r_0(\phi - \pi) \quad (1)$$

여기서,  $r_0$ 는 스파이럴 상수,  $\phi$ 는 회전각이다. [9][10]

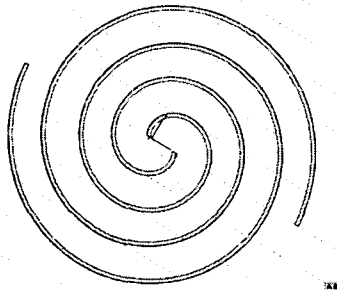


그림 1 스파이럴 안테나의 구조  
Fig. 1 A structure of the spiral antenna

**2.2 GIS용 외장형 센서**

운전중인 GIS에서 발생하는 PD 신호를 측정하기 위하여 홀형 UHF PD 센서를 설계 및 제작 하였다. 국내에서 운전 중인 초고압 GIS중 일부 모델의 경우에는 절연 스페이서의 외부에 금속 플렌지로 차폐 되어 있는 제품들이 있다. 이러한 제품들은 내부에서 발생한 전자파 신호가 금속 플렌지에 의하여 차폐되어 GIS 외부로 방사 되지 못하기 때문에, 일반적인 외장형 PD 센서를 이용해서는 GIS 내부에서 발생하는 UHF PD 신호의 검출이 힘들다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 홀형 UHF PD 센서를 개발하였다. 이것은 절연 스페이서의 금속 플렌지에 에폭시 몰드물을 주입하기 위한 지름 수cm 정도의 구멍을 통하여 미세하게 방출되는 전자파 신호를 측정하기 위한 스파이럴 형태의 초소형 센서이고, proto-type 센서의 사진은 그림 2와 같다. 구조 및 크기에 의한 센서 제작상의 제약 때문에 기존의 내/외장형 센서보다는 안테나로서의 이득이 약 -10dB 정도 감소하였으나 PD 측정에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.

**2.3 유입식 변압기용 PD 센서**

유입식 변압기용 센서는 UHF대역(300MHz~1.2GHz)의 측

정 주파수 범위를 갖도록 설계 및 제작 하였으며, 그림3(a)과 같은 스파이럴 형태의 센서이다. 본 센서는 초고압 유입식 변압기 탱크면에 있는 Oil-drain에 삽입하기 위하여 특별히 설계된 센서이며, 기밀을 위한 몇 가지 기능을 가지고 있다. 특히, 센서를 변압기 내부로 주입하는 과정에서 발생하는 기포가 변압기 내부로 들어가지 않도록 센서측으로 유도하는 인출구조를 가지고 있다. 현재 우리나라에서 사용되는 Oil-drain은 거의 모두가 1인치와 2인치 크기이므로, 이 크기에 맞게 2가지 타입을 개발하였으며, 본 시스템은 협대역 방식의 측정이 가능하기 때문에 서로 다른 대역에서 측정이 가능하다는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다. 그림 3(b)에서 볼 수 있듯이 현장에서 활선상태로 취부 및 측정이 가능하도록 되어있으며, 케이블을 통하여 측정 시스템과 연결된다.

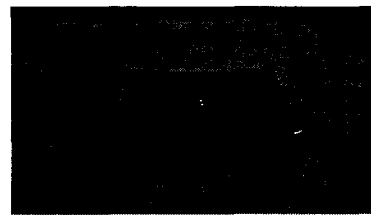
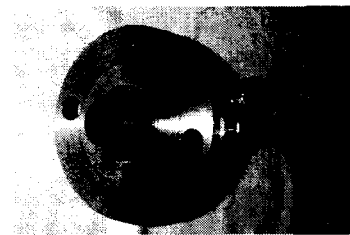
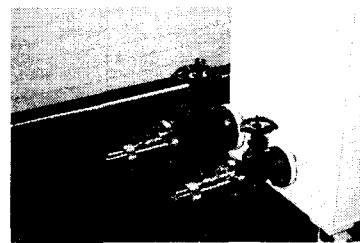


그림 2 GIS 외장형 홀타입 PD 센서  
Fig. 2 A general view of the external hole type PD sensor



(a)



(b)

그림 3 유입식 변압기용 센서 사진, (a) 주입식 UHF PD 센서의 사진, (b)모의 변압기의 Oil-drain에 센서를 취부한 모습  
Fig. 3 A general view of UHF PD sensor for oil transformer; (a) Injection type PD sensor, (b) Injection sensor mounted on a oil-drain

