

논문 2005-42SC-6-1

단일 폐루프 테스트를 통한 온라인 슬라이딩 모드 제어기 설계

(On-Line Sliding Mode Controller Design from a Single Closed Loop Test)

배 준 형*, 임 동 균**, 서 병 설***

(Jun-hyung Bae, Dong-kyun Lim, and Byung-sulh Suh)

요 약

슬라이딩 모드 제어기의 성능을 향상시키기 위해서 새로운 프로세스 모델의 파라미터 계산을 제안하였다. Camacho가 제안한 방법은 시간 지연항을 1차 Taylor 급수로 근사화하는 과정에서 발생하는 근사 오차에 의한 오버슈트, 정착시간 등에 문제점이 발생하였다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 가중치를 고려한 변형된 파데 근사 방법과 이를 토대로 한 새로운 슬라이딩 모드 제어기의 동조 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 프로세스 응답을 복잡한 수치적 과정없이 온라인으로 직접 동조 파라미터를 구할 수 있다.

Abstract

The calculation of parameters of a process model is modified to find better sliding mode controller for a process. A design method by Camacho has such problems as chattering and overshoot due to the Taylor the approximation errors for the time delay term of the first order model. In this paper, a new design technique for a sliding mode controller is proposed by introducing the modified Pade approximation considering the weight factor. With the proposed method, the process response can be directly used to estimate the system parameters without any numerical processing.

Keywords : Sliding mode controller, Modified Pade approximation, On-line

I. 서 론

현대 제어 기술자들의 중요한 역할은 산업 자동화 시스템, 화학 공정 등과 같이 복잡한 제어 시스템을 모델링하여 외란, 센서 잡음에 강한 시스템을 구현하는 것이다. 그러나 이러한 수학적 모델링은 실제 시스템을 완전하게 표현하지 못하므로 모델링 오차, 모델링 되지

않는 다이내믹 요소, 외란 등의 불확실성과 비선형성이 항상 존재하게 된다. 지금까지 비선형성과 불확실성을 포함한 시스템에 대한 강인한 제어기 설계에 대해서 많은 연구가 이루어졌고, 이 중에서 견실한 비선형 제어기인 슬라이딩 모드 제어기가 로봇 제어, 항공기 제어 등 현장에서 널리 사용되고 있다.

Camacho^[3]는 고차의 프로세스를 시간 지연 항이 포함된 1차 시스템으로 근사화하는 반응 곡선 방법을 슬라이딩 제어기 설계에 적용하여 시간 지연 항을 1차 Taylor 급수로 근사화하였다. 그러나 근사화하는 과정에서 모델링 오차가 존재하게 되었고, 이로 인해 과도한 오버슈트가 발생하였다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 1차 Taylor 급수의 지연 시간 근사 파라미터에 가중치를 고려한 슬라이딩 모드 제어기 설계 방법이 제안

* 학생회원, 한양대학교 전기공학과
(Dep. of Electrical Eng. Hanyang University)

** 정회원, 한양사이버대학교 컴퓨터학과
(Dep. of Computer Science Hanyang Cyber University)

*** 정회원, 한양대학교 전기제어생체공학부
(Div. of Electrical, Control and Biomedical Eng. Hanyang University)

접수일자: 2005년7월13일, 수정완료일: 2005년11월8일

되기도 하였으나,^[1] 지연시간이 길 경우 플랜트 모델식의 2계 근사식의 프로세스 응답 속도가 늦어지게 된다.

