

디지털 기술기반의 차세대 변전시스템 기술 동향

심응보 (한국전력공사 전력연구원 수석연구원)

1 서론

선진국의 전력수요는 포화상태에 근접하였으나, 중국, 인도 등 개도국의 수요는 폭발적인 증가가 예상되고 있으며, 유럽, 미국 등 선진국을 비롯한 각국의 대형정전으로 막대한 경제적 피해를 경험함에 따라 노후설비의 교체 및 전력설비 투자를 증대하고 있다.

또한 신재생에너지 발전 비율의 증가, 디지털 사회로의 변화, 대도시를 중심으로 한 전력망의 복잡화 등에 따라 전력망을 첨단화, 디지털화 하는 전력망 인프라의 고도화와 유관산업의 기술경쟁력 강화를 위하여 지능형전력망 구축이 가속화되고 있다. 정부에서는 2005년부터 전력설비에 IT 기능을 부가하여 부가가치를 높이고 전력망을 고도화하기 위하여 10개의 중점과제를 선정하여 연구개발을 진행하여 왔다.

전력망을 구성하는 핵심설비인 변전소의 설비를 공인된 국제규격에 맞추어 개발하는 것은 능동적으로 Smart Grid를 구축하는 최적의 대안인 동시에 해외 수출을 통한 미래 성장동력의 창출에도 기여할 수 있을 것이다.

여기서는 디지털 변전소의 구성 요소들을 소개하고 기존의 변전소와 다른 점은 어떤 것들이 있는지, 그리고 향후에 어떤 유용한 기능이 기대가 되는지와 국내

외의 적용 현황에 대하여 소개하고자 한다.

기존 변전소의 보호·제어시스템은 다량의 제어케이블과 각종 보조접점, 전자접촉기 등으로 구성되어 있어, 변전설비 설치의 복잡성 및 넓은 설치 공간의 필요에 따른 건설 및 유지보수 비용의 증가는 물론 오동작에 의한 고장으로 설비운영의 신뢰성을 떨어뜨리고 있다.

변전소 자동화(Substation automation)란 변전소의 각종 설비를 총괄하여 운영하는 중추 신경계통으로 변전소에 산재되어 있는 설비를 한 곳에 집중하여 감시, 측정, 제어역할을 하는 시스템을 말한다. 디지털 기반의 변전자동화 시스템은 기존 시스템에서 제어기기들을 연결하기 위하여 필요했던 수많은 제어케이블들을 네트워크용 지능형 제어기기인 IED(Intelligent Electronic Devices)와 통신 네트워크 및 상위 HMI 시스템으로 대체함으로써 제어케이블과 보조계전기의 사용이 급격하게 감소하게 된다.

따라서 오동작이나 부동작에 의한 고장요인이 현저하게 줄어들고 신속한 사고 분석, 예방제어, 복구제어, 사고파급의 극소화를 실현할 수 있는 기반이 됨으로써 공급신뢰도 향상은 물론 원가 절감, 진정한 자산관리의 최적화를 이룩할 수 있는 환경을 제공하게 된다.

2. 디지털변전소 소개 및 국내외 적용사례

2.1 디지털 변전시스템의 구성요소

기존의 변전운영시스템은 회사별로 각각 다른 표준을 적용하거나, 동일한 표준이더라도 회사 나름대로의 시스템을 구성함으로써 기존 설치된 시스템 회사가 지속적으로 나머지 부분을 납품할 수밖에 없었던 문제를 본 기술을 통하여 개방된 구조로 설계하며, IED와 시스템간 통신을 국제규격인 IEC 61850을 적용하고 규격으로 호환성을 검증함으로써 다양한 제품들을 하나의 시스템으로 구성할 수 있게 된다.

