

# RCGA를 이용한 외란제거용 PID 제어기의 동조규칙

김민정\* · 이윤형\*\* · 우은경\*\*\* · 진강규\*\*\*\*

## Tuning Rules of the PID Controller Using RCGAs

Min-Jeong Kim<sup>+</sup>, Yun-Hyung Lee<sup>++</sup>, Eun-kyung Woo<sup>+++</sup> and Gang-Gyoo Jin<sup>++++</sup>

**Abstract :** In this paper, tuning rules of the PID controller for load disturbance rejection are proposed incorporating with real-coded genetic algorithms(RCGAs). The optimal parameters sets of the PID controller are obtained based on a first-order plus time delay model and a RCGA. As for assessing the performance of the controller, criteria(ISE, IAE and ITAE) are adopted. Then tuning formulae are derived using the tuned parameters sets, potential tuning rule models and another RCGA. A simulation work is carried out to verify the effectiveness of the proposed rules.

**Key words :** PID controller, real-coded genetic algorithm, performance criteria.

### 1. 서론

근래 제어이론의 급속한 발전에도 불구하고 아직도 대부분의 산업현장에서는 PID 제어기가 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 이는 PID 제어기가 현장에서 요구되는 제어 목적을 충분히 만족시키면서 구조가 간단하고, 조정해야 할 계수의 수가 적어 현장 기술자에게 친숙하기 때문이다. PID 제어기는 사용 환경에 따라 설정치 추종 성능 또는 외란억제 성능을 개선하도록 구분되어 동조된다. 지금까지 많은 동조규칙들이 제안되어 왔으나<sup>[2]-[4]</sup> 대부분의 경우 경험과 실험을 바탕으로 하고 있으며, 체계적인 동조방법이 요구되고 있다. 따라서 김<sup>[5]</sup> 등은 RCGA를 이용하여 설정치 추종용 PID 제어기의 동조규칙을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 설정치는 고정되고 부하외란만 변동되는 환경에서 운전되는 PID 제어기의 외란제거 성능을 개선해주는 동조규칙을 얻는다. 이를 위해 먼저 RCGA를 이용하여 주어진 성능지수를 최소로 하는 관점에서 최적계수를 구하고, 최적계수와 동조규칙 모델과 또 다른 RCGA를 이용하여 일반화된 동조규칙을 얻는다. 제안하는 방법은 시뮬레이션을 통해 기존의 방법과 비교하여 그 유효성을 검토한다.

### 2. 제어대상과 PID 제어기

복잡한 공정제어 시스템들은 동작점 부근에서 1차 시간지연 시스템과 유사한 응답특성을 가지므로 제어대상으로는 (1)의 1차 시간지연 시스템이, PID 제어기로는 (2)의 표준형이 채택된다. 전체 제어시스템은 Fig. 1로 표시된다.

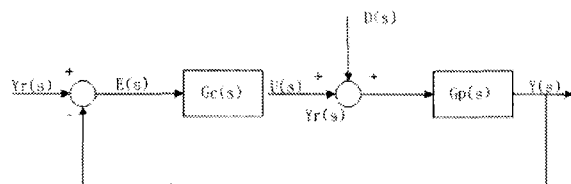


Fig. 1 A PID control system

$$G_p(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{1 + \tau s} \quad (1)$$

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) \quad (2)$$

여기서  $r, y, d$ 는 각각 설정치, 출력, 외란이고,  $K_p, \tau_i, \tau_d$ 는 제어기의 비례이득, 적분시간, 미분시간이며  $K, \tau, L$ 은 제어대상의 정상이득, 시정수, 시간지연을 의미한다.  $t/\tau = t'$ 가 주파수 영역에서는  $s' = \tau s$ 인 관계임을 적용하여 (1), (2)를 무차원화하면 (3), (4)를 얻을 수 있고  $L/\tau$ 를 하나의 파라미터로 취급할 수 있어서 해석이 용이하게 된다.

