

계통 연계 풍력발전단지의 출력 조건을 고려한 배전선 과전류 계전기 정정

°김지원* 장성일* 김광호* 유능수* 박현준** 송대선** 이재문**
*강원대학교, **한국전력 강릉지사

Correction of Overcurrent Protective Relay on Distribution Feeders Considering the Power Output of Wind Farm Interconnected with Utility Networks

°J. W. Kim* S. I. Jang* K. H. Kim* N. S. Yoo* H. J. Park** D. S. Song** J. M. Lee**
*Kangwon National University **KEPRI

Abstract - This paper describes the correction of overcurrent protective relaying set value in distribution networks interconnected with wind farm by dedicated line. The wind farm composed of wind turbine generators is one of the great energy sources; however, it would be also highly possible that the current in the point of common coupling is influenced by the output power of wind farm. So, the overcurrent relay applied in distribution feeders might generate trip signal for normal operation. In order to prevent the mal-operation of overcurrent relay, it is necessary to correct the relay's setting value according to the output power of wind farm. This paper presents the influence of wind farm on the overcurrent relaying set value in distribution feeders for cases of fault as well as normal operation and proposes the basic strategy for correction of overcurrent relaying set value.

본 논문에서는 큰 규모의 분산전원 계통 연계 운전 시 연계 배전 계통에서 발생하는 영향을 정상적인 계통 운전과 배전선 사고를 모의하여 분석하였으며, 얻어진 연구 결과를 기준으로 과전류 계전기 설정치 정정에 대한 기본적인 지침을 제시하였다. 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력발전단지가 건설될 횡계변전소를 모델링하였으며, 풍력발전단지는 750 kVA 6기 총 4.5 MVA를 갖는 것으로 가정하고 전용선을 이용하여 22.9 kV 모선에 연결하였다. 모의 결과 배전선 사고 시 분산전원의 영향으로 고장 전류는 분산전원이 연계되어 있지 않은 경우에 비하여 크게 증가하여 사고를 신속하게 검출할 수 있었다. 반면, 정상적인 계통 운전 시 전체 전원 용량이 증가하여 과전류 계전기가 오동작하는 사례가 발생하였다. 따라서 이들의 영향을 고려하여 과전류 계전기의 동작 설정치를 계통 조건에 따라 변경할 수 있는 적응형 과전류 계전기법이 요구된다.

1. 서 론

2. 본 론

현재 과전류 계전기법은 전력 계통에서 발생하는 사고를 검출하는데 가장 보편적으로 이용되는 방식이라 할 수 있으며, 과전류 계전기는 아날로그 방식에서 점차 디지털 방식으로 대체 되어가고 있는 추세이다. 이에 아날로그 계전 방식에서는 불가능했던 계통변경에 따른 실시간 설정치 정정이 디지털 계전 방식에서는 가능해 졌다. 아직까지는 계통 변동에 따른 적응형 과전류 계전방식에 대한 연구들이 많이 진행되고 있지는 않지만, 국제적인 에너지 문제 및 환경 문제를 해결하기 위해 급속히 계통으로 투입이 예상되는 풍력, 태양광, 마이크로 터빈, 연료전지 등의 분산전원이 보호계전기의 설정치에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 이들에 대한 연구가 필요하게 될 것이다 [1].

2.1 풍력발전단지 및 연계 배전 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 22.9 kV 횡계 변전소 배전 계통을 모델링 하였으며, 풍력발전기는 Vestas V-47 660 kW 권선형 유도 발전기로 가정하였다.

A. 풍력발전단지의 모델링

계통에 연계될 풍력발전단지는 권선형 유도발전기 형태의 Vestas V47-660 kW 6대로 구성하였다 [2]. 권선형 유도 발전기들은 견고하면서도 간단한 구조와 단순한 제어 특성으로 풍력발전기에 널리 사용되고 있다. 특히, 외부저항 제어를 이용하면 회전자의 속도를 0%에서 10%까지 폭넓은 슬립 영역에서 안정된 출력을 나타낼 수 있다. 그림 1은 PSCAD/EMTDC 내에서 제공하는 권선형 유도 발전기 모델로써 W, S, TL은 제어 단자들, A, B, C는 3상 전원 단자들, a, b, c는 외부저항 연결 단자들의 의미이다 [3][4].