**3. 실험 장치**

그림 4는 UHF PD 측정 시험을 위한 스페이서에 금속 플렌지가 있는 단상 모의 GIS의 사진이다. 사진에서 보는 바와

같이, 이것은 두 개의 스페이서, 전압 인가를 위한 부싱, 작업 및 내장형 센서 취부를 위한 감시창으로 구성되어 있다. 내부 도체의 지름은 23mm이고 외함의 내경은 267mm, GIS의 길이는 1.9m이다. 실험중에는 실제 운전환경과 같이 SF6 가스를 5기압으로 채운상태에서 내부에 결함을 넣고 실험하였다. 본 실험에서 사용된 GIS의 스페이서의 사진을 그림 5(a)에 나타낸다. 사진에서와 같이 에폭시 주입구의 형태는 원형이다. 지름은 3cm이다. 이러한 주입구의 형태 및 크기는 GIS의 제작사 및 모델에 따라 여러 가지 형태를 갖는다. 그림 5(b)는 홀형 PD 센서를 스페이서의 외부에 취부한 모습이다. 외부 노이즈가 센서로 유입되는 것을 방지하기 위하여 센서를 금속 외함을 이용하여 차폐하였다.

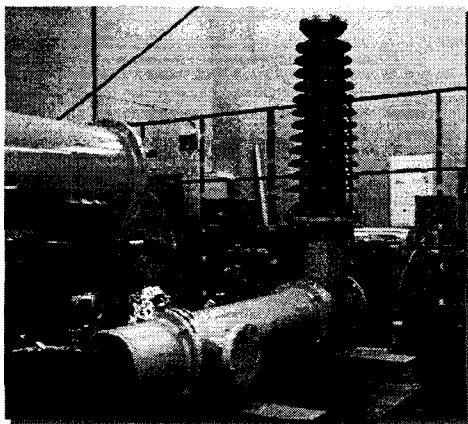


그림 4 실험용 모의 GIS 사진  
Fig. 4 A photo of test GIS

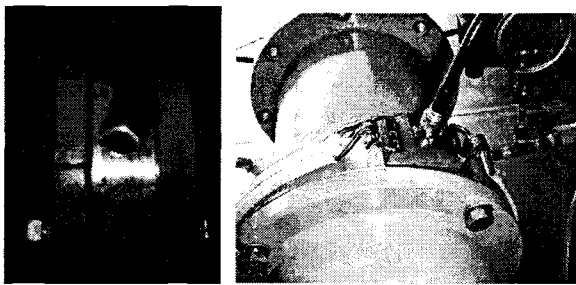


그림 5 금속 플렌지가있는 스페이서 및 PD 측정을 위하여 센서를 취부한 모습. (a) 스페이서의 에폭시 주입구 (b) PD 측정을 위하여 홀형 센서를 에폭시 주입구에 취부한 모습  
Fig 5 General view of spacer with metal flange. (a) Epoxy injection hole of spacer, (b) Hole type sensor mounted on GIS spacer

초고압 유입식 변압기 내부에서 발생하는 PD 신호검출을 모의하기 위하여, 실제 유입식 변압기의 환경과 유사한 상태의 모의 변압기 탱크를 제작하여 그 내부에 인위 결함을 배치하였다. 본 실험에서 사용된 인위 결함은 실제 운전중인 변압기에서 자주 발생하는 유중 코로나 방전, 절연물 표면방전, 부유 전극에 의한 방전을 모의한 전극을 제작하여 실험을

수행하였다. 그림 3(b)과 같이 변압기 내부에서 발생하는 PD 신호를 주입형 UHF PD 센서로 검출하여 분석하였다.

그림 6은 실험 설비의 개략도이다. 이것은 100kV AC 변압기, 1000:1 분압기, 모의 GIS, CT 센서, 주파수 분석기 (Agilent 4402B), 오실로스코프(Lecroy WM8300A), UHF preamp, UHF PD 센서, PC로 구성되어 있다. 여기서 사용된 CT 센서는 IEC 60270에 기초한 PD 측정 장비를 이용하여 교정하였으며, PD의 발생 유무 및 절보기 전하량을 측정하기 위하여 사용되었다. UHF 대역 preamp는 300MHz~2GHz 대역에서 20dB의 이득을 갖도록 설계 제작하였으며 오실로스코프는 CT 센서 출력 신호 및 UHF PD 검출신호를 측정하기 위하여 측정 범위 3GHz, 샘플링 20Gs/S를 갖는 제품을 사용하여 측정을 수행하였다. PD 검출기, 주파수 분석기, 오실로스코프의 출력 신호는 GPIB를 통하여 PC로 전송되어 데이터 저장 및 신호처리가 수행되었다.

