

텔레메트릭스기반 전력설비 상태감시시스템 연구개발 동향

이동철 (한전 KDN 송변전IT사업팀 팀장)

1. 기술 개요

전력이용기술의 급속한 발전으로 최근 전력계통에 서는 기존의 설비 및 시스템으로는 대응하기 어려운 전력품질의 신뢰성과 관련된 다양한 요구들이 나타나고 있다. 특히 반도체, 제철, 유화학공장과 같이 순간정전으로도 엄청난 피해를 가져오는 전력의존성이 높은 생산라인에서의 문제는 보다 심각하다. 이를 해결하고자 비상발전기나 UPS와 같은 예비전원 확보의 필요성이 점점 높아지고 있으나, 문제해결의 근본은 개별 전력기기의 신뢰성을 확보하는 것이다. 따라서 신뢰성 있는 전력계통 운영 및 양질의 전력공급을 위해 전력설비의 디지털화와 이를 이용한 감시, 보호, 제어, 진단 기능의 체계화된 통합구조가 필요하다. 그래서 원격계측감시진단의 새로운 의미인 '텔레메트릭스'적 방법론으로 전력설비의 상태감시 및 진단시스템 개발을 개발하여 전력설비의 신뢰도를 높이고자 한다. 텔레메트릭스적 개념을 전력계통에 적용한다는 것은 송배전선로, 변전소 등 전 전력설비의 상태를 집합적으로 감시 진단할 수 있는 예측예방(Predictive Preventive)적 보수수단의 본격화를 의미한다.

전체적 구성은 센서레벨과 상위에 분석엔진이 장착된 집합형 엔지니어링 플랫폼으로 이루어지며, 센서

시스템은 각 설비단위의 센서클러스터와 데이터 집합구조를 이루는 센서 네트워크로 구성된다. 상위측에 있는 "예측예방 엔지니어링 플랫폼"은 Condition Monitoring Diagnosis, Maintenance Management System, Fault Event Analyzer라는 세 종류의 소프트웨어 엔진으로 구성되며 IEC61850기반 자동화변전소를 Basic Platform으로 하는 응용소프트웨어 군으로서 기능과 역할을 한다. 이들 중 'CMD'는 능동형 지능화엔진(Interactive Neural Engine)을 핵으로 상태감시에 필요한 부분방전, 온도, 진동 등 원시데이터를 취득, 1차적으로 연산 처리하는 현장유닛(BayUnit)과 능동적으로 정보를 교환함으로써 기기 운전 상태 감시능력을 극대화 시키고 있다. 'FEA'는 전력계통에 다양한 형태의 고장이 발생했을 때, 고장시점 전후 리얼타임으로 취득된 원시데이터를 중심으로 비정상동작 디바이스들의 작동상태를 분석해냄으로서 빠르고 효과적이고 정확한 의사결정을 돕는다. 특히 다중고장, 복합고장 등 실제의 대형정전고장의 후 원인규명과 전력제어시스템 성능향상에 효과가 기대된다. MMS는 CMD와 FEA의 처리결과 데이터를 중심으로 예방정비와 관리계획을 지원하는 엑스퍼트시스템이다.

2. 구성요소 개발 진행 상황

2.1 텔레메트릭스 기반 무선기능 센서 및 IEC61850 기반의 센서 네트워크

능동형 텔레메트릭스를 통한 전력설비 상태감시센서 및 센서네트워크 적용 기술은 전력설비의 상태를 실시간으로 감시진단하기 위한 최말단의 센서개발과 센서 간의 정보전달 및 교환을 위한 센서네트워크의 구성으로, 최말단의 센서로부터 최상단의 감시진단시스템까지의 종합적인 네트워크구성을 이루는 전력계통 감시진단 능동형 텔레메트릭스를 개발하는 것을

목표로 하고 있다. 설비레벨에서 원시 상태데이터를 취득하기 위해 무선통신기능을 갖춘 센서시스템 개발이 진행되고 있는데 이 센서시스템들은 태양광 충전장치를 내장한 자율전원 형태이며 IEEE1451/IEEE61850 프로토콜과 호환되는 통신 프로토콜로 동작하며 장기간 정전이나 초고압 선로의 뇌격환경 등 강자계 환경에서도 정상동작을 보장한다. 센서들은 불형태의 엔크로우저에 일체화되어 수용되는데 소형화를 위해 MEMS(Micro Electro Mechanical System)형태의 극소형 센서들의 집합구조로 만들어지며 뇌격 등 고장전류를 감지는 전류센서, 3차원구

