

배전지능화 시스템 개발

하복남 <한전 전력연구원 공학박사>

1 서론

전기를 생산하고 사용자에게 공급하는 일련의 설비를 전력계통이라고 하며, 이것은 크게 발전설비, 송전설비, 변전설비, 배전설비 등으로 나눌 수 있다. 이러한 전력설비를 원격에서 감시 제어하는 시스템을 전력자동화 시스템이라고 부른다. 이 전력자동화 시스템은 그림 1과 같이 우리나라 전체 에너지의 수요, 공급, 수송을 제어하는 에너지관리시스템(EMS: Energy Management System), 송전 및 변전설비의 감시 제어를 담당하는 송변전감시제어시스템(SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition), 배전계통의 설비관리 및 운영을 담당하는 배전자동화 시스템(DAS: Distribution Automation System), 수용가의 계량기를 원격으로 읽어오는 원격검침시스템(AMR: Automatic Meter Reading)으로 나누어져 운영되고 있다.

전력IT 국가전략과제를 추진하면서 상기의 시스템 중에서 변전소부터 배전계통과 수용가까지의 모든 전력설비에 대한 원격감시제어가 가능한 시스템을 배전지능화 시스템이라고 부르기로 하였다. 국내에서 운용중인 배전자동화 시스템이 배전선로에 설치되어 있는 개폐기만을 원격 감시 및 제어하는 보편적인 시스템인 반면, 배전지능화 시스템은 변전소에서 수용가에 이르는 배전계통과 분산전원 등에 설치되는 전력

설비에 대한 원격 감시제어는 물론 해당 설비에 각종 센서를 부착하여 설비의 열화상태 등을 진단하며, 분산전원과 통합 연계운전이 가능하도록 설계된 지능화된 배전계통 통합운영 시스템을 말한다. 배전지능화 시스템의 기능은 지리정보(GIS: Geographic Information System) 기반 위에서 고·저압 배전설비를 관리하고, SCADA, DAS, AMR, TCS (Trouble Call System) 등의 시스템과 분산전원을 연계한 배전선로 통합운영 기능을 수행한다. 또 진단 센서를 탑재한 변압기, 전압제어기, 전기품질 제어기 등을 통해 배전계통의 손실최소화, 부하균등화, 전압 및 무효전력제어, 전기품질 관리 등 배전계통의 최적화 운전도 가능하게 한다.

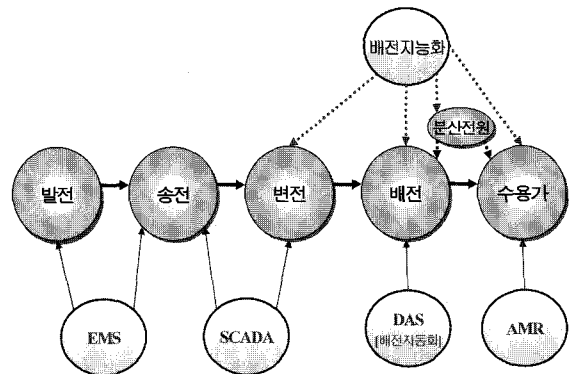


그림 1. 전력계통의 자동화시스템 계층도

2. 본 론

2.1 기술개발의 필요성

현재 국내에서는 송변전과 배전분야의 영역이 엄격하게 나누어져 있고, 자동화 시스템도 변전소를 내부를 감시제어하는 SCADA시스템과 변전소 외부의 배전계통을 감시제어하는 배전자동화시스템으로 그 영역을 나누어 독립적으로 운영되고 있다. 즉 한국의 배전은 변전소 밖으로만 한정되어 있다. 그러나 외국에서는 송전회사로부터 전기를 공급받는 점 이후인 변전소와 배전망을 모두 배전회사의 영역으로 보고 있다. 따라서 배전의 영역을 110(kV) 송전선로부터 시작하는 경우도 있고, 변전소의 주변압기 2차측부터 보는 경우도 있으며, 일부회사는 변전소의 인출 배전선로용 차단기부터 배전회사가 담당하는 영역으로 보기도 한다. 따라서 배전회사가 담당하는 영역을 하나의 시스템에서 일괄 운영할 수 있도록 SCADA와 DAS가 통합된 시스템을 요구하고 있다. 외국의 배전계통이 갖는 또 다른 특징은 배전선로에 중간에 차단기와 변압기를 갖춘 작은 배전변전소(Switching

station)들이 매우 많이 산재되어 있다는 것이다. 이처럼 외국의 전력회사들이 국내와 상이한 구성형태를 보이고 있기 때문에 현재 국내에서 운용중인 시스템을 가지고 해외 시장을 개척하는 것이 어려웠다.