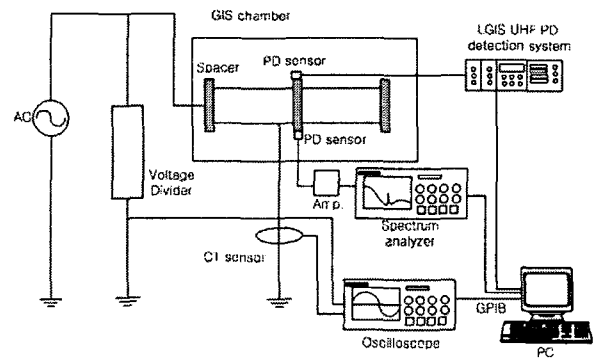


그림 6 실험 설비의 개략도  
Fig. 6 A block diagram of experimental setup

## 4. 실험 결과

### 4.1 주위 노이즈 측정

외장형 UHF PD 센서와 preamp를 이용해서 실험실 주변의 전자파 노이즈 신호 레벨을 측정하였다. 측정 주파수 대역은 100MHz~2GHz이고 RBW는 3MHz, VBW는 1MHz, sweep time은 1S 이며, "maximum hold mode"를 이용하여 측정하였다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, 이동전화 주파수 대역(880MHz, 1.8GHz)대역 및 UHF 방송파 대역(400MHz~650MHz)에서 PD 측정이 어려울 정도의 노이즈 신호가 측정되었다. 이러한 측정 결과는, 측정 장소, 측정 시간 및 측정에 사용된 센서 등에 따라 다른 결과를 보여준다. 위의 결과에서, 현장에서 운전중인 전력기기의 진단시 각 현장에서의 주위 노이즈를 측정하여 S/N 비가 좋은 주파수 대역에서 UHF PD 신호를 측정하는 기술이 필요하다.

### 4.2 GIS의 UHF PD 측정

모의 GIS내에서 PD를 발생시킨 후 UHF PD 신호를 측정하는 실험이 수행되었다. 방전을 일으키기 위한 인공 결함은 다음 세 가지 형태의 결함이 사용되었으며 결함의 구조는 그림 8과 같다. 이들 결함의 상하부 전극은 로고스키 전극 형태로 가

공되었으며, 지름 12cm인 알루미늄 전극이다. 침전극과 부유 전극은 알루미늄, 구리 등을 자체 가공하여 사용하였다.

- (1) 절연 스페이서에 부착된 금속 이물질-표면 방전
- (2) 도체와 외함 사이의 부유 금속 이물
- (3) 도체부의 돌기

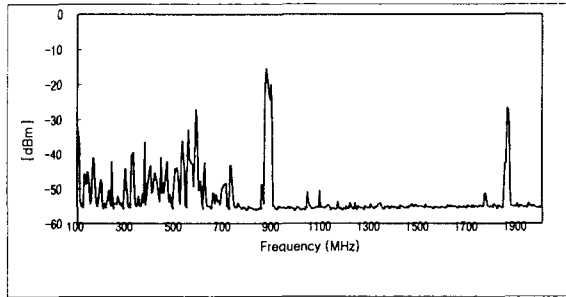


그림 7 외장형 PD 센서로 측정된 실험실 주위의 전자파 노이즈 레벨(100MHz~2GHz)

Fig. 7 Background noise spectrum measured at external type PD sensor(100MHz~2GHz)

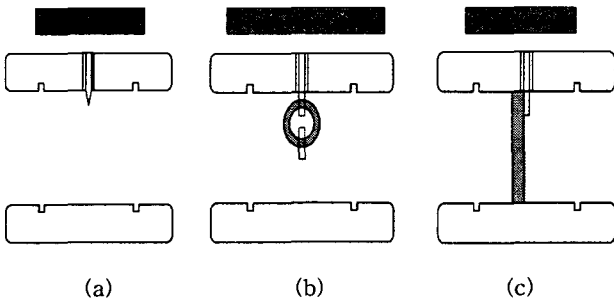


그림 8 인공 결함의 구조: (a) HV 돌기 방전, (b) 부유 도체 방전, (c) 표면 방전

Fig. 8 Structures of artificial defects: (a) HV protrusion discharge, (b) Floating electrode discharge, (c) Surface discharge

실험실내에 설치된 GIS에 위의 결함들을 설치한 후 고전압을 인가하여 PD를 발생시켜 그때의 신호를 UHF 기법을 이용하여 측정하였으며, 결과 파형은 일반적으로 사용되는  $\phi$ -q 패턴과 본 연구에서 제안하는 3D  $\phi$ -f-q 패턴을 이용하여 보여준다. 기존의 광대역 UHF PD 측정기법은 이동 전화나 상용 방송파동의 전자파 신호들이 부분방전 신호와 동시에 측정된다. 따라서, 전자파 차폐실 등의 실험실에서는 좋은 특성을 보이지만, 외부 노이즈가 심한 현장 측정시에는 S/N 비가 떨어지는 단점이 있다. 또한, 협대역 측정법은 현장의 노이즈 상태에 따라서 외부 노이즈가 적은 주파수 대역을 선별하여 측정할 수 있는 장점이 있으나, 방전원이나 전자파의 진행 경로에 따라 센서에 측정되는 주파수 특성이 달라지게 되므로 한두 개의 주파수 대역에 대한 측정만으로 진단을 하는 것에는 어려움이 있다. 본 연구진이 제안하는 3D  $\phi$ -f-q 패턴 분석 기술은 광대역 측정법과 협대역 측정법의 장점을 이용하였다. 이러한 3D  $\phi$ -f-q 기법의 측정 방법은 300MHz부터 1.2GHz 사이에서 각 20MHz 마다 zero span 모드로 측정

(sweep time은 16.67ms)한  $\phi$ -q 패턴을 주파수에 대하여 중첩하여 3D로 나타내어 분석하였다. 이러한  $\phi$ -f-q 측정기법은 시간영역에서의 측정 결과와 주파수 영역에서의 측정결과를 동시에 보여줌으로써, 각각의 결함에서 발생하는 PD 펄스의 특성에 따른 전자파 신호의 시간 영역 및 주파수 영역에서의 분석이 가능하다.