일반적으로 분산전원은 소규모로 22.9 kV 일반 배전선에 수용가와 함께 계통에 연계하여 운전된다. 그러나 분산전원의 총 발전량이 3 MVA를 초과 할 경우에는 연계 계통에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 전용선으로 계통 모선에 연결하도록 권고되어 진다 [5]. 큰 규모를 갖는 분산전원의 계통 연계는 배전선 사고 시 전원측의 사고용량을 증가시켜 사고가 발생한 배전선의 사고전류가 더욱 크게 흐르도록 하는 역할을 한다. 분산전원의 영향으로 분산전원이 설치되어 있지 않은 경우에 비하여 동일한 사고 조건에서 고장 전류가 많이 흐르므로 사고 검출 측면에서는 장점이라 할 수 있다. 일반적으로 고장 전류에 대한 분산전원의 영향은 분산전원의 발전량이 커짐에 따라 심하게 나타난다. 그러나 큰 규모의 분산전원은 사고 시와 마찬가지로 정상적인 계통 운전에 대해서도 큰 부하 변동을 발생시키므로 단일한 설정치를 가진 과전류 계전기는 오동작 할 수 있다. 따라서 분산전원이 연계된 계통의 경우에는 이들에 대한 영향을 고려하여 설정치를 정정하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

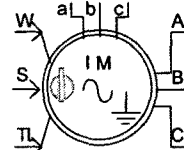


그림 1 EMTDC에서의 권선형 유도발전기 모델

B. 22.9 kV 연계 배전 계통의 모델링

풍력발전단지가 연계 운전 될 배전계통은 배전 변압기

용량이 45/60 MVA인 22.9 kV 전력 계통이며, 배전선은 ACSR 160 mm²와 95 mm²로 구성되었다. 모션에는 서로 다른 부하용량을 가진 5개의 간선들로 이루어져 있고, 각 구성요소들은 실제 계통 데이터를 이용하여 모델링되었다. 그림 2는 횡계 변전소 배전 계통의 단선도를 나타내고 있다. 그림에서 각 풍력발전기 전단에는 역률 보상용 커패시터 뱅크가 달려 있으며, 발전기 출력 변동에 따라 투입 혹은 절체되도록 제어 하였다.

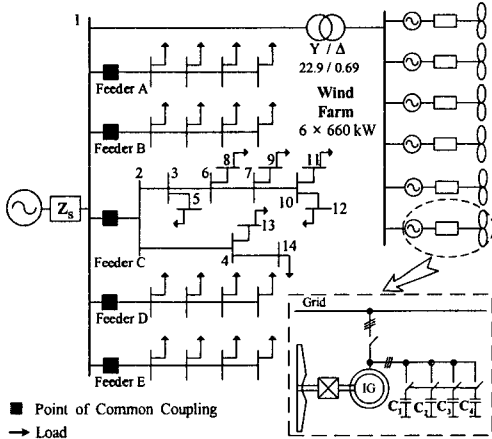


그림 2 풍력발전단지가 연계된 배전계통 단선도

2.2 배전선 사고 시 풍력발전단지의 영향

본 절에서는 풍력발전단지의 계통 연계가 사고 시 과전류 계전 기법에 미치는 영향을 분석하였다. 배전선 사고 시 풍력발전단지의 출력을 달리하여 배전선으로 흐르는 고장 전류의 양을 측정하였다.