그림 2는 SIEMENS가 자동화의 개념을 정리한 것으로서 SCADA와 배전자동화(Distribution Automation)의 기능적 차이를 보여주고 있다. 이 그림에서 보면 원격감시제어 기능을 수행하는 것을 SCADA라고 부르며, 이것은 적용범위가 변전소 내부이면 변전소SCADA, 변전소 밖의 배전망이면 배전SCADA로 나누어진다는 것이다. 따라서 원격감시제어 기능만을 수행하는 시스템은 SCADA이며, 여기에 자동 고장처리, 선로 재구성, 전압 무효전력 제어, 원격검침 등 각종 부가기능이 추가되어야 비로소 배전자동화라고 부르게 된다.

국내에서는 2006년까지 국내 총 에너지 사용량의 2(%)를 대체 에너지로 공급한다는 시나리오를 전제로 풍력 및 열병합 발전 등 분산형 전원에 대한 기술개발이 이루어지고 있다. 분산형 전원이 전력회사의 고·저압 배전 계통에 접속 될 경우 접속점에서는 전

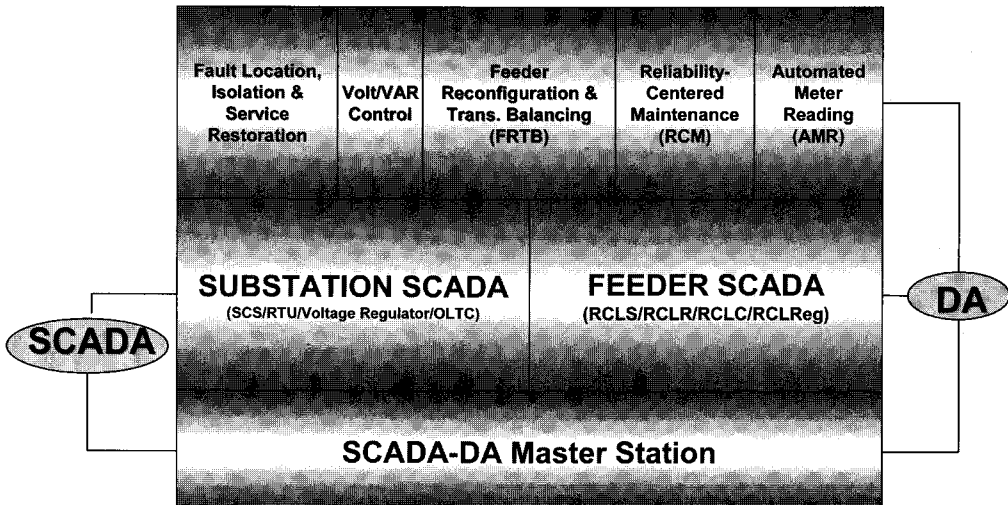


그림 2. SCADA와 배전자동화의 범위

력의 거래 외에도 전력계통과 분산전원 계통을 연계하여 운영하는데 수반되는 기술개발이 필요하다. 따라서 종래의 배전계통 운영 시스템의 기능을 업그레이드하고, 감시제어 대상도 배전분야에 국한하지 않고 주변 분야까지 넓히며, 단순한 감시제어 시스템이 아니라 판단과 분석이 가능한 지능화된 배전계통 운영시스템의 개발이 불가피하게 되었다.

