

발전기 속도 변화율을 이용한 신경망피치제어기

Neural Network Pitch Controller of Wind Turbine using Changing Rate of Generator Speed

홍민호* · 김호찬** · 허종철** · 강민제*

Min-ho Hong*, Ho-Chan Kim**, Jong-Chul Huh**, and Min-Jae Kang*

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

† Dept. of Electronic Eng.*, Dept. of Electrical Eng.** , Dept. of Mechanical Eng.***,
Jeju National University

요 약

본 논문에서는 정격풍속 이상에서 발전량을 일정하게 유지하기 위하여 회전속도의 변화율을 이용한 신경망 피치제어기가 제안되었다. 제안된 신경망 피치제어기는 발전기의 정격 회전속도와 현재 회전속도의 차이를 기본정보로 사용하고 추가적으로 발전기 회전속도의 변화율을 사용하였다. 시뮬레이션은 Matlab/simulink에서 수행되었으며, 시뮬레이션을 통해 제안된 피치제어기를 사용한 풍력발전기는 발전기의 정격 회전속도인 122.9[rad/s]로 잘 유지 되는 것을 확인하였다.

키워드 : 정격풍속, 신경망 피치제어기, 발전기회전속도 변화율, 풍력발전기

Abstract

The neural network pitch controller using changing rate of generator speed has been suggested in this paper to regulate wind turbine power above the rated wind speed. The changing rate of generator speed is used in the suggested pitch controller as well as the difference between the rated and current generator speed. Matlab/simulink has been used for simulations and it has been shown that the suggested pitch controller regulates generator speed as the rated speed of 122.9[rad/s].

Key Words : Rated wind speed, Neural network pitch controller, Changing rate of generator speed, Wind turbine.

1. 서 론

오늘날 에너지 고갈 문제에 대한 해결책으로 수많은 신재생 에너지들이 연구, 개발 되고 있다. 그중 풍력 에너지 또한 수많은 관심을 받고 있으며 더욱 더 용량이 큰 발전기들이 시장의 주류를 형성하고 있다. 풍력 발전기들이 대형화됨에 따라 정격전력 이상에서 제어되는 피치제어의 중요성이 더욱 더 커지고 있다. 풍력 발전기에서 피치제어의 목

적은 정격풍속 이상에서 정격전력을 유지하기 위한 것이다. 이를 위하여 정격풍속이상에서 로터의 회전속도가 정격으로 될 수 있도록 로터의 피치각을 제어하면 된다.

풍력 발전기의 제어에 있어서 고려되는 사항은 비선형성이다. 발전기모델, 기어박스모델, 로터모델 등 풍력 발전기의 각각의 구성요소들 선형모델로 가정하더라도 풍력 발전기의 전체적인 작동은 비선형적인 면을 보이게 된다. 때문에 풍력 발전기의 피치제어기는 선형 제어기 또는 비선형 제어기의 형태로 설계되어 실제의 풍력 발전기에 적용되고 있다[1].

본 논문에서는 신경망의 비선형특성을 이용하여 풍력발전기의 피치각을 제어할 수 있는 방안을 제시하였다. 제어기에 사용된 신경망은 오류역전파(Error back-propagation)가 사용되었고 신경망 제어기는 두 개의 입력과 하나의 출력을 갖는다. 두 개의 입력중 하나는 정격발전기 회전속도와 현재 발전기 회전속도의 차이이며 다른 하나의 입력은 발전기 회전속도의 변화율이다. 신경망제어기의 출력은 다음 피치각의 변화율이다. 여기에서 사용된 풍력 발전기 모델은 NREL에서 제공하는 5MW의 풍력 발전기이며 시뮬레이션은 Matlab/simulink에서 수행되었다.

접수일자: 2014년 4월 25일

심사(수정)일자: 2014년 6월 20일

게재확정일자 : 2014년 7월 2일

† Corresponding author

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업과 (2010-0025438)2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(NO.200940 20200020)의 지원을 받아 수행된 것입니다.

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.

2. 풍력터빈 제어 시스템 모델

2.1 풍력 에너지

풍속 v m/s로 불어오는 바람이 가진 에너지는 다음과 같다[2].

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A v^3 [W] \quad (1)$$

여기서 ρ 는 바람의 공기밀도이고 A 는 바람이 지나가는 단면적, v 는 풍속을 나타낸다.

