

## 퍼지관측기를 이용한 직류 서보전동기 저속운전 성능개선

\*구자일, \*이중호, \*엄우용, \*안창환  
\*인하공업전문대학 디지털전자정보과

### 1. 서론

전동기 제어 시 반드시 필요한 속도센서는 전동기의 저속구간 운전 시 많은 문제점을 야기하며 이를 해결하기 위해 속도센서 대신 관측기를 설계하는 방법이 연구되고 있다. 현재까지의 관측기들의 문제점을 극복하기 위하여 현재 지능형 제어기법이 다양하게 도입되고 있으며, 그 중 대표적인 방식이 퍼지제어 기법이다. 따라서 본 논문에서는 적용 제어 기법 중 퍼지 제어 기법을 이용하여 관측기의 이득 값을 적절히 선정하였으며, 기존의 방식에 비해 과도특성이 우수하고 구현이 용이한 퍼지 관측기를 설계하였다. 또한, 본 논문에서 설계한 퍼지 관측기를 이용하여 직류 서보 전동기에서 측정된 전기자 전류 값으로 전기자 전류의 도함수를 직접 추정한다. 또 이 추정값으로 회전자의 속도를 추정하고 추정된 속도를 이용하여 속도제어를 수행하는 새로운 방식의 속도 센서리스 제어 방식을 제안하였다.

### 2. 요약

본 논문에서는 직류 서보 전동기의 속도 센서리스 제어를 수행하기 위해서 직류 서보 전동기의 전기적 동특성을 이용하여 속도를 관측하며 그림 1과 같다.

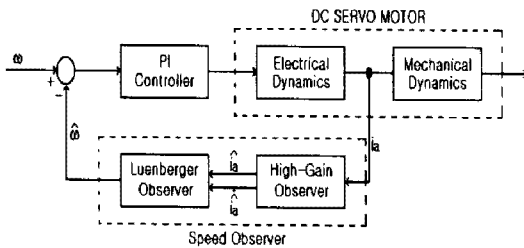


그림 1. 속도 관측기의 구조  
Fig. 1. Structure of Speed observer

그러나 직류 서보 전동기의 전기적 동특성만으로 속도를 관측한다는 것은 문제점이 있기 때문에 직접 속도를 추정하는 것은 어렵게 된다.

직류 서보 전동기의 전기적 동특성은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

속도를 추정하기 위해서 식(1)을 식(2)로 나타낼 수 있다.

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

그러나 식(2)에서 전류 도함수( $\frac{di_a(t)}{dt}$ )을 알 수 없기 때문에 속도를 직접 추정하는 것은 어려우며, 속도를 추정하기 위해 전류 도함수를 추정해야 한다. 전류 도함수 추정 식은 다음 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

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

식(2)와 식(3)에서 속도를 관측하기 위해서는 전류 도함수를 알아야 하고 전류 도함수를 관측하기 위해서는 속도를 알아야 하며 직류 서보 전동기의 전류와 전류 도함수를 추정하기 위해 고이득 관측기를 이용하며 추정된 전류와 전류 도함수를 이용하여 속도를 관측한다.

본 논문에서 제안한 직류 서보 전동기의 전류와 전류 도함수를 추정하기 위한 고이득 관측기 설계 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\hat{i}}_1 &= \hat{i}_2 + k_1(i_1 - \hat{i}_1)/\epsilon \\ \dot{\hat{i}}_2 &= \quad + k_2(i_1 - \hat{i}_1)/\epsilon^2 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $i_1$ 는 전기자전류,

$\hat{i}_1$ 는 전기자전류 추정값

고이득 관측기를 이용하여 직류 서보 전동기의 전기자 전류의 도함수를 추정하는 것은 가능하지만 속도 관측기인 Luenberger 관측기의 관측기 이득  $L$  을 최적 값으로 선정하지 않으면 관측기의 성능 저하로 인해 정확한 속도 추정이 어렵게 된다. 따라서 본 논문에서는 퍼지 제어기법을 통하여 직류 서보전동기의 전기자 전류와 전기

자 전류의 도함수를 사용하여 Luenberger 관측기 이득  $L$  을 선정하였으며 퍼지 관측기의 구조는 그림 2와 같다.

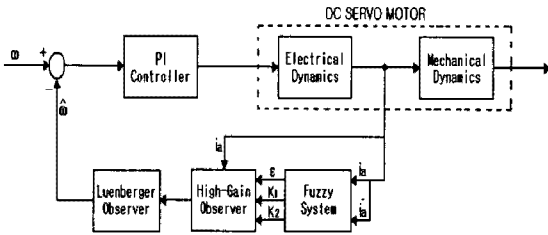


그림 2. 퍼지 관측기 구조  
Fig 2. Structure of Fuzzy Observer

본 논문은 속도 관측기로 사용된 Luenberger 관측기의 관측기 이득을 조정하기 위하여 퍼지 시스템을 도입하였으며 퍼지 시스템의 입력 값으로는 전기자 전류와 전기자 전류의 도함수를 사용하였다. 따라서 입력 값을 정성화된 퍼지 값으로 변환하기 위해서는 그림 3의 비선형 소속 함수와 양자화 방법을 가지고 퍼지화 과정을 수행하였다.

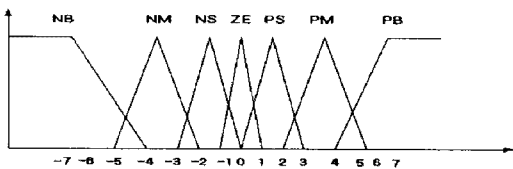


그림 3 비선형 삼각형 소속함수  
Fig 3 Nonlinear triangle membership function

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

본 논문에서 제안한 퍼지 관측기의 설계에 사용된 퍼지 규칙의 형태는 조건부 및 결론 부를 혼합 명제로 하였으며 표 1과 같다. 또한 본 논문에서 적용한 퍼지 시스템의 추론은 Mamdani의 Min-Max 연산을 이용하여 수행하였다.

표 1 관측기 이득  $L$  에 관한 퍼지 규칙  
Table 1 Fuzzy rule for observer gain  $L$

$\Delta i_a$	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB						
NM	NB	NB	NM	NM	NM	ZO	ZO
NS	NB	NM	NM	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZO	PS	PM	PM	PM
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	PB						

본 논문의 비퍼지화 방법은 일반적으로 가장 우수한 성능을 보이는 무게 중심법을 사용하였다. 이 방법은 합성된 출력부 퍼지 집합에서 무게중심을 구하는 방법으로 식(5)와 같다.

$$u_0 = \frac{\sum_{j=1}^k \mu(u_j) \cdot u_j}{\mu(u_j)} \quad (5)$$

### 3. 결론

본 논문에서는 과도상태에서의 응답특성 개선과 저속에서의 운전 특성 향상을 입증하기 위하여 직류 서보 전동기의 무부하 및 부하 시 저속 실험을 통하여 속도센서가 있는 경우와 속도센서 없이 퍼지 관측기를 이용한 경우를 비교 실험한 결과 본 논문에서 제안한 퍼지 관측기를 직류 서보 전동기에 적용하여 저속 운전 시 과도상태와 정상상태에서 안정성 및 추정성능이 우수하다는 것을 입증하였으며, 속도센서가 있는 제어시스템의 응답에 근접한 특성을 나타내었다. 또한 부하외란에 대하여 강인한 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.