대규모 배전자동화 시스템의 응용프로그램 개발 방향

하복남, 윤태상, 임성일, 강문호, 조남훈, 이흥호
전력연구원 충남대

The development plan of application program of large scaled distribution automation system

Bkonam Ha, Taesang Yoon, Seongil Ilm, Munho Kang, Namhun Cho, Heungho Lee
Korea Electric Power Research Institute Chungnam National University

Abstract - The new distribution automation system was developed in KEPCO just recently. This system has many functions for remote control and data acquisition but it has not all functions for the full automated distribution system. This paper presents the contents of many kinds of additional application programs on the stage of developing and coming to the final completion for the large scaled distribution automation system.

1. 서 론

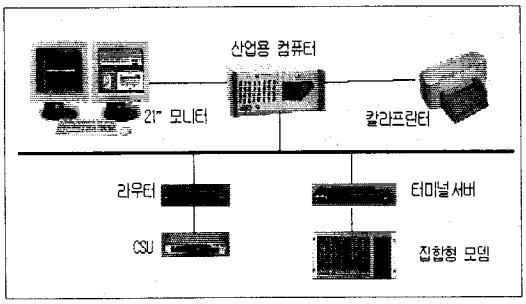
배전자동화 시스템은 적용지역의 규모에 따라 대규모 시스템과 소규모시스템으로 나누고 있다. 두 시스템은 주장치의 구성 측면에서 신뢰도를 확보하기 위해 주장치의 이중화를 시행하느냐 안하느냐의 차이가 있지만 그보다도 시스템이 구현하는 소프트웨어적인 기능면에서 더 큰 차이가 있다고 할 수 있다. 소규모시스템은 배전자동화의 기본기능인 배전선로의 원격감시제어에 포인트가 맞추어져 있지만 대규모시스템은 여기에 배전선로 고장자동처리 기능과 시뮬레이션 기능을 포함하고 있고, 향후에는 이력정보 트랜드 그래프 표시프로그램, 단시간 부하예측 프로그램, 회선별 단선도 자동생성 프로그램, 온라인 구조의 배전선로 고장처리 프로그램, 자동화선로 보호기기 정정 프로그램, 보호기기 및 자동화개폐기 설치위치 선정 프로그램, 배전계통 운전 최적화 프로그램 등이 추가 개발될 예정이다. 또, 하드웨어의 네트워크 구성이 소규모시스템은 단독으로 운전되는데 반해 대규모시스템은 신배전정보시스템(NDIS), 변전소자동화시스템인 SCADA시스템과 연계가 될 것이고, 예하 사업소에 있는 소규모 배전자동화 시스템과 대규모시스템의 연계도 추진될 예정이다. 본 논문에서는 이러한 대규모 배전자동화 시스템의 응용프로그램 개발 방향에 대해 기술한다.

2. 시스템 비교

2.1 소규모시스템

소규모 배전자동화 시스템은 주장치의 구성이 간단하여 원격운전 대상설비의 규모가 작은 중소도시나 농어촌 지역에 적용하기에 알맞은 시스템이다. 주장치는 펜티엄 Ⅲ 산업용 PC 1대와 21" 모니터 2대, 칼라 프린터로 구성되고, 현장기기와의 통신을 위해 라우터와 CSU를 거쳐 무선용 단말장치를 가진 자동화개폐기까지 연결되는 구성을 가지고 있다. 유선방식과 무선방식을 혼용하는 소규모 배전자동화 시스템의 구성도를 〈그림 1〉에 보이고 있다.

기본적인 현장 계측방식은 터미널 서버 방식을 사용한다. 이는 저렴하면서도 간편하게 포트를 구성할 수 있는 장점은 있으나, 많은 포트를 확장하게될 때 네트워크에 부하를 줄 수 있으며, 터미널 서버에는 별도의 CPU가 없기 때문에 모든 부하를 컴퓨터에서 감당하여야 한다. 통신프로토콜로 배전자동화용 표준프로토콜로 결정된 DNP 프로토콜을 사용하고 있으묘, 현장기기의 동작사항을 현장기기가 주장치에 통보하는 Unsolicited Response 방식에 적합하도록 되어 있다. 무선망의 구성은 Router와 CSU를 통하여 한전본사 LAN망에 접속되고 여기서 무선망 사업자를 통해 상용 운전중인 무선통신망을 거쳐 자동화개폐기까지 연결되는 구성이다.



