

배전 실증시험장에서의 배전자동화 실증시험 결과

하복남, 윤태상, 정영호, 조남훈, 임성일, 강문호
한국전력공사 전력연구원

The result on field test of distribution automation in distribution test center

Bok-Nam Ha, Tae-Sang Yoon, Yeong-Ho Jeong, Nam-Hun Cho, Seong-II Lim, Moon-Ho Kang
Korea Electric Power Research Institute, KEPCO

Abstract - There are several facilities in Kochang distribution test center such as artificial fault generator (AFG), new distribution automation system (NDAS), communication networks (wireless and optic), lumped constant circuit, switches for distribution automation, overhead and underground distribution line. We have been field testing on remote control, data acquisition, remote metering, feeder automation and so on for distribution automation using those equipment.

1. 서 론

전북 고창에 배전 실증시험장이 건설되어 2000년 5월 준공식을 가졌다. 이 시험장에는 배전시스템에 사용하기 위해서 국내에서 개발된 기자재의 시범 적용시험이나 배전자동화와 같은 신기술을 실제 계통과 동일한 환경에서 성능을 확인할 수 있도록 여러 가지 시험설비가 구축되어 있다. 이 실증시험장에서 여러 시험설비들을 이용하여 1999년 말부터 배전자동화 실증시험을 진행하고 있다. 배전자동화 시험을 수행하기 위해서 사용된 시험설비로는 신 배전자동화 시스템, 인공고장발생장치, 집중정수회로, 배전 시험선로, 배전자동화용 개폐장치(리클로저, 다회로차단기, 가공개폐기), 광통신망, 무선통신망 등이 있다. 본 논문에서는 이러한 시험설비의 개요와 수 차례에 걸친 시험내용 및 시험결과를 기술한다.

2. 배전 실증시험장

배전 실증시험장은 전북 고창군 상하면 용정리에 있는 고창 실증시험센터 구내에 건설되었다. 전체 실증시험센터의 면적은 24.5만평이며, 그 가운데 배전 실증시험장의 주요설비는 배전시험동 주변 2,700평 내에 집중적으로 배치되어 있고, 실증시험센터 외곽 4km를 따라서 가공 시험선로가 포설되었으며, 시험센터 구내를 가로질러 800m의 지중 배전선로가 포설되어 있다.

2.1 집중정수회로

집중정수회로는 장거리선로의 특성을 모의하기 위하여 실선로의 단위길이당 분포정수(R, L)를 집중정수로 표현한 회로이며, 설치 목적은 배전실증시험장내에 건설된 단거리 배전시험선로(4km)에 4, 8, 12, 16km의 가공 배전선로를 모의한 집중정수회로를 부가함으로써 인공고장시험시에 발생하는 고장전류를 억제하여 변전계통에 영향을 최소화하기 위해서이다. 집중정수회로의 구성은 정상임피던스를 구현하는 저항과 인덕턴스가 3 Set, 영상임피던스를 만들어내는 저항과 인덕턴스가 1 Set로 이루어져있으며, 4, 8, 12, 16km 단위로 선로공장을

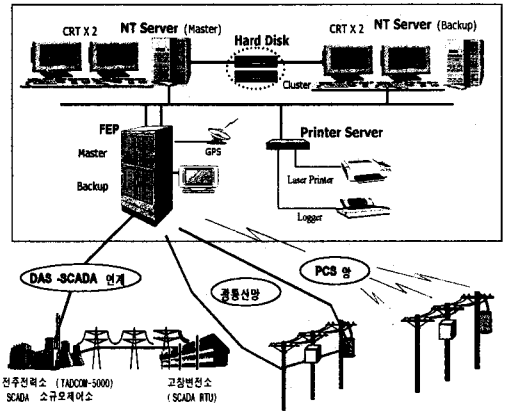
가변시킬 수 있도록 제작되어 있다. 시험용 배전선로의 공장은 전원으로 이용될 영광원자력 구내 건설용변전소에서 시험장까지 신설되는 배전선로가 약 8km, 시험장내 시험배전선로가 4km로 총 12km이므로 여기에 집중정수회로를 부가하면 28km의 공장을 갖는 배전선로를 모의할 수 있다.

