

상태 관측기 및 보상기를 이용한 전동기의 센서리스 운전

김 운호 윤 병도 양 찬모
 중앙대학교 전기공학과

Sensorless Operation of DC Motors Using State Observers and Compensators

Yoon-Ho Kim, Byung-Do Yoon, Chan-Mo Yang*
 Dept. of Electrical Engineering, Chung-Ang University

Abstract

Generally, when servo system is used, various sensors are required to have comparison and compensation to the reference value.

However, the sensors are relatively expensive and cannot be always implemented because of the limit of space or the environmental conditions.

In this paper, state observer systems without sensors are investigated. State observer systems are required to estimate the states quickly and exactly without being affected by the disturbances. Thus, in this paper, the effects of systems poles and observer poles are studied. In addition, the parameter variations are also considered to evaluate the effect of them to the observer based systems. Also, in this paper a whole system which includes compensators, observers and loads are considered and analysed by using numerical simulations.

1. 서 론

본 논문에서는 옵저버 이론을 이용하여 속도 검출기와 같은 센서를 사용하지 않고 속도나, 부하 토크를 추정하는 알고리즘을 구성하였다.^[1]

또한 PI 제어기등과 같은 보상기를 결합 하였을 때의 전체 시스템을 시뮬레이션 하였고 상태관측기의 극배치^[2], 외란과 파라메타 변동이 시스템에 미치는 영향에 대해서도 고찰해 보았다.

일반적으로 전동기의 제어 시스템에서 부하 외란에 따른 속도나 토크 변화를 정확히 감지하여 기준값과 비교 보상하는 데는 센서를 필요로 한다. 그러나 센서는 시스템에서 차지하는 비용이 높고, 공간적, 환경적 제약이 따르는 곳에서는 설치에 어려움이 따른다.

이를 대체하는 것이 상태 관측기(State Observer)이다. 이를 위해서는 신호처리 행태가 필요 하고 이는 마이크로 프로세서나 DSP의 추가적인 요구를 생기게 한다. 그러나 디지털 프로세서 처리 속도가 빨라지고 비용이 낮아져서 이 부가적인 신호처리는 부담이 점차 줄어들고 있고 따라서 옵저버를 이용한 제어를 더욱 필요로 하게 되었다.

본 논문에서는 보상기 결합시의 옵저버 작용, 부하외란과 파라메타 변화, 극 배치가 시스템에 주는 영향을 고찰 이를 컴퓨터 시뮬레이션 하여 실제 적용에 가능 하도록 하였다.

2. 상태 관측기의 이론적 고찰

제어 시스템 구성 중 중요한 부분중의 하나는 필요한 상태변수를 궤환(Feedback) 하는 것이다. 그러나 실제로는 모든 상태 변수를 알수 없고 시스템 출력만이 측정 가능하다.

2-1 동일 차원 상태 관측기

전형 모델이 식 (2-1), (2-2) 와 같이 주어질때

$$\dot{X} = A X + B U \quad (2-1)$$

$$Y = C X \quad (2-2)$$

상태 변수에 접근 불가능하고 행렬 A, B 와 C를 완전히 알고 있다면 원래 시스템과 중복된 시스템을 만들수 있다.

이 시스템을 오픈루프 추정기(Open Loop Estimator)라 한다. 이 추정기는 초기상태가 반드시 계산되어야 하고 추정기를 사용하는 시간마다 세브해야 하며 초기의 부정확한 추정으로 $X(t_0)$ 와 $\hat{X}(t_0)$ 사이의 작은 오차가 있다하더라도 시간이 경과함에 따라서 실상태 $X(t_0)$ 와 추정된 $\hat{X}(t_0)$ 사이의 차이는 증가할 것이다. 이런 단점 으로 오픈 루프 추정기는 잘 사용 하지 않는다.

그림 2-1 에서보면 추정기는 시스템의 입력뿐만 아니라 출력에의해서도구동된다. 원래 시스템의 출력 $Y = C X$ 와 $\hat{Y} \triangleq C \hat{X}$ 의 차이는 추정오차 부분을 보정하는데 기여한다. 이와 같은 추정기를 점근적 상태 추정기라 한다.

