

GIS내부의 부분방전신호 감도개선 및 주파수변환기법에 의한 GIS UHF Sensor 모듈의 외부노이즈차폐기법에 관한 연구

| |
|--------|
| 논 문 |
| 59-4-8 |

A Study of the Method for External Noise Shielding using the GIS UHF Sensor Module Applied to the Partial Discharge Signal Sensitivity and Method of Frequency Transforming in the Internal GIS

이 승 민*
(Seung-Min Lee)

Abstract - GIS(Gas insulated switching gear) is power equipment with excellent dielectric strength and is economy merit in high confidence and stability. Recently, because equipment of GIS was occurring problem of confidence used for a long time, partial discharge on-line diagnosis systems have been importantly recognized. Partial discharge (PD) detection is an effective means for monitoring and evaluation of dielectric condition of gas insulated system (GIS). The ultra-high-frequency (UHF) PD detection technique can detect and locate the PD sources inside GIS by detecting electromagnetic wave emitted from PD source. Therefore, real-time diagnostic system using UHF detection method has been developed for this application is being expanded gradually. However, the signal of partial discharge occurring in SF6 gas is very weak and susceptible to external noises which mainly consist of PD in air. Thus, it is important to distinguish the PD in SF6 gas more sensitively from the external noises. Unfortunately, these external noise signals and the partial discharge signals have very similar characteristics. Therefore, to solve this problem, we need the signal processing method for distinguish partial discharge signals with external noise signals for improvement of SNR(signal to noise ratio) and sensitivity. In this paper, we proposed internal signal processing method for removing external noise signals with built-in pre-amplifier and frequency conversion circuit.

Key Words : GIS(Gas Insulated System), PD(Partial discharge) sensor, UHF sensor

1. 서 론

최근 산업이 발달함에 따라 전력수요의 급증에 따른 변전 설비의 대형화로 인하여 소형화된 대용량전력기기인 가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear, GIS)의 사용은 빠른 속도로 증가되고 있다. 가스절연 개폐장치는 불활성 가스인 SF6의 우수한 절연특성으로 인하여 정상상태의 전류계폐 뿐만 아니라 단락사고 등 이상상태에 있어서 전력계통을 보호하기 위한 복합적인 기계장치로 사용된다. 또한 GIS는 변압기의 인입가공선로 및 지중선로에 연결이 적합하도록 설치장소의 조건에 따른 설계가 가능하며 절연능력이 우수한 SF6가스를 절연체로 사용함으로써 소형화가 가능함에 따라 Open terminal 타입의 일반변전소 보다 변전소면적을 줄일 수 있고, 무인운전이 가능한 장점으로 인하여 광범위하게 사용되어지고 있다. 그러나 설치 시 발생하는 조립불량, 도체의 불완전접촉, 스페이서 결함(void, crack) 및 동작중 기계적 마모로 인한 금속성 이물질은 GIS의 절연열화를 가속시

켜 고장사고로 이어지는 주요원인으로 작용된다[1][2]. 고장 사고가 발생하는 경우 복구에 많은 비용과 장시간이 소요됨으로써 사고로 인한 파급효과가 매우 크다. 일반적으로 GIS 내부의 절연열화를 발생시키는 결함의 원인을 살펴보면 돌출전극에서의 전계집중현상, 스페이서의 크랙으로 인한 보이 드(void) 방전, 설치 및 제작상의 오류로 인하여 접촉부의 불완전한 접촉에 의한 스위칭 아크현상, 도전성 이물질이 내부 자계에 강도에 따라 GIS 외함 전극표면에서 중앙전극으로의 반복적으로 바운싱(bouncing) 되는 현상, SF6가스 중 흡습에 의한 고체절연물 표면에서의 절연열화 등의 형태로 구분하여 볼 수 있다. 따라서 이러한 내부결함에 의한 GIS 내에서의 부분방전은 방전 누설전류가 발생과 동시에 순간적으로 이온화된 가스채널의 형성으로 인한 초음파신호를 발생하게 되며 방전시 발생하는 고온현상 의한 가스분해물질을 생성하게 된다. 따라서 이러한 GIS내부의 부분방전으로 인한 물리적 현상들에 대한 부분방전신호의 검출방법은 초음파검출법과 누설전류측정법 및 방사전자파를 검출하는 UHF검출법과 같은 다양한 부분방전검출방법과 결합분석을 위한 다양한 연구가 진행되어 왔으며, 이에 대한 결과로 온라인 예방진단 시스템의 현장설치사례가 증가되고 있다 [2-4]. 그러나, 이러한 노력에도 불구하고 변전소내의 과도한 전자파 노이즈 및 코로나방전에 의한 외부노이즈신호로 인하여 전력기기 및 전력설비 진단장치의 신뢰성 저하에 관

