

## 풍력터빈의 출력과 회전속도를 이용한 풍속예측 출력제어

고승윤<sup>1</sup>, 김호찬<sup>2</sup>, 허종철<sup>3</sup>, 강민제<sup>4\*</sup>  
<sup>1</sup>제주대학교 풍력공학부, <sup>2</sup>제주대학교 전기공학과,  
<sup>3</sup>제주대학교 기계공학과, <sup>4</sup>제주대학교 전자공학과

### Wind Estimation Power Control using Wind Turbine Power and Rotor speed

Seung-Youn Ko<sup>1</sup>, Ho-Chan Kim<sup>2</sup>, Jong-Chul Huh<sup>3</sup>, Min-Jae Kang<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Wind Energy Engineering Graduate School, Jeju National University,

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Jeju National University,

<sup>3</sup>Department of Mechanical Engineering, Jeju National University,

<sup>4</sup>Department of Electronics Engineering, Jeju National University

**요약** 풍력터빈은 정적풍속미만에서 최대출력을 내기위한 제어를 한다. 최대출력을 얻기 위한 방법 중에는 최적 TSR(Tip Speed Ratio)제어와 P&O(Perturbation and Observation) 제어가 대표적이라 할 수 있다. P&O 제어는 출력과 회전속도만을 이용하여 간단한 알고리즘으로 제어되지만 반응속도가 느린 것이 단점이라 할 수 있다. 최적 TSR 제어는 반응속도가 빠르지만 정확한 풍속을 알아야만 된다. 정확한 풍속을 구하기 위하여 측정을 하거나 예측하는 방법을 사용한다. 풍속을 측정하기 위하여 풍속계를 풍력터빈에 가까이 설치하게 되는 데, 이 때 블레이드의 간섭으로 정확한 풍속 측정이 쉽지 않다. 그래서 풍속을 예측하는 방법들이 사용하게 되었다. 풍속을 예측하기 위하여 신경망을 비롯한 다양한 수치해석 방법들이 사용되고 있으나 풍속예측 문제는 역문제와 관련이 있어 그리 간단치가 않다. 본 논문에서는 기존의 방법들과 다르게 역문제로 풀지 않고 바람의 출력그래프에서 터빈의 출력과 회전속도만을 이용하여 풍속을 예측할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. Matlab/Simulink을 사용하여 제안된 방법으로 풍속이 제대로 예측되며 최대 출력제어가 되는 것을 확인하였다.

**Abstract** A wind turbine is controlled for the purpose of obtaining the maximum power below its rated wind speed. Among the methods of obtaining the maximum power, TSR (Tip Speed Ratio) optimal control and P&O (Perturbation and Observation) control are widely used. The P&O control algorithm using the turbine power and rotational speed is simple, but its slow response is a weak point. Whereas TSR control's response is fast, it requires the precise wind speed. A method of measuring or estimating the wind speed is used to obtain a precise value. However, estimation methods are mostly used, because it is difficult to avoid the blade interference when measuring the wind speed near the blades. Neural networks and various numerical methods have been applied for estimating the wind speed, because it involves an inverse problem. However, estimating the wind speed is still a difficult problem, even with these methods. In this paper, a new method is introduced to estimate the wind speed in the wind-power graph by using the turbine power and rotational speed. Matlab/Simulink is used to confirm that the proposed method can estimate the wind speed properly to obtain the maximum power.

**Keywords** : rated wind speed, wind turbine, TSR, maximum power control, wind speed.

---

본 연구는 2015년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

\*Corresponding Author : Min-Jae Kang(Jeju National Univ.)

Tel: +82-64-754-3666 email: minjk@jejunu.ac.kr

Received June 8, 2015

Revised (1st February 1, 2016, 2nd March 11, 2016, 3rd March 17, 2016, 4th April

Accepted April 7, 2016

1, 2016, 5th April 6, 2016)

Published April 30, 2016

## 1. 서론

풍력에너지에 대한 역할이 점차 커지고 있는 상황에서 풍력터빈의 정확한 출력제어가 필요할 것이다. 풍력터빈은 정격풍속 미만과 이상으로 구분하여 출력제어를 한다. 정격풍속이상에서는 정격출력을 유지하도록 하고 정격풍속미만에서는 최대 출력을 내기 위한 제어를 한다. 최적 TSR(Tip Speed Ratio) 제어 방법은 정격풍속미만에서 최대출력제어(MPC)를 위해 널리 알려진 방법이다. 이 방식은 풍력터빈에 부는 풍속을 알아야 한다. 하지만, 풍속계를 풍력터빈에 가까이 설치하면 블레이드의 간섭으로 정확한 측정이 쉽지 않고, 또한 멀리 떨어진 곳에 설치하면 그 또한 정확한 풍속이라 말하기 쉽지 않다[4].