2.2 기술개발 환경

2.2.1 외국의 환경변화

전력계통을 원격 운전하는 시스템을 제작하는 외국의 제작사 중에서 Siemens나 ABB 등 메이저 제작회사는 급전자동화 시스템인 EMS(Energy Management System)에서부터, 변전소 SCADA와 배전

자동화시스템을 모듈 식으로 모두 개발해 놓고, 구매하려는 전력회사가 요구하는 대로 모듈을 조합하여 납품하는 방식을 취하고 있다. 또 최근 외국에서 많이 발주되고 있는 배전관리시스템(DMS: Distribution Management System)을 보면 단순한 원격감시제어 기능 외에 배전계통을 최적 운전하는 다양한 응용프로그램을 요구하고 있는데, 예를 들면 고장자동처리, 손실최소화, 부하예측, 조류계산 등의 응용프로그램과 원격점검, 부하제어, TCM (Trouble Call System) 등이 통합된 시스템이 요구되고 있다. 또 통신프로토콜 면에서도 미국이나 한국은 SCADA나 배전자동화 모두 산업표준 프로토콜인 DNP 3.0 프로토콜을 사용하는데 반해, 중동이나 중국 및 동남아 국가들을 보면 유럽권의 영향을 받아 IEC 프로토콜을 채용하고 있다.

표 1. 주요국가의 배전자동화시스템(DMS) 비교

구분	중국	미국	일본	인도	한국	개발목표
감시제어대상	배전계통 (일부CB)	변전소 배전계통	발, 송, 변전소 배전계통	변전소 배전계통	배전계통	변전소 배전계통
대상 영역	고압 저압	고압 저압	고압 저압	고압 저압	고압	고압 저압
기능통합유무	DMS	SCADA+ DMS	SCADA+ DMS	SCADA+ DMS	DAS	SCADA+ DMS
통신 프로토콜	IEC 60870	DNP 3.0 Modbus	IEC 60870	IEC 60870	DNP 3.0	DNP 3.0 IEC 60870
구현 기능	SCADA연계 감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 단락계산 웹브라우저 작업자관리 V/Var제어	SCADA연계 감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 손실최소화 단락계산 작업자관리 정전관리 V/Var제어	SCADA통합 감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 손실최소화 단락계산 정전관리 조작순서 V/Var제어	SCADA통합 감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 서비스품질 조작순서 V/Var제어	SCADA연계 감시제어 고장처리 토폴로지 단락계산 조작순서 보호협조	SCADA통합 감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 손실최소화 단락계산 정전관리 조작순서 보호협조 V/Var제어

그동안 한국을 비롯한 대부분의 전력회사들은 전력 설비에 대해 일정한 주기가 되면 일괄 유지보수를 시행하는 방식을 채용하고 있으나, 미국이나 독일 등은 전력설비의 신뢰도를 기반으로 한 유지보수 방식(RCM: Reliability Centered Maintenance)을 전력 시스템에 도입하여 전력설비의 신뢰도 및 생산성을 크게 개선하고 있으며, 특히 미국 EPRI, 유럽 KEMA, CESI, EDF 등은 이러한 전력 시스템의 감시 보호제어 및 유지보수 계획에 능동적으로 대응할 수 있는 새로운 개념의 지능형 전력설비 개발에 착수하였으며, 진단센서 개발과 함께 IT 기술 및 인공지능 기술을 적용한 신 개념의 인공지능 기술 분야에서도 상당한 진보를 이루고 있다. 또 ABB, SIEMENS 등의 전력설비 제조회사들은 지능형 전력기기 개발에 박차를 가하여, 지적인 진단 및 판단 기술을 전력기기의 기능으로 탑재하기 시작하였다. 일본의 경우에도 동경전력과 중부전력, 히타치, 도시바, 미쓰비시 등 전력회사와 기기 제조업체 및 대학을 중심으로 전력설비에 부여할 지적 진단 및 보호제어 판단기능 개발을 진행하고 있다.

2.2.2 국내의 요구

전력공급의 신뢰성 강화를 위해서는 배전계통의 구성을 변경할 수 있도록 하고 또 계통의 상태를 파악할 수 있는 데이터를 제공하는 개폐기를 비롯한 각종 단말장치의 지능화, 첨단화가 전제되어야 한다. 최근에는 현장 배전설비에 IED(Intelligent Electronic Device)를 채용하는 것이 세계적인 추세로 대두되었으며, 이것은 배전지능화 시스템의 개발과 더불어 동시에 개발되어야 할 필수 기술이다. 아울러 IED로부터 생산되는 정보를 효율적으로 전송하기 위해 고속의 통신 단말장치 개발과 인터페이스 장치 개발도 이루어져야 한다.

