

보호기기 특성을 고려한 분산전원 연계 계통의 사고 배전선 판별 알고리즘

°김세근*, 김광호*, 장성일**
 강원대학교*, 서울대학교**

**Discrimination of the Faulted Feeder in Grid with Distributed Generations
 Considering the Characteristics of Protection Devices.**

°S. G. Kim* K. H. Kim* S. I. Jang**
 *Kangwon National Univ. **Seoul National Univ.

Abstract - This paper proposes the discrimination method for the fault location, whether it is within the line where the distributed generation(DG) is integrated or out of the line (but sharing the same bus of the substation). In general, DG has to be disconnected from the grid when the fault occurs on the interconnected distribution feeder as soon as possible. However, the faults occurred on the neighboring feeder would mistakenly cause the disconnection of the DG. For reliable operation of DG, DG should be sustained at the fault occurred on neighboring distribution feeders. The proposed identification method utilizes the impedance monitored from the DG and examines the coordination of overcurrent relay of the distribution system. This paper describes how the proposed method to identify the faulted feeder and how the method can be utilized.

1. 서 론

최근의 에너지 환경 변화와 대규모 발전설비 건설의 어려움으로 인해 대체에너지 형태의 다양한 분산전원의 보급이 확대되고 있다. 분산전원의 계통 연계는 단방향의 전력 조류만을 고려하여 운영 되던 기존의 배전 시스템에 여러 가지 새로운 영향을 미치게 될 것이다. 이에 분산전원에 설치된 보호 장치들은 발전기 자체의 고장은 물론 계통 상황에 적절히 대처하여 운전할 수 있도록 고안되어야 할 것이다. 특히, 분산전원이 연계되어 있는 배전선에서의 사고는 배전용 차단기의 동작이 예상되므로 분산전원 단독으로 전력을 공급하는 고립운전이 발생하게 된다. 이러한 분산전원의 단독운전은 인명피해, 재페로 계전기의 재페로 시 상불평형에 의한 기기손상, 전력품질의 저하 및 계통 복구의 어려움 등 많은 문제를 발생시킬 가능성이 있다. 따라서 계통에 사고가 발생했을 때에는 가능한 신속히 계통의 이상 상태를 파악하여 분산전원을 계통으로부터 분리 시켜주어야 한다 [1-3]. 그러나 분산전원이 연계된 배전선 이외의 고장, 즉 인접 배전선 고장에 대해 분산전원이 불필요하게 계통으로부터 분리되는 것을 예방하고 사고가 계통으로부터 제거될 때까지 정상적으로 동작하도록 해야 할 것이다. 따라서 분산전원 측면에서는 연계 배전선의 고장과 외부배전선 고장을 명확히 구분하는 것은 매우 중요한 과제 일 것이다.

본 논문에서는 분산전원이 연계된 배전선에서의 고장과 외부배전선의 고장을 구분하는 기법에 대하여 기술하였다. 배전선에서의 고장은 고장 위치와 종류에 따라 분산전원의 출력 전압과 전류의 변동을 가져오게 되는데 이와 같은 고장 특성은 고장 후 계통의 토폴로지에 의해 결정되어진다 [4]. 배전선에서 발생한 같은 종류의 고장 중 분산전원이 직접 연계된 배전선의 고장은 분산전원 단을 기준으로 고장 지점까지의 선로임피던스의 크기가 외부 배전선 고장에 대한 그것들보다 비교적 작게 측

정되어진다. 따라서 본 논문에서는 임피던스의 변동과 연계 배전계통의 과전류 계전 알고리즘을 이용하여 분산전원이 연계된 배전선 고장과 외부배전선고장을 구분하였다. 제안된 고장 선로 판단기법은 계통에서 발생할 수 있는 대부분의 고장 종류에 대하여 신뢰성 높은 평가결과를 보였다.

