

해외 배전자동화 기술동향과 한국의 기술개발 방향

하복남, 설일호, 정미애, 정영범
한전 전력연구원

Technical trend of foreign country and development goal of Korea in distribution automation

Korea Electric Power Research Institute of KEPCO

Abstract - 중국, 인도, 독일 등에서 최근들어 배전자동화를 시작하고 있는 국가들의 배전자동화 기술규격을 조사함으로써 외국의 배전자동화 기술동향과 요구사항을 파악하고, 한국에서 개발된 배전자동화 기술과 비교해서 앞으로 어떠한 방향으로 기술개발이 이루어져야 국제 수준에 도달할 지를 검토하였다. 우선 변전소감시제어시스템인 SCADA와 배전자동화의 통합 또는 연계가 필수적이며, 배전계통을 최적상태로 운전하기 위한 다양한 응용프로그램의 추가개발이 필요하다.

1. 서 론

배전자동화에 대한 개념이나 배전자동화의 기능, 배전자동화의 업무 영역 등이 각국의 상황에 따라 조금씩 다르다. 전 세계적으로 볼 때 일부 선진국을 제외하고는 배전자동화가 아직까지 적극 확대되지 않고 있으며, 따라서 주장치, 통신장치, 단말장치 및 개폐장치로 구성되는 배전자동화의 해외 시장은 매우 넓은 것으로 판단된다. 그래서 본 논문에서는 먼저 외국의 배전자동화 기술동향을 분석하여 정리하고, 외국의 요구에 비추어 볼 때 한국의 배전자동화 기술이 어떤 부분에서 보완되어야 할지를 기술하였다.

2. 본 론

2.1 외국의 배전자동화 기술 동향

한국의 배전자동화 기술은 지리적으로 가까이 위치하고 있으며 기술적인 면에서도 앞서 있다고 인식되는 일본이나 미국의 기술을 벤치마킹한 측면이 강하다. 특히 일본과 한국은 발전, 송변전, 배전으로 전력회사의 조직이 동일하게 구분되어 있고, SCADA시스템은 배전자동화 시행 훨씬 이전에 이미 정착되어 있어서, 변전소 구축비는 SCADA 시스템이 원격감시제어를 담당하고, 배전선로의 원격감시제어는 배전자동화 시스템이 담당하도록 하는 업무영역의 구분이 동일할 수 밖에 없었다. 그러나 필리핀이나 싱가포르, 인도 등 동남아 국가들을 살펴보면 이러한 업무영역의 구분이 한국과 다르며, 따라서 배전자동화의 감시제어 영역이 달라진다. 특히 최근들어 전산기술이 급격하게 발달하면서 전력회사 내부에서 다양한 업무의 전산화 요구가 가속화 되고 있다. 그러나 일본이나 한국처럼 업무전산화를 일찍 갖춘 나라들은 업무 내용별로 독립된 시스템을 갖추고 있는데 반해, 이제야 업무 전산화를 시작하는 나라들은 아예 하나의 시스템에서 다양한 업무를 전산 처리하는 통합 시스템을 요구하고 있다.

2.1.1 중국의 배전자동화 및 배전관리시스템

중국 전력계통의 전압계급은 송전전압으로 500, 300, 220, 110kV, 배전전압으로 35, 10, 6.6kV, 저압으로 380, 220V가 국가의 표준전압이다. 배전선로는 가공선로와 지중선로로 구성되는데, 가공선로는 다른 배전선로와 연계되고 상시 개방점을 갖는 Open Loop 방

