

Wind Speed Estimation using Regression Method for Maximum Power Control

고승윤* · 김호찬** · 허중철*** · 강민제*†

SeungYoun Ko*, Ho-Chan Kim**, Jong-Chul Huh***, and Min-Jae Kang*†

제주대학교 풍력공학부*, 제주대학교 전기공학과**,
제주대학교 기계공학과***, 제주대학교 전자공학과*

Faculty of Wind Energy Engineering Graduate School*, Dept. of Electrical Eng**,
Dept. of Mechanical Eng***, † Dept. of Electronics Eng*, Jeju National University

요 약

풍력 터빈은 정격 풍속 미만일 때는 최대 출력을 내기 위한 제어를 한다. MPC(Maximum Power Control) 제어 방법은 발전기의 회전속도를 제어하여 최대 출력을 내는 방법인데 풍속을 알아야 한다. 하지만 여러 가지 이유로 풍속을 실측하기보다는 풍속을 예측하여 사용하는 방법들이 제안되고 있다. 풍속예측은 TSR(Tip Speed Ratio)을 알아야 하는 데, TSR은 복잡한 관계식을 풀어야 한다. 그래서 TSR을 구하기 위해 다양한 방법들이 소개되고 있다. 본 논문에서는 TSR을 쉽고 빠르게 구하기 위하여 복잡한 관계식을 리그레션을 이용하여 간단한 방정식으로 근사화하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 Matlab/Simulink 시뮬레이션을 통하여 제대로 작동하는 것을 확인하였다.

키워드 : 정격풍속, Maximum Power Control, Tip Speed Ratio, 풍속예측, 리그레션

Abstract

Wind turbines, in the case of less than rated wind speed, is controlled to achieve maximum power. MPC(Maximum Power Control) method, by controlling the rotational speed of the generator, is a method to achieve maximum power but should know the wind speed. However, for several reasons, there have been proposed methods of estimating the wind speed rather than measuring wind speed. TSR(Tip Speed Ratio) is needed to know to estimate the wind speed. However, a complex interaction formula has to be solved to find a TSR. Therefore, many methods have been suggested to solve a complex interaction formula. In this paper, the new method has been proposed to simplify the complicated interaction formula by using the regression method. Matlab/Simulink is used to simulate and to verify the proposed method.

Key Words : MPC, Wind Speed Estimation, Regression, TSR, Non-linear System

Received: Mar. 18, 2015

Revised : May. 14, 2015

Accepted: Jan. 17, 2015

† Corresponding author
minjk@jeju.ac.kr

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2010-0025438), 2012년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(과제번호:20094020200020) 및 「풍력 발전설비 평가용 실증단지 확장개발 과제(과제번호:2012T100201731)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

2013년에 한국에서 발표한 2차 에너지 마스터플랜에 따르면 신재생에너지는 2020년 까지 전력 총 발전량의 5.2%를 2035년 까지 11%를 생산한다는 계획이다. 신재생에너지 중에서 풍력은 2020년에 11.3%에서 2035년에는 18.2%를 차지하게 된다. 이는 신재생에너지 중에서 2번째로 많은 비중을 차지할 것이라는 것을 의미한다 [1,2].

또한, 현재 제주도 근처에 위치한 가파도에서는 풍력 터빈이 500kW, 태양광이 141kW를 생산하는 마이크로 그리드를 형성하고 있으며, 전라남도 해안 근처의 가사도에서는 풍력 터빈 400kW, 태양광 320kW를 생산할 계획이다[2]. 이처럼 내륙과 떨어져 있는 지역의 전력 수급에서 신재생에너지의 역할이 커지고 있다. 특히, 이중에서 풍력 에너지에 의한 전력 생산이 크다는 것을 알 수 있다.

풍력 터빈정격 풍속 미만일 때 최대 출력을 내기 위한 제어가 필요하다[7,8]. 최대 출력 제어(MPC)에서 가장 많이 쓰이는 제어 방식 중 하나가 최적 TSR(Tip Speed Ratio) 제어 방식이다. 이 방식은 풍속 측정을 통해 로터의 속도를 제어하여 최대 출력을 제어하는 방식이다. 하지만 이 제어를 위해 사용되는 풍속계는 터빈과 일정거리 떨어져 있어 정확하게

1. 서 론

풍속 측정이 불가능하다. 또한 이러한 풍속계를 사용함으로써 비용이 증가하고 전체 시스템의 안정성이 떨어질 우려가 있다[3].