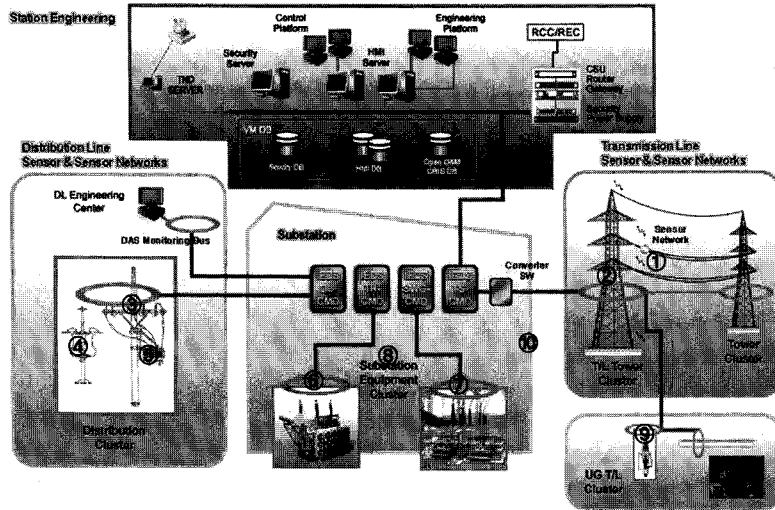


그림 1. 능동형텔레메트릭스 전력설비감시진단시스템 개념구조

종류	요구사항	사안	출처
네트워크	송전/배전/배전선로속 센서네트워크 구축	<ul style="list-style-type: none"> 통신 방식 : Zigbee, Binary CDMA, IEEE802.11a/n 프로토콜 : IEEE1451 	센서네트워크
	송전선로속 기간네트워크 구축	<ul style="list-style-type: none"> 백본 망 : OPGW를 이용한 광네트워크 미들 네트워크 : Binary CDMA, IEEE802.11a/n 	기간네트워크
	배전선로속 기간네트워크 구축	<ul style="list-style-type: none"> 백본 망 : FRTU를 이용한 광네트워크 미들 네트워크 : Binary CDMA, IEEE802.11a/n 	기간네트워크
	지중선로속 기간네트워크 구축	<ul style="list-style-type: none"> 백본 망 : 지중매설 광네트워크 미들 네트워크 관로구간 : Binary CDMA, IEEE802.11a/n 미들 네트워크 직매구간 : PLC 	기간네트워크

그림 2. 설비별 센서네트워크 구축내용

조의 풍향풍속센서, 고감도의 기울기센서, 등이 내장형카메라와 통신장치들과 함께 집합되어 볼 외부에 존재하는 불량애자 감지센서 등과 함께 총 13종의 센서 군을 선택적으로 적용할 수 있도록 설계되어 있다. 과제진행과정은 전체 전력설비에 상태감시를 위한 센서를 설치하고 이를 센서네트워크 및 기간 네트워크로 구축하기 위한 연구를 진행하였다. 전력설비 감시 대상별 센서 및 적용 네트워크를 설계하였으며, 감시 진단기술의 타당성 조사 및 전력IT에 맞춘 표준화 연구를 진행하였다. 우선 전력설비의 감시대상군을 송전설비, 변전설비, 배전설비, 지중설비로 나누어 각 대상 설비에 맞춘 센서 네트워크 및 기간네트워크를 설계하였다. 전체 전력설비의 원격감시 및 중앙관리를 위한 기간네트워크는 전력용 네트워크의 통합화에 맞추어 IEC61850에 맞추어 설계하였다. 기간네트워크는 IPv6를 기반으로 하는 유선 고속통신망으로 구축되며 각 송전선로네트워크, 배전선로네트워크, 지중선로네트워크의 백본망을 이루도록 하였다. 그리고 전력설비에 직접적으로 장착되는 센서단위의 네트

