

# GIS의 도파관 특성을 고려한 절연결합 위치판정에 관한 연구

論 文  
57-2-16

## A Study for the Fault Location of Insulation Defects considering Waveguide Characteristics in GIS

李承澈\* · 鄭承庸\*\* · 具茲允† · 李載鎬\*  
(Seung-chul Lee · Seung-yong Jung · Ja-yoon Koo · Jae-ho Lee)

**Abstract** - A study for discharge pattern analysis partial and fault location by use of UHF sensors in GIS. However, in the latter case, the results considered the velocity of EM waves modified by the waveguide characteristics of GIS bus bar were not reported yet. In this paper, UHF wide band sensor to detect partial discharge signals have been designed and manufactured to get the widest band characteristic by an application of Fat-Dipole UHF antenna and the result that the transmission velocity of EM waves is 2/3 of the light have been got through the consideration of waveguide characteristics. Also, to verify applicability on site of the developed method, self-designed external type UHF sensor have been installed on operating GIS in Korea Midland Power co. and detected location of the fault. Through the fault have been found at the location, the reliability of the developed method have been proved.

**Key Words** : UHF sensor, GIS, Waveguide characteristic, Fault location

### 1. 서 론

전기에너지 의존도가 높아져만 가는 추세를 고려할 때, 절연내력과 차단능력이 우수한 SF6 절연 GIS는 운전 신뢰성이 높은 만큼 사고 발생 시 그 과급효과는 막대하다. 따라서, 부분방전을 이용한 GIS의 사고 예방 및 진단에 대한 관련 기술들이 다양하게 연구되어 제안되고 적용되고 있는 것이 현 실정이다. 대부분의 보고된 결과들은 부분방전의 패턴분석을 통한 결합 종류 판단과 부분방전 신호가 검출되는 시간 차이를 이용한 위치 판단과 관련되어 있다. 일반적으로 결합의 위치 판독을 위하여 두 개 이상의 UHF센서를 사용하여 오실로스코프에 측정되는 각 센서들의 PD 신호 검출 순간들의 시간차를 구하여 이론값인  $3 \times 10^8$  m/s을 이용하여 센서로 부터 결합까지의 거리를 산출하고 있다 [1][2][3][4].

본 논문은 70kV GIS Mock-up에 자체 설계 제작한 광대역 특성인 UHF센서 두 개를 서로 다른 위치에 설치하여 발생된 부분방전 신호의 검출 시간차이를 측정하고, 결합과의 거리를 이용하여 GIS에서 전달되는 전파의 속도를 실험적으로 산출하여 도파관 특성을 고려해야 함을 입증하였다. 또한 개발된 방법의 현장 적용 가능성을 입증하기 위하여 자체 설계 제작한 외장형 UHF 센서를 중부발전소에서 운전 중인 GIS 에 부착하여 절연결합 위치를 추정 후 해체 작업

을 통하여 확인한 결과 추정된 위치에서 결합이 발견되어 개발된 방법의 신뢰성을 입증하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 내장형 UHF 센서

본 논문에서 그림 1과 같이 광대역 특성이 있는 Fat-dipole을 변형한 내장형 UHF 센서를 설계 제작하여 감시창 내부에 장착한 안테나형 센서는 GIS의 외함과 감시창 커버가 연결되어 외부와 차폐되기 때문에 노이즈에 의해 최소화된 영향을 받으며 GIS 내부에서 발생하는 부분방전 신호를 검출한다[5][6].

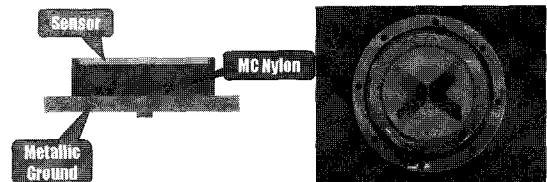


그림 1 내장형 UHF 센서 기본 구조와 센서를 장착한 모습  
Fig. 1 Basic scheme and photo of internal UHF sensor

