센서없는 직류서보전동기의 속도 제어를 위한 적응 고이득 관측기 설계

論 文
52D-12-1

Design of a Adaptive High-Gain Observer for Speed-Sensorless Control of DC Servo Motor

金 相 勳* · 金 洛 敎**
(Sang-Hoon Kim · Lark-Kyo Kim)

Abstract -This paper deals with speed control of DC servo motor using a Adaptive high gain obserber.In this parer, the gain of the observer is properly set up using the fuzzy control and adaptive high gain observer that have a superior transient characteristic and is easy to implement compared the existing method is designed.

In order to verify the performance of the Adaptive high gain observer which is proposed in this paper, it is compared estimate performance of High-gain Observer and Adaptive High Gain Observer with the computer simulation.

Effectiveness of the proposed high gain observer is proved from the experiment to compare the case with a speed sensor to the case with Adaptive high gain observer in the speed control of DC servo motor.

Key Words : *Adaptive high-gain observer, Fuzzy system, DC servo motor, PI controller*

1. 서 론

전동기 센서리스 운전에 대한 초기의 연구에서는 전동기의 전압과 전류를 측정하여 전동기 모델로부터 속도를 연산하는 방식을 취해왔으나, 근래에는 현대제어 이론 중 관측기 이론을 적용하여 속도 추정 및 센서리스 운전을 위한 다양한 연구가 시도되고 있다[1][2].

관측기의 필요성은 현대제어 이론의 기본이 되고 있는 상태 공간법에 기초한 선형 다변수 제어시스템 설계법에 기인하며 최적제어를 실현하기 위해서는 모든 상태변수가 측정 가능해야하는 조건을 포함하고 있다. 관측기는 제어대상의 수학적 모델을 대상으로 하여 설계되므로 실제 제어시스템에 존재하는 다양한 비선형성과 불확실성이 고려되지 않거나 제어대상에 대한 모델링 오차가 존재할 경우에 정확하게 시스템의 상태를 추정할 수 없게 되고 본래 시스템 상태 값과의 오차가 필연적으로 발생한다[3][4]. 센서리스 운전을 위한 대표적인 관측기로는 루엔버거 관측기와 슬라이딩 관측기 및 고이득 관측기가 있다. 첫째, 루엔버거 관측기는 1964년 D.G. Luenberger에 의해 제안된 이후에 많은 연구가 진행되고 있으며 상태를 관측하기 위해 시스템의 동특성이나 내부 파라미터를 알아야 한다는 문제점을 가지고 있다.

이러한 루엔버거 관측기의 문제점을 해결하기 위해서는 불확실한 시스템 동특성에 대해 강인한 구조를 갖는 관측기를설계하거나, 별도의 파라미터 적응규칙이 필요하게 된다[5][6][7].

둘째, 고이득 관측기는 triangular형으로 표현 가능한 시스템에 적용가능하며, 시스템의 동특성 및 내부 파라미터에 대한 정보를 필요로 하지 않는다. 그러나 고이득 관측기의 이득이 관측상태의 개수에 비례해서 제곱꼴로 커지게 된다. 이는 관특 초기의 과도상태 및 관측하려는 상태의 급격한 변화에 대하여 관측오차가 심하게 진동하는 원인이 될 수 있다. 이러한 경우 제어기의 출력이 심하게 진동함으로써 시스템을 불안정하게 할 수도 있다. 또한 고정연산(Fixed point calculation) 방식으로 디지털 제어기 를 구현할 경우 이득값의 크기는 데이터 바이트 수에 종속되므로 크기조정에 제약이 따를 수 있다[14][15].

이러한 여러 관측기들의 문제점을 극복하기 위하여 현재 지능형 제어기법이 다양하게 도입되고 있으며, 그 중 대표적인 방식이 퍼지제어 기법이다[16][17].

따라서 본 논문에서는 적응 제어 기법 중 퍼지제어 기법을 이용하여 관측기의 이득값을 적절히 선정하며, 기존의 방식에 비해 과도특성이 우수하고 구현이 용이한 적응 고이득 관측기를 설계하였으며, 설계한 적응 고이득 관측기를 이용하여 직류서보전동기에서 측정한 전기자전류값으로 전기자 전류의 도함수를 직접추정하였다. 또 이 추정값으로 회전자의 속도를 추정하고 추정된 속도를 이용하여 속도제어를 수행하는 속도 센서 리스 제어 방식을 제안하였다.

본 논문에서는 설계한 적응 고이득 관측기의 속도추정 성능을 검증하기 위해 먼저 고이득 관측기의 최적 이득을선정하고 퍼지 제어방식을 통하여 적절한 고이득 관측기의 최적 이득을 직류서보전동기의 속도제어에 적용하여 관측기 이득이 고정된 고이득관측기와 비교시뮬레이션을 통해 관측기의 추정성능의 검증하였다. 또한, 설계한 적응 고이득 관측기를 200[W] 직류서보전동기에 적용하여 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 고이득 관측기를 이용한 경우 및 적응 고이득 관측기를 이용하여 속도를 추정한 경우를 부하가 없는 경우와 부하가 있는 경우로 나누어서 비교 실험하여 본 논문에서 설계한 적응 고이득 관측기의 타당성을 입증 하였다.