* 정 회 원 : 충남대학교 사범대학 전기전자통신 공학교육과
초빙교수 · 공박

E-mail : zbus@cnu.ac.kr

접수일자 : 2010년 3월 15일

최종완료 : 2010년 3월 23일

런된 문제가 빈번하게 발생되고 있다. 따라서 이러한 외부 노이즈를 효과적으로 제거하기 위하여 다양한 방법들에 대한 연구가 진행되고 있으며[5-9], 그 대표적인 예로, 외부노이즈검출센서를 이용한 Phase gate control 방법[10]과 주파수분석을 통한 제거방법 및 패턴분석을 통한 잡음평가 알고리즘[11]등과 같은 외부노이즈 대책에 대한 연구일 것이다. 따라서, 본 논문에서는 고전압 전력설비인 가스절연개폐장치 내의 절연열화현상으로 발생하는 부분방전신호를 취득하기 위한 UHF 신호검출 기술을 적용함에 있어, 외부노이즈신호의 효과적인 제거를 위한 방법으로 UHF센서내부에 검출된 부분방전신호에 대한 저잡음 증폭기(Low noise amplifier)와 피크홀드회로 및 대역통과필터(BPF, Band pass filter)로 구성되는 신호처리모듈을 내장하여 신뢰성 있는 부분방전신호를 검출할 수 있는 방법을 제안하고자한다.

2. 본 론

2.1 내장형 부분방전검출용 신호처리모듈의 설계 및 구현

외부노이즈신호에 의한 간섭이 일어나는 현상과 이러한 간섭현상을 제거하기 위한 신호처리모듈의 설계에 대한 개략도를 그림 1에서 제시하고 있다.

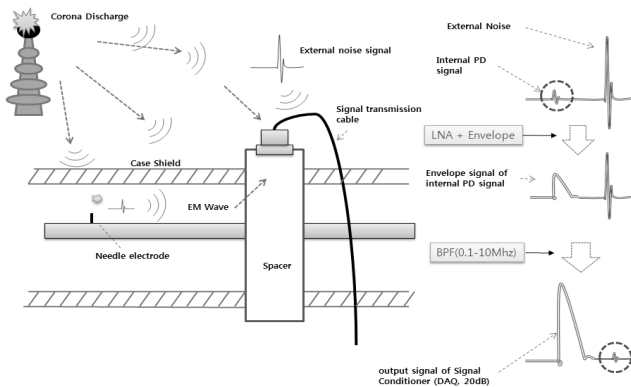


그림 1 외부노이즈신호에 의한 간섭현상 및 UHF센서내부의 신호처리모듈에 의한 외부노이즈신호 제거에 대한 개략도

Fig. 1 The diagram of the external noise signal elimination by the signal processing module in the internal UHF sensor and interference of the external noise signal

부분방전현상으로 인하여 발생하는 UHF신호는 수십ns에서 수us의 Pulse width를 가지는 임펄스형태로 나타나며 부분방전신호의 V_{peak} 값은 방전량에 대한 상대적인 크기 정보를 나타낸다. 이러한 특징은 부분방전신호를 판별하기 위한 중요한 정보로 되며, 전원위상의 발생위치에 따른 패턴정보와 함께 결합원인 및 절연열화 상태를 분석하기 위한 특징정보로 이용된다. 또한 GIS적용되는 UHF검출센서는 지향성을 가지는 형태로 제작되며 GIS가스주입구에 장착되는 내

