

분산전원이 연계된 배전계통의 사고지점 확인 및 보호협조 방안 제시

° 최동만¹, 최준호², 노경수³, 문승일¹, 김재철^{1*}

전남대학교¹, 동국대학교², 서울대학교³, 송실대학교⁴

Fault location identification and protective coordination schemes presentation of distribution system interconnected Distributed Generation

° Dong-Man Choi¹, Joon-Ho Choi², Kyoung-Soo Ro³, Seung-Il Moon¹, Jae-Chul Kim^{1*}
Chonnam National Univ.¹, Dongguk Univ.², Seoul National Univ.³, Soongsil Univ.⁴

Abstract - Recently, There has been growing interest in new renewable energy systems with high-energy efficiency due to the increasing energy consumption and environmental pollution problems. But an insertion of new distributed generation to existing power distribution systems can cause several problems such as voltage variations, harmonics, protective coordination, increasing fault current etc, because of reverse power.

This paper was applied to fault location detecting a method as each Relay sensing fault current value and carried out short-circuit analysis by MATLAB and PSCAD/EMTDC programs and identify the faulted section of 22.9[kV] distribution system interconnected a large number of distributed generation. The existing protection system of 22.9[kV] power distribution system analyzed and the study on protective coordination recloser and Sectionalizer accomplished

1. 서 론

최근의 경제 발전으로 에너지 소비 증가 그리고 환경 오염등의 문제로 부지 확보나 환경문제등으로 인해 원자력발전, 화력 같은 대형 발전 설비의 확충이 어려워지고 있다. 또한 국내의 경우 에너지원을 수입에 의존하고 있어 향후 에너지 수급도 어려워질 전망이다. 따라서 부지 확보 및 환경오염의 위험이 적은 분산전원에 대한 관심이 한층 더 고조되고 있다. 미래에는 기존의 배전계통에 다수의 분산전원이 연계 될 것으로 예상된다. 그러나 이러한 분산전원을 배전계통과의 연계시 역조류로 인해 전압변동, 고조파, 보호협조, 고장전류 증가 등의 문제를 일으키므로 이에 대한 적절한 보호협조 연구가 필요하다.

현 우리나라 22.9[kV] 배전계통은 송전 시스템과는 달리 단방향 전원에 의해 방사상(Radial)으로 운전되고 있으며 보호 시스템 또한 단방향 조류에 기초하여 구성되어 있다. 그러나 배전계통에 분산전원 연계 시 기존의 단방향 전원에서 양방향 전원으로 전환됨에 따라 고장전류의 증가에 따른 보호장치 설정치 정정 및 보호협조의 재구성 등과 같은 보호 협조에 있어서 발생할 수 있는 문제점과 현 배전계통 보호 시스템을 구성하고 있는 리클로저와 구분 개폐기와와의 협조에 있어서 발생할 수 있는 문제점에 대한 충분한 연구가 필요하다.[2]

본 논문에서는 PSCAD/EMTDC와 MATLAB을 이용하여 현 우리나라 22.9[kV] 배전계통에 다수의 분산전원 연계 시 각 계전기가 감지하는 고장전류로서 고장 감지 및 고장 지점을 확인하였다. 제시한 배전계통 모델에 단락사고 해석과 조류계산을 실행하여 전원 전류 공급값과 각계전기가 감지하는 고장전류, 모선사이에서 고장 발생시 계전기가 감지하는 고장전류 값으로 고장 지점을 확인하였고 또한 배전계통 보호기기인 리

클로저와 섹셔널라이저 보호시스템이 상호협조를 이루기 위한 협조방안을 제시하였다.

2. 본 론

기존 배전계통의 보호 시스템 및 분산전원 연계 시 보호협조 상태를 분석하고 연계된 분산전원이 고장 시 고장전류에 미치는 영향 등을 분석하기 위해서는 우선 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 시스템 모델에 대한 정확한 이해가 필요하다면 그 모델은 다음과 같다.

