



스마트그리드 신기술



황우현

KEPCO 스마트그리드사업처 SG실증팀장

1. 개황

스마트그리드 기술의 요체는 송전, 변전, 배전망에 설치된 전력설비와 운영시스템을 정보통신기술과 접목

하여 지능화함으로써 설비 고장과 손실을 최소화하고, 신재생에너지원의 전력계통 접속이 증가하거나 태풍과 같은 자연재해에도 안정적인 전력계통을 운전하는데 있다.

지난 1990년대 중반까지만 해도 송전망의 운영은 SCADA를 이용하여 원격으로 전압, 전류 등의 상태 값을 취득하여 관리해 왔다.

배전의 경우에는 변전소에 설치된 SCADA로 모니터링 하여 선로별 과부하 여부에 따라 설비증설이나 부하 분배 등으로 이용률을 관리해 왔다.

이후 송변전설비의 확충과 함께 디지털계전기, FACTS, STATCOM 등 기술개발을 추진해왔으며, 배전 계통은 배전자동화시스템을 2002년에 전국 설치를 완료 함으로써 배전계통관리가 완전히 자동화되어 실시간으로 배전선로의 전압과 전류, 고장유무를 파악할 수 있게 되었다. 또한, 고장 시에는 현장에 가지 않고도 고장 구간을 원격으로 차단하고 건전구간은 즉시 전력 공급이 가능해졌다.

전력설비는 매년 방대한 양의 설비증가에도 불구하고 기자재 품질향상과 컴퓨터를 활용한 운영시스템의 지능화로 정전시간이 호당 15분, 송배전손실이 약 4%대에 달하고 있어 선진국 수준의 전력공급과 운영이 이루어지고 있다.

이러한 전력 공급환경은 향후 원유가격 상승과 지구 온난화가 심해지면 전력 소비자들은 높은 전기사용료를 지불하여야 하기 때문에 신재생에너지를 이용한 전력 생산의 확충이 불가피하게 된다. 또한, 화석연료의 사용으로 배출되는 이산화탄소 의무감축이 전 세계적으로

본격화되면 신재생에너지의 비율이 2030년까지 11%로 확대될 것이다.

신재생에너지가 송배전전력망에 접속되는 비율이 증가 하면 전력망을 안정적으로 운영하기 위해서는 3만km에 달하는 송전선로와 731개소의 변전소, 43만km의 배전 선로에 태양광이나 풍력과 같은 신재생에너지원으로 발전된 전력의 품질을 감시하고, 계통에 접속된 부하량에 따라 적절하게 운영하기 위해 상태감지장치와 차단기를 설치하여 전력 공급 구간의 재배치가 상황별 시나리오에 따라 신속히 이루어져야 한다.

또한, 전력공급 설비가 노후되어 돌발적인 고장으로 정전을 유발시키는 빈도가 늘어날 수밖에 없다. 우리나라의 설비관리는 이미 1990년대 중반부터 인력중심의 설비 관리체계를 자동화시스템에 의해 운영하도록 전환함으로써 지난해 말에는 전력손실이나 고장정전 시간이 크게 감소하였다. 이것은 태풍이나 폭설로 발생 하던 광역고장은 크게 줄고, 수목이나 조류, 낙뢰와 같은 시스템을 이용한 관리가 곤란한 요인에 의해 국부정전이 발생하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 전력설비 운영과 고장을 발생시키는 요인을 상호 분석하여 사전에 방지 하는 체제로 전환시킬 필요가 있다.

태양광이나 풍력과 같은 분산전원은 소규모 가정용이나 가로등, 공공용으로 개발하여 사용하여 왔으나, 도심지와

[표 1] 송배전설비 현황과 전기품질

(2011. 12)

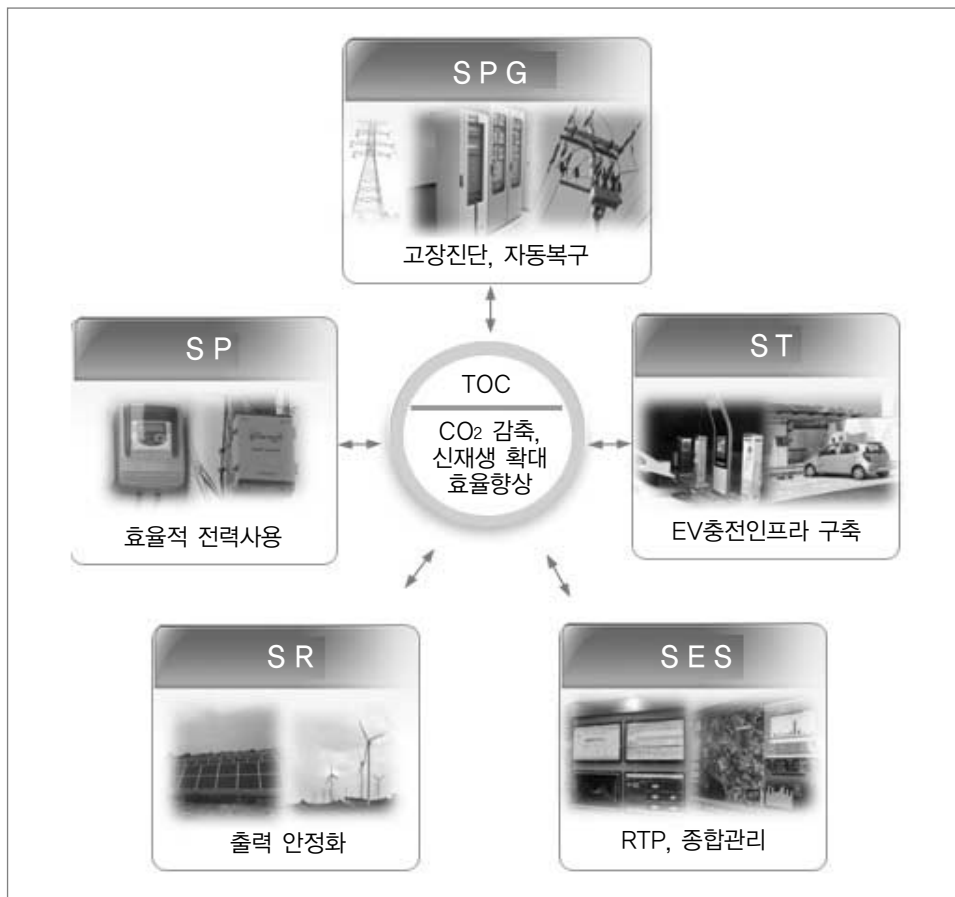
송변전			배전			전기품질	
회선길이 (C-km)	지지물 (천기)	변전소 (개소)	선로길이 (C-km)	지지물 (천기)	변압기 (천대)	정전시간 (분/호)	송배전손실 (%)
31,249	41,151	749	435,549	8,463	2,005	12.40	3.83

