

비접지계통 배전자동화시스템 개발 및 시범운영 사례



서동권
KEPCO 배전계획처 배전기술팀 차장

원거리 자동화기기를 배전센터에서
원격감시, 제어 및 원격 설정하는 시스템

1. 개황

한국전력공사(이하 KEPCO)의 배전계통은

“22.9kV-Y 중성선 다중접지방식”으로 일원화하여 운영중에 있으나 22.9kV-Y로 공급되지 않는 도서지역은 자체 내연력 발전설비를 이용하여 380V-Y로 발전하고 6.6kV-Δ로 송입하여 비접

지계통으로 운영되고 있다. 접지계통의 경우 고장 전류는 대전류로서 고장검출이 용이하나 비접지계통은 지락고장시 고장전류가 수 A 이내로 작기 때문에 고장검출이 어려워 배전자동화시스템에 적용이 곤란하였다.

따라서 비접지계통의 지락고장검출이 가능한 배전자동화시스템(DAS)을 개발하고 비접지계통(6.6kV-Δ)으로 운영중인 전북본부 부안지점 관내 위도에 시범으로 운영한 내용을 소개한다.

II. 현황

1. 비접지계통 배전자동화시스템

KEPCO의 배전자동화시스템(DAS)은 전력IT기술을 활용하여 광범위하게 원거리에 산재되어 있는 개폐기 등 자동화기기를 배전센터에서 원격감시, 제어 및 원격 설정할 수 있는 시스템으로 전류, 전압 등 선로운전 정보를 실시간으로 계측하고 고장시 자동으로 정전구간을 판단하여 원격제어를 통한 정전구간 축소와 정전시간을 단축시키는 시스템이며, 주요기능은 아래와 같다.

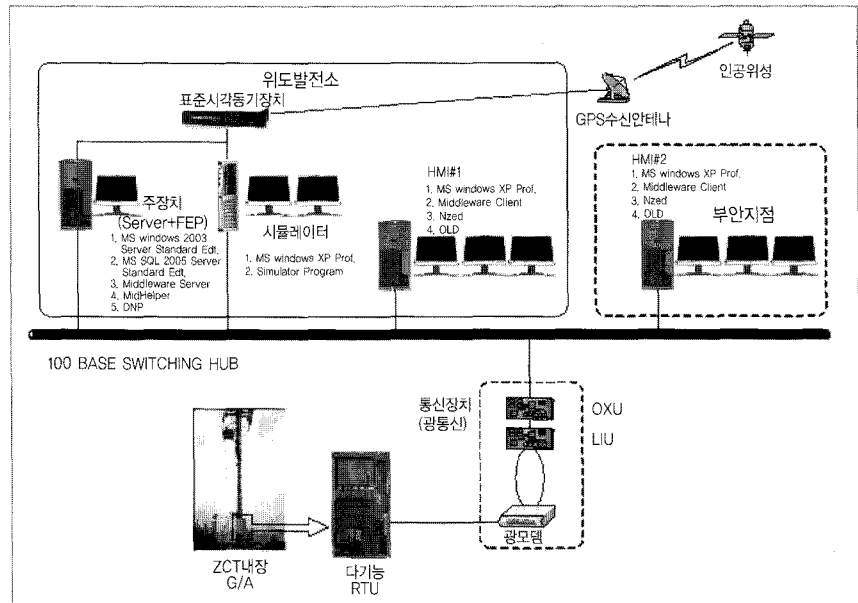
- 배전선로 고장 자동검출 및 복구
- 배전설비 운전정보의 실시간 취득
- 개폐장치 원격감시 및 제어
- 배전계통 최적부하관리
- 보호협조 기능 등

상기의 기능을 수행하기 위한 배전자동화시스템은 크게 주장치, 통신장치 및 통신망, 단말장치, 개폐기 등 기기로 구성된다.

