

종합 배전자동화용 응용프로그램 개발

설일호, 하복남, 정미애, 신익수
전력연구원

The Development Application Programs for Distribution Automation System

Bok-Nam Ha, Ieel-Ho Seol, Ick-Su Shin
Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 이 논문에서는 종합배전자동화용 응용프로그램을 소개하고자 한다. 자동화개폐기에서 원격으로 취득한 각종 데이터를 이용하여 배전계통을 최적으로 운전함으로써 전력품질 향상과 경제적인 효과를 얻을 수 있었으며, 현재 개발된 프로그램은 종합배전자동화시스템에 적용하여 사용하고 있다.

1. 서 론

초기의 배전자동화시스템은 배전선로에 설치되어 있는 자동화개폐기를 원격조작·제어에만 국한하여 사용하여 구성이 간단하고 가격이 저렴한 중소도시형 소규모배전자동화시스템으로 출발하였다. 그러나 한국전력은 전력 수요 증가, 공급설비 확충에 따른 배전계통의 효율적인 운전의 필요성 부각, 설비 이용률 향상에 기여하고 원격관리대상 설비량의 증가로 인하여 보다 규모가 큰 시스템과 운영프로그램이 필요하게 되었다.

그 동안 기능과 성능을 향상시켜 대규모 도시에 알맞은 종합배전자동화시스템을 개발완료하고 실부하 운전자료를 이용하여 배전계통을 최적의 상태로 운전하고자 개발하여 사용중인 종합배전자동화시스템의 응용프로그램을 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 종합배전자동화 설치현황

2002년말 현재 설치규모는 15개 지사의 직할을 포함한 185개의 지점에 소규모 및 종합배전자동화시스템이 설치되어 전국의 모든 배전사업소에 설치를 완료하였다.

표 1. 배전자동화 설치 현황

구 분	1998	1999	2000	2001	2002	2003	계
소규모	18	66	60	29		-8	165
총 합	1		1	1	9	8	20

종합배전자동화시스템은 수도권지역을 위주로 설치하였으며, 올해에는 광역시를 비롯한 대규모 도시에 설치되어 있는 소규모배전자동화시스템을 종합배전자동화시스템으로 확대적용할 예정이다.

2.2 응용프로그램

2.2.1 회선별단선도 자동생성프로그램

회선별단선도를 작성하는 방법은 아래와 같다. 운용자가 편집프로그램을 이용하여 회선별단선도를 작성하여 저장한 후 필요할 때마다 화면에 표시하는 것으로써 이 방법은 소규모배전자동화시스템에 적용되었다. 두 번째로 배전선로의 연결정보와 개폐기의 on-off 상태를 이용하여 자동으로 생성하는 방법으로 종합배전자동화에 적용하여 편리함과 현장 데이터의 일치성을 확보하였다.

이 프로그램은 배전선로 운영에 필요한 회선별단선도를 지리정보를 기반으로 자동으로 생성할 수 있으며 고압경과도에서 조류를 추적하여 회선별단선도에 나열한 선로운전정보와 설비의 위치를 운용자에게 쉽게 알 수 있도록 제공한다. 운전자 인터페이스는 GIS위에 배전설비 심벌을 그려 넣어 고압경과도와 회선별단선도간에 상호 전환이 쉽도록 구성하였다. 특히, 고압경과도에서는 확대·축소가 가능하여 관할 전 지역, 개별 회선의 전력공급지역 및 고장시 정전지역 파악이 용이하여 전반적인 전력공급 현황과 긴급한 공급방안 대처에 용이하다.

또한 배전계통 운영에 필요한 다양한 정보를 제공한다. 제어창에서 제공하는 것은 자동화개폐기 설치이력정보와 고장표시기 설정치 등 해당개폐기의 파라메타, 통신방식 및 프로토콜, 선로구간별 장장과 부하전류, 선종 및 선로임피던스 그리고 전압강하 등이 있다. 연계지점의 개폐기에서는 연계선로와 공급여유용량을 표시하여 부하절체 가능여부를 표시하여 계통운영에 활용토록 하였다.

