

도시철도 전력설비 감시진단 시스템 요구사항 분석 및 시스템 구성

박현수, 최광범, 어수영, 정호성*, 박영*, 유기선*, 임형길**, 고성범***
 (*주)태광이엔시, 한국철도기술연구원, 서울메트로**, 한비세트론***

The Analysis of User Demands and Design of Monitoring and Diagnosis System for Electrical Equipments of Metropolitan Rapid Transit

Hyun Soo Park, Kwang Bum Choi, Soo-Young Ah, Ho-sung Jung, Young Park, Ki-sun Ryu, Hyeong-Gil Im*, Sung Eun Ko**
 TGE, KRRI*, Seoulmetro**, Hanbee Setron***

Abstract - 수십년 간 주요 운송 수단의 한가지로 사용되고 있는 도시철도는, 사고 발생 시 큰 경제적 손실과 사회적 손실을 야기할 수 있으나, 사고의 주 원인 중 한가지인 도시철도 전력설비 고장에 대한 감시 및 진단 시스템은 적용되고 있지 않은 실정이다.

최근 이러한 전력설비 상태 감시 및 진단에 대한 필요성이 점차 커지게 되어, 도시철도 전력설비 수명예측 시스템 설계에 관한 연구 과제가 제안되어 현재 국토해양부와 건설기술평가원, 그리고 한국철도기술연구원의 주도 하에 수행되고 있다.

본문에서는 수명예측 시스템 설계에 필요한 도시철도 전력 시스템의 특성과 고장 사례를 조사하였으며, 각 도시철도 운영기관의 사용자 요구사항 설문 결과, 그리고 수명예측 시스템의 일부인 전력설비 감시진단 시스템 기초 설계 결과를 나타내었다.

Supervisory Control and Data Acquisition)으로 제어, 감시할 수 있도록 되어있다. 도시철도의 전력공급 체계는 3~4개 역당 1개소의 변전소와 1역당 1개소의 전기설비로 구성되어있다.

변전소는 한국전력으로부터 교류 22.9KV 전력을 공급하여 전동차에 직류 1500V를 공급하고, 교류 6.6KV를 각 역사 전기설비에 공급하여 일반전력에 사용하고 있으며, 각 역사의 전기설비에서는 6.6KV 전력을 교류 380V 및 220V로 변성하여 조명, 냉·난방, 환기설비 등 각종 일반부하 및 동력설비에 사용하고 있다. 또한 각 변전소와 변전소간에는 22.9KV 연락송전선로를 각 전기설과 전기설 간에는 연락고압배전선로를 설치하여 상호교환 급전이 가능한 네트워크 구성 망을 형성하고 있다.

1. 서 론

도시철도는 수십년간 사람들의 중요한 운송수단으로 사용되어지고 있으며 이 도시철도의 운행에 필요한 동력으로 대부분 전기를 사용하고 있다. 그러나 때때로 도시철도의 동력을 제공하는 전기설비 사고가 발생하여, 사회적으로 그리고 경제적으로 큰 손실이 발생하고 있다. 또한 최초로 설치된 도시철도 전력설비는 수명연한이 되어가고 있어 언제 불시에 사고가 발생할지 모르는 실정이다. 따라서 전력설비 사고를 미연에 방지하고 최적의 교체시기를 제공하기 위하여 전력설비의 상태를 감시·진단하는 기술과 시스템의 적용이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 도시철도 설비에 관한 특성을 조사하여 도시철도 전력설비 감시진단을 위한 특성을 분석하고, 각 도시철도 운영기관으로부터 설문 및 방문 조사의 방법으로 도움을 받아 설계한 도시철도 전력설비 상태감시 시스템의 초안을 소개하고자 한다. 이 상태감시 시스템을 기초하여 성공적인 도시철도 상태진단 및 수명예측 시스템이 구축될 경우, 이를 바탕으로 수명연한이 되어가는 도시철도 전력설비의 효율적인 운전에 기여하며 사고를 미연에 방지하여 피해를 줄일 수 있는데 기여할 것으로 예상된다.

2. 본 론

2.1 도시철도 전력설비 개요 및 사고 통계

도시철도의 전력설비는 운영하는 주체나 설치시기에 따라 다소 차이는 있지만 일반적으로 다음과 같은 구조를 갖는다.

