풍력발전시스템의 적응백스테핑 속도제어기 설계

# Design of an Adaptive Backstepping Speed Controller for the Wind Power Generation System

# 玄根浩<sup>†</sup> (Keun-Ho Hyun)

**Abstract** – In this paper a robust controller using adaptive backstepping technique is proposed to control the speed of wind power generation system. To make wind power generation truly cost effective and reliable, advanced and robust control algorithms are derived to on-line adjust the excitation winding voltage of the generator based on both mechanical and electrical dynamics. This method is shown to be able to achieve smooth and asymptotic rotor speed tracking, as justified by analysis and computer simulation.

Key Words: Wind Generation System, Strict-Feedback, Adaptive Backstepping, Speed Control, Excitation Winding

# 1. 서 론

화석연료의 대량 소모 및 이에 따른 환경문제와 원자력발 전에 의한 위험요소의 증가 등으로 최근에는 태양열, 풍력, 조력 등 대체에너지에 관한 연구와 개발이 많은 관심을 받 고 있다. 특히, 풍력발전시스템은 친환경적이면서도 경제적 경쟁력을 갖춘 전기발생장치로써 각광받고 있다. 그러나, 풍 력에너지변환시스템은 바람의 속도 및 방향 등 불분명한 기 상조건과 교류시스템 부하의 계속적인 변동 등으로 인하여 비선형적인 특성이 강하다. 속도의 가변, 풍력터빈의 피치 고정 등을 제어하는 문제는 매우 까다로우며 이것은 정격 풍속 내에서는 안정적이지만 정격 풍속 이상에서는 터빈의 실속(失速 : stall)으로 출력이 제한되어 제어가 불안정하게 되기 때문이다. 따라서, 제어시스템은 전체 작동영역에서의 안정화를 고려해야 하며 풍력으로 얻은 전력을 적절하게 조 정(regulation)해야 하는 과제가 주어진다. 즉, 정격풍속 이 하에서는 출력을 최대화하고 정격풍속 이상에서는 규격값을 유지시켜야 한다.

주어진 비선형시스템을 선형화하여 제어기를 설계하는 종 래의 선형화 제어기법으로는 비선형적인 특성이 반영되지 않 아 더 이상의 성능개선 결과를 얻기 힘들다. 주어진 비선형시 스템을 그대로 사용하여 적응제어이론을 적용한 경우도 있으 며 기계, 전기적인 동역학을 기본으로 발전기의 계자권선전압 을 온라인 조정하여 비선형 적응제어기를 유도하였다.[1][2]

\* 교신저자, 正會員:新星大學 디지털電氣系列 助教授・工博 E-mail: hyunkh@shinsung.ac.kr 接受日字: 2005年 10月 17日 最終完了: 2005年 11月 07日 지난 몇 년간 적응백스테핑 기법(adaptive backstepping method)에 관한 연구가 활발히 지속되어 왔으며 이것은 비 선형 피드백 제어를 체계적이고 순차적으로 설계하는 방식 이다.[3][4] 대부분의 경우에 있어서 피드백선형화기법 (feedback linearization method)은 한정된 작동 영역 내에서 외란이 없는 상태에서만 유용하지만 적응백스테핑 기법에 의한 설계는 이러한 제약을 완화시켜 줄 수 있다. 또한, 피 드백선형화기법은 제어대상의 정확한 모델링을 요구하며 필 요한 경우 유용한 비선형 항목을 삭제해야 하는 반면 적응 백스테핑 기법은 불확실성 및 비선형성을 모두 고려할 수 있는 설계방식을 제공하므로 불필요한 비선형 삭제과정이 필요 없다.

본 논문에서는 적응백스테핑 기법을 활용한 풍력발전시스 템의 속도제어 방법을 제시하고자 하며 비선형적인 풍력발 전기의 속도제어를 발전기 계자권선 전압으로 조정하고자 기계, 전기적인 동특성과 비선형 적응백스테핑 제어알고리즘 을 유도할 예정이다. 2장에서는 strict-feedback 형태의 제어 대상에 적용 가능한 적응백스테핑 제어기의 구조를 제시하 고, 컴퓨터 모의실험을 수행하여 타당성을 입증하였다.