본 논문에서는 가중치가 고려된 Taylor 근사 방법의 모델링 오차와 오버슈트를 개선하고, 지연시간이 길 경우를 가정하여 가중치가 고려된 변형된 1차 파데 근사 방법을 사용하였고, 이 방법을 토대로 새로운 슬라이딩 모드 제어기 설계를 제안하였다. 파데 근사 방법은 지연시간 항에서 짧은 지연 시간동안에 실제 플랜트와의 오차가 Taylor 근사 방법을 적용한 경우보다 작고, 플랜트 모델식의 근사식의 프로세스 응답은 지연 시간이 길 경우 다소 빠른 경향이 있다.^[3] 또한 제곱오차적분값(Integral of the Squared of the Error)이 Taylor 근사 방법의 경우보다 낮아 동조 파라미터의 값을 최적으로 선정할 수 있다. 제안된 방법은 동조 파라미터를 구하기 전에 입력과 출력 데이터로부터 응답을 수치적으로 계산할 필요 없이 온라인으로 바로 동조 파라미터를 구할 수 있다. 최적의 가중치를 선정하기 위해 모델링 오차의 2-놈(norm)을 최소로 하는 값을 선택하였다. 모의 실험 결과 최적의 가중치는 모델링 오차를 개선할 뿐만 아니라 자유롭게 설정할 수 있어 동조 파라미터들을 적절히 결정하면 슬라이딩 모드 제어기의 최대 단점인 채터링 현상, 오버슈트의 감소, 시스템의 응답의 진동을 줄이는 동조효과를 얻을 수 있었다.

1. 슬라이딩 모드 제어기의 구조

슬라이딩 모드 제어기는 최초의 시스템 상수 파라미터가 목표하는 상태 변수 값이 있는 슬라이딩 평면으로 접근할 수 있도록 구조를 변화시킬 수 있는 가변 구조 제어 시스템이다.^[1] 일반적인 슬라이딩 모드 제어기의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서와 같이 제어기 입력을 도달 모드에서의 불연속 제어 입력과 슬라이딩 모드에서의 연속 제어 입력으로 구분할 수 있다. 도달 모드 동안에는 강인성이 보장되지 않으나 슬라이딩 모드 동안에는 강인성이 보장되는 특징이 있다.

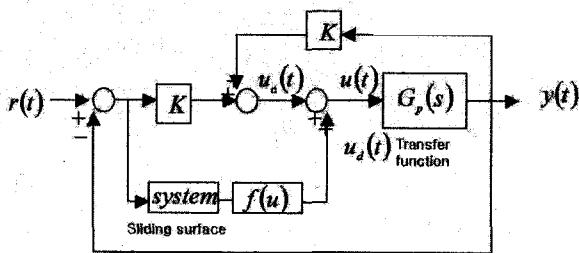


그림 1. 슬라이딩 모드 제어기의 구조
Fig. 1. The structure of Sliding Mode Controller.

II. 가중치를 고려한 슬라이딩 모드 제어기 설계

1. 가중치를 고려하여 제안한 변형된 1차 파데 근사 방법

주어진 플랜트를 다음과 같이 시간 지연 항이 포함된 1차 모델식으로 제안한다.

$$G_m(s) = \frac{K_m e^{-t_0 s}}{\tau_m s + 1} \tag{1}$$

여기서 K_m 는 안정 상태 이득, t_0 는 지연 시간, τ_m 는 시상수이다. 페루프 전달 함수는

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K e^{-t_0 s}}{1 + \tau_m s + K e^{-t_0 s}} \tag{2}$$

이고 K 는 개루프 이득이다.

본 논문에서는 가중치를 도입하여 변형된 1차 파데 근사방법을 사용하여 지연 시간 항을 근사화한다.^[2]

$$e^{-t_0 s} \approx \frac{1 - \frac{t_0 K_f}{2} s}{1 + \frac{t_0 K_f}{2} s} \tag{3}$$

식(3)을 식(1)의 분모에 대입하고 정리하면

$$G_m(s) = \frac{K(1 + \frac{t_0 K_f}{2} s) e^{-t_0 s}}{\tau^2 s^2 + 2\zeta\tau s + 1} = \frac{K_m(2 - t_0 K_f s)}{(\tau_m s + 1)(2 + t_0 K_f s)} \tag{4}$$

$$K' = \frac{K}{K+1} \tag{5}$$

$$\tau = \left[\frac{t_0 \tau_m K_f}{2(K+1)} \right]^{1/2} \tag{6}$$

$$\zeta = \frac{\tau_m + t_0 K_f / 2 (1 - K)}{[2 t_0 \tau_m (K+1) K_f]^{1/2}} \tag{7}$$