이러한 이유로 풍속측정을 하지 않고 최대 출력 제어를 하는 다양한 방법들이 제시되고 있다. 그 중 주류를 이루는 방법은 풍속을 예측하여 최대출력을 제어하는 것과 풍력터빈의 출력과 회전속도만을 이용하여 점차적으로 최대출력을 찾아가는 방법이라 할 수 있다. 풍속예측은 역문제와 관련이 있어 신경회로망과 다양한 수치해석 방법들이 풍속예측을 위해 사용되고 있다. 그리고 풍력터빈의 출력과 회전속도만을 이용하는 것으로는 P&O (Perturbation and Observation)방법이 대표적이라 할 수 있다[4-7].

본 논문에서는 풍력터빈의 출력과 회전속도만을 이용하여 간단히 풍속을 예측할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다. 새로운 방법으로 기존의 출력과 회전속도만을 이용한 P&O방법보다 개선된 최대출력제어를 보여주었다. 본 논문의 구성은 2장에서 풍력터빈 시스템을 설명하였고, 3장에서는 최대출력제어에서 대표적으로 사용하는 두 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 설명하였으며 4장에서는 Matlab/Simulink 시뮬레이션을 통하여 비교분석 하였으며 5장에서 결론을 내렸다.

## 2. 풍력터빈 시스템

### 2.1 풍력에너지

풍력 터빈은 바람 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 장치이다. 여기서 풍력 터빈의 에너지원은 바람의 흐름으로 바람의 운동 에너지는 식(1)처럼 나타낼 수 있다

[8,9].

$$P_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 \quad (1)$$

여기서  $\rho$ 는 공기밀도[ $kg/m^3$ ],  $R$ 는 블레이드의 반지름 [ $m^2$ ],  $v$ 는 풍속[ $m/s$ ]이다. 실제로 풍력 터빈에서 변환되는 전기에너지는 바람의 운동 에너지량과 더불어 풍력터빈의 출력계수에 의해 결정된다. 출력계수를 고려한 풍력터빈에서 변환되는 전기에너지는 식(1)을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다[8,9].

$$P_{wt} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 v^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (2)$$

여기서  $C_p(\lambda, \beta)$ 는 출력계수라 하며,  $\lambda$ 는 TSR (Tip Speed Ratio)로써 현재 불어오는 바람에 대한 블레이드 끝단 속력의 비이고 식(3)과 같이 표현된다.  $\beta[deg]$ 는 블레이드의 피치각이다.

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{v} \quad (3)$$

여기서,  $\omega_r$ 은 로터의 회전속도[ $rad/s$ ]이다. 출력계수 ( $C_p$ )는 [8]에 따르면  $\lambda$ 와  $\beta$ 에 영향을 받으며 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

Table 1. values of  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9$

Name	Value
$c_1$	0.5
$c_2$	116
$c_3$	0.4
$c_4$	0
$c_5$	-
$c_6$	5
$c_7$	21
$c_8$	0.08
$c_9$	0.035

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \beta^{c_5} - c_6 \right) e^{-\frac{c_7}{\lambda_i}} \quad (4)$$

여기서,  $\lambda_i = \left[ \frac{1}{\lambda + c_8 \beta} - \frac{c_9}{\beta^3 + 1} \right]^{-1}$  이다.

식(4)에서  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8, c_9$ 는 상수로써 [8]의 값들을 참조하였고 그 값은 Table 1에 나타내었다.

## 2.2 풍속구간에 따른 출력제어

Fig. 1은 풍속에 따른 풍력 터빈의 출력 곡선을 나타낸 것이다. 이를 통해 풍력터빈은 시동풍속인  $v_{cutin}$  과 종단풍속  $v_{cutout}$  사이에서 풍력 터빈이 동작하는 것을 보여준다. 풍속이  $v_{cutin}$  미만에서는 운전비용에 대한 효율이 적어 풍력터빈을 작동 시키지 않고  $v_{cutout}$  이상에서는 풍력터빈 시스템의 안전을 위하여 정지시킨다[9-11].