최근에는 직접 풍속을 측정하지 않고 풍속을 예측하여 최대출력을 제어하는 연구가 활발하다. 예를 들어 Bhowmik은 출력계수의 비선형다항식을 이용하여 수치해석의 반복적인 방법으로 풍속을 예측하였다[5,6]. 그러나 비선형다항식의 근을 구하는 것은 복잡하고 시간을 소비 할 수 있어 시스템의 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 또한 Li는 다층 신경망을 이용하여 풍속을 예측하는 방법을 제안하였다[3,4]. 다층 신경망은 실시간 비선형 입출력 매핑시스템을 잘 구성하는 것으로 알려져 있다. 그러나 신경망은 학습이 중요한데, 학습은 데이터의 종류에 따라 원하는 목표치만큼 학습이 어려운 경우들도 생긴다. 본 논문에서는 TSR에 관한 식을 간단한 식으로 근사화하여 풍속을 예측하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법으로는 수치해석의 반복적인 방법을 사용하지 않고 바로 근을 구할 수 있어 시스템의 효율을 높일 수 있다.

2. TSR을 이용한 최대출력제어

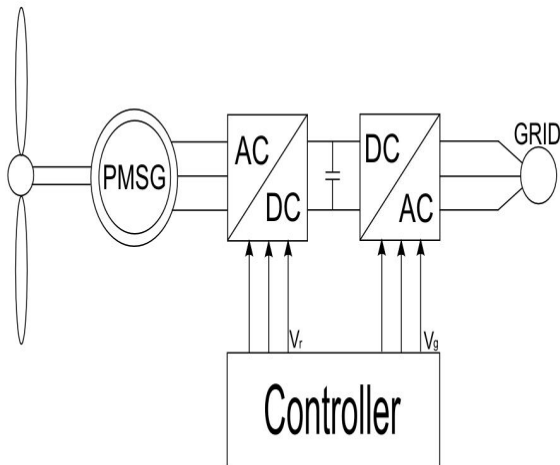


그림 1. 풍력 터빈 블록도
Fig. 1. Wind turbine block diagram

그림 1은 풍력 터빈의 블록도를 나타낸다. 바람이 불어 블레이드가 회전하기 시작하면 발전기에서 전기가 발생하며 Back-to-Back 컨버터를 통해서 전력을 변환 후 계통으로 가게 된다. 컨트롤 박스에서 로터 측 컨버터 제어와 계통 측 컨버터 제어를 담당하는데 본 논문에서 계통 측 제어 부분은 생략했다[8]. 그림 1에서 V_r 와 V_g 는 제어 박스에서 나온 로터 측 제어 전압신호와 계통 측 제어 전압신호를 나타낸다.

로터 측 컨버터에서는 주로 풍력 터빈의 MPC 제어와 출력 제한 제어를 담당한다. MPC 제어는 정격 풍속 미만일 때 풍력 터빈이 현재 풍속에서 최대 출력을 낼 수 있게 제어하는

것을 말한다. 출력 제한 제어란 정격 풍속 이상일 때 그 이상을 출력하게 되면 풍력 터빈에 이상이 생길 수 있기 때문에 출력을 정격 값으로 제한하는 제어를 말한다. 이 제어는 주로 블레이드 피치각을 이용해서 제어를 하기 때문에 본 논문에서 설명은 생략하였다[8,9].

2.1 최대 출력 제어

풍력 에너지를 전기적인 에너지로 변환하는 식은 식(1)과 같다[3].

$$P = 0.5 \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot C_p \tag{1}$$

여기서, ρ 는 공기 밀도, R 은 로터의 회전 반경, v 는 풍속 그리고 C_p 는 출력 계수를 나타낸다. 즉, 풍력 에너지는 풍력 터빈이 거대해지고 평균 풍속이 높은 곳일수록 커진다는 것을 식(1)을 통해 알 수 있다.

