# 반복 최소 자승법을 이용한 전자식 스로틀 바디의 PID 이득 자동 조정 PID Gain Auto Tuning of ETB by Using RLS

전 찬 성<sup>1</sup>·김 대 상<sup>2</sup>·이 장 명<sup>†</sup>

ChanSung Jeon<sup>1</sup>  $\cdot$  DaeSang Kim<sup>2</sup>  $\cdot$  JangMyung Lee<sup>†</sup>

**Abstract** This paper presents a PID automatic gain-tuning algorithm for the electronic throttle valve which is driven by wire. Since the system characteristics of position control for electronic throttle valve are so complicated that both the real time robustness and the manufacturing cost must be considered for mass production. To resolve this paradox, a kind of algorithm called RLS (Recursive Least Square) is adopted for the control of the ETB (Electronic Throttle Body). Using this algorithm, the PID gains can be adjusted automatically with the estimated system parameters. Furthermore, a pre-filter is supplemented for the sake of the robustness against the friction and loads. From the industrial requests for the system, the design specifications are decided as follows: the settling time should be less than 1 sec and the overshoot should be kept below 3%. The results of the experiments based on this approach show that the high robustness can be achieved while the system stability is satisfied steadily. A parameter estimation scheme and a gain-tuning algorithm have been properly combined and utilized in this research and the effectiveness is verified through the real experiments.

Keywords: Electronic Throttle body, Recursive Least Square, Gain-tuning, PID

# 1.서 론

자동차 전자 제어시스템은 자동차의 안전성과 편리성 을 확보할 수 있는 매우 중요한 기술로 인식되고 있다. Drive-By-Wire는 기계적 또는 유압시스템에 의하여 구 동되는 기계장치의 구동력 전달경로를 전자식으로 대체 하는 것으로 전자 제어장치의 대표적인 예이다<sup>[1]</sup>. 스로 틀 바디 제어에 있어서 PID 제어기가 많이 사용되고 있지만 PID 파라미터를 환경에 맞도록 최적으로 설정 하지 못하면 원하는 응답을 보장하기 어렵다. PID 이득 을 동조하는 대표적인 방식에는 Z-N (Ziegler와 Nichols)의 개루프법과 페루프법, C-C (Cohen-Coon)법, IMC (Internal model control)등이 있으나 실제로는 경험 적이고 실험적인 방법들이 대부분이다. 이와 같은 고전 적인 방법들은 실제 시스템 응답이 외란이나 잡음에 민 감하여 정확한 매개변수를 정하기가 어렵다. Z-N의 폐 루프법은 시스템의 안전성이 중시되는 한 적용하는데 어려움이 따른다. 이런 문제점을 보완하면서 PID제어기 의 파라미터를 결정하는 방법으로는 릴레이 궤환을 이 용하는 방법<sup>II</sup>이 있고, 실시간 적응 동조법<sup>II</sup> 등이 있다. 최근에는 모델과 유전 알고리즘을 기반으로 최적의 계 수를 구하는 연구가 진행되고 있다<sup>II</sup>. IMC를 비롯한 이 러한 방법들은 시스템 모델을 1차로 설정하였기 때문에 실제 스로틀 바디 시스템에 적용할 경우 큰 오차를 수 반하게 된다. 이러한 시스템 간략화에 의한 문제점들을 해결하기 위하여 폐루프 방식에 기초한 모델링과 PID 조절 방법에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다<sup>15.6</sup>.

본 논문에서는 기존의 동조기법 중에서 특정 성능지 수가 최소화 되도록 하는 적분절대오차 (IAE, Integrated Absolute Error), 적분시간 절대오차 (ITAE, Integrated Time Absolute Error), 적분제곱오차 (ISE, Integrated Square Error) 기법 중 최적응답을 얻기 위해 ITAE기법을 사용했다. 또한 PID제어기의 장점을 살리 고 파라미터 변화에 강인한 제어 시스템을 만들기 위하

<sup>※</sup> 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과 로 수행되었음.

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>교신저자 : 부산대학교 전자공학과 정교수

<sup>(</sup>E-mail:jmlee@pusan.ac.kr)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>부산대학교 전자공학과 석사과정(E-mail : csjeon@pusan.ac.kr)

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 부산대학교 전자공학과 석사과정(E-mail : dsskim@pusan.ac.kr)

여 RLS 방식을 접목시켜 실시간으로 파라미터를 추정 하고 이것을 매개로 하여 PID 이득 값을 자동으로 조절 하는 RLS알고리즘과 성능 개선을 위한 Prefilter를 사용 한 기법을 제시한다.

