

분산전원이 연계된 배전 계통의 고장 선로 구분

김세근, 김광호, 장성일, 강용철\*\*  
 강원대학교, \*\*서울대학교, \*\*\*전북대학교

Identification of the Faulted Feeder in Distribution Networks with Distributed Generations

\*S. G. Kim\* K. H. Kim\* S. I. Jang\*\* Y. C. Kang\*\*\*  
 \*Kangwon National Univ. \*\*Seoul National Univ. \*\*\*Chonbuk National Univ

**Abstract** - This paper proposes the identification method for the faulted feeder, where it identify whether the faulted feeder is the DG-connected feeder or the neighboring feeder (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

전력계통에 연계 운전되는 분산전원은 계통의 운전조건에 종속적으로 동작하며, 발전기의 단독운전을 예방하기 위하여 연계 계통의 전압이 존재할 경우에만 계통으로 전력을 공급할 수 있도록 규정하고 있다. 일반적으로 분산전원이 연계된 배전선에서의 고장은 배전선 차단기의 동작으로 무전압상태가 예상되기 때문에 분산전원 측에서는 가능한 신속히 고장을 검출하여 발전기를 계통으로부터 절제시키는 것이 바람직 할 것이다 [1-3]. 그러나 분산전원이 연계된 배전선 이외의 고장, 즉 인접배전선 고장에 대해 분산전원이 불필요하게 계통으로부터 분리되는 것을 예방하기 위하여 고장이 차단기의 동작으로 제거될 때까지 정상적으로 동작하도록 해야 할 것이다. 따라서 분산전원 측면에서는 연계 배전선 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 결정되어 진다 [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 측정되어진다. 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

우리나라에서 규정하고 있는 분산전원 연계 배전계통 보호방식을 그림 1에 나타내었다. 분산전원이 연계된 배전계통에 설치되어 있는 보호기기로는 과전류 계전기(51), 지락 과전류 계전기(51G), 저전압 계전기(27), 재폐로 계전기(79), 리클로저(R)로 구성되어 있다. 분산전원의 고립운전 방지 및 연계선로 보호를 목적으로 사용되는 보호기기로는 발전기 전단에 과전류 계전기(51), 저전압 계전기(27), 과전압 계전기(59), 주파수 계전기(81), 무효전력 방향 계전기(32Q)가 있다 [5].

2.2 보호기기의 동작특성

분산전원단에 설치되는 보호기기는 일차적으로 단독운전방지를 목적으로 한다. 이들 보호계전방식에 사용되는 보호 기기들은 저전압 계전기, 무효전력 방향계전기, 과전류 계전기, 과전압계전기, 주파수계전기가 있다. 여기서 방향계전기는 전력의 역송을 방지하는 목적으로 사용되고 분산전원 고장 검출에 유리한 32P와 32Q를 추가하여 설치한다. 그리고 저전압 계전기, 과전압 계전기, 주파수 계전기는 연계선로 보호 및 발전기 단독 운전방지를 목적으로 사용된다. 보호계전기 설정치는 분산전원의 운전특성을 고려하여 계전기 고장 검출시간 및 동작시간에 분산전원이 정상적으로 동작 할 수 있는 범위로 설정하고 있다.

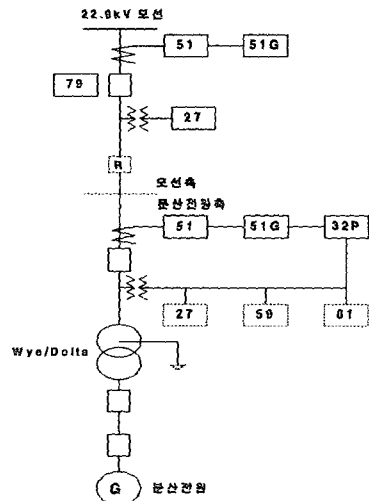


그림 1 분산전원이 연계된 배전계통의 보호기기

3. 분산전원 연계 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 22.9 kV 배전계통을 모델링 하였으며, 분산전원 형태는 농형 유도 발전기들로 가

정하여 모의하였다. 분산전원 연계 배전계통은 우리나라의 22.9 kV 실계통 데이터를 이용하여 구성하였다.