#### 2. 본 론

#### 2.1 적응백스테핑 제어알고리즘

백스테핑 설계의 요점은 전체 시스템을 구성하는 각각의 부시스템(subsystem)에 대하여 상태변수로 이루어지는 적절 한 함수를 가상 제어입력(pseudo-control inputs)으로써 반 복적으로 선택하는데 있다. 각각의 백스테핑 단계에서 가상 제어입력이 설계되고 이것들은 앞 단계에서 정의된 가상 제 어입력의 함수로 표현된다. 백스테핑 단계가 종료되면 본래 의 설계목적 달성을 위한 실제 제어입력이 최종적인



Lyapunov함수에 의하여 결정되며 이것은 각 설계단계에서 설정된 Lyapunov함수들을 모두 합한 형태이다. 이제 다음과 같은 strict-feedback 형태의 비선형시스템을 고려하자.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{i} &= \mathbf{g}(\overline{x}_{i}, t)\mathbf{x}_{i+1} + \theta^{T} F_{i}(\overline{x}_{i}, t) + f_{i}(\overline{x}_{i}, t) \\ \mathbf{x}_{n} &= \mathbf{g}_{n}(\overline{x}_{n}, t)\mathbf{u} + \theta^{T} F_{n}(\overline{x}_{n}, t) + f_{n}(\overline{x}_{n}, t) \\ \mathbf{y} &= \mathbf{x}_{1} \end{aligned}$$
(1)

여기서,  $x_i = [x_1, x_2, \cdot \cdot \cdot, x_i]^T \in R^i$ ,  $u, y \in R^{l}$ 은 각각 시스템의 상태변수와 입력, 출력이고  $\theta \in R^{p}$ 는 미지(未知) 의 상수파라미터이며  $g_i(\cdot) \neq 0, F_i(\cdot)$  및  $f_i(\cdot)$ 는 기지 (旣知)의 smooth 비선형함수,  $g_n(\cdot) \neq 0, F_n(\cdot), f_n(\cdot)$ 는 기지의 continuous 비선형함수이다. 이제 다음과 같은 기 지, 유계(bounded)의 smooth 기준모델을 고려하자.

$$\dot{x}_{ri} = f_{ri}(x_{r}, t), \quad 1 \le i \le m, \quad n \le m$$

$$y_{r} = x_{ri} \qquad (2)$$

여기서,  $x_r = [x_{n}, x_{n}, \dots, x]^T \in \mathbb{R}^m$ 과  $y_r \in \mathbb{R}^l$ 은 각 각 시스템의 상태변수와 출력이며  $f_n(\cdot)$ ,  $i=1,2,\dots,m$ 은 기지의 smooth 비선형함수이다. 제어 목적은 제어대상 시스 템인 식(1)의 출력  $y=x_1$  이 기준모델 시스템인 식(2)의 출력  $y_r=x_n$ 을 점근적(asymptotically)으로 추종(tracking)하고, 즉  $\lim_{t\to\infty} |y-y_r|=0$  이고 전체 시스템의 안정성을 보장해주는 적응 상태피드백 제어기를 설계하는 것이다.

