

## 풍력발전기의 출력변화에 따른 적응형 과전류계전기

최동민, 권영진, 이동규, 강상희  
명지대학교 차세대전력기술연구센터

### An Adaptive Overcurrent Relay for a Wind Power Generator Having Variable Outputs

Dong-Min Choi, Young-Jin Kwon, Dong-Kyu Lee, Sang-Hee Kang  
NPTC, Myong-ji University

**Abstract** - This paper presents an adaptive overcurrent relay applied to interconnecting wind generators in distribution networks. When a fault occurs in the case of the decreasing the wind power generator output, the conventional overcurrent relay can't detect the fault. The suggested adaptive overcurrent relay can detect. An adaptive overcurrent relay improves reliability and security of the power system protection with distributed generator. A PSCAD/EMTDC simulation results have shown effectiveness of the proposed method.

### 1. 서 론

산업발전과 생활수준의 향상으로 인해 전력에너지의 수요가 급격히 증대됨에 따라 에너지원 확보에 대한 관심이 증대되고 있다. 그러나, 대용량발전소 건설의 경우 부지확보난, 환경문제, 자원의 고갈등과 같은 문제점을 안고 있어, 소규모 자가발전이나 태양광, 풍력, 연료전지 등의 대체에너지에 대한 관심 및 연구개발이 집중되고 있다. 특히 풍력발전은 유럽을 중심으로 지속적인 보급, 대용량 발전기의 개발등으로 현재 가장 경쟁력있는 미래의 신재생 에너지원으로 주목받고 있다.

풍력발전의 상용화 기술발달로 용량이 증대됨에 따라 전력계통 연계기술은 필수 불가결한 핵심 요소 기술로 최근 국내외에서 많은 연구가 진행되고 있다. 이 연구분야 중 시스템의 보호측면에서는 크게 분산전원 자체 보호와 연계 계통 보호 및 고립운전 검출의 3개분야로 연구가 진행되고 있다. 풍력발전 연계계통 보호 분야의 연구는 분산전원의 계통병입으로 인한 고장전류의 변동에 따른 보호협조 조정[1], 분산전원의 특성을 반영한 보호계전기의 정정을 변경하여 고장검출 능력의 향상시키는 방법[2]등이 소개되고 있다.

풍력발전기의 경우 바람의 양에 따라 그 출력이 항상 일정하게 유지되는 것이 아니기 때문에 기존 보호계전기의 정정방식으로 정정하였을 경우, 풍력발전의 출력량에 따라 부동작 및 오동작의 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 풍력발전기 출력이 변화하고 있을 때 고장이 발생한 경우 보호계전기의 오동작을 방지하며, 정확하고 장관단이 가능한 사율정정기능의 적응형 과전류계전방법을 제안하고, 사례연구를 통하여 제안한 방법의 타당성을 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 분산전원의 계통연계

분산전원이 계통에 도입되어 연계되면 여러 가지 해결해야 할 문제점이 있다. 특히 배전계통에서는 전력조류의 방향이 변전소에서 선로 말단을 향한 단방향이었으나, 분산전원이 도입됨에 따라 분산전원의 출력에 따라

양방향의 전력조류가 발생할 가능성이 있어 계통운용상 전압이나 주파수의 변동, 분산전원의 고립운전등의 문제가 발생하여 전력공급의 신뢰도가 저하될 우려가 있다. 따라서, 분산전원의 도입에 따른 다양한 고장시에 계통을 보호할 수 있는 분산전원용 보호시스템을 구성하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

#### 2.2 보호시스템의 구성

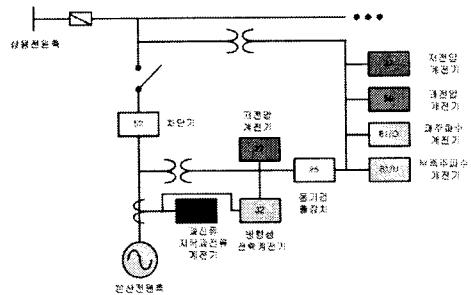


그림 1 분산전원의 계통 연계시 보호시스템의 구성

그림 1은 "타사발전기 병렬운전 연계선로 보호지침"에서 규정하는 분산전원의 배전계통연계시 보호기기들에 대한 단선도이다.[3] 그림 1에서 보는 것과 같이 분산전원이 배전계통에 연계되는 경우 선로의 고장을 검출하기 위해서 연계점에 과전류계전기와, 지락과전류 계전기(51G)가 설치되어야 한다. 분산전원측에는 과전류계전기(51I), 지락과전류계전기(51G), 저전압계전기(27), 과전압계전기(59), 주파수계전기(81)들이 설치되어 분산전원의 계통연계시 고장검출에 이용된다. 연계점에 설치되는 과전류계전기는 주로 3상과 2선 단락고장에 대한 보호책무를 가지며, 지락과전류계전기는 1선 지락고장등의 3상 불평형 고장에 대한 보호책무를 갖는다.