A. 배전선 사고 전류의 계산

풍력발전단지가 계통에 연계되어 있지 않은 기존의 단방향성 계통에서는, 변전소측의 소스 임피던스를 Z_s , 계통 전압을 V , 사고지점까지의 선로 임피던스를 Z_L , 사고점 임피던스를 Z_{Fault} 로 가정하면 사고 전류 I_{Fault} 는,

$$I_{Fault} = \frac{V}{Z_s + Z_L + Z_{Fault}} \quad (1)$$

이 된다.

풍력발전단지가 연계되어 있는 계통의 배전선 사고 전류는 분산전원의 영향을 고려하여 (2)와같이 표현할 수 있다.

$$I_{Fault} = \frac{V}{Z_s // Z_g + Z_L + Z_{Fault}} \quad (2)$$

여기서 Z_g 는 풍력발전단지의 전원 임피던스와 전송선의 선로 임피던스의 합을 의미한다. 따라서 풍력발전단지가 연계되어 있는 계통의 사고의 경우에는, (2)에서와 같이 사고 용량이 증가하게 되므로 동일한 사고 조건에 대해 풍력발전단지가 연계되어 있지 않았을 때보다 큰 사고 전류가 흐르게 된다. 풍력발전단지의 발전용량이 커짐에 따라 사고 전류는 더욱 크게 증가하게 될 것이다. 그림 3은 풍력발전단지가 전송선으로 모선에 연계되어 있을 때, 배전선 사고에 대한 사고전류 흐름도를 나타낸 것으로 사고 지점으로 흐르는 전류는 (3)과같이 표현된다.

$$I_{Fault} = I_1 + I_2 \quad (3)$$

여기서, I_1 와 I_2 는 각각 주 전원에 의한 사고 전류의 양과 풍력발전단지에서 담당하는 사고전류의 양을 의미한다.

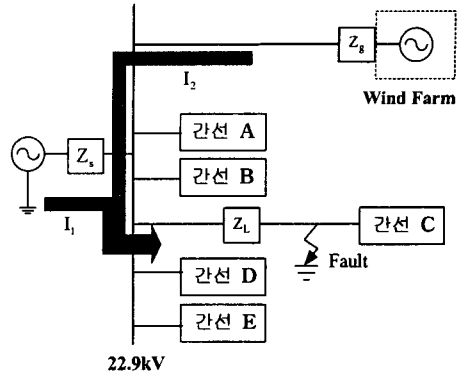


그림 3 풍력발전단지가 연계된 계통의 사고전류 흐름도

B. 배전선 1선 지락 사고 모의

풍력발전단지의 계통 연계로 인한 배전선 사고전류의 영향을 살펴보기 위하여 그림 2의 계통 모델을 기준으로 모션으로부터 5.7 km 떨어진 피더 C에서 1선 지락 사고를 모의 하였으며, 이에 대한 모의결과를 그림 4에 제시 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 풍력발전단지의 계통 연계로 인하여 풍력발전단지가 연계 되어 있지 않은 경우에 비하여 2%이상 큰 전류가 흐르는 것을 알 수 있다. 따라서 대규모의 풍력발전단지가 연계된 배전계통의 사고는 그렇지 않은 경우에 비하여 신속히 검출될 수 있을 것으로 판단된다. 배전선 1선 지락 사고 모의에서의 풍력 발전단지는 최대출력으로 운전되도록 조정하였다.

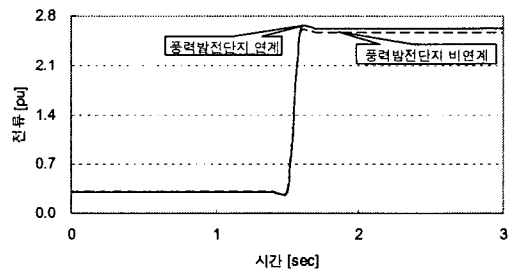


그림 4 배전선 1선 지락사고 시 풍력발전단지 연계 및 비연계시 따른 사고전류의 변동

2.3 배전계통 Loop 운전 시 풍력발전단지의 영향

배전계통에서는 수용가의 정전을 최소화 시킬 목적으로 선로 유지, 보수 시 서로 다른 변전소에 연결되어 있는 피더들을 연계하는 루프운전 기법을 이용한다. 본 절에서는 배전 계통 루프 운전 시 풍력발전단지의 영향을 살펴보았다.