* 正 會 員 : 建國大 電氣工學科 博士課程
** 正 會 員 : 建國大 電氣工學科 敎授 · 工博
接受日字 : 2003年 10月 13日
最終完了 : 2003年 10月 30日

2. 적응 고이득 관측기 설계

2.1 고이득관측기

본 논문에서는 직류서보전동기의 속도센서리스 제어를 수행하기 위해서 직류서보전동기의 전기적 동특성을 이용하여 속도를 관측하며 그림 1과 같다.

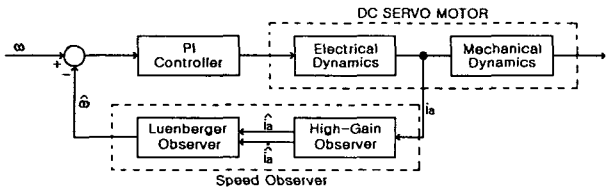

그림 1 고이득 관측기의 구조
Fig. 1 Structure of High gain observer

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

직류서보전동기의 전기적 동특성은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$e_a(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + k_b \omega \tag{1}$$

속도를 추정하기 위해서 식(1)을 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$\hat{\omega} = \frac{1}{k_b}[e_a(t) - R_a i_a(t) - L_a \frac{di_a(t)}{dt}] \tag{2}$$

그러나, 식(2)에서 전류 도함수를 알 수 없기 때문에 속도를 직접 추정하는 것은 어려우며, 속도를 추정하기 위해 전류 도함수를 추정해야 한다. 전류 도함수 추정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d\hat{i}_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a}[e_a(t) - R_a i_a(t) - k_b \omega] + K(i - \hat{i}) \tag{3}$$

여기서, K는 관측이득상수

식(2)와 식(3)에서 속도를 관측하기 위해서는 전류 도함수를 알아야 하고 전류 도함수를 관측하기 위해서는 속도를 알아야 하기 때문에 두 식은 서로 모순된다. 따라서, 직류서보전동기의 전류와 전류 도함수를 추정하기 위해 고이득 관측기를 이용하며 추정한 전류와 전류 도함수를 이용하여 속도를 관측한다.

본 논문에서 제안한 직류서보전동기의 전류와 전류 도함수을 추정하기 위한 고이득 관측기 설계식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\hat{i}}_1 = \hat{i}_2 + k_1(i_1 - \hat{i}_1)/\varepsilon \tag{4}$$
$$\dot{\hat{i}}_2 = + k_2(i_1 - \hat{i}_1)/\varepsilon^2 \tag{5}$$

여기서, i_1는 전기자전류, $\hat{i}_1$는 전기자전류 추정값

2.2 적응 고이득관측기

고이득 관측기를 이용하여 직류서보전동기의 전기자 전류의 도함수를 추정하는 것은 가능하지만 고이득 관측기의 관측기 이득 ε, k_1, k_2를 최적값으로 선정하지 않으면 관측기의 성능 저하로 인해 정확한 속도 추정이 어렵게 된다.

따라서 본 논문에서는 퍼지 제어기법을 통하여 직류 서보전동기의 전기자 전류와 전기자 전류의 도함수를 사용하여 관측기 이득 ε, k_1, k_2을 선정하였으며 적응 고이득 관측기의 구조는 그림2와 같고 적응 고이득 관측기의 설계를 위한 퍼지시스템은 그림3과 같다.

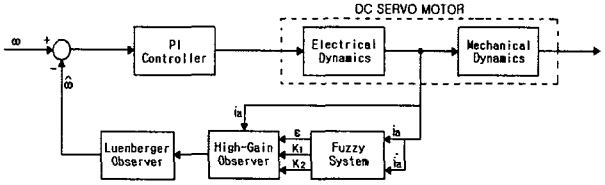

그림 2 적응 고이득 관측기 구조
Fig. 2 Structure of Adaptive High gain Observer

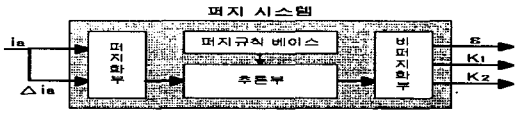

그림 3 퍼지시스템의 구조
Fig. 3 Structure of Fuzzy system

2.2.1 관측기 이득에 따른 시스템 성능

본 논문에서는 시스템의 상태에 적적한 관측기 이득을 선정하기 위하여 시뮬레이션을 통하여 관측기의 이득 ε, k_1, k_2를 조정하여 관측기 이득에 따른 출력특성을 직류 서보전동기에 적용하여 전동기의 회전자 속도 및 전기자 전류를 추정함으로서 고이득 관측기의 관측기 이득에 따른 출력특성을 확인하였으며 결과는 표 1 과 같다.

