

도시철도 전력설비 이상검출용 장치 공장시험에 대한 고찰

The study on performance test of a city railroad power facilities detection device

임형길* 유기선* 정호성** 최광범*** 이기승†
Hyeong-Gil Im Ki-Seon Ryu Ho-Sung Jung Kwang-Bum Choi Gi-Seung Lee

ABSTRACT

Because of the environmental matters the importance of the city railroad is as time goes by increasing. The case of obstacle of the power equipment which supplies electric power to city railroad will occur social and economical enormous loss. Thus, I studied on the preventing method in advance which makes it possible for us to maintain facilities efficiently. The main check points of the power facilities are voltage, current, humidity, partial discharge, move current. These points are gathered by sensor and transmitting to data acquisition device. These data are used to check equipment status in real time. In this paper I described in brief test process and results of the detection system.

1. 서 론

현재 전세계적으로 환경문제가 대두되면서 오랜 기간 시민들의 주요 이동수단으로 사용되고 있는 도시철도의 중요성이 갈수록 증가되고 있는 실정이다. 기존 연구되어 개발하고 있는 진단기술은 단순히 기기의 이상여부를 판단하는 기법으로 되어 있으나 이제는 단순히 기기의 이상여부 뿐만 아니라 기기의 예상 수명 및 최적의 유지보수를 위한 신뢰성기반의 예측보수기법에 대한 수요가 높아지고 있다.

이에 도시철도의 주동력원인 전력을 공급하는 전력설비의 장애가 발생할 경우 막대한 사회적·경제적인 손실을 발생시킬 수 있다. 따라서 전력설비의 이상을 사전에 파악하여 장애를 방지하고 효율적인 교체 주기를 도출하기 위한 전력설비의 상태를 감시·진단할 수 있는 시스템의 개발이 필요하게 되어 본 연구 과제를 수행하게 되었다.

이런 신뢰성을 확보하기 위해서 다양한 대상 설비의 자료를 수합하여 정리 및 분석하기 위한 도시철도 전력설비의 대상으로 부분방전, 동작전류를 들 수 있으며 기본사항으로 전압, 전류, 온도, 습도 등이 있다. 이러한 요소들은 설비에 취부된 센서를 통해 이상검출장치에서 수합되어 데이터 취득장치로 보내지며 이렇게 취득된 데이터를 실시간으로 감시하고 분석하여 전력설비의 이상징후 및 기본상태를 확인할 수 있다.

본 논문에서는 도시철도 전력설비 상태감시 시스템에 필요한 구성요소를 소개하고 전력설비의 이상징후 및 상태를 검출하기 위하여 제작된 이상검출장치의 공장시험 과정과 그 결과를 소개하였다.

† 책임저자 : 정회원, 서울메트로 기술연구소 부장
E-mail : lgisung@seoulmetro.co.kr

TEL : (02)6110-5881 FAX : (02)6110-5338

* 정회원, 서울메트로 기술연구소 주임

* 정회원, 서울메트로 기술연구소 차장

** 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원

*** 비회원, (주)태광이엔시 기초연구팀 책임연구원

2. 본 론

2.1 도시철도 전력설비 감시진단 시스템의 구성

시스템의 구성요소를 살펴보면 크게 하드웨어와 소프트웨어로 구분 될 수 있다. 하드웨어는 크게 이상검출장치와 데이터 취득장치의 두 가지 종류로 구성되며 소프트웨어는 SMU(Signal Merging Unit)로부터 수집되는 데이터를 서버를 통하여 DB에 저장되고 저장된 데이터는 HMI 사용자 인터페이스 프로그램을 통하여 사용자에게 제공된다. 이상검출장치는 각 전력설비에 접촉식 또는 비접촉식으로 센서를 설치하여 대상 전력설비의 상태 값을 측정하고 센서로부터 검출된 신호를 변환, 분석하는 하드웨어 장치 부분이며, 본 연구에서 이상검출장치는 센서와 측정 하드웨어 장치를 포함하는 것으로 정의한다.