장형센서 및 스페이서 장착되는 외장형 센서는 접지된 외함 케이스를 통하여 차폐되는 효과를 가진다. 따라서 UHF 센서로 외부노이즈가 수신되는 신호는 극히 미약하다고 볼 수 있다. 다만 현장에서의 센서케이블 및 데이터취득장치의 전원라인을 통하여 유기되는 외부노이즈신호가 오류검출을 유발하는 주요한 원인으로 작용된다.

따라서, 본 논문에서는 GIS내부에서 검출된 유효한 PD신호에 대하여 차폐된 센서내부 상에서의 신호의 증폭 및 가공을 통하여 신호 대 잡음비(Signal to noise ratio, SNR)을 향상시킴과 동시에 외부노이즈신호의 주파수영역과 구분되는 형태의 PD유효정보추출신호로의 신호변환을 통하여 외부노이즈신호를 효과적으로 제거하기 위한 방법을 제안하고자 한다.

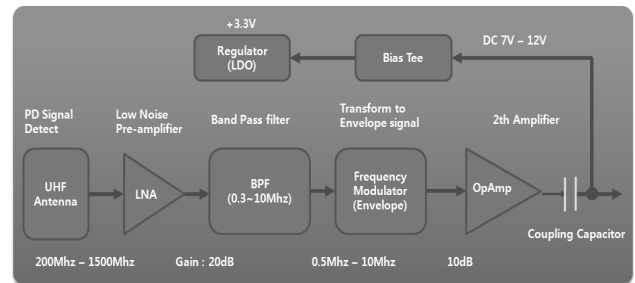


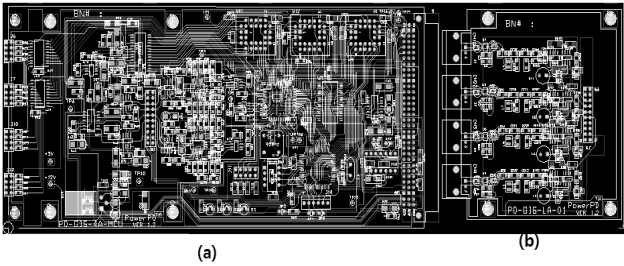
그림 2 신호처리모듈이 내장된 UHF Sensor모듈의 시스템구성
Fig. 2 The system configuration of the signal processing module embedded in UHF sensor module

신호처리모듈의 기본구성은 그림 2에 나타낸 것과 같이 UHF안테나 센서로부터 수신된 유효한 부분방전신호는 20dB의 gain을 가지는 전치증폭기인 저잡음 증폭기를 통한 1차 증폭을 통하여 신호 대 잡음비가 향상된 형태로 출력되며 이어지는 Pulse shaping 회로를 통하여 임펄스형태의 PD신호의 Vpeak정보를 포함하는 Envelope신호로 변환하게 된다. 이러한 과정을 거쳐 UHF대역(300MHz~1.5Ghz)의 Impulse신호를 VHF대역(0.5MHz~10MHz)의 신호로 되어 0.5MHz~10MHz대역의 대역통과필터를 거쳐 필터링 되고, 2차증폭회로를 거쳐 출력되는 형태로 구성된다.



그림 3 UHF 센서모듈의 제작사진
Fig. 3 The picture of UHF sensor module

그림 3은 제작된 신호처리모듈이 내장된 UHF Sensor 모듈을 보여주고 있으며, 그림 4는 UHF Sensor 모듈에서 검출된 아날로그 형태의 부분방전신호를 디지털 신호의 형태로 변환하여 처리하기 위한 데이터취득장치의 PCB Layout을 나타내고 있으며, 고속 A/D 변환 회로와 디지털 신호의 처리를 위한 EPLD 로직 회로, 각 부분의 제어를 담당하는 MCU 및 4개의 GIS UHF Sensor와 인터페이스를 위한 회로 등으로 구성되어 있다.



