

분산전원의 계통 연계에 따른 모선 보호용 과전류 계전기 설정치 정정에 대한 고찰

장성일 김지원 박인기 권혁준 김광호
 강원대학교 전기전자정보통신공학부

An Investigation on Correction of Overcurrent Protective Relaying Set Value for Bus Interconnected with Distributed Generations

Sung-Il Jang Ji-Won Kim In-Ki Park Hyouk-Jun Kwon Kwang-Ho Kim
 Department of Electrical and Computer Engineering, Kangwon National University

Abstract - This paper describes the effect of distributed generations (DG) on the bus protection scheme. When the generating capacity of DG is larger than 3 MVA totally, DG are generally connected to the 22.9 kV bus directly with the dedicated line. Due to the fault current contribution of DG, the overcurrent protective relay that have conventional set value cannot detect the fault occurred in distribution power network with DG. Therefore, the impacts from interconnection of DG on the overcurrent protective relay for bus protection should be accurately assessed and mitigated. Simulation results show that it would be necessary to modify the overcurrent protective relay set value for protecting the bus according to the generating capacity of DG.

계통 연계 시 돌입전류의 영향으로 계통 사고로 오인될 수 있는 경우가 발생하였으며, 계통 사고 시 사고전류의 일부를 분산전원이 담당하므로 분산전원이 설치되지 않았을 때에는 검출이 가능했던 사고들이 분산전원의 연계로 인하여 사고로 인식되지 못하는 모의 결과도 얻었다. 이에 기존의 사고 검출 설정치는 분산전원의 운전 및 사고 특성을 충분히 고려하여 재설정되는 것이 바람직하리라 사료된다.

2. 본 론

2.1 풍력발전단지 연계 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 농형 풍력 유도 발전기들로 구성된 풍력단지를 모델링하였으며 [3], 연계 계통으로는 우리나라의 22.9 kV 실 계통 데이터를 이용하여 구성하였다.

A. 22.9 kV 배전선로 및 부하 모델링

풍력발전단지가 연계 운전 될 배전계통은 배전 변압기 용량이 45 MVA인 22.9 kV 계통이며, 배전선은 ACSR 160 mm²와 95 mm²로 이루어졌다. 모선에는 서로 다른 부하용량을 가진 5개의 간선들로 이루어져 있고, 각 구성요소들은 실제 계통 데이터를 이용하여 모델링되었으며 그림 1은 모델 계통의 단선도를 나타내고 있다.

1. 서 론

현재 보급이 확대되고 있는 분산전원은 일반적으로 전력계통 연계 시, 그 전체용량이 3 MVA를 초과할 경우에는 분산전원의 계통연계에 따른 부정적인 영향을 최소화하기 위해 전용선을 이용하여 154 kV 변전소의 22.9kV 모선에 직접연결하고 있다. 큰 규모의 분산전원이 전용선으로 계통에 투입되면 분산전원의 출력특성으로 인하여 계통의 전력품질에 좋지 않은 영향을 미칠 수 있으며, 연계 배전 계통 사고 시, 분산전원이 계통으로 전력을 공급할 수 없는 심각한 사고를 제외하고는 사고 전류의 일부를 담당하므로 계전점에서의 사고 전류 크기가 감소하여 기존의 설정치를 가진 보호기들이 이들을 검출하지 못하는 경우가 발생 할 수 있다 [1][2].

일반적으로 전력 품질에 있어서의 분산전원의 영향은 분산전원단에 전력품질을 향상시킬 수 있는 기기를 추가 함으로써 비교적 간단히 해결할 수 있을 것이다. 그러나 계통 보호 협조에 대한 분산전원의 영향은 다양한 분산전원의 운전조건과 계통조건을 고려한 사고의 모의, 분석 및 대책 등을 통하여 감소될 수 있으리라 생각된다. 특히, 전용선을 이용하여 계통에 연계되는 큰 규모의 분산전원들은 기존의 보호계전기 사고 검출 설정치는 물론 보호 기기간의 보호협조에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로 분산전원의 운전 특성에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 논문에서는 전용선으로 22.9 kV 모선에 직접 연결 되어 생산된 전력을 계통으로 공급할 수 있는 대규모의 분산전원이 기존의 모선 보호에 미치는 영향에 대하여 기술하였다. 과도현상해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분산전원과 연계 배전계통을 모델링하고, 다양한 사고를 모의, 분석하였다. 모의 결과, 분산전원의

