

# 계통 연계형 권선형 유도발전기의 동작특성 연구

김찬기, 박종광, 최영도, 임성주, 문형배  
전력연구원

## Study on the Operating Characteristics of Double Fed Induction Generator Connected AC network

Chan-Ki Kim, Jong-Kwang Park, Young-Do Choi, Seong-Joo Lim, Hyoung Bae-Moon  
Korea Electric Power Research Institute

### ABSTRACT

This paper shows the comparison of operating characteristics between squirrel cage induction generator and DFIG(Double Fed Induction Generator). Because squirrel cage induction generator consume the reactive power due to magnetizing reactance, the capacitor is need to compensate the reactive power. Otherwise, two back-to-back PWM voltage-fed inverters connected between the stator and the rotor allow sub/super synchronous operation with low distortion currents. In this paper, the response characteristics of squirrel cage induction generator and DFIG, were analyzed and investigated using PSCAD/EMTDC.

### 1. 서 론

신 재생에너지 연계에 사용되는 유도기는 농형 유도기와 권선형 유도기로 분류할 수 있는데, 이를 다시 컨버터의 위치와 운전특성에 따라 분류해 보면 표 1과 같다.

표 1 유도기의 종류  
Table 1 The kind of Induction Machine

| 속도  | 발전기     | 계통과의 연결      | 운전속도 범위(%) | 인버터의 용량(%) | 제어 |
|-----|---------|--------------|------------|------------|----|
| 가변속 | 농형 유도기  | 계통 직결        | 100~108    | -          | 간단 |
|     | 농형 유도기  | 컨버터          | 50 ~120    | 100        | 보통 |
|     | 권선형 유도기 | 계통 직결 (저항제어) | 100~130    | -          | 보통 |
|     | 권선형 유도기 | 계통 직결        | 70 ~130    | 25~30      | 복잡 |

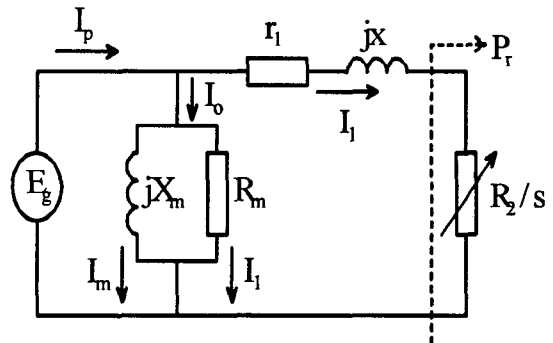
### 2. 권선형 유도 발전기의 특성[1]

정상상태에서 유도기의 토크 방정식은 식 1과 같이 표현될 수 있으며, 발전기 모드에서 최대 토크 방정식은  $dT_d/ds = 0$  조건을 이용하여 풀면 식 2가 된다.

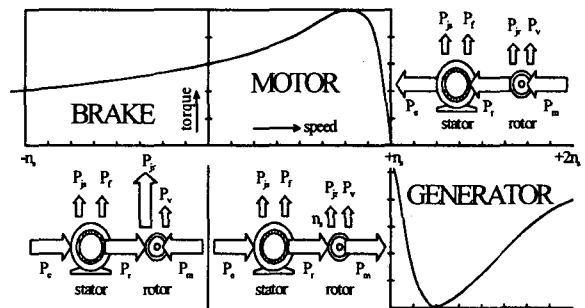
$$T_d = \frac{3 \cdot R_r \cdot E_g^2}{s \cdot \omega_s \cdot [(R_s + R_r/s)^2 + (X_s + X_r)^2]} \quad (1)$$

$$T_{d-max} = \frac{3 \cdot E_g^2}{2 \cdot \omega_s \cdot [-R_s + \sqrt{R_s^2 + (X_s + X_r)^2}]} \quad (2)$$

여기서,  $R_r$ 은 회전자저항,  $R_s$ 는 고정자 저항,  $E_g$ 는 출력전압,  $s$ 는 슬립,  $\omega_s$ 는 정격속도,  $X_s$ 는 고정자 인덕턴스 그리고  $X_r$ 는 회전자 인덕턴스



(a) 유도기 등가회로



(b) 유도기 운전모드

그림 1 유도기의 등가회로와 운전특성 곡선  
Fig. 1 Equivalent Circuit and Operating Characteristics of Induction Generator

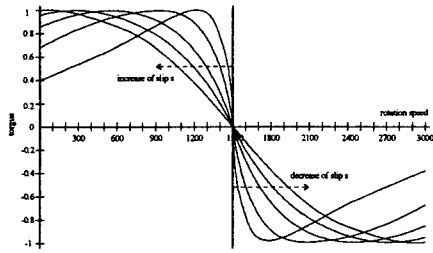


그림 2  $R_2$ 을 변화했을 경우에 유도기의 속도-토크 특성  
Fig. 2 Speed-Torque Characteristics according to changing  $R_2$