표 1 관측기 이득에 따른 시스템의 응답
Table 1 System response as the change of observer gain

ε	K_1	K_2	속도추정		전류추정	
			Maximum Overshoot	T_S [s]	Maximum Overshoot	T_S [s]
0.4	40	10	3000.7	0.125	3.2704	0.142
	6	0.6	·	도달못함	·	·
	40	0.1	·	0.172	·	0.2
	1	10	3003	0.2	·	0.2
0.1	40	10	3011.3	0.109	8.7633	0.111
	6	0.6	·	0.157	11.618	0.183
	40	0.1	3071	0.122	6.2849	0.128
	1	10	3064.3	0.111	9.0153	0.114
0.04	40	10	·	0.117	error	error
	6	0.6	3060.7	0.118	7.2776	0.123
	40	0.1	3058.7	0.111	9.0355	0.113
	1	10	·	0.111	error	error

고이득 관측기의 이득 중 ε은 0에 근접할수록 $\hat{x}_1 = x_1$이 되는 특성을 가지므로 ε을 최대한 적게 선정하는 것이 일반적이나 ε을 0.4 이상의 값이나 0.04 이하의 값에서는 출력특성이 현격히 저하되는 특성을 나타내어 적절한 ε의 범위를 0.04 ~ 0.4의 범위로 선정하였다. 그러나 고이득 관측기의 이득인 ε, k_1, k_2 사이의 상호 연관성에 따라 시스템의 출력특성이 다르게 나타난다.

2.2.2 퍼지시스템

(1) 퍼지화부

본 논문은 고이득 관측기의 관측기 이득을 조정하기 위하여 퍼지 시스템을 도입하였으며 퍼지시스템의 입력 값으로는 전기자 전류와 전기자 전류의 도함수를 사용하였다. 따라서 입력 값을 정성화된 퍼지값으로 변환하기 위해서는 그림 4의 비선형 소속함수와 양자화 방법을 가지고 퍼지화 과정을 수행하였다.

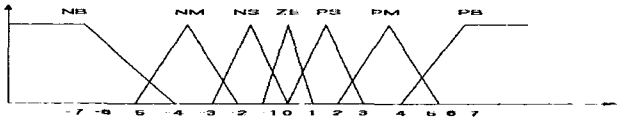

그림 4 비선형 삼각형 소속함수

Fig. 4 Nonlinear triangle membership function

전기자 전류와 전기자 전류의 도함수의 값이 0을 기준으로 절대값이 증가함에 따라 각각의 퍼지변수에 해당하는 소속함수의 폭도 커지도록 설계한 것으로, 오차가 큰 구간에서는 개략제어(coarse control) 특성이 나타나고, 오차가 작은 구간에서는 미세제어(fine control) 특성이 나타나도록 한 것이다.

(2) 퍼지규칙 및 추론

본 논문에서 제안한 적응 고이득 관측기의 설계에 사용된 퍼지 규칙의 형태는 조건부 및 결론부를 혼합 명제로 하였으며 표2, 표3 및 표4와 같다.

또한 본 논문에서 적용한 퍼지시스템의 추론은 Mamdani의 Min-Max 연산을 이용하여 수행하였다.

표 2 ε에 관한 퍼지규칙

Table 2 Fuzzy Rule for ε

Ia \ △Ia	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB						
NM				NM	NM	ZO	
NS			NM	NS	ZO		
ZO			NS	ZO	PS		
PS			ZO	PS	PM		
PM		ZO					
PB	PB						

표 3 K1 에 관한 퍼지규칙

Table 3 Fuzzy Rule for K1

Ia \ △Ia	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NM							
NS							
ZO							
PS							
PM							
PB							

표 4 K2 에 관한 퍼지규칙

Table 4 Fuzzy Rule for K2

Ia \ △Ia	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NS	NM	NB	ZO	PB	PM	PS
NM							
NS							
ZO							
PS							
PM							
PB							

(4) 비퍼지화

본 논문의 비퍼지화 방법은 일반적으로 가장 우수한 성능을 보이는 무게 중심법을 사용하였다. 이 방법은 합성된 출력부 퍼지 집합에서 무게중심을 구하는 방법으로 식 (6)과 같다.

$$u_0 = \frac{\sum_{j=1}^{k} \mu(u_j) \cdot u_j}{\mu(u_j)} \tag{6}$$

3. 시뮬레이션

본 논문에서 설계한 적응 고이득 관측기의 속도추정 성능을 확인하기 위하여 직류서보전동기의 속도센서리스 속도제어에 적용하였으며 시뮬레이션 구성도는 그림 5와 같다.

또한 관측기의 이득이 고정된 고이득 관측기와 비교 시뮬레이션을 수행하여 추정성능을 비교하였으며 모든 시뮬레이션은 MATLAB SIMULINK 프로그램을 사용하여 구현하였다.

