



하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 한전의 배전선로 보호협조 기준

구분		동작차정정		동작시간
다중 접지	과전류 계전기	한시	1.5 × 최대부하전류	0.5초 이내
		순시	전위보호장치(유) 1.5 × I <sub>3max</sub> 이상	순시
	지락과전 류계전기	한시	0.3 × 최대부하전류이하	0.5초 이내
		순시	전위보호장치(유) 1.4 × I <sub>gmax</sub> 이상	순시

I<sub>3max</sub> : 전위보호기 설치점의 최대 3상단락 전류  
I<sub>gmax</sub> : 전위보호기 설치점의 최대 1선지락 전류

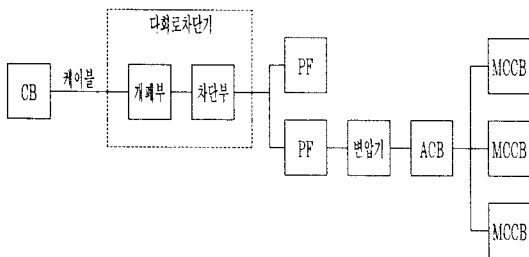
직접접지 방식의 계통구성에서 보호계전 방식으로 과전류계전방식을 적용하는 이유는 설치점의 단락고장이나 지락고장시의 고장전류가 부하전류보다 상당히 커서 고장검출이 확실하기 때문이다. 비접지 방식을 적용하는 배전계통에서는 지락고장 전류가 매우 작기 때문에 고장을 감지하여 차단하는 것이 직접접지 방식에 비해 쉽지 않다.

#### 4. 지중선로 보호협조 검토사례

##### 4.1 계통 구성

서울 중심지역의 6.6(kV) 배전전압을 22.9(kV)로 승압하면서 개폐부와 차단부를 한 외함 내에 내장하고 있는 다회로차단기와 지상형변압기 및 저압측 차단장치를 한 건물내에 집중하여 설치하는 신형 배전설비의 건설이 검토되고 있다. 이런 설비를 한 건물내에 갖춘 계통구성안(제1안)은 변전소 인출CB - 지중케이블 - 다회로차단기의 개폐부 - 다회로차단기의 차단부(VCB) - 지상형변압기 1차측 Power Fuse - 지상형변압기 - 변압기 2차측 저압 주차단기(ACB) - 저압분기용 차단기(MCCB) 순으로 구성되어 있다.

이러한 구성은 일반적인 계통구성(제2안) 형태인 인출CB - 지중케이블 - 다회로개폐기 - 지상형변압기 - 저압측 차단기(MCCB)로 구성되는 방식에 비해 복잡하지만 고장이 발생하는 경우 변전소의 CB가 트립되기 전에 고장이 발생한 구간만 선택해서 차단할 수 있는 효과가 있다.



<그림 3> 배전용 개폐장치가 집중설치된 센터 구성도

##### 4.2 보호협조 검토결과

###### 4.2.1 다회로차단기를 사용하는 구성

다회로차단기를 사용하는 계통구성 방식 제1안에 대해서 고장전류를 계산하고 각 기기별 T-C곡선을 이용하여 검토한 보호협조 검토결과는 다음과 같다.

① 일반적인 계전기 정정기준에 따르면 변전소의 인출

CB의 과전류계전기를 정정할 때 순시와 한시를 모두 정정하고 있으며, 재폐로가 되고 난 후의 CB 트립은 순시 트립은 억제되고 한시트립만 가능하도록 하고 있다.

② 변전소에서 500[m] 떨어진 곳에 위치한 배전센터는 지중케이블을 통해 전력이 공급되고 거리가 매우 가깝기 때문에 고장전류의 크기가 매우 클 뿐만 아니라, 변전소 모선 고장시의 고장전류와 배전센터의 특고압측 고장전류의 차이가 크지 않아 순시보호협조가 불가능하다. 따라서 배전센터의 다회로차단기와 변전소의 CB가 동시에 고장을 감지하여 트립되게 되므로 해당선로 전 구간에 정전이 발생할 수 있다.

