



## 배전지능화 시스템 개발



하복남  
한전 전력연구원 박사

### 1. 서론

배전자동화 시스템은 배전선로에 설치되어 있는 개폐기들을 원격지에서 감시 제어하는 시스템이며, 배전지능화 시스템은 변전소, 고압수용가, 배전망, 분산전

원 설비 등에 대한 원격 감시 제어 범위를 대폭 확대한 것이다. 여기에 더해진 것이 배전설비에 부분 방전 센서와 같은 각종 열화 센서를 탑재, 열화 진전 상태를 미리 알아낼 수 있다는 것과 전력설비가 설치된 곳의 전기품질을 온라인으로 감시할 수 있다는 것이다.

‘배전지능화시스템 중앙제어장치 개발’ 과제를 통해 윈도우 기반의 변전소 SCADA와 배전자동화 통합 시스템을 개발하였고, ‘지능형단말장치 및 고속데이터 처리 장치 개발’ 과제를 통해 전기품질 감시 기능이 있는 지능형 다기능 단말 장치와 고속 데이터 전송 장치를 개발하였다. 또한, ‘지능형 배전기기 개발’ 과제를 통해 센서가 내장된 접지계통용·비접지계통용 개폐장치, 차단장치, Recloser, 낙뢰·피뢰기 감시 장치, 무효전력 제어기기, 원격전압제어기기, 콤팩트서브스테이션, RMU 등 15종의 센서가 내장된 배전기기를 개발했다.

## 2. 배전지능화 중앙제어장치 개발

배전지능화시스템의 중앙제어장치는 가장 큰 특징이 변전소원격감시제어시스템(SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition)과 배전자동화시스템(DAS : Distribution Automation System)이 통합되어 변전소와 배전선로를 하나의 시스템에서 일괄 운전할 수 있다는 것이다. 배전지능화시스템은 아래와 같은 개발 내용과 시스템 기능을 구현하고 있다.

- SCADA+DAS+AMR 통합 프로그램 개발 및 GIS 기반의 고·저압 배전선로와 설비관리 프로그램 탑재
- 배전지능화 시스템 중앙제어장치 내의 응용프로그램(변전소 조류 표시, 부하예측, 주변압기뱅크 고장 부차절체, 보호협조, 배전선로 조류계산, 전압/무효전력제어, 정전정보관리/저·고압 신뢰도지수 등) 개발
- 고속 대용량 데이터 처리를 위한 기술을 개발, 기 개발된 DNP 3.0 외에 IEC 60870 FEP 프로그램 탑재
- 비접지 고장검출기법으로 영상전류 위상 비교 방식에 의한 고장구간 판정 알고리즘 및 프로그램 개발
- 변전·배전계통 고장 시 전압전류 파형 데이터 취득 방안·전기품질 이상 감시·이상파형 온라인 취득 방안 개발
- 배전지능화 시스템과 분산전원 통합운영 HMI 개발

