

퍼지제어기를 이용한 센서리스 직류전동기의 속도제어에 관한 연구

김 성 철* · 하 주 식** · 유 희 한***

A Study on the Speed Control of a Sensorless DC Motor by using a Fuzzy Controller

S.C Kim · J.S. Ha · H. H. Yoo

Key words : Field control(계자제어법), armature resisatance control(전기자저항제어법), armature terminal voltage control(전기자전압제어법), fuzzy controller(퍼지제어기), Integrator(적분기), membership function(소속함수)

Abstract

DC Motors have been widely used in industry, as driving power motors for electrical vehicles , cranes and winches due to their strong starting torques, and as servo-motors for position and speed control systems due to their convenience of speed control, etc. Generally in the speed control systems of motors, speed sensors are required and this fact results in the increased price and operating cost and in the limited applications.

This paper presents a new speed control method for sensorless DC motors. In this scheme, the speed signal is estimated by the measurement values of the armature voltage and current. A Fuzzy controller, which is robust against environmental variations and nonlinearities, is used as a feedback controller instead of the conventional PID controller.

Through simulations the effectiveness and usefulness of the proposed method are illustrated.

기호설명

b : 퍼지제어규칙의 후건부 소속함수의 계수

c : 전기자저항의 측정치에 대한 진치의 비 및 역기전력계수의 측정치에 대한 진치의 비

d : 외란

* 한국선급 (원고접수일 : 97년 9월)

** 한국해양대학교

*** 포항공대 가속기 연구소

- $e(t)$: 오차
- H : 샘플링 시간
- k_a : 이득(전기자저항 R_a 의 역수)
- k_a' : 이득(전기자저항 R_a' 의 역수)
- K_m : 직류이득
- k_r : 이득(회전부분 점성마찰계수의 역수)
- k_t : 토오크계수
- $N(x), N(x)'$: 전건부 및 후건부의 소속함수
- $P(x), P(x)'$: 전건부 및 후건부의 소속함수
- R^1, R^2 : 퍼지제어 규칙
- T_a : 시정수(인덕턴스를 전기자저항으로 나눈값)
- T_m : 모델의 시정수
- T_r : 시정수(회전자 및 부하의 관성능률을 회전부분의 점성마찰계수로 나눈값)
- V, W : 하중행렬

1. 서 론

일반적으로 직류전동기는 정류자와 브러시를 필요로 함으로 유도전동기에 비해서 구조가 복잡하고, 정류관계상 주변속도가 제한될뿐만 아니라 가격도 비싸고 보수관리도 어려우며, 수만[kw]이상 대용량을 얻기가 곤란한 결점이 있다. 그러나 직류전동기는 가장 속도 제어가 용이하며, 특히 타여자 및 분권전동기는 광범위하고 정밀한 속도 제어가 가능하기 때문에 예를들면, 제철소의 압연용 전동기처럼 수천[kw]의 대용량의 전동기에서 수미리[w]의 서보용 초소형전동기에 이르기까지 각종 용도에 사용되고 있으며, 자동제어의 발전과 더불어 그 역할이 더욱 중요하게 되고 있다. 또한 직권전동기는 시동토크가 크고 부하에 따라 자동적으로 속도가 변화되는 특성을 가지고 있기 때문에 윈치, 크레인, 전차 등의 동력용 전동기로 널리 사용되고 있다.¹⁾

따라서 직류전동기의 속도제어 문제는 매우 중요하며 특히 속도제어용 또는 위치제어용 서보전동기로서 이용되는 경우에는, 고도로 정밀한 속도 제어가 요구되며 제어기술도 종래의 아날로그제어 방식에서 최근에는 마이크로프로세서를 이용한 디지털제어 방식으로 전환되고 있다.²⁾

일반적으로 회전계통의 속도제어에 있어서는

고정도의 속도검출기가 요구되며 속도검출기로서는 타코제너레이터, 엔코더등이 이용되고 있다. 그러나 이러한 속도검출기를 전동기에 부착하는 것은 고가로 인한 경제적인 면, 부피증가로 인한 공간적인 면 또는 온도, 습도, 진동등 주위 환경의 변화로 인한 정도 저하등의 문제 때문에 최근에는 속도검출기를 사용하지 않고(센서리스 : sensorless) 전동기의 속도제어를 행하는 방법이 많이 연구되고 있다.^{3,4,5)} 이들 방법들은 외부적으로 부가 장착된 속도검출기 대신 전동기의 전압과 전류등을 측정하여 이것으로 부터 속도를 추정하는 것이다.

