Nonlinear Observer Backstepping 출력 궤환 제어에 의한 전력계통안정화장치

*이상성 **이선영 **박종근 **문승일 **윤용태
*기초전력연구원 **서울대 전기공학부

Power System Stabilizer by Nonlinear Observer Backstepping Output Feedback

*Sang-Seung Lee **Shan-Ying Li **Jong-Keun Park **Sung-Il Moon **Yong-Tae Yoon
*KESRI **Seoul National University

Abstract - 이 논문에서는 Nonlinear Observer Backstepping 출력 궤환 제어에 의한 비선형 전력계통안정화장치(NPSS)를 개발하였다. 이 기법은 출력단자의 측정만으로 매우 강한 전력계통의 고유한 특징인 강한 비선형을 처리할 수 있는 바람직한 제어기를 구성할 수가 있다. 첫 번째로 비선형 관측기를 통하여 측정할 수 없는 부분의 상태들을 대신할 수 있는 출력 궤환 관측기를 구성하는 것이다. 두 번째로 이렇게 구성된 관측기에 매번 상태를 반영할 수 있는 backstepping 제어기를 적용하는 것이다. 시뮬레이션을 통한 제안된 제어기의 효과는 비 제어시, 기존의 Lead-Lag PSS, 그리고 제안된 Nonlinear Observer backstepping 출력 궤환 제어에 기준한 비선형 PSS를 비교 검토하였다.

1. 서 론

매우 강한 비선형을 가지고 있는 전력계통은 일반적으로 운전점을 고정시키고 설계한 선형화제어기법은 그 제어범위가 매우 제한적이다. 이러한 이유로 다양한 운전조건과 비선형성을 처리할 수 있는 제어기가 필요하다. 그러나, 매우 많은 제어기가 그 동안 시도되었고 제안되어오고 있긴 하지만 바람직한 제어기를 개발한다는 것은 매우 어려운 난제라고 할 수 있다[1-3].

그 중에서, Backstepping 기법은 오차변수 z를 단계마다 매번 새롭게 갱신하고 가상의 입력으로 안정화함수 α를 매 단계마다 바꾸어 간다. 구하는 방법은 출력단의 상태변수로부터 매번 각 상태를 미분하여 제어 입력u가 나타날 때까지 계속한다[4,5].

이 기법은 출력단자의 측정만으로 매우 강한 전력계통의 고유한 특징인 강한 비선형을 처리할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이 제어기의 구성은 먼저 비선형 관측기를 통하여 측정할 수 없는 부분의 상태들을 대신할 수 있는 출력 궤환 관측기를 구성하고 그 다음 이렇게 구성된 관측기에 매번 상태를 반영할 수 있는 backstepping 제어기를 적용하는 것이다.

본 논문에서 제안된 제어기는 전력계통의 매우 강한 비선형을 잘 제어할 수 있는 제어기를 설계하였다. 대상모델은 1기 4차 비선형 전력계통의 모델이다. 제어기의 효과분석은 MATLAB을 이용하여 시뮬레이션하였다. 제안된 제어기는 비 제어시, 기존의 Lead-Lag PSS와 비교하였다.

2. 전력계통 모델

이 절에서는 그림 1의 전력계통에 연결된 1기 무한모선(single machine infinite bus) 모델링과 계통 사고 시 등가회로를 통하여 수식을 전개하고자 한다[6].

$$\dot{\omega}(t) = \frac{1}{M} T_m - \frac{1}{M} T_e(t) \tag{1}$$

$$\dot{\delta}(t) = \omega_o(\omega(t) - 1) \tag{2}$$

$$\dot{e}'_q(t) = -\frac{1}{T_{do}} e'_q(t) - \frac{(x_d - x'_d)}{T_{do}} i_d(t) + \frac{1}{T_{do}} e_{fd}(t) \tag{3}$$

$$\dot{e}_{fd}(t) = -\frac{1}{T_A} e_{fd}(t) + \frac{K_A}{T_A}(V_{ref} - v_T(t) + u_E(t)) \tag{4}$$