비접지계통 배전자동화시스템은 단말장치에 Zero-Sequence CT(ZCT)가 내장된 개폐기에서 영상전류(IO)를 취득하여 지락고장을 검출하여 주장치에 전송함으로써 사령원이 고장점을 명확히 인지할 수 있는 시스템이다. 선로에 1선 지락고장 발생시 자동화개폐기에서 취득한 고장전압과 전류를 비접지계통 고장검출 알고리즘을 내장한 단말장치에서 영상전압과 영상전류를 검출하여 고장선로, 고장구간 및 고장상 등을 판단하고 상위 주장치에 전송한다. 주장치는 고장정보를 HMI 단선도에 고장점을 표시하여 종합적으로 운영자가 감시제어 할 수 있도록 기능이 구현된 시스템이다. 비접지용 배전자동화시스템 구성은 그림 1과 같이 구성되어 있다.

주장치는 운영프로그램 구동을 위한 이중화 Sever와 운영자가 시스템을 전체적으로 감시, 제어하는 HMI, 각종 정보 및 이력을 저장하는 이력서버, 단말장치와 통신기능을 수행하는 FEP 등으로 구성된다.

통신장치와 통신망은 광통신방식을 적용하였고, 단말장치는 기본적인 배전자동화 요구기능과 비접



[그림 1] 비접지계통 배전자동화시스템 구성도

지계통 지락고장검출 알고리즘을 내장하고 있으며, 개폐장치는 전압을 계측하기 위한 CPD센서와 전류를 계측하기 위한 부싱형 CT, 특히 미세 영상전류를 계측하기 위한 ZCT를 내장하고 있다.

2. 비접지계통에서의 고장검출 알고리즘

접지계통에서 지락고장 발생시 고장전류가 수천 A로 크기 때문에 고장검출이 용이하나, 비접지계통에서는 지락고장 시 고장전류인 영상전류가 수 A 이내(위도 시험시에는 8A정도 검출됨)로 작고, 고장전류의 방향성을 판단하기 어렵기 때문에 상용화가 어려웠다.

일반적으로 비접지계통은 1선 지락고장이 발생하면 고장점으로부터 건전상의 대지 정전용량에 의해 고장전류가 분류되지만 대지 정전용량에 의한 용량 리액턴스가 아주 큰 값이기 때문에 지락전류인 영상전류는 아주 작아서 지락전류 영점을 통과 순간에 자연 소멸되어서 정전없이 전력을 공급할 수 있는 장점이 있어 배전선로에서 운영되고 있다.

이제까지 비접지계통 보호는 단순히 변전소에 GPT(Grounding PT)를 설치하고 지락고장시 영상전압(V0)을 검출하여 OVGR(지락과전압계전기)로 CB(Circuit Breaker)를 차단하거나 배전선로(D/L) 인출단에 ZCT(Zero-sequence CT)를 설치하여 영상전류(I0)를 검출하고 SGR(선택지락계전기)을 이용하여 D/L별로 선택 보호차단하는 방식으로 운영되고 있다.

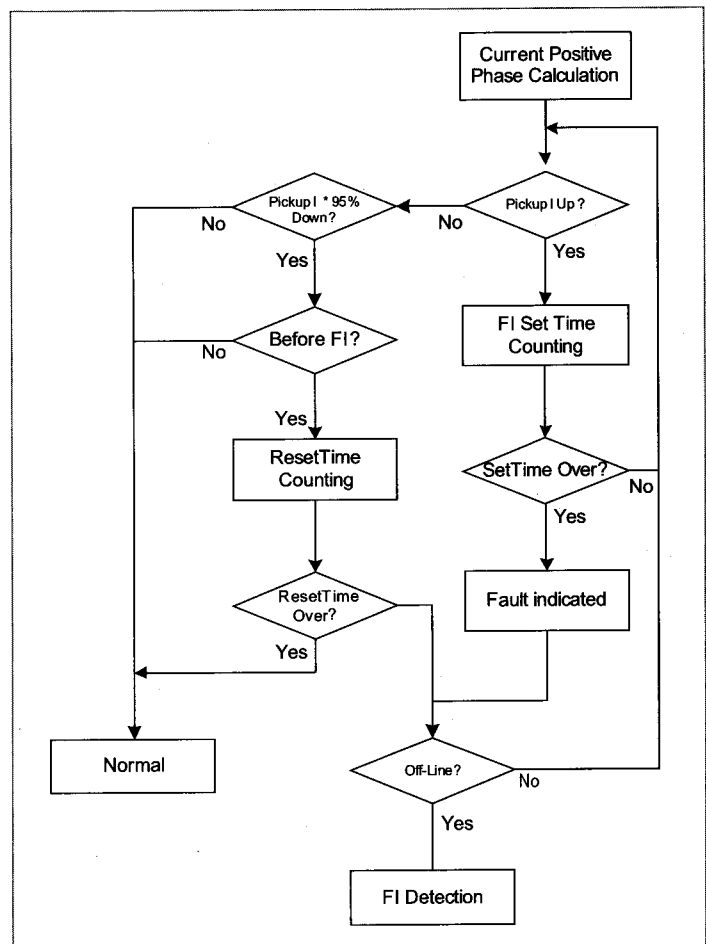
일본전력회사의 배전자동화시스템은 지락고장 발생시 변전소의 CB가 개방되면 선

