

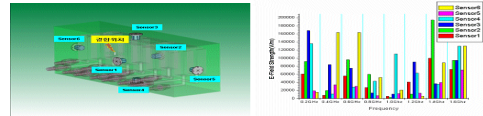
## UHF PD 센서를 이용한 배전기기 상태감시장치 개발

조용준, 황철민, 김영노, **최재옥**, \*송일근, \*이병성  
(주) 피에스디테크, \* 전력연구원

### The Development of the Condition Monitoring Equipment for distribution Facilities by using the UHF Partial Discharge Sensors

Yong-jun Cho, Chul-min Hwang, Young-noh Kim, Jae-ok Choi, \*Il-keun Song, \*Byung-sung Lee  
PSD Tech, \*KEPRI

**Abstract** - This paper is analyzed the internal type UHF partial Discharge sensors and Condition Monitoring Module that be able to monitor the condition of the distribution facilities. It set the PD cell on the inside of 22.9kV load switchgear and then it executed Partial Discharge test. it introduced the result of the test.



〈그림 2〉 개폐기 Modeling 및 위치 별 크기

위와 동일한 Simulation을 각 기기에 대하여 수행하였으며, 센서위치에 대한 결과는 <표 2>에 요약 하였다. 향후 시제품 제작 시에는 배전기기의 절연에 영향을 주지 않으며 모든 구간의 감시가 용이하도록 기기 별 구조적 특성을 고려하여 센서를 배치할 예정이다.

〈표 2〉 각 기기별 센서 최적 배치 위치

기기명	센서 위치
가스절연 부하 개폐기(가공선로형)	하단부
가스절연 다회로 개폐기(지중선로형)	하단부
폴리머절연 리클로저	하단부

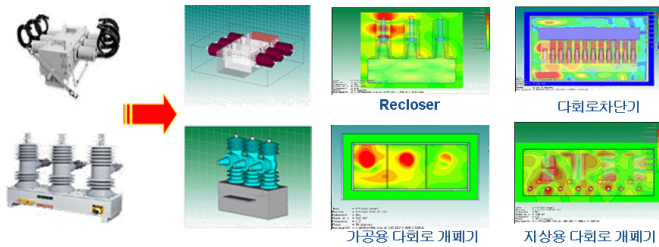
### 1. 서 론

국내 전력공급의 증가로 전력품질에 대한 관심이 증가되어지고 있다. 배전설비 역시 수용가 전력공급의 신뢰성을 높이기 위한 일환으로 배전자동화 설비 등에 대한 연구가 진행 중이며 일부 실용화 되고 있는 실정이다. 그러나 배전설비에 대한 상태평가 및 사고예방을 위한 점검 및 검사는 일정시간 경과 후 교체하거나 점검하는 방식을 취하고 있다. 이에 본 논문에서 개폐기 설비 내부 절연 열화 상태를 실시간으로 감시할 수 있는 UHF PD 센서와 이를 이용한 상태감시장치 개발에 관한 연구를 진행하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 배전기기 Simulation을 통한 특성 파악

배전기기 특성에 적합한 센서를 설계하기 위하여 3D EM simulator를 사용하였다. 그림 1과 같이 가스절연 부하개폐기, 가스절연 다회로 개폐기, 폴리머절연 리클로저, 폴리머절연 다회로차단기 Modeling 통한 Simulation을 통해 기기 내부의 UHF 대역 전자파 전파 모드와 분포 특성 및 내부의 차단주파수를 확인할 수 있었다.<표 1>



〈그림 1〉 배전기기 Simulation

〈표 1〉 각 배전기기에 대한 전파모드 및 차단 주파수

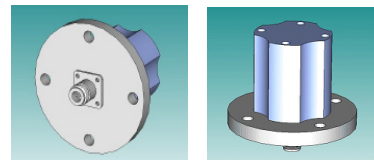
기기명	차단주파수( $f_c$ )
가스절연 부하 개폐기 (가공선로형)	395MHz
가스절연 다회로 개폐기 (지중선로형)	254MHz
폴리머절연 리클로저	338MHz
폴리머절연 다회로 차단기	118MHz

배전기기 내부에 임의의 모의결함을 발생시켜 400~1400MHz 대역에서의 방사전계장의 크기를 살펴본 결과 800MHz 이상의 전파신호가 외함 내부로 전파됨을 알 수 있었으며, 이 결과를 바탕으로 개폐기 내장형 센서(주파수 대역[1.0GHz ~ 1.4GHz])이 배전기기 내부의 부분방전을 검출할 수 있음을 알 수 있었다

배전기기 내부에 센서가 설치되는 위치에 따라 그 특성과 성능이 크게 달라진다. 따라서 배전기기 내부 절연에 영향을 주지 않으며, 모든 구간에 대하여 감시할 수 있도록 센서의 최적 배치 위치를 선정해야 한다. 그림 2는 다회로 개폐기의 센서 설치위치를 선정하기 위해 기기 육면에 센서를 설치한 후 내부의 모의 결함을 발생시 각 위치에 대한 주파수 대역별 크기를 그래프로 표현한 것이다.

