

진화 프로그램을 사용한 PID제어기의 최적 자동동조 (II)

이수흠* · 이내일* · 방근태**

* 경남대학교 전기공학과 · ** 영진대학 전자정보계열

An Optimal Auto-Tuning of PID Controller using Evolution Programs (II)

Soo-Heum Lee* · Nae-Il Lee* · Keun-Tae Bang**

* Kyungnam University · ** Yeungjin College
sooheum@kyungnam.ac.kr

ABSTRACT - We propose a new method to deal with the optimized auto-tuning for the PID controller which is used to the process-control in various fields. First of all, in this method, 1st order delay system with dead time which is modelled from the unit step response of the system is Padé-approximated, then initial values are determined by the Ziegler-Nichols method. After inputting constraints of evolution programs, we perform crossover and mutation to generate the descendant generation. The advantage of this method is better than the Ziegler-Nichols method in characteristic of output and has extent of applying without limit of K, L, T

I 서 론

산업 현장에서 널리 사용되는 제어기의 대부분은 여전히 비례-미분-적분항의 세가지 모드로 구성된 PID 제어기이며, 그 이유는 PID 제어 알고리즘 자체의 광범위한 운용능력, 단순성, 강인성 및 넓은 적용성 이외에도 현장 운용자들의 친숙함 등에 기인한다.¹⁾

그러나 이러한 추세에 비해 지금까지의 산업공정에서 운전자들은 제어 대상에 따른 PID 제어 계수를 시행 착오법에 의해 결정함으로써 잠재적인 PID 제어기의 능력을

충분히 발휘하지 못하는 경우가 대부분이었다. 최근 제어이론과 마이크로 전자공학의 발전으로 인하여 PID 제어기 계수를 자동으로 동조하는 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.^{2,3)}

본 연구에서는 이러한 점을 착안하여 PID 제어기의 최적 자동 동조에 관한 새로운 설계방법을 제안하고자 한다.

이 방법은 먼저 제어 대상의 계단응답으로부터 모델링된 1차 지연계를 Padé⁴⁾ 근사화 하고, Ziegler-Nichols의 한계감도법⁵⁾으로 초기계수를 정한 후 이때의 PID계수들을 진화전략⁶⁾의 구속조건으로 입력하여 교배와 돌연변이를 거쳐 다세대를 진화시켰다. 이 방법은 기존의 Ziegler-Nichols 방법의 PID계수를 진화전략에 적용시킨 것으로 보다 최적화된 PID 제어계수를 얻을 수 있다. 또한 제안한 제어기에 외란성분을 포함하여 산업현장에서의 응용성 및 강인성을 향상시켰다.

II PID제어기의 구성

1 PID제어기의 구성

우선 설비 시스템에 사용되는 제어기를 구성하기 위하여 PID제어기의 전달함수($G_c(s)$)와 1차 지연계($G_p(s)$)로 모델링된 제어대상의 정수(부동작시간, 시정수, 비례정수)들을 이용하여 제어기의 폐루프전달함수를 정식화하고, 이로부터 제어 대상의 계단응답을 역라플라스변환에 의하여 계산할 수 있도록 한다. 아래그림은 플랜트 PID제어의 개략도를 나타낸 것이다

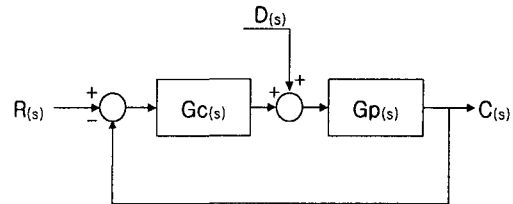


그림 1. 외란을 가지는 플랜트의 PID제어
Fig. 1. PID control of plant with disturbance

다음으로 Ziegler-Nichols방법을 통해 산출된 PID계수를 부모세대의 구속조건으로 사용한 진화 프로그램의 블록선도를 그림 2에 나타내었다.

이 블록선도에서는 기존의 Ziegler-Nichols방법에 의해 구해진 PID계수를 저장하여 제어대상

의 초기값과 함께 진화 전략의 구속조건을 만들게 되고, 그 계수들을 교배 및 돌연변이를 통하여 다음 세대들을 계속적으로 평가하여 최적화된 PID계수를 구하였다.