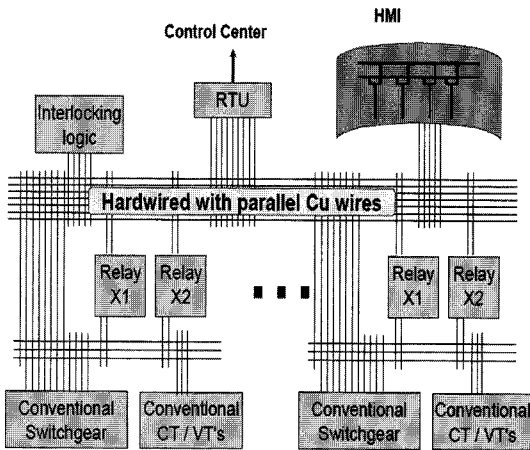


그림 1. 기존의 아날로그형 변전소 구조도

그림 1은 기존의 동축 제어케이블 기반의 제어시스템을 가진 일반적인 변전소의 구조도이다. CT/VT에서 보호계전기, 그리고 보호계전기와 상위 제어반의 신호가 동축케이블을 통하여 주고받는 구조로 되어 있다. 이러한 시스템은 제어신호를 구성하기 위하여 수많은 보조계전기와 접점들로 구성되어 있어 전기적인 접촉 불량이나 구조변형으로 등으로 인한 오동작을 근본적으로 없애는데 한계를 가지고 있다. 제어케이블이 물리적으로 많은 공간을 점유하고 있다는 점 이외에도 공사시간이 많이 소요되고 자기진단 기

능을 부여하는데 한계가 있다.

그림 2는 현재 가장 많이 사용되고 있는 디지털변전소의 구조도이다. CT/VT에서 IED 사이의 신호는 동축케이블을 통하여 주고받는 구조로 되어 있으며 Bay Controller에서 차단기의 on-off-trip 지령도 아날로그로 된 구조이다. IED와 HMI 사이의 신호는 TCP/IP 기반의 이더넷으로 구성되어 있어서 Station Bus 기반의 디지털변전시스템이라고 한다.

기존의 보호계전기 기능과 제어시스템을 디지털로 대체한 개념으로서 많은 분량의 제어케이블이 줄어들었으나, CT/VT와 IED사이가 아날로그로 남아있는 상태이다. 22.9(kV) 배전급의 차단기는 C-GIS형태로 되어 있어 반드시 디지털로 구현할 필요가 없으나, 154(kV)급 이상은 향후 디지털로 구현함으로써 경제성을 도모할 필요가 있을 것이다.

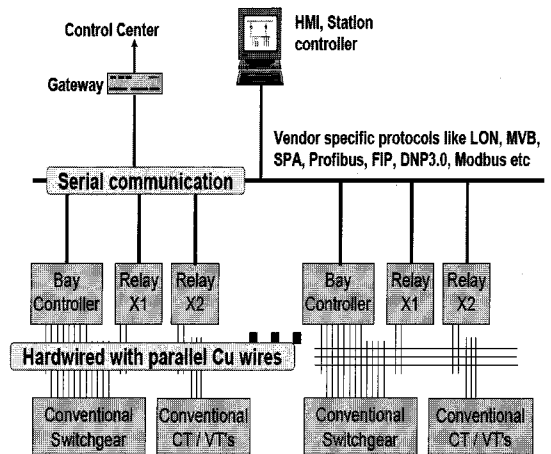


그림 2. Station Bus형 디지털 변전소 구조도

그림 3은 완전한 디지털 변전소로서 현재 세계 각국에서 개발중이며, IEC 규격에서 정의한대로 만들어진 완전한 제품은 아직 구현되지 않은 것으로 파악되고 있다.

여기서는 광 CT/VT와 같이 기존의 아날로그 변성기와 다른 NCIT(Non Conventional Instrument

Transformer)를 기반으로 하여 IED에 직접 디지털 신호가 입력되는 구조로 되어 있다. 이 시스템이 구현 되면 154(kV)급 이상의 모선보호반 등에 사용되는 많은 CT가 디지털화됨으로써 보다 신뢰성이 높은 변전시스템 구성이 가능해 질 것으로 전망된다.