\* 學生會員 : 漢陽大 工大 電子電氣制御計測科 碩士課程

\*\* 正 會 員 : 漢陽大 工大 電子電氣制御計測科 博士課程

† 교신저자, 正會員 : 漢陽大 工大 電子電氣制御計測科 正教授

E-mail : koojy@hanyang.ac.kr

接受日字 : 2007年 12月 7日

最終完了 : 2007年 12月 28日

제작된 센서 반사손실의 시뮬레이션과 측정치 비교는 그림 2와 같으며, 센서의 공진점은 전자의 경우 860MHz와 2.32GHz 이고, 후자의 경우 825MHz와 2.04GHz 임을 고려할 때 측정치의 대역이 낮다는 것을 알 수 있다.

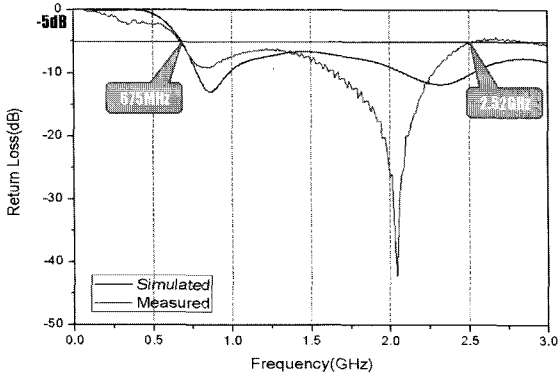
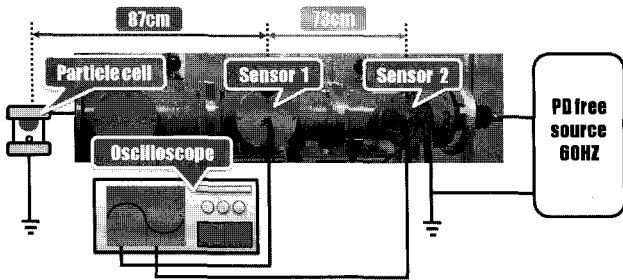


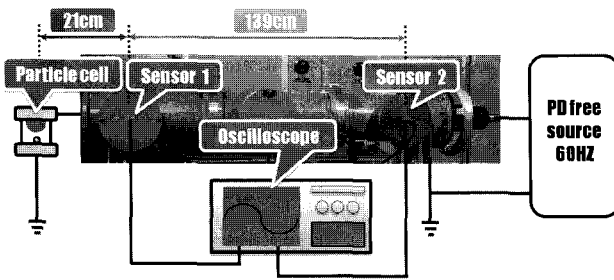
그림 2 센서의 반사손실 시뮬레이션과 측정치  
Fig. 2 Return loss value between simulation and measurement of sensor

2.2 실험 구성 및 방법

Free moving particle을 모의한 Test cell을 사용하여 부분방전을 발생시켰으며, 그림 3 (a), (b)와 같이 GIS 내부의 결합의 위치판독을 위하여, 두개 센서의 간격을 각각 73cm, 139cm로 다르게 하여 오실로스코프(1GHz, 20GS/S)에 연결된 센서로 방전 신호를 동시에 검출하였다. 아울러 방전의 크기는 Haefly사의 TE571로 측정되었으며, 측정된 시간 차이와 결합과 센서간의 거리를 사용하여 전달속도가 산출되었다.



(a) 센서간의 간격이 73cm일 때.



(b) 센서간의 간격이 139cm일 때.

그림 3 센서 간격에 따른 실험 구성도  
Fig. 3 Experimental scheme for geographical interval of sensors

2.3 부분방전 측정 및 부분방전 신호의 전달 속도 계산

그림 4는 21.9kV 인가전압의 전 위상에 걸쳐 발생하는 Free moving particle을 이용한 방전량이 8-11pC 정도인 부분방전이다.

