

# 교류서보 전동기의 전류관측기를 이용한 속도 센서리스제어

論 文

53D-6-3

## Speed Sensorless Control Using Current Observer for AC Servo Motor

尹光湖\*·南文鉉\*\*

(Kwang Ho Yun · Moon Hyun Nam)

**Abstract** - This paper proposed a new speed sensorless control method for AC servo motor, which is based on the current observer. Recently, the study in the estimation using an observer is being widely progressed. In order to prove the superiority of the current observer, we made a comparison between the simulation using current observer and that using Luenberger observer. And also, a comparative experiment of the speed control of the AC servo motor using a sensor and using current observer has been executed. The experiment result shows that the estimation using current observer is superior to the estimation using Luenberger observer or to the speed response using a sensor.

**Key Words** : AC Servo Motor, Luenberger observer, current observer

### 1. 서 론

최근 사용범위가 확대되고 있는 교류 서보 전동기는 브러쉬와 정류자가 없는 구조로 효율과 신뢰성이 높으며 무단 변속과 열악한 작업환경에서도 구동이 가능하여 운전소음의 감소 및 정비비용이 저감을 가져올 수 있어 현재 직류 서보전동기를 대체하여 광범위한 분야에서 사용이 증가되고 있다 [1][2]. 이러한 교류서보전동기는 회전자의 영구자석으로부터 정현파형태의 자속을 공급받기 때문에 전동기 회전자의 정확한 위치를 알아야 전동기에 대한 벡터제어를 할 수 있다. 일반적으로 전동기 회전자의 위치 정보를 얻기 위해서는 레졸버나 절대 엔코더 등의 위치검출기를 전동기에 부착하여야 한다. 이러한 위치 검출기는 회전하는 회전자의 위치를 연속적으로 검출할 수 있는 장점이 있으나 일반적으로 가격이 고가일 뿐만 아니라 별도의 하드웨어가 제어기에 구성되어야 하는 단점이 있다. 또한 진동 및 습도 등의 주위환경에 대한 영향을 많이 받기 때문에 사용 환경에 제한을 받는다. 이외에도 위치 검출기를 전동기 축에 부착함으로써 인한 전동기의 크기의 증대 등 문제가 발생하게 된다 [3]-[5]. 이와 같이 교류서보전동기의 제어상 큰 문제점인 회전자의 위치를 센서를 사용하지 않고 간접적으로 얻고자하는 센서리스 제어에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이를 위해 무수히 많은 관측기 이론이 소개되었고, 현재 이용되고 있다.

센서리스 운전을 위한 대표적인 관측기로는 루엔버거 관측기와 슬라이딩 관측기를 꼽을 수 있다. 루엔버거 관측기는

1964년 D.G. Luenberger에 의해 제안된 이후에 많은 연구가 진행되고 있으며 상태를 관측하기 위해 시스템의 동특성이나 내부파라미터를 알아야 한다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 루엔버거 관측기의 문제점을 해결하기 위해서는 불확실한 시스템 동특성에 대해 강인한 구조를 갖는 관측기를 설계하거나, 별도의 파라미터 적응규칙이 필요하게 된다. 슬라이딩 관측기는 내부파라미터를 알아야 할 필요는 없지만 시스템 동특성에 대한 정보를 필요로 하며, 외란 억제 성능은 우수하나 불연속적인 입력으로 인한 추정치의 떨림 현상이 발생한다는 문제점을 가지고 있어 교류 서보 전동기와 같은 시스템에 적용시는 채터링이 발생하여 시스템의 불안정성을 증대시키게 된다 [6]-[8]. Khalil이 제안한 고이득 관측기는 삼각형으로 표현 가능한 시스템에 적용가능하며, 시스템의 동특성 및 내부 파라미터에 대한 정보를 필요로 하지 않는다 [9].

본 논문은 교류 서보 전동기의 속도제어에 사용하고 있는 속도 센서의 문제점을 개선하고, 관측기 설계시의 루엔버거 관측기가 가지는 도함수 추정의 문제점을 해결하기 위해 고이득 관측기를 이용하여 교류서보전동기의 속도센서리스 제어에 적용하였다. 본 관측기의 성능을 평가하기 위해서 교류서보 전동기의 속도제어에 적용하여 속도 센서가 있는 경우와 속도센서 없이 설계한 전류관측기를 적용한 경우를 비교 실험하여 관측기의 우수성을 입증하였고, 또한 전동기에 부하를 가하였을 때 부하에 강건함을 입증하였다.

### 2. 관측기 설계

#### 2.1 상태관측기

다음과 같은 시스템

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2.1)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (2.2)$$

에 대한 상태관측기 방정식은 다음과 같이 주어진다.

