

Simulink에서 계통연계 풍력발전시스템의 전압변동 시뮬레이션

| |
|----------|
| 論 文 |
| 53A-11-2 |

Simulation for Voltage Variations of a Grid-connected Wind Turbine Generation System by Simulink

安德根* · 盧炅洙†
(Duck-Keun Ahn · Kyoung-Soo Ro)

Abstract - This paper presents a modeling and simulation of a grid-connected wind turbine generation system with respect to wind variations, starting of large induction motor and three-phase fault in the system, and investigates voltage variations of the system for disturbances. It describes the modeling of the wind turbine system including the drive train model, induction generator model, and grid-interface model on MATLAB/Simulink. The simulation results show the variation of the generator torque, the generator rotor speed, the pitch angle, terminal voltage, system voltage, fault current, and real/reactive power output, etc. Case studies demonstrate that the pitch angle control is carried out to achieve maximum power extraction for wind speed variations, starting of a large induction motor causes a voltage sag due to a large starting current, and a fault on the system influences on the output of the wind turbine generator.

Key Words : Voltage Variation, Wind Turbine Generation, Pitch Control, MATLAB/Simulink

1. 서 론

최근 세계 여러 나라들은 화석에너지 고갈과 환경오염의 원인으로 대체에너지 개발에 지대한 관심과 지원을 하고 있다. 그 중에 풍력발전 시스템의 관심이 증가하고 새로운 기술개발과 대응량화에 힘쓰고 있는 실정이다.

풍력발전 시스템은 회전자 축의 속도에 따라 가변속운전과 정속운전으로 구분된다. 가변속운전의 경우, 풍속의 변화에 대응하여 풍차의 회전속도를 조절할 수 있기 때문에 최대출력을 추적하며 운전할 수 있게 된다는 장점과 함께 발전 시스템의 구조가 복잡하게 되어 제작비가 높아지고 계통과의 동기를 위한 별도의 장비를 사용해야하는 단점도 있다. 반면 정속으로 운전할 경우, 풍속변화에 대응하여 항상 가능한 최대출력을 얻는 것이 불가능하다는 단점이 있지만, 발전 시스템의 구조가 간단하게 되어 제작비가 낮아지고, 계통과의 동기를 위한 별도의 장비를 사용하지 않아서 제어가 간단하게 된다는 이점이 있다.

전력계통에 적용하기 위한 풍력 발전기술의 연구동향을 살펴보면, Leithhead 등은 풍력발전에 있어서 제어의 목적과 제어기가 풍차의 동특성에 미치는 영향을 폭넓게 분석하였으며 풍차의 출력조정을 위하여 풍차의 가변 피치제어의 필요성을 역설하였다.[1] Muljadi 등은 실제 풍속데이터를 채취하여 전력전자 기술을 이용한 유도발전기의 가변속도 제어전략을

제시하였지만[2], 제어에서 목표로 하는 출력이 회전속도의 세제곱에 비례한다는 주장은 피치제어가 없는 경우에만 성립하는 것으로 피치제어가 이루어지는 경우에는 성립하는 것이 아니다. 그리고 Chen 등은 피치 제어를 제안하였으며 발전기의 출력과 회전속도를 입력으로 하여 풍차가 원하는 속도로 회전하도록 풍차축의 토크를 조절하도록 하였다.[3] Chedid 등은 동기발전기를 기반으로 한 수평축 풍차가 컨버터를 통하여 계통에 연계된 풍력발전 시스템의 최대출력 가능케 하고 피치제어의 유무에 따른 출력의 변화를 비교하였다.[4]

현대의 지식 정보화 사회에서는 사용하는 전기의 충분한 양과 함께 질적인 문제도 중요한 이슈로 떠올랐다. 전력품질의 문제는 풍력발전 시스템을 계통과 연계하여 운전할 때 중요한 문제로 자리할 수 있으며 이에 본 연구는 풍력발전시스템의 계통연계시 전압변동에 대하여 다룰 것이다.

본 논문에서는 계통연계 풍력발전시스템의 모델링을 제시하며 풍속의 변화, 대응량 유도전동기의 기동, 계통에서의 3상 단락고장 등에 대한 시뮬레이션을 수행하고자 한다. 이러한 풍력발전시스템의 계통연계 모델링을 MATLAB/Simulink에서 구현하였으며 시뮬레이션 수행에 따라 발전기 토크, 회전자 각속도, 피치각, 단자전압, 계통전압, 고장전류, 유효/무효전력 출력 등의 변동을 관찰하고자 한다. 아울러 Simulink에서 모델링한 계통연계 풍력발전시스템의 시뮬레이션을 통하여 모델링의 적정성과 출력제어의 효용성을 입증한다.

