

역동력학과 퍼지기법을 이용한 DC 모터용 2자유도 제어기

A Two-Degree-of-Freedom-Controller for DC Motors Using Inverse Dynamics and the Fuzzy Technique

김병만 · 김종화* · 유영호* · 진강규*

Byong-Man Kim, Jong-Hwa Kim*, Yung-Ho Yu* and Gang-Gyoo Jin*

현대중공업(주) 기술개발본부

*한국해양대학교 기계·정보공학부

요 약

본 논문에서는 역동력학과 퍼지기법을 기반으로 하는 DC 모터 속도제어용 2자유도 제어기를 설계한다. 제안된 제어기는 DC 모터 시스템의 역동력학 모델, 전처리필터와 퍼지보상기로 구성된다. 모델은 쿨롱마찰을 내포하는 비선형 방정식으로 표시되며, 전처리필터는 역동력학 모델에 의해 유발될 수 있는 고주파 영향을 막아주며, 퍼지보상기는 모델의 불확실성, 외란 등으로 인한 오차를 보상한다. 퍼지보상기는 기준 입력 변화에 대한 추종성능과 외란에 대한 오차 제거성능을 동시에 개선하도록 설계된다. 모델과 보상기의 파라미터는 각각 실수코딩 유전알고리즘으로 추정되고 동조된다. 제안된 기법의 유효성은 실험을 통해 검증된다.

Abstract

In this paper, a Two-Degree-of-Freedom-Controller(TDFC) for DC motors based on inverse dynamics and the fuzzy technique is presented. The proposed controller includes the inverse dynamic model of a DC motor system, a prefilter and a fuzzy compensator. The model of the system is characterized by a nonlinear equation with coulomb friction. The prefilter eliminates high frequency effects occurring when the inverse dynamic model is implemented. The fuzzy compensator is designed for tracking the change of the reference input and simultaneously regulating the error between the reference input and the system output which can be caused by disturbances. The optimal parameters of both the model and the compensator are identified by a real-coded genetic algorithm. An experimental work on a DC motor system is carried out to verify the performance of the proposed controller.

Key Words : DC motor, inverse dynamic model, speed control, genetic algorithm

1. 서 론

산업현장에서 생산성 향상과 품질개선을 위한 공장 자동화, 기계화가 가속됨에 따라 전기적 에너지를 기계적 에너지로 전환시켜줄 수 있는 모터의 사용이 크게 늘고 있고, 이를 제어하는 방법은 모터의 종류와 특성에 따라 여러 가지가 있다[1,2]. 일반적으로 모터의 속도제어는 PID 제어 방식을 채용하는 경우가 많다. 이들은 제어환경에 따라 설정치 변경에 대한 시스템의 추종성능을 개선하거나 아니면 외란에 대한 오차 제거성능이 만족스럽도록 설계되는데, 만약 서로 다른 환경에서 운전되거나 설정치 변경과 외란이 동시에 존재하면 만족스런 제어성능을 기대하기 어렵다.

이러한 문제를 해결할 수 있도록 최근에는 내부모델 제어(Internal model control: IMC)와 퍼지제어기법을 이용하는 연구들이 제안되고 있다[3-8,10]. 본 연구에서는

DC 모터의 속도제어 목적으로 역동력학과 퍼지보상기를 결합한 2자유도 제어기(Two-degree-of-freedom-controller: TDFC)제안한다. 제안된 기법은 내부모델제어의 일종으로 Sugie와 Yoshikawa에 의해 제안된 TDFC[6]의 변형된 형태로서, DC 모터로부터 구한 비선형 역동력학 모델과 역동력학 모델에 의해 유발될 수 있는 고주파 영향을 막아주기 위한 전처리필터, 그리고 모델의 불확실성, 외란 등으로 발생할 수 있는 오차를 보상하기 위한 퍼지보상기 등으로 구성된다. 퍼지보상기는 기준 입력 변화에 대한 시스템의 추종성능과 외란에 대한 제거성능을 동시에 개선하도록 다수의 PI 제어기를 퍼지 조건문으로 결합한 형태이다. 또한, 모델 추정과정과 퍼지제어기의 후건부인 PI제어기의 파라미터 동조과정에서 발생하는 최적화 문제는 실수코딩 유전알고리즘(Real-coded genetic algorithm: RCGA)[12,13]을 이용하여 해결한다. 제안된 기법의 유효성은 실험을 통해 검증된다.