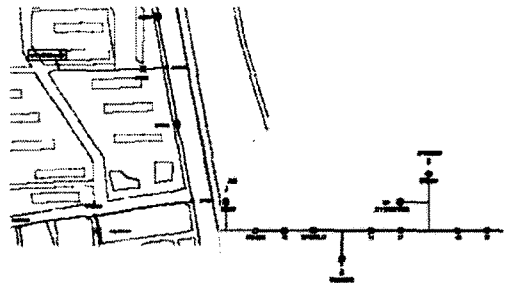


그림 1. 고압경과도와 회선별단선도의 Hybrid운전

2.2.2 배전선로 고장처리프로그램

계통운영자는 배전선로에서 고장이 발생하면 현장의 자동화개폐기에서 전송한 고장표시기의 정보로 고장발생 여부를 인지하지만 건전구간을 어떤 조작절차에 따라, 어느 선로로 절체해야 할지 판단하기에 혼란스러울 수 있다. 고장처리 프로그램은 고장정보를 분석하여 고장구간, 정전부하량, 연계선로의 상태를 고려한 최상의 건전구간 복구방안 후보를 탐색한 후 평가 절차를 거쳐 운용자에게 제공한다.

복구방안 후보는 단일고장시 최대 3개의 연계선로를 이용한다는 전제하에 계통연결 상태에 따라 탐색하며, 우선적으로 고장선로 내부에서 절체가능여부를 판단하여 연계선로 영향을 미치지 않고 계통변경을 최소화한 방안을 찾게 된다. 그 다음 순서로 연계선로 정상부하절체를 고려하여 복구방안 후보를 탐색한다. <그림 2>에서는 2개의 연계선로를 이용한 복구방안을 도시하였다.

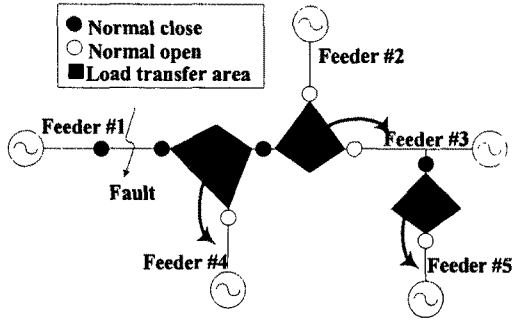


그림 2. 연계선로를 이용한 복구방안

복구방안 후보는 가장 빠른 시간내에 많은 정전구간을 복구하는 방안을 최우선 순위로 평가된다. 따라서 절체하고자 하는 부하량과 스위칭 횟수를 먼저 고려하게 된다.

평가시 고려할 사항과 우선 순위는 다음과 같다.

표 2. 복구방안 평가항목

우선 순위	평가 항목
1	복구속도, 복구범위, 스위칭횟수
2	비상대비, 부하평준화, 전압강하, 부하절제, 선로손실
3	보호기기 협조

평가된 복구방안 후보들은 우선순위에 따라 제공하고 운용자는 이 중에서 선택하여 건전구간 전력복구를 실행하게 된다. 각각의 복구방안 후보는 정전구역, 정전부하량, 절체부하량, 연계선로의 상태(공급여유용량, 전환 후 전압강하와 선로손실) 및 개폐기 조작절차를 포함하고 있으며, 조작절차는 원격으로 일괄조작기능을 부여하여 복구시간을 단축시킬 수 있다.

2.2.3 보호협조프로그램

이전의 보호협조는 운용자가 경험과 부분적인 실측 또는 조사한 자료를 이용하여 검토되어져 왔고 담당자는 보호협조 설정 파라미터를 직접 현장에 출동하여 변경하곤 했다. 따라서 계산된 수치들은 개략적이므로 정확하지 못했고 계통이 변경될 때마다 재계산이 필요하였다. 그러나 배전자동화에서는 보호협조 검토에 필요한 모든 정보를 Database로 구축하고 있어 수시로 검토할 수 있고, 현 계통에 가장 알맞은 설정치를 제공할 뿐만 아니라 통신방식을 이용하여 원격으로 설정치를 설정할 수 있어 매우 편리해졌다.

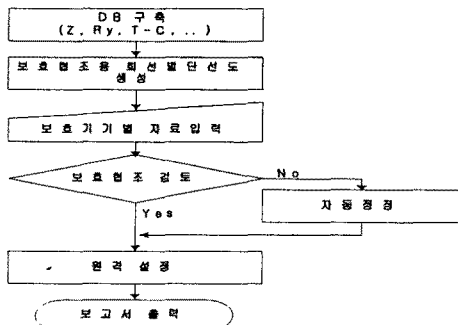


그림 3. 보호협조 프로그램 처리 과정

보호협조프로그램은 고장전류 계산을 위한 자료로써 변전소 주변압기 및 모선의 임피던스, 계전기 정보, 보호기기의 설정값, 선중 및 공장, T-C커브 및 인출부하 전류 등을 구축하고 「최선별단선도 자동생성프로그램」을 이용하여 보호협조용 최선별단선도를 생성한다.