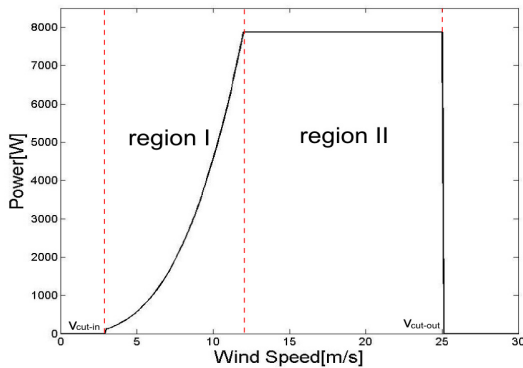


Fig. 1. Power Curve of Wind Turbine

또한  $v_{cutin}$  과  $v_{cutout}$  사이에서 풍력 터빈의 작동 상태에 따라 2개의 제어영역으로 나눈다[9-11]. Region I은 정격풍속 미만일 때의 출력 곡선을 나타낸다. 이 영역에서는 최대출력을 낼 수 있는 제어, 즉, 최대출력제어(MPC)가 이루어져야 한다. Region II는 정격풍속 이상에서의 출력곡선을 나타낸다. 이 영역에서는 정격출력을 유지시키기 위한 제한제어를 해주어야한다. 바람에 따른 출력이 발전기의 정격출력을 넘어서기 때문에 피치각  $\beta$  [deg]를 이용하여 정격출력에 맞는 회전속도로 유지한다. Region II에서의 제어는 [9-11]을 참조하였으며 본 논문에서는 자세한 내용은 생략한다.

## 3. 풍력 터빈의 최대출력제어

### 3.1 최적TSR을 이용한 최대출력제어

최적TSR을 이용한 최대출력제어는 현재 풍속에서 최대출력을 낼 수 있는 발전기의 회전속도를 찾는 것이다. 식(3)을 이용하여 회전속도( $\omega_r$ )에 관한 식으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

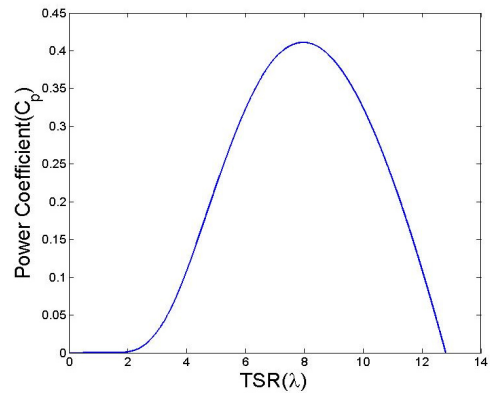


Fig. 2. TSR- $C_p$  curve

$$\omega_r = \frac{\lambda}{R}v \quad (5)$$

식(5)에서 알 수 있듯이 현재 풍속( $v$ )과 출력계수( $C_p$ )가 최대가 되는 최적TSR( $\lambda_{opt}$ )을 알고 있으면 최적의 회전속도를 구할 수 있다. 정격풍속미만에서 최대출력을 내기위한 제어이므로 블레이드의 피치각,  $\beta$ 는 0이다. 따라서 식(4)의  $\beta$ 를 0으로 하면 Fig. 2와 같은 TSR( $\lambda$ )과  $C_p$ 에 대한 곡선을 그릴 수 있다. 이 그림을 보면 TSR( $\lambda$ )이 8일 때  $C_p$ 가 최댓값이 되므로 최적TSR( $\lambda_{opt}$ )은 8로 정할 수 있다. 고로 풍속에 따른 최대 출력을 낼 수 있는 레퍼런스 회전속도( $\omega_{ref}$ )는 다음과 같이 구할 수 있다. 그러나 식(6)에서 알 수 있듯이 최적TSR을 이용한 최대출력제어는 정확한 풍속을 알아야만 한다[4].

$$\omega_{ref} = \frac{8}{R}v \quad (6)$$

### 3.2 출력과 회전속도를 이용한 최대출력 제어

출력과 회전속도만을 이용한 최대출력제어로는 P&O (Perturbation and Observation) 제어를 대표적이라 할 수 있다. 때문에 P&O제어는 실제 발전기 제어에 사용되고 있는 추가적인 센서가 필요 없으며, 시스템의 파라미터 및 모델 오차에 의한 정상상태 오차가 없어 항상 정확한 최대출력제어를 할 수 있다는 장점을 갖는다[12,13].

