특집 : 제주 스마트그리드 실증 단지

SPG 실증플랜트 구축 현황

이 성 우
(한국전력공사 전력연구원 송배전연구소 책임연구원)

본 논문에서는 제주 스마트그리드실증단지에서 진행중인 스마트그리드 5개 프로젝트 중 송배전분야의 전력망을 통합 운영하는 Smart Power Grid(SPG) 실증시스템의 설계와 구축 현황에 대해서 기술한다. 스마트그리드 프로젝트는 SPG 외에도 ST(Smart Transportation), SP(Smart Place), SR(Smart Renewable), SES(mart Electric Service)가 있는데, SPG는 SES 프로젝트에서 운영하는 통합관제센터(TOC)를 거쳐 ST, SR, SP 시스템들과 운전 정보를 서로 교환하여 사용한다.

1. 서 론

스마트 그리드가 기존의 전력망을 대신하여 차세대 전력망이 되어가고 있다. 이를 위해 송전, 변전, 배전, 분산전원, 전기자동차, 스마트 홈 분야에서 기술이 개발되고 있다. 제주도에서는 이렇게 각 분야별로 개발된 기술들의 실증이 진행 중이며 이들 각 분야의 기술들을 통합 운영하는 종합운영센터를 만들어 각 분야 데이터의 통합관리 및 실시간 요금제 및 부가 서비스를 실증 중이다. 차세대 전력망에서 개발된 기술의 통합과 모든 분야의 통합운영을 통해 추후 필요한 서비스 도출과 최적 전력계통 운영 방법을 찾을 수 있다. 2009년부터 제주도에 대규모로 5개 분야에 스마트그리드 프로젝트를 시작했다.[1] 제주 스마트 그리드 테스트 베드 실증의 목적은 개발된 스마트 그리드 기술을 실증하여 스마트그리드기술의 최적 이용방법을 찾고 추가 필요한 기술을 개발하기 위함이다. 제주 스마트그리드 실증단지에서는 2009년부터 실증사업을 수행하고 있으며, 본 프로젝트는 Smart Power Grid(SPG), Smart Place(SP), Smart Transportation(ST), Smart Renewable(SR), Total Operation Center(TOC) 5개 분야를 실증하고 있다.[2,3,4,5]

Smart Power Grid분야에서는 송전, 변전, 배전의 실시간 감시, 제어, 고장 예지 및 자가 치유가 가능한 시스템이 개발되었다. 현재 제주도 테스트 베드에서는 지능형 송전, 디지털 변전, 배전지능화 등 각 분야별로 전력IT 실증과제에서 도출한 연구 성과물의 구현기능 및 특성, 성능, 시험방법 등에 대한 실증이 진행 중이다. 과제의 다음 단계에서는 실시간 광역계통 감시, 제어, 기기진단, 전력품질감시, 고장예측 및 자동복구 기능 등을 실 계통에서 실증할 예정이다.

본 논문에서는 전력IT 성과물인 지능형송전, 능동형텔레메트리스, 디지털 변전, 배전지능화 시스템의 데이터를 CIM 기반의 국제 표준 프로토콜을 사용하여 취득할 SPG 주장치인 PGOMS를 구축하였다. 또한 전력계통의 안정도를 평가하는 위기관리시스템, 계통전압이 정격 범위내에서 유지되도록 발전기 출력 등을 자동 제어하는 VMS(Voltage Management System)시스템, 송전선로용 볼센서, 변전소 주변압기 열화감시용 센서, GIS(Gas Insulation Switchgear) 감시용 센서 등을 사용하여 전력기기의 열화감시를 온라인 감시하는 능동형텔레메트릭스 시스템, 변전소내의 보호계전기와 제어부, 통신부가 통합된 지능형전자소자인 IED를 송전선, 주변압기, 배전선, 모선 보호반에 채용하여 제어케이블의 사용을 대폭 축소하고 성능을 향상시키는 디지털 변전시스템, 변전소 SCADA와 배전자동화를 하나의 시스템에서 처리하고, 분산전원을 통합 운영할 수 있으며, 전기품질 감시기능을 갖춘 지능형 단말장치를 적용하여 분산전원이 연계된 배전계통을 통

