

154 kV 계통 연계 대규모 풍력단지가 송전선 거리계전기에 미치는 영향

°장성일, 김광호*, 박종근*
*서울대학교, **강원대학교

Influence of the Large Scaled Wind Farm Interconnected with 154 kV Power Networks on the Distance Relay

°Sung-Il Jang* Kwang-Ho Kim** Jong-Keun Park*
*Seoul National University **Kangwon National University

Abstract - This paper describes the influences of the large scaled wind farm interconnected with 154 kV power networks on the operational characteristics of distance relay applied in the transmission line. The wind farm composed of wind turbine generators are one of the great energy sources: they can supply the power into an interconnected network not only the normal conditions, but also the fault conditions of power network. Therefore, the distance relay applied in the transmission line may mal-operate due to the contribution of wind farm. This paper presents the operational characteristics of distance relay for the fault occurred in the transmission line interconnected with wind farm. Simulation results show that it is difficult to recognize the fault location due to the power output of wind farm.

분담이 커져 정확한 사고 지점을 검출하는데 실패하였다.

2. 본 론

2.1 분산전원 연계 계통 모델링

본 논문에서는 전력계통 과도현상 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 154 kV 송전계통과 22.9 kV 배전계통을 모델링 하였으며, 분산전원 형태는 권선형 유도 발전기로 가정하였다.

2.1.1 154kV 송전계통 모델링

풍력발전단지가 연계 운영 될 전력계통은 2회선의 154 kV 송전선로와 배전용 변압기 용량이 45/60 MVA를 가진 22.9kV 배전계통이다. 송전선로는 ACSR 330 mm²로 배전선로는 ACSR 160 mm²와 95 mm²로 구성하였다. 송전선의 전원임피던스는 강릉 발·변전소의 모선 등가 임피던스를 적용하였으며 각각의 송전선로의 길이는 100 km와 125 km로 가정하였다. 선로 임피던스는 길이와 선중에 부합하는 실 데이터를 이용하였다. 풍력발전단지는 154/22.9 kV의 1차측 모선에 승압용 변압기를 통해 전용선으로서 연결되어 있으며 전용선로 길이는 약 15km로 가정하였다. 배전계통에서의 부하용량은 각각 30 MVA로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 1은 송·배전 선로의 단선도를 나타내고 있다. 그림에서 각 풍력발전기 전단에는 역률 보상을 커패시터 뱅크가 달려 있으며, 발전기 출력 변동에 따라 투입 혹은 절체 되도록 제어 하였다.

1. 서 론

현재, 에너지 생산비용이 타 발전설비에 비하여 비교적 적은 풍력발전단지의 보급이 최근에 급격히 확대되고 있는 실정이다. 풍력발전단지의 도입 초기에는 용량이 작은 발전기들을 배전선에 직접 연계하여 운영을 하였는데, 이러한 경우에는 발전기들의 용량이 작기 때문에 계통에 미치는 영향이 매우 작았다. 그러나 현재는 대용량 분산전원들이 전용선로를 이용하여 154 kV 변전소의 고압측에 직접 연계되므로, 기존에는 없었던 새로운 문제들이 발생할 가능성이 있다[1]. 특히, 송전선에서 발생하는 고장을 검출하는 거리계전기에 있어서 사고 시 풍력단지의 전류 분담으로 정확한 사고 지점 판단이 곤란하게 된다. 따라서 송전선에 설치된 거리계전기에 있어서의 풍력단지의 영향을 분석하고 이에 대한 영향을 최소화하기 위한 대책이 필요할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 대규모 풍력단지가 송전선 거리계전기의 동작 특성에 미치는 영향을 모의 분석하였다. 일반적으로 거리계전기는 계전점을 기준으로 보호구간을 Zone 1, Zone 2, Zone 3로 구분하여 사고를 검출하는데, 풍력단지의 영향으로 Zone 2와 Zone 3에서 발생한 사고들을 정확히 검출하지 못하는 경우가 발생하였다. 이는 사고 시 풍력단지에서 사고 전류의 일부를 담당하므로 계전점에서의 전류가 감소하고, 따라서 계산된 임피던스가 실제 사고 지점까지의 임피던스에 비해 큰 것처럼 나타나기 때문이다. 이와 같은 사고 특성은 계통연계 분산전원의 용량이 커짐에 따라 더욱 큰 차이를 보일 것으로 예상된다. 본 논문에서는 과도현상해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 권선형 유도발전기 25기로 구성된 55 MVA의 풍력단지를 154 kV 고압측에 전용선으로 연계한 후 다양한 지점에서의 사고를 모의 분석하였다. Zone 1에서는 사고전류의 크기가 매우 커 풍력단지의 연계 유무에 관계없이 거리계전기가 정상적으로 동작하였다. 반면 Zone 2와 Zone 3에서는 풍력단지의 전류

