

1. 머리말

신 배전자동화 시스템은 국내 최초로 개발하여 강동지점에서 실증시험을 수행한 한국형 배전자동화 시스템(KODAS)을 모체로 하면서 실계통 운용 경험과 현장 근무자의 요구사항을 최대한 반영하여 시스템의 성능을 Upgrade시키고, 최근 급격하게 발전하고 있는 컴퓨터 및 통신기술을 접목하여 경제적이면서도 신뢰도를 최대한 확보하고자 하는 다양한 노력이 결집된 새로운 배전자동화 시스템이다.

이 글에서는 수행중인 「신 배전자동화 시스템 개발 연구」의 개략적인 내용과 적용지역 규모별로 대규모 및 소규모로 구분되는 신 배전자동화 시스템의 구성방안, 기존 시스템과 외국 시스템의 기능을 비교하여 구현기능을 정의한 시스템 규모별 기능개요, 최근에 개발된 배전자동화용 차단기 및 개폐기를 적극적으로 활용한 배전선로 고장처리 방식 등에 대하여 소개한다.

2. 연구개발 내용

신 배전자동화 시스템 개발연구는 '97년 8월에 착수하여 2000년 8월까지 3년 동안 수행되는 과제로서 한전

전력연구원에서 시스템의 구성방안, 고장처리 알고리즘, 보호협조 방안, 시스템 기능정립, 시스템 설계, 현장설치 시험, 표준규격 작성 등 배전분야의 연구와 적정 통신방식 선정, 중앙제어장치 구성방안 정립, 통신 프로토콜 정립, 신호전송망 설계 시공, 실증시험 등 통신분야의 연구를 수행하고 있다. 연구에 참여하는 외부기관으로는 한국전기연구소와 연세대학교가 있는데, 한국전기연구소는 2년 동안 강동지점 배전자동화시스템의 주장치 이중화 및 시뮬레이션 기능개발을 추가한 응용소프트웨어 패키지 개발을 담당하고, 연세대학교는 2년 동안 변압기 병크 및 변전소 고장시의 배전선로 부하전환 프로그램 개발, 전왜(電歪) 액추에이터를 이용한 개폐기 내장형 정밀급 전압변성장치 및 개폐기 자체에서 구동전원을 공급하는 전원공급장치 개발 부분을 위탁하여 수행하도록 하고 있다.

통신 프로토콜은 전세계적으로 SCADA 등에서 표준 프로토콜로 자리를 잡아가고 있는 DNP(Distributed Network Protocol) V3.00을 적용할 예정이며, 통신 방식으로는 무선을 기본으로 하지만 기존의 유선방식이나 새로운 통신방식도 공용할 수 있도록 개인휴대통신(PCS), 무선데이터 통신, 전용통신선(페어케이블), 광케이블 중에서 전부 또는 일부를 하이브리드 형태로 병

◆ 기술개발

행 처리할 수 있도록 통신 시스템을 구성하도록 하였다.

3. 신 배전자동화 시스템의 구성

신 배전자동화 시스템은 국내 최초로 개발하여 강동지점에서 실증연구를 수행한 한국형 배전자동화 시스템(KODAS)의 운용결과와 외국의 여러 배전자동화 시스템 운용자료를 비교 검토하여, 국내 기술로 구현이 가능하면서도 경제성이 확보되고 국내 환경에 적합한 기능을 갖도록 하는 시스템 구현을 목표로 하고 있다. 그런데 강동지점의 KODAS 시스템은 국내 기업에서 최초로 제작하여 설치한 시스템이다 보니 일부 현장기기의 신뢰도가 미흡했고, 기능 면에서도 배전자동화 시스템이 기본적으로 가져야 하는 주요기능들을 완벽하게 구현하지는 못했기 때문에, 배전자동화 시스템이 가져야 하는 필수기능의 구현과 시스템의 신뢰도 확보라는 두 가지 큰 명제를 염두에 두고 신 배전자동화 시스템을 개발하게 되었다.

신 배전자동화 시스템은 크게 배전사령실에 설치하는 중앙제어장치와 전단처리기(Front End Processor), 배전선로 현장에 설치되는 단말장치 일체형 제어함을 갖는 자동화개폐기 및 통신망으로 구성되고, 변전소에는 KODAS와는 달리 배전자동화용의 통신장치나 단말장치를 설치하지 않는다. 변전소에는 이미 오래 전부터 변전설비를 원격감시제어하기 위해 거의 모든 변전소에 SCADA 시스템용 단말장치들이 설치되어 있기 때문에 이 SCADA 시스템이 제공하는 정보만으로 배전자동화 시스템의 모든 기능구현이 가능하다면 상당한 업무의 효율화와 시스템 구성의 단순화가 이루어질 수 있고 기기의 구입 및 설치비용 감소, 설치공간 확보 문제 해결, 엄청난 양의 케이블 포설 작업 불필요 등 많은 효과를 얻을 수가 있다. 표 1은 배전자동화를

위해 변전소로부터 취득해야 할 정보의 종류를 정리한 것이다.

가. 대규모시스템의 구성

대도시에 적용할 대규모시스템은 배전선로수 65개, 자동화개폐기수 513개를 넘는 대규모 사업소를 대상으로 하게 되는데 대략 30~40개의 배전사업소가 여기에 해당이 된다.

기존 시스템과 비교하여 시스템 구성상의 가장 큰 특징은 SCADA 시스템과 GIS 시스템을 연계하여 상호 필요한 자료를 공유한다는 것이다. 중앙제어장치는 변전소 정보를 취득하기 위해서 SCADA 시스템과 연계되어야 하는데 무인변전소의 경우는 데이터 취득을 위한 연계점을 전력소에 있는 소규모제어소로 하고 유인변전소의 정보는 SCADA 시스템의 중앙제어장치에 직접 연결하여 취득하는 것이 바람직하다.