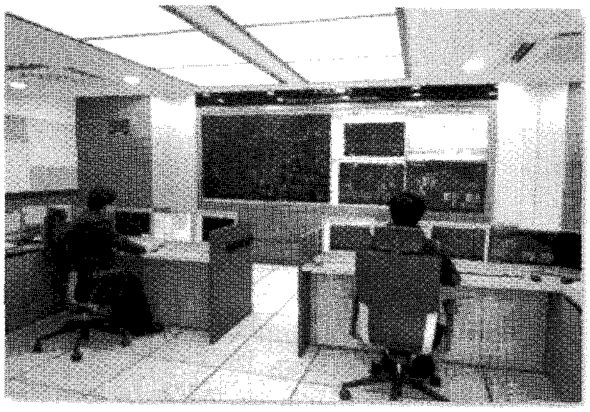


그림 1 SPG 주장치인 PGOMS 시스템

표 1 배전지능화 실증기기 내역

설치대상	수 량	내 역
주장치(HMI포함)	1식	서버 2대(Dual), HMI 2대(운전용, 실증용)
낙뢰&피뢰기 감시장치	20대	로고스키 코일 및 감시용FRTU 설치
지능형 개폐기류	10대	I-RA/GA, 다회로개폐기, 지상변압기 감시장치
지능형 단말장치	7대	기존 자동화개폐기용 FRTU대체
데이터 처리장치	39대	배전지능화기기와 주장치간 통신

합 운전할 수 있는 배전지능화 시스템을 구축하였다.

2. 본 론

2.1 SPG 주장치 PGOMS 구축

SPG 시스템은 스마트그리드통합관제센터(TOC)와 연계하여 시스템의 실시간 요금 정보를 받고, Smart Place의 고/저압 고객의 전압 및 전류 등의 계측데이터를 취득한다. 또한, Smart Renewable 시스템의 신재생에너지 발전용량과 운전데이터, 전기품질 정보 등을 받으며, Smart Transportation과 연계하여 급속 및 완속충전기의 충전소 정보를 받아 계통을 효율적으로 운영하고자한다. SPG와 다른 SG(Smart Grid) 프로젝트간에 CIM 인터페이스를 적용하여 연계운용을 실증함으로서 국제 표준을 준용한 스마트그리드 통합운영 시스템 구축이 가능한지를 평가하게 될 것이다.

본 시스템은 현장에 설치된 전력계통의 안정도를 평가하는 위기관리시스템, 계통전압이 정격범위내에서 유지되도록 발전기 출력, FACTS, ULTC, 캐패시터뱅크 등을 자동 제어하는 VMS(Voltage Management System), 송전선로용 볼센서, 변전소 주변압기 열화감시용 센서, GIS(Gas Insulation Switchgear) 감시용 센서 등을 사용하여 전력기기의 열화감시를 온라인 감시하는 능동형텔레메트릭스 시스템, 변전소내의 보호계전기와 제어부, 통신부가 통합된 (IED : Intelligent Electronic Device)기반의 디지털 변전시스템, 변전소 SCADA와 배전자동화를 하나의 시스템에서 처리하고, 분산전원을 통합 운영할 수 있는 배전지능화 시스템이 구축되어 현장으로부터 데이터를 취득한 다음 어플리케이션을 활용하여 최적의 운전과 감시를 하고자 한다.

2.2 배전지능화시스템

제주실증단지의 주요 실증품목은 배전지능화 주장치, 낙뢰&피뢰기 감시장치, 지능형 개폐기, 지능형 리크로저, 지능형 단말장치, 배전지능화 기기와 주장치간 통신장치인 데이터처리장치를 구축하였다. 주요 실증내용은 전압강하, 상승, 순간정전, 낙뢰, 파형 등 전력품질을 실시간 감시 분석하였으며, 신재생에너지원의 배전계통 연계를 대비한 행원풍력 선로의 전력품질을 감시 및 분석하여 향후 신재생에너지원의 배전계통 연계를 위한 기반 시설을 구축하였다. 낙뢰전류 및 피뢰기 상태감시장치를 통해서 낙뢰가 선로에 미치는 영향을 분석하고 피뢰기의 열화 상태를 실시간 감시하여 배전계통의 효율을 증대하였으며, 실증 자료를 만들고 HMI에 의한 실계통의 운전정보를 실증데이터로 취득하고 분석하였다.