이 바람이 가진 에너지를 풍력발전기를 통하여 전기에너지로 변환하는데 그 변환하는 계수를 전력계수라 하며 $C_p(\lambda, \beta)$ 라고 표현한다. 전력계수는 블레이드의 특성에 따라 달라진다. 전력계수를 이용하여 풍력 발전기의 로터에서 받는 에너지는 다음과 같다[2,3].

$$P_r = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p(\lambda, \beta) [W] \quad (2)$$

$C_p(\lambda, \beta)$ 는 주속비 λ 와 피치각 β 의 함수로 표현가능하다. 여기서 주속비 λ 는 현재 불어오는 바람에 대한 블레이드 끝단속도의 비율이며 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 Ω_r 은 로터의 각속도이고, R 은 로터의 길이를 의미한다.

$C_p(\lambda, \beta)$ 는 다음과 같은 수식으로 근사화 시킬 수 있다 [4].

$$C_p = 0.5176 \left(\frac{116}{\lambda_i} - 0.4\beta - 5 \right) e^{-\frac{21}{\lambda_i}} + 0.0068\lambda \quad (4)$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \quad (5)$$

위의 수식 말고도 $C_p(\lambda, \beta)$ 를 근사화 시킨 수식은 여러 종류가 있다. 앞에서 말했듯이 $C_p(\lambda, \beta)$ 는 블레이드의 특성에 따라 달라지게 된다.

본 논문에서는 NREL에서 제공하는 5MW의 $C_p(\lambda, \beta)$ 를 사용하였으며, 그림 1에 나타나 있다.

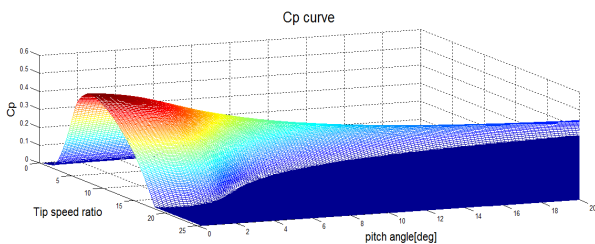


그림 1. NREL 5MW 풍력발전기 의 Cp곡선
Fig. 1. Cp curve of NREL 5MW wind turbine

2.2 풍력 터빈 시스템의 제어 영역

풍력발전기의 제어는 크게 두 가지 영역으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 풍속이 정격풍속보다 낮은 영역에서 바람의 에너지를 최대한 많이 받기 위한 제어이다. 이 때는 피치각 β 를 0으로 고정시키고 토크제어를 통해 주속비 λ 를 최적으로

로 유지시켜서 $C_p(\lambda, \beta)$ 를 최대로 만든다. 그리고 두 번째는 풍속이 정격풍속보다 높은 영역에서 발전기의 발전량을 정격으로 유지시키기 위한 제어이다. 이 때는 로터의 회전 속도를 일정하게 유지시키기 위한 피치각을 제어해야 한다.

그림 2는 풍력 터빈의 풍속에 대한 파워의 이상적인 출력 곡선을 나타낸다. Region1은 시동풍속(V_{min}) 이전의 부분으로 어느 정도의 바람이 불기 전까지는 풍력 발전기를 동작시키지 않는 부분이다. Region2는 시동풍속과 정격풍속(V_N) 사이의 구간으로 풍력 발전기가 받는 바람의 에너지를 최대한 많이 회수하도록 제어 되어야 하는 구간이다. 그렇기 때문에 이 영역에서의 그래프는 바람의 3승에 비례하는 곡선이 나타나며 이 영역에서는 피치각을 0으로 고정시키고 $C_p(\lambda, \beta)$ 의 값을 최대로 유지시키기 위해 주속비 λ 를 일정하도록 제어해 주어야 한다. 이를 위하여 발전기 토크 $T_{g(ref)}$ [N]를 제어하여 주속비가 일정하도록 제어하여 바람의 에너지를 최대한으로 받을 수 있도록 한다. Region3은 정격풍속에서부터 종단풍속 사이의 영역으로 바람의 에너지가 발전기의 정격 전력보다 큰 구간이다. 이 구간에서는 피치각을 제어하여 발전기의 회전속도를 일정하게 유지함으로써 발전기의 출력을 일정하도록 유지시킨다[5].

