

DC 정류기 부분방전 신호검출을 위한 SHF 센서의 성능평가

Performance Evaluation of SHF Sensor for Partial Discharge Signal Detection on DC Rectifier

정 호 성* · 박 영† · 나 희 승** · 장 순 호***
(Ho-Sung Jung · Young Park · Hee-Seung Na · Soon-ho Jang)

Abstract - Online monitoring system is becoming an essential element of railway traction system for utilized to condition based malignance management and various techniques currently employed in railway traction system. Among the various techniques, it is efficient to detect partial discharge signals by electromagnetic wave detection in order to detect insulation fault of rectifier. Although VHF (Very High Frequency), UHF (Ultra High Frequency) sensors were adopted to detect partial discharge of power facilities, due to characteristics of urban railway, excessive noise occurs from 500 MHz to 1.5 GHz on UHF bandwidth. In this paper a new measurement system able to monitoring the conditions of power facilities on DC substation in metro was studied and set up. The system uses UHF sensors to measure the partial discharge of the rectifier due to electric faulting and dielectric breakdown. Comparison and estimation for performance of SHF sensor which had devised to detect partial discharge signal of urban railway rectifier has conducted. In order to estimate performance of SHF sensor, we have compared the sensor with existing UHF sensor on sensitivity upon frequency bandwidth generated by pulse generator, and also we have verified performance of the SHF sensor by detection results of partial discharge signal from urban railway rectifier.

Key Words : Mold transformer, DC substation, PD, Condition monitoring

1. 서 론

IT (Information Technology) 기술의 발전과 실시간 모니터링 기술의 발전으로 보다 신뢰성 있고 안정적인 철도 전력설비 실시간 상태모니터링 장비가 개발 되고 있다[1]. 국내의 경우 전기사업자의 변전소는 AC 기반으로 DC 기반의 변전시스템은 1.5 kV의 지하철과 소규모 빌딩 설비며 DC 3 kV의 경우 북한 등에서 활용되고 있다. 이중 DC 변전소의 경우 지하구간에 설비를 구축하고 안정적인 차량 전력공급을 위해 시스템이 안정화 되고 있으나 주요설비의 실시간 상태모니터링 설비는 현재 구축되어지지 않고 있다[2]. 특히 변전소 무인화 등 자동화에 따라 설비의 안전유무를 실시간으로 판단하여 상태를 예측하는 IT 기반의 시스템이 필요하다[3].

도시철도 변전설비의 상태모니터링을 통한 진단은 몰드변압기의 부분방전을 실시간으로 진단하여 현재의 상태를 예측하고 진단하는 시스템은 도입된 바 있으나 차단기와 정류기 등 DC 변전소에 적합한 실시간 상태 모니터링 장치는 보고된 바 없다[2]. 몰드 변압기의 경우 인입부에 부분방전 특성검출을 위해 별도의 센서를 부착하여 이를 측정하는 것

으로 기존의 AC 변전소의 변압기 상태모니터링 방법과 유사하다. 그러나 차단기와 정류기의 경우 특성상 접촉식 센서 부착이 어려우므로 새로운 센서개발과 상태모니터링 기술이 개발되어야 한다[4]. 일반적으로 부분방전 이상검출장치는 각 전력설비에서 발생하는 부분방전 발생으로부터 수반되는 신호를 검출, 분석하여 전력설비 절연상태의 이상을 판정하는 장치이다[5]. 특히 도시철도 전력설비는 교류를 수전하여 직류로 공급하므로 차단기 및 정류기와 같은 설비가 있고 도시 중심부에 위치하며 무인운전이 대부분이다. 소수의 운전원이 다수의 설비를 관리하고 용량이 적은 전력설비가 운전되고 있는 것을 고려한다면 저가의 센서를 활용하여 특징적 부분방전 신호를 추출하고, 기존 CT (Current Transformer), PT (Potential Transformer) 및 온도센서를 고려하여 신호를 측정하여 분석하는 시스템이 적합할 것으로 고려된다. 측정된 데이터는 본사에서 위치한 서버에 데이터가 저장되고 유지·보수하는 운전원 들이 필요한 시기에 적합한 조치를 취하여 사고를 방지하고 적합한 유지보수가 이루어지기 위하여 다양한 분석이 가능한 알고리즘을 내장하여야 한다. 일반적으로 전력설비의 부분방전신호를 검출하기 위해서 VHF (Very High Frequency), UHF (Ultra High Frequency) 대역의 부분방전용 센서가 적용되고 있으나, 국내의 도시철도 특성상 500 MHz ~ 1.5 GHz 의 UHF 대역 사이에서 많은 노이즈들이 존재하고 있어, 노이즈와 부분방전신호의 구별이 매우 어렵다[6].