### 3.1 분산전원 모델링

본 연구에서는 분산전원을 풍력발전기에서 일반적으로 이용되는 농형 유도 발전기로 가정하였으며 EMTDC에서 제공하는 농형발전기 모듈을 이용하여 구성하였다 [6]. EMTDC에서 제공된 농형 발전기 모듈은 계통에 직접 연결할 수 있는 단자와 발전기의 출력을 조절하는 외부 제어 단자들이 표시되어 있다. 농형 유도 발전기 모듈의 경우 내부 용량이 주어지면 일반적인 내부 파라미터를 생성하므로 750 kVA의 일반적인 풍력발전기로 모델링 하였다. 본 논문에서는 4대의 750 kVA 농형 풍력 유도 발전기로 구성된 3 MVA 용량의 풍력발전단지를 모델링 하여 다양한 모의를 진행하였다.

### 3.2 연계배전계통 모델링

분산전원이 연계 운전 될 배전계통은 단락용량이 100 MVA인 22.9 kV 계통이고, 일반적인 ACSR 160 mm<sup>2</sup>와 95 mm<sup>2</sup>의 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 B와 피더 C에 임의의 고장지점을 선정하였다. 그림 2는 고장 모의에 사용된 모델 계통의 단선도이다. 분산전원은 최대용량으로 발전하고 있다고 가정하였다.

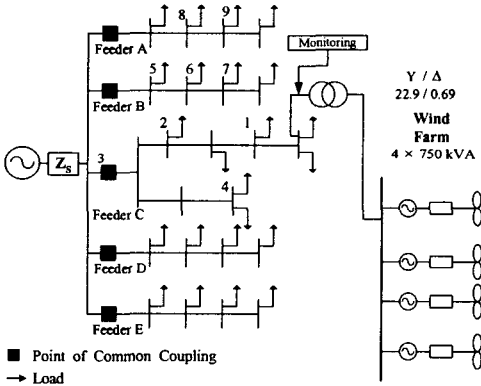


그림 2 분산전원이 연계된 배전계통 모델

## 4. 분산전원의 연계 계통 고장 선로별 특성

### 4.1 연계 배전선 고장

본 연구에서는 그림 2에서 구성된 배전계통을 대상으로 분산전원이 연계된 피더 C의 임의의 고장지점 1, 2, 3, 4번을 설정하여 1선 지락고장을 모의 하였다. 분산전원 단에서 측정된 전압, 전류를 (1)에 적용하여 계산한 임피던스 도를 그림 3에 나타내었다.

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

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

여기서  $V$ ,  $I$ ,  $I_0$ 는 전압과 전류 및 영상전류를 의미한다. 그리고  $k$ 는 보호구간까지의 정상임피던스  $Z_1$ 과 영상 임피던스  $Z_0$ 로 계산되어 진다. 피더 C에서의 1, 2, 3번 지점의 고장을 살펴보면 임피던스의 크기가 작은 것을 확인할 수 있다. 반면, 피더 C에서의 4번 고장은 다른 1, 2, 3번 고장과 비교하여 큰 임피던스를 갖는 것을 알 수 있다. 이는 고장이 발생한 지점이 분산전원과 모

선으로부터 먼 거리이기 때문이다.