백스테핑 설계절차는 n 단계로 구성된다. i 단계에서 적 절한 Lyapunov함수  $V_i$ 를 활용하여 가상 제어입력  $\alpha_i$ (또는 안정화함수)가 설정된다. 각 단계에서 오차변수  $z_i$ 와 안정화 함수는 다음과 같이 설정한다.

$$z_{1} = x_{1} - x_{n}$$

$$z_{i+1} = x_{i+1} - x_{n(i+1)} - \alpha_{i}, \quad 1 \le i \le n - 1$$
(3)

$$\alpha_{1} = \frac{1}{g_{1}} (-c_{1}z_{1} - \widehat{\theta}^{T}F_{1\theta} - f_{1s})$$

$$\alpha_{i} = \frac{1}{g_{i}} (-c_{i}z_{i} - g_{i-1}z_{i-1} - \widehat{\theta}^{T}F_{i\theta} - f_{is} + \sum_{k=1}^{i-2} z_{k+1} \frac{\partial \alpha_{k}}{\partial \widehat{\theta}} IF_{i\theta})$$

$$(4)$$

여기서, 각 축차(regressor)함수들은 다음과 같다.

$$F_{1s} = F_1, \quad F_{is} = F_i - \sum_{k=1}^{i-1} \frac{\partial \alpha_{i-1}}{\partial x_k} F_k, \quad f_{1s} = f_1 - f_{i1} + g_1 x_{i2}$$

$$f_{is} = f_i - f_n + g_i x_{r(i+1)} - \sum_{k=1}^{i-1} \frac{\partial \alpha_{i-1}}{\partial x_k} (g_k x_{k+1} + f_k) - \frac{\partial \alpha_{i-1}}{\partial \theta} \tau_i - \sum_{k=1}^m \frac{\partial \alpha_{i-1}}{\partial x_{rk}} f_{rk} - \frac{\partial \alpha_{i-1}}{\partial t}$$
(5)

미지파라미터를 추정하는 적응칙(adaptation law)은 다음과 같다.

$$\widehat{\boldsymbol{\theta}} = \sum_{k=1}^{n} \Gamma \boldsymbol{F}_{ik} \boldsymbol{z}_{i}$$

$$= diag[\boldsymbol{\gamma}_{1} \boldsymbol{\gamma}_{2} \boldsymbol{\cdot} \boldsymbol{\cdot} \boldsymbol{\cdot} \boldsymbol{\gamma}_{n}] = \boldsymbol{\Gamma}^{T} > 0$$
(6)

최종 *n* 단계에서의 안정화함수 *α<sub>n</sub>*은 다음과 같은 실제 제 어입력이 된다.

$$\alpha_{n} = u = \frac{1}{g_{n}} \left( -c_{n} z_{n} - g_{n-1} z_{n-1} - \widehat{\theta}^{T} F_{n} - f_{n} + \sum_{k=1}^{n-2} z_{k+1} \frac{\partial \alpha_{k}}{\partial \widehat{\theta}} I F_{n} \right)$$
(7)

각 단계별 Lyapunov함수는 다음과 같이 설정한다.

Г

$$V_{1} = \frac{1}{2}z_{1}^{2} + \frac{1}{2}(\widehat{\theta} - \partial\Gamma^{-1}(\widehat{\theta} - \partial),$$
$$V_{n} = V_{n-1} + \frac{1}{2}z_{n}^{2}$$
(8)

이에 대한 도함수는 식(6)의 적응칙과 식(7)의 제어입력을 적용할 경우 다음과 같다.

$$V_n = -\sum_{k=1}^n c_k z_k^2 \le 0$$
 (9)

또한, 각 단계별 오차변수는 다음과 같은 형태의 동특성 방 정식을 갖는다.

$$\dot{z}_{1} = -c_{1}z_{1} + g_{1}z_{2} + (\theta - \hat{\theta})^{T}F_{1}$$

$$\dot{z}_{i} = -g_{i-1}z_{i-1} - c_{i}z_{i} + g_{i}z_{i+1} + (\theta - \hat{\theta})^{T}F_{is}$$

$$\dot{z}_{n} = -g_{n-1}z_{n-1} - c_{n}z_{n} + (\theta - \hat{\theta})^{T}F_{ns}$$
(10)