2. 분산전원의 보호기기 및 동작특성

2.1 분산전원에 설치된 보호기기

분산전원이 공용선로를 통하여 배전계통에 연계될 때 연계 배전계통 및 분산전원의 보호를 위해 우리나라에서 규정하고 있는 계전 알고리즘을 그림 1에 나타내었다 [5]. 그림에서 보여주는 것처럼 분산전원이 연계된 배전계통에 설치되어 있는 보호기기로는 과전류 계전기(51), 지락 과전류 계전기(51G), 저전압 계전기(27), 재페로 계전기(79), 리클로저(R)로 구성되어 있다. 그리고 분산전원의 보호를 목적으로 사용되는 보호기기로는 분산전원 전단에 과전류 계전기(51), 저전압 계전기(27), 과전압 계전기(59), 주파수 계전기(81), 무효전력 방향 계전기(32Q)가 설치된다.

2.2 보호기기의 동작특성

분산전원 전단에 설치되는 보호기기는 일차적으로 단독운전방지를 목적으로 한다. 여기에서 무효전력 방향계전기는 전력의 역송을 방지하는 목적으로 사용되고 분산전원 고장 검출에 유리한 32P와 32Q를 추가로 설치할 수 있다. 그리고 저전압 계전기, 과전류 계전기, 주파수 계전기는 연계선로 보호 및 발전기 단독 운전 방지를 목적으로 사용된다. 이러한 보호계전기의 설정치는 분산전원의 운전특성을 고려하여 계전기 고장 검출시간 및 동작 시간에 분산전원이 정상적으로 동작 할 수 있는 범위로 정정할 수 있다. 본 논문에서는 모선에 설치된 계전기와 분산전원 단에 설치된 계전기가 같은 동작 특성을 가지는 것으로 가정하였으며 분산전원 보호용 과전류 계전기는 사고전류가 최대정격전류의 150% 이상이 되었을 때 동작하도록 하였으며 저전압 계전기는 계통 전압이 정격전압의 80% 이하로 감소하면 동작하도록 설정하였다. 그리고 주파수 계전기는 정격 주파수의 ±5 % 이상의 변화를 0.3초 이상 지속할 경우 동작하도록 설정되었다. 이 설정치들은 배전계통 보호용 계전기들이 일반적으로 가지고 있는 설정치이며 분산전원이나 연계 배전계통의 특성에 따라 설치된 계전기의 조정 가능 범위에서 조정 되어질 수 있다.

3. 분산전원 연계 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 22.9 kV 배전계통을 모델링 하였으며, 분산전원 형태는 동기 발전기들로 가정하여 모의하였다. 분산전원 연계 배전계통은 우리나라의 22.9 kV 실계통 데이터를 이용하여 구성하였다.

3.1 연계배전계통 모델링

분산전원이 연계 운전 될 배전계통은 단락용량이 100 MVA인 22.9 kV 계통이고, 일반적인 ACSR 160 mm²와 95 mm²의 배전선으로 구성되었다. 모선은 서로 다른 부하용량을 가진 5개의 간선들로 이루어져 있으며, 각 구성요소는 실 계통 데이터를 이용하여 모델링 되었다. 그리고 다양한 고장을 모의하기 위하여 임의의 고장지점을 선정하였는데, 외부 배전선 고장과 연계배전선 고장 특성을 분석하기 위해 피더 2와 피더 3에 임의의 고장지점을 선정하였다. 그림 2는 고장 모의에 사용된 모델 계통의 단선도이다.

3.2 분산전원 모델링

본 연구에서는 분산전원을 소형의 동기 발전기로 가정하였으며 EMTDC에서 제공하는 동기 발전기 모듈과 발전기 제어 모듈을 이용하여 구성하였다 [6]. 본 논문에서는 분산전원을 3 MVA의 용량을 갖는 3대의 소형 동기발전기로 모델링하였으며 피더 3의 말단에 공용선을 이용하여 연계된 것으로 가정하였다.

