

다수의 분산형 전원이 연계된 배전계통에서 리크로저와 섹셔널라이저의 보호협조 방안

정현준* 최준호* 남해곤* 문채주**
전남대학교* 목포대학교**

The effective recloser and sectionalizer coordination and protection scheme in distribution system interconnected a number of distributed resources

Jung Hyun-Jun* Choi Joon-Ho* Nam Hae-Kon* Moon Chae-Joo**
Chonnam National University* Mokpo National University**

Abstract - According to the second plan of the Korean Government about technology development, utilization and popularization of new renewable energy, the continuous growth of distributed resources are expected. Various studies about impact of distributed resource on distribution system have been already accomplished. But there is a few paper about recloser and sectionalizer coordination and protection scheme in distribution system interconnected a number of distributed resources. In this paper, it is dealt with that recloser and sectionalizer coordination at the cases concerned with fault position. The problems of these cases are investigated through simulation.

2. 본 론

2.1 기존 배전계통에서 리크로저와 섹셔널라이저의 보호협조

섹셔널라이저는 자체적으로 고장을 차단하는 능력이 없으며, 일반적으로 후비 보호장치인 리크로저와 함께 쓰인다. 리크로저의 최소동작전류의 80%의 과전류가 흐르면 섹셔널라이저는 계수를 행할 준비를 하고 선로가 무전압 상태가 되면 이를 감지하여 계수한다. 무전압 상태의 횃수를 일정 시간동안 기억하고 있으며, 미리 정해 놓은 횃수에 도달하면 선로의 무전압 상태에서 선로를 개방하여 고장구간을 분리시킨다[5]. 그림 1의 C지점에서 영구고장이 발생하는 경우에 후비에 위치한 리크로저 R2가 로크아웃(lockout)하기 전에 섹셔널라이저 S1이 먼저 로크아웃하는 것을 리크로저와 섹셔널라이저의 보호협조라 한다.

그림 1의 A, B, C, D 지점에서 각각 고장이 발생하는 경우를 가정해 보자.

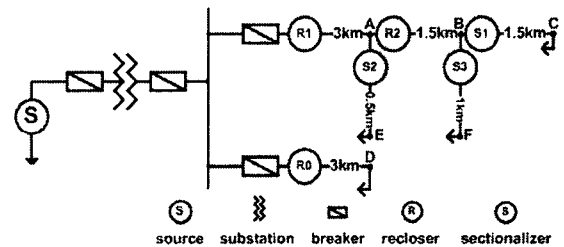


그림 1 배전계통 모델 단선도
Fig. 1 One-line diagram of the power distribution system model

R0, R1, R2의 동작 시퀀스(sequence)는 2F2D(2Fast 2 Delay)로 가정하였으며, S1, S2, S3의 로크아웃 계수는 3회로 설정하였다.

A 지점에서 고장이 발생하였을 경우, 보호협조하는 기기는 차단기와 R1이다. R1은 선로를 트립(Trip)하며 순간 고장인 경우에는 고장이 제거된 후 재폐로하며, 영구 고장인 경우 차단기가 선로를 로크아웃하기 전에 R1이 선로를 로크아웃한다.

B 지점에서 고장이 발생하였을 경우, 보호협조하는 기기는 R1과 R2이다. R2가 먼저 선로를 트립하며, 순간 고장인 경우에는 고장이 제거된 후 재폐로 하게 되고 영구 고장인 경우에는 R1이 로크아웃하기 전에 R2가 로크아웃한다.

C 지점에서 고장이 발생하였을 경우, 보호협조하는 기기는 R2와 S1이다. S1에 최소동작전류 이상의 과전류

1. 서 론

1997년 교토의정서가 지구 온난화 방지책의 일환으로 채택되었으며, 주요 내용은 다음과 같다. 1차 의무 감축 대상국인 36개 선진국가들은 2008년부터 2012년까지 1990년 대비 5.2%의 온실가스 배출을 감축할 것을 규정하고, 2차 의무 감축 대상국은 2013년부터 2017년까지 온실가스의 배출을 감축하도록 되어있다. 2001년 미국이 탈퇴한 후 주축하였으나, 2004년 10월 22일 러시아가 교토 의정서를 비준함에 따라 2005년 2월 16일 교토 의정서가 발효되었다[1].

우리나라의 경우 2002년 11월 8일 교토의정서를 비준하였으며, 아직 교토의정서에 따른 법적 의무는 부담하고 있지 않으나 OECD 회원국으로서 온실가스 감축 압력을 받고 있다. 또한 2002년 기준 CO₂배출량은 세계10위에 달하기 때문에 2차 의무 감축 대상국이 될 가능성 매우 높다. 이에 따라 정부의 계획인 “제 2차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획 (2003~2012)”[2]를 살펴보면 신·재생에너지 개발·보급 목표를 2006년 3%에서 2011년 5%로 두고 있다.