2.1 배전계통 보호기기

2.1.1 리클로저

리클로저는 배전계통 보호기기 중 전위와 후위 보호장치 사이의 보호협조를 하는데 중추적 역할을 담당하며 순간 사고 시 전로를 순시로 차단한 후 자동으로 재폐로 함으로써 전력공급의 신뢰도를 향상 시키며 영구사고가 일어났을 경우 설정된 동작에 의해서 전로를 차단함으로써 고장구간을 배전계통으로부터 분리시키는 기능을 갖는다. 동작 특성을 위해서 순시동작곡선과 지연동작곡선을 가지며 총 4회까지 정정이 가능하다. 순시동작곡선은 영구사고가 아닌 경우 동작하며 지연동작곡선은 전위에 퓨즈같으니 보호기들이 작동하기 위하여 동작한다. 그림 1의 2F1D(2번 순시동작과 1번 지연동작)는 가장 많이 적용하는 리클로저의 동작 특성으로 타 보호장치와 일반적으로 보호협조가 잘 이루어진다.[4]

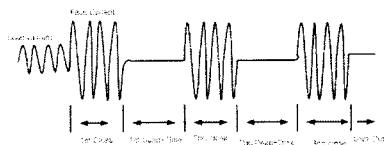


그림 1. 리클로저 동작

Fig. 1 Fault current waveform by reclosing operation

2.1.2 섹셔널라이저

섹셔널라이저는 후비 보호장치인 리클로저의 동작횟수를 카운트하여 동작하며 리클로저 트립 동작에 의해 전로가 무전압 상태가 되었을 때 고장구간을 분리하므로 일반적으로 후비 보호장치와 직렬로 연결 하여 사용한다. 즉 섹셔널라이저는 자동으로 제어되는 배전선로의 개폐기이며 고장전류를 차단할 수 있는 능력은 없으므로 T-C특성이 불필요하고 다른 보호장치와 협조를 이루기가 용이하다. 그 동작에 있어서는 최소 동작 전류 이상의 전류가 흐르면 리클로저의 동작을 카운트 할 준비를 하며 후비 보호장치인 리클로저가 동작을 시작하면 그 동작 횟수를 카운트하여 동작하게 된다. 예를 들어 섹셔널라이저의 동작 셋팅치를 2회를 가정하였을 경우 위의 그림 1의 리클로저 동작에 따라 2nd Dead time에서 섹셔널라이저가 동작하게 된다.[4]

2.2 분산전원을 배전계통 연계 시 사고 지점 확인 방법 제시

분산전원을 배전계통 연계 운전 중 고장 시 고장지점을 확인하는 것은 고장 복구가 제쳐 차원에서 매우 중요하다. 본 절에서는 각 계전기가 감지하는 고장 전류를 이용하여 고장 지점을 확인하고자 한다.

2.2.1 Off line 조류계산과 단락사고계산

이 방법은 다른 상을 포함한 모든 고장에 대한 조류계산과 단락사고 해석이 필요하다. 이 해석은 고장 전류뿐만 아니라 각 계전기가 감지하는 고장전류 기여를 확인 할 수 있다. 조류계산과 단락사고 해석은 분산전원, 부하, 시스템 구성의 변동 등이 있을 경우에는 갱신해야 한다. 단락 사고해석은 3상 단락사고를 행하였다.[1]

2.2.2 고장감지와 고장종류 결정

각 모선에 흐르는 전류 페이저는 항상 이용 가능하기 에 이로써 고장을 감지하고 고장 종류를 결정하고자 한다. 정상상태 동작 조건에서 이 전류 페이저의 합은 시스템의 전체부하 전류와 같으나 고장 시 이 합은 전체부하전류를 초과하게 될 것이다. 일단 시스템에서 고장을 감지하면, 각 상의 전체 고장 전류는 다음 간단한 방정식을 사용하여 결정 할 수 있다.[1]

$$[I_{fabc}] = \sum_{i=1}^n [I_{fabc}]_{sourcei} \quad (1)$$

2.2.3 on line에서 각 계전기가 감지하는 고장 전류값으로 고장 지점 확인

Off line 조류계산과 단락사고 해석에 의해 각 계전기가 감지하는 고장 전류값을 이미 알고 있으므로 이를 이용하여 고장 지점을 알 수 있다. 이 방법은 다수의 분산전원이 배전계통에 연결 되었을 경우 매우 효율적이다.