출력 계수, C_p 에 대한 식은 TSR(λ)와 블레이드 피치 각(β)으로 식(2)처럼 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 정격 풍속 이상을 고려하지 않았기 때문에 β 는 0으로 하였다. $\frac{1}{\lambda_i}$ 는 식(3)과 같다. 식(2)에서 TSR이란 날개 끝단의 속도 비이며 식(4)에 나타내었다. 여기서, ω 는 로터의 속도를 나타낸다. 출력계수는 베츠에 의해 0.59를 넘을 수 없다는 것이 증명되었고, 그림 2를 보면 최댓값이 이를 넘지 않는 것을 확인할 수 있다[3]. 그림 2에서 TSR이 8일 때 출력 계수가 최댓값(0.411)을 갖는 것을 알 수 있다.

$$C_p(\lambda, \beta) = 0.5 \cdot (116 \cdot \frac{1}{\lambda_i} - 5) \cdot e^{-\frac{21}{\lambda_i}} \tag{2}$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda} - 0.035 \tag{3}$$

$$\lambda = \frac{R \cdot \omega}{v} \tag{4}$$

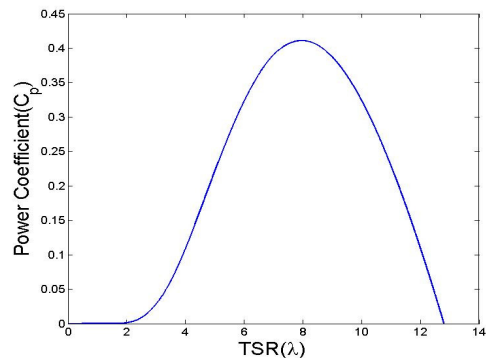


그림 2. TSR(λ)에 대한 출력 계수(C_p)
Fig. 2. Power coefficient(C_p) versus TSR(λ)

따라서 TSR 값을 8로 유지한다면 풍력 터빈은 최대 출력

을 낼 것이다[10]. 식(5)는 현재 풍속에서 최대 출력을 낼 수 있는 레퍼런스 회전 속도, ω_{ref} 를 나타내는 식이다. 그림 3은 그림 1의 컨트롤 박스의 내부를 간략하게 나타낸 그림인데, ω_{ref} 가 MPC 블록에서 출력으로 나오고 이 것이 속도 제어 박스를 지나 로터의 레퍼런스 전압 V_r 이 출력으로 나오는 것을 알려준다.

$$\omega_{ref} = \frac{\lambda_{opt} \cdot v}{R} \tag{5}$$

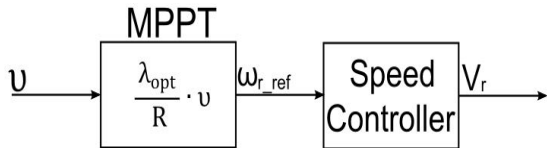


그림 3. 풍속을 이용한 MPC의 블록도
Fig. 3. Block diagram for MPC using a wind speed

2.2 풍속 예측

2.1절에서 풍속 측정을 통한 최대 출력 제어를 설명하였다. 하지만 최적 TSR제어는 풍속 측정이 필요하지만 터빈과 일정거리 떨어져 있어 정확한 측정이 불가능하다. 이와 같은 이유로 풍속 예측을 통한 최대 출력 제어 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 중에서 수치해석의 반복적인 수단을 이용하여 풍속을 예측하는 방법이 많이 알려져 있다[4,5].

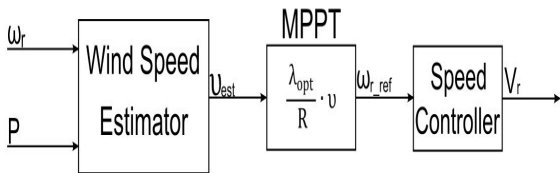


그림 4. 풍속 예측을 이용한 MPC 블록도
Fig. 4. Block diagram for MPC using wind speed estimation

그림 4는 풍속을 예측하여 최대 출력을 제어하는 블록도를 나타내었다. 그리고 풍속 예측은 로터의 회전속도와 출력을 이용하여 계산한다.