센서는 각각 도시철도 전력설비 상태 이상검출장치 센서와 부분방전 이상검출 장치 센서로 분류된다. 전력설비 상태 이상검출장치는 전력설비의 전압, 전류, 온도, 습도의 기본상태를 측정하여 전력설비의 이상 유무를 검출하는 장치이고, 부분방전 이상검출장치는 각 전력설비에서 발생하는 부분방전 발생으로부터 수반되는 신호를 검출, 분석하여 전력설비 절연상태의 이상을 판정하는 장치이다. 본 시스템에 적용되는 센서는 모두 기성품을 사용하고 있다. 각 센서의 검증은 국내 전력설비 연구기관의 상태감시 및 예방진단 분야 전문 기관(한국전력연구원, 한국전기연구원 등)과의 자문을 통해 이루어 졌다.

도시철도 전력설비 감시진단 전체 시스템의 구성도와 시스템을 구성하는 종류별 구성장치를 아래에 나타내었다.

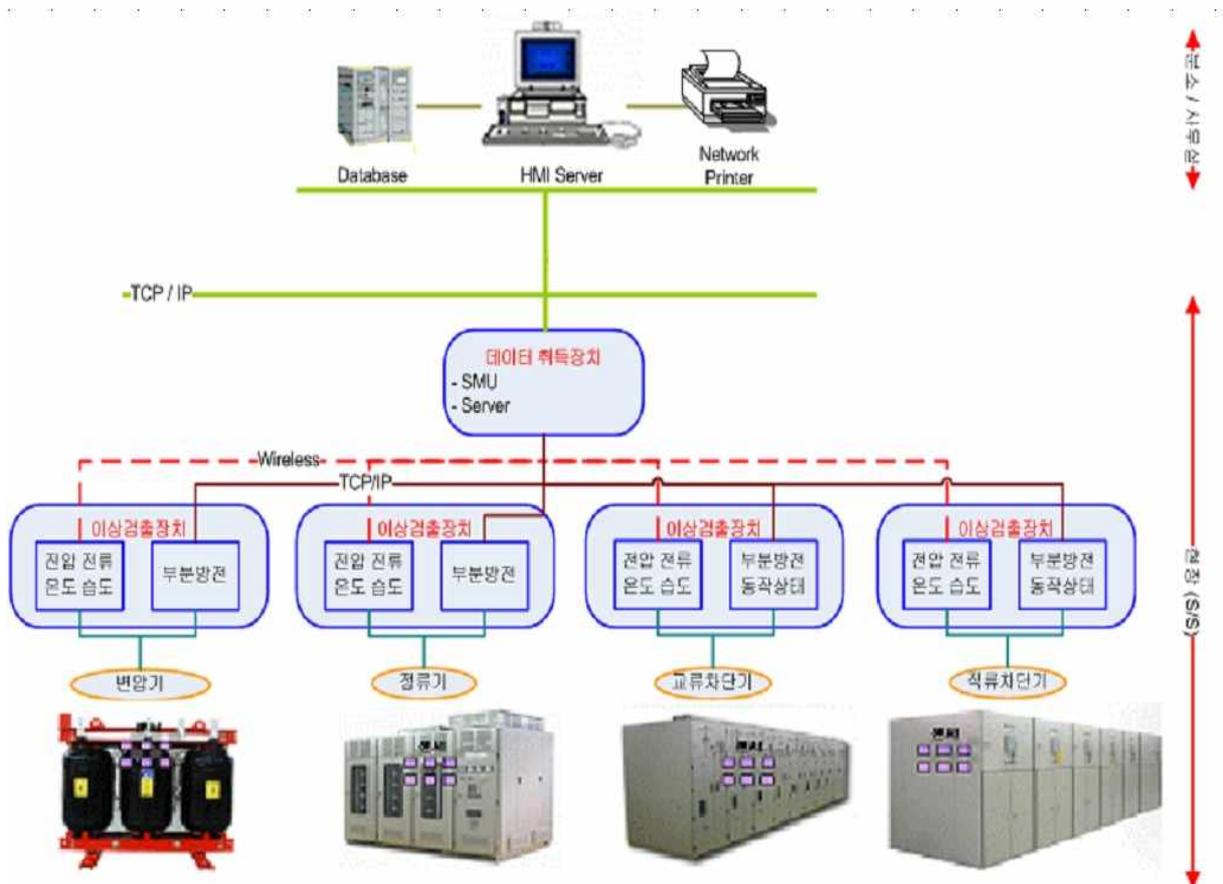


그림 1. 도시철도 전력설비 감시진단 시스템 구성도

도표 1. 도시철도 전력설비 감시진단 시스템 구성장치

장치	목적	센서
전력설비 상태이상검출장치	대상 전력설비의 전압, 전류, 온도, 습도 측정	CT 센서, 적외선 온도 센서, 외기 온도 센서, 습도 센서
변압기 부분방전 이상검출장치	변압기 부분방전 검출	커패시터 센서 (접촉식)
차단기, 정류기 부분방전 이상검출장치	차단기, 정류기 부분방전 검출	전자파 센서 (비접촉식)
차단기 동작전류 이상검출장치	차단기 동작 이상 검출	CT 센서