식(4)에서 감쇠율(damping coefficient) ζ 가 $0 < \zeta < 1$ 이고 입력신호 $R(s)$ 가 크기 A 인 계단함수(step function)라고 할 때, $Y(s)$ 를 라플라스 역변환하면 순시응답은 다음과 같이 계산된다.

$$y(t) = AK \left[1 - D \exp\left(-\frac{\zeta t'}{\tau}\right) \sin(Et' + \phi) \right] \tag{8}$$

여기서 $t' = t - t_0$ 이다. 그리고,

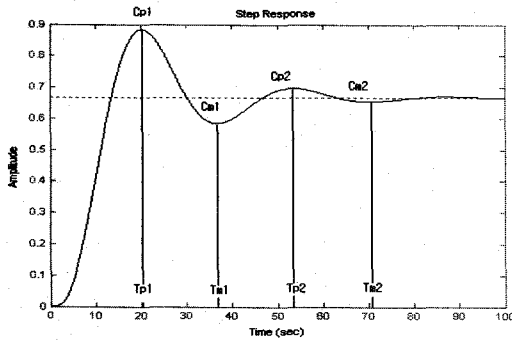


그림 2. 계단 입력 변화에 따른 프로세스의 응답곡선
Fig. 2. Response curve of process to a step input change.

$$D = \frac{[1 - \frac{\zeta t_0 K_f}{\tau} + \frac{1}{4} (\frac{t_0 K_f}{\tau})^2]^{1/2}}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (9)$$

$$E = \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\tau} \quad (10)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{\tau \sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta \tau - \frac{t_0 K_f}{2}} \right] \quad (11)$$

유도된 1차 모델식 변수값을 구한 관계식은 다음과 같으며 자세한 과정은 참고문헌^{[2],[3],[9]}을 참조하길 바란다.

$$K_m = \frac{C_\infty}{K_c(A - C_\infty)} \quad (12)$$

시간 상수 τ_m 을 구하는 관계식을 유도하기 위해 식 (5)을 t_0 에 대해 정리하여 식 (6)에 대입하면 다음과 같이 계산된다.

$$\tau_m^2 - 2\zeta(K+1)\tau\tau_m - \tau^2(K+1)(K-1) = 0 \quad (13)$$

τ_m 과 t_0 은 각각 다음과 같다.

$$\tau_m = \frac{\Delta t}{\pi} [\zeta\sqrt{K+1} + \sqrt{\zeta^2(K+1) + K-1}] [(1-\zeta)^2(K+1)]^{1/2} \quad (14)$$

$$t_0 = \frac{1}{K_f} \frac{2\Delta t [(1-\zeta^2)(K+1)]^{1/2}}{\pi [\zeta\sqrt{K+1} + \sqrt{\zeta^2(K+1) + K-1}]} \quad (15)$$

결론적으로 큰 지연을 갖는 시스템일지라도 가중치 K_f 를 1보다 큰 값으로 선정하게 되면, 크게 추정된 지연 시간을 보상할 수 있다는 것을 알 수 있다.

2. 최적의 가중치 선정 방법

플랜트와 모델식과의 모델 오차를 다음과 같이 정의한다.^[9]

$$E(s) = G_p(s) - G_m(s) \quad (16)$$

모델링 오차를 최소화하는 K_f 를 구하기 위해 식 (9)의 2-놈(norm)을 최소화하는 K_f 를 정한다.

$$K_f = \min \{ \| G_p(s) - G_m(s) \|_2 \} \quad (17)$$

3. 가중치가 고려된 슬라이딩 모드 제어기의 입력

슬라이딩 모드에서 연속 제어 입력 $u_c(t)$ 을 구하기 위해 Slotine과 Li(1991)가 제안한 적분 슬라이딩 평면을 표현하면,

$$S = \frac{de(t)}{dt} + \lambda_1 e(t) + \lambda_0 \int_{t_0}^t e(t) dt \quad (18)$$

이다. $\frac{dS}{dt} = 0$ 을 만족하는 연속 제어 입력을 얻기 위해 식 (18)을 시간에 대해 미분하면

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d^2e(t)}{dt^2} + \lambda_1 \frac{de(t)}{dt} + \lambda_0 e(t) = 0 \quad (19)$$

이다. 여기서 오차를 나타내면

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (20)$$

이다.