그림 9는 부유 전극에 의하여 약 50pC 정도의 결보기 전하량이 발생하는 경우에 대한 측정 결과이다. 그림 9(a)는 3D  $\phi$ -f-q 패턴이다. 이 그림에서 알 수 있듯이, 측정시의 sweep 시간은 60Hz 상용 전원의 한주기 시간인 16.67ms이고, 측정 주파수는 100MHz에서 1.2GHz 까지 20MHz 단계로 측정하였으며, 신호의 크기는 기준 노이즈 레벨을 기준으로 하여 dBm 단위로 표시하였다. 9(b)는 (a)에서 보여진  $\phi$ -f-q 패턴 결과를 이미지 패턴 분석을 위하여 2D로 표현한 것이다. 여기서, 빨간색 부분은 출력신호의 크기가 큰 부분이며, 자주색으로 표현되는 부분은 측정된 신호의 크기가 거의 노이즈 수준임을 의미한다. 이 결과에서 볼 때 500MHz 이하의 주파수 대역에서만 신호가 측정되는 것으로 나타났다.

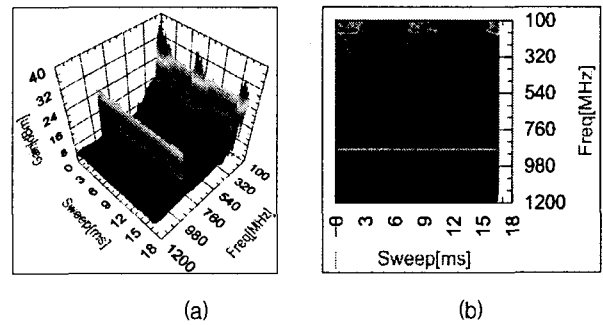


그림 9 부유 전극 결함에 대한  $\phi$ -f-q 패턴. (a) 3D  $\phi$ -f-q 패턴, (b)  $\phi$ -f-q 패턴의 2D 이미지

Fig. 9  $\phi$ -f-q pattern of floating electrode discharge. (a) 3D  $\phi$ -f-q pattern, (b) 2D image of  $\phi$ -f-q pattern

그림 10은 기존의 협대역 측정기법을 이용하여 특정 주파수 대역에서의  $\phi$ -q 패턴의 예이다. 이 그림은 zero span 모드로 중심주파수 340MHz, peak detect 방식을 이용하여 3분간 측정된 결과이다. 피크 부분에서는 기준 레벨에 비하여 약 10dBm 정도의 전자파가 측정됨을 볼 수 있다. 이러한 패턴은 센서의 측정 위치, 측정시의 중심주파수 등에 의하여 영향을 받는다.

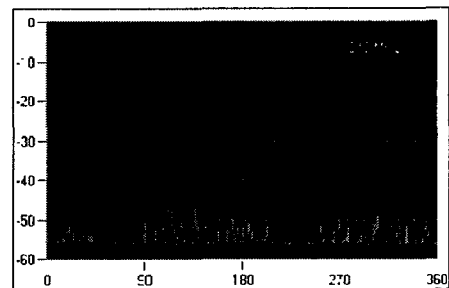


그림 10 부유 전극 방전에 대한 340MHz에서의  $\phi$ -q 패턴  
Fig. 10  $\phi$ -q pattern of floating electrode discharge at center frequency of 340MHz

그림 11(a)은 절연 스페이스 표면에 지름 1mm, 길이 20mm의 원통형태의 알루미늄 이물질이 붙어 있는 경우에 대한 실험 결과를 3D  $\phi$ -f-q로 나타낸 것이고, 그림 11(b)는 이미지 패턴분석을 위하여 2D로 표현한 것이다. 발생하는 걸보기 전하량의 크기는 100pC 이고, 다른 측정 조건은 금속 부유 전극 때와 동일하다.