† 교신저자, 正會員 : 東國大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
E-mail : ksro@dgu.ac.kr

* 學生會員 : 東國大 學校 工大 電氣工學科 碩士課程
接受日字 : 2004年 6月 16日
最終完了 : 2004年 10月 4日

2. 풍력발전 시스템의 모델링

풍력발전 시스템의 시뮬레이션을 수행하기 위하여 풍차,

유도 발전기, 제어기 등의 모델링이 필요하게 된다. 그림1은 계통과 연계된 풍력발전 시스템의 개략적인 구조를 나타낸다. 다음은 구조도의 주요부분에 대한 모델링을 나타낸다.

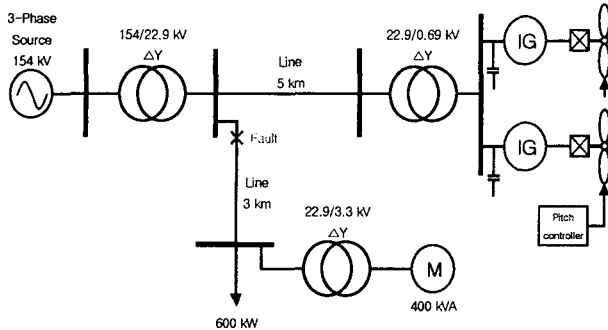


그림 1 계통연계 풍력발전 시스템의 개요도
Fig. 1 Scheme of a grid-connected wind turbine generation system

2.1 풍차 모델

바람으로부터 풍차가 흡수하여 변환되는 기계적 에너지를 전력으로 표현하면 다음의 비선형 방정식으로 표현할 수 있다.[5, 8]

$$P_m = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p(\lambda, \beta) \tag{1}$$

여기서, ρ = 공기 밀도[kg/m³]

A = 풍차의 날개가 커버하는 면적[m²]

v = 풍속[m/sec]

C_p = 풍차의 출력계수(power coefficient)

β = 풍차날개의 피치각(pitch angle)

λ = 주속비(tip-speed ratio)

한편 주속비는 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda = \frac{w_T R}{v} \tag{2}$$

여기서, w_T = 풍차의 회전속도[rad/sec]

R = 풍차날개의 반지름[m]

일반적으로 풍차의 출력계수(C_p)는 바람이 가지는 전력과 풍차의 출력과의 비율로 정의되고, 이론적인 최대 출력계수 값은 0.593이며 실제로 잘 설계된 풍차의 경우 최대 0.45까지 가능하다. 풍차의 출력계수는 다음과 같이 표현된다.[6]

$$C_p = (0.44 - 0.0167\beta) \sin\left[\frac{\pi(\lambda - 3)}{15 - 0.3\beta}\right] - 0.00184(\lambda - 3)\beta \tag{3}$$

풍차의 특성은 풍차의 출력계수(C_p)와 주속비(λ) 사이의 상관관계로 나타나고, 그림2는 피치각 변화에 따른 출력계수

와 주속비 사이의 특성을 나타내고 있다. 풍차 날개의 피치각은 바람으로부터 풍차가 흡수할 수 있는 최대 에너지를 얻을 때의 각을 0으로 한다.

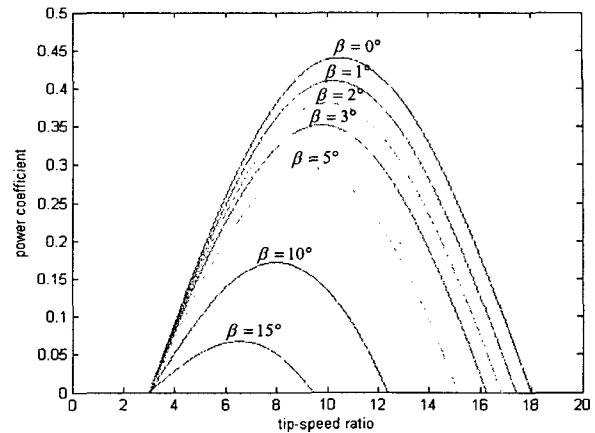


그림 2 피치각 변화에 대한 풍차의 출력계수(C_p)와 주속비(λ) 특성곡선
Fig. 2 $C_p - \lambda$ characteristic curve of a wind turbine for different pitch angles.

발전기와 풍차 사이의 운동 방정식을 표현하면 다음과 같다.[3]

$$\left(\frac{J_T}{n^2} + J_G\right) \frac{dw_G}{dt} = \left(\frac{T_T}{n} - T_G\right) - \left(\frac{D_T}{n^2} + D_G\right) w_G \tag{4}$$

여기서, w_G = 발전기 회전자 속도[rad/sec]

n = 기어비

T_T = 풍차 토크[Nm]

T_G = 발전기 토크[Nm]

J_T = 풍차의 관성계수[kgm²]

J_G = 발전기 관성계수[kgm²]

D_T = 풍차의 마찰계수[Nm/rad]

D_G = 발전기 마찰계수[Nm/rad]