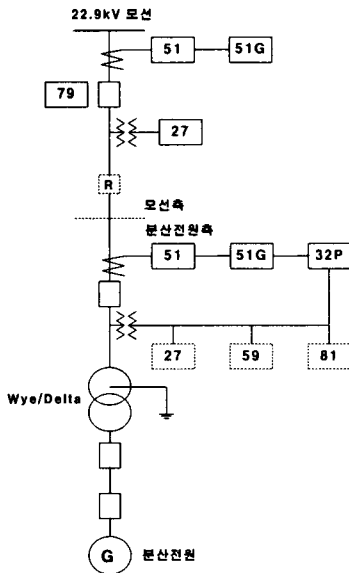


그림 1 분산전원이 연계된 배전계통의 보호기기

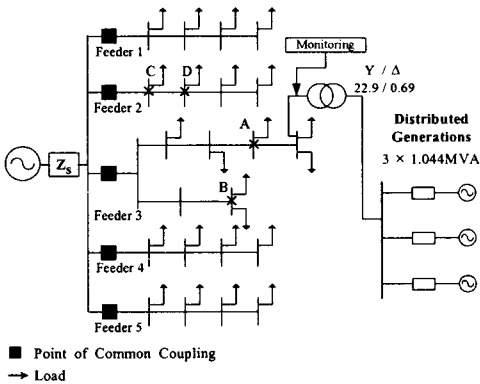


그림 2 분산전원이 연계된 배전계통 모델

4. 분산전원의 연계 계통 고장 선로별 특성

배전선에서의 사고는 사고 위치와 종류에 따라 분산전

원의 출력 전압과 전류의 변동을 가져오게 되는데 이와 같은 사고 특성은 사고 후 계통의 토폴로지에 의해 결정되어진다 [4]. 분산전원이 직접 연계된 배전선의 사고에서는 발전기 출력단 전압, 전류의 변동이 외부 배전선 사고의 그것들보다 비교적 크게 나타난다. 이는 분산전원이 설치된 곳으로부터 사고 발생지점이 멀어 질수록 사고에 대한 분산전원의 출력변동이 작아지기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 사고 후 분산전원 단에서 측정되는 전압, 전류의 크기를 이용하여 계산되어지는 임피던스의 크기와 배전계통의 과전류 알고리즘을 이용하여 분산전원이 연계된 배전선 사고와 외부배전선 사고를 판단하는 기법을 제안하였다. 즉, 분산전원으로부터 가까운 거리에 있는 내부 배전선의 사고는 작은 임피던스의 크기를 가지게 되고 분산전원으로부터의 거리가 먼 외부 배전선의 사고는 비교적 큰 임피던스의 크기를 가지게 된다. 분산전원 측에서 사고지점까지의 임피던스의 계산은 (1)과 같은 일반적인 거리 계전 알고리즘에서 사용되어지는 방법을 사용하였다.

$$Z = \frac{V}{I + kI_0} \quad (1)$$

$$k = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \quad (2)$$

여기서 V , I , I_0 는 전압과 전류 및 영상전류를 의미한다. 그리고 k 는 보호구간까지의 정상임피던스 Z_1 과 영상 임피던스 Z_0 로 계산되어진다.

내부 배전선에서 긴 공장을 가지는 분기선 사고는 외부 배전선의 모선으로부터 가까운 지점의 사고와 유사한 임피던스 크기를 가지게 된다. 이러한 경우에는 임피던스의 크기만을 이용하여 사고 배전선을 판별하기가 불가능하게 된다. 하지만 외부 배전선의 사고 중 모선으로부터 가까운 지점의 사고는 큰 사고전류를 동반하므로 배전선 보호용 과전류 계전기가 신속히 동작한다. 따라서 계통 보호용 과전류 계전기의 동작 특성을 고려하여 분산전원단의 보호기기를 동작하도록 조정한다면 내·외부 배전선 사고를 명확히 구별할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 임피던스의 크기와 동시에 모선측의 계통 보호용 계전기와와의 협조를 통하여 문제를 해결하였다.