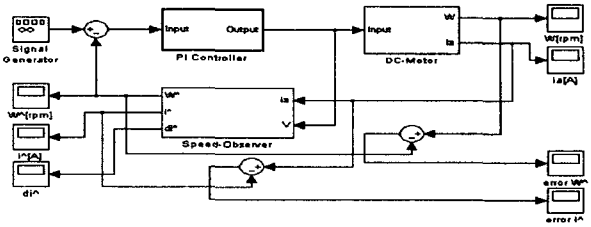

그림 5 시뮬레이션 구성도

Fig. 5 Configuration of Simulation

3.1 정속운전시 속도추정

직류서보전동기의 정격속도인 3000rpm의 목표값에 대해 본 논문에서 제안한 적응고이득 관측기의 속도 추정 성능을 고이득 관측기와 비교 시뮬레이션을 수행하여 그림 6~7에 나타내었으며 그 결과는 표5와 같다.

표 5 무부하 정속운전 시뮬레이션 결과 (3000 rpm)
Table 5 The result of constant speed without load (3000 rpm)

기준입력	기준속도(3000 [rpm])		전류(3.24 [A])	
		Maximum overshoot[rpm]	%OS	Ts [sec]
고이득 관측기	속도	3074	2.47	0.122
	전류	6.43	98.4	0.128
적응 고이득 관측기	속도	3015	0.5	0.315
	전류	3.77	16.4	0.148

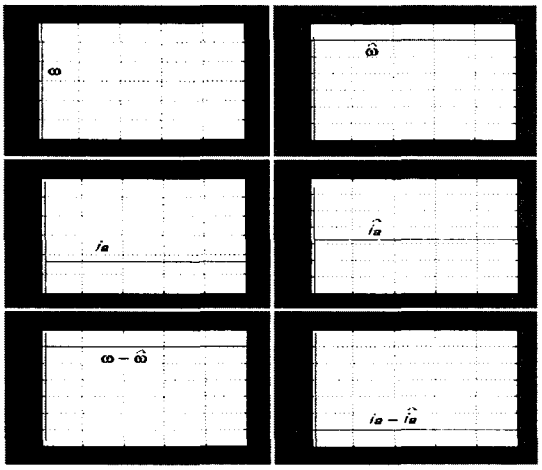

그림 6 정속운전시 고이득관측기 응답
Fig. 6 Response of High gain Observer(constant speed)

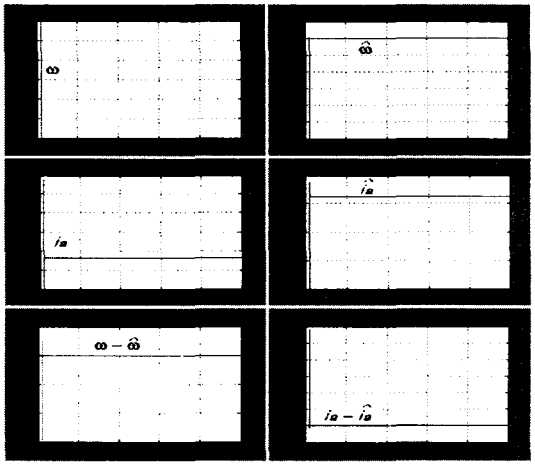

그림 7 정속운전시 적응 고이득관측기 응답
Fig. 7 Response of Adaptive High gain Observer (constant speed)

3.2 저속운전시 속도추정

직류서보전동기의 저속인 100rpm의 목표값에 대해 본 논문에서 제안한 적응고이득 관측기의 속도 추정 성능을 고이득 관측기와 비교 시뮬레이션을 수행하여 그림 8~9에 나타내었으며 그 결과는 표6과 같다.

표 6 무부하 정속운전 시뮬레이션 결과 (100 rpm)
Table 6 The result of constant speed without load (100 rpm)

기준입력	기준속도(100 [rpm])		전류(0.108 [A])	
		Maximum overshoot[rpm]	%OS	Ts [sec]
고이득 관측기	속도	102.47	2.47	0.119
	전류	0.214	98.1	0.128
적응 고이득 관측기	속도	100.8	0.8	0.129
	전류	0.125	15.7	0.148

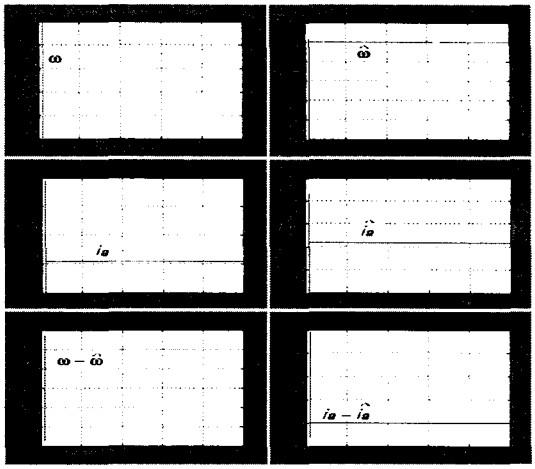

그림 8 정속운전시 고이득관측기 응답
Fig. 8 Response of High gain Observer (constant speed)

