

다회로차단기를 활용한 지중배전선로 보호협조 운영방안

이상호
한국전력 중앙교육원

Operation method for protective coordination of Underground Distribution Line using Pad-Mounted Switchgear

Sang ho Lee
KEPCO Central Education Institute

Abstract - 우리나라의 배전선로는 가공선로 위주로 성장하여 약40여 년전부터 지중배전선로를 보급하기 시작하여 현재는 전체선로의 12.1%를 지중화하기에 이르렀다. 지중설비의 증가는 배전선로 안정화에 상당한 기여를 하였으며 일시 및 순간고장도 과거에 비해 엄청나게 줄어들게 되었으며, 이로 인하여 고장에 있어서 세계적인 수준의 전기품질을 자랑할수 있게 되었다..

하지만, 지중배전선로는 일반적으로 고장전류가 매우크고, 일단 고장이 발생하면 복구에 장시간이 소요될 뿐 아니라 고장원인을 찾는데도 상당한 어려움이 있으며, 최근에는 지상기기(변압기, 개폐기)등이 노후화되면서 안전사고로 까지 확대되고 있는 상황이다. 때문에 지중배전선로에 적용할수 있는 다회로차단기를 개발하여 고장예방 및 고장구간 축소에 사용하고 있지만, 아직까지 보호협조 측면으로 잘 활용되고 있지 않고 있다. 따라서 본 논문에서는 현행 한전의 지중배전선로 보호기기운영 상황을 분석하고 지중 배전선로에 운전되고 있는 다회로차단기의 적합한 운영방법을 제시하여 지중배전선로 보호협조 방안을 강구하여 보고자 한다.

1. 서 론

지중배전선로는 전선의 선종이 Cu를 사용한 CNCV-W 케이블을 사용하고 있어 일반적으로 가공선로(ACSR-OC, AI)보다 이물질이 작다. 따라서 고장발생시의 고장전류가 매우크다. 또한 지중선로의 특성상 순간고장이 드물고 동시중성선을 적용하는 관계로 일단 고장이 발생하게 되면 단 · 지락이 동시에 발생하게 될 확률이 높고, 지락고장도 거의 완전접지가 형성되게 된다. 때문에 현재까지 지중선로는 보호협조가 어렵고, 선로 중간에 다른 보호기기를 설치하게 되더라도 거의 협조를 이루기가 어렵다고 판단하여 지중선로에서는 변전소 CB를 제외한 다른 기기를 설치하지 않았다. 특히 99년부터 다회로 차단기가 개발되어 운영중에 있지만, 지중선로고장시 고장전류의 크기가 큰 경우 변전소의 순시요소와 협조가 이루어지지 않아 CB와 동시에 동작하게 되어 보호협조에 어려움을 겪고 있다.

2. 본 론

2.1 한국전력의 지중배전선로 운영현황

2.1 지중배전선로 현황

현재 한전에서 운영하고 있는 배전선로의 현황을 살펴보면, 07년 3월 현재 <표1> 과 같이 운전되고 있으며,

<표1> 전국 배전선로 현황

구분	가공선로	지중선로	합계
회선수	6,532	1,028	7,560
점유율(%)	86.4	13.6	100

또한 배전선로의 지중화율을 <표2> 와 같이 증가되고 있는 실정이다.

<표2> 년도별 배전선로 지중화율

년도	'80	'85	'90	'95	'00	'05	'06
비율(%)	0.5	1.5	4.1	7.3	8.7	11.7	12.1

※지중화율 = 지중선로 / 전체선로

또한 지역별 지중배전선로의 설치 현황을 살펴보면 <표3> 과 같으며, 주로 대도시에 집중적으로 지중선로 설치되었으며, 특히 서울에 전국의 30%이상이 설치되어 있다.

<표3> 대도시별 배전선로 지중화율

년도	서울	인천	대전	대구	광주	부산	울산
비율(%)	50.2	29.5	20.8	27.0	24.0	43.5	17.4

<표4> 에서도 알수 있듯이 현재 다회로 차단기의 설치는 시작단계에 있으며, 지중선로의 제페도가 선로의 지중비율에 따라 제페도를 하지 않

거나, 1회만 허용하고 있어 다회로차단기에서는 제페도를 적용하지 않고 있다.