따라서 본 논문에서는 도시철도 정류기의 부분방전신호를 검출하기 위해 개발된 SHF (Super High Frequency)대역의 전자파 센서의 성능을 비교, 평가하였다. SHF 센서의 성능

* 정 회 원 : 한국철도기술연구원 선임연구원
† 교신저자, 정회원 : 한국철도기술연구원 선임연구원,
E-mail : ypark@krii.re.kr
** 정 회 원 : 한국철도기술연구원 책임연구원
*** 정 회 원 : (주)제나드시스템 연구소 부장
접수일자 : 2012년 4월 30일
최종완료 : 2012년 6월 20일

을 평가하기 위해 기존의 UHF 대역 센서와의 펄스발생기를 통한 주파수 대역에 대한 감도를 비교하였으며, DC 기반의 철도시스템에서 운영 중인 정류기의 부분방전신호 검출 결과를 통해 개발된 SHF 대역 전자파 센서의 성능을 검증하였다.

2. 차단기 및 정류기 부분방전 이상검출장치 구성

그림 1에 차단기 및 정류기 온라인 감시를 위한 현장시험 구성도를 나타내었다. 시스템은 이상검출장치와 데이터 취득 장치의 두 가지 종류로 구성된다. 이상검출장치는 각 전력설비에 접촉식 또는 비접촉식으로 센서를 설치하여 대상 전력설비의 상태 값을 측정하고, 센서로부터 검출된 신호를 변환, 분석한다. 센서는 각각 도시철도 전력설비 상태 이상검출장치 센서와 부분방전 이상검출장치 센서로 분류된다. 전력설비 상태 이상검출장치는 전력설비의 전압, 전류, 온도의 기본 상태를 측정하여 전력설비의 이상 유무를 검출하는 장치이고, 부분방전 이상검출장치는 각 전력설비에서 발생하는 부분방전 발생으로부터 수반되는 신호를 검출, 분석하여 전력설비 절연상태의 이상을 판정하는 장치이며 통합시스템의 구성 세부 방안을 보고한바 있다[4].

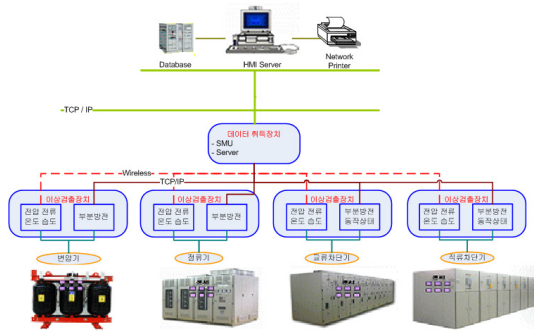


그림 1 도시철도 전력설비 온라인 수명예측 시스템 구성도
Fig. 1 Configuration of life prediction by online in urban railway power facility

본 논문에서 제안한 차단기 및 정류기 부분방전 이상검출 장치는 SHF 대역의 부분방전 센서 및 19인치 Rack Type의 Local Unit를 설치하여 부분방전 신호를 취득하며, 감시, 분석, 진단, 경보하는 시스템으로서 SHF Sensor Unit, Local Unit, 데이터 취득 및 Server Unit, Remote Unit, Monitoring & Diagnostic Software로 구성된 시스템이다. SHF Sensor는 500 MHz ~ 2.5 GHz 주파수 범위를 갖고 있으며 차단기 및 정류기 내부에 설치하는 Super High Frequency 대역의 전자파 센서로 부분방전 시 발생하는 초광대역 미소신호를 검출하는 기능을 하며, IEC60270 표준에 의해 결보기 부분방전 5 pC을 검출할 수 있는 감도를 가지고 있다[7].

