

IFAC93 벤치마크 테스트를 통한 2개의 제어기 비교

°백승욱 유치형 정찬수
 송실대학교 전기공학과

Comparison of two controllers using IFAC 93 Benchmark Test

° Seung-Uk Baek. Chi-Hyung Yu. Chan-Soo Chung.
 Dept. of Electrical Eng. Soongsil univ.

Abstract - A PID-controller is proposed as a controller to the IFAC93 benchmark process. It is compared with a Textbook PID-controller and a Derivative of output PID-controller. Especially, the Derivative of output PID-controller works within the critical bounds of ± 1.5 except for 1 out of 15 periods at stress level 1,2. The objective of this paper, then, is to report on an alternative benchmark(IFAC93) and reveal more efficient PID controller between Textbook PID-control and Derivative of output PID-controller.

1. 서 론

지금까지 제어기 설계자들은 시스템의 설계를 위해서 많은 제어이론들을 제안하였고 그 제어이론이 적용된 제어기의 성능을 평가하기 위해 노력하고 있다. 하지만, 평가의 기준이 모호하여 절대적인 평가에 어려움이 있다. 그래서, 벤치마크를 통한 평가를 하게 되었다 [8~10]. 그러나, 벤치마크를 통한 제어시스템의 성능 평가방법은 평가하고자하는 플랜트의 모든 정보를 알아야 하는 어려움이 있다. 이에 1993년 IFAC에서 여러 학자들이 모여 새로운 벤치마크테스트 방법을 제안하고 1994년에 [1~7]을 통해 벤치마크 방법론을 보였다. 이들은 플랜트의 모든 정보를 알지 않아도 최소한의 정보를 가지고 플랜트의 성능을 평가할 수 있다는 것을 밝혔다. IFAC 1993 벤치마크 테스트를 통해 시변 SISO 공정 플랜트를 가지고 세 개의 스트레스 레벨하에서 두 가지 제어기 설계방법 즉, 표준 PID 제어기와 출력미분 PID제어기를 Ziegler-Nichols 동조설계방법 [11]을 적용하여 시물레이션을 한다. 시물레이션을 위한 툴로는 MATLAB 4.2c의 control toolbox를 사용하였다.

본 논문에서는 이 시물레이션 결과를 이용하여 두 제어기들의 비교를 한다.

2. 본 론

본론에서는 IFAC93 벤치마크 문제를 정의하고 그를 통한 테스트 방법을 보여준다. 또한, 각 제어 시스템의 장단점을 각 스트레스별로 비교하여 분석한다.

2.1 IFAC 93 벤치마크 문제

2.1.1 문제의 상세설명

플랜트에 대해서 제공되는 것은 사용자가 선택할수 있는 시변을 크게 유도하는 세 개의 높은 스트레스 단계와 SISO(single-input single-output)이고 시변이라는 정보이다. 케환에서의 지정점은 20초의 주기를 가진 +1과 -1사이에서 변화하는 사각파로서 규정하였다.

문제 제시는 세 개의 스트레스 단계 각각에 대한 다음의 조건들에 따라 가능한 빠른 상승시간을 실현하는 제어기 설계와 모의실험이 더불어 요구된다.

- 플랜트의 출력은 모든 시간에서 +1.5와 -1.5 사이에

있어야만한다.

- 제로 정상상태추정어러
- 과/부제동이 "가장 큰 시간"의 0.2보다 작도록 하는 것이 적합하다, 수시의 큰 과/부제동이 ± 1.5 한도 내에서 관찰된다면 받아들일만하다.
- 빠른 고정이 보다 바람직하다.

또한, 실험은 아래와 같은 조건을 만족하여야한다.

- (i) 잡음, 파라메타의 변화 그리고 무작위로 초기화된 임의수 생성 때문에, 응답은 모의실험이 실행되는 때 시간 달라질 것이다. (높은 스트레스 단계에서 더욱 변화)
- (ii) 변화들의 표본그림은 플랜트가 적어도 300초이상 모의실험되었을 때 완성된다.
- (iii) 마지막 디자인은 적어도 20초주기로 15번이상 프로그램을 실행함으로써 모의실험한다.

2.1.2 IFAC93 플랜트

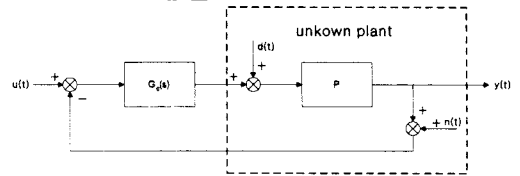


그림 1. 벤치마크 플랜트

연구자들에게 알려지지 않은 혼합된 코드로서 코딩된 실 시스템은 위와 같이 구성하며 점선 안의 플랜트는 아래와 같다.

$$G(s) = \frac{K(-T_2s+1)\omega_0^2}{(s^2+2\xi\omega_0s+\omega_0^2)(T_1s+1)} \times \frac{\omega_\delta^2}{(s^2+2\xi_\delta\omega_\delta s+\omega_\delta^2)(T_1^\delta s+1)(T_2^\delta s+1)} \quad (1)$$

여기에서, 고주파수 동적관계들은 시간과 모든 스트레스 단계에 대해, T_1^δ , T_2^δ , ω_δ 그리고 ξ_δ 는 고정이다. 이것은 플랜트를 예측하기 힘들게 하기 위한 하나의 장치이다.