식(1)의 제어대상 시스템과 식(2)의 기준모델 시스템에 대 하여 식(6)의 적응척과 식(7)의 제어입력을 적용하면 LaSalle-Yoshizawa 정리[5][6]에 의하여 제어대상 시스템의 상태  $x=[x_1, x_2, \dots, x_n]$ 와 파라미터 추정값  $\hat{\theta}$  제어 입력  $u^{=}$  비롯한 전체 시스템의 모든 신호가 유계이고, 오 차변수는 모두 점근적으로 0으로 수렴( $\lim_{t\to\infty} z(t)=0$ )하게 되 며,  $z_1=x_1-x_n=y-y_r=0$  이 됨으로 제어 목적을 달성 할 수 있으며 전체 폐루프 제어시스템의 구성은 그림 1과 같다.



그림 1 전체 폐루프 제어시스템 구성 Fig. 1 Overall Closed Loop Control System

### 2.2 풍력발전시스템의 속도제어기 설계

풍력발전시스템은 날개의 회전축의 방향에 따라 회전축이 지면에 대해 수직으로 설치되어 있는 수직축 풍차와 회전축 이 지면에 대해 수평으로 설치되어 있는 수평축 풍차로 구 분된다. 수직축 풍차는 바람의 방향에 관계가 없어 사막이나 평원에 많이 설치하여 이용할 수 있지만 소재가 비싸고 수 평축 풍차에 비해 효율이 떨어지는 단점이 있다. 수평축 풍 차는 간단한 구조로 이루어져 있어 설치하기 편리하나 바람 의 방향에 영향을 많이 받는다. 본 논문에서는 일반적으로 많이 사용되는 수평축 풍차를 다룰 예정이며 그 전형적인 구조는 그림 2와 같이 크게 터빈날개, 기어박스 및 발전기의 세 부분으로 구성된다.



그림 2 풍력발전시스템의 일반적인 구조

Fig. 2 General Structure of an Wind Generation System

그림 2에서 입력되는 바람의 토크  $T_m$ 에 의하여 풍력터빈 의 회전날개가 각속도  $\omega$ 로 회전된다. 기어박스의 변속기 출 력 토크  $T_p$ 는 발전기로 유입되어 발전기 각속도  $\omega_e$ 에서 축 (shaft) 토크  $T_e$ 를 발생시킨다. 기어박스의 사용에 따라 회 전날개와 발전기의 각속도는 일반적으로 상이하다. 풍력발전 시스템으로부터 발생되는 전력은 가용 풍력, 기계의 전력곡 선 및 바람방향의 변화에 대한 기계의 대응 능력 등 세 가 지 주요 요소의 함수이며 이론적으로 풍력발전시스템에서 발생하는 전력은 다음과 같이 결정된다.

$$P_{m}(\omega) = k_{w}\omega^{3} \quad \text{with} \quad k_{w} = \frac{1}{2} C_{\rho} \sigma \pi \frac{R^{5}}{\lambda^{3}}$$
(11)

여기서,  $k_w$ 는 발전계수,  $C_p$ 는 풍력터빈의 전력계수,  $\rho$ 는 공 기밀도,  $R^{\text{은}}$  회전날개의 반지름,  $\lambda$ 는 팁속도비이다. 풍력발 전시스템의 동특성(dynamics)은 다음과 같은 수식으로 표현 된다.

$$T_{m} - T = J_{m} \dot{\omega} + B_{m} \omega + K_{m} \int_{0}^{s} \omega d\tau \qquad (12)$$
$$T_{p} - T_{e} = J_{e} \dot{\omega}_{e} + B_{e} \omega_{e} + K_{e} \int_{0}^{s} \omega_{e} d\tau$$
$$T_{s} \omega_{e} = T \omega$$

여기서,  $B_m, K_m, B_e, K_e$ 는 마찰 및 비틀림 상수이고  $T_m, T_e, T, T_p$ 는 각각 터빈끝, 발전기끝, 기어박스 전후 부 분의 축 토크이며  $J_m, J_e$ 는 터빈과 발전기의 관성모멘트이 다. 기어비  $G = \frac{\omega_e}{\omega}$ 의 정의에 따르면 식(11) 및 식(12)를 다 음과 같이 결합하여 표현할 수 있다.

