

The Study of Multi-Circuit Breaker Coordination in the Underground Distribution Line

趙南勳* · 河福男** · 李興浩***

(Nam-Hun Cho · Bok-Nam Ha · Heung-Ho 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 distribution line, 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. On underground distribution line, the serving of cables by earth-moving equipment is a prevalent cause of faults and the most cable faults quickly develop into bolted current. we introduce the multi-circuit breaker coordination methods in the Underground Distribution Line.

Key Words : MCB, Protection, 지중배전선로, 다회로차단기, 보호협조

1. 서 론

철단의 산업 설비와 사회 환경의 요구에 부합하는 신뢰도 높은 양질의 전력을 안정적으로 공급하는 것이 전력회사의 주 관심사이다. 한전은 고객과 가장 밀접한 관계를 맺고 있는 배전선로의 운전을 자동화할 수 있는 배전자동화시스템을 순수 100% 국내 기술로 개발하여 정전에 의한 수용가 피해를 감소시키도록 하였으며, 동시에 현장에 설치된 배전설비의 원격감시제어 및 배전관리 정보를 자동 수집할 수 있도록 하여 업무 효율화 및 고객 서비스를 개선시키고 있다.

일반적으로 지중화되지 않은 가공배전선로에서는 선로 중간에 리크로저를 설치하여 고장발생시 선로 전체에 고장이 파급되는 것을 방지하고, 고장 구간을 신속히 분리할 수 있도록 하여 전력공급 신뢰도 향상을 가하고 있다.

그러나 현재 도심지역 등 부하 밀집지역 선로의 많은 부분이 지중화되어 있으며, 향후에도 전체 배전선로에서 지중 배전선로가 차지하는 비율은 증가할 것이다.

따라서 지중배전선로에서도 가공배전선로와 같이 고장 발생시 능동적으로 고장 전류를 차단하고, 고장구간과 건전구간을 분리시킬 수 있는 다회로차단기를 선로 중간에 설치하여 운영할 수 있는지에 대한 검토가 요구된다.

일반적으로 지중배전선로에서 발생하는 고장전류의 값은

커서 최대고장전류가 흐르고, 변전소에 설치된 차단기와 의 순시동작이 대부분이므로 이에 대한 보호협조 검토가 필요로 된다. 본 논문은 완전지중배전선로 및 지중·가공 혼재 배전선로에 다회로차단기를 설치하여 지중배전선로에 고장 발생시 다회로차단기가 변전소 내부에 설치된 차단기(Circuit Breaker)보다 먼저 동작할 수 있도록 순시 및 한시요소를 고려하여 협조가 가능한지 여부를 분석하였으며, 적용 가능한 다회로차단기의 운영방안을 제시하였다.

2. 배전선로의 보호협조 분석

배전선로에 가공차단기 또는 다회로차단기 등을 설치하여 운영하기 위해서는 변전소에 있는 차단기와 보호협조가 가능하여야 한다. 배전계통의 구성은 송전계통과 달리 대부분 방사상으로 구성되어 있어 고장이 발생하면 고장전류의 방향이 일정하게 한쪽 방향으로 흐르므로 인출선로에는 간단하고 값이 싼 방향성이 없는 과전류계전기를 설치하고 있다.

본 논문에서는 한전 배전선로의 대부분을 차지하고 있는 22.9kV-Y를 기준으로 분석하였다. 22.9kV-Y 계통의 배전선로 보호는 단락, 지락보호를 공히 과전류계전방식을 적용하며 1회선당 과전류계전기 3대, 지락과전류계전기 1대를 설치하고 있다. 다회로차단기의 운영방안을 제시하기 위하여, 한전 전체 변전소에 대한 모선 등가 임피던스의 분포 및 배전선로에 사용되고 있는 각 전선규격별 임피던스를 고려한 고장전류를 계산한 후 보호협조 가능성 여부를 분석하였다.

* 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 先任研究員

** 正 會 員 : 韓國電力公社 電力研究院 責任研究員

*** 正 會 員 : 忠南大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1998年 5月 25日

最終完了 : 1999年 12月 6日

2.1 한전의 배전선로 보호협조 기준

한전에서 적용하고 있는 배전선로 보호협조의 기본 개념은 배전선로에서 고장이 발생하였을 경우, 고장점이 보호장치의 설치점에서 부하측일 때 고장점 바로 전원측의 전위보호장치(Remote Device)는 후비보호장치(Back-up Device)가 동작하기 전에 먼저 동작하여 고장구간을 격리할 수 있도록 보호기기를 정정하는 것이다. 위와 같은 개념으로 배전선로의 정전 구간이 가능한 최소가 되도록, 보호기기를 최적의 위치에 설치하여 운영함을 원칙으로 하고있다. 한전의 배전선로 보호기기 정정 지침을 간단히 요약하면 다음 표 1과 같다.

표 1 한전의 배전선로 보호협조 기준
Table 1 Distribution-system protection in KEPCO

구분	동작치정정		동작시간
다중접지	과전류계전기	한시 1.5 × 최대부하전류	0.5초 이내
	지락과 전류계전기	순시 전위보호장치(유) 1.5 × I3max	순시
단중접지	과전류계전기	한시 0.3 × 최대부하전류이하	0.5초 이내
	지락과 전류계전기	순시 전위보호장치(유) 1.4 × Igmax	순시

I3max : 전위보호기기 설치점의 최대 3상단락 전류
Igmax : 전위보호기기 설치점의 최대 1선지락 전류

배전선로의 보호계전 방식으로 과전류계전방식을 적용하는 이유는 설치점의 단락고장 전류가 부하전류보다 상당히 커 고장검출이 확실하고, 간편하고 저렴하기 때문이다. 배전선로 사고시 발생 가능한 고장전류의 크기를 유형별로 분석하고, 한전 배전선로 보호협조 기준을 적용하여 차단기 및 배전선로에서 운영될 보호기기와 협조 여부를 검토하고자 한다.