변전소는 3Km~3.5Km 간격으로 배치되어 있으며, 전기사업자로부터 22.9KV를 수전하여 전동차 및 역사에 전기를 공급하는 설비로 원활한 이용과 신속, 정확한 제어 및 전기간의 변전소, 각 역사 전기설비를 전력사실실에서 원격감시제어와 자료취득시스템 (SCADA :

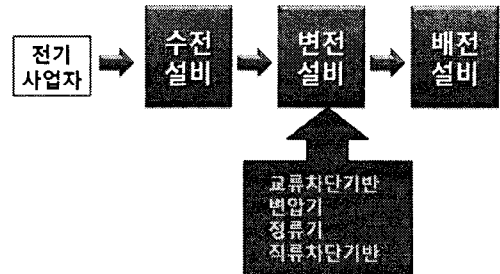


그림 1. 도시철도 전력설비 개념도

그림 1에서 보는 것처럼 전기사업자로부터 수전된 전기를 안정적으로 공급하는 것이 무엇보다 필요하다. 특히 이중 변전설비는 크게 4가지 요소로 구별되어지는데 교류차단기, 변압기, 정류기 그리고 직류차단기반으로 구성되어진다.

도시철도 전력설비는 한국전력 등 다른 전기사업자의 전력설비와의 차이점은 다음과 같다. 첫째, 전력설비의 운영전압과 용량이 작다. 한국전력의 변전소가 765kV, 365kV, 154kV로 주로 구성되어 있는 반면, 도시철도 전력설비 변전소는 대부분이 22.9kV의 전압으로 되어 있다. 둘째, 전기사업자는 전력공급을 대부분 교류를 사용하지만 도시철도 전력설비는 교류를 수전하여 대부분 직류로 공급하고 있다. 따라서 전기사업자가 가지고 있지 않는 변류기, 직류차단기 등의 설비가 존재하며 또한 사고 시 파급효과가 크다. 셋째 한국전력의 변전소는 대부분 옥외 및 사람이 드문 산간지역에 위치하지만 도시철도 전력설비는 대부분 도심 한가운데 지하공간에 존재하는 경우가 많다.

도시철도 전력설비에 대한 공식적인 사고통계는 발표된 것이 없지만 변전설비에서 절연열화에 의한 장애, 사용자에 의한 인적 장애 등을 종합하면 국내에서 지난

10여년간 통계를 따르면 매년 평균 약 5건 이상 장애가 발생하고 있으며 차단기와 변압기에서 주로 사고가 발생하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 발생빈도가 점진적으로 증가하고 있는 추세로 적은 인원으로 전력설비를 감시·진단하는 것이 매우 어려운 실정으로 이에 따른 대안이 필요하다.

2.2 기존 대용량 전력설비 감시진단 시스템

도시철도 이외에 대용량의 전력설비를 사용하는 전기사업자는 이미 10여 년 전부터 전력설비 감시진단 시스템을 운영해오고 있다. 다음 그림 2는 한국전력에 서 운영 중인 대표적인 감시진단 시스템의 예이다.

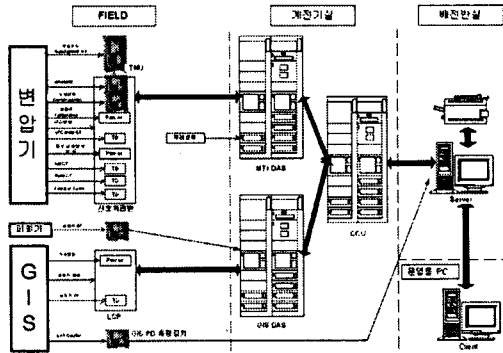


그림 2. 기존 감시진단 시스템 예

위 그림 2에서 보는 것처럼 전기설비 감시진단 하기 원격감시 시스템은 센서부분, DAS (Data Acquisition System)와 CCU(Communication Control Unit), 그리고 HMI Server로 구성되어 있다.

시스템에 적용되는 센서는 크게 변압기용, 차단기용, 피뢰기용 센서로 나눌 수 있다. 변압기에는 유중가스 센서와 설비의 다양한 특성을 측정하기 위한 CT, PT등이 부착되어 있다. GIS와 피뢰기의 경우 GIS 내 부분방전을 측정하기 위한 부분방전센서, GIS의 SF6 가스밀도 센서 그리고 피뢰기의 누설 전류 측정 센서와 서지 카운터 등으로 구성되어 있다.

DAS는 전기설비 원격감시를 위한 예방진단 시스템의 실제 적용 대상인 변압기, 차단기 그리고 피뢰기에 부착되어 있는 센서로부터 측정하고자 하는 데이터를 취득하여 CCU가 인지할 수 있는 신호로 변환하여 전송하는 장치이다. CCU는 DAS의 모든 데이터베이스를 관리하고 통신을 하는 장비로 Server에 Optical LAN 통신으로 데이터를 전송한다.

서버는 데이터베이스 및 Web 서버로 구축되고, CCU로부터의 각종 운전 데이터를 수신하여 전기설비에 설치된 센서나 이상검출장치의 데이터를 상시로 모니터링하고, 데이터의 절대값이나 데이터의 변화경향으로 전기설비의 이상을 검출하여 경보를 발생한다. 또한 서버에는 진단을 위한 Expert System이 설치되어 모니터링 프로그램에서 이상상태가 발생하면 자동으로 또는 운전자의 요구에 의해 이상의 원인과 이상의 정도를 진단하는 프로그램으로, 전문가의 진단지식을 지식 베이스에 구축하여 추론한다.