그림 2-1에 그려진 점근적 상태 관측기 식은 식 (2-3) 과 같다.

$$\dot{\hat{X}} = A \hat{X} + B U + L (Y - C \hat{X}) \quad (2-3)$$

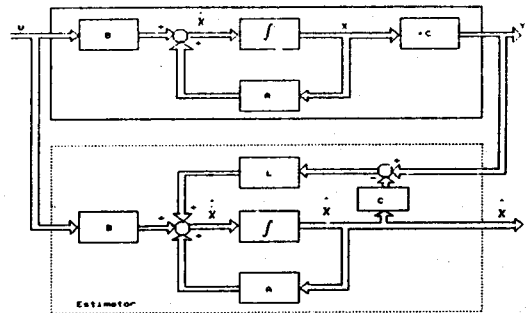


그림 2-1 점근적 상태 추정기의 블록도

여기서 \hat{X} 는 추정치 A, B, C 는 각각 $n \times n$, $n \times p$, $q \times n$ 이고 L 은 $n \times q$ 벡터이다.

y 와 C \hat{X} 의 차, $y - C \hat{X}$ 는 L 행렬에 의해 곱해지고 관측기의 적분입력으로 궤환 된다. 식 (2-3) 을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\dot{X} = (A - LC) \hat{X} + L y + B U \quad (2-4)$$

\hat{X} 를 $\tilde{X} = X - \hat{X}$ 으로 정의 하면

\tilde{X} 는 실제 상태와 추정 상태의 오차가 된다.

$$\dot{\tilde{X}} = (A - LC) \tilde{X} \quad (2-5)$$

(A-LC)의 고유치를 임의로 설정 한다면 오차 \tilde{X} 는 조정될수있고, 예를 들어 고유치가 음의 실수 σ 보다 작다면 \tilde{X} 의 모든 요소가 $e^{\sigma t}$ 보다 빠르게 Zero 로 접근한다.

2.2 최소 차원 상태 관측기

n 차 시스템이 식 (2-1), (2-2)와 같은 동특성 방정식으로 주어지고 A, B, C 는 각각 n x n, n x p, q x n 벡터이고 C 의 계수(階數)는 q 일때

$$\text{정칙 행렬 } P \text{ 를 } P = \begin{bmatrix} C \\ R \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

라 정의한다. 이때 R 은 임의의 (n - q) x n 행렬이다. P 의 역행렬을 구하면 다음과 같다.

$$Q \triangleq P^{-1} = [Q_1 \mid Q_2] \quad (2-7)$$

여기서 Q₁ 과 Q₂ 는 n x q, n x (n - q) 의 행렬이다.

$$I = P Q = \begin{bmatrix} C \\ R \end{bmatrix} [Q_1 \mid Q_2] = \begin{bmatrix} C Q_1 & C Q_2 \\ R Q_1 & R Q_2 \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} I_q & 0 \\ 0 & I_{n-q} \end{bmatrix} \quad (2-8)$$

식 (2-1) 을 $\bar{X} = P X$ 인 등가 변환에 의해 변환 하면

$$\dot{\bar{X}} = P A P^{-1} \bar{X} + P B U \\ Y = C P^{-1} \bar{X} = C Q \bar{X} = [I_q \ 0] \bar{X} \text{ 이 된다.}$$

이를 다음과 같이 분리 할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\bar{X}}_1 \\ \dot{\bar{X}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A}_{11} & \bar{A}_{12} \\ \bar{A}_{21} & \bar{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{X}_1 \\ \bar{X}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{B}_1 \\ \bar{B}_2 \end{bmatrix} U \quad (2-9)$$

$$Y = [I_q \ 0] \bar{X} = \bar{X}_1 \quad (2-10)$$

\bar{X}_1 은 \bar{X} 의 첫번째 q 요소로 구성되고 \bar{X}_2 는 \bar{X} 의 여인자이다.