한편, 그림 2에서 보여주는 방법은 회전자 저항을 가변함으로써 유도기의 특성을 변화시키는 방법이나 이 방법은 회전자의 전력을 2차 저항을 통하여 소비시키는 방법이기 어떤 의미에서는 비효율적으로 생각할 수 있다. 이러한 회전자 전력을 계통으로 Feed 또는 Feed Back하는 방식이 궁극적으로 DFIG (Double fed Induction Generator) 방식으로 이러한 DFIG의 속도-토크 특성은 그림 3과 같다.

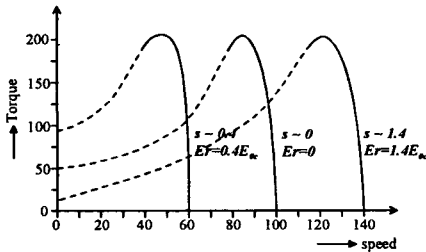


그림 3 슬립에 다른 이중 여자 방식 유도기의 속도-토크 특성 곡선  
Fig. 3 Speed-Torque Characteristics of Double Fed Induction Machine According to the slip

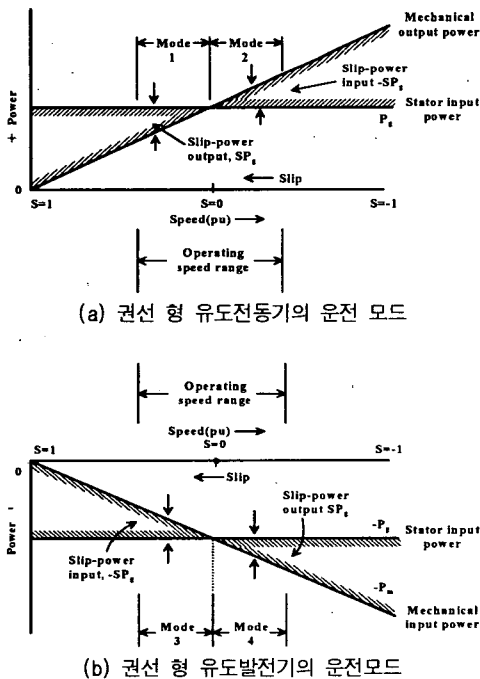


그림 4 권선형 유도기의 동작 모드  
Fig. 4 Operating Mode of Double Fed Induction Machine.

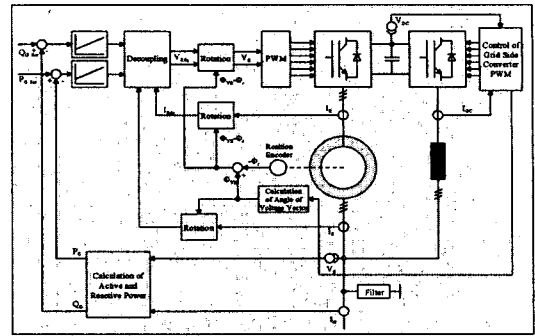


그림 5 DFIG의 벡터 제어 블록  
Fig. 5 Vector Control Block Diagram for DFIG

### 3. 능형 유도기와 권선형 유도기의 동작 특성

#### 3.1 시스템 모의

능형 유도 발전기와 이중 권선형 유도 발전기(DFIG : Double Fed Induction Generator)의 동작특성을 비교하기 위한 계통의 구성은 다음과 같다.

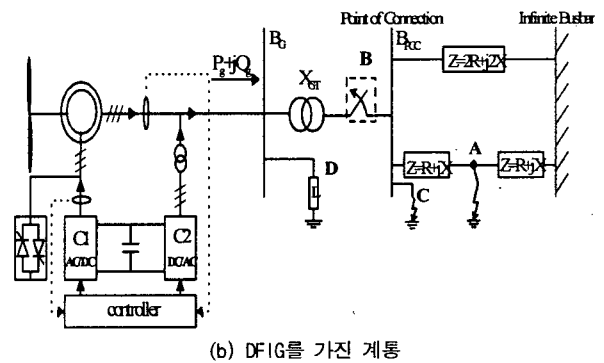
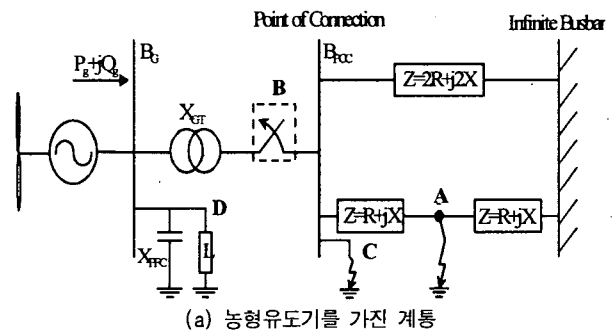