단락고장과 지락고장으로 구분, 검출하는 알고리즘 내장

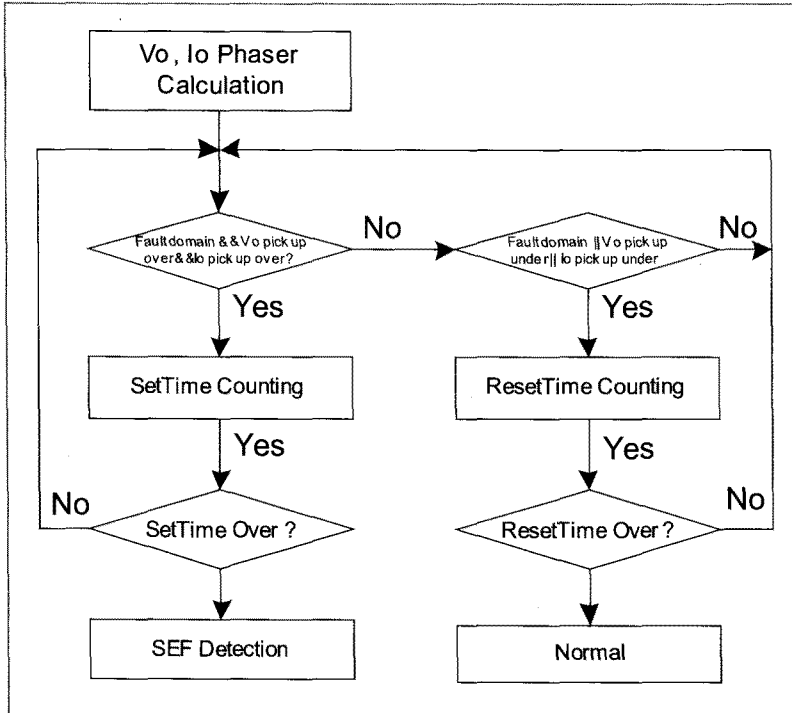
로중간에 설치된 개폐기를 순차적으로 투입하여 고장구간을 판단하는 방식을 적용하고 있다.

위도에 설치된 배전자동화시스템의 단말장치는 배전선로 고장을 크게 단락고장과 지락고장으로 구분하여 검출할 수 있는 알고리즘을 내장하고 있다. <그림2>는 단말장치에 기능 구현된 단락고장검출 Sequence 진행도이며, <그림3>은 지락고장검출 알고리즘 Sequence 진행도이다.

단락고장검출 알고리즘의 기본적인 Sequence는



[그림 2] 단락고장 검출 Sequence



[그림 3] 지락고장 검출 Sequence

상시 정상분 전류 페이지를 연산하고 있다가 설정된 Pick-up 전류 이상의 고장전류를 인지시 FI Set Time을 카운팅한다. 즉 설정된 Set Time을 초과하여 지속적으로 고장전류를 인지하고 보호기기 개방으로 선로가 사선이 되었을 경우 최종 고장으로 판단하고 그 결과를 주장치에 전송한다.