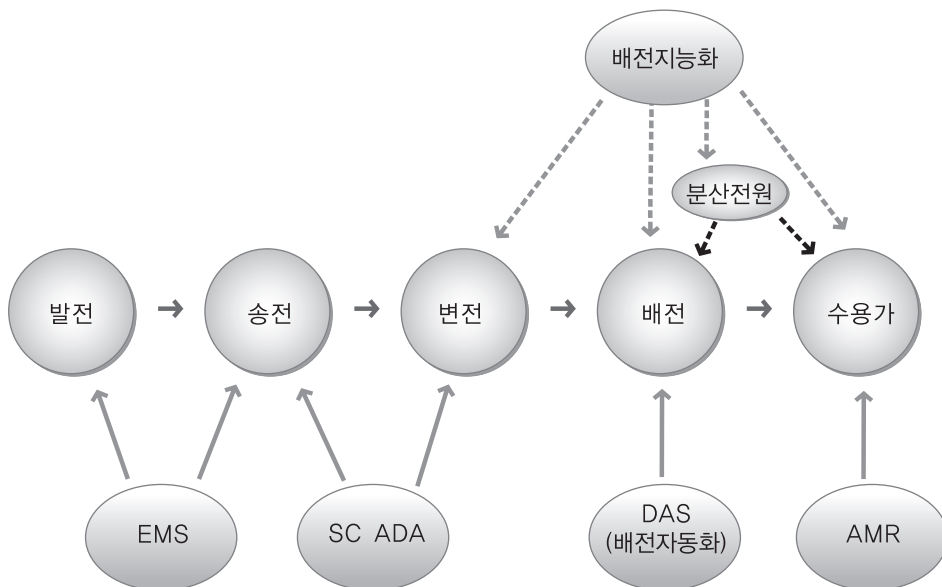


그림 1. 전력계통 자동화시스템 계층도

가. SCADA와 DAS 통합시스템 개발

국내에서는 변전소 구내 설비를 감시·제어하는 SCADA시스템과 변전소 외부의 배전계통을 감시·제어하는 배전자동화시스템으로 업무 범위가 나누어져 있다. 그러나 외국에서는 송전회사로부터 전기를 공급 받는 인입점 이후의 변전소와 배전망을 모두 배전회사의 영역으로 보고 있다. 전력회사에 따라서 150kV 송전선로용 차단기부터 시작하거나, 변전소의 주변압기 2차 측부터 또는 배전선로 인출용 차단기부터 배전회사의 영역으로 보기도 한다. 이 때문에 전력회사는 SCADA와 DAS가 통합된 시스템을 필요로 한다.

SCADA와 DAS가 통합되기 위해서는 데이터를 공유

(Quality) 포인트 표시, 로그인과 로그아웃 기능, 정보발생 및 깜박임 기능 등을 기본 기능으로 하고 있다.

배전지능화시스템에는 GIS 기반위에서 설비관리와 정전관리를 수행하는 프로그램을 포함하고 있다. 정전관리프로그램은 고객의 전기고장 신고 내용을 접수한 후 접수위치를 GIS 지도상에 표시하는 기능과 접수된 정보를 바탕으로 저압배전선로에서 고장위치를 예측하는 기능을 담당한다.

나. 전기품질 온라인 감시 기능 개발

전기품질이 좋다고 하는 것은 정전이 없고, 전압 및 주파수가 정격범위를 유지하는 것을 말한다. 최근에는

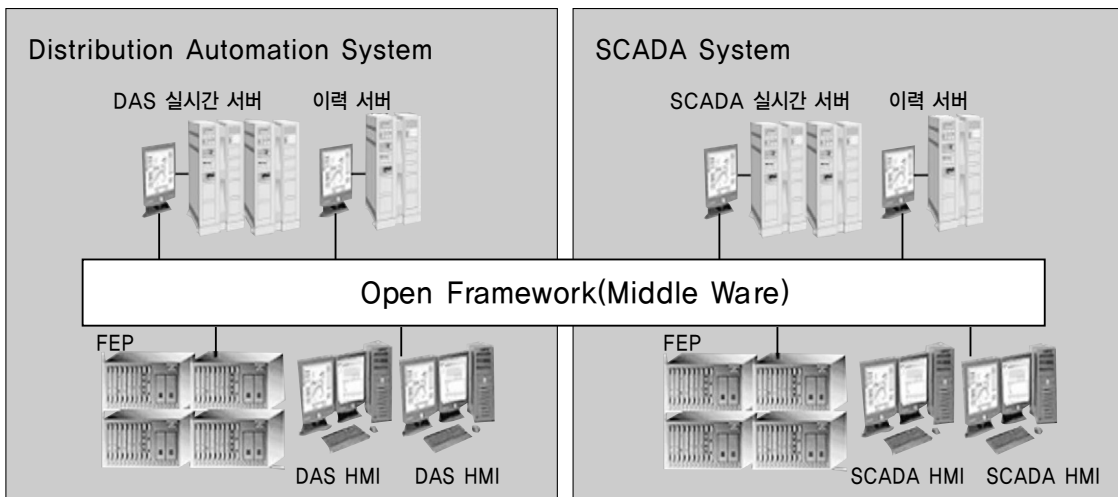
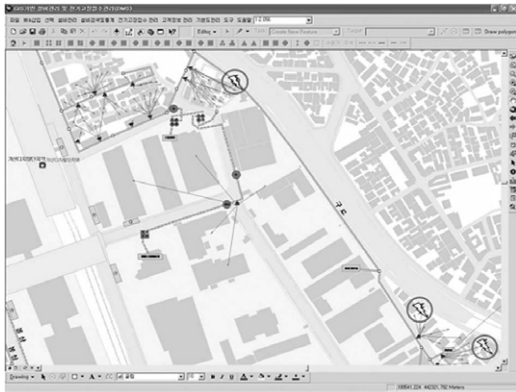