2. 시스템 모델링

2.1 시스템의 모델

전기자 제어 DC 모터를 등가적으로 표시하면 그림 1

접수일자 : 2001년 8월 12일

완료일자 : 2001년 12월 17일

이 연구는 2001년 두뇌한국(BK21)사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

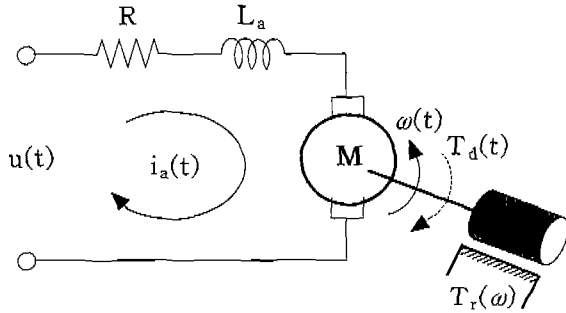


그림 1. DC 모터의 등가회로
Fig. 1. Equivalent circuit of a DC motor

과 같이 나타낼 수 있다. 제어목적은 전기자에 인가되는 입력전압 $u(t)$ 를 조절해서 모터의 출력 각속도 $\omega(t)$ 가 희망하는 설정치에 도달하도록 하는 것이다. 전기자 회로의 인덕턴스 L_a 의 영향이 작다고 보고, 회전체의 점성마찰과 쿨롱마찰을 동시에 고려한 DC 모터의 수학적 모델은 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$J \frac{d\omega(t)}{dt} = K_t i(t) - T_d(t) - T_r(\omega) \quad (1a)$$

$$i(t) = -\frac{K_b}{R} \omega(t) + \frac{1}{R} u(t) \quad (1b)$$

여기서 $u(t)$ 는 전기자에 인가되는 입력전압[V], $i(t)$ 는 전기자 전류[A], R 은 권선 저항[Ω], $\omega(t)$ 는 회전자의 각속도[rad/s], $T_d(t)$ 는 외란토크[N·m], $T_r(\omega)$ 는 ω 에 따른 비선형 특성을 가지는 마찰토크[N·m], K_t 는 토크 상수[N·m/A], K_b 는 역기전력 계수[V·s/rad]이며, J 는 회전자의 동가 관성모멘트[Kg·m²]이다. 특히 회전체의 비선형 마찰모델 $T_r(\omega)$ 는 그림 2와 같고 이를 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$T_r(\omega) = \begin{cases} a_1 \omega(t) + \beta_1, & \omega(t) > 0 \\ a_2 \omega(t) - \beta_2, & \omega(t) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 a_1 와 a_2 는 점성마찰 계수이고, β_1 와 β_2 는 쿨롱마찰 계수이다.

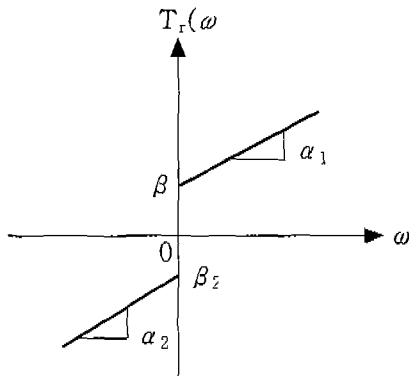


그림 2. 비선형 마찰모델
Fig. 2. Nonlinear friction model

알려지지 않은 외란 $T_d(t)$ 를 제외하고 식 (1)-(2)를 결합하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\dot{\omega}(t) = \begin{cases} -a_1 \omega(t) + bu(t) - c_1, & \omega(t) > 0 \\ -a_2 \omega(t) + bu(t) + c_2, & \omega(t) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $a_1 = (a_1 R + K_t K_b) / JR$, $a_2 = (a_2 R + K_t K_b) / JR$, $b = K_t / JR$, $c_1 = \beta_1 / J$, $c_2 = \beta_2 / J$ 이다. 식 (3)의 입출력 관계는 다음 식으로 간단히 표시할 수 있다.

$$\omega(t) = \Phi(\omega(0), u(t); \phi) \quad (4)$$

여기서 $\phi = [a_1, a_2, b, c_1, c_2]T$ 이다.