식 (4)을 전개하면,

$$G_m(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K_m(2 - t_0 K_f s)}{(\tau_m s + 1)(2 + t_0 K_f s)} = \frac{-\frac{K_m}{\tau_m} s + \frac{2K_m}{\tau_m t_0 K_f}}{s^2 + \frac{2\tau_m + t_0 K_f}{\tau_m t_0 K_f} s + \frac{2}{\tau_m t_0 K_f}} \quad (21)$$

$$s^2 Y(s) + \frac{2\tau_m + t_0 K_f}{\tau_m t_0 K_f} s Y(s) + \frac{2}{\tau_m t_0 K_f} Y(s) = -\frac{K_m}{\tau_m} s U(s) + \frac{2K_m}{\tau_m t_0 K_f} U(s) \quad (22)$$

식 (22)에서 $s^2 Y(s)$ 을 제외한 나머지 항들을 우변으로 이항하면

$$s^2 Y(s) = -\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{\tau_m t_0 K_f} s Y(s) - \frac{2}{\tau_m t_0 K_f} Y(s) - \frac{K_m}{\tau_m} s U(s) + \frac{2K_m}{\tau_m t_0 K_f} U(s) \quad (23)$$

가 된다. 식 (20)을 식 (19)에 대입하면,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d^2}{dt^2} \{r(t) - y(t)\} + \lambda_1 \frac{d}{dt} \{r(t) - y(t)\} + \lambda_0 e(t) = 0 \quad (24)$$

이다. 식 (24)을 라플라스 변환하면

$$s^2 R(s) - s^2 Y(s) + \lambda_1 s R(s) - \lambda_1 s Y(s) + \lambda_0 e(s) = 0 \quad (25)$$

이다. 식 (23)을 식 (25)에 대입하면

$$(s^2 + \lambda_1 s) R(s) + \left[\left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{\tau_m t_0 K_f} - \lambda_1 \right) s + \frac{2}{\tau_m t_0 K_f} \right] Y(s) + \lambda_0 e(s) = \frac{K_m}{\tau_m} \left(s - \frac{2}{t_0 K_f} \right) U(s) \quad (26)$$

그러므로 연속 제어 입력은

$$U_c(s) = \frac{-\tau_m (s^2 + \lambda_1 s) R(s) + \left[\left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{(t_0 K_f) \tau_m} \right) s + \frac{2}{(t_0 K_f) \tau_m} \right] Y(s) + \lambda_0 e(s)}{s - \frac{2}{t_0 K_f}} + \frac{\lambda_0 e(s)}{s - \frac{2}{t_0 K_f}} \quad (27)$$

이다. 식 (27)는 복소평면에서 우반구 영역에 극점을 갖는다. 이것은 시간이 지날수록 응답이 불안정하게 된다는 것을 의미한다. 이 극점을 제거하고 보상을 해주기 위해

$$C(s) = (-1) \frac{s - \frac{2}{t_0 K_f}}{s + \frac{2}{t_0 K_f}} \quad (28)$$

을 도입한다. 식 (28)는 식 (27)의 프로세스 이득이 양(+)이 되게 하는 위상 인버터(phase inverter) 역할을 한다. 새로운 연속 제어 입력을 $V(s)$ 라고 하면

$$V(s) = U_c(s) C(s) = \frac{\tau_m (s^2 + \lambda_1 s) R(s) + \left[\left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{t_0 K_f \tau_m} - \lambda_1 \right) s + \frac{2}{t_0 K_f \tau_m} \right] Y(s) + \lambda_0 e(s)}{s + \frac{2}{t_0 K_f}} \quad (29)$$