〈그림 1〉 소규모 배전자동화 시스템 구성도

2.2 대규모시스템

대규모시스템은 기본적으로 Scalable 구조를 근간으로 하고 있다. 모든 응용프로그램이 주장치가 단 1대의 컴퓨터에서 구동될 수도 있고, 본격적인 대규모시스템 규모인 5~6대의 컴퓨터 구성에서도 수행될 수 있다. 〈표 1〉은 대규모시스템의 특징을 소규모시스템과 비교한 것이다. 대규모시스템은 미들웨어를 기반으로 한 분산객체구조를 가지고 있다. 따라서, 전체적인 노드의 수가 제한이 없고 내부적으로 분산형 실시간 데이터베이스를 근간으로 움직이기 때문에 한 노드가 어떠한 문제로 인해 수 시간동안 알람(Alarm) 및 이벤트(Event) 메시지를 수신 받지 못했다고 하더라도 복구가 되면 수 시간 사이에 일어난 일을 모두 통보 받아 노드간의 데이터 일치성이 보장되는 Store and Forward 구조를 가지고 있다. 또한, 클러스터링 기법에 의한 하드웨어적인 이중화뿐만 아니라 소프트웨어만으로 이중화가 가능하다. 이상에서 살펴본 바와 같이 대규모시스템은 기본 설계 개념부터 Scalable한 구조를 지향하고 있기 때문에 소규모시스템을 대규모시스템으로 업그레이드하는 것이 용이하다.

2.3 시스템 비교

대규모시스템과 소규모시스템은 현장기기를 원격에서 감시하거나 제어하는 기본기능은 동일하게 구현되지만 배전선로에서 발생한 고장의 자동처리 기능이나 운용자가 사용법을 훈련할 수 있는 시뮬레이션 기능 등은 대규모시스템만이 가지고 있다.

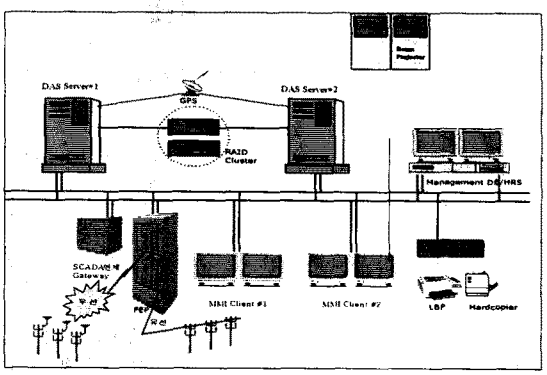
O/S는 Windows NT를 두 시스템 모두 사용하기 때

문에 동일하지만 대규모시스템은 복잡한 응용프로그램간의 처리를 원활하게 하기 위해서 미들웨어(BASEstar)를 사용하고 데이터베이스도 처리용량에 맞도록 상용 Tool(SQL server)을 사용하고 있다. MMI 화면상의 배전계통도 표시방식이 소규모시스템은 스키매틱 방식을 사용하는데 반해, 대규모시스템은 국가표준지형도 상에 실제 배전선로나 개폐기가 설치된 위치를 일치시켜 표시하는 GIS 방식을 사용하고 있다. 또, 시스템의 감시기능이나 각종 데이터를 가공 편집하여 표시하는 보고서 출력기능 등이 추가되어 있다.

〈표 1〉 대규모시스템과 소규모시스템 비교

구분	소규모	대규모
컴퓨터 시스템	PC 1 Set	Server 2 Set (이중화) Client용 PC 3 Set
OS	Windows 2000/NT	Windows 2000/NT
DataBase	-	SQL Server 7.0
Middleware	-	BASEstar 3.2
그래픽 개발도구	CiMON	MFC 이용 개발
FEP	Terminal Server	Compact PCI
Network	Single Ethernet	Dual Ethernet

〈그림 2〉는 강동지점에 설치되어 있는 대규모 배전자동화 시스템의 구성도이다.



〈그림 2〉 대규모 배전자동화 시스템 구성도(강동지점)

3. 대규모 배전자동화용 응용프로그램

3.1 기개발 응용프로그램

통신처리프로그램(FEP), 사용자 그래픽 인터페이스 프로그램(MMI), 오프라인 모드의 고장처리프로그램(FA), 미들웨어 프로그램(Alarm/Event, 실시간 데이터베이스 관리, 데이터 패싱), 보고서 출력 프로그램 등이 개발 완료되어 운전되고 있다.