가까운 곳에 해상풍력, 메가 솔라와 같은 대규모 신재생 발전단지의 증가는 송전거리의 단축으로 전력손실을 줄일 수 있다. 신재생에너지원은 기상 상태에 따라 발전 출력이 결정되므로 이에 대한 대응방안과 전기품질의 유지 방안이 필요하다.

고객설비는 전등이나 모터와 같이 단순히 스위치를 켜고 끄는 방식에서 컴퓨터를 이용한 생산시설의 정밀화와 인터넷을 이용한 정보교환 및 전자상거래가 활성화되어 순간적인 정전만으로도 막대한 생산 차질이나 경제적 손실을 초래할 수 있다. 가정에서도 대부분 디지털화된 가전기와 시스템에 의해 방법, 인터넷, 에너지관리를 하고 있어 보다 고품질의 전력 공급이 필요하다.

전기자동차 운행에 필요한 전기 충전은 전력회사의 공급 전력을 이용하여 주간 또는 심야에 충전하거나 풍력이나 태양광에 의해 생산된 전력을 이용할 수 있다. 충전 장치는 급속과 완속으로 분류되며, 급속의 경우 20분, 완속은 6시간 정도가 소요된다. 이 경우 전기자동차 충전을 위해 기존 배전망과 변압기 같은 전력설비를 가능한 교체하지 않고 주·야간 부하의 사용 패턴을 고려하여 시스템에 의해 충전하는 방식 도입이 필요하다.

이와 같이 전력망에 다양한 부하설비와 전원공급 장치가 접속하게 되는 경우 이 모든 것을 통합하여 모니터링하고 상황에 따라 전력의 공급과 고장발생 시 대응할 수 있는 시스템이 필요해진다. 이러한 관점에서 송전, 변전,



[그림 1] SG구성 개요도

배전망의 전력설비 상태를 통합하여 모니터링하고 운영할 수 있는 스마트그리드의 기술개발이 추진되고 있는 것이다.

스마트그리드는 SPG(Smart Power Grid), 신재생 에너지원의 출력안정화와 품질을 관리하기 위한 SR(Smart Renewable), 전기자동차의 운행에 필요한 충전장치와 운영시스템을 개발하는 ST(Smart Transportation) 그리고 전력소비를 지능화하는 SP(Smart Place) 및 전력공급과 소비의 합리적 지원과 다양한 요금제를 통해 피크와 전기요금을 줄일 수 있는 SES(Smart Electricity Service)의 5개 분야로 나누어 추진되고 있다.

이 사업은 1단계인 2009년 12월부터 2011년 5월까지 각 분야별 인프라 구축을 완료하였고, 2단계인 2011년

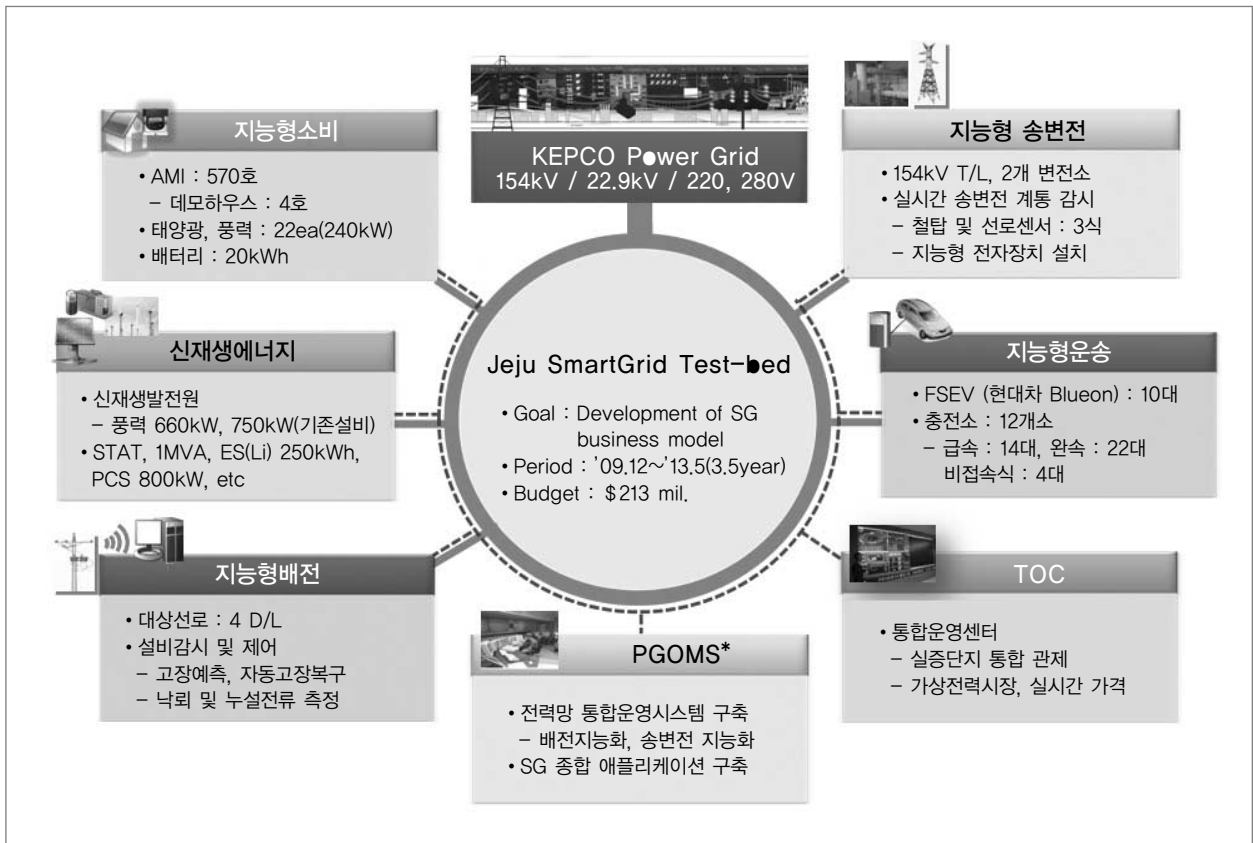
6월부터 2013년 5월까지 설치된 인프라의 운영과 보장을 통해 성능 검증과 표준화를 완료할 예정이다.