데이터 취득장치	이상검출장치로부터 데이터 전송, 분석	-

2.2 도시철도 전력설비 감시진단 시스템 이상검출장치 공장시험

2.2.1 전력설비 상태 이상검출장치

전력설비 상태이상검출장치는 몰드변압기, AC 차단기, DC 차단기, 정류기의 전압, 전류, 온도, 습도를 측정하고 측정된 값을 데이터 취득장치로 전송해 주기 위한 장치이다. 장치의 확장성 및 현장 케이블의 최소화를 위해 유비쿼터스 센서네트워크(USN)기법을 도입, USN 무선 네트워크를 통해 데이터 취득 장치(SMU)로 취득한 정보를 전송하며, 백업망으로 유선 TCP/IP 통신을 지원한다.

장치는 대상 전력설비의 전압과 전류를 측정하는 센서 노드1, 온도와 습도를 측정하는 센서 노드 2로 구분되어진다. 센서 노드 1은 전압 측정용 PT 6채널, 전류 측정용 CT 6채널의 총 12채널의 입력을 보유하고 센서 노드 2는 온도 3채널, 습도 3채널, 외기 온도 1채널의 총 7채널의 입력을 보유한다. 데이터 취득 장치(SMU)간의 통신은 현장 기물 배치 및 노이즈로 인하여 USN 통신이 원활하지 못할 경우를 대비하여 유선 TCP/IP 통신의 기능도 구비하도록 설계하였다.

CT 센서와 적외선 온도 센서, 습도 센서, 외기 온도 센서는 모두 기성품을 활용하며, PT 입력의 경우 큐비클의 PT 입력을 직접 받아 사용하며, 대상 설비에 이상을 주지 않기 위해 퓨즈 회로를 내장한다.