2.2.4 고장지점 확인 에러 원인

Sukumar M[1]은 에러의 원인은 고장 저항일 수도 있다고 하였다. 왜냐하면 단락고장 해석에서 고장저항을 이상적인 저항인 "0"으로 했기 때문에 저항 고장일 경우에는 고장 위치가 인접해 있는 구간으로 확인 될 수도 있다. 그러나 에러의 원인인 고장저항은 대부분 무시 할 수 있다.Burke[3]의 4년간의 고장 연구 보고서에 의하면 기록된 고장에서 관측된 고장 저항은 무시 할 수 있을 만큼 실제 값과 계산된 값이 근사하다는 결론을 내렸다.

2.3 사례연구

2.3.1 분산전원이 연계된 배전계통 모델

배전계통 모델은 먼저 상위계통인 송전계통을 등가화한 무한 모선과 배전용 변압기, 모선, 선로, 부하 등으로 구성하였고 그림2는 배전계통 모델의 단선도를 나타내었으며 표1은 시뮬레이션을 위해 사용된 배전계통 모델의 입력 파라미터를 나타낸다.

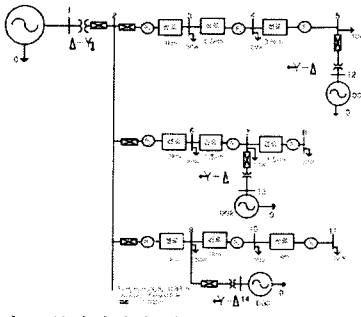


그림 2 분산전원이 연계된 배전계통 단선도
Fig.2 One-line diagram of the power distribution system interconnected distributed generation

표1 배전계통 모델 입력 파라미터

Table1. Input parameters of the power distribution system model

전원측	영상분 임피던스(Z_{00})[%]	0.257+j1.336	
	정상,역상분 임피던스 (Z_{11},Z_{20})[%]	0.072+j0.757	
	공급전압[kV]	154	
배전용변전소 주변압기	정격용량[MVA]	45/60	
	임피던스(Z_0)[%]	j11	
배전선로 (ACSR 1600[mm] ²)	영상분 임피던스(Z_{00})[%/km]	11.99+j29.26	
	정상, 역상분 임피던스 (Z_{11},Z_{20})[%/km]	3.47+j7.46	
신재생에너지 시스템	발전기종류	동기발전기	
	정격용량[MW]	2	
	정격전압[V]	480	
	X_d'' [p.u.]	0.2	
	변압기		480(V)
			480V/22.9kV 2MVA j2

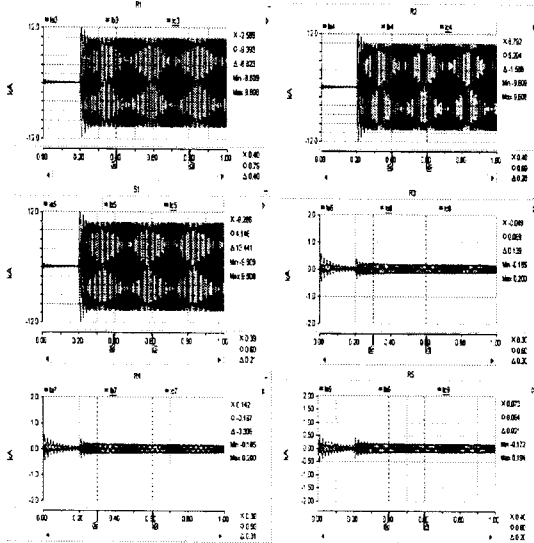
2.3.2 고장 지점 확인

그림 2의 등가 모델에 MATLAB 프로그램을 사용하여 3상 단락고장 해석 및 조류계산을 실행하였다. 표2는 모선 중앙에서 고장을 모의하여 각 계전기가 감지하는 고장 전류를 이용 고장지점을 확인하는 테이블이다. 고장지점 확인 테이블은 MATLAB과 PSCAD로 계산된 값을 보여주며 고장 전류값은 모선 중앙에서 고장 발생 시 고장 전류값이다. 고장 지점 부분은 이 지점에서 고장이 발생했다는 것을 보여주기 위한 것이다. 고장 지점 확인 테이블은 각 모선 중앙에서 고장 발생 시 선로 길이가 비슷한 모선에서는 확인 지점이 겹치는 부분이 있으나 대부분 정확히 고장 지점이 확인되는 것을 볼 수 있다. 그림3은 PSCAD로 45 모선 중앙에서 고장 시 시뮬레이션 파형이며 그 값은 MATLAB으로 시뮬레이션 한 값과 일치하는 것을 볼 수 있다.