Local Unit은 센서로부터 측정된 부분방전 신호를 정량화하는 장치로서 저잡음 앰프 (LNA : Low Noise Amplifier), 밴드패스 필터 (BPF : Bend Pass Filter), 신호처리 장치 및 통신모듈로 구성되어 있다. 경제성 및 설치의 용이성을 고려하여 19인치 Rack type 설치가 가능하며 상위단으로 데이터

를 전송하는 역할도 가지고 있다. 데이터 취득 및 Server Unit은 센서 및 Local unit에서 제공되는 신호로부터 부분방전의 종류 및 크기와 노이즈를 유형별로 분석하여 진단하는 알고리즘이 적용되어 있는 프로그램과 Local Unit의 각종 설정치를 원격에서 제어하고 각종 시스템 이상 등을 감시하고 (Watch dog 기능) 복구하는 기능을 가지고 있다. Remote Unit은 전용 인트라넷을 이용하여 원격에서 감시 시스템에 접근하여 데이터를 볼 수 있는 장치이다. 사용자 권한에 따라 접근할 수 있는 영역이 정해져 있으며 부분방전 여부, 결합 종류 등 다양한 데이터 볼 수 있다. Monitoring & Diagnostic Software는 Main Unit에 설치되어 있는 'Main Server S/W'와 Remote Unit에 설치되어 있는 'Remote Clint S/W'로 구성되어 있다. Main S/W는 Local Unit로부터 전송되는 부분방전 신호를 모니터링, 경보, 분석, 저장 기능을 가지고 있으며, Remote S/W는 Main S/W로 인트라넷을 통해 접근하여 분석 및 저장 데이터를 볼 수 있는 기능을 가지고 있다.

표 1 도시철도 차단기 및 정류기 부분방전(PD : Partial Discharge) 이상검출 장치 기능
Table 1 Function device of breakers and rectifiers PD detection used urban railway

항 목	구 성	주요 기능
Sensor Unit	SHF Sensor	PD Signal Detect
	Sensor Cable	PD Signal 전송
Local Unit	Channel Card	PD 신호 정량화
	Local Com. Unit	Server 와의 통신
데이터 취득 및 Serve Unit	Main Server	데이터 저장용 대용량 컴퓨터
	Main Com. Unit	Local Unit와의 통신
Remote Unit	Remote PC	원격 감시
Monitoring & Diagnostic S/w	Main Server S/W	원격 PD신호 감시 및 분석

2.1 차단기 및 정류기 부분방전 검출기 구성

그림 2에 차단기 및 정류기 부분방전 센서부의 주요 사양을 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 RF (Radio Frequency) Part는 SHF 대역의 신호가 입력 시 RF Part에서 낮은 주파수 대역 (20 MHz ~ 30 MHz)으로 변환된다. Peak Detector는 RF Part에서 변환된 신호는 Peak Detector 회로를 거치면서 설정 값(Threshold) 이상의 Peak 신호만 검출하여 ADC (Analog to Digital Converter) Part로 전달하는 것으로 검출 원리를 그림 3에 나타내었다[8]. ADC는 16 bit의 정밀도를 가지고 있으며 최대 10 V 출력이며 DSP (Digital Signal Processor)는 200 MHz 이상의 주파수 대역을 고려하도록 설계하였다. 데이터 통합화 장치는 각 이상검

출장차 및 정류기, 차단기 이상검출장치로부터 취득 되어진 다수의 다양한 신호 데이터를 통합하여 상위 서버로 정보를 전송하는 기능을 수행할 수 있도록 한다.