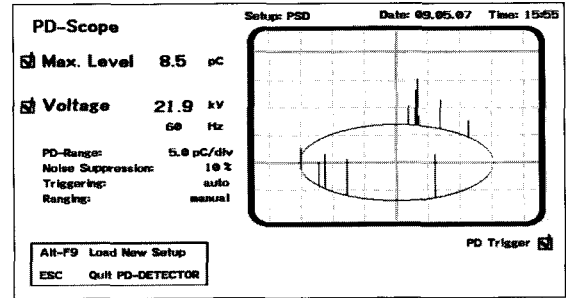


그림 4 측정된 부분방전의 크기  
Fig. 4 PD magnitude measured by Haefly TE571

오실로스코프에 나타난 두 개 센서를 통한 부분방전 신호는 그림 5, 6과 같으며, 센서간격과 신호간격은 전자는 73cm, 3.506ns 후자는 139cm, 6.005ns이다. 이를 이용한 전달 속도 산출은 각각  $2.08 \times 10^8 m/s$ ,  $2.31 \times 10^8 m/s$ 로서, 이론치의 2/3 정도의 값이며, GIS에서의 부분방전 신호의 전달이 동축 도파관(coaxial waveguide)에서의 신호 전달과 비슷한 특징임이 확인되었다.

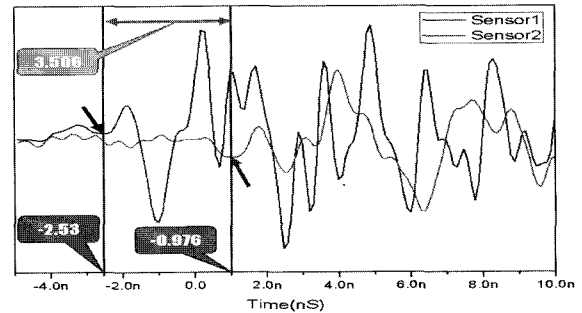


그림 5 센서 간격이 73cm일 때 오실로스코프로 측정된 PD 신호  
Fig. 5 PD signal measured by oscilloscope with 73cm interval of two sensors

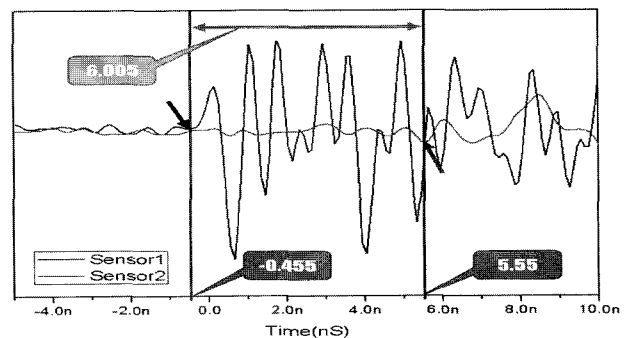


그림 6 센서 간격이 139cm일 때 오실로스코프로 측정된 PD 신호  
Fig. 6 PD signal measured by oscilloscope with 139cm interval of two sensors

2.4 개발 방법의 현장 적용 가능성

자체 개발한 방법의 현장 적용 가능성 여부를 확인하기 위하여 서울 중부발전소에 설치되어 운전 중인 부분방전이 이미 검출되어 결함이 있는 것으로 판단된 GIS를 실험 대상으로 하였다. 전력계통 현장에 운전 중인 GIS의 구조를 고려하여 본 연구실에서 자체 설계 제작된 외장형센서를 채택하였으며 그림 7과 같이 GIS의 감시창과 Bus bar에 각각 장착 후 결함 위치 판독 실험을 수행하였다. 변전소의 Power on 상태에서, 약 1.6m 떨어져 설치된 두 센서로 측정되어 오실로스코프에 나타난 부분방전 신호들 간의 시간차는 그림 8과 같이 4.25ns이다.