식(4)를 풍속에 관해 변형하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있으며

$$v = \frac{R \cdot \omega}{\lambda} \tag{5}$$

식(5)을 이용하여 발전기 회전속도(ω)와 TSR(λ)를 알 수 있으면 풍속을 예측할 수 있다. 순간의 발전기 회전속도 ω 는 측정가능하기 때문에 문제없지만 λ 를 구하는 것이 문제이다. 식(1)에 식(2~4)를 대입하면 식(1)에서 풍속이 없어지고 회전속도와 λ 에 대한 출력 식으로 다음과 같이 만들 수 있다.

$$\frac{1}{\lambda^3} \cdot \left(\frac{116}{\lambda} - 9.06\right) \cdot e^{-\frac{21}{\lambda}} - \frac{P}{0.52 \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \omega^3} = 0 \tag{6}$$

출력 P 와 로터의 회전속도 ω 값을 알면 식(6)을 통해 λ 의 값을 알 수 있다. 하지만 식(6)을 보면 식이 상당히 난해하여 λ 의 값을 구하기 쉽지 않다. 그래서 수치해석적 방법, 신경망 등 다양한 방법들이 소개되고 있다[3-6].

3. 제안된 풍속예측 알고리즘

식(6)을 보면 식이 난해하여 수치해석의 반복적인 방법을 이용하지 않으면 λ 값을 찾기가 어렵다는 것을 알 수 있다. MPC제어에서 현재 풍속에대한 최대출력을 내려면 현재의 λ 값을 최대한 빨리 찾아야 할 것이다.

본 논문에서 제안된 방법은 식(6)을 간단한 방정식으로 근사화하여 λ 를 쉽고 빠르게 구하는 방법이다. 간단한 방정식으로 근사화하기 위하여 식(6)에서 λ 를 $\frac{1}{x}$ 로 치환한다. 그러면 다음과 같이 x 의 함수로 표현할 수 있다.

$$x^3 \cdot (116x - 9.06) \cdot e^{-21x} - \frac{P}{0.52 \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \omega^3} = 0 \tag{7}$$

식(7)에서 x 에 대한 부분을 $h(x)$ 로 하고 출력과 회전속도에 대한 부분을 $C(P, \omega)$ 로 나누면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$h(x) = x^3 \cdot (116 \cdot x - 9.06) e^{-21 \cdot x} \tag{8}$$

$$C(P, \omega) = - \frac{P}{0.52 \cdot \rho \cdot \pi \cdot R^5 \cdot \omega^3} \tag{9}$$

식(9)는 출력 값 P 와 회전속도 ω 를 알 수 있으면 결정되는 상수 값이다. 그리고 그림 5는 식(8)를 그래프로 나타낸 것이다.

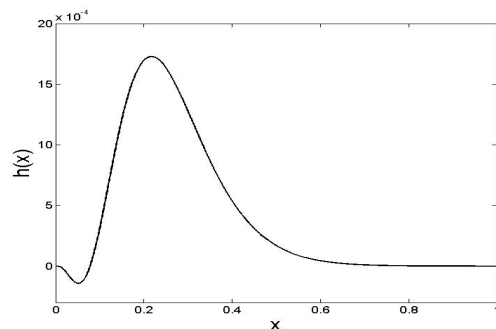


그림 5. $h(x)$ 에 대한 그래프
Fig. 5. Plot for $h(x)$

그런데 출력계수는 그림 2에서 알 수 있듯이 λ 가 2~13 영역 사이에서 출력이 발생한다. 고로 중요한 x 의 범위는 대략 0.08~0.45라 할 수 있다. 그래서 이 구간을 2차방정식으로 리그레션하면 식(7)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$ax^2 + bx + c + C(p, w) = 0 \tag{10}$$

여기서 a, b, c 는 $h(x)$ 를 정해진 구간에서 2차 방정식으로 리그레션하여 결정되는 값이다. 고로 식(9)의 $C(P, w)$ 만 결정되면 바로 2차방정식을 풀어서 x 의 값을 구할 수 있다. 방정식의 근은 2개 얻어지는 데, 그림 5에서 알 수 있듯이 근은 모두 양수이며 유효한 근은 둘 중 작은 것임을 알 수 있다.