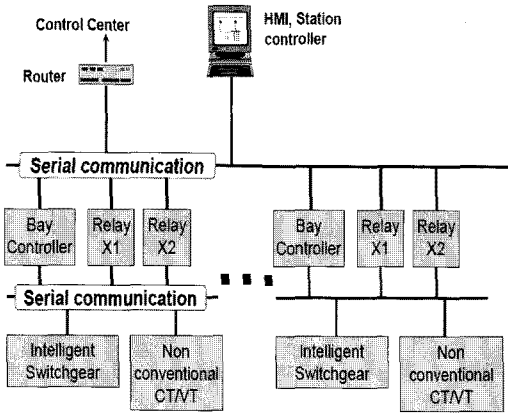


그림 3. Process Bus형 디지털 변전소 구조도

그러나 광 CT/VT는 아직 고가일 뿐만 아니라 장기간 신뢰성 또한 입증되지 않은 상태이어서, 현 단계에서 구현된 제품들은 기존의 conventional CT/VT에서 우선 디지털 신호로 변환하여 IED로 연결되는 구조로 만들어지고 있다. 이 시스템은 CT/VT와 IED 사이에 또 하나의 이더넷 bus가 있으며 이를 process bus라 하고, 디지털화 된 VT/VT 신호를 모의하고 재분배 할 수 있는 기능을 하는 장치로서 MU(Merging Unit)이 필요하게 되며, 전체를 총칭하여 Process Bus형 디지털변전소라 부르고 있다. 이 시스템을 구현하기 위한 선결과제로 고속 샘플링에 따른 시각동기화문제가 아직 해결되지 않고 있어 상용화가 지연되고 있는 실정이다.

이 Process형 변전소가 구현되면 기존의 보호-제어 기능뿐만 아니라 감시-진단이나 PMU(Phasor Measurement Unit)기능을 동시에 구현 할 수 있는 IED가 출현되어 Smart Grid의 개념에 맞는 디지털

변전소로 기능이 강화될 수 있을 것으로 기대된다.

2.2 국외 적용 사례

디지털 변전소 제어시스템의 관련 기술을 선도하는 세계적 기업으로 Siemens, ABB, Alstom 및 GE등을 대표적으로 들 수 있으며, 이들 선진기술이 추구하는 방향은 분산시스템으로 전자기적으로 간섭을 받지 않는 optical fiber에 의해 중앙장치와 현장에 설치된 intelligent 기능의 기기들이 결합된 형태이다.



그림 4. 세계시장의 IEC 61850기반 변전자동화 시스템 구축 현황

또 현장기기들의 운전조건들은 중앙장치에서 일괄적으로 download가 이루어지게 하여 신뢰성 있고 효율적인 운용이 가능하도록 하고 있다. 그리고 시스템 total engineering 기술과 변전소 자동화에 필요한 모든 기기들의 생산능력을 보유하여 일관성 있는 시스템 구성이 가능하도록 하고 있으며, 높은 신뢰성의 확보로 시장경쟁력을 높여가고 있다.

또한 북미, 유럽을 비롯한 각국의 전력회사는 IEC61850 국제규격 제정에 발맞추어 상용 운전 중인 변전소에 IEC61850 SA시스템을 구축하고 있다. 특히, 각 전력회사의 전력계통시스템에 적용할 수 있는 건설/운영기준, 자재 규격 및 절차 등을 독자적으

로 구축하여 운영하고 있으며, 이러한 SA 표준화를 통하여 변전소내 전력설비의 대체, 증설, 건설 Project를 SA 시스템으로 확대 구축하고 있다.

일부 전력회사(미국 Bradley 변전소 등)에서 사례 연구를 위해서 멀티벤더가 참여하는 IEC 61850 규격을 따르는 변전소 자동화 시스템을 적용하고 현재 운전 중에 있다. 이외에도 RWE Net AG(독일), hydro One(캐나다), Terna (이태리), GPUD(미국), Tenaga(말레이시아), 세네갈(90/30[kV]), 베네수엘라(138/24[kV] & 115/13.8[kV]) 바레인(220/66/11[kV]) 인도(400/220[kV]) 오만(220/132/33[kV]) 불가리아(400/220/110[kV]) 등 세계적으로 IEC 61850을 이용한 변전소 자동화 사업이 급속도로 확대되는 추세이다.

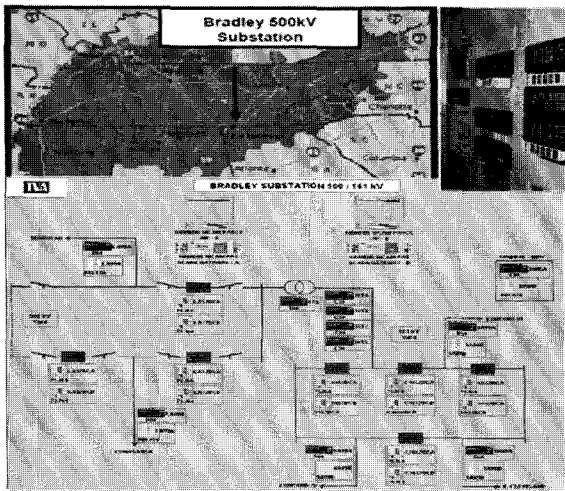


그림 5. 해외 디지털변전소 구축사례 (500(kV) Bradley S/S, 미국)

2.3 국내 적용 사례

현재 널리 알려진 IEC 61850기반의 디지털변전소와는 조금 다르지만 2002년에는 154[kV]독산 및 대방변전소에 DNP 3.0 규격을 적용한 변전소 자동화 시스템을 시범 구축하였으며, 이를 통하여 현재의

IEC 61850 방식과 유사한 광통신 네트워크에 의한 시스템을 구축하였고 이를 통한 통신네트워크방식의 적용을 위한 기반을 다졌다.