2. 기술 실증 현황

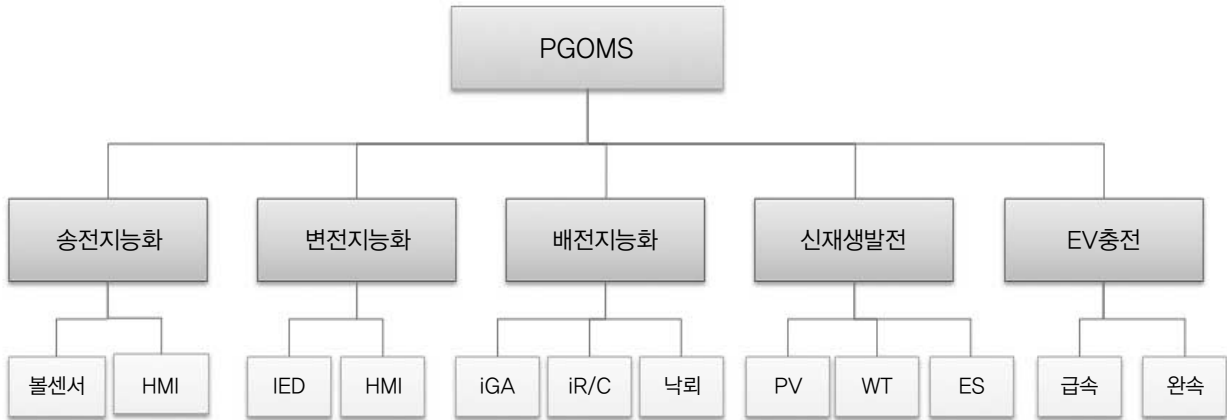
가. 실증 시스템의 구성

실증단지에는 SPG, ST, SP, SR, SES를 상호 연계하여 데이터를 수집하고 성과를 분석하고 있다.

SPG의 경우 배전선로와 변전소, 송전선로에 설치한 지능화 기기로부터 취득된 데이터를 PGOMS(Power Grid Operation and Monitoring System)에서 관리한다. ST는 행정관서와 관광지 등 주요장소에 설치된 충전장치의 상태감시와 요금부과 등을 관리한다.



[그림 2] 제주 스마트그리드 실증시스템 구성도



[그림 3] 지능형 전력망 구성 및 실증 장치

또한, SP는 공공기관과 펜션, 주택 등을 대상으로 소규모 신재생에너지와 스마트미터, 전기차 충전장치, 스마트가전 등을 HEMS로 연계, 관리하는 구조이다.

이러한 시스템은 TOC(Total Operation Center)에서 필요한 데이터를 취합하여 분석하고 상황별 대응할 수 있다.

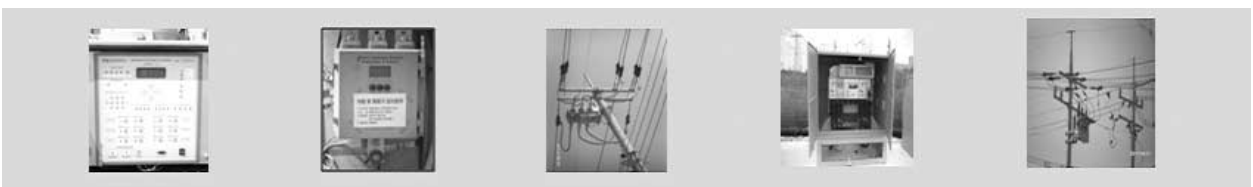
SR은 풍력이나 태양광, 소수력에서 생산된 전력을 배터리와 연계하여 안정화시키고, 품질을 관리하는 기능을 수행한다. SES는 피크감축과 수요조절을 위해 IHD(In House Display), AMI 등을 설치하여 다양한 요금제의 선택으로 소비의 효율화를 실증하고 있다.

나. 지능형전력망(SPG)

전력망의 지능화는 전력IT 통합실증 기술개발과 테스트 베드를 구축하여 송배전계통 지능화에 필요한 장치로서 지능형 감지장치는 볼 센서, IED(Intelligent Electronic Device) 및 낙뢰감시 장치가 설치되어 있다.



[그림 4] 실증 송변전 IED



[그림 5] 실증 배전지능화 기기

또한, 배전선로에는 신재생발전원의 배전계통 접속에 대비하여 양방향 리클로저, 지능형개폐기 등을 설치하고 성능을 검증 중이다. 현장에 설치된 기기는 광과 Zigbee 통신망으로 연결하여 각각의 운영시스템과 연계되었다. 연계를 통해 수집된 데이터는 데이터베이스에 저장하여 최종적으로 PGOMS에서 운영되게 된다.