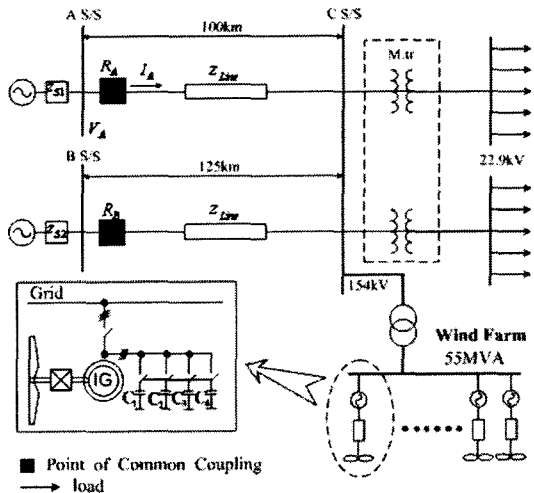


그림 1 풍력발전단지가 연계된 계통 단선도

2.1.2 풍력발전단지의 모델링

PSCAD/EMTDC에서는 동기발전기는 물론 유도기 형태의 발전기 등 다양한 종류의 전원기기를 제시하고 있으며, 권선형 유도기 모델을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 A, B, C는 배전계통에 연결되는 3상 전원을 의미하며 W, S, TL는 발전기의 출력을 조절하는 외부단자를 표현한다. 여기서, W는 풍력 유도발전기의 회전속도를, S는 발전기 출력특성 제어 변수를, 그리고 TL은 임의 값으로 유도발전기의 외부 입력이 된다. 권선형 유도기 모델은 입력 변수로써 회전자의 회전속도(W) 또는 입력 토크(T)를 사용할 수 있는데 이들 사이의 전환은 제어 변수 S에 의해 가능하다. S가 0이면 유도발전기는 토크제어 모드로 동작하여 TL 단자에 연결되어 있는 입력력을 기준으로 동작하며, 1일 경우 스피드 제어 모드로 동작하여 W 단자에 연결되어 있는 입력력을 기준으로 동작하도록 구성되어 있다. a, b, c는 외부저항 연결단자를 의미한다. 권선형 유도발전기는 2.2MVA의 용량을 갖는 전형적인 발전기로 가정하여 모델링 하였다[3][5].

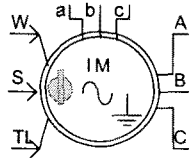


그림2 EMTDC에서의 권선형 유도발전기 모델

2.2 풍력발전단지 연계 시 송전계통 사고 특성

풍력발전 단지의 계통연계는 송전선 사고 시 변전소에서 담당하던 사고를 풍력발전단지에서 일부 담당하게 된다. 이러한 대규모 풍력단지의 전류분담은 변전소에서 공급하는 사고 전류를 감소시킴으로써 송전선 거리계전기에 부정적인 영향을 미칠 것이다.

2.2.1 송전선 보호용 거리계전기

거리 계전방식은 송전선로 보호에서 가장 널리 사용되는 보호 방식으로, 선로상의 고장을 자동적으로 선택 구분하여 고장 점까지의 전기적인 거리가 설정된 값 이하로 되었을 때 동작하며 동작시간은 임피던스에 비례한다. 거리계전기는 Zone 1이 주보호로 사용되고, Zone 2와 Zone 3은 후비보호로서 사용되는 3단계 거리계전방식의 기능을 가지고 있다. 본 논문에서 적용한 거리계전기의 동작 설정은 송전선로의 보호구간을 기준으로서 구간별 협조를 이루었으며, 계전기특징에 따른 결보이 계수는 고려하지 않았다. 계전기의 동작설정은 표 1과 같다[6].

