

## 기준모형을 이용한 PID 유전 제어기 설계

박근화\* 남문현 황용원 천성주  
건국대학교 서울산업대학교

### A PID Genetic Controller Design Using Reference Model

Park K. H.\* Nam M. H. Hwang Y. W. Chun. S. J.  
konkuk Unin., S. N. P. U.

**Abstract** - PID 제어는 50년의 역사를 갖기 때문에 현장의 사용자는 이 제어방식에 익숙해져 있으며, 제어 장치의 구성이 간단하며 제어기의 최적동조가 가능하므로 많은 분야에서 사용되고 있다[1]. 그러나 PID 제어기에 의해서 얻은 결과에 대하여 만족하기 위해서는 많은 시행착오를 겪어야 한다. 또한 만족하는 결과를 얻었다고 할지라도 외란, 플랜트의 동특성이 바뀌는 경우 시스템을 추종하지 못하기 때문에 파라미터를 재조정하여야 한다.

유전 알고리즘은 자연세계의 진화 현상에 기초한 계산 모델로서 John Holland에 의해서 1975년에 개발된 전역적인 최적화 알고리즘이며[1][2], 비선형, 고차원, 불연속, 다중모드, 노이즈 함수 등에 대하여 강건함을 보여주고, 복잡한 탐색 공간에서 최적값을 스스로 발견하는 학습 능력을 갖는다. 이 방법은 재생산, 교배, 돌연변이를 통하여 최적해를 찾는 방법으로 1989년에 D. E. Goldberg에 의해서 체계적으로 정리된 후 여러 분야에서 응용되고 있다[3][4]. 그러나 유전 알고리즘은 목적함수만을 이용하여 해집단을 탐색하기 때문에 숙련 운전자가 원하는 제어 특성 명세인 상승시간, 정착시간, 초과량(overshoot) 등을 구체적으로 명시하여 제어에 반영할 수 없다. 또한, 유전 알고리즘은 입력값이 크게 바뀔 경우 다른 시스템으로 인식하여 새로운 탐색을 수행하는 단점을 가지고 있다.

본 논문은 첫째, 기준모형을 도입하여 플랜트의 성능을 기준모형으로 표현하여 플랜트가 요구하는 성능지표를 정량적으로 규정하는 것이 가능하였다. 또한, 이것은 미지 플랜트 동특성을 식별하기 위한 신호로 사용되어, 플랜트의 정보를 얻는데 이용되었다. 즉, 기준모형과 플랜트 출력사이의 추종 오차 정보가 적응기구인 PID 유전 제어기의 입력으로 사용되며, 구형과 입력의 경우에도 기준모형과 플랜트의 출력차는 크게 변하지 않는다. 따라서, 유전 알고리즘의 목적함수에 기준 모형을 제안 적용하여 안정적이고, 세밀한 제어를 수행하였다. 둘째, PID의 간단하면서 확실한 제어가 가능하다는 점과 전역적인 최적값을 찾을 수 있는 유전 알고리즘을 적용하여 고속제어를 요하는 직류 서보 모터(DC Servo Motor) 운전시 실시간 파라미터 동조에 적용하였다.

## 1. 서 론

동적 시스템을 대상으로 하는 제어기를 설계하기 위해서는 제어대상의 동특성을 파악할 필요가 있으며, 그것을 구하는 방법으로서 전달함수로 표현된 제어대상 모델을 이용하는 것이 효과적이다.

실제 시스템의 모델을 구성하기 위한 접근 방법으로는 물리적인 해석에 따라 수학적 모델을 구하는 방법과 주어진 입력력 데이터에 근거해서 시스템의 전달 함수를 추정하는 방법이 있다. 그러나 동적 시스템은 전달함수나, 플랜트의 수학적 모델 구하기가 어렵고, 비선형성을 포함하고 있어서 매우 복잡하며, 실시간 제어가 불가능할 때가 많다.

