

한전의 전력계통 기술분야 연구개발 현황과 향후 전망

심응보 장병훈 신태우 명근식 박상덕

한국전력공사 전력연구원

Present Research Status and Future Trend of Power System Technology of KEPCO

E B Shim, B H Chang, T W Shin, K S Myung, S D Park

Korea Electric Power Research Institute of KEPCO

1. 서론

전력산업의 구조개편에 따라 전력의 생산과 판매에 경쟁체제를 도입하고 있는 전력망에서 전력계통의 안정적인 운전은 매우 중요한 일이다. 전력산업도 경제성을 중요시하면서 설비투자가 줄어들고 이에 따른 대규모의 광역정전사태가 빈번하게 발생하게 되어, 전력계통을 구성하는 설비를 신뢰성 있게 운영함은 물론 보다 상위 개념에서 전력계통을 효과적으로 운용할 수 있는 기술을 개발하는 것이 한층 더 중요하게 되었다. 또한 향후 10년 또는 20년 후의 전력계통에서 필요한 기술을 파악하여 미리 대비하는 것이 연구원의 역할이자 임무라고 할 수 있다. 본 기술소개에서는 한전이 운용하는 전력계통에 대한 일반적인 소개와 더불어 한전의 전력계통 기술분야의 연구내용을 세부 분야별로 소개하고 선진국을 중심으로 연구되고 있는 신개념의 미래 전력계통기술에 대하여 소개한다.

2. 본론

2-1. 한전 전력계통의 일반 현황

1960년대 초반의 전력계통은 북으로는 화천, 남으로는 부산, 보성강, 목포에 이르기까지 방사형을 이루고 있었으며 주요간선은 154kV, 66kV 및 22kV로 연결되어 있었다. 1970년대 후반에는 1967년부터 검토된 345kV 신여수 송전선로가 착공 4년만인 1976년 10월 20일 최초로 운전에 들어가고, 이어 1977년 345kV 신울산 및 신고리 송전선로와 서서울 송전선로가 가압됨으로서 전국에 걸쳐 초고압 간선계통망이 구성되어 전력 수송능력의 증대와 전력손실 감소에 많은 효과를 거두는 초고압시대에 들어서게 되었다. 1980년대에는 주식회사에서 공사로 전환되어 어느 정도의 자율 경영체제가 이루어지면서 효율적인 설비운영, 설비의 최적화에 노력한 기간이라고 볼 수 있다. 1992년에는 수도권이 345 kV 환상망으로 구성되어 한층 안정적인 전력공급이 가능하게 되었고, 1997년에는 육지와 제주를 연계하는 해저케이블 101 km, 정격전압 ± 180 kV 고압직류송전선로(HVDC: High Voltage Direct Current)가 준공되었으며, 2,000년에는 대단위 전원계통과 수요지를 연결하는 765 kV 송전선로 662 (c-km)가 준공되고 2,002년부터 상용운전을 개시하였다.

현재의 전력계통은 경제성장과 더불어 눈부시게 확장되어 2007년 현재 송전선로 29,976 (c-km), 변전설비 225,000 (MVA)로서, 일본의 최대 전력회사인 동경전력보다는 작고 제2의 전력회사인 관서전력 규모와 비슷한 규모를 운영하고 있다. 1961년 당시 설비용량 36만 kW가 2007년 6600만kW로 약180배의 비약적인 성장을 이룩하였으며, 1987년에는 최대수요 1,000만 kW를 돌파하였으며 2007년 현재 최대수요는 6,228만 kW에 이르렀다. 2007년 현재 지역간 간선 계통의 주축을 유지하고 있는 345 kV 송전선로는 7,683 (c-km), 154 kV 송전선로는 16,756 (c-km)이며, 변전소는 765 kV급 5개소, 345 kV급 74개소 등 총 615 개소를 운영하고 있다. 운용인력과 조직으로는 계통계획처 등 3개의 본사기구와 11개의 전력관리처,

그리고 3개의 건설처에 약 5,800명이 근무하고 있으며, 주파수 유지를 99.7 % 이상, 송배전 손실을 4 %의 실적을 유지하여 세계적으로 우수한 전력계통 운용실적을 보이고 있다.