\* 正 會 員 : 建國大學 電氣工學科 博士課程修了

\*\* 正 會 員 : 建國大學 電氣工學科 教授

接受日字 : 2004年 2月 26日

最終完了 : 2004年 3月 23日

$$\hat{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2.3)$$

만일 초기 상태를 알고 있다면 상태관측기에서 얻은  $\hat{x}(t)$ 는  $t \geq 0$  인 전구간에서 실제상태와 같은 값을 갖게 된다. 그러므로 식(2.3)을 상태관측기로 사용할 수 있지만, 실제로는 초기상태를 알 수 없기 때문에 이것을 상태관측기로 사용할 수 없다.

$\hat{x}(t)$ 가  $x(t)$ 와 서로 같은가를 판단하려면 두 신호를 비교해 보면 되지만  $x(t)$ 를 알 수 없으므로 두 신호 대신에 대상시스템의 측정출력  $y(t)$ 와 관측출력  $\hat{y}(t)$ 를 비교해 보면 된다. 관측출력  $\hat{y}(t)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \quad (2.4)$$

식(2.4)가 측정출력  $y(t)$ 와 다르면  $\hat{x}(t)$ 가  $x(t)$ 와 분명히 다른 것이고, 관측출력  $\hat{y}(t)$ 와 측정출력  $y(t)$ 와 같으면  $\hat{x}(t)$ 와  $x(t)$ 가 같아지므로 출력 관측오차  $\hat{y}(t) - y(t)$ 에 관한 정보를 고려하여 식(2.3)의 상태관측기에서 상태관측오차를 줄이도록 상태관측기를 구성하면 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}(t) &= Ax(t) + Bu(t) - L[y(t) - \hat{y}(t)] \\ &= (A - LC)\hat{x}(t) + LCx(t) + Bu(t) \end{aligned} \quad (2.5)$$

여기에서,  $\hat{x}(t)$ 는  $x(t)$ 의 추정치를 나타내고,  $L$ 은 관측기의 상태관측오차를 보정하기 위해 도입한 이득행렬이다. 따라서, 식(2.3)과 식(2.5)에 의해서 상태관측오차는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{e}(t) &= \dot{x}(t) - \dot{\hat{x}}(t) \\ &= Ax(t) + Bu(t) - (A - LC)\hat{x}(t) - LCx(t) - Bu(t) \\ &= (A - LC)(x(t) - \hat{x}(t)) \\ &= (A - LC)e(t) \end{aligned} \quad (2.6)$$

여기서  $A - LC$ 가 안정하도록 이득행렬  $L$ 을 선택하면 초기관측오차  $e(0) = x(0) - \hat{x}(0)$ 가 있더라도  $t \rightarrow \infty$ 일 때,  $e(t) \rightarrow 0$  즉,  $\hat{x}(t) \rightarrow x(t)$ 의 성질을 만족하는 관측기가 된다.

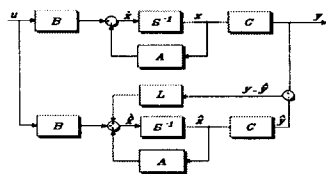


그림 1 상태관측기의 구성도  
Fig. 1 Structure of a state observer

식(2.1), 식(2.2)와 같은 시스템이 가관측 시스템이라면, 식(2.6)의 극점을 원하는 응답을 주는 곳에 배치할 수 있다. 그림 1은 상태관측기의 구성도를 나타낸 것이다.

### 2.2 고이득 관측기

고이득 관측기는 시스템의 동특성 및 내부파라미터에 대한 정보를 필요하지 않는다. 그러나 고이득 관측기는 관측기의 이득이 관측상태의 개수에 비례해서 제곱꼴로 커지게 되므로 관측 초기의 과도상태 및 관측하려는 상태의 급격한 변화에 대하여 관측 오차가 진동하는 원인이 될 수 있기 때문에 관

측기 이득  $\epsilon$ 을 적절하게 설정하여야 한다.

일반적인 고이득 관측기의 구조는 그림 2 와 같이 나타낼 수 있으며 고이득 관측기의 알고리즘은 다음과 같다.

$$\hat{x}_i = \hat{x}_{i+1} + k_i(y - \hat{y})/\epsilon^i \quad (2.7)$$

여기서,  $y$ 는 시스템에서 측정 가능한 출력 신호이며,  $k_i$ 와  $\epsilon$ 는 관측기의 상수이득이다.