모든 스트레스 단계에서 공칭값은 $T_1=5$, $T_2=0.4$, $\omega_0=5$, $\xi=0.3$ 그리고 $K=1$ 를 가진다.

실험시 공칭파라메타들은 다음과 같은 스트레스 단계들에 의해 변화한다.

스트레스 단계 1. $T_1=5\pm 0.2$, $T_2=0.4\pm 0.05$, $\omega_0=5\pm 1.5$, $\xi=0.3\pm 0.1$ 그리고 $K=1$, 변수들은 지시한 한계안에서 균일하게 무작위하다. 그리고, 변화들은 계단이 고정점에서 일어나는 그 시간에 동시에 일어난다.

스트레스 단계 2. $T_1=5\pm 0.3$, $T_2=0.4\pm 0.1$, $\omega_0=5\pm 2.5$, $\zeta=0.3\pm 0.15$ 그리고 $K=1\pm 0.15$. 변수들은 지시한 증폭, 무작위 위상변화를 가지고 사인화한다.

스트레스 단계 3. $T_1=5\pm 0.3$, $T_2=0.4\pm 0.15$, $\omega_0=5\pm 3$, $\zeta=0.3\pm 0.15$ 그리고 $K=1\pm 0.5$. 변수들은 지시한 증폭, 무작위 위상변화를 가지고 사인화한다. 모든 스트레스 단계들에서, 제어는 ± 5 에서 포화된다.

2.2 실적용 플랜트

$$G_P(s) = \frac{K(-T_2s+1)\omega_0^2}{(s^2+2\zeta\omega_0s+\omega_0^2)(T_1s+1)} \quad (2)$$

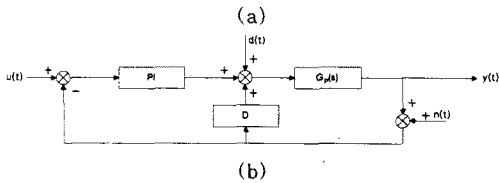
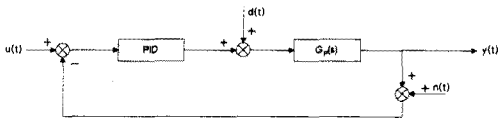
본 논문에서 적용한 실 플랜트는 IFAC93의 플랜트 중 제어 시스템전반에 있어서 영향이 적은 고주파를 제외하였다. 이에 공칭값들을 적용하면

$$G_P(s) = \frac{(-0.4s+1) \times 25}{5s^3+16s^2+128s+25} \quad (3)$$

가 된다.

이 시스템에 IFAC93에서 정의한 스트레스 단계 1, 2, 3을 적용함으로써 제어기들의 성능을 비교한다.

2.3 PID 제어기의 구성



(a) 표준 PID 제어기 (b) 출력미분 PID 제어기
그림 2. PID 제어기의 두가지 다른 구성

위의 두가지 PID 제어기의 구조들에 IFAC93에서 정의한 세단계의 스트레스를 적용하여 그 결과를 비교하였다. 그림 2.(a)그림의 표준 PID 제어기 전달함수는

$$G_C(s) = \frac{k_d s^2 + k_p s + k_i}{s} \quad (4)$$

여기에서, k_p 는 표1에서 K_c 이다.

또한, 그림 2.(b)그림의 출력미분 PID 제어기 전달함수는

$$PI: \frac{k_p s + k_i}{s}, \quad D: k_d \frac{\tau_2 s + 1}{\tau_1 s + 1} \quad (5)$$

여기에서, $\tau_1 = 1/1000$, $\tau_2 = 1/500$ 이다.

2.4 시뮬레이션 방법 및 결과

2.4.1 Ziegler-Nichols 방법의 적용

PID 제어기를 동조하기 위한 방법으로 Ziegler-Nichols의 Ultimate-cycle(또는 Ultimate sensitivity)방법을 이용하였다. 이 동조방법에서 이득을 서서히 증가시키다가 출력값이 진동하기 시작할 때, 그 이득을 K_u (Ultimate gain 또는 임계이득)라하고, 그 최고점 간의 간격을 T_u (Ultimate period 또는 임계주기)라한다. 임계이득(K_u)과 임계주기(T_u)는 개루프 주파수 응답 그림에서 식 (6)을 이용하여 찾을 수 있다.