2.2 배전선로의 고장전류 분석

배전선로의 고장전류를 계산할 때는 계통 임피던스와 변압기의 임피던스 및 선로의 임피던스가 고려되며, 이외에 지락고장시에는 지락저항이 고려된다. 계통 임피던스는 계산의 편리상 100MVA 기준의 등가 %임피던스를 사용하였다. 전체 배전선로의 고장전류 크기를 분석하기 위하여 먼저 변전소별 모선 등가 임피던스의 크기가 분석되어야 한다.

2.2.1 변전소별 모선 등가 임피던스 분석

변전소 모선 등가 임피던스의 크기는 송전선로의 공급경로와 구성 및 변전소에 설치된 변압기에 따라 각각 다르다. 본 논문에서는 현재 운영되고 있는 모선 등가 임피던스의 크기를 분석하기 위하여 한전에서 해마다 발간되는 "변전소 모선 등가 임피던스/1997.4"를 참고하였다.

대도시를 대표하여 서울전력관리처를, 중소도시를 대표하여 수원전력관리처 관내 변전소의 주변압기별 모선 등가 임

피던스 현황을 분석하였다.

변전소 모선임피던스 크기에 따른 변전소 인출점에서의 최대 3상단락 및 1선지락고장전류의 크기를 계산한 결과를 다음 그림 1, 그림 2에 보였는데, 서울전력관리처 관내 변전소에 설치된 92개의 주 변압기별로 각 등가 임피던스에 의해 계산된 변전소 인출점 고장전류의 크기는 대부분 6,000A~8,000A이라는 것을 알 수 있다.

중소도시를 염두에 두고 분석한 수원전력관리처 관내 변전소에 설치된 100개의 주 변압기별 등가 임피던스에 의해 계산된 변전소 인출점에서 고장전류의 크기도 거의 6,000A~8,000A에 대부분 포함되고 있음을 확인하였다.

위의 자료를 토대로 본 논문에서는 대도시 및 중소도시에 많은 분포를 보이고 있는 변전소 인출점 고장전류의 크기가 7,000A 되는 선로를 기본으로 하여 협조를 검토하였다.

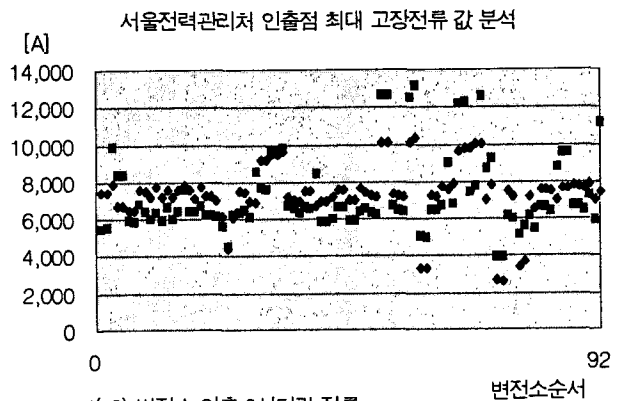


그림 1 대도시 인출점 고장전류 분포
Fig. 1 Fault-Current magnitudes in the urban area

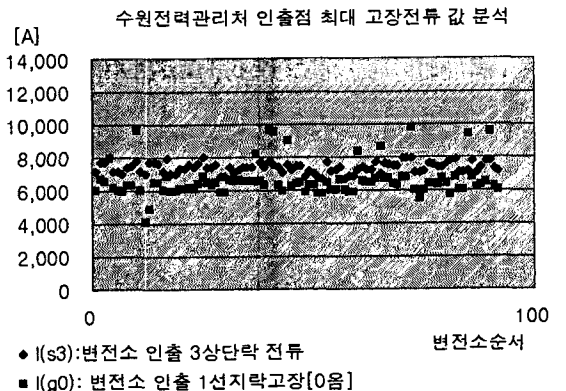


그림 2 중소도시 인출점 고장전류 분포
Fig. 2 Fault-Current magnitudes in the rural area

2.2.2 배전선로 전선규격 및 공장에 따른 고장전류 크기

현재 지중배전선로에 사용되는 지중케이블용 전선으로 대부분 CNCV(22.9kV Concentric Neutral Type Cross-linked

polyethylene insulated vinyl sheathed power cable : 22.9kV동심중선선전력케이블)와 가공선로에는 ACSR-OC (Aluminium stranded conductors steel reinforced Outdoor Cross-linked Polyethylene Insulated Wires for 22.9kV-Y : 특고압강심알미늄절연전선)를 사용하고 있다. 지중배전선로를 제외한 가공선로 및 지중·가공 혼재선로는 표 2와 같이 3종의 전선이 적용되고 있다.

그림 3, 그림 4, 그림 5, 그림 6에 고장전류값이 7,000A가 되는 실 배전선로를 기준으로 하여 각 전선규격에 대한 공장별 고장전류의 크기를 보였다. 또한 공장에 따른 고장전류의 크기 차를 보이기 위하여 배전선로에 사용된 전선을 전선규격별로 250m 단위로 나누어 공장과 전선규격별 고장전류의 크기를 선로 공장 8Km에 걸쳐 분석하였다.

그림 6은 지중·가공혼재선로의 계산 결과로서 지중에 비해 가공선로가 공장에 따른 고장전류의 차이가 크다는 것을 분명히 보여주고 있다.