\bar{A}_{11} , \bar{A}_{12} , \bar{A}_{21} , \bar{A}_{22} 는 각각 q x q, q x (n - q), (n - q) x q, (n - q) x (n - q)

x (n - q) 식 (2-10) 로 부터 $Y = \bar{X}_1$ 를 알았다.

그러므로 \bar{X} 의

마지막 (n - q) 요소만 추정이 필요하다.

$\bar{X}_1 = Y$ 를 이용하여 식 (2-9) 를 다음과 같이 쓰면

$$\dot{Y} = \bar{A}_{11} Y + \bar{A}_{12} \bar{X}_2 + \bar{B}_1 U$$

$$\dot{\bar{X}}_2 = \bar{A}_{22} \bar{X}_2 + \bar{A}_{21} Y + \bar{B}_2 U \quad (2-11)$$

가 되고

$\bar{U} = \bar{A}_{12} Y + \bar{B}_2 U$, $W = \dot{Y} - \bar{A}_{11} Y - \bar{B}_1 U$ 로 정의하면

$$\dot{\bar{X}}_2 = \bar{A}_{22} \bar{X}_2 + \bar{U} \quad (2-12)$$

$$W = \bar{A}_{12} \bar{X}_2$$

(n - q) 차원 \bar{X}_2 의 상태 추정기의 식은 다음과 같다.

$$\dot{\bar{X}}_2 = (\bar{A}_{22} - \bar{L} \bar{A}_{12}) \bar{X}_2 + \bar{L} W + \bar{U} \quad (2-13)$$

식 (2-13)에 식 (2-12)를 대입하여 정리한다.

$$Z = \dot{\bar{X}}_2 - \bar{L} Y \quad (2-14)$$

로 정의하면

$$Z = (\bar{A}_{22} - \bar{L} \bar{A}_{12}) Z + [(\bar{A}_{22} - \bar{L} \bar{A}_{12}) \bar{L} \\ + (\bar{A}_{21} - \bar{L} \bar{A}_{11})] Y + (\bar{B}_2 - \bar{L} \bar{B}_1) U \quad (2-15)$$

이 된다.

$\bar{X}_1 = Y$ 와 $\dot{\bar{X}} = Z + \bar{L} Y$ 를 결합하면

$$\dot{\bar{X}} = \begin{bmatrix} \dot{\bar{X}}_1 \\ \dot{\bar{X}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y \\ \bar{L} Y + Z \end{bmatrix} \quad (2-16)$$

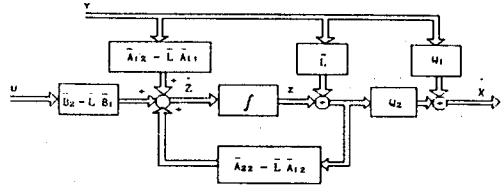


그림 2-2 (n-q) 차원 상태 추정기

3. 상태관측기를 이용한 직류 전동기의 운전

3-1. 타여자 직류전동기의 수학적 모델링

타여자 직류전동기를 모델링 하기 앞서 다음과 같은 가정을 한다.

- (1) 계자 전류와 자속은 일정하다. : 전기자 반작용과 계자 자속변화 영향을 무시한다.
- (2) 모터 속도와 부하속도는 동일하다. : 모터속과 부하 사이의 비틀림 공진을 무시한다.

$$V_1(t) = R_a i_a(t) + V_g(t) + L_a \dot{i}_a(t) \quad (3-1)$$

$$V_g(t) = K_a \Phi \omega_r(t) \quad (3-2)$$

$$V_g(t) = K_e \omega_r(t) \quad (3-3)$$

$$T = T_L + J \dot{\omega}_r + B \omega_r \quad (3-4)$$

식 (3-3) 에서 T_L 은 미지이고 접근 불가능한 입력이지만 T_L 을 매순간마다의 스텝입력으로 가정하여 다음과 같은 상태방정식으로 하여 관측가능한상태로 변화한다.

$$\hat{T}_L = e T_L$$

여기서 e 는 아주작은 양의 실수이다.