5. 배전 계통의 고장 선로 판별 기법

5.1 고장 선로 판별 기법

본 절에서는 분산전원 단에서 측정되는 임피던스의 크기와 배전계통의 과전류 알고리즘을 이용하여 분산전원이 연계된 배전선 사고와 외부배전선 사고를 판단하는 기법을 제안하였다. 먼저, 분산전원 전단에 설치된 계통용 변성기를 통하여 발전기 출력단의 전압, 전류를 측정하고 이들을 기존의 거리계전알고리즘에서 사용되는 수식에 적용하여 임피던스를 계산한다. 이렇게 계산된 임피던스의 값을 사고 배전선의 위치를 판단하기 위한 설정치와 비교하여 연계 배전선 고장과 인접 배전선 고장을 구분한다. 이 설정치는 계통 조건에 따라 달라질 수 있다. 그리고 임피던스만을 이용하여 사고 배전선을 구분하기 어려운 지점의 사고일 경우에는 모선에 가까운 인접 배전선 고장과 연계 배전선 고장은 계전점을 통하여 흐르는 고장전류의 크기가 달라지는 특성을 이용하였다. 따라서, 임피던스의 크기와 동시에 계전점의 모선 보호용 계전기 보호 알고리즘과의 협조를 통하여 고장 선로를 구분하도록 하였다. 그림 3에 본 논문에서 제안한 고장 선로 판별 기법에 대한 순서도를 나타내었다. 그리고 표 1에 고장 선로 판별 기법에서 이용된 임피던스 설정치를 나타내었다.

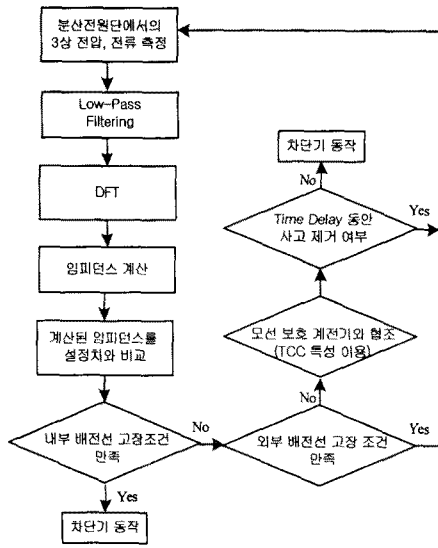


그림 3 제안된 고장 배전선 판별 순서도

표 1 제안된 기법의 임피던스 설정치

구분	연계 배전선 고장		인접 배전선 고장	
	R	X	R	X
1선고장	5 Ω 이하	1 Ω 이하	20 Ω	2 Ω
			200 Ω	30 Ω

5.2 제안된 기법의 검증

본 논문에서 제안된 알고리즘을 피더 3의 A와 B 지점 그리고 피더 2의 C와 D 지점의 1선 지락 고장에 대하여 평가하였다. A와 B 지점은 분산전원이 연계된 내부 배전선로에서의 사고이며, C와 D 지점은 외부 배전선로의 사고 지점이다. A와 B 지점에서 사고가 발생하였을 경우에는 배전계통에 설치된 보호기기들의 동작이 예상되므로 분산전원을 배전계통으로부터 절제시켜주어야 하며 C와 D 지점의 사고에서는 분산전원이 불필요하게 배전계통으로부터 절제 되는 것을 막아 정상적으로 운전하도록 해야 한다.

