

지중배전선로의 고장전류 크기 및 보호협조분석

조남훈, 하복남, 이중호
전력연구원

Analyzing fault current and Protective coordination in the underground line

Namhun Cho, Boknam Ha, Jungho Lee

Abstract - Electric power distribution feeders are susceptible to faults caused by a variety of situations such as adverse weather conditions, tree contacts, equipment failure, accidents, etc. Distribution circuit faults result in a number of problems related to the reliability of service and customer power quality. In the past, the permanent interruption of customer service resulting from a blown fuse or a recloser lockout was the only factor which was used to determine service reliability. So we developed KODAS(Korea Distribution Automation System) with successful and had field-testing of Distribution Automation System in last three years at Kang-dong Branch Office. In performing the project, KEPRI has gained valuable experience, through dealing with many difficult problem. This paper is depicted about the circuit breaker coordination problems in the Underground for the Distribution Automation Feeder.

다고 할 수 있다. 다음 <표 2>에 동일한 점유율을 통한 고장건수분포를 분석한 결과 가공선로를 기준으로 거의 30%에 해당하는 고장이 지중선로에서도 발생되고 있어 지중선로에서도 고장발생율이 적지 않다는 것을 보여준다.

<표 2> 지중선로 고장건수 분석

구분/년도	1994	1995	1996	평균		
가공선로	공장(C-Km)	122,687	130,186	139,517	92.6%	
	점유율	93.2%	92.6%	92.1%		
	고장건수	97.4%	97.7%	98%		97.7%
	단위공장[1PU]당 고장발생율	105.5%				
지중선로	공장(C-Km)	8,900	10,283	11,938	7.4%	
	점유율	6.8%	7.4%	7.9%		
	고장건수	2.6%	2.3%	2.0%		2.3%
	단위공장[1PU]당 고장발생율	31.08%				
전체	공장(C-Km)	131,587	140,469	151,455	1	

1. 서론

배전자동화시스템 운영을 고려하고 있는 대도시 및 중소도시 배전선로의 많은 부분이 지중화되어있고 향후 장기적으로 지중화를 계획중에 있다. 배전자동화시스템이 전국적으로 확대될 시기에는 대도시 및 중소도시 배전선로의 상당 부분이 지중화될 것으로 예상되어, 향후 지중 배전선로에 자동화시스템 구축시 자동화개폐기만 설치하여야 할 것인지, 가공선로처럼 지중선로 중간에 차단기를 운영하여 고장구간을 축소할 것인지에 대하여 가장 합리적인 방안을 제시하기 위하여 지중선로에서의 고장전류 및 사고유형을 분석하고, 보호협조를 검토하여 지중배전자동화선로에서의 차단기 운영방안을 검토하고자 한다.

2. 향후 지중화계획 및 사고현황

현재 전국의 지중화 비율은 전체선로의 약 7.9%로써 케이블 공장은 12,403(C-Km) 차지하고 있다. 향후 지중화 계획은 다음 <표 1>과 같으며, 대도시인 서울지역은 향후 10년 이내 전체 선로의 절반 이상을 지중화할 계획이다.

<표 1> 지역별 지중화 계획 (단위 %)

년도	전국	서울	경기	인천	강원	충북	충남
'96	7.9	43.8	13.4	20.6	3.1	1.9	6.6
'00	10.4	51.1	17.1	30.3	4.0	3.3	9.2
'06	13.0	61.9	17.6	42.2	3.8	8.8	14.3

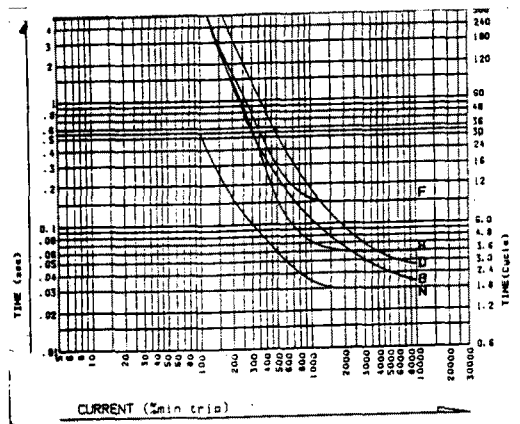
배전선로의 지중화가 확대됨에 따라 지중선로에서의 면밀한 고장분석을 통한 보호협조 검토가 반드시 필요하다.