지능형 송변전 기술개발은 154kV 조천~성산 송전선로와 조천·성산변전소를 대상으로 추진되고 있다. 송전용량 증대를 위해 볼 센서, 기상관측 센서, 감시진단 시스템을 설치하고 송전용량 산정프로그램이 개발되고 있다.

지난 5월에 1단계 사업이 완료된 시점에서 볼 센서, 송전선로, GIS, M.tr용 IED가 설치 완료되어 IEC 61850기반으로 연계운전 중에 있다.

2단계가 착수된 2011년 6월부터는 볼 센서 2세트와 배전선로용 IED를 추가로 설치완료하고 HMI(Human Machine Interface)를 개발할 예정이다.

지능형 배전은 배전선로에 설치된 설비의 고장예측과 자동복구를 위해 성산변전소의 4개 배전선로를 대상으로 지능형 개폐기와 FRTU, 차단기, 낙뢰 감시 장치 그리고 제어용 지능화시스템을 설치하고 운영 중이다.

2단계 실증에서는 무효전력제어기, 원격 전압 감시 장치, 변압기 상태 감시 장치를 설치하고 응용프로그램을 개발할 예정이다. 무효전력제어기는 배전계통에 신재생발전원이 설치됨으로써 유효전력과 무효전력의 균형을 상호 연동하여 보상할 수 있도록 개발, 실증할 예정이다. 또한, 변압기 내부에 센서를 설치하여 과부하와 열화 상태를 감시할 수 있으며, 이장치는 모두 PGOMS와 연계하여 데이터를 저장하고 추세분석으로 기기의 열화 예측과 진단이 가능해 진다.

PGOMS에서는 전력설비의 상태모니터링, 고장예측 및 대응이 가능한 SG기반기술을 이용하여, 외물접촉 등의 고장예방으로 신뢰도는 30%, 설비 이용률은 10% 향상될 것으로 전망된다. 또한, 주변압기, GIS의 상태 감시 및 진단을 위해 GAS 압력, PD 등을 검출하여 고장을 감측시키고, 디지털계전기와 광케이블 등을 이용하여 배전반의 콤팩트화가 가능해져 건설비 절감이 가능해 진다. 배전계통도 고장예방과 안정도가 향상되어 고장이 20% 감소되고 배전선로 손실을 감소시켜 이용률이 10% 이상 향상될 것으로 예상된다.

다. 지능형 운송(ST)

전기자동차용 충전장치는 전력공급 뿐만 아니라 충전요금의 과금과 밀접한 관계가 있다. 전기자동차를 이용하여 도로를 운행할 때 운전자는 배터리의 충전 잔량과 충전을 하기 위한 충전소의 위치 정보가 필요하게 된다.

또한, 휴가철 등 특정지역에 전기자동차가 밀집될 경우 충전가용 설비의 정보를 제공할 수 있어야 하며, 전력 공급도 원활히 할 수 있는 조건이 준비되어야 한다.

현재 충전장치별 충전방식을 개발하고 충전, 실시간 결제 등 기술 개발과 실증이 진행되고 있으며, 운영시스템 및 사용자 편의성을 고려한 부가서비스가 개발되고 있다. 충전장치는 충전스탠드와 충전기를 분리 운영하는 멀티형과, 공동 주택형, 이동 설치형 등 보급형 모델 개발을 추진 중이다.

전기차 충전장치는 완속과 급속으로 구분되며 충전 시간은 각각 6시간과 20분 정도가 소요된다. 여기에 사용되는 정격전원은 완속의 경우 입출력이 모두 단상 220V AC이고, 급속은 입력이 삼상 380V AC, 출력은 450V DC이다. 기기의 효율은 모두 90% 이상이며 역률은 완속이 95% 이상, 급속은 90% 이상이다.

[표 2] 보급형 충전장치 모델

멀티형 충전(2개소)	공동주택형 충전(1개소)	이동설치형 충전소(1개소)
 <p>주요기능(통신, 결제) 공유로 가능, 구조 단순화</p>	 <p>공동주택에 최적화된 고객인증, 충전기능 보유</p>	 <p>충전수요가 집중되는 곳에 이동 설치하여 이용률 극대화</p>

[표 3] 급속·완속 충전기 특성 비교

구 분	완속 충전기	급속 충전기
용량(kW)	7.7	50
충전시간(시간)	5~6	20
정격	입·출력(1상 220VAC)	입력(3상 380VAC), 출력(450VDC)
효율(%)	90	90
역률(%)	95	90

현재 제주에는 전기차 충전소 12개소에 충전기 40대를 설치하고 있다. 충전기는 급속과 완속으로 구분되어 각각 14대와 22대를 설치하였으며, 비접촉 4대와 배터리에 의한 충전장치도 1대가 구비되어 있다.

이 외에도 타 컨소시엄에서 설치하고 있는 것을 포함하면 충전소는 총 76개, 충전기는 총 172대이며, 90대의 전기차가 렌터카, 카 셰어링 등으로 운영될 전망이다.