전체시스템을 상태 행렬로 나타내면 다음과 같다

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{\hat{T}}_L \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & 0 & -\frac{K_e}{L_a} \\ 0 & e & 0 \\ -\frac{K_e}{J} & -\frac{1}{J} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ T_L \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e u$$

$$Y = [1 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} I_a \\ T_L \\ \omega_r \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

3-2. 상태관측기를 이용한 상태추정

3-2-1 전류 추정을 이용한 속도와 부하 토크의 추정

식 (3-5) 의 시스템은 완전 가관측 하므로 전동기속도와 부하 토크를 전결에서 기술 하였던 최소차원 상태 관측기의 식에 따라 T_L , ω_r 를 추정하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_a \\ \dot{T}_L \\ \dot{\omega}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & 0 & -\frac{K_e}{L_a} \\ 0 & e & 0 \\ -\frac{K_e}{J} & -\frac{1}{J} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ T_L \\ \omega_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} e u$$

$$\begin{bmatrix} \dot{Z}_1 \\ \dot{Z}_2 \end{bmatrix} = [\bar{A}_{22} - \bar{L} \bar{A}_{12}] Z + [\bar{A}_2 L + (\bar{A}_{21} - \bar{L} \bar{A}_{11})] Y \\ + [\bar{B}_2 - \bar{L} \bar{B}_1] U \quad (3-6)$$

여기서

$$\bar{A}_{11} = [-\frac{R_a}{L_a}] = [a_{11}] \quad \bar{A}_{12} = [0 - \frac{K_e}{L_a}] = [a_{21} \ a_{22}]$$

$$\bar{A}_{21} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{K_e}{J} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{41} \\ a_{42} \end{bmatrix} \quad \bar{A}_{22} = \begin{bmatrix} e & 0 \\ -\frac{1}{J} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{51} & a_{52} \\ a_{61} & a_{62} \end{bmatrix}$$

$$\bar{B}_1 = [\frac{1}{L_a}] = [b_{11}] \quad \bar{B}_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{21} \\ b_{22} \end{bmatrix}$$

$$\hat{i} = \begin{bmatrix} \hat{l}_1 \\ \hat{l}_2 \end{bmatrix} \quad \text{이다.}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{T}_L \\ \hat{\omega}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} I_a \quad (3-7)$$

3-2-2 속도 측정을 이용한 전류와 부하 토크의 추정

$$P \begin{bmatrix} \omega \\ I_a \\ T_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{K_e}{J} & -\frac{1}{J} \\ -\frac{K_e}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ I_a \\ T_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} E_a$$

식 (3-6) 에 대입하여 \hat{I}_a, \hat{T} 를 구한다.

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_a \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \end{bmatrix} I_a \quad (3-8)$$

3-2-4. 시뮬레이션 결과

그림 3-1 는 전류를 측정하여 속도를 추정한 것으로 실제 속도와 추정 속도가 과도상태 구간없이 전구간을 통해서 일치함을 볼 수 있다.

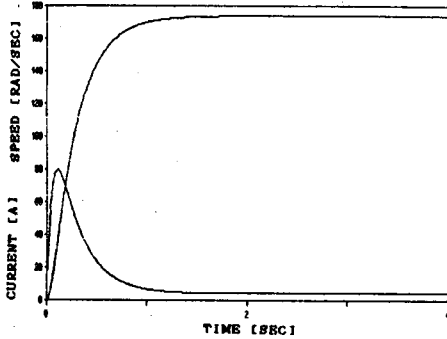


그림 3-1. 실제 속도와 추정 속도, 전류 그래프

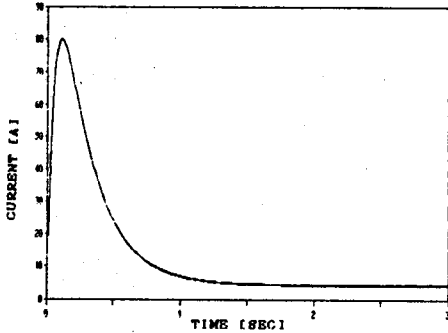


그림 3-2 속도 측정을 이용한 전류의 추정 그래프

그림 3-2 은 속도를 측정하여 전류와 전류를 추정함으로써 전류를 추정하는 방법에서와 같이 추정상태가 실제상태에 일치시됨을 알 수 있다.

