GIS 설비 진단을 위한 포터블 부분방전 측정장치 개발 및 응용

논 문
58P-2-23

A Development of Measuring Instrument of Portable Partial Discharge for Diagnosis of GIS Installation and Application

김 종 서† · 김 진 태* · 신 홍 식** · 이 흥 재***
(Jong-Seo Kim · Jin-Tea Kim · Heung-Sik Shin · Heung-Jea Lee)

Abstract - Recently, to the development of a highly information-oriented society to a large increase in dependence on power, Accordingly, it is need that active development and spread of preservation technology on accident prevention in operation electrical equipment. However, to lack of the use on maintenance technology of power equipment and to increase of power usage is growing deterioration of power equipment, this is a cause on casualties, property damage and the occurrence of disasters is a growing. GIS equipments which are operated from domestic except the equipment which manages from the big business are depend on a most visual inspection, and do inspection method or measuring instrument etc. a condition which is not supplied widely.

Currently, many to measure instrument used in domestic is very expensive or foreign, it will be able to substitute this, the development necessity of the diagnosis technique and the measuring instrument is demanded.

Key Words : Partial Discharge(PD), GIS, Neural Network, K-IPDS, Maintenance, Diagnosis software

1. 서 론

최근 고도 정보화 사회로의 발전과 생활환경, 사회기능의 전력의존도가 큰 폭으로 증가하고 있으며, 전기용품 및 전력 사용량의 증가와 함께, 주요 인구 밀집지역의 건축물은 점차적으로 다양화, 고층화 및 첨단화에 따라 전기설비는 설치공간의 축소화 및 용기에 의한 밀폐화 등 설비형태의 변화를 가져왔고 이에 따라 가동중인 전기설비사고의 사전방지에 관한 예방보전 기술의 적극적인 개발 및 보급이 필요로 되고 있다. 그러나, 적절한 전력설비 메인티넌스를 위한 기술의 활용 미흡과 전력사용량의 증대로 인하여 전력설비의 소손 및 이로 인한 인명, 재산피해 등 재해의 발생요소가 높아지고 있는 실정이다.

현재 많은 전력설비들 가운데 전력 시스템의 신뢰성 문제는 GIS 등 전력설비의 안정적인 운용에 있어 가장 크게 대두되고 있는 문제이다. 하지만, 국내의 전력설비 중 아직도 규모가 작은 사업장 등에서는 특별한 보호대책 없이 운전되고 있는 실정이다. 즉 일반적인 170kV급 GIS설비에서 비 정기적인 진단 또는 육안점검 등에 의존해서 설비를 관운전하고 있어, 저렴하고 활용하기 쉬운 장비의 개발 필요성이 요구되고 있다.[3]

따라서 본 연구에서는 포터블형 부분방전 측정장치를 개발하여 GIS 설비를 관리하는 전기담당자들이 간편하게 활용하여 사고를 사전에 방지할 수 있는 지능형 부분방전 측정장치를 개발하였다. 측정장치의 분석기준은 모의실험을 통하여 고장상태의 기준조건을 설정[2]하였고, 표준방전발생기 및 오실로스코프 등을 통해 신뢰성을 확보하였다.

† 교신저자, 정회원 : 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원
E-mail: kjseo227@kesco.or.kr
* 정 회 원 : 한국전기안전공사 경영전략팀 부장
** 정 회 원 : 한국전기안전공사 전기안전공사 재직중 · 공박
*** 시니어회원 : 광운대학교 전기공학과 교수 · 공박
접수일자 : 2009년 4월 7일
최종완료 : 2009년 5월 25일

2. 실험방법

국내에 설치되어 운전되고 있는 GIS설비의 유지 · 보수는 대기업에서 관리하는 설비를 제외하고는 일반 사업장에서는 전기담당자들이 평소 육안점검을 주로하고 있으며, 점검방법이나 장비등이 폭넓게 보급되고 있지 않는 상태이다. 그리고 현재 국내에 보급된 대부분의 계측장비들이 외국산이거나 매우 고가로, 이를 대체할 수 있는 계측장비 및 진단기술의 개발의 필요성이 요구되고 있다.

2.1 부분방전 진단

부분방전을 진단하는 방법으로 초음파, HFPD, UHF 등 여러 가지의 방법을 적용하여 GIS 설비를 진단하고 있고, 이중 본 연구에서는 HFPD 방식을 이용하여 지능형 부분방전 측정시스템(KESCO- Intelligent Partial Discharge System, K-IPDS)을 개발하였다. 개발된 측정장치의 구성은 크게 3부분으로 나눌 수 있다.