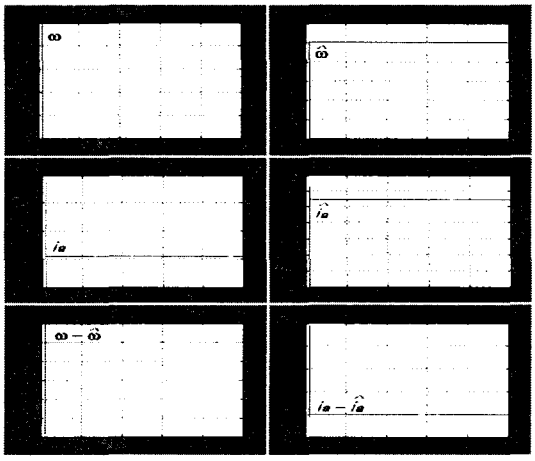

그림 9 정속운전시 적응 고이득관측기 응답
Fig. 9 Response of Adaptive High gain Observer (constant speed)

3.3 시뮬레이션 결과고찰

본 논문의 제안된 적응 고이득관측기의 관측성능을 확인하기 위하여 직류 서보전동기의 속도제어에 적용하여 관측기 이득이 고정된 고이득 관측기와 비교 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 바탕으로 결과를 고찰하면 다음과 같다.

3000[rpm]으로 운전 시 먼저 관측기의 이득이 고정된 고이득 관측기는 기준입력속도에 비해 약 2.45~2.47(%)정도의 오버슈트가 발생하였으며 지령전류에 비해 약 98(%)정도의

오버슈트를 발생하였고 정착시간은 약 0.121~0.122[sec]로 나타났다. 그러나 적응 고이득 관측기는 기준입력속도에 비해 약 0.5(%)정도의 오버슈트가 발생하였으며 지령전류에 비해 약 16.2~16.4(%)정도의 오버슈트를 발생하였고 정착시간은 약 0.133~0.315[sec]로 나타났다.

또한, 100[rpm]인 저속으로 운전시에도 관측기의 이득이 고정된 고이득 관측기는 기준입력속도에 비해 약 2.47~2.5(%)정도의 오버슈트가 발생하였으며 지령전류에 비해 약 98(%)정도의 오버슈트를 발생하였고 정착시간은 약 0.119~0.121[sec]로 나타났다.

그러나 적응 고이득 관측기는 기준입력속도에 비해 약 0.5~0.8(%)정도의 오버슈트가 발생하였으며 지령전류에 비해 약 15.7(%)정도의 오버슈트를 발생하였고 정착시간은 약 0.129~0.33[sec]로 나타났다.

이상의 결과에서 나타나듯 기준입력(속도 및 지령전류)에 대해 적응 고이득 관측기가 고이득 관측기에 비해 오버슈트가 속도에서는 약 2(%)정도 감소되었으며 전류에서는 약 75(%)정도 감소되었다.

그 이유는 관측기의 이득값이 고정되어 있는 고이득 관측기의 경우보다 퍼지동조기법을 이용하여 관측기의 이득값을 시스템의 특성에 맞게 설정하는 적응고이득 관측기가 시스템의 변화에 따른 관측성능이 우수하여 오버슈트가 감소되었다고 할 수 있다.

4. 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 직류서보전동기의 속도센서리스 속도제어를 하기 위하여 적응 고이득 관측기를 적용하였다. 이를 위하여 제작된 디지털 서보 시스템을 이용하여 속도센서를 장착한 경우와 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 적용하여 속도를 추정한 경우를 동일한 조건으로 부하 및 무부하에서 비교실험을 하였으며, 속도제어기로는 PI제어기를 사용하였다. 그림 10은 실험장치 구성도를 나타낸 것이다.

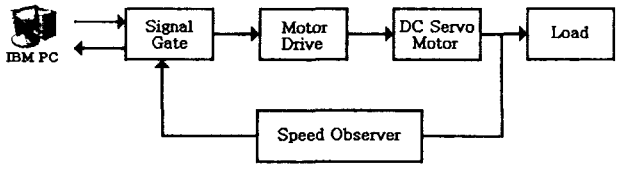

그림 10 실험장치 구성도
Fig. 10 Experimental system configuration

본 실험에서 사용한 전동기는 최대출력 200W(LG기전, FMD-E205A)이며 속도측정을 위한 센서로 1000[펄스/회]의 분해능을 갖는 엔코더를 사용하였다. 실험대상인 직류 서보 전동기 특성을 표 8에 나타내었다.

4.1 실험방법 및 절차

본 논문에서는 직류서보전동기의 속도제어에 있어서 속도센서를 사용하지 않고 관측기를 이용하여 속도를 제어하는데 있다. 따라서 본 논문에서는 적응 고이득 관측기를 이용하여 속도센서 없는 직류서보전동기의 속도제어에 적용시켜 관측기의 추정 성능을 입증하기 위해 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우를 비교 실험하였다. 그 방법은 직류서보전동기를 정속 3000[rpm]과 저속 500[rpm]으로 운전시 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 적용한 경우를 부하 및 무부하 상태로 비교 실험하여 적응 고이득 관측기의 성능을 입증한다.