$$e_{fd\,\min} \le e_{fd} \le e_{fd\,\max} \text{과 } u_{E\,\min} \le u_E \le u_{E\,\max} \tag{5}$$

$$e_{fd\,\max} = 6.0,\ e_{fd\,\min} = -6.0 \text{과 } u_{E\,\max} = +0.2,\ u_{E\,\min} = -0.2$$

$$i_d(t) = con_1 e'_q(t) - con_2(R_2 \sin\delta(t) + X_1 \cos\delta(t)) \tag{6}$$

$$i_q(t) = con_3 e'_q(t) - con_4(-X_2 \sin\delta(t) + R_1 \cos\delta(t)) \tag{7}$$

$$v_d(t) = x_q i_q(t) \tag{8}$$

$$v_q(t) = e'_q(t) - x'_d i_d(t) \tag{9}$$

$$v_T^2(t) = v_d^2(t) + v_q^2(t) \tag{10}$$

$$T_e(t) \cong P_e(t) = i_d(t) v_d(t) + i_q(t) v_q(t)$$
$$= e'_q(t) i_q(t) + (x_q - x'_d) i_d(t) i_q(t) \tag{11}$$

여기서, 위의 계수들은 다음과 같다.

$$con_1 := \frac{(C_1 X_1 - C_2 R_2)}{(R_1 R_2 + X_1 X_2)},\quad con_2 := \frac{V_\infty}{(R_1 R_2 + X_1 X_2)}$$

$$con_3 := \frac{(C_1 R_1 + C_2 X_2)}{(R_1 R_2 + X_1 X_2)},\quad con_4 := \frac{V_\infty}{(R_1 R_2 + X_1 X_2)}$$

$$Z := R + jX,\quad Y := G + jB,\quad 1 + ZY := C_1 + jC_2$$

$$C_1 := RG - XB,\quad C_2 := XG + RB,\quad R_1 := R - C_2 x'_d$$

$$R_2 := R - C_2 x_q,\quad X_1 := X + C_1 x_q,\quad X_2 := X + C_1 x'_d$$

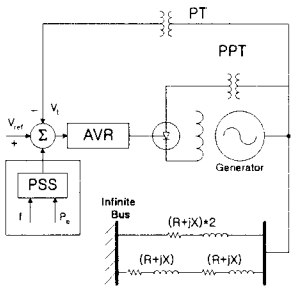

그림 1. 1기 무한모선에 연결된 발전기와 PSS

일반적인 상태변수는 다음과 같다.