워크는 국제 표준인 IEEE1451에 맞추어 설계하였으며, 추가 통신네트워크 구축작업의 최소화 및 비용의 감소 등을 고려하여 무선네트워크를 기반으로 하도록 설계하였다. '능동형텔레메트릭스'를 구축하기 위한 각 네트워크는 적용성이 뛰어나고 향후 통합이 원활하도록 국제표준에 맞추어 설계하였다. 그림 3은 이번 연구로 설계된 각 네트워크의 사양 및 구성을 나타내고 있으며, 2007년 11월 2차년도 워크샾을 통해 최종 구축안 통일 했으며, 2008년도에는 집중연구를 통해 표준화된 센서네트워크 및 기간네트워크를 구축 및 성능시험을 수행할 계획이다.

감시진단용 기기는 기술개발의 목적뿐만 아니라 향후 세계시장에서 경쟁력있는 제품으로 만들어질 수 있도록 하기 위하여 4가지 특성은 반드시 갖추도록 하였다. 첫 번째 특성은 Easy Coupling이다. 감시 대상 전력설비의 형태 및 운전이 방해되지 않도록 활선상태에서 쉽게 설치 가능하도록 하는 Easy Coupling 방식으로 설계하였다. 두 번째 특성은 자율전원이다. 센서자체에서 전원을 생성하여 자체의