2-2. 한전의 전력계통 기술분야 연구 현황

한국전력의 전력계통분야 연구개발은 1960년대 3사 통합 이후부터 시작되었으며, 1960년대 전기시험소의 연구 및 시험설비는 경성전기 전기시험소의 설비를 중심으로 조선전업과 남산전기의 설비를 통합하여 발족되었다. 발송전 설비의 확장과 계통규모의 대형화에 따른 전력설비 운용에 새로운 기술적인 문제해결을 위하여 1960년대 후반부터 연구개발과 기술지원 조직을 강화하고 동시에 시험설비의 보강문제가 제기되어 연차적으로 확보해 나가게 되었다. 1976년부터는 시험설비 강화 5개년 계획을 수립하고 적극 추진하였는데 이 기간 중 전력계통 분야는 1970년에 교류계산반(일명 AC Board)을 도입하여 전력계통의 조류, 고장, 안정도 계산을 정확하고 신속하게 처리할 수 있도록 하였으며, 충격발전기도 2000kV급으로 보장하였다. 1980년대는 실증실험연구가 본격적으로 시작되고, 765kV 초고압 격상을 위한 연구가 착수되었으며 시험설비도 디지털화 되어 가는 추세에 부응하여 현대화가 추진되었다. 1980년부터는 변압기 O.T 유증 가스분석기를 도입.활용하여 변압기 이상 유무를 조기에 진단함으로써 고장예방과 공급신뢰도를 크게 향상시켰으며, 함백산의 해발 1,400m 지점에 설해 실증실험 송전선로를 건설.운영하여 영동지방의 폭설로 인한 송전선로 사고를 예방하는데 큰 기여를 하였다. 한편 1984년부터 시작된 765kV 격상연구를 위하여 실증시험장을 건설하기로 하고, 시험장 입지를 전북 고창에 한전 유희부지로 확정하고 1990년부터 공사에 착수하여 1993년에 완공하였다. 실증시험장 설비로는 765kV 2회선 4경간의 742m 실증시험선로와 변전설비, 선로환경장해 측정시스템, 전자식 애자 오손량 측정장치 및 기타 보조설비 등이 설치되었다. 또한 고창 실증시험장의 안정된 시험전원 확보와 154kV 송.변전 실증시험설비 구축을 목적으로 2007년까지 154kV 변전소 건설을 추진하였으며, 전력 신기술연구를 위한 가공 HVDC 실증시험선로와 초전도 케이블 실증시험설비도 구축할 계획이다. 한편 전력연구원 내의 고전압 시험동에는 1997년 1,000kV 충격전압 발생장치, AC시험용 변압기, DC 시험용 변압기를 도입.설치하였으며, 2001년에는 전력계통 해석용 시뮬레이터를 설치하여 대규모 전력계통의 각종 현상을 빠르고 정확하게 해석하고, 발전기 제어계나 FACTS 기기 등 신규 개발기기의 성능시험도 가능하게 되었다.