실증대상기기는 전력IT 연구성과물의 개발현황과 업체의 참여여부를 고려하여 선정하였으며 최적의 배전계통 운영을 위해 현장 여건과 관련기관의 의견을 수렴하여 적절한 수를 구축하였다. 표 1은 배전지능화 실증기기의 내역을 수록한 것이다.

전력IT 개발과제로 개발한 성과물이 모두 검증될 수 있도록 실증해야하는 문제와 연구과제 이외의 다양한 배전지능화 시스템을 도입해야 할 것으로 보이며 국한된 기기 업체의 자의적 실증 참여라는 한계를 벗어나지 못한 부분도 있다. 실증을 통해 고속데이터 처리장치의 전력소모를 최소화하는 제품으로 추가 개발하여 제품 간 전력이 적절하게 배분되어 기기의 성능을 저해하지 않는 방향으로 제품을 보완하여 상품화가 가능하게 만든 것처럼 타 기기도 향후 확대 및 상용화를 고려해 효과적으로 기기를 구축하고 검증하여 향후 상품화를 통한 수출까지 이루어져야 할 것이다. 낙뢰전류 및 피뢰기 감시장치는 자체 메모리는 있으나 단말장치에서 주장치로 데이터를 올려주지 못하고 주장치에서는 낙뢰전류 및 피뢰기감시장치에서 올라오는 데이터를 저장할 수 있는 테이블 자체가 구현이 되어 있지 않는 문제점을 발견하였으며 이런 문제점은 향후 추가 개발하여 상품화가 될 수 있도록 하여야 할 것으로 보인다.

ICARUS를 통한 SCADA 시스템과 연계하여 데이터를 받고 서로 연계시험까지 완료하였으며, 그 자료를 분석하여 연계부분에 대한 다양한 실증 자료를 확보하였고, 보안체계와 운영방향에 대해서도 고려하여야 할 것이다. 또한, 전력IT 배전지능화 연구성과물 추가 실증 타당성에 대한 검토가 필요하고, 단순보완 가능제품에 대해서 추가실증이 필요할 것이다. 그림 2는 배전지능화 시스템 기기들의 현장에 설치된 지도를 보여주고 있다.

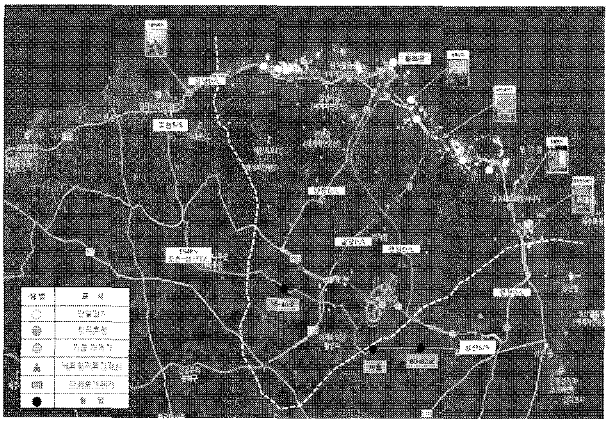


그림 2 배전지능화 시스템 현장설치도

2.3 디지털변전시스템

디지털변전소시스템의 실증 성과물은 상위시스템 2종과 IED 26대를 실증대상으로 설계하고 현장에 설치하였다. 표 2는 디지털변전소 시스템의 구축현황을 보여주고 있다. 실증을 위해 현장에 구축한 현황을 살펴보면, 실증 변전소 내 운전 중인 전력설비(주변압기, GIS, 보호계전기 등)는 현 운전방식대로 운전하고, 실증용 디지털변전시스템(IED 및 SA운영시스템)은 별도의 Test Bed용 배전반(IED반 및 운영시스템반)을 설치하여 병렬로 운전하며, HMI는 단독 Console 구조로 설치하였다. IED 통신포트 및 Network는 이중화 구성하고 광케이블로 구축하여 IED반과 운영시스템은 IEC 61850방식으로 광케이블 사용하여 연결하였다.