2.3 각 도시철도 운영기관 사용자 요구사항 분석 결과

도시철도 운영자에게 도시철도 전력설비 운용에 실제로 도움이 될 수 있는 감시진단 시스템을 구축하기 위해 서울메트로 등 총 8개 도시철도 운영기관의 협조를 받아 변전설비 유지보수 현황과 본 과제에서 향후 개발하고자 하는 시스템에 대한 운영기관의 요구사항을 파악하여, 사용자 요구사항을 분석하였다. 요구사항 파악 조사

내용은 온라인 감시진단이 필요한 설비, 필요한 설비 별 감시진단 항목, 감시진단 시스템 HMI의 설치 위치, 그리고 그 외의 감시진단 항목 등이다.

각 운영기관의 사용자 요구사항 분석 결과와, 동시에 병행된 전문가 자문 결과를 토대로 선정된 감시진단 대상 도시철도 전력설비는 변압기, 정류기, 직류 차단기, 교류 차단기로 선정되었으며, 각 설비별 감시진단 항목의 설문 조사 결과는 다음 그림 3~6과 같다. 설비별 감시진단 항목 분석 결과 주요 감시 항목은 변압기와 정류기는 온도, 절연저항, 부분방전, 운전시간 등으로 나타났다. 스위치 동작부분의 기계적 사고가 자주 일어나는 차단기류는 동작 시 차단전류, 절연저항, 동작코일 전류, 누적 운전시간 등으로 나타났다. 보호계전기 연동 시험은 본 과제의 수행항목에서 벗어나는 것이므로 감시진단 항목에서 제외하기로 결정되었다.

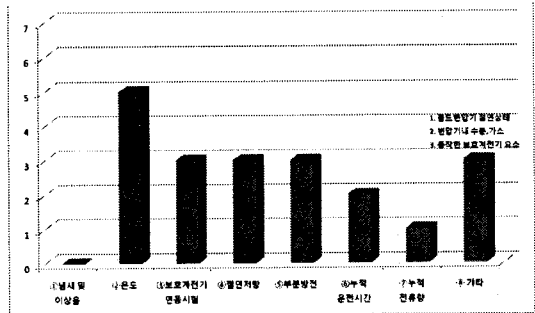


그림 3. 몰드변압기 감시진단 항목

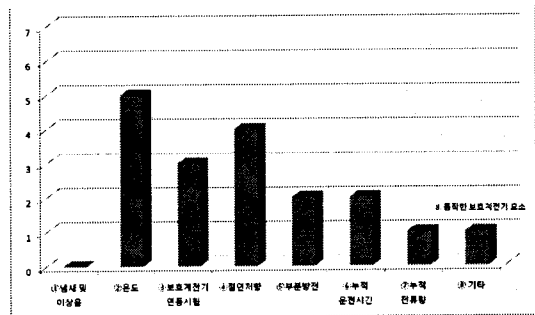


그림 4. 정류기 감시진단 항목

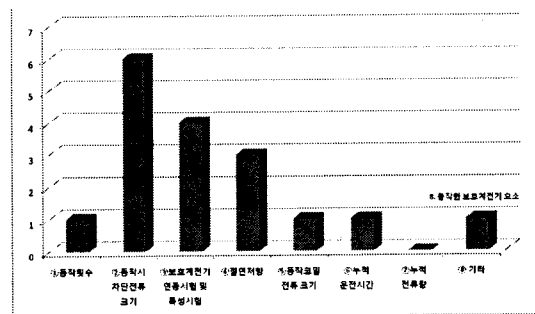


그림 5. 교류차단기 감시진단 항목

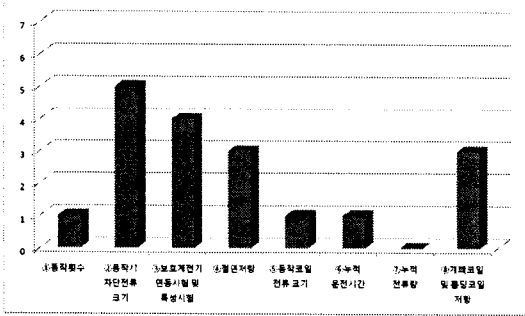


그림 6. 직류차단기 감시진단 항목

2.4. 도시철도 전력설비 감시진단 시스템 구성안

도시철도 전력설비의 특성을 고려하여 도시철도 전력설비 감시진단 시스템 구성의 초안을 그림 7에 같이 나타내었다.