식 (4)에서 풍차와 발전기의 마찰을 무시하고 풍차 회전속도(w_T)에 대하여 간단히 정리하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$(n^2 J_G + J_T) \frac{dw_T}{dt} = T_T - n T_G \tag{5}$$

2.2 발전기 모델

본 연구에 사용할 발전기의 파라미터 값은 정격출력 350kW, 공칭전압 690V, 공칭주파수 60Hz를 나타내고[7], 시뮬레이션 모델은 Simulink library의 3상 농형 비동기 전동기를 사용한다. 전동기를 발전기로 사용하기 위하여 슬립-토크

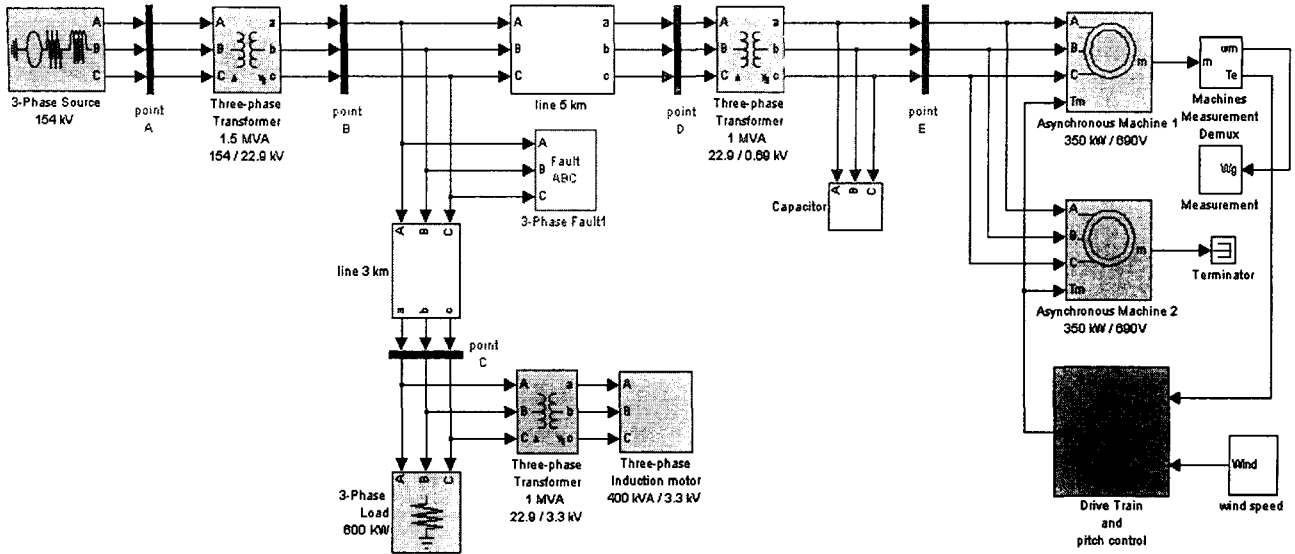


그림 3 계통연계 풍력발전 시스템의 Simulink 모델
 Fig. 3 Simulink model of grid-connected wind turbine generators

특성에 따라 입력으로는 (-)토크를 전동기에 인가하여 발전기로 동작하게 한다.

풍차와 발전기는 기어박스를 통하여 기계적으로 연결되어 있고, 전기적 연결은 정류기와 인버터는 사용하지 않고 변압기만으로 계통과 직접 연결한다. 기어박스에 의한 기계적 연결에서 고속측(풍차)과 저속측(발전기)은 기어비만 있는 동기로 가정한다.

2.3 제어기 모델

실제 풍속은 항상 변동하므로 출력을 제어하기 위해 바람의 변화에 따라 날개의 피치각을 변화하여 제어하는 피치제어를 사용한다.[2, 9]

풍차는 정격이하의 풍속에서는 최적 피치각인 0에서 운전하고, 정격이상의 풍속에서는 피치각을 조절하여 정격출력을 발생시키게 한다. 피치제어의 동특성은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{d\Delta u}{dt} = K_{Ia}(\Delta P_m - \Delta P_{ref}) \tag{6}$$

$$\frac{d\Delta \beta}{dt} = \frac{1}{\tau_\beta} (\Delta u + K_{Pa}\Delta P_m - K_{Pa}\Delta P_{ref} - \Delta \beta) \tag{7}$$

2.4 계통연계 Simulink 모델

그림3은 풍력발전시스템의 계통 모델링을 Simulink 모델로 표현한 것이다. 그림3에서 보는 바와 같이 3상 전원, 3상 선로, 3상 변압기, 유도 발전기, 3상 부하 등으로 계통이 구성되고, 발전기의 입력신호를 위한 풍차모델, 피치 제어기, 계통고장의 과도상태를 시뮬레이션 하기위한 사고모델이 접속되어 있다. 여기에서 부하는 저항성 부하로써 용량이 600kW이고 3상 변압기는 3대 모두가 Δ-Y결선이다.