(a) MCU 및 High Speed ADC Logic, (b) Sensor Interface Circuit

그림 4 데이터취득장치의 PCB Layout 도면
Fig. 4 PCB Layout of Data acquisition system

2.2 시험의 구성 및 조건

제작된 신호처리회로내장형 UHF센서 모듈에 대한 성능 검증시험을 위하여 그림 5에 나타낸 것과 같이 GIS모듈의 챔버 내에 방전시료를 장착하고 5kV~15kV를 인가하여 방전개시전압이상에서의 부분방전이 발생시킨 후 데이터 취득 및 신호출력과형에 대한 분석을 하는 형태로 진행하였다.

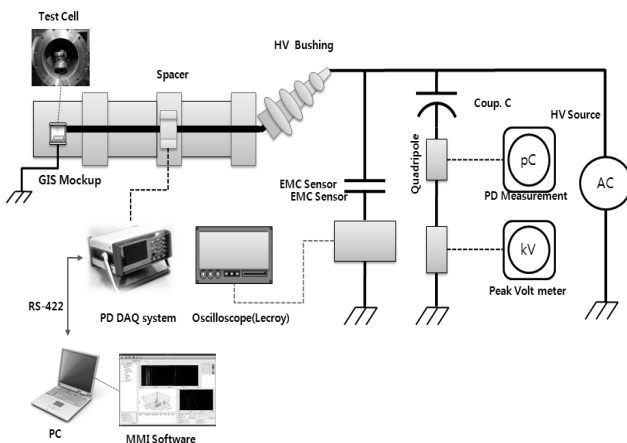


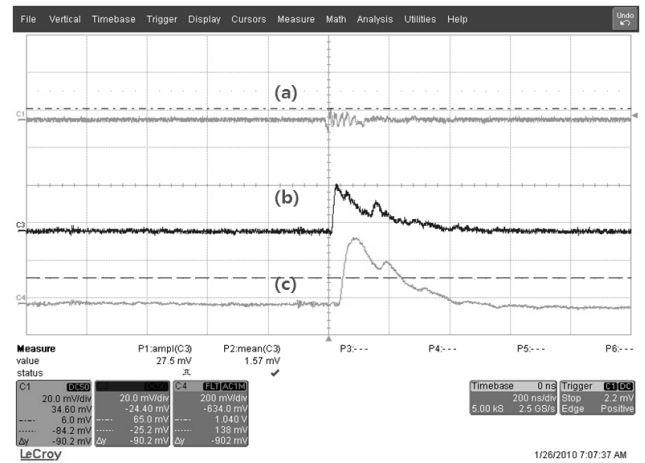
그림 5 시험장치 개략도
Fig. 5 Block diagram of experimental setup

GIS 부분방전시험은 GIS 모의챔버 내에 침상결함형 방전 시료를 장착한 후 Coupling Capacitor를 통하여 방전개시전

압 및 방전량에 대한 확인과 동시에 EMC센서를 통하여 Coupling되는 인가전압의 AC파형에 대한 전기적 부분방전 신호를 취득한 후 제작된 UHF센서로 출력되는 방사전자파 수신신호와 비교하기 위하여 UHF Sensor모듈의 출력은 UHF 안테나 출력신호와 신호처리모듈을 통하여 출력되는 신호 및 데이터취득장치내에서의 2차 증폭된 신호와 비교하는 형태로 진행하였다. 또한 데이터 취득장치로 부터 검출된 부분방전신호는 PC소프트웨어를 통하여 위상정보를 포함한 데이터형태로 저장되어지며 취득된 부분방전신호의 raw데이터에 대한 위상/크기/개수에 대한 분석이 가능하도록 구성하였다.