2.2 인공고장발생장치

인공고장발생장치 (AFG)는 조작자가 원하는 조건의 고장을 발생시키기 위해 제작된 장치이다. 예를 들면 고장의 종류로는 1선지락, 선간단락, 3상단락 등 3종류의 고장을 발생시킬 수 있으며 1선지락에서도 필요한 상(A, B, C)을 선택할 수 있다. 이동이 가능한 구조이므로 고장발생 위치를 변경시킬 수 있고, 내장된 임피던스를 조절하여 고장전류의 크기를 조절할 수 있다. 고장을 발생시킬 때 투입되는 시점의 위상에 따라 특성이 달라지므로 고장시점의 위상도 인위적으로 선택할 수 있다.

2.3 신 배전자동화 시스템

신 배전자동화 시스템 (NDAS)은 최초로 국산화 개발했던 한국형 배전자동화 시스템 (KODAS)을 최근의 기술발전 추세를 반영하여 신기술로 업그레이드한 시스템이다. 통신방식으로 광통신방식과 개인휴대통신 (PCS)을 이용하고 있으며, SCADA시스템과 연계되어 변전소 정보를 취득하고 있다. 전체적인 시스템 구성은 서버급 컴퓨터로 구성된 중앙제어장치와 현장기기와 정보를 주고받는 매체인 통신망, 중앙제어장치의 감시제어 명령을 해석하여 명령을 수행하고 관련데이터를 전송하는 실행 프로그램이 내장된 단말장치 (Remote Terminal Unit) 및 자동화개폐기로 구분된다. 신 배전자동화 시스템의 개략적인 구성도는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 신 배전자동화 시스템 구성도

2.4 배전 시험선로

실증시험장 구내에 포설된 배전 시험선로는 가공선로와 지중선로의 혼합형태로 구성되어 있다. 가공선로는 수평 2단 장주로 상단은 ALOC 160mm², 하단은 ALOC 95mm²로 구성되어 있으며 4km의 공장을 가지고 있다. 지중선로는 CNCV 325mm² 배전용케이블을 사용하였으며 공장은 0.8km이다. 가공배전선로는 실증시험장 외곽을 일 주회하도록 선로를 구성하였고, 지중배전선로는 남선에서 북선으로 연결되도록 765kV 실증시험장을 땅 밑으로 'ㄱ'자형으로 관통하고 있다.

2.5 자동화용 개폐장치

실증시험장의 시험선로에 설치된 개폐장치는 지상설치용으로 다회로차단기와 다회로개폐기, 가공설치용으로 마이컴리클로저와 SF6 가스개폐기 등 총 4종의 개폐장치와 이들 현장기와 중앙장치 간에 정보를 전달하는 단말장치가 내장된 개폐기 제어함으로 구성된다. 다회로차단기는 지중배전선로의 원격운전 및 고장전류 차단용도로 지상에 설치되며, 4회로를 가지고 있는데 2회로는 12.5kA의 차단능력을 갖고, 2회로는 630A의 개폐능력만을 갖도록 설계되었다. 이것은 지중선로의 고장이 변전소까지 파급되지 않도록 고장구간을 제한하는 역할을 하며, 실증시험장에서는 구내의 사고가 상용 배전선로로 파급되지 않도록 고장을 제거하는 차단기(CB)와 같은 역할을 수행한다. 접지극부 다회로개폐기도 지중배전선로에 사용되는 것으로, 630A 정격의 4회로 개폐부를 갖는다.

마이컴리클로저는 진공차단부를 갖는 SF6 가스절연방식의 가공 배전선로용 리클로저로서 기존 리클로저와 기능은 유사하나 제어회로가 대부분 디지털화 되어 있어 원격 또는 현장에서 각종 정정치는 물론 T-C 커브까지도 원격설정이 가능하다. 가공용 가스개폐기는 630A 정격의 SF6 가스절연 부하개폐기로서 기존 개폐기와 대부분 기능이 동일하다.