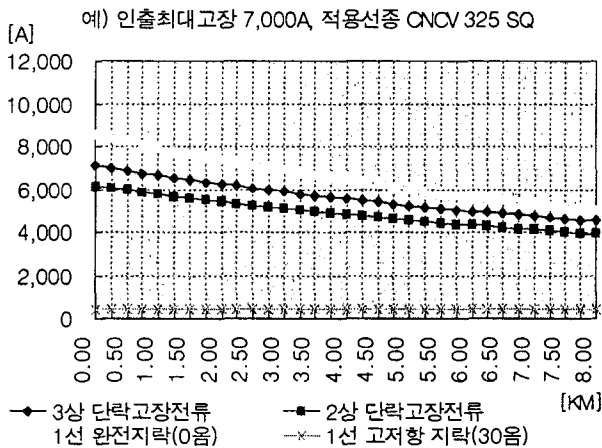


그림 3 CNCV 325mm²의 공장별 고장전류 분포
Fig. 3 Fault-Current magnitudes in the CNCV 325mm²

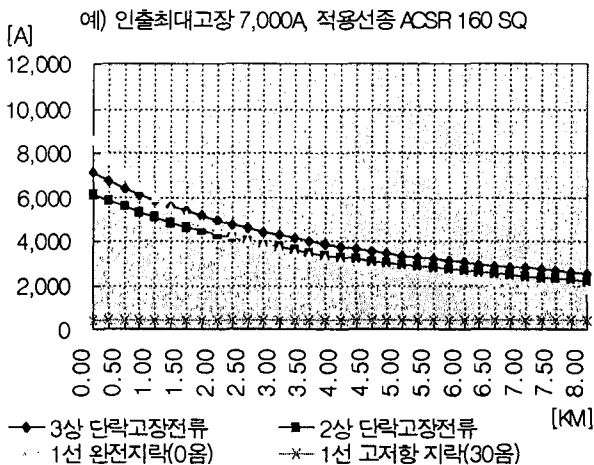


그림 4 ACSR 160mm²의 공장별 고장전류 분포
Fig. 4 Fault-Current magnitudes in the ACSR 160mm²

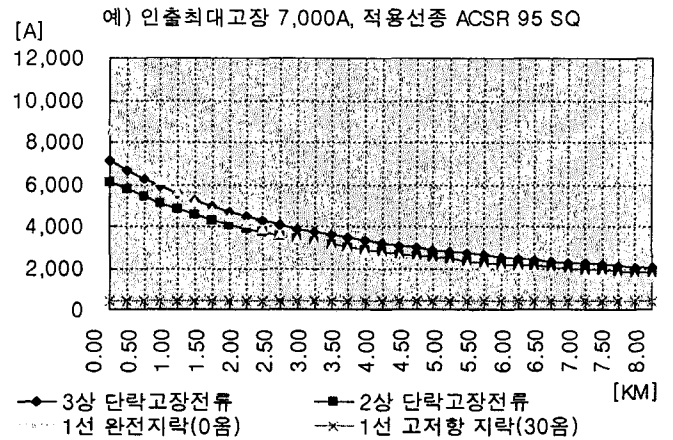


그림 5 ACSR 95mm²의 공장별 고장전류 분포
Fig. 5 Fault-Current magnitudes in the ACSR 95mm²

현재 배전선로 대부분에 사용되고 있는 ACSR-OC에 대한 정확한 임피던스 값을 알 수 없고, 단지 동일 단면적의 ACSR 전선에 비해 ACSR-OC전선은 피복의 열적특성을 고려하여 절연전선 굵기 선정시 ACSR보다 10% 공급능력이 저하되는 것을 원칙으로 하고 있다. 따라서 피복의 열적특성 및 배전선로의 표준장주를 고려하고, 100MVA를 기준으로 한 각 전선규격별 공장에 따른 임피던스는 다음 표 2와 같다.[1]

표 2 선종에 따른 %임피던스

Table 2 Impedances of ACSR and CNCV lines

(단위 : % Ω/km)

전선규격	정상임피던스	영상임피던스
CNCV 325	1.4325 + j2.3741	4.4678 + j1.5617
ACSR-OC 160	3.86 + j7.42	9.87 + j22.68
ACSR-OC 95	7.71 + j9.24	13.73 + j24.50

배전선로에서 발생할 수 있는 전체 고장종류별 고장 전류의 크기를 분석해본 결과 지중배전선로에 사용되고 있는 전선규격인 CNCV 325mm²에서는 변전소 인출점에서 8Km(일반적 지중배전선로의 공장) 떨어진 지중배전선로 말단에서 고장발생시 인출점에서의 고장전류의 크기에 비해 차이가 작아서 순시동작에 협조가 어렵다. 그러나 일반적으로 가공선로에 사용되고 있는 전선규격인 ACSR-OC160mm², 95mm² 전선은 공장이 길어짐에 따라 선로임피던스가 상당히 차이가 나서 고장전류의 크기 차이가 크게 나타나기 때문에 보호협조가 용이하다는 것을 알 수 있다.

2.3 보호협조 가능거리

2.3.1 순시 보호협조 가능거리

인접하는 전위보호장치의 순시요소와 협조하기 위해서는

과전류계전기의 순시 탭 동작치 조정을 전위보호장치 설치점 최대 3상단락 전류의 1.5배 이상이 되도록 정정하여야 하며, 지락과전류계전기인 경우에는 전위보호장치 구간의 최대 1선 지락고장의 1.4배 이상이 되도록 정정하여야 한다.