$$G_p(s') = \frac{Ke^{-\frac{L}{\tau}s'}}{1 + s'} \quad (3)$$

$$G_c(s') = K_p \left( 1 + \frac{1}{\frac{\tau_i}{\tau}s'} + \frac{\tau_d}{\tau}s' \right) \quad (4)$$

본 연구에서는 외란제거용 PID 제어기의 동조규칙을 얻는 것이 목적이므로  $r = 0$ 으로 간주하고 또 외란에서 출력까지의 전달함수를 쓰면 (5)와 같다.

$$\frac{Y(s')}{D(s')} = \frac{G_p(s')}{1 + G_c(s')G_p(s')} \quad (5)$$

### 3. RCGA를 이용한 동조규칙의 유도

PID 제어기의 최적동조 시 발생하는 최적화 문제를 해결하기 위하여 RCGA를 이용하며<sup>[6]</sup>, RCGA는 세 계수로 구성되는 염색체(Chromosome)들의 성능이 좋고 나쁨을 정량적으로 평가할 수 있는 성능지수를 필요로 하고, 본 연구에서는  $e = r - y$ 를 오차로 할 때 제곱오차적분(ISE), 절대오차적분(IAE), 시간곱 절대오차적분(ITAE)의 세 가지를 고려하였다.  $L/\tau$ 에 대하여 RCGA는 주어진 성능지수 값이 최소가 되도록 제어기의 계수를

\* 김민정 (한국해양대학교 대학원 제어계측공학과), E-mail: clear\_soul@bada.hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4924  
 \*\* 이윤형 (한국해양대학교 대학원 메카트로닉스공학과)  
 \*\*\* 우은경 (한국해양대학교 대학원 제어계측공학과)  
 \*\*\*\* 진강규 (한국해양대학교 IT공학부)

조정하게 된다. RCGA의 제어 변수로는 집단의 크기  $N=20$ , 재생산 계수  $n_r=1.7$ , 교배확률  $P_c=0.9$ , 돌연변이 확률  $P_m=0.05$ 를 사용하였다.

계산된 데이터로부터 새로운 동조규칙을 얻기 위하여 기존의 규칙들<sup>[2]-[4]</sup>을 참조하여 Table 1과 같은 형태의 동조규칙 모델을 고려하였다. 여기서 발생하는 최적화 문제에도 RCGA를 적용하며, 아래의 성능지수가 최소가 되도록 모델의 계수를 조정한다. Fig.2는 이를 보인다.

$$J_0 = \sum_j |K_p - \hat{K}_p| \quad (4)$$

$$J_1 = \sum_j |\tau_i - \hat{\tau}_i| \quad (5)$$

$$J_2 = \sum_j |\tau_d - \hat{\tau}_d| \quad (6)$$

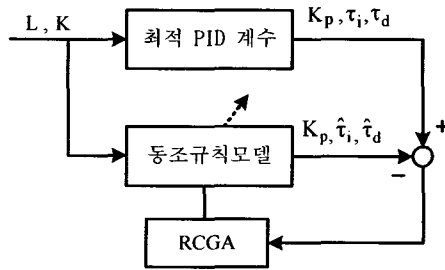


Fig. 2 PID parameter tuning using a RCGA

표1은 각 성능지수에 대한 최적화된 동조규칙을 나타낸다.

Table 1. Tuning rules for load disturbance rejection

| Types | PID controller parameters       |  |                                     |
|-------|---------------------------------|--|-------------------------------------|
|       | $KK_p$                          | $\tau_i/\tau$  | $\tau_d/\tau$                       |
| ISE   | $1.544(\frac{\tau}{L})^{0.847}$ | $\frac{1.033+0.406(\frac{L}{\tau})}{1+0.624(\frac{L}{\tau})^{-1}}$ | 9.263                               |
|       |                                 |  | $2.122+14.676(\frac{L}{\tau})^{-1}$ |
| IAE   | $1.454(\frac{\tau}{L})^{0.857}$ | $\frac{1.092+0.446(\frac{L}{\tau})}{1+0.438(\frac{L}{\tau})^{-1}}$ | 7.392                               |
|       |                                 |  | $2.293+15.157(\frac{L}{\tau})^{-1}$ |
| ITAE  | $1.396(\frac{\tau}{L})^{0.846}$ | $\frac{1.619+0.316(\frac{L}{\tau})}{1+0.664(\frac{L}{\tau})^{-1}}$ | 6.503                               |
|       |                                 |  | $1.903+15.796(\frac{L}{\tau})^{-1}$ |