$$\dot{J}\omega + B\omega + K \int_0^\tau \omega d\tau = T_m - GT_e$$
(13)

여기서,  $J=J_m+G^2J_e$ ,  $B=B_m+G^2B_e$ ,  $K=K_m+G^2K_e$  이 고  $T_e$ 는 발전기에서 발생하는 토크로써 다음과 같이 발전 기의 계자전류  $I_e$ 에 비례한다.

$$T_e = K_e I_f \tag{14}$$

여기서,  $K_e$ 는 기계 관련 상수이다. 본 논문에서 다루는 풍 력발전시스템의 계자시스템은 그림 3과 같이 표현되며 동특 성은 다음과 같다.

$$LI_f + RI_f = u_f \tag{15}$$

여기서, L은 계자회로의 인덕턴스, R은 회전자의 전기저항, u는 계자전압을 나타낸다.

풍력터빈의 회전속도  $\omega^{\perp}$  그림 3에서와 같이 계자권선전 압을 조정함으로써 제어된다. 본 논문에서는 식(15)의 계자 전압  $u_{r}^{=}$  통하여 식(14)의 발전 토크  $T_{r}^{=}$  제어함으로써 회전속도을 적절하게 조정할 수 있는 제어기를 설계하고자 한다. 제어 문제로써 다시 기술한다면 풍력터빈의 회전속도 ( ๗)가 원하는 기준속도( ๗,)을 접근적(asymptotically)으로 추 종(tracking)할 수 있도록 즉, İm | ω−ω<sub>r</sub>| =0 이 되도록 제어입력(계자전압 μ)을 설계하는 것이다. 단, 기준각 및 그 미분값들( ω, ω, ω, ω)은 유계(bounded)이다. 제어기 설계 를 위하여 식(13) 및 식(15)를 재정리하면 다음과 같다.

$$\hat{\omega} = a_1 \omega^2 + a_2 \omega + a_3 \int_0^\tau \omega d\tau + b_1 I_f 
I_f = b_2 I_f + b_3 u_f$$
(16)



그림 3 계자제어시스템의 구조 Fig. 3 Structure of the Excitation Control System

여기서,  $a_1 = \frac{k_w}{J}$ ,  $a_2 = -\frac{B}{J}$ ,  $a_3 = -\frac{K}{J}$ 는 미지 파라미터 이고,  $b_1 = -\frac{GK_e}{J}$ ,  $b_2 = -\frac{R}{L}$ ,  $b_3 = \frac{1}{L}$ 은 기지 파라미터 이다. 이제 식(1)과 같은 strict-feedback 형태로 식(16)을 고 려하여  $x_1 = \omega$   $x_2 = I_f$   $u = u_f$  로 설정하면 다음과 같다.

식(1)의 strict-feedback 비선형시스템 구조에서 식(17)의 함 수 및 파라미터는 다음과 같다.

$$g_{1}(x_{1}, t) = b_{1}, \quad g_{2}(x_{1}, x_{2}, t) = b_{3},$$

$$F_{1}(x_{1}, t) = [x_{1}^{2} x_{1} \int_{0}^{t} x_{1} dt]^{T}$$

$$F_{2}(x_{1}, x_{2}, t) = f_{1}(x_{1}, t) = 0,$$

$$f_{2}(x_{1}, x_{2}, t) = b_{2}x_{2}, \quad \theta = [a_{1} a_{2} a_{3}]^{T}$$
(18)

또한, 오차변수, 안정화함수 및 회귀함수는 다음과 같다.