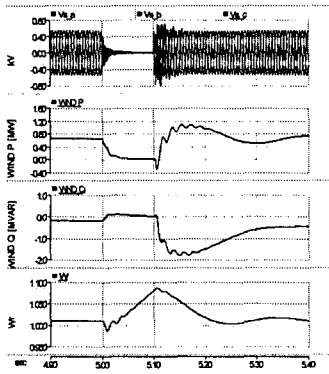
그림 6 고장분석을 위한 AC 계통

본 논문에서는 시뮬레이션을 그림 6에서 보는 바와 같은 조건에서 수행하고 서로 비교하였다.

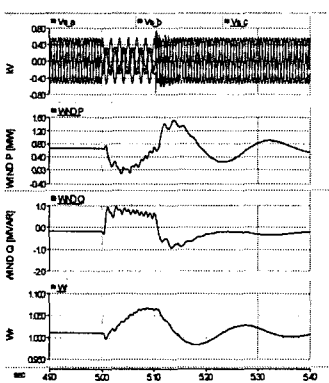
첫 번째로, "A"로 표현된 2중 모션에서 한 선로의 지락사고를 모의한 것으로 이것은 풍력 연계 시스템의 Remote Fault고장과 2중모션 중에서 한선이 고장을 발생한 것을 가정하여 시뮬레이션 한 것이다.

두 번째로, "B"로 표현된 풍력계통의 3상 개방상태의 고장을 고려한 것으로 계통에 사고가 발생한 경우에 유도발전기의 안정도를 평가하기 위한 방법으로, 3상 개방상태는 계통의 Islanding상태와 "D"로 표현되는 Local Load가 발전기에 어떤 영향을 미치는지를 보여주는 평가하기 위한 것이다.

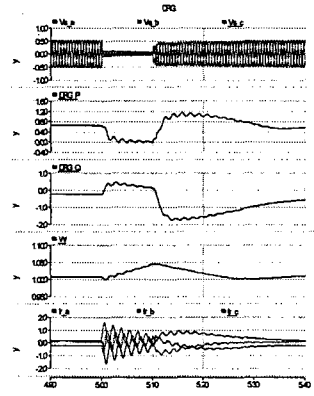
세 번째로, "C"로 표현되는 3상 지락 사고는 일반적으로 계통에서 발생할 수 있는 최악의 사고로써 사고발생 후에 계통의 전압안정화 단계나 발전기의 안정도와 회복능력을 평가하기 위해서 필요한 것이다.



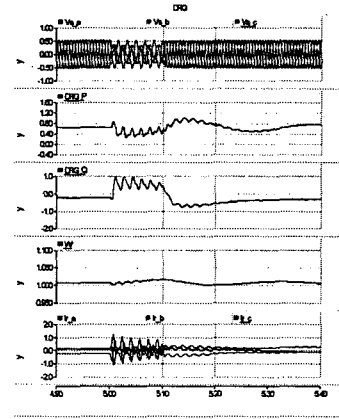
(a) 농형유도기(3상 지락 사고)  
( Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도)



(b) 농형유도기 (단상 지락 사고)  
( Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도)



(c) DFIG (3상 지락 사고)  
( Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도, 회전자전류)



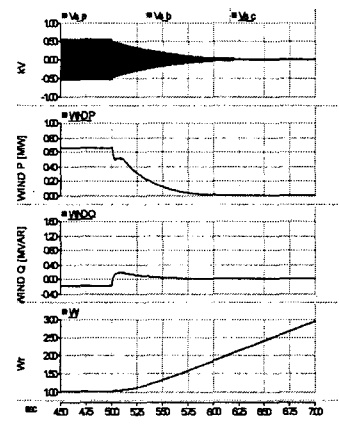
(d) DFIG (단상 지락 사고)  
( Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도, 회전자전류)

그림 7 근거리 지락 (부하 0.6[MW], 0.15[MVAR])  
Fig. 7 Near AC Fault (Load 0.6[MW], 0.15[MVAR])

그림 7는 그림 6 "A"와 같이 농형유도기와 DFIG의 원거리 고장이 발생한 경우의 응답파형을 보여주고 있는 것이다. 그림 7에서 단상고장과 3상고장의 경우에 DFIG의 응답특성이 농형 유도기의 응답특성보다 우수함을 알 수 있다.