Fig. 3은 P&O 방법을 이용한 최대출력제어 전략을 나타낸 그림이다. 현재 출력( $P_k$ )과 이전 출력( $P_{k-1}$ ) 보다 큰 값을 갖는지 비교 하고 다시 현재 회전 속도( $\omega_k$ )와 이전의 회전 속도( $\omega_{k-1}$ )의 크기가 비교된다. 이 결과에

따라  $\omega_k$ 에 설정된 값( $\Delta\omega$ )를 더하거나 빼서 다음 회전 속도( $\omega_{k+1}$ )를 결정한다. 제어된 속도를 통해 출력 값이 변하게 되고 변한 출력 값은 다시 위와 같은 프로세스를 반복하여 최댓값을 찾는다.

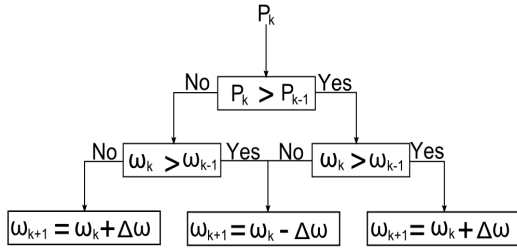


Fig. 3. Control Strategy for P&O

Fig. 4는 최대 출력 값을 찾는 과정을 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보면 알 수 있듯이  $\Delta\omega$ 만큼 증가 하면서 출력이 증가하고 증가한 현재 출력( $P_k$ )과 과거 출력( $P_{k-1}$ )이 비교 되는 과정이 반복되면서 최댓값( $P_{max}$ )을 찾는 것을 확인할 수 있다. 이러한 과정을 거치게 된다면 정확한 최댓값을 찾을 수 있다. 하지만 정확한 측정을 위하여 여러 단계를 거쳐야 하기 때문에 많은 시간이 요구되는 단점을 가지고 있다.

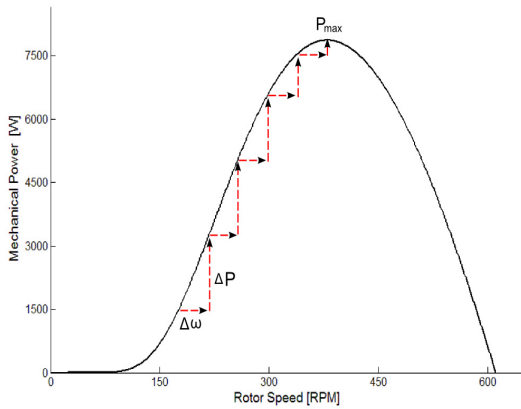


Fig. 4. MPC using P&O method

### 3.3 제안된 최대 출력제어 알고리즘

풍력터빈의 출력과 회전속도를 이용한 P&O 제어는 위에서 보았듯이 최대 출력제어를 할 수 있지만 정확한 측정을 위해 여러 단계를 거쳐야 하기 때문에 반응속도

가 느리다는 것을 확인하였다. 본 논문에서는 출력과 회전속도만을 이용하지만 간단히 풍속을 예측할 수 있는 새로운 최대 출력제어 방법을 제안하였다.

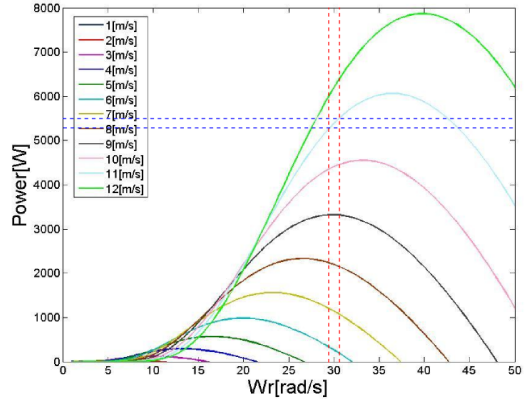


Fig. 5.  $w_r$ - $P$  curves depending on  $v$

Fig. 5은 식(2)를 이용하여  $w_r$ 과  $v$ 에 따른  $P$ 의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 5에서 출력 값과 회전속도를 알면 풍속을 예측할 수 있다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 측정된 출력과 회전속도가 각각 5500[W], 30[rad/s]이라면, 출력이 5500[W]일 때 이와 연관된 풍속은 11[m/s]와 12[m/s]이지만 회전속도가 30[rad/s]이기 때문에 풍속이 11[m/s]라는 것을 예측할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 새로운 알고리즘을 제안하였다.