일체형 제어함은 개폐기의 제어함과 단말장치(RTU) 기능을 하나로 설계하여 고장요인을 줄이고 가격도 낮추며, 여기에 통신용 모듈까지 같은 외함 내에 설치할 수 있도록 한 기기로서 개폐장치의 각종 상태나 제어명령을 전달하는 기기이다. 자동화용 개폐장치의 감시항목은 투입/개방, 잠금/풀림, 현장/원방, 고장표시기 동작정보(자동F.I/수동F.I), 가스압력 정상여부, 축전지 상태, 단선/결상, 활선/사선 등이며, 투입/개방 정보나 고장표시기 동작정보 등은 중요한 정보이므로 현상상태가 바뀔 경우 즉시 현장기기가 중앙장치에 통보하도록 하고 있다. 제어 기능 항목은 투입/개방, 잠금/풀림, 축전지 시험, 고장표시기 Reset가 가능하다. 아날로그 값의 계측은 현재시간의 3상전압 및 3상전류값과 전일 시간별 최대 부하전류값(전일 매시간 15분 평균치 중 최대치 24개 지역) 등을 계측한다. 기타 기능으로 개폐기 단말장치에는 투입/개방 등 각종 동작이력, 보호기기가 동작하였을 때 흐른 고장전류값의 크기 및 파형 등 분석에 필요한 정보들을 제어함의 RS-232C 포트에 연결하여 취득할 수 있다.

2.6 통신망

배전자동화 시스템에 사용되어온 통신매체는 그동안 동축케이블이나 페어케이블 등 유선방식이 많이 사용되었으나 최근 무선통신기술이 급격히 발달하면서 유지보수가 간편한 무선방식이 배전자동화에 적극적으로 도입되고 있다. 실증시험장에는 주 통신방식으로 개인휴대통신(PCS)망을 통신망으로 선정하였으며, 부 통신방식은

로는 향후 확대사용이 예상되는 광통신방식을 채택하였다. 무선방식의 장점은 유선구간에서 생길 수 있는 예러가 없어지며, 불필요한 유선장비를 축소하여 경제성있는 시스템을 구축할 수 있다. 그러나 이 방식은 시스템이 대규모일 경우에는 통신트래픽이 문제가 될 수 있다.

광통신방식은 한전의 간선 배전용 전주에 설치된 광통신선을 적용하되 광 1코어를 링형태로 구성하여 논리적으로는 이중화의 기능을 갖도록 함으로서 경제성과 신뢰성을 높이도록 하였다. 광통신방식은 값은 비싸지만 다른 통신방식보다 신뢰성 및 확장성이 뛰어나고, 전송속도 등에서 뛰어난 성능을 발휘한다.

3. 배전자동화 실증시험

3.1 시험목적

배전자동화 시스템과 자동화개폐기를 실제 배전계통에 설치하였을 경우 상시 운전중인 계통이기 때문에 투입/개방 조작을 비롯한 다양한 시험을 충분히 시험할 수 없다. 또 배전선로에서 사고가 자주 일어나지 않기 때문에 고장발생과 관련된 기능은 검증하기가 쉽지 않다. 또 국내에서 시제작한 기기들이 대부분이므로 기기의 성능이 안정화되지 않은 상태라서 오부동작이나 오정보 제공과 같은 예기치 못한 문제점이 발생할 수 있고 이런 현상이 발생할 경우 원인분석이나 대책 수립이 쉽지 않다. 따라서 실증시험장의 다양한 시험설비를 이용하여 배전자동화 시스템이나 주변기기의 성능을 미리 검증하고 문제점을 밝혀내어 확대 사용 전에 개선하도록 하기 위해서 실증시험장에 배전자동화 시스템을 설치하여 실증시험을 시행하고 있다. 이런 기반시설이 갖추어지면 향후에도 얼마든지 기능개선이나 시스템의 업그레이드를 쉽게 시켜나갈 수 있게 된다.