지락고장검출 알고리즘은 영상전압과 영상전류의 페이지 연산을 통해 설정된 영상전압과 영상전류의 위상차가 고장영역에 존재하고 설정된 영상전압과 영상전류를 초과할 경우 Set Time을 카운팅하며 계속 고장상태를 유지할 경우 SEF(Sensitive Earth Fault)로 판단하고 그 결과를 주장치에 전송한다. 본 자동화시스템에 적용된 비접지계통 지락고장검출 알고리즘은 지락고장에서 발생하는 기본적인 특성을 기반으로 기능을 구현하였다.

- 비접지계통에서 지락고장은 변전소GPT에서 유출되는 유효분 전류와 동일 बैं크내의 건전상

에서 발생하는 충전분 전류가 지락점을 통해 귀로하는 원리를 적용하였다.

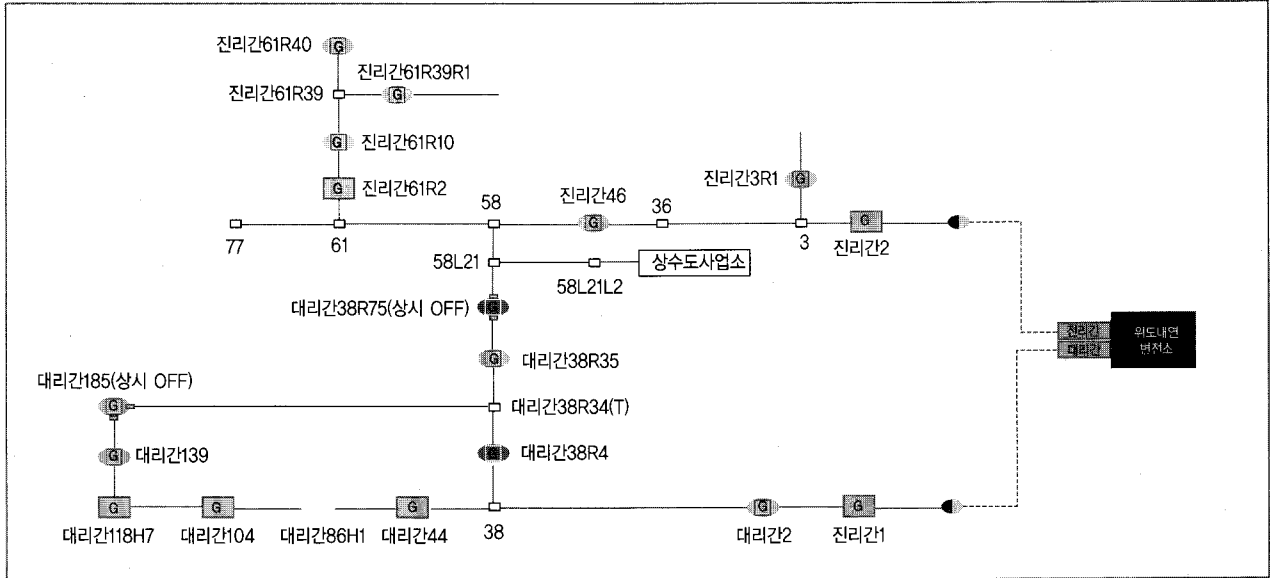
- 고장점을 기준으로 전원측과 부하측 고장전류의 크기와 위상차가 발생하는 원리를 적용하였다.
- 이를 기반으로 영상전압(V0)와 고장전류(I0)의 크기와 위상을 비교하여 고장구간을 판단할 수 있도록 기능을 구현하였다.