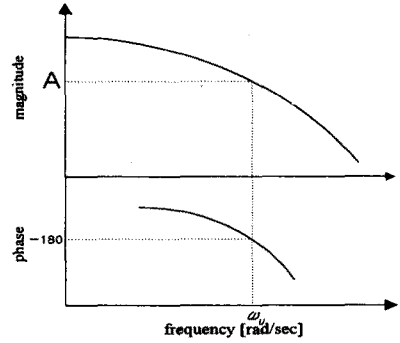


그림 3. 주파수 응답 그림 (bode 선도)

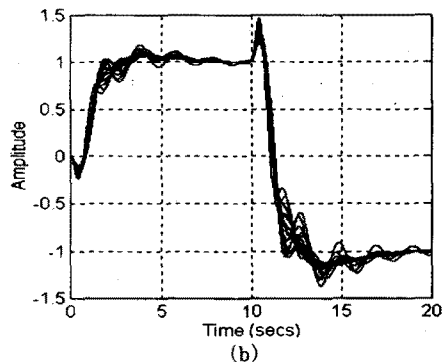
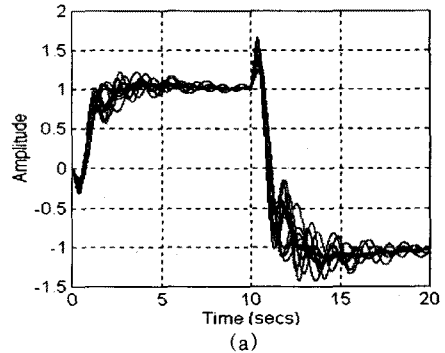
$$K_u = \frac{1}{A}, \quad T_u = \frac{2\pi}{\omega_u} \quad (6)$$

그림 3을 이용하여 식 (6)의 임계이득과 임계주기를 정하고, 표 1에서 PID계수를 결정한다. 이렇게 결정된 파라미터를 각각 식 (4),(5)에 대입하여 제어기를 설계한다.

표 1. Ziegler-Nichols 페루프 방법의 표준 파라미터

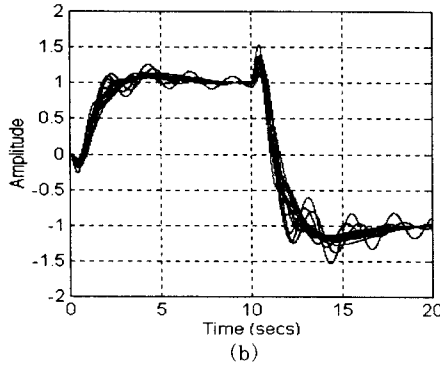
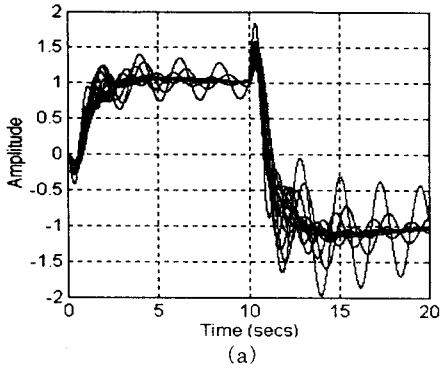
controller	Ultimate-Cycle method		
	K_c	K_i	K_d
P	$0.5 K_u$		
PI	$0.45 K_u$	$0.8 T_u$	
PID	$0.6 K_u$	$0.5 T_u$	$0.12 T_u$

스트레스 단계 1의 적용 결과



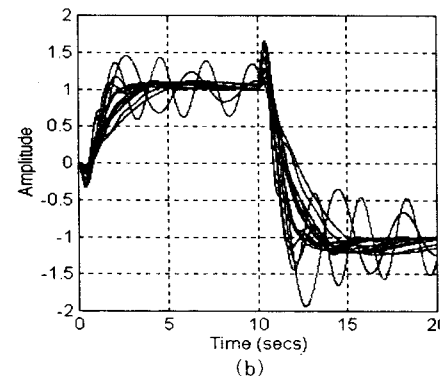
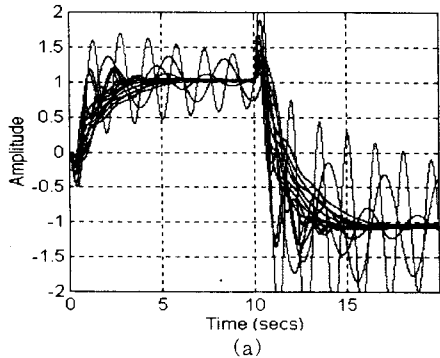
(a) 표준 PID 제어기 (b) 출력미분 PID 제어기
그림 4. 스트레스 단계 1에서의 제어결과