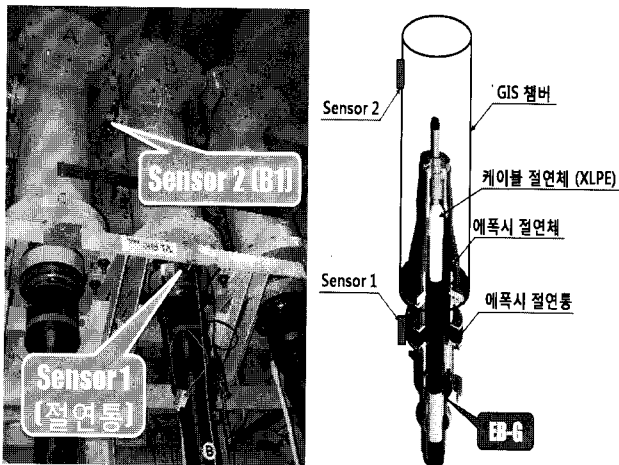


그림 7 중부 발전소 GIS에 센서를 장착한 모습(좌) 및 배치도(우)

Fig. 7 Photo of sensor position attached a GIS in Korea Midland Power co. and its schematic

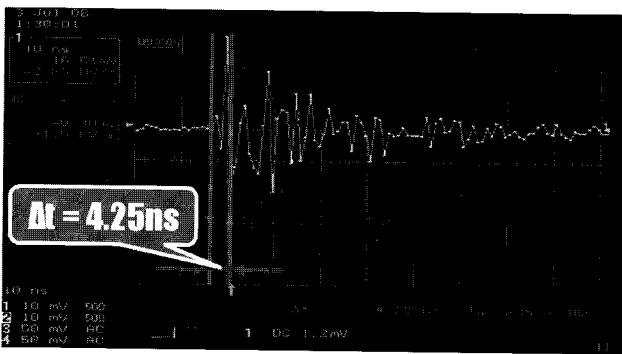


그림 8 1.6m 떨어진 센서에서 측정된 부분방전 신호  
Fig. 8 PD signal measured with 1.6m interval of two sensors

상기 측정치를 이용해 결함의 위치를 산출하기 위해 그림 9의 개념도에 따라 아래와 같은 식(1)을 유도하여 결함의 위치를 계산하였다[7].

$$d = \frac{D - (2.0 \times 10^8 \text{ m/s}) \cdot t}{2} = \frac{1.6\text{m} - 0.85\text{m}}{2} = 0.375\text{m} \quad (1)$$

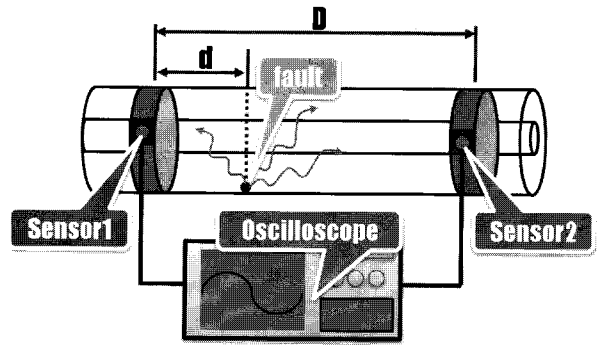


그림 9 측정된 신호들을 이용해 결함위치를 추정하는 개념도  
Fig. 9 General view schematic of fault location

결함의 위치는 Bus bar에 장착된 센서에서 37.5cm 떨어진 위치로 산출되어, 이를 확인하기 위해 GIS를 분해한 결과 Sensor 1에서 40cm 떨어진 위치에서 그림 10과 같은 결함이 발견되었다.

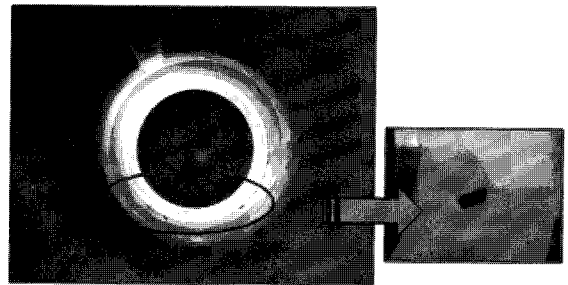


그림 10 해체 결과 발견된 결함  
Fig. 10 Photo of real defect detected after disjointing

3. 결과 및 검토

본 논문에서는 결함위치 판독 방법 개발을 위해 70kV GIS mock-up에 장착 가능한 두 개의 동일한 UHF센서를 자체 설계 및 제작하였으며 센서 간격과 측정된 PD 신호의 시간차를 이용하였다. 또한 개발된 방법의 현장 적용가능성을 확인하기 위하여 한국전력의 실 계통에서 운전 중인 GIS에 개발된 외장형 센서를 이용하여 적용하였다.