1단계로 부분방전 신호를 직접 측정하는 단계로 부분방전 신호에 포함되어 있는 노이즈 신호를 구별하여 부분방전 신호를 입력하는 부분이다. 부분방전 신호 자체가 매우 미소한 신호로 노이즈를 얼마나 효과적으로 제거하느냐에 따라 장치의 성능이 좌우될 수 있다. 본 개발장치에서는 1차로 하드웨어 필터(HF Filter, 1MHz 이하 제거)를 삽입시켜 현장상황에 따라 적용여부를 결정할 수 있도록 시스템을 구성하였다.

2단계로 검출된 신호는 기본적으로 소프트웨어 필터(HF Filter, 1MHz 이하 제거)를 사용하여 노이즈를 제거하였고, 입력된 신호를 전원위상(60Hz)에 동기시켜 위상분석을 실시하여, 위상에 따라 달라지는 위상분포 데이터를 사용하여 이상상태를 분석한다.

마지막으로 검출된 데이터에 대해서 모의실험을 실시하여 도출한 실험결과와 비교분석후 이상원인을 분석 및 판단하는 단계로서, 본 연구에서는 GIS에서 발생가능한 돌기조건(침전극) 및 파티클 조건, normal 조건에서 실험한 값을 기준 데이터로 적용하였고, 알고리즘은 신경망 이론을 적용하여 분석한다.

2.2 휴대용 부분방전 측정장치

부분방전 진단장치는 포터블형 장치로 일반 전기설비 관리자들이 간편하게 사용할 수 있도록 개발하였다. 본 장치는 센서(100kHz~20MHz), 신호취득장치, 진단프로그램(측정 및 분석)으로 구성되며, 현장에서 실시간으로 측정하여 분석할 수 있다. K-IPDS는 컴퓨터 기반의 측정장치로서 센서에서 취득한 신호를 DAQ보드(A/D변환, 100MS/s)를 활용하여 신호를 취득하고, 검출된 데이터를 컴퓨터에서 분석하는 방법을 이용하였다. 또한 본 장치에는 현장의 노이즈의 영향을 최소화 하기위해 신호검출부분의 하드웨어필터(1MHz 이하 신호제거)를 설치하여 현장상황에 맞게 사용여부를 결정할 수 있도록 설계하였고, 진단프로그램에는 소프트웨어 필터(하이패스 필터 1MHz이하 제거)를 적용하여 개발하였다.

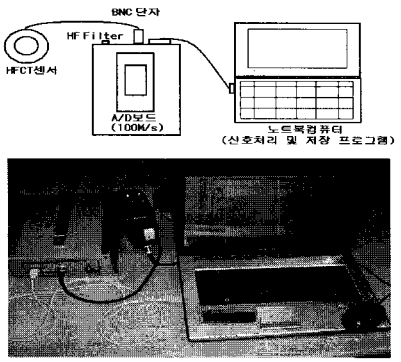


그림 1 부분방전 시스템 구성

Fig. 1 Constitution of Partial Discharge System

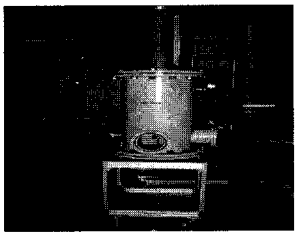
2.3 모의실험 개요

부분방전 측정시스템의 적정한 활용을 위해 현장에 사용하고 있는 154kV GIS를 참고하여 GIS의 외관과 비슷한 유형에, 고압부싱을 취부한 형태로 부분방전 발생 모의챔버(1500cm×400cm)를 제작하여 이상조건별 부분방전 신호를 검출후 부분방전 측정시스템의 기준신호로 활용하였다.

고장조건은 돌기조건(침 전극) 및 파티클로 설정하여 실험을 진행하였다. 각 고장조건별로 발생하는 신호를 HFCT센서를 적용하여 검출하였고, 인가전압은 연구원에서 보유하고 있는 고전압 설비(100kV, 60Hz)를 이용하였다. 본 실험의 목적은 고장조건별 부분방전 신호의 패턴을 검출하기 위해 실시하였고, 부분방전 기준신호를 위한 부분방전 펄스발생기는 ROBSION INSTRUMENTS, MINIATURE DISCHARGE SIMULATOR TYPE 753 모델을 적용하였다.