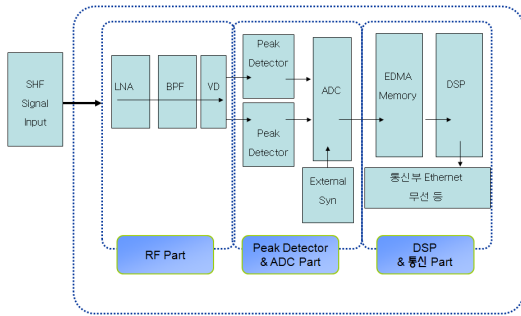


그림 2 차단기 및 정류기 부분방전 센서부의 주요 사양
Fig. 2 Specification of PD sensor used breakers and rectifiers

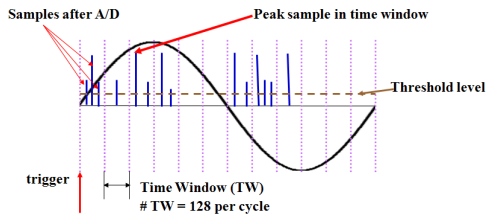


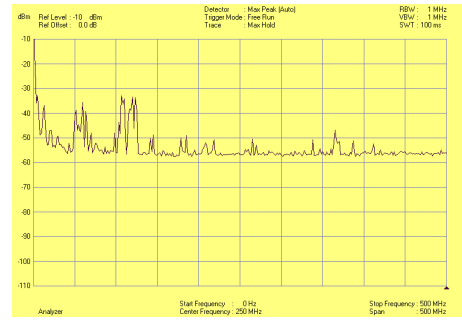
그림 3 SHF센서의 부분방전 Peak Detector 원리
Fig. 3 Principle of PD peak detector of SHF sensor

도시철도 변전소는 대부분 지하 공간에 변압기, 차단기, 정류기 등의 전력설비가 밀집하여 설치되어 있으며, 차량 운행에 따라 설비의 운전 상태가 급변하는 특성이 가지고 있다. 이로 인해 정류기의 부분방전 신호 계측을 위한 외부 환경 노이즈에 대한 검토가 필요하다. 그림 4는 정류기 주변의 노이즈 환경을 분석하기 위한 측정결과로 그림 4(a)는 정류기 외부의 노이즈 측정결과이며, 그림 4(b)는 정류기 외함에서 측정된 광대역 신호이다[4].

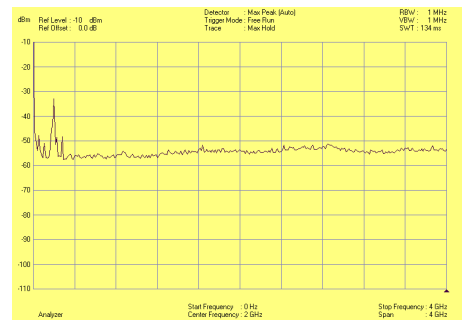
위의 측정결과에서 알 수 있듯이 정류기 부근에서 평상시 발생하는 전자파 노이즈 신호의 대역은 대부분은 500 MHz 이하에서 발생하고, 800 MHz~1 GHz 대역에서도 작은 신호가 가끔씩 측정되었다. 또한 정류기 외함의 광대역 신호 측정 시 1 GHz 이상 대역에서는 거의 노이즈가 발생하지 않았으므로 일반적으로 전자파 검출기법을 사용한 부분방전 측정 시 사용되는 VHF 대역 또는 UHF 대역을 SHF 대역까지 확장하여 광대역 측정을 할 경우 정류기 부분방전신호 검출에 보다 효과적임을 알 수 있다.