A. 배전계통의 Loop 운전

배전 선로의 유지보수 작업 시 수용가들의 정전을 최소화 하기위하여 배전 선로에 설치되어 있는 가스차단기 (Gas Circuit Break)를 동작시켜 다른 배전선으로부터 전력을 공급 받도록 한다. 이때 서로 다른 변전소의 배전선들이 연계될 경우, 전원 임피던스와 선로 임피던스의 차이로 인하여 한쪽 배전선에 과전류가 흐르게 되고, 이로 인하여 과전류 계전기는 사고로 오판하여 트립신호를 발생시킬 수 있다. 루프 운전 시 선로 전류의 크기를 결정하는 것은 각 변전소들의 소스 임피던스와 연계지점까지의 선로 임피던스, 그리고 부하조건에 따라 변할 수 있다. 전술한 것처럼 풍력발전단지가 연계된 배전계통은 전원 용량이 증가하므로 루프 운전 시 발생하는 과전류

는 더욱 크게 증가한다. 큰 과전류는 계전기 설정치 이상으로 증가하여 사고로 오판하는 경우도 발생할 수 있다.

B. 배전계통의 Loop 운전 모의

배전계통의 루프 운전 시 전용선으로 계통에 연계된 풍력발전지의 영향을 모의하기 위하여 그림 5와 같은 배전계통을 모델링하였다. 변전소 A에는 4.5 MVA 용량의 풍력발전지가 연계되어 있으며, 변전소 B는 Z₀를 조정하여 변전소 A에 비해 전원 용량을 작게 되도록 하였다. 그리고 간선 B2의 연결지점은 변전소 B의 모선에서 13 km 떨어진 지점이며, 간선 B1은 변전소 A로부터 2.4 km 떨어진 지점으로 가정하였다. 그림 6과 7은 루프 운전 시 4.5 MVA의 풍력발전지지를 연계 했을 때와 연계 하지 않았을 때의 계전점 전류를 나타낸 것이다. 분산전원이 연계되지 않았을 경우에는 루프운전 시 전류가 과전류 계전기 설정치인 1.5 pu를 초과하지 않아 정상적인 계통 운전으로 판단하였다. 반면 그림 7에서 보듯이 풍력발전지의 영향으로 정상적인 루프운전을 사고로 판단할 수 있도록 계전점의 전류가 크게 증가하였다. 따라서 풍력발전지의 출력 조건을 충분히 고려하여 과전류의 설정치를 정정한다면 이와 같은 계전기의 오동작을 예방할 수 있을 것으로 생각된다.