직류전동기의 속도제어법에는 계자제어법(field control), 전기자저항제어법(armature resistance control) 그리고 전기자전압제어법(armature terminal voltage control)의 세가지 방법이 있다. 최근에는 사이리스터를 이용하여 교류전원을 직류전원으로 정류하면서 전압을 가감하는 것이 용이하기 때문에 위의 세가지 방법중 전압제어법이 널리 이용되고 있으며, 제어알고리즘으로는 현재 PID제어알고리즘을 많이 사용하고 있다.⁶⁾ 그러나 이러한 PID제어기는 전동기의 특성변화에 따라 제어기의 계수를 조정해 주는 것이 어려운 문제로 되고 있다.

본 연구에서는 서보계통에 많이 이용되고 있는 직류전동기의 속도제어법으로 전압제어법을 채택하고, 속도검출기를 이용하지 않고 전동기의 전압과 전류를 측정함으로써 전동기의 회전각속도를 추정한 다음, 종래의 PID제어기 대신에 제어대상의 비선형성이나 불확실성에 대해서도 매우 효과적인 퍼지제어기(fuzzy controller)⁷⁾를 이용하여 직류전동기의 속도제어를 행하는 방법을 제안한다. 또한 디지털 시뮬레이션을 통하여 본 연구에서 제안하는 방법과 LQ제어법과의 결과를 비교 분석하고, 전동기의 계수 변화가 속도추정 및 속도제어특성에 미치는 영향 등을 분석하여 본 연구에서 제안하는 방법의 우수성을 입증하고자 한다.

2. 속도검출기 없는 직류전동기의 속도제어계의 구성

2.1 전기자전압제어 직류전동기의 모델링

전기자 전압제어 직류전동기의 등가회로를 Fig.1에 표시한다. Fig.1에서 $u(t)$ 는 전기자에 인가해 주는 입력전압, i_a 는 전기자전류, R_a 와 L_a 는 각각 전기자회로의 저항과 인덕턴스이다. 계자에 가해지는 전압 V_F 는 일정하며 따라서 계자전류 및 공극자속은 일정하다고 가정하고, 전기자전압제어 직류전동기의 관계식을 수립하면 식(1)~(4)와 같이 된다.

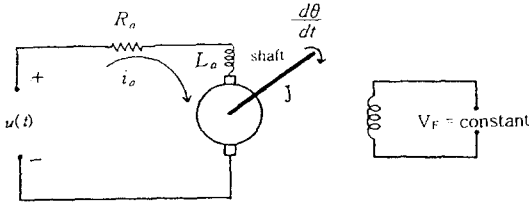


Fig.1 Schematic diagram of a armature voltage controlled DC motor

$$u - e_f = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} \quad (1)$$

$$e_f = k_v \omega \quad (2)$$

$$\tau = k_t i_a = J \frac{d\omega}{dt} + f\omega \quad (3)$$

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} \quad (4)$$

단, e_f : 역기전력, k_v : 역기전력계수, τ : motor의 회전 torque, ω : 회전자의 각속도

J : motor의 회전자 및 부하의 관성능률, θ : 회전각, f : 회전부분의 점성마찰계수

식(1)~(2)에서 전동기의 회전각속도 ω 는 전기자전압 u , 전기자저항 R_a , 역기전력계수 k_v 의 값에 따라 달라진다. k_v 는 계자전류의 함수이므로 u 와 R_a 를 일정하게 두고 계자전류를 변화시켜 k_v 의 값을 변화시키고, 이에 따라 ω 를 제어하는 방법이 제자제어법이고, 계자전류와 u 는 일정하게 두고 전기자회로에 저항을 직렬로 삽입하여 이를 조정하는 것이 전기자저항제어법이다. 본 연구에서는 계자전류와 R_a 를 일정하게 두고 u 를 조정하여 ω 를 제어하는 전기자전압제어법을 대상으로 하고 있으므로, R_a 와 k_v 는 일정하다고 가정하고 위 식들을 라플라스 변환하여 u 를 입력, ω 를 출력으로 하는 블록선도를 작성하면 Fig.2와 같이 된다.