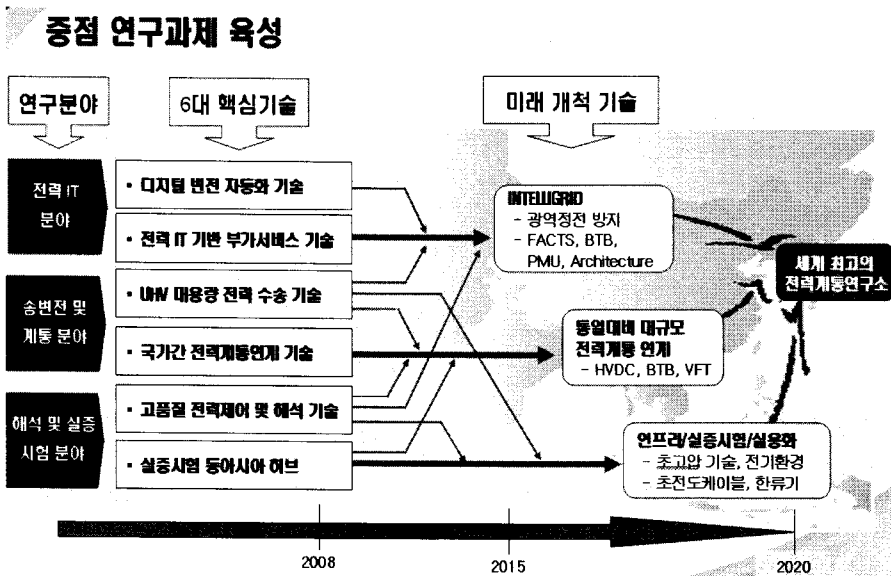


그림 1. 전력계통연구분야 중점 육성 과제

현재 전력계통연구소는 6대 핵심기술 개발을 통하여 전력계통분야의 미래 기술을 확보하기 위한 연구를 중점적으로 수행하고 있다. 송변전 및 계통분야에서는 UHV 대용량 전력수송기술과 국가간 전력계통연계기술의 개발을 통하여 통일대비 대규모 전력계통 연계기술을, 해석 및 실증시험 분야에서는 고품질 전력제어와 해석기술의 개발과 고차시험센터에 지중실증시험설비 구축 등을 통하여 실증시험의 동아시아 허브를 만드는 꿈을 추진하고 있으며, 전력 IT분야에서는 전 세계적으로 통일되는 IEC 61850프로토콜 기반의 디지털 변전 자동화 기술의 개발과 전력 IT 기반의 부가서비스 기술 개발을 통하여 선진국에서 미래형전력망으로 추진하고 있는 인텔리그리드 전력망을 구축하기 위한 연구를 수행하고 있다.

2-3 전력계통 기술

전력계통해석분야는 세계 최대 규모의 실시간 전력계통시뮬레이터를 이용한 계통해석, 전력계통 무효전력 관리, 전력계통해석 패키지의 국산화 등 계통해석기술과 FACTS 기기의 개발과 엔지니어링 그리고 전력계통을 연계하기 위한 기술로서 HVDC 제어기개발 및 풍력연계 등을 주요 연구테마로 하고 있다. 그중에서 주요 과제를 상세히 소개하면 다음과 같다.

가. 전력계통 무효전력관리시스템 개발

최근의 국내 전력계통은 지속적인 부하증가에 따라 계통이 중부하 상태로 운전되어 안정도 한계 근처에서 운영되고 있고, 765kV 선로에 대한 높은 송전 의존도, 장거리 송전 등에 따른 무효전력 손실 증가로 인해 무효전력 수급이 불안정하게 되어 전압불안정 현상(전압붕괴) 발생 가능성이 더욱 높아지고 있다. 우리나라의 경우, 전력 IT 등 주변 환경이 세계 첨단수준으로 구축되어 있으므로, 선형 개발 국가에 비해 상대적으로 낮은 투자비만으로도 지역별 전압제어 방식을 이용한 무효전력 관리 시스템을 구축할 수 있으며, 이를 통해 단기간 내에 송전계통의 효율적인 전압·무효전력 관리가 실현될 수 있다.

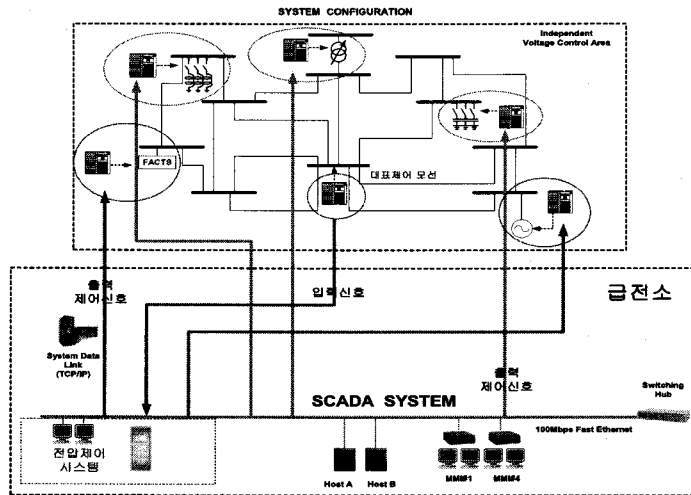


그림 2, 전력계통 무효전력 관리시스템 개념도

전력계통연구소에서는 우리나라 계통의 전압/무효전력 최적제어를 통해 정상상태에서의 전압 프로파일을 향상시키고 사고시, 전압 회복을 빠르게 할 수 있도록 하는 '전력계통 무효전력 관리 시스템 개발'을 추진 중에 있으며, 본 과제는 2005년부터 5년간 산업자원부가 추진하고 있는 전력 IT 국가전략 사업 세부과제로 수행되고 있다.