3.2 시험내용

배전 시험선로에 마이컴리클로저 6대, 다회로개폐기 5대, 다회로차단기 2대, 가공개폐기 12대 등 총 25대의 자동화개폐기가 설치되어 있다. 이 개폐기와 시스템을 연결하여 맨 먼저 시험한 것은 PCS 통신망과 광통신망을 사용한 원격감시제어 시험이다. 자동화개폐기의 여러 기능 중에서 가장 기본이라고 할 수 있는 통신특성을 시험하여 주장치와 현장기기간에 데이터가 정상적으로 전달되는지 확인한다. 다음으로는 원격감시명령을 내렸을 때 자동화개폐기가 제대로 제반 정보를 제공하는지, 감시제어 명령이 내려간 후 몇 초만에 관련데이터가 주장치에 올라오는지 및 원격제어명령에 현장기기가 정확하게 동작하는지 등을 시험한다. 자동화개폐기나 단말장치들이 장시간 배전선로에 설치되어 있을 때 충전회로가 정상적으로 동작하여 배터리가 정상적으로 충전되는지, 개폐장치의 모든 콘트롤 회로들이 실제 외기에 노출된 환경에서 정상 작동하는지도 중요한 점검 항목이다. 이러한 준비가 이루어지면 배전자동화 시스템의 주요 기능인 원격감시기능, 원격제어기능, 원격계측기능, 배전선로 고장처리 기능과 응용프로그램으로 구현되는 시뮬레이션 기능 등을 확인한다.

3.3 실증시험 결과 나타난 문제점 및 대책

고장 배전실증시험장에서 시행한 수 개월 간의 실증시험을 통해 나타난 문제점과 이에 대한 대책들은 요약하면 다음과 같다.

3.3.1 자동화개폐기 및 단말장치 불량

가장 많이 문제가 된 것은 자동화 개폐기 제어함의 제

어회로 자체의 불량이었다. 제어회로에 사용된 소자의 규격이 맞지 않아 소손이 된 사례가 많으며 보드의 설계가 잘못되어 전 개폐기의 보드를 바꾸기도 하였다. 회로 설계시 안전설계가 충분치 못하여 밧데리가 방전된 경우에 개폐기를 조작하였을 때 파워보드가 소손된 사례가 대표적이다. 제어함에 전원을 공급하기 위해 주상변압기가 설치되는데 주상변압기의 설치위치를 반드시 개폐기의 전원측에 설치해야 한다. 부하측에 설치된 경우에는 밧데리가 방전된 상태에서 개폐기가 개방되면 조작전원이 없어져 조작이 불가능해진다. 단말장치에 프로그램된 내용이 잘못된 경우에는 현장기기의 상태정보와 중앙제어장치에 통보되는 정보가 다르게 나타나는 경우도 있었다. 아래 표에 문제점과 대책을 요약하였다.

문제점 현상	원인 및 대책
외부전원 공급시에도 충전되지 않음	충전회로 설계 불량으로 다시 제작하여 교체설치
장시간 정전시 밧데리 완전방전	밧데리 방전보호회로 설계 불량으로 교체
밧데리 방전상태에서 제어조작시 Aux Relay 소손	Aux Relay 용량 부적절하게 설계되어 교체
고장이 발생해도 고장표시기(F.I)가 동작하지 않거나 동작해도 주장치에 정보를 주지 못함	설계 알고리즘 착오 및 통신프로토콜 인덱스 설정 불량으로 프로그램 수정
진압 및 전류계측 오차기름	계측센서의 오차가 커서 완전한 보완 불가능
고장전류의 크기 계측값이 제작사별로 일정하지 않음	1 Cycle당 샘플링 주기가 다르나 보완 곤란
현장기기의 상태정보와 주장치 수집정보가 다름	통신프로토콜 인덱스 설정 착오로 수정보완
동일한 기능을 제작업체마다 상이하게 구현됨	경험부족으로 상이하게 구현되어 프로그램 수정

3.3.2 통신망 또는 네트워크상의 문제점

무선통신망의 문제점은 지역에 따라 통신감도가 불량한 개소가 있다는 것과 통신이 이루어지기까지 일정한 시간이 소요된다는 것이다. 특히 무선통신의 특징상 데이터를 중간에 처리하는 장치가 없이 폰-대-폰의 통화를 하므로 배전선로의 고장시와 같이 한꺼번에 여러 대의 통화가 이루어져야 할 때는 접속된 장치간 통화가 끝날 때까지 기다려야 통신이 된다는 것이다. 광통신방식의 문제점은 접속개소가 많아지면 신호의 감쇠가 일어나며, 광통신선의 단차접속이 불량할 경우 감쇠가 매우 심하거나 아예 통신이 되지 않는 경우도 있었다. 통신제어장치 자체의 프로그램 문제로 통신용 보드의 기능이 정지되는 사례도 한동안 발견되었으며, 광통신 방식의 데이터 처리속도가 무선보다 늦게 나타나는 경우도 있었다.