2.2 모델의 파라미터 추정

식 (3)의 모델에서 미지의 파라미터는 ϕ 로서, 이는 시스템의 입출력 데이터와 탐색 알고리즘(적응자)을 이용하여 추정한다. 그림 3은 파라미터를 추정하는 과정을 나타낸 것으로 시스템과 모델을 병렬로 두고 동일한 입력을 인가한 후 각각의 출력을 이용하여 계산되는 식 (5)의 목적함수가 최소값을 갖도록 적응자가 모델의 파라미터를 조정하게 된다.

$$J(\phi) = \int_0^{t_f} |\omega_p(t) - \omega(t)| dt \quad (5)$$

여기서 $\omega_p(t)$ 와 $\omega(t)$ 는 각각 시스템과 모델의 출력이고 t_f 는 최종 적분시간으로, 이후의 적분값이 무시되어도 좋을 정도로 충분히 큰 값이다.

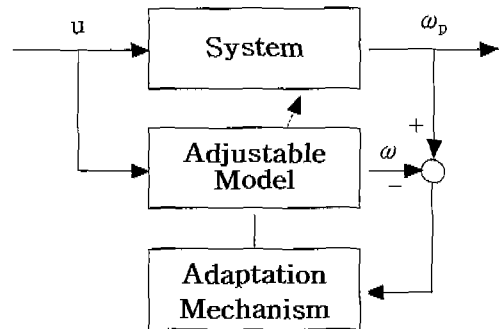


그림 3. RCGA를 이용한 파라미터 추정
Fig. 3. Parameter estimation using a RCGA

여기서 일어나는 비선형 최적화 문제는 RCGA[12,13]를 이용하여 해결한다. 따라서 RCGA의 선택연산을 위해 적합도 함수는 $f : S \rightarrow R^+$ (S 는 검색체 공간)의 관계를 만족하도록 다음과 같이 사상된다.

$$f(s) = -J(\phi) + \delta \quad (6)$$

여기서 $s \in S$ 는 검색체이고, δ 는 전 세대 동안 $f(s) \geq 0$ 의 관계가 유지되게 선택되는 상수로서, 선택압(Selection pressure)이 적절히 유지되도록 스케일링 윈도우 기법[9]으로 변경된다.

3. 역동력학을 이용한 TDFC 설계

3.1 모델기반 제어

모델을 기반으로 하는 제어의 한 기본적인 개념은 그림 4와 같이 개루프 시스템의 역동력학 ϕ^{-1} 을 시스템의 제어기로 사용함으로써 설정치 ω_r 와 출력 ω_p 가 일치하도록 하는 것이다. 이 방법은 시스템이 최소위상(Minimum phase)이고 모델이 실제 시스템과 차이가 없을 경우에는 만족스러운 성능을 제공한다. 하지만 대부분의 제어 환경에서는 외란이 존재하고 모델링 오차가 불가피하며, 시스템의 정확한 파라미터를 얻는 것이 어려울 뿐만 아니라 가능하다 해도 운전도중에 변하게 되는 특성을 지니고 있다. 따라서 이 기법을 DC 모터의 속도제어에 적용할 경우에는 부하변동, 온도, 마찰 등으로 인하여 모델과 실제 시스템간의 차이가 발생되기 때문에 이를 보완해줄 수 있는 메커니즘이 필요하게 된다.