나. 345 kV 100 MVA급 유연송전시스템 개발

유연송전시스템 기술은 반도체 소자를 이용하여 전기흐름을 능동적으로 제어함으로써 대용량의 전력수송과 계통의 안정성 향상을 동시에 가능케 하는 신개념의 전력전송 기술이다.

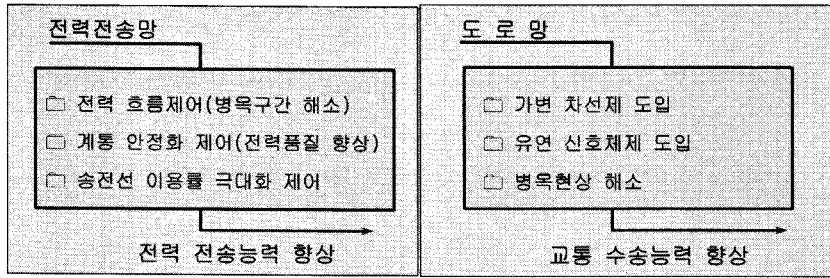


그림 3. 전력계통의 유연송전시스템과 가변차선제 비교

그림 3처럼 일반 도로망의 가변차선제와 유사한 개념으로 전력 전송망에 적용되는 유연송전시스템은, 전력계통에 전력계통 제어 범위의 확대에 의한 송전용량 증대, 제어 지역간의 전력 수송 능력 확대, 계통 사고 및 기기고장의 영향을 제한시킴으로서 송전용량을 제한하거나 기기고장을 일으킬 수 있는 전력계통 동요억제 등의 효율적인 제어 효과를 가능하게 한다. 전력계통연구소에서는 2005년부터 5년간 수행되는 국가전략과제를 통하여 345kV 100MVA STATCOM을 국산화 개발하여 2010년까지 현장적용을 통해 STATCOM을 실증 적용 하는데 모든 역량을 집중하고 있다. 우리나라에 FACTS기술이 적용될 경우, STATCOM 등의 순시 동작 가능한 무효전력원은 수도권 장기계통 안정화로 혼잡비용의 저감 및 대규모 정전을 예방할 수 있으며, 또한 Back-to-Back STATCOM을 이용한 계통연계기술 개발로 풍력발전 등 신재생에너지의 연계기술을 확보할 수 있다.

2-4. 송전 기술

가공송전 기술분야는 765 kV 송전선로 상용화에 성공한 바 있으며, 전자계가 인체에 미치는 영향에 대한 연구, 송전철탑 풍하중 설계에 대한 연구, 헬기를 이용한 765 kV 송전선로 활선공법 연구, 환경친화형 신송전철탑 개발 그리고 송변전용 절연물의 복합열화 시험설비 구축과 시험 등을 주로 대상으로 하고 있다. 지중송전분야는 케이블 절연 진단기술, 케이블의 장기간 실규모 실증시험을 통한 수명예측, 개스절연송전선(GIL: Gas Insulated Line)개발 그리고 154 kV 급 초전도케이블의 현장 실증시험 등을 연구하고 있다.