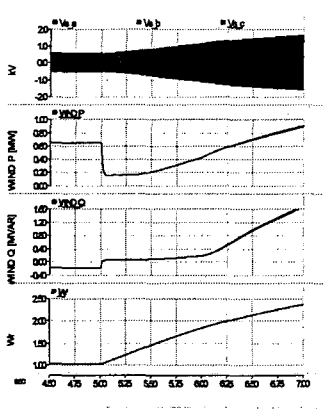
그림 8는 그림 6에서 "B"와 "D"의 조건을 모의한 경우로써 풍력시스템이 단독 운전을 하는 경우에 부하의 양에 따라 풍력 시스템의 운전특성을 보여주는 것이다. 그림 8에서도 그림 7의 결과와 마찬가지로 DFIG의 응답 특성이 우수함을 알 수 있다.

한편, 그림 8의 (b)는 local 부하가 작은 상태에서 농형 유도기의 단독운전시의 응답파형을 보여주는 것으로 이 경우에는 유도기의 단자전압이 급격히 증가하는 현상을 알 수 있는데 이러한 이유는 유도기의 속도가 증가함에 따라 유도기의 출력 단에 있는 콘덴서의 정전용량이 주파수에 따라 변화하기 때문에 유도기의 출력 단에 과전압이 유기됨을 알 수 있다. 이러한 특성은 농형 풍력시스템에서 매우 중요한 특성으로 Local 부하가 농형유도기의 안정도에 중요한 영향을 미침을 알 수 있다.



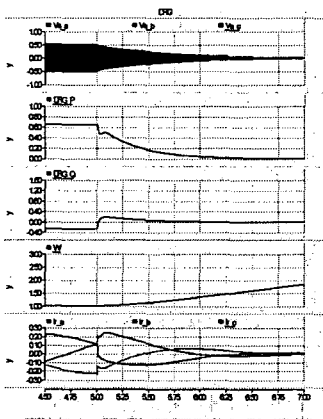
(a) 농형유도기

(부하 : 0.6[MW], 0.15[MVAR])  
( Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도)



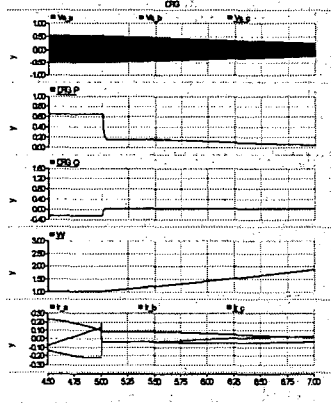
(b) 농형유도기

(부하 : 0.15[MW], 0.03[MVAR])  
(Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도)



(c) DFIG

(부하 : 0.6[MW], 0.15[MVAR])  
(Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도, 회전자전류)



(d) DFIG

(부하 : 0.15[MW], 0.03[MVAR])  
(Y축 : 3상 전압, 유효전력, 무효전력, 속도, 회전자전류)

그림 8 단독 운전시의 부하변동

Fig. 8 Load variation at the islanding condition of induction machine

#### 4. 결 론

본 연구는 이중여자 방식의 권선형 유도기의 동작특성에 대하여 분석한 결과이다. 이중여자 권선형 유도기는 속도에 따른

운전특성이 좋고, 계통의 무효전력을 제어할 수 있으며, 단독운전 시에도 과전압이 발생하지 않는 장점을 가지고 있기 때문에 전력계통에 연계되어 있는 동기발전기와 가장 가까운 운전특성을 가지고 있다. 본 연구를 통하여 이중여자방식의 권선형 유도발전기는 계통 연계 시에 계통의 변화에 영향을 적게 받는 발전기로서 풍력발전기의 보급에 큰 일익을 담당할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] B. Bose, Modern Power Electronics And AC Drives, 2002.
- [2] SLOOTWEG, J.G., POLINDER, H., and KLING, W.L.: 'Dynamic modelling of a wind turbine with doubly fed induction generator'. Presented at the IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, Vancouver, Canada, 15th-19th July 2001
- [3] KRAUSE, P.C.: 'Analysis of electric machinery' (McGraw-Hill Inc, New York, 1986)
- [4] HOLDSWORTH, L., and WU, X.: 'Dynamic and steady-state modelling of the doubly-fed induction machine (DFIM) for wind turbine applications', Internal report for Manchester Centre of Electrical Energy (MCEE) at UMIST, 2002
- [5] BURTON, T., SHARPE, D., JENKINS, N., and BOSSANYI, E.: 'Wind energy handbook', (John Wiley, Chichester 2001)