

# 계통연계형 풍력 발전 시스템의 향상된 최대전력점 추종기법

강이규, 노학승\*, 정해광\*, 이교범\*  
LIG 넥스원(주), \*아주대학교

## An Improved Maximum Power Point Tracking Method for a Grid-Connected Wind Power System

Yi-Kyu Kang, Hak-Sueng Ro, Hae-Gwang Jeong, and Kyo-Beum Lee  
Ajou university

### 초록

본 논문은 승압형 컨버터를 이용한 계통연계형 풍력 발전 시스템의 향상된 최대전력점 추종 기법을 제안한다. 풍력 발전 시스템에서 블레이드 모델 기반의 출력계수 곡선을 추종하도록 운전할 때, 불완전한 데이터 입력 및 제어변수의 변동으로 최대출력점 추종 성능이 떨어지는 문제가 발생한다. 제안하는 제어기법은 출력계수곡선 추종제어 기법에 히스테리시스 제어를 결합하여 빠른 최대출력점 추종 특성을 가지고, 시스템 제어변수 오차에 의해 이탈된 운전점을 정정하여 정상상태의 출력효율을 향상시킨다. 2.7kW급 풍력발전 시스템 모델 기반의 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 제어기법의 우수성을 보인다.

### 1. 서론

최근 국제정세의 불안으로 인한 유가 폭등과 화석 연료의 고갈로 인하여 신재생 에너지의 개발이 가속화 되고 있다.<sup>[1]</sup> 특히 풍력 발전은 설치비에 비해 발전량이 낮지만 한번 설치하게 되면 반영구적으로 이용할 수 있고 공해가 거의 발생하지 않으며 토지 이용률이 높다는 장점을 갖고 있다. 그러나 풍력 발전 시스템은 현실적으로 날개의 형상, 기계적 마찰, 발전기의 효율 등에 따른 손실 요인이 존재하기 때문에 실용상의 효율은 20~40% 수준에 머물고 있다. 이런 낮은 효율을 갖고 있기 때문에 발생한 에너지를 최대로 계통에 전달하기 위한 최대전력점 추종제어가 요구된다.<sup>[2]</sup> 본 논문은 승압형 컨버터를 이용한 소형 계통연계 풍력 발전 시스템의 최대전력점 추종제어를 제안한다. 제안하는 최대전력점 추종기법은 출력계수 곡선 정보 기반의 전류 제어에 히스테리시스 제어를 추가함으로써 빠르고 정확한 최대전력점 추종을 가능하게 한다. 제안하는 최대전력점 추종기법을 바탕으로 3kW급 풍력발전 시스템을 설계하고 PSIM 시뮬레이션 결과를 통해 제어기법의 우수성과 유용성을 검증한다.

## 2. 풍력 발전 시스템

### 2.1 승압형 컨버터

그림 1은 풍력발전 시스템의 발전기 제어를 위한 승압형 컨버터의 회로도를 나타낸다. 여기서  $V_{in}$ 은 입력 측의 발전기 및 다이오드 정류기를 거친 전압,  $V_{DC}$ 는 출력 측의 인버터에서

제어되는 전압,  $C_f$ 는 필터 커패시터이다.

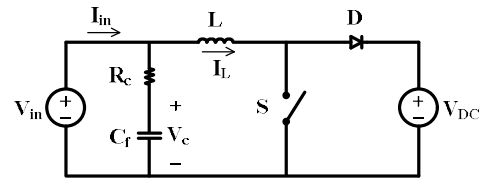


그림 1 승압형 컨버터의 등가회로  
Fig. 1 Equivalent circuit of boost converter

그림 1의 등가회로로부터 인덕터 전류와 듀티비 간의 전달 함수를 식 (1)과 같이 얻을 수 있다.

$$v_o = \frac{I_L(s)}{d(s)} = \frac{\frac{s}{L} V_{DC}}{s^2 + \frac{R_c}{L}s + \frac{1}{LC_f}} \quad (1)$$