3. 사례연구

그림3의 모델로 여러 가지 사례에 대한 시뮬레이션을 수행하여 시뮬레이션 모델의 정당함을 검증하고, 계통과 연계하여 운전할 때의 특성을 관찰할 것이다. 본 논문에서 모의할 풍차의 정격풍속은 13m/s이고, 각 단계에서의 전압과 전류는 단위법(pu)으로 표현한다. 발전기 2대의 출력과 단자전압은 point E에서 측정하고, 각속도와 발전기 토크는 1번 발전기에서 측정한다.

3.1 풍속변화에 대한 시뮬레이션

그림4에 보이는 것과 같이 실제 풍속의 증감을 모의한 풍속이 풍차에 인가되었을 때의 시뮬레이션 결과를 그림5부터 그림10에 나타내고 있다. 모의한 그림3의 풍력발전시스템을 풍속변화에 대하여 50초까지 시뮬레이션 한다. 풍속 변화에 대한 피치각, 발전기 출력, 계통전원 출력, 회전자 속도, 단자전압 등의 변동을 관찰할 것이다.

그림5는 풍속변화에 따른 날개 피치각의 변화를 보이고 있다. 풍속이 정격이상일 때 피치각이 변화하여 정격 출력을 추종하도록 하고, 정격이하의 풍속에서는 최적 피치각으로 운전된다. 그림6과 그림7은 바람의 변화에 따른 발전기의 유효전력과 무효전력 출력을 각각 나타낸 것이다. 풍속이 정격속도 이상일 때, 풍차는 피치각을 변화하여 발전기가 정격출력을 추종하여 출력하도록 제어하고 풍속이 정격이하일 때는 피치각은 0으로 되어 풍력에너지를 최대한 흡수하여 발전한다. 또한 그림7에서 발전기 유효전력 출력이 감소함에 따라 흡수되는 무효전력의 양도 변동함을 볼 수 있다.

그림8은 계통 전원의 출력을 나타낸다. 바람의 변화에 따른 발전기 출력이 부하를 충족할 때는 잔여분을 계통이 흡수

하고, 부하 대비 발전출력의 부족분은 계통전원이 감당하고 있는 상태를 보이고 있다. 그림9는 풍속변화에 따른 발전기의 회전자 속도를 나타낸다. 그림6의 출력변동폭이 큰 것과 비교하여 회전자 속도 변동폭은 크지 않음을 볼 수 있다. 이는 정속운전 풍력발전 시스템의 회전속도-토크(출력) 특성을 보여주고 있다.

그림10은 point E에서의 발전기 단자 전압을 나타낸다. 풍속의 증감에 대하여 발전기 유효전력과 무효전력출력이 증감하여 발전기 단자 전압의 변동을 나타낸다. 전압이 단위값 1.0에 약간 못 미치는 것은 발전기의 무효전력 흡수와 선로, 변압기에서의 전압강하가 원인인 것으로 생각된다.

이 절에서 수행한 시뮬레이션 결과로써, 본 연구에서 사용하는 풍력발전 시스템의 모델이 정당하며 제어가 적절하게 이루어짐을 확인할 수 있었다. 이 모델을 이용하여 다음의 전압변동에 대한 시뮬레이션을 수행할 것이다.

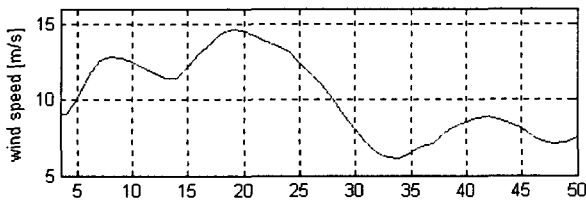


그림 4 풍속 변화
Fig. 4 Wind speed variation

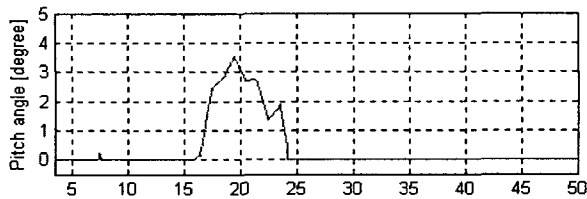


그림 5 피치각 변화
Fig. 5 Pitch angle variation

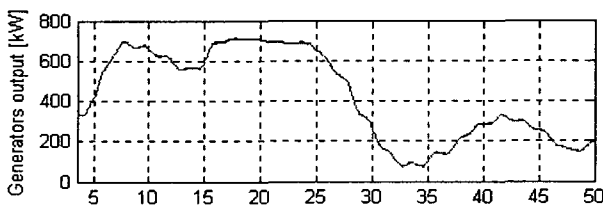


그림 6 풍속 변화에 대한 발전기 유효전력 출력
Fig. 6 Generator active power output for wind speed variation