표 8 직류 서보전동기의 사양
Table 8 DC Servo motor specification

정격출력	Pr	200W	전기자관성	Jm	1.33×10^{-3}*Kgf.cm Sec*
정격토크	Tr	6.50 Kgf.cm	전기자저항	Ra	2.12Ω
정격회전수	Nr	3000 rpm	전기자인덕턴스	La	1.02mH
정격전류	Ir	3.3A	마찰토크	Tf	0.5 Kgf.cm
정격전압	Er	75V	순시최대토크	Tp	27.36Kgf.cm
유기전압정수	Ke	22.50V/K rpm	기계적시정수	tm	6.25ms
토크정수	Kt	2.10 Kgf.cm/A	전기적시정수	te	0.48ms

4.2 정속운전 실험

4.2.1 무부하 실험

그림 11 및 12은 직류 서보 전동기의 무부하 상태에서 계단 입력시(정속 3000[rpm]) 출력특성을 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 고이득 관측기를 이용한 경우를 비교 실험한 것이며, 실험결과는 표 9와 같다.

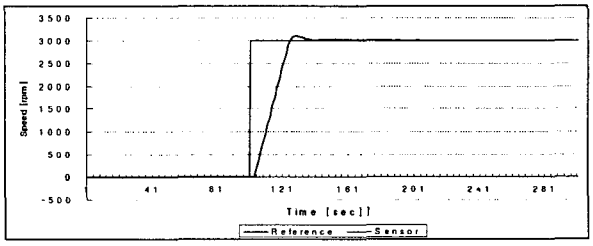

그림 11 속도센서를 이용한 스텝응답
Fig. 11 Step response using speed sensor

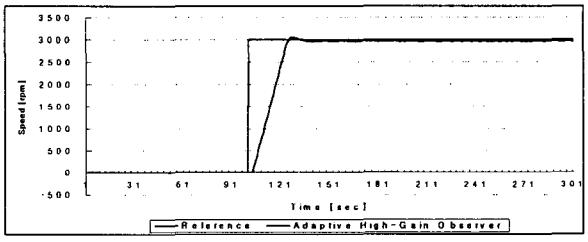

그림 12 속도센서 없이 적응고이득 관측기를 이용한 스텝응답
Fig. 12 Step response using speed-sensorless AHG

표 9 스텝입력 실험결과
Table 9 Experimental result

	최대초과량 [rpm]	최대초과량 백분율 [%]	정착시간 [sec]
기준 속도	3000		1.108
속도센서를 이용한 경우	3049	1.63	1.137
적응 고이득 관측기를이용한 경우	3113	3.76	1.346

표 9의 결과와 같이 스텝입력 실험에서의 출력응답은 최대초과량 백분율에서 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우에 비하여 약 2.13[%] 정도 증가했으며, 정착시간에 있어서도 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우에 비해 약 0.21초 정도 느리게 나타났다. 따라서, 적응 고이득 관측기가 과도상태와 정상상태에서 추정성능이 우수하며, 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우의 응답 특성에 근접하다는 것을 입증하였다.

4.2.2 부하 실험

그림 13과 그림14는 직류 서보 전동기의 부하 상태에서 계단 입력시(정속 3000[rpm]) 출력특성을 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우를 비교 실험한 것이며, 실험결과는 표 10과 같다.

표 10 스텝입력 실험결과
Table 10 Experimental result

	출력 [rpm]	기준입력과의 오차 [%]
기준 속도	3000	
속도센서를 이용한 경우	2896	3.46
적응 고이득 관측기를이용한 경우	2968	1.06

표 10의 결과와 같이 부하 인가시 스텝입력 실험에서의 출력응답은 속도센서 없이 적응고이득 관측기를 이용한 경우가 2968[rpm]이고, 속도센서가 있는 경우는 2896[rpm]으로 나타났으며, 부하 인가시 오차는 속도센서 없이 적응고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우에 비해 약 2.4[%]정도 감소하였다. 따라서, 적응 고이득 관측기가 부하인가시 속도센서에 비해 오차가 감소하므로 속도센서에 비해 부하 인가 시에는 적응 고이득 관측기가 속도센서에 비해 강인한 특성을 보였다.