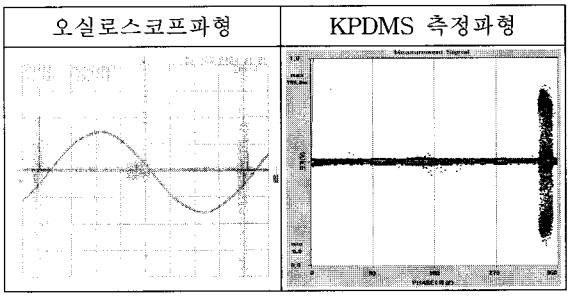
이상상태분석을 위한 기준은 모의실험을 통한 고장조건별 패턴과 모의실험 및 현장측정을 경험으로하여 10pps 기준으로 환산한 100pC으로 설정하였다.

검출신호는 오실로스코프(요코가와 DL1200A 100MHz)와 고전압 설비에 PD 분석기(Robinsion Instrument, Model 5, Type 700)을 사용하여 K-IPDS와 신호의 특성을 비교·분석하여 적정성을 확보하였다. 부분방전 신호의 검출과 분석 그리고 검출된 신호의 패턴인식을 위한 신경망 알고리즘의 구성을 위하여 LabVIEW 8.5를 이용하여 분석프로그램을 개발하였다.



(a) 모의실험 설비

(a) Equipment of Simulation



(b) K-IPDS 신뢰성 실험

(b) K-IPDS on Experiment of reliability

그림 2 모의실험설비 및 K-IPDS 신뢰성 실험

Fig. 2 Equipment of Simulation and K-IPDS on Experiment of reliability

그림 2는 모의실험설비와 K-IPDS 신뢰성 실험 내용을 나타낸 것으로, 그림 (a)의 모의실험 설비를 이용한 침전극 고장조건에서 발생하는 신호를 검출한 결과, 그림 (b)에 나타낸 것과 같은 신호가 검출되었다. 검출데이터를 살펴보면 약 350° 부분에서 공통적으로 특징적인 신호가 검출되어, K-IPDS 개발장비의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

검출데이타의 최대크기와 약180° 부분에서 나타나는 신호의 패턴 차이는 소프트웨어 필터 적용으로 인해 1MHz이하의 신호가 제거되어 나타나는 현상으로 분석된다.

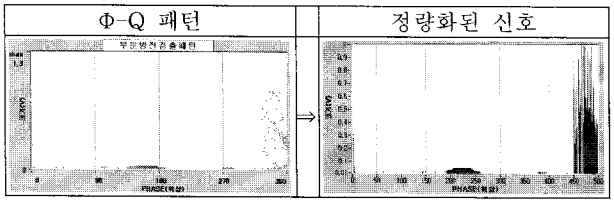
2.4 부분방전 신호 분석

일반적인 절연체에서 발생하는 부분방전 신호는 비 주기적인 랜덤한 신호이며, 복잡한 패턴을 갖는다. 이런 신호를 일정 주기 이상 동일 위상에 누적하면 방전패턴의 재현성을 높일 수 있다.

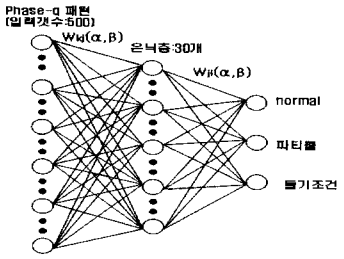
본 논문에서는 현장의 노이즈 등을 고려한 패턴인식을 위하여 최대 1min(3600cycle×500point)동안 신호를 검출하고, 이를 위상에 대하여 누적하였으며, 검출된 신호는 Φ-Q-N 방법을 적용하여 분석하였고, 패턴인식은 Φ-Q만을 적용하여 신경회로망의 입력 데이타로 사용하였다.

2.5 지능형 부분방전 시스템의 진단프로그램

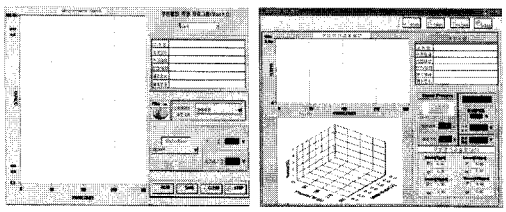
GIS 내부에서 발생하는 부분방전의 특성분석을 그림 3과 같이 K-IPDS를 구성하였다. 그림 (a)의 입력 데이타는 Φ-Q 패턴을 정량화하여 나타낸 것이며, 알고리즘의 특성으로 최대값이 1로 설정되고, 입력갯수는 500개이다. 그림 (b)는 검출신호의 패턴인식을 위하여 신경회로망은 여러 알고리즘중 다층 구조를 가지는 역전파 학습알고리즘(Back-Propagation Algorithm)을 설명한 것으로, 학습은 패턴별로 대표적인 신호 20개씩을 임의적으로 선정하여 실행하였다. 중간층은 1개의 은닉층으로 구성하여 뉴런 갯수를 30개로 설정하였고, 출력층 뉴런은 앞에서 설명한 고장 조건의 갯수인 3개로 설정한 구조로 하였으며, 최소오차가 0.01 이하가 되면 입력 패턴이 학습된 것으로 판단하고, 학습을 종료하도록 하였다[9][10].