표2 각 모선 사이에서 3상단락고장 확인
Table4 Three Phase Fault Identification between each Bus

		3-4	4-5	6-7	7-8	9-10	10-11
		모선	모선	모선	모선	모선	모선
R1	MATLAB	10.594kA	9.464 kA	143 A	116 A	176 A	147 A
	PSCAD	10.707kA	9.608 kA	148 A	140 A	176 A	147 A
	확인	3-4	4-5	6,7,10,11	7-8	9,10	6,7,10,11
H2	MATLAB	10.594 kA	9.464 kA	143 A	116 A	176 A	147 A
	PSCAD	10.706 kA	9.608 kA	148 A	140 A	176 A	147 A
	확인	3-4	4-5	6,7,10,11	7-8	9,10	6,7,10,11
S1	MATLAB	322 A	9.464 kA	143 A	116 A	176 A	147 A
	PSCAD	306 A	9.608 kA	148 A	140 A	176 A	147 A
	확인	3-4	4-5	6,7,10,11	7-8	9,10	6,7,10,11
R3	MATLAB	224 A	201 A	6.642 kA	5.388 kA	172 A	145 A
	PSCAD	197 A	200 A	6.710 kA	5.474 kA	172 A	150 A
	확인	3-4	4-5	6-7	7-8	9,10	10,11
R4	MATLAB	224 A	201 A	6.642 kA	5.388 kA	172 A	145 A
	PSCAD	196 A	200 A	6.710 kA	5.474 kA	172 A	150 A
	확인	3-4	4-5	6-7	7-8	9,10	10,11
S2	MATLAB				5.671 kA		
	PSCAD				5.630 kA		
	확인				7-8		
R5	MATLAB	247 A	204 A	143 A	5.671 kA	8.148 kA	6.847 kA
	PSCAD	203 A	194 A	149 A	5.630 kA	8.259 kA	6.952 kA
	확인	3-4	4-5	6-7	7-8	9,10	10,11
H6	MATLAB					8.437 kA	7.089 kA
	PSCAD					8.434 kA	7.118 kA
	확인					9,10	9,10,10,11
S3	MATLAB						7.089 kA
	PSCAD						7.118 kA
	확인						10,11
고장 지점		3-4	4-5	6-7	7-8	9-10	10-11

그림3 4-5 모선 고장 시 계전기가 감지하는 고장전류
Fig.3 Each Relay sensing Fault Current Value waveform when fault generate 4-5 bus



2.3.3 존 구분 및 고장 지점 확인 절차

이 절에서는 존(구역) 개념을 도입하여[1] 현 우리나라 배전계통에 분산전원을 연계 시 리클로저와 섹서널라이저 보호협조를 살펴 보겠다.

리클로저와 섹서널라이저를 기준으로 존을 다음과 같이 구분하였다.

- 존1: 리클로저R1, 존2: 리클로저R2, 섹서널라이저S1,
- 존3: 리클로저R3, 존4: 리클로저R4, 섹서널라이저S2
- 존5: 리클로저R5, 존6: 리클로저R6, 섹서널라이저S3

다음은 고장 지점을 확인하는 절차이다.