한편, 분산전원연계지점의 모선측의 저전압계전기의 경우 차단기동작으로 분산전원이 단독운전 모드로 전환되면 전선에 설치된 계전기들이 단독운전하는 분산전원의 운전상태를 검출하여 계통으로부터 분산전원이 완전히 분리되도록 동작했는지를 검출하는 용도로 이용된다. 분산전원이 고립운전을 검출하지 못하고 계속해서 전력을 계통으로 공급하면 재폐로 계전기는 저전압계전기의 출력을 모니터링하여 차단기가 계통에 재투입되는 것을 방지한다. 방향성계전기(32)는 계통으로 전력을 공급하지 않는 분산전원의 역송방지에 사용되거나 고장전류가 비약하여 검출이 용이하지 않을 경우, 무효전력을 이용하여 고장을 검출하는 데 이용된다.

본 논문에서는 그림 1의 분산전원 계통연계시 보호시스템 구성에서 연계점과 분산전원측의 보호에 모두 사용

되는 과전류 계전기를 대상으로 풍력발전기의 출력이 변동했을 때, 고장이 발생한 경우 기존 정정방법으로 정정한 과전류계전기의 문제점을 밝히고, 이에 대한 해결책으로 풍력발전기의 출력에 따른 자율정정기능의 과전류계전기를 제시하였다.

### 2.2.1 과전류 계전기의 적용

분산전원측의 과전류 계전기(51)는 고장점의 위치에 따라 고장전류의 방향이 변하지 않고, 고장전류의 방향이 바뀌더라도 보호협조를 기대할 수 있는 계통에 적용할 수 있으며, 고장에 의한 분산전원 발전기 정지에 따른 수전전력 초과를 방지하기 위해 사용된다.

일반적으로 분산전원측에 설치된 과전류 계전기의 정정은 일반부하에서는 최대부하전류의 150~170%로, 변동부하에서는 200~250%로 정정한다.[4]

분산전원으로 풍력발전기가 사용된 경우, 풍력발전기의 출력용량은 풍량에 의존하게 된다. 따라서, 풍량에 의해 풍력발전기가 담당할 수 있는 부하의 양이 결정되고, 그에 따라 최대부하전류도 영향을 받게 된다. 풍력발전기의 출력이 감소하는 경우, 고장발생시 고장전류는 풍력발전기가 100%의 출력을 내고 있을 때보다 줄어들게 되고, 고장저항이 개입되면 더 감소하게 된다.

따라서, 출력의 변동과 고장저항이 포함된 고장발생시 기존의 정정방식으로 정정한 과전류 계전기는 출력의 변동에 의해 고장전류가 작아지는 것을 반영하지 못해 부동작의 가능성 있다.

### 2.2.2 분산전원측 적용형 과전류계전기

풍력발전기가 설치된 분산전원측 과전류 계전기의 정정은 풍력발전기의 출력을 고려해야 한다. 출력은 계전기 설치점에서의 전압과 전류를 이용하여 계산할 수 있다. 그림2는 출력의 변화에 따른 자율정정기능의 적용형 과전류계전기의 흐름도이다.

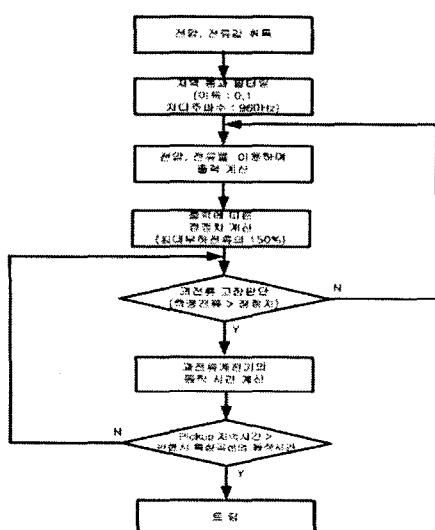


그림 2 적용형 과전류계전기의 흐름도

풍력발전기가 담당할 수 있는 최대부하는 풍력발전기의 용량에 의해 결정되어지므로 출력의 변동에 따른 최대부하전류를 계산할 수 있으며, 이를 통해 과전류계전기의 정정치를 출력변화에 따라 자율 정정할 수 있다. 따라서, 풍력발전기의 출력이 감소할 때 고장이 발생하여 고장전류의 값이 줄더라도 그에 따른 자율정정을 통해 올바른 고장판단을 할 수 있으며, 고장저항이 개입되어 고장전류가 작아지는 경우에도 고장판단이 가능하다.