리그레션은 효율적인 2차곡선을 찾기 위하여 다양한 구간에서 실험하였다. 실험결과 x 의 범위를 0.08~0.2구간에서 $h(x)$ 를 리그레션한 것이 가장 효율적임을 알았다. 그 이유는 시뮬레이션 그림들에서 알 수 있듯이 시스템이 가동되고 바로 λ 가 5이상을 유지하기 때문이다. 고로 λ 는 5~13구간에서 거의 작동하므로 x 의 범위를 0.08~0.2구간으로 하는 것이 타당하다고 여겨진다. 그림 6은 이 구간에서 리그레션한 2차곡선을 보여주고 근사식은 다음과 같다.

$$h_{reg}(x) = -0.0848x^2 + 0.0382x - 0.0025 \tag{11}$$

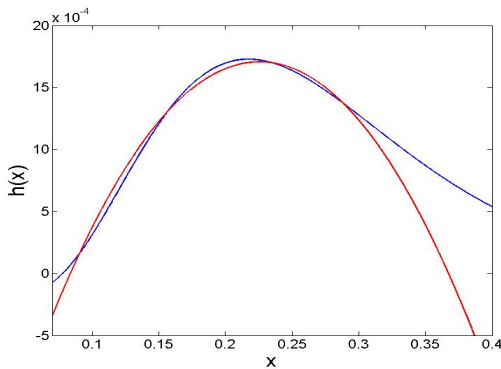


그림 6. $h(x)$ 와 회귀식을 이용해 얻은 근사식 $h_{reg}(x)$
 Fig. 6. $h(x)$ and approximated equation $h_{reg}(x)$ by regression method

4. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션에서 사용된 발전기 모델은 정격 9.4kW의 소형 PMSG 모델이며[10] 시뮬레이션은 Matlab/Simulink를 사용하였다.

시뮬레이션은 우선 리그레션 구간설정에 대하여 x 축 범위가 0.08~0.2이 타당한 지에 대해 시행하였으며, 그런 연후에 두 개의 바람 모델에 대하여 시뮬레이션하였다.

그림 7a는 $h(x)$ 곡선과 오차가 거의 없고 x 가 0.2 이후에

모습이 서로 다른 4개의 2차 곡선을 $h(x)$ 곡선과 비교한 그림이다. 그림 7b는 서로 다른 3개의 곡선들을 이용하여 풍속 예측 결과인 데 거의 결과가 같음을 알 수 있다. 고로 x 축의 중요한 구간은 0.08~0.2이며, 즉 λ 는 5~13의 구간에서 변동함을 알 수 있다.

그림 7c는 그림 7b에서 0초~0.1초 구간을 확대한 그림이다. 그림 7c를 보면 0초~0.1초 구간에서 오버슈트가 발생하며 x 축 0.2 이후 구간에서 $h(x)$ 곡선과 오차가 클수록 오버슈트가 크다는 것을 알 수 있다. 하지만 정상 상태로 돌아오는 시간이 약 0.01초로 매우 짧기 때문에 x 축 0.2 구간 이후의 영역은 큰 영향을 주지 않은 것을 알 수 있다.

시뮬레이션에 사용된 두 개의 바람 모델은 스텝함수와 자연스럽게 변하는 함수이다. 스텝함수는 바람이 급하게 변하는 경우를 알아보기 위한 것이고 다른 하나는 바람이 자연스럽게 변하는 경우를 보기 위한 것이다.

그림 8은 스텝 입력으로 변하는 풍속에 대해 뉴턴-랩슨 방법을 사용한 풍속 예측 제어를 시뮬레이션한 그림이다. 그림 8a에서 붉은선은 실제 풍속을 나타내고 파란선은 풍속을 예측한 값을 나타낸다. 급격히 변하는 구간을 제외하고는 실제 풍속을 잘 예측하고 있는 것을 알 수 있다. 그림 8b는 로터의 회전 속도를 나타낸다. 파란선은 레퍼런스 회전 속도를 그리고 붉은선은 실제 로터 회전 속도를 나타낸다. 그림 8c는 발전기의 Tip Speed Ratio(λ)를 나타내는데 값이 5~13 사이를 유지하는 것을 확인할 수 있다. 그림 8d는 이에 따른 발전기의 출력을 나타낸다.