운전 중인 전력설비와 IED반간 연계는 제어케이블을 사용

표 2 구축현황

연구 성과물	개 발	실증계획	설 치	비 고
상위시스템 (HMI, G/W)	4대(2종)	4대(2종)	4대(2종)	응용SW 포함
IED	26대	26대	26대	
합 계	**30대**	**30대**	**30대**	

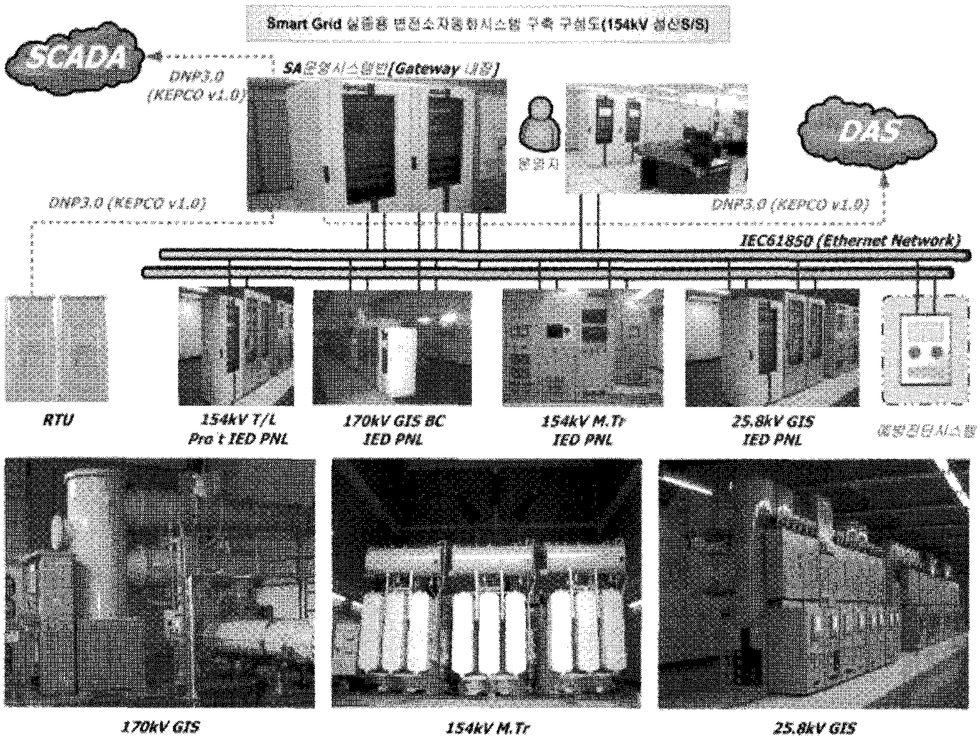


그림 3 디지털변전소 시스템의 현장설치 화면

하여 연결하였고, IED의 D/I, D/O접점 출력상태 확인을 위하여 I/O Box를 설치하였으며, IEC 61850 방식으로 광케이블 이용하여 운영시스템과 연결하였다.

전력설비(M.Tr, GIS)와의 제어케이블 연결은 IED반의 셀렉터 스위치를 이용하여 실 계통 운전에 지장이 없도록 구성하였고 전력설비 휴전시 현장 GIS로 절체하여 설비연계 시험을 시행하였으며 실증용 IED의 CT, PT 입력상태 확인을 위하여 해당 전력설비의 계측용 CT 및 PT회로를 추가로 구성하였다.

또한, IED와 제어케이블을 연결하기 위해 보호용 CT/PT 사용여부는 실무부서와 별도 협의하여 수행하였다. 그림 3은 디지털변전소 시스템의 검증을 위해 연구성과물이 현장에 설치된 것을 사진으로 보여주는 것이다.

2.4 능동형텔레메트릭스시스템

송전선로 감시시스템인 능동형텔레메트릭스시스템의 구축현황은 볼센서 2대, 데이터 중계장치 1대, 주장치인 HMI 1대로 구성되었으며, 자세한 내용은 표 3에 잘 나타나 있다.

