

# 풍속계와 Motor-Generator를 이용한 영구자석동기발전기 풍력발전시스템 하드웨어 시뮬레이터 개발

정종규, 한병문  
명지대학교

## Development of hardware simulator for PMSG wind power system composed of anemometer and motor-generator set

Jong-Kyou Jeong, Byung-Moon Han  
Myongji University

### ABSTRACT

This paper describes development of hardware simulator for the PMSG(Permanent Magnet Synchronous Generator) wind power system, which was designed using real wind data. The simulator consists of a realistic wind turbine model using anemometer, vector drive, induction motor. The turbine simulator generates torque and speed signals for a specific wind turbine with respect to given wind speed. This torque and speed signals are scaled down to fit the input of 3kW PMSG. The PMSG-side converter operates to track the maximum power point and the grid-side inverter controls the active and reactive power supplied to the grid. The operational feasibility was first verified by computer simulations with PSCAD/EMTDC. The feasibility of real system implementation was confirmed through experimental works with a hardware set-up.

### 1. 서론

풍력발전시스템에서 사용되는 발전기에는 농형유도발전기, 권선형유도발전기, 그리고 영구자석동기발전기가 있는데 최근에는 가용풍속범위가 넓고 증속기가 필요 없는 영구자석동기발전기를 많이 사용하는 추세이다.<sup>[1]</sup>

풍력발전시스템은 에너지변환의 흐름에 따라 블레이드, 동력전달부, 발전기, 전력변환기로 구분이 가능하다. 따라서 풍력발전시스템을 전력계통과 효율적으로 연계하기 위해서는 발전기와 전력변환기의 전기적 특성을 파악하고 블레이드와 동력전달부의 기계적 특성을 모의할 수 있어야 한다.<sup>[2]</sup>

본 논문에서 제안하는 풍력발전시뮬레이터는 Nordex 1.5MVA의 영구자석동기발전기 풍력발전시스템을 대상으로 실시간으로 풍속계에 의해 측정되는 풍속에 대해 블레이드가 발전기에 공급하는 토크와 회전속도를 주속비를 고려하여 실시간으로 산출한다. 산출된 토크는 2kW 용량에 맞도록 스케일링 한 후 통신에 의해 유도전동기와 벡터드라이브로 보내져 영구자석동기발전기의 토크입력으로 공급된다. 이에 의해 발전기에서 생산된 교류전력은 컨버터-인버터로 구성된 전력변환기를 통해 3상 220V 전력계통에 연계된다.

### 2. 본문내용

#### 2.1 풍력터빈 시뮬레이터

블레이드의 공기역학적 특성과 기계적 특성을 바탕으로 주

어진 풍속에 대해 발전기에 전달하는 토크를 Nordex사 1.5 MVA 영구자석동기발전기 풍력발전시스템의 풍력터빈 시뮬레이터를 개발하였다. 여기서 풍속은 풍속계를 통해 실제 변화하는 풍속의 값을 사용할 수 있도록 하였다.

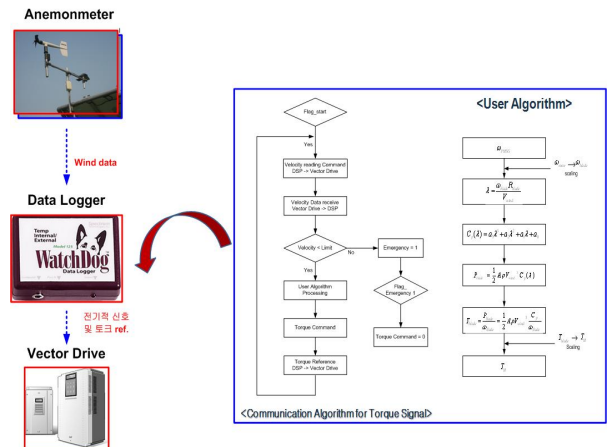


그림 1. 풍속계와 벡터드라이브간의 통신 흐름도  
Fig. 1. Communication flow between anemometer and vector drive