문제점 현상	원인 및 대책
통신속도가 매회 일정하지 않고 변동이 심함	MMI화면에 기록하는 절차상의 문제로 밝혀져 프로그램을 수정하여 해결
현장기기의 전송정보가 전부 접수되지 않고 사라짐	FEP 프로그램 불량으로 수정
외국 수입품 RTU 사용시 통신프로토콜을 맞추기가 어려움	마이컴 리플로저의 FRTU에 외국제품 사용한 경우 인덱스 수정이 곤란함
무선구간 통신이 됐다 안됐다 하는 현상 발생	무선통신 감도 저하지역에서 발생하는 현상으로 안테나 위치이동 및 중계기 방향 조정

현장기기가 제공하는 정보가 불필요하게 많아 통신 지연현상 발생	SOE와 COS 정보 중 중요도가 적은 정보는 고장시에 통보하지 않도록 수정
PCS의 단문(SMS) 서비스 이용시 통신시간이 너무 늦음	PCS의 데이터 전용 RLP프로토콜을 도입하여 통신시간 대폭 단축

3.3.3. 중앙제어장치 응용프로그램 문제점

중앙제어장치의 응용프로그램을 운영하면서 운영자의 수정의견이 접수되어 여러 차례 수정작업이 진행되었다.

문제점 현상	원인 및 대책
전단처리장치(FEP)-서버(DAC)-모니터 화면(MMI)의 정보가 상이함	서버와 클라이언트간 데이터 갱신 프로그램 착오로 수정
데이터가 접수된 후 MMI에 기록되는 시간이 늦음	DB수정/이벤트창 수정 작업완료후 MMI화면을 갱신하던 것을 수정보완
계측값의 트랜드를 표시하는 기능이 미흡함	트렌드 기능을 보완하도록 응용프로그램 수정
고장처리나 시뮬레이션 절차가 복잡하고 운용자가 사용하기에 불편함	복잡한 수행절차 축소 및 화면수정 등 응용프로그램 보완
경보목록이나 기사목록을 저장하여 필요한 내용만을 출력할 수 없음	Alarm/Event 목록을 DB에 저장하고 Sort하여 출력할 수 있도록 수정
이벤트 목록에 같은 정보를 두 번씩 표시하고 있음	현장데이터 변경정보와 DB 갱신정보를 두번 기록하던 것을 수정하여 1회만 기록

4. 결 론

연구를 직접 수행하는 연구원들에게 실증시험장의 준공은 실증시험을 통한 질 높은 연구결과를 도출할 수 있어 크게 환영받고 있다. 실증시험장을 이용함으로써 국내 제작업체의 기술수준이나 시험기관의 여건상 제작과정에서 제대로 성능을 검증하지 못한 채 현장에 보급되던 각종 신기술이나 신기계의 성능을 확대 보급 전에 충분히 확인 할 수 있게 되어 내재된 문제점의 조기 보완이 가능하다. 따라서 사용자나 제작사 모두에게 신뢰도 확보와 유지보수의 효율성 측면에서 큰 도움이 될 것이며, 국내 산업체의 해외 시장개척에도 도움이 될 것이다. 배전 실증시험장에서 배전자동화 시스템을 시험하면서 국내 개발품의 기술수준이 어느 정도이며 어떤 분야에서 보완이 필요한지를 알게 된 것은 매우 다행스런 일이다. 지금과 같이 연구기관과 제작업체가 실증시험을 통해 신속하게 문제점을 찾아내어 보완하는 체제를 갖춘다면 앞으로 기가재나 시스템 개발측면에서 진일보한 결과가 제시될 것으로 기대한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 정영호, "22.9kV 배전 실증시험장 건설에 관한 연구 최종보고서", 전력연구원, pp.40~45, 143~151, 1999. 12.
- [2] 하복남, "신 배전자동화 시스템 개발연구 2차년도 중간보고서", pp10~15, 1999. 9.
- [3] 하복남, "인공고장발생장치를 이용한 배전자동화 실증시험", 대한전기학회 전력계통연구회 춘계학술발표회 논문집 pp.115~119, 2000. 5.