

대단위 풍력발전단지를 위한 보호협조 알고리즘

권영진, 강상희, 류기찬, 송황빈
 영지대학교 차세대전력기술연구센터

A Coordination Algorithm For The Protection Of Large Wind Farms

Young-Jin Kwon, Sang-Hee Kang Gi-Chan Ryu, Hwang-Bin Song
 NPTC Myongji University

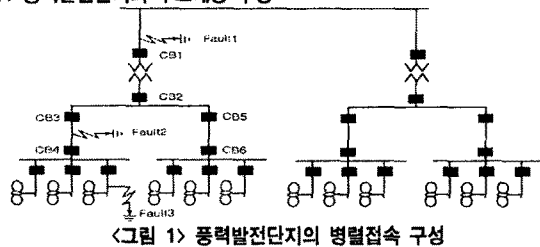
Abstract - This paper presents a coordination algorithm for the protection of large wind farm of which consists loop connection system that is able to disconnect fault section from wind farm. The proposed coordination algorithm can distinguish between inner and outer fault of wind farm. by using changing of ratio generator output current over loop branch current connected to each generator. A series of PSCAD/EMTDC simulation results have shown effectiveness of the proposed algorithm.

1. 서 론

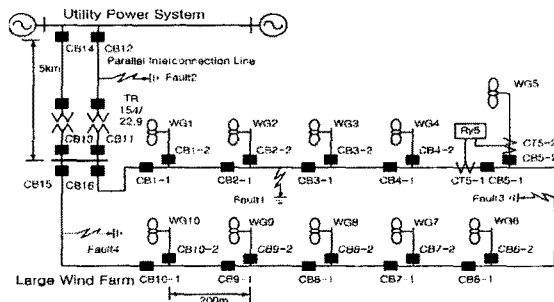
환경문제와 에너지 자원의 고갈에 따라 친환경 청정 에너지원인 대체 에너지에 대한 관심이 높아짐에 따라 국내외적으로 기술개발이 활발하게 이루어지고 있다. 이중 국내에서는 풍력발전에 대한 연구와 발전단지의 건설이 크게 증가하고 있다. 과거에는 풍력발전기의 제조 기술과 시스템 구성의 제약 때문에 단위 풍력발전기 및 중소형 풍력발전단지가 주류를 이루었으나, 최근 풍력발전기 제조 기술 및 전력전송을 위한 기술이 발전함에 따라 풍력발전단지도 점차 대단위로 구성되고 있는 추세이다. 이렇게 풍력발전단지가 대단위화됨에 따라 발전단지내의 발전기의 개수 및 구성이 점차 복잡해지고 운용 및 보호 시스템의 구성도 종래의 획일적인 방법으로는 완벽한 보호를 하지 못하게 되는 경우 발생한다. 풍력발전 연구 분야 중 연계계통 보호에 관한 연구로서는 분산전원의 특성을 반영한 보호계전기의 정정을 변경하여 고장검출 능력을 향상[1] 시키는 방법, 정상분 임피던스 제약을 이용 풍력발전단지 내부 및 외부 고장과 정상상태를 구별[2]하는 방법 등이 연구된 바 있으나, 발전단지 내부 및 외부에 설치된 계전기들의 보호협조를 고려한 연구는 없었다. 따라서 본 논문에서는 고장 발생시 신속한 차단과 안정적인 전력공급을 할 수 있는 루프계통에 설치된 계전기를 대상으로 발전단지 내부 고장과 외부 고장을 판단하는 방법과 발전단지 내부 계전기간에 안정적인 고장판단을 위한 협조 알고리즘을 제안하고 사례연구를 통해 이를 검증 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 풍력발전단지의 루프계통 구성



<그림 1> 풍력발전단지의 병렬접속 구성



<그림 2> 풍력발전단지의 루프접속 구성

유틸리티에 연계되는 분산전원은 용량이 10M를 넘을 경우 연계전송선로를 통하여 배전계통에 여러 회선으로 연계하거나 송전계통에 직접 연계할 수 있다.[3] 풍력발전단지 내의 개별 발전기의 연결은 그림1의 병렬접속 구

조와 그림2의 루프접속 방식을 고려할 수 있다. 그림1과 같은 병렬접속계통에서는 풍력발전단지 내부 고장 Fault2에 대하여 차단기 CB3와 CB4를 개방하면 하위 발전기 3기는 정지를 해야 하는 단점이 있는 반면 그림2와 같이 루프접속 구조의 경우 발전단지 내부고장 Fault1에 대하여 CB2-1과 CB3-1만 개방하면 고장 구간만 차단하고 나머지 발전기들은 계속 발전전력을 전송 할 수 있는 장점이 있다.