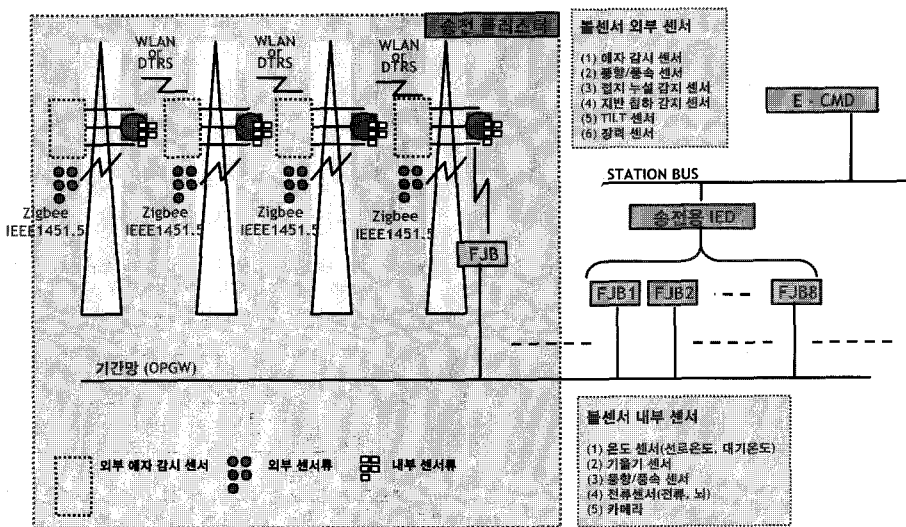


그림 3. 가공송전선로용 센서네트워크 개념도

전원을 충당하도록 하는 방식으로 센서를 구동시키기 위하여 별도의 전원을 설치하는 문제점을 없애고 장소 및 환경에 따른 전원문제에서 자유로울 수 있도록 하였다. 자율전원을 해결하기 하기위해 전원을 발생시키기 위해 Solar Cell, CT Generation, Piezo 발전방식을 연구하였으며, 센서의 전원 및 크기를 최소화하기 위하여 MEMS를 이용한 센서개발 연구를 수행하였다. 본 연구에서 새로이 개발된 MEMS센서는 변이센서와 풍향/풍속센서로 전원은 수 [mW]이내, 크기는 수 [mm]로 줄일 수 있게 되었다. 그리고 어떤 환경에서도 10년 동안 균등전원을 공급할 수 있도록 하기 위한 Battery기술 및 환경적응 기술을 연구하였다. 세 번째 특성은 Active Sensor Network 기술이다. 무선을 기반으로 하는 표준 센서네트워크의 기술구현으로 센서의 설치만으로 기타 주변장비와의 설정 및 추가 설비가 필요 없이 자동적으로 네트워크가 구축되도록 하는 IEEE1451을 이용한 Sensor Network 기술을 연구하였다. 네 번째 특성은 전력설비 감시를 위해 가장 중점적으로 해결해야하는 강자계, 온도, 내전압 등의 환경 내성 및 차폐기술이다. 어떤 전력설비라도 감시대상이 될 수 있도록 하기 위한 기술로 송전선로를 감시진단하기 위한 송전용 볼 센서의 경우 800[kV]급의 송전선로에 직접 설치되어 운전이 가능하도록 하는 절연기술과 최대 고장 시 송전선로에 흐를 수 있는 100[kA]의 고장전류 및 뇌격전류에서도 정상적으로 동작할 수 있는 강자계 차폐기술을 연구하였다. 강자계 차폐 방법은 2중 차폐 방법(와류전류를 이용한 자계감소, 강자성체를 이용한 자계 유도)을 적용하였으며, 2007년 3월~4월에 실험실에서의 차폐실험을 통하여 1차 증명하였으며, 2007년 후반부터 실 현장에서 내 환경시험을 수행할 예정이다. 본 연구로 인해 1차 구현된 송전용 볼 센서는 2007년 4월 17일~20일 국제 전력전자IT 및 전기설비전시회에 전시하여 일부기능을 시연하였으며, 2007년 10월 10일~14일 2007서울국제 종합 전기

기전에 시연하여 상품으로서의 가능성을 타진하였다. 그림 4는 현재 개발 진행 중인 송전용 볼 센서의 2007서울국제 종합 전기기기전 전시회 사진을 나타내고 있으며, 이번 전시회에서는 송전용 볼센서 자체뿐만 아니라 통합 감시시스템 및 볼센서 내부의 컴퍼넌트도 시연을 하여 상품으로서의 가능성을 제시하였다. 이외에도 전력설비의 감시진단을 위한 능동형 텔레메트릭스용 장비는 Easy Coupling, 자율전원, Active Communication,과 내환경성의 특성을 갖춘 유비쿼터스 시대에 걸맞는 전력설비 감시진단 장비로 새롭게 탄생 될 것이다. 다음의 표 1은 능동형 텔레메트릭스과제에서 산출되어질 제품의 상품화 모델에 대한 내용을 담고 있다. 5개의 군으로 총 10개의 아이템이 상품화될 예정으로 각 상품의 사업화 모델의 설계는 1차완료 하였으며, 각 상품의 시장경쟁력은 우수하리라 판단된다. 현재의 개발 현황으로 비추어 과제가 끝나는 시점인 2009년 말에는 상품화의 연구가 과제종료에 동시에 완료되리라 판단된다. 2008년에는 각 아이템의 완성도를 높일 것이며, 현장적용 시험 및 은 상품화의 가능성은 모두 증명이 되었으며, 상품으로서의 성능 검증 및 Type Test를 진행할 계획이다.



그림 4. 2007 서울국제 종합 기기전시전 전시회

표 1. 전력설비 상태감시 시스템 센서 및 센서네트워크장치 개발 내역

No	ITEM	개발 내용
1	송전선로용 Ball Sensor	송전선로 상태 및 환경 감시 강자계 차폐, 자율전원, MEMS
2	송전 선로측 통신 LNB	센서네트워크(무선, IEE1451) 기간네트워크(OPGW, IEC61850)
3	배전선로용 Ball Sensor	배전선로 상태 및 환경 감시
4	배전 선로측 통신 LNB	센서네트워크(무선, IEE1451) 기간네트워크(FRTU, IEC61850)
5	배전개폐기 진단 LU	부분방전 감시
6	변압기 진단 BU	Low Cost형 진단장치 개발 IEC61850 통신 모듈 탑재
7	GIS 진단 BU	현장 1차 부분방전 감시 및 판정 Low Cost형 진단장치 개발 IEC61850 통신 모듈 탑재
8	기존 진단장치 통합장비	기존 진단장치의 능력 I/F 개발 IEC61850 통신 모듈 탑재
9	지중 선로측 통신 LNB	센서네트워크(무선, IEE1451) 기간네트워크(FED, IEC61850)
10	수용가 MS/MFCI, CES_RTU, DES_RTU	다중소스를 이용한 다중 아크차단기 개발 아크차단기의 네트워크 통합