가. 765 kV 송전기술 상용화

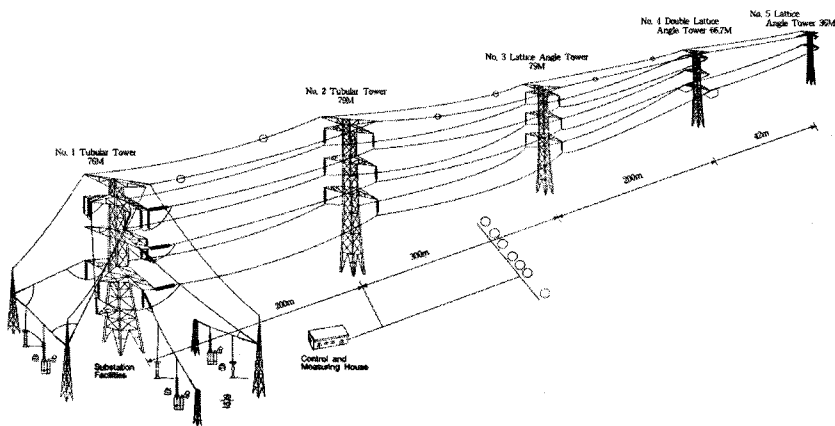
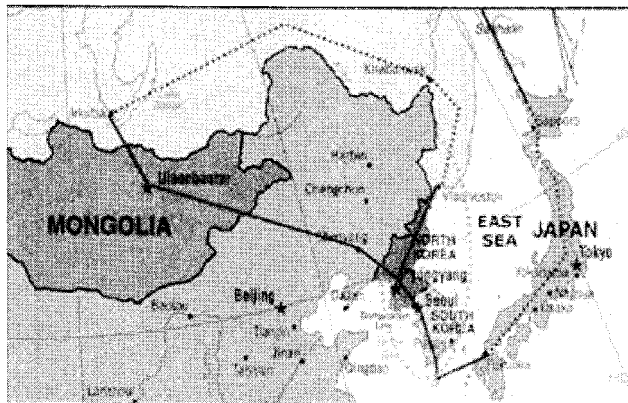


그림 4. 765 kV 실규모 실증시험선로(고창 시험센터)

2002년부터 상용화 운전중인 765 kV 송전망은 현재 동북아에서 운전하고 있는 전압으로 가장 높은 전압이며, 1980년대 초부터 꾸준한 연구를 통하여 세계에서 유일한 수직배열 2회선 송전선로를 순수 국내기술로 상용화함으로써, 전력공급의 안정성 확보는 물론 개발된 기술을 미국과 중국에까지 수출하는 쾌거를 이룩하였다.

국내계통에 적합한 다상 고속도 재패로 방식의 채용, 절연설계는 물론 변압기, 차단기 및 송전철탑 등을 국산화 개발하고 한전의 고창 시험센터에서 실규모 실증시험을 장기간 수행하여 상용운전에 시행착오 없이 안정적인 운전이 가능하게 하였다. 특히 송전선로 선하지에서의 지표면 전계강도 등 환경적인 측면에서의 다양한 실증시험 결과는 765 kV 2회선 송전선로에 대한 국제표준으로 자리매김 하였으며, 국산화 개발로 인한 경제적인 이득은 약 3,500억원에 달하는 것으로 평가되었다.

나. 국가간 전력계통 연계기술(가공직류송전기술)



Northeastern Asia HVDC Network Plan

그림 5. HVDC를 이용한 동북아 전력계통 연계 개념도

직류송전선로는 연계되는 계통간의 상호 영향을 최소화하여 전력유통이 가능하므로 그 역할이 더욱 중요하여지고 있다. 전력계통연구소에서는 2002년 9월부터 국가간 계통연계사업과 관련하여 개발이 필수적인 직류송전선로 환경기술 개발, 직류 가공선로 설비기술에 대한 ‘초고압 가공직류선로 설계기술 및 핵심기술개발’의 종합적인 연구개발을 착수하여 연구를 진행하여오고 있다. 2008년 5월까지 HVDC 실증시험선로를 준공할 예정인데, 준공되는 실증선로를 이용하여 직류 가공송전선로의 계통운용기술, 송전선로 설계기술, 직류송전 기자재 개발을 국산화하여 남북통일에 대비한 장거리 전력유통기술과 국가간 대규모 전력유통에 대비하여 독자적인 직류송전기술을 확보할 예정이다.