풍력이나 열병합, 태양력, 조력 등 규모가 점점 커

지고 있는 분산형 전원이 배전계통에 도입하면, 송배전설비의 강화 및 투자비용의 증가 억제 및 지연, 계통의 신뢰성 개선, 효율적 설비 운용, 수용가 서비스의 향상 등을 우수한 효과를 기대할 수 있다. 반면에 분산전원이 도입될 경우 전력품질 문제, 독립운전 문제, 단락용량의 급속한 증가, 선로의 전압 상승 등의 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하면서 분산전원 도입의 이점을 최대화하기 위해서 분산전원과 연계된 계통을 효과적으로 제어할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다.

정책적인 측면으로서는 해외에서는 변전소와 배전계통, 수용가 등을 통합 관리하는 시스템을 발주하고 있으나, 국내에서는 업무영역별로 독립된 시스템으로 개발되어 우수한 기술력에도 불구하고 외국 전력회사의 요구에 대응하지 못하고 있다. 또 국내에서 개발된 시스템을 해외에 수출하기 위해서는 시스템 통합 작업과 새로운 배전기기 개발이 필요하나 한정된 내수 시장 때문에 중전기업체가 자체적으로 연구개발을 착수하기에는 경제적인 위험이 대단히 크다. 그러나 통합 시스템 개발에 성공할 경우 기술력 및 가격경쟁력 측면에서 해외시장 개척 가능성이 매우 높으므로, 전력IT 사업과 같은 국가 주도의 기술개발은 매우 우수한 결과와 시장을 창출할 것으로 본다.

2.3 기술개발 목표와 추진방법

배전지능화 시스템 개발 과제의 최종 개발목표는 다음과 같이 크게 4가지로 나누어진다.

- 변전소부터 사용자 전력량계까지의 제반 전기설비에 대한 원격감시제어와 설비관리 기능을 갖춘 지능화된 시스템 개발
- 지능형 단말장치 및 데이터 처리장치 개발
- 센서를 내장한 지능형 배전기기 개발
- 분산전원 연계시의 배전계통 운전방안 및 분산전원 연계용 기기 개발

배전지능화 시스템 중앙제어장치는 광통신망으로 변전소내의 단말장치(SRTU)와 배전선로에 설치되는 다양한 배전기기용 단말장치(FRTU), 수용가를 감시제어하는 단말장치(CRTU) 및 분산전원용 단말장치(DRTU)와 연결된다. 배전선로용 단말장치(DRTU) 하부에는 배전변압기를 감시하는 TTU, 품질을 감시하는 PQM, 전력사용량을 계측하는 WHM 등과 RF통신 또는 배전선통신(PLC)를 통해 데이터를 전송한다. 배전지능화 중앙제어장치는 배전선로 현장에서 취득된 데이터를 분산 처리하는 여러 개의 서버를 갖추게 된다.

배전지능화 시스템 개발에 참여하는 기업은 한국전력공사, 한전KDN 등 22개 기관에 이른다. 추진일정을 보면 2005년 10월에 과제가 착수되어 3년동안 시스템과 기기들을 개발한 후 이후 2년동안 국내외에서 시범사업을 시행할 예정이다. 국내에는 고창 전력시험센터가 실증시험장이 될 것이며, 해외에서도 전력회사 실제 배전계통에서 연구개발품의 성능을 검증하기 위한 시범사업이 시행될 예정이다. 해외 시범사업에는 연구개발 성과품인 중앙제어장치와 통신장치, 단말장치 및 지능형 배전기기 등이 1~2대씩 설치되고, 시범사업 이전에 해외 현지 계통을 분석하여 최적