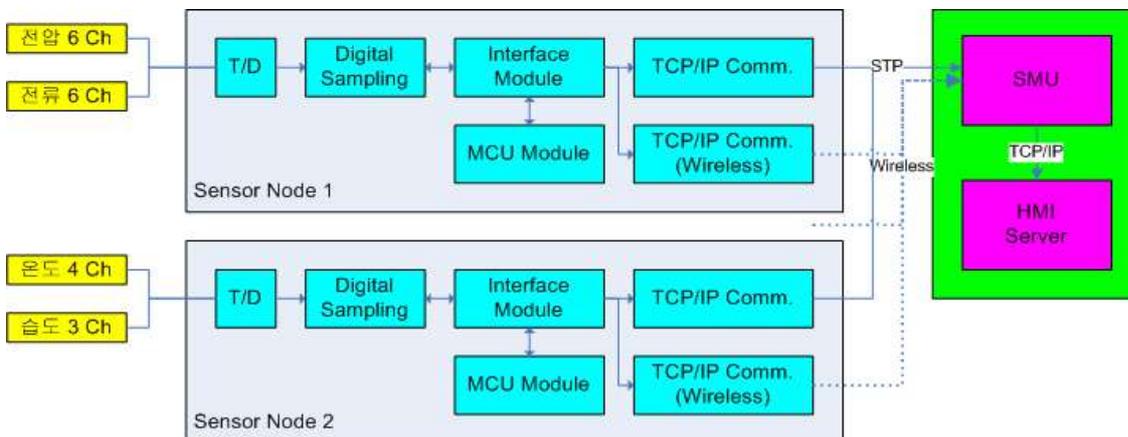


그림 2. 전력설비 상태이상검출장치 블록다이어그램

표 2. 전력설비 상태 이상검출장치 규격

항 목	SPEC.	비고
CPU	8bit MCU Processor	
Wireless	Zigbee Sensor Node. 2.4Ghz, IEEE 802.15.4 compliant.	
Memory	Program Flash Memory 128Kbytes.(mega128 or mega1281)	
EEPROM	Configuration, 4Kbyte.	
Data Process	50Kbps High data rate radio.	
Antenna	SMA 2.4Ghz Antenna.	
Debug Port	Rs232c	
PT Measure	0~210VAC	센서노드 1만 해당
CT Measure	4~20mA or 0~5VDC or 0~1mA	
Temp, Humidity Measure	4~20mA or 0~5VDC or 0~1mA	센서노드 2만 해당
Display	LED Active ,RF ,LAN Status	
Size	19inch Rack 4300mm x 320mm x 89mm	

개발을 완료한 전력설비 상태이상검출 장치의 공장 시험을 수행하였다. 센서입력은 각각 센서 출력값인 0~5V와 4~20mV를 각각 정전압 발생장치와 정전류 발생장치를 사용하여 시험을 수행하였다.

아래 그림 2는 공장 시험 현장을 찍은 사진이며 센서 노드2를 정전압 발생장치를 사용하여 0~5V를 0.2V 단위로 증가시키며 입력, 각 채널별 카운트 수를 측정하였으며 또한 정전류 발생장치를 사용하여 4mA부터 20mA까지 증가시켜 가며 채널별 카운트 값을 측정하였다. 시험결과는 정전압, 정전류 시험 모두 카운트 오차 1%이내의 양호한 결과를 얻을 수 있었다.

