

**이중여자 유도형 풍력발전기의 Fault Ride Through 향상 제어기법에 관한 연구**

이성은\*, 김운성\*, 원동준\*  
 인하대학교 전기공학과

**An improved Fault Ride Through control scheme for Doubly fed induction generator**

Sung-Eun Lee\*, Yun-Seong Kim, Dong-Jun Won  
 Inha University\*

**Abstract** - 전력계통에서의 풍력 발전의 설치가 증가하면서 사고 발생 시 전체 계통에 대한 신뢰도 및 안정도에 영향을 미친다. 이를 고려한 Fault Ride Through 제어 기법은 보다 안정적인 계통운전을 위한 방안이다. 최근 대부분의 풍력발전시스템은 이중여자 유도형 발전시스템(DFIG)이 설치되는데, 이는 전력변환장치를 이용한 유효 및 무효 전력 제어가 가능한 가변속 풍력발전시스템이다. 본 논문은 PSCAD/EMTDC를 통해 DFIG를 모델링하고 Crow Bar와 Rotor Side Converter의 연계 제어를 이용한 Fault Ride Through 제어 기법을 시뮬레이션 결과를 통해 확인 하였다.

**1. 서 론**

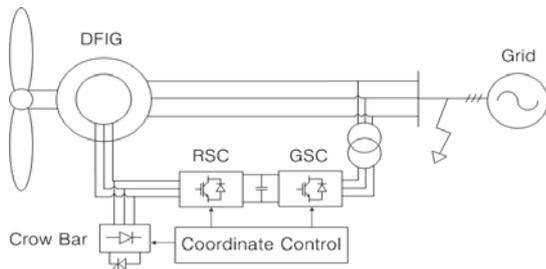
풍력발전은 발전 단가 측면에서 화석연료를 이용하는 기존 발전방식에 가장 근접한 신재생 에너지원으로, 현재 전 세계적으로 가장 빠르게 성장하고 있다. 풍력발전 설치가 증가함에 따라 전체 전력 계통에 미치는 영향은 더욱 커지게 된다. 특히 전력계통에서 단락 또는 지락사고 발생 시 풍력발전기의 단자전압이 감소하여 발전기 내부에 과전류가 흐르게 된다. 이때 사고로 인한 발전기 및 설비고장을 방지하기 위해 연계 계통에서 분리시킨다. 대규모 풍력발전단지에서 사고에 따른 트립은 계통에 보다 큰 과급 영향을 끼친다. 이를 개선하기 위해 사고 발생 시 풍력발전기를 계통에서 분리시키지 않고, 일정 지속시간동안 전압강하를 허용하면서 전력 공급을 유지시키는 Fault Ride Through 제어기법이 제안되고 있다.

본 논문은 현재 가장 많이 설치되어 있는 이중여자 유도형 풍력발전기(Doubly fed induction generator, 이하 DFIG)의 동특성 분석을 바탕으로 한 Fault Ride Through 제어기법을 제안하고, PSCAD/EMTDC를 이용한 모델을 바탕으로 결과를 검증하고자 한다.

**2. 본 론**

**2.1 이중여자 유도형 풍력발전기(DFIG) 모델링**

**2.1.1 이중여자 유도형 풍력발전기(DFIG) 구조**



〈그림 1〉 이중여자 유도형 풍력발전기(DFIG)의 구조

DFIG는 크게 권선형 유도발전기와 전력변환장치로 구성되어 있다. 전력변환장치는 유도발전기의 회전자 측에 연결되어있는 회전자 측 컨버터(Rotor Side Converter, 이하 RSC)와 계통에 연결되어있는 그리드 측 컨버터(Grid Side Converter 이하 GSC)로 구성되며 IGBT소자를 사용하여 PWM제어를 한다. RSC는 발전기의 고정자와 그리드 사이에 교환되는 유효 및 무효전력을 제어하고, GSC는 DC 링크 전압을 일정하게 유지하고 무효전력을 제어함으로써 역률을 향상시키는 역할을 한다[1].