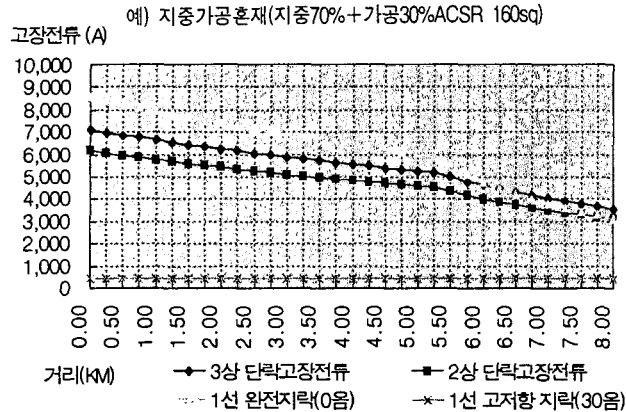


그림 6 CNCV325mm²+ACSR95mm² 혼재선로
 Fig. 6 Distribution line of the CNCV325mm²+ACSR95mm²

기 분석된 각 전선규격별 고장전류 값을 가지고 변전소 계전기와 보호기기의 순시협조 가능성 여부를 분석하기 위하여 변전소 인출점으로부터 고장전류의 크기가 단락고장전류 150%, 지락고장전류의 크기가 140%로 감소하는 거리를 찾아 표 3, 표 4에 보였다. 참고로 지중배전선로에서는 협조가 매우 어려워 보호기기를 설치할 수 있는 위치를 찾을 수 없으므로 표 3에 별도로 과전류계전기 140%, 지락과전류계전기 130%까지 규정 이하로 낮추어 협조 가능한 위치도 검토하였다.

표 3에서 위에서 보여준 전선규격별 공장에 따른 고장전류의 크기를 계산한 결과를 토대로 배전선로에 보호기기를 변전소 인출점으로부터 어느 정도의 공장을 두고 설치해야 하는지를 보였는데, 변전소 인출점 3상단락고장전류의 크기가 약 7,000A이고 전선규격이 CNCV 325mm²인 경우 순시 보호협조를 가능하게 하기 위해서 변전소 인출점으로부터 단락고장전류의 크기가 1/150%(약 7,085/1.5=4,723A), 지락고장전류의 크기가 1/140%(8,546/1.4=6,104A)로 감소하는 지점을 그림 3 CNCV 325mm²의 공장별 고장전류 분포에서 찾아 보면 7Km 정도가 된다. 또한 지락과전류계전기와와의 협조를 위하여 그림 3에서 1선완전지락고장전류의 크기가 6,104A가 되는 위치를 찾으면 5Km지점이다. 따라서 실제 변전소에서 정정할 수 있는 값이 이상적이라고 가정할 때 전선규격 CNCV 325mm²를 사용하는 배전선로에서는 보호기기 설치를 최소한 변전소 인출점으로부터 7Km 이상 떨어진 지점에 설치해야 순시협조가 가능하다는 것을 보였다. 그러나 공장이 비교적 짧은 8~9Km선로에서 7Km 위치에 말단 1~2Km를 보호하기 위하여 보호기기를 설치하는 것은 큰 의미가 없다.

표 4에서 CNCV 325mm² 규격의 전선규격을 사용하는 지중 배전선로에서 최대 고장전류의 크기가 10,000A인 경우에는 4.75Km위치에 보호기기를 설치하여 운영이 가능함을 보였다. 그러나 여기서 계산한 4.75Km는 계산상의 수치로서 변

전소 운영여건을 고려하지 않고 변전소 배전선로 보호계전기측에서 최대 순시 정정값을 변전소 인출점 최대고장전류 크기와 동일하게 계산하였을 경우의 나타난 이상적인 협조거리이다.

표 3 최대고장전류 7,000A선로의 선종별 협조거리
 Table 3 The distance of coordination in the 7000A (단위: Km)

전선규격 계전기		CNCV	ACSR	ACSR	ACSR	비 고
		325	160	95	58	
과전류 계전기	150%	7.0	2.25	1.75	1.25	7,085/1.5=4,723
	140%	3.75	1.75	1.25	1.00	7,085/1.4=5,060
지락과 전류계 전기	140%	5.0	0.75	0.75	0.50	8,546/1.4=6,104
	130%	3.50	0.50	0.50	0.50	8,546/1.3=6,573

표 4 최대고장전류 크기 및 전선규격별 협조거리
 Table 4 The distance of coordination by fault-current magnitude, impedance of line (단위: Km)

전선규격 계전기		최대고장 전류	CNCV 325	ACSR 160	ACSR 95
		과전류 계전기	150%	10,000A	4.75Km
8,000A	6.25Km			2.0Km	1.5Km
6,000A	-			2.5Km	2.0Km
지락과전 류계전기	140%	10,000A	3.75Km	0.75Km	0.5Km
		8,000A	5.75Km	1.5Km	0.75Km
		6,000A	6.75Km	1.25Km	1.0Km

실제 변전소에 설치된 계전기는 정정할 수 있는 탭이나 레버가 한정되어 있다. 표 5, 표 6에 실제 변전소 내부에 설치된 계전기의 정정 가능값을 고려하여 실질적으로 보호협조가 가능한 위치를 확인하였다. 변전소 인출점의 고장전류를 크기에 따라 가장 큰 고장전류의 값인 10,000A 및 일반적으로 가장 작은 고장전류 값 6,000A 두가지 경우에 대한 분석 결과를 보이고자 한다.