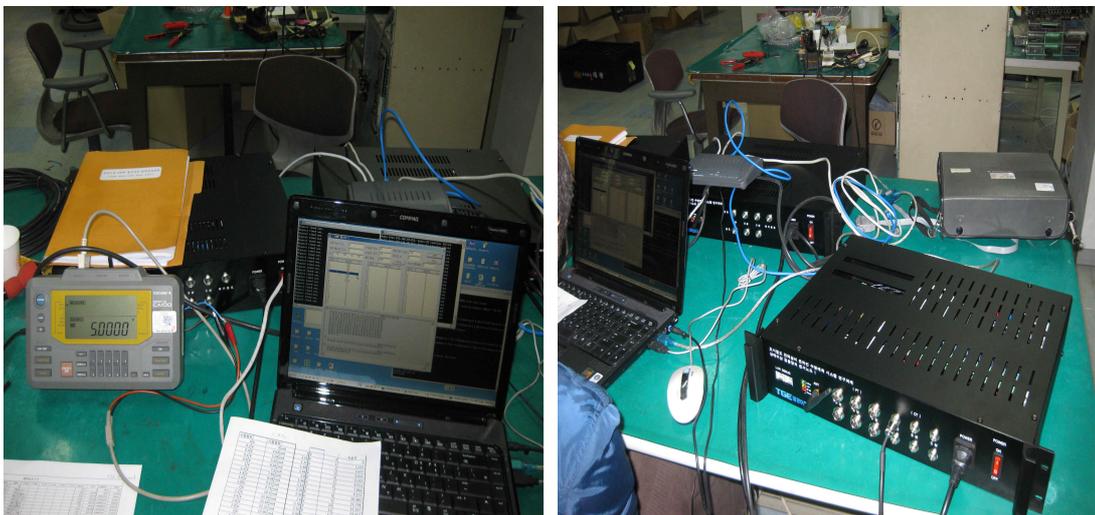


그림 3. 전력설비 상태이상검출 장치 공장 테스트 현장

2.2.1 변압기 부분방전 이상검출장치

변압기 부분방전 이상검출장치는 몰드변압기의 운전 중에 이상을 상시로 감시하여, 이상의 징후가 검출하는 장치이다. 도시철도 전력설비 감시진단 시스템에서는 전력설비의 상태를 진단, 분석하기 위해 대상 전력설비에 대한 on-line 부분방전 측정시스템을 구축하여 전력설비의 절연상태 이상을 진단하는 것을 목표로 하며, 변압기의 경우 전원 인출단에 직접 센서를 부착하는 접촉식 센서를 선정, 2종류(6.6kV급 및 22.9kV급)의 센서를 사용하여 부분방전 이상검출장치를 설계한다.

변압기 부분방전 이상검출장치에서는 On-line 부분방전 측정방법으로 전원 인출단에 직접 센서를 부착하는 접촉식 센서를 선정하였는데, 선정 배경은 다음과 같다. 권선형 기기의 고압측 권선 도체에 capacitive coupler를 부착하여 부분방전을 측정하는 기술은 전통적인 off-line 진단기술로 이미 세계적으로 정착된 기술이다. 반면, 이를 이용하여 운전 중 on-line 부분방전 측정 기술로 개발한 것은 북미이며, 운전 중인 회전의 고정자 권선 도체에 직접 접촉시키는 접촉식 센서로 capacitive coupler인 EMC를 비교적 최근 개발하여 보급 중에 있다. 개발 초기에는 cable type을 사용하였으나, 설치 시 문제점 등을 보완한 EMC가 개발되어 사용 중에 있다.

국내에서는 한국전기연구원에서 기존 EMC 센서를 개량하여 몰드변압기 전용으로 제작한 22.9kV급 센서와 6.6kV급 센서가 있으며, 이 2가지 센서를 사용, 도시철도 전력설비 수명예측 시스템의 변압기 부분방전 이상검출장치를 구성한다. 이 2가지 센서는 모두 안정성과 성능 측면에서 모두 공인인증을 받은 제품이다.

하드웨어 장치는 총 6 Channel로 구성되어 각각의 부분방전 센서로부터 신호 입력을 받을 수 있으며, 신호 입력 단을 통해 진단할 Channel을 선택하고, 각 상에 설치된 센서에서 검출된 부분 방전 신호는 Amp 단과, Filter 단을 거쳐 부분 방전신호의 크기를 변환하고 부분 방전 신호에 포함된 잡음을 제거한다. Divider 단에서는 Negative 신호와 Positive 신호로 분리한다. 이렇게 분리된 부분 방전 신호는 고속의 Peak Detector & Hold 회로에서 4.63uS 동안 Holding하여, 고속 A/D 컨버터를 통해 Digital Data로 변환하여 저장한다. 저장된 Data는 무선 또는 유선 TCP/IP를 사용, 전송하여 분석 및 진단을 수행하며 Database화 한다.