표 3 실증대상 품목 및 현장설치 현황

실증 대상		수 량	설치 장소
능텔 송전 설로 감시 진단 시스템	볼센서 (스마트센서)	2대	○ 154kV 조천-성산T/L 2경간 - 80~81~82호 ○ 애자련 끝단에서 2m 지점 - 현수, 내장철탑
	데이터 중계장치 (FJB/LNB)	1대	○ 154kV 조천-성산T/L - 성산변전소 옥상에 설치
	HMI(송전선로 상위시스템)	1식	○ Powergrid 실증 운영센터 (SG홍보관 3층)

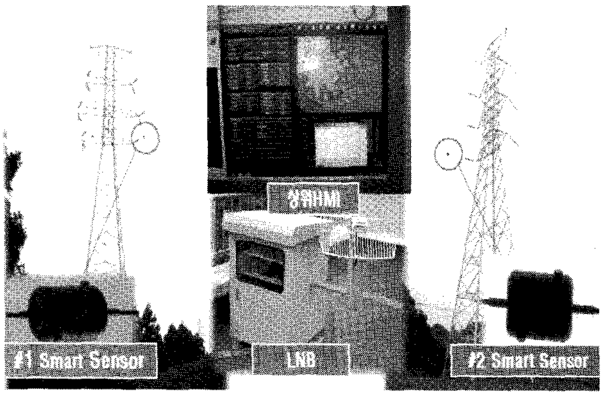


그림 4 스마트 센서 설치 위치 및 상위 시스템

제주 성산변전소 154kv 송전선로에 스마트 볼센서 2기를 설치하고, 감시실에 설치된 감시진단 상위시스템을 업그레이드하였다. 스마트 볼센서와 송전선로 감시진단시스템에 대해 주기적으로 Logging Data를 수집하여 통신시험 및 성능시험 분석 확인결과 정상 범위 내에서 동작 되었다. 설치 후에 스마트 센서 초기 설치 데이터 수집을 하였으며 현장 점검 및 감시진단 운전시스템 상태 점검, 표준 센서와의 데이터 비교 및 Calibration을 하였다. 세부 내용으로 스마트센서 설치자 교육 및 기존 운전 정보 취득으로 송전설치 작업자 교육 선로 주변 무선통신 환경 점검 스마트 센서 측정 데이터 분석하였고, 스마트센서 2기 및 송전선 감시진단시스템 업그레이드는 성산 변전소 154kV 철탑에 설치하여 통신 서버 프로그램 업그레이드 및 네트워크 시험 운전을 하였다.

센서 네트워크 구성 및 스마트 센서 계측 데이터 검토는 스마트센서가 60A에서 정상 동작함을 확인 스마트센서에서 계측하는 센서 데이터 확인 (선로온도, 기울기, 풍향/풍속, GPS, 선로 전류)을 하였으며 스마트 센서 계측 데이터 보정은 전류 센서, 온도 센서, 기울기 센서, GPS 계측 오차 캘리브레이션, 송전선로 이도 추정 데이터 평가, 한전 홍보관 통합서버와 네트워크 구성이 이루어짐을 확인하였다. 그림 4는 스마트 센터 2기와 통신중계장치인 LNB 상위 HMI로 구성되었다.

2.5 지능형 송전시스템

지능형송전시스템은 송전망관리시스템, 전압관리시스템(VMS : Voltage Management System), 위성망을 이용한 위기관리시스템으로 구성되어 있다. VMS는 주장치와 무효전력 분배기, 현장정보 취득기 등을 활용하여 계통데이터를 실시간으로 측정하여 무효전력을 계산하고, 그 결과를 발전

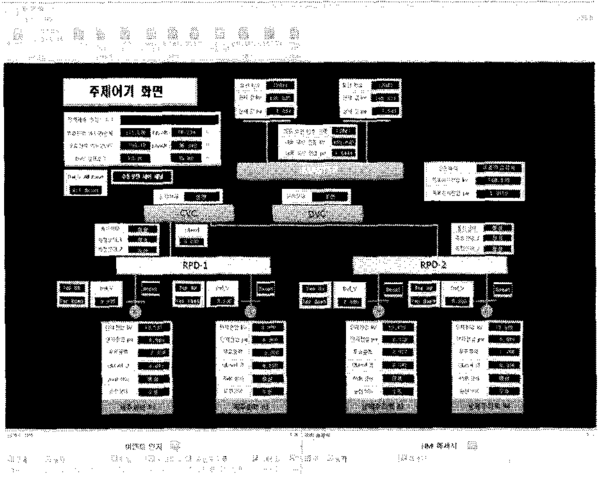


그림 5 지능형송전/VMS HMI

소 AVR과 변전소의 무효전력제어장치를 조정하여 무효전력을 관리하는 기능을 수행한다.