그림 3-3 은 속도를 측정하여 부하토크를 추정함으로써 0.2초 이내로 실제값에 도달함을 보여준다.

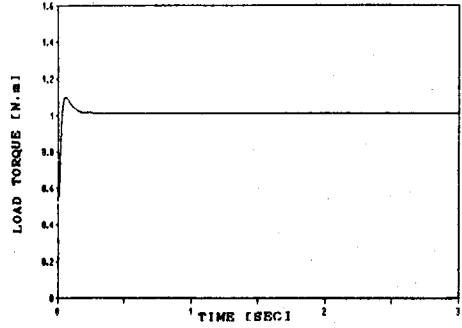
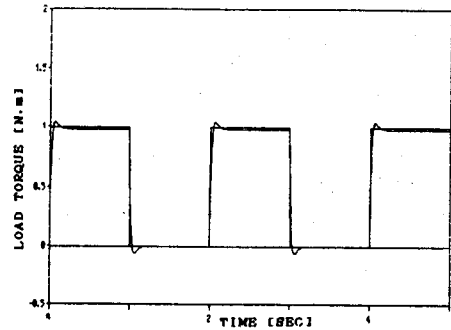
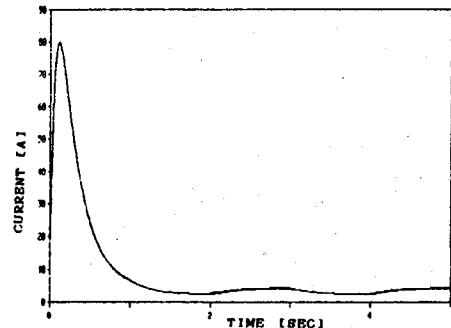


그림 3-3 속도 측정을 이용한 부하토크의 추정 그래프

그림 3-4 (a), (b) 는 1 N.m 의 부하와란이 매초간격으로 인가될때의 부하토크를 추정한 것으로 실제상태와 거의 일치함을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 3-4 부하 토크가 1초 마다 인가될때의 추정 부하토크 그래프 및 추정 전류 그래프

4. 보상기와 상태관측기

4-1. 상태관측기의 극 배치법

음저버의 극은 식(3-6)에서 $(A_{22} - LA_{12})$ 의 고유치로 주어진다. 극을 공액 복소수, 혹은 실수로 되게 복소수 평면상의 좌반면으로 배치 함으로써 실상상태(actual state)로 빠르게 수렴 시킬 수 있다.

음저버 이득 $\bar{L} = [l_1 \ l_2]^T$ 은 극을 선정함으로써 구할 수 있고 음저버 극은 식 (4-1)의 s 값이 된다.

$$\det [sI - (A_{22} - LA_{12})] = (s-P_1)(s-P_2) \quad (4-1)$$

식 (4-1) 을 계산 하면 다음과 같다.

$$s^2 - (a_5 - l_1 a_2 + a_9 - l_2 a_3)s + R = s^2 - (P_1 + P_2)s + P_1 P_2$$

여기서, $R = a_5 a_9 - a_3 l_2 a_5 - l_1 a_2 a_9 - a_5 a_3 + a_9 l_1 a_3 + l_2 a_2 a_6$

이고 $a_2, a_4, a_6, a_9, b_2, b_3 = 0$ 이므로 다음과 같다.

$$l_1 = \frac{P_1 P_2}{a_3 a_8} + \frac{a_5 (a_5 - (P_1 + P_2))}{a_3 a_8}$$

$$= \frac{P_1 P_2 + a_5^2 - a_5(P_1 + P_2)}{a_3 a_8}$$

$$l_2 = \frac{a_5 - (P_1 + P_2)}{a_3}$$

4-2. 보상기와 결합된 시스템

보상기와 결합된 시스템 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + B(r + KX) \\ &= (A + BK)X + Br \\ Y &= CX \end{aligned} \quad (4-2)$$