그림 2. 미들웨어를 이용한 SCADA와 DAS 통합

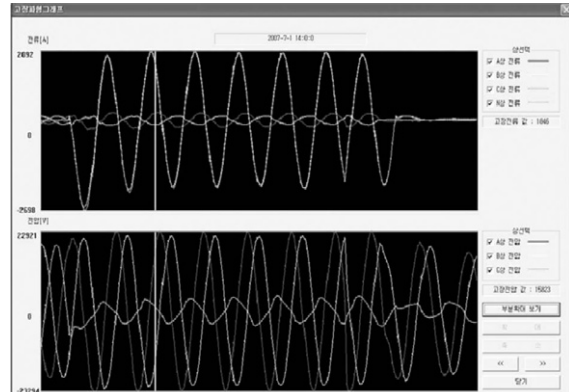
하게 만들어주는 도구가 필요하며, 배전자동화시스템용으로 개발한 미들웨어(Middleware)가 그 역할을 담당하고 있다.

SCADA 기능은 ICARUS라고 명명한 프로그램이 수행하고 있으며, SCADA 고유기능인 변전소 설비 원격 감시 제어, 보고서 출력, 이력데이터 그래프 표시, HMI 상에서의 활선 및 사선 표시, TLQ(Tag, Limit,

고조파 및 순간전압 변동까지 포함한 것을 전기품질이라 말한다. 배전지능화시스템에서는 이러한 전기품질을 온라인 상태에서 감시하는 기능을 갖고 있다. 표 1은 IEEE std 1159에서 정한 전기품질 감시 항목이며, 배전지능화시스템은 이러한 전기품질 항목을 모두 감시할 수 있다. 감시 원리는 배전선로 현장에 설치된 배전지능화 단말장치에 전기품질을 측정하는 정밀급 프로



정전관리 프로그램



고장파형 해석 프로그램

그림 3. 배전지능화 시스템 주장치 HMI 화면

세서를 내장, 실시간으로 전기품질을 감시하다가 지정  
해 놓은 상·하한 값을 초과하는 경우 이를 감지하여

주장치로 이벤트를 전송함으로써 전기품질 이상 여부  
를바로 알 수 있게 된다.

표 1. 전기품질 감시항목

감시 항목		IEEE std 1159		데이터 저장		
		크 기	지속시간	이벤트	파 형	회 수
Sag	순 시	0.1 ~ 0.9pu	0.5 ~ 30cycle	○	○	○
	순 간	0.1 ~ 0.9pu	30 ~ 180cycle	○	○	○
	일 시	0.1 ~ 0.9pu	180 ~ 3600cycle	○	○	○
Swell	순 시	1.1 ~ 1.8pu	0.5 ~ 30cycle	○	○	○
	순 간	1.1 ~ 1.8pu	30 ~ 180cycle	○	○	○
	일 시	1.1 ~ 1.8pu	180 ~ 3600cycle	○	○	○
순간정전	순 시	< 0.1pu	0.5 ~ 180 cycle	○	○	○
	순 간	< 0.1pu	180 ~ 3600cycle	○	X	○
	일 시	0.0pu	> 3600cycle	○	X	○
전 압	저전압	0.8 ~ 0.9pu	> 3600cycle	○	X	○
	과전압	1.1 ~ 1.2pu	> 3600cycle	○	X	○
고조파	THD(V)	-	steady state	X	X	X
	THD(I)	-	steady state	X	X	X
	TDD(I)	-	steady state	-	-	-
	차수별	-	steady state	-	-	-
불평형	전압	0 ~ 100%	steady state	○	X	○
	전류	0 ~ 100%	steady state	○	X	○
k-Factor		-	steady state	-	-	-
Create Factor		-	steady state	-	-	-
Frequency		45 ~ 65Hz	steady state	○	X	○
PQM waveform		-	-	○	○	○
파형취득		-	-	-	○	-

전기품질이 이상하다는 이벤트가 접수되면 운영자는 파형을 온라인으로 읽어 올 수가 있다. 배전지능화 중앙제어장치의 HMI에서는 단말장치에서 취득한 전기품질 원시 파형의 형태를 볼 수 있을 뿐만 아니라, 크기와 지속시간, 고조파 차수별 비율, 전압 및 전류의 벡터 등도 해석할 수 있는 프로그램을 갖추고 있다.