이다. 그러므로 식 (29)을 시간 영역으로 표현해주면

$$\begin{aligned} & \frac{dv(t)}{dt} + \frac{2}{t_0 K_f} v(t) \\ &= \frac{\tau_m}{K_m} \left[\frac{d^2 r(t)}{dt^2} + \lambda_1 \frac{dr(t)}{dt} + \left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{(t_0 K_f) \tau_m} - \lambda_1 \right) \frac{dy(t)}{dt} + \frac{2y(t)}{(t_0 K_f) \tau_m} + \lambda_0 e(t) \right] \end{aligned} \quad (30)$$

이고, $\frac{dv(t)}{dt}$ 에 대해 전개하면

$$\begin{aligned} \frac{dv(t)}{dt} &= \frac{\tau_m}{K_m} \left[\frac{d^2 r(t)}{dt^2} + \lambda_1 \frac{dr(t)}{dt} + \left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{(t_0 K_f) \tau_m} - \lambda_1 \right) \frac{dy(t)}{dt} + \frac{2y(t)}{(t_0 K_f) \tau_m} + \lambda_0 e(t) \right] - \frac{2}{t_0 K_f} v(t) \end{aligned} \quad (31)$$

이다. 식 (31)에 적분을 취하면

$$\begin{aligned} v(t) &= \frac{\tau_m}{K_m} \left[\left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{(t_0 K_f) \tau_m} - \lambda_1 \right) y(t) + \frac{2}{(t_0 K_f) \tau_m} \int_{t_0}^t y(t) dt + \lambda_0 \int_{t_0}^t e(t) dt \right] - \frac{2}{t_0 K_f} \int_{t_0}^t v(t) dt \end{aligned} \quad (32)$$

식 (32)의 경우 입력이 계단 함수이므로 응답의 미분치가 상당히 커지지만 슬라이딩 모드 제어기의 특성상 계단입력의 미분을 0으로 해도 프로세스의 응답에는 영향이 없다.^[3] 식 (32)에 불연속 제어 입력 $u_d(t)$ 을 더해준면 전체 제어입력 $u(t)$ 을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{\tau_m}{K_m} \left[\left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{(t_0 K_f) \tau_m} - \lambda_1 \right) y(t) + \frac{2}{(t_0 K_f) \tau_m} \int_{t_0}^t y(t) dt + \lambda_0 \int_{t_0}^t e(t) dt + \lambda_1 r(t) \right] - \frac{2}{(t_0 K_f) \tau_m} \int_{t_0}^t v(t) dt + \frac{K_d s}{|S| + \delta} \end{aligned} \quad (33)$$

식 (33)으로부터 동조 파라미터 λ_1 을

$$\lambda_1 = \frac{2\tau_m + (t_0 K_f)}{(t_0 K_f) \tau_m} [time^{-1}] \quad (34)$$

으로 선정한다. 식 (19)을 라플라스 변환하면

$$(s^2 + \lambda_1 s + \lambda_0) E(s) = 0 \quad (35)$$

이므로 $e(t)$ 가 임계응답이 되는 조건은

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_1^2}{4} = \frac{1}{4} \left(\frac{2\tau_m + (t_0 K_f)}{(t_0 K_f) \tau_m} \right)^2 [time^{-1}] \quad (36)$$

이다.

전반적으로 1차 Taylor series 근사로 구한 식^[2]과 비교하여 그 유도과정이 상당히 복잡하다. 그러나 실험에서 제안한 방법이 Taylor series 근사 방법보다 데이터 면에서 우수한 것을 확인할 수 있었다.

슬라이딩 평면으로의 도달 속도 K_d 와 포화 함수의 기울기 δ 는 다음과 같다.

$$K_d = \frac{0.51}{K_m} \left(\frac{\tau_m}{t_0 K_f} \right)^{0.76} \quad (37)$$

$$\delta = 0.68 + 0.12 (KK_d \lambda_1) \quad (38)$$

K_f 의 값이 커지면 K_d 와 δ 의 값이 작아지게 되어 채터링 현상이 줄어들게 된다. 그러나 너무 커지면 응답속도가 느려지므로 적절한 K_f 의 선정이 필요하다.