식이다. 배전자동화 시스템은 현대의 전자기술, 통신기술, 컴퓨터 및 네트워크 기술을 응용하여 배전계통의 운전상태, 설비정보, 고장정보, 지리정보 등을 통합 관리하는 완전한 자동화 및 설비관리 시스템을 추구하고 있고, 배전계통의 정상상태와 사고상태에서의 감시, 보호, 제어와 배전설비의 관리를 담당한다. 중국의 배전자동화 시스템은 일반적으로 배전계통을 원격 운전하는 배전자동화와 배전설비관리를 담당하는 배전관리시스템이 하나로 통합된 것이다. 배전자동화 주장치(主站 : Master Station)는 전체 배전계통의 감시제어, 설비관리 기능을 총괄하는 중심에 위치하는 시스템이다. 중국에는 주장치 하단에 배전서브장치(Slave Station)가 있는데 이것은 주장치의 기능을 분산 처리하고 정보전송 및 시스템 구조계층을 최적화하여 통신시스템의 효율성을 위해 설치한 것으로서 일정 범위내의 정보 수집과 전송처리, 고장처리, 통신감시 등의 기능을 실현한다. 배전원격단말은 중저압 전력계통의 각종 원격감시제어에 이용되는 중요한 기기이다. 여기에는 배전자동화 감시제어단말(FRU: Feeder Terminal Unit), 배전변압기 감측단말(TTU: Transformer Terminal Unit), 개폐소나 배전소용 감시제어단말(DTU: Distribution Terminal Unit) 등이 포함된다. 특징적인 것 중에 하나는 배전선로에 설치되어 있는 변압기의 용량이 매우 크며, 따라서 시스템은 변압기를 감시해야 한다는 것이다. 아래 <표 1>은 중국의 배전관리시스템의 기능이다.

<표 1> 중국의 배전관리시스템 기능

구 분	세부내용
배전계통 원격운전	배전계통 원격감시제어, 전압관리, 무효전력 관리
변전소 운전정보수집	SCADA와 통신
배전선로 고장처리	선로고장의 자동 분리복구
지형도상 설비 및 계통도관리	지도상 표시, 실시간 운전정보 표시, 설비관리
배전계통 처리업무 전산화	계통해석, 운전보수 관리, 공사설계 관리, 배전계획 설계
전력사용분야 시스템 연계	고객정보시스템, 부하관리시스템, 검침시스템 연계, 고객 고장신고
배전망 분석 소프트웨어	계통추적, 조류계산, 단락전류계산, 부하모형, 부하예측, 전압조정과 무효전력 최적화

2.1.2 인도의 배전관리시스템

인도는 아직 제대로 구현되는 배전자동화 시스템을 가지고 있지 않다. 그러나 최근 인도의 수도 뉴델리에 소재하고 있는 Reliance Energy사가 배전관리시스템의 기술규격을 작성하고 2005년도에는 이를 시행할 계획을 공표하였다. 여기에는 배전관리시스템의 주요기능을 변

전소와 배전계통의 운전 감시, 고장구간 분리 및 복구, 무효전력(Var) 제어, 전압 제어, 조류계산, 부하예측이라고 명시하고 있다.

동작감시 기능은 모든 차단기, 커패시터 스위치, 리클로저, 및 부하개폐기들의 동작상태와 횡수를 기록한다. 고장처리(Fault Isolation Service Restoration) 기능은 변전소의 상태와 고장조건(차단기 및 R/C의 lockout 또는 trip)으로부터 선로의 고장발생을 감지할 수 있는 능력을 가지고 있다. 개폐소 고장은 타이 스위치나 개폐소의 부하전환 스위치를 차단하고, FISR은 다른 배전선로로 절체하여 전력을 공급하도록 복구한다. 무효전력 제어 기능은 관련된 배전망에서 무효전력의 흐름을 제어하는데 사용된다. 이것은 변전소와 선로를 포함하는 전력계통의 커패시터 뱅크에 투입이나 개방명령을 자동으로 보냄으로써 달성된다. 그렇게 함으로써 지속적으로 부하가 변할 때라도 ±5% 이내의 전압변동 범위를 유지하고, 무효전력을 제어하여 손실을 최소화 하는 것이 목표이다. 전압제어는 배전선로의 전압을 올리거나 낮추기 위해서 변전소의 주변압기 탭절환장치(ULTC)를 조절하는 것을 의미하며 시스템에서 전압상태를 미리 예측하여 원격으로 전압제어를 시행하는 것을 말한다. 배전조류계산(Power Flow)은 배전선로 말단의 전압강하나 손실 및 조류의 흐름을 계산하고 화면에 표시하는 것이다. 조류계산 결과에는 아래의 항목을 포함한다.