다. 배전지능화 응용프로그램

배전계통을 최적 상태로 운전하기 위해 다양한 응용 프로그램을 개발했다. 개발내용으로는 전압과 무효전력을 일괄 제어하는 ▲‘TVVC(Integrated Volt/Var Control) 프로그램’, 배전망의 손실 최소화과 부하균등화, 주변압기 부하균등화를 일괄 계산·처리하는 ▲‘통합 최적화 프로그램’, 변전소 주변압기 탱크 고장 시에 변전소 내부의 모선 부하절제와 변전소 외부의 배전선로를 통한 부하절제가 이루어지는 ▲‘광역 고장처리 프로그램’, 복잡한 배전망에서 자동화개폐기의 최적 설치

위치 솔루션을 찾아내는 ▲‘적정 개폐기 설치 위치 최적 선정 프로그램’, 상시 개방점 개폐기 투입 시에 흐를 수 있는 ▲‘루프전류 계산 프로그램’ 등이다. 자동화개폐기 최적 설치 위치 선정프로그램을 실행하면, 6분할 3연계와 같은 개폐기 설치 기준을 초과하여 설치된 개폐기와 부족 설치된 개폐기, 위치를 이동해야 할 개폐기 등의 리스트를 확인할 수 있다.

3. 지능형 단말장치 개발

지능형 단말장치는 기존 단말장치에 비해 계측정밀도가 높고, 전기품질 감시 기능과 고장파형 취득 기능을 갖추었으며, 고장표시기 동작 알고리즘을 대폭 개선하여 대용량 데이터 전송도 가능하도록 개발되었다. 또한 국내외 공급이 가능하도록 접지 계통용과 비접지 계통용을 모두 개발하였으며, 국제표준프로토콜인 IEC 60870과 DNP 3.0을 모두 채용하였다.

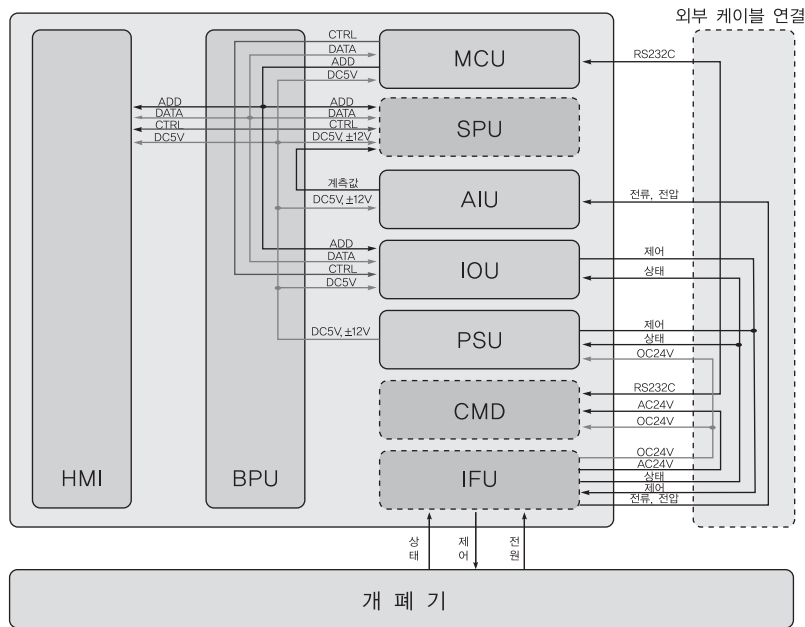


그림 4. 지능형 단말장치 블록다이어그램

지능형 다기능 단말장치의 하드웨어 전체 블록 구조는 **그림 4**와 같이 7개의 각 기능별 모듈 구조로 되어 있다. 지능형 다기능 단말 장치에 입·출력되는 모든 데이터는 메인 모듈(MCU : Main Control Unit)을 중심으로 처리된다. MCU는 각 입·출력모듈(IOU : Input Output Unit)을 통해 입력(Digital Input)과 제어출력(Digital Output) 데이터를 처리한다.

또한, MCU 모듈은 전기신호 처리 모듈인 신호모듈(SPU)과 HPI(Host Post Interface)를 통해서 고속으로 계측 및 로직처리 데이터에 대한 통신을 수행하며, 설비진단 모듈인 CMD(Condition Monitoring Diagnostic Unit) 모듈과는 RS232C를 통해 개폐기의 열화진단 데이터에 통신을 수행한다. 지능형 다기능 단말장치는 가공개폐기 및 Recloser와 인터페이스를 수행, 다양한 구동 방식의 기기들과 연계가 가능하도록 설계되어 있다.