$$z_{1} = x_{1} - x_{n}, \quad z_{2} = x_{2} - x_{n} - \alpha_{1},$$

$$\alpha_{1} = \frac{1}{g_{1}} (-c_{1}z_{1} - \widehat{\theta}^{T}F_{1s} - f_{1s})$$

$$F_{1s} = F_{1}(x_{1}, \vartheta), \qquad F_{2s} = -\frac{\partial\alpha_{1}}{\partial x_{1}}F_{1}(x_{1}, \vartheta), \qquad (19)$$

$$f_{1s} = -f_{n} + g_{1}x_{n},$$

$$f_{2s} = f_{2} - f_{2r} + g_{1}x_{n} - \frac{\partial\alpha_{1}}{\partial x_{1}}(g_{1}x_{2} + f_{1})$$

$$-\frac{\partial \alpha_1}{\partial \hat{\theta}}(IF_{1s}z_1+IF_{2s}z_2)-\frac{\partial \alpha_1}{\partial x_n}f_n-\frac{\partial \alpha_1}{\partial x_{s2}}f_{s2}-\hat{\alpha}_1$$

이제, 적응백스테핑 제어기를 식(6) 및 식(7)과 같이 적용하 면 다음과 같다.

$$\hat{\theta} = \Pi F_{1s} z_1 + \Pi F_{2s} z_2 \tag{20}$$

$$u = \frac{1}{g_2} (-c_2 z_2 - g_1 z_1 - \widehat{\theta}^T F_{2s} - f_{2s})$$
(21)

# 2.3 컴퓨터 모의실험 및 결과 고찰

본 논문에서 제시된 풍력발전시스템에 대한 적응백스테핑 속도제어기의 타당성을 입증하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 Turbo-C 프로그램으로 수행하였다. 풍력발전시스템은 발전 용량 1.2[kW], 정격 회전속도 200[rpm] 및 회전자 직경 1[m]인 시스템(Delft T-40/500)을 대상으로 하였으며 이에 따른 시스템파라미터는 제작사에서 제시한대로 표 1과 같이 설정하였다. 또한, 구형파 자체를 기준입력으로 하면 식(2) 의 smooth조건을 만족시킬 수 없으므로 2차의 기준모델(ω)

은 200[rpm] 크기의 구형파가 전달함수 <u>100</u> 통과한 신호로 하였다. 따라서, 식(2)에서  $f_n = x_{n2}, f_{n2} = -100 x_n - 20 x_{n2} + 100 \omega_r c$  하였다. 또한, 제어기의 설계파라미터는  $c_1 = c_2 = 1$ ,  $\gamma_1 = 0.1$ ,  $\gamma_2 = 0.01$ 로 설정하였다.

표	1	모의실험에서	설정한	시스템피	파라미터
Table	1	Setting Value	s of the	System	Parameter

for Computer Simulation

파라미터명(기호)	값[단위]
발전계수( <i>k</i> _w)	0.0044
마찰상수( <i>B</i> )	0.006[Nm/rpm]
비틀립상수( <i>K</i> )	0.002[Nm/rad]
관성모멘트( <b>j</b> )	$0.5[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$
기어비( <i>G</i> )	5
기계상수( <i>K</i> e)	0.3[Nm/A <sup>2</sup> ]
계자저항( <i>R</i> )	1.6[
계자인덕턴스(I)	0.01[H]

정한 상태를 유지한다. 그림 4(d)~(f)는 파라미터의 추정 (estimation)상황이며 점차 일정한 값으로 수렴하고 있다.



(d) 파라미터 추정 (*a*<sub>l</sub>) (d) parameter estimation (*a*<sub>l</sub>)







(f) 파라미터 추정 (<sub>*a*<sub>3</sub></sub>) (f) parameter estimation (<sub>*a*<sub>3</sub></sub>)

그림 4 컴퓨터 모의실험 결과

Fig. 4 Results for Computer Simulations

그림 4는 모의실험 결과로써 그림 4(a)는 기준모델과 출 력속도를 나타내며 출력속도가 기준모델을 추종하고 있다. 그림 4(b)는 기준모델과 출력속도와의 추종오차이며 ±2[rpm] 이내에서 그 값이 점차 줄어들고 있다. 그림 4(c)는 제어입력( $u=u_f$ 을 나타내며 일정시간 이후에는 그 값이 일