표 5는 변전소 인출점에서의 고장전류 10,000A인 CNCV 325mm² 전선규격을 사용한 지중배전선로의 순시협조 검토 과정이다. 변류비는 600/5를 선정하였으며, 순시탭의 값도 60, 80을 선정하여 순시협조를 검토하였다. 일반적으로 변전소에서는 고장전류로부터 차단기, 주변압기 등을 보호하기 위하여 표 5과 같이 순시탭을 60, 80에 정정하는 일은 거의 없지만 이렇게 크게 하여 검토하지 않으면 순시값 정정치가 너무 작아져 검토의 의미조차 없어진다.

표 5에서 변류비 600/5, 순시탭 80에 두었을 경우 과전류계전기의 순시동작 전류는 9,600A가 된다. 보호협조를 가능하게 하기 위해서 변전소 인출점으로부터 단락고장전류의

크기가 150%(약 9,600/1.5=6,400A) 감소하는 지점을 그림 7에서 찾아보면 약 6.0Km지점에서 협조가 가능하고 이 정정값보다 작은 변류비와 순시탭을 선정하면 협조가 가능한 위치를 8Km내에서 찾을 수 없다는 것을 알 수 있다. 따라서 변전소에서 순시탭을 80으로 정정하지도 않을 뿐 아니라 80으로 정정하더라도 지락과전류계전기는 순시협조가 불가능하다.

표 5 고장전류 10,000A인 지중배전선로 순시협조 검토
Table 5 Instantaneous trip coordination in the 10,000A

과전류계전기	C.T 비		600/5	600/5
	순시탭		60	80
	순시값 정정치		7,200A	9,600A
	순시값 정정치/1.5		4,800A	6,400A
	× 1.5	고장전류	-	6,382A
협조거리		8Km내 없음	6.0 Km	
지락과전류계전기	C.T 비		600/5	800/5
	순시탭		40	40
	순시값 정정치		4,800A	6,400A
	순시값 정정치/1.4		3,429A	4,571A
	× 1.4	고장전류	-	-
협조거리		8Km내 없음	8Km내 없음	

그림 7은 변전소 인출점에서의 3상단락고장전류의 크기가 약 10,000A 되는 지중배전선로의 CNCV 325mm의 임피던스를 적용하여 공장에 따른 고장전류의 크기를 보인 것이다.

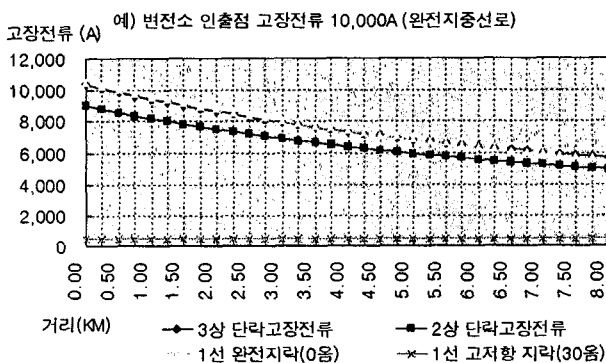


그림 7 CNCV 325mm의 공장별 고장전류 분포
Fig. 7 Fault-Current magnitudes in a CNCV 325mm

변전소 인출점에서의 고장전류 크기가 가장 작은 그룹인 6,000A인 선로를 대상으로 순시협조 여부를 검토하여 본 결과를 표 6에 보였다. 검토 결과 지락과전류계전기는 기존

순시탭의 정정 가능한 값 20, 30, 40에서 순시값 정정치가 낮아 변전소 인출점 고장전류 6,000A에서도 협조가 어렵다는 것을 알 수 있다.

과전류계전기와 협조는 순시탭 값을 60(일반적으로 변전소에서는 40이하의 값으로 정정함)으로 정정하여야 선로 중간에서 협조가능 함을 알 수 있다. 그러나 지락과전류계전기와 협조는 변류비 600/5, 순시탭 40에 두더라도 8Km 이내에서는 순시협조가 불가능하다는 것을 알 수 있다.

표 6 고장전류 6,000인 지중배전선로 순시협조 검토
Table 6 Instantaneous trip coordination in the 6,000A

과전류계전기	C.T 비		400/5	600/5
	순시탭		80	60
	순시값 정정치		6,400A	7,200A
	순시값 정정치/1.5		4,267A	4,800A
	× 1.5	고장전류	4,242A	4,759A
협조거리		7.0Km	4.5Km	
지락과전류계전기	C.T 비		400/5	600/5
	순시탭		40	40
	순시값 정정치		3,200A	4,800A
	순시값 정정치/1.4		2,286A	3,429A
	× 1.4	고장전류	-	-
협조거리		8Km내 없음	8Km내 없음	

2.3.2 한시 보호협조

한시협조는 변전소의 보호계전기 동작시간보다 다회로차단기의 동작시간이 빠르기 때문에 협조에 전혀 문제가 없으며 표 7에 검토 결과를 보였다.

변전소 계전기의 정정치로서 변류비는 600/5, 과전류계전기 탭 4, 레버 4(4×600/5 = 480A)이며, 지락과전류계전기는 탭 0.6, 레버 4(0.6×600/5 = 72A)로 하였으며, 전위보호기기인 다회로차단기 상최소동작전류(Phase Resistor)는 설치점 부하전류의 2.8배 이상이며 레지스터 값으로 100, 140, 200, 280, 340, 400, 560, Bypass가 구비되어 있으며, Ground의 최소동작전류는 보호구간 최소고장전류의 0.5배 이하로서 25, 50, 70, 100, 140, 170, 200, 280, Block으로 구비되어 있다.

한시협조 검토 결과 변전소 인출점에서 상당히 가까운 1~4 Km에 다회로 차단기를 운용하여도 거의 20 Cycles이상의 협조 시간차를 가지고 충분히 협조할 수 있다는 것을 알 수 있다.