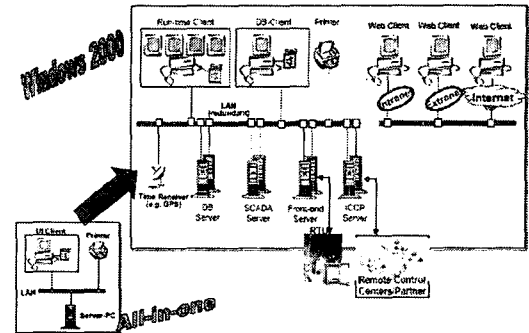
- 유효전력, 무효전력 및 모든 회로의 전류
- 모든 모선에서 각 상의 전압, 배전 변압기의 2차측 전압
- kWh와 kVarh 그리고 유/무효 손실률, 선로 손실률, 변압기 손실률
- kWh와 kVarh 그리고 월간 누적손실률
- 변전소 변압기와 선로 전압 조정기(Voltage Regulator)의 탭 위치
- 자동절환개폐기와 커패시터 스위치의 위치
- 중압(MV)과 저압선로의 전압 강하
- 3상회로의 상불형률($\frac{I_{avg} - I_{min}}{I_{avg}} * 100$)
- 3상회로의 전압불평률($\frac{V_{max} - V_{avg}}{V_{avg}} * 100$)

부하예측은 운영계획과 계통해석을 지원하기 위해, 30분 간격으로 이후 최대 8일까지 예측이 된다. 사용자는 예측내용을 한가지로 저장할 수 있다. 요일별 형태(7일간)로 저장된 30분 부하 데이터를 기초하여 유사한 일자의 부하를 예측한다. 부하데이터는 25개월 동안 날짜 형식으로 저장되어지고, 기간이 지나면 최신 데이터로 갱신된다. 일일 부하예측은 사용자가 입력한 날짜 조건에 적합한 같은 형식의 데이터에 대해 25개월의 파일을 검색하여 사용자가 입력한 조건과 가장 부합하는 조건의 데이터를 선택한 날짜의 부하와 함께 나타낸다. 사용자는 표 형식과 그래프 형식으로 부하예측을 출력하고 화면에 표시할 수 있다. 이것은 현재와 과거의 실 부하 및 예측부하를 화면상에 동시에 표현할 수 있다. 또, 배전관리시스템에는 서비스 인덱스의 품질을 계산할 수 있는 기능이 있다. 서비스 인덱스로서 지정한 기간 동안의 SAIDI, MAIFI, SAIFI 및 CAIDI를 계산하여 제공한다.

2.1.3 독일 Siemens사의 배전관리시스템

Siemens사가 개발한 Spectrum PowerCC라는 시스템은 발전, 송전, 변전, 배전분야를 모두 담당할 수 있는 EMS, SCADA, DMS가 통합된 시스템으로 소개되고 있다. 적용분야를 수요관리, 배전관리, 발전관리, 교육훈련, 기록관리, 운전지원, 에너지관리, Third-Party

로 제시하고 있다. 실시간 기능으로서는 SCADA기능, 정보관리, 조작순서 관리, 보고서관리, 데이터베이스부 등이 있다. 이 시스템의 구성은 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> Spectrum PowerCC 구성도

배전관리 기능을 요약하면, 고장처리기능, 배전계통 최적 재구성, 배전계통 조류계산, 배전계통 단락전류 계산, 전압 및 무효전력 제어, 정전관리, 조작순서 관리 등이 있다.

고장처리기능(FLOC+FISR)은 차단기와 리클로저의 보호기기 동작여부와 과전류표시기의 정보를 통신을 통해 읽어서 고장을 인지함으로써 시작된다. 정전관리시스템(OMS : Outage Management System)으로 접수된 정전수용가의 전화 신호를 기반으로 감지된 배전설비의 정전정보도 함께 고려된다. 이런 정보를 이용하여 고장구간을 판단하고, 고장구간을 양단으로 분리하며, 부하절체 계산을 통해 부하절체를 위한 개폐기 조작순서를 자동으로 작성해 줌으로써 원격조작을 할 수 있다. 고장수리가 끝나면 고장전의 배전선로 상태로 복구시키는 개폐기 조작순서에 따라 원격제어가 이루어진다.

배전계통 최적 재구성(OFR : Optimal Feeder Reconfiguration)은 배전선이나 변압기의 과부하 또는 배전계통의 손실감소 등과 같은 운전조건을 만족하도록 배전계통을 재구성하는 것이다. 이것은 배전망 조류계산의 결과를 기초로 하며, 그 해는 개폐기 조작순서 형태로 운용자에게 제공된다.