3.2 추가 개발 예정인 응용프로그램

배전자동화 시스템의 운전효율성을 높이기 위해서 추가로 개발이 진행중인 응용프로그램은 배전선로 상시연계점 최적화 프로그램, 회선별 단선도 자동생성 프로그램, 자동화선로 보호기기 자동정정 및 원격설정 프로그램, 부하추이 그래프 생성 및 단시간 부하예측 프로그램, 자동화개폐기 설치위치 선정 프로그램, 온라인 상태로 운전되는 배전선로 고장처리 프로그램 등이다. 이중에서 개발방향이 정립된 응용프로그램에 대해서 간단하게 설명한다.

3.2.1 상시연계점 최적화

방사상으로 운전되는 배전계통에서 최선의 상시연계점 결정은 개폐기의 상태에 대한 조합최적화 문제로서 분기교환법, 분지한계법, 시뮬레이티드어닐링, 타부써치, 유전 알고리즘 등의 탐색수법에 의해 부하를 균등히 배분하고 손실을 최소화하기 위한 다양한 방법이 제시되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 실제 배전계통 운영에 있어 매우 중요하게 다루어지는 사고에 대비한 부하절체 능력을 고려하고 있지 못하며, 부하의 일부만 변경되어도 다시 최적화하려면 많은 수의 개폐기 조작을 필요로 하여 실계통에서 사용되기에는 어려운 점이 있다. 배전자동화 시스템에서 구현될 최적화 소프트웨어는 선로용량, 전압강하와 더불어 사고대비 능력을 제약조건으로 이를 만족한 범위내에서 선로손실과 개폐기 조작횟수를 최소화하는 목적함수를 사용한다. 탐색방법은 선택도태나 돌연변이 같은 생물진화의 원리로부터 착안된 이론으로서 전역적 최적해를 탐색하는데 유리하며 특히, 조합최적화 문제의 해를 구하는데 유용하다고 알려져 있는 유전알고리즘을 이용한다.

3.2.2 선로별 단선도 자동 생성

현재 국가기본지형도 상에서 실계통의 설치위치에 배전선로 및 개폐기가 그려지도록 구현된 배전자동화 시스템의 계통도는 개폐기의 위치를 파악하기가 용이한 점 등 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그러나 여러 개의 케이블이 하나의 관로 안에 들어있거나 부하밀집지역에서는 아이콘이 서로 겹치어 계통의 구성을 파악하기 어려운 단점이 있다. 따라서 배전선로를 전기회로의 관점에서 가장 이해하기 쉽도록 스키매틱 형태로 표현되는 단선도가 필요하다. 단선도 생성프로그램은 실시간으로 계측되는 개폐기의 열림/닫힘 상태를 이용하여 각 D/L에 소속된 구간 및 개폐기를 동적으로 파악하고 선로의 긍장과 연결관계를 이용하여 화면표시를 위한 최적의 좌표를 계산한다. 이 단선도는 각 선로의 공급구역, 선로간의 연계, 개폐기 회로상 위치 파악 등이 용이하므로 배전선로 고장처리 프로그램의 계산결과를 효과적으로 운영자에게 전달할 수 있을 것으로 기대한다.

3.2.3 보호기기 자동정정 및 원격설정

배전계통의 보호기기에는 변전소에 설치된 OCR, OCGR과 선로상에 설치된 리클로져, 섹셔날라이져, 퓨즈 등이 있다. OCR/OCGR은 배전자동화 기기가 아니고 SCADA 시스템과의 연계를 통한 감시만이 가능하므로 현재로서는 원격정정이 불가능하다. 섹셔날라이져는 동작특성이 배전자동화 시스템의 사고대응 스킴과 부합되지 않으므로 사용이 억제되어야 하고, 퓨즈는 당연히 원격정정이 불가능하기도 하거니와 최말단 보호기기이므로 기존의 방식대로 사용되어도 무방하다고 여겨진다. 결국 배전자동화 시스템의 보호기기 자동정정은 변전소의 보호계전기와 협조 운전되는 원격설정이 가능한 리클로져에 국한된다. 배전자동화 시스템 데이터베이스는 변전소의 모선등가임피던스, 구간별 긍장 및 선종, 부하량을 포함하고 있으며 선로 연결관계를 추적하여 전위 및 후비 보호기기의 탐색이 가능하므로 동작특성곡선(T-C 커브)만 추가하면 리클로져를 자동정정하기 위한 모든 데이터가 구비된다. 보호기기 정정기준 및 운영자의 노하우를 수집하여 룰 베이스를 구축하고 추론엔진을 작성하여 Rule Based Expert System으로 개발할 예정이다.