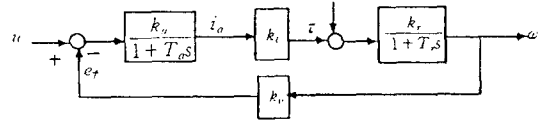


Fig.2 Block diagram of a armature voltage controlled DC motor

$$\text{단, } T_a = \frac{L_a}{R_a}, k_a = \frac{1}{R_a}, T_r = \frac{J}{f}, k_r = \frac{1}{f}$$

2.2 속도검출기를 이용하지 않는 속도제어계의 구성

Fig.1 등가회로에서 일반적으로 L_a 의 값은 R_a 에 비해 작으므로 이를 무시할 수 있다. 즉, $T_a = \frac{L_a}{R_a} \rightarrow 0$ 가 된다. 전동기 각속도 ω 의 목표치를 ω_r 이라 하면 식 (1), (2)로부터 식 (5), (6)을 얻는다.

$$i_a = k_a(u - k_v \omega) \quad (5)$$

$$i_r = k_a(u - k_v \omega_r) \quad (6)$$

단, i_r 은 ω 가 ω_r 일 때의 i_a 를 말한다.

식(5), (6)으로부터 다음 식을 얻는다.

$$i_a - i_r = k_a k_v (\omega - \omega_r) \quad (7)$$

가 된다. 따라서 만일 k_a 와 k_v 의 값을 정확하게 파악할 수 있다면 ω 를 검출하지 않아도 i_a 를 검출하여 $i_a \rightarrow i_r$ 이 되도록 u 를 제어하면 ω 는 ω_r 에 접근하게 된다. 그러나 전동기 정수 k_a, k_v 의 값을 정확하게 파악하는 것은 일반적으로 용이하지 않다. k_a, k_v 의 측정치를 각각 k_a', k_v' 라 하고, 직류전동기의 센서리스 속도제어계를 구성해 보면 Fig.3과 같이 된다.

i_a 와 u 의 측정치로부터 추정된 각속도 ω 의 추정치를 $\hat{\omega}$ 라고 하면, $\hat{\omega}$ 는 식(5)로부터 식(8)과 같이 되고 이때 식(7)은 식(9)와 같이 된다.

$$\hat{\omega} = \frac{1}{k_v'}(u - \frac{i_a}{k_a'}) \quad (8)$$

$$i_a - i_r = k_a' k_v' (\hat{\omega} - \omega_r) \quad (9)$$

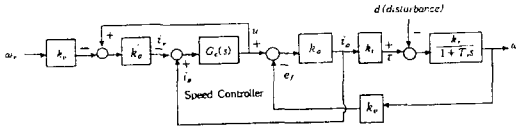


Fig.3 Speed control system of the sensorless armature controlled DC motor

따라서 $i_a \rightarrow i_r$ 가 되도록 제어하는 것은, $\hat{\omega} \rightarrow \omega_r$ 이 되도록 제어하는 것과 같게 된다.

이상과 같이 위의 식을 이용하여 Fig.3의 전기자 전압제어 직류전동기의 센서리스 속도제어제에 대한 블록선도를 등가변환하면 Fig.4와 같이 된다.

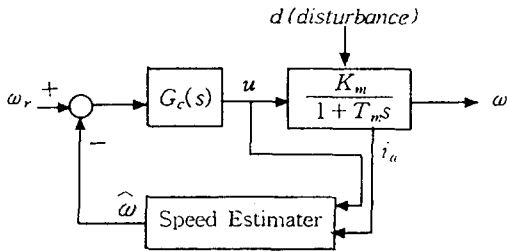


Fig.4 The Block Diagram of Sensorless Speed Control for Armature Controlled DC Motor

Fig.4에서 K_m 과 T_m 은 다음과 같이 된다.

$$K_m = \frac{k_a k_t k_r}{1 + k_a k_v k_r k_t} \tag{10}$$

$$T_m = \frac{T}{1 + k_a k_v k_r k_t} \tag{11}$$

3. 속도제어기의 설계

3.1 속도제어의 기준

일반적으로 직류전동기에 있어서 전기자전압 u 와 전기자전류 i_a 는 비교적 정확하게 측정할 수 있다. u 와 i_a 가 정확하게 측정되었다고 가정하였을