2006년부터 국제표준형 IEC-61850기반 차세대 변전시스템 개발과제가 진행되었고, IEC 61850기반 변전소 자동화시스템의 연구개발 효율성 향상 및 적용기술 확보 등을 위해 시범 적용을 154[kV] 산청 변전소에 Siemens 제품을 이용하여 추진하여 현재 운전 중이다.

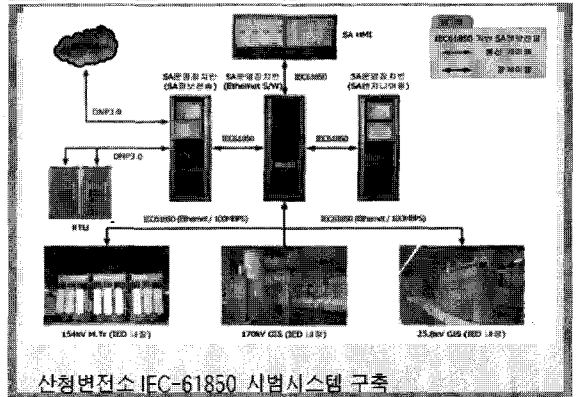
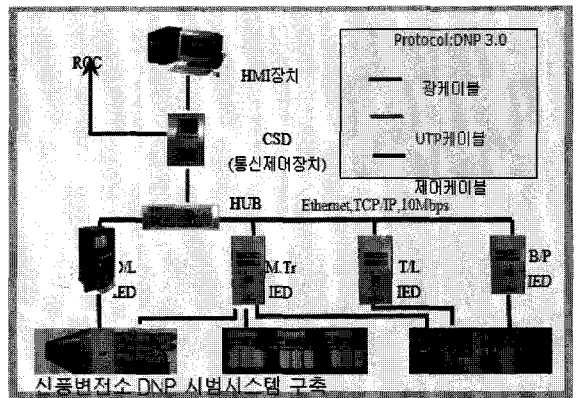


그림 6. 국내 디지털변전소 시범 구축사례 (154(kV) 산청 S/S, 154(kV) 산청 S/S)

그림 7은 154[kV] 산청변전소 시범사업의 예로서 전장부 내부의 보조계전기류가 대폭 감소되어 있는 것을 실감할 수 있다.