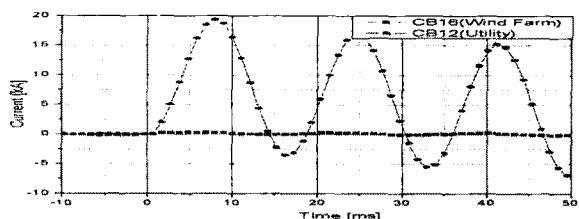
2.2 풍력발전단지 내에서 기존 보호방식의 문제점

그림2와 같은 루프계통에서 각 풍력발전기 인출단에 과전류 계전기를 설치한 경우 이 계전기는 발전단지 내부 고장만 동작하여야 하지만 Fault2와 같은 연계선로 상의 고장 등 외부 고장에 대하여서도 동작할 소지가 있다. 그림 2와 같이 2회선으로 연계를 하는 계통에서 Fault2와 같은 연계선로 고장에 대하여서는 연계선로용 보호계전기가 동작하여 차단기 CB11과 CB12를 개방하여야 하며 그동안 발전단지 내부의 보호계전기들은 동작하지 않아야 한다.

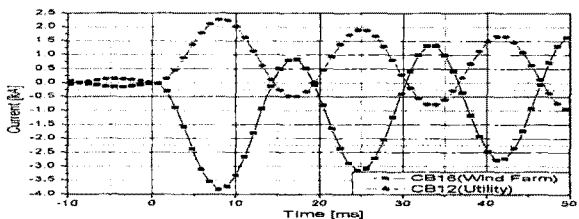
2.3 제안하는 보호협조 알고리즘

2.3.1 내부고장시와 외부고장시의 루프 선로 전류의 특징

그림3은 발전단지 내부고장 Fault1와 연계선로 상의 외부고장 Fault2에 대하여 유틸리티 측인 CB12와 발전단지 내부인 CB16의 위치에서 측정된 전류의 순시치 파형을 변압비를 고려하여 1:1로 도시한 것이다. 외부고장시에는 그림 3에서와 같이 대부분의 고장전류는 유틸리티 쪽에서 공급되며, 내부고장인 Fault1에 대하여서도 그림 4에서 보는 바와 같이 유틸리티 계통으로부터 고장전류가 유입된다.



<그림 3> 외부고장시 유틸리티측과 풍력발전단속 고장상 전류



<그림 4> 내부고장시 유틸리티측과 풍력발전단속 고장상 전류

2.3.2 발전기간 연결 루프 전류 이용한 내부와 외부 고장의 판별

본 논문에서는 과전류 계전 알고리즘을 기본으로 하여 발전단지 내부고장과 외부고장을 구별할 수 있는 요소를 추가하여 외부고장에 동작하지 않고 내부고장에 대하여서만 고장 발생 구간을 차단하여 외부계통과 보호협조를 할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘의 구현을 위해서는 그림 2의 풍력발전기 WG5와 같이 CT를 2개 사용하여 발전기 접속 루프 선로전류와 발전기 출력전류를 측정한다. 측정된 두 전류의 비를 식(1)과 같이 ROC(Ratio Of Current)라 정의한다. 이 ROC값은 중단인 WG5로부터 WG1 쪽으로 올수록 발전기의 출력전류가 루프 선로에 더해짐으로 식(2)와 같은 특징을 보인다.

$$ROC = \frac{\text{발전기 출력전류}}{\text{발전기 접속 루프 선로전류}} \quad \text{식(1)}$$

$$ROC_{WG1} < ROC_{WG2} < ROC_{WG3} < ROC_{WG4} < ROC_{WG5} \quad \text{식(2)}$$

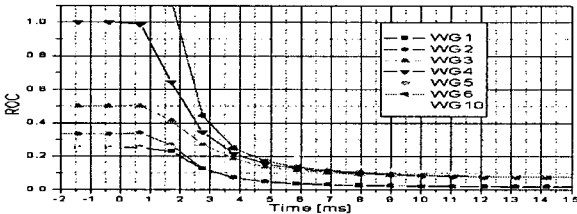
그림 2 계통의 발전기는 모두 동일한 용량임으로 ROC값은 평상시 부하상태나 고장시 일정한 값을 유지한다. 발전단지 외부 고장이 발생 하였을시 고장으로 인해 발전기 출력전류가 증가 하는 만큼 루프 선로의 전류도 증가함으로 ROC값의 변화는 없다. 그러나 내부 고장이 발생하게 되면 루프 선로에서는 발전기에서 출력되는 고장전류와 외부 유틸리티 계통으로부터 유입되는 고장전류가 더해짐으로 ROC값의 분포가 커져 부하상태나 외부고장시보다 작은 값으로 변한다. 따라서 본 논문에서는 외부고장과 내부고장의 판별을 위해 과전류 계전기 픽업 이후 ROC값의 변화량이 픽업이전 값과 비하여 10% 이상 감소하면 내부고장 판별하였다. 내부고장시 인출단에서 중단 부분으로 갈수록 ROC값의 변화가 커짐을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 따라서 가장 변화가 작은 WG1 지점에서 ROC값의 변화를 검출할 수 있는 범위로 고장전 값의 10%가 타당하다고 판단되어 본 논문에서는 10%로 설정하였으며 이 부분은 향후 계통 데이터에 근거한 정확한 설정 방법이 추가 연구되어야 할 것으로 사료된다.