가공개폐기용 지능형단말장치는 운전 상태를 감시하는 72개 Binary Input, 15개의 Binary output(원격제어) 포인트, 원격계측(Analog Input) 90개 포인트, 원

격설정(Analog Output) 105개 포인트, 파형취득 6개 포인트 등 총 341개 포인트의 정보전송 항목을 갖도록 개발 되었다.

지능형단말장치에서 아날로그 값 계측과 전기품질 감시 기능을 수행하는 모듈은 프로세서 모듈의 DSP 부분에 해당한다고 할 수 있으며, 회로구성은 **그림 5**와 같다. 입·출력 모듈에서 보조 CT, PT에 의해 전류, 전압신호가 작은 전압신호로 변환되어 오면, 저대역 통과 필터(LPF: Low Pass Filter)를 통해 고주파 Noise가 제거되게 된다. A/D Converter는 16-bit 분해능의 고속타입을 적용하여 주기당 128 Sampling을 구현했다.

A/D 컨버터에 의해 디지털로 변환된 데이터는 메모리 버퍼에 저장된다. DSP는 변환된 디지털 데이터를 갖고 각종 전기량을 연산, 고장 검출 기능을 수행한다. 또한, Sag, Swell 등의 왜란을 검출하여 그 정보를 감시제어 CPU로 전달하고 그 때의 전압, 전류 파형 데이터를 저장하게 된다. 주파수는 전압신호의 Zero-Crossing 검출회로를 통하여 Timer로

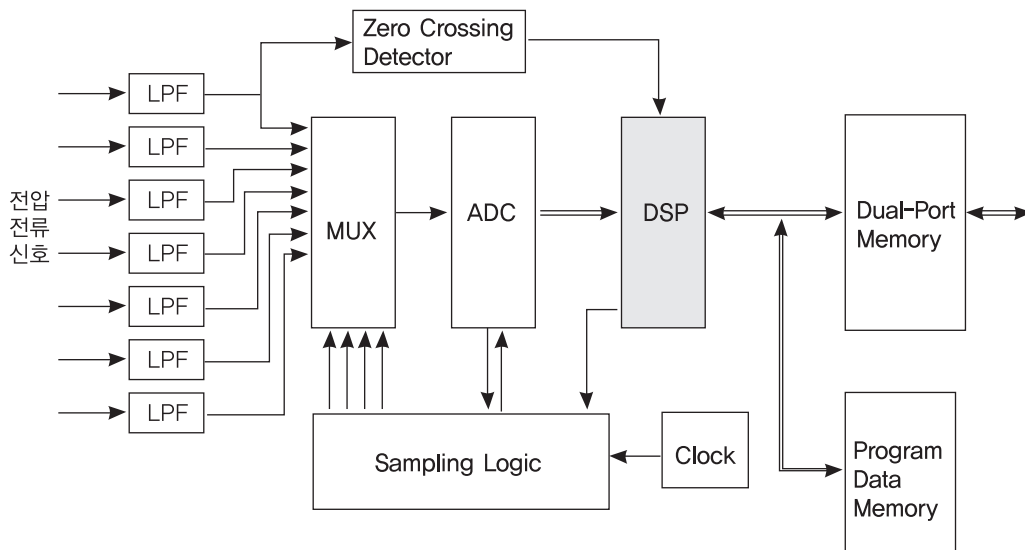


그림 5. 지능형 단말장치 모듈 회로

주기를 측정하는 다음 연산을 통해 값을 얻을 수 있다.

#### 4. 지능형 배전기기 개발

지능형 배전기기 개발과제는 두 가지 연구목표를 갖고 있었다. 첫째, 배전기기의 이상여부 진단 및 운전 상태를 실시간 감시하기 위한 센서가 내장된 지능형 배전기기 개발이다. 둘째, 배전지능화 시스템과 연계 운전이 가능하고 진단, 제어부 및 통신 단말부를 일체화한 배전기기용 일체형 제어함 개발이다.

##### 가. 지능형 배전기기의 종류

지능형 배전기기란 기존의 배전자동화 기능을 수용하면서 배전기기에 진단용 센서와 정밀급 계측센서를 탑재하여 기기의 상태를 진단하고, 전기품질 분석 및 다양한 계통 운영 정보를 제공하는 기능을 갖춘 기기이다. 센서에는 부분방전(PD)센서, 가스밀도 및 압력센서, 동작시간 감지센서, 온도센서 등이 채용되고, 계측정밀도를 높이기 위한 ECT, EVT가 있다. 센서가 내장된 지능형 배전기기 개발 품목은 15종에 이른다.