#### 4. 시뮬레이션 및 검토

제안하는 방법의 유효성을 검증하기 위해 시뮬레이션을 실시하며, 제어대상으로는 3차 모델을 사용하였다<sup>[5]</sup>.

$$G_p(s) = \frac{\exp(-5s)}{(s+1)^2(2s+1)} \quad (4)$$

제안하는 방법과 기존의 방법을 적용하기 위해서는 단위계단 개루프 응답으로부터 1차 시간지연 모델의 매개변수를 얻는 것이 요구되나, 여기서는 더욱 정교한 매개변수를 얻도록 RCGA를 이용하여 저차화하였다.  $K, \tau, L$ 은 각각  $0 \leq K \leq 50$ ,

$0 \leq \tau \leq 50$ ,  $0 \leq L \leq 10$ 의 구간에서 탐색되었고, 샘플링 시간은  $h=0.01$ 초이었다. 시뮬레이션 결과 (5)의 근사모델을 얻을 수 있었다.

$$G_p(s) = \frac{1.002 \exp(-6.64s)}{1+2.497s} \quad (5)$$

비교목적으로 제안한 방법과 Ziegler-Nichols(Z-N)법<sup>[3]</sup>, Lopez ITAE<sup>[4]</sup>법의 응답을 구하고 그린 것이 Fig.3이다. 이때 설정치  $r$ 을 0으로 하고 단위 계단상의 외란  $d$ 를 입력하였다. 그림에서 보면 제안한 방법들이 기존의 방법보다 외란제거 성능이 개선된 것을 알 수 있다.

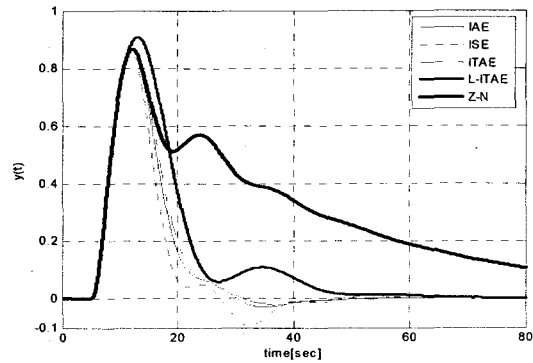


Fig. 3 Comparisons of step disturbance responses

#### 4. 결론

본 연구에서는 세 가지 성능지수(ISE, IAE, ITAE)에 대해 외란제거용 PID 제어기의 동조규칙을 얻는 문제를 다루었다. 먼저 1차 시간지연 모델에 대해서 RCGA는 각 성능지수를 최소화하도록 PID계수들을 결정하고, 계산된 계수와 동조규칙 모델과 또 다른 RCGA를 이용하여 PID 동조규칙을 유도하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 동조규칙들이 만족스러운 제어성능을 제공하였고 기존의 두 동조규칙보다 더 나은 결과를 보였다.

#### 참고문헌

- [1] Y. Nozaka, "Trend of new control theory application in industrial process control(survey)", Proc. IFAC 12th Triennial World Cong., Vol. 4, pp. 215-218, 1993.
- [2] M. Morari, E. Zafiriou, Robust process control, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1989.
- [3] J. G. Ziegler and N. B. Nichols, "Optimum setting for PID controllers", Trans. ASME, Vol. 64, pp. 759-768, 1942.
- [4] A. M. Lopez, C. L. Miller and C. L. Murill, "Tuning controller with error-integral criteria", Instrumentation Technology, Vol.14(2), pp.57-62, 1967.
- [5] 김도웅, 진강규, "RCGA를 이용한 PID 제어기의 모델기반 동조규칙", 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제8권, 제12호, pp. 1056-1060, 2002.
- [6] 진강규, 유전알고리즘과 그 응용, 교우사, 2004.