2.3 시험의 결과 및 분석

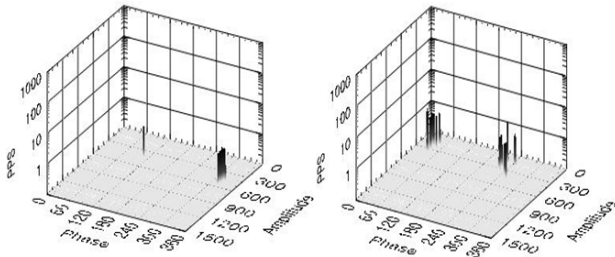
제작된 신호처리회로내장형 UHF센서모듈에 대한 부분방전검출에 대한 성능검증을 위하여 침상결함 및 보이드 결함을 가지는 2가지 방전시료 대하여 부분방전개시전압인 약 5kV 이상에서부터 10kV까지의 가압조건하에서 신호취득에 진행하였다. 그림 6은 단일펄스의 부분방전신호에 대하여 오실로스코프로 측정된 결과 이며 (a)는 UHF antenna 검출 신호, (b)는 신호처리모듈의 최종출력신호, (c)는 데이터취득장치내의 신호처리보드에서의 수신된 신호를 나타낸다.



(a) UHF sensor output signal, (b) signal processing module output signal(UHF Sensor module) (c) pre-amplifier output signal(DAQ)

그림 6 부분방전신호에 대한 신호처리모듈의 출력결과
Fig. 6 The output result of signal processing moduel about the partial discharge signal

또한, 각 시료의 부분방전개시전압에서의 초기부분방전으로부터 10kV까지의 가압조건에 대한 가압실험결과 노이즈 제거회로구성에 대한 침상결함 및 보이드결함에서의 부분방전초기전압인 5kV에서의 나타난 부분방전신호에 대한 데이터취득결과는 그림 7과 8에 나타나 있다.

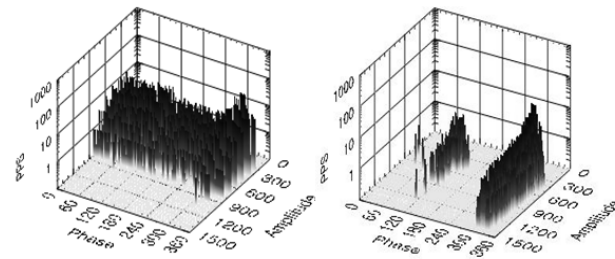


(a) 침상결함의 검출 패턴 (b) 보이드결함의 검출 패턴

그림 7 침상결함 및 보이드결함에 대한 부분방전검출 패턴 결과 (노이즈 제거 후, 5kV)

Fig. 7 The pattern result of the partial discharge detection about the defect in the deposition and the void defect (applied voltage 5kV, after Noise elimination)

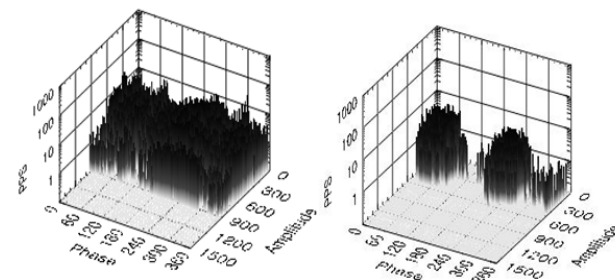
그림 8과 9는 인가전압을 9.7kV로 승압한 조건에서 노이즈제거회로 구성 전 데이터취득결과와 노이즈제거회로 구성 후 데이터취득결과에 대한 비교데이터를 나타내고 있다.