(a) 데이터 처리 방법
(a) Method on data process



(b) 신경망 알고리즘(Back- Propagation)
(b) algorism of Neural network



(c) 부분방전 신호 검출 및 분석 프로그램
(c) Program on detection and analysis of Partial Discharge singal

그림 3 진단프로그램 구성
Fig. 3 Constitution of Diagnosis Program

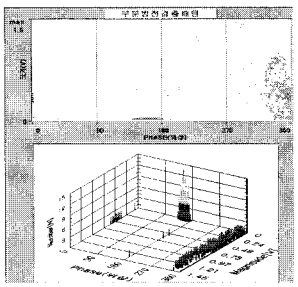
그림 (c)는 K-IPDS의 분석프로그램으로 좌측은 부분방전 측정장치를 제어하고, 신호를 검출 및 저장하며, S/W 필터를 적용하여 노이즈성 신호를 저감할 수 있도록 하였고, 우측부분은 그림 (a), (b)의 알고리즘을 반영하여 개발된 것으로 검출데이타의 신호처리를 통해 실질적으로 측정대상물의 이상유무를 분석하는 기능을 가지고 있다. 그리고 노이즈 성분의 제거를 위해 구간별 신호제거 기능을 첨부하여 분석의 신뢰성을 높일 수 있도록 하였다.

이와 같은 알고리즘을 적용하여 개발된 진단프로그램을 적용하여 GIS의 고장원인을 분석하여 결과를 도출한다.

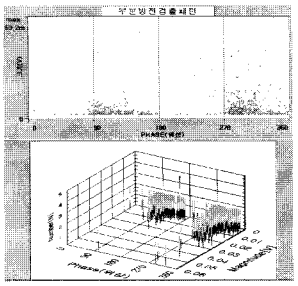
3. 실험결과

3.1 고장조건별 부분방전 신호 검출 결과

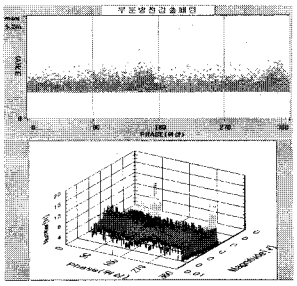
그림 4는 K-IPDS를 적용하여 고장조건별 검출패턴을 나타낸 것으로 그림 2 (a)의 부분방전 모의챔버를 이용하여 검출한 것이다.



(a) 돌기조건(침전극)
(a) Protrusion Condtion(needle pole)



(b) 파티클 조건
(b) Condition of Particle



(c) normal 조건
(c) Condition normal

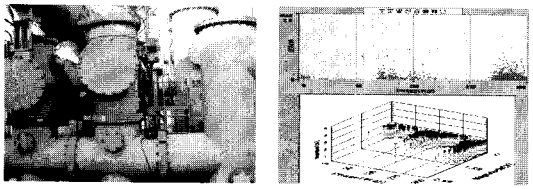
그림 4 고장조건별 부분방전 측정결과
Fig. 4 Measurement result according to fault condition

GIS 고장조건별 내부이상 신호는 주요 고장조건별로 명확한 특징이 나타나고 있다. 그림 (a)는 침 전극 조건으로 300°~360° 부분에서 중점적으로 신호가 발생하고 있으며, 그림 (b)는 파티클 조건으로, 90°~ 180°, 270°~360° 부근에서 이상신호가 주기적으로 나타나고 있는 것을 관찰할 수 있고, 그림 (c)는 normal 조건으로 특징적인 패턴의 신호가 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 이들 모의실험을 통하여 검출된 신호를 기준 패턴으로 설정하여, 각 검출신호별 패턴인식율 기준으로 주변노이즈를 고려하여 70%이상을 패턴인식의 성공으로 프로그램을 설정하였다.

학습이 완료된 진단프로그램을 이용해 모의실험 조건별 패턴인식 실험은 검출신호 모두 90% 이상으로 만족할 만한 결과를 도출하였다.