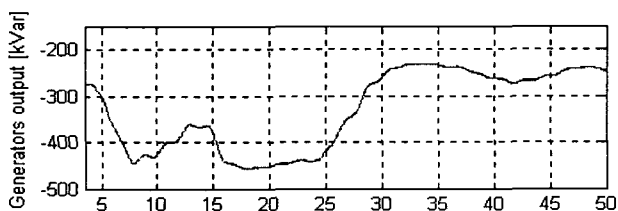


그림 7 풍속 변화에 대한 발전기 무효전력 출력
Fig. 7 Generator reactive power output for wind speed variation

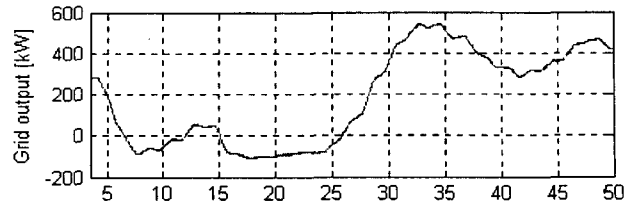


그림 8 풍속 변화에 대한 계통의 유효전력 출력
Fig. 8 For wind speed variation, active power output of grid

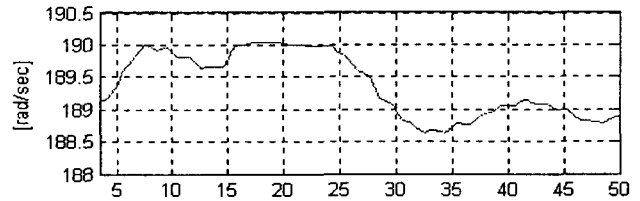


그림 9 풍속 변화에 대한 발전기 회전속도
Fig. 9 Generator rotational speed for wind speed variation

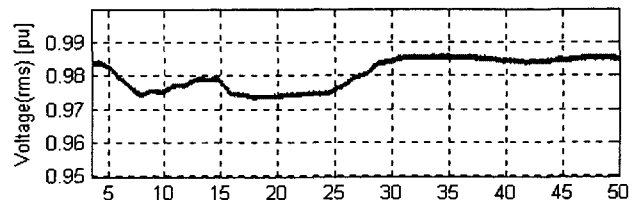


그림 10 풍속 변화에 대한 발전기 단자 전압(실효값)
Fig. 10 Generator terminal voltage for wind speed variation(rms)

3.2 대용량 유도전동기 기동 시뮬레이션

풍력발전 시스템은 계통과 연계하여 운전해야만 하는 이유로 계통의 사고와 대용량 전동기 기동과 같은 부하변동에 대하여 계통 전압과 발전기 단자전압의 변동이 일어난다. 전력 품질의 관점에서 전압 변동은 큰 문제로 부상하기 때문에 이에 대한 시뮬레이션을 통하여 전압변동을 관찰하고자 한다.

그림3의 point C에서 대용량 전동기의 기동이 발생할 때를 가정하여 시뮬레이션을 수행한다. 실제 운전 시의 부하변동에 대한 전압 변동을 시뮬레이션하기 위하여 3.1절의 시뮬레이션 조건을 그대로 적용하여 수행하였다. 전동기는 3상 유도전동기로서 400kVA / 3300V이고 시뮬레이션 시작 후 5초에서 기동하여 정격속도에 다다를 때까지의 발전기 출력, 계통전원 출력, 부하, 각 지점의 전압, 전류, 주파수 등의 상태를 관찰하였다.

전동기 기동에 따른 발전기 출력변동을 그림11에서 보이고 있다. 대용량 전동기 기동은 매우 큰 기동전류를 필요로 하기 때문에 초기 기동전류의 흐름에 의하여 발전기 출력이 요동함을 볼 수 있고, 전동기 기동이 끝나면 정상상태로 회복한다. 그림12는 발전기 출력변동에 따른 발전기 회전자 속도를 보여주고 있다. 그림13과 14는 계통전원 출력과 부하 측 전력량을 각각 나타낸다. 전동기 기동에 따라 기존부하(600kW)에 추가로 기동 전력이 필요로 되지만 발전기 출력이 전 부하를 감당하지 못하기 때문에 계통전원의 전력 출력이 변동된다. 발전기 출력과 계통전원의 출력을 합하면 부하전력과

일치함을 알 수 있다.

그림15와 16은 point B와 E에서의 전압변동을 보이고 있다. 그림17에서 보는 바와 같이 큰 기동 전류에 따른 발전기 출력 전류의 변동이 그림18에 나타난다. 큰 기동 전류는 그림15, 16에 나타난 point B, E에서의 전압 변동을 가져오고, 전압과 전류의 변동에 따라 그림11의 발전기 출력 변동이 나타남을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과를 살펴본 바와 같이 대용량 전동기 기동은 큰 기동전류에 의하여 전압에 악영향을 미침을 알 수 있다.