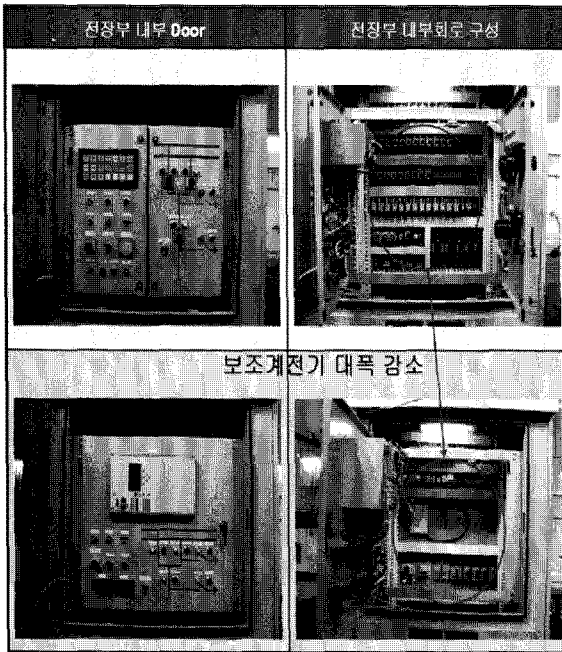


그림 7. 일반변전소와 디지털변전소의 전장부 비교

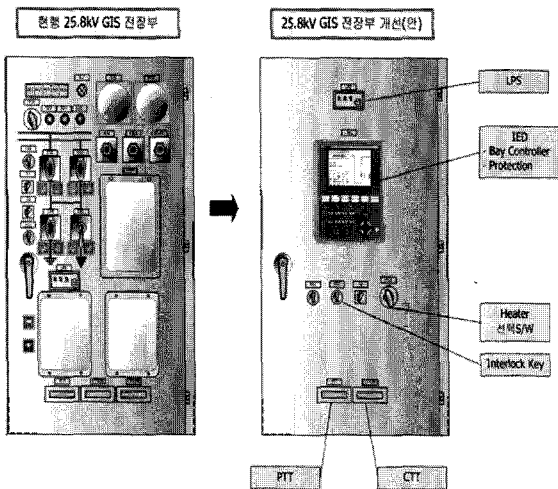


그림 8. 배전선로용 배전반의 전장부 비교

그림 8은 현재 사용되고 있는 배전선로용 배전반의 외형과 2010년부터 사용되게 될 IEC 61850 규격을 적용한 배전선로용 배전반의 외형도를 비교한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 보호기능뿐만 아니라 제어부분이 디지털로 구현되어 단순화되었음을 알 수

있다.

표 1은 국내에 구축된 IEC 61850 기반의 변전소의 대표적인 사례로서 민수 10개사업과 한전 3개 사업을 포함하여 약 1000여대의 IED가 설치된 것으로 파악되고 있다. 한전은 제주도 스마트그리드 실증단지에서 IEC 61850 기반의 변전설비를 구축하는 이외에도, 한전규격을 2009년에 확정하여 2010년부터 국산화 개발품을 포함하여 시범적용을 할 예정이다.

표 1. 국내 IEC 61850 기반 변전소 구축사례

구분	고객명	적용사이트	규모	추진시기
한전	창원 전력	154(kV) 산청변전소	#3M.tr 증설	2007 착수 (2008.1준공)
	부산 전력	345(kV) 신울산변전소	#5M.tr 증설	2008말 준공
	서울 전력	154(kV) 동두천-포천 변전소	154(kV) 송전선로 증설	2008말 준공
민수	남부 발전	154(kV) 남제주 화력발전소	증설 사업	2006년 준공
	하이닉스 반도체	하이닉스 반도체 공장	공장내 변전소 신설	2007년 준공
	현대 제철	서산당진 현대제철공장	현대제철내의 5개 변전소	2008년 준공
	삼성 전자	아산탕정 LCD 공장	LCD 공장 변전소	2008년초 착공
	삼성 SDI	삼성 SDI 양산공장	양산공장 변전소	2008년 6월 착공

3. 국내 연구개발 추진 현황

정부의 주도하에 다수의 국내 기업이 참여하여 IEC 61850 기반의 차세대변전시스템을 개발하고 있다. 2005년부터 1단계 3년간에는 Station Bus형 디지털변전시스템을 개발하였으며 2008년부터 2단계 3년간에는 Process Bus형 디지털변전시스템을 개발할 예정이다.

특집 : 스마트 그리드 기술

연구목표는 변전소에 필요한 여러 종류의 IED를 국산화 개발하는 것, 종합운영시스템을 개발하는 것, 그리고 개발된 제품의 성능을 시험할 수 있는 기반을 구축하는 것으로 구성되어 있다.

3.1 IED의 개발 현황

IED의 개발은 국내의 대기업은 물론 일부 중소기업이 참여하여 변압기보호용 IED, 배전선로보호용 IED, 조상설비보호용 IED등을 개발하였으며, 보호계전 요소에 대한 고유성능은 물론 EMC(Electromagnetic Compatibility)시험과 상호호환성을 보증하기 위한 Conformance Test를 통과하여 성능 입증에 필요한 절차를 마치고 상용화 제품을 만드는 단계에 와 있다.

특히 H사를 비롯한 4개사가 세계적인 인증기관인 네델란드 KEMA의 인증을 획득하였고, 일부 제품은 자사계열사나 한전의 시범사업에 설치되어 사용되고 있다. 그림 9는 개발된 IED의 외관이다.