산업 자동화가 가속됨에 따라 로봇이나 수치 제어용 공작기계 및 사무 자동화 기기, 항공기등의 분야에서 고속응답 및 고정밀 응답의 서보 전동기 제어 시스템이 요구되고 있다. 이러한 서보 전동기 구동 시스템의 위치 및 속도 제어에는 고속 응답성, 외란에 대한 빠른 회복성, 매개변수 변동에 대한 강건성등이 요구된다.

## 2. 본 론

### 2.1 기준모형

일반적으로 기준모형은 미지의 플랜트의 동특성을 식별하기 위한 신호로 사용되어 왔다. 플랜트에 대해 요구되는 제어특성을 기준모형으로 표현하여 제어기를 투입한 플랜트 응답이 기준모형과 같은 응답이 되도록 하기 위해서는 속응성, 안정도, 정상상태 특성등의 설계사양을 각기 정량화하고 이를 만족하도록 제어기를 설계한다. 기준모형을 결정하기 위하여 시간응답 파형의 초과량은 안정도, 지연시간과 최대치까지의 시간은 속응성, 정착시간은 속응성과 안정성을 표현할 수 있으며, 주파수 응답파형의 공진 첨두치는 안정도, 대역폭은 속응성등의 특성을 표현한다[9]. 이러한 기준모형은 일반적으로 2차 시스템으로 표현한다.

$$G_d(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

즉, 앞에서 기술한 설계 사양들은 제동비  $\zeta$  와 비감쇠 자연주파수  $\omega_n$ 로 해석적 표현이 가능하므로, 요구출력 성능을 쉽게 표현할 수 있어야 하며, 이해하기가 용이해야 한다. 따라서, 기준입력에 대한 전체 제어 시스템에서 요구되는 제어성능을 특성화하고, 수량화하기 위하여 2차 시스템의 표현을 기준모형으로 사용한다[10].

본 논문에서 기준모형은 PID 유전 제어기에서 매 세대 개체집단에서 개체들을 평가하여 적합도를 산출하는 요소로 사용된다. 이 적합도의 정도에 따라 가장 우수한 개체가 시스템에 적용되어 제어를 수행하도록 설정하였다.

### 2.2 유전 알고리즘

인공 유전 시스템인 유전 알고리즘(Genetic Algorithms : GA)은 자연계의 진화현상에 기초한 모델로서 John Holland에 의해서 1975년에 개발된 최적화 탐색개법이다[1]. 자연계에서 염색체가 복제, 교배, 돌연변이를 반복하여 진화하듯이 시스템의 최적해를 찾는 방법으로 D. E. Goldberg에 의해 체계가 정리된 이후 여러 분야에 응용되고 있다[1]. 유전 알고리즘은 일종의 최적치 계산기법으로, 기존의 방법은 국부 최적치(local optimum)에 수렴할 확률이 있고, 미분이 불가능한 함수에서는 해석이 어렵다. 반면 유전 알고리즘은 전역적 탐색기법으로 여러 해의 동시탐색이 가능하고 다중해를 갖는 비선형성이 강한 시스템에도 적용이 가능하다는 이점을 갖고 있다.

### 2.2.1 유전 알고리즘의 목적함수

목적함수(objective function)는 최적화(최대화 또는 최소화)하고자 하는 함수를 평가하는 기반이다. 목적함수는 제어 시스템에서 성능평가 함수로 사용되는 오차(e), 오차의 변화(Δe)를 사용하였고, e, Δe의 최소화 문제를 아래 식을 이용하여 최대화 문제로 변환시켰다.

$$f(F) = \exp(-\sqrt{\frac{F}{t}}) \times 100 \quad 2.1$$

F : 목적함수(objective function), f : 적합도함수(fitness function)이다.

동적시스템에서 목적함수를 사용하여 성능평가를 수행하기 때문에 구형과 입력과 같은 급변하는 경우 경계치에서 최대값을 최적값으로 인식하는 현상이 된다. 따라서 직류 서보 모터는 허용이상의 제어량의 입력으로 탈조하거나, 제어를 하지 못하게 된다. 본 논문에서는 기존의 기준입력과 플랜트 출력사이의 차를 이용하지 않고, 기준모델을 제한 적용하여 기준 모델 출력과 플랜트 사이의 차를 적용하였다. 아래 식은 본 논문에서 제안한 목적함수이다.

$$F = \sum_{i=0}^N (em_i^2 + ecm_i^2) * t \quad 2.1$$

여기서 em은 기준모델과 플랜트 출력사이의 오차(error), ecm은 기준 모델에서의 오차 변화값, t는 세대수이다.