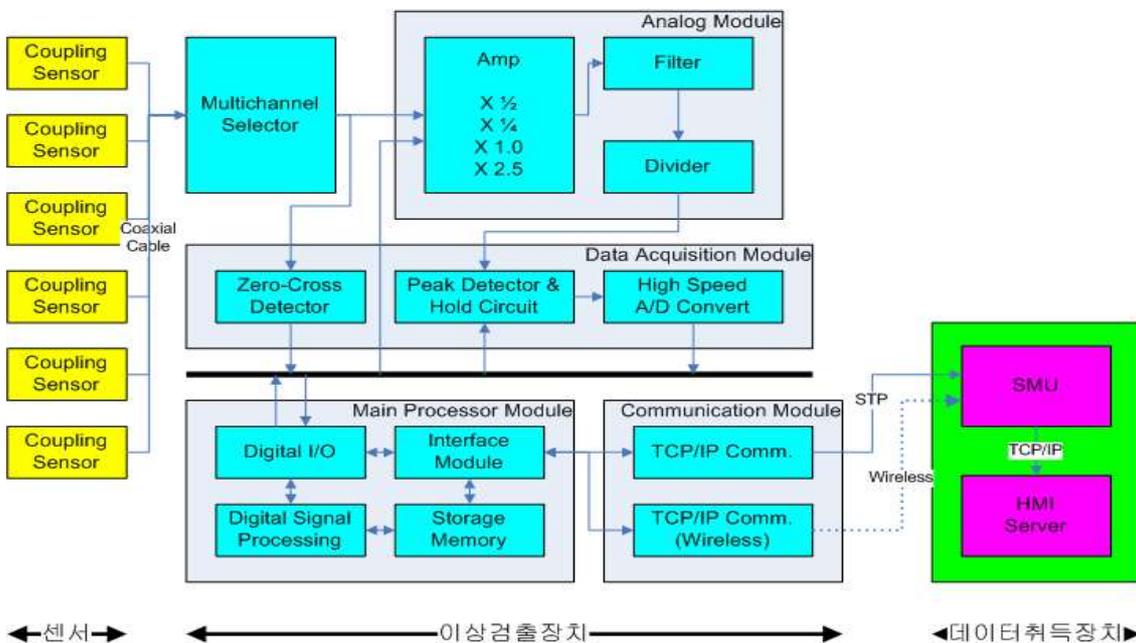


그림 4. 변압기 부분방전 이상검출장치 Block Diagram

표 3. 변압기 부분방전 이상검출장치 규격

항 목	SPEC.	비고
입력	6 Channel	Coupling 센서
입력 임피던스	50Ω	
CPU	TMS320VC33-150	Floating point DSP
통신 Interface	Ethernet(TCP/IP)	무선, 유선 병용
Filter Band	3 MHz~100 MHz	
Zero-Cross	입력 전원 60 Hz	신호 영점 검출
ADC	8bit ADC, 420ns Conversion Time	
Sampling	3600point/60Hz	
Memory	512K 8 Bit Flash ROM 512K 32 Bit High Speed Static RAM	
입력전원	AC 220V, 60 Hz	
외부	경보 Display LED 전원 통신 상태 표시 LED	

변압기 부분방전 이상검출장치의 공장 시험은 기존 프로트 타입의 장치 그림 5를 사용하여 수행되었다. 시험은 커플링 센서 입력측에 펄스 발생기를 이용하였으며 기기에 모의 부분방전 신호를 입력하여 센서로 부터의 신호를 각각 스펙트럼 분석기, 오실로스코프, 분석 HMI를 사용하여 측정하였다. 모의 신호 주입을 위한 펄스발생기는 그림 6에 보듯이 LDIT사의 LDC-5 Calibrator를 사용하였으며 LDC-5는 5pC, 20pC, 100pC, 500pC의 출력값을 가지고 있고 본 시험에서는 20pC의 출력값을 사용하였다.

특히 그림 7과 그림 8는 펄스 발생기를 사용하여 발생시킨 신호는 센서를 통하여 검출하고 스펙트럼 분석기와 오실로스코프를 통하여 표시된 파형이다. 센서 출력 시험결과 이상없이 신호를 검출하였으며 상위데이터 전송테스트 결과 또한 정상적으로 동작하는 것으로 나타났다.