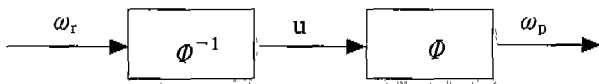


그림 4. 모델기반 제어
Fig. 4. Model-based control

3.2 TDFC 설계

본 논문에서는 DC 모터의 속도제어를 위하여 모델기반 제어를 기반으로 하고, 모델과 시스템간의 오차를 보정해 주기 위해 퍼지보상기를 결합한 2자유도 제어기를 설계한다. 이 제어기는 Sugie와 Yoshikawa에 의해 제안된 TDFC[6, 10]의 변형된 형태로서, 입력단에 1차 저역 통과 필터와 역동력학, 퍼지보상기 등으로 구성되어 있다. 그림 5의 점선 내부는 DC 모터 속도제어를 위한 제어기 부분을 나타낸 것이다.

필터는 설정치가 갑작스럽게 변경될 때 역동력학 모델의 출력이 과도하게 커지는 것을 방지하기 위한 것으로서 다음 식으로 표시된다.

$$\tau \dot{\omega}_r + \omega_r = \omega_r \quad (7)$$

여기서 τ 는 필터 시정수이고 작은 값으로 설정된다.

역동력학에 의한 모델기반 제어기의 출력은 식 (3)으로부터 다음 식으로 표시되며 일계 도함수 부분은 Euler법으로 근사화된다.

$$u_m = \phi^{-1}(\dot{\omega}_r, \omega_r; \psi) = \begin{cases} \frac{1}{b}(\dot{\omega}_r + a_1\omega_r + c_1), & \omega_r > 0 \\ \frac{1}{b}(\dot{\omega}_r + a_2\omega_r - c_2), & \omega_r < 0 \end{cases} \quad (8)$$

퍼지보상기는 식 (7)과 같이 3개의 퍼지규칙으로 구성되고, 이는 Takagi-Sugeno 형태[7,8,11]로서 결론부가 PI 제어기로 구성되어 있다. 규칙 1과 3의 PI 제어기 파라미터들은 외란에 대한 조정성능이 개선되도록 동조되고, 규칙 2의 파라미터들은 설정치 변경에 대한 시스템의 추종성능이 개선되도록 동조된다. 이 때 제어기는 시스템의 출력 $\omega_p(t)$ 와 병렬로 연결된 모델의 출력 $\omega_m(t)$ 로부터 구한 오차 e_T 를 입력변수로 사용함으로써 설정치 변경에 대한 추종과 외란에 대한 조정의 두 환경에 적용하도록 동작된다.

$$R1: \text{If } e_T \text{ is } F^1, \text{ then } u_F^1 = K_P^1 e + K_I^1 \int e dt \quad (9a)$$

$$R2: \text{If } e_T \text{ is } F^2, \text{ then } u_F^2 = K_P^2 e + K_I^2 \int e dt \quad (9b)$$

$$R3: \text{If } e_T \text{ is } F^3, \text{ then } u_F^3 = K_P^3 e + K_I^3 \int e dt \quad (9c)$$

여기서 e_T 는 퍼지시스템의 입력변수, e 는 시스템의 출력과 기준입력과의 오차이고, F^j ($j=1, 2, 3$)은 퍼지집합, K_P^j 와 K_I^j ($j=1, 2, 3$)은 각각 j 번째 PI 제어기의 비례이득과 적분이득으로서 RCGA를 이용하여 동조된다.

조건부의 입력변수 공간을 퍼지분할하는 퍼지집합의 소속함수로는 시그모이드형과 가우시안형의 함수를 사용하였고 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$F^j(x) = \frac{1}{1 + e^{-\mu_j(x-\sigma_j)}} \quad (j=1, 3) \quad (10a)$$