식2.1의 목적함수가 최소일 때 가장 좋은 개체로 적용할 수 있다. 논문에서는 식2.1을 최대화 문제로 변화하여 적합도가 0에서 100으로 변환하여 적합도를 쉽게 판별할 수 있게 변환하였다.

### 2.2.2 유전알고리즘의 교배와 돌연변이

불균등 돌연변이는 유전자 알고리즘에서 정밀한 답을 제공하는 데 필수적인 지역적 미세 조정 능력을 갖출 수 있도록 하기 위하여 도입하였고, 이진표현 중 왼쪽 부분에 자리잡은 비트 변환은 상당히 큰 돌연변이 효과를 나타내고, 반면에 오른쪽 부분의 비트들은 미약한 효과를 나타낸다. 돌연변이의 발생 위치에 따르는 실제 효과에 관한 전역적 정보를 지역적 미세 조정 능력의 확보와 관련하여 다음과 같이 활용했다. 개체집단의 수명이 경과할수록, 각 변수를 나타내는 이진표현의 왼쪽 부분이 돌연변이를 겪을 확률은 점차 줄어 주고, 오른쪽 부분에 대해서는 그 비율을 점차 늘려 준다. 즉, 돌연변이 과정 초기에는 전체 공간에 대한 전역적 탐색을 수행하고, 시간이 흐를수록 국소적 지역탐색을 추구하는 방식이 된다.

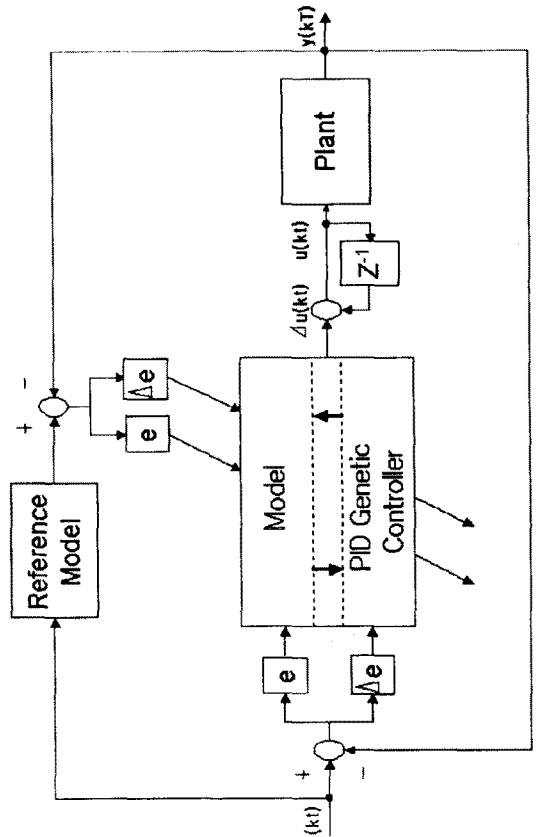
### 2.2.3 기준 모델을 이용한 전체 시스템

유전 알고리즘은 시스템에 대한 사전 지식이나 모델을 설정할 필요가 없고 수학적으로 해석이 어려운 비선형 시스템에도 적용이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 기능을 시스템 식별(System Identification)에 이용하였을 때 입출력과 출력 데이터로부터 시스템의 수학 모델을 결정하는데 이용할 수 있다.

모델링은 대상 시스템의 내부구조를 기술하는 것으로서 제어대상의 특성을 잘 아는 기술자의 능력에 크게 의존하지만, 유전 알고리즘을 이용한 경우 시스템에 대한 특성을 잘 알지 못하는 경우도 시스템 식별을 정밀하게 얻을 수 있다.