2.2 전력 텔레메트릭스 상위시스템 및 사용자 플랫폼 개발

“능동형 텔레메트릭스 상위시스템”은 하부센서와 IED들로부터 전력설비내의 고전압부분의 부분방전 여부와 온도, 진동 등 상태정보원시데이터(RAW DATA)를 취득하여 운전중인 기기상태의 신뢰성 정도를 종합적으로 판단하고 진단결과를 결정함으로써 송변전 설비의 운전과 유지관리를 엔지니어링 레벨에서 지원하는 시스템이다. 또한 상위시스템은 컴포넌트 단위로 구성된 사용자 플랫폼상에서 응용 소프트웨어들을 쉽게 접목할 수 있는 유연한 시스템으로서, 새로운 웹기술로 사용자들에게 친숙한 WEB2.0기반 FLEX2.0 등 RIA(Rich Internet Application)

기술을 적용하여 구현하고 있으며, 기본적인 하드웨어 구성은 IEC61850기반의 디지털 변전소 플랫폼을 공유하고 있다. 능동형텔레메트릭스 상위시스템은 설비 자산관리 시스템(EAM), 설비 유지보수관리 시스템(MMS), 상태감시 및 진단 시스템(CMD)등의 3가지 핵심엔진과 데이터베이스로 구성되어 있으며, 그 기능은 아래와 같다. 이 CMD는 FEA기능을 포함하고 있다. FEA는 광역계통고장 사고시 다수의 계통 보호 설비의 동작상황을 효과적으로 분석, 표시할 수 있는 기능이 있다. 첫 번째, EAM은 설비를 유지보수 하는데 필요한 설비정보를 관리하는 어플리케이션으로서 설비, 작업자, 공급업체, 용역업체, 도구, 부품 등의 정보를 관리할 수 있다. 설비정보는 설비들에 대한 상세설명, 유지보수 정보, 재고정보 등을 관리할 수 있으며, 설비를 facility, equipment, component, subcomponent 등의 네 가지 컴포넌트로 구성하여 계층적으로 관리할 수 있도록 하였으며, 각각의 컴포넌트가 개별의 작업태스크 정보를 두어 유지보수 계획을 등록할 수 있도록 하였다. 또한 subcomponent에 Point정보를 등록할 수 있도록 하여 센서에서 취득되는 정보를 설비단위로 취합할 수 있도록 하여 유지보수 관리하는 데 사용할 수 있도록