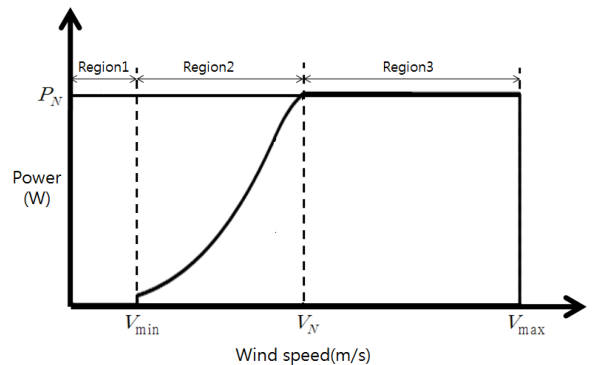


그림 2. 풍력 터빈의 이상적인 파워곡선
Fig. 2. Ideal Power Curve of Wind Turbine

본 논문에서는 Region3 영역의 정격풍속 이상일 때 피치각을 제어하여 발전기의 출력을 일정하게 유지시키기 위하여 신경망 피치제어기를 제안하였다. 제안된 신경망 피치제어기는 발전기 회전속도의 변화율을 이용하여 정격풍속이상에서 풍력발전시스템이 안정적으로 작동하게 하였다.

3. 발전기 회전속도 변화율을 이용한 신경망 피치제어

3.1 발전기 회전속도 변화율

앞장에서 설명했듯이 정격풍속 이상에서의 피치제어의 목적은 피치를 제어하여 로터의 회전속도 가속을 억제하고 발전기의 회전속도를 일정하게 함으로써 발전기의 출력을 정격으로 유지하는데 있다.

본 논문에서는 피치를 제어하기 위하여 신경망 제어기를 사용하였고 제어기는 두 개의 입력과 하나의 출력을 갖는다. 그 중 하나의 입력은 발전기의 정격 회전속도와 현재 회전속도의 차이이고 다른 하나의 입력은 발전기 회전속도의 변화

율이 입력으로 들어간다. 그리고 이 두 개의 입력을 통하여 다음 피치각의 변화량을 계산하는 제어기를 설계하였다. 발전기 회전속도 변화율은 다음과 같다.

$$\Delta\Omega_g = (\Omega_{g_n} - \Omega_{g_{n-1}}) \times \frac{1}{ST} \quad (6)$$

여기서 ST는 시뮬레이션의 샘플링 타임을 나타내고 $\Omega_{g_{n-1}}$ 은 현재 발전기 회전속도, 그리고 $\Omega_{g_{n-2}}$ 은 바로 이전의 발전기 회전속도를 나타낸다. 이 두 개의 값의 차이에 샘플링 시간의 역수를 곱함으로써 1초 변화율을 입력으로 한다.

3.2 피치제어 신경망

피치제어를 위해 Error Back Propagation 신경망이 사용되었다. 그림 3에서 보여주듯이 발전기의 정격 회전속도와 현재 발전기 회전속도 차이가 하나의 입력 값으로 사용되고, 발전기 회전속도의 변화율이 또 다른 입력으로 사용된다. 그리고 그 두 개의 입력 값을 이용하여 피치각의 변화가 출력 값으로 나타난다. 그리고 은닉층에는 5 개의 뉴론을 사용하였다.