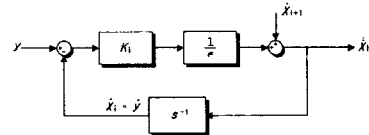


그림 2 고이득 관측기의 구조  
Fig. 2 Structure Of a High Gain Observer

식(2.8),(2.9),(2.10)은 3개의 상태를 관측하기위한 고이득 관측기 알고리즘이다.

$$\hat{x}_1 = \hat{x}_2 + k_1(x_1 - \hat{x}_1)/\epsilon \quad (2.8)$$

$$\hat{x}_2 = \hat{x}_3 + k_2(x_1 - \hat{x}_1)/\epsilon^2 \quad (2.9)$$

$$\hat{x}_3 = \hat{x}_1 + k_3(x_1 - \hat{x}_1)/\epsilon^3 \quad (2.10)$$

위 식을 Laplace transform을 이용해서 정리하면, 식(2.11)과 같다.

$$\hat{x}_1 = \frac{\epsilon^2 k_1 s^2 + \epsilon k_2 s + k_3}{\epsilon^3 s^3 + \epsilon^2 k_1 s^2 + \epsilon k_2 s + k_3} x_1 \quad (2.11)$$

시스템 출력  $x_1$ 이 일정하고 분모다항식이 안정하다면, 그 도함수들이 모두 0으로 수렴하므로 시간이 지남에 따라  $\hat{x}_1 = x_1$ 이 될 것이다. 이는  $\epsilon = 0$  인 이상적인 경우와 결과가 같음을 알 수 있다. 이 결과로부터 식(2.8), (2.9), (2.10)에서  $\hat{x}_2 = \hat{x}_1$ 이 됨을 알 수 있다. 이때  $\hat{x}_1 = x_1$  이므로 시스템 출력  $x_1$ 이 연속미분 가능한 신호라면  $\hat{x}_1 = \dot{x}_1$  이 되므로  $\hat{x}_2 = \hat{x}_1 = \dot{x}_1$  이 만족된다. 이 결과를 이용하면  $\hat{x}_3 = \ddot{x}_1$  가 되고  $\hat{x}_3 = \ddot{x}_1 = \dot{x}_1$  이 되어 시스템 출력의 미분 가능한 회수만큼의 도함수를 얻을 수 있다. 그림 3은 고이득 관측기의 구성도이다.

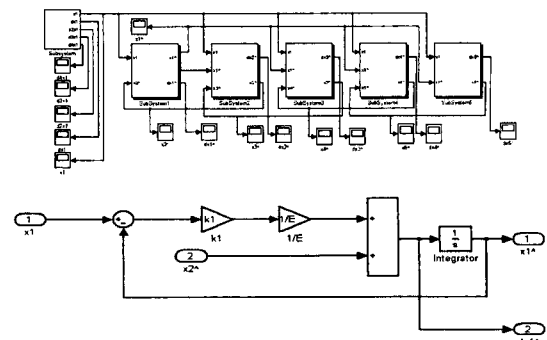


그림 3 (a) 고이득 관측기의 구성도  
(b) 하위시스템 구조

Fig. 3 (a) Structure of High Gain Observer  
(b) Structure of subsystem

시스템 출력  $x_1$ 이 일정하지 않은 경우에는  $\epsilon$ 을 가능한 작게 함으로써 상대적으로 오차의 크기를 줄일 수 있다. 그러나 시스템 출력의 시간에 따른 변화율이 커짐에 따라 관측오차가 커지는 단점이 있으며, 상태관측기 이득 값의 크기에 비례해서 과도상태에서의 오차가 커지는 현상이 있다. 관측오차의 수렴성은 이득 값의 크기에 반비례하지만, 과도상태에서의 오차크기는 이득 값의 크기에 비례하므로 적당한 크기의 이득 값을 선정하는 것이 고이득 관측기의 성능 향상의 관건이라 할 수 있다.

2.3 전류관측기를 이용한 속도 관측기 설계

본 논문에서는 전류관측기를 이용한 속도 관측기를 이용하여 교류서보전동기의 속도센서리스 제어를 수행하기 위해서 교류서보전동기의 전기적 동특성을 이용하여 속도를 관측한다. 그러나, 교류서보전동기의 전기적 동특성만으로 속도를 관측한다는 것은 문제점이 있기 때문에 직접 속도를 추정하는 것은 어렵게 된다.

교류서보전동기의 전기적 동특성은 식(2.12)과 같이 나타낼 수 있다.