$$F^j(x) = e^{-\frac{(x-\mu_j)^2}{2(\sigma_j)^2}} \quad (j=2) \quad (10b)$$

식 (7)의 전체 규칙에 대한 추론으로부터 얻어지는 퍼

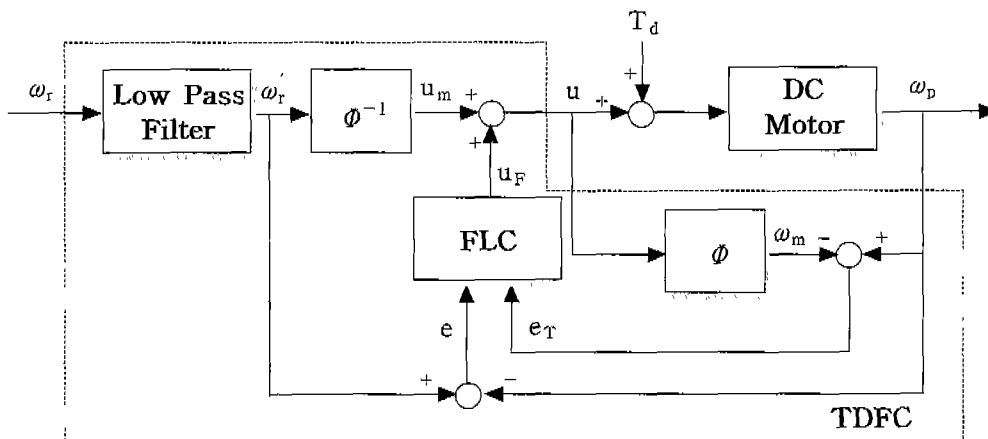


그림 5. 제안된 TDFC의 블록선도
Fig. 5. Block diagram of the proposed TDFC

지보상기의 출력은 다음과 같다.

$$u_F = \sum_{j=1}^k \xi^j u_F^j \quad (11)$$

여기서 $\xi^j = \rho^j / \sum_{k=1}^k \rho^k$ 이며, $\rho^j = F'(e_T)$ 이고 항상 $\sum_{k=1}^k \rho^k > 0$ 의 관계가 성립하는 것으로 가정한다. 최종적으로, 제안된 제어기의 출력은 다음과 같다.

$$u = u_m + u_F \quad (12)$$

4. 실험 및 결과 고찰

제안된 제어기의 성능을 평가하기 위하여 실제 시스템에서 실험을 실시하였다. 대상 시스템은 Feedback사의 모델 MS150으로서 속도 제어시스템은 전기자 제어 DC 모터, 구동용 증폭기, 속도 검출기와 AD/DA 변환기가 내장된 마이크로프로세서 기반 제어기로 구성된다. 사진 1은 실험장치를 보여주고 있다.

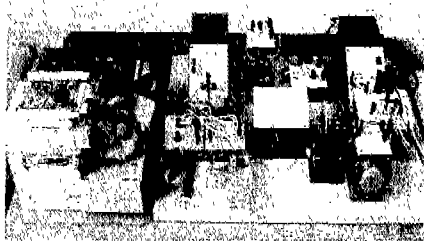


사진 1. 실험장치
Photo. 1. Experimental apparatus

4.1 시스템의 파라미터 추정

MS150 시스템의 파라미터 추정은 86[mV]의 계단상 입력에 대한 시스템의 응답으로부터 취한 입출력 데이터 (그림 7(a) 참조)를 사용하였다. RCGA의 대개변수로는 집단 크기 $N=20$, 재생산 계수 $\eta=1.7$, 교배확률 $P_c=0.9$, 돌연변이확률 $P_m=0.05$ 를 사용하였다[12]. 그림 6은 RCGA가 최적 파라미터를 탐색해 가는 과정을 보여주고 있다.

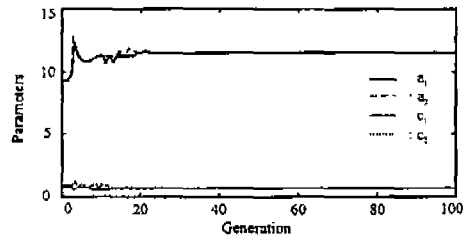
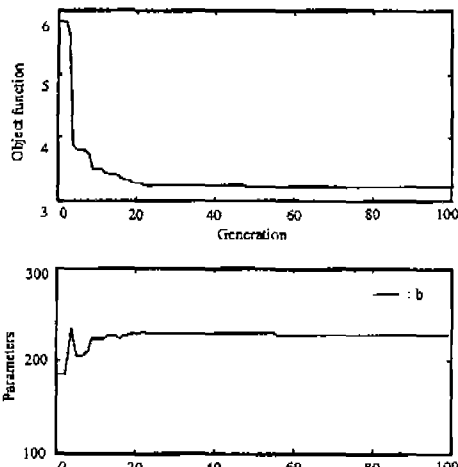