<표 3> 배전센터 22.9kV 모선 고장발생시 보호협조

구분	3상단락 고장전류[A]	1선지락고장전류[A]		
		완전지락	30[Ω]지락	
변전소 22.9kV 모선	8,057[A]	6,840[A]	573[A]	
다회로차단기 설치점	7,703[A]	6,612[A]	438[A]	
차단기 트립전류 (CT비 : 600/5)	순시 (OCR 30, OCGR 10)	3,600[A]	1,200[A]	1,200[A]
	한시 (OCR 4, OCGR 0.8)	480[A]	96[A]	96[A]
트립시간 (cycle)	계전기(순시)	6	6	부동작
	계전기(한시) (Lever 3.5)	28	26	72
	다회로차단기	10	10	10
	Power Fuse	1	1	2

③ 순시협조는 불가능하지만 계전기가 한시로 동작하는 경우에는 다회로차단기의 한시동작 시간과 충분한 협조가 이루어질 수 있다.

④ Power Fuse는 몰드변압기 1차측에 설치되어 변압기 고장을 감지하여 차단하며, 다회로차단기의 차단부 VCB는 이러한 몰드변압기 2대를 보호범위에 두고 있다. 이러한 경우 큰 고장전류에서는 PF가 먼저 동작하고 수 백(A) 정도의 고장전류에서는 PF와 VCB가 동시에 동작하는 등 부하측부터 순차적으로 고장을 차단하는 보호협조 원칙이 성립되지 않는다. 그러나 지상형 변압기의 유지보수 시에 1, 2차측 분리용으로 사용하기에 적합한 구성방식이다.

⑤ 다회로차단기의 설치 위치의 22.9kV 고압선에서 고장발생시 보호해야 하는 지락저항 30[Ω] 까지의 모든 고장(고장전류 438[A]이상)에 대해서 Power Fuse는 1~2 cycle 이내에 동작하는 반면에 VCB는 10 cycle 정도의 동작시간이 소요되고, 변전소의 디지털계전기 순시접점은 2 cycle 정도면 접점이 벌어 개방 명령이 나가게 되므로 일반적인 경우 PF와 변전소 계전기(순시)는 거의 동시에 동작하거나 PF가 먼저 동작하여 고장을 차단한다.

###### 4.2.2 다회로개폐기를 사용하는 구성

다회로개폐기를 사용하는 제2안 구성방식에 대한 보호협조 검토결과는 다음과 같다.

① 기존에 사용중인 일반적인 지중 배전계통 구성방식이며, 보호협조상 특별한 문제점은 없으나 특고압 계통의 어떤 구간에서 고장이 발생하더라도 D/L 전체가 정전이 될 수밖에 없다.

② 변전소 계전기의 순시동작을 배제할 수 없거나 지중선로에 대한 재폐로 허용이 되지 않을 경우에는 이렇게 특고압측 계통 구성방식을 채용하는 것이 오히려 정

제적이다.

③ 제1안에 비해 지상형 변압기 2차측에 ACB를 두지 않고 MCCB만 사용하는 방안은 큰 고장전류가 흐를 때 ACB와 MCCB 동작시간 차가 3 cycle 정도에 불과하기 때문에 보호협조를 기대할 수 없어서 채택된 방법으로 보여지지만, 지상형 변압기의 불량으로 인한 교체시 1차측의 PF와 2차측의 ACB를 개방하더라도 타이점의 ACB를 투입하여 저압수용가에게는 정전없이 전력을 공급할 수 있는 구성방식이 되기 때문에 보호협조 측면보다 유지보수 측면에서 고려되어야 할 구성방식이다.