### 2.2 계통연계형 인버터

그림 2는 계통연계 인버터의 제어 블록도를 나타낸다. 인버터의 계통연계 제어를 위하여 계통의 전압과 출력 전류를 측정한다. 측정된 전압은 Phase-locked-loop 알고리즘을 이용하여 계통위상각을 검출하는데 이용되고 계통 전류는 검출된 위상각으로 d-q동기좌표 변환하여 출력전력과 역률을 제어한다. 전류 제어기 출력으로부터 얻어진 전압지령  $V_{de}^*$ 와  $V_{qe}^*$ 은 SPWM 방식으로 스위치의 듀티비로 변환되어 인버터를 구동한다.

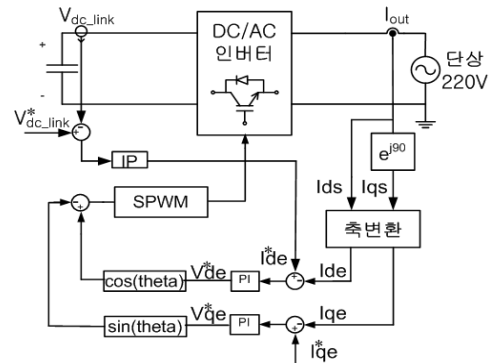


그림 2 계통연계형 인버터  
Fig. 2 Grid connected inverter

### 3. 최대전력점 추종제어

#### 3.1 최대전력점 추종

풍력발전 시스템의 블레이드 토크 관계식은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_e^* = K_{blade} \omega_{blade}^2 - B \omega_{blade} \quad (2)$$

여기서  $K_{blade} = \frac{1}{2} A \rho C_{p\_max} \left( \frac{R_{blade}}{\lambda_{opt}} \right)^3$  이다.

토크는 토크상수  $K_T$ 에 의해 전류와 비례하고 이를 통해 전류 지령값  $i_{qs}^{e*}$ 를 구하면 식 (3)으로 나타낸다.

$$i_{qs}^{e*} = \frac{1}{K_T} T_e^* \quad (3)$$

이와 같이 식(2)로부터 얻어진 토크는 식(3)에 의해 지령 전류로 얻어진다. 하지만 전류 제어 시 시스템 제정수의 변화 및 출력계수 곡선 오차로 인한 출력오차가 발생할 수 있다.

#### 3.2 히스테리시스 제어

그림 3은 제안하는 히스테리시스 제어기법의 동작 원리를 보인다.

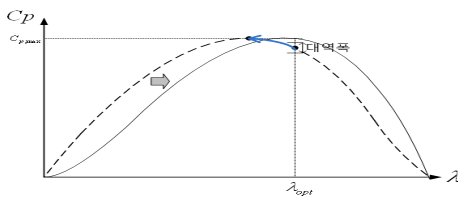


그림 3 히스테리시스 제어 그래프  
Fig. 3 Hysteresis control Graph with  $C_p$  Curve

$C_p$ 곡선에 의해 계산된 전류지령으로 발전기를 제어하여 최적 주속비인  $\lambda_{opt}$ 에서 운전을 수행하여도  $C_p$ 곡선의 오차로 인하여 실제발전기의 출력은 최대출력점을 이탈하여 운전하게 된다. 히스테리시스 제어기는 제어기에서 출력되는 지령 듀티비를 증가, 감소시켜 발전기의 운전점을 수정하고 변화된 전력량을 측정한다. 측정된 전력의 변화량이 설정된 대역폭내에서 머무르게 되면 발전기가 최대전력점에 도달했다고 판단하고 히스테리시스 제어기의 듀티비 조절을 억제하게 된다.

두개의 제어기가 간섭을 발생시키지 않고 서로의 이점을 효과적으로 발생시키기 위해 다음과 같은 제어전략에 의해 발전기 제어를 수행한다.