배전자동화 시스템이 현장에 설치되어 있는 기기의 정보를 얻기 위해서는 여러 가지 통신방법이 사용될 수 있으나 전용통신선을 이용하는 방식은 강동지점에서 실증연구를 거쳤으므로 CATV 통신망과 같은 통신망이 확보되어 있는 지역에서는 운용효율성을 높이기 위해서 기설 통신망을 이용한다. 다른 지역은 환전이 광케이블을 배전전주를 따라서 상당량을 포설한 상태이므로 광케이블과 접속 가능한 개폐기는 이것을 통신로로 하되 당분간

〈표 1〉 변전소 정보취득 비교표

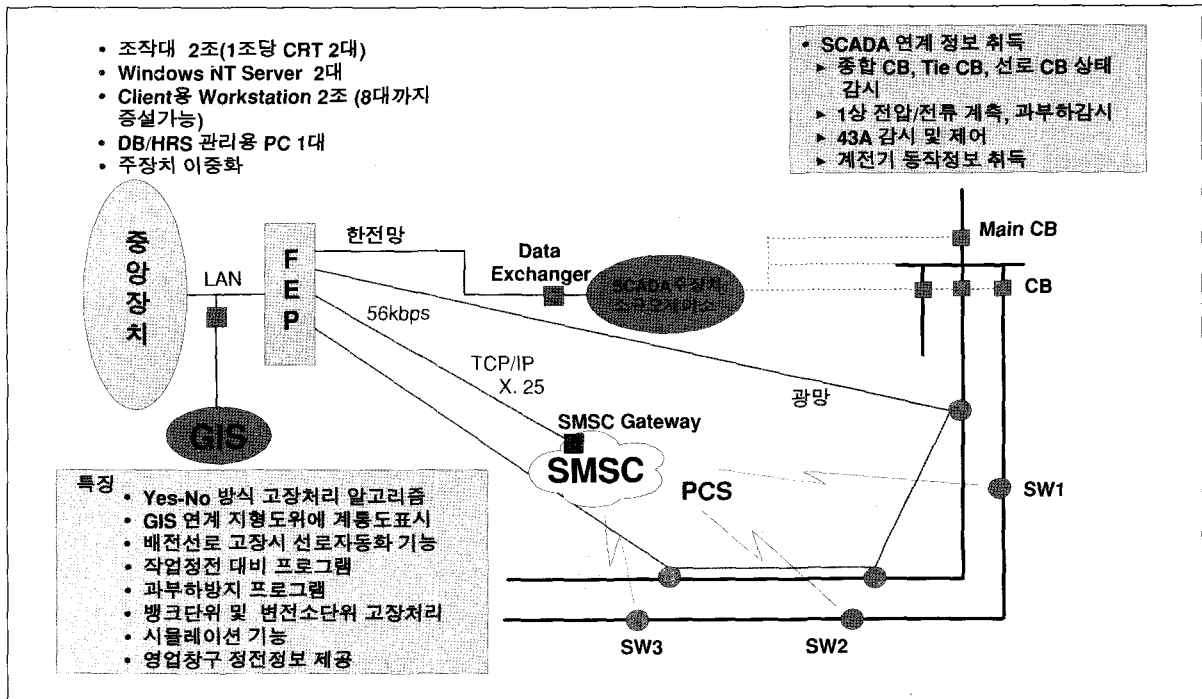
구분	강동 KODAS 변전소 취득정보	SCADA-DAS 시스템 연계 변전소 취득정보
취득 정보	<ul style="list-style-type: none"> · 변전소 인출 CB 3상전류 · Fault Indicator 동작정보 · 변전소 22.9kV 모선 3상전압 · 인출 CB 투입/개방 상태 · 재폐로 실패 Lockout 여부 	<ul style="list-style-type: none"> · 변전소 인출 CB 3상 또는 단상 전류 · 변전소 인출 CB 투입/개방 상태 · 변전소 22.9kV 모선 전압 · 22.9kV 종합 CB 투입/개방 상태 · 22.9kV 종합 CB 삼상/단상 전류 · 재폐로 On/Off 스위치(43A) 상태 정보 · 보호계전기 동작정보 · TIE CB 및 DS 투입/개방 상태 등 변전소 단선결선도 관련 정보
특징	<ul style="list-style-type: none"> · 별도의 통신장치(SCCU) 및 차단기용 FRU 설치 · 대규모의 제어케이블 포설작업 	<ul style="list-style-type: none"> · 별도의 기기 설치 불필요 · SCADA-DAS 시스템 연계작업 및 신뢰도 확인과정 필요

은 신뢰도 및 경제성 확인과정이 필요하며, 광케이블이 포설되지 않은 지역은 최근 급격하게 기술발전이 이루어지고 있는 무선방식을 이용하기로 한다. 당분간은 무선방식이 대규모시스템의 주 통신 방식이 될 것으로 생각된다.

배전사령실에 있는 중앙제어장치는 시스템 관리용, DB/FA용, MMI용, 프린터용, 보고서 작성용 등 각각의 기능을 수행하는 용도에 맞도록 NT 서버와 PC를 용도에 맞게 적정수를 선정하여 LAN으로 연결하는 방식으로 구성하고, 여기에 통신을 전용으로 담당하는 전단처리기(Front End Processor)를 거쳐서 광케이블을 통해 개폐기를 직접 감시제어 하거나, 무선통신센터를 통해 무선방식으로 현장에 설치되어 있는 단말장치 일체형 개폐기를 감시제어하도록 시스템을 구성한다. 그림 1에 대규모 배전자동화 시스템의 개략 구성도와 특징을 보여주고 있다.