**2.1.2 이중여자 유도형 풍력 발전기(DFIG) 제어**

DFIG의 회전자 전압과 전류를 제어함으로써 고정자에서 발생하는 전력을 제어하는데, 유효전력과 무효전력을 독립적으로 제어하기 위해 벡

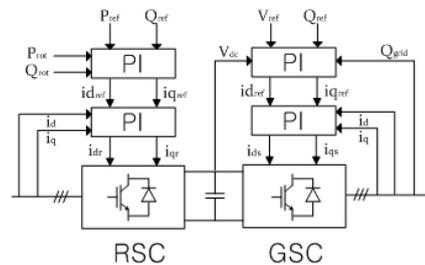
터제어를 사용한다[2]. 이는 제어의 편리를 위해 d-q변환을 사용하는데 RSC는 고정자 자속벡터를 기준으로, 회전자의 d-축과 q-축을 분리해서 d-축 전류제어를 통하여 고정자의 무효전력을, q-축 전류제어를 통하여 DFIG의 전기적 토크 및 고정자의 유효전력을 제어할 수 있다. 고정자의 유효전력 및 무효전력 식은 아래와 같다.

$$P_s = -\frac{3}{2} \frac{L_m}{L_s} V_{qs} I_{qr} \tag{1}$$

$$Q_s = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_s} V_{qs} (I_{ms} - I_{dr}) \tag{2}$$

$L_m$  : 자화 인덕턴스                       $L_r$  : 회전자 자기인덕턴스  
 $I_{dr}$  : 회전자 d-축 전류                   $I_{qr}$  : 회전자 q-축 전류  
 $V_{qs}$  : 고정자 q-축 전압                   $I_{ms}$  : 자화전류

GSC는 고정자 전압을 기준으로 위상각을 측정해서 벡터 제어를 수행한다. 이를 통해 d-축 전류제어를 통해 DC 링크의 전압을, q-축 전류제어를 통해 무효전력을 제어할 수 있다.



〈그림 2〉 이중여자 유도발전기(DFIG)의 제어

**2.2 Fault Ride Through 제어기법**

**2.2.1 Fault Ride Through**

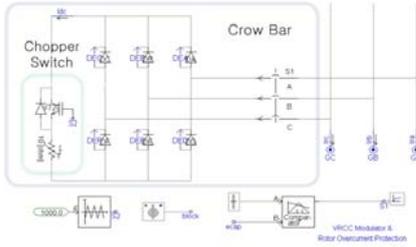
대부분 유도형 발전기로 이루어진 풍력발전기는 지락사고 발생 시 사고지점의 전압 강하와 함께 발전기 내부 고정자에서 회전자로 과전류가 흐르게 된다. 또한 기계적 토크와 전기적 토크가 비동기화 되기 때문에 회전자 속도가 가속된다. 사고가 심각할 경우 회전자속도의 증가로 탈조될 위험성과 발전기 내부 손상을 입을 수 있으므로 이전에는 계통과 풍력발전의 분리를 통해 보호하였다. 그러나 풍력발전기의 설치가 증가함에 따라 계통과 분리시키는 것이 오히려 계통 전체 신뢰도와 안정도에 측면에서 더욱 악화시키는 원인이 되고 있다. 이로 인해 사고가 발생하여도 풍력발전기를 보호하면서 일정 전압 강하를 허용하여 연계 운전을 유지하기 위한 Fault Ride Through 제어기법이 제안되고 있다.[3]

**2.2.2 Crow Bar를 이용한 Fault Ride Through**

사고 발생시 DFIG의 회전자 측 전류와 DC링크의 전압이 급상승하기 때문에 전력변환장치와 발전기 회전자 권선에 문제를 일으킬 수 있다. Diode와 IGBT Chopper Switch로 구성된 Active Crow Bar를 사용하면 사고발생시 회전자 측에 흐르는 과전류로 인한 전력변환장치의 고장을 방지하고, DC 링크의 전압상승을 방지하여 계통의 사고회복을 향상시킬 수 있다.