다. 154 kV 고온초전도케이블 신뢰성 평가 및 실증시험

대도시의 전력수요 증가추세에서 대처하기 위한 새로운 개념의 케이블 기술요구에 따라 세계적으로 초전도 케이블 연구가 진행 중이며, 현재 국내외적으로 현장 실증 시험단계에 이르고 있다. 그래서 국내에서 개발예정인 154 kV 초전도 케이블에 대한 성능검증 및 신뢰도 확보를 통하여 초전도 케이블에 대한 기반 및 운용기술을 축적할 계획이다. 154kV 초전도 케이블의 신뢰성 시험 및 실증시험을 통하여 초전도 케이블 국제공인 인증시험기관 역할과 초전도 케이블 실선로 운전에 대한 기반기술 갖게 되어 초전도 전력케이블의 해외 신규 시장 개척에 참여가 가능할 것으로 기대된다.

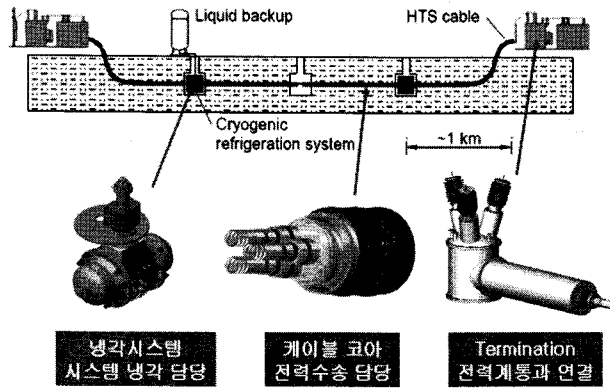


그림 6. 154 kV 초전도 케이블 시스템 개념도

2-5. 변전 기술

변전기술분야는 변압기와 차단기의 예방진단에 대한 연구를 주로 수행하고 있으며, 전력계통의 과도현상이 전력계통에 미치는 영향을 EMTP (Electro-Magnetic Transient Program: 전자기 과도현상 해석 프로그램)를 이용하여 해석하는 연구와 변전소 접지계통을 설계하는 연구를 수행하였다. 최근에는 변전기기를 국제화된 프로토콜인 IEC 61850기반에서 국산화하기 위한 디지털 변전소 자동화 시스템 개발 연구를 수행하고 있다.

가. 변전기기 예방진단 기술

변전기기의 예방진단은 1920년대 예방보수, 1970년대 상태기준보수에서 1908년대부터는 예방진단의 개념이 도입되었다. 주요 대상은 변압기와 GIS(Gas Insulated Switchgear : 개스절연개폐장치)이며, 변압기의 감시항목으로는 가연성가스, 부분방전, 권선 온도 등을 온라인으로 모니터링하고 있다. GIS의 이상검출은 부분방전이 발생 하였을 때 발생하는 UHF 대역의 전자기파를 이용하여 위치를 판별하는 연구가 순수 국내연구로 완성되었으며 다수의 고장을 사전에 검출하여 조치한 사례가 있다. 그림 7은 GIS 내부의 방전 패턴을 분석하여 위치를 추정하는 예이다.