(a) 침상결함 노이즈 제거 전 (b) 침상결함 노이즈 제거 후

그림 8 침상결함에 대한 노이즈 제거 전과 후의 부분방전검출 패턴결과 (9.7kV)

Fig. 8 The pattern result of the partial discharge detection about the defect in the deposition(applied voltage 9.7kV, before Noise elimination and after Noise elimination)



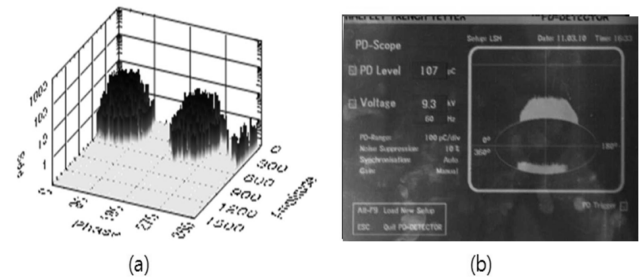
(a) 보이드결함 노이즈 제거 전 (b) 보이드결함 노이즈 제거 후

그림 9 보이드결함에 대한 노이즈 제거 전과 후의 부분방전 검출 패턴결과 (9.3kV)

Fig. 9 The pattern result of the partial discharge detection about the defect in the void defect (applied voltage 9.3kV, before Noise elimination and after Noise elimination)

그림 8(a)와 9(a)의 결과를 살펴보면 노이즈 제거 회로가 포함되지 않은 측정에서는 불필요한 노이즈가 모든 위상에 산재하여 나타나는 형태를 보여 주고 있으면, 이러한 결과는 실제 부분방전신호가 아닌 노이즈가 증폭되어 GIS의 건전성 판단을 어렵게 하는 요소로 작용할 수 있다.

그림 8(b)와 9(b)는 동일한 실험조건으로 노이즈 제거 회로가 포함된 측정 결과를 표시하고 있으며, 노이즈 제거 전의 결과와 달리 일정한 위상 부분에 군집하여 발생한 부분방전신호를 확인할 수 있었다. 따라서, 부분방전신호의 관측자로 하여금 노이즈 제거 회로가 포함된 경우 GIS의 건전성 판단에 도움을 줄 수 있는 결과를 제공할 수 있다.



(a) the analyzed Φ -q-n screen about the result of raw data acquisition, (b) the result for IEC60270 measurement

그림 10 보이드 결함에 부분방전시험결과와 IEC60270 결과와의 비교 결과

Fig. 10 The result comparison between the IEC60270 result and the pattern result of the partial discharge detection about the void defect

그림 10은 노이즈 제거 회로가 내장된 상태의 인가전압이 9.3kV인 조건에서 보이드 방전시료에 대한 데이터취득결과와 TE571장치에서 IEC60270법에 의하여 측정된 결과를 나타내고 있으며, 노이즈 제거 회로가 포함된 결과와 다른 방식으로 부분방전신호를 검출한 결과를 비교함으로써 적용된 노이즈 제거 회로의 적합성을 판단하기 위한 것이다. 결과를 보면 노이즈 제거 회로가 포함되지 않은 결과인 그림 9(a)에서 전 위상에서 신호가 검출된 모양을 보이는 반면, 노이즈 제거를 한 결과인 그림 9(b)는 일정 위상에서 부분방전신호의 군집성을 볼 수 있으며, 그림 10(b)의 IEC60270 결과와 유사한 위상부분에서 군집된 신호가 발생된 것을 확인할 수 있다. 이는 노이즈 제거 회로의 적용이 적절하였음을 보여 주고 있다.

3. 결 론

방전개시전압에서의 UHF안테나로 검출된 부분방전 미소신호에 대하여 UHF센서내부의 신호처리회로의 증폭 및 pulse shaping기능에 대한 결과를 확인할 수 있었다. 또한 그림 10의 결과에 나타난 것과 같이 UHF 센서모듈로부터 데이터취득 장치로 취득된 raw데이터와 IEC60270법에 의하여 측정된 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통하여, 기존에 적용되어지고 있는 부분방전 검출용