2.2 차단기 및 정류기 부분방전 검출기 현장 시험 결과

차단기 및 정류기 부분방전 검출기 현장시험은 서울메트로 관내의 지하철 2호선의 총 4개역사의 15개소 정류기반을 측정하였으며 활선 SHF 부분방전 진단방법을 이용하여 측정하였다. 활선 측정 전에 본 논문에서 제안한 SHF 센서의 정밀도 평가를 위하여 국외에서 도입된 센서와의 비교 시험



(a) 외부 노이즈 (0~500MHz)



(b) 정류기 외함 광대역 신호 (0~4GHz)

그림 4 정류기 설치부근 전자파 신호 측정결과 [4, 9]
Fig. 4 Measurement results of electromagnetic wave signal around rectifier

을 수행하였다. 비교시험은 부분방전 발생 개소에 대한 센서 출력 전압크기와 펄스발생기의 교정을 이용한 센서출력 값을 각각 비교 하였다. 본 논문에서 제안한 SHF 센서는 주파수 대역이 0.5 ~ 2.5 GHz 로 비교대상인 센서는 UHF 대역으로 출력주파수가 0.5 ~ 1.5 GHz 이다. 본 논문에서는 도시철도 변전소의 낮은 전압특성을 감안하여 주파수 대역이 넓은 SHF 대역을 제안하여 도시철도에 적합한 차단기 및 정류기 부분방전 특성을 나타내도록 설계하였으며 본 논문에서 제안한 센서의 사양을 표 2에 나타내었다. 그림 5에

표 2 SHF 센서의 주요사양

Table 2 Specification of SHF sensor

주요사양	SHF Sensor
주파수대역	0.5 ~ 2.5 GHz
외관	
안테나형태	Spiral Type
측정신호	초광대역 전자파 신호
재질	ABS (Acrylonitrile, Butadiene, Styrene)

부분방전 발생 개소에 대한 SHF 센서와 UHF 센서의 출력 전압 크기 비교하여 나타내었다. 현장시험은 지하철 정류기 반 10개소 중 부분방전 신호로 의심되는 1개소에 대해서 두 센서를 동시에 측정하였으며 측정결과 SHF 센서가 전압의 크기로는 약 600%, Peak Power 값인 dBm으로 환산했을 때 약 5배정도 감도가 우수한 것으로 측정되었다. SHF 센서는 310 mV의 피크 전압으로 -2.5 dBm의 Peak Power가 계산되었으나 UHF 센서는 52 mV의 피크 전압으로 Peak Power는 -13 dBm로 계산되었다.

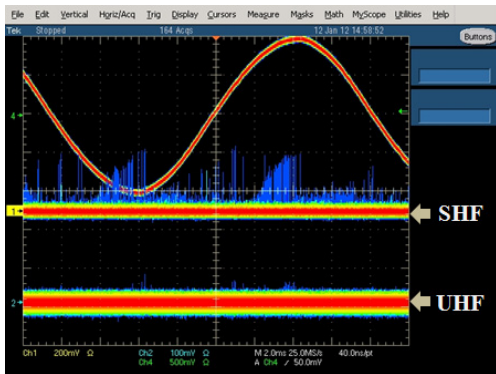


그림 5 SHF센서와 UHF센서의 부분방전 측정 비교파형
Fig. 5 Comparison of SHF and UHF sensor test waveform

2.2.1 펄스발생기를 교정을 통한 센서 출력값 비교

본 논문에서 제안한 SHF 센서와 UHF 센서의 보다 정밀한 비교를 위하여 펄스발생기를 이용한 센서 출력값 비교를 수행하였다. 펄스발생기의 출력값 비교에서는 센서의 부분방전신호와 유사한 5 pC 펄스신호를 주입하여 출력되는 스펙트럼 파형 분석결과 -55 dBm 이상의 유효 주파수 대역은 SHF 센서가 0.5 ~ 3 GHz, UHF 센서는 0.5 ~ 1.5 GHz 까지의 값이 나왔다. KS표준인 전자과 부분방전 측정장치인 KSC3700은 5 pC 이상시 -55 dBm 이상의 출력 값을 가지도록 기준되어 있다.