<표3> 지중배전선로의 다회로차단기 운전현황 (07년 4월현재)

구분	개폐기	다회로차단기
대 수	35,072	343

2.2 지중배전선로의 고장전류 분석

위에서 언급한 고장전류로 인한 보호협조의 문제점을 알아보기 위해 한국전력에서 운영하는 임의의 배전선로에 대하여 전력계통에 있어 일반적으로 사용되는 %임피던스 계산법을 이용하여 분석하였다. 실제 분석하고자하는 선로는 인출점에서 3상단락 고장전류의 크기가 약 7,000A되는 성남변전소 남성D/L을 예로 들었다. 실제 배전계통에서는 완전지중선로보다는 가공과 지중이 혼재되어 있는 선로가 대부분이지만 본 논문에서는 완전지중선로를 가정으로 고장전류를 분석해 보았다.

<표5> 변전소 임피던스

변전소	주 변 압 기		2차측 모선 임피던스	
	임피던스	용 량	정 상	영 상
성남S/S 남성D/L	14.97	45/60	0.29+j35.869	j51.658

<표6> 사용된 전선의 규격별 임피던스 (% Ω/Km)

전선규격	정상임피던스	영상임피던스	비고
CNCV 325	1.4325 + j2.3741	4.4678 + j1.5617	100MVA기준

<표7> 거리별 지중배전선로 고장전류 계산값

고장	거리	인출						
		지중 0.5km	지중 1km	지중 1.5km	지중 2km	지중 2.5km	지중 3km	
Is3	7,029	6,801	6,586	6,382	6,189	6,005	5,831	
Is2	6,087	5,890	5,703	5,527	5,359	5,201	5,050	
Ig0	6,129	5,973	5,820	5,671	5,526	5,385	5,249	
Ig30	439	438	437	436	435	435	434	
고장	거리	인출						
		지중 3.5km	지중 4km	지중 4.5km	지중 5km	지중 5.5km	지중 6km	지중 6.5km
Is3	5,666	5,509	5,360	5,218	5,083	4,954	4,831	
Is2	4,907	4,771	4,642	4,519	4,402	4,290	4,183	
Ig0	5,116	4,989	4,865	4,746	4,631	4,521	4,414	
Ig30	433	432	431	430	429	428	427	

2.3 지중배전선로 계전기 순시TAP 설정

만약 순시TAP을 OCR : 40A(4800A), OCGR : 30A(3600A), CT배수 600/5로 가정)으로 설정하게 된다면 <표7> 에서 보는 것과 같이 OCR은 6.5km, OCGR은 규장이 9.5km이후에 보호기기를 설치해야만 변전소 순시와 협조가 가능하다는 것을 알 수 있다. 하지만 변전소 순시TAP을 OCR : 50A(6000A), OCGR : 40A(4800A)으로 설정한다면 OCR은 2.5km, OCGR은 3.5km내에서 순시협조가 가능하리라고 예상이 된다. 물론 선로에서 발생한 고장의 내용에 따라 더욱 보호협조의 융통성은 높아질 것이다.

지중선로 보호협조에 있어 가장 큰 문제점은 대부분의 고장시 변전소의 순시계전기 동작한다는 것이다. 이는 고장전류가 큰 때문이기도 하지만, 현행 보호계전기 정정지침상 전위보호기기(Recloser등)의 설치유무에 따라 정정치가 상당한 영향을 받기 때문이다. <표8> 에서 볼 수 있듯이 현행 순시계전기 정정지침에는 전위보호기기가 있는 경우 아래와 같이 설정하게 되어 있으나, 다회로 차단기가 개발되기 전에는 지중선로에 다른 보호기기는 거의 없었기 때문에 대부분의 완전지중선로는 순시TAP이 최소TAP에 설정되어 있는 현실이다.

〈표8〉 보호계전기 정정지침

구분		보호계전기 정정지침
순시 Tap	OCR	전위 R/C(또는 OCR) 설치점의 3상 단락전류× 1.5 이상 ※단 R/C(또는 OCR)가 없는 경우에는 회선당운전전류×6 이상
	OCGR	전위 R/C(또는 OCGR) 설치점의 1선 지락전류 × 1.4 이상 ※단 R/C(또는 OCGR)가 없는 경우에는 회선당운전전류 ×3 이상

〈표9〉는 현재 한국전력 광주전력관리처의 경우 전체 36개의 완전지중선로 중에서 약 90%가 최소탭(CT비 : 600/5)으로 설정되어 운영되고 있으며, 이들 선로는 OCR은 약 2,400A, OCGR은 약 1,200A의 전류에서 순시계전기가 동작하게 되는 것을 알수 있다. 특히 이중에는 CT비가 400/5인 경우도 일정부분 포함되어 있다.

