

분산전원 계통 연계 전용선로에 설치된 보호 계전기의 정정에 관한 연구

정 종 찬 장 성 일 최 돈 만 김 광 호
 강원대학교 전기전자정보통신공학부

A Study on Correction of the Protective Relay Equipped in the Dedicated Line Used for Connecting Distributed Generators to Power Network

Jong-Chan Jeong Sung-Il Jang Don-Man Choi Kwang-Ho Kim
 Department of Electrical and Computer Engineering, Kangwon National University

Abstract - This paper describes the correction of the protective relay equipped in the dedicated line used for connecting distributed generators (DG) to power grid. The fault current measured in a relaying point might be changed according to the fault conditions. Generally, the fault current of the line to line fault or the line to ground fault at the dedicated line is much higher than the protective set value due to the large fault level. However, when the high impedance fault is occurred in the dedicated line, we may not detect it because its fault level can be lower than the generating capacity of DG. And, the protective relay with conventional set value may generate a trip signal for insertion of DG due to the large transient characteristics of generators. Through the various simulations such as the fault in the dedicated line and the insertion of DG, we show that it would be necessary to modify the protective relay set value for detecting the high impedance fault occurred in the dedicated line and for preventing the mis-operation of protective relay caused by the insertion of DG.

1. 서 론

현재 우리나라에서는 전력계통의 영향을 고려하여 3 MVA 이상의 분산전원은 22.9 kV 전용선을 이용하여 154 kV 변전소에 직접 연계시키도록 권고하고 있다. 이러한 분산전원의 계통 연계를 위한 전용선에는 과전류 계전기(51I), 지락 과전류 계전기(51G), 저전압 계전기(27) 등이 설치되어 계통의 사고를 검출하고, 계통의 정상적인 운전을 돕는다. 현재, 전용선에 설치된 보호기기의 설정치는 배전선로 보호용 계전기와 같도록 설정하는 것이 일반적이다 [1].

대부분의 경우 전용선에서 발생하는 지락 및 단락 사고는 사고 용량이 분산전원에 비하여 크므로 기존의 보호 계전기 설정치로 쉽게 검출할 수 있다. 그러나 고저항 사고의 경우, 사고 용량이 분산전원의 발전용량에 비하여 작고, 사고로 인한 계통의 전압 강하가 적게 발생하여 분산전원이 정상적으로 동작할 수 있다면, 사고 시에도 계속해서 전력을 계통으로 공급 할 수 있으므로 기존의 보호 계전기 설정치를 이용한 전용선 사고 검출이 불가능해 질 수 있다. 한편, 계통 연계를 위한 전용선에 설치된 보호 계전기들이 기존의 보호 계전기 설정치를 그대로 갖도록 규정되었을 경우, 계통 연계 시 큰 돌입 전류를 요구하는 유도기들로 구성된 분산전원은 계통의 운전상황을 사고 설정치 이상으로 증가시켜 오동작을 발생시킬 수 있다 [2-4]. 따라서 전용선에서 발생하고 저항 사고와 계통 연계 시 발생하는 돌입전류에 따른 보호

계전기 오동작을 예방하기 위해 분산전원의 발전기 종류 및 사양 그리고 다양한 전송선 사고 모의를 통하여 기존의 보호 계전기 설정치를 변경하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 분산전원 계통 연계를 위한 전용선로에서의 사고 검출용 보호 계전기들의 정정에 대하여 기술하였다. 과도현상해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 유도발전기들로 구성된 9.75 MVA 용량의 풍력 단지를 모델링하고 전용선을 이용하여 22.9 kV 모선에 연결시켜 분산전원 투입과 전용선 사고 등을 모의하였다. 모의 결과, 분산전원의 용량 증가에 따라 계통 투입 시 돌입전류로 인하여 계전기가 오동작 할 수 있는 경우가 발생하였으며, 전용선 고 저항 사고 시 분산전원의 영향으로 인하여 사고를 검출하지 못하는 경우도 발생하였다. 이에 전용선 보호용 계전기 설정치는 분산전원의 운전 특성과 출력특성을 충분히 고려하여 재설정하는 것이 바람직하리라 사료된다.

2. 본 론

2.1 분산전원 연계 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 풍력 유도 발전기들로 구성된 풍력 단지를 모델링 하였으며, 연계 계통으로는 우리나라의 22.9 kV 실계통 데이터를 이용하여 구성하였다 [5].

A. 22.9 kV 배전계통 모델링

분산전원이 연계되는 배전계통은 용량이 45 MVA인 변압기와 선간전압 22.9 kV인 실계통 데이터를 이용하여 구성하였다. 우리나라의 경우 분산전원이 3 MVA 이상이면 전용선을 설치하여 22.9 kV 모선에 연계하도록 규정하고 있으므로, ACSR 160 mm²를 이용하여 22.9 kV 모선과 10 km 떨어진 지점에 분산전원을 위치시키고 다양한 분산전원의 운전특성을 모의 하였다. 그림 1은 모델링된 22.9 kV 배전계통의 단선도를 나타내고 있다.