2.4 사례연구

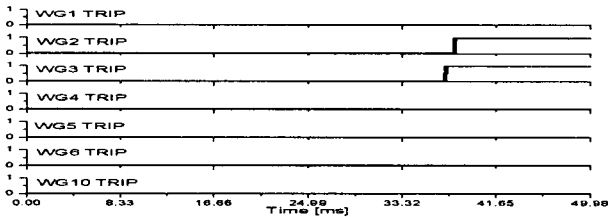
제한하는 알고리즘의 검증을 위하여 PSCAD/EMTDC를 사용하여 그림 2와 같은 계통을 모델링하였고, 내부고장인 Fault1, Fault3, Fault4에 대하여 발전기간 연결 루프 선로 상에 1선지락 고장과 외부고장인 Fault2를 연계전용선로 상의 1선 지락고장으로 모의하고 제한한 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 풍력 발전기는 유도발전기의 직립연계 방식을 사용하였으며 단위 발전기의 용량은 5MW으로 전체 발전용량은 50MW다. 발전기간 연결선로는 200[m]이며, 연계 전용선로의 길이는 5[km]이다. 결과 그림은 고장 발생 시간을 0[ms]로 나타내었다.

2.4.1 내부고장

내부고장 Fault1에 대하여 그림5와 같이 각 발전기에서 ROC값은 유틸리티로 계통으로 유입되는 고장전류가 루프 선로에 흐름으로 고장전 값에 비하여 모두 판단기준으로 삼은 10% 이상 작아짐으로 내부고장으로 판별하였다. 그림 6은 이때 각 발전기에서 동작한 제한한 알고리즘의 트립신호이다. 고장이 발생한 지점에서 가장 가까운 WG3와 다음 가까운 위치인 WG2 순으로 동작하여 고장 구간이 차단된 것을 확인할 수 있다. 고장전 발전전력이 모두 인출단 쪽으로 흘러감으로 WG5번과 WG6번 사이 선로에는 거의 전류가 흐르지 않음으로 ROC_{WG5} 와 ROC_{WG6} 의 값은 상당히 큰 값을 가짐으로 그림 5의 그래프에는 나타나지 않는다.