표 7 고장전류 10,000인 지중배전선로 한시협조 검토
Table 7 Coordination with protective device in the 10,000A

S/S R/Y 차 단기	인출점	1Km	2Km	8Km
한시협조검토				
최대고장전류	10,462	9,580	8,776	5,557
보호구간의 최소고장전류	440	438	436	425
3상 단락전류	10,373	9,436	8,635	5,627
2상 단락전류	8,983	8,171	7,478	4,873
1선 지락전류(0Ω 적용)	10,462	9,580	8,776	5,557
1선 지락전류(30Ω 적용)	440	438	436	425
최대부하전류	252	240	202	13
과전류계전기 PU 배수(%)				
600/5, 탭 4, 레버 4 (4×600/5 = 480A)	2,161%	1,966%	1,799%	1,172%
지락과전류계전기 PU 배수(%)				
0Ω 적용	14,531%	13,305%	12,188%	7,718%
600/5, 탭 0.6, 레버 4 (0.6×600/5 = 72A)	30Ω 적용	611%	608%	605%
상(Phase)		240×2.8	202×2.8	
최소동작전류(레지스터정격) =설치점부하전류×2.8이상 (100,140,200,280,340,400,560, By pass)		=560A (1,685%)	=560A (1,541%)	
Ground		425×0.5	425×0.5	
최소동작전류 (레지스터정격) =보호구간최소고장전류 × 0.5이하 (25,50,70,100,140,170,200,280, Block)		=200A (4,790%)	=200A (4,388%)	
과전류계전기 동작시간 (Cycles)		30	32	
다회로 차단기 상전류 차단시간 (Cycles)		5.6	5.6	
협조시간차 (Cycles)		24.4	26.4	
지락과전류계전기 동작시간 (0Ω 적용) (Cycles)		30	30	
다회로 차단기 상전류 차단시간 (Cycles)		5.6	5.6	
협조시간차 (Cycles)		24.4	24.4	

3. 지중배전선로에 다회로차단기 운용방안

전선규격 CNCV 325mm² 를 사용하고 있는 완전지중배전선로에서는 변전소 인출점에서 고장전류의 크기가 어떠하던지 순시협조가 불가능함을 확인하였다. 따라서 보호협조를 고려한다면 사실상 다회로차단기는 완전지중배전선로에 사용할 수 없다. 그러나 사고발생시 전체 선로의 정전을 피하고 정전 구간을 축소하기 위하여, 순시협조를 포기하고 다회로 차단기를 운용 할 수 있는 방안을 모색하고자 한다. 운영방안은 다음과 같이 완전지중배전선로, 지중·가공혼재선로로 나누어 제시하였다.

3.1 완전 지중배전선로

완전지중배전선로에서 다회로차단기와 변전소 배전선로 차단기와의 순시협조가 곤란하므로 사고 발생시 순시협조를 고려하지 않고 차단기 및 다회로차단기를 동시에 트립시킨 후에 다회로차단기는 Lockout되고 차단기는 재폐로 되어 건전구간을 신속히 공급할 수 있도록 차단기 1대를 운용할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 경우 다회로차단기의 설치 위치는 가급적 선로의 중심위치에 설치하되 다음과 같은 사항을 고려하여 1회 재폐로 후 고장구간을 분리할 수 있도록 운영한다.

- 중요 수용가 공급지점 부하측
- 선로 사고가 빈번하거나 사고가 예상되는 지점 전원측
- 광역정전을 예방할 수 있는 지점

표 8 완전지중 배전선로 다회로차단기 운영방안

Table 8 MCB coordination methods in the Underground Distribution Line

구분	특징(장단점)
적용	· 완전지중선로에서는 변전소 차단기에 1회 재폐로를 두어 고장발생시 고장구간은 다회로차단기가 분리하고 건전구간은 변전소 차단기에 의해서 공급. · 지중배전선로 고장의 75%가 영구고장이고, 고장전류가 커서 차단기 및 M.Tr에 큰 충격을 줌.
미적용	· 완전지중배전선로에서 발생하는 과도고장으로 인하여 선로전체가 장시간 정전 경험.

표 8의 완전지중선로에서 다회로차단기를 운영하기 위해서 차단기에 1회 재폐로를 두어야 하는데 지중배전선로 고장의 75%가 영구고장이고 고장전류가 커서 재폐로를 두었을 경우 차단기 및 M.Tr에 무리를 준다는 것을 알 수 있다. 현재 한전의 재폐로 방식은 순시동작 후에는 한시동작을 하도록 정정되어 있다. 따라서 재폐로를 1회 두었을 경우 고장전류가 순시동작하여 트립 후 재폐로시 한시동작을 하게 되므로 큰 고장전류가 길게 지속되어 차단기 및 주변압기에 큰 영향을 준다. 표 9에 순시 및 한시동작에 따른 기기 충격시간을 보였다. 따라서 만일 완전지중선로에 1회 재폐로를 둔다면 재폐로를 두지 않았을 경우에 비해 주변압기 및 차단기에 약 4~5배 가량의 부담이 된다.

표 9 순시 및 한시동작에 따른 기기 충격시간

Table 9 Time of fault-current in the fast and delay operation

시간(Cycles)	구분	
	순시동작	한시동작
감지	2	24
기기동작/ 아크소호	6	6
전체	8	30

※ 가장 많이 사용되고 있는 레버3 기준임

3.2 지중·가공 혼재복합선로

지중배전선로에 비하여 배전선로의 가공부분은 충전부 노출이 많은 설비로서, 외물에 의한 접촉으로 순간정전 고장이나 국부적 고장이 많고, 이러한 고장이 전선로로 파급되지 아니하도록 재폐로 장치들을 설치하여 정전구간을 최소한으로 축소시켜 전기품질을 유지하고 있다.