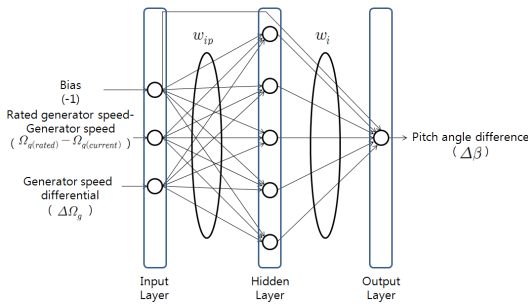


그림 3. 신경망 제어기의 구조

Fig. 3. Structure of Neural Network Controller

여기서 w_{ip} 은 입력층의 p 번째 뉴론과 은닉층의 i 번째 뉴론을 연결하는 가중치를 나타내고 w_i 는 은닉층의 i 번째 뉴론이 하나 뿐인 출력층과 연결하는 가중치를 나타낸다. 피치제어 신경망은 현재 상황에 맞는 피치각의 변화를 찾아서 발전기가 안정적으로 정격출력을 낼 수 있도록 해야한다. 신경망 제어기는 이런 조건을 만족할 수 있도록 뉴론들을 연결하는 가중치 w_{ip} 과 w_i 의 값을 학습시켜 나간다. 신경망의 학습방법은 임의의 값으로 가중치 w_{ip} 과 w_i 를 초기화하고 그 값을 통해 피치제어 신경망 출력의 오차를 계산하고 그 오차가 줄어들도록 가중치 w_{ip} 과 w_i 를 수정한다. 오차가 줄어들도록 가중치를 수정하는 식은 다음과 같다[6,7].

$$w_{ip}(t+1) = w_{ip}(t) + \frac{\alpha}{l} \sum_{n=1}^l x_{pn} f_1'(net_i) E_{in} w_i \quad (7)$$

$$w_i(t+1) = w_i(t) + \frac{\alpha}{l} \sum_{n=1}^l E_{in} f_2'(net) Z_{in} \quad (8)$$

$$E(n) = f_2(n) - \hat{Y}(n) \quad (n = 1, 2, \dots, l) \quad (9)$$

$$E_{total} = \frac{\sum (E(n))^2}{l} \quad (n = 1, 2, \dots, l) \quad (10)$$

여기서 X(n)은 피치제어 신경망 입력들의 벡터이고 Z(n)은 은닉층의 뉴론들의 출력 벡터이다. f_2 는 출력값의 변환함수, $\hat{Y}(n)$ 은 목표값, f_1 은 은닉층의 변환함수를 나타낸다. net_i 와 net 는 각각 은닉층 i 번째 뉴론의 입력값과 출력뉴론의 입력

값을 나타낸다. 그리고 l 은 훈련 사이즈, α 는 훈련 비율을 나타낸다. 은닉층 뉴론의 변환함수는 -1에서 1 사이의 값을 갖는 시그모이드(sigmoid) 함수로 식(11)과 같고 출력뉴론의 변환함수는 식(12)와 같이 선형함수이다.

$$f_1(u) = \frac{1 - e^{-u}}{1 + e^{-u}} \quad (11)$$

$$f_2(u) = u \quad (12)$$

이와 같은 방법으로 전체적인 에러인 식(10)이 원하는 값 이하가 될 때 까지 가중치의 수정과정을 반복한다.

3.3 발전기 회전속도 변화율을 이용한 피치제어 알고리즘

정격풍속이상에서 발전기의 회전속도를 정격으로 유지하기 위해 피치제어알고리즘을 사용한다. 피치제어는 발전기의 정격회전속도와 현재 회전속도의 차이를 비교하여 피치각의 증감을 결정한다. 그러나 발전기의 정격 회전속도와 현재회전속도의 차이만을 고려한 신경망 피치제어 알고리즘에서 시스템이 진동하거나 다운되는 문제가 발생하였다. 그래서 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 본 논문에서는 추가적으로 발전기 회전속도의 변화율을 고려한 피치제어 알고리즘을 제안한다.

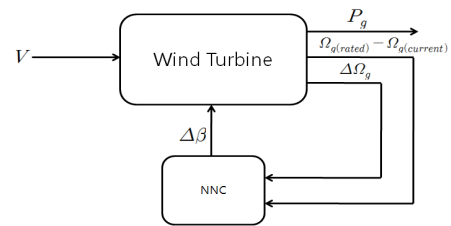


그림 4. 신경망 제어기를 이용한 풍력 발전기의 블럭도

Fig. 4. Block diagram of wind turbine using NNC

그림 4는 위에서 말한 두 개의 입력을 가진 신경회로망 제어기를 풍력 발전기에 적용시킨 것을 보여주는 블록 다이어그램이다. 2개의 입력을 제어요소로 사용하여 피치각의 변화율 $\Delta\beta$ [deg]를 출력으로 보냄으로써 발전기의 회전속도를 정격으로 유지시킨다.