4. 온라인 슬라이딩 모드 제어기 설계 절차

가중치를 고려한 슬라이딩 모드 제어기의 설계 절차를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 플랜트의 단위 계단 응답을 구한다.
- 2) 주어진 플랜트를 시간 지연 항이 포함된 1차 모델식으로 나타낸다.

$$G_m(s) = \frac{K_m e^{-t_0 s}}{\tau_m s + 1} \quad (39)$$

- 3) 가중치를 고려하여 시간 지연 항을 근사화한다.

$$e^{-t_0 s} \approx \frac{1 - \frac{t_0 K_f}{2} s}{1 + \frac{t_0 K_f}{2} s} \quad (40)$$

- 4) 최적의 가중치를 구한다.

$$K_f = \min \{ |G_p(s) - G_m(s)|_2 \} \quad (41)$$

- 5) 제어기 입력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} V(s) &= U_c(s)C(s) \\ &= \frac{\tau_m}{K_m} \frac{(s^2 + \lambda_1 s)R(s) + \left[\left(\frac{2\tau_m + t_0 K_f}{t_0 K_f \tau_m} - \lambda_1 \right) s + \frac{2}{t_0 K_f \tau_m} \right] Y(s)}{s + \frac{2}{t_0 K_f}} \\ &\quad + \frac{\lambda_0 e(s)}{s + \frac{2}{t_0 K_f}} \end{aligned} \quad (42)$$

- 6) 슬라이딩 모드 동조 파라미터를 구한다.

$$\lambda_1 = \frac{2\tau_m + (t_0 K_f)}{(t_0 K_f) \tau_m} \quad (43)$$

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_1^2}{4} = \frac{1}{4} \left(\frac{2\tau_m + (t_0 K_f)}{(t_0 K_f) \tau_m} \right)^2 \quad (44)$$

- 7) 도달 모드 동조 파라미터를 구한다.

$$K_d = \frac{0.51}{K_m} \left(\frac{\tau_m}{t_0 K_f} \right)^{0.76} \quad (45)$$

$$\delta = 0.68 + 0.12 (KK_d \lambda_1) \quad (46)$$

III. 실험

제안한 방법의 타당성을 검증하기 위하여 기존의 제어 방법과 비교하기 위해 Camacho의 논문에서 고려한 플랜트를 적용하였다.

1. 모델링 오차 비교

$$G_p(s) = \frac{1}{150s^4 + 275s^3 + 113s^2 + 19s + 1} \quad (47)$$

제안한 방법을 이용하여 구한 식 (47)에 대한 모델 식은

$$G_m(s) = \frac{1 \cdot e^{-11.4/K_f s}}{11.4s + 1} \quad (48)$$

표 1. 슬라이딩 모드 제어기의 파라미터
Table 1. Parameters of Sliding Mode Controller.

동조방법	λ_1	λ_0	K_d	δ
Camacho	0.474	0.056	1.84	0.78
Taylor	0.222	0.012	0.86	0.70
proposed	0.187	0.009	0.333	0.687

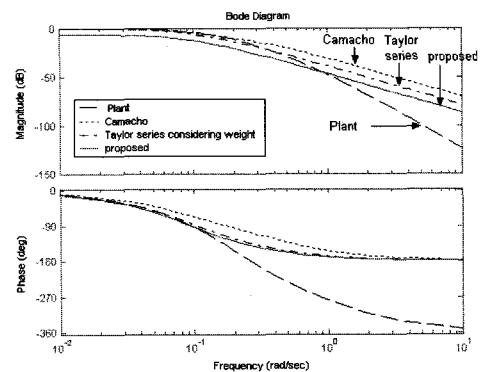


그림 3. 플랜트와 모델의 보드 선도
Fig. 3. Bode plots of Plant and Models.