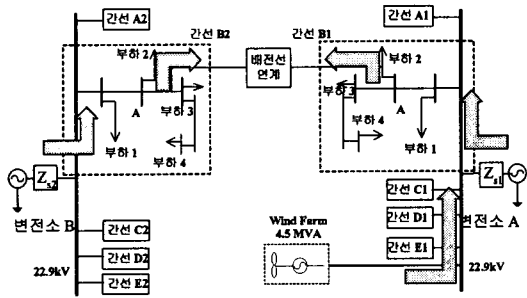


그림 5 배전계통 Loop 운전 모의를 위한 단선도

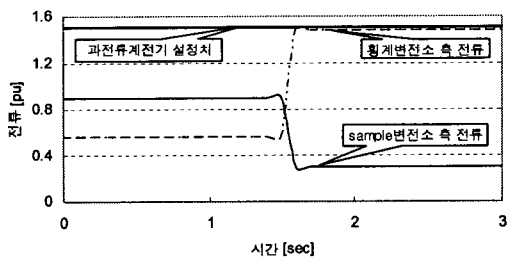


그림 6 풍력발전단지 비 연계 시 루프 운전에 대한 전류 변동

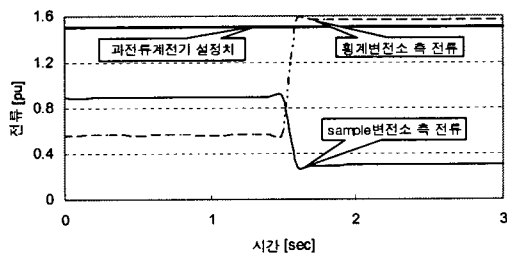


그림 7 풍력발전단지 연계 시 루프 운전에 대한 전류 변동

2.4 과전류 계전기의 설정치 정정

전절에서는 대용량의 풍력발전단지들이 연계된 배전계통에서의 사고와 정상적인 루프 운전 모의를 통하여 과전류계전기 설정치 정정의 필요성을 제시하였다. 풍력발전단지가 연계된 계통에서는 사고 용량이 증가하므로 같은 사고 조건에 대해 풍력발전단지가 연계되어 있지 않았을 때에 비하여 사고전류의 크기가 크게 증가 하였다. 사고전류의 증가로 배전선에서 발생하는 사고는 신속한 검출이 가능하였다. 반면, 루프운전과 같은 정상적인 계통 운전에서 전류가 증가하게 되어 사고로 오인될 수 있었다. 풍력발전단지로 인한 전류의 증가는 발전량이 커짐에 따라 심하게 나타난다. 따라서 풍력발전지에 의한 계통 전류의 증가 정도를 계산하여 계전기의 설정치를 능동적으로 정정한다면 이와 같은 계전기의 오동작을 예방할 수 있을 것이다. 적용형 과전류 계전기의 설정치 정정을 위하여 전용선으로부터 계통으로 유입되는 전력과 주 전원의 전원 임피던스 그리고 각 피더로 흐르는 전류를 측정한다. 측정된 데이터를 이용하여 풍력발전지의 계통 영향을 평가하고 과전류 계전기의 설정치를 정정한다. 능동적인 과전류 계전기 설정치 정정 범위는 풍력발전단지가 연계되어 있는 경우에도 사고 검출이 가능할 수 있는 한도에서 결정되어야 할 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 큰 규모의 분산전원 계통 연계 운전 시 연계 배전 계통에서 발생하는 영향을 정상적인 계통 운전과 배전선 사고를 모의하여 분석하였으며, 얻어진 연구 결과를 기준으로 과전류 계전기 설정치 정정에 대한 기본적인 지침을 제시하였다. 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 풍력발전단지가 건설될 황계변전소를 모델링하였으며, 풍력발전단지가 750 kVA 6기 총 4.5 MVA를 갖는 것으로 가정하고 전용선을 이용하여 22.9 kV 모선에 연결하였다. 모의 결과 배전선 사고 시 분산전원의 영향으로 고장 전류는 분산전원이 연계되어 있지 않은 경우에 비하여 크게 증가하여 사고를 신속하게 검출할 수 있었다. 반면, 정상적인 계통 운전 시 전체 전원 용량이 증가하여 과전류 계전기가 오동작하는 사례가 발생하였다. 따라서 이들의 영향을 고려하여 과전류 계전기의 동작 설정치를 계통 조건에 따라 변경할 수 있는 적용형 과전류 계전기법이 요구된다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] 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
- [2] Vestas Wind Systems A/S, "Technical report of wind turbine generators " 2001.
- [3] Manitoba HVDC Research Centre, "PSCAD/EMTDC User's Manual." Canada 1986.
- [4] 장성일 외, " PSCAD/EMTDC를 이용한 계통 연계 풍력 유도 발전기의 운전 특성에 관한 연구", 대한전기 학회 논문지, 제 51B권 제 12호, 2002년 12월, pp. 704-713
- [5] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로보호업무 지침" 1996. 8