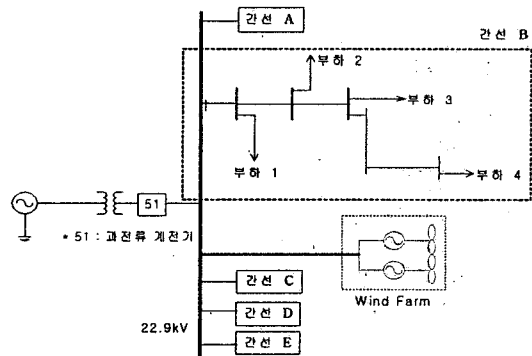


그림 1 풍력발전단지가 연계된 배전계통 단선도

B. 풍력발전단지의 모델링

본 연구에서 이용된 풍력발전단지는 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. 여기

서, 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 1000 kVA의 용량으로 모델링하였다. 그리고 6대의 1000 kVA 풍력발전기로 풍력발전단지를 구성하여 계통 투입 시와 사고에 따른 풍력발전단지의 계통 영향을 살펴보았다.

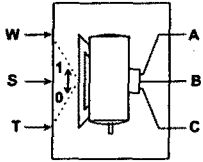


그림 2 EMTDC에서의 농형유도발전기 모델

2.2 모선 보호용 과전류 계전기

모선보호용으로 이용되는 과전류 계전기는 모선에서 발생한 사고를 검출하며, 각종 배전선 사고에 대하여 후비보호의 역할을 하고 있다. 모선 보호용 과전류 계전기는 그림 1에서 보는 것과 같이 154/22.9 kV 변압기 2차 측과 모선사이에 연결되어 있다.

A. 과전류 계전기의 동작 특성

과전류 계전기에 의한 계통 보호는 송·배전 보호 계전 방식 중 가장 기본적인 방식으로 간단하며, 경제적인 이점을 가지고 있다. 이들 과전류 계전 방식은 비교적 저압의 방사성 배전선이나 전기소의 소내회로의 보호에 한하여 주보호로 이용되고 있으며, 일반적으로 모선 보호 및 계통의 보호를 위한 과전류 계전기는 후비보호로 이용되고 있다. 과전류 계전방식은 통상 자구간의 주보호와 동시에 인접 구간에 후비 보호를 겸하는 까닭으로 인접 구간의 계전기와 협조에 대해서 충분히 고려해야 한다. 이때, 계전기 정정은 동작치와 동작시간의 정정으로 나눌 수 있는데 동작 전류치는 자구간의 사고는 물론 인접구간의 후비보호를 위하여 탭을 정정하여 사고전류를 검출하고 오동작을 피하며 감도를 높이기 위해서 최대 부하의 125~150%로 정하고, 동작시간의 정정은 인접구간의 계전기의 선택성을 위하여 Time dial로 동작시간을 결정한다. 여기서 협조시간은 보통 0.4 ~ 0.5초로 설정하고 있다 [4].

B. 과전류 계전기의 설정치

본 연구에서의 모선 보호용 과전류 계전기는 사고전류가 최대정격전류의 150% 이상이 되었을 시 동작하도록 설정된 계전기로 가정하였다. 주보호로는 모선의 단락사고 및 지락사고의 영향에 대해 동작하고, 배전선 사고에 대해서는 후비 보호의 방식으로 운영되고 있다. 배전 계통은 변압기 용량이 45 MVA, 선간전압이 22.9 kV로 모델링되어 있으므로 사고 검출에 이용되는 전류 설정치는 식 1과 같이 표현되어진다. 이때 I 는 계전기 설정치 전류값을 나타내며, S_B 는 계통 변압기의 용량을 나타내고 V 는 계통 전압을 나타낸 것이다.

$$I = \frac{S_B}{\sqrt{3} \times V} \times 1.5 \quad (1)$$

식 (1)을 이용하여 과전류 계전기의 설정치를 계산하면 1.7 kA가 된다.