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + k_b \omega \tag{2.12}$$

속도를 추정하기 위해서 식(2.12)을 식(2.13)로 나타낼 수 있다.

$$\hat{\omega} = \frac{1}{k_b} [e_a(t) - R_a i_a(t) - L_a \frac{di_a(t)}{dt}] \tag{2.13}$$

그러나, 식(2.13)에서 전류 도함수( $\frac{di_a(t)}{dt}$ )추정값을 알 수 없기 때문에 속도를 직접 추정하는 것은 어려우며, 속도를 추정하기 위해 전류 도함수를 추정해야 한다. 전류 도함수 추정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d\hat{i}_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a} [e_a(t) - R_a i_a(t) - k_b \omega] + K(i_a - \hat{i}_a) \tag{2.14}$$

여기서,  $K$ 는 관측이득상수

식(2.13) 와 식(2.14) 에서 속도를 관측하기 위해서는 전류 도함수를 알아야 하고 전류 도함수를 관측하기 위해서는 속도를 알아야 하기 때문에 두 식은 서로 모순된다. 따라서, 교류서보전동기의 전류와 전류 도함수를 추정하기 위해 고이득 관측기를 이용하며 추정한 전류와 전류 도함수를 이용하여 속도를 관측한다.

교류서보전동기의 전류와 전류 도함수를 추정하기 위한 고이득 관측기 설계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\hat{i}}_a = \hat{i}_a + K(i_a - \hat{i}_a)/\epsilon \tag{2.15}$$

$$\dot{\hat{i}}_b = \hat{i}_b + K_2(i_b - \hat{i}_b)/\epsilon^2 \tag{2.16}$$

여기서,  $i_a$ 는 전기자전류,  $\hat{i}_a$ 는 전기자전류 추정값  
다음은 본 논문에서 제안한 관측기의 구성도이다.

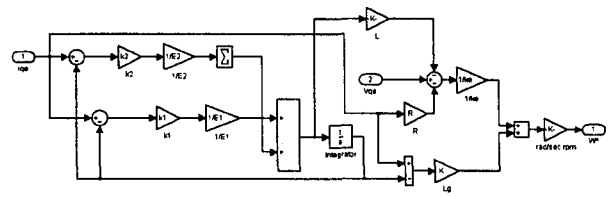


그림 4 제안한 관측기 구성도  
Fig. 4 Proposed Observer Structure.

3. 시스템 구성

본 논문에서 제안한 전류관측기를 이용한 시스템 구성을 그림5와 같으며 실험에 사용한 교류 서보전동기의 사양은 표 1과 같다.

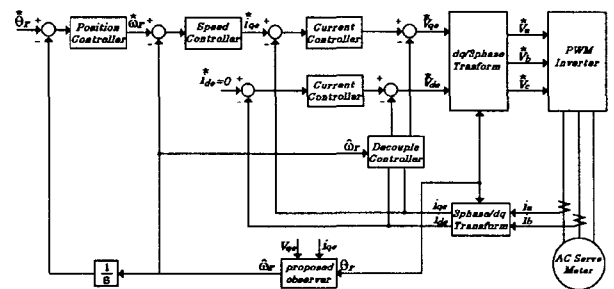


그림 5 제안된 시스템의 블록선도  
Fig. 5 Block diagram of the proposed system

표 1 교류 전동기의 사양  
Table 1 Specification of the AC motor.

정격출력	$P_r$	400 W
정격토크	$T_r$	13.0 Kgf · cm
정격회전수	$N_r$	3000 rpm
정격전류	$I_r$	2.8 A
정격전압	$E_r$	3상 220 V
전기자관성	$J_m$	$0.16 \times 10^{-3}$ Kgf · cm · sec <sup>2</sup>
정격전력	$P_w$	101.6 Kw/sec
전기자인덕턴스	$L_a$	1.02 mH
최대허용회전수	$N_{max}$	5000 rpm
순시최대토크	$T_p$	39.0 Kgf · cm
중량	$W$	1.73 Kgf
Feedback Unit		Incremental Encoder (2000 slit)

4. 시뮬레이션 및 실험결과

4.1 시뮬레이션

교류서보전동기의 정격속도인 3000[rpm]의 목표값에 대해 본 논문에서 제안한 속도 관측기의 속도 추정 성능을 속도센서가 있는 경우와 Luenberger 관측기와 제안한 속도 관측기를 비교 시뮬레이션을 수행하여 그림 6에 나타내었으며 그 결과는 표2와 같다.