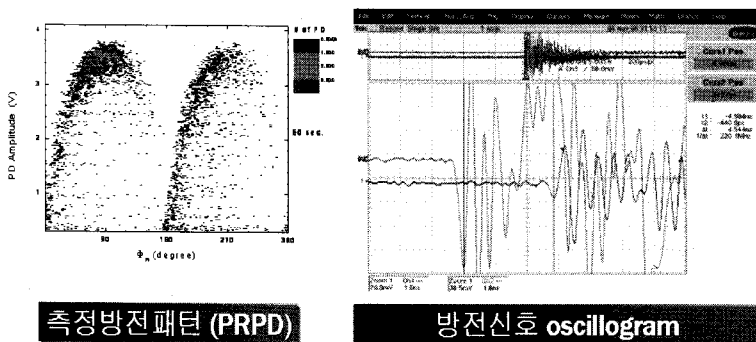


그림 7. UHF 센서를 이용한 부분방전 패턴 검출 사례

나. IEC 61850 기반의 디지털 변전소 자동화 시스템 개발

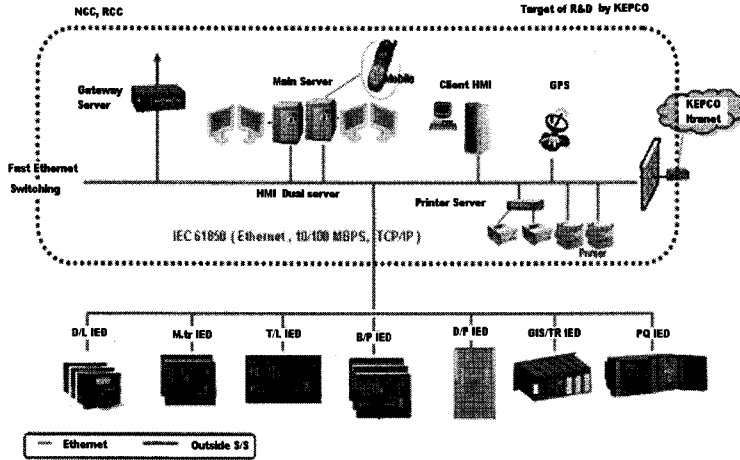


그림 8. IEC 61850 기반의 변전소 구성도

종래형의 변전소는 변전소를 구성하는 각각의 기기마다 제작사와 통신규약이 달라서 변전소를 자동화하는데 어려움이 많았다. 기기의 현재 상태를 감시함은 물론 원격으로 기기를 제어하는 경우 서로 다른 제작사간에 상호 호환이 되지 않는 문제를 해결하기 위하여, 국제 규격으로 IEC 61850에 통일된 통신규약을 정하고 이에 맞추어 보호계전기, 변압기, 차단기는 물론 예방진단시스템과 전력품질 감시에 이르기까지 모든 기기를 개발하고 있다. 모든 정보를 변전소 단위에서 Ethernet 기반의 통신으로 하고 있으며, 게이트웨이를 통하여 상위 제어시스템인 SACADA 또는 EMS에 연계되도록 되어있다.

2-6. 신성장동력 창출을 위한 해외사업 수주 및 참여

전력계통분야의 해외 사업은 주로 미얀마, 리비아 등의 전력망 진단사업, 전력계통 절연설계, 계통해석 프로그램 사용자 교육 등을 수행하였으며, 한전 전력연구원의 독자적인 사업수주는 물론 한전에서 수주한 사업의 지원기관으로서 역할을 담당하고 있다. 765 kV 송변전설비의 설계기술을 바탕으로 미얀마 기술자 2명에게 6개월간 “500 kV 절연설계” 교육을 수행하였으며, 리비아 송전망 절연설계 컨설팅 용역에서는 400 kV 송전망의 기술적 컨설팅은 물론 기술자 6명에게 8개월간의 절연협조 교육을 시킨 바 있다. 최근에는 미국의 전력연구소(EPRI : Electric Power Research Institute)로부터 765 kV 폴리머애자 실증시험 연구를 수주하여 고창 실증시험센터에서 연구를 수행하고 있다.

2-7. 고창전력시험센터

주요 실험시설로는 고창전력시험센터가 있으며 부지 23만평, 건평 827평에 송변전 시험설비, 배전 시험설비 및 초전도 시험설비를 갖추고 있다. 고창전력시험센터는 1991년부터 765 kV 실규모 송전선로 실증시험을 하기위하여 운용을 시작하였으며, 4,000 kV 급 옥외형 충격전압 발생장치, 송전선로 진동시험장, 낙뢰 유티용 철탑, 전자계 저감 실증시험장 등이 설치되어 실험중에 있다. 또한, 2007년 10월에는 환경친화형 시범 송전선로와 신개념의 시험용 변전소인 ‘인텔리전트 변전소’를 준공하여 운전을 개시하였다. 2008년에는 전자계 이해증진관이 준공될 예정으로 전자계에 대한 막연한 불안감 해소와 체험을 통하여 전기현상을 쉽게 이해할 수 있도록 할 예정이다. 이 고창 시험센터는 아시아는 물론 세계적으로도 경쟁력을 갖춘 시험장으로서, 지중송전케이블 장기 신뢰성 시험설비 구축 등 향후 10년간 1,600억원을 투자하여 동북아의 허브 시험센터로 육성할 계획이다.