이다. 식 (17)에서 최적의 K_f 을 구한 값은 1.75이다.

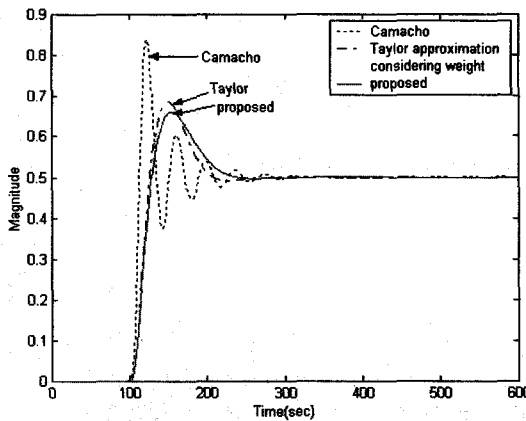
표 1과 그림 3에서 가중치 K_f 의 변화는 고주파 영역에서 모델링 오차를 개선시키고 동조 파라미터에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

2. 공칭 모델에 대한 동조 효과

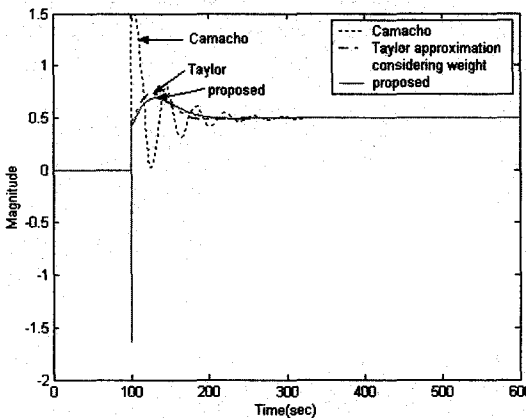
동조 파라미터의 동조 효과를 보기 위해 다음과 같은 계단 입력을 주었다.

$$r(t) = 0.5u(t - 100) \tag{49}$$

동조 효과의 모의실험 결과는 그림 4와 같다. 이것은 기존의 방법에 비해 오버슈트와 시스템 응답의 진동이 감소되었고, 제어 입력에서 채터링 현상이 거의 일어나지 않았다. 그러나 두 근사 방법 모두 Camacho보다 프로세스 응답 속도가 느려 도달시간이 커지게 되나 느린 플랜트에서는 큰 문제점으로 제기되지는 않는다.

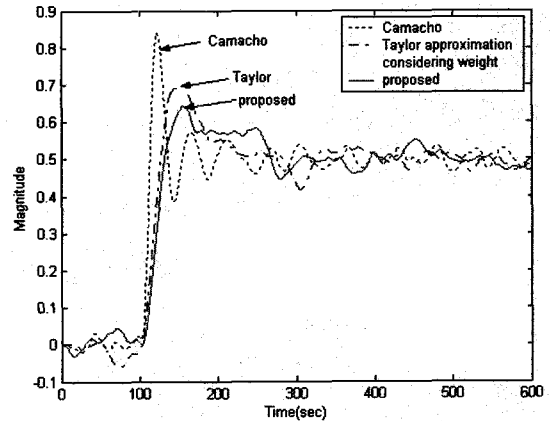


(a)프로세스 응답

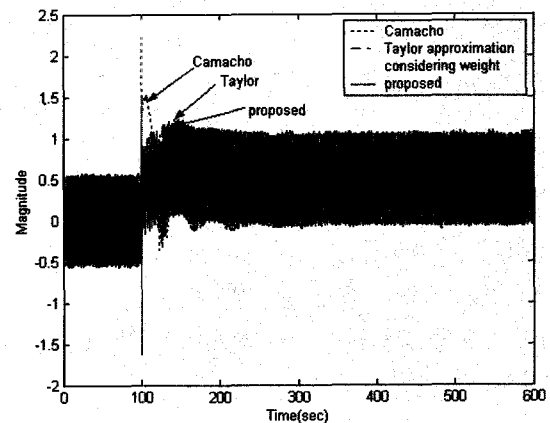


(b)제어 입력

그림 4. 공칭 모델에 대한 시스템 응답
Fig. 4. System Responses of Nominal Models.