$$\dot{x}_1 = a_1 - a_2 T_e \tag{12}$$

$$\dot{x}_2 = a_3 x_1 - a_3 \tag{13}$$

$$\dot{x}_3 = a_4 a_5 i_d - a_4 x_3 - a_4 x_4 \tag{14}$$

$$\dot{x}_4 = a_6 x_4 + a_7 V_{ref} - a_7 v_T + a_7 u_E \tag{15}$$

$$i_d = a_8 x_3 + a_9 \sin x_2 + a_{10} \cos x_2 \tag{16}$$

$$i_q = a_{11} x_3 + a_{12} \sin x_2 + a_{13} \cos x_2 \tag{17}$$

$$v_d = a_{14} i_q$$

$$= a_{14}a_{11}x_3 + a_{14}a_{12}\sin x_2 + a_{14}a_{13}\cos x_2 \quad (18)$$

$$v_q = x_3 + a_{15}i_d$$

$$= x_3 + a_{15}a_8x_3 + a_{15}a_9\sin x_2 + a_{15}a_{10}\cos x_2 \quad (19)$$

$$T_e = x_3 i_q + a_{16} i_d i_q$$

$$= x_3(a_{11}x_3 + a_{12}\sin x_2 + a_{13}\cos x_2)$$
$$+ a_{16}(a_8x_3 + a_9\sin x_2 + a_{10}\cos x_2)(a_{11}x_3 + a_{12}\sin x_2 + a_{13}\cos x_2)$$
$$= x_3a_{11}x_3 + x_3a_{12}\sin x_2 + x_3a_{13}\cos x_2 + a_{16}a_8x_3a_{11}x_3$$
$$+ a_{16}a_9\sin x_2 a_{11}x_3 + a_{16}a_{10}\cos x_2 a_{11}x_3 + a_{16}a_8x_3a_{12}\sin x_2$$
$$+ a_{16}a_9\sin x_2 a_{12}\sin x_2 + a_{16}a_{10}\cos x_2 a_{12}\sin x_2 + a_{16}a_8x_3a_{13}\cos x_2$$
$$+ a_{16}a_9\sin x_2 a_{13}\cos x_2 + a_{16}a_{10}\cos x_2 a_{13}\cos x_2 \quad (20)$$

여기서 $a_1 = \frac{1}{M}T_m$, $a_2 = \frac{1}{M}$, $a_3 = \omega_o$, $a_4 = \frac{1}{T_{do}}$, $a_5 = (x_d - x_d')$, $a_6 = -\frac{1}{T_A}$, $a_7 = \frac{K_A}{T_A}$, $a_8 = com_1$, $a_9 = -com_2R_2$, $a_{10} = -com_2X_1$, $a_{11} = com_3$, $a_{12} = -com_4X_2$, $a_{13} = com_4R_1$, $a_{14} = x_q$, $a_{15} = -x_d'$, $a_{16} = x_q - x_d'$

3. Backstepping 제어기

3.1 Backstepping 제어기 설계[3,5]

그림 2에서와 같이 Backstepping 기법은 오차변수 z를 단계마다 새롭게 갱신하고 가상의 입력으로 안정화함수 α를 매 단계마다 바꾸어 가면서 Lyapunov함수의 도함수를 구해나가는 기법이다.

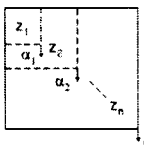

그림 2. Backstepping의 오차변수 z를 구하는 절차.

Step 1 : 첫 번째 오차변수 z_1을 다음과 같이 정의한다.

$$z_1 = x_1 - y_r \quad (21)$$

$$\dot{z}_1 = \dot{x}_1 - \dot{y}_r \quad (22)$$

$$= x_2 - \dot{y}_r \quad (23)$$

$$\alpha_1 = -C_1 z_1 + \dot{y}_r \quad (24)$$

여기서 C_1은 첫 번째 설계 파라미터이다. y_r은 기준입력이다. virtual input을 x_2로 잡는다. α_1은 첫 번째 안정화 함수로 선택한다. x_1, y_r, $\dot{y}_r$에 관한 편미분은 다음 step에서 사용한다.

$$\alpha_{11}: \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_1} = -C_1\frac{\partial z_1}{\partial x_1} = -C_1 \quad (25)$$

$$\alpha_{12}: \frac{\partial \alpha_1}{\partial y_r} = -C_1\frac{\partial z_1}{\partial y_r} = C_1 \quad (26)$$

$$\alpha_{13}: \frac{\partial \alpha_1}{\partial \dot{y}_r} = 1 \quad (27)$$

Step 2 : 두 번째 오차변수 z_2를 다음과 같이 정의한다.

$$z_2 = x_2 - \alpha_1 \quad (28)$$

$$\dot{z}_2 = \dot{x}_2 - \dot{\alpha}_1 \quad (29)$$

$$= a_3x_1 - a_3 - \frac{\partial \alpha_1}{\partial x_1}\dot{x}_1 - \frac{\partial \alpha_1}{\partial y_r}\dot{y}_r - \frac{\partial \alpha_1}{\partial \dot{y}_r}\ddot{y}_r \quad (30)$$

$$= a_3x_1 - a_3 - a_{11}x_2 - a_{12}\dot{y}_r - a_{13}\ddot{y}_r \quad (31)$$

$$\alpha_2 = a_{11}x_2 + a_{12}\dot{y}_r + a_{13}\ddot{y}_r - z_1 - C_2z_2 \quad (32)$$