위기관리시스템은 발전소와 변전소 모선의 전압위상차를 GPS시간 동기를 맞추어 측정함으로서 전력망의 안정성 여부를 판단하는 시스템이다. 발변전소에 설치되어있는 PMU(Phasor Measuring Unit)가 제공하는 정보를 GPS의 시간동기정보를 이용하여 위상각 차이를 측정하고, 이 위상각 차가 벌어지면 계통의 안정도에 문제가 있다고 판별하여 운전원에게 경보를 보낸다.

송전망관리시스템은 송전철탑에 설치된 각종 센서 정보를 받아 송선선로의 안전유무를 판정하고 운영자에게 이상 유무 정보를 제공하는 시스템이다.

2.6 통신네트워크 인프라 시스템 구축내역

제주 실증단지 SPG 통신 인프라를 구축하기 위해서는 기존에 구축되어 있는 상태를 확인하고 추가나 신규로 구축해야 할 대상을 파악하여 현장을 조사하였다. 조사 결과 송전선로를 이용한 OPGW 30km를 일부 사용하고 5개 배전선로에 광케이블과 OPSW 케이블 96km를 신설하는 방안을 검토했고 각 시스템을 연계하기 위한 통신망을 설계하여 그림 6과 같이 구축하였다.

전력IT 실증과제와 배전지능화 연구성과물의 원활한 성능검증을 위한 통신망을 효율적으로 구축하여 한전 컨소시엄의 광대역통신망을 제공하여 성공적인 스마트그리드 사업을 지원하고 디지털변전소의 디지털보호계통전송장치, 전력IT 연구성과물 감시시스템 등을 효과적으로 지원하기 위한 통신인프라를 구축하였다. 배전지능화 단말장치의 전송선로의 신뢰성 확보와 통신 트래픽을 확보하여 배전지능화 연구성과물을 효과적으로 실증하였다. 광통신망을 통한 신뢰성과 보안성을 검토하였으며, 송전지능화 및 능동형텔레메트릭스의 전송선로와 통신 트래픽을 분석하기 위하여 송전철탑에 설치되는 센서의 데이터를 취득하기 위한 전송로를 확보하기 위한 별도의 통신망을 구축하였다.

전력IT 연구과제의 통합시험망 환경구축을 위한 통신인프라를 구축하여 전력IT 연구성과물의 시험, 평가, 인증환경을 구축을 위한 시험평가망 체계를 구축하였다. 또한, 고품질의 광통신망 확보를 통한 송 · 배전선로의 감시장치의 운용을 효율화하였다. 위험 · 취약개소의 감시용 카메라를 설치하고 위험과 고장을 사전에 감시하고 예방할 수 있는 시스템을 구축하였다.

스마트그리드의 통신인프라 기반을 구축하여 Smart Place, Transport, Renewable 등 실증과제의 주간선망으로 이용하였다. 실증단지내 유 · 무선 통합네트워크 시험망의 기반 인프라를 구축하여 D-TRS, Wibro, B-CDMA 등을 이용한 무선망과 광통신망의 통합 플랫폼의 완성을 위한 기반인프라와 통신 기술을 지원할 수 있도록 하였다.