스트레스 단계 2의 적용결과



(a) 표준 PID제어기 (b) 출력미분 PID 제어기
그림 5. 스트레스 단계 2에서의 제어결과

스트레스 단계 3의 적용결과



(a) 표준 PID제어기 (b) 출력미분 PID 제어기
그림 6. 스트레스 단계 3에서의 제어결과

그림 4, 5, 6에서 보인 각 스트레스 단계 1, 2, 3은 다음과 같이 말할 수 있다. 스트레스단계 1은 작은 플랜트 화

들, 스트레스단계 2는 보통의 플랜트 변화들, 스트레스단계 3은 큰 플랜트 변화들에 대해, 나타내고 있다.

그림 4에서 플랜트가 작은 변화를 보일때, 표준 PID제어기의 경우, 음의 과제동이 출력미분 PID제어기에 비해 진동이 심하다. 하지만, 두 제어기의 출력이 모두 +1.5 ~ -1.5사이에 있으므로 조건을 만족한다.

그림 5에서 플랜트가 보통의 변화를 보일 때, 진동은 심해도 제한출력범위를 넘지않던 표준 PID제어기가 결국 여러번에 걸쳐 제한출력범위를 넘었다. 역시, 출력미분 PID제어기는 범위안에서 변화한다.

그림 6에서 플랜트의 변화가 매우 클 경우, 표준 PID제어기의 정상상태오차가 출력미분 PID제어기에 비해 나은 성능을 보인다. 단, 발산의 우려가 있으므로 제어기의 설계에 주의를 요한다.

3. 결 론

이 논문에서 평가자는 시스템의 제어기로서 표준 PID 제어기와 출력미분 PID제어기를 Ziegler-Nichols 방법을 통해 모의실험을 하였다. 두 제어시스템을 3가지 스트레스단계를 통해 비교하여 변화량에 따른 표준 PID제어기와 출력미분 PID제어기의 장단점을 해석하였다. 위와 같이 이들 제어시스템의 성능이 평가, 해석함으로써 이들 평가를 기반으로하여 새로운 제어기에 대한 요구를 수립할 수 있으며, 좀더 효율적인 제어기를 구성할 수 있다.

다음 연구과제로서 기존 제어 시스템들중에 optimal, 인공지능, 퍼지 등의 제어시스템 또는 앞으로 나올 제어시스템의 성능을 평가하고자한다. 그로인해 제어기 설계자가 원하는 설계사양을 쉽게 정할 수 있도록 하겠다.

[참 고 문 헌]

- [1] Graebe-SF, "Robust and Adaptive-Control of an Unknown Plant - A Benchmark of New Format", Automatica, vol. 30, No. 4, pp.567-575, 1994
- [2] Postlethwaite-I, Whidborne-JF, Murad-G, Gu-DW "Robust-Control of the Benchmark Problem Using H-Infinity Methods and Numerical Optimization Techniques", Automatica, vol. 30, No.4, pp.615-619, 1994
- [3] Delarminat-P Houizot-P, "Application of Acyde (Automatic-Control System-Design) to the Ifac-93 Benchmark", Automatica, vol. 30, No. 4, pp.589-591, 1994
- [4] Chisci-L Giarre-L Mosca-E, "Indirect and Implicit Adaptive Predictive Control of the Benchmark Plant", Automatica, vol. 30, No. 4, pp.577-584, 1994
- [5] Bayard, D. S., "Statistical plant set estimation using Schroeder-phased multisinusoidal input design.", American Control Conference, vol. 4, pp. 2988-2995, 1992
- [6] Foss-BA, Wasbo-SO, "Benchmark Ifac-93-Adaptive Predictive Pi-Control of an Unknown Plant", Automatica, vol.30, No.4, pp.593-598,1994
- [7] Zhou-T, Kimura-H, "Robust-Control of the Sydney Benchmark Problem with Intermittent Adaptation", Automatica, vol.30, No.4, pp.629-632, 1994
- [8] Collins, Emmanuel G. Jr.; Haddad, Wassim M., "Small gain, circle, positivity, and popov analysis of a maximum entropy controller for a benchmark problem.", American Control Conference, vol. 3, pp.2425- 2426, 1992
- [9] Sideris, Athanasios; Rotstein, Hector "Solution of the benchmark control problem by constrained H//infinity optimization." American Control Conference vol. 3, pp.2065-2066,1992
- [10] Vinnicombe, Glenn, "Robust design in the graph topology: a benchmark example", American Control Conference, vol. 3, pp.2063-2064,1992
- [11] K.J.Amstrom, T. Hagglund" Automatic tuning of simple Regulators with specifications on Phase and Amplitude margins", Automatica, Vol. 20, No5, pp.645-651, 1984