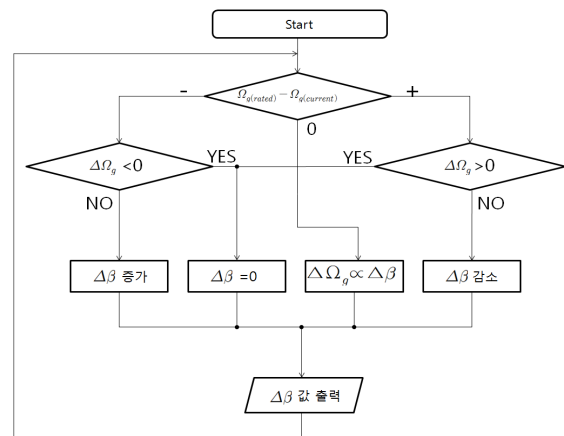


그림 5. 회전속도 변화율을 고려한 피치제어 순서도

Fig. 5. Flow chart of pitch control consider rate of change of rotational speed

회전속도 변화율을 고려한 피치제어알고리즘은 그림 5에서 알 수 있듯이 우선 발전기 정격 회전속도와 현재 회전속도를 비교한다. 즉 발전기의 정격 회전속도가 현재 회전속도보다 클 때, 작을 때 또는 같을 때의 3경우로 구분한다. 그리고 각 경우에서 회전속도 변화율을 추가적으로 고려하여 피치각의 변화율을 결정한다. 예를 들어 회전속도의 변화율을 고려하지 않은 피치제어 시스템에서는 발전기의 현재 회전속도가 정격회전속도보다 빠른 경우에 무조건 피치각을 증가시킨다. 그러나 회전속도의 변화율을 고려한 제어시스템에서는 회전속도의 변화율에 따라 피치각의 변화율을 조절한다. 즉 회전속도의 변화율이 없거나 음수이면 피치각을 증가시키지만 변화율이 양수이면 피치각을 변경하지 않는다.

4. 시뮬레이션 및 결과

4.1 풍력발전기 모델

본 논문에서는 NREL에서 제공하는 5MW 풍력발전기를 사용하였으며 그 특성은 표 1과 같다[8].

표 1. NREL 5MW 풍력발전기의 파라미터

Table 1. Parameters for NREL 5MW Wind Turbine

Rating	5 MW
Rotor Orientation, Configuration	Upwind, 3 Blades
Control	Variable Speed, Collective Pitch
Rotor, Hub Diameter	126 m, 3 m
Hub Height	90 m
Cut-In, Rated, Cut-Out Wind Speed	3 m/s, 11.4 m/s, 25 m/s
Cut-In, Rated Rotor Speed	6.9 rpm, 1.1623rad/s
Rated Generator Speed	122.9rad/s
Gearbox Ratio	97:1

표 2는 신경망 제어기의 훈련을 위하여 두 개의 입력에 대한 피치각의 변화율 $\Delta\beta$ [deg]을 설정한 것이다. 표 2의 수치들은 본 논문의 피치제어 신경망 학습을 위하여 그림 5의 피치제어알고리즘에 따라 설정한 값이다. 그림 6은 Matlab/Simulink를 이용하여 3.2에서 설명한 피치제어 신경망의 학습알고리즘을 구현한 것이다. 부수적으로 학습과정에서 실시간으로 전체에러가 변하는 모습을 Scope에서 볼 수 있도록 하였다. 그림 7은 표 2에 포함되지 않은 영역에서 신경망 제어기가 학습이 잘 되었는지 확인하기 위한 것이다. 그림 7에서 보면 학습에 포함되지 않는 -7, -3, 3, 7의 값에서도 학습에 포함된 값에서처럼 제대로 작동하는 것을 확인할 수 있다.

표 2. 신경망 제어기의 입,출력

Table 2. Input and output of Neural network controller

$\Omega_g(\text{rated})$ $-\Omega_g(\text{current})$	$\Delta\Omega_g$	$\Delta\beta$ [deg]	$\Omega_g(\text{rated})$ $-\Omega_g(\text{current})$	$\Delta\Omega_g$	$\Delta\beta$ [deg]
-10	-10	0	0	5	0.5
-10	-5	0	0	10	1

-10	0	0.5	5	-10	-1
-10	5	0.7	5	-5	-0.5
-10	10	1	5	0	-0.3
-5	-10	0	5	5	0
-5	-5	0	5	10	0
-5	0	0.3	10	-10	-1
-5	5	0.5	10	-5	-0.7
-5	10	1	10	0	-0.5
0	-10	-1	10	5	0
0	-5	-0.5	10	10	0
0	0	0			