나. 소규모시스템의 구성

소규모시스템은 관리하는 배전선로수가 64개 D/L 이하, 변전소수가 4개 이하, 자동화 개폐기수가 512개 이하, 수동개폐기를 포함할 경우 2,048대 이하를 수용할 수 있도록 설계되었다. 구성측면에서는 소규모시스템도 앞에서 언급한 대규모시스템과 유사하게 SCADA 시스템과 연계하여 변전소의 정보를 취득하고, 통신방식은 무선을 기본으로 하도록 설계되었다. GIS와의 연계는 고려하지 않으며, 배전계통도가 간단하기 때문에 지형도 위에 계통도를 표시하는 방식을 이용한다. 다만, 기능을 간략화하여 중앙제어장치의 규모를 축소하고 무선통신이 곤란한 지역을 고려하여 고장처리 방식을 기존의 고장전류 통전정보를 이용하는 Yes-No 방식 외에 개폐기의 순차투입 및 고장구간 판단기능을 이용하는 순송(順送)식도 사용할 수 있도록 함으로써 컴퓨터시스템이나 통신망에 대한 의존도를 낮추도록 한다. 무선통신이 잘 이루어



〈그림 1〉 대규모 배전자동화 시스템 구성도

◆ 기술개발

지지 않는 개소는 한국통신의 전화 회선을 연결하여 자동화개폐기를 감시 제어하는 것에 대해서도 경제성이나 실용성 측면에서 고려할 수 있는 방식이다.

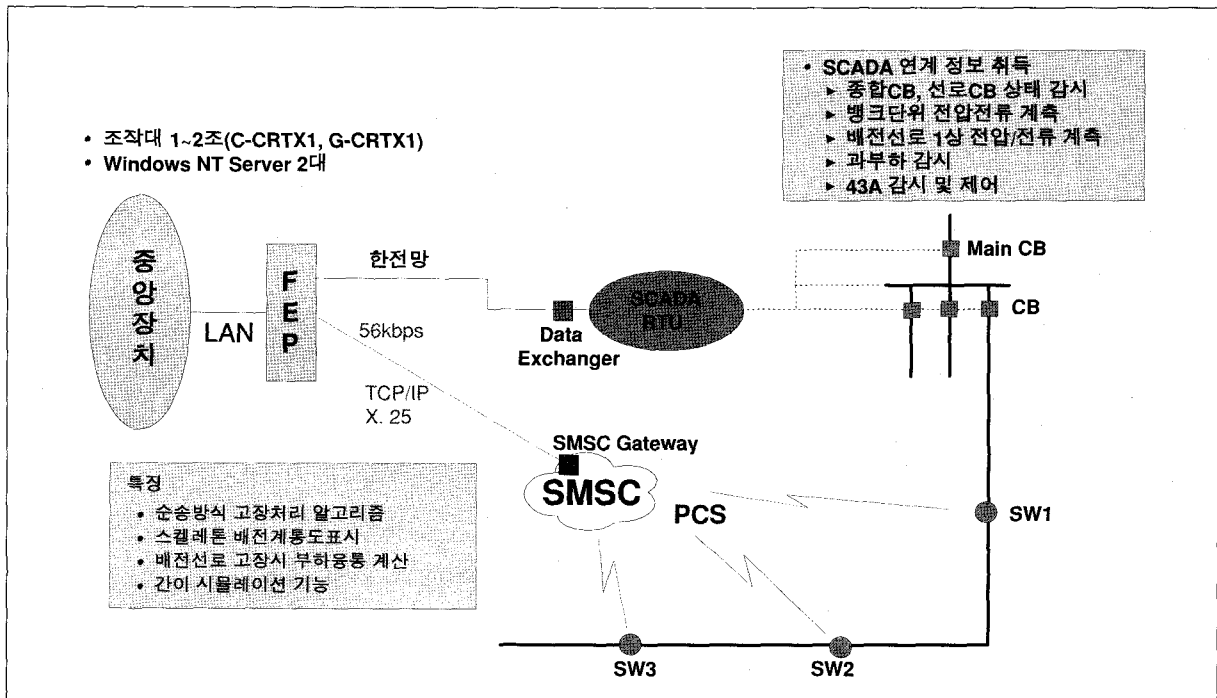
소규모시스템이 수행하는 기능은 대규모시스템이 수행하는 기능 중에서 일부를 축소하여 약간 저가의 컴퓨터 시스템을 채용하더라도 기능 수행에 문제가 없도록 하되, 적용도시의 규모에 따라 유연하게 대응이 가능하도록 중앙제어장치의 H/W 일부를 확장할 수 있는 구조로 한다. 예를 들면 소도시에는 제어용 콘솔 1개, 중도시에는 콘솔을 2개로 할 수 있다. 자동화개폐기를 이용하여 현장기기의 상태 감시, 원격제어, 모니터 상에 상태표시, 고장구간 자동구분 개폐기를 이용한 고장구간 분리 및 역송 등 소규모 지점에서 필요로 하는 기본적인 모든 배전자동화 기능의 수행이 가능하다. 시스템 운용방법을 홍보하거나 교육 훈련할 수 있는 시뮬레이션 기능도 대규모시스템과 유사한 것을 갖추게 되고, 배전선 원격감

시제어 기능, 변전소 원격감시기능, 배전선로 자동운전 기능, 관리자료 작성기능, 배전계통도 표시기능 등도 약간의 차이는 있을 지 모르지만 거의 유사하게 구현된다. 그림 2는 소규모 배전자동화 시스템의 개략적인 구성도이다.

4. 신 배전자동화 시스템의 보유 기능

가. 대규모시스템의 특징

대규모시스템은 서울을 비롯한 6개 광역시와 수도권 지역 및 지사 직할 1급 지점에 설치하는 시스템으로서 국내에서 개발된 모든 배전자동화 기능을 구현할 수 있고, 용량면에서도 대규모 설비를 관리할 수 있도록 충분한 용량을 갖는 시스템이다. 한 도시에 2개 이상의 1급



〈그림 2〉 소규모 배전자동화 시스템 구성도

지점이 있을 경우에는 배전사령실이 있는 지점에만 시스템을 설치하여 전체를 관리하는 것이 적당하다. 대규모 시스템은 아래와 같은 특성을 갖는다.