3. 위도 비접지 실계통 지락고장검출 실증

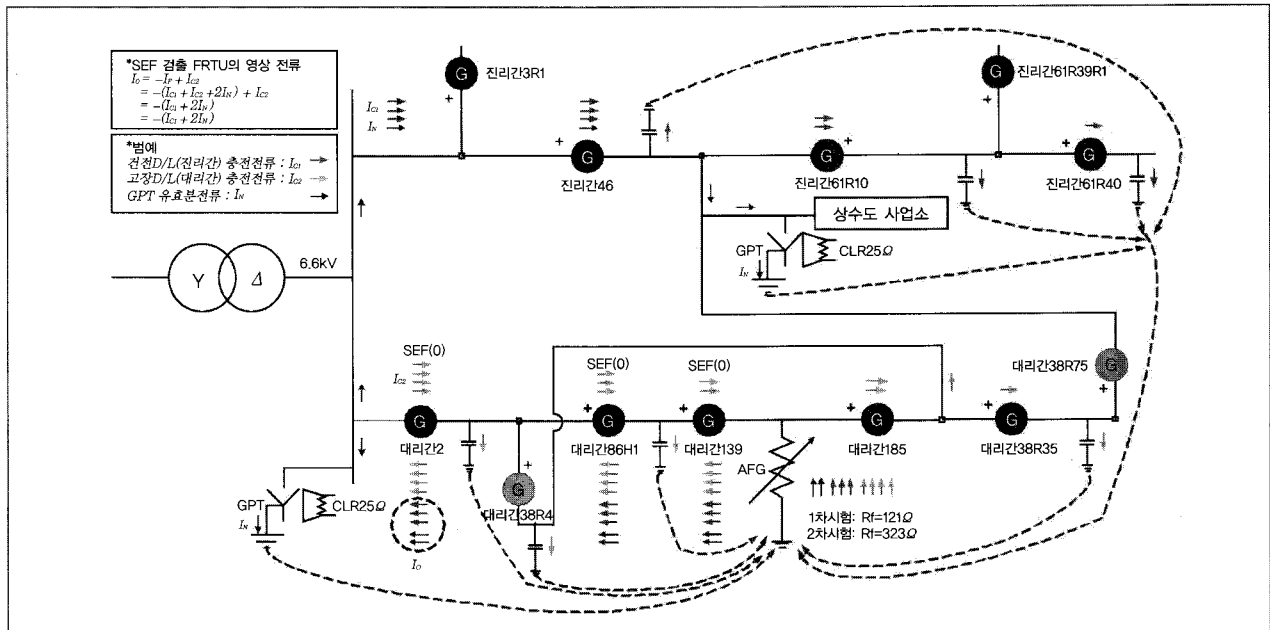
<그림4>는 위도 비접지계통 구성

도이다. 위도는 6.6kV-Δ 비접지계통의 진리간과 대리간의 2개 D/L로 구성되어 있으며, 인공 지락고장을 발생시켜 고장판단 알고리즘을 검증하기 위해 대리간 141호 B상에 COS를 설치하고 COS의 2차측을 대지에 직접 접지하였다. 또한 변전소의 OVGR과 협조를 위해 COS에 1A Fuse를 삽입하여 변전소 OVGR이 동작하기 전에 COS의 Fuse가 용단되도록 보호협조 하였다. 또한 대리간 38R75호와 대리간 38R2호를 개방하여 건전D/L(진리간)과 고장D/L(대리간)으로 계통을 구성하였다.

<그림4>와 같이 계통을 구성하고 대리간 141호에 설치된 COS를 투입함으로써 강제 지락고장을 발생시키고 지락고장검출을 실증하였다. 그 결과 고장점을 기준으로 전원측에 설치된 단말장치는 고장 D/L과 고장구간을 정확하게 검출하였고 건전D/L과 고장점 부하측에 있는 단말장치는 고장을 검출하지 않았다. 지락고장전류를 여러 각도로 모의하



[그림 4] 위도 비접지계통 구성도



[그림 5] 지락고장시 고장전류 흐름도

기 위해 COS의 접지저항을 가변시켜 시험하였으며, 또한 계통절체를 통해 고장점 위치를 변경시키면서 시험을 진행하였다.

4. 실증시험결과 분석

영상전압과 영상전류의 크기와 위상값을 분석한

결과 고장전류는 <그림5>와 같이 발생됨을 알 수 있었으며, 분석된 결과를 명확히 하기 위해 고장전류 흐름을 유효분 전류와 충전분 전류의 흐름으로 구분하여 표시하였다. 또한 영상전류(I0)는 고장점을 기준으로 단말장치가 설치된 위치 즉 전원측과 부하측에 따라 크기와 위상이 확연히 구분되었으며,