(a) 기준모델( $\omega$ )과 출력속도( $\omega$ ) [rpm] (a) reference( $\omega$ ) and real( $\omega$ ) speed [rpm]







<sup>(</sup>c) 제어입력 (*u=u<sub>f</sub>*) [V] (c) control input (*u=u<sub>f</sub>*) [V]

#### 3.결론

본 논문에서는 적응백스테핑 기법을 활용한 풍력발전시스 템의 속도제어 방법을 제시하였으며 비선형적인 풍력발전시 스템의 속도제어를 발전기 계자권선 전압으로 조정하였다. 이를 위하여 strict-feedback 형태의 제어대상에 적용 가능 한 적응백스테핑 제어기의 구조를 제시하였고, 풍력발전시스 템의 기계, 전기적인 동특성을 활용하여 비선형 적응백스테 핑 제어알고리즘을 유도하였다. 또한, 본 논문에서 제시된 알고리즘의 타당성을 확인하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였으며 차후 모형시스템 혹은 실제시스템을 대상으로 실험을 수행할 예정이다.

# 참 고 문 헌

- [1] X.F.Zhang, D.P.Xu and Y.B.Liu, "Adaptive Optimal Fuzzy Control for Variable Speed Fixed Pitch Wind Turbines", Proceedings of the 5th World Congress on Intelligent Control and Automation, June 15~19, 2004, Hangzhou, P.R.China
- [2] Y.D.Song, B.Dhinakaran and X.Bao, "Control of Wind Turbines using Nonlinear Adaptive Field Excitation Algorithms", Proceedings of the American Control Conference, June, 2000, Chicago, Illinois
- [3] M.Krstic, I.Kanellakopoulos and P.Kokotovic,
   "Nonlinear and Adaptive Control Design", John Wiley & Sons, 1995
- [4] R.Sepulchre, M.Jankovic and P.Kokotovic, "Constructive Nonlinear Control", Springer, 1997
- [5] J.P.LaSalle, "Stability Theory for Ordinary Differential Equations", Journal of Differential Equations, vol.4, pp.57<sup>65</sup>, 1968
- [6] T.Yoshizawa, "Stability Theory by Lyapunov Second Method", The Mathmatical Society of Japan, Tokyo, 1966
- [7] C.Wang and S.S.Ge, "Synchronization of Uncertain Chaotic Systems via Adaptive Backstepping", Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control, pp.4827~4832, Sydney, Australia, December, 2000
- [8] S.S.Ge, T.H.Lee and C.Wang, "Adaptive Backstepping Control of a Class of Chaotic Systems", Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, pp.714~719, Phoenix, Arizona, USA, December, 1999
- [9] Y.Tan, J.Chang and H.Tan, "Adaptive Backstepping Control and Friction Compensation for AC Servowith Inertia and Load Uncertainties", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.50, No.5, pp.944~952, October, 2003
- [10] K.H.Hyun and I.H.Son, "Design of an Adaptive H∞ Controller for Linear Induction Motor", International Conference on Control, Automation and Systems) Proceeding, pp.598~603, KINTEX, Korea, 2005

- [11] 현근호, 가출현, "풍력터빈시스템의 위치추종을 위한 적 응백스테핑 제어기 설계", 제20회 한국자동제어학술 회의 논문집, pp.206~209, KAIST, 2005
- [12] 현근호, 손인환, "풍력터빈시스템의 적응백스테핑 속도 제어기 설계", 대한전기학회 전문대학교육위원회 학술대 회 논문집, pp.128~131, 용인송담대학, 2005





#### 현 근 호 (玄 根 浩)

1965년 6월 13일생. 1987년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 신성대학 디 지털전기계열 조교수.

Tel : 041-350-1232 Fax : 041-350-1235 E-mail : hyunkh@shinsung.ac.kr