때 직류전동기의 회전각속도 ω 와 이에 대한 추정치 $\hat{\omega}$ 와의 관계는 식(5), (8)로부터 식(12) 및 (13)과 같이 된다.

$$\hat{\omega} = \omega + n \tag{12}$$

$$\text{단, } n = C_1 u - C_2 i_a$$

$$C_1 = \frac{k_v - k_v'}{k_v k_v'}$$

$$C_2 = \frac{k_v k_a - k_v' k_a'}{k_a k_a' k_v k_v'} \tag{13}$$

식(13)에서 k_v 와 k_v' 각각 직류전동기에 있어서 역기전력 계수의 진치와 그 측정치이며, k_a 와 k_a' 는 각각 전기자 저항 R_a 와 그 측정치 R_a' 의 역수이다. $k_v = k_v'$, $k_a = k_a'$ 일 때 n 은 영이 되고 $\hat{\omega}$ 와 ω 는 일치하게 된다. 전기자 및 계자권선의 온도 상승시 각 계수의 값도 변화하나 계수 C_1 과 C_2 는 상호 보완적으로 작용하기 때문에 k_v' , k_a' 의 값만 높은 정도로 측정한다면 일반적으로 n 의 값은 무시할 수 있을 정도로 작다. 따라서 본 연구에서는 $\hat{\omega}$ 가 ω 에 일치한다는 가정하에 속도제어기 $G_c(s)$ 를 설계하는 문제에 대해서 논의하도록 한다.

3.2 퍼지 속도제어기의 설계

종전에 직류전동기의 속도제어 계통에 있어서 는 일반적으로 P, PI 또는 PID제어기가 많이 이용되어 왔다.⁶⁾ PID제어기를 이용할 때에는 비례감도 K_p , 적분시간 T_i , 미분시간 T_d 등 제어기의 계수의 값을 환경의 변화에 따라 적절히 조정하는 것이 용이하지 않으며, LQ제어에 있어서는 제어대상의 파라미터값이 정확하게 파악되어야 하는 어려움 뿐만 아니라 평가함수에 있어서 하중함수를 최적의 값으로 결정해야 하는 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 제어대상에 비선형성이 있거나, 동특성이 정확하게 파악되지 않는 경우에도 용이하게 적용될 수 있어서 최근 그 응용이 활발해지고 있는 Fuzzy제어 알고리즘⁹⁾을 이용하여 직류전동기의 속도제어기를 Fig.5와 같이 구성하기로 한다. Fig.5에 있어서 종단의 적분기(Integrator)는 제어 계통이 1차계통이므로 오프셋(off-set)를 제거하기 위하여 삽입한 것이며, 퍼지제어기의 입력 변수 E_i 와 ΔE_i 는 플랜트에서 얻는 e_i 와 Δe_i 를 각각 정규

화하여 식(14)과 같이 계산한다.

$$\begin{cases} E_i = \frac{e_i}{e_{\max}} \\ \Delta E_i = \frac{\Delta e_i}{\Delta e_{\max}} \end{cases} \quad (14)$$

$$e(t) = \omega_r(t) - \hat{\omega}(t)$$

$$\Delta e_i = e_i - e_{i-1}$$

$$e_i = e(iH), H : \text{샘플링 시간}$$



Fig.5 The block diagram of the fuzzy speed controller

또한 퍼지제어기의 출력 즉, 플랜트의 제어입력은 식(15)와 같이 계산된다.

$$\begin{cases} \Delta U_i = \frac{\Delta u_i}{\Delta u_{\max}} \\ u_i = u_{i-1} + \Delta u_i \end{cases} \quad (15)$$

식(14), (15)에서 e_{\max} , Δe_{\max} 및 Δu_{\max} 로는 각각 e_i , Δe_i 및 Δu_i 의 예상되는 최대치를 취하며 E_i , ΔE_i 및 ΔU_i 는 각각 절대치가 1이하의 값으로 정규화된다.