배전망조류계산(DSPF : Distribution System Power Flow)은 대개의 배전망에 인입되는 전압과 전류를 가지고 배전망의 상태를 판단하는 용도로 쓰인다. 과부하의 인지 및 해결, 선로손실의 감소, 설비용량 한도 내 리소스 사용, 전력공급 품질 증가 등이 가능하다. 변동되는 부하상태와 계통 구성상태 하에서 배전망을 해석한다. 시스템은 선형 혹은 비선형 조류계산을 수행한다.

단락계산(DSCC)은 전력계통에서 일어나는 단락고장 또는 지락고장시의 최대 및 최소 고장전류를 계산하는데 사용되고, 전압/무효전력 제어(VVC)는 변압기의 탭절환기나 직렬리액터를 사용해서 배전망의 전압이나 무효전력을 제어하는 것이다.

정전관리시스템(OMS)은 배전망에서 갑작스럽게 발생하는 동요(Disturbance)를 알아내고, 발생위치를 찾아내며, 분리하고, 복구하기 위해 사용되며, 계획정전도 해당된다. OMS는 동요에 대한 메시지의 접수, 정전수용가의 전화, 차단기의 트립 정보로부터 시작되며, 수반되는 개폐 조작현황은 트립기록과 동요기록으로 구분되어 기록 관리된다. 조작순서관리(SPM)는 계획정전 또는 반복되는 개폐기 조작을 위한 스위칭 순서의 생성이나 편집, 선택, 정렬, 출력 및 저장하는데 사용된다. 개폐조작은 현장 전기원의 수동조작이나 원격자동제어로 수행될 수 있다. 제시된 개폐기 조작순서는 개별조작이나 일괄조작 명령으로 실현될 수 있다.

2.2 한국의 배전자동화 기술개발 방향

위에 기술한 외국의 배전자동화와 한국의 상황을 비교해 보면 어떠한 부분에 초점을 맞춰야 할지 대략적인 방향설정이 가능하다. <표 2>는 국가별 배전자동화 비교결과이다.

<표 2> 국가별 배전자동화 비교

구분	독일	중국	인도	한국
운전 대상	변전소 배전계통	배전계통 (일부CB)	변전소 배전계통	배전계통
수용 범위	고압 저압	고압 저압	고압 저압	고압
통합 연계	SCADA+ DMS통합	DMS+ SCADA연계	SCADA+ DMS통합	DAS+ SCADA연계
프로토콜	IEC	DNP IEC	IEC	DNP
응용 프로그램	감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 손실최소화 단락계산 정전관리 조작순서 V/Var제어	감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 단락계산 웹브라우저 작업자관리 V/Var제어	감시제어 고장처리 토폴로지 부하예측 조류계산 서비스품질 조작순서 V/Var제어	감시제어 고장처리 토폴로지 손류계산 손실최소화 단락계산 조작순서 보호협조

2.2.1 SCADA와 배전자동화의 통합

상기 <표 2>에서 보듯이 SCADA가 운영되는 나라에서는 배전자동화 시스템과 SCADA간의 연계를 요구하지만, 아직 SCADA 시스템이 설치되지 않은 나라에서는 배전자동화와 SCADA 기능이 통합된 시스템을 요구하고 있다. 이것은 경제성이나 효율성 측면에서 바람직한 일이다. 한국은 이미 SCADA와 배전자동화가 별도의 시스템으로 개발되어 상당 기간 실제통에서 운전되고 있기 때문에 시스템의 연계가 요구된다. 이것을 구현하는 방안으로 두 가지가 가능한데, 하나는 독립된 SCADA와 배전자동화 시스템의 주장치 간을 Lan으로 연계하여 하나의 시스템처럼 운영하는 방법이다. 각 시스템에 Gateway를 설치하고 이를 통해 연계하여 필요한 데이터를 주고 받는 방식인데, 단기간 내 구현이 가능하고, 기술적인 문제점이 많지 않으며 서로의 영역이 보장되는 장점이 있는 반면에 시스템이 복잡해진다. 두 시스템을 연계하는 방안을 선택할 경우 연계 데이터는 아래와 같다.