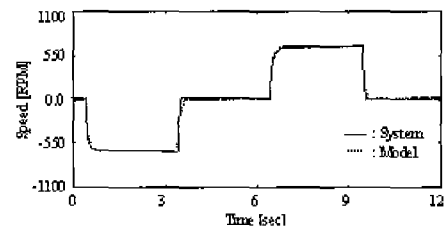
그림 6. RCGA를 이용한 파라미터 추정
Fig. 6. Parameter estimation using a RCGA

유전알고리즘은 확률적 탐색도구로서 그 성능은 초기 집단의 구성에 영향을 받게 된다. RCGA의 경우에도 예외일 수 없으며 초기집단의 영향을 줄이기 위하여 독립적으로 선정되는 초기 씨대로 프로그램을 10번 돌려 추정치를 얻었고 이를 평균한 결과는 표 1과 같다.

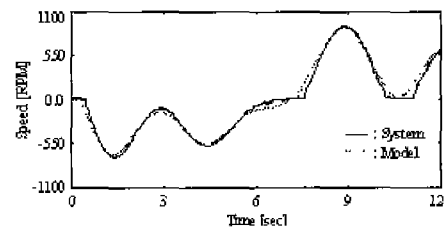
표 1. 파라미터의 추정치
Table 1. Estimated values of the parameters

| 파라미터 | 추정치 | 비고 |
|-------|---------|---------------------------------|
| a_1 | 11.444 | $a_1 = (a_1 R + K_t K_b) / J R$ |
| a_2 | 11.426 | $a_2 = (a_2 R + K_t K_b) / J R$ |
| b | 227.431 | $b = K_t / J R$ |
| c_1 | 0.850 | $c_1 = \beta_1 / J$ |
| c_2 | 0.728 | $c_2 = \beta_2 / J$ |

추정된 최적의 모델은 검정용 데이터를 가지고 검정되었다. 그림 7(a)는 추정에 사용된 입력에 대해 시스템과 모델의 두 출력을 그린 것이고, 그림 7(b)는 검정을 위한 입력 $u = 0.12\sin(0.5t) + 0.05\sin(1.4t) + 0.05\sin(2t)$ 에 대해 출력을 그린 것이다. 그림에서 보면 클럭마찰의 크기가 급격하게 변동하는 정지속도 부근을 제외하고는 모델과 시스템의 응답이 잘 일치되고 있음을 알 수 있다.



(a) 추정 데이터



(b) 검정 데이터

그림 7. 추정된 모델의 검정
Fig. 7. Estimated model verification

4.2 퍼지보상기의 파라미터 동조

퍼지보상기의 전진부 입력변수 공간은 시행착오적인 반복 실험을 통하여 그림 8과 같이 F^1, F^2, F^3 로 퍼지분할 되었고 이들은 각각 NB, ZO, PB로 표기되었다. 이때의 소속함수의 파라미터는 $\mu_1 = -8, \sigma_1 = -1, m_2 = 0, \sigma_2 = 0.5, \mu_3 = 8, \sigma_3 = 1$ 이다.