측정된 출력과 회전속도를 이용하여 풍속을 예측하는 새로운 알고리즘을 다음과 같다.

- i). 측정된 출력( $P_m$ )과 회전속도( $\omega_m$ )를 입력한다.
  - ii). 초기치 풍속을 시동풍속( $v_{ini}$ )으로 설정한다.
  - iii). 측정된 회전속도와 설정된 풍속을 식(3)에 대입하여  $\lambda$ 을 구한다.
  - iv). 피치각  $\beta$ 를 0으로 하고, 계산된  $\lambda$ 와 풍속으로 식(2)을 사용하여 출력을 구한다.
  - v). iv)에서 구한 출력( $P_c$ )과 측정된 출력( $P_m$ )을 비교하여 측정된 출력이 크면 풍속을 증가시켜 ( $v = v + \Delta v$ ) iii)과정부터 다시 반복한다.
  - vi). iv)에서 구한 출력이 측정된 출력보다 클 경우 예측풍속( $v_{est}$ )을  $v_{est} = v_{k-1} + \frac{\Delta P_m}{\Delta P_c} \Delta v$ 를 통해 구한다.
- 여기서,  $v_{k-1} = v - \Delta v$ 이고  $\Delta P_m$ 과  $\Delta P_c$ 는 현재 측정된 출력과 현재 계산된 출력에서 이전 계산된 출력 값

을 뺀 값이다. 레퍼런스 회전속도( $\omega_{ref}$ )는 예측된 풍속을 이용하여 구한다. Fig. 6은 풍속을 예측하여 레퍼런스 회전속도를 구하는 전략 흐름도를 나타낸 것이다.

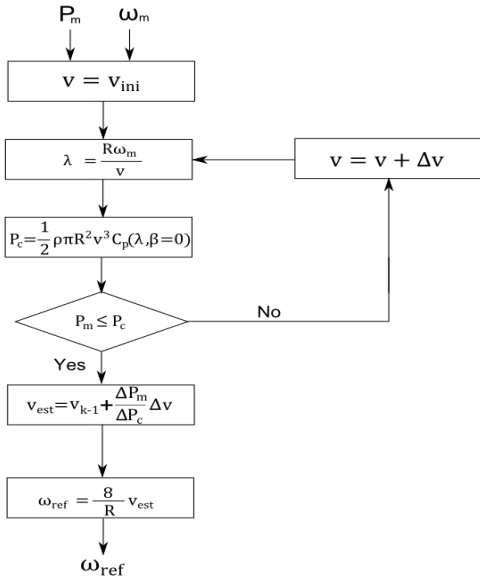


Fig. 6. Control strategy for proposed method

#### 4. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션을 위하여 정격 8kW PMSG 풍력터빈 모델[8]과 Matlab/Simulink가 사용되었다. 시뮬레이션은 P&O 방법과 제안된 방법을 비교분석하였다. 그 이유는 P&O 방법이 터빈의 출력과 회전속도만을 이용하는 대표적인 최대출력방법이기 때문이다. 그리고 바람은 계단식으로 변화는 바람, 급격히 변화는 바람, 그리고 서서히 변화는 바람 3종류를 선택하였다. 계단식으로 변화는 바람은 반응속도를 보기위한 것이고, 나머지 두 바람의 형태는 자연현상에서 발생할 수 있는 바람이라 가정한 것이다.

Fig. 7과 Fig. 8은 계단식으로 변화는 바람에서 P&O 방법과 제안된 방법을 사용하여 시뮬레이션한 그림이다. 그림에서 (b)는 로터의 회전속도를 나타내고 있다. 붉은 선은 각각의 제어방법에서 제시하는 레퍼런스 회전속도를 나타내고, 파란 선은 이를 쫓아가는 실제의 회전속도를 나타낸다. 두 방법 모두 레퍼런스 회전속도를 잘 쫓아