- 접지형 가공개폐기
- 접지형 다회로개폐기
- 접지형 Fuse부 다회로 개폐기
- 접지형 다회로차단기
- 접지형 Recloser
- 비접지형 가공개폐기
- 비접지형 다회로개폐기
- 비접지형 RMU부 다회로 개폐기
- 비접지형 다회로차단기
- 비접지형 Recloser
- 무효전력 제어기기
- 원격감시용 배전용변압기
- 원격 전압제어기기
- 낙뢰, 피뢰기성능 감시장치
- 지능형 Compact-substation

##### 나. 전력설비 열화감시 기능 개발

지능형 배전기기는 각종 센서를 탑재하여 배전기기의 열화정보를 온라인으로 취득할 수 있다. PD 센서는

개폐기 본체의 가스절연 탱크 내부에서 상시로 부분방전을 감시하는 센서로서 전방향성(Omni-directional) 특성을 갖는 Monopole 형태의 UHF 센서이다. PD센서는 3차원 초고주파 전자기장 해석 툴(3D EM simulator)을 이용, 대상 기기에 대한 모델링(Modeling)을 한 후에 기기 내부의 전자파 전파 모드와 전자기장 분포 특성을 해석하여 센서의 위치 및 주파수 대역을 선정하였다. 선정된 주파수 대역은 1.0 ~ 1.4GHz이며, 개폐기류, Recloser, 차단기류에 대하여 동일하게 적용시킬 수 있다.

#### 5. 결론

배전지능화시스템은 변전소, 배전선로, 고압수용가, 분산전원 감시제어 등을 동시에 구현하는 시스템이다. 또, 원격에서 각종 전력기기의 정보를 취득, 고장 징후의 예측이 가능하고 발생한 고장에 대해서는 최적화 기법을 도입하여 신속하게 처리할 수 있는 시스템이다. 현재는 다양한 지능형 배전기기가 개발되었고, 단말 장치의 성능도 대폭 개선된 상태다. 이로 인해 외국의 각종 규격과 요구사항을 만족하는 배전지능화시스템 또

한 완성되었으며, 중견 기업체가 생산하는 차단기, 개폐장치 및 단말장치(RTU) 등의 동반 수출이 가능하게 되었다.

변전소부터 배전선로, 수용가, 분산전원에 이르는 모든 전력설비의 원격 감시 제어가 가능하고 전기품질이나 전력

설비의 열화상태 감시가 가능하기 때문에 전력공급 신뢰도가 향상되어 각종 산업 전반의 생산성 향상에 기여하게 될 것이다.

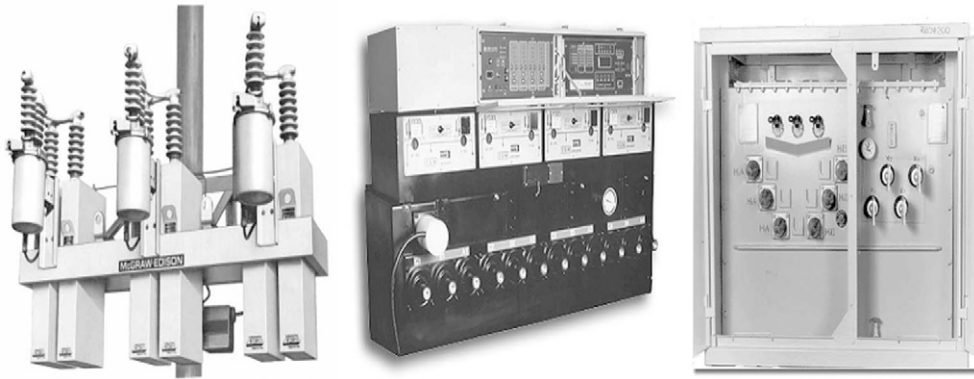


그림 6. 센서가 내장된 지능형 배전기기

배전지능화시스템은 스마트 그리드 프로젝트의 하나인 Smart Power Grid의 핵심요소 컴포넌트로 2010년 하반기부터 제주 스마트 그리드 실증단지에 설치되었

으며, 실증시험을 마친 후 전국적인 확대 보급과 더불어 해외 수출이 진행될 것으로 기대된다. KEA