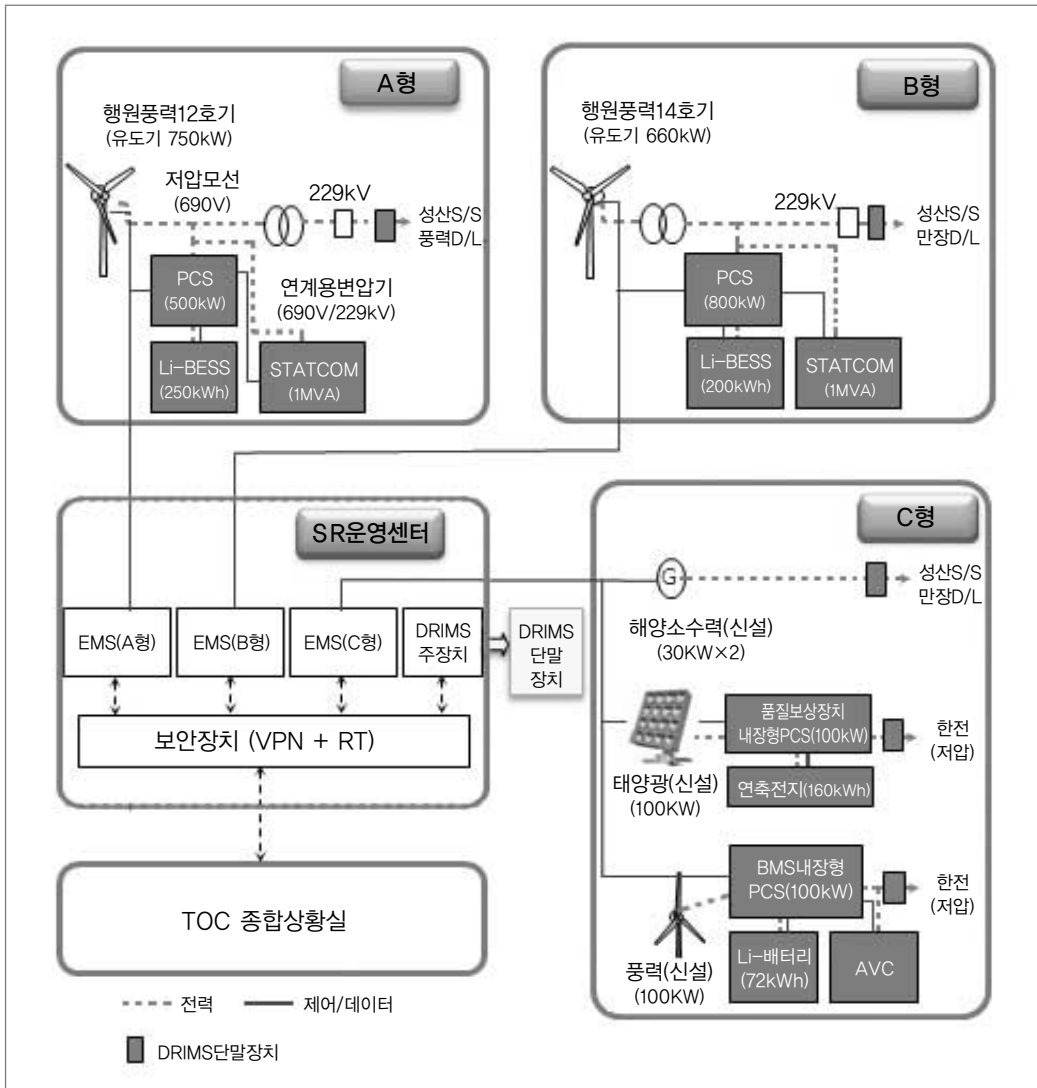
라. 지능형 신재생(SR)

풍력과 태양광 발전은 기상에 따라 발전량이 변동하게 된다. 바람이 불다가 약해지거나 구름이 끼게 되면 발전기의 출력이 약해져 전력계통의 안정적 운전에 영향을 미치게 된다. 실증단지에는 750kW, 660kW, 100kW의 풍력발전기와 태양광 100kW, 소수력발전 60kW를 확보하고 PCS, STATCOM 등 품질보상장치를 연계, 설치하였다.

신재생에너지원 중 풍력발전기는 제주도 행원지구에 설치하여 운영 중인 것을 임대로 확보하여 전력 저장장치인 리튬이온 배터리 250kWh와 200kWh를 각각 연계하여 운전하고 있다. 태양광 발전에는 VRLA 축전지 60kWh와 연계하고, 소형풍력에는 역시 리튬이온 배터리 72kWh용을 설치, 성능을 실증 중이다. 발전된 전력을 AD/DC로 변환하여 배터리에 저장하고 충·방전 출력을 조절하는 제어 장치는 풍력, 태양광, 소형풍력용으로 500kW, 800kW, 100kW용을 설치하여 운전 중이다.

신재생에너지원은 기상에 따라 발전량을 예측하여 발전된 전력을 전력계통에 안정적으로 공급할수 있어야 하기 때문에 발전량 예측시스템이 구비되어야 한다.

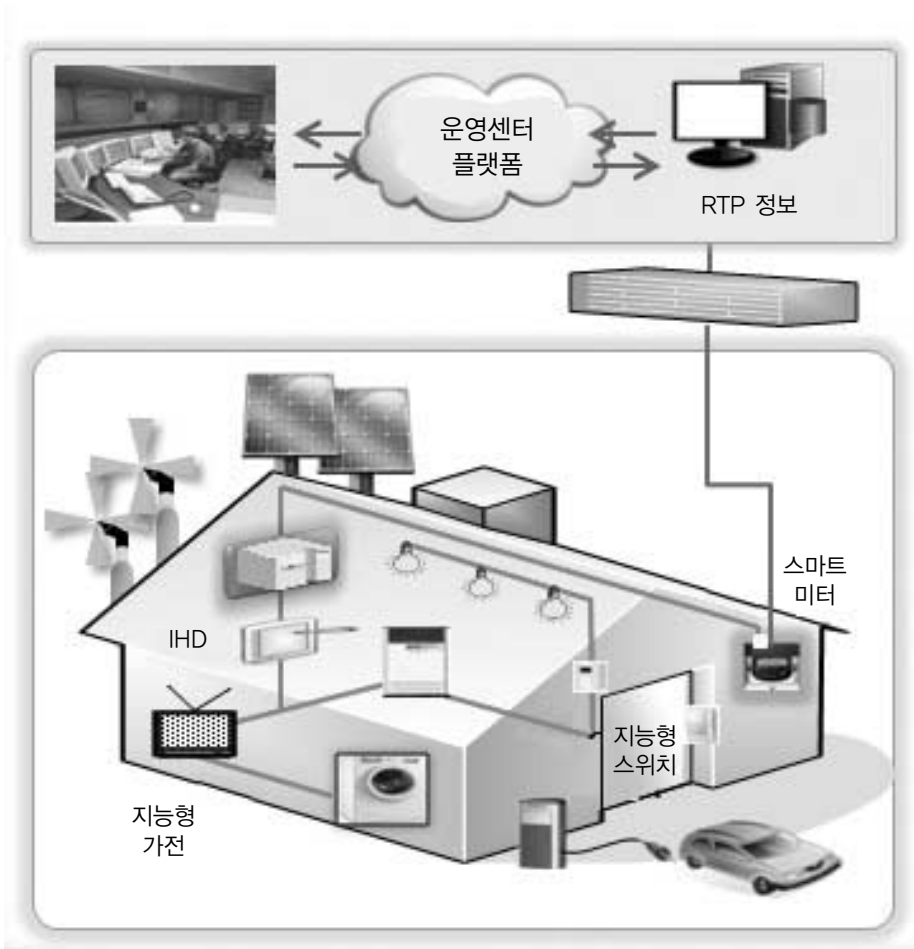
발전량 예측은 기상청에서 제공하는 정보나 기상감지 장치를 이용하여 발전량을 기간단위로 예측할 수 있다.