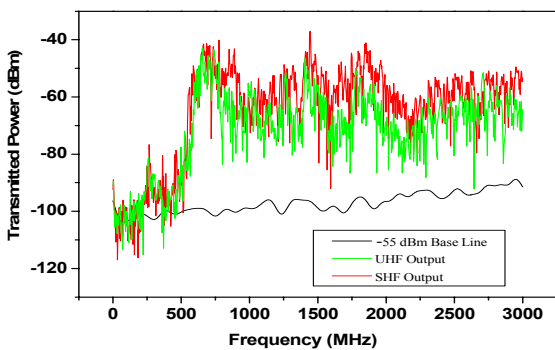
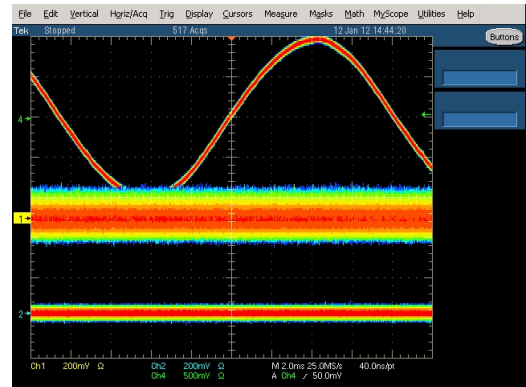
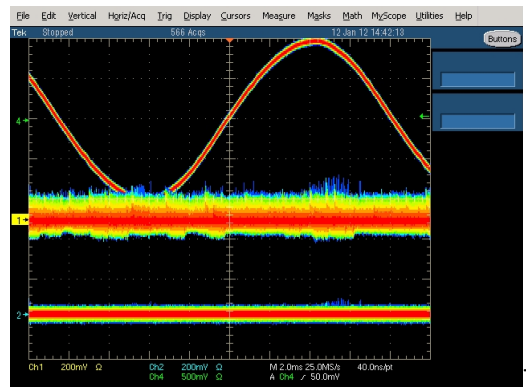


그림 6 SHF센서와 UHF센서의 펄스발생기를 통한 파형비교
Fig. 6 Comparison of SHF and UHF sensor waveform by using pulse generator

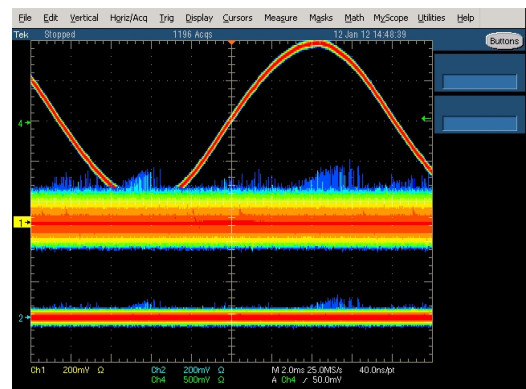
그림 7에는 DC변전소 정류기 1호기, 2호기 및 3호기의 부분방전 특성을 각각 나타내었다. 정류기 3호기의 경우 1호기와 2호기에 비교하여 다소 높은 부분방전이 나타나고 있으며 이러한 경우 실시간 특성평가를 통해 모니터링 할 필요가 있겠다. 또한 본 논문에서 제안한 SHF 대역의 정류기 실시간 진단을 위한 특성검측 장치가 현장에서 바로 적용이 가능함을 알 수 있으며 도시철도 DC 변전소의 활용될 것으로 기대된다.



(a) 정류기 1호



(b) 정류기 2호



(c) 정류기 3호 ※ 정류기 3호기는 부분방전 발생 의심

그림 7 DC 변전소 정류기 부분방전 특성 결과
Fig. 7 Result of rectifiers PD property used DC substation