다음에 퍼지제어기에 있어서 제어규칙은 여러 가지 있을 수 있으나 본 연구에서는 퍼지 입력공간을 각각 2개로 분할하고, 식(16), (17)와 같이 단순한 제어 규칙을 사용하기로 한다.¹⁰⁾

$$\begin{aligned} &\text{제어규칙 } 1 R^1 ; \text{ if } E_i \text{ is } P \text{ and } \Delta E_i \text{ is } P \\ &\quad \text{then } \Delta U_i \text{ is } P' \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} &\text{제어규칙 } 2 R^2 ; \text{ if } E_i \text{ is } N \text{ and } \Delta E_i \text{ is } N \\ &\quad \text{then } \Delta U_i \text{ is } N' \end{aligned} \quad (17)$$

여기서, P, P' 와 N, N' 는 각각 Positive 와 Negative를 나타내는 퍼지변수의 퍼지값으로 전건부 P, N , 후건부 P', N' 의 소속함수(membership function)로는 식(18) 및 (19)과 같이 표시되

는 함수를 이용하기로 하며, 이를 도시하면 Fig.6 과 같다.

$$P(x) = \frac{1}{2}(1+x), N(x) = P(-x) \quad (18)$$

$$P'(x) = b(x-1)+1, N'(x) = P'(-x) \quad (19)$$

제어규칙 R^1 과 R^2 에 대한 퍼지추론은 Tsukamoto 가 제안한 방법을 간략화하여 이용하기로 한다.¹¹⁾

즉, 플랜트에서 나오는 정보 E_i 및 ΔE_i 로부터 퍼지제어기의 출력을 식(20), (21)에 의해서 계산한다.

$$\begin{cases} \omega_1 = P(E_i) \wedge P(\Delta E_i) \\ \omega_2 = N(E_i) \wedge N(\Delta E_i) \end{cases} \quad (20)$$

단, ω_1, ω_2 는 각각 제어규칙 R^1 과 R^2 에 대한 적합도이며 \wedge 는 min 연산 기호이다.

$$\Delta U_i = \frac{\omega_1 P^{-1}(\omega_1) + \omega_2 N^{-1}(\omega_2)}{\omega_1 + \omega_2} \quad (21)$$

단, $P^{-1}(\omega_1)$ 는 $P(x_1) = \omega_1$ 이 되는 x_1
 $N^{-1}(\omega_2)$ 는 $N(x_2) = \omega_2$ 가 되는 x_2

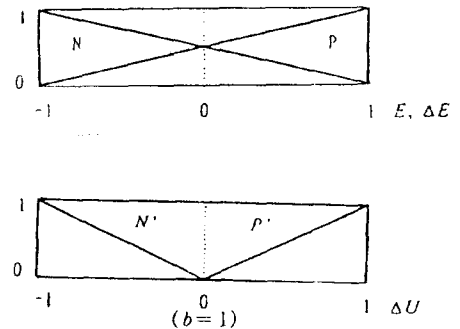


Fig.6 Membership functions used in this study

4. 시뮬레이션 및 검토

4.1 시뮬레이션에 사용된 전동기의 특성

본 연구에서는 Table 4.1과 같은 특성을 갖는 영국 Normand Electric 사의 타여자 방식의 직류전동기를 사용하여 디지털 시뮬레이션을 실행하고

본 연구에서 제안한 퍼지제어기를 이용한 센서리스 직류전동기의 속도제어 방법에 대한 제어 특성을 고찰해 보기로 한다.

Table 4.1 Characteristics of the DC motor used in simulation

Rated voltage	215F Volt
Rated current	2 Amp
Rated speed	3600 R.P.M
Rated output	1/3 HP

시뮬레이션에 사용된 전동기의 전기자저항 R_a , 역기전력 계수 k_v , 직류이득 K_m 은 식 (22)로부터 계산할 수 있다.

$$\begin{cases} k_v = \frac{P}{I \cdot \omega} \\ R_a = \frac{U - k_v \omega}{I} \\ K_m = \frac{\omega}{U} \end{cases} \quad (22)$$

단, P : 정격출력(Watt), U : 정격전압(V), I : 정격전류(A), ω : 정격각속도(rad/sec)

식(22)에 Table 4.1의 자료를 대입하여 정격상태에서의 k_v , R_a , K_m 의 값을 구체적으로 계산해 보면 다음과 같이 된다.

$$\begin{cases} k_v = 0.3252 \text{ Volt} \cdot \text{sec}/\text{rad} \\ R_a = 46.2 \Omega \\ K_m = 1.75 \text{ rad}/\text{sec} \cdot \text{volt} \end{cases} \quad (23)$$