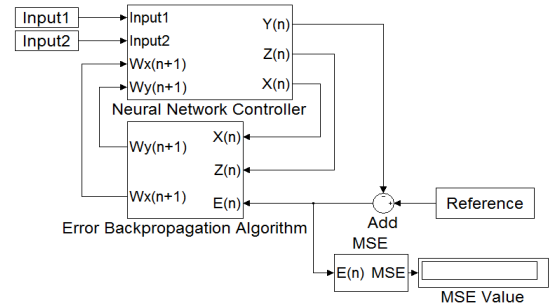


그림 6. NNC 학습 알고리즘의 Matlab/Simulink 블럭도
Fig. 6. Block diagram of Matlab/Simulink for NNC training algorithm

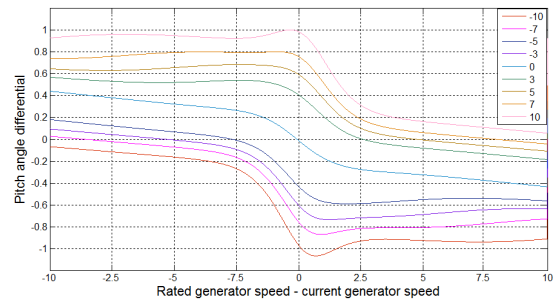


그림 7. 학습에 포함되지 않은 영역에서
신경망 제어기의 출력

Fig. 7. Outputs of NNC for untrained region

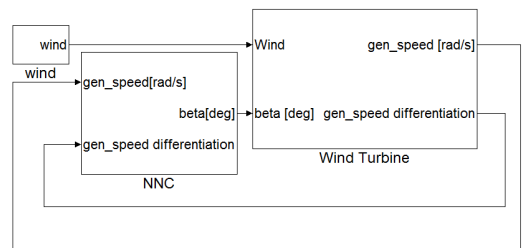


그림 8. 신경망 제어기를 적용한 풍력 발전시스템의
Matlab/Simulink 블럭도

Fig. 8. Block Diagram of Matlab/Simulink for wind turbine system with NNC.

그림 8은 Matlab/Simulink를 이용하여 그림 6에서 학습된 신경망 제어기를 피치제어 시스템에 적용시킨 그림이다. 그림 8의 풍력 발전기 모델에서 바람이 들어가면 풍력발전기 모델에서 전력과 발전기회전속도, 현재 피치각등이 계산된다. 또한 신경망 피치제어기의 입력인 발전기의 정격 회전속도와 현재 회전속도의 차이, 그리고 발전기의 현재 회전속도의 변화율이 계산된다. 그러면 신경망 제어기는 다음 피치각의 변화량을 결정한다.

그림 9와 그림 10은 풍속이 계단함수인 경우와 불규칙풍속에 대한 시뮬레이션이다. 그림 9와 그림 10의 점선은 입력으로 발전기의 정격 회전속도와 현재 회전속도의 차이 하나만 사용한 것을 보여주며 실선은 추가적으로 발전기 회전속도의 변화율을 입력으로 사용한 것을 보여준다. 입력으로 발전기의 정격 회전속도와 현재 회전속도의 차이 하나만 사용한 경우에는 그림 9와 그림 10 모두에서 피치각이 제어되지 않음을 볼 수 있다. 그 이유를 살펴보면 풍력발전시스템은 피치각의 변화량이 즉시 발전기 회전속도에 영향을 주는 것이 아니기 때문이다. 피치각이 필요이상으로 증가하게 되어 발전기 회전속도는 갑자기 줄어들고 결국 제대로 된 제어를 할 수가 없게 된다.

풍속이 계단형식으로 증가하는 그림 9에서 보면 저 풍속 영역에서 피치각이 좀 많이 진동하는 것을 볼 수 있다. 하지만 처음 부분을 제외하면 제어가 아주 잘 되는 것을 볼 수 있다. 그리고 풍속이 불규칙적으로 변하는 그림 10에서 풍속이 갑자기 떨어지는 1800초 때의 피치각이 갑자기 0으로 떨어지는 것 또한 볼 수 있다. 이 두 가지 약점을 제외하고는 발전기 회전속도는 발전기의 정격 회전속도인 122.9rad/s로 잘 유지되는 것을 볼 수 있다.