여기서 C_2는 두 번째 설계 파라미터이다. virtual input을 $\omega_o x_1$로 잡는다. α_2는 두 번째 안정화 함수로 선택한다. x_1, x_2, y_r, $\dot{y}_r$, $\ddot{y}_r$에 관한 편미분은 다음 step에서 사용한다.

$$\alpha_{21}: \frac{\partial \alpha_2}{\partial x_1} = -\frac{\partial z_1}{\partial x_1} - C_2\frac{\partial z_2}{\partial x_1}$$
$$= -1 - C_1C_2 \quad (33)$$

$$\alpha_{22}: \frac{\partial \alpha_2}{\partial x_2} = a_{11} - C_2\frac{\partial z_2}{\partial x_2}$$
$$= a_1 - C_1 - C_2 \quad (34)$$

$$\alpha_{23}: \frac{\partial \alpha_2}{\partial y_r} = -\frac{\partial z_1}{\partial y_r} - C_2\frac{\partial z_2}{\partial y_r}$$
$$= 1 + C_1C_2 \quad (35)$$

$$\alpha_{24}: \frac{\partial \alpha_2}{\partial \dot{y}_r} = a_{12} - C_2\frac{\partial z_2}{\partial \dot{y}_r} = 1 + C_1C_2$$
$$= C_1 + C_2 \quad (36)$$

$$\alpha_{25} = \frac{\partial \alpha_2}{\ddot{y}_r} = a_{13} = 1 \quad (37)$$

Step 3 : 세 번째 오차변수 z_3를 다음과 같이 정의한다.

$$z_3 = a_3x_3 - \alpha_2 \quad (38)$$

$$\dot{z}_3 = a_3\dot{x}_3 - \dot{\alpha}_2 \quad (39)$$

$$= a_3(a_4a_5i_d - a_4x_3 - a_4x_4) - \frac{\partial \alpha_2}{\partial x_1}\dot{x}_1 - \frac{\partial \alpha_2}{\partial x_2}\dot{x}_2$$
$$- \frac{\partial \alpha_2}{\partial y_r}\dot{y}_r - \frac{\partial \alpha_2}{\partial \dot{y}_r}\ddot{y}_2 - \frac{\partial \alpha_2}{\partial \ddot{y}_r}\dddot{y}_r$$
$$= a_3(a_4a_5i_d - a_4x_3 - a_4x_4)$$
$$-(-1 - C_1C_2)(a_1 - a_2T_e)$$
$$-(a_1 - C_1 - C_2)(a_3x_1 - a_3)$$
$$- a_{23}\dot{y}_r - a_{24}\ddot{y}_r - a_{25}\dddot{y}_r$$
$$= a_3a_4a_5i_d - a_3a_4x_3 - a_3a_4x_4$$
$$+ a_1 + a_1C_1C_2 + (-a_2 - C_1C_2a_2)T_e$$
$$- a_1a_3x_1 + C_1a_3x_1 + C_2a_3x_1 + a_1a_3 - C_1a_3 - C_2a_3$$
$$- a_{23}\dot{y}_r - a_{24}\ddot{y}_r - a_{25}\dddot{y}_r \quad (40)$$