UHF 센서에 대하여 본 연구의 결과물은 외부노이즈신호가 발생하는 조건에서의 신호처리능력을 향상시킬 수 있는 좋은 대안이라 할 수 있겠다. 더불어 이러한 내장형 신호처리 모듈 및 시스템구성은 누설전류를 측정하기 위한 HFCT (High frequency current transducer)센서 및 회전기기에 적용되는 EMC(Electro Magnetic Compatibility)센서 및 SSC (Stator Slot Couple)센서에서도 내부 신호 처리주파수 및 센서인터페이스의 변경을 통하여 다양한 부분방전검출센서로 간편하게 적용이 가능하다. 또한, 전력기기 및 전력설비의 건전성을 제고할 수 있는 진단시스템의 신뢰성을 향상시키는 효과적인 방법으로 큰 기여를 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 윤대회, 도영희, 송현직, 최상태, 윤병환, 이광식, “결합 종류에 따른 SF6의 부분방전 특성연구”, 한국조명·전기설비학회 2006 추계학술대회논문집, pp. 267-269, 2006.

[2] 윤진열, “가스절연개폐장치(GIS)의 예방 진단 기술”, 대한전기학회 전기의 세계 제52권 제12호, pp. 28-34, 2003.

[3] 이근, 이동준, 이재걸, 류성식, 신동석, 곽희로, “GIS내 파티클 상태에 따른 방전패턴 및 초음파 신호 특성 연구”, 한국조명·전기설비학회 1999년도추계학술대회논문집, pp. 299-301, 1999.

[4] 김홍석, 오재훈, 홍정기, “주파수 분석을 이용한 GIS 부분방전 진단 시스템 개발”, 대한전기학회 제37회 하계학술대회 논문집, pp. 39-40, 2006.

[5] 김정태, 김지홍, 구자윤, “부분방전 측정에서 센서 및 펄스 분석 알고리즘에 따른 노이즈 제거 연구” 전기학회논문지 제55C권 제4호, pp. 183-188, 2006.

[6] 김광화, 이상화, 선종호, 강동식, “GIS에서 주파수 특성을 갖는 이중 대역법에 의한 UHF부분방전 측정기술”, 전기학회논문지, 제55C권 제3호, pp. 127-133, 2006.

[7] 이지철, 구자윤, 장용무, 최재욱, 연만승, “GIS 감시진단용 다양한 센서를 적용한 PD검출 및 패턴분석 결과 비교연구”, 전기학회논문지 제54C권 제5호, pp. 198-205, 2005.

[8] 강원중, 이창준, 강윤식, 이희철, 박종화, “초고압 전력기기 진단을 위한 UHF PD 센서 및 패턴분석 기술에 관한 연구”, 전기학회논문지 제53C권 제2호, pp. 83-90, 2004.

[9] 최재욱, 김영노, 황철민, 이영상, 박기준, 구선근, 윤진열, 구자윤, “가스절연개폐장치 고장예방을 위한 UHF 부분방전 상시 감시 시스템”, 대한전기학회 제36회 하계학술대회 논문집 C, pp. 2066-2068, 2005.

[10] M. Hikita et.al., “Discrimination of Partial Discharge Electromagnetic Signal in SF6 Gas from External Noise using Phase Gate Control Method”, Conference Record of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 117-120, 1996.

[11] 이상화, 윤영우, 추영배, 강동식, “전력기기의 운전중 부분방전 진단장치에서 복합 잡음제거 적용을 위한 잡음평가 알고리즘”, Journal of the Korea Institute and Electrical Installation Engineers Vol. 23, No.2, pp. 70-76, 2009.

저 자 소 개



이 승 민 (李 承 珉)

2000년 충남대학교 전기공학과 졸업(학사). 2002년 동 대학원 전기공학과 전력 및 자동화전공(석사). 2007년 동 대학원 충남대학교 전기공학과 전력 및 자동화전공(박사). 2007~2009년 한국원자력연구원 연구원. 2009년~ 현재 충남대학교 사범대학 전기전자통신공학교육과 초빙교수
 Tel : 042-821-8578
 Fax : 042-821-8886
 E-mail : zbus@cnu.ac.kr