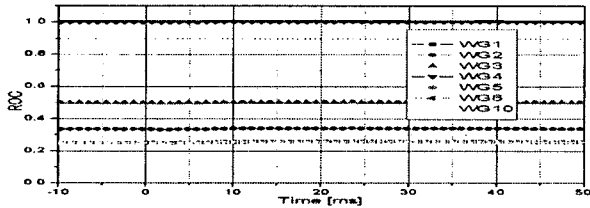


〈그림 5〉 내부고장시 ROC값의 변화

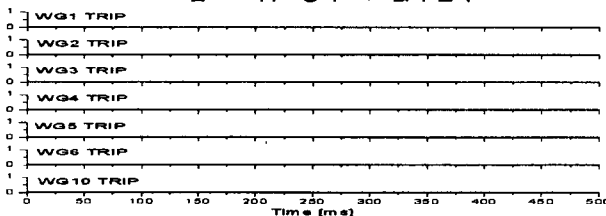


〈그림 6〉 내부고장시 제한하는 알고리즘의 동작결과

2.4.2 외부고장



〈그림 7〉 외부고장시 ROC값의 변화

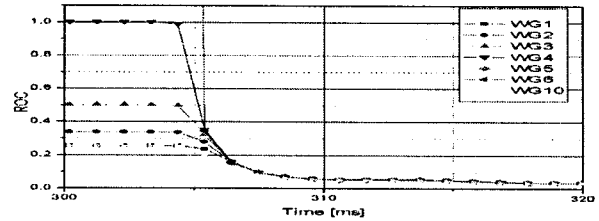


〈그림 8〉 외부고장시 제한하는 알고리즘의 동작결과

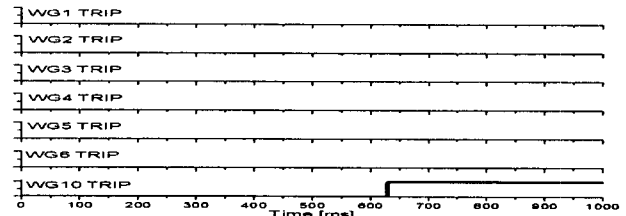
외부고장인 Fault2의 경우 각 발전기에서 고장으로 인해 전류는 증가하지만 루프 선로에 유입되는 전류가 없으므로 ROC값은 그림 7과 같이 고장전인 0[ms] 이전과 비교하여 변화가 없으므로 그림 8과 같이 외부고장으로 판단하고 과전류 계전기가 픽업 후 동작하게 되더라도 트립을 저지하게 된다. 이후 CB11과 CB12에 설치된 연계선로 보호용 계전기가 동작하여 고장 회선을 차단하면 발전전력을 건전회선을 통해 계속 공급할 수 있게 된다.

2.4.3 풍력발전단지 인출단 고장

그림 2에서 풍력발전 인출단인 Fault4 고장의 경우 제안하는 알고리즘은 외부고장으로 인식하여 계전기의 동작을 저지하게 된다. 이러한 문제점의 해결 방안으로 CB15와 CB16의 위치에 동작영역이 발전단 내부로 설정된 방향성 과전류 계전기를 설치하고 이 계전기들은 제안하는 알고리즘이 단지 내부 고장을 판별할 수 있을 정도의 충분한 시지연 협조를 해야 한다. 고장 Fault4가 발생하였을 경우 제안하는 알고리즘을 사용한 각 계전기들이 외부 고장으로 인식하여 트립을 저지하고 있는 동안 고장 발생 후 300[ms] 후에 CB16 위치에 설치한 방향성 과전류 계전기가 동작하여 CB15를 개방한 후 루프 선로에 외부계통으로부터 고장전류가 유입됨으로 그림 8과 같이 ROC값의 변화가 생겨 내부 고장으로 판별 후 그림 10과 같이 고장위치에서 가장 가까운 WG10 계전기가 동작하여 고장 Fault4가 발생한 구간을 분리해 낼 수 있음을 확인하였다.



〈그림 9〉 풍력발전 인출단 고장시 ROC값의 변화



〈그림 10〉 인출단 고장시 제한하는 알고리즘의 동작 결과

2.4.4 풍력발전단지 중단 고장

풍력발전단의 중단지점 고장인 Fault3에 대하여서도 제안하는 알고리즘을 적용한 결과 2.4.1의 내부고장시와 유사한 형태의 ROC값의 변화로 내부고장으로 판단하였으며 고장지점에 가까운 WG5와 WG6 지점의 계전기 순으로 동작함을 확인하였다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2004-B -121) 주관으로 수행된 과제임.

3. 결 론

본 논문에서는 고장 구간만 선택적으로 차단 후 지속적인 발전전력 전송이 가능한 루프계통으로 구성된 대단위 풍력발전단지를 송전계통에 2회선으로 연계 운전할 경우 내부고장과 외부고장을 판별하여 동작할 수 있는 과전류 계전 알고리즘을 제안하여 내부계통 보호계전기와 외부계통 보호계전기가 보호협조를 할 수 있도록 하였으며, 내부 구간중 제한한 알고리즘이 외부구간으로 판별할 수 있는 고장에 대하여 기존 보호 알고리즘과 시간협조를 통해 고장을 안정적으로 판단할 수 있는 보호협조 방법을 제시하였다. 제안한 알고리즘은 발전기 접속 루프전류와 발전기 출력전류 비의 변화량을 이용하여 내부와 외부 고장을 구분하며, 풍력발전단지 모델계통의 내부, 외부, 인출단, 중단의 지점의 고장에 대하여 제안한 알고리즘의 적용한 결과 내부 및 외부 고장의 구분과 함께 고장구간을 선택적으로 차단 할 수 있음을 검증하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 장성일, 김광호, 권혁완, 김대영, 권혁진, "풍력발전단지 연계 전용선로 보호계전방식의 향상에 대한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol. 52A, No 15, 675-683, 2003
- [2] Haslam, S.J., Crossley, P.A., Jenkins, N, "Design and field testing of a source based protection relay for wind farms", Power Delivery, IEEE Transactions on, Volume 14, Issue 3, 818 - 823, July 1999
- [3] 한국전력공사 배전처, "분산형 전원 배전계통 연계 기술기준", 2005