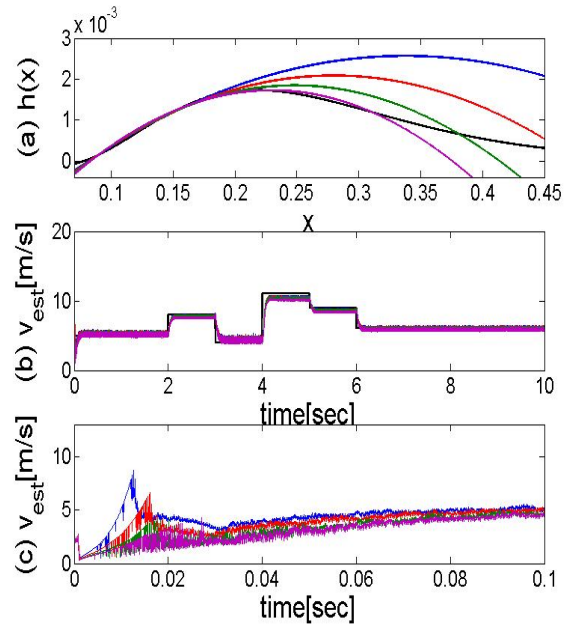


그림 7. (a) $h(x)$ 와 $h_{reg}(x)$ 에 대한 그래프 (b) (a)에 제시된 $h_{reg}(x)$ 곡선들을 이용한 풍속 예측 (c) (b)에서 0~0.1초 확대한 모습
 Fig. 7. (a) Plot for $h(x)$ and $h_{reg}(x)$, (b) Estimated wind speed by $h_{reg}(x)$ curves, (c) Expand (b) plot between 0~0.1 sec

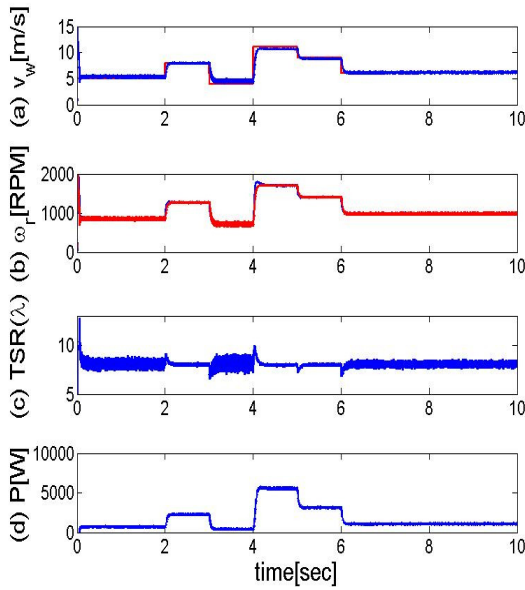


그림 8. 스텝 풍속에 대한 시뮬레이션 결과(뉴턴-랍슨)
 Fig. 8. Simulation result for step wind speed(Newton-Raphson)

그림 9는 그림 8과 같은 조건에서 리그레션 방법을 이용한 풍속 예측을 시뮬레이션한 결과이다. 그림 8에서 풍속을 잘 예측 하는 것을 알 수 있고, 또한 로터의 회전속도(w), Tip Speed Ratio(λ), 그리고 출력(P)이 뉴턴-랍슨 방법의 결과와 거의 같음을 알 수 있다. 또한 뉴턴-랍슨 방법에서 풍속과 회전속도에서 초기에 오버슈트가 발생하던 것이 없었던 점은 새로운 방법을 이용하여 개선된 것이라 할 수 있다.

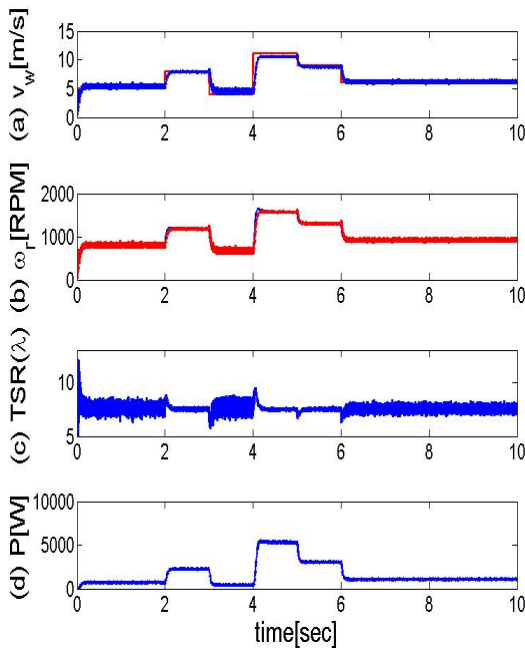


그림 9. 스텝 풍속에 대한 시뮬레이션 결과(리그레션)
 Fig. 9. Simulation result for step wind speed(Regression)