④ ACB 없이 MCCB만 사용하면 수용가 구내 고장과 같은 저전류 고장 파급시 저압측 전체 정전이 발생하지 않고 오히려 분기선(MCCB 동작)만 차단되는 효과를 기대할 수 있다.

이상의 두 방식에 대한 비교 결과를 <표 4>에 정리하였다.

<표 4> 계통구성 방식별 보호협조 검토결과

구분	제1안	제2안	비고
특고압 3상단락 및 2상단락 고장	D/L 전체정전 또는 PF만 동작하여 고장구간만 정전	D/L 전체정전	변전소 OCR 순시동작
특고압 지락저항이 작은 지락고장	D/L 전체정전 또는 PF만 동작하여 고장구간만 정전	D/L 전체정전	변 전 소 OCGR 순시동작
특고압측 지락저항이 큰 지락고장	고장발생 해당 구간만 정전	D/L 전체정전	OCR, OCGR 한시동작
저압측 고장	저압측 전체 정전	저압측 해당 분기선만 정전	
장점	· 큰 고장전류에서 계전기 순시보다 PF가 먼저 동작 · 고장전류가 크지 않은 경우 원만한 한시 협조	기존의 일반적인 보호방식으로 투자비 감소	
단점	· 2안에 비해 경제성 불리 · 일부 고장시에 PF와 CB(순시) 동시 동작 가능	모든 특고압 계통 사고시 선로 전체 정전발생	

### 4.3 지중선로의 보호방식 개선을 위한 검토

지중배전선로의 보호협조를 원만하게 이루기 위해서는 기존의 계전기 정정기준이 일부 바뀔 필요가 있다. 배전선로의 70% 이상이 지중선로인 배전선로의 CB는 지중선로에서 발생하는 고장은 대부분 영구고장이기 때문에 재폐로를 허용하지 않는다. 그러나 고장을 신속하게 차단하는 PF나 다회로차단기 등이 설치되어 있는 선로에서는 재폐로를 허용하여도 변전설비에 미치는 영향이 크지 않다. 또, 변전소의 CB 트립용 계전기(순시)와 다회로차단기의 VCB나 PF가 동시에 동작하는 보호협조가 이루어지지 않는 경우를 방지하기 위해서 순시트립을 제거하고 한시 트립 동작만 허용하는 것도 좋은 방법이다.

재폐로 횟수가 변압기나 차단기 등 변전설비에 영향을 미치는 충격비에 대해 검토한 결과가 <표 5>에 나타나 있는데, 재폐로 1회를 허용하는 경우 약 9%의 충격이 추가되지만, 2회의 재폐로를 허용할 때는 충격비가 훨씬 더 커진다.

<표 5> 재폐로 횟수와 변전설비 충격비 비교

재폐로 횟수	충격비(평균)	
	변압기	차단기
0회	1.0	1.0
1회	1.09	1.09
2회	1.39	1.59

검토 대상물인 배전센터에서 고장발생시의 고장전류 최대값은 7,700(A) 정도이며, 이 값은 국내 대도시권 배전선로의 일반적인 고장전류 크기이다. 같은 크기의 고장전류가 흐르는 가공배전선로는 일정시간 후에 고장이 자동으로 복구되는 순간고장이 많은 관계로 재폐로 2회를 허용하고 있고, 첫 번째 트립시에는 순시트립이 가능하지만 두 번째 트립시에는 순시트립은 억제되고 한시 트립만 가능하도록 제어회로가 구성되어 있다. 따라서 지중선로에 재폐로 1회를 허용하는 것은 고장전류가 변전설비에 미치는 충격면에서는 가공선로와 동일한 조건이라고 봐도 무방하다.