### 4.2 인접 배전선 고장

연계 배전선 고장과 같은 고장 조건으로 인접 배전선 피더 B에서 임의의 고장지점 5, 6, 7번을 선택하여 1선 지락고장을 모의 하였으며, 이에 대한 결과를 그림 4에 도시 하였다. 모선에서 가까운 5번 고장을 제외하고는 임피던스 크기의 변화가 연계 배전선 고장에 비하여 작으므로 이들의 변화를 모니터링 한다면 연계 배전선 고장과 인접 배전선 고장을 쉽게 구별할 수 있을 것으로 예상된다. 모선에 가까운 인접 배전선 5번 고장 결과는 연계 배전선 4번 고장과 유사한 임피던스 크기를 나타내므로 임피던스의 크기만으로 이들 고장을 구분하는 방법에는 한계가 있을 수 있다. 그러나 4번과 5번 고장에서는 연계점을 통하여 흐르는 고장전류의 크기가 현저하게 다른 것을 아래에 나타낸 그림 5를 통하여 확인할 수 있다. 즉, 모선에 근접한 고장 발생지점인 5번 고장은 4번 고장에 비하여 계전점으로 매우 큰 전류가 흐르게 되므로 임피던스의 크기를 모니터링하는 것과 동시에 계전점 고장전류 특성을 고려한다면 이들 고장을 구분할 수 있을 것이다.

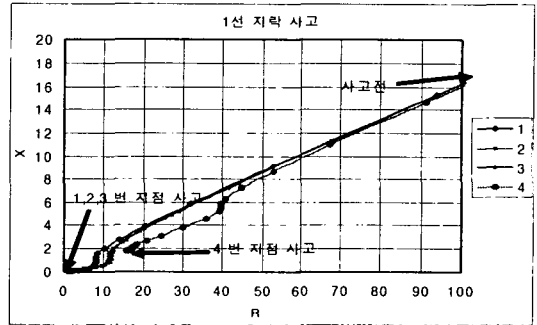


그림 3 연계 선로 1선 지락고장 시 임피던스의 변동

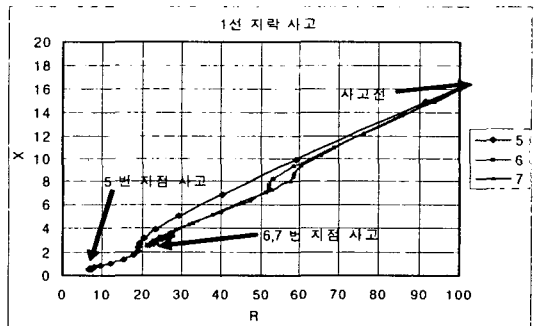


그림 4 인접 선로 1선 지락고장 시 임피던스의 변동

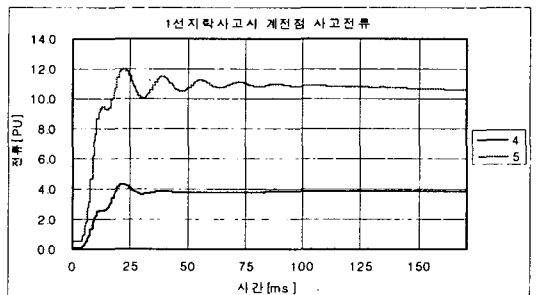


그림 5 연계 선로 1선 지락고장 시 계전점 전류의 변동

## 5. 배전 계통의 고장 선로 판별 기법

### 5.1 고장 선로 판단 기법

본 절에서는 전철에서 얻어진 고장 모의결과를 바탕으로 연계 배전선 고장과 인접 배전선 고장을 구분하는 방법을 제안하였다. 먼저, 분산전원 전단에 설치된 계기용 변성기를 통하여 발전기 출력단의 전압, 전류를 측정하고 이들을 기준으로 임피던스를 계산한다. 계산된 임피던스의 값과 설정치를 비교하여 연계 배전선 고장과 인접 배전선 고장을 구분한다. 모선에 가까운 인접 배전선 고장과 연계 배전선 고장은 그림 5에서 보여주는 것처럼 계전점을 통하여 흐르는 고장전류의 크기가 달라지게 된다. 따라서, 임피던스의 크기와 동시에 계전점 계전기의 보호알고리즘과 협조를 통하여 고장 선로를 구분한다. 표 1은 계전점 계전기의 동작 설정치를 나타내었다. 본 논문에서 제시된 고장 선로 판단 기법에 대한 순서도를 그림 6에 나타내었다. 표 2에서는 고장 선로 판단 기법에서 이용된 임피던스의 크기 및 Time Delay 설정치를 나타내었다.