신·재생 에너지원은 배전 계통에 분산형 전원의 형태로 연계된다. 우리나라의 경우 배전계통은 루프(Loop)운전을 하고 있는 송전시스템과는 달리 단방향 전원에 의한 방사상(Radial)으로 운전되고 있으며 보호시스템 또한 단방향 조류에 기초하여 구성되고 있다[3]. 이러한 배전계통에 분산형 전원이 연계되면 단방향 전원에서 양방향 전원 시스템으로의 전환됨에 따라 기존의 보호시스템에 대한 검토가 필요하다[3,4].

본 논문에서는 기존 배전계통에서 리크로저(Recloser)와 섹셔널라이저(Sectionalizer)의 보호협조를 알아보고, 다수의 분산형 전원이 배전계통에 연계되었을 때의 리크로저와 섹셔널라이저의 보호협조를 분석하여 문제점 및 해결방안을 도출 해 보고자 한다.

가 흐르면 S1은 계수할 준비를 하고, R2의 트립으로 인해 무전압 상태가 되거나 최소동작전류의 50%이하로 감소하면 계수를 행한다. 세부적인 보호협조는 그림 2[5]를 참조하자. 리크로저는 로크아웃하기 전까지 4번의 재폐로를 행하며, 섹셔널라이저는 계수가 3일 때 -섹셔널라이저의 로크아웃에 이르는 계수는 리크로저의 재폐로 횟수보다 최소 1회 적어야한다. 즉 계수가 1, 2 일 때도 로크아웃 할 수 있다. - 로크아웃하여 고장구간을 최소화시킨다. 이 때 주의해야 할 점은 섹셔널라이저의 기억시간(계수 횟수)이 리크로저의 백업시간보다 길어야 한다는 점이다. 그렇지 않으면 섹셔널라이저가 계수한 횟수가 0으로 재설정되어 영구 고장인 경우에 리크로저가 먼저 로크아웃하게 된다[5].

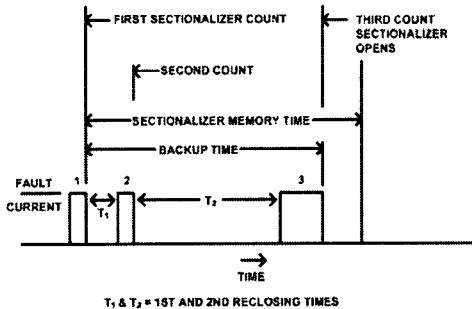


그림 2 리크로저와 섹셔널라이저의 보호협조
Fig. 2 Coordination of recloser with sectionalizer

2.1.1 각 지점에서 고장 계산

다음 표 1은 고장계산을 위해 사용된 그림 1의 배전계통 모델의 입력 파라미터이다.

표 1 배전계통 모델 입력 파라미터
Table 1 Input parameter of distribution system model

전원측	영상분 임피던스[%]	0.257+j1.336
	정상,역상분 임피던스[%]	0.072+j0.757
	정격전압[kV]	154
배전용변전소	정격용량[MVA]	45/60
	주변압기	j11
배전선로	영상분 임피던스[%/km]	11.99+j29.26
	정상,역상분 임피던스[%/km]	3.47+j7.46
	C[MW]	5
부하	D[MW]	5
	E[MW]	2
	F[MW]	2

각 지점 A, B, C, D, E, F에서 고장 계산을 실시한 결과값은 다음 표 2와 같다. 단 고장 계산은 3상 단락고장과 1선 지락고장을 실시하였으며, 고장 저항은 0으로 가정하였다.

표 2 각 지점에서 고장 전류값
Table 2 Fault current at each point

구분	A	B	C	D	E	F
3상고장 전류[kA]	5.1604	4.1312	3.4407	5.1604	4.7645	3.6447
1선지락고장 전류[kA]	3.5062	2.6298	2.1028	3.5062	3.1551	2.2535

2.2 다수의 분산형 전원이 연계된 배전계통에서 리크로저와 섹셔널라이저의 보호협조
그림 1의 배전계통 모델 단선도에 분산형 전원이 다음

그림 3처럼 연계된 경우를 살펴보자. 리크로저와 섹셔널라이저의 전위에 각각 분산형 전원이 하나씩 연계가 되었으며, 또한 인근선로에도 분산형 전원을 연계함으로써 보호기기들과 분산형전원의 위치에 따른 모든 경우를 가정할 수 있게 하였다.