2-8. 20년후의 미래 전력계통 기술(Intelligrid)

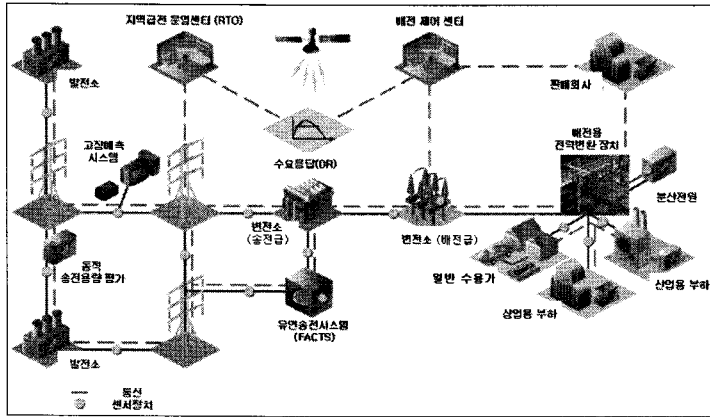


그림 9. 미래 전력망 개념도

현재 사용되는 전력기술은 100년 이상의 역사를 가지고 효과적으로 발전해왔으나, 전력시장 자유화, 탄소거래, 분산전원 등 전력산업 환경변화에 따라 새로운 도전에 직면하고 있다. 따라서, 소비자와 공급자간의 양방향 서비스 및 광역 정전에 대한 안전성이 확보되며, 분산전원이나 신재생에너지와의 연계를 고려하며 전원 공급 신뢰성과 계통 효율성이 향상된 미래 신 전력망 기술이 필요하게 되었다. 이러한 미래 신 전력망 기술과 관련하여 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 관련 기술의 확보와 기술의 표준화를 통하여 미래 세계 전력시장을 선점을 위해 막대한 기술 투자를 계속하고 있다. 특히 미국의 'IntelliGrid' 프로젝트는 미국 전역에 설치된 발전소들을 하나의 네트워크로 연결하고 각 지역의 전력 수요를 고려해 필요량을 송전하는 효율적이고 스마트한 전력 배분 체계를 구축 하며, 외부 외란에 대해 자기 치유기능이 있는 전력망을 구축하려고 하고 있다.

5. 결론

우리나라의 전력계통은 국내 경제의 비약적인 성장에 힘입어 비약적인 성장을 하였으며, 그 과정에서 필요한 전력공급의 안정성을 확보하고 공급서비스의 향상을 위하여 노력하여 왔다. 전력계통 분야의 연구는 이러한 요구에 부응하여 송변전설비 현장 운영의 문제해결을 위한 연구 개발과 기술지원, 무인화, 자동화에 대비한 송변전 설비의 예방진단 기술, 그리고 2002년부터 상용화 운전중인 765 kV 관련 연구개발 등에 중점을 두고 연구를 하였다.

미래를 대비한 연구로는 향후 동북아 전력계통을 연계하기 위한 가공직류 송전기술, 변환설비 기술, 지중송전 용량 증가에 대비한 GIL 연구, 초전도 케이블 실증시험 연구 등을 진행하여 나갈 예정이다. 이러한 모든 연구 분야는 향후 전력계통의 국제표준으로 자리 잡게 될 Intelli-grid 기반의 전력계통 기술에 부합되도록 연구개발 될 것이다. 또한, 국내의 전력수요 감소에 대비한 신성장 동력 창출을 위하여 동남아, 아프리카는 물론 미국시장에 이르기까지 그간의 연구 성과를 바탕으로 설계, 컨설팅, 기술자 교육은 물론 실증시험 수탁까지 그 범위를 넓혀나갈 예정이다.

6. 참고문헌

1. 한국전력통계, 2006
2. 한전전력연구원 연차보고서, 2006
3. "Grid 2030 a National Vision for Electricity's Second 100 Year" 자료
4. "EPRI Portfolio 2008", EPRI
5. "전력기술발전 기본계획 2006", 한전 기술기획실
6. "송변전 기술활용 Roadmap Rolling 계획", 한전 송변전본부 송변전처
7. 전력IT 기술 로드맵, 전력IT 사업단
8. EPRI IntelliGrid Business Case 2005, EPRI