가고 있음을 알 수 있으나 반응속도는 제안된 방법이 훨씬 빠른 것을 확인할 수 있다. 즉 회전속도가 정상상태에 도달하는 시간을 보면 제안된 방법에서는 0.1초이내이나 P&O 방법에서는 1초가량 됨을 알 수 있다. Fig. 9와 Fig. 10은 급격히 변화는 바람에서 시뮬레이션 결과로, 계단식으로 급격히 변화는 바람을 연속적으로 연결하여 만들었다. 4~5초 구간의 회전속도와 출력을 보면 알 수 있듯이 P&O 방법은 레퍼런스 회전속도와 최대출력에 도달하는 데 있어서 제안된 알고리즘에 비해 매끄럽지 못하고 반응속도도 느린 것을 확인할 수 있다. Fig. 11과 Fig. 12는 서서히 변화하는 풍속에서의 시뮬레이션 결과를 보여준다. P&O방법을 시뮬레이션한 Fig. 11의 경우 풍속의 변화가 급격하지 않아서 Fig. 9에서의 시뮬레이션 보다 출력 파형이 좋아 보이지만 제안된 알고리즘을 적용한 방법을 적용한 Fig. 12의 결과와 비교 하면 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있다. 특히 초기 1초 구간에서 회전속도에 관해서 두 방법을 비교해보면 P&O 방법은 풍속에 대한 반응속도가 제안된 방법에 비해 느리다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 전 구간에서도 제안된 방법이 P&O방법에 비해 회전속도가 풍속의 형태에 부드럽게 쫓아가는 것을 알 수 있다.

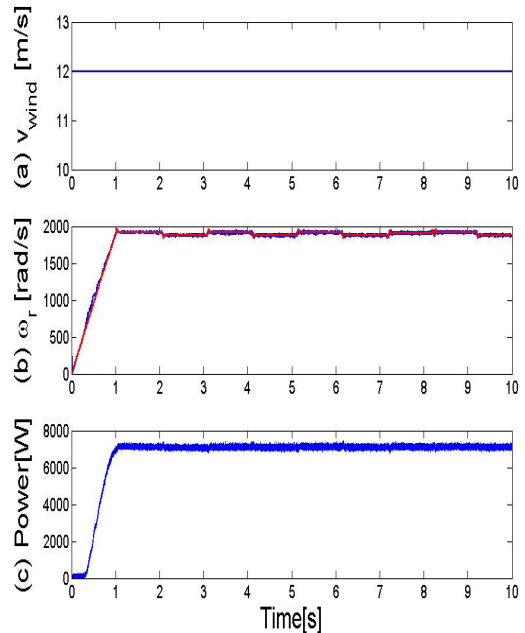


Fig. 7. Simulation result for constant wind speed(P&O Method)

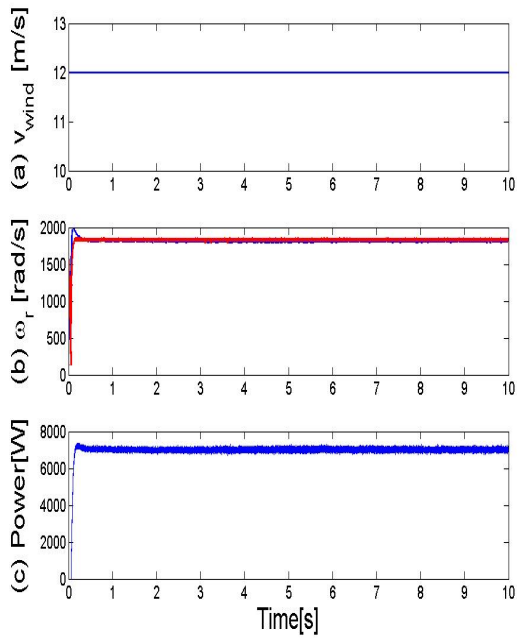


Fig. 8. Simulation result for constant wind speed (Proposed Method)

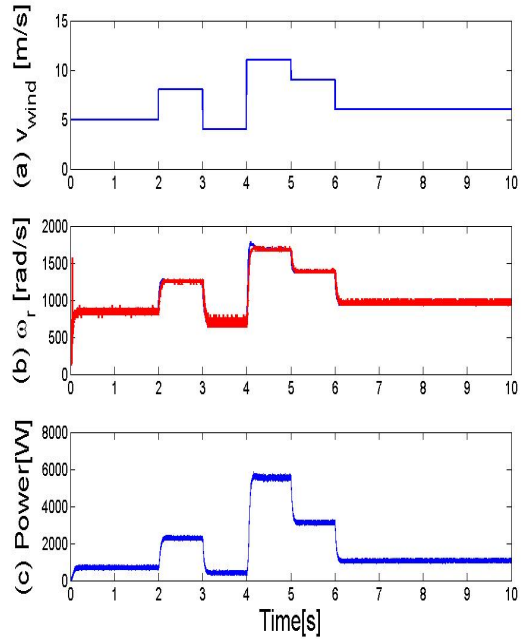


Fig. 10. Simulation method for step wind speed (proposed method)