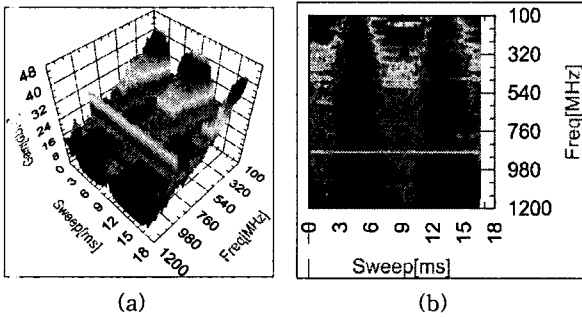


그림 11 표면방전에 대한  $\phi$ -f-q 패턴. (a) 3D  $\phi$ -f-q 패턴, (b)  $\phi$ -f-q 패턴의 2D 이미지

Fig 11  $\phi$ -f-q pattern of surface discharge. (a) 3D  $\phi$ -f-q pattern, (b) 2D image of  $\phi$ -f-q pattern

그림 12는 zero span 모드로 720MHz 대역에서 측정한 결과 파형이다. 피크 부분에서 -35dBm 정도 크기의 전파파가 측정되고 있음을 볼 수 있다.

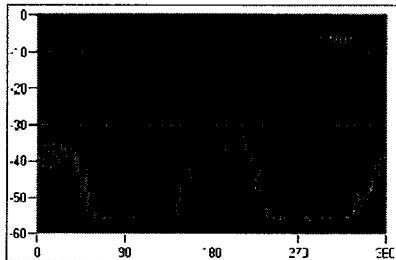


그림 12 표면방전에 대한 720MHz에서의  $\phi$ -q 패턴  
Fig 12  $\phi$ -q pattern of surface discharge at center frequency of 720MHz

그림 13(a)는 도체부 돌기 결합에 의해 발생하는 PD신호를 측정한 결과이고, 그림 13(b)는 패턴분석을 위한 2D 이미지이다. 전자파 신호는 500MHz 이하 대역과 900MHz 대역에서만 발생함을 볼 수 있다. 이때 발생한 걸보기 전하량의 크기는 약 50pC 이다.

그림 14는 900MHz 대역에서 홀형 센서를 이용해 측정한 zero span 결과 파형이다. 이 대역에서는 500MHz 이하의 대역과는 달리 부극성 부분의 신호는 측정되지 않았으며 정극성 부분에서 큰 신호가 검출됨을 볼 수 있다.

#### 4.3 유입식 변압기의 UHF PD 측정

유입식 변압기용 UHF PD 측정 시스템을 이용하여, 유중 코로나 방전, 표면 방전, 부유전극 방전에 대하여 반복 측정을 수행 하였으며, 본 논문에서 사용한 결과는 2인치 유입식 센서를 사용한 결과이다. 표면방전의 주파수 분포의 예를 보

면 그림15와 같다. 측정은 100MHz~1.2GHz 대역에서 측정하였으며 그 결과를 그림 15(a)에 3차원으로 나타내었다. 이 데이터를 추후 이미지 처리한 후, 인식프로그램의 DB로 활용하기 위하여, 2D로 변환시킨 그림을 그림 15(b)에 나타내었다. 모든 데이터는 CIGRE에서 권고하는 포맷으로, Header/Data를 ASCII로 저장한다.[11]

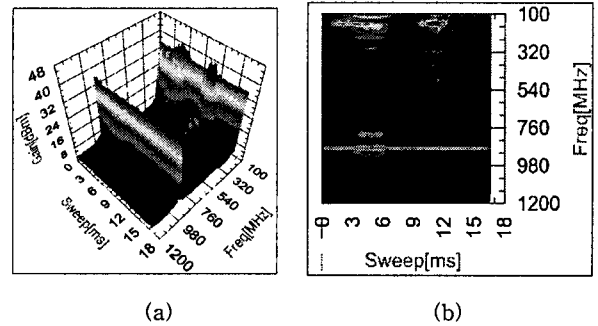


그림 13 도체부 돌기 결합에서의 방전에 대한  $\phi$ -f-q 패턴. (a) 3D  $\phi$ -f-q 패턴, (b)  $\phi$ -f-q 패턴의 2D 이미지

Fig. 13  $\phi$ -f-q pattern of HV protrusion discharge. (a) 3D  $\phi$ -f-q pattern, (b) 2D image of  $\phi$ -f-q pattern

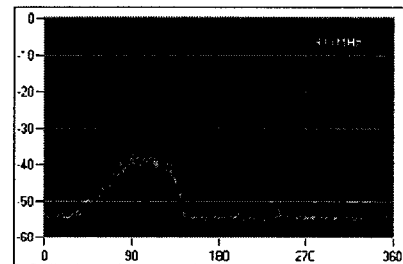


그림 14 도체부 돌기 결합에 대한 900MHz에서의  $\phi$ -q 패턴  
Fig. 14  $\phi$ -q pattern of HV protrusion discharge at center frequency of 900MHz