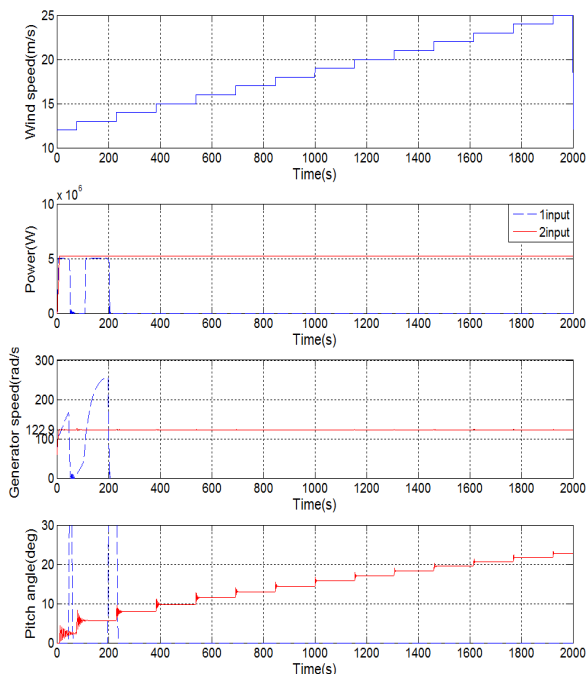


그림 9. 풍속이 계단함수인 경우의 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Simulation result at step wind speed

5. 결 론

본 논문에서는 정격풍속이상에서 발전기의 회전속도를 정격으로 유지하기 위하여 신경망 피치제어기를 설계하였다. 발전기의 정격 회전속도와 현재 회전속도의 차이만을 고려한 신경망 피치제어 알고리즘에서 시스템이 진동하거나 다운되는 문제가 발생하였다. 그래서 이러한 문제점들을 개선하기 위하여 본 논문에서는 추가적으로 발전기 회전속도의 변화율을 고려하여 피치제어 알고리즘을 설계하였다.

본 논문에서 사용된 풍력발전기 모델은 NREL에서 제공하는 5MW 모델이며, 시뮬레이션은 Matlab/Simulink를 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해서 알 수 있듯이 계단형식의 저풍속과 불규칙적인 풍속의 급격한 변화에서 진동하는 문제가 발견되었다. 그러나 이 점을 제외하고는 발전기 회전속도는 발전기의 정격 회전속도인 122.9[rad/s]로 잘 유지 되었다. 제안된 신경망 피치제어기는 정격풍속이상에서 전체적으로 양호하게 작동되는 것을 확인 할 수 있었다. 계단형식의 저풍속과 불규칙적인 풍속의 급격한 변화에서 진동하는 부분들은 향후 연구가 더 필요한 문제라 생각된다.

References

- [1] C-W Lim. "A Study on Properties of Pitch Control for Wind Turbine." *Journal of Korean Society of Mechanical Engineers* 107-113, 2010.
- [2] Fernando D.Bianchi,Hernan De Battista,Ricardo J.Mantz, *Wind Turbine Control Systems*, Springer, 2007.
- [3] Ackermann, Thomas, ed. *Wind power in power systems*. Vol. 140. Chichester, UK: John Wiley, 2005.
- [4] K.-N. Ko and J.-C. Hur, *An Introduction to Wind Engineering*, Munundang, 2007.
- [5] E. Hau, *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application and Economics*, Springer, 2nd Edition, 2005.
- [6] A. S. Yilmaz and Z. Özer, "Pitch angle control in wind turbines above the rated wind speed by multi-layer perceptron and radial basis function neural networks," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp. 9767-9775, 2009.
- [7] J. M. Zurada, *Introduction to Artificial Neural Systems*, PWS Publishing Company, 1992.
- [8] 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

저 자 소 개



홍민호(Min-Ho Hong)
2011년 2월 : 제주대학교 전자공학과 학사
2011년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 풍력 특성화
협동과정 석사

관심분야 : 피치 제어, 풍력 발전 제어
Phone : +82-64-754-3666
E-mail : hmh4519@nate.com



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

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



허종철(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 전기 공학과 공학박사
1992년 ~ 현재 : 제주대학교
전자공학과 교수

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