- SCADA 및 GIS 시스템과의 연계를 기본으로 한다.
- 지형도 위에 배전계통도를 표시하는 것을 기본으로 한다. 그러나 발주자의 필요시 스케레톤 형태로 작성하게 할 수 있다.
- SCADA에서 취득하는 변전소의 종합 CB, 선로 CB의 상태 감시, 차단기 및 계전기의 동작기사, 전압/전류 등의 계측정보를 볼 수 있다.
- SCADA 시스템과 연계해서 배전선로의 재폐로 선택스위치인 43A를 제어할 수 있도록 한다. 다만, 이를 위해서는 변전설비 주관부서의 승인이 필요하다.
- 변전소의 단선결선도를 표시한다.
- 배전선로 운전자동화 기능, 작업정전 대비기능, 과부하방지 조작기능, 시뮬레이션 기능, 회선별 단선도 작성기능 등을 가진다. 배전선로 운전자동화 기능은 배전선로 단일고장 및 다중고장, 변압기뱅크 고장, 변전소 1개 전체고장 등을 처리할 수 있다.
- 조작대를 2조로 하여 2인의 사령원이 시스템을 동시에 운용할 수 있게 한다.
- 정전 관련정보를 영업창구 및 수리반에 음성 또는 LCD 문자정보로 실시간 제공한다. 이때 제공하는 정보는 정전선로, 정전지역, 주요수용가명 등이다.
- 프로젝션 시스템으로 큰 화면의 계통운용 상황을 표시하게 한다. 그러나 프로젝트 시스템은 운용상 필요보다는 홍보용이기 때문에 생략 가능하다.
- 통신방식은 광, 동축, 페어, 무선 등 어떠한 방식을 같이 사용하여도 시스템 운용이 가능한 하이브리드 통신방식을 구현한다.
- 고장처리 알고리즘은 고장표시기(Fault Indicator)의 정보를 이용한 Yes-No 방식을 기본으로 한다.
- KEDPRO 프로그램을 내장하여 현재 시스템이 가지고 있는 계통도에 대한 보호협조 계산을 수행할 수 있도록 한다(향후 계획).

나. 소규모시스템의 특징

대도시를 제외한 모든 지역에 적용하는 시스템으로 부하의 특성이 주로 농어촌부하에 해당하는 지역에 설치하는 3급 지점이나 일부 규모가 작은 1, 2급 지점도 여기에 포함될 수 있을 것이다. 4급 지점은 시스템을 설치하지 않고 4급 지점을 담당하는 모(母)지점에서 설비를 관리하는 것이 적당하다.

- 최소의 규모로 시스템을 구성하기 위해 PC를 이용하는 조작대 1조 규모의 시스템을 구성한다.
- 시스템의 기능은 최대한 단순화하여 기본적인 개폐기의 원격감시제어 기능을 중점 수행한다.
- 배전선로의 단일고장과 다중고장을 순차적으로 처리하며 변압기뱅크 단위 고장까지 처리 가능하다. 그러나 변전소 고장은 처리하지 않는다.
- 고장처리 알고리즘은 FAS와 같은 순차투입방식의 개폐기나 차단기를 이용하여 고장구간을 현장기기가 찾은 후에 컴퓨터가 부하용량 계산을 수행하고, 계산결과에 따라 사령원이 원격에서 수동으로 조작하는 순송방식을 채용하여 시스템의 부담을 줄인다.
- 통신방식은 구축 후에 최소의 비용으로 운용이 가능한 무선방식을 선택하되, 지역적인 특성상 무선통화가 이루어지지 않는 지역에서는 통신감도가 확보되는 지역에 개폐기를 설치하거나 개폐기 설치점의 무선송수신 성능을 높이기 위한 증폭기 설치 등 다양한 방안을 고려한다. 그러나 무선방식으로 통신이 곤란한 개소에는 전화회선을 임차하여 연결하는 방안도 병용한다.
- 시뮬레이션 기능은 없는 것을 원칙으로 한다.
- 계통도 표시는 지형도 위에 계통도를 표시하는 방식을 기본으로 한다.

다. 신 배전자동화 시스템의 기능

신 배전자동화 시스템은 표 2와 같이 시스템 규모별로 약간 차별화한 다양한 기능을 가진다. 각 기능에 대한 자

◆ 기술개발

세한 설명은 지면관계상 생략하고 시스템의 중요한 기능인 원격 감시/제어/계측기능과 배전선로 자동운전 기능에 대해서만 설명한다.

(1) 원격감시/제어/계측기능

배전자동화 시스템이 감시, 제어하는 기기는 변전소 구내에 설치된 22.9kV 중합차단기와 모선 Tie용 차단기 및 배전용 인출 차단기, 배전선로의 SF₆ 가스개폐기, 지상형 다회로개폐기, 지상형 다회로차단기, 디지털 리클로저, 배전선로용 차단기 등이다. 현장 기기의 감시, 제어, 계측항목은 표 3과 같다.

(2) 배전선로 자동운전 기능

일반적으로 선로자동화(Feeder Automation) 기능이라고 불리는 배전계통 자동운전 기능은 다음과 같은 주요기능을 포함한다.

- 배전계통의 단일 고장 및 다중고장 처리 기능
- 과부하 감지 및 부하용통 기능
- 작업정전 대비 부하용통 기능
- 변압기 뱅크 단위 및 변전소 전체 고장 처리 기능

(가) 배전계통 단일고장 및 다중고장 처리 기능

배전선로에서 고장이 발생하면 일반적으로 고장을 가장 먼저 감지하는 기기는 변전소의 CB 또는 배전선로의 리클로저나 자동화차단기이다. 고장처리 알고리즘으로 Yes-No 방식을 이용할 경우에는 배전선로의 한 구간에서 영구고장이 발생했을 때 자동으로 처리하기 위해서 CB나 리클로저가 개방되고, 재폐로가 실패하였으며 고장표시기(Fault Indicator)가 동작하였다는 정보를 동시에 취득함으로써 배전자동화 시스템의 고장처리