B. 분산전원 모델링

PSCAD/EMTDC에서는 동기기는 물론 유도기 형태의 기기들을 제공하고 있으며, 제어 기법에 따라 발전기와 전동기로 동작시킬 수 있다. 본 연구에서 이용된 풍력발전 단지는 그림 2에서와 같은 농형 풍력 유도 발전기들로 이루어진 것으로 가정하였다. 그림에서 우측에 표시된 A, B, C는 계통에 연결되는 3상 전원을 의미하며, 좌측의 W, S, T는 발전기의 출력을 조절하기 위한 외부 제어 단자를 표현한다. 여기서, W는 풍력 유도발전기의 회전속도를, S는 발전기 출력특성 제어 변수를, 그리고 T는 음의 값으로 유도발전기의 외부 입력을 의미한다. 농형 유도발전기의 경우 내부 용량이 주어지면 일반적인 내부파라미터를 생성하므로, 본 논문에서는 풍력발전기를 750 kVA의 용량으로 모델링 하였다. 그리고 13대의 750 kVA 풍력발전기로 풍력발전 단지를 구성하여 계통 투입 시와 전용선 사고에 따른 풍력발전 단지의 계통 영

향을 살펴보았다.

2.2 분산전원 전용선로 보호 계전 기법

분산전원의 계통 연계를 위한 전용선로에 설치된 보호 계전기로는 과전류 계전기(51)와 지락 과전류 계전기(51G) 등이 있다. 전용선 보호를 위한 계전기들은 그림 3과 같이 22.9 kV 모선과 전용선이 연계되는 지점에 설치된다.

A. 분산전원 전용선로 보호 기법

전용선에는 22.9 kV 모선 측에 과전류 계전기와 지락 과전류 계전기 및 저전압 계전기(27)가 설치된다. 그리고 분산전원 측에는 과전류 계전기, 지락 과전류 계전기, 저전압 계전기, 과전압 계전기(59), 주파수 계전기(81)들이 설치되어 발전기와 분산전원 구내에서 발생한 사고 및 발전기 단독 운전을 방지하는데 이용된다. 여기서 모선 측과 분산전원 측에 설치되는 과전류 계전기는 주로 3상과 2선 단락 사고에 대한 보호 책무를 가지며 지락 과전류 계전기의 경우는 단상지락과 2선 단락 등 3상 불평형 사고에 대한 보호 책무를 가진다. 그리고 모선 측의 저전압 계전기는 재폐로 및 비동기 투입 방지 설비이다. 전용선로에 설치된 보호기기에 대한 단선도를 그림 3에 나타내었다 [1].

B. 분산전원 전용선로 보호 기법

본 연구에서의 전용선로 보호용 과전류 계전기는 사고 전류가 최대정격전류의 150 % 이상이 되었을 때 동작하도록 설정된 것으로 가정하였으며 지락 과전류 계전기는 중성선에 설치되어 최대 부하 전류의 30 % 이상이 되었을 경우에 동작하는 계전기로 가정하였다. 그리고 저전압 계전기는 계통 전압이 정격전압의 80 % 이하로 감소하였을 경우에 동작하도록 설정하였다. 본 연구에서 이용된 과전류 계전기와 지락 과전류 계전기 및 저전압 계전기의 설정치는 현재 배전선로 보호용으로 사용되는 값들을 기준으로 설정하였다 [6].

2.3 분산전원 투입 및 전용선로 사고 특성 분석

본 절에서는 PSCAD/EMTDC로 구성된 22.9 kV 배전계통을 이용하여 풍력발전단지의 계통 연계 특성과 전용선 사고 특성을 모의 분석하였다. 풍력발전단지는 고정자의 회전자계 속도와 유사한 동기속도에서 계통에 점진적으로 투입되도록 제어되는 소프트 컷-인 (Soft cut-in) 기법을 이용하여 계통에 연계되도록 모의하였다. 그리고 전용선 사고 모의 종류로는 지락, 단락 사고 및 고 저항 사고로 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다.