2.3 풍력발전단지 운전 및 배전선로 사고 특성 분석
본 절에서는 PSCAD/EMTDC로 구성된 22.9 kV 배전 계통을 이용하여 풍력발전단지의 계통 연계 특성과 계통 사고 시 풍력단지의 운전 특성을 모의 분석하였다. 풍력

발전단지는 고정자의 회전자계 속도와 유사한 동기속도에서 계통에 점진적으로 투입되도록 제어되는 소프트 컷-인(Soft cut-in) 기법 [5]을 이용하여 계통에 연계되도록 모의하였다. 그리고 계통 사고 모의 종류로는 모선의 지락, 단락사고 및 연계 계통의 지락, 단락 및 고 저항 사고로 설정하였다.

A. 분산전원의 계통 연계 특성

풍력발전단지의 계통 연계 특성을 모의하기 위하여 0.5초에서 3 MVA에서 6 MVA까지 풍력단지의 용량을 달리하여 계통에 투입하였다. 그림 3은 용량별 풍력발전단지 계통 연계특성을 모의한 결과를 나타낸 것으로 모선 보호를 위한 계전기에서 측정된 계통 전압, 전류를 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 풍력발전단지의 용량이 증가함에 따라 연계 시 계통에서 발생하는 돌입 전류가 상당히 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 발전단지의 용량이 더욱 크게 증가하면 모선 보호용 과전류 계전기의 오동작을 일으킬 수 있을 것으로 예상된다. 풍력 발전단지의 계통 연계 후 부하전류의 일부를 풍력단지에서 담당하므로 모선에서의 전류는 감소하고, 전압은 미소하지만 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림에서의 전압, 전류는 계통 전압과 변압기 용량을 기준으로 환산된 값들이다.

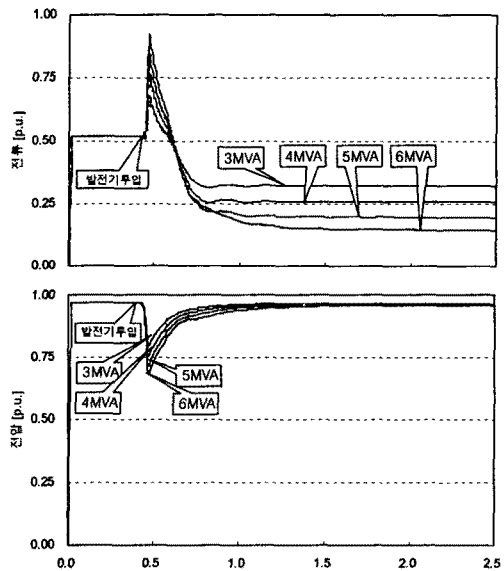


그림 3 풍력단지 용량별 계통 연계 특성

B. 배전계통 사고 시 특성

배전계통 사고 시 풍력단지의 사고에 대한 영향을 살펴보기 위하여 다양한 사고를 모의하였다. 그림 4의 간선 B에서 사고가 발생하였을 경우, 간선 B의 계전점 전류 I_F 는 식 2와 같이 나타내어질 수 있다.

$$I_F = I_{F1} + I_{F2} \quad (2)$$

식 (2)에서, 간선 B의 계전점 전류 I_F 는 계통에서 공급되는 전류 I_{F1} 과 풍력발전 단지에서 공급되는 전류 I_{F2} 의 합으로 계산되어질 수 있다. 따라서 풍력발전단지가 연계된 배전계통에서의 사고는 사고 전류의 일부를 풍력발전단지가 담당하므로 모선 보호 및 배전선 후비보호용으로 사용되는 모선보호용 과전류 계전기에서의 계전점 전류는 감소하게 된다 [6][8]. 모선에서 발생한 사고에

대해서도 배전선 사고와 같은 사고 특성을 가진다.