업무가 시작된다. 이렇게 특정선로의 고장이 인지되면 해당 선로에 설치되어 있는 자동화개폐기의 고장표시기 동작정보를 각각 확인하여 고장표시기가 동작한 개폐기와 동작하지 않은 개폐기 사이에서 고장이 발생한 것으로 고

〈표 2〉 시스템 규모별 배전자동화 시스템 기능

기능항목	개	요	대규모	소규모
배전선원격감시제어, 계측기능	• 개폐기 감시제어(투입, 개방, Lock 등)		○	○
	• 단말장치의 감시 및 Setting치 변경		○	○
	• 배전선 전압, 전류, 위상차의 계측		○	○
변전소원격감시제어, 계측기능	• 뱅크 2차 CB, 선로 CB 등의 투입, 개방 감시		○	○
	• 43A 스위치의 원격제어		○	○
	• 뱅크 전압, 전류 및 선로전류 계측		○	○
계통자동운전기능	• 배전계통의 사고구간 검출 및 부하용통 조작		○	○
	• 과부하 방지 조작		○	○
	• 작업정전 대비 용통계산 및 원격 자동조작		○	○
	• 변압기 뱅크단위 또는 변전소 단위 고장처리		○	△
배전계통도 등 표시 기능	• 지형도 위에 배전계통도 표시기능		○	○
	• 스킴레톤 형태의 배전계통도 표시		○	○
	• 변전소 단선도 표시		○	○
관리자료 작성기능	• 계통고장정보 기록 (변전소 상위계통 고장 관련기사 등)		○	△
	• 계통감시제어 기록(개폐기 상태감시 기록 및 조작기사)		○	○
	• 계통관리 정보(선로부하, 일보, 월보, 제3수요 일, 연보기록 등)		○	○
	• 회선별 단선도 작성기능		○	○
	• 설비관리 정보(기기 제원 및 구간별 고객정보 등)		○	○
시뮬레이션 기능	• 배전선 사고시의 자동부하용통 시뮬레이션		○	○
	• 배전선로 Maintenance 훈련용 시뮬레이션		○	○
Maintenance 기능	• 배전계통도 등 그래픽 Maintenance		○	○
	• 설비제원 등 데이터 Maintenance		○	○
	• Data Consistency 확보		○	○
참구 정보제공기능	• 배전선 정전정보(구간, 고객정보 포함)		○	-
	• 작업정전 계획정보(구간, 고객정보 포함)		○	-
	• 음성에 의한 고장정보 제공		○	-
시스템 관리기능	• 중앙장치 Network 감시		○	○
	• 통신망, 통신장치, 모뎀 등 전송로 감시		○	○
	• 단말장치, 개폐기 등 현장기기 감시		○	○
시각 설정기능	• SOE기능 수행을 위한 시각동기 설정 기능		○	○
대화면 표시기능	• 대화면으로 계통운용 상황의 표시기능		△	-
GIS 연계	• GIS 연계 지형도 위에 배전계통도 표시		○	-
	• GIS 연계 설비제원 및 고객정보 표시		○	-
SCADA 연계	• SCADA 연계 모든 변전소 정보 취득		○	○
	• 계전기 동작상황표시		△	△
고장처리 알고리즘	• 고장표시기 Yes-No 정보 이용 고장처리		○	○
	• 개폐기 순차투입 방식에 의한 고장처리		○	○

〈표 3〉 배전자동화 시스템의 감시, 제어, 계측 항목

구 분	감 시	제 어	계 측
〈현장기기〉 • SF ₆ 가스개폐기 • 지상형다회로개폐기 • 지상형다회로차단기 • 디지털리클로저 • 배전선로용차단기	• 상태정보(투입/개방, Lock/Unlock, 현장/원방) • 고장표시 정보(각 상별 자동/수동모드) • 단선/결상정보(각 상별 전원측/부하측) • 상일치/불일치 정보 • 중전부 상태 및 축전지 상태 확인정보 • 활선/사선(전원/부하측) 정보 • 가스압 정상여부 • 자체진단결과 이상유무 정보(CPU 재시동, 전원상실 등)	• 투입/개방 제어 • Lock/Unlock 제어 • 축전지 시험 • 최소동작전류 설정 • 고장표시기 Reset • Heater 전원 • T-C 커브 설정	• 각 회로별 3상전압 • 각 회로별 3상전류 • 시간별 최대부하전류 (매 15분 평균치 중 매시간별 최대치 A, B, C, N상) • 고장전류 • 개폐기 동작횟수
〈변전소 기기〉 • 22.9kV 종합 차단기 • 선로 인출 차단기 • 모선 Tie 차단기	• CB 투입/개방 상태(종합 CB, Tie CB, 인출 CB) • 43A 상태 • 계전기 동작정보	• 각 D/L 43A 제어	• 각 22.9kV 모선 1상 전압 • 종합 CB 1상 전류 • 배전선로 인출CB 1상 전류

장구간을 판정한다. 고장구간이 판정되면 부하측의 건전 구간을 인근 선로로 전환하기 위한 부하용통계산 프로그램이 작동되어 최적의 개폐기 조작순서를 화면상에 표시한다. 근무자는 이상의 정보를 모니터 상에서 확인한 후 개폐기 일괄제어 명령을 내리게 된다.

만약 고장구간이 단일 개소가 아니고 여러 개소에서 발생한 다중고장일 경우의 고장처리는 단일고장이 여러 곳에서 발생한 것으로 취급하여 모니터에 나타난 여러 건의 고장개소 중에서 중요도에 따라 먼저 처리하기를 원하는 것부터 순차적으로 하나씩 지정하여 처리하도록 한다. 즉 다중고장은 단일고장 여러 건이 순차적으로 처리되는 것과 같다.