### 5.2 제안된 기법의 평가

본 논문에서 제안된 고장 선로 판단 기법을 평가하기 위하여 피더 A의 8번과 9번 지점에서 1선 지락 고장을 모의, 평가하였다. 모의 결과 그림 7과 8에서 볼 수 있듯이 제안된 기법은 연계 배전선 고장과 인접 배전선 고장을 확실히 구분하였다.

표 1 과전류 계전기의 동작 설정치

계전기	Time Delay Setting (sec)						Instantaneous (sec)	Curve Type
	150%	300%	500%	700%	1000%	2000%		
51	12.15	2.22	1.00	0.68	0.53		0.05	VI
51G	13.88	2.53	1.13	0.78	0.62	0.48		

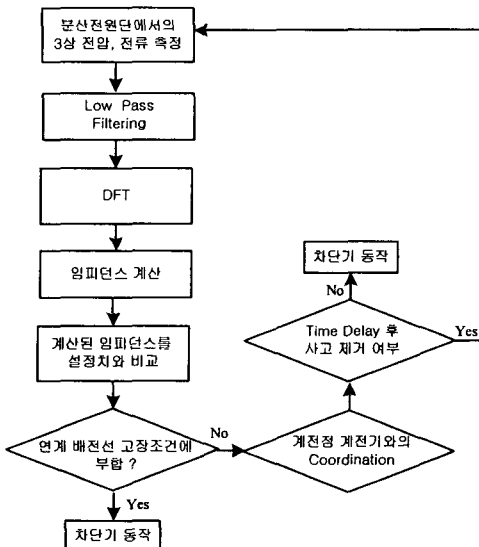


그림 6 제안된 고장 배전선 판별 순서도

표 2 제안된 기법의 파라미터 설정치

구분	연계 배전선 고장			인접 배전선 고장		
	R	X	Time Delay	R	X	Time Delay
1선고장	5 Ω 이하	1 Ω 이하	0.6 초	20 Ω ~ 200 Ω	2 Ω ~ 30 Ω	0.6 초

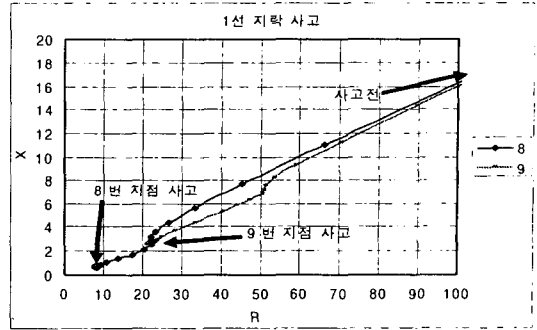


그림 7 제안된 고장 배전선 판별 알고리즘의 평가 예

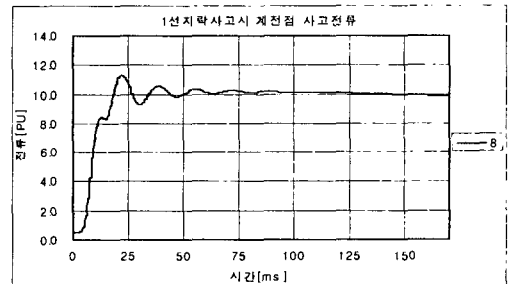


그림 8 8번 지점의 고장 시 계전점 전류

## 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 계전점들의 보호협조를 통하여 고장 선로를 구분하였다. 제안된 고장 선로 판별기법은 계통에서 발생할 수 있는 대부분의 고장에 대하여 신뢰성 높은 평가결과를 보였다. 일반적으로 임피던스 및 Time Delay 설정치는 계통조건에 따라 달라질 수 있다.

향후에는 실제 대관령 풍력 실증단지 전단에 설치된 보호계전기들의 동작 설정치를 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.

### [참 고 문 헌]

- [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. Refern, "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"