그림 5와 6은 연계 풍력발전단지의 용량을 1 MVA, 3 MVA, 6 MVA로 달리하여 운전되고 있을 때, 모선에서의 단락 및 지락사고가 발생한 경우, 모선 보호용 계전기에서 측정된 계전점 전류의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 모선의 단락, 지락 사고 시 풍력발전단지의 투입 유·무와 용량에 상관없이 큰 사고 전류가 흘러 간단히 모선사고를 검출할 수 있었다.

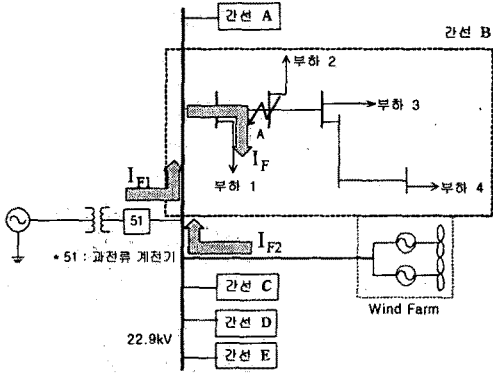


그림 4 풍력발전단지가 연계된 계통 사고 시 사고 전류 흐름도

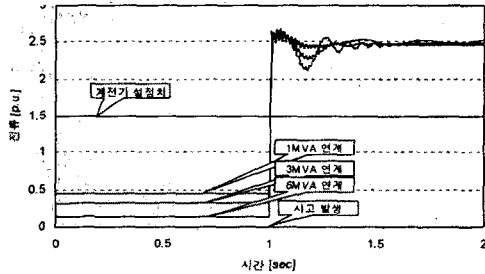


그림 5 모선 단락 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 사고 전류 변화

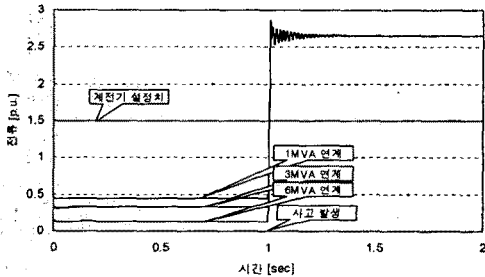


그림 6 모선 지락 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 사고 전류 변화

그림 7은 그림 5, 6에서와 같은 풍력단지 운전조건으로 간선 B의 A지점에서 6 Ω의 사고저항을 갖는 고 저항 사고가 발생하였을 때의 모의 결과이다 [7]. 그림에서 볼 수 있듯이 풍력단지의 비연계시와 용량이 1 MVA일 경우에는 기존의 계전기 설정치 만으로도 사고를 판단할 수 있었다. 그러나 풍력발전단지의 용량이 3 MVA 이상

이 되면 같은 사고 조건에 대해, 사고전류의 일부분을 풍력단지에서 담당하므로 계전점에서 사고전류가 1.5 pu 미만이 되어 사고를 검출하지 못하는 경우가 발생하고 있다. 따라서 대규모 분산전원의 계통 연계에 따라 과전류 계전기의 설정치 재정정이 요구된다.

그림 8은 간선 B의 A지점에서 지락사고가 발생하였을 경우 계전점에서 사고전류의 변화를 나타낸 그림이며, 그림 9는 같은 지점에서의 2선 단락사고에 대한 모의 결과이다. 두 가지 모두 기존의 과전류 계전기의 설정치만으로 사고를 확인 할 수 있었지만, 지락사고와는 달리 단락사고의 경우 큰 용량의 발전 단지가 모선에 연결 될 때에는 분산전원의 사고전류 분담이 커져 사고로 판단되지 못하는 경우도 발생할 수 있으리라 예상된다.