(나) 과부하 감지 및 부하용통 기능

배전자동화 시스템은 과부하를 방지하는 기능을 갖는다. 배전선로에 포설된 전선의 굵기에 따라 흘릴 수 있는 전류의 용량이 상이하므로 데이터베이스에 선로별로 최대전류를 지정해 놓고 계측하는 전류값이 이를 초과하는 경우 사령원에게 경보를 발령하고 과부하를 해소하기 위해서 평상시 계측된 구간별 부하를 기준으로 부하용통계산을 수행하여 여유가 있는 인근 선로로 필요한 만큼의 부하를 전환시킬 수 있도록 개폐기를 조작하게 한다.

(다) 작업정전 대비 부하용통 조작기능

배전선로의 특정구간에서 정전작업이 필요한 경우 해

당구간 부하측의 구간에 대해서는 인근 선로로 부하를 전환시켜 전기를 공급하여야 한다. 배전자동화 시스템에서는 정전작업 구간을 지정하면 부하측의 구간에 대한 부하용통 계산을 수행하여 최적의 부하전환을 위한 개폐기 조작순서를 제시한다. 부하용통 계산시에 고려하는 요소는 다음과 같다.

- 개폐기 조작횟수 최소화
- 과부하 방지 및 부하분담 균등화
- 전압강하 제약조건 위반금지
- 전력손실 최소화
- 주요고객(종합병원, 언론사 등) 정전 최소화
- 부하전환 후의 선로에서 고장이 또 다시 발생하는 경우에 대한 대비

(라) 변압기뱅크 단위 및 변전소 전체 고장처리 기능

일반적으로 변전소에는 2대 이상의 주변압기가 설치되어 있고 각각의 변압기뱅크별 모선을 구분하여 배전선로를 분담 공급하도록 하고 있다. 따라서 변압기뱅크 하나에 문제가 있는 경우 해당뱅크에서 공급을 받는 배전선로를 정상적인 다른 변압기뱅크 공급구역이나 다른 변전소 공급구역으로 부하를 전환시키는 부하용통계산을 수행하여 개폐기를 자동 조작하도록 한다.

변전소뱅크단위의 고장보다 더 큰 것이 변전소 전체 고장이다. 변전소 구내에 화재가 발생하거나 송전선로의

◆ 기술개발

사고로 하나의 변전소 전체가 정전이 된 경우 이 변전소에서 공급하던 모든 부하를 다른 변전소 측으로 전환시켜야 한다. 정전구역이 매우 크기 때문에 부하용량 범위가 넓어서 계산시간이 길어지고 경우에 따라서는 전력을 공급하지 못하는 구간이 발생할 수 있을 것이다. 이때 부하용량을 위하여 고려하여야 할 사항은 앞에서 설명한 것과 같으나 정전구역이 크기 때문에 전력손실 최소화나 부하전환 후의 또 다른 고장 대비 등과 같은 전력공급에 심각한 문제가 되지 않는 제약조건들은 일부 무시하고, 가능하면 선로 용량의 최대부하까지 공급하면서 많은 지역에 전력이 공급되도록 한다.

5. 신 배전자동화 시스템의 고장 처리 알고리즘

배전자동화 시스템에서 매우 중요한 기능 중의 하나가 배전선로의 고장처리 기능이다. 현재까지 한국형 배전자동화 시스템(KODAS)을 개발하고 강동지점에서 실증시험을 수행한 배전자동화 시스템의 고장처리 알고리즘은 Yes-No 방식이라고 이름을 붙인 것으로, 변전소의 차단기 또는 자동화개폐기의 고장표시기가 고장전류의 통전유무를 감시하여 고장전류가 흘렀을 경우 Yes, 흐르지 않았을 경우 No라고 응답하도록 하여 Yes와 No 사이 구간에서 고장이 발생한 것으로 판정하는 방식인데, 이 방식은 대도시나 중도시 등 빠른 통신속도를 가진 통신망을 확보한 지역에 적용하는 것이 좋다. 이러한 알고리즘을 적용하기 위해서는 통신시스템의 신뢰도가 매우 중요하며 현장기기가 제공하는 고장표시기의 동작정보도 오류가 없어야 당초 목표한 확실한 고장처리 효과를 기대할 수 있다.

또 하나의 방식으로 제시하는 순송방식은 배전자동화를 오랜 기간 동안 적용해 온 일본이나 유럽에서 채택하고 있으며 이미 신뢰성이 인정된 방식으로서 국내에서도 최근 자동화개폐기가 스스로 동작하여 고장구간을 찾아

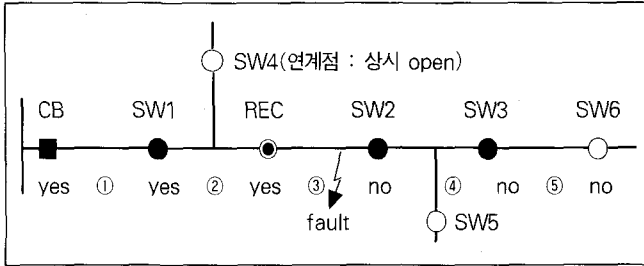
내는 순송방식의 고장구간 자동검출 개폐기(FAS : Feeder Automation Switch)가 개발되어 일부 사업소에서 사용되고 있다. 순송방식을 이용하면 고장구간을 찾아 구분하는 것까지는 개폐기 자체 기능으로 처리하므로 고장처리가 간단해지고, SCADA 시스템이 제공하는 정보만으로 충분히 고장처리 기능 수행이 가능하기 때문에 효율적이며 컴퓨터나 통신시스템에 대한 의존도를 낮출 수 있어 중소도시나 농어촌 지역에서 충분한 효과가 기대된다.

가. 대도시형 Yes-No 방식 고장구간 판단 절차

앞에서 설명한 고장처리 방식 중에서 고장표시기의 고장전류 통전정보를 읽어 Yes-No 방식으로 고장을 판별하는 고장처리 절차를 설명한다. 변전소의 정보는 SCADA 시스템에서 얻으며, 통신방식으로 무선 PCS의 SMSC를 이용하는 경우 현장정보를 취득하기 위한 빠른 주기의 지속적인 Polling 방식 통신이 비경제적이기 때문에 배전선로에 설치되어 있는 기기의 정보는 현장기기가 자체적으로 판단하여 상태변경 내용 등 관련 정보를 중앙장치로 송신하도록 하고 이 정보를 이용하여 고장구간을 판별하게 된다. 그림 4와 같은 계통의 구간 ③에서 고장이 발생한 경우의 고장처리과정을 아래에 설명한다.