제2안과 같이 다회로개폐기를 이용하는 기존 계통구성 방식의 경우 저압수용가 입장에서는 지중선로에서 영구 고장 발생시 언제나 변전소의 CB가 트립되어서 모든 선로의 공급구역에 정전이 발생하게 되지만, 제1안과 같이 계통을 구성하면 일정수준까지는 보호협조가 이루어지므로 정전시간과 정전회수가 줄어드는 효과를 기대할 수 있다. 특히 지중선로에서 고장이 발생하였을 때 CB가 트립되면 영구고장 여부를 확인하기 위해서 일정시간 후 다시 한번 CB를 투입하는 관계로 볼 때 순시를 제거하고 한시로만 동작하도록 함으로서 다회로차단기의 부하측 고장시 해당되는 다회로차단기만 동작하고 변전소 CB는 동작하지 않도록 하는 방안이 변전설비 측면이나 수용가 봉사 측면에서 더 효과가 큰 방식으로 판단된다. 현행의 재폐로 시간은 트립 후에 1회 재폐로가 0.5초, 두 번째 재폐로 시간은 15초 후에 이루어지는데, 재폐로 시간 간격을 늘리면 재폐로 성공률이 높아진다는 연구결과를 반영해서 1회 재폐로 시간을 지금보다 늦은 2초 정도로 하는 것이 바람직하다.

### 5. 지중 배전선로 보호협조 개선방안

다회로차단기를 효과적으로 이용하기 위해서는 변전소에서 적용하고 있는 계전기 정정기준에 대한 일부 변경이 필요하다.

다회로차단기를 사용하는 지중선로에 한해 과전류계전기(OCR, OCGR)의 순시트립을 제거하면 어떠한 고장이 발생해도 보호협조가 원만하게 이루어진다. 그러나 지중선로의 고장전류 크기가 크다는 이유로 순시제거가 안될 경우에는 CB의 재폐로(79) 1회를 허용하는 방법이 유효하다. 이렇게 재폐로 1회를 허용할 경우 배전선로에서 고장이 발생하면 다회로차단기 또는 PF와 변전소 CB가 동시에 트립되어 선로 전체 정전이 발생하지만 다회로차단기나 PF는 한 번 트립으로 Lockout되는 데 반해 변전소 CB는 재폐로를 하여 건전구간에는 신속하게 자동으로 전력을 공급할 수 있는 효과가 있다. 이러한 배전계통의 운전은 신속하고 원활하게 수행하기 위해서 배전선로의 현장설비와 배전자동화 시스템이 연결되어 운전되는 것이 효과적이다.

그러나 이상의 조건이 수용되지 않는다 할지라도 CB의 순시트립보다 PF가 먼저 동작해서 고장구간을 축소하는 순시트립 협조나, 원만하게 보호협조가 이루어지는 한시트립시의 보호협조 효과를 기대하면서 다회로차단기

를 사용할 수 있다.

## 6. 결 론

지중배전계통의 보호협조는 이제까지 대안이 없었던 관계로 검토되지 않았었다. 그러나 국내 중전기업체의 기술발전 노력으로 다회로차단기나 전력퓨즈(Power Fuse)의 국산화가 성공적으로 이루어짐으로서 일정 범위내에서 정전시간이나 정전구간을 대폭 줄일 수 있는 방안이 검토되었다. 거기다가 최근에는 지중 개폐장치에 대해서도 원격감시제어가 가능한 배전자동화가 적극 추진되고 있기 때문에 운용효과를 더욱 높일 수 있게 되었다. 또, 국내 제작업체의 기술력 향상으로 정밀도가 높은 제품이 개발되었을 뿐만 아니라 단락시험설비와 같은 우수한 시험장비를 갖추고 있기 때문에 확대 사용전에 성능시험을 시행하여 보호협조 가능성을 정확하게 판정할 수 있을 것이다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 하복남, "신 배전자동화 시스템 개발연구 1차년도 중간보고서", 전력연구원, TM.97EJ07.J2000.505, 2000
- [2] 김일동, 한경남, "송배전선로 재배로방식의 최적화 연구 최종 보고서", 전력연구원, TR.95YJ18.J1998.12, 1998