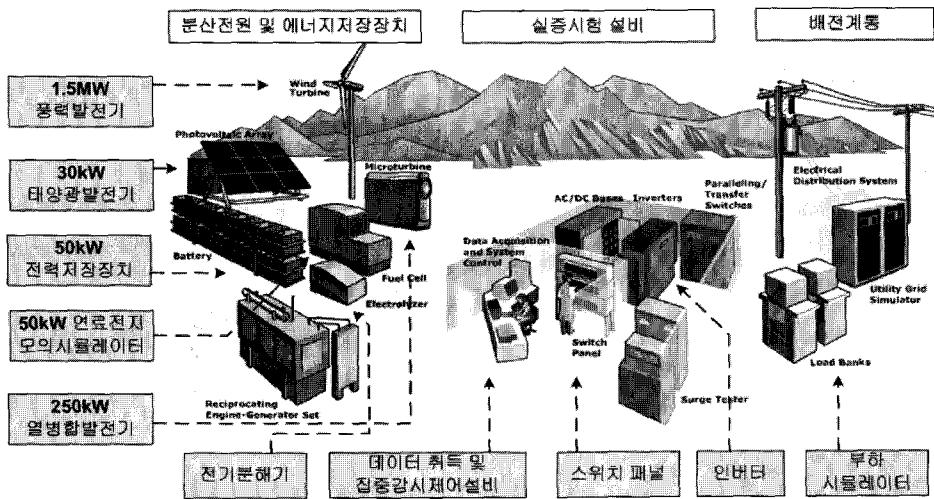


그림 3. 분산전원 배전계통 연계 실증시스템

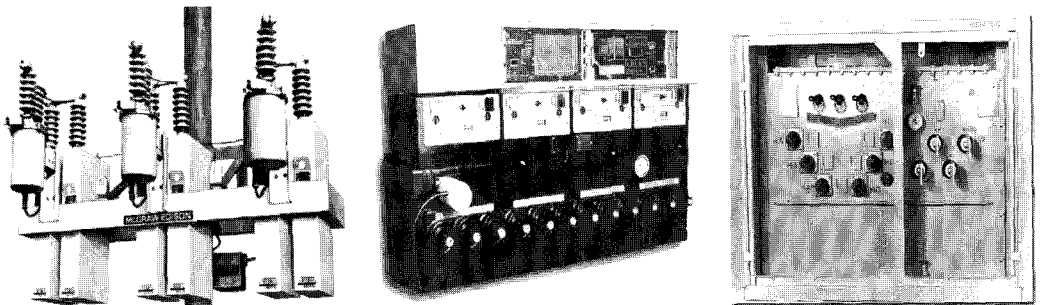


그림 4. 지능형 배전기기

솔루션을 제공하는 기술 컨설팅도 시행할 예정이다.

3. 연구개발 결과

배전지능화 시스템은 그림 5와 같이 A1부터 A4까지 네 개의 세부과제로 구분되어 연구가 진행되고 있다. 각 세부과제별 주요 개발품목은 중앙제어장치, 데이터처리장치 및 지능형 단말장치, 지능형배전기기, 분산전원 연계용기기로 들 수 있다. 2007년 11월 현재 개발대상 품목 대부분의 시작품 제작이 완료되었거나 진행중이다. 이 기기들은 2008년 9월까지 개별 성능시험과 연동시험 등을 거칠 예정이다.

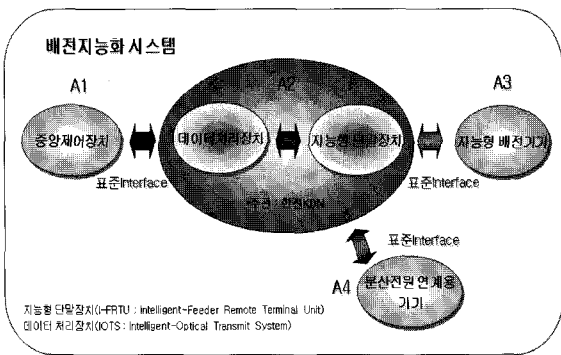
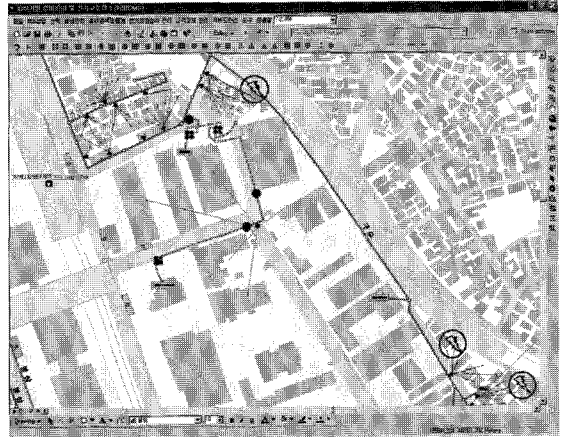