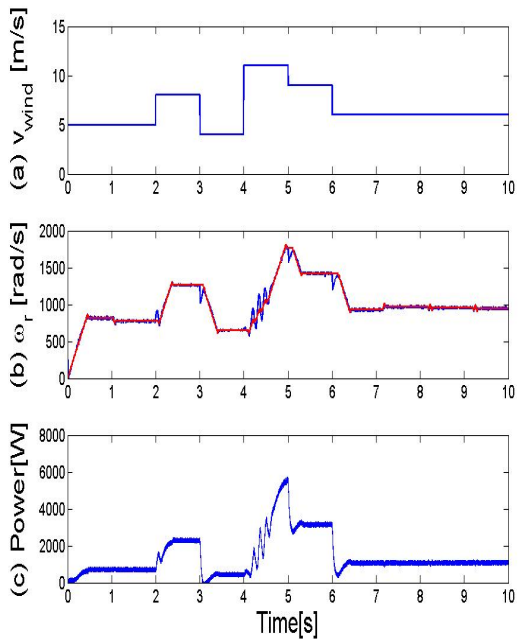


Fig. 9. Simulation result for step wind speed (P&O Method)

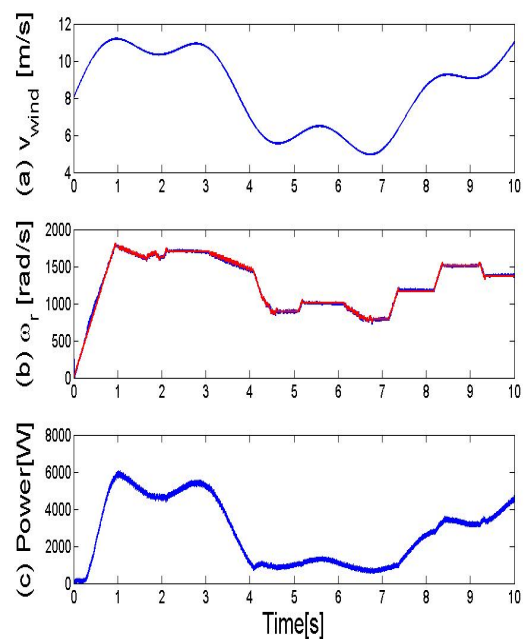


Fig. 11. Simulation method for gradually changed wind speed(P&O method)

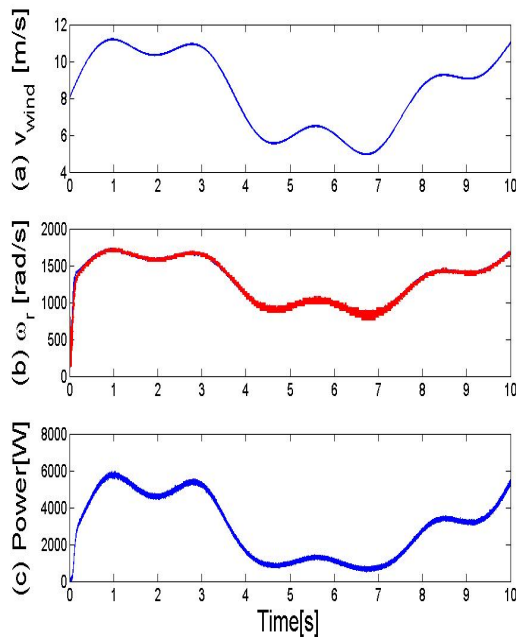


Fig. 12. Simulation method for gradually changed wind speed(Proposed method)

## 5. 결론

정격풍속 미만에서는 풍력터빈이 최대출력을 낼 수 있도록 제어한다. 정격풍속미만에서 최대출력을 위한 제어방법으로 TSR제어와 P&O 방법이 대표적으로 쓰인다. 최적 TSR제어는 제어결과와 P&O 방법보다 좋다고 할 수 있지만 정확한 풍속을 알아야 할 수 있는 제어방법이다. 그리고 P&O 방법은 간단히 터빈의 출력과 회전 속도만을 이용하여 간단히 최대출력을 얻을 수 있지만 반응속도면에서 최적 TSR제어보다 못하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 터빈의 출력과 회전속도만으로 간단히 풍속을 예측할 수 있는 새로운 방법을 제시하였다. 그리하여 터빈의 출력과 회전속도만으로 기존의 P&O 방법보다 나은 결과를 내도록 하였다. 기존의 P&O방법과 제안된 방법을 비교분석하기 위하여 다른 종류의 바람, 계단적으로 변화는 바람, 급격히 변화는 바람, 서서히 변화는 바람을 사용하였다. 계단적으로 변화는 바람의 시뮬레이션 결과를 보면 시스템의 반응속도를 알 수 있는데, P&O 방법에서는 회전속도가 정상상태에 도달하는 시간이 1초가량 걸렸으나 제안된 방법에서는 0.1초 이내였