3. 지중배전선로용 차단기

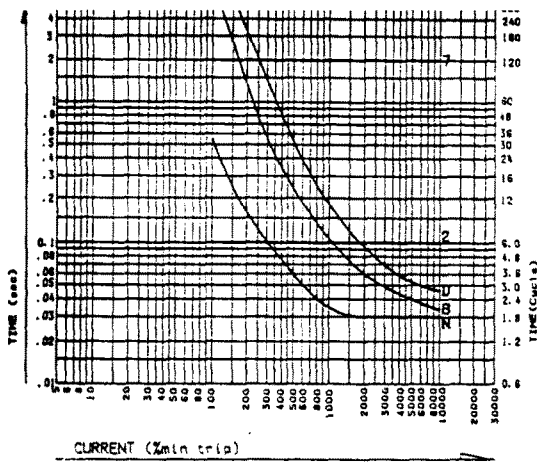
지중배전선로 간선 및 분기선에 설치되어 과부하 및 고장전류를 차단하기 위하여 고장차단기가 다음과 같이 개발되어 있다.

3.1 지중선로 고장차단기

1회로용 지중선로 고장차단기는 이미 개발되어 실선로에서 운영되고 있다. Phase 및 Ground TC 곡선은 선택하기 편리하도록 제어판넬부의 차단곡선정정 스위치를 통하여 정정할 수 있으며, 다음과 같다.



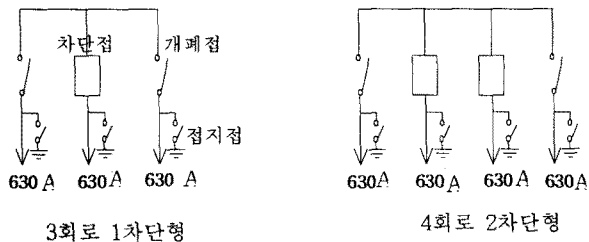
<그림 1> 지중선로 고장차단기 TC 커브(Phase)



〈그림 2〉 지중선로 고장차단기 TC 커브(Ground)

3.2 다회로차단기

중소기업협력과제로 이미 개발되어 고장실증시험장에 시범 운영을 계획하고 있다. 22.9kV-Y 지중배전선로에서 접지스위치부 SF6 가스절연 배전자동화용 부하개폐기와 고장구간을 자동분리하는 차단기가 한 몸체에 내장된 지중배전선로용 다회로 차단기는 다음과 같다.



〈그림 3〉 다회로 차단기의 회로구성

4. 지중배전선로의 고장전류 크기 및 협조검토

변전소 CB Ry의 순시정정치 이상 전류가 흐르는 사고가 발생하였을 경우 기존 개발된 지중배전고장차단기는 차단시간차가 10Cycles 이상이 되지 않으므로, 보호협조가 불가능하다. 따라서 한전의 배전선로 보호협조 기준에 의거 고장점이 보호장치의 설치점에서 부하측일 때 전위보호장치가 후비보호장치의 동작전에 먼저 동작하여 고장구간을 구분할 수 있는지 보호기기 정정에 대한 분석이 필요하다.

4.1 한전 배전선로 보호협조 기준

배전선로 보호협조의 기본 원칙은 선로에서 고장이 발생하였을 경우, 고장점이 보호장치의 설치점에서 부하측일 때 전위보호장치는 후비보호장치의 동작전에 먼저 동작하여 고장구간을 구분할 수 있도록 보호기기가 정정되어야 하고, 이때 계통의 정전 구간은 최소로 제한 되도록 운영하여야 한다. 한전의 배전선로 보호계전기 정정 지침을 간단히 요약하면 다음 <표 3>과 같다.

4.2 지중배전선로의 고장전류 크기 분석

지중배전선로에서의 고장전류의 크기는 변전소모선임피던스, 지중선로에 사용된 케이블의 임피던스 및 사고 발생위치까지의 따른 공장에 따라서 결정된다.