아래 〈그림 3〉은 Chopper Switch를 이용한 Crow Bar를 보여주고 있다. 사고 발생 시 DC링크의 전압을 측정하여 정격전압의 3%가 상승할 경우 스위치 S1이 개방상태에서 도통하도록 동작한다. 또한 Chopper

Switch는 저항과 함께 구성되어 1000Hz On/Off를 반복 동작함으로써 에너지를 방출시킨다. 이러한 동작은 DC링크의 전압 상승과 과전류의 흐름을 차단한다. Crow Bar의 동작과 함께 Rotor Side Converter를 연계해서 제어하게 되는데 사고 발생 시 RSC에 신호를 전달해서 IGBT소자 작동을 직접 관여함으로써 Converter에서 Rotor 측으로 흐르는 전류를 제한할 수 있다.



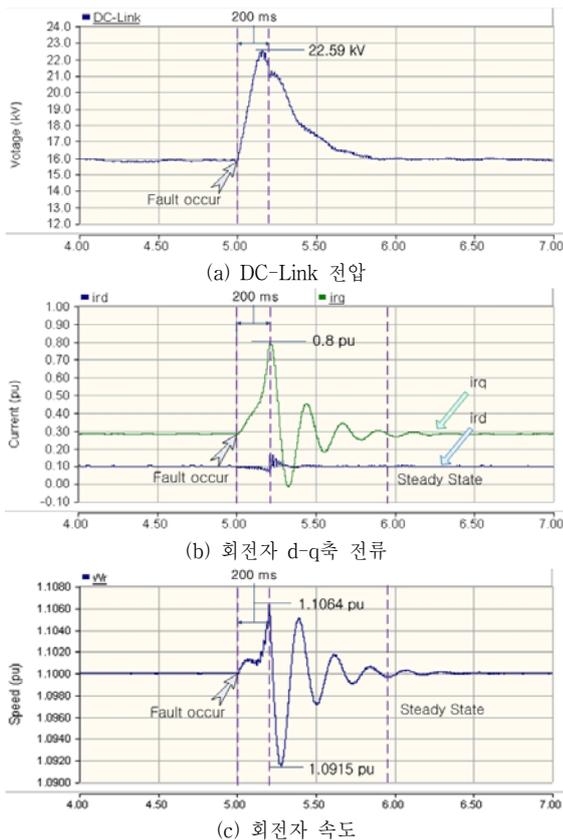
〈그림 3〉 Crow Bar를 이용한 Fault Ride Through

### 2.2.3 사고 시나리오

DFIG와 계통 사이에서 정격전압의 80% 전압강하를 5초부터 200ms동안 발생시킨다. 사고 시 Crow Bar의 사용 유무에 따른 DFIG 내부 DC-Link 전압과 회전자 권선에 흐르는 d-q축 전류, 회전자 속도를 측정하고 이를 분석하였다.