다. 그리고 급격히 변화는 바람의 4~5초 구간과 서서히 변화는 바람의 전 구간에서 회전속도와 출력을 보면 알 수 있듯이 제안된 방법이 P&O 방법에 비해 반응속도가 매끄럽고 빠른 것을 확인할 수 있다.

## References

- [1] International Energy Agency, World Energy Outlook, 2012. OECD/IEA, 2012.
- [2] SuHyeon Han and Hyun Woo Shin, "Policy Trends of Renewable Energy in Korea", Renewable Energy Research and Applications, 2014.
- [3] Chul Soo Seo, Sang Ho Park, Jun Shin Lee, and Seung Tae Cha, "Offshore Wind Power Planning in Korea", Power Electronics and Applications, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/epe.2013.6634744>
- [4] Abdullah M.A., Yatim A.H.M., Tan C.W., Saidur R., "A review of maximum power point tracking algorithms for wind energy systems" Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.02.016>
- [5] Shibashis Bhowmik, Rene Spee and Johan H.R. Enslin, "Performance Optimization for Doubly Fed Wind Power Generation Systems", IEEE Transactions on Industry Applications, 1999. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/28.777205>
- [6] Shibashis Bhowmik and Rene Spee, "Wind Speed Estimation Based Variable Speed Wind Power Generation", Industrial Electronics Society, 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/iecon.1998.724160>
- [7] Wei Qiao, Wei Zhou, Jose M. Aller, and Ronald G. Harley, "Wind Speed Estimation Based Sensorless Output Maximization Control for a Wind Turbine Driving a DFIG", IEEE Transactions on Power Electronics, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TPEL.2008.921185>
- [8] Thomas Ackermann "Wind Power in Power Systems", John Wiley&Sons, Ltd, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/0470012684>
- [9] Yun-Soo Nam, "Wind Turbine System Control", Interscience, 2013.
- [10] J. Jonkman, S. Butterfield, W. Musial, and G. Scott, "Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development", Technical Report NREL/TP-500-38060, 2009.
- [11] Minhong Hong, SeungYoun Ko, Ho-Chan Kim, Jong-Chul Huh and Min-Jae Kang "Pitch Angle Controller of Wind Turbine System Using Neural Network" The Korea Academia-Industrial Cooperation Society, vol. 15, no. 2 pp. 1059-1065, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2014.15.2.1059>
- [12] Chris Skovgaard Hansen, Kristian Didriksen Lund, Nicklas Christensen and SeungYoun Ko "Operation of PMSG for Small Grid Connected Wind Turbine System with Maximum Power Point Tracking", Bachelor Project,

Aalborg University, 2014.

- [13] Hae-Kwong Jung, Kyo-Beom Lee "Power Electronic Technology of Wind Power System-Design and Control" Hantee Media, 2014.

**고 승 윤(Seung-Youn Ko)**

[준회원]



- 2013년 2월 : 제주대학교 전자공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 풍력공학과 풍력전기제어시스템전공 (공학석사)

<관심분야>

풍력 발전 제어, 전기발전 제어

**강 민 제(Min-Jae Kang)**

[정회원]



- 1982년 2월 : 서울대학교 전기공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 미국 루이빌대 전기공학과(공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 전자공학과 교수

<관심분야>

신경회로망, 접지시스템 설계, 풍력 발전 제어

**김 호 찬(Ho-Chan Kim)**

[정회원]



- 1989년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 제어계측공학과(공학박사)
- 1995년 9월 ~ 현재 : 제주대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

신재생에너지, 풍력발전, 접지시스템 설계, 에너지효율

**허 종 철(Jong-Chul Hur)**

[정회원]



- 1982년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학석사)
- 1992년 2월 : 인하대학교 기계공학과(공학박사)
- 1984년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 기계공학과 교수
- 2009년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 풍력특성화 대학원 인력양성 사업단 단장

<관심분야>

풍력 발전 시스템