#### 2.2 UHF 부분방전 센서 Modeling

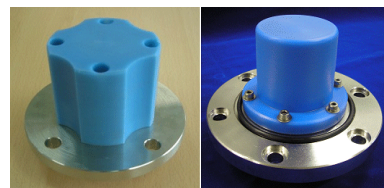
배전기기용 UHF 부분방전 센서는 광대역 주파수 대역 특성을 가지면서 배전기기 내부에 내장될 수 있도록 소형으로 제작되어야 한다. 이를 만족하기 위해서 다양한 안테나 소자들 중 Tear drop Monopole type을 선정하여 센서를 설계하였다. 센서의 구조는 그림 3과 같이 안테나소자(Tear-drop monopole)와 접지판(Ground Plate), 출력커넥터 및 안테나소자와 출력부를 연결하는 임피던스 정합 소자(Matching element)로 구성되어 있으며, 외부는 절연체커버와 부분방전 데이터를 전송하기 위한 N-type 커넥터로 이루어져 있다.



〈그림 3〉 UHF PD 센서 Modeling

센서는 개폐기 내부의 모든 구간에 대하여 감시 할 수 있도록 전방향성(omni directional)특성을 가지며, 전방향에 대하여 동일한 이득을 갖도록 Monopole 형태로 선정하였다. 센서의 주파수 대역은 개폐기에 적용될 수 있도록 선정하였으며(1.0~1.4GHz), 센서의 고유한 특성을 나타내는 정재파비(VSWR: Voltage Standing Wave Ratio)를 3.0이하로 설계하였다. 정재파비는 입사파에 대한 반사파의 비로 안테나의 성능을 평가하는 지표로 사용되고 있으며, 보통 공기 중의 전자파를 수신하는 안테나의 경우에는 1.5 ~ 2.0 이하로 설계되지만, 개폐기 내장센서와 같이 밀폐된 공간에서 전자파 신호를 수신하는 PD 센서의 경우는 전달전력(Delivered Power)의 80%이상을 수신하도록 3.0이하로 설계 하였다.

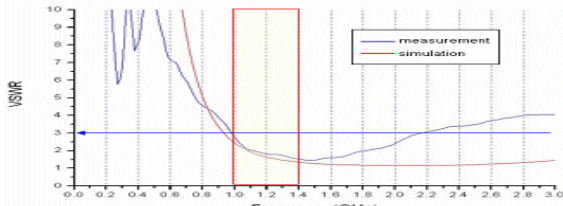
최종 설계된 Simulation 결과를 이용하여 그림 4과 같이 센서 시제품을 제작하였다.



(a) 가스 비기밀 타입 (b) 가스 기밀 타입

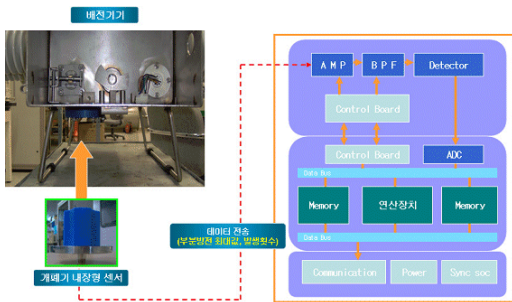
〈그림 4〉 개발된 UHF PD 센서

개폐기 제작사별 배전기기의 구조적 특성에 맞게 가스 기밀 타입과 가스 비기밀 타입, 두 종류의 센서를 제작하였다. Network Analyzer(HP 8753D)를 이용하여 각 센서의 정재파비(VSWR)를 측정하였으며 그림 6은 측정 결과와 Simulation 결과를 비교한 그래프이다. 그림 6에서와 같이 센서의 주파수 대역(1.0 ~ 1.4GHz)에서 실제 제작된 센서의 특성이 Simulation 결과와 매우 유사하였으며, 제시된 사양을 만족함을 확인할 수 있었다.



<그림 5> 센서의 VSWR 비교

## 2.5 상태 감시 모듈 설계 및 개발



<그림 6> 상태 감시 모듈의 기본 구조

상태 감시 모듈 내부의 Analog는 UHF PD 센서가 감지한 미소 부분방전 신호를 증폭하고 대역통과필터(Band Pass Filter, BPF)를 이용해 불요 전자파 간섭을 최소화하여 검출기(Detector)에서 신호를 검출한다. 따라서 센서에서 검출되어 본 장치로 입력된 광대역 극초단파 신호는 잡음이 적절히 제거된 낮은 주파수의 신호로 출력된다. Analog 회로에서 측정된 낮은 주파수의 신호는 ADC회로를 거쳐 Digital 신호로 변환하고 데이터를 RS-485를 통하여 상위로 측정된 데이터를 전송하게 된다. 상태 감시 모듈의 통신 모듈은 Digital Board와 일체화 시켜 One-Board 시켰으며, RS-485를 통하여 상위단으로 부분방전의 최대값과 방전횟수, 방전여부의 통신데이터를 전송할 수 있도록 하였다.