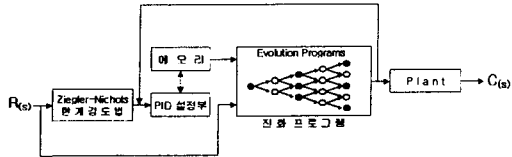


그림 2. 진화 프로그램의 블록선도
Fig. 2. Block diagram of PID control system using evolution programs

2 제어기 및 제어대상의 정식화

시뮬레이션에 사용한 PID제어기의 전달함수는 다음과 같이 정의한다.

$$G_C(S) = K_P(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S) \quad (2.1)$$

여기서 K_P 는 제어기의 비례이득, T_I 는 적분시간, T_D 는 미분시간이다.

그리고 Ziegler-Nichols의 한계감도법에 의해 식(2.1)에서 초기 PID 제어계수를 $T_D=0$, $T_I=\infty$ 로 설정함으로써 전달함수는 다음과 같다.

$$G_C(S) = K_P \quad (2.2)$$

제어대상은 가장 일반적인 모델인, Kűpfműller의 방법을 사용한 1차 지연계를 채택하기로 한다. 이렇게 하여 모델링된 제어대상의 전달함수는

$$G_P(S) = \frac{Ke^{-LS}}{1 + TS} \quad (2.3)$$

와 같고 e^{-LS} 를 2차까지 Padé근사화한 식은 다음과 같다.

$$e^{-LS} = \frac{1 - \frac{L}{2} S + \frac{1}{12} L^2 S^2}{1 + \frac{L}{2} S + \frac{1}{12} L^2 S^2} \quad (2.4)$$

식(2.4)을 식(2.3)에 대입하여 얻은 제어대상의 전달함수는 다음과 같다.

$$G_P(S) = K \frac{(L^2 S^2 - 6LS + 12)}{TL^2 S^3 + (6TL + L^2)S^2 + (12T + 6L)S + 12} \quad (2.5)$$

식(2.5)와 식(2.2)에 의해서 전방경로 전달함수 $G(s)$ 를 계산하면, 다음과 같다.

$$G(S) = KK_P \frac{(L^2 S^2 - 6LS + 12)}{TL^2 S^3 + (6TL + L^2)S^2 + (12T + 6L)S + 12} \quad (2.6)$$

제어대상의 페루프 전달함수를 계산하면,

$$M(S) = \frac{G(S)}{1 + G(S)} = \frac{KK_P(L^2 S^2 - 6LS + 12)}{TL^2 S^3 + (6TL + L^2 + KK_P L^2)S^2 + (12T + 6L - 6KK_P L)S + 12KK_P + 12} \quad (2.7)$$

가 된다.

이제 제어대상만 결정되면 (K , L , T 값의 결정), Ziegler-Nichols의 한계감도법 및 Routh-Hurwitz의 안정도 판별법을 이용하여 PID 제어계수 (K_P , T_I , T_D)를 결정한다.

3 외란의 영향

외란의 페루우프 전달함수는 2절에서와 같은 방법으로 그림1에서 정의되어지고, 외란 출력은 다음과 같다.

$$W(S) = B(S)D(S) \quad (2.1)$$

여기서 외란의 페루우프 전달함수 $B(s)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$B(S) = \frac{G_B(S)}{1 + G_B(S)G_C(S)}$$

또한 외란 $D(s)$ 는 다음과 같다.

$$D(S) = \frac{1}{S} e^{-T_d S}$$

따라서 그림1에서 나타낸 외란을 고려한 플랜트의 PID제어대상의 응답은 다음과 같이 된다.

$$C(S) = \frac{M(S)R(S) + B(S)D(S)}{1 + G_C(S)G_P(S)} = \left[\frac{G_C(S)G_P(S)}{1 + G_C(S)G_P(S)} \right] R(S) + \left[\frac{G_B(S)}{1 + G_C(S)G_P(S)} \right] D(S)$$

4 진화 프로그램

진화 프로그램은 초기값인 부모세대를 구하고자 하는 함수의 구속조건으로 두어 이것을 교배와 돌연변이를 통하여 다음세대를 만들고 이를 반복하여 전역적인 최적의 값을 구하는 일종의 자연의 현상을 모델링한 확률적인 탐색방법이다.