변전소 모선임피던스의 크기는 각 변전소마다 다르고, 같은 변전소에서도 각 बैं크마다 상이하다. 임의의 지중

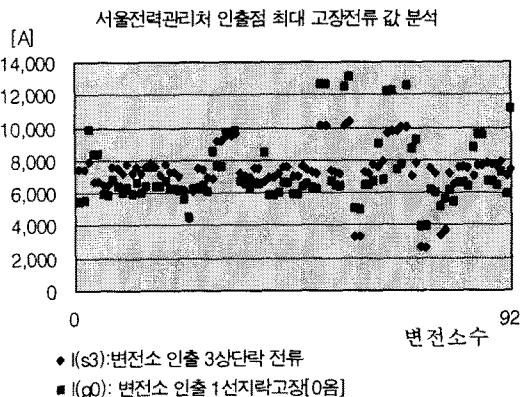
배전선로에서의 최대고장전류 값을 분석하기 위하여 대도시의 예로써 서울전력관리처를 중소도시의 예로써 수원전력관리처 관내 전체변전소의 전 बैं크를 대상으로 모선임피던스의 의한 인출점 최대고장전류의 크기를 분석해 본 결과 다음 <그림 4>와 같이 6,000A-8,000A 사이에 분포되어 있음을 확인할 수 있다.

〈표 3〉 한전의 배전선로 보호협조 기준

구분	동작치정정		동작시간
	OCR	한시	
	순시	전위보호장치(유) 1.5 × I _{3max} 이상	순시
OCGR	한시	0.3 × 최대부하전류이하	0.5초 이내
	순시	전위보호장치(유) 1.4 × I _{1max} 이상	순시

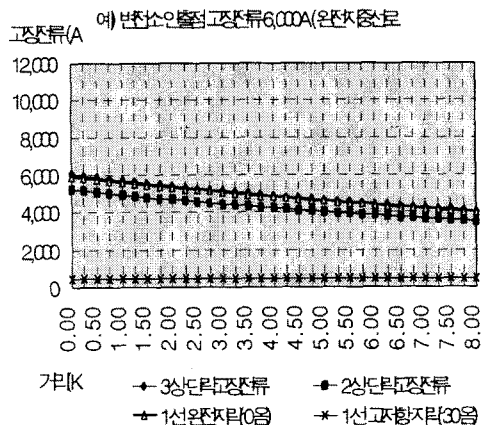
I_{3max} : 전위보호기기 설치점의 최대 3상 단락전류

I_{1max} : 전위보호기기 설치점의 최대 1선 지락전류



〈그림 4〉 변전소 인출점 최대고장전류 크기

인출점 최대 고장전류값을 기준으로 지중선로에서 거리에 따른 고장전류 크기를 분석한 결과를 다음 <그림 5>에 보여주었다. 일반적으로 지중배전선로는 CNCV 325^{mm}로 포설되어 있으며, 선로의 공장도 대부분 대도시 지역이므로 8Km 이내로 이루어져 있는 것으로 가정하였다.



〈그림 5〉 지중선로에서 거리에 따른 고장전류 크기

분석 결과 지중선로에서의 사고 발생시 선로 임피던스가 매우 낮아 공장이 길어도 전류의 크기가 크게 줄어들지 않아 고장전류의 150%가 감소되는 순시협조 위치를 찾기가 현실적으로 불가능 함을 알 수 있다.

〈표 4〉는 CNCV 325 선종 임피던스에 의한 순시 보호협조 기본거리를 보였다. 인출점에서부터 150%정도의 전류차이가 나는 공장은 OCR 7km, OCGR 5Km임을 알 수 있다. 실제 선로의 길이가 8Km 이내임을 감안 할 때 보호기기를 설치한 효과가 없으며, 또한 이 수치는 변전소에서 순시정정을 인출점 최대고장전류 크기로 정정하였을 경우를 감안하였기 때문에, 실제 현장에서 운영되고 있는 낮은 순시협조를 고려한다면 더욱 지중선로에서의 보호협조가 불가능하다.

〈표 4〉 지중선로 순시 보호협조 최소 가능거리

선종		CNCV 325	비고
Relay	150%	7.0Km	7,085/1.5=4,723A
	140%	3.75Km	7,085/1.4=5,060A
OCR	140%	5.0Km	8,546/1.4=6,104A
	130%	3.50Km	8,546/1.3=6,573A

4.3 지중선로의 순시 및 한시 보호협조 검토

고장전류 6,000A인 지중배전선로에서 순시협조 검토 결과를 다음 〈표 5〉에 보였다. 변전소 CT비 600/5 순시협을 60에 정정하였을 때 OCGR의 협조가 8Km 내에서는 없어서 변전소 계전기 와 다회로 차단기의 순시협조 현실적으로 불가능한 것으로 나타났다.