[그림 6] 신재생발전 실증 구성도

[표 4] 5대 기술개발 및 시험 내용

구 분	시 험 내 용
신재생발전원 전력품질개선	전력품질보상장치를 활용한 전류, 전압, 역률 제어시험
전력계통부하 응동출력제어	에너지저장장치를 활용한 정출력 제어 · Energy Shift 제어시험
신재생발전원 출력 안정화	신재생발전원의 출력 변동폭(Smoothing) 제어시험
풍력발전량예측 및 전력거래	풍력발전량 예측으로 발전량 자동제어시험, D-1일 실시간 입찰에 따른 전력거래 지원시험
독립공급계통 구성 운전	신재생발전계통의 독립 · 연계운전 연동시험



[그림 7] 지능형 전력소비 구성도

실증단지에서는 풍력, 태양광 발전기기의 운전상태 감시, 제어, TOC와 연계된 전력거래 지원시스템과 장단기 풍력 발전량 예측시스템을 개발하고 운영 중이다.

마. 지능형 소비(SP)

지능형 전력소비는 신재생에너지원과 전기차 충전, 전력 저장장치, 지능형 가전을 스마트미터 기반으로

[표 5] 스마트미터 기능 비교

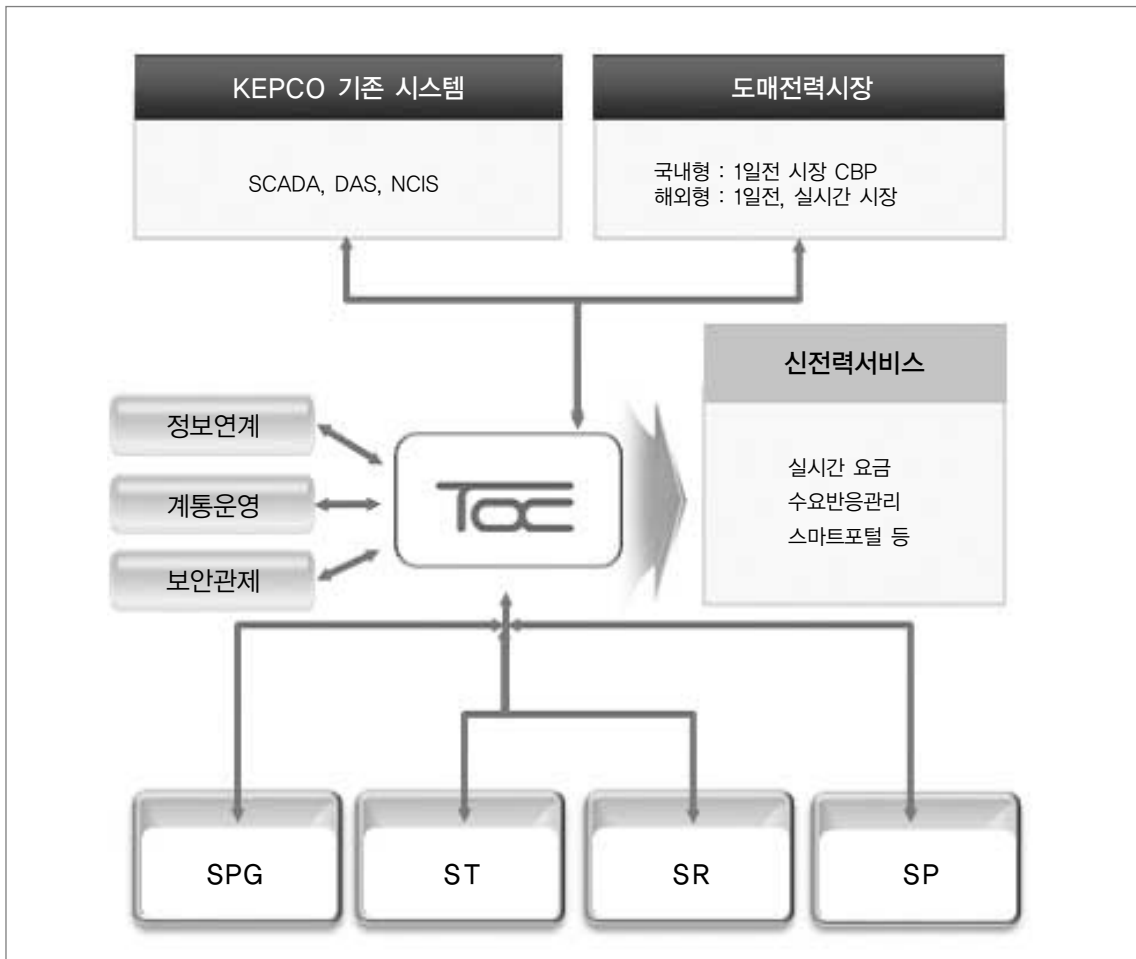
구 분	표준형	G-type
계량방법	단방향	양방향
원격제어 기능	신호제공	신호제공 + On/Off
계절구분 / TOU	없음 / 가능	있음 / 가능
전기품질(PQ) 감시	불가	전압 · 전류, THD, 정전정보
원격 Upgrade	불가	가능

연계하여 전력소비를 최적화하는 것을 의미한다. 가정에 소형 풍력과 태양광 발전기를 설치하여 생산된 전력을 전력 저장장치에 저장하여 출력 안정 및 고품질의 전력을 공급하고, 전력회사의 공급전원은 예비로 사용할 수도 있다.