따라서 지중과 가공선로가 혼재된 배전선로는 지중선로가 차지하고 있는 공장에 따라서 여러 가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. 지중·가공혼재선로의 경우 다음과 같이 3가지 유형으로 나누어 다회로차단기를 이용한 운영 방안을 제시하였다.

- ① 지중과 가공의 혼재선로 중 지중이 차지하는 비율이 아주 높은 선로
- ② 지중과 가공이 차지하고 있는 비율이 비슷한 선로
- ③ 지중보다 가공이 차지하고 있는 비율이 높은 선로

지중가공 혼재선로에 가능한 보호기기 운영 방안은 지중배전선로에 다회로차단기 1대 + 가공선로에 리크로저 1대, 지중선로 부분에 다회로차단기 1대만 설치, 가공선로에 리크로저 1대만 설치하는 3가지 방안으로 나누어 고려할 수 있다. 따라서 각 방안을 검토 후 가장 효율적인 운영 방안을 선정하고자 한다.

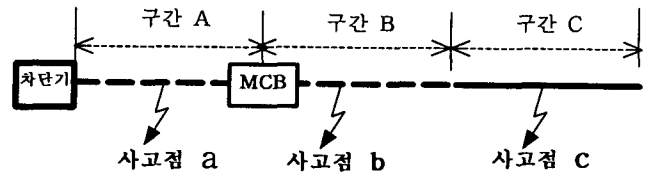
지중배전선로에 다회로차단기 1대와 가공선로에 리크로저 1대를 운영하는 것이 고장구간을 축소하기 위한 차원에서 가장 바람직하겠으나, 다회로차단기 및 가공선로 리크로저와의 보호협조를 검토하면 리크로저 지연 동작시에 차단기와 협조가 불가능하다.

따라서 지중·가공혼재 선로에서는 지중배전선로에 배전선로용 다회로차단기 1대를 운영하거나, 가공선로에 리크로저 1대를 운영하는 2가지 방안 중 효과적인 방법을 찾아 한 가지를 사용할 수 밖에 없다. 일반적으로 가공선로의 공장이 차지하는 비율이 훨씬 크면 가공선로 부분에 리크로저 1대를 설치하는 것이 바람직하지만 지중선로가 차지하는 비율이 커지면 다회로차단기를 설치하여야 할지 리크로저를 설치하여야 할지 결정하기 어렵다.

그림 8은 지중선로의 차지비율이 66%정도인 선로를 선정하여 다회로차단기를 설치하였을 경우와 리크로저를 설치하였을 경우의 정전영역(면적)을 비교 후 적절한 보호기기를 선정하고자 한다.

지중선로의 차지 비율이 66%되는 지중선로 가운데 다회로차단기 1대를 다음 그림 8과 같이 설치하였을 경우 임의의 사고발생 가능지점 a, b, c 및 정전 가능구간 A, B, C를 고려해보자. 그림 8에서 a점에서 사고발생시 다회로차단기를 설치하였다 하더라도, 구간 A, B, C 모두 정전이 될 것이다. b점에서 사고발생시는 다회로차단기는 트립되어 Lockout되고 차단기가 재투입되어 구간 B, C만 정전이 되고 구간 A는 다시 전력공급이 가능하다. c점에서 사고발생시 b점에서 사고가 발생하였던 것과 동일한 결과를 보여 줄 것이다.

지중·가공혼재선로 8.0Km



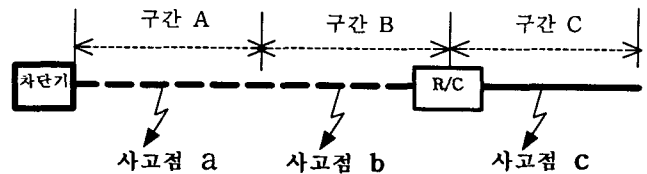
※ 지중선로 : 점선표시, 가공선로 : 실선표시
 ※ MCB : Multi-Circuit Breaker

그림 8 다회로차단기 설치시 구간별 정전범위

Fig. 8 Range of the outage in MCB installed

그림 9와 같이 리크로저 설치시 a점에서 사고발생시 리크로저를 설치하였다 하더라도, 구간 A, B, C 모두 정전이 될 것이다. b점에서 사고발생시에도 a지점에 사고가 발생한 경우와 동일하게 구간 A, B, C 모두 정전이 될 것이다. c점에서 사고발생시 리크로저와 차단기간 보호협조가 되어 구간 C만 정전이 되고 구간 A, B는 사고와 관계없이 지속적으로 전력을 공급할 수 있게 된다.

지중·가공혼재선로 8.0Km



※ R/C : 리크로저

그림 9 리크로저 설치시 구간별 정전범위

Fig. 9 Range of the outage in Recloser installed

지중·가공혼재선로의 효과적인 다회로차단기 및 리크로저 설치 기준을 제시하기 위하여 가공선로 및 지중선로의 고장건수를 분석하여 지중선로 구간 A, B 및 가공선로 구간 C의 단위 공장에 대한 고장 빈도율을 분석하였다.

표 10에 3년간 가공선로 및 지중선로의 고장건수를 기록하였다. 전체선로에서 가공선로 공장의 3년간 차지비율의 평균은 92.6%였으며, 전체고장 건수 가운데 가공선로에 발생한 건수가 97.7%인 것을 알 수 있다. 선로 단위공장 1[pu]에 대한 고장발생빈도는 가공선로는 105.50(=97.7×100/92.6), 지중배전선로 31.51(=2.3×100/7.4)로서 가공선로의 고장 빈도율은 지중배전선로보다 약 3(105.50/31.51=3.35)배 이상 많다는 것을 알 수 있다[2].