표 2 무부하 스텝운전 시뮬레이션 결과 (3000 rpm)  
Table 2 The simulation results of constant speed without load (3000 rpm)

기준입력	기준속도(3000 [rpm]) 전류(2.85 [A])		
응답특성 제어기	Maximum overshoot[rpm]	%OS	Tr [ms]
Sensor	3007	0.23	10.5
Luenberger	3062	2.07	11.2
Proposed	3015	0.5	11.5

시뮬레이션 결과로부터 센서가 있는 경우에는 오버슈트가 7[rpm], rise time이 10.5[ms]로 나타났고, 루엔버거 관측기의 경우는 오버슈트가 62[rpm], rise time이 11.2[ms]로 나타났다. 이것은 센서와 비교하였을 경우 오버슈트는 조금 크나 rise time은 비슷한 결과를 보였다. 그러나 루엔버거 관측기의 경우에는 정상상태에서 다른 경우와 달리 오실레이션이 많이 발생하였다. 마지막으로 제안된 관측기는 오버슈트가 15[rpm] rise time이 11.5[ms]로 센서와 비교하였을 때 아주 근소한 차이로 뒤지지만 별 차이가 없이 나타났다. 따라서 본 논문에서 제안한 관측기는 3000[rpm]에서 센서와 비슷한 성능을 나타내고, 루엔버거 관측기보다는 좋은 성능을 나타내었다.

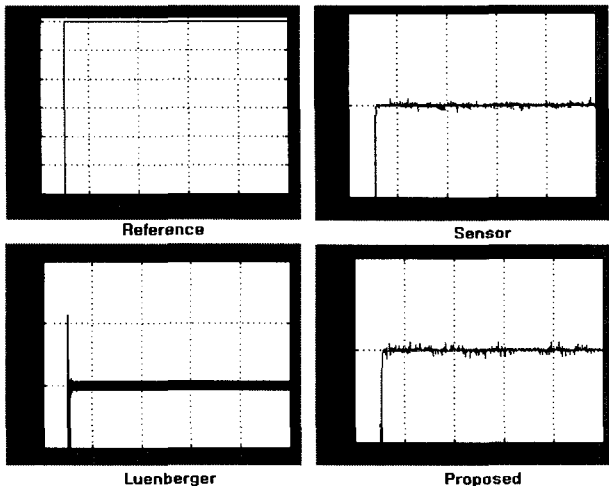


그림 6 시뮬레이션 결과(3000[rpm])  
Fig. 6 Results of Simulation(3000[rpm])

## 4.2 실험

### 4.2.1 무부하 실험

#### I 정속운전시 3000[rpm]

교류서보전동기의 정격속도인 3000[rpm]의 목표값에 대해 본 논문에서 제안한 속도 관측기의 속도 추정 성능을 속도센서가 있는 경우와 Luenberger 관측기와 제안한 속도 관측기를 비교 실험을 수행하여 그림 7 에 나타내었으며 그 결과는 표3 과 같다.

표 3 무부하 스텝운전 실험 결과 (3000 rpm)  
Table 3 The results of constant speed without load(3000 rpm)

기준입력	기준속도(3000 [rpm])			
응답특성 제어기	Maximum overshoot[rpm]	%OS	Tr [ms]	Ts[ms]
Sensor	3095	3.16	27	98
Luenberger	3065	2.16	56	125
Proposed	3020	0.66	43	117

실험 결과로부터 알 수 있듯이 센서가 있는 경우에는 오버슈트가 95[rpm], rise time이 27[ms], 정착시간은 98[ms]로 나타났고, 루엔버거 관측기의 경우는 오버슈트가 65[rpm], rise time이 56[ms], 정착시간은 125[ms]로 나타났다. 이것은 센서와 비교하였을 경우 오버슈트는 작지만 rise time과 정착시간에서는 약간 뒤지는 결과를 보였다. 마지막으로 제안한 관측기는 오버슈트가 20[rpm] rise time이 43[ms]로 센서와 비교하였을 때 아주 근소한 차이로 뒤지는 결과를 보였지만 루엔버거 관측기 보다는 나은 결과를 보여주었다. 따라서 본 논문에서 제안한 관측기는 3000[rpm]에서 센서와 비슷한 성능을 나타내고, 루엔버거 관측기보다는 좋은 성능을 나타내었다. 다음 그림은 3000[rpm]으로 운전시 속도 응답 특성을 보여준다.

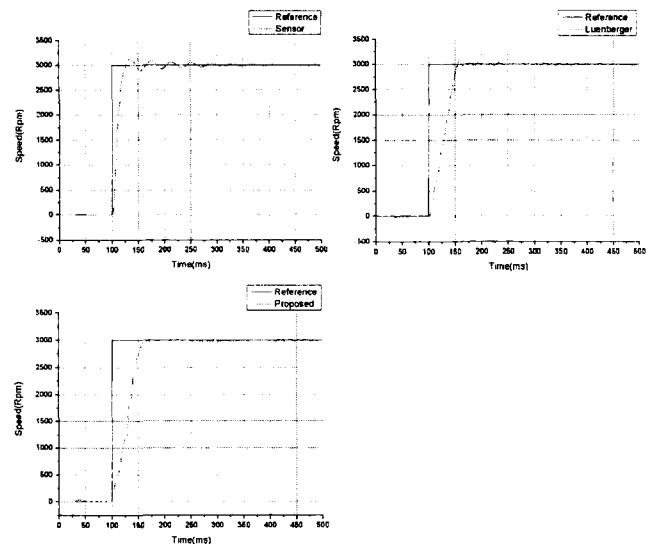


그림 7 무부하 정속운전 실험결과 (3,000[rpm])  
Fig. 7 The results of constant speed control with no load (3,000[rpm])