〈표9〉 광주전력관리처 관내 완전지중선로 계전기 순시정정치 - 재폐로가 없는 선로

구분	보호계전기 순시TAP 정정치					·합계
	10이하	20이하	30이하	40이하	40초과	
OCR	0	32	1	3	0	36
OCGR	31	64	50	62	2	36

〈표10〉 광주전력관리처 관내 가공지중혼재선로 계전기 순시정정치 - 재폐로가 1회인 선로

구분	보호계전기 순시TAP 정정치					·합계
	15이하	20이하	30이하	40이하	40초과	
OCR	3	55	1	0	3	62
OCGR	58	0	0	4	0	62

이는 가공,지중이 혼재되어 있는 재폐로 1회 선로에도 예외없이 적용되어 전체 62개선로중에서 90%이상의 선로가 최소탭으로 정정되어 운영되고 있다. 선로특성이 단공장, 고객선로등의 특수한 여건을 감안하더라도 상당수의 선로가 현재 보호기기가 없거나, 계전기 정정이 정상적으로 설정되지 않은 상태에서 운영되고 있다고 볼 수 있다.

따라서, 이와같은 선로중에서 전위보호기기(다회로 차단기)가 부설되어 있는 선로는 변전소 순시TAP을 보호계전기 정정치침에 준하여 재정정하고, 장기적으로는 다회로차단기의 보급을 늘려서 아주 큰 순시고장을 제외하면 지중선로에도 보호협조가 가능하도록 운영하여야 한다.

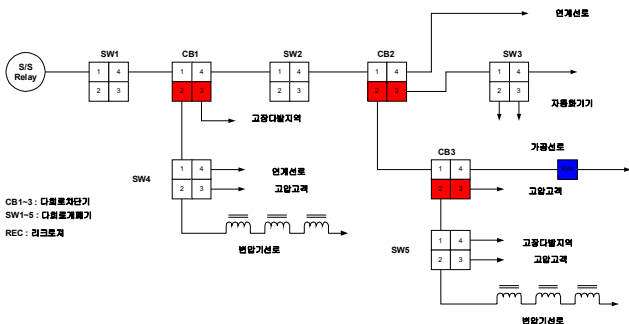
2.4 다회로 차단기의 정정방안

현재 우리회사에서는 다음과 같은 기준으로 다회로 차단기를 운영하고 있다.

- 다회로차단기 설치기준 ('05.1제정)
 - 100% 지중선로 : 선로공장이 7km 이상인 구간
 - 가공과 지중의 혼재선로 : 부하를 기준으로 3분할점 부설
 - 기타 과급고장이 빈번한 분기선로

하지만 다회로차단기의 효율적인 협조를 위해서는 위 기준을 아래와 같이 보완조치 하여야 할 것으로 보인다.

우선 변전소의 순시TAP의 재정정이 선행되어야 한다. 앞서도 언급했지만, 완전지중선로의 경우에도 순시TAP을 효과적으로 설정한다면 약 3.5km내에서 순시계전기와 협조를 이룰수 있으며, 이는 현실적으로 지중선로의 공장이 7km가 되지 않은 선로가 더욱 많은 상황에서 꼭 고려되어야 할 사항이다. 물론 완전한 순시협조가 되지는 않지만, 선간단락이나 지락고장에서는 상당한 협조를 이룰수 있을 것으로 보인다. 둘째로

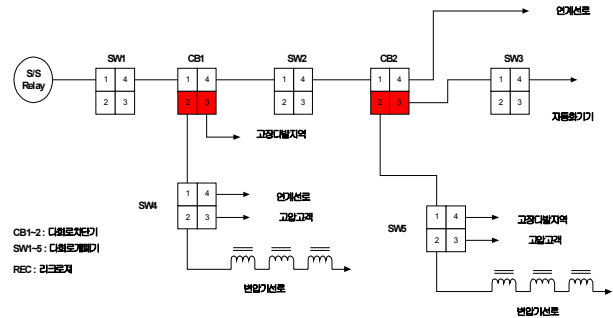


〈그림 1〉 가공지중 혼용선로 다회로차단기 운영방안

지중가공 혼용선로의 경우 위 그림과 같이 개폐기와 차단기가 배치 되었다면 지중구간 다회로 차단기 보호구간에서 사고 시 변전소 순시동작치 이상의 고장에 대해서는 동시 동작되었다가 변전소 차단기 재폐로에 의하여 건전구간 복구되며 부하측의 가공구간 고장시에는 다회로차단기와 리크로저의 보호협조에 의하여 보호 될 수 있다. 참고로 다회로차단

기의 정정은 변전소의 계전기와 같은 방식으로 순시, 한시가 설정 가능하며 추가적으로 Recloser와의 협조를 위하여 Recloser가 내장하고 있는 모든 커브를 내장하고 있다. 따라서 적합한 커브를 사용하면 협조가 가능하며, 각 기기 별 정정치를 아래와 같이 제시 하였다.