이 방법을 통하여 앞에서 구한 Ziegler-Nichols방법의 PID계수들을 진화 프로그램의 부모세대에 초기값인 구속조건으로 넣어 그것들에 대한 계산을 하게되면, 그 PID계수들에 따른 계단응답 파형은 기존의 Ziegler-Nichols의 방법보다 더욱 좋은 계단응답을 구할 수 있었고, Neural Network의 역전파알고리즘⁷⁾ 및 다변량 선형회귀분석⁸⁾에서의 단점인 학습범위라는 한정된 영역이 없으므로 입력변수의 사용이 자유롭게 되어 폭넓은 특성을 보이게 되었다.

진화전략은 원하는 구속조건을 통하여 교배, 그리고 돌연변이를 통한 개체집단을 구하고 그 개체집단의 세대를 통하여 다음 평가를 받는다. 이 평가는 다음 구속조건을 위한 확률분포를 만드는 데 사용된다. 즉, 현재의 적합도값에 비례하는 크기를 갖는 룰렛 선택을 하는데 사용된다. 나머지

진화는 위의 단계들을 주기적으로 반복하는 것에 불과하다.

III 제어 알고리즘

II 장의 3절에서 정의된 외란을 포함한 PID 제어기의 자동동조 과정을 살펴보면 다음과 같이 요약될 수 있다.

제어대상을 결정하기 위한 정수를 입력받아 제어대상을 결정하여 기존의 Ziegler-Nichols방법에 의한 PID계수들을 진화전략에 입력시켜 구속조건을 두어 교배, 돌연변이를 통하여 모수 추정을 한 후, 초기의 부모세대에서부터 계속적으로 반복되는 차세대를 거쳐가면 기존의 Ziegler-Nichols방법보다 출력특성이 좋은 P, I, D계수와 파형이 나타나며, 임의의 외란 성분을 포함한 제어를 통하여 외란에 대해서도 강인한 응답특성을 보일 것이다. 이 과정을 순서도로 좀더 자세하게 나타낸 것이 그림 3이다.

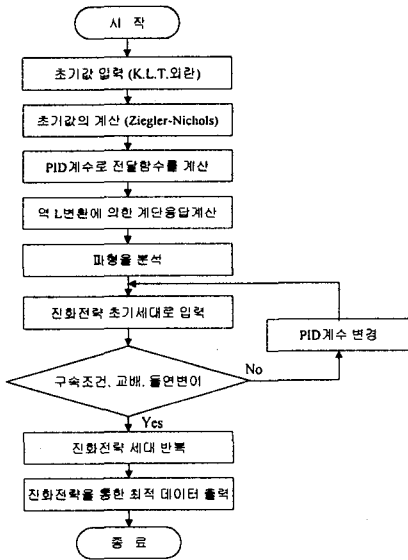


그림 3. 제안된 제어기의 순서도
Fig. 3. Flow chart of the proposed control system

IV 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서는 위와 같이 구성된 제어기를 시뮬레이션 하기 위해서 수치계산 프로그램언어인 MATLAB[®]을 이용하여 자동 동조 프로그램을 제작 사용하였으며, 시뮬레이션을 위해 제어 대상을 3가지 모델로 선정하였다. 모델 1과 모델 2는 초기값과 외란 영향이 동일한 가운데 진화전략의 자손세대수를 변화시켜 그 응답을 보인것이고, 모델 3은 모델 1, 2와는 다른 파라미터를 사용하여 그 출력응답을 비교하였다.

표 1. PID제어기의 물리적 파라미터
table 1. Physical parameter of PID Controller

구 분	Model 1, 2	Model 3
비례정수 (K)	1	1
부동작시간 (L)	0.5	0.01
시정수 (T)	80	100
외란 [sec]	2	0.5
자손세대수	50 200	200

제어대상을 첫 번째 경우 모델 1, 2로 정의하였을 때의 Ziegler-Nichols방법, 진화전략의 계단 응답이 아래에 나타나 있다.