#### II. 저속운전시(300[rpm])

교류서보전동기를 저속운전에 설계한 관측기의 추정 성능을 입증하기위해 300[rpm]으로 운전을 주행하여, 본 논문에서 제안한 관측기의 속도 추정 성능을 속도센서가 있는 경우와 Luenberger 관측기와 제안한 관측기를 비교 실험을 수행하여 그림 8 에 나타내었으며 그 결과는 표 4 와 같다.

표 4 무부하 스텝운전 실험 결과 (300 rpm)

Table 4 The results of constant speed without load (300 rpm)

기준입력 응답특성 제어기	기준속도(300 [rpm])			
	Maximum overshoot[rpm]	%OS	Tr [ms]	Ts [ms]
Sensor	322	7.33	12	-
Luenberger	390	30	15	-
Proposed	308	2.66	15	51

실험 결과로부터 알 수 있듯이 센서가 있는 경우에는 오버슈트가 22[rpm], rise time이 12[ms]로 나타났으며, 정착시간은 정상상태 오차 범위 2%-5%안에 들어오지 않았기 때문에 표에 기록하지 않았다. 루엔버거 관측기의 경우는 오버슈트가 90[rpm], rise time이 15[ms]로 나타났으며, 아주 근소하게 정상상태 오차범위 2%-5%안에 들어오지 않았기 때문에 표에 기록하지 않았다. 마지막으로 제안한 관측기는 오버슈트가 8[rpm] rise time이 15[ms]로 센서와 비교하였을 때 오버슈트는 아주 작아졌으며, rise time은 아주 근소한 차이로 뒤지는 결과를 보였다. 정착시간은 51[ms]로 나타났다.

다음 그림은 300[rpm]으로 운전시 속도 응답 특성을 보여준다.

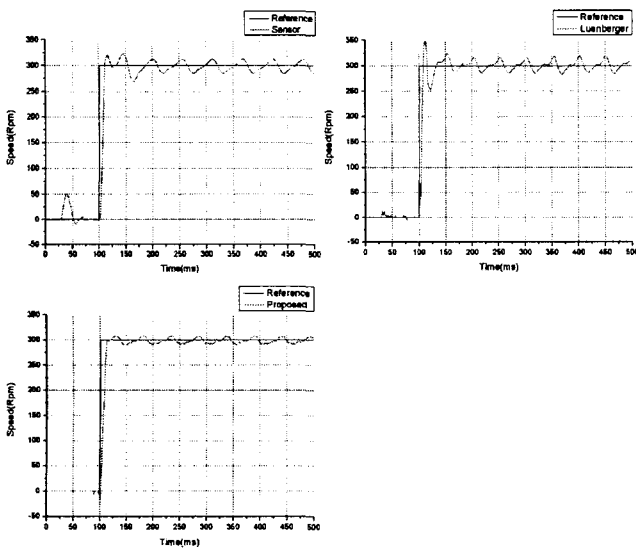


그림 8 무부하 정속운전 실험결과 (300rpm)

Fig. 8 The results of constant speed control with no load (300rpm)

#### 4.4.2 부하실험

##### I 정속운전시(3000[rpm])

부하 실험은 무부하 실험과 동일한 경우로 나누어 진행되었으며, 부하는 전동기의 축을 연장하는 장치를 만들고 그 연장 축에 원통형의 추를 부착하는 형태로 관성부하를 인가하였다.