풍속계에서 가변되는 풍속을 0.05sec마다 측정하여 Nordex S70 블레이드에서 생성된 기준 토크 신호를 만든다. 생성된 기준 토크 신호는 그림 1에 나타난 순서도에 의해 모터구동용 벡터드라이브에 RS 232C 통신을 이용하여 총 40byte를 송수신한다. 통신 속도는 19200bps, 통신시간은 통신의 지연을 고려하여 25msec로 설정하였다. 모든 데이터의 송수신은 16진수 이루어진다. 풍속계의 data logger와 벡터 드라이브가 통신을 시작하게 되면 data logger는 벡터드라이브에 전동기의 속도 요구를 송신한다. 송신요구가 수행되면 data logger는 전동기의 회전속도를 수신 받고, 수신된 전동기의 회전속도가 임계치 이상이 되면 EMERGENCY 알고리즘을 수행하여 토크의 지령은 0이 되고 전동기의 회전속도는 0이 된다. 회전속도가 임계치보다 작으면 풍속데이터에 따른 1.5MVA의 풍력터빈토크는 2kW 전동기에 맞도록 스케일링하여 입력토크 지령을 만든다. 이렇게 만들어진 전동기의 입력토크는 벡터 드라이브로 송신되어 전동기에 의해 따라 회전한다.

#### 2.2 발전기 축 컨버터 제어

풍력 발전시스템에서 가변풍속 하에서 블레이드의 회

전 속도를  $\lambda$ 가 5.01로 일정하게 유지되도록 제어 한다면 블레이드의 출력계수( $C_p$ )는 0.323으로 최대가 되고 블레이드의 기계적 출력은 최대가 된다.

식(1)에서 블레이드의 각속도  $\omega_{blade}$ 는 풍력터빈 시뮬레이터의 알고리즘에 의해  $\omega_{PMSG}$ 로 스케일링 된다. 가변풍속 하에 스케일링된  $\omega_{PMSG}$ 가 일정하도록 발전기 측 컨버터가 능동적으로 전류제어를 한다면  $\lambda$ 는 일정하게 유지된다.

$$\lambda = \frac{\omega_{blade} R_{blade}}{V_{wind}} \quad (1)$$

### 2.3 계통 측 컨버터 제어

그림 2는 DC 링크 전압 제어 블록도이다. DC 링크에 걸리는 전압의 지령치와 실측치의 차는 PI 제어기를 통해 계통 측 인버터의 d축 전류 지령치를 생성한다. 발전기 측 컨버터와 마찬가지로 전류의 방향으로 인해 -1을 곱하여 부호는 반대로 하였다.

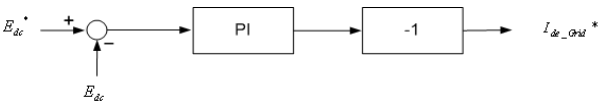


그림 2. DC 링크 전압 제어  
Fig. 2. DC link Voltage Control

### 2.4 하드웨어 시뮬레이터

앞에서 설명한 내용을 바탕으로 모터-발전기 세트로 구성된 풍력발전시뮬레이터를 그림 3에 보인 바와 같이 하드웨어를 제작하고 실험을 실시하였다. 풍속에 따른 풍력터빈의 특성모의는 실제 풍속계를 이용하여 풍속을 측정하였고 풍속계의 data logger와 벡터드라이브는 통신을 이용하여 회전속도와 토크의 지령치를 송·수신한다. 유도전동기와 영구자석동기발전기로 구성된 모터-발전기 세트는 컨버터-인버터 세트로 계통에 연계된다.

또한 이때 주속비에 의한 출력계수  $C_p$ 는 최대출력 값인 0.323으로 유지된다.