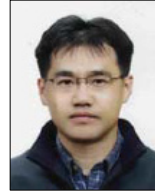
3. 결 론

본 논문에서는 직류 급전시스템에서 교류를 직류로 변환하기 위한 정류기에 대하여 고장을 사전에 검출하기 위한 예방진단 장치에 대한 연구를 수행하였다. 정류기의 절연상태 이상을 검출하기 위해서는 전자파 계측을 통한 부분방전신호를 검출하기 위해 SHF 센서에 대한 개발이 진행되고 있다. 일반적으로 전력설비의 부분방전신호를 검출하기 위해 VHF, UHF 대역의 부분방전용 센서가 적용되고 있으나, 국내의 도시철도 특성상 500 MHz에서 1.5 GHz의 UHF 대역 사이에는 많은 노이즈들이 존재하고 있어 본 논문에서는 도시철도 정류기의 부분방전신호를 검출하기 위한 SHF대역의 전자파 센서와 UHF 센서의 성능을 비교, 평가하였다. SHF 센서와 기존의 UHF 대역 센서에 대한 감도를 비교한 결과 SHF 센서는 500 MHz에서 3 GHz 대역의 부분방전신호를 검출할 수 있었으며, 도시철도에서 운영 중인 정류기의 부분방전신호 검출 결과를 통해 기존의 UHF대역 센서에 비해 5배 정도의 감도가 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 본 논문에서 제안한 SHF 대역의 정류기 실시간 진단을 위한 특성검측 센서는 DC 기반의 1.5 kV의 도시철도 및 복환과 같은 3 kV 기반의 광역 철도 시스템의 건전성과 수명예측 센서로 활용 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김재문, 김양수, "전기철도 전력시설 진단용 원격진단시스템 구축을 위한 네트워크 설계", 대한전기학회지, 58권 4호, pp. 432-436, 2009.
- [2] 박영, 정호성, 박철민, 장순호, "DC 변전소 모드변압기 온라인 상태 감시 시스템 구현", 대한전기학회지, 60권, 9호, pp.1788-1794, 2011
- [3] 김인수, 한동우, 양향준, 김경근, 김홍석, 홍정기, 정상기, "무인 변전소 기술 기반의 차세대 경량전철용 전력감시제어 시스템의 개발", 대한전기학회학술대회논문집, 7호, pp.541-544, 2004.
- [4] 정호성, 박영, 어수영, "도시철도 변전소 전력설비 실시간 모니터링 방안 도출", 한국전기전자재료학회논문지, 23권, 4호, pp.333-337, 2010.
- [5] 강동식, 윤대회, 김용주, 이홍식, 유영호, 박정후, "고압회전기 on-line 부분방전 측정용 Ceramic Coupler 특성", 대한전기학회지, 51C권, 5호, pp. 205-212. 2002.
- [6] 정호성, 박영, 김형철, "도시철도 변전소의 네트워크 기반 실시간 데이터 취득", 대한전기학회지, 59P권 1호, pp.71-76, 2010
- [7] IEC 60270 "High-voltage test techniques - Partial discharge measurements", 200-12
- [8] 이상화, 윤영우, 추영배, 강동식, "운전중 부분방전 진단 시스템을 위한 복합 잡음제거 기법", 대한전기학회지, 58권 2호, pp. 342-348, 2009.
- [9] 한국철도기술연구원, "도시철도 시설물 표준화 연구(전력) 3차년도 보고서", 도시철도 표준화 2단계 연구개발사업, 2011.

저 자 소 개



정 호 성 (鄭 湍 聖)

1971년 10월 4일생.
1998년 성균관대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2002년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 현재 한국철도기술연구원
Tel : 031-460-5116
Fax : 031-460-5459
E-mail : hsjung@krii.re.kr



박 영 (朴 暎)

1973년 11월 3일생.
2000년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 2004년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원
Tel : 031-460-5424
Fax : 031-460-5289
E-mail : ypark@krii.re.kr



나 희 승 (羅 喜 丞)

1966년 2월 4일생.
1992년 KAIST기계공학과 졸업(공학석사)1996년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원 책임연구원
Tel : 031-460-5751
Fax : 031-460-7428
E-mail : hsna@krii.re.kr



장 순 호 (張 淳 皓)

1971년 4월 6일생.
현재 (주)제나드시스템
성균관대학교 정보통신대학원 재학중
Tel : 070-8915-4025
Fax : 031-441-1210
E-mail : soonho@genadsys.co.kr