표 5 부하 스텝운전 실험 결과 (3000 rpm)

Table 5 The results of constant speed with load(3000 rpm)

기준입력 응답특성 제어기	기준속도(3000 [rpm])			
	Maximum overshoot[rpm]	%OS	Tr [ms]	Ts [ms]
Sensor	3050	1.66	67	88
Luenberger	-	-	87	113
Proposed	-	-	77	102

부하 실험을 했을 때, 센서가 있는 경우에는 오버슈트가 50[rpm], rise time이 67[ms], 정착시간은 88[ms]로 나타났고, 루엔버거 관측기의 경우는 오버슈트는 없고, rise time이 87[ms], 정착시간은 113[ms]로 나타났다. 이것은 센서와 비교하였을 경우 오버슈트는 없고, rise time과 정착시간에서는 근소하게 뒤지는 결과를 보였다. 마지막으로 제안한 관측기는 오버슈트는 없고, rise time이 77[ms]로 센서와 비교하였을 때 아주 근소한 차이로 뒤지는 결과를 보였지만 루엔버거 관측기 보다는 좋은 결과를 보여주었다. 루엔버거와 제안한 관측기는 3000[rpm]에서 오버슈트는 발생하지 않았으나 다음 그림에서 보듯이 3000[rpm]에 근접하게 따라가고 있음을 보여준다. 따라서 본 논문에서 제안한 관측기는 3000[rpm]에서 센서와 비슷한 성능을 나타내고, 루엔버거 관측기보다는 좋은 성능을 나타내었다.

그림9는 부하 3000[rpm]으로 운전시 속도 응답 특성을 보여준다.

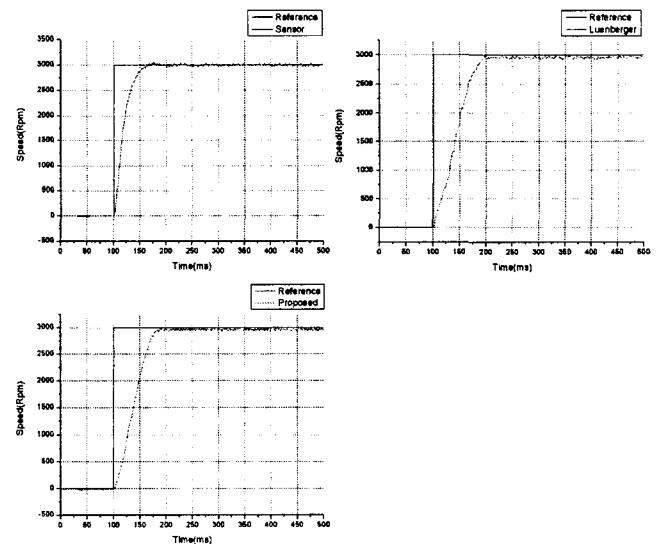


그림 9 부하 정속운전 실험결과 (3,000[rpm])

Fig. 9 The results of constant speed control with load (3,000rpm)

##### II 저속운전시 (300[rpm])

교류서보전동기의 정격속도가 아닌 저속 300[rpm]의 목표값에 대해 본 논문에서 제안한 관측기의 속도 추정 성능을 속도센서가 있는 경우와 Luenberger 관측기와 제안한 관측기를 비교 실험을 수행하여 그림 10에 나타내었으며 그 결과는 표 4.6과 같다.

표 6 부하 스텝운전 실험 결과 (300 rpm)  
Table 6 The results of constant speed with load(300 rpm)

기준입력 응답특성 제어기	기준속도(300 [rpm])			
	Maximum overshoot[rpm]	%OS	Tr [ms]	Ts [ms]
Sensor	315	5.00	43	72
Luenberger	325	8.33	49	-
Proposed	303.4	1.13	45	72

부하실험을 했을 때, 센서가 있는 경우에는 오버슈트가 15[rpm], rise time이 43[ms]로 나타났으며, 정착시간은 72[ms]로 나타났다. 루엔버거 관측기의 경우는 오버슈트가 25[rpm], rise time이 49[ms]로 나타났으며, 아주 근소하게 정상상태 오차범위 2%-5%안에 들어오지 않았기 때문에 표에 기록하지 않았다. 이것은 센서와 비교하였을 경우 오버슈트는 10정도 크고, rise time은 비슷하였다. 정착시간은 표에 기록하지 않았으며, 무부하인 경우와 비교해 보면 관성부하를 장착할시 오실레이션에 관한 오버슈트는 조금 줄어든 것을 볼 수 있다. 마지막으로 제안한 관측기는 오버슈트가 3.4[rpm] rise time이 45[ms]로 센서와 비교하였을 때 오버슈트는 아주 작아졌으며, rise time은 거의 비슷한 결과를 보여주었다. 정착시간은 72[ms]로 나타났다. 다음 그림은 부하 300[rpm]으로 운전시 속도 응답 특성을 보여준다