$$\alpha_3 = -a_3a_4a_5i_d + a_3a_4x_3$$
$$- a_1 - a_1C_1C_2 + a_2T_e + C_1C_2a_2T_e$$
$$+ a_1a_3x_1 - C_1a_3x_1 - C_2a_3x_1 - a_1a_3 + C_1a_3 + C_2a_3$$
$$+ a_{23}\dot{y}_r + a_{24}\ddot{y}_r + a_{25}\dddot{y}_r - C_3z_3 - z_2$$
$$= -a_3a_4a_5a_8x_3 - a_3a_4a_5a_9\sin x_2 - a_3a_4a_5a_{10}\cos x_2 + a_3a_4x_3$$
$$- a_1 - a_1C_1C_2 + a_2x_3a_{11}x_3 + a_2x_3a_{12}\sin x_2 + a_2x_3a_{13}\cos x_2$$
$$+ a_2a_{16}a_8x_3a_{11}x_3 + a_2a_{16}a_9\sin x_2a_{11}x_3$$
$$+ a_2a_{16}a_{10}\cos x_2a_{11}x_3 + a_2a_{16}a_8x_3a_{12}\sin x_2$$
$$+ a_2a_{16}a_9\sin x_2a_{12}\sin x_2 + a_2a_{16}a_{10}\cos x_2a_{12}\sin x_2$$
$$+ a_2a_{16}a_8x_3a_{13}\cos x_2 + a_2a_{16}a_9\sin x_2a_{13}\cos x_2$$
$$+ a_2a_{16}a_{10}\cos x_2a_{13}\cos x_2 + C_1C_2a_2x_3a_{11}x_3$$
$$+ C_1C_2a_2x_3a_{12}\sin x_2 + C_1C_2a_2x_3a_{13}\cos x_2$$
$$+ C_1C_2a_2a_{16}a_8x_3a_{11}x_3 + C_1C_2a_2a_{16}a_9\sin x_2a_{11}x_3$$
$$+ C_1C_2a_2a_{16}a_{10}\cos x_2a_{11}x_3 + C_1C_2a_2a_{16}a_8x_3a_{12}\sin x_2$$
$$+ C_1C_2a_2a_{16}a_9\sin x_2a_{12}\sin x_2 + C_1C_2a_2a_{16}a_{10}\cos x_2a_{12}\sin x_2$$
$$+ C_1C_2a_2a_{16}a_8x_3a_{13}\cos x_2 + C_1C_2a_2a_{16}a_9\sin x_2a_{13}\cos x_2$$
$$+ C_1C_2a_2a_{16}a_{10}\cos x_2a_{13}\cos x_2$$
$$+ (a_1a_3 - C_1a_3 - C_2a_3)x_1 - a_1a_3 + C_1a_3 + C_2a_3$$
$$+ a_{23}\dot{y}_r + a_{24}\ddot{y}_r + a_{25}\dddot{y}_r - C_3z_3 - z_2 \quad (41)$$

여기서 C_3는 세 번째 설계 파라미터이다. virtual input을 $a_3a_4x_4$로 잡는다. α_3는 세 번째 안정화 함수로 선택

한다. x_1, x_2, x_3, y_r, $\dot{y}_r$, $\ddot{y}_r$, $\dddot{y}_r$에 관한 편미분은 다음 step에서 사용한다.

$$\alpha_{31}: \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_1} = a_1 a_3 - C_1 a_3 - C_2 a_3 - \frac{\partial z_2}{\partial x_1} - C_3 \frac{\partial z_3}{\partial x_1}$$
$$= a_1 a_3 - C_1 a_3 - C_2 a_3 - C_1 + C_3 \alpha_{21} \quad (42)$$

$$\alpha_{32}: \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_2} = -a_3 a_4 a_5 a_9 \cos x_2 + a_3 a_4 a_5 a_{10} \sin x_2 + a_2 x_3 a_{12} \cos x_2$$
$$- a_2 x_3 a_{13} \sin x_2 + a_2 a_{16} a_9 \cos x_2 a_{11} x_3$$
$$- a_2 a_{16} a_{10} \sin x_2 a_{11} x_3 + a_2 a_{16} a_8 x_3 a_{12} \cos x_2$$
$$+ a_2 a_{16} a_9 \sin 2 x_2 a_{12} + a_2 a_{16} a_{10} \cos 2 x_2 a_{12}$$
$$- a_2 a_{16} a_8 x_3 a_{13} \sin x_2 + a_2 a_{16} a_9 \cos 2 x_2 a_{13}$$
$$- a_2 a_{16} a_{10} \sin 2 x_2 a_{13} + C_1 C_2 a_2 x_3 a_{12} \cos x_2$$
$$- C_1 C_2 a_2 x_3 a_{13} \sin x_2 + C_1 C_2 a_2 a_{16} a_9 \cos x_2 a_{11} x_3$$
$$- C_1 C_2 a_2 a_{16} a_{10} \sin x_2 a_{11} x_3 + C_1 C_2 a_2 a_{16} a_8 x_3 a_{12} \cos x_2$$
$$- C_1 C_2 a_2 a_{16} a_9 \sin 2 x_2 a_{12}$$
$$+ C_1 C_2 a_2 a_{16} a_{10} \sin 2 x_2 a_{12}$$
$$- C_1 C_2 a_2 a_{16} a_8 x_3 a_{13} \sin x_2$$
$$+ C_1 C_2 a_2 a_{16} a_9 \sin 2 x_2 a_{13}$$
$$- C_1 C_2 a_2 a_{16} a_{10} \sin 2 x_2 a_{13}$$
$$+ a_{23} y_r + a_{24} \dot{y}_r + a_{25} \ddot{y}_r - C_3 z_3 - z_2 \quad (43)$$