또한, IHD와 스마트미터를 H-EMS와 연계하여 다양한 방법의 전력거래도 가능하다. 배터리에 저장된 전력으로 피크시간에 가전기기를 사용하여 전력계통의 피크를 감축할 수 있다. 실증단지에서는 1단계로 570호를 대상으로 AMI를 설치, 완료하였으며, OMS와 NMS부가서비스를 개발하여 운영 중이다.

AMI는 약 400호를 대상으로 설치하였고, D-TRS와 와이브로, 광 통신망을 구축하여 DCU와 모뎀을 통해 제어센터와 연결되어 있다. 제어센터와 현장시스템의 보안을 위해 방화벽을 설치하고 실증 중이다.

구축된 시스템으로부터 NMS를 이용하여 통신 상태를 실시간으로 감시할 수 있고, 이상 시에는 신속한 조치가 가능하다. 또한, OMS는 실증에 참여한 가구별 정전 상태를 파악하고 고장 복구지원이 가능하다. 향후 배전 자동화시스템과 연계하여 정전지역과 원인의 파악할 수 있다. EIP(Energy Information Portal)를 이용하여 전력의 사용량과 요금정보를 사용자에게 제공하면 현재



[그림 8] 스마트 서비스 실증 구성도

사용량을 기반으로 향후 전력사용량을 예측할 수 있으며, 계약규모나 적정 소비량을 유도할 수 있다.

스마트 플레이스는 전체 약 3,000호를 대상으로 스마트 미터, 전기차 충전기, 태양광, 풍력발전기와 배터리를 연계하여 통합관리 하는 방식으로 실증이 진행되고 있다. 스마트 미터는 표준형과 G-Type로 분류하여 개발하고 시범사업 시행 후에 본격 확대를 추진할 예정이다.

바. 지능형 전력서비스(SES)

전력을 생산하여 판매하는 측과 소비하는 과정의 정보 공유를 통해 전력소비 절감과 피크의 감축으로 효율적인 전력설비의 이용과 이산화탄소의 배출감소에 기여할 수 있다. 이를 위해서는 서비스 포털을 구축하여 고객이 자신의 정보를 웹상에서 확인하고 대응할 수 있도록

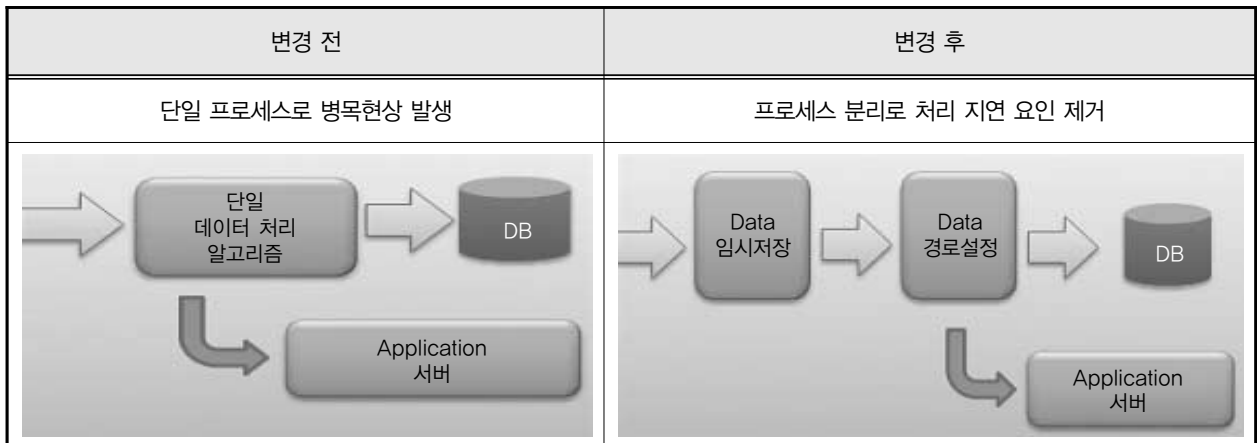
데이터의 연계가 필요하다. 즉, 고객이 일정기간 단위로 요금정보, 지원금, 에너지 사용목표 등 자신만의 에너지 사용관리를 다양하게 할 수 있고, 전력회사에서는 고객을 대상으로 전력사용 패턴을 실시간으로 분석하여 정보를 제공해 주고, 수요반응과 시뮬레이션, 최적 실시간 가격 추적기능 등을 할 수 있다. 또한, 실증단지에서 운영되고 있는 각종 기기의 동작상태, 전기차 충전소, 이산화탄소 배출저감, 전력거래 시장과 신재생에너지 발전상태 등의 정보를 통합관리하고 있다.

2단계 실증기간 동안 다양한 데이터를 MDMS 내에 취득하여 설계된 TOU, RTP를 검증하여 표준화하고 스마트미터가 설치된 지역을 대상으로 확대·적용이 추진될 예정이다. 고객에게 정전이 발생하였을 경우 전력 계통의 상태 정보를 SPG와 연계하여 즉시 파악이 가능

[표 6] 스마트 전력 서비스 요금제도 비교

구 분	주택용	저 압		고 압
		10kW 이하	10kW 초과	
실시간요금제	실시간 TOU	실시간 TOU	RTP(1시간)	RTP(15분)
CBL 적용수준	70~80%	70~80%	60~80%	50~80%

[표 7] MDMS 기능 개선



하고 정전구간 정보를 실증단지 내에 공유할 수 있다. 또한, 전기자동차, 신재생에너지원, 스마트 홈 등에서 연관된 전력사용 정보나 설비관리 상태를 모니터링 하여 통합관리가 가능하다.