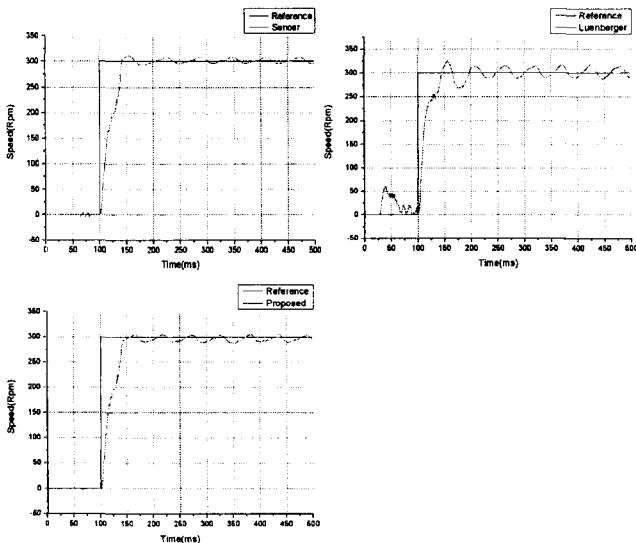


그림 10 부하 정속운전 실험결과 (300rpm)  
Fig. 10 The results of constant speed control with load (300rpm)

5. 결 론

본 논문에서는 교류 서보 전동기의 속도제어시의 속도 센서가 가지는 문제점 및 Luenberger 관측기가 가지는 도함수 추정 문제점을 개선하기 위해 전류관측기를 이용하여 속도관측기를 설계 하였다. 또한 과도상태에서의 응답특성 개선과 저속에서의 운전 특성 향상을 입증하기 위하여 교류 서보 전동기의 무부하 및 부하 시 정속과 저속 실험을 통하여 속도센서가 있는 경우와 루엔버거 관측기를 이용한 경우를 비교 실험하여 본 논문에서 제안한 관측기가 과도상태와 정상상태에서 안정성 및 추정성능이 우수하다는 것을 입증하였으며, 속도센서가 있는 제어시스템의 응답에 근접한 특성을 나타내었

다. 또한 부하외란에 대하여 강인한 성능을 가짐을 확인할 수 있었고, 향후에는 실제전류 관측에 있어 발생하는 오실레이션을 제거할 수 있는 제어이론개발이 필요하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Joachim Holtz, "Speed Estimation and Sensorless Control of AC Drives", IEEE IECON, pp.649-654, 1993.
- [2] T.H. Liu and C.P. Cheng, "Controller Design for a Sensorless Permanent-Magnet Synchronous Drive System", IEEE Proceedings-B, Vol.140, No. 6, pp. 369-378, 1993.
- [3] M. Naidu and B. K. Bose, "Rotor Position Estimation Speed of a Permanent Magnet Synchronous Machine for High Performance Variable Speed Drive", IEEE-IAS Conf. REc., pp.48-53, 1992.
- [4] Joachim Holtz, "Speed Estimation and Sensorless Control of AC Drives", IEEE IECON, pp.649-654, 1993
- [5] T.H. Liu and C.P. Cheng, " Adaptive Control for a Sensorless Permanent-Magnet Synchronous Motor Drive" IEEE-IECON Conf. Rec., pp. 413-418, 1992
- [6] T. Furuhashi, S. Sangwanish, S. Okuma, "A Position and Velocity Sensorless Control of Brushless DC Motors Using an Adaptive Sliding Observer" T. IEEE Japan, pp.1188-1192, 1990
- [7] T. Ahmed-Ali and F. Lamnabhi-Lagarrige, "Sliding Observer- Controller Design for Uncertain Triangular Nonlinear Systems," IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 44, No. 6, pp. 1244-1249, 1999.
- [8] G. B. Wang, S. S. Peng, and H. P. Huang, "A Sliding Observer for Nonlinear Process Control," Chemical Engineering Science, Vol. 52, pp. 787-805, 1997.
- [9] H.K.khalil, "Numerical Differentiation Using high-Gain Observer", Proceedings of the 36th IEEE Conference on a decision and Control, Vol. 2, pp. 4790-4795, December 1997.

저 자 소 개



윤 광 호 (尹光湖)

1976년 9월9일생. 1999년 2월 호서대학교 공대 전기공학과 졸업. 2001년 2월 건국 대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정수료, 한라대학교 전기공학과 겸임교수  
Tel : 02) 456-2585, Fax : 02) 444-8868  
E-mail : khyoon\_279@hanmail.net



남 문 현 (南文鉉)

1975년 2월 연세대 공대 전기공학과 졸업(공학) 1980-1982년 : Univ. of California Berkeley 전기전산과 초빙교수. 1976년 8월-현재 : 건국대 공대 공학과 교수, 건국대학교 산업대학원장, 한국산업기술사학회 회장  
Tel : 02) 450-3482, Fax : 02) 444-8868  
E-mail : monroe@konkuk.ac.kr