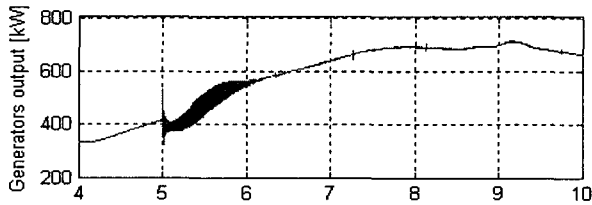


그림 11 발전기 출력(point E)
Fig. 11 Generators output(point E)

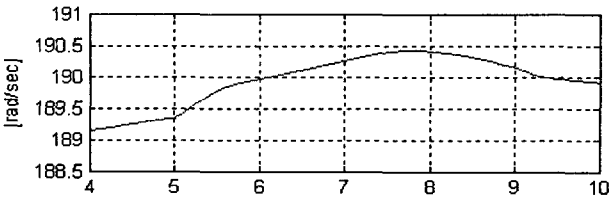


그림 12 발전기 회전자 각속도
Fig. 12 Rotor speed

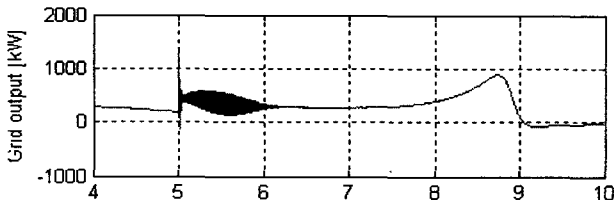


그림 13 계통전원 출력(point B)
Fig. 13 Grid source output(point B)

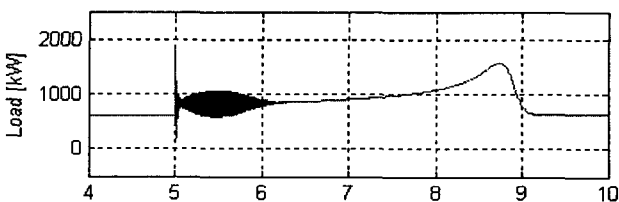


그림 14 부하 전력(point C)
Fig. 14 Load power(point C)

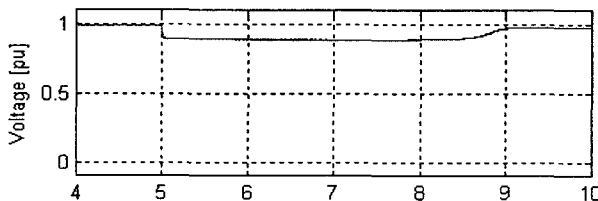


그림 15 전압(point B)
Fig. 15 Voltage(point B)

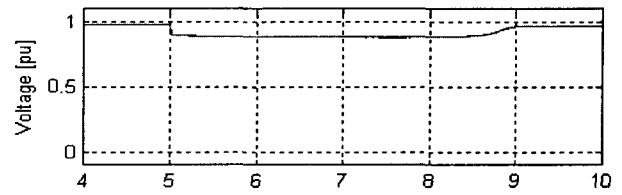


그림 16 전압(point E)
Fig. 16 Voltage(point E)

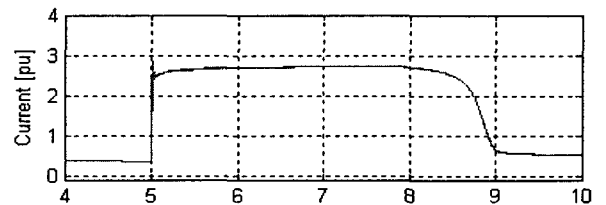


그림 17 전류(point B)
Fig. 17 Current(point B)

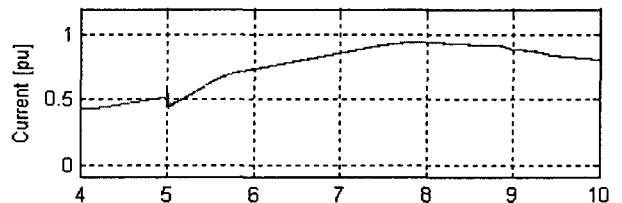


그림 18 전류(point E)
Fig. 18 Current(point E)

3.3 고장에 대한 시뮬레이션

그림3의 point B에서 3상 단락 고장이 발생했을 경우에 대하여 계통과 발전기 단자전압, 발전기 출력, 회전 속도, 주파수와 전류의 흐름을 관찰한다. 고장은 20초에서 0.06초간의 발생에 대하여 시뮬레이션을 수행하고 결과를 비교한다.