- CB1/3(2,3번 회로) 정정:
 - 순시 : 변전소 릴레이 순시 Tap이하
 - 한시 : 전위측 보호기기와 협조 가능한 커브, 재폐로 : 0회
- CB2 정정
 - 2번회로정정
 - 순시 : 설치점 최대고장전류를 감안하여 순시치 정정 혹은 기능정지(전위에 있는 CB3과 동시동작을 막고 가공선로 리크로저 재폐로시 보호협조)
 - 한시 : 전위측 보호기기와 협조 가능한 커브, 재폐로 : 0회
 - 3번회로정정
 - 순시 : 후비기기 릴레이 순시 Tap이하
 - 한시 : 전위측 보호기기와 협조 가능한 커브, 재폐로 : 0회
- 리크로저 정정:
 - 순시 · 한시 : 후비보호기기와 협조가능한 커브로 정정, 재폐로 : 1 ~ 3회



〈그림 1〉 완전지중선로 다회로차단기 운영방안

완전지중 선로의 경우 위 그림과 같이 분기나 고압수용에 병렬형태로 선로를 구성하여 각 다회로차단기와 변전소 계전기간의 협조를 고려하여 사용하여야 한다. 하지만 순시에 있어 완전협조가 어려워 높은 고장전류 발생시 동시에 순시 동작할 확률이 있다. 이와 같은 문제점을 보완하는 방법으로 몇가지 대안을 제시한다면 첫째 변전소계전기의 순시동작시간을 약 3cycle정도 지연동작 시키는 방법이 있다. 변전소 릴레이의 순시 동작 시 실제 MTR에 영향을 주는 시간은 총 동작시간(47cycle) = 순시응답시간(약 2cycle 이하) + CB 차단시간(25cycle)이며 만약 여기에 시간지연 3cycle을 추가하여도 7~10cycle을 초과하지 않는다. 즉 MTR상태 및 CB의 절연내력 회복의 문제만 해결된다면 효과적인 방법으로 사용 될 수도있다. 둘째 다회로차단기를 설치한 완전지중선로에 재폐로(1회)를 허용하는 방안이다. 이 방안은 순시고장으로 CB와 다회로차단기가 동시 동작하게 될 때, 차단기 설치점 이후 고장의 경우에는 다회로 차단기에 의해 고장을 제거하고, CB가 동시동작 하더라도 재폐로에 성공할수 있게되고, 설치점 이전고장의 경우에는 CB가 순시로 1회 재폐로 하게 되는 방안이다. 이는 추가적인 1회 재폐로에 의한 문제점을 안고있지만, 똑같은 상황에서 가공, 지중혼재선로도 순시2회재폐로를 허용하고 있으며, 대부분의 완전지중선로의 경우에도 고장구간색출을 위한 CB의 강송이 이어진다는 점을 감안할 때 현실적인 대안으로 선택할수 있는 방안이라고 생각된다.

3. 결 론

지금까지의 내용으로 미루어 불매 가장 근본적인 문제는, 지중선로에 있어서도 일부의 제한적인 요소가 있지만, 보호협조가 가능하다는 점과 특히 변전소의 순시TAP 정정을 지침에 의거 정상적으로 운영하게 되면 상당부분 효과적인 협조가 가능하리라고 본다. 또한 다회로차단기를 정상적인 위치(가급적 3.5KM이후)에 설치하고, 지중가공이 혼재되어 있는 경우 설치점의 고장전류를 면밀히 검토하여 정정한다면 더욱 효과가 있으리라 생각된다. 아울러 현행 규정상 어려움이 있지만 완전지중선로에 재폐로를 1회정도 허용 할수 있게 된다면 다회로차단기의 설치효과가 배가 될 수 있을것으로 보인다. 향후 순시재폐로가 Mtr과 CB 차단기에 미치는 영향을 분석하여 지중배전선로 보호협조에 적용할수 있도록 하여야겠다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국전력공사 전력연구원, “신 배전자동화시스템 개발 연구 [1차년도 중간보고서]”, P132, 19998. 9월
 [2] 한전배전처 “배전보호기술서”, P147, 1995