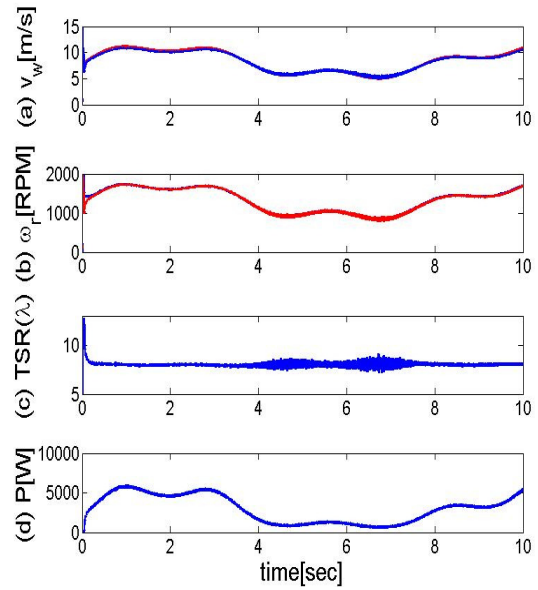


그림 10. 서서히 변하는 풍속에 대한 시뮬레이션 결과(뉴턴-랍슨)
 Fig. 10. Simulation result for slowly varying wind speed(Newton-Raphson)

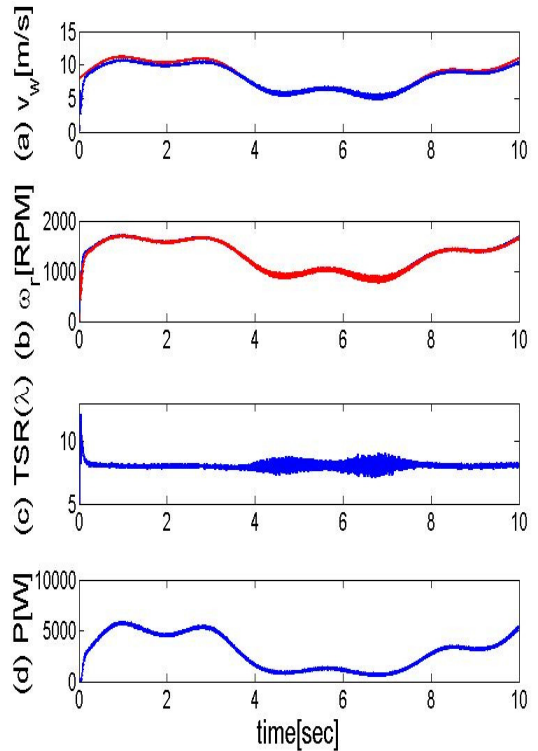


그림 11. 서서히 변하는 풍속에 대한 시뮬레이션 결과(리그레션)
 Fig. 11. Simulation result for slowly varying wind speed(Regression)

그림 8과 그림 9에서는 풍속이 급격하게 변할 때의 풍속 예측을 시뮬레이션 했다면 그림 10과 그림 11은 천천히 변하는 풍속에 대한 시뮬레이션을 비교한 그림이다. 그림 10은 뉴턴-랩슨 방법을 이용한 풍속 예측 시뮬레이션을 한 결과이다. 그림 10의 각 부분에 대한 설명은 그림 8과 같다. 서서히 변하는 풍속에서도 풍속 예측이 잘되고 있으며 이에 따른 속도 제어와 출력이 제대로 이루어지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 11은 리그레션 방법을 이용한 시뮬레이션 결과이다. 그림을 통해서 풍속 예측이 잘 되고 있고 이에 따른 속도 제어와 출력이 그림 10과 큰 차이 없이 잘 이루어지고 있다는 것을 확인할 수 있다. 그림 10(c)와 그림 11(c)를 보면 4~8초 구간에서 λ 가 변동이 심한 것을 볼 수 있는데 이는 풍속이 줄어드는 것에 비해 로터의 회전 속도가 빠르게 반응을 하지 못하기 때문이다.

5. 결 론

정격 풍속 미만일 때 최대 출력을 내기 위한 제어를 한다. 최대출력제어는 Tip Speed Ratio(λ)을 이용하여 풍속을 예측하고, 예측된 풍속으로 최대출력을 낼 수 있는 회전속도를 계산하는 것이다.