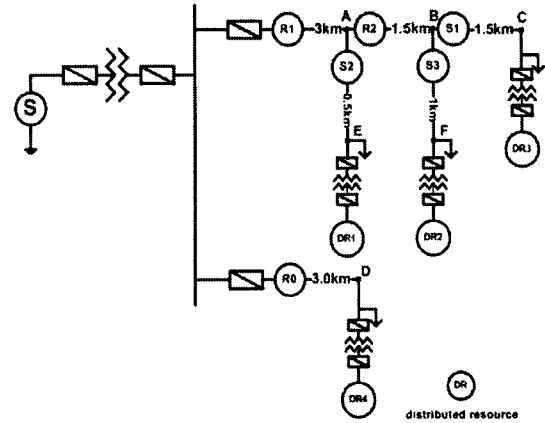


그림 3 다수의 분산형 전원이 연계된 배전계통 모델 단선도
Fig. 3 One-line diagram of the power distribution system model interconnected with a number of distributed resources

2.2.1 각 지점에서 고장 계산

우선 분산형 전원의 연계 연후의 고장 전류값을 비교하기 위해서 고장계산을 실시하였다. 그림 3의 분산형 전원 DR1, DR2, DR3, DR4, DR5의 파라미터 값들은 다음 표 3과 같으며, 고장 저항은 0으로 가정하였다.

표 3 분산형 전원 모델 입력 파라미터
Table 3 Input parameter of distributed resource

분산형 전원 (DR1, DR2, DR3, DR4, 공통)	정격용량[MVA]	2
	정격전압[V]	480
	X''d[p.u.]	0.2
	변압기	480[V]
		480[v]/22.9[kV]
	2[MVA]	
	j2[%]	

고장 계산의 결과는 아래 표 4와 같으며, 일반적으로 1선지락 고장 전류값이 고장 전류의 최소값인데 반해 이 경우에는 1선지락 고장 전류값이 3상 고장 전류값보다 커서 모든 종류의 고장 계산을 수행해보니 선간단락 고장의 경우가 최소값이어서 이를 나타내었다. 이 값은 리크로저의 최소동작전류의 설정에 참조된다.

표 4 다수의 분산형 전원이 연계된 배전 계통의 각 지점에서 고장 전류값

Table 4 Fault current at each point in distribution system interconnected a number of distributed resources

구분	A	B	C	D	E	F
3상고장 전류[kA]	5.2658	4.2560	3.9340	5.5422	4.8446	3.7392
1선지락고장 전류[kA]	6.0740	5.1152	4.2053	5.2054	5.5535	4.4683
선간단락고장 전류[kA]	5.0891	4.1131	3.4070	4.7997	4.6816	3.6135

2.2.2 각 지점에서 고장 발생 시 리크로저와 섹셔널라이저의 보호협조

분산형 전원의 계통 연계로 인하여 최소 고장 전류값이 증가함을 표 2와 표 4를 통해 알 수 있었다. 따라서 리크로저 R1과 R2의 Time-Current 설정을 이에 맞춰 수정하였다고 가정하고, 각각의 경우를 살펴보겠다.

A지점에서 고장이 발생하였을 경우(R1과 R2사이)

- R1, S2 : 보호협조해야 하는 기기들은 R1과 S2이다. R1은 고장을 감지하여 재폐로 하게 되고, S2는 고장을 감지하지 못해야 한다. 시뮬레이션의 결과인 표 5에 따르게 되면 DR1에서 흐르는 고장 전류값은 매우 작으므로 S2는 무전압을 계수 할 준비를 하지 않는다.
- S2, DR1 : 만약 DR1의 용량이 커서 S2의 최소동작 전류값 이상의 고장 전류가 발생시키는 경우와 주전원과의 비동기화를 고려한다면 DR1은 계통에서 신속하게 분리되어야 한다.
- R2, DR2, DR3 : DR2와 DR3의 용량이 커서 R2의 최소동작전류값 이상의 고장 전류를 발생시키는 경우가 있다. 이 때에는 R2에 방향성 계전기를 추가하여 일정한 방향의 고장 전류에만 작동하도록 설정하면 된다[6]. 하지만 주전원과의 비동기화를 고려한다면 DR2와 DR3은 계통에서 신속하게 분리되어야 한다.
- DR4 : DR4의 경우에는 R0이 동작하지 않으므로 주전원과의 비동기화 문제를 고려할 필요없이 지속적으로 연계운전 할 수 있다. 인근선로 고장과 연계선로의 고장의 구분은 인근선로 고장은 리크로저에 의해 고장제거 후 전압이 회복되고 전류가 기존 부하 전류를 회복함을 통해 구분할 수 있으며 리크로저(R1)에 의한 첫 번째 선로 차단 후 전류의 부하전류 회복시간을 고려하여 최소 3[Cycle]에서 최대 10[Cycle]내에서 고장선로를 구분한다[3].