## 2.6 개폐기 부분방전 상태 감시 모듈 개발

최종 제작된 Analog과 Digital PCB에 외함을 씌워 그림7 과 같이 상태감시모듈을 개발하였다.



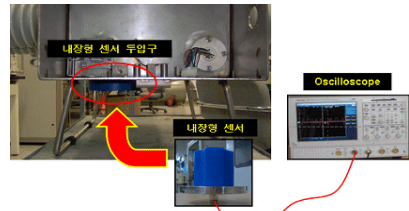
<그림 7> 상태 감시 모듈 시제품

## 2.7 Mock-up 개폐기와 PD Cell을 이용한 부분방전 시험

Simulation 결과를 바탕으로 Mock-up 개폐기(가스절연 부하개폐기)의 하부에 UHF PD 센서를 장착하였으며, 모의 부분방전 시험을 위해 개폐기 내부에 부분방전을 일으킬 수 있는 PD Cell을 장착시킨 후 전압을 가압하여 오실로스코프를 통해 특성을 측정하였다.



(a) PD Cell이 장착된 Mock-up 개폐기

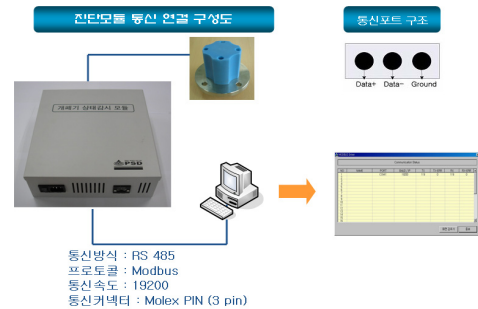


(b) 오실로스코프를 이용한 내장형 센서 성능 테스트  
<그림 8> Mock-up 개폐기를 이용한 부분방전 시험

위와 같은 실험방법으로 3.14 pC 부분방전 발생시 센서의 측정값은 17.86mV(-21.95dBm)가 나왔다.

## 2.7 상태 감시 모듈 통신 시험

상태 감시 모듈의 통신에 대한 유효성을 시험하기 위하여 상태 감시 모듈과 컴퓨터를 RS-232 포트를 통해서 연결한 후 상태감시모듈에서 측정된 데이터를 지속적으로 적용하였다.



<그림 9> 상태 감시 모듈 데이터 전송 시험

## 3. 결 론

본 연구를 통해 배전기기 내부의 특성에 맞는 부분방전 신호 검출을 위한 내장형 UHF PD 센서와 이를 이용한 상태 감시 진단 모듈을 개발하였다. 배전기기 내부의 주파수 대역 및 전자파 전파 특성을 파악하고 자 3D EM Simulator를 이용하여 기기별 Modeling 및 Simulation 과정을 진행하였다. Simulation 결과를 바탕으로 배전기기 내부의 주파수 대역(1.0~1.4GHz)을 만족하는 센서를 제작하였으며, 내부 절연에 영향을 미치지 않으면서 모든 구간을 감시할 수 있는 센서의 최적 배치 위치를 선정할 수 있었다. 이후 Mock-up 개폐기와 PD Cell을 이용한 부분방전 시험을 통해 센서의 성능을 검증하였다. 또한 센서로부터 들어오는 부분방전 신호를 이산화 처리하고 자체분석 알고리즘을 이용하여 상위단으로 올려 보낼 수 있는 상태 감시 모듈을 개발하였다. 이후 센서와 PC를 통하여 진단 모듈의 통신 성능을 확인하였다. 추후 지속적인 현장검증을 통하여 UHF 센서와 상태감시모듈의 성능에 대한 신뢰성을 높임에 따라 개폐기 내부의 열화 진단 상태를 실시간으로 감시할 수 있을 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 부분적으로 산업자원부 전력산업 연구개발사업 지원에 의해 수행된 연구 결과로 이에 감사드립니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] 윤진열, 박기준, 구선근, "GIS 부분방전 검출기술연구 최종 보고서", TR98PJ04. J2002.407, 한국전력연구원, 2002.
- [2] M.D. Judd, O. Farish, B.F. Hampton, "Broadband couplers for UHF detection of partial discharge in gas-insulated substations", IEE proc.-Sci. Meas. Technol., vol. 142, No. 3, pp 237-243, 1995
- [3] E. H. Newman and P. Tulyathan, "Analysis of Microstrip Antennas Using Method of Moments," IEEE Trans. antennas Propagation, Vol. AP-29, Jan 1981, pp. 47-53.
- [4] Jae-ok Choi, Chul Min Hwang, Young-noh Kim, Kijun Park, Sun-Geun Goo, Jin-yul Yoon, "On-line UHF Partial Discharge Monitoring System for prevent of the failure in Gas-Insulated Switchgears (GIS) " CMD2006, April 2~5 2006, pp. 118.
- [5] 황철민, 김영노, 이영상, 광주식, 박기준, "GIS 스페이서의 예폭시 주입구 장착형 UHF PD 센서의 성능 비교", 36th the KIEE Summer Annual Conference 2005, July 18~20 2005, 고전압 및 방전응용기술 pp 2265