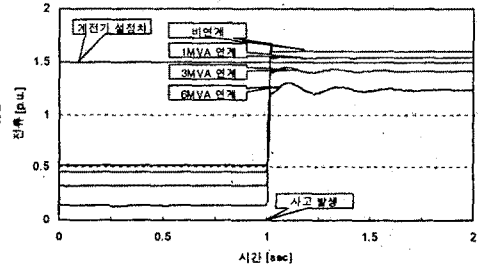


그림 7 계통 고 저항 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 사고 전류 변화

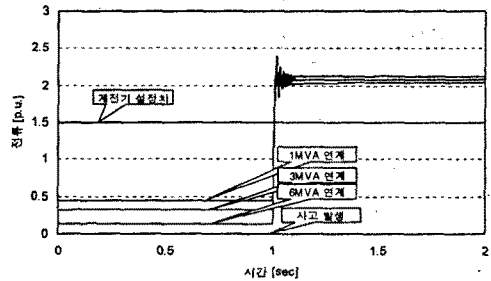


그림 8 계통 지락 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 사고 전류 변화

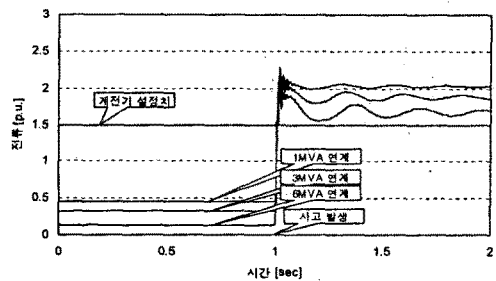


그림 9 계통 단락 사고 시 풍력발전단지 용량별 계전점 사고 전류 변화

2.4 분산전원 계통연계에 따른 설정치 정정

분산전원이 연계된 배전계통에서의 다양한 사고 모의 결과를 통하여, 분산전원이 연계 운전되고 있지 않았을 때에

는 기존의 보호 계전기의 설정치만으로 간단히 사고 검출이 가능했던 사고들이 사고전류의 일부를 담당할 수 있는 분산전원의 계통 연계로 인하여 사고 검출이 불가능하게 되는 경우들이 발생하였다. 또한 연계된 분산전원의 용량이 증가함에 따라 전술한 사고 검출 특성은 더욱 심각하게 나타나고 있었다. 따라서 분산전원이 계통에 연계될 경우 분산전원의 용량을 고려한 계전기들의 새로운 설정치 정정이 요구 된다. 그리고 풍력발전단지를 구성하고 있는 발전기들은 계통 연계 시 계통에 큰 돌입전류를 발생시킬 수 있어 사고로 오인하는 경우가 발생할 수 있으므로 과전류 계전기 정정 시 이들에 대한 영향을 충분히 고려하여 설정하는 것이 바람직하리라 생각된다.

3. 결 론

본 논문에서는 전용선으로 22.9 kV 모선에 직접 연결되어 생산된 전력을 계통으로 공급하는 대규모의 분산전원이 기존의 모선 보호 과전류 계전 기법에 미치는 영향에 대하여 기술하였다. 모의 결과, 분산전원의 계통 연계 시 돌입전류의 영향으로 인하여 계통 사고로 오인될 수 있는 경우가 발생할 수 있으며, 계통 사고 시 사고전류의 일부를 분산전원이 담당하므로 분산전원이 설치되지 않았을 때에는 검출이 가능했던 사고들이 분산전원의 연계로 인하여 사고로 인식되지 않는 모의 결과들도 얻었다. 이에 모선에 설치되는 기존의 배전선 사고 후비보호용 과전류 계전기의 설정치는 분산전원의 운전특성과 출력특성을 충분히 고려하여 재설정되는 것이 바람직하리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단의 풍력발전시스템의 실증연구단지 조성 및 실증에 대한 연구사업을 통해 이루어 졌으며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] H. L. Willis, W. G. Scott, "Distribute Power Generation", Marcel Dekker, 2000.
- [2] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침" 1996. 8.
- [3] Manitoba HVDC Research Centre, "EMTDC V3 User's Manual"
- [4] 한국전력공사, "변전설비 현장 Guide Book", 2001
- [5] Mita-Teknik, "Technical Information - Calibration routine for WP4060 Connection Model" 1999. 9
- [6] Philip P. Barker, Robert W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part1- Radial Distribution Systems." IEEE, No. 0-7803-6420-1/00, 2000
- [7] R.J. Gustafson, R. Pursley, V.D. Albertson, "Seasonal Grounding Resistance Variations on Distribution Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol.5, No.2, April 1990.
- [8] Salman K. Salman, Ibrahim M. Rida, "Investigating the Impact of Embedded Generation on Relay Settings of Utilities' Electrical Feeders." IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 16, No. 2, April 2001