그림 5. 배전지능화 시스템 개발과제 구성 개략도

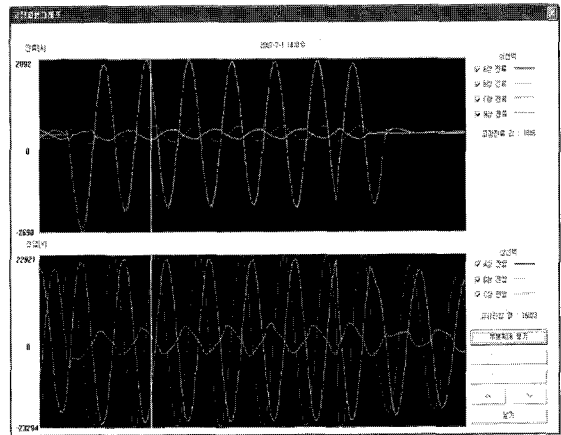
3.1 배전지능화 시스템 중앙제어장치 개발

배전지능화 시스템의 중앙제어장치 개발과제에서는 SCADA시스템과 배전자동화 시스템을 통합개발하고 있다. 국내에서 사용중인 SCADA 시스템은 UNIX 기반에서 개발된 시스템이므로 Windows 기반의 배전자동화 시스템과 통합이 불가능하여 SCADA시스템을 Windows 기반으로 재개발 하였다. 또 GIS 기반위에서 설비관리와 정전관리를 수행하는 프로그램을 개발하였다. 정전관리시스템은 고객의 전기고장 신고 내용을 접수한 후 접수위치를 GIS 지도상에 표시하는 기능과 접수된 정보를 바탕으로

저압배전선로에서 고장위치를 예측하는 기능을 담당한다. 그림 6의 (a)는 접수된 정전신고를 시스템에 입력하였을 때 신고자인 수용가 위치를 보여주는 화면이며, 그림 (b)는 단말장치에서 취득된 고장 발생 순간의 전류와 전압파형이다.



(a) 저압용 정전관리시스템



(b) 온라인 감시되는 고장파형

그림 6. 배전지능화 시스템 주장치 HMI 화면

3.2 지능형 다기능 단말장치 개발

지능형 단말장치는 기존 단말장치에 비해 계측정밀도를 높이고, 전기품질 감시기능과 고장파형 취득 기

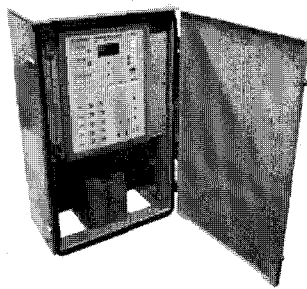
능을 갖게 되며, 고장표시기 동작알고리즘을 대폭 개선하고, 대용량 데이터 전송이 가능하도록 개발되었다. 기능별 모듈화를 실현하였고 컴팩트하게 개발되었다. 자동화개폐기용 지능형 단말장치는 접지계통의 가공용과 지중용, 비접지계통의 가공용과 지중용으로 나누어지고, 동일한 모듈을 접지계통과 비접지계통에서 모두 사용할 수 있도록 설계하였다. 가공용은 가공개폐기와 리크로저 기능을 수용할 수 있도록 하였고, 지중용은 다회로개폐기와 다회로차단기 기능을 수용할 수 있도록 설계하였다.