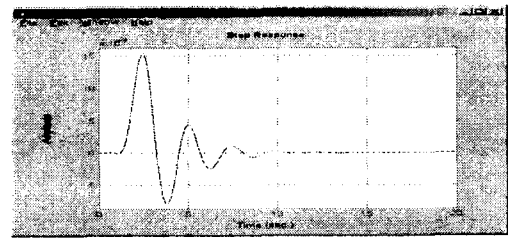


그림 4. 모델 1과 2의 외란의 영향
Fig. 4. Effect of disturbance with model 1 and model 2

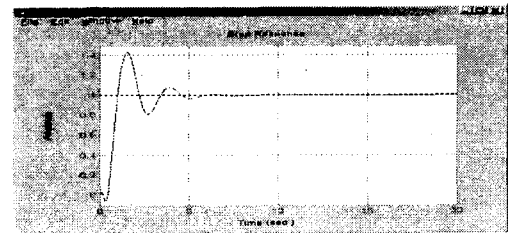


그림 5. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답 (모델 1,2)
Fig. 5. Step-response by Ziegler-Nichols method(model 1,2)

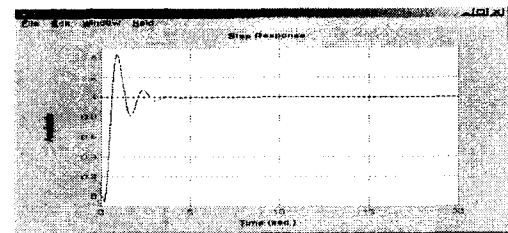


그림 6. 진화 프로그램에 의해 추론된 계단응답 (모델1)
Fig. 6. Step-response by evolution programs(model 1)

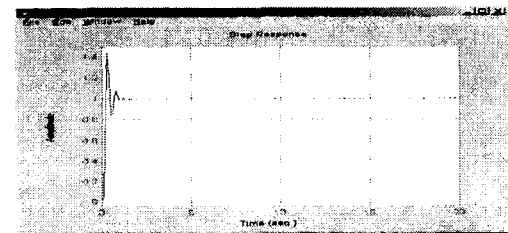


그림 7. 진화 프로그램에 의해 추론된 계단응답 (모델2)
Fig. 7. Step-response by evolution programs(model 2)

모델 1에 대한 시뮬레이션 결과를 살펴보면 Ziegler -Nichols방법에 의한 계단응답 보다 진화전략에 의한 계단응답이 안정됨을 볼 수 있다. 그리고 진화전략에 의해 차 세대에서 추론된 계단응답은 자손의 세대수를 늘리므로 좋은 응답특성을 구할 수 있다.

이에 따라 모델2에서는 유전자 알고리즘의 자손 수를 모델1에서의 50단계로 하지 않고 200단계로 늘려서 사용한 방식으로 그림 9에 나타내었다. 여기서 그림 8보다 자손의 수가 많으므로 더욱 안정한 파형을 얻을 수가 있었다. 여기서 진화전략의 최적값은 자손세대수가 200단계가 끝날 때의 마지막 값이 최적의 값이 되는 것이 아니라 200단계 중 가장 뛰어난 전역적인 값을 최적의 값으로 가진다.

다음은 제어대상을 모델 3으로 정의하였을 때의 Ziegler -Nichols방법과 진화전략의 계단응답을 시뮬레이션 한 결과를 그림 8~10에 나타내었다.