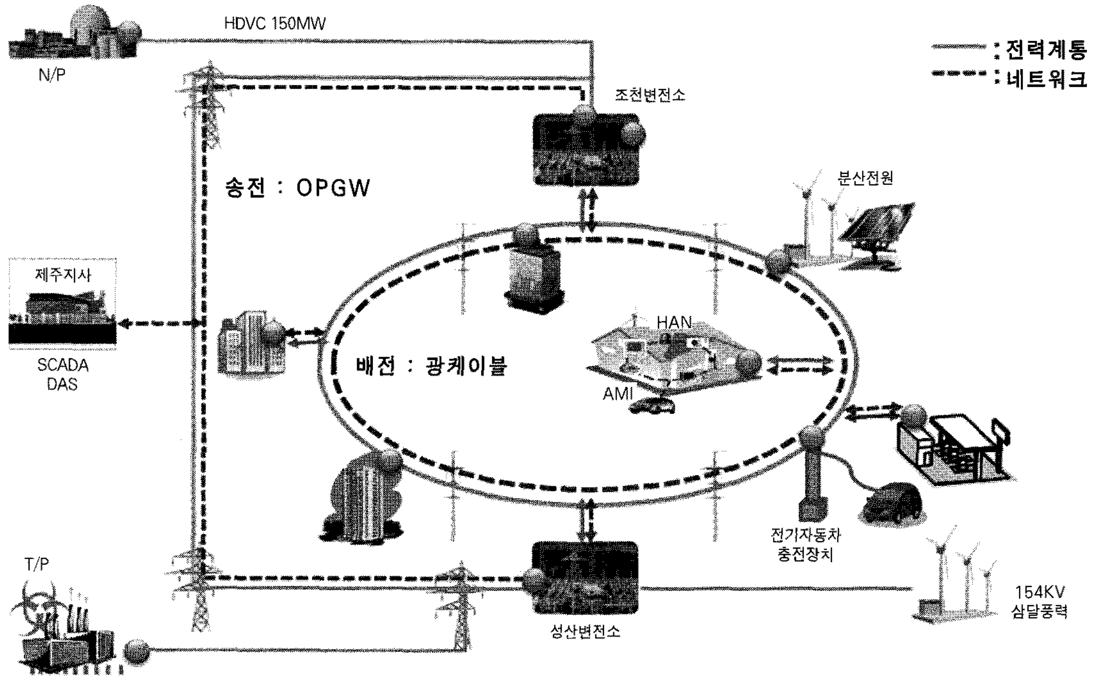


그림 6 제주 실증단지 Smart Power Grid 실증사업 네트워 구성도

3. 결론

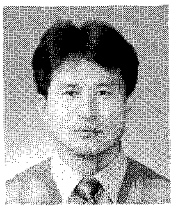
SPG운영시스템은 송전, 변전, 배전분야의 운영시스템을 스마트 국제표준인 IEC 61970과 IEC 61968(CIM)로 통합한 시스템이다. 이 SPG는 다른 스마트그리드 운영시스템인 ST, SR, SP, SES 등과도 CIM으로 연계가 되어 전체 스마트그리드 컴포넌트간에 데이터를 공유하게 된다. SPG 실증시스템은 제주SG실증단지에서 2011년부터 시범운전을 시작하였으며, 2013년 5월까지 일부 설비의 추가 구축과 CIM 모델을 적용한 연계 및 통합운전을 실시하여 세계 최초의 스마트그리드 모델을 완성할 예정이다.

또한, 제주 스마트그리드 실증단지의 향후 통신인프라 구축방향은 다양하고 실증기기와 산재해 있는 설비의 효율적인 실증을 위하여 실증기기별 통신환경에 적합한 통신망을 설계하고 통신망의 운영을 통한 향후 스마트그리드 확대와 사업화시 최적의 통신인프라를 제공할 수 있도록 구축해야 할 것이며 특히, 전력계통에 적합한 보안정책을 수립하여 국가기간망인 전력설비를 효과적으로 운영할 수 있도록 구축하여야 할 것이다.

참고문헌

〔1〕 이성우외, "전력IT 실증플랜트 구축 및 운영" 1단계 최종보고서", 지식경제부, 2011.
〔2〕 장문종 외, "전력계통 관리와 정보교환 표준화기술에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 183-184, 2006
〔3〕 장병태 외, "디지털 기술기반의 차세대 변전시스템 개발", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 256-257, 2006
〔4〕 이동철, "능동형텔레메트릭스 전력설비상태감시시스템", 대한전기학회 전기물성 · 응용부문회 Techno-Fair 및 추계학술대회 논문집, 69-102, 2008
〔5〕 김대경, "지능형 송전 Network 감시 · 운영시스템 기술개발", 조명 · 전기설비학회지, 21권 6호, 12-18, 2007.12

〈필 자 소 개〉



이성우(李聖雨)

1960년 3월 1일생. 1999년 건국대 대학원 전기공학과(공박). 1990년 한전입사. 1992년~현재 한전 전력연구원 근무. 배전IT 분야 책임연구원, 배전지능화 및 전력 IT 시스템 분야 연구.