## 2.4 시뮬레이션 결과 및 해석

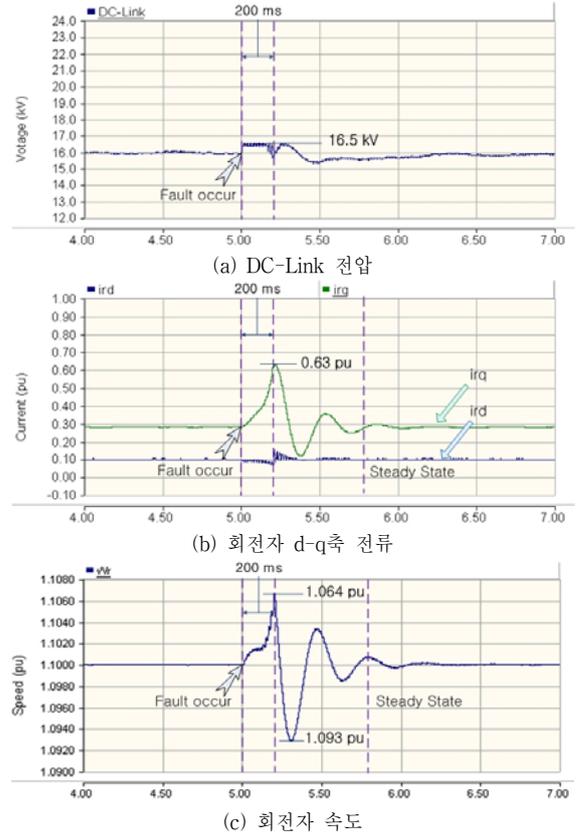
### 2.4.1 과도상태 해석



〈그림 4〉 과도상태 시 DFIG 출력 특성

〈그림 4〉는 Crow Bar를 사용하지 않았을 때 DFIG의 DC-Link 전압과 회전자에 권선에 흐르는 d-q축 전류, 그리고 회전자의 속도를 보여준다. 지락사고가 발생하면 계통상에서 급격한 전압강하가 나타난다. 동시에 〈그림 4(b)〉에서 DFIG에 회전자에 흐르는 과도한 전류가 흐르는 것을 볼 수 있고, 이로 인해 DC-Link 전압이 상승하게 됨을 〈그림 4(a)〉에서 확인할 수 있다. 기계적 토크와 전기적 토크의 불평형으로 인한 회전자의 가속되는 현상은 〈그림 4(c)〉와 같다. 결과에서 볼 수 있듯이 사고가 발생할 경우 과전류로 인한 전력변환장치의 손상이 예상되며 Converter 제어가 불가능할 경우 회전자 속도는 계속 증가하여 탈조될 가능성이 있다.

### 2.4.2 Crow Bar를 이용한 Fault Ride Through 결과



〈그림 5〉 Crow Bar를 이용한 DFIG 출력 특성

〈그림 5〉는 Crow Bar와 RSC를 연계 제어했을 때 결과이다. DC-Link 전압은 정격전압의 3%가 상승할 경우 Crow Bar의 동작을 통해 전압상승을 방지하고 에너지를 방출함으로써 안전범위에서 전압이 유지되는 것을 〈그림 5(a)〉에서 확인할 수 있다. Crow Bar 사용과 함께 RSC의 동작을 제한은 회전자의 흐르는 전류를 감소되는 것을 〈그림 5(b)〉에서 확인하였고, 사고 제거 후 생기는 과도상태에서 회전자 속도의 변화를 감소시키는 물론 정상상태(Steady state)에 빠르게 도달하는 것 또한 〈그림 5(c)〉에서 볼 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 이중여자 유도형 풍력 발전시스템(DFIG)을 PSCAD/EMTDC를 이용해 모델링하였고, 기본적인 DFIG의 특성을 바탕으로 사고 발생 시 특성을 분석하고, Crow Bar를 이용한 Fault Ride Through 제어기법을 이용하였다. 전력변환장치 설비 보호를 위한 Crow Bar의 사용은 저항과 Chopper Switch를 이용해 DC-Link의 전압상승을 방지하였고, RSC의 연계 제어를 통해서 더욱 안정된 출력을 얻음으로써 향상된 Fault Ride Through를 확인할 수 있었다.

앞으로 Crow Bar와 GSC를 이용한 제어를 바탕으로 외부 장치 없이 RSC와 GSC를 이용하여 Fault Ride Through에 강인한 제어를 할 수 있는 제어기법에 대해 연구할 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2007-1-015-01)주관으로 수행된 과제임

### [참고 문헌]

- [1] S. Muller, M. Deicke, and R. W. de Doncker, "Doubly fed induction generator systems for wind turbines," IEEE Ind. Appl. Mag., vol. 8, no. 3, pp. 26 - 33, May/June. 2002.
- [2] L. Xu and P. Cartwright, Direct Active and Reactive Power Control of DFIG for Wind Energy Generation[J]. IEEE Trans.Energy Convers., vol. 21, no. 3,pp750-758, Sep. 2006.
- [3] J. Niiranen, "Voltage Dip Ride Through of a Doubly-fed Generator Equipped with an Active Crowbar," in Nordic Wind Power Conf., Chalmers University of Technology, Mar. 2004