표 5 각 전원에 따른 선간단락 고장 전류 기여
Table 5 The line-to-line fault current contribution by each resource

	[kA]					
구분	A	B	C	D	E	F
S	4.4199	3.5012	2.8707	4.3319	2.9217	3.0051
DR1	0.1972	0.1562	0.1281	0.0932	0.1977	0.1362
DR2	0.1924	0.1964	0.1610	0.0909	0.1766	0.1977
DR3	0.1919	0.1957	0.1977	0.0907	0.1758	0.1708
DR4	0.0990	0.7837	0.6431	0.1977	0.0909	0.1686

B지점에서 고장이 발생하였을 경우(R2와 S1사이)

- R2, S1, S3 : 보호협조해야 하는 기기들은 R2와 S1, S3이다. A지점의 경우에서 언급하였던 것처럼, R2는 고장을 감지하여 재폐로 하게 되고 S1, S3의 경우에는 고장을 감지하지 못해야 한다.
- DR2, DR3 : 이번에는 DR2, DR3가 단독운전 하는 경우를 가정해보자. 영구 고장이 발생하였을 때, DR2, DR3가 단독운전을 하게된다면 고장 복구 시 안전전문가가 발생할 수 있으며, 부하에 저품질의 전력을 공급하는 경우가 발생 할 수 있다[3].
- DR1 : A지점에서의 고장과 다른 점은 DR1에 있다. 순간고장인 경우 R1이 작동하지 않기 때문에, 지속적으로 연계운전 할 수 있다. 하지만 이 부분은 주전원과의 비동기화 문제만 고려한 경우이므로, 분산형 전원 자체 보호기기들의 최소동작전류 등의 설정과 기능을 고려해서 체계적으로 검토해 보아야 한다.

C지점에서 고장이 발생하였을 경우(S1의 전위)

- S1, S3, R2 : 보호협조해야 기기들은 R2와 S1이다. 이 경우는 A지점, B지점에서 서술한 내용과 같다.

여기서 고려 할 수 있는 특별한 경우는 DR2의 용량이 충분히 커서 S3가 계수할 준비를 하게하는 것이다. S3가 계수할 준비는 하게 되면 R2에 의한 트립을 계수하게 되어 S1과 같이 로크아웃하게 될 수 있다.

3. 결 론

참고문헌 [7]에서는 분산형 전원 연계 시 퓨즈(fuse)-퓨즈, 리크로저-퓨즈, 릴레이(relay)-릴레이의 보호협조에 관해서 다루었다. 그 경우와 비교하였을 때, TC-curve에 영향을 받지않는 섹셔널라이저의 특징으로 인해 리크로저-섹셔널라이저의 보호협조는 분산형 전원이 계통에 연계되었을 때 훨씬 뛰어나다. 다만 본론에서 언급한 문제들을 살펴볼 때, 분산형 전원을 계통에 연계시킬때 보호협조 측면에서 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 분산형 전원의 용량이다. 용량이 충분히 클 경우에는 섹셔널라이저를 활성화시킬 수 있기 때문이다. 또한 분산형 전원이 계통에서 분리되는 시간 설정 또한 매우 중요하다. 분리되는 시간이 적절하지 않으면 분산형 전원 자체는 물론 주변 부하들에게도 많은 피해를 줄 뿐만 아니라 보호협조 시스템에도 좋지 않은 영향을 끼친다. 마지막으로 보호기기들의 최소동작전류값의 설정을 고려해야 한다. 이를 위해 연계되는 분산형 전원의 용량에 따른 분산형 전원이 계통에 분리되어야 하는 적절한 시간설정과 보호기기들의 최소동작전류값의 설정의 체계적이고 수치적인 상관관계 분석이 필요하다 하겠다.

본 연구는 전력선행기술의 재원을 받아 (재) 기초 전력연구원(R-2004-B-125) 주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] KYOTO PROTOCOL to the united nations framework convention on climate change, 1997
- [2] 산업자원부, 제2차 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 기본계획, 2003
- [3] 최준호, 정성교, 조동우, 김낙경, 손학식, 김재천, "배전계통에 연계된 열병합발전 시스템의 개선된 보호협조 방안에 관한 연구", 전기학회지논문, 49A, 280-288, 2000
- [4] Hadsaid, N.; Canard, J.-F.; Dumas, F. , "Dispersed generation impact on distributed network", Computer Applications in Power, IEEE, Volume 12, Issue 2, 22-28, April 1999
- [5] Cooper Power System, Electrical Distribution System Protection-Third Edition, 1990
- [6] Sukumar M. Brahma; Adly A. Girgis, "Microprocessor-Based Reclosing to Coordinate Fuse and Recloser in a System with High Penetration of Distributed Generation", Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE, Volume 1, Page(s):453 - 458, 2002
- [7] Sukumar M. Brahma; Adly A. Girgis, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System", Power Engineering, LESCOPE '01, Page(s):115 - 119, 2001