1. Fat-Dipole구조를 적용하여 Dimension을 축소시킬 수 있고 반사손실의 영역이 넓은 센서를 개발하였다.
2. GIS Bus bar는 동축 도파관으로 고려되어야 하며 실험결과에 의한 전달속도는 이론치의 2/3 정도임이 확인되었다.
3. 현장적용 결과, 측정된 PD의 신호들 간의 시간차를 이용하여 결함위치 판독이 가능함이 입증되었다.

향후, 더 복잡하게 연결된 GIS 구조에서의 결함 위치 예측을 통해 현장 적용 가능한 실용적인 기술개발이 이루어질 수 있을 것이며, 다른 전력기기에도 적용 가능할 것이라 고려된다.

**감사의 글**

본 연구는 산업자원부 전력산업연구 개발사업 (R-2006-000-0000-2292) 및 퓨전전기기술 응용연구센터에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

**참 고 문 헌**

- [1] H.Maekawa T.Masui H-Inujima N. Miyamoto, "Partial Discharge Locating System for GIS", IEE 2nd International Conference on Advances in Power System Control, p159-163, 1993.
- [2] Kwang-Hwa Kim, Sang-Hwa Yi, Jae-Gu Choi, "PROPAGATION CHARACTERISTICS OF GIS PD SIGNALS BY UWB PD DETECTION SYSTEM USING DUAL UHF BAND METHOD", IEEE, Power Modulator Symposium, 2004 and 2004 High-Voltage Workshop. Conference Record of the Twenty-Sixth International, p454-457, 2004.
- [3] Xin Li, Chengrong Li, Lijian Ding, Jing Yang, Hailiang Li, "Improvement of PD location in GIS", IEEE, 2004 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, P418-421, 2004.
- [4] Deltv Gross and Markus Soeller "Partial Discharge Monitoring and Breakdown Location on GIS Equipment" Draft, Paper1.19,submitted to ETG 'Diagnostik Elektrischer Betriebsmittel', Berlin, February 26-27, 2002.
- [5] 황철민, 구자윤, 박기준, 구선근, 윤진열, 이영상, "GIS 용 외장형 광대역 극초단파 부분방전 센서의 구조에 따른 특성 비교", 2004년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2004.7.14-16
- [6] 황철민, 구자윤, 이영상, 윤진열, "Gas Insulated Switchgear(GIS) 내부 부분방전 측정을 위한 Barrier coupler-type UHF센서 개발에 관한 연구", 2003년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2003.7.21-23
- [7] 윤진열, "GIS 부분방전 검출기술 연구", 한국전력공사 전력 연구원, p13, 2002.10.

**저 자 소 개**



**이 승 철 (李承澈)**

1980년 03월 08일생. 2007년 한양대 공대 전자전기공학전공 졸업. 2007년~현재 동대학원 전자전기제어계측공과 석사과정  
 Tel : 031-400-4041  
 Fax : 031-417-0533  
 E-mail : shinelsc@hanyang.ac.kr



**정 승 용 (鄭承庸)**

1975년 03월 21일생. 2001년 영동대 전자공학과 졸업. 2003년 한양대 공대 대학원 전자전기제어계측공과 졸업(석사) 현재 한양대 공대 전자전기제어계측공과 박사과정  
 Tel : 031-400-4041  
 Fax : 031-417-0533  
 E-mail : pjsyn1@hanyang.ac.kr



**구 자 윤 (具茲允)**

1951년 02월 07일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1980년 프랑스 ENSEET졸업(석사). 1980년~1984년 프랑스 ENSIEG졸업(공학박사). 현재 한양대 공대 전자컴퓨터공학부 교수. 한양대 퓨전전기기술응용연구센터 (EFT) 소장  
 Tel : 031-400-5163  
 Fax : 031-407-9873  
 E-mail : koojy@hanyang.ac.kr

**이 재 호 (李載鎬)**

현재 한양대 공대 전자컴퓨터공학부 석사과정