A. 분산전원 계통 연계 특성

분산전원의 계통 연계 특성을 모의를 하기 위하여 0.5 초에 풍력발전단지를 일시에 계통에 투입 하였다. 여기서, 분산전원의 계통 연계에 대한 영향만을 고려하기 위하여 연계 후 발전기 출력 변동은 없는 것으로 가정하여 모의하였다. 분산전원 투입에 따른 계전점 전류, 전압과 중성선 전류 및 풍력발전단지의 유·무효전력 변동은 그림 4에 나타내었다. 그림에서 계전점 전압, 전류 및 중성선의 불평형 전류는 계통 정격전압과 최대 부하전류를 기준으로 계산되었다. 그림에서와 같이 분산전원 투입 시 돌입전류가 상당히 크게 발생하여 최대 부하전류의 187 %까지 증가하므로 과전류 계전기의 오동작을 일으킬 가능성이 있다. 그리고 계전점 전압 역시 정격전압의 82.1 %까지 강하하므로 저전압 계전기의 오동작 원인이 될 수 있다. 분산전원이 삼상 평형 발전기들로 모델링 되어 있으므로 중성선에서의 불평형 전류는 거의 나타나지 않았다. 계통 연계에 따른 유·무효전력 변화는 연계 시 급격히 변동하는 특성을 보였다.

B. 지락 및 단락 사고

일반적으로 전용선의 지락, 단락 사고는 사고 용량이 상당히 크므로 계전점에서의 사고 전류는 설정치 이상으로 증가한다. 22.9 kV 모선으로부터 6 km 떨어진 지점에서의 전용선 지락, 단락 사고에 대한 모의 결과를 나타낸 그림 5에서 1선 지락 사고 시 사고 전류는 최대 부하 전류의 -594 %까지 증가하며, 전압은 정격전압의 49.3 %로 강하되었다. 그리고 2선 단락 사고의 사고 전류는 최대부하전류의 -510 %까지 증가하며, 전압은 정격전압의 62 %로 감소하였다. 따라서 이와 같은 전용선로 사고는 기존의 계전기 설정치로 사고 검출이 가능함을 알 수 있다. 그림에서 전류의 부호가 양인 경우는 발전기가 전력을 생산하여 계통으로 공급함을 의미하고, 음일 때에는 연계 계통으로부터 전용선으로 전력이 유입됨을 나타낸다.

C. 고 저항 사고

그림 6은 분산전원이 연계된 전용선로에서 큰 사고 저항을 갖는 고 저항 사고가 발생하였을 때의 사고 전류 흐름을 나타내고 있다. 사고 저항으로 인하여 사고 용량 (I_F)은 전용선에 설치된 분산전원의 발전 용량 (I_{DC})보다 작게 되고 사고점으로 유출되는 전류를 제외하고 나머지 전류 (I_S)는 계통으로 공급된다. 이러한 특성을 갖는 전용선로의 고 저항 사고는 기존의 사고 검출 알고리즘으로는 구별이 불가능하게 된다. 본 연구에서는 계통 고 저항 사고 시 분산전원의 운전특성을 모의하기 위하여 전용선의 지락, 단락 사고와 같은 사고 조건에서 사고점 저항을 30 Ω, 100 Ω, 200 Ω로 달리하는 다양한 고 저항 사고를 모의, 분석하였으며 모의 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림에서 실선은 사고저항을 30 Ω로 설정한 경우의 모의 결과로써 사고 용량이 크므로 계통의 전류를 소비하는 특징을 보였으며, 중성점에서의 불평형 전류도 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 계통의 고 저항 사고는 중성점의 불평형 전류가 현재의 사고 검출 설정치 이상으로 증가하므로 쉽게 검출될 수 있었다. 그러나 사고 용량이 작은 100 Ω과 200 Ω 사고의 경우 전술한 것과 같이 분산전원의 출력에 감소한 형태로 전력을 계통으로 공급하는 특징을 가지므로 기존의 사고 검출 설정치로는 검출이 불가능하게 된다. 그리고 중성선의 불평형 전류도 사고 용량에 반비례하여 작게 나타나므로 이를 이용한 사고 검출도 쉽지 않은 것을 알 수 있다.

2.4 분산전원 전용선로 계전기 설정치 설정

본 절에서는 전용선로 배전계통에 연계된 분산전원의 운전 특성과 사고 특성을 모의 분석하여 전용선로 보호용 계전기의 설정치 정정에 대한 기본적인 방향을 제시하였다.

A. 과전류 계전기 및 저전압 계전기

분산전원의 계통 투입에 따라 연계 계통에서의 돌입전류들이 상당히 크게 발생하므로 모선에 설치된 과전류 계전기는 오동작을 일으킬 수 있다. 그리고 연계되는 분산전원의 용량이 증가함에 따라 이와 같은 과도상태 현상은 더욱 크게 발생할 것이다. 따라서 전용선의 주보호 계전기로써 최대 부하 전류의 150 %에서 동작하도록 설정된 과전류 설정치는 높은 설정치로 재설정하는 것이 바람직하다. 보호협조 측면에서는 과도상태로 인한 전류는 일정 시간 후 감소하므로 이들의 영향을 줄이기 위하여 보호협조 시간을 늘리는 것이 바람직할 것이다. 과전류 계전기의 설정치와 마찬가지로 돌입 전류에 의하여 계통의 전압강하가 심하게 나타날 수 있으므로 기존의 저전압 계전기의 설정치보다 낮게 설정하여 돌입전류의 원인으로 발생하는 전압강하에 대하여 오동작을 방지하도록 하는 것이 바람직할 것이다. 물론, 과전류 계전기와 저전압 계전기들의 설정치는 계통에서 일반적으로 발생하는 지락, 단락 사고에 대하여 검출이 가능하도록 설정