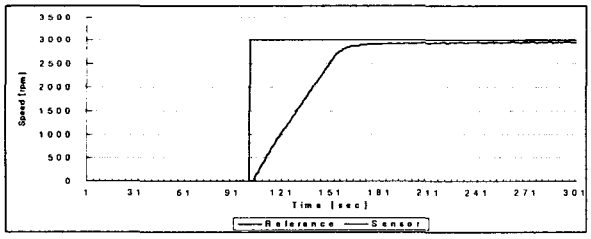

그림 13 속도센서를 이용한 스텝응답
Fig. 13 Step response using speed sensor

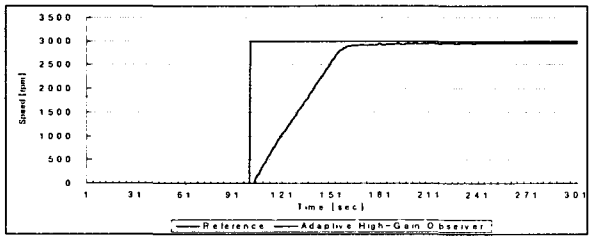

그림 14 속도센서 없이 적응고이득 관측기를 이용한 스텝응답
Fig. 14 Step response using speed-sensorless AHG

4.3 저속운전 실험

4.3.1 무부하 실험

그림 15과 그림16는 직류 서보 전동기의 무부하 상태에서 스텝 입력시(저속 500[rpm]) 출력특성을 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우를 비교 실험한 것이며, 실험결과는 표 11과 같다.

표 11 스텝입력 실험결과
Table 11 Experimental result

	최대초과량 [rpm]	최대초과량백분율 [%]	정착시간 [sec]
기준 속도	500		1.08
속도센서를 이용한 경우	540	8	1.11
적응 고이득 관측기를이용한 경우	564	12.8	1.12

표 11의 결과와 같이 저속운전(500[rpm]) 실험에서의 출력응답은 최대초과량 백분율에서 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우에 비하여 약 4.8[%]정도 증가했으며, 정착시간에 있어서도 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우에 비해 약 0.01초 정도 느리게 나타났다. 적응 고이득 관측기가 과도상태와 정상상태에서 추정성능이 우수하며, 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우의 응답 특성에 근접하다는 것을 입증하였다.

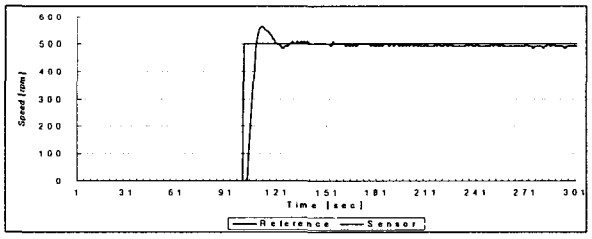

그림 15 속도센서를 이용한 스텝응답
Fig. 15 Step response using speed sensor

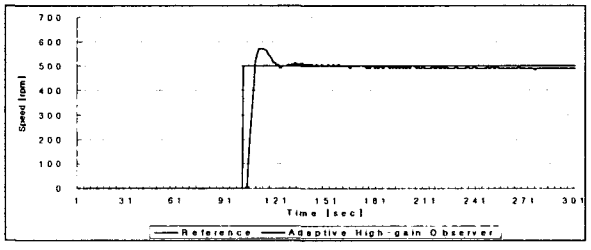

그림 16 속도센서 없이 적응고이득 관측기를 이용한 스텝응답
Fig. 16 Step response using speed-sensorless AHG

4.3.2 부하 실험

그림 17과 그림18은 직류 서보 전동기의 부하 상태에서 스텝 입력시(저속 500[rpm]) 출력특성을 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우를 비교 실험한 것이며, 실험결과는 표 12와 같다.

표 12 스텝입력 실험결과
Table 12 Experimental result

	출력 [rpm]	기준 입력과의 오차[%]
기준 속도	500	
속도센서를 이용한 경우	476	4.8
적응 고이득 관측기를이용한 경우	492	1.6

표 12의 결과와 같이 부하 인가시 저속운전(100[rpm]) 실험에서의 부하 인가시 오차는 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우가 속도센서가 있는 경우에 비해 약 3.2[%]정도 감소하였다.

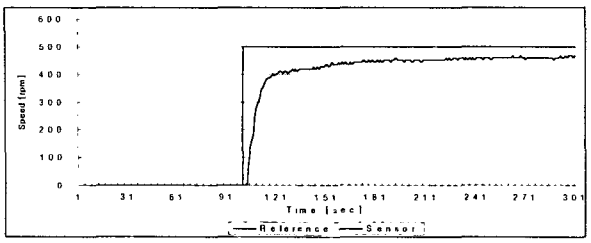

그림 17 속도센서를 이용한 스텝응답
Fig. 17 Step response using speed sensor

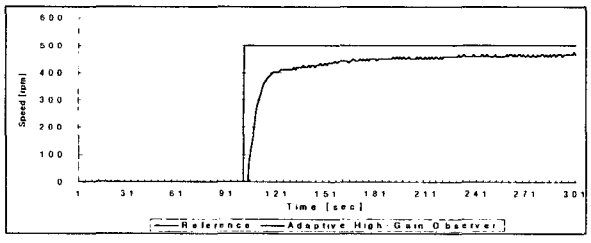

그림 18 속도센서 없이 적응고이득 관측기를 이용한 스텝응답
Fig. 18 Step response using speed-sensorless AHG