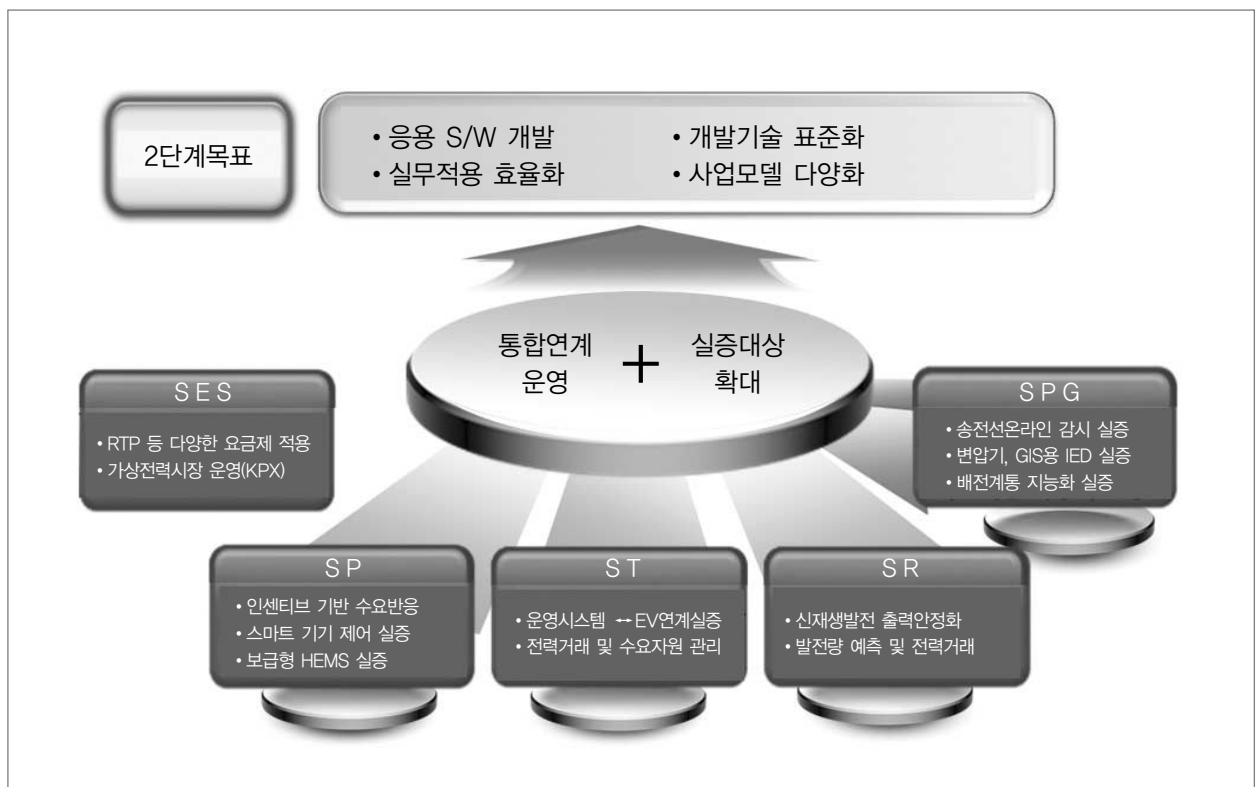
3. 향후 계획

스마트그리드 기술 개발 2단계는 2011년 6월말부터 2013년 5월까지 진행된다. 1단계에서 설치된 인프라를 이용하여 다양한 응용프로그램의 개발과 실계통의 적용을 통해 개발된 기술을 표준화하고 사업화 모델을 개발하여 상용화와 해외진출 기반을 마련하게 될 것이다. SPG는 송전, 변전, 배전을 대상으로 설비감시용 센서와 계통 제어용 지능화기기를 설치하여 응용기술을 실증하고,

SR은 신재생발전원의 출력안정화 기술을 실 계통에 적용하여 품질감시 및 성능을 검증한다. 기상에 따라 발전량의 예측과 전력거래 기능도 실증할 것이다.

ST는 전기자동차를 이용한 사업모델에 따라 운영 센터의 시스템과 전기자동차를 연계하여 개발기능의 동작 상태를 실증하고, 자동차 충전전력의 전력계통과 연계하여 수요자원관리 기술도 검증할 예정이다.

SP는 IHD나 AMI를 이용한 전력거래 등 인센티브 기반의 수요반응을 실증하고 스마트 가전기기의 제어도 보급형 HEMS와 함께 연동하여 실증하게 된다. SES는 TOU, RTP등 다양한 요금 제도를 SP, SR 등과 연계하여 실증하고 가상 전력시장을 운영하여 국내외 유형별로 실증이 추진된다.



[그림 9] 스마트그리드 2단계 실증분야별 목표

향후 실증단지에서 검증된 기술을 이용하여 다양한 비즈니스 모델의 개발이 진행될 예정이다. SPG는 실시간 송전계통의 상태를 센싱하여 상시, 비상 시 송전계통 운영 효율을 최적화하기 위한 송전용량 증대방안과 IED를 이용한 변전설비 고장예방, 배전계통의 신재생발전원 접속을 고려한 계통운영 프로그램, 산업단지, 도서지역 등에 적합한 독립형 전원공급시스템을 비롯해 대용량 전력 저장장치의 실증과 P&P형 인터페이스 장치 등도 중점 실증할 예정이다.

ST는 홈 충전소, 전기차 리스, 충전전력 판매 충전소형 모델을 사택, 공항, 호텔, 마트 등에 설치하고 성과를 검증할 것이다. SR은 전력품질개선, 피크분산, 출력제어 등을 실증하고, SP는 직접부하제어, RTP, 수요반응 등을 실증할 것이다. SES는 실시간 요금과 DR분석기술을 이용하여 최적의 수요관리 모델을 정립할 것이다. KEA