○ REC와 SW2 사이 구간 ③에서 고장 발생

- ① 고장구간이 REC 이후 구간이므로 변전소의 CB는 동작하지 않고, 리클로저가 고장전류를 감지하여 동작함으로써 고장구간을 구분한다. 이때는 변전소 CB가 동작하지 않기 때문에 SCADA 시스템에서 어떠한 이상 정보도 얻을 수 없다.
- ② 리클로저는 투입/개방 상태가 변경되었고 고장전류를 경험하였으므로 중앙장치에 상태변경정보를 제공하게 된다. 이때 단말장치는 순간고장인지 영구고장인지를 판별할 수 있도록 타이머 기능을 가져서 리



〈그림 4〉 4분할 3연계 배전계통 구성도

클로저의 동작책무를 다 수행한 후에 무전압상태가 된 영구고장 상태의 고장표시기 정보(Yes)인지, 순간고장으로 고장이 회복된 상태하에서의 고장표시기 정보(Yes)인지를 구분하여 제공할 수 있어야 한다.

- ③ 중앙장치는 현장기기로부터 접수된 상기 정보를 인지한 후 SW2, SW3에 대하여 고장표시기의 동작정보(Yes 또는 No)를 확인한다.
- ④ SW2, SW3는 중앙장치가 정보를 물었을 때 고장표시기가 동작하지 않았고 무전압 상태이라는 정보를 제공한다.
- ⑤ 중앙제어장치는 REC가 제공한 정보와 SW2, SW3의 응답정보를 비교하여 REC와 SW2 사이에서 고장이 발생한 것으로 판정한다.
- ⑥ 중앙제어장치는 부하측 건전구간인 ④, ⑤ 구간에 역송을 하기 위한 부하용통 계산을 수행하여 최적의 고장복구 부하전환을 위한 조작순서를 모니터에 나

타낸다. 이때의 부하용통 계산결과는 SW2를 Open하고 상시 개방점인 SW5와 SW6 중에서 하나의 개폐기를 투입하도록 결과가 제시될 것이다.

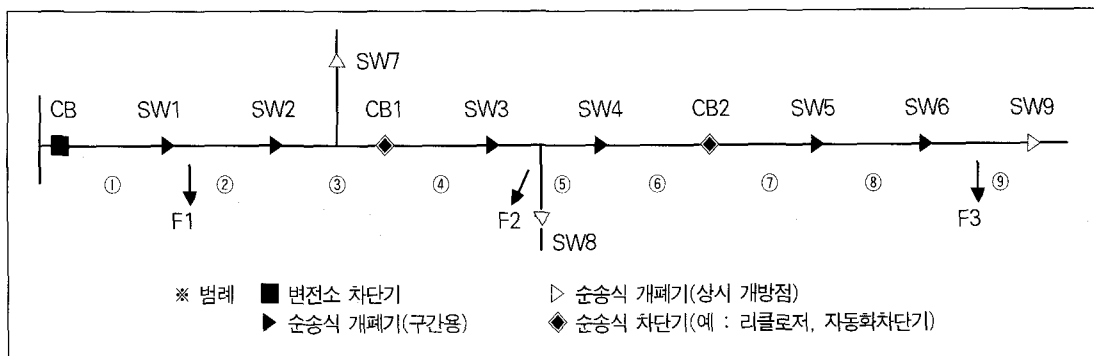
- ⑦ 보선사령원이 조작순서를 확인한 후 복구를 위해 컴퓨터 상에서 일괄조작 명령을 내리면 고장구간 양단 분리 및 건전구간에 역송하기 위한 부하전환 조작이 자동으로 이루어진다.

나. 중소도시 및 농어촌용 순송방식 고장구간 판단 절차

중소도시 및 농어촌 지역과 같이 공장이 긴 배전선로는 보통 리클로저 또는 자동화차단기 두 대를 직렬 사용하여 변전소의 CB 및 차단기간에 협조가 가능하며, 선로가 길기 때문에 자동화개폐기를 여러 대 설치하여 고장구간을 축소할 수 있다. 그림 5와 같은 배전선로에서 구간 ⑤에서 고장이 발생한 경우의 처리과정을 설명하면 다음과 같다.

○ F2점 사고시의 고장처리 과정

- 영구고장을 감지하여 변전소 차단기가 트립되기 이전에 자동화차단기 CB1이 트립됨.
- CB1 부하측의 모든 개폐기는 1회 무전압시는 개방되지 않음.
- 2초 후에 CB1이 재폐로 됨.
- 영구고장이 지속중이므로 다시 CB1이 트립됨.



〈그림 5〉 순송식 차단기 이용 긴 공장 자동화선로의 개념도

◆ 기술개발

- 자동화개폐기 SW3~SW6 및 CB2는 선로전압이 2 번째 무전압이 되고 0.25초가 지나면 자동으로 개방 됨.
- CB1이 2초 후에 재폐로 됨.
- 투입시간 8초 후에 SW3가 순송 투입되나, 영구고장 구간에 투입되었으므로 CB1이 다시 트립되고, SW3는 투입된 후 정해진 투입 Lockout 시간(5초) 동안 가압상태를 유지하지 못했기 때문에 무전압 개방되면서 Lockout 됨.
- SW4와 SW8은 SW3가 투입되면서 전원측에서 가압된 후 정해진 투입시간(8초) 이전에 다시 무전압이 되었으므로 자기 바로 앞에서 고장이 발생한 것으로 판단하여 개방상태에서 Lockout 됨.
- ∴ 고장구간이 양단이 분리 Lockout 되었음.
- CB1이 15초 후 재폐로되어 SW3 전단까지 건전구간에 대한 송전을 마침.