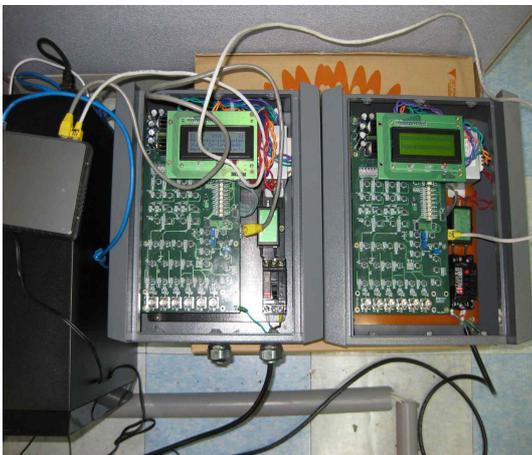


그림 5. 공장 시험 사진



그림 6. LDC-5 Calibrator

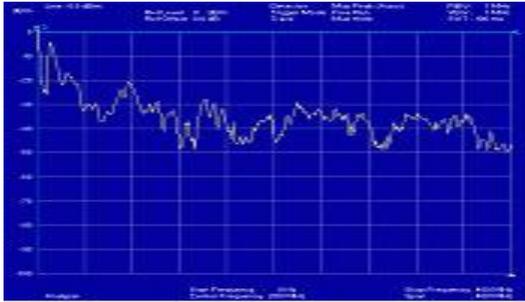


그림 7. 스펙트럼 분석기 화면

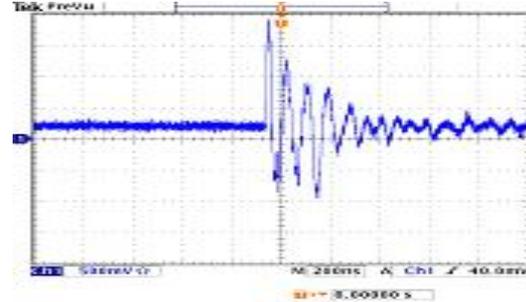


그림 8. 오실로스코프 화면

3. 결 론

도시철도 전력설비 감시진단 시스템 구성에 필요한 구성장치별 종류와 그 구성도에서 보듯이 전력설비에 설치된 센서의 신호를 검출하여 데이터 취득장치로 보내는 이상검출장치의 개발품에 대한 시험결과는 정상인 것으로 나왔으며, 추후 공인인증시험 및 현장시험을 시행하여 장치에 대한 문제점 및 미비점을 보완하도록 할 것이다.

본 시스템이 효과적으로 개발되어 도입될 경우 도시철도 운영기관 뿐 만 아니라 도시철도 전력설비에 준하는 대용량 수전설비를 가지고 있는 공장, 빌딩, 아파트 단지 등에도 확대 적용하여 전력계통의 안정성과 신뢰성이 확대되고 유지보수 비용절감에도 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant(07 Urban Transit Standardization A01) from "the 2nd phase of R&D on the urban transit standardization" funded by Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government.

참고문헌

1. 한국전기연구원, (주)태광이엔시(2006), “몰드 변압기 온라인 이상검출장치 개발” 산업자원부 전력사업연구 개발사업 최종보고서
2. 이동준 외(2006), “전철전력기기 진단기법” 구매조건부신제품개발사업, 최종보고서
3. 한국철도기술연구원 외(2009), “도시철도 전력설비 온라인 수명예측 시스템(종합시스템)” 도시철도표준화2단계사업, 3차년도 중간보고서
4. 한국전력공사 전력연구원(2001), “765kV 변전기기 예방진단 시스템 개발”
5. 한국소방안전 협회(1997), “몰드변압기의 방재 및 진단용 Monitoring System 개발에 관한 연구”