3.2.4 부하이력트랜드 및 단시간 부하예측 프로그램

배전자동화 시스템에서 부하는 개폐기나 분기점으로 둘러싸인 구간단위로 관리된다. 자동화개폐기에서 매 15분의 평균전류가 측정되면 인접한 자동화 개폐기들과의 전류차와 계약전력의 비로 각 구간의 부하를 계산하

여 저장한다. 이렇게 저장된 부하이력 정보들을 트랜드 그래프를 화면상에서 볼 수 있게 하는 응용프로그램을 개발할 예정이다. 선로고장이 발생하면 보통 2시간 이내에 수리가 완료되어 재 송전이 가능하므로 부하융통 계산에 사용될 구간별 부하량은 마진을 두어 고장발생 시점으로부터 3시간이내에 예상되는 최대부하에 구간별 부등율을 고려하여 계산한다. 최대부하의 예측은 요일, 특수일 및 계절을 고려하여 이전의 시간별 일부하 변화 패턴으로부터 추정한다.

3.2.5 정전복구기능의 온라인 자동운전

정전복구(Service Restoration)프로그램은 먼저 선로의 허용용량과 전압강하 제약조건을 만족하는 복구방안 후보들을 탐색하고, 실행 가능한 후보들을 스위칭수, 부하균등화, 대상대비도, 건전부하 절체의 관점에서 퍼지(Fuzzy) 로직으로 종합적으로 평가하여 최선의 해를 도출하는 구조로 개발되어 있다. 향후 SCADA 시스템과의 연계가 완료되고, 리클로져가 자동화용으로 교체되면 고장의 인지부분을 실계통에 맞게 보완하여 고장인지, 고장구간탐색, 복구방안수립 및 절체, 수리후 원상복귀까지의 전과정이 온라인 자동운전 될 수 있도록 구성할 계획이다. 고장의 인지는 변전소의 경우 보호계전기의 동작포인트가 종합접점이므로 각 D/L CB의 상태정보와 조합하여 사용하고, 리크로져의 경우 고장표시기 동작정보와 차단부의 상태정보를 조합하여 사용한다. 지금까지 개발된 고장처리프로그램은 오프라인 모드에서 운전되는 방식이었다.

3.3 전산시스템 연계 프로그램

배전분야 업무를 전산처리하는 다른 시스템과 배전자동화 시스템을 연계하면 여러 가지 이점이 있다. 변전소의 각종 기기를 원격에서 운전하는 SCADA시스템, 지리정보 국가표준 지형도 상에 각종 배전설비를 표시하고 관리하는 신배전정보시스템(NDIS) 등과 배전자동화 시스템간의 연계는 경제성 및 효율성 측면에서 필수적으로 여겨진다. 또, 지사급 사업소에 설치될 대규모 배전자동화 시스템과 지점급 사업소에 설치된 소규모 배전자동화 시스템을 연계하여 운전하는 것도 업무능률 향상을 기대하게 한다.

3.3.1 SCADA-DAS 연계

배전자동화 기능을 제대로 구현하기 위해서는 주변압기 부하, 변전소의 배전용 모선전압, 인출선로의 전류, 차단기의 상태, 계전기 동작정보 등의 변전소 운전정보가 필요하다. 이것을 취득하는 방안으로 SCADA시스템과 배전자동화 시스템을 네트워크 상으로 연계하여 필요한 데이터를 수집하고, 수집한 데이터를 배전자동화 시스템의 화면에 표시하며, 이렇게 수집된 실시간 운전정보를 이용하여 배전계통을 최적 운전할 뿐만 아니라 데이터베이스에 누적 관리하고 이력정보로 출력도 가능하다. 이 데이터는 배전선로의 고장인지 및 부하융통 처리에 필수적으로 사용되며, 변전소 구내 고장시의 배전계통을 절체 운전용으로 사용된다. 연계하는 방법은 SCADA 시스템의 PIS(Power Information Subsystem)와 배전자동화 시스템의 FEP(Front End Processor) 사이를 TCP/IP 프로토콜로 연계하는 것이 바람직한 것으로 검토되고 있다.