본 실험에서 사용한 스파이럴형태의 센서의 경우~수 십 GHz까지 측정대역이 광대역이지만, 센서 취부대나 변압기 외함의 배치에 따라서 그 측정특성이 국부적으로 바뀐다. 따라서 실제로 측정을 수행하게 될 S/N비가 좋은 측정 대역은 각 경우마다 다르게 나타나게 된다. 본 실험에서는 표면방전의 경우 220, 600, 740, 820, 960, 1000, 1100 및 1200에서, 또한 그 이상까지 측정이 가능한 것으로 나타났으며, 이때의 위상에 따른 분포를 보기 위하여 여러 주파수 대역에서의  $\phi$ -q 패턴을 그림 15(b)에 나타내었다. 이 그림에서 가로선으로 나타나는 부분은 60Hz와 동기되지 않는 핸드폰이나 방송파 등의 노이즈 신호이다. 이들 신호는 이미 잘 알려져 있으며, 추출하여 삭제하는 것이 가능하다. 그림 16에서 볼 수 있듯이 검출되는 방전의 크기만 변하며, 발생위상은 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이 분포는 기존의 PRPD법으로 측정한 결과와 크게 다르지 않는 것으로 나타났다.

동일한 측정 시스템을 사용하여, 유입식 변압기 내부의 유중 코로나방전을 모의하기 위하여 침-평판형의 전극계를 구성하였으며, 주파수 분포의 예를 그림 17에 나타내었다.

실험 시 방전이 안정적으로 발생하지 않아 주파수 별로 드

물게 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만, 반복실험을 한 결과, 어느 한 대역에서만 나타나지 않고, 전 주파수 대역에 걸쳐 간헐적으로 짧은 시간동안 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 본 실험에서는 각 주파수에서 60sec동안 측정하였으나, 현장에서는 좀 더 오랜 시간동안 측정할 필요가 있다고 할 수 있다. 이때의 700MHz에서의  $\phi$ -q 패턴을 그림 18에 나타내었다. 이 결과에서 볼 수 있듯이, 방전 신호는 220MHz와 700MHz에서 측정되었으며, 부극성에서 주로 발생하는 것을 알 수 있었다. 방전모양이 부극성에서 2개의 peak가 발생하는 것을 볼 수 있었는데, 반복실험 하여도 마찬가지로 발생하였다. 하지만, 2개의 신호가 동시에 발생하지 않았으며, 2가지 방전 메커니즘이 발생하는 것으로 생각된다. 이 현상은 측정 가능한 다른 주파수 대역에서도 동시에 나타났다.

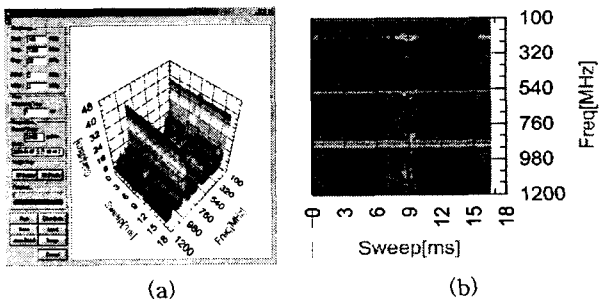


그림 15 유중 표면방전에 대한  $\phi$ -f-q 패턴. (a) 3D  $\phi$ -f-q 패턴, (b)  $\phi$ -f-q 패턴의 2D 이미지  
 Fig. 15  $\phi$ -f-q pattern of surface discharge in oil. (a) 3D  $\phi$ -f-q pattern, (b) 2D image of  $\phi$ -f-q pattern

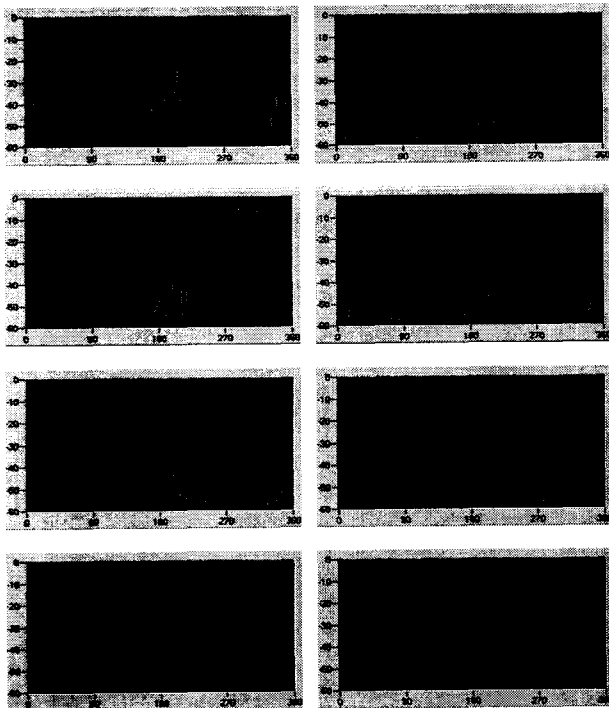


그림 16 유중 표면방전 결함에 대한 선택된 주파수에서의  $\phi$ -q 패턴  
 Fig. 16  $\phi$ -q pattern of surface discharge in oil at selected frequency