(a)프로세스 응답



(b)제어 입력

그림 5. 출력에 외란이 있을 때 시스템 응답
Fig. 5. System Responses of Models with output disturbance.

3. 외란에 대한 동조 효과

외란의 영향에 대해 알아보기 위해 다음과 같은 정현파를 출력에 인가하고 실험하였다.

$$d = 0.01\sin(1000t) \tag{50}$$

실험 결과는 그림 5와 같다. 새로운 근사 방법이 기존의 방법보다 진동현상이 줄어들었다. 그러나 정착 시간은 외란이 있을 경우에도 외란이 없을 때와 마찬가지로 기존의 방법보다 다소 느린 경향을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Camacho^[3]가 제안한 방법에서 발생하는 모델링 오차를 최소화하는 방안을 설명하였다. 그리고 가중치가 도입된 새로운 형태의 1차 파데 근사 방법

을 토대로 슬라이딩 모드 제어기의 동조를 제안하였다. 최적의 가중치는 모델링 오차를 개선하였고, 동조 파라미터를 적절히 선정할 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 슬라이딩 모드의 단점인 오버슈트와 시스템 응답의 진동, 채터링 현상을 줄일 수 있다는 것을 보여주었다. 그러나 정착시간이 다소 느려지는 문제점은 보완해야 할 과제이다. 그리고, 개선된 방법은 외란에 대해서도 동일한 결과를 얻어 강인성-안정도를 보장해 주고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 임동균, 서병설, "가중치를 고려한 슬라이딩 모드 제어기 설계", 전력전자학회 논문지, 제 4권, 제 3호, 1999.
- [2] 박호진, 서병설, "제어기구의 동조에 대한 연구", 대한전자공학회 논문지, 제 21권, 제 3호, 1984.
- [3] Minta Yuwana, Dale E. Seborg, "A new method for on-line controller tuning", AICHE Journal, 1982.
- [4] O.E.Camacho, "A new approach to design and tune sliding mode controllers for chemical process", Ph.D. dissertation, Dept. of Chemical Engineering, Univ. of South Florida, 1996.
- [5] J.C.Doyle and G.Stein, "Multivariable feedback design : Concepts for a classical/modern synthesis", IEEE Trans. Automatic Control, vol.AC-26, pp.4~16, Feb 1981.
- [6] Christopher Edwards, Sarah K.Spurgeon, "Sliding Mode Control Theory and Application", 1998.
- [7] O.E.Camacho, C.smith, E.Chacon, "Toward an Implementation of Sliding Mode Control to Chemical Processes", Proc. of IEEE International Symposium on Indu. Elec. vol. 3. 1997.
- [8] J.J Slotine, W.Li, "Applied Nonlinear Control", Pentice Hall, New-Jersey.
- [9] B.S.Suh and D.K.Lim, "New PID Identification algorithm based on frequency scaling", Proceedings of the 40th Midwest Symposium on Circuits and Systems Vol. no.1, pp.654-658, 1998.

— 저 자 소 개 —



배 준 형(학생회원)

2004년 한국항공대학교 전자 및
항공전자공학과 학사
졸업.

2004년~현재 한양대학교 전기공
학과 석사과정.

<주관심분야 : 강인제어, 최적제
어, 로봇제어>



임 동 균(정회원)

제 30권 B편 제 11호 참조
2001년 한양대학교 전자통신
공학과 박사 졸업.

2005년 현재 한양사이버대학교 컴
퓨터학과 부교수.

<주관심분야 : 강인제어, 최적제
어, 신경회로망>



서 병 실(정회원) -교신책임자

제 41권 SC편 제5호 참조

2005년 현재 한양대학교 전기제어
생체공학부 교수.

<주관심분야 : 강인제어, 최적제
어>