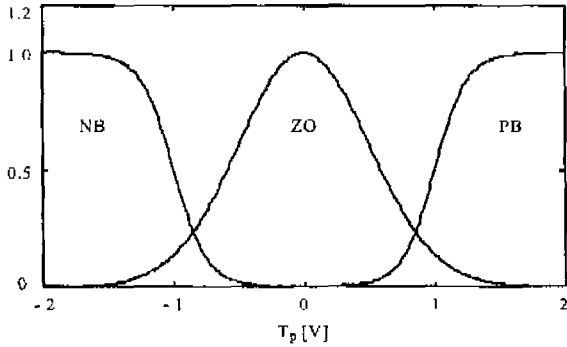


그림 8. 입력공간의 퍼지분할
Fig. 8. Fuzzy partition of input space

앞서 언급하였듯이 결론부는 부하변동 등 외란에 의해 발생하는 오차의 제거 성능이 개선된 PI 제어기 또는 기준입력 변화를 잘 추종하도록 동조된 PI 제어기로 구성된다. 전자는 조건부의 퍼지집합 NB와 PB에 해당하는 PI 제어기로서 제어기 파라미터는 부하변동이 시스템에 미치는 영향을 고려하여 계단상의 부하변동의 경우 식 (13)의 목적함수가 최소가 되도록 RCGA로 동조되었고, 그 결과 $K_P=0.382, K_I=5.391$ 로 선정되었다. 후자는 ZO에 해당하는 제어기로서 무부하 시 계단상의 기준입력 변화에 대해 목적함수가 최소가 되도록 동조한 결과 $K_P = 0.669, K_I = 3.944$ 를 얻을 수 있었다.

$$J(K_P, K_I) = \int_0^{t_f} (|\dot{\omega}_r - \omega| + a|u|) dt \quad (13)$$

여기서 하중계수 $a = 0.005$ 가 사용되었고, t_f 는 충분히 큰 값으로 선정하였다.

4.3 응답실험

본 절에서는 두 가지 환경에 대해 제안된 제어기의 성능을 검증하기 위해 실제 시스템에서 응답실험을 실시하였다. 샘플링 시간은 5.4[msec]로 두었고 전처리필터의 시정수는 0.01으로 하였다.

(1) 계단상의 기준입력 변화에 대한 응답

그림 9는 6[sec] 간격으로 기준입력을 변경시켰을 때 DC 모터의 출력을 나타낸 것으로서 제안된 제어기의 성능이 만족스러움을 알 수 있다.

(2) 부하변동에 대한 응답

부하변동에 대한 제안된 제어기의 강인성을 확인하기 위하여 기준입력이 변경된 후 3초가 경과된 후 시스템 출력이 정상상태에 있을 때, 각각 0.2[V]의 부하 변동에 해당하는 계단상의 외란을 인가하였다. 그림 10은 응답

을 보여주는 것으로서 외란 변화에도 불구하고 시스템의 출력은 즉시 회복되어 기준입력을 추종하는 것을 알 수 있다.

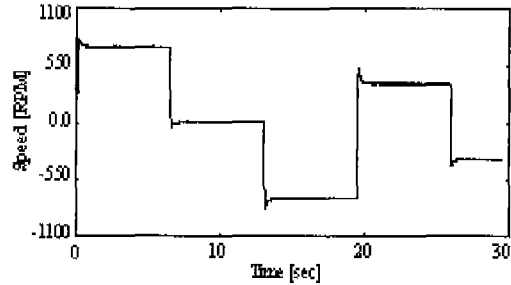


그림 9. 계단상의 입력변동에 대한 응답
Fig. 9. Response to step reference changes

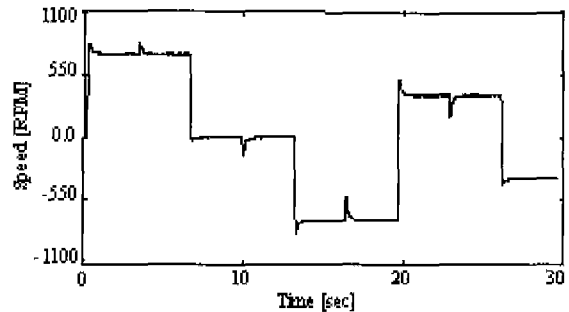


그림 10. 계단상의 부하변동에 대한 응답
Fig. 10. Response to step-type load changes

5. 결론

본 연구에서는 시스템의 역동력학과 퍼지기법을 이용하여 DC 모터용 속도 제어기를 설계하는 문제를 다루었다. 이는 모델을 기반으로 하는 제어의 한 기법으로서 기준입력에 대한 시스템의 추종성능과 외란에 대한 제거 성능을 동시에 만족할 수 있도록 고안되었다. 이 때 모델의 파라미터와 퍼지보상기의 계수를 최적 조정하기 위해서 RCGA를 도입하였다. 제안된 방법을 Feedback사의 MS150 DC 모터시스템에 적용시킨 결과, 만족스러운 제어성능을 얻을 수 있었음을 확인하였다.