현 계통의 보호협조 검토를 위한 자료입력은 대부분 원격으로 구축한 값을 사용하여 입력착오에 의한 오류를 최소화하도록 구성되어 있다. 또한 현장에서 운영하는 모든 보호기기의 T-C커브를 제공하여 다양한 검토·설정이 가능하게 하였다.

보호협조가 이루어지지 않을 경우 고장전류와 보호장치간 협조시간차를 기준으로 파라미터를 자동으로 변경하여 최상의 설정치를 제시하고 운용자의 지시에 따라 현장의 개폐기로 전송하여 원격으로 설정한다.

2.2.4 데이터오류검출프로그램

배전자동화시스템 운영을 위한 자료구축은 관리해야할 설비가 많고 복잡하여 입력된 자료에 대한 정확도 평가를 수작업으로 수행할 수 없다. 그러나 앞에서 설명한 응용프로그램들은 선로의 연결 및 개폐기의 상태를 조합하여 해를 도출하였기 때문에 자료의 정확성은 매우 중요하고 반드시 현장과 일치되어야 한다.

오류검출프로그램은 자료구축 또는 변경시에 발생할 수 있는 다음과 같은 오류를 자동으로 검출하고 최근의 개폐기 조작내역을 운용자에게 제공하므로써 오류수정을 도와준다.

- ① 내부루프 : 하나의 배전선에서 루프 선로 존재
- ② 외부루프 : 상시개방점 개폐기가 투입되어 있어 2개의 배전선로가 루프선로 구성
- ③ 구간고립 : 전원측 개폐기가 개방되어 있어 계통으로부터 분리된 경우
- ④ ID 중복 : 자동화개폐기별로 부여된 고유ID의 중복

프로그램을 실행해 본 결과 아래와 같이 오류 형태중에서 구간고립과 ID중복의 발생빈도가 높다.

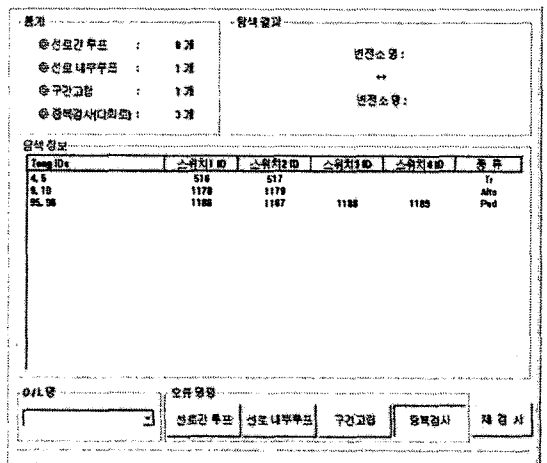


그림 4. 오류검출 프로그램 실행 결과 예

2.2.5 상시개방점최적화프로그램

배전계통 운영은 정전횟수 및 정전지속시간 감소는 물론 선로손실과 전압강하를 최소화하여 효율적인 구성과 경제성을 추구해야 한다. 이를 위해서는 배전선로간 연계능력을 강화하고 부하절체능력을 향상하기 위해 선로간 적절한 부하배분이 필요하다. 즉, 상시개방점 개폐기의 적정 재배치를 통하여 효율적인 운전이 가능하게 된다.

이 프로그램은 손실최소화와 부하평준화 두 가지 목적 함수를 전제로 계통운전정보를 이용하여 상시개방점 개폐기 위치를 재배치하여 운용자가 원하는 계통으로 재구성할 수 있게 해 준다.

수행하는 업무는 다음과 같다.

- ① 현재 계통의 평가
- ② 배전선로간 부하평준화 운전
- ③ 배전계통의 손실최소화 운전
- ④ 해석결과 출력

해석기법은 유전알고리즘을 이용하였으며 적용방법에 대하여 설명하고자 한다.

상시개방점에서 양쪽 전원측으로 투입된 개폐기를 탐색하여 연결하면 하나의 String을 구성할 수 있고 각각의 개폐기를 나열하면 <표 3>과 같이 표현된다.