전동기의 토오크계수 k_t 는 역기전력계수 k_v 와 같으며 회전계통의 시정수 T_m 은 운전 실험 결과에서 얻은 자료로서 0.65(sec)를 그대로 이용하기로 한다.¹²⁾

4. 2. 제어특성 시뮬레이션

(1) 회전속도의 추정치가 정확할 때($\omega = \hat{\omega}$) 전동기의 정수중 전기자저항 R_a 의 측정치 R_a' 와 역기전력계수 k_v 의 측정치 k_v' 의 값은 회전속도 ω 에 대한 추정치 $\hat{\omega}$ 에 영향을 미친다. 우선 여기서는 $R_a = R_a' (k_a = k_a')$, $k_v = k_v'$ 일 때 즉 식(13)에서

$n=0$, $\hat{\omega} = \omega$ 인 경우에 대하여 시뮬레이션을 통하여 Fig.4의 전동기 속도제어 계통에 대한 인디셜 응답을 구하고, 이 응답을 위와 동일한 조건하에 퍼지제어기 대신 LQ제어기를 사용하였을 때의 인디셜응답과 비교해 보기로 한다. LQ제어기는 식(1)~(4)를 상태방정식으로 표시하고 최적제어이론에 의하여 식(24)으로 표시되는 평가함수를 최소화 시키도록 설계된다.¹³⁾

$$J(\Delta u) = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (\Delta x^T W \Delta x + \Delta u^T V \Delta u) dt \quad (24)$$

$$\text{단, } W = \begin{pmatrix} W & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, V = 1$$

Δx , Δu ; 각각 상태벡터 x , 입력(전기자 전압) u 의 정상상태로부터의 변동분이 시뮬레이션 결과에서 얻은 인디셜응답을 그래프로 나타내면 Fig.7과 같이 된다.

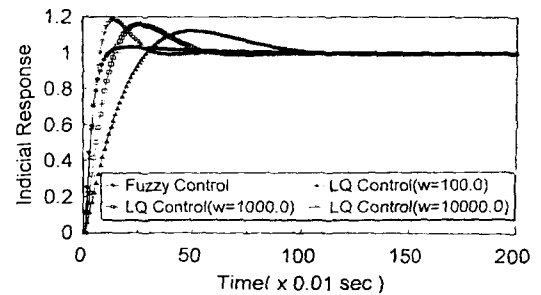


Fig. 7 Indicial responses of the speed control systems

(2) 회전속도의 추정치가 부정확할 때($\omega \neq \hat{\omega}$)

전기자 저항의 측정치 R_a' 와 역기전력 계수의 측정치 k_v' 가 각각 R_a 와 k_v 의 $\pm 2\%$ 까지의 오차가 있는 경우 회전각속도 ω 를 rpm으로 표시하여 정격상태, 즉 3600rpm일 때의 회전각속도 ω 의 추정치 $\hat{\omega}$ 를 계산해 보면 Table 4.2와 같이 된다.

Table 4.2에서 C는 $\frac{R_a'}{R_a} = \frac{k_v'}{k_v}$ 를 나타내며 각 회전수 밑의 숫자는 $\hat{\omega}$ 의 ω 에 대한 변동율(%)을 나타낸다. Table 4.2의 한가운데 즉, $\hat{\omega}$ 가 3600 rpm

Table 4.2 Variations of $\hat{\omega}$ (rpm)

R_a'	C	k_v'				
		0.31870	0.32195	0.32521	0.32846	0.33171
		0.98	0.99	1.00	1.01	1.02
45.28	0.98	3728.84 (3.58%)	3691.17 (2.53%)	3654.26 (1.51%)	3618.08 (0.50%)	3582.61 (-0.48%)
45.74	0.99	3701.15 (2.81%)	3663.77 (1.77%)	3627.13 (0.75%)	3591.22 (-0.24%)	3556.01 (-1.22%)
46.20	1.00	3673.47 (2.04%)	3636.36 (1.01%)	3600.0 (0.00%)	3564.35 (-0.99%)	3529.41 (-1.96%)
46.66	1.01	3645.78 (1.27%)	3608.95 (0.25%)	3572.86 (-0.75%)	3537.49 (-1.74%)	3502.81 (-2.70%)
47.12	1.02	3618.09 (0.50%)	3581.55 (-0.51%)	3545.73 (-1.51%)	3510.63 (-2.48%)	3476.21 (-3.44%)