또한 비접지 고장검출 기능은 가공용 및 지중용 단

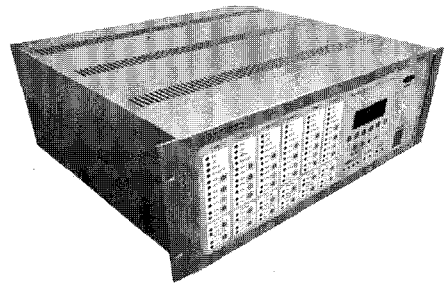
말장치에 구현하였으며, 배전변전소 및 Switching Station용 단말장치는 지중용 단말장치를 사용하되 저압측 LV 단자함 설비를 추가로 감시/제어/계측할 수 있도록 모듈을 구성하였다. 지능형단말장치는 PSU, MCU, SPU, IOU, CMDU 모듈로 구성된다. 또 국제표준프로토콜인 IEC 60870과 DNP 3.0을 채용할 수 있도록 개발된다.

3.3 지능형 배전기기 개발

지능형 배전기기에는 각종 센서를 탑재하여 배전기기의 열화정보를 온라인으로 취득할 수 있게 된

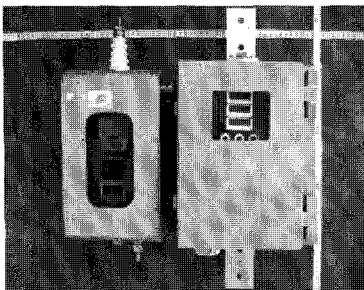


(a) 가공용 다기능 단말장치

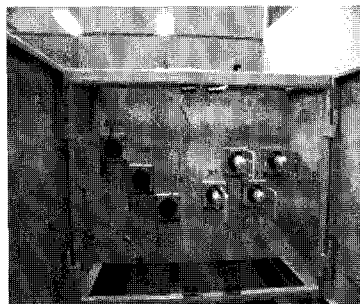


(b) 지중용 다기능 단말장치

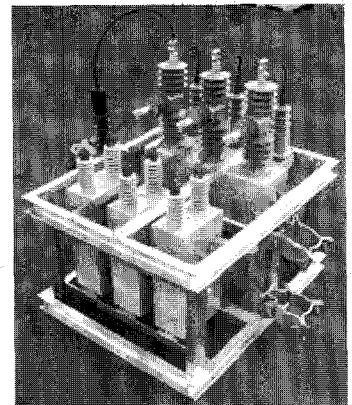
그림 7. 지능형 다기능 단말장치



(a) 낙뢰 및 피뢰기 감시장치



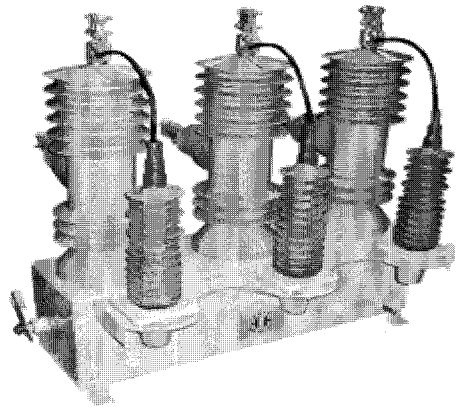
(b) 원격감시용 변압기



(c) 무효전력제어기기

그림 8. 지능형 배전기기 시작품

다. 취부되는 센서에는 부분방전(PD)센서, 가스밀도 및 압력센서, 동작시간 감지센서, 온도센서 등이 채용되고, 계측정밀도를 높이기 위해서 ECT, EVT가 채용된다. 개발되는 지능형 배전기기에는 가공개폐기, 다회로개폐기, 다회로차단기, 리클로저, Fuse부 다회로개폐기, RMU, 무효전력제어기기, 원격전압제어기기, 원격감시용 변압기, 낙뢰 및 피뢰기 감시장치, 콤팩트형 서브스테이션 등이 있다.