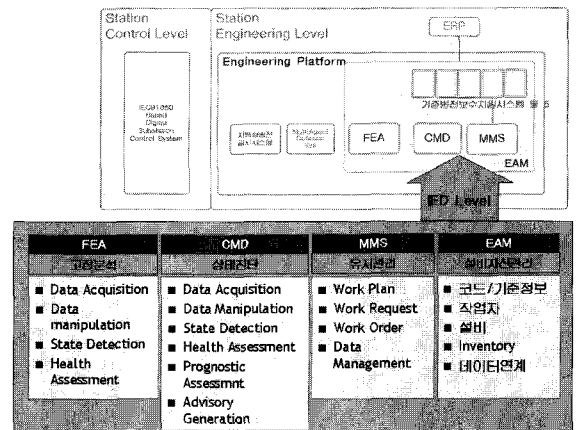


그림 5. 능동형 텔레메트릭스 상위시스템의 구조

록 한다. 두 번째, MMS는 설비를 유지보수 하는 작업예측, 작업계획, 작업요청, 작업지시 등의 정보를 관리하는 어플리케이션이다. 작업예측은 EAM에서 등록된 작업태스크를 통해 Time-based 유지보수 계획을 생성하는 것으로 단순한 Forecast 기능과 작업지시를 생성시키는 기능이며, 작업계획은 예기되지 못한 고장이나 CMD에서 생성되는 고장징후에 대해 작업계획을 관리하는 기능이다. 또한 작업요청은 작업에 필요한 부품, 도구, 용역업체, 작업자 등의 작업에 필요한 것을 관리하며, 작업지시는 작업지시 내용, 작업완료보고 등을 관리하며 작업지시 이력을 조회할 수 있다. 세 번째, 상태감시 및 진단 시스템(CMD)은 센서에서 취득되는 정보를 감시하고 진단하는 어플리케이션으로 MIMOSA의 OSA-CBM 표준에 맞춰 설계되었다. OSA-CBM은 Data Acquisition, Data Manipulation, State Detection, Health Assessment, Prognostic Assessment, Recommend 등의 6가지의 기능으로 구성된다. 상태감시 및 진단은 전력설비 현장에 설치된 센서로부터 취득된 과거 지속적이고 주기적으로 취득된 방대한 양의 데이터는 CMD 시스템의 계층적인 구조에 따라 BU 및 IED의 진단 알고리즘을 통하여 감시의 필요성이 있는 경우에만 분석이 수행되도록 한다. 이와 같이 감시 및 진단이 꼭 필요한 경우로 국한하기 위해 측정 요소에 대한 감시 조건을 세분화하여 감시조건을 설정하고 지정된 감시 조건에 해당되는 경우 측정된 상세한 데이터를 수집하여 일차적으로 온라인 분석이 수행된다. 온라인 분석을 통해 현재 설비상태에 대한 원인 및 조치방법이 제시되고, 보다 더 상세한 데이터가 필요한 경우에는 적합한 오프라인 진단을 권고하게 된다. 또한 상위시스템의 사용자는 수집된 진단데이터를 분석하여 학습된 운영정보를 Reference화 하여 BU로 내려보내면 BU에서는 Ref와 현장데이터를 비교하여 유효한 데이터를 상위로 전송함으로써 진단데이터를 신뢰성을 향상시키고, 전송Traffic 부담을 경감할 수

있는 인터랙티브 엔진구현이 진행되고 있다. CMD의 기능에 포함된 FEA는 전력계통 운전 사용자 요구사항 분석단계에서 광역계통고장 사고시 다수의 계통보호 설비의 동작상황을 효과적으로 분석, 표시할 수 있는 기능이 강력히 요구되고 있어 별도로 기능을 추가하여 개발하게 된 것이 바로 고장이벤트 분석 시스템(FEA)이다. 광역 복합고장이 일어나면 변전소단위의 2개이상의 변전소에서 수십개의 보호계전기, 개폐장치가 동작하며, SOE는 수백 수천라인이 동시에 표시되며, 모든 Annunciator들이 표시되어 대혼란이 일어나게 되어 급전원들이 고장상황 파악 및 복구를 진행하는데 어려움이 있다. 고장이벤트 분석 시스템은 1단계로 우선 고장에 관련된 부위의 계통도를 중심으로 전력계통은 이상상황을 Diagram으로 보여주기, 시순차적, 고장연관별, 연계계통별, 보호연계별로 집합하여 보여주기, 이상동작(부동작·오동작)이 일어난 원인을 추적가능한 범위에서 보여주기, 그리고 고장/동작순서를 순차화하여 보여주기(Time Set Auto Running/ Enter Running) 등 Enterprised Fault locator 기능을 구현하여 담당자들이 쉽게 고장에 대응할 수 있도록 도와줄 수 있도록 하며, 2단계로 고장직후 차단기나 계전기의 동작상황을 분석하여 고장상황을 해석하고 분석할수 있는 기능을 구현한다. 네 번째, 데이터베이스의 구성 및 기능을 살펴보면, 상위시스템에서 사용하는 데이터베이스는 RDB(관계형데이터베이스), RTDB(실시간데이터베이스), HDB(이력데이터베이스), 데이터 연동 가상 데이터베이스로 구성된다. RDB는 상용 데이터베이스를 사용하며 EAM과 MMS에서 사용되는 설비정보, 유지보수 작업정보를 저장할 수 있다. 또한 RTDB는 센서에서 고속으로 취득되는 화상, 동영상, PD와 같은 Raw Data, 이벤트정보를 고속으로 저장할 수 있도록 메인 메모리에 저장할 수 있도록 구현되며, HDB는 고속으로 취득되는 센서정보의 이력을 저장할 수 있다. 또한 데이터 연동 가상 데이터베이스

는 어플리케이션간 데이터연동을 위해 사용하는메시지들의 형태를 저장할 수 있도록 한다.