이때부터 중앙장치는 해당 선로의 개폐기 정보를 파악하여 고장 구간을 확인하고 고장구간 부하측의 역송을 받기 위한 부하용통 계산을 수행하여 역송이 가능한 개폐기를 선택하되, 인근 역송선로의 부하공급 예비력과 전압강하, 전력손실 등을 감안하여 투입할 적정 개폐기를 선정한다(다만, 여기서는 SW9을 선택한 것으로 가정).

- 중앙장치의 명령에 의하여 SW9 투입.
- 방안1 : 중앙장치의 명령에 의해 투입시키는 방안
→ 중앙장치의 명령에 의하여 SW6, SW5, CB2를 투입함으로써 모든 건전구간에 송전을 마침.
- 방안2 : 순송방식에 의해 투입시키는 방안
→ 배전자동화 시스템이나 통신망의 고장을 고려하여 고장처리 업무를 시스템에 의존하지 않도록 하는 방식으로 SW9를 원격 투입시킨 후 8초가 지나면 SW6이 순차 투입되고 다시 8초 후에 SW5 투입, 다시 8초 후에 CB2가 순차적으로 자동 투입되어 전력공급 완료.

상기 두 가지 방안 중 전체적인 고장처리 방식으로 순

송방식을 채택하였음을 감안하여 방안 2가 적당한 것으로 판단된다. 이상의 절차를 통한 고장처리 시간은 근무자가 신속한 대응을 한다면 대략 부하측 건전구간의 복구까지 약 1~2분 정도가 소요되고, 전원측 건전구간의 복구까지는 약 2~3분 정도가 소요될 것으로 예상된다(표 4 참조).

다. 고장복구를 위한 부하 용통계산

위에 언급한 방식으로 고장구간이 판단되면 컴퓨터시스템은 고장구간 이후의 건전 정전고장에 대해 전력을 공급하기 위해서 부하용통계산을 수행하게 된다. 배전자동화용 개폐기들은 매시간 전류를 계측해서 중앙장치가 요청할 때 전류정보를 제공하므로 데이터베이스에는 구간별 부하정보가 누적 관리되고 있다. 따라서 다른 인근 선로로 전환해야 할 부하용량과 정전 지속시간 동안의 부하 추이에 대한 예측이 가능하다. 부하용통계산을 수행할 때는 절대 정해진 범위를 벗어나서는 안되는 제한요소와 우선순위를 따라 비중을 가지고 고려해야 하는 고려요소가 있다.


제한요소로는 주변압기 과부하 금지, 선로 과부하 금지, 전압강하 초과 금지 등이 있으며, 고려요소로는 중요수용가 우선권, 정전구간 최소화, 개폐기 조작횟수 최소화, 부하분담 균등화, 선로손실 최소화, 배전선로 신뢰도 고려, 보호기기 협조, 추가 고장 대비, 건전구간 부하전환 최소화 등을 들 수가 있다. 이러한 요소들 중에서 어떤 것을 우선하느냐 하는 것은 처리해야 할 기능이 선로 사고 처리인가, 작업정전 대비 부하용통인가 또는 과부하 해소인가 아니면 변전소 고장 처리인가에 따라 달라지게 되므로 프로그램을 짤 때 적절하게 반영되도록 하고 있다.

6. 맺음말

국내 최초로 전용통신선 방식의 시스템을 개발하여 실

〈표 4〉 F2점 고장 발생시의 타임차트

상 황	시 간	개폐기의 동작상황											
		CB	SW1	SW2	CB1	SW3	SW4	CB2	SW5	SW6	SW7	SW8	SW9
• 구간⑤에서 사고발생	CB1 트립(순시)												
• CB1 1회 재폐로	재폐로 시간 (2초)												
• CB1 재트립	TC커브(순시)												
• 무전압 개방	0.25초												
• CB1 2회 재폐로	재폐로 시간 (2초)												
• SW3 순송 투입	투입시간 T1(8초)												
• CB1 재트립	TC커브(지연)												
• 무전압 개방	0.25초												
• SW3, SW4, SW8 Lockout						Lock	Lock					Lock	
• CB1 3차 재폐로	재폐로시간 (15초)												
• 중앙장치 고장판단 및 부하용량 계산													
• SW9 투입명령													
• SW6 순송투입	투입시간 (8초)												
• SW5 순송투입	투입시간 (8초)												
• CB2 순송투입	투입시간 (8초)												

*  투입은 되어 있으나 무전압 상태를 나타냄.

계통에서 2년 동안의 실증시험을 수행하면서 얻은 여러 가지 경험을 바탕으로 두번째로 개발을 시도하고 있는 시스템이 신 배전자동화 시스템이다. 최근에 급격하게 발전하고 있는 신기술과 현장운용 Know-how를 접목하였고 구형기능도 세계 최고 수준을 목표로 하였으며, 시스템을 단순화하여 충분한 신뢰성과 경제성을 확보할 수

있도록 하고 있기 때문에 계획대로 연구가 추진된다면 외국의 어떤 시스템과 견주어도 손색이 없는 시스템이 될 것으로 생각한다. 연구진도상으로는 1999년 8월경 시스템 제작이 완료될 예정이며 이것을 고창 배전시험장에 설치하여 약 1년간 시험기간을 거친 후 배전사업소에 이설하여 운용할 예정이다. ☒

~ 참고문헌 ~

1. 日本 配電自動化研究會, “配電自動化시스템 入門”, OHM, 1991
2. 배전자동화 알고리즘 정립 및 표준화연구, 기술연구원, 1993
3. 국산 배전자동화 시스템 실계통 실증연구, 전력연구원, 1997
4. 미국 Cooper Power Systems, “Electrical Distribution System Protection”, 1990
5. 石毛克政 外, “特輯 配電自動化시스템의 새로운 展開”, OHM, 1997. 6월호
6. 신 배전자동화 시스템 개발 연구 중간보고서, 전력연구원, 1998