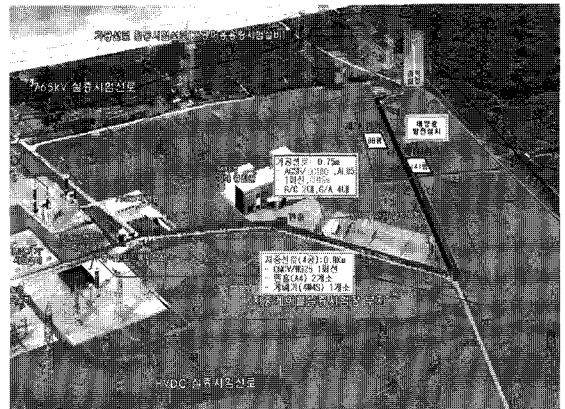


(a) 양방향 리클로저

3.4 분산전원 연계운용기술 및 연계용 기기 개발

분산전원을 배전계통에 연결하여 운전할 때 발생하는 각종 현상을 모의 시험할 수 있는 실증시험장을 고장전력시험센터에 건설중이다. 제1시험동은 고압계통 시험설비로 구축되고, 제2시험동은 저압계통 시험설비로 구성된다. 제1시험동의 주요설비는 200[kW] MG set 2개 및 RLC 가변부하이며, 각 MG set는 열병합발전기를 모의할 수 있는 동기발전기형 MG set와 풍력발전기를 모의할 수 있는 유도발전기형 MG set로 구성된다. 각 MG set는 승압용 변압기를 통해 22.9[kV] 선로에 연계되도록 설계되어 있다. 제2시험동의 저압 전원설비는 실제 태양광 발전기 30[kW], 태양광모의장치 15[kW], 연료전지모의장치 15[kW]로 구성되며, 전압을 자동조절할 수 있는 100[kW] 단상변압기 3대를 통하여 배전계통에 연계된다. 저압계통의 부하는 고조파 발생용 전자부하와 회전기 모터부하, 가변 RLC부하로 구성하였다.

배전계통과 연결되는 위치에 설치되는 분산전원 연계용 양방향 보호장치, 능동형 단독운전방장치, 분산전원 통합보호장치 등도 개발된다.



(b) 분산전원 실증시험장

그림 9. 분산전원 실증시험장 위치도 및 양방향 리클로저

4. 결 론

배전지능화 시스템은 원격에서 각종 전력기기의 상태정보와 고장징후 정보를 미리 취득하게 되며, 발생한 고장에 대해서는 최적화 기법을 도입하여 신속하게 처리할 수 있는 시스템이다. 다양한 지능형 배전기기가 개발되고 단말장치의 성능도 대폭 개선되게 되며, 분산전원까지 연계운전이 가능해진다. 따라서 전력 공급의 신뢰도와 전력품질을 향상시키게 되고, 해외 수출을 통해 이익 창출이 가능할 것으로 기대하고

있다.

산업·경제적 측면의 효과로는 외국의 기술규격을 만족하는 배전지능화 시스템이 완성되어 적극적인 해외시장 개척이 가능하고, 국내 시스템의 업그레이드도 이루어질 것이다. 배전자동화 시스템의 수출이 이루어질 경우 국내 중전기업체가 생산하는 차단기, 개폐장치 및 단말장치(RTU) 등의 동반 수출이 가능해져 국내 산업의 매출 증대에 기여하게 될 것이다. 또 지리정보 기반위에서 변전소부터 배전선로, 수용가에 이르는 모든 전력설비의 원격감시제어가 가능해져 전력산업 전반에 걸친 업무의 질이 개선되며, 각종 설비의 원격 진단, 감시 기능이 가능해짐으로서 전력공급 신뢰도가 향상되어 각종 산업 전반의 생산성 향상에 기여하게 될 것이다.

참고문헌

- (1) 한국전력공사, 중간보고서, 배전지능화 시스템 개발, 2007.
- (2) 한국전력공사, 중간보고서, 배전변압기 감시제어 기능이 통합된 지능형 배전자동화 시스템 개발, 2007.

◇ 저자 소개 ◇



하복남(河福男)

1958년 1월 10일생. 1994년 충남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 충남대 대학원 전기공학과(박사).

1978~1986년 한국전력공사 대전전력 관리처. 1986~1988년 광주전력관리처. 1988~2007년 전력연구원, 현재 한국전력공사 전력연구원 수석연구원/배전자동화그룹장.

E-mail : bnha@kepri.re.kr