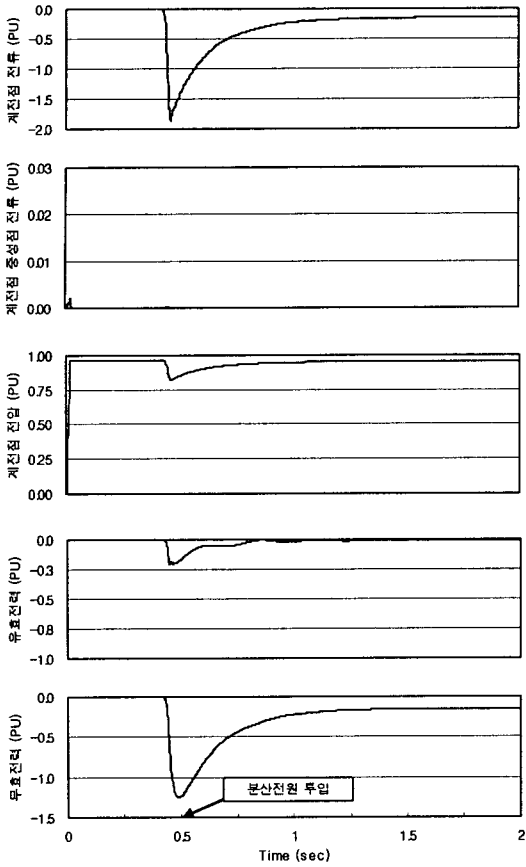


그림 4 분산전원 계통 연계 시 계전점 전압, 전류 특성

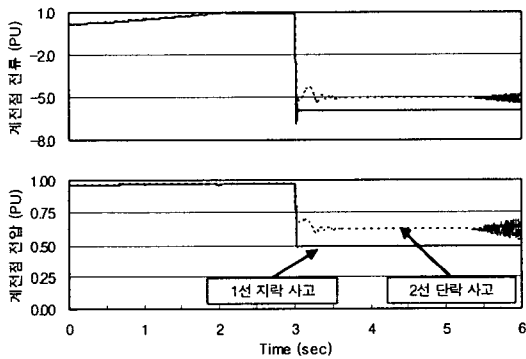


그림 5 전용선 1선 지락 및 2선 단락시 계전점 전압, 전류 특성

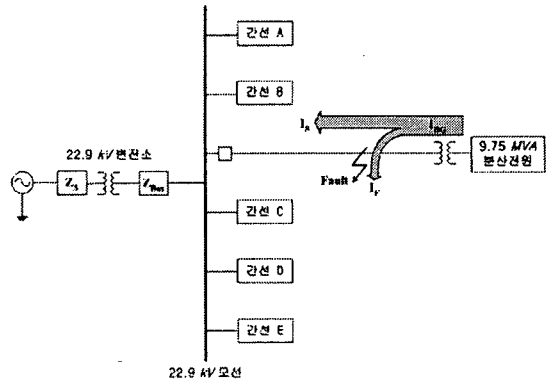


그림 6 전용선 고 저항 사고 시 전류 흐름 단선도

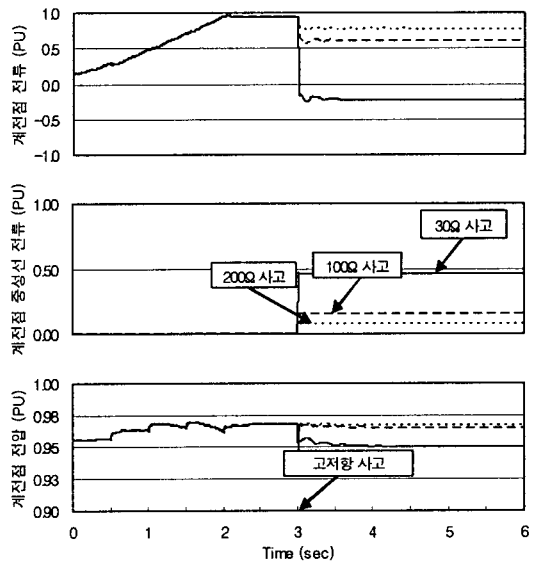


그림 7 전용선 고 저항 사고 시 계전점 전압, 전류 특성