그림 4에 제안된 알고리즘의 평가 결과를 보여주고 있다. 제안된 기법은 A 지점 고장을 정확히 연계 배전선에서의 고장으로 구분하여 신속히 분산전원에 설치된 차단기를 동작시키기 위한 트립 신호를 발생하였다. 반면, D 지점에서의 고장은 외부 배전선로 사고로 판단하여 불필요한 분산전원의 계통 절제를 방지하였다. B와 C 지점에서의 고장은 단지 임피던스 크기만을 모니터링하여 고장 배전선로를 구분하기는 곤란하다. 그러나 제안된 기법은 모의 결과에서도 알 수 있듯이 모선측의 계전기와 협조하여 사고 배전선로를 효과적으로 구분하였다. B 지점에서의 고장은 분산전원이 연계된 내부 배전선로의 고장으로 분산전원 보호 계전기의 동작 특성만큼 시간 지연 후 고장 판단 트립 신호가 발생하였다. 하지만 C 지점에서의 고장은 모선측의 계전기가 분산전원 보호용 계전기보다 신속히 동작하여 사고가 제거되고 이후 분산전원은 정상적으로 동작하고 있는 것을 보여준다.

제안된 기법은 결과에서 보여주는 것처럼 외부 배전선 고장이 분산전원 보호 계전기에 영향을 미치더라도 고장 배전선 판별 알고리즘에 의해 분산전원 보호 계전기가 오동작 하는 것을 방지하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 내부 배전선 사고의 경우에는 분산전원에 설치된 보호기기들이 신속히 동작하도록 조정함으로써 사고로부터의 분산전원 영향을 최소화 하였다.

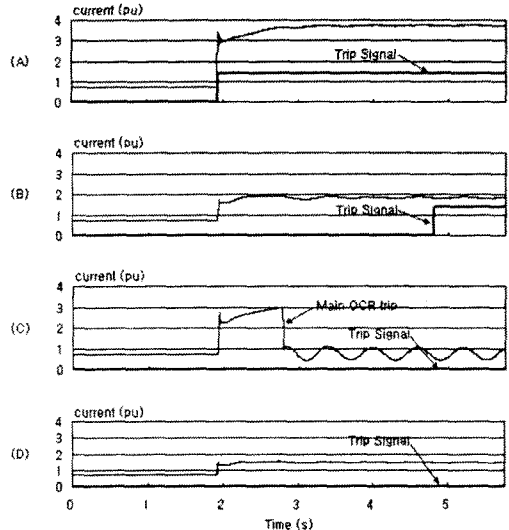


그림 4 제안된 고장배전선 판별 알고리즘 평가 예

6. 결 론

본 논문에서는 분산전원이 연계된 배전선 고장과 외부 배전선 고장을 구분하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 분산전원 출력단의 전압, 전류를 측정하고 이들을 기준으로 임피던스를 계산 한 후, 임피던스 설정치와 비교하여 연계 배전선 고장과 인접 배전선 고장을 구분한다. 모선에 가까운 인접 배전선 고장과 연계 배전선 고장은 임피던스의 크기와 동시에 연계점과 계전점의 계전기들의 보호협조를 통하여 고장 선로를 구분하였다. 제안된 고장 선로 판단기법은 계통에서 발생할 수 있는 대부분의 고장에 대하여 신뢰성 높은 평가결과를 보였다. 향후에는 실제 대관령 풍력 실증단지 전단에 설치된 보호계전기들에 제시된 기법을 적용하여 평가할 예정이며, 다양한 분산전원에 대해서도 적용 가능성을 검토 할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 과학 기술부 및 한국과학재단의 ERC 프로그램을 통한 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

[참고문헌]

- [1] M A Redfern, O Usta and J I Barrett, "Loss of Grid Protection for an Embedded Generator." IEE, 1993
- [2] P. O'Kane, B. Fox, "Loss of Mains Detection For Embedded Generation by System Impedance Monitoring." IEE, Conference Publication No. 434, 1997
- [3] O Usta, M. A. Refem, "Protection of Dispersed Storage and Generation Units Against Islanding." IEEE, No. 0-7803-1772-6/94, 1994
- [4] Arthur R. Bergen, Vijay Vittal "Power Systmes Analysis - 2nd ed." Prentice Hall, 1999. 8
- [5] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침" 1996. 8
- [6] Manitoba HVDC Research Centre, "EMTDC V3 User's Manual"