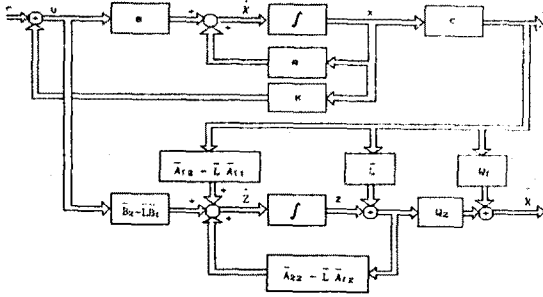


그림 4-1. 보상기와 결합된 상태 관측기

보상기와 결합된 최소차원 옵저버의 식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \\ \dot{X}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} r + \begin{bmatrix} k_1 & k_2 & k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix}$$

$$\dot{Z} = [\bar{A}_{22} - \Gamma \bar{A}_{12}] Z + [\bar{A}_2 \Gamma + (\bar{A}_{21} - \Gamma \bar{A}_{11}) Y + [B_2 \Gamma B_1] r$$

여기서 $\bar{A}_{11} = [a_1 + b_1 k_1]$ $\bar{A}_{12} = [a_2 + b_2 k_2 \ a_3 + b_3 k_3]$

$$\bar{A}_{21} = \begin{bmatrix} a_4 + b_2 k_1 \\ a_7 + b_3 k_1 \end{bmatrix} \quad \bar{A}_{22} = \begin{bmatrix} a_5 + b_2 k_2 & a_6 + b_3 k_3 \\ a_8 + b_2 k_2 & a_9 + b_3 k_3 \end{bmatrix}$$

$$\bar{A}_2 = \bar{A}_{22} - \Gamma \bar{A}_{12} \quad B_1 = [b_1] \quad B_2 = [b_2 \ b_3]^T$$

옵저버의 극은 식 (4-3) 의 s값이 된다.

$$\det [sI - (\bar{A}_{22} - \Gamma \bar{A}_{12})] = (s - P_1)(s - P_2) \quad (4-3)$$

옵저버이득 $\Gamma = [l_1 \ l_2]^T$ 는 다음과 같다.

$$l_1 = \frac{P_1 + P_2 + a_5^2 - a_5(P_1 + P_2)}{a_3 a_8}$$

$$l_2 = \frac{a_5 - (P_1 + P_2)}{a_3}$$

4-3. 시뮬레이션 결과

그림 4-2 에서 보듯이 보상기 이득 K 값을 부의 실수값으로 적절히 선정함으로써 실제상태와 추정상태가 잘 일치함을 알 수 있다.

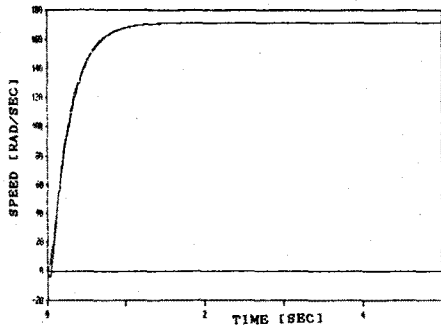
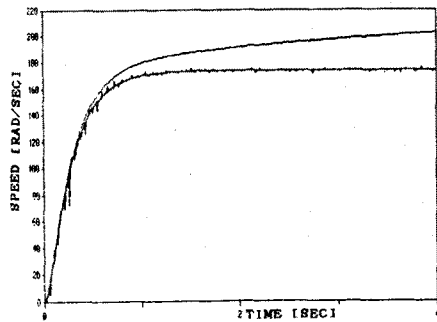