표1 거리계전기의 동작특성

단계	동작시간	보호 구간
Zone1	1-3 Hz	자기구간의 85%
Zone2	20 Hz	자기구간의 125%
Zone3	100 Hz	자기구간의 225%

2.2.2 송전선 사고 시 풍력단지의 영향

대규모 풍력발전단지의 계통연계 시 송전선 사고에 대한 사고전류 흐름도를 그림 3에 제시하였다. 전술한 것과 같이 송전선 사고 시 풍력단지가 사고전류의 일부를 담당하게 된다. 따라서 동일한 사고 조건에 대해 풍력발전단지가 연계되어 있는 경우는 그렇지 않은 경우에 비해 큰 임피던스가 측정될 수 있다. 이러한 현상은 풍력발전단지의 발전용량이 증가함에 따라 더 많은 사고 전류를 담당하게 되므로 계전기에서 측정되는 임피던스

는 더욱 증가하게 될 것이다.

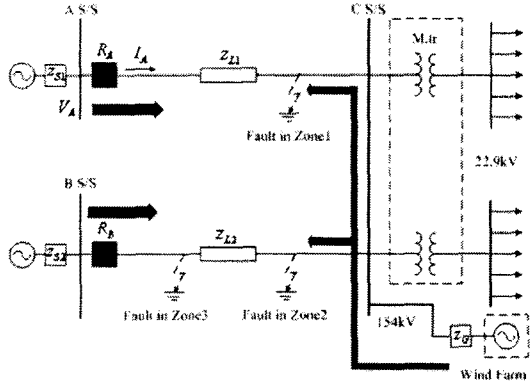


그림 3 풍력발전단지가 연계된 계통의 사고전류 흐름도

2.3 송전선 사고 모의

본 절에서는 그림 1의 계통을 대상으로 송전선 사고 시 풍력발전단지가 거리계전기기법에 미치는 영향을 모의 분석하였다. 거리계전기의 보호 구간을 Zone 1, Zone 2, Zone 3 구분하고 각 영역에서 분산전원 유무에 따른 1선 지락사고를 모의하였다. Zone 1에서는 분산전원 유무에 관계없이 사고 영역을 정확히 구별하였으나 Zone 2와 Zone 3에서는 분산전원의 영향으로 정확한 사고구간 판단이 곤란하였다. 송전선 사고 시 풍력발전단지는 최대 출력으로 운전되도록 조정하였다.

2.3.1 Zone1 내에서 사고

송전계통 사고 시 풍력발전단지의 유·무에 따른 거리계전기의 동작 특성을 살펴보기 위해, Zone 1 보호영역에 포함되는, A 변전소에서 75km 떨어진 곳에 1선 지락사고를 모의하였다. 이에 대한 모의결과를 그림 4에 제시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 Zone 1에서의 사고는 분산전원에 큰 영향을 받지 않는 것으로 분석되었다. 이는 모선에서 가까운 사고이므로 사고 전류의 대부분은 A 변전소에서 담당하기 때문이다. 그림에서 붉은 실선은 Zone 1로 판단하는 기준 임피던스를 의미한다.

2.3.2 Zone2 내에서 사고

그림 5는 A 변전소를 기준으로 120 km 떨어진 Zone 2에서의 사고 모의에 대한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 사고 이전에 부하전류를 분산전원이 담당하므로 임피던스가 상대적으로 크게 계산 되었다. 이후 사고 시에도 사고 전류의 일부를 분산전원이 담당하므로 임피던스는 45 Ω이 된다. 이 값은 설정치 43 Ω 보다 다소 크게 나타났다. 모의된 결과로 비추어 볼 때 Zone 2 영역의 사고임에도 불구하고 Zone 3로 인식되어 넓은 영역으로 사고가 파급될 가능성이 있다. 분산전원이 연계되어 있지 않았을 때에는 정상적으로 Zone 2로 판단하였다.

2.3.3 Zone3 내에서 사고

A 변전소로부터 200 km 떨어진 지점에서 1선 지락사고를 모의하였으며 이에 대한 결과를 그림 6에 나타내었다. 시뮬레이션 결과는 Zone 2에서 발생한 사고와 유사한 특징을 가진다. 단지 분산전원 유무에 따른 사고 임피던스의 계산 결과가 큰 차이를 보이고 있다. 분산전원 연계 시 사고 임피던스의 크기는 거리계전기의 기준 설정치보다 크게 증가하여 자기 구간의 사고로 판단하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 이는 사고 지점이 보호 구간으로부터 멀리 떨어진 지점에 따라 분산전원의 영향이 더욱

크게 증가하는 것을 의미한다. 분산전원이 연계되어 있지 않았을 경우에는 정상적으로 사고를 검출하였다.