그림1.은 기준 모델을 이용한 제어기 블록선도이다. 유전 알고리즘을 이용하여 PI계수를 최적으로 조정하는 기법을 이용하여 PI제어기에서의 파라미터의 최적화의 어려운 단점을 극복하고, 유전 알고리즘에서 급변하는 입력에 대하여 새로운 탐색 공간을 찾는 단점을 극복하기 위하여 기준모델을 사용하였다.

그림1. 기준모델을 이용한 제어기 블록선도



3. 실험

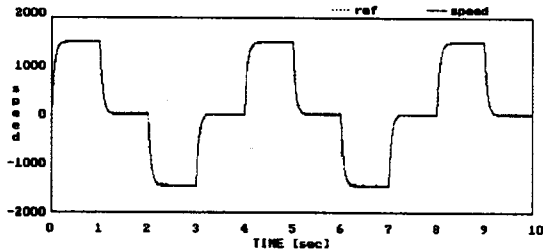
본 논문에서 사용한 PID 유전 알고리즘 동조는 플랜트에서 요구되는 응답특성을 기준모델로 표현하고, 기준모델의 출력과 플랜트 출력의 차에 의해 제어입력을 변화시켰다. 따라서, 유전 알고리즘에서 입력의 급격한 변화는 다른 시스템으로 인식하여 재동조하는 단점을 극복할 수 있었다. 1차, 2차 시물레이션에서 기준모델을 사용했을 때와 사용하지 않았을 때를 비교하여 보면, 기준모델을 사용하지 않았을 경우, 입력의 변화가 클 때(예 : 구형과 입력) 큰 오차와 오차변화의 값으로 인하여 전역탐색을 수행하고 경우에 따라서는 학습이 잘 된 후에 재추종 과정에서 잘못된 값으로 제어를 수행하였다. 그러나 기준모델을 사용하였을 때는 기준모델을 잘 추종하였고, 기준모델과 플랜트의 차가 항상 작은 값들을 사용하므로 학습이 개선되었고, 세밀한 제어가 가능했다.

돌연변이율이 큰 경우 최적해를 탐색한 후 큰 입력변화시나, 부하의 변동시 재추종과정에서 잠시 지역적인 해를 최적해로 인식하는 경우가 발생하였다. 그러나 지역적인 해로부터 빨리 탈출하는 경우가 많았다. 시물레이션의 결과로부터 알 수 있었던 것은 돌연변이율이 0.15인 경우 최적 값으로 나타났다. 개체집단이 50인 경우 0.4인 돌연변이율에서 안정적인 해를 탐색하는 것으로 나타났다. 기준모델을 사용한 경우는 비슷한 결과를 나타내었다. 그 이유는 초기 탐색을 지난 후에는 여러의 미세한 변화로 인하여 지역적인 탐색을 수행하기 때문이다.

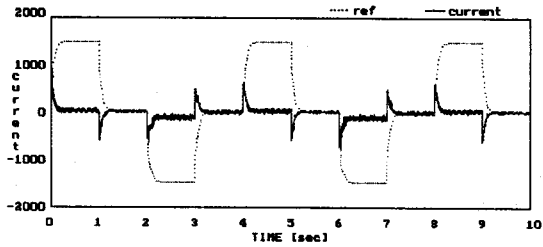
이러한 결과로부터 본 알고리즘은 급변하는 부하나 동특성이 바뀌는 시스템에 대하여 신속하고 신속성 있는 제어가 가능하고, 미세조정을 수행할 수 있는 제어기임을 알 수 있다.

단순 PID-유전알고리즘은 P,D의 제약조건을 [0 5],

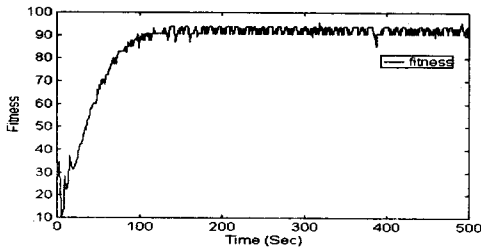
[0 5]로 설정하였고, 기준모형을 이용한 PID-유전제어기는 [0 10], [0 10]의 제약조건하에서 정·역 구형파



(a) 속도 응답



(b) 제어 전류



(c) 적합도

그림 2. 기준모형을 이용한 PID-유전제어기 적용시 전동기 응답

입력에 대하여 실험을 실시하였다. 시뮬레이션에서 얻은 결과를 바탕으로 돌연변이율[0.15], 개체집단[10]인 경우 구형 가능한 가장 이상적인 응답을 나타내었기 때문에 이 값을 이용하여 실험하였다.