$$\alpha_{33}: \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_3} = -a_3 a_4 a_5 a_8 + a_3 a_4 + 2 a_2 x_3 a_{11} + a_2 a_{12} \sin x_2$$
$$+ a_2 a_{13} \cos x_2 + 2 a_2 a_{16} a_8 x_3 a_{11} + a_2 a_{16} a_9 \sin x_2 a_{11}$$
$$+ a_2 a_{16} a_8 a_{12} \sin x_2 + a_2 a_{16} a_8 a_{13} \cos x_2$$
$$+ C_1 C_2 a_2 x_3 a_{11} + C_1 C_2 a_2 a_{12} \sin x_2$$
$$+ C_1 C_2 a_2 a_{13} \cos x_2 + 2 C_1 C_2 a_2 a_{16} a_8 x_3 a_{11}$$
$$+ C_1 C_2 a_2 a_{16} a_9 \sin x_2 a_{11} + C_1 C_2 a_2 a_{16} a_{10} \cos x_2 a_{11}$$
$$+ C_1 C_2 a_2 a_{16} a_8 a_{12} \sin x_2 + C_1 C_2 a_2 a_{16} a_8 a_{13} \cos x_2$$
$$+ a_3 \alpha_{22} - a_3 C_3 \quad (44)$$

$$\alpha_{34}: \frac{\partial \alpha_3}{\partial \dot{y}_r} = -\frac{\partial z_2}{\partial \dot{y}_r} - C_3 \frac{\partial z_3}{\partial \dot{y}_r}$$
$$= C_1 + C_3 \alpha_{23} \quad (45)$$

$$\alpha_{35}: \frac{\partial \alpha_3}{\partial \ddot{y}_r} = \alpha_{23} - C_3 \frac{\partial z_3}{\partial \ddot{y}_r} - \frac{\partial z_2}{\partial \ddot{y}_r}$$
$$= \alpha_{23} + C_3 \alpha_{24} + 1 \quad (46)$$

$$\alpha_{36}: \frac{\partial \alpha_3}{\partial \dddot{y}_r} = \alpha_{24} - C_3 \frac{\partial z_3}{\partial \dddot{y}_r}$$
$$= \alpha_{24} + C_3 \quad (47)$$

$$\alpha_{37} = \frac{\partial \alpha_3}{\partial \dddot{y}_r} = \alpha_{25} = 1 \quad (48)$$

Step 4 : 네 번째 오차변수 z_4를 다음과 같이 정의한다.