표 3. String의 구성

SW _{1i}	SW _{2j}	SW _{3k}	SW _{4l}	-----	SW _{nm}
------------------	------------------	------------------	------------------	-------	------------------

목적함수는 네 가지 요소로 구성되어 있다.

$$F_{\text{fitness}} = F_1(P_1) + F_2(V_D) + F_3(S_{kVA}) + F_4(RC)$$

P_1 : 선로 총 손실

V_D : 전압강하

S_{kVA} : 선로 최대부하

RC : 최소 복구지수

운용자는 목적함수를 선택하여 원하고자 하는 해를 얻을 수 있으며, 상호 밀접한 관계가 있어 개별로 실행해 보면 유사한 해를 얻게 됨을 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

현재 계통						
목적함수	선로	부하(A)	인용률(%)	손실(kW)	전압강하(V)	복구지수
전압강하	선로1	12.7	4.3	25.3	0.2	7.4
	선로2	279.8	105.5	119.8	397.5	3.1
	선로3	41.0	15.5	1.4	21.8	0.2
손실	선로1	172.1	64.3	38.7	125.9	1.0
	선로2	155.0	58.5	27.9	111.3	0.9
	선로3	97.9	37.0	6.4	38.0	0.3
계		878.4	55.2	198.6	720.9	3.1
최적 계통						
목적함수	선로	부하(A)	인용률(%)	손실(kW)	전압강하(V)	복구지수
전압강하	선로1	12.7	50.1	4.3	25.3	0.2
	선로2	111.6	42.1	10.6	69.0	0.5
	선로3	209.2	79.0	85.6	290.7	2.7
손실	선로1	172.1	64.3	38.7	125.9	1.0
	선로2	155.0	58.5	27.9	111.3	0.9
	선로3	97.9	37.0	6.4	38.0	0.3
계		878.4	55.2	174.5	718.3	2.7

그림 5. 손실최소화 프로그램 수행 결과

손실최소화를 목적함수로 하여 현재 운용중인 6개 배전선로를 실험해 본 결과 전체 선로손실이 198.6kW에서 24.1kW가 감소한 174.5kW로 단축할 수 있었다.

본 프로그램에서 제시한 계통으로 변경하게 되면 설비 이용률 증가와 함께 선로손실 감소, 과부하 공급선로 해소, 확보된 공급여유용량으로 대용량 신규고객의 공급방안을 수립할 수 있게 되어 설비투자 비용을 감소시킬 수 있다.

2.2.6 Simulation Mode

종합배전자동화시스템은 On-line Mode와 Simulation Mode를 갖추고 있다. 온라인 모드는 현장에 설치된 RTU에 제어명령을 보내거나 상태의 변화를 읽어오는 실제 운전 상태를 말하며, 시뮬레이션 모드는 운용자의 교육, 훈련, 비상발생을 상정한 긴급대처능력 배양 등의 용도로 활용하고 있다. 이 기능은 배전자동화를 처음 접하는 사람이나 온라인에서 실행할 수 없는 시험 및 기능을 활용할 수 있어 사용자에게 좋은 평가를 받고 있다.

3. 현재 연구추진 방향

현대사회에서 전기품질의 중요성은 강조해도 지나치지 않을 정도이다. 첨단기기의 사용과 윤택한 삶을 영위하고자 고객의 전력품질 욕구가 점차 증가하고 전력품질이 생산현장에 미치는 영향이 더욱 커지고 있어 고품질의 전력공급을 위한 온라인 전기품질 감시시스템을 개발하고 있으며, 현 계통의 상태를 정확히 진단할 수 있는 평가기법 도입하고 취득한 데이터의 정확도 향상을 위하여 계측정밀도 개선과 오류 데이터 검출 및 보정기법을 적용하고자 이에 관련된 연구가 진행 중이다.

최근에는 자체기술로 개발한 자동화시스템을 외국에 맞도록 컨버전하여 수출용 시스템으로 변경하는 연구도 시작되었다. 향후에는 원격운전 대상설비의 급격히 증가하여 현장데이터를 취득하는데 수반되는 통신비용이 부담어 전력선을 통신매체로 활용하는 기술개발도 필요할 것으로 보인다.

4. 결 론

이 논문에서는 종합배전자동화시스템에 적용하여 사용하고 있는 응용프로그램들에 대하여 설명하였다.

배전자동화시스템을 적용하기 전까지는 실부하 데이터가 없어 계통운영에 필요한 고장전류, 시간대별 부하변동 추이, 부하전류에 의한 전압강하의 크기 등을 추정할 수 밖에 없었으나, 적용 후에는 이러한 문제점 해결과 동시에 취득한 데이터를 다양하게 이용할 수 있어 운용자가 원하는 방향으로 계통을 운영하여 편리함과 경제적 이익을 가져왔다.

[참 고 문 헌]

- [1] 하북남 외, "배전자동화용 응용프로그램 개발 및 시스템간 연계에 관한 연구", 전력연구원, 2002
- [2] 하북남 외, "종합배전자동화시스템 사용설명서", 전력연구원, 2002
- [3] 조남훈 외, "간선 및 분기선의 개폐기 설치 효과 분석(I, II)", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, A권, 2002.07
- [4] 한국전력 배전처, "배전실무 교육교재", P339, 2003.02