구분	전주명	대리간		대리간 86H1		대리간 139		대리간 185		대리간 38R35		대리간 38R75 (개방)		대리간 38R4 (개방)		진리간 3R1		진리간 46 (ZCT 극성반대)		진리간 61R10 (ZCT 극성반대)		진리간 61R40 (주장치이력)	
		분류	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기	위상(*)	크기
1차	VO[V]	3587	23	3579	23	3556	24	3558	24	3569	24	3619	323	3550	23	3617	323	3567	23	3602	23	3551	24.2
	IO[mA]	7713	290	8204	289	8349	290	246	65	177	58	-	-	-	-	0	240	3013	286	216	271	39	92.6
2차	VO[V]	3049	16	3041	17	3011	17	3017	17	3029	17	3051	310	3019	16	3073	310	3025	17	3060	17	3022	17.7
	IO[mA]	6559	283	7013	282	7041	284	156	84	98	84	-	-	-	-	0	117	2603	279	162	274	38	94.7

[표 1] 각 단말장치 고장검출 계측 값

국내 도서지역에 도입시 선로운영 효율 획기적 향상

고장점을 기준으로 전원측으로 갈수록 크기가 감소함을 알 수 있었다. 이 결과는 고장전류가 고장점으로 유입되어 전원측으로 귀로 한다는 결과를 증명하는 것이다.

<표1>은 지락고장 발생시 단말장치에서 계측된 영상전압과 영상전류를 나타낸다.

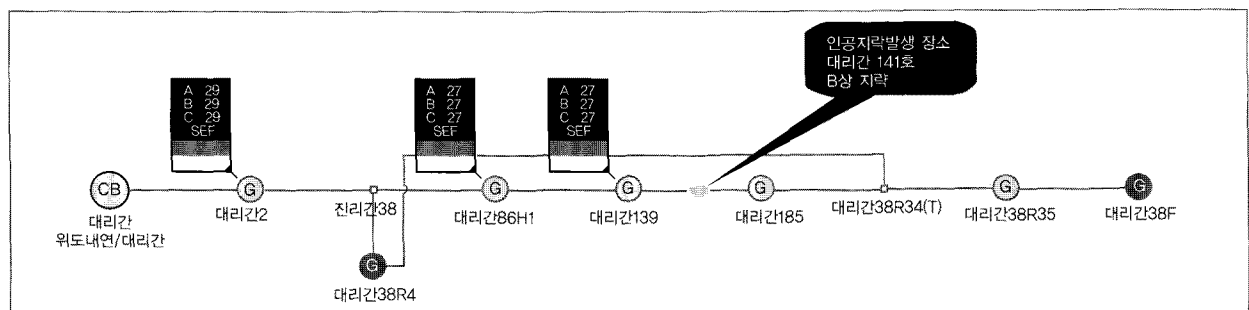
또한 단말장치에서 지락고장을 검출하여 전송한 비접지지락고장(SEF) 정보를 주장치는 단선도에 표시함으로써 운영자는 고장구간을 정확히 판단할 수 있다.

<그림6>에서 보듯이 주장치의 단선도에 표기된 SEF정보로 운영자는 대리간139호와 대리간183호 구간에서 고장이 발생했음을 알 수 있으며, 이를 바탕으로 고장구간 판단 및 선로고장복구가 가능하다.

III. 전망

비접지계통용 배전자동화시스템을 개발하고 위도의 비접지계통(6.6kV-Δ)에서 시범운영한 결과를 소개하였다. 이를 위해 단말장치의 지락고장검출 알고리즘을 기술하였고 실선로에서 인공 지락고장을 발생시켜 비접지계통의 지락고장 검출기능에 대한 검증결과와 분석내용을 제시하였다.

운영자는 고장시 단말장치에서 제공한 고장정보를 즉시 주장치의 단선도에서 확인 가능함으로써 정확히 고장구간을 판단할 수 있으며, 또한 신속한 고장복구가 가능하게 되었다. 따라서 비접지계통에서 지락고장검출은 기존 배전자동화시스템을 한 단계 업그레이드 시켰으며, 국내 도서지역에 비접지계통 배전자동화시스템을 도입시 선로운영 효율을 획기적으로 향상시킬 수 있을 것이다. 또한 향후 비접지계통 배전자동화시스템은 비접지계통을 운영 중인 해외 국가에 수출될 수 있을 것이다. KEA



[그림 6] 고장구간표시한 주장치의 단선도