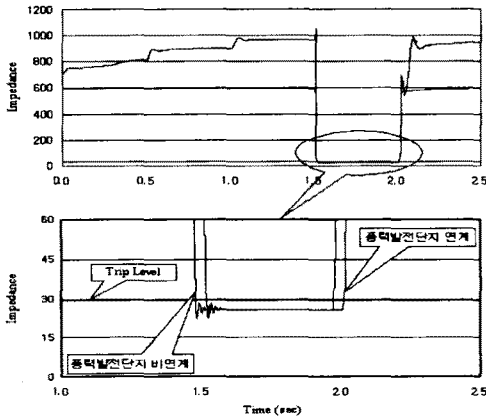


그림 4 Zone1 내에서 사고 시 풍력발전단지의 유·무에 따라 R_A 거리계전기의 측정 임피던스

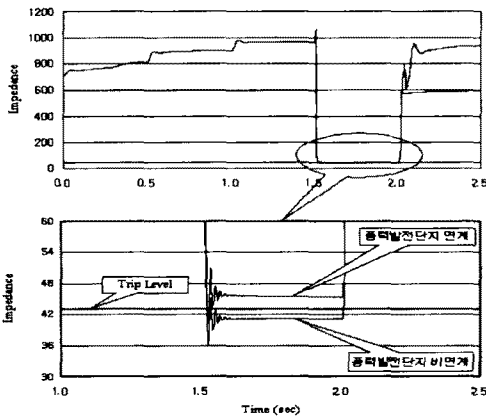


그림 5 Zone2 내에서 사고 시 풍력발전단지의 유·무에 따라 R_A 거리계전기의 측정 임피던스

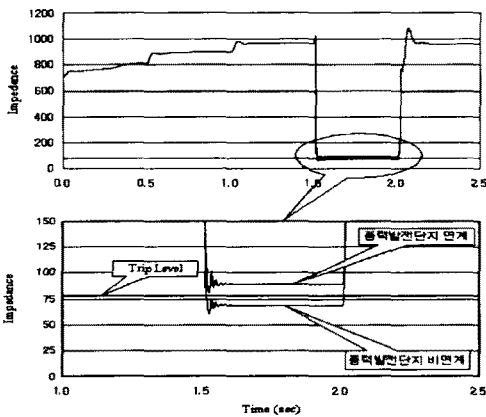


그림 6 Zone3 내에서 사고 시 풍력발전단지의 유·무에 따라 R_A 거리계전기의 측정 임피던스

3. 결 론

본 논문에서는 대규모 풍력단지가 송전선 거리 계전기의 동작 특성에 미치는 영향을 모의 분석하였다. 일반적으로 거리계전기는 계전 점을 기준으로 보호구간을 Zone 1, Zone 2, Zone 3로 구분하여 사고를 검출하는데, 풍력단지의 영향으로 Zone 2와 Zone 3에서 발생한 사고들을 정확히 검출하지 못하는 경우가 발생하였다. 이는 사고 시 풍력단지에서 사고 전류의 일부를 담당하므로 계전 점에서의 전류가 감소하고, 따라서 계산된 임피던스가 실제 사고 지점까지의 임피던스에 비해 큰 것처럼 나타나기 때문이다. 이와 같은 사고 특성은 계통연계 분산전원의 용량이 커짐에 따라 더욱 큰 차이를 보일 것으로 예상된다. 특히, Zone 3의 사고에서는 자기구간의 사고로 판단하지 못하여 사고 영역을 과급시키는 결과를 가져왔다. 본 논문에서는 과도현상해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 권선형 유도발전기 25기로 구성된 55 MVA의 풍력단지를 154 kV 고압 축에 전용선으로 연계한 후 다양한 지점에서의 사고를 모의 분석하였다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 BK21 사업의 지원으로 이루어졌으며 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] Manitoba HVDC Research Centre, "PSCAD/EMTDC User's Manual." Canada 1986.[6] IEEE Distribution Planning Working Group Report, "Radial Distribution Test Feeders." IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 6, No. 3, August 1991
- [3] Manitoba HVDC Research Centre, " EMTDC V3 User's Manual"
- [4] 한국전력공사 계통운영처, "타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침" 1996. 8
- [5] 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
- [6] 한국전력공사, "변전설비 현장 Guide Book", 2001