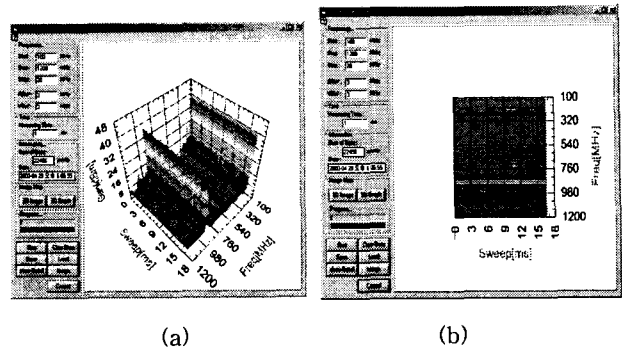


그림 17 유중 코로나방전에 대한  $\phi$ -f-q 패턴. (a) 3D  $\phi$ -f-q 패턴, (b)  $\phi$ -f-q 패턴의 2D 이미지  
 Fig. 17  $\phi$ -f-q pattern of corona discharge in oil. (a) 3D  $\phi$ -f-q pattern, (b) 2D image of  $\phi$ -f-q pattern

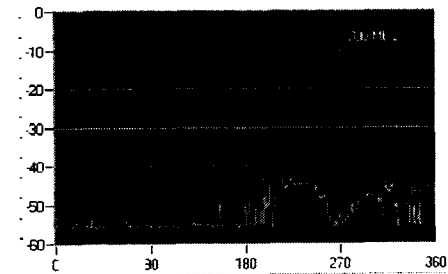


그림 18 유중 코로나 방전에 대한 700MHz에서의  $\phi$ -q 패턴  
 Fig. 18  $\phi$ -q pattern of corona discharge in oil at center frequency of 700MHz

부유 전극 방전에 의한  $\phi$ -f-q 측정 결과는 그림 19(a)와 같다. 유중에서의 다른 결함들에 대한 측정 결과와 유사하게 부유 전극에 의한 PD 신호도 간헐적으로 발생하였으나, 비교적 큰 신호가 거의 모든 주파수 대역에서 발생하였다. 그림 19(b)의  $\phi$ -f-q 2D 이미지에서도 볼 수 있듯이, 발생 위상은 주로  $110^{\circ} \sim 200^{\circ}$  와  $300^{\circ} \sim 20^{\circ}$  부근에서 주로 발생하고 있으며 측정되는 신호의 크기는 주파수가 높아질수록 상대적으로 큰 신호가 검출되었다. 그림 20은 1120MHz에서의  $\phi$ -q 패턴을 보여주며, -25dBm 정도의 큰 신호가 검출되었다.

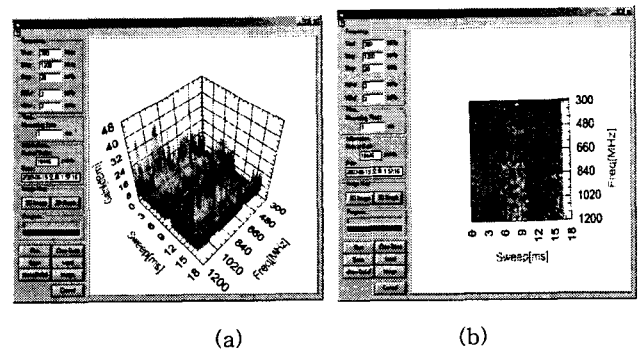


그림 19 부유 전극 방전에 대한  $\phi$ -f-q 패턴. (a) 3D  $\phi$ -f-q 패턴, (b)  $\phi$ -f-q 패턴의 2D 이미지  
 Fig. 19  $\phi$ -f-q pattern of floating electrode discharge in oil. (a) 3D  $\phi$ -f-q pattern, (b) 2D image of  $\phi$ -f-q pattern

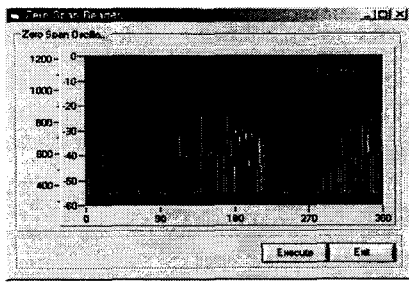


그림 20 유중 부유전극 방전에 대한 1120MHz에서의  $\phi$ -q 패턴  
 Fig. 20  $\phi$ -q pattern of floating electrode discharge in oil at center frequency of 1120MHz

### 5. 결 론

본 연구에서는 절연 스페이서에 금속 프렌지가 있는 GIS에 적용할 수 있는 새로운 형태의 외장형 UHF PD 센서와 유입식 변압기용 UHF PD 센서를 개발하였다. 홀형 센서를 이용하던 기존의 외장형 센서로는 측정이 어려웠던 스페이서가 금속 플렌지로 쌓여있는 GIS에 대해서도 UHF PD 진단기법의 적용이 가능하였으며 다음과 같은 사실을 확인하였다.