- 1) off line 조류계산과 단락고장해석 실행
- 2) 조류계산값과 각 계전기가 감지하는 고장전류 확인
- 3) 각 계전기가 감지하는 고장 테이블 작성하여 고장 지점 확인
- 4) 고장 발생 시 모든 분산전원 즉시 분리

2.3.4 임의의 존에서 고장 발생 시 보호협조 방안 제시

- 존2의 5번 모선에서 고장이 발생하였을 경우 - 보호협조해야 하는 기기들은 R1과 S2이다. 분산전원이 분리되면 R1이 재폐로하여 순간고장과 영구고장을 판별하게 된다. 순간 고장 시는 동기화 검사를 통해 정상상태로 운전하게 된다. 영구 고장 시 리클로저 R1이 트립 되기 전에 섹서널라이저가 동작하여 고장을 제거하게 된다.
- 존4의 7번 모선에서 고장이 발생하였을 경우 - 보호기기는 R4이다. 존1과 마찬가지로 분산전원이 분리되면 리클로저 R4가 재폐로 하여 순간고장과 영구고장을 판별한다. 순간 고장 시는 존1 5모선 고장 경우와 같고 영구 고장 시에는 리클로저 R4가 트립하여 고장을 제거하게 된다.
- 존5의 9번 모선에서 고장이 발생하였을 경우 - 이 경우도 존1과 존2와 마찬가지로 분산전원이 분리되면 리클로저 R5가 재폐로 하여 순간고장과 영구고장을 판별한다. 순간 고장 시에는 위 두 경우와 같고 영구 고장 시에는 리클로저 R5가 트립하여 고장을 제거하게 된다.

그림4는 이러한 보호시스템 알고리즘의 흐름을 보여 준다.

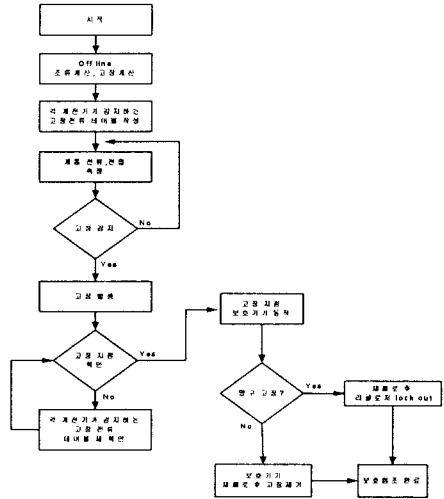


그림4 분산전원에 배전계통 연계를 위해 제한된 보호 시스템 알고리즘

Fig.4 Proposed protection system algorithm for interconnection with power distribution system of cogeneration system

3. 결 론

분산전원이 배전계통에 연계되었을 때, 대용량 발전시스템의 신설 수요 지연, 선로 등 부대시설의 건설비용 절약 등의 장점이 있지만, 기존 배전계통의 단방향 전력 조류와 달리 양방향의 전력조류가 형성되어 전압조정 문제, 단락용량 초과, 보호협조, 단독운전 발생, 상불평형 발생 등의 문제가 발생할 수 있어 배전계통의 운용에 커다란 악영향을 끼칠 수가 있다.

따라서 본 논문에서는 계전기가 감지하는 고장전류로서 고장 위치를 찾는 방법을 적용해 현 우리나라 22.9[kV] 배전계통에 다수의 분산전원 연계를 가정하여 고장 감지 및 고장 지점을 확인하였다. MATLAB과 PSCAD를 사용하여 3상 단락사고 해석과 조류계산을 실행하였다. 또한 배전계통에 분산전원 연계 시 리클로저와 섹서널라이저 보호협조를 분석해 보았으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 실시간 주전원과 모든 분산전원의 전류를 모니터링 해야 한다.
- 2) 원격 통신이 가능해야 한다.
- 3) 고속 네트워크를 구축해야 한다.
- 4) 고장 발생 시 모든 분산전원이 보호기기가 동작하기 전에 가능한 빨리 분리 되어야 한다..

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

[참 고 문 헌]

- [1] Sukumar M. Brahma, A. Girgis, "Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution System With High Penetration of Distributed Generation", IEEE Trans. ,vol.19,No.1,January2004,
- [2] 최준호,정성교외, "배전계통에 연계된 열병합발전 시스템의 개선된 보호협조 방안"에 관한 연구", 대한 전기학회지, Vol 49A, No6, pp 280-288, Jun.2000년.
- [3] J.J.Burke, "Power Distribution Engineering", New York: Marcel Dekker,
- [4] 한국전력공사 배전전, 배전보호기술서, 1995