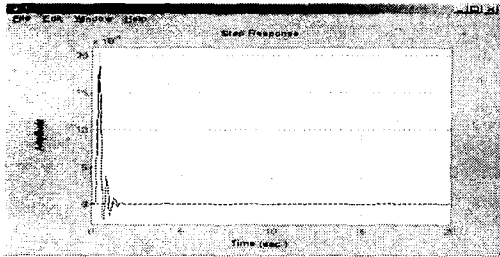


그림 8. 모델 3의 외란의 영향
Fig. 8. Effect of disturbance with model 3

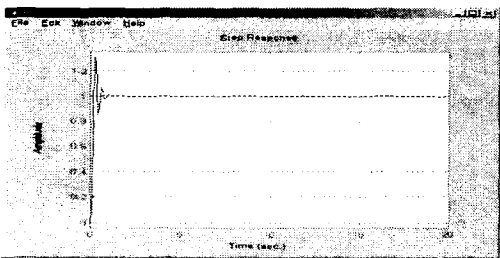


그림 9. Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답 (모델 3)
Fig. 9. Step-response by Ziegler-Nichols method(model 3)

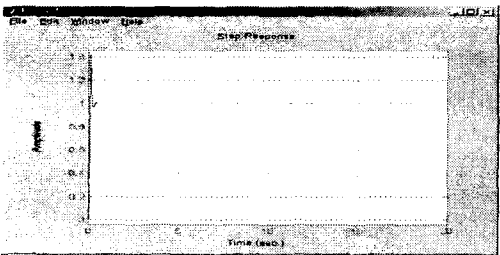


그림 10. 진화 프로그램에 의해 추론된 계단응답 (모델3)
Fig. 10. Step-response by evolution programs(model 3)

모델 3의 결과를 보면, 앞서와 마찬가지로 Ziegler -Nichols방법보다 진화전략에 의한 계단 응답특성이 향상됨을 볼 수 있다. 모델 1, 2, 3을 살펴보면 Ziegler -Nichols방법에 의한 계단응답과 진화전략에 의해 추론된 계단응답을 비교해 볼 때, 진화전략의 자손의 수를 높임, 즉 구속조건에서 교배와 돌연변이가 계속되면 계속될수록 Ziegler-Nichols방법에 의한 계단응답보다 더욱 좋은 파형이 출력되는 것을 볼 수 있다.

V 결 론

본 연구에서는 기존의 Ziegler-Nichols방법과 진화 전략을 사용한 외란을 포함한 PID 제어기를 제안하고 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증하였다.

기존의 Ziegler-Nichols의 방법과 비교하여 이 방법의 특징은 다음과 같다.

- 1) 진화전략은 제어대상의 물리적 파라미터의 변화에도 적응성이 좋다.
- 2) 진화전략은 신경망이론, 다변량 선형회귀모형에서의 학습을 위한 입력값의 범위가 따로 주어지지 않으므로 기존의 방식에 비해 응용범위가 넓다.
- 3) Neural-Network의 역전파알고리즘에서의 문제점인 지역값에 빠지는 오류가 거의 없다.

그러나 진화전략의 자손세대수의 범위를 얼마나 길게 해야하는지 또한 그것에 따른 전역적인 정말도 향상이 완료되는 시점을 찾는 것이 향후 연구과제로 남는다.

참 고 문 헌

1. GAWTHROP, P.J , "Automatic Tuning of Commercial PID Controllers computer control of real-Time processes.", IEEE control system magazine January pp. 37-57, 1990.
2. 林東均 外, "PID 制御機の 最適 同調", 電氣工學會論文誌, 第30卷 B. 第11號, pp. 1075-1084, 1993
3. K.J Astrom et al. , "Automatic tuning and adaptation for PID Controllers - A survey", Control Eng, Practice Vol.1 No.4, pp. 699-714, 1993.
4. ING-RONG HORONG and JYH-HORONG CHOU, "Digital PID controller design via general discrete orthogonal polynomials" , INT.J.Control Vol.47 No.1, pp. 187-192, 1988.
5. J.C Ziegler, N.B Nichols, "optimum settings for automatic controllers", Trans ASME Vol.65, pp. 433-444, 1942.
6. Zbigniew Michalewicz , "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs" pp.13-54, 1992
7. 李壽欽, 朴賢泰, 李來一, "전력설비시스템을 위한 퍼지 평가함수와 신경회로망을 사용한 PID제어기의 자동동조" 照明 · 電氣設備學會誌 第13卷 第2號, pp. 63-70, 1999
8. 김기영, 전명식, "다변량 통계자료 분석" pp.97-119, 1997
9. Hwang Woo-Hyun, "Matlab Applications" pp.68-476, 1995.