- (1) 스파이럴 안테나의 원리를 이용하여 절연 스페이서 외부에 금속 프렌지가 있는 GIS에 적용할 수 있는 외장형 홀형 센서와 운전중인 유입식 변압기에 적용가능한 주입식 센서를 개발하였다.
- (2) 센서의 감도는 50pC의 절보기 방전량이 발생할 때 신호가 가장 크게 출력되는 주파수대역에서 -30dBm 정도로 측정되었으며, 방전원에 따라 측정되는 주파수 대역 및 위상 패턴이 달라짐을 확인하였다.
- (3) 새로운 부분 패턴 분석 기법인  $\phi$ -f-q 분석 기법을 제안하였다. 이 기법은 시간영역에서의 측정결과와 주파수 영역에서의 측정결과를 동시에 보여줌으로써, 방전신호의 위상에 따른 분포와 주파수 영역에서의 전송 특성이 동시에 분석 가능하다. 이 방법을 이용하면 기존의 광대역/협대역 UHF 측정기법의 단점으로 지적되는 현장에서 노이즈에 관한 문제, 협대역 측정으로 인한 오판 가능성 등을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 연구 결과를 바탕으로 센서의 감도 향상 및 방전원 판별을 위한  $\phi$ -f-q 데이터 베이스 구축 및 알고리즘에 관한 연구가 진행되고 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 산업자원부의 지원에 의해 수행한 연구 결과입니다.

### 참 고 문 헌

- [1] CIGRE Task Force 15/33/03.05 of working group 15.03, "PD detection system for GIS: sensitivity verification for the UHF method and the acoustic method", *Electra*, No. 183, pp. 75-87, 1999
- [2] B.F.Hampton, R.J.Meats, "Diagnostic measurements at UHF in gas insulated substations", *IEE proceedings*, vol. 135, No. 2, 1988
- [3] W.R.Rutgers, R.Ross and T.G.M Rijn, "On-line PD detection techniques for assessment of the dielectric condition of HV components", pp. 481-484, 7th ICSD, 2001
- [4] C.J.Lee, W.J.Kang, H.C.Lee, J.W.Park, "A study on the UHF PD measurement for the HV apparatus", pp. 223-226, Joint conference of ACED & KJ symposium on ED and HVE, 2002
- [5] 강원중, 이창준, 강윤식, 박종배, 이희철, 박종화, "스페이서에 metal flange가 있는 GIS에서의 UHF PD 측정 기술 연구", pp. 1638-1640, 대한전기학회 하계학술대회, 2003
- [6] 이창준, 강원중, 강윤식, 박종배, 이희철, 박종화, "Oil Transformer에서의 UHF PD 측정 기술 연구", pp. 1809-1811, 대한전기학회 하계학술대회, 2003
- [7] Changjoon Lee, Wonjong Kang, Heecheol Lee, Jongwha Park, "The spectrum analysis of UHF PD signals from artificial defects in GIS using UHF PD measuring system", 13th ISH, 2003
- [8] M.D.Judd, O.Farish, "High bandwidth measurement of partial discharge current pulses", *ISEI of IEEE*, Vol. 2, pp. 436-439, June, 1998
- [9] Paul C Wernts, et al, "Design, analysis and construction of an Archimedean spiral antenna and feed structure", *Sortyeaston '89. proceedings, 'Energy and information technologies in the southeast' IEEE* vol. 1, pp. 308-313, 1989
- [10] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, "Antenna theory and design", John wiley & sons, 1998
- [11] CIGRE Task Force 15/03/08 of working group 15/03, "Cigre data format for GIS partial discharge software application", *Electra*, No. 177, pp.86-93, 1998

저 자 소 개



**강 원 종(康元鐘)**

1975년 1월 21일생. 1997년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정 및 LG 산전 전력시험기술센터 주임 연구원

Tel : 043-261-6584

Email : wjkang@lgis.com



**이 희 철(李熙喆)**

1963년 6월 26일생. 1988년 충북대학교 전기공학과 졸업. 2001년 동 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 LG산전 청주공장 QA팀 입사. 현재 LG산전 전력시험기술센터 책임 연구원보



**이 창 준(李昌峻)**

1971년 5월 7일생. 1997년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 LG산전 전력 연구원 입사. 고전압/방전, 부분방전 측정 및 시스템 개발. 현재 LG산전 전력시험기술센터 주임 연구원



**박 증 화(朴鍾華)**

1953년 2월 27일생. 1978년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1978년-1998년 한국 전기 연구원. 1999년-현재 LG산전 전력시험기술센터 센터장.



**강 윤 식(姜允植)**

1973년 5월 14일생. 1999년 충주대학교 전기공학과 졸업. 2000년 성균관 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(석사). 현재 LG 산전 전력시험기술센터 연구원