4. 현장실측

그림 5는 개발된 포터블 형태의 K-IPDS를 활용하여 현장실측한 결과이며, (a)는 실측모습이고, (b)는 측정데이타 이다. 대상은 154kV, GIS에 대해서 모의실험의 고장조건을 기준으로 부분방전 측정을 실시하여 검출한 데이터를 실험결과와 비교·분석하여 GIS의 상태를 분석하였다. 검출패턴을 보면 파티클 조건의 패턴인식율이 75%였고, 부분방전 크기(pC)역시 826pC으로 검출되어, GIS에서 이상신호가 발생하고 있는 것으로 분석된다.



(a) 현장 측정 (b) 검출데이타

(a) Field Test (b) data of detection on field

그림 5 현장실측

Fig. 5 Field Test

5. 결 론

본 연구에서는 일반적으로 현장에서 GIS의 이상상태를 간편하게 측정·분석 및 활용이 가능한 포터블형 부분방전 측정장치와 이를 제어하고, 측정신호를 분석하는 진단프로그램을 개발하였고, 본 연구를 요약하면 다음과 같다.

1) 간편하게 활용이 가능한 포터블형 부분방전 측정장치 및 진단프로그램을 설계 및 제작하였다.

2) GIS의 고장조건인 돌기조건(침전극), 파티클 조건에서 발생하는 각각의 특징적인 신호를 검출하였고, 이들 신호를 신경망 알고리즘을 활용하여 간편하게 분석할 수 있도록 프로그램을 개발하였고, 현장의 노이즈를 고려하여 H/W 및 S/W 필터, 그리고 구간별 강제적인 신호제거를 통해 현장의 노이즈를 최대한 제거할 수 있도록 진단프로그램을 개발하였다.

3) 개발된 부분방전 측정장치를 현장에 적용한 결과 일반적인 적용이 가능함을 확인할 수 있었으며, 이를 활용하면 중요설비인 GIS의 사고를 미연에 방지할 수 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] H.Saitoh, K.Morita, "Impulse Partial Discharge and Breakdown Characteristics of Rod-Plane Gaps in N2/SF6 Gas Mixtures", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol.9, N4, August 2002

[2] "IEEE Guide for Partial Discharge Measurement in Power Switchgear", IEEE Std 1291-1993

[3] 한국전기안전공사 "자가용 GIS(170kV DS)의 내부이상 신호검출 분석을 이용한 현장적용화 연구" 2004.2

[4] 박건준, 김길성, "Neure-Fuzzy 기법을 이용한 부분방전 패턴인식에 대한 연구"전기학회논문지, Trans. KIEE. VOL 57. NO 12. DEC 2008

[5] 이상화, 윤영우, 추영배, "운전중 부분방전 진단시스템을 위한 복합 잡음제거 기법", Trans. KIEE. Vol. 58, No. 2, FEB 2009

[6] 황청호, 성허경, "불평등 전계에서 SF6/CF4 혼합가스의 절연내력과 PD 특성", Trans. KIEE, Vol. 57, No. 4, APR. 2008

[7] 박건준, 김길성, "Neuro-Fuzzy 기법을 이용한 부분방전 패턴인식에 대한 연구", Trans. KIEE, Vol. 57, No. 12, DEC. 2008

[8] 강창원, "GIS 예방진단을 위한 패치 안테나형 부분방전 센서에 관한 연구", 박사학위논문, 2006

[9] 김덕근, "전자파 스펙트럼 변화패턴과 신경회로망을 이용한 HFPD 절연열화 진단", 박사학위논문, 2003

[10] 김대수, "신경망 이론과 응용(I)", 하이테크정보, pp. 91~144, 1992

저 자 소 개

김 종 서 (金 鍾 瑞)

1970년 2월 27일생 1996년 동신대학교 전자공학과 졸업. 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사) 1996~현재 전 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원

김 진 태 (金 鎭 泰)

1968년 5월 8일생 1993년 인천대학교 전기공학과 졸업 2000년 한기기술대학원 전기공학과 졸업 현재 광운대 정보통신대학원 석사과정 2003~2008년 전기안전연구원 현재 한국전기안전공사 경영전략팀 부장

신 홍 식 (申 興 湜)

1969년 6월 18일생 현 한국전기안전공사 전기안전연구원 재직 중. 광운대학교 전기공학과에서 학사, 석사를 취득하고, 2008년 아주대학교 시스템공학과 박사 학위를 취득하였으며, 1997년 이탈리아 Alenia사 객원연구원, 주요관심분야는 전기안전시스템, 통신시스템, 시스템엔지니어링이며, RF및 위성통신분야에도 관심을 가지고 있음.

이 흥 재 (李 興 載)

1958년 1월 28일 생. 1983년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1995년~1996년 미국 워싱턴 주립대 방문교수. 현재 광운대 공대 전기공학과 교수