## 3. 계통 모델링

### 3.1 사례연구

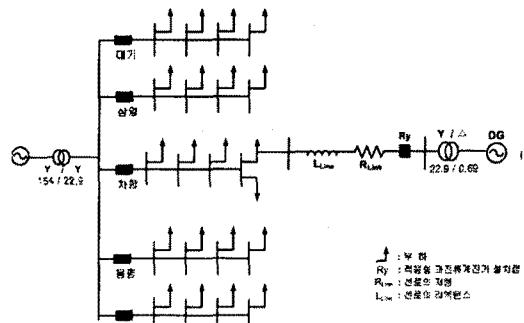


그림 3 풍력발전과 배전계통의 연계

제안한 자율정정기능의 적용형 과전류계전기방식의 타당성을 검증하기 위하여 그림 3과 같이 전력계통 해석 시뮬레이션 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 실제의 배전계통을 모델링하였다. 풍력발전기는 동형 유도기 모델의 회전속도와 토크제어방식으로 계통에 직입연계방식을 채택하였다. 풍력발전기가 연계된 배전계통은 선간전압이 22.9kV이며, 각 모선은 서로 다른 부하용량을 가진 5개의 간선으로 이루어져 있으며, 풍력발전기는 ACSR 160 mm<sup>2</sup>의 전용선으로 22.9kV 모선과 10km 떨어진 지점에서 1개의 간선에 연결된 부하에 전력을 공급하도록 하였다.

과전류계전기의 고장판단을 위해 반한시 과전류계전기(KEPCO용)를 사용하였으며, 반한시 특성곡선을 이용한 동작시간 및 계전기의 특성값은 식(3)과 같다.[5]

$$t = \frac{K}{I^L - 1} + C \times \frac{M}{10} \quad (3)$$

여기서,

K,C : 계전기의 특성값 ( $K=0.11$ ,  $C=0.42$ )

I : G(계전기입력전류) / GS(계전기동작정치)

L : 특성 곡선지수 ( $L=0.02$ )

M : 동작시간배율

### 3.2 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 풍력발전기의 출력이 감소했을 때, 고장거리별(20km, 80km), 고장저항(10Ω) 유무에 따라 기존 정정방식의 과전류계전기의 부동작 사례를 보이고, 제안하는 자율정정기능의 적용형 과전류계전기의 타당성을 검증하였다.

검증에 사용된 출력의 변화에 따른 기존 정정방식의 과전류계전기와 자율정정기능의 적용형 과전류계전기의 정정치는 표 1과 같다.

표 1 출력변화에 따른 과전류 계전기의 정정치

과전류 계전기	100%	80%	50%
기존 과전류계전기	253 [A]	253 [A]	253 [A]
적용형 과전류계전기	253 [A]	202 [A]	127 [A]

그림4,5는 풍력발전기의 출력이 80%로 감소하고, 원거리(80km)에서 고장이 발생했을 때 고장저항의 유무에

따른 동작결과를 보여준다.