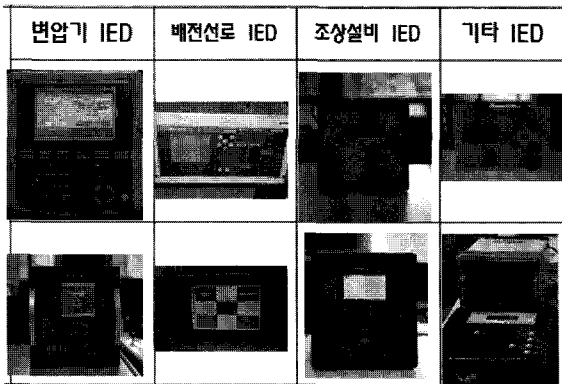


그림 9. 국산화 개발 IEC 61850기반의 IED(6종류)

3.2 종합운영시스템 개발현황

종합운영시스템은 현재 운전중인 HMI 기능을 강화하여 고장파형 분석, 전력계통응용 어플리케이션, 통신드라이버 분석, IED Explorer기능 추가 구현하

였으며, 상태추정 알고리즘 등은 외국 제품에는 없는 독자적인 기술을 구현하여 적용한 사례로서 향후 시장경쟁력 확보에 기여할 것으로 기대된다. 게이트웨이는 현재 국내에서 사용중인 DNP 프로토콜과도 호환이 되도록 프로그램하여 사용자 편의성을 높였다. 그림 10은 국산화 개발된 운영시스템의 외형도이다.

3.3 시스템 성능검증 인프라 구축

국산화 개발된 IED의 성능을 검증하기 위한 장치로서 IEC61850 IED 기능 시험장치, IEC61850 적합성 시험을 위한 국제규격 인증모의 시스템, IED 상호 운용성 시험을 위한 국제규격 운영모의 시뮬레이터, 네트워크 스위치 부하 발생장치, 변전자동화 네트워크 분석시스템 등의 인프라를 구축하였으며 통신 적합성 시험기술을 확보하였다. 이 분야의 기술은 현재 세계적으로 약 6개 기관이 인증시험을 할 수 있으며, 국내에서는 한전 전력연구원이 유일하게 시험설비와 인력을 보유하고 있다. 그림 11은 관련 시험설비의 외관이다.



그림 10. 국산화 개발한 운영시스템



그림 11. IED 성능검증 시험설비 현황

3.4 향후 연구개발 및 적용계획

외국의 주요 제작사에서 생산되는 IED는 제작사 별로 통일된 디자인과 기능을 갖추어 생산되고 있으나, 국산화 개발된 IED들은 여러 제작사에서 고유의 디자인과 사용자 메뉴 체계를 갖추고 있어 사용자에게 불편을 초래함은 물론 향후 해외시장 진출 시에 어려움이 있을 것으로 예상된다. 2단계 연구개발 시에는 완전한 디지털 기반의 IED를 제작하는 동시에 1단계에서 개발된 IED의 디자인과 사용자 메뉴체계를 통일하여 일관된 체계를 갖추기 위한 작업을 진행하고 있다.

변전소가 디지털화 되면 과거의 배전반 등의 결선 작업 또한 통신상에서 맵핑하는 작업을 하게 되는데, 이러한 엔지니어링 작업에 필요한 소프트웨어도 국내 고유의 기능으로 개발하여 국내에서 개발하는 IED에 적용하고자 한다. 이를 통하여 IEC 61850 프로토콜이 지향하는 완전한 호환성을 갖출 수 있을 것으로 기대된다.

디지털변전소에서 보호와 제어가 하나의 복합 IED에서 수행되면 배전반을 별도로 설치하지 않고 차단기의 제어반에 설치된 IED에서 바로 운전원 HMI로 연결되게 된다. 이로 인하여 개폐기에 보다 가깝게 설치되는 IED는 현재 설치되어 운영되는 배전반실 보다 개폐기에 매우 가까운 거리에 설치되게 되고 보다 높은 수준의 써지전압에 노출되게 된다. 옥외에 설치되는 경우에는 하절기의 높은 온도와 습도, 동절기의 낮은 온도에서 장기간 운전되어야 한다. 이러한 요구 조건에 충분한 성능을 보장하기 위하여 EMC 및 서지 내성시험, 환경 가속열화시험, 실제 고장파형 재현 시험 등에 대한 연구를 2010년부터 3년간 수행할 예정이다.

1단계에서 개발된 제품을 현장에 적용하기위한 계획으로는 배전선로 보호용 IED를 들 수 있다. 과거 보호계전기 고장의 많은 부분을 점유하고 있었던 보조계전기에 의한 오동작을 방지하고 신뢰성을 확보하기 위한 방법으로 배전용 25.8(kV) GIS 전장부에 설치되어 있는 보조계전기를 IEC 61850 기반의 IED로 대체하기 위한 사양제정 작업을 완료하였으며, 2010년부터 15년 이상 장기 사용한 GIS 대체 시에 우선 적용할 예정이다.