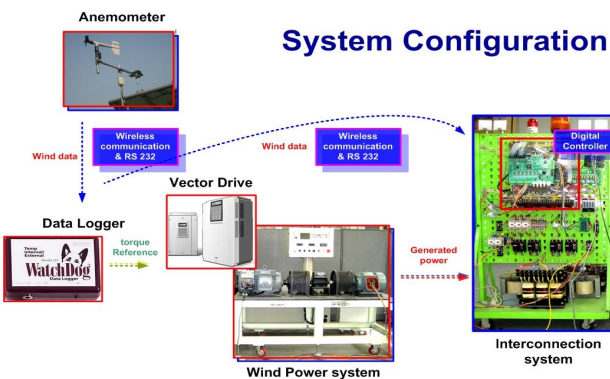


그림 3. 하드웨어 시스템 구성  
Fig. 3. Hardware System Configuration

그림 4는 풍력발전기가 계통과 연계된 상태에서 계통으로 출력되는 유효전력과 최대 출력점으로 제어하기 위한 발전기 속도 지령치, 실제 발전기 속도 그리고 최대 출력점으로 제어하기 위한 실제 유효전류를 나타낸 것이다. 속도 지령치를 실제 발전기의 속도가 추종함으로써 최대 출력점 제어가 이루어짐을

확인할 수 있다.

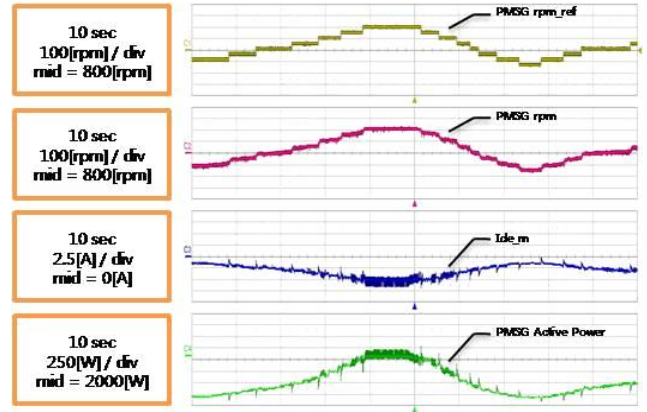


그림 4. 동기발전기 속도, 지령치, 실측값, 유효전력  
Fig. 4. RPM Reference, RPM, d-axis Current and PMSG active power

## 3. 결론

본 논문은 영구자석동기발전기로 계통에 연계된 풍력발전시스템의 제반특성을 분석하는 하드웨어시뮬레이터에 대해 기술하고 있다. 개발된 시뮬레이터는 풍속계를 이용한 실시간 풍속 측정을 통해 풍력발전기의 터빈이 발생하는 토크와 회전속도를 계산한다. 계산된 토크와 회전속도는 유도전동기의 정격에 맞도록 크기를 조절한 후 통신으로 드라이브에 공급하여 풍력터빈의 기계적 특성을 모사한다. 또한 영구자석동기발전기에서 발생하는 교류전력은 컨버터를 통해 직류전력으로 그리고 다시 인버터를 통해 최대 전력점을 추적하면서 전력계통과 연계되어 동작한다.

현재 실험을 통한 검증에는 Nordex사 1.5MVA의 풍력발전시스템에 대해 풍속계에 의해 측정된 풍속에 대해 블레이드가 발생하는 토크와 회전속도를 풍속계의 data logger상에서 산출하여 2kW 영구자석동기발전기에 맞도록 토크와 회전속도로 축소한다. 계통연계에 사용되는 컨버터-인버터세트에서 컨버터는 주속비에 의한  $C_p$  계수를 일정하게 유지함으로써 최적의 운전 점에서 발전기가 동작하도록 전류제어를 수행하고, 인버터는 DC 링크 전압제어와 계통의 역률을 제어한다.

본 논문에서 개발한 풍력발전시뮬레이터는 다양한 용량의 영구자석동기발전기 풍력발전시스템의 기계적, 전기적 특성을 모의 가능하고 실시간으로 측정되는 풍속에 의한 가상블레이드 토크산출이 가능하기 때문에 리얼타임 모의가 가능하다.

본 논문은 지식경제부 지원으로 수행한 "IT 기반의 대용량 전력수송 제어시스템"의 연구 결과물로서, 관계부처에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- [1] Z. Chen and E. Spooner, "Grid Interface Options for Variable-speed, Permanent-Magnet Generators", IEE Proc. of Electrical Power Application, Vol. 145, No. 4, July 1998.
- [2] Siegfried Heier, "Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems", John Wiley & Sons, 1998.