3상 단락고장이 발생했을 때 발전기 출력변동은 그림19에 나타내었다. 고장 발생에 따라 출력이 진동하여 0으로 하락하고 고장 해소 후에 정상상태로 차츰 회복함을 볼 수 있다. 계통 전압이 0으로 하락하여 발전기 고정자의 회전자계가 사라지고, 이때의 발전기 토크 변동이 그림20에 나타난다. 발전기 토크 변동에 따라 발전기 회전자 각속도가 증가하고 고장이 해소되면 다시 정상상태로 되돌아가는 상태를 그림21에서 보여주고 있다.

그림22-24는 point A, B, E에서 3상에 대한 전압의 실효값을 각각 나타내고 있다. 고장이 발생함과 동시에 갑작스런 고장의 충격으로 계통전원의 실효값이 갑작스런 변동을 나타내고 곧바로 회복됨을 볼 수 있다. point B의 전압은 고장이 일어난 지점이기 때문에 급격히 0으로 하락한 후에 고장 해소 후 다시 회복함을 볼 수 있다. point E의 전압이 정확히 0으로 하락하지 않는 이유는 선로의 커패시턴스 성분과 변압기, 커패시터 뱅크의 원인으로 나타난다. 계통 전원의 전압을 제외하고 나머지 지점에서의 전압은 고장이 발생한 point B 전압을 추종하여 전압이 변동된다.

그림25와 26은 고장 발생 때의 point B와 E에서 전류의 실효값을 나타낸다. 그림25에서 보듯이 3상 단락고장은 각 상에 큰 고장전류를 흐르게 할 뿐만 아니라 발전기 축 전류의 흐름에도 악영향으로 나타난다. 그림24와 그림26의 전압, 전류의 변동은 앞에서 살펴본 그림19의 발전기 출력변동으로 설명할 수 있다.

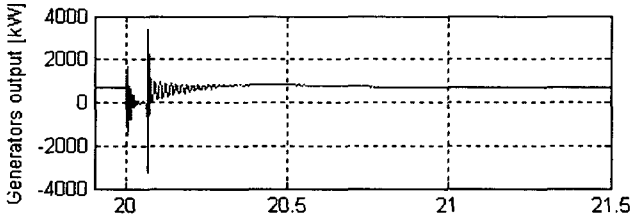


그림 19 발전기 출력(point E)
Fig. 19 Generators output(point E)

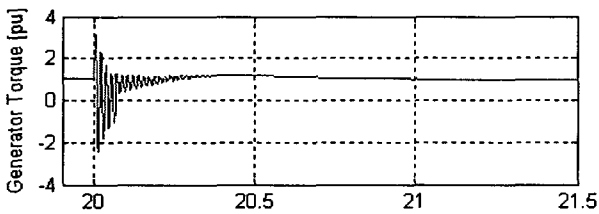


그림 20 발전기 토크
Fig. 20 Generator torque

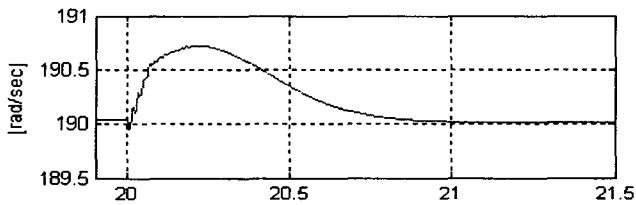


그림 21 발전기 회전자 각속도
Fig. 21 Rotor speed

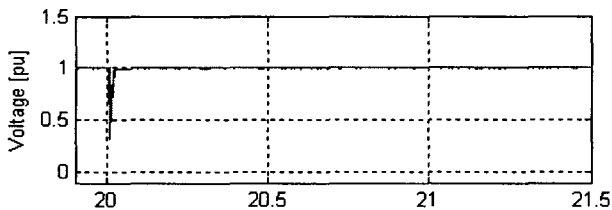


그림 22 전압(point A)
Fig. 22 Voltage(point A)

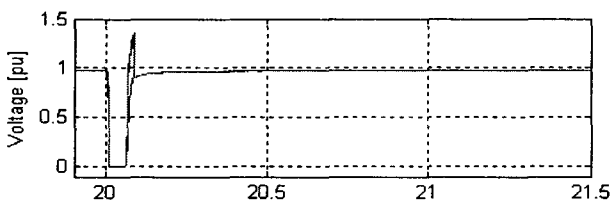


그림 23 전압(point B)
Fig. 23 Voltage(point B)

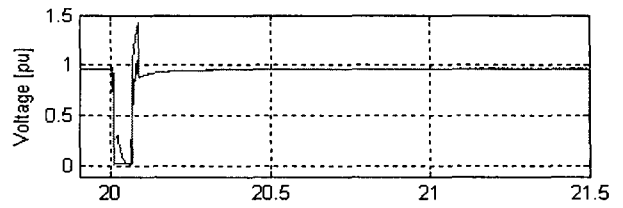


그림 24 전압(point E)
Fig. 24 Voltage(point E)