4. 맺음말

이상으로 디지털 기술기반의 변전소 소개와 연구개발 현황 및 향후 전망을 소개하였다. 이제 세계 각국에서 새로 설치되는 변전소는 디지털 변전소라고 할 정도로 그 수를 헤아릴 수 없을 만큼 많이 설치되고 있다. 최초로 IEC 61850 규격이 제정된 2005년에 이미 제품을 출시한 외국의 제작사에 비하여 2005년에 정부주도로 처음으로 연구개발을 시작한 국내의 제작기술은 아직 국제경쟁력을 갖추기 위해서는 넘어야 할 산이 많다고 할 수 있다. 우선 제주도의 스마트 그리드 실증단지과 같은 국내에 시범적용을 하고 약

점보완을 한 후 세계 시장을 노크하여야 할 것이다.

1단계 연구에서는 Station Bus만 적용한 변전자동화 시스템을 구현하였다. 기존의 제어시스템의 대부분은 디지털 기반으로 바뀌었으나 계기용 변류기와 변압기는 기존의 아날로그 방식으로 남아있는 형태이다. 현재까지는 세계적으로도 Station Bus을 적용한 변전자동화시스템까지만 개발하여 시범적용하고 있고, Process Bus을 적용하는 Full-Digital 방식의 변전자동화 시스템은 표준문서에만 규정되어 있고 실제 구현되지는 못하고 있다.

2단계 연구에서는 1단계에서 개발한 시작품에 대한 지속적인 보완 및 개선으로 상품화 기반을 구축하는 한편, Process Bus을 적용하는 Full-Digital 방식의 Intelli-Station 구축용 차세대 변전시스템 개발을 목표로 하고 있다. 이 연구가 성공하면 온전한 디지털 기반의 변전소가 되어 기존의 제어케이블이 거의 필요하지 않게 된다.

변전소 디지털화를 통하여 오동작 방지에 의한 신뢰도의 증가는 물론 실험실 규모에서 충분한 사전시험을 통한 현장 설치 기간의 단축 등 가시적인 효과로 인하여, 많은 전력회사에서 채택하고 있는 디지털변전소 기술은 이제 스마트그리드라고 하는 보다 향상된 전력계통을 구현하기위한 가장 실질적인 수단으로서 조명을 받고 있다.

향후 배전자동화 시스템과의 연계, 상위 제어시스템인 SCADA 및 EMS와의 연계는 물론 보다 차별화된 기능을 구현하기 위한 연구개발이 필요하다는 점과, 스마트 그리드로 가기위해서는 표준화된 프로토콜이 보안의 취약성면에서 가장 큰 핸디캡이 될 수 있다는 우려의 목소리도 높다. 그러나 워드프로세서가 기존의 활판인쇄와 타자기를 대체하였던 것과 마찬가지로 이제 변전기기에 IED를 탑재한 지능형 기기가 시장을 주도할 날이 멀지 않았다.

참 고 문 헌

- (1) "디지털 기술기반의 차세대 변전시스템 개발 1단계 보고서", 한국전력공사, 2008.
- (2) IEC 61850-8-1,SCSM-Mapping to MMS, IEC, 2004.
- (3) IEC 61850-10, Conformance Testing, IEC, 2004.
- (4) Conformance Test Procedures for Server Devices with IEC 61850-8-1 interface Revision 2.0, UCA IUG.
- (5) FUNCTIONAL TESTING OF IEC 61850 BASED SYSTEMS, CIGRE Task Force B5.92, 2007.
- (6) Alex Apostolov, "We can not test 21st century IED with 20th century testing technology", Pac world winter, 2008.
- (7) EPR, "Report to NST on the Smart Grid Interoperability Standard Roadmap", EPR, 2009.

◇ 저 자 소 개 ◇



심응보(沈應輔)

1959년 12월 23일생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1998년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 충남대학교대학원 전기공학과 졸업(박사).

1982~2009년 한국전력공사 근무. 현재 한전 전력연구원 수석연구원. CIGRE C4(계통성능) 한국 대표.

관심분야 : 계통 절연설계, 과도현상 해석 및 낙뢰관측