$$z_4 = a_3 a_4 x_4 - \alpha_3 \quad (49)$$

$$\dot{z}_4 = a_3 a_4 \dot{x}_4 - \dot{\alpha}_3 \quad (50)$$
$$= a_3 a_4 a_6 x_4 + a_3 a_4 a_7 V_{ref} - a_3 a_4 a_7 v_T + a_3 a_4 a_7 u_E$$
$$- \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_1} \dot{x}_1 - \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_2} \dot{x}_2 - \frac{\partial \alpha_3}{\partial x_2} \dot{x}_3$$
$$- \frac{\partial \alpha_3}{\partial y_r} \dot{y}_r - \frac{\partial \alpha_3}{\partial \dot{y}_r} \ddot{y}_2 - \frac{\partial \alpha_3}{\partial \ddot{y}_r} \dddot{y}_r - \frac{\partial \alpha_3}{\partial \dddot{y}_r} \dddot{y}_r$$
$$= a_3 a_4 a_6 x_4 + a_3 a_4 a_7 V_{ref} - a_3 a_4 a_7 v_T + a_3 a_4 a_7 u_E$$
$$- \alpha_{31} x_2 - \alpha_{32} (a_3 x_1 - a_3) - \alpha_{33} (a_4 a_5 i_d - a_4 x_3 - a_4 x_4)$$
$$- \alpha_{34} \dot{y}_r - \alpha_{35} \ddot{y}_r - \alpha_{36} \dddot{y}_r - \alpha_{37} \dddot{y}_r - C_4 z_4 - z_3 \quad (51)$$

제어입력 u는 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$u = \frac{1}{a_3 a_4 a_7} [- a_3 a_4 a_6 x_4 - a_3 a_4 a_7 V_{ref} + a_3 a_4 a_7 v_T$$
$$+ \alpha_{31} x_2 + \alpha_{32} (a_3 x_1 - a_3) + \alpha_{33} (a_4 a_5 i_d - a_4 x_3 - a_4 x_4)$$
$$+ \alpha_{34} \dot{y}_r + \alpha_{35} \ddot{y}_r + \alpha_{36} \dddot{y}_r + \alpha_{37} \dddot{y}_r + C_4 z_4 + z_3] \quad (43)$$

3.2 제어기 시뮬레이션

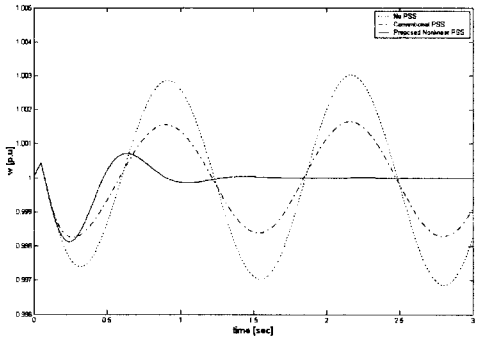

그림 3. 부하조건 Pe=0.6 각속도 파형

4. 결 론

이 논문에서는 전력계통의 고유한 특징인 강한 비선형을 제어할 수 있는 한가지의 대안으로서 Nonlinear Observer Backstepping 출력 궤환 제어기를 제안하였다. 본 제어기에서 보인바와 같이 비선형 전력계통을 처리하기 위한 해석적인 방법은 수식으로 매우 복잡한 문제점이 따르게 된다. 제안된 기법은 출력단자의 측정만으로 출력으로부터 입력 항이 나올 때까지 미분하여 제어기의 입력에다 주입하는 관측기를 구성하였다. MATLAB을 사용하여 제안된 제어기의 효과를 비 제어시, 기존의 Lead-Lag PSS, 그리고 제안된 제어기를 비교 검토하여 제안된 제어기의 효과를 입증하였다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제이며 관리기관 관계자들에게 감사 드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] A. Isidori, *"Nonlinear control system"*, Springer-Verlag Press, 1995.

[2] R. Marino and P. Tomei, *"Nonlinear control design"*, Prentice-Hall Press, 1995.

[3] Q. Lu and Y. Z. Sun, "Nonlinear stabilizing control of machine system", *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 4, No. 1. pp. 236-241, 1989.

[4] M. Krstić, I. Kanellakopoulos, and P. Kokotović, *"Nonlinear Adaptive Control Design"*, John Wiley & Sons, New York, 1995.

[5] S. H. James Lee and T. C. Tsao, "Nonlinear backstepping control of an electrohydraulic material testing system", *Proceedings of American Control Conference*, Anchorage, pp. 4825-4830, May 8-10, 2002.

[6] Y. N. Yu, *"Electric power system dynamics"*, Academic Press, 1983.