- 감시(SCADA→DAS)
 - MTR : 2차전류, P, Q, V(1차/2차), ULTC탭
 - 모선 : 모선전압(1차/2차), DS상태, LS상태
 - D/L : 전류, CB상태, DS상태
 - 계전기 : 5I, 5IN, 79
- 제어(DAS→SCADA)
 - 배전선로 CB(투입/개방), 재폐로(On/Off)

다른 하나는 SCADA와 배전자동화의 기능을 하나의 시스템에서 구현하도록 새로운 통합시스템을 개발하는 것이다. 이것은 양사의 소프트웨어가 공개되어야 하고 개발품에 대한 소유권 분쟁 소지 등 문제점이 있기는 하지만 가장 이상적인 방안으로서 외국의 메이저 회사가 추진하고 있는 방안이다.

2.2.2 배전관리 기능의 구현

배전관리 기능이란 고압 및 저압 배전설비를 지형도상

에서 관리하는 기능이다. 공사관리, 설비데이터관리, 정전관리, Trouble Call System 등이 포함된다. 한국에서는 이러한 기능을 신배전정보시스템(NDIS)과 수용가정보시스템(NCIS)에서 처리하고 있다. 이러한 기능이 구현되려면 Smallworld나, Arcinfo, Mapinfo와 같은 고가의 그래픽 전용 Tool을 사용하는 것이 일반적이며, 그렇게 되면 고압계통뿐만 아니라 저압계통까지 화면상에 표현하고 관리하는 것이 가능하다. 그러나 매우 많은 데이터가 입력되고 관리되므로 만약 운영자가 데이터 관리를 소홀히 하면 처음 설치할 때는 그럴 듯해 보이지만 데이터의 부정확성 때문에 제대로 활용되지 못하게 된다.

2.2.3 국제 표준 프로토콜의 적용

전력계통을 자동화 운전하는데 사용되는 통신프로토콜은 크게 DNP와 IEC 계열로 대별된다. 미국의 영향을 받은 나라들은 DNP 3.0을 사용하며, 유럽의 영향을 받은 국가들은 IEC 60870-5를 사용하고 있다. 또 최근에는 이러한 프로토콜이 갖는 한계성을 극복하기 위해 2003년 말에 공포된 IEC 61970을 채용하기 시작하였다. 따라서 국제적으로 많이 채용되고 있는 통신프로토콜을 모두 수용하기 위한 기술개발이 반드시 필요하다.

2.2.4 응용프로그램 추가 개발

각국의 배전자동화 기능을 비교해보면 주요기능은 거의 비슷하지만 국가마다 조금씩 다른 부가 기능들이 요구되고 있다. 한국시스템에 없는 것들로서는 부하예측, 정전관리, 전압/무효전력 제어, 웹브라우저, 작업자관리, 서비스품질관리 등이다. 이 중에서 GIS 기반위에서 설비를 관리하는 배전관리시스템(DMS) 형태로 시스템이 개발되지 않고서는 구현하기 어려운 기능이 정전관리와 서비스품질 관리이다. 반면에 한국시스템이 구현하는 기능 중에서 보호협조 기능은 외국 시스템에서 찾아보기가 쉽지 않다. 이렇게 국가마다 차이가 있기는 하지만 만약 우리 기술을 해외에 소개하고자 한다면 외국에서 요구하는 모든 응용프로그램을 갖추고 있어야 신속하고 유연한 대응이 가능할 것이다.

3. 결 론

국내외의 배전자동화 기술을 비교해 봄으로써 우리가 어떤 방향으로 연구개발을 진행해 나가야 할지 방향을 잡을 수가 있다. 특히 우리의 기술개발 결과를 외국에 소개하고 싶다면, 우리나라 환경에서는 불필요한 기능일 지라도 외국의 요구에 맞춰 제공할 수 있는 준비를 하는 것이 필요하다. 그 구현방안으로 우선은 현재 국내에서 개발된 배전자동화 기술을 바탕으로 해서 단기간 내에 추가가 가능한 일부 프로그램을 개발하게 되겠지만, 궁극적으로 아예 외국의 모든 요구를 수용할 수 있는 새로운 시스템을 개발할 필요가 있다고 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] Siemens, "Spectrum PowerCC product review", SPC-AS-OV-03.01.00-EN, 2002.03
- [2] KEMA, "Technical Specifications of SCADA/DMS", Reliency Energy, 2004
- [3] 중화인민공화국국가경제무역위원회, "배전자동화 시스템 기능규범", 중화인민공화국 산업표준, DL/T814, 2002