그림 4-2 보상기를 결합하였을 때 추정 속도 그래프

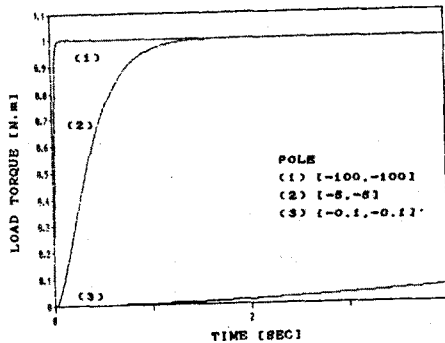
5. 극배치 및 파라메타 변화시의 상태관측기

5-1. 상태 관측기의 극배치가 시스템에 미치는 영향

상태 관측기의 극이 시스템 수행에 어떠한 영향을 미치는지를 알기 위해 각각 극을 달리 하여 시뮬레이션 하였다. 그림 5-1 에서 보듯이 옵저버 극이 s-평면의 좌반면으로 갈수록 빠른 수렴을 보인다. 그러나 옵저버극의 절대값이 너무 크면 행렬 L의 이득이 커지게 되어 과도시에 큰 오버슈트가 발생하게 되고 옵저버는 미분기로 작용하게되며 잡음에 영향을 받게됨을 알 수 있다. 본 시뮬레이션에서는 옵저버극이 -100 부근에서 양호한 추정이 이루어졌다.



(a)



(b)

그림 5-1 옵저버 극을 달리 했을 때 추정 속도 및 부하토크

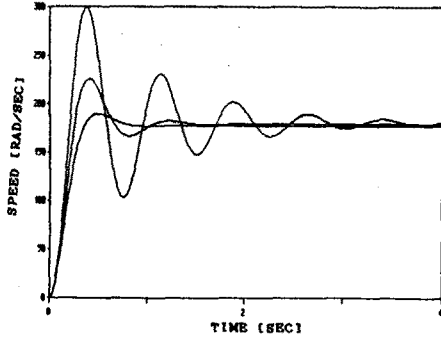
그림 5-1 (a)의 그래프 위에서 아래로 각각 옵저버 극이 [-0.1, -0.1], [-5, -5], [-100, -100], [-500, -500] 이다. 극이 [-0.1, -0.1] 일때 수렴 하지 못함을 볼 수 있고 [-500, -500] 일때는 오실레이션이 크게 발생함을 볼 수 있다.

5-2. 파라메타 변화가 시스템에 미치는 영향

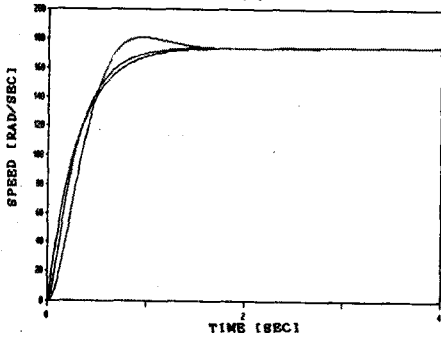
5-2-1. 파라메타 일치시

파라메타 변화가 시스템 수행에 어떠한 영향을 미치는가 조사하기 위해서 전기자 저항 R_a 와 전기자 인덕턴스 L_m 를 변화시켜 시뮬레이션 하였다. 실제 운전 전동기의 파라메타값과 옵저버 파라메타 값을 일치시켜 변화 하였을 때 그림 5-2 에 보듯이 파라메타 변화에 관계없이 실제상태와 추정상태가 잘 일치 하였으며 별도의 극배치가 필요없음을 알았고 전기자 인덕턴스 L_m 값의 변화보다 전기자 저항 R_a 값의 변화에 민감하게 전체파형이 변화하였다.

그림 5-2 (a) 에서 오버슈트가 큰 순서대로 저항이 0.1, 0.3, 0.5 Ω 이고 그림 5-2 (b) 에서는 오버슈트가 큰 순서대로 인덕턴스가 각각 150, 48, 4.6 mH 이다.