일 때는 R_a 및 k_v 가 정확히 측정되었을 경우이며 $\hat{\omega}$ 의 변동율은 최고 7.31%에까지 이르고 있다. 일반적으로 온도에 의한 전기자 저항치의 변동을 생각해 보면 R_a 가 증가할 때 k_v 는 감소하게 된다. 따라서 실제로는 Table 4.2의 음영으로 표시된 대각선의 경우가 일어날 수 있으며, 이때 $\hat{\omega}$ 의 변동율은 거의 0.5% 이내로 된다. 이 경우에 대한 인디셜응답을 디지털 시뮬레이션으로 계산하여 도시하면 Fig.8 과 같이 된다. Fig.8의 제일 중간의 응답은 R_a 및 k_v 의 정확히 알고 있어서 $\hat{\omega}$ 가 ω ($C=1$)일 경우로 이에 대한 인디셜응답은 Fig.7의 퍼지제어에 의한 인디셜응답과 같은 것이다.

4.3 제어특성에 대한 검토

앞절의 응답시뮬레이션 결과 즉 Fig.7과 Fig.8로부터 본 연구에서 제안하는 방법에 의하면, 오버슈트가 거의 없이 속응성이 매우 양호한 제어특성을 얻을 수 있으며, 전동기 정수 R_a 와 k_v 의 측정치에 다소 오차가 있다 하더라도 속도검출기를 이용하지 않고 실용성이 있는 제어를 행할 수 있음을 알 수 있다. 여기서는, 제어에너지와 제어편차를 기준으로하여 본 연구에서 제안하는 방법과 LQ제어에 의한 결과를 구체적으로 비교해 보기로 한다. Fig.9 (a),(b)는 $\omega=\hat{\omega}$ 일 때 본 연구에서 제안하는 방법과 LQ제어에 있어서 각각 제어오차의 2

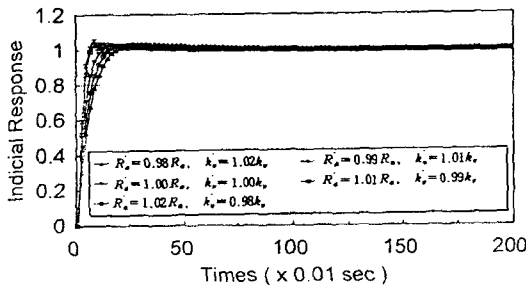


Fig.8 Indicial responses of the proposed speed control systems

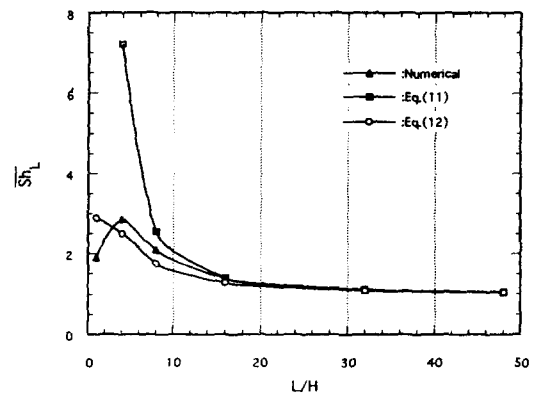


Fig.9 (a) Mean square of errors in indicial responses

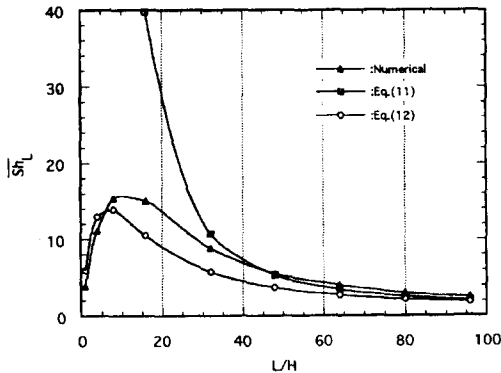


Fig.9 (b) Mean square of control inputs in indicial responses

승 평균과 제어입력의 2승 평균을 도시한 것이다. 이 도표로부터 LQ제어에 있어서는 평가함수의 제어편차에 대한 하중계수 w 값에 따라 그 결과가 많이 달라지며, 일반적으로 제어편차를 기준으로 할 때 본 방법이 우수함을 알 수 있다. 또한 LQ제어에 있어서 제어편차를 Fuzzy제어의 결과 정도로 작게 할려면, w 의 값을 10000이상으로 크게 취하여야 하며 이 경우 제어에너지는 월등히 크지게 됨을 알 수 있다.