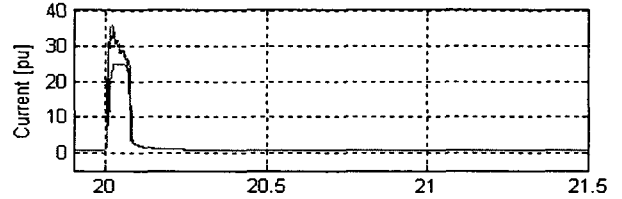


그림 25 전류(point B)
Fig. 25 Current(point B)

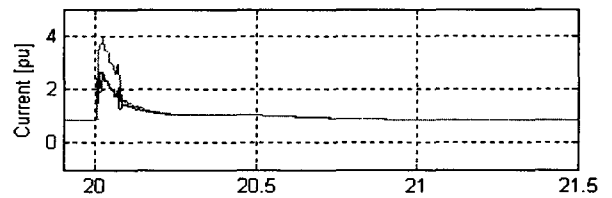


그림 26 전류(point E)
Fig. 26 Current(point E)

4. 결 론

본 연구는 계통연계 풍력발전시스템을 모델링하고 여러 가지 상황에 대한 시뮬레이션을 통하여 전력품질의 관점에서 적절한 결과를 얻고자 하였다. Simulink에서 모델링한 계통연계 풍력발전 시스템에 대한 다양한 시뮬레이션 결과를 살펴보면 다음과 같다.

- 본 연구에 사용하기 위해 모델링한 Simulink모델의 시뮬레이션 결과는 모델의 정당함과 적절한 출력제어가 이루어짐을 입증하였다.
- 대용량 전동기의 기동은 상당한 전압강하를 가져오고, 이는 계통뿐만 아니라 풍력발전 시스템의 출력과 발전기 회전속도에 좋지 않은 변화를 가져온다.
- 본 연구에서 모의한 3상 단락사고와 같은 계통의 고장은 풍력발전 시스템에 악영향을 초래하고, 고장 자체의 문제뿐만 아니라 고장 시간의 장단에 따라 그 영향의 강도가 나타남을 알 수 있다.

이와 같은 결과를 살펴볼 때, 풍력발전 시스템이 계통과 연계하여 운전할 경우 급격한 부하변동과 계통의 고장에 대한 보완조치가 취해져야 할 것이다. 특히 계통의 고장을 최소화하고 만일의 고장에 대하여 고장시간을 단축할 수 있는 노력이 더 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(04506)주관으로 수행된 과제임.

저 자 소 개

[참 고 문 헌]

- [1] W. E. Leithead, S. de la Salle and D. Reardon, Role and Objectives of Control for Wind Turbines, IEE Proceedings-C, Vol. 138, No. 2, March 1991, pp. 135-148.
- [2] E. Muljadi, C.P. Butterfield, "Pitch-Controlled Variable-Speed Wind Turbine Generation", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 37, No. 1, Jan./Feb. 2001, pp. 240-246.
- [3] Z. Chen, M. McCormick, "A Fuzzy Logic Controlled Power Electronic System for Variable Speed Wind Energy Conversion Systems", IEEE Transactions on Power Electronics, September 2000, pp. 114-119.
- [4] R. Chedid and F. Mrad, "Intelligent Control of a Class of Wind Energy Conversion Systems", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 14, No. 4, December 1999, pp. 1597-1604.
- [5] J.G. Slootweg, S.W.H. de Haan, H. Polinder, W.L. Kling, "General Model for Representing Variable Speed Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 1, Feb. 2003, pp. 144-151.
- [6] E.S. Abdin, W. Xu, "Control Design and Dynamic Performance Analysis of a Wind Turbine-Induction Generator Unit", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 15, No. 1, March 2000, pp. 91-96.
- [7] J. Cidrás, A.E. Feijóo, "A Linear Dynamic Model for Asynchronous Wind Turbines With Mechanical Fluctuations", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 17, No. 3, August 2002, pp. 681-687.
- [8] A.D. Hansen, P. Sørensen, L. Janosi, J. Bech, "Wind farm modelling for power quality", IECON'01: The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2001, pp. 1959-1964.
- [9] Y.H.A. Rahim, A.M.L. Al-Sabbagh, "Controlled Power Transfer from Wind Driven Reluctance Generator", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 12, No. 4, Dec. 1997, pp. 275-281.



안 덕 근(安 德 根)

1976년 1월 10일생. 2002년 동국대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 입학. 현재 동국대학교 전기공학과 석사과정.
Tel : 02)2260-3346, Fax : 02)2260-3346
E-mail : ejrrms@dgu.edu



노 경 수(盧 炅 洙)

1963년 3월 27일생. 1985년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 동 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 1997년 미국 Virginia Tech 전기공학과 졸업(공학박). 현재 동국대학교 전기공학과 부교수.
Tel : 02)2260-3346, Fax : 02)2260-3346
E-mail : ksro@dgu.ac.kr