(a)



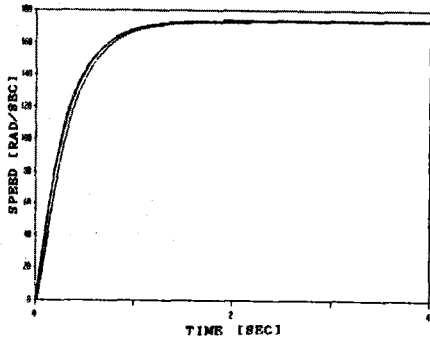
(b)

그림 5-2 (a) 저항 (b) 인덕턴스 변화시의 속도추정 그래프

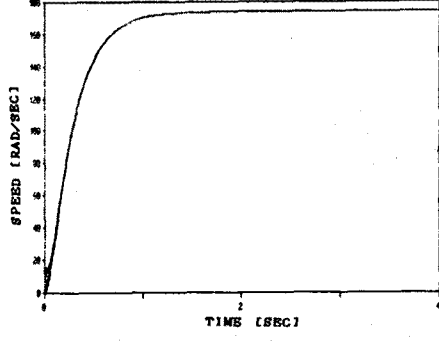
5-2-2 파라메타 불일치시

실제 운전전동기의 파라메타값과 용저버 파라메타 값을 다르게 하여 운전시 변화되는 파라메타의 영향에 대해서도 고찰하였다. 실제 운전상태값보다 10% 높게하여 각각 시뮬레이션하였다. 그림 5-3 에서 용저버극이 각각[-5, -10], [-45, -50], [-100, -150]으로 극이[-45, -50]와[-100, -150]일때 [-5, -10] 보다 오차가 적었고 시스템은 인덕턴스 L_a 변화보다 전기자 저항 R_a 의 변화에 대해서 민감하게 변화하고 용저버 수행능력은 그에 비례하여 떨어졌다.

이같은 파라메타 불일치시의 용저버 극은 파라메타 일치 때 보다 시스템 수행에 상대적으로 더 영향을 미칠수 있다.



(a)



(b)

그림 5-3 (a) 저항, (b) 인덕턴스 불일치시 속도추정 그래프

시뮬레이션에 사용된 타여자 직류전동기의 파라메타와 상수는 다음과 같다.

전기자 저항	; $R_a = 1 \Omega$
입력 전압	; $E_a = 100 V$
전기자 인덕턴스	; $L_a = 46 mH$
관성 모멘트	; $J = 0.093 [kg \cdot m^2]$
마찰 계수	; $B = 0.008 [N \cdot m \cdot sec/rad]$
역기전력과 토크상수	; $K_a \Phi = 0.55 [V \cdot sec/rad]$

6. 결 론

본 논문에서는 센서없는 전동기의 운전을 위해 상태관측기 이론을 도입하였다. 속도와 전기자전류 및 부하토크를 추정하였고 실제값과 추정값이 정확히 일치 하였다.

용저버극이 π -평면으로 갈수록 실제값에 따르며 수렴 하였으나 극의 절대값이 너무크면 실제값 부근에서 계속하여 작은 오실레이션이 발생함을 알 수 있었다.

또한 보상기를 시스템에 결합 하였을때 보상이 이득 K 값을 적절히 선택하여 상태를 추정할 수 있었다.

전동기와 용저버시스템 파라메타를 동일하게 변화시켜 시뮬레이션한 결과 별도의 극 이동 없이 모두 양호한 추정이 이루어졌으나 실제 운전 전동기 파라메타와 용저버시스템 파라메타가 다를때는 오차를 발생하였으며 전기자 인덕턴스보다 전기자 저항 변화에 더욱 민감하였고 이때 극 배치가 중요한 요소임을 알았다.

파라메타 불일치의 상태추정 오차는 파라메타변화를 고려한 적응 용저버의 채용을 요구하게되고 이에 관한 연구가 필요하리라 생각된다.

* 참고 문헌 *

- [1]. K.Ohishi, K.Ohishi et al., "Microprocessor-used Speed Control of DC Motor Without Speed Sensor." IECON, '84, pp.468-473.
- [2]. P.K.Nandan and P.C.Sen, "Observer-based Sliding Mode Control for Variable Speed drive Systems." IEEE Trans. Ind. Appl. 1987, pp.209-214.
- [3]. Chi-Tsong Chen, "Linear System Theory and Design." Holt-Saunders International Editions.
- [4]. Benjamin C.Kuo, "Digital Control Systems." Holt, Rinehart and Winston, Inc., 1980.
- [5]. P.C.Sen, "Thyristor DC Drives." John Wiley & Sons, 1981.