3. 결 론

전력 사용환경 복잡도 증가와 대체에너지를 중심으로 한 분산전원의 급속한 확대는 에너지 공급인프라의 양적확대시대를 지나 에너지 이용효율을 높이고 공급안정성을 높이는 운용기술의 중요성이 날로 증대되고 있다. 본 국제과제는 텔레메트릭스 기법을 전력계통 운용기술에 적용한 최초의 사례로서의 의미를 가진다. 본과제는 IEC61850표준기반의 디지털 변전시스템을 플랫폼으로 하는 eCMD 시스템의 융합화구조와 적용방안이 주축이 된다. 이러한 연구는 설비상태감시(CMD) 장치의 출력신호를 IEC61850에서 정의된 데이터모델(Logical Node ; LN)로 구현하여 디지털 변전시스템에 융합하고 기존 CMD 시스템에 설치된 여러 가지 접속장치의 수량을 감소시켜 시스템의 복잡성을 해결하여 네트워크의 단순화를 이룰 수 있다. 또한 IEC61850이라는 국제표준에 근거한 시스템을 구현함으로써 서로 다른 제조업체의 장비들 간 상호호환성(Interoperability)으로 인해 설비 유지보수의 용이성, 비용 및 시간절감이라는 경제적 효과를 도모할 수 있다. 그리고 전력설비 구성장치들 간의 상호운용능력 향상으로 전력설비의 고장 발생 전에 예방보수가 가능하고 고장 발생시에도 정확한 원인분석을 통하여 신속한 복구가 가능하다. 이를 통하여 전력수요자들에게 신뢰성과 안정성이 확보된 고품질의 전력을 공급할 수 있을 것으로 기대된다. 현재까지의 연구에서 사용자 요구사항을 반영하여 송전설비 감시/진단 시스템을 구축하기 위하여 송전 데이터를 수집하는 볼센서의 기능 사양과 출력 데이터의 정의, 데이터 처리 로직 등을 설계하였으며, 시스템의 기능 구성 및 HMI 화면 설계, 데이터베이스, 데이터베이스 구성기를 설계하였다. 송전설비 감시/진단 시

스템의 본격적인 구축 단계 초기이기 때문에 시스템 구축시 기술적 문제점이 발생하여 시행착오를 여러 차례 거쳤다. 이러한 부분은 지속적인 보안을 통하여 사용자가 요구하는 부분을 최대한 수용하고 시스템 설계 및 구현에 반영하고자 한다. 또한 안정적이고 신뢰성 있는 시스템을 만들기 위해 타 선진사의 시스템을 지속적으로 벤치마킹하여 개발 시스템에 반영해 나갈 계획이다. 당해 수행한 연구결과물들은 CMD 진단엔진 구현시 핵심 알고리즘으로 쓰일 것이며 능동형 텔레메트릭스 상위시스템을 IEC61850 기반으로 구현하는데 초석이 될 것이다.

참고문헌

- (1) Standard series IEC 61850, Communication networks and system in substations.
- (2) Karlheinz Schwarz, "IEC61850 ALSO OUTSIDE THE SUBSTATION FOR THE WHOLE ELECTRICAL POWER SYSTEM"15th Power Systems Computation Conference PSCC, Page 6, 2005.
- (3) <http://iee1451.nist.gov/>.
- (4) <http://www.61850.com/>.
- (5) IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Transducer to Microprocessor Communication Protocols under Transducer Electronic Data Sheet(TEDS) Format, IEEE Std 1451.2, 1997.
- (6) IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor Information Model, IEEEStd 1451.1.1, 1999.

◇ 저 자 소 개 ◇



이동철(李東哲)

1948년 1월 4일생. 1973~2005년 한국전력 공사근무. 현재 한전 KDN 송변전IT사업팀장. 2005년~현재 3개의 전력IT 국가과제 과제책임자로 과제 수행중(농동형 텔레메트릭스 전력설비 상태감시시스템 개발, 디지털 변전소 운영시스템 개발, 광역정전 방지시스템). 관심분야 : 전력설비 상태 감시 진단, 신뢰성 기반의 설비관리.