그림 9 및 표 10을 근거로 정전구간 범위를 기본으로 분석한 결과 리크로저를 사용하여 운영할 경우 정전 범위가 적어짐을 알 수 있다. 따라서 지중·가공 혼재선로에서는 다회로차단기를 이용하는 것보다 변전소 차단기와 보호협조가 원활한 범위에서 재폐로 기능을 가지고 능동적으로 가공선로 부분의 순간고장을 제거할 수 있는 리크로저를 이용하여 고장구간을 축소시키는 것이 바람직하다.

표 10 가공 및 지중배전선로의 고장발생

Table 10 Occurrence of the fault in the underground and overhead distribution line

구분/년도		1994	1995	1996	평균
가공 배전 선로	공장(C-Km)	122,687	130,186	139,517	92.6%
	점유율[%]	93.2	92.6	92.1	
	고장건수[%]	97.4	97.7	98	
지중 배전 선로	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	
전체	공장(C-Km)	131,587	140,469	151,455	100%

그림 10의 a, b, c점에서 각 1회씩 사고 발생시 전체 정전구간(면적)이 11개 블록(Block)이 되며, 그림 11에서는 동일한 조건의 고장에서 리크로저를 설치하였을 경우 전체 정전구간이 9개 블록이 됨을 보여주어 다회로차단기를 설치하는 것보다 리크로저를 설치하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

사고구간	사고빈도 가중치	고장구간		
		구간 A	구간 B	구간 C
a점 사고발생	1	■	■	■
b점 사고발생	1	■	■	■
c점 사고발생	3	■	■	■

그림 10 차단기 1대 설치시 정전 영역

Fig. 10 Range of the outage in a MCB installed

사고구간	사고빈도 가중치	고장구간		
		구간 A	구간 B	구간 C
a점 사고발생	1	■	■	■
b점 사고발생	1	■	■	■
c점 사고발생	3	■	■	■

※ 건전구간 : □ 정전구간 : ■

그림 11 리크로저 1대 설치시 정전 영역

Fig. 11 Range of the outage in an Recloser installed

그림 8, 그림 9는 지중배전선로가 66%이상인 경우를 가정한 예이므로 지중·가공혼재 선로에서 지중구간이 66%이

하를 차지하는 선로에는 가공선로에 리크로저를 운영하는 것이 지중배전선로에 차단기를 운영하는 것보다 훨씬 효과적임을 알 수 있다. 따라서 지중·가공혼재 선로에서 차단기 운영방안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

- ① 지중과 가공의 혼재선로 가운데 지중이 차지하는 비율이 아주 높은(70~80%이상) 선로는 완전 지중배전선로와 동일한 방법으로 배전선로를 운영하면서 보호기기를 두지 않는다.
- ② 지중과 가공이 차지하고 있는 비율이 비슷한 선로이거나 지중부분이 약간 많을 경우에는 가공선로에 리크로저 1대를 두어 운용한다.
- ③ 지중보다 가공이 차지하고 있는 비율이 높은 선로에서는 가공선로에 순시 및 한시 협조가 가능한 지점에 리크로저 1대를 두어 운용한다.

4. 결 론

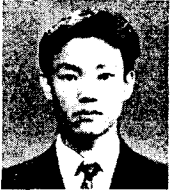
향후 완전지중배전선로에 다회로차단기를 운영할 수 있는 방안을 검토한 결과 대도시 및 중소도시의 배전선로 대부분의 고장전류의 크기가 8,000A~6,000A인 것을 감안할 때 일반적으로 지중배전선로의 공장 8Km내에서는 순시협조가 불가능하다는 것을 보였다.

지중배전선로에서 고장 발생시 정전 구간을 좁히기 위해서는 순시협조를 포기하고 변전소 차단기에 1회 재폐로를 두어서 변전소의 차단기와 다회로차단기가 동시에 트립된 후에 다회로차단기는 Lockout되고 차단기는 재폐로 되어 건전구간에 전력을 공급할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 가공·지중혼재 선로에서는 다회로차단기보다 가공선로에 리크로저를 두어 운영하는 방안이 더욱 효과적이라는 것을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 이효성의, "배전보호기술서", 한국전력공사 배전처, pp237, 1995. 12
- [2] 김재철외, "전력선 자동재폐로 방식 개선에 관한 연구", 전력연구원 최종보고서, pp274-282, 1998. 3
- [3] Roger C. Dugan외, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, pp79, 1995
- [4] Charles V.Walker, "Electrical Distribution System Protection", COOPER POWER SYSREMS, pp67, 1990

저 자 소 개



조 남 훈 (趙南勳)

1965년 8월 16생. 1993년 중앙대 전기공학과 졸업. 1992년~1995년 한국전력공사 안성지점근무, 1995년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5904

E-mail : namhun@kepri.re.kr



이 흥 호 (李興浩)

1950년 10월 28일 생. 1973년 서울대 공업교육과 졸업. 1977년 서울대 대학원 공업교육과 졸업. 1994년 서울대 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학), 1983~84년 미국 플로리다공대 방문 교수, 1979년~현재 충남

대 공대 전기공학과 교수



하 복 남 (河福男)

1958년 1월 10일 생. 1986년 대전산업대 전기공학과 졸업. 1994년 충남대 대학원 전기공학과 졸업. 1978년~1988 한국전력공사 대전전력 근무, 1989~현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 책임연구원

Tel : 042-865-5902

E-mail : bnha@kepri.re.kr