5. 결 론

이상으로 본 연구에서는 서보전동기로 많이 이용되고 있는 타여자 직류전동기에 있어서 속도검출기를 사용하는 대신, 전기자 전압과 전류를 측정함으로써 전동기의 회전속도를 추정한 다음 퍼지제어기를 이용하여 속도제어를 행하는 방법에 대하여 고찰하고, 시뮬레이션을 통하여 다음 사항을 확인하므로써 본 방법의 우수성을 입증하였다.

(1) 전동기정수 R_a, k_b 의 값이 2% 정도까지 변화하더라도 이의 회전속도의 추정치에 미치는 영향은 0.5% 이내로 되며 속도검출기 없이도 속도제어가 가능하다.

(2) 오버슈트가 작으면서 속응성이 양호한 제어가 가능하다.

(3) 정밀제어의 경우 제어편차와 제어에너지면에 있어서 LQ제어보다 퍼지제어가 우수하다.

본 연구에서는 실제의 전동기를 이용한 실험을 행하지 못한 것이 아쉬우며 이는 다음의 과제로 남아있다.

참고문헌

- 1) 野中作太郎, 電氣機器, 森北出版社, 1994
- 2) 成田誠之助, デジタル・システム制御, 昭晃堂, 1984
- 3) Benjamin C.Kuo, Digital Control System, Holt, Rinehart and Winsion Inc, 1988
- 4) 中野 道雄, "非線形コントローラを用いた速度センサレス 誘導モータの速度制御方式", SICE, 日本計測自動制御學會學術講演集 214 A-6, 1995
- 5) 최재영, 김성환, 권영안, "마이크로프로세서를 이용한 영구자석 동기전동기의 센서리스 속도제어", 韓國舶用機關學會誌, 第20卷, 第3號, 1996
- 6) 기술조사보고 제4호 소형모터의 기술현황(직류서보 모터의 기술동향과 전망), p.114, 대한전기학회, 1995
- 7) 崔洪圭, 全光鎬, 李相昊, 姜泰垠, "퍼지제어기를 이용한 고성능 유도전동기 전류 제어에 대한 연구", 대한전기학회지 제45권, 제12호, p.1762-1768, 1996
- 8) 하주식, 송문현, "규범모델 추종방식에 의한 회전계통의 적응속도 제어에 관한 연구", 韓國舶用機關學會誌, 第19卷, 第3號, 1995
- 9) 菅野道夫, ファジィ制御, 日刊工業新聞社, 1988
- 10) 守田榮之外 1人, "ファジィ ディセル ガバナとその設計", 内燃機關, 第31卷, 第3號, p.53~62, 1992
- 11) Y.Tsukamoto, An Approach to Fuzzy Reasoning Method, in Advances in Fuzzy Set and App., North-Holland, Amsterdam, 1979
- 12) 盧永梧, "마이크로프로세서를 이용한 直流電動機의 速度制御에 관한 研究", 韓國海洋大學 碩士學位論文, 1986
- 13) 廣田實, 船舶制御システム工学, 成山堂書店, 1982

저 자 소 개



김성철 (金成喆)

1967년 11월생. 1990년 2월 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1997년 8월 동대학원 기관공학과 졸업(석사). 1990년~1993년 현대상선(주). 1993년~1994년 한국해양대학교 해사대학 조교(한나라호). 1995년~현재 사단법인 한국선급 울산지부 선임검사원



하주식 (河注植)

1933년 7월생. 1957년 한국해양대학교기관학과 졸업. 1965년 연세대학교 전기공학과 졸업. 동경공업대학대학원 제어공학전공 졸업(1968년 석사, 1972년 박사) 1963년~1988년 한국해양대학교 교수. 1988년~1992년 한국해양대학 학장. 1992년~현재 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부 교수



유희한 (柳熙漢)

1956년 1월생. 1979년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1987년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(석사). 1997년 동대학원 졸업(박사). 1982~1989년 한국기계연구소 연구원. 1991년~현재 포항가속기연구소 연구원