5. 결 론

본 논문에서는 직류서보전동기의 속도센서리스 속도제어를 수행하기 위하여 관측기에 대한 연구로서 전동기의 동특성 및 내부파라미터에 대한 정보를 필요하지 않는 강인한 특성을 갖는 적응 고이득 관측기를 제안했다. 또한 과도상태에서의 응답특성 개선과 저속에서의 운전 특성 향상을 입증하기 위하여 직류서보전동기의 무부하시 정속과 저속 시뮬레이션을 수행하여 관측기 이득이 고정된 고이득관측기를 이용한 경우와 적응 고이득 관측기를 이용한 경우를 비교하였으며, 직류서보전동기의 무부하 및 부하시 정속과 저속 실험을 통하여 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 적응 고이득 관측기를 이용한 경우를 비교 실험한 결과 본 논문에서 제안한 적응 고이득 관측기를 직류서보전동기에 적용하여 정속운전시 과도상태와 정상상태에서 안정성 및 추정성능이 우수하다는 것을 입증하였으며, 속도센서가 있는 제어시스템의 응답에 근접한 특성을 나타내었다. 또한 부하외란에 대하여 강인한 성능을 가짐을 입증하였다.

참 고 문 헌

[1] Masahiro Takigawa, et. al. "A Wide Speed Control System for Brushless DC Motor Regarding to the Transient Response Characteristics," T. IEEE Japan, vol.113-D, No.2 pp.151-158, 1993

[2] K, Nandam. Pradeep, "Analog and Digital Speed Control of DC Drives Using Proportional-Integral and Integral-Proportional control techniques",IEEE Trans. Ind. Elect., Vol. IE-34, No.2, pp. 227-233, 1987

[3] 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

[4] Z. Iwai, A. Inoue, and S. Kswaji, "Observer", Corona Pub., 1994 (in Japanese)

[5] H. Nakano and I. Takahashi,"Speed Sensorless Field-Orientation Control of the Induction Motor Using an Instaneous slip Frequency Estimation Method", IEEE PESC., pp. 847-854, 1988

[6] Joachim Holtz, "Speed Estimation and Sensorless Control of AC Drives", IEEE IECON, pp.649-654, 1993

[7] Kubota, "DSP-Based Speed Adaptive Flux Observer of Induction Motor", IEEE Trans, Ind. Appl., Vol.29, No.2, Mar., pp344-348, 1993

[8] M. Naidu and B. K. Bose, "Rotor Position Estimation Speed of a Permanet Magnet Synchronous Machine for High Performance Variable Speed Drive", IEEE-IAS Conf. REc., pp.48-53, 1992

[9] N. Ertugrul and P. P. Acarnley, "A New Algorithm for Sensorless Operation of Permanent Magnet Motors", IEEE Trans, on IA., Vol. 30, No.1, pp. 126-133. 1994

[10] N. Matsui, T. Takeshita, and K. Yasuda, "A New Sensorless Drive of Brushless DC motor", IEEE-IECON Conf. REc., pp. 430-435, 1992

[11] 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

[12] E. A. Misawa and J. K. Hedrick, "Nonlinear Observers ; A State- of-the Art Survey", Trans. ASME, J. Dynamic Syst., Measurement and Contr., Vol. 111, pp. 344-352 1989

[13] G. B. Wang, S. S. Peng, and H. P. Huang, "A sliling Observer for nonlinear Process Control", Chemical Engineering Science, Vol. 52, pp.787-805, 1997

[14] G. Besancon, "Farther Results on High Gain Observers for Nonlinear Systems" Proceedings of the 38th IEEE Conference on Decision and Control, Vol. 3, December 1999, pp. 2904-2909

[15] E. S. shin and K. W. Lee, "Robust Output Feedback Control of Robot Manipulators Using High-Gain Observer", Proceedings of the IEEE International Conference on Control Applications, Vol. 1, pp. 881-886, 1999

[16] E. H. Mamdani, " Application of Fuzzy Logic to Approximate Reasoning Using Linguistic Synthesis", IEEE Trans. on Computer, Vol. c-26, No.12, pp.1182-1199, 1997

[17] W. J. M. Kickert and E.H. Mamdani, "Analysis of Fuzzy Logic Controller", Fuzzy set and System, Vol.1, pp.29-44, 1978

저 자 소 개

김 상 훈 (金 相 勳)

1971년 6월 29일생. 1998년 2월 호서대학교 공대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 건국대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정. 한라대학교 전기전자제어공학부 겸임교수

Tel : 02) 456-2585, Fax : 02) 444-8868

E-mail : shkim30@konkuk.ac.kr

김 낙 교 (金 洛 敎)

1949년 2월 4일생. 1973년 한양대학교 공대 전기공학과 졸업. 1977년 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1986-87 Oregon State Univ. 교환교수. 1996-97 Ohio State Univ. 교환교수. 1978-80 한국원자력연구소 선임연구원. 1980-현재 건국대학교 전기공학과 교수

Tel : 02) 450-3485, Fax : 02) 447-9186

E-mail : lkkim@konkuk.ac.kr