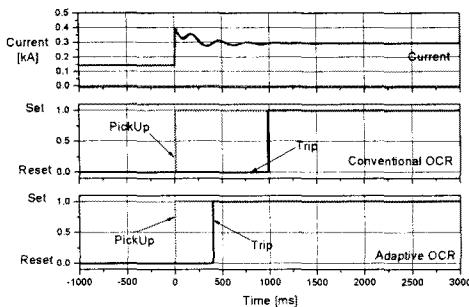


그림 4 풍력발전기 출력 80%, 원거리 0[Ω] 고장시

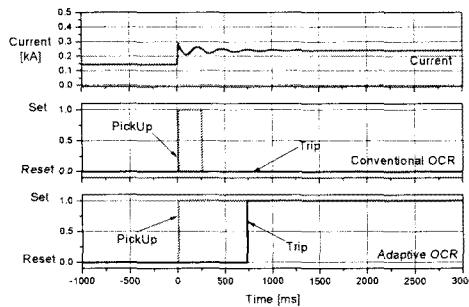


그림 5 풍력발전기 출력 80%, 원거리 10[Ω] 고장시

그림 4~5에서 보는 것과 같이 기존의 정정방법을 적용하여 과전류계전기를 정정했을 경우 그림 4와 같이 풍력발전기의 출력이 80%로 감소하고, 고장저항이 개입하지 않은 고장발생시 올바른 고장판단을 하지만, 그림 5와 같이 고장저항이 개입된 경우에는 부동작하는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 자율정정기능의 적용형 과전류계전기는 고장저항이 포함되지 않은 고장에서 기존 정정방식의 과전류계전기보다 고장검출시간이 짧고, 고장저항이 포함되더라도 올바른 고장판단을 하는 것을 확인할 수 있다.

다음의 그림 6과 7은 풍력발전기의 출력이 50%로 감소하고, 고장저항이 개입된 근거리 고장과 고장저항이 개입되지 않은 원거리 고장발생시 기존정정방식의 과전류계전기와 자율정정기능의 적용형 과전류계전기의 동작결과이다.

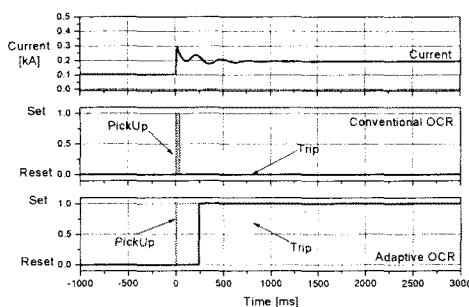


그림 6 풍력발전기 출력 50%, 근거리 10[Ω] 고장시

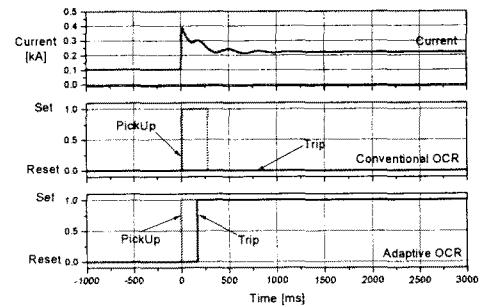


그림 7 풍력발전기 출력 50%, 원거리 0[Ω] 고장시

기존의 정정방법을 적용하여 과전류계전기를 정정했을 경우 그림 6과 같이 풍력발전기의 출력이 50%로 감소하고, 고장저항이 개입된 근거리 고장이 발생한 경우 기존 정정방식의 과전류계전기는 고장저항으로 인해 고장전류가 줄어들어 고장판별을 하지 못한다. 또한, 고장저항이 개입되지 않은 경우에도 원거리에서 고장이 발생한 경우 고장으로 판별하지 못한다. 그러나, 자율정정기능의 적용형 과전류계전기는 고장저항이 포함되지 않은 원거리 고장과 고장저항이 포함된 근거리 고장발생시 올바른 고장판단을 하는 것을 볼 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 풍력발전기의 출력이 감소하고, 고장저항이 개입된 근·원거리고장이 발생하더라도 출력에 따른 자율정정으로 고장검출이 가능함을 확인할 수 있다. 또한, 기존 정정방식의 과전류계전기보다 고장검출시간이 빠르므로 계전기의 동작속도도 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 풍력발전기의 출력변동시, 고장이 발생할 경우 분산전원측에 설치된 자율정정기능을 갖는 보호계전기를 통해 기존 과전류계전기의 부동작 문제를 해결하였다. 이때, 자율정정을 위해 풍력발전기의 출력을 추정하는 방법을 제시하였고, 계산된 출력을 통해 분산전원측에 설치된 계전기가 자율정정기능을 갖도록 하였다. 또한, 사례연구를 통해 제안된 방법의 타당성 및 자율정정기능을 갖는 보호계전기의 타당성을 검증하였다. 따라서, 분산전원측에 설치된 기존 보호계전기의 부동작을 방지하고, 신속한 고장검출로 인한 보호계전기의 신뢰성 및 안전성 향상에 기여할 것으로 기대된다.

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

#### [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] Mesut Baran, Ismail El-Markabi, "Adaptive OverCurrent Protection for Distribution Feeders with Distributed Generators", Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES 10-13, 715-719, Oct. 2004.
- [3] 한국전력공사 계통운영처, “타사 발전기 병렬운전 연계선로 보호업무 지침”, 1996. 8
- [4] 신대승, “보호계전 시스템 기술”, 技多利, 2001.10
- [5] 경보전기주식회사, “GD311-ABK01(V1[1].3) 사용설명서”