1. 풍속이 변화하여  $C_p$ 곡선으로부터 얻어지는 전류지령에 변화가 발생하면 전류제어 모드로 동작
2. 풍속이 일정한 범위 내에서 변화하고 전류제어기의 오차가 설정된 범위내로 감소되면 히스테리시스제어 모드로 동작
3. 풍속변화, 전류제어기오차 및 히스테리시스 제어기의 전력변화량이 설정된 범위 내에 있으면 정속운전 모드로 동작

### 4. 시뮬레이션

그림 4는 제안하는 최대출력점제어의 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션 결과를 보인다. 풍속은 0.5초까지 9m/s를 유지하다가 0.9초까지 서서히 증가한다. 풍속이 증가하는 구간에서 제어기는 전류제어 모드가 되어 빠르게 지령 전력을 추종한다. 하

지만 잘못된  $C_p$ 곡선으로 실제 출력계수는 최대출력계수로 제어되지 못한다. 풍속은 0.9초에 정격풍속인 13m/s에 도달하게 되고 제어기는 히스테리시스 제어모드로 변환되어 실제 최대출력점을 추종하기 위해 듀티비를 조정한다.  $C_p$ 가 최대전력점에 다다르면 제어기는 지령 듀티비의 변화를 억제하여 정상상태의 전력 리플이 최소화 된다. 1.3초에서 1.8초의 풍속 감소 구간에서도 위와 같은 동작을 반복하여 발전기는 효율적으로 최대출력점 추종제어를 수행한다.

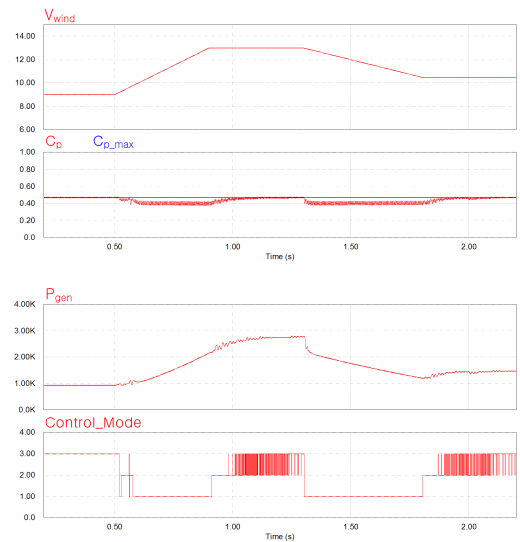


그림 4 제안하는 최대출력점 제어기법의 동적특성  
Fig. 4 Dynamic characteristics of the proposed MPPT method

### 5. 결론

본 논문에서는 풍력 발전 시스템에 적용되는 출력계수 곡선과 풍속을 이용한 전류제어에 히스테리시스 제어 기법을 결합한 향상된 최대전력점 추종기법을 제안하였다. 제안된 제어 기법은 풍속변화에 상관없이 빠르게 최대출력점을 추종하고 제정수의 변화나 출력계수 곡선의 오차에 의한 출력점 이탈을 정정하여 발전 효율이 높다. 3kW급 풍력발전 시스템 모델 기반의 PSIM 시뮬레이션을 통하여 제안하는 제어기법의 성능을 검증하였다.

본 논문은 2011년도 한국에너지기술평가원(지식경제부)의 재원으로 에너지자원기술개발사업 지원을 받아 수행된 것임(20111020400030-11-1-000).

#### 참고 문헌

- [1] 이상혁, 정해광, 이교범, 최세완, 최우진, "PMSG를 이용한 풍력 발전 시스템의 3병렬 운전과 계통 연계 기술," *전력전자학회 논문지* 제15권, 제4호, pp. 296 - 308, 2010. 8.
- [2] 이현희, 최대근, 이교범, "뉴로-퍼지 제어기를 이용한 계통 연계형 풍력발전 시스템의 센서리스 MPPT제어," *전력전자학회 논문지* 제16권, 제5호, pp. 484-493. 2011. 10.