3.3.2 NDIS-DAS 연계

신배전정보시스템은 전국에 시설된 방대한 배전설비의 효율적인 관리와 원활한 배전계통의 운영을 위해서 설비의 재원, 설치이력, 구조, 계통 연결상태 등 설비 실체의 전반적인 정보를 지리적 위치정보와 함께 컴퓨터그래픽 도면으로 관리할 수 있는 GIS 기술을 바탕으로 설비자료관리, 도면관리, 배전설계, 종합DB화 등 배전분야 운전업무를 전산화한 시스템이다. 이 시스템에서는 배전자동화 시스템에서 필요로 하는 지리정보상에 표시된 고압계통도와 설비제원 자료 등이 집중 관리되고 있다. 따라서 NDIS와 배전자동화를 연계하면 데이터베이스 및 MMI 구축에 소요되는 업무량이 대폭 줄어들게 된다. 또 NDIS 측면에서는 배전자동화 시스템이 제공하는 배전계통 운전상태, 전압전류 등 실시간 운전정보를 제공받을 수 있게 되어 시스템 운용효율이 높아진다. 현재까지 검토된 바로는 NDIS는 O/S가 UNIX인 시스템으로 데이터베이스 Tool로 Oracle을 사용하고 그래픽 Tool로는 Smallworld를 사용한다. 또, 배전자동화 시스템은 Windows NT를 O/S로 사용하고, 데이터베이스로 Microsoft SQL Server를 사용하고 있으며, 그래픽을 만들기 위해서 상용Tool을 사용하지 않고 MFC로 자체 제작하였다. 따라서 두 시스템이 서로 상이한 환경을 가지고 있어서 시스템 연계를 하기 위해서는 H/W 및 S/W측면에서 검토할 사항이 많다. 우선 기본적인 연계 방향을 아래와 같이 정하고 추가 연구를 수행하여 시스템을 연계시킬 예정이다.

- DAS→NDIS : 개폐기 투입/개방 정보, 전압전류값
- NDIS→DAS : 계통도, 설비도, 설비이력 등

3.3.3 대규모시스템과 소규모시스템 연계

대규모 배전자동화 시스템은 지사급 사업소에 설치되고 소규모 시스템은 지점 단위 사업소에 설치되는 것이 일반적이다. 그런데 지점 단위의 작은 사업소에서는 배전자동화 시스템을 운전하는 운영요원이 별도로 없이 배전운영실에 설치하여 운전하게 되므로 고장이 발생하여 현장에 배전전기원이 출동한 경우 시스템을 이용하여 원격 조작을 수행할 사람이 없게 된다. 따라서 소규모 시스템과 대규모 시스템을 상호 연계하여 배전사령원이 상주하는 지사급 사업소에서 예하 사업소의 배전계통 운전을 할 수 있게 되면 시스템의 운전 효율을 높일 수가 있다. 현재 소규모시스템과 대규모시스템의 주장치 구성이 상이하고 사용하고 있는 소프트웨어도 다르므로 이를 연계 운전하기 위한 연구를 수행하여 실계통운전이 가능한 연계 모듈 및 하드웨어를 개발할 예정이다.

4. 결 론

대규모 배전자동화 시스템은 2000년 8월에 개발이 완료되어 강동지점과 영등포지점에 설치되었고, 2001년에는 경기지사에도 설치될 예정이다. 현재까지 구축된 이 시스템의 기능은 원격감시제어 기능수행은 충분히 할 수 있지만 위에 언급한 모든 응용프로그램이 추가됨으로서 더욱 완벽한 시스템이 될 것이고, SCADA나 NDIS 등 관련 있는 전산시스템과 연계하여 원활한 운전이 이루어지면 외국 제품과 비교해도 손색이 없는 배전자동화 시스템이 될 것이다. 계획대로 연구개발이 이루어져 2002년부터 서울을 비롯한 전국 주요도시의 큰 배전사업소에 대규모 배전자동화 시스템이 설치되어 운전되기를 기대해 본다.

[참 고 문 헌]

[1] 전력연구원 배전기술그룹, "신 배전자동화 시스템 개발연구 최종보고서", 3-4p, 44-47p, 81-89p, 2000
[2] 하복남 외, "신 배전자동화 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 설계", 대한전기학회 하계학술대회, 1428-1430p, 1999