〈표 5〉 지중배전선로 순시협조 검토결과

OCR	C.T 비	400/5	600/5
	순시협	80	60
	순시값 정정치	6,400A	7,200A
	순시값 정정치/1.5	4,267A	4,800A
	× 1.5	고장전류 협조거리	4,242A 7.0Km
OCGR	C.T 비	400/5	600/5
	순시협	40	40
	순시값 정정치	4,800A	4,800A
	순시값 정정치/1.4	3,429A	3,429A
	× 1.4	고장전류 협조거리	8Km내 없음

한시협조는 〈그림 1〉, 〈그림 2〉의 TC곡선에 의해 검토한 결과 24cycles 이상의 충분한 시간차를 가지고 보호협조가 가능하다는 것을 〈표 6〉에 보였다.

4.4 지중선로에서 차단기를 이용할수 있는 방안

지중선로에서 협조를 검토해 본 결과, 지중선로에서 차단기를 이용할 수 있는 방안으로서 순시는 포기하고 한시만으로 협조시키는 방법과 지중선로에서도 재폐로를 허용하여 다회로 차단기는 재폐로 1회 Lockout되고 변전소 CB는 투입하여 건전구간을 정상적으로 공급하여 고장구간을 축소할 수 있는 방법이 가능하다.

5. 결론

지중선로에 차단기 운용여부를 분석하기 위하여 보호협조를 검토한 결과, 선로 임피던스가 매우 작아 사고발생시 고장전류가 크기 때문에 지중선로용 차단기를 완전히 협조를 고려하여 운영하기가 어렵다는 것을 보였다.

그러나 순시협조를 고려하지 않는다면 충분히 차단기를 선로에 운영 가능하므로 향후 정전구간 및 정전시간

의 축소등을 면밀히 분석하여 경제성을 검토한 후 실제 통에서의 실증시험을 거쳐 지중선로에서의 차단기 운영안이 제시되어야 할 것이다.

〈표 6〉 지중배전선로 한시협조 검토결과

S/S R/Y-차단기 한시협조검토	인출점	2Km	4Km
최대고장전류	6,040	5,403	4,876
보호구간의 최소고장전류	439	435	431
3상 단락전류	6,040	5,403	4,876
2상 단락전류	5,231	4,679	4,223
1선 지락전류(0.0 적용)	5,915	5,343	4,835
1선 지락전류(30.0 적용)	439	435	431
최대부하전류	252	202	50
OCR PU 배수(%) 600/5, Tap 4, Lever 3.8 (4*600/5 = 480A)	1,250%	1,125%	1,015%
OCGR PU 배수(%) 600/5, Tap 0.6, Lever 4 (0.6*600/5 = 72A)	0.0 적용	8,215%	7,420%
	30.0 적용	611%	605%
상(Phase) 최소동작전류(Resistor정격) =설치점부하전류*2.8이상 (100,140,200,280,340,400,560, By pass)		202*2.8 =560A (1,541%)	50*2.8 =140A (5,251%)
Ground 최소동작전류 (Resistor정격) =보호구간최소고장전류 * 0.5이하 (25,50,70,100,140,170,200,280,Block)		425*0.5 =200A (4,388%)	425*0.5 =200A (3,712%)
OCR 동작시간 (cycles)		32	33
차단기 상전류차단시간 (cycles)		5.6	5.6
협조시간차 (cycles)		26.4	27.4
OCGR 동작시간(0.0 적용, cycles)		30	30
차단기 Ground전류차단시간 (cycles)		5.6	5.6
협조시간차 (cycles)		24.4	24.4

참고 문헌

- (1) 하복남, 장정태, 박상만, 조남훈, 김명수, "국산 배전자동화 시스템 설계용 실증연구", 최종보고서, pp218-222, 1997. 6
- (2) 한국전력공사 배전처, "배전실무교육교재", 1997.02. pp.147-185
- (3) 한국전력공사 배전처, "배전실무교육교재", 1996.02. pp.182-183
- (4) 한국전력공사 배전처, "설비별 원인별 고장건수 통계표", 1994-1996