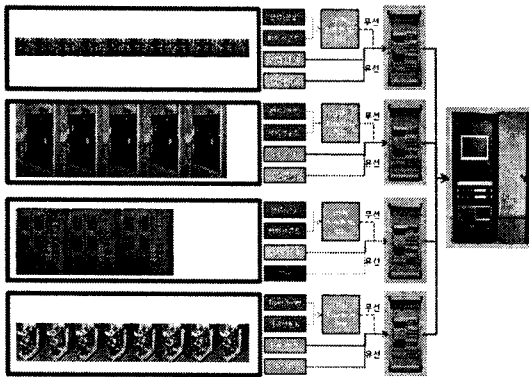


그림 7. 도시철도 전력설비 감시 진단 시스템 구성도

감시진단 항목은 크게 대상설비의 기본 운전 조건(전압, 전류, 온도), 절연이상, 그리고 차단기의 경우 기계적인 동작이상이다.

감시진단 항목 중 기본 운전 조건은 CT, PT, 적외선 온도계 등 별도의 센서를 설치하여 사용하거나 기존에 적용되어 있는 CT, PT 등을 활용할 계획이다. 기본 운전 조건의 측정 대상은 전압, 전류, 온도이며 이 값들은 USN 기술을 적용하여 무선으로 데이터 취득 장치 측으로 전송하도록 구성하였다.

절연이상의 경우 각 전력설비별로 부분방전을 측정하는 방법으로 전력설비의 절연상태를 판단한다. 변압기는 변압기 1, 2차측 또는 고압측에 커플러 센서를 취부하여 부분방전을 측정하고, 측정 결과와 분석 결과를 유선 또는 무선 TCP/IP를 사용하여 데이터 취득 장치 측으로 전송한다. 정류기와 차단기의 부분방전 측정은 설비 부근에 안테나형 전자파 센서를 설치하여 정류기와 차단기 내부에서 부분방전이 발생할 때 수반되는 전자파 신호를 검출함으로써 부분방전의 유무와 부분방전의 크기 등을 분석한다. 일반적으로 현재 일반 차단기류에는 VHS대역을, 그리고 초고압 GIS에는 UHF 대역을 사용하고 있으나, 현장 적용 시 각종 노이즈의 영향으로 실제 측정에 사용할 수 없는 주파수 대역이 많이 존재하므로, 본 과제에서는 측정 주파수 대역을 보다 높은 EHF 대역까지 높여 현존하는 전자파 진단 장비들 보다 더욱 광대역으로 설계하고 있으며, 이를 통해 신뢰도 높은 부분방전 측정을 수행하고자 한다.

차단기의 기계적 이상은 차단기의 보조접점 또는 별도

보조 CT 등을 연결하여 원격지에서 차단기의 누적 동작 회수, 차단 전류와 시간 측정을 통한 마모량 분석 등을 수행하여, 차단기의 동작을 감시·기록하고 자동으로 비교 분석하도록 설계하였다.

측정된 각각의 데이터는 본소 또는 사령실에 위치한 HMI Server에 데이터가 저장, 경보되며, 운영자들이 필요한 시기에 적합한 조치를 취하여 사고를 방지하고 적합한 유지보수가 이루어지도록 한다.

3. 결 론

도시철도 전력설비의 사고 시 파급되는 경제적, 사회적 손실을 미리 방지하기 위해 도시철도 전력설비 수명 예측 시스템 구축 연구 과제가 제안되어 현재 수행 중에 있다. 현재는 연구과제 시작 단계에 있으며, 현 단계에서는 각 도시철도 운영기관을 방문하여 도시철도 운영 현황, 사고 통계 등을 조사하였고, 사용자 요구사항 분석과 전문가 자문 등을 통해 본 과제에서 개발할 감시진단 대상 설비와 감시진단 항목을 선정하였다. 그리고 각 항목에 최적화된 센서를 선정하였으며 전체 시스템을 구성하여 각 파트별 하드웨어 설계와 전체 데이터베이스 설계를 진행하고 있다.

추후 도시철도 전력설비 수명예측 시스템이 도입되면 도시철도의 경제성 및 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 사료되며, 또한 도시철도 전력설비에 준하는 대용량 수전 설비를 가지고 있는 공장, 아파트 등에 적용이 가능하여 사고 방지 및 유지보수 비용 절감에 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.

[참 고 문 헌]

- (1) 이동준 외, "345kV 초고압 설비 상태감시 시스템의 운전현황" 고전압 및 방전학회 춘계학술대회, 2003
- (2) 이동준 외, "전철전력기기 진단기법" 구매조건부신제품개발사업, 최종보고서, 2006
- (3) J. Aubin, "Effects of Water in the Oil", GE Seminar on "Transformer Life Management", Canada, Montreal, 2002
- (4) 한국전력공사 전력연구원, "765kV 변전기기 예방진단 시스템 개발", 2001
- (5) 한국전력공사 외, "전기설비 기술기준의 판단기준 활용과 향후 과제" 2007