그림 2은 기준모형을 이용한 PID-유전제어기 제어기이다. (a)는 속도 응답 곡선이고, 전 구간에서 오버슈트, 지연, 찰두치가 발생 없이 기준모형을 잘 추종하였다. (b)는 제어전류량으로 모터 정·역 동특성이 다름에도 동조하여 신속하게 추종하였다. (c) 적합도 응답을 보면 단순 PID-유전알고리즘에서 77.7[%]의 적합도까지 도달하는데 53세대에서 도달하였고, 평균적합도 93.2[%]까지 도달하는데는 114세대에서 도달하였다.

### 3. 고 찰

본 논문에서는 유전 알고리즘을 이용한 실시간 제어를 위한 구현의 어려움이 있었고, 유전 알고리즘에서 목적 함수를 정보로 이용하여 탐색하기 때문에 구형파 입력과 같은 급변하는 입력에 대하여 매 구간에서 재추종하는 단점을 극복하기 위하여 기준 모형을 제안하였다. 본 제어기는 외부 기준 모델과 내부 PID-유전 알고리즘으로 구성되어 있으며, 유전 알고리즘은 돌연변이율, 개체집단의 크기에 따라 성능이 크게 다르기 때문에 이 값에 대하여 시뮬레이션을 통하여 검증하였고, DC 서보 모터

를 이용하여 실험을 실시하여 다음의 결과를 얻었다.  
 (1) 기준모형을 도입함으로써 기준입력에 대하여 전체 제어 시스템에서 요구되는 제어 성능을 구체적으로 명시하여 제어에 반영할 수 있었다.  
 (2) 유전 알고리즘을 이용한 DC 서보 모터와 같은 동적 시스템에서 문제가 되었던 구형파 입력에 대한 단점을 극복할 수 있었다.  
 (3) 기준모형을 도입함으로써 개체집단의 탐색영역을 2배이상 확대하여 해를 탐색할 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] D.E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine-Learning", Addison-Wesley, 1989
- [2] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms + DataStructures = Evolution programs", Springer-Verlag, 1995
- [3] K.C. Ng and Li, Y., "Design of Sophisticated Fuzzy Logic Controllers Using Genetic Algorithms", proc. 3rd IEEE Int. conf. on Fuzzy Systems, IEEE World Congress on Computational Intelligence, Orlando, FL, 3, 1708~1712, 1994
- [4] Miller, T. W. and Lopes, A.M., "A comparison of Controller Tuning Techniques," Control Eng., vol. 14, pp. 72~75, 1967.
- [5] K. J. Atrom, "Fuzzy set" Information and Control, vol. 8, pp. 308~353, 1965.
- [6] H. Butler, Model Reference Adaptive Control, Prentice Hall, 1992.
- [7] I. D. Landau, "An extension of a stability theorem applicable to adaptive control", IEEE Trans. Automat. Con., vol. AC-25, no. 4, pp.814-817, 1980
- [8] R. isermann and K. H. lachmann, "Parameter adaptive control with configuration aids supervision functions," Automation, vol. 21, No. 6, pp. 625-638, 1985
- [9] 남문현, 이상효, 남부희, 제어 시스템 공학, 자유 아카데미, 1989.
- [10] 손재현, 동적 시스템을 위한 모델 기준 적용 퍼지 제어기의 설계, 건국대학교 대학원 박사학위논문, 1995.
- [11] BUIU, C. and DUMITRACHE, I., Genetic Algorithms in Intelligent Control Systems Design, Preprints of the 2nd IFAC Symposium, SICICA' 94, Budapest, Hungry, June 8\_10, 1994, pp.188~193