참고 문헌

[1] W. Leonhard, *Control of Electrical Drives*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996.
[2] T. Kenjo and A. Sugawara, *Stepping Motors and Their Microprocessor Controls*, Oxford University, 1996.
[3] C. E. Garcia and M. Morari, "Internal Model Control 1: A Unifying Review and Some New Result," *Industrial Engineering Chemistry Research*, vol. 21, pp. 308, 1982.

[4] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems," *IEEE Contr. Syst. Mag.*, vol. 9, no. 3, pp. 65-72, 1989.

[5] S. Kawaji and N. Matsunaga, "Generation of Fuzzy Rules for Servomotor," *Proc. IEEE Int. Workshop on Intelligent Motion Control*, Istanbul, Turkey, pp. 77-82, 1990.

[6] T. Sugie and T. Yoshikawa, "General Solution of Robust Tracking Problem in Two-Degree-of-Freedom Control Systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. AC-31, pp. 552-554, 1986.

[7] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control", *IEEE Trans. on Sys., Man and Cyber.*, vol. 15, no. 1, pp. 116-132, 1985.

[8] K. Tanaka and M. Sugeno, "Stability Analysis and Design of Fuzzy Control Systems," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 45, pp. 135-156, 1992.

[9] J. J. Grefenstette, "Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-16, no.1, pp. 122-128, 1986.

[10] 허남호, 남광희, "역동력학을 이용한 교류 전동기 전류제어기," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제 6권, 제 1호, pp. 26-32, 2000.

[11] 이현식, 진강규, "유전알고리즘을 이용한 비선형시스템의 퍼지 모델링 및 제어", *대한전기학회 하계 학술대회 논문집*, B편, pp. 581-584, 1998.

[12] 진강규, 주상래, "실수코딩 유전알고리즘에 관한 연구," *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 제 6권, 제 4호, pp. 268-275, 2000.

[13] 진강규, *유전알고리즘과 그 응용*, 교우사, 2000.



김종화(Jong-Hwa Kim)

1981년: 부산대학교 기계공학과(공학사)
1985년: 부산대학교 대학원 기계공학과(공학석사)

1989년: 동대학원 기계공학과(공학박사)

1996년~1997년: (영)University of Wales Cardiff 객원교수

1990년~현재: 한국해양대학교 기계·정보공학부 교수

관심분야: 퍼지제어, 지능제어, 시스템자동화 등



유영호(Yung-Ho Yu)

1974년: 한국해양대학교 기관학과(공학사)

1986년: 한국해양대학교 대학원 기관학과(공학석사, 제어전공)

1990년: 동대학원(공학박사, 제어전공)

1997년~1998년: (영)University of Wales Cardiff 객원교수

1992년~현재: 한국해양대학교 기계·정보 공학부 부교수, 한국박용기관학회 재무이사

관심분야: 디지털제어, 최적제어



진강규(Gang-Gyoo Jin)

1977년: 한국해양대학교 기관학과(공학사)

1985년: Florida Institute of Tech., 전기·전자·컴퓨터공학과(공학석사)

1996년: (영)University of Wales Cardiff 전기·전자·시스템공학과(공학박사)

1981년~현재: 한국해양대학교 기계·정보 공학부 교수

관심분야: 퍼지제어 및 응용, 진화연산

저 자 소 개



김병만(Byong-Man Kim)

1999년: 한국해양대학교 제어계측공학과(공학사)

2001년: 한국해양대학교 대학원 제어계측공학과(공학석사)

2001년~현재: 현대중공업(주) 기술개발본부

관심분야: 유전알고리즘, 퍼지제어, 최적제어