풍속을 예측하기 위하여 현재의 Tip Speed Ratio(λ)을 구해야 하는 데, 이와 관련된 수식은 복잡하여 간단히 구하기가 쉽지 않다. 그래서 다양한 방법들이 사용되고 있으나 대표적으로는 수치해석의 반복적인 방법을 사용하여 λ 를 구하고 있다. 그러나 실시간 최대출력제어를 위해서는 이러한 방법보다 쉽고 빠르게 λ 를 구할 수 있으면 나은 결과를 예측할 수 있다.

본 논문에서는 λ 을 쉽고 빠르게 구하기 위하여 복잡한 관계식을 리그레션을 이용하여 간단한 방정식으로 근사화하는 방법을 제안하였다. 그리하여 측정된 현재의 출력과 회전력을 근사화된 방정식에 대입하면 바로 근사한 λ 를 구할 수 있게 하였다.

시뮬레이션결과에서 알 수 있듯이 제안된 방법은 기존의 방법과 비교하여 결과가 거의 같이 나오는 것을 확인하였다. 즉 쉽고 빠르게 구한 근사한 λ 를 이용해도 된다는 것을 보여주었다.

References

[1] Chul Soo Seo, Sang Ho Park, Jun Shin Lee, and Seung Tae Cha, "Offshore Wind Power Planning in Korea", Power Electronics and Applications, 2013
 [2] SuHyeon Han and Hyun Woo Shin, "Policy Trends of Renewable Energy in Korea", 3rd International Conference on Renewable Energy

Research and Applications, pp. 218-221, 2014
 [3] Hui Li, K.L. Shi, P.G. McLaren, " Neural-Network-Based Sensorless maximum Wind Energy Capture With Compensated Power Coefficient", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 41, no. 6, pp. 1548-1556, 2005
 [4] Dae-Sun Moon and Sung-Ho Kim "A Study on Wind Speed Estimation and Maximum Power Point Tracking scheme for Wind Turbine System", Korea Intelligent Information System Society, vol. 20, no. 6, pp. 852-857, 2010
 [5] Shibashis Bhowmik, Rene Spee and Johan H.R. Enslin, "Performance Optimization for Doubly Fed Wind Power Generation Systems", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 4, pp. 949-958, 1999
 [6] Shibashis Bhowmik and Rene Spee, "Wind Speed Estimation Based Variable Speed Wind Power Generation", in Conf. Rec. IEEE IECON'98. Aachen, Germany, pp. 596-601, 1998
 [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, vol. 23, no. 3, pp. 1156-1169, 2008
 [8] Yun-Soo Nam, "Wind Turbine System Control", Interscience, 2013
 [9] 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
 [10] 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, vol 16, pp 3220-3227, 2012
 [11] 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

저 자 소 개



고승윤(SeungYoun Ko)
2013년 : 제주대학교 전자공학과 학사
2013년~현재 : 제주대학교
 풍력공학부 석사과정

관심분야 : 풍력 발전 제어, 계통 제어
Phone : +82-64-754-3666
E-mail : koksy@jejunu.ac.kr



김호찬(Ho-Chan Kim)
1987년 : 서울대학교 제어계측공학과 공학사
1994년 : 서울대학교 제어계측공학과
 공학박사
1995년~현재 : 제주대학교
 전기공학과 교수

관심분야 : 퍼지제어, 풍력발전제어
Phone : +82-64-754-3676
E-mail : hckim@jejunu.ac.kr
관심분야 : 퍼지제어, 풍력발전제어
Phone : +82-64-754-3676
E-mail : hckim@jejunu.ac.kr



허중철(Jong-Chul Huh)
1982년 : 인하대학교 기계공학과 석사
1992년 : 인하대학교 기계공학과 박사
1984년~현재 : 제주대학교
 기계시스템공학부 교수

관심분야 : 풍력발전시스템
Phone : +82-64-754-3623
E-mail : jchuh@jejunu.ac.kr



강민제(Min-Jae Kang)
1982년 : 서울대학교 전기공학과 공학사
1991년 : 루이빌대 전기공학과 공학박사
1992년~현재 : 제주대학교
 전자공학과 교수

관심분야 : 접지시스템, 풍력발전제어
Phone : +82-64-754-3666
E-mail : minjk@jejunu.ac.kr