RLS기법은 어떤 값을 추정하기 위해 바로 전 단계의 데이터만을 이용하면 시스템의 안정성이 나빠질 수 있 다는 점을 보완하기 위하여 개발된 방법으로 과거의 데 이터 여러 개를 이용하는 방식이다. 본 논문에서 제안 한 제어 방식의 유용성을 입증하기 위하여 컴퓨터 시뮬 레이션 및 실제 전자식 스로틀 바디에 적용하여 성능을 검증해 보았다.

#### 2. 제어 시스템의 해석

제어 시스템을 해석하기 위하여 제어대상 즉 스로틀 바디 시스템을 해석하였다. 여기서 제어기의 매개변수를 추정할 수 있는 매개 변수 추정기법은 RLS를 이용하여 구한다.

#### 2.1 ITAE를 이용한 제어기 설계

일반적인 형태의 DC 전동기 시스템의 등가 회전 관성모멘트와 마찰계수는 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$J = J_m + J_L \tag{1}$$

$$B = B_m + B_L \tag{2}$$

전동기 시스템의 전달함수 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(\tau s + 1)} \tag{3}$$

여기서,

$$K_m = K / (R_a B + K K_e) \tag{4}$$

$$\tau = R_a J / (R_a B + K K_e) \tag{5}$$

이며,  $R_a$  는 아마추어 저항, K 는 전동기 토크 상수,  $K_a$ 는 역기전력 상수,  $\tau$  는 시정수, 그리고  $\theta$  는 모터의 변위각을 나타낸다.

시스템은 존슨 모터 제품의 Y-073-2 제품을 사용하였 으며, 그 전기적 특성 및 기계적 특성을 표 1에 나타내 었다. 모터의 전달 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{E_a(s)} = \frac{K_m}{s(\pi s + 1)} = \frac{0.54}{s(0.16s + 1)}$$
(6)

이러한 전동기 시스템을 제어하기 위하여 일반적인 PID제어기는 다음과 같이 표시된다.

$$G_{PID} = K_p + K_d s + \frac{K_i}{s}$$
(7)

여기서  $K_p$ 는 비례이득 상수,  $K_d$ 는 미분이득 상수, 그리고  $K_i$ 는 적분이득 상수이다.

본 연구에서는 성능개선을 위하여 Prefilter를 아래와 같은 전달함수로 추가한다.

$$G_{pre}(s) = \frac{K_i}{K_d s^2 + K_p s + K_i}$$
(8)

표 1. 시스템 상수

System parameters						
K(Nm/A)	$5.8*10^{-5}$	$K_e(V \cdot \sec/rad)$	$4.29*10^{-2}$			
$R_a(Ohm)$	3	$B(kgm^2/s)$	$3.5*10^{-5}$			
$J_m(kgm^2)$	$1.5*10^{-6}$	$J_L(kgm^2)$	$4.2*10^{-6}$			

따라서 전체 시스템의 블록 선도는 그림 1과 같다.



전체 시스템의 폐루프 전달함수는

$$T(s) = \frac{G_{pre}(s)G(s)G_{pid}(s)}{1 + G(s)G_{pid}(s)}$$
(9)

와 같게 되고 이 시스템의 전달함수의 특성방정식은 3 차 식이 되고 최적의 응답을 얻기 위하여 ITAE 제어 규칙에 의한 파라미터 표 2를 이용하면 식(10)과 같게 된다.

$$T(s) = \frac{\omega_n^3}{s^3 + 17.5\omega_n s^2 + 2.15\omega_n^2 s + \omega_n^3}$$
(10)  
$$= \frac{K_i K_m}{\varpi^3 + (1 + K_d K_m) s^2 + K_p K_m s + K_i K_m}$$

표 2. ITAE규칙에 따른 스텝입력에 대한 최적의 T(s)<sup>[7]</sup>

1	$s + \omega_n$
2	$s^2 + 1.4\omega_n s + \omega_n^2$
3	$s^3 + 1.75\omega_n s^2 + 2.15\omega_n^2 s + \omega_n^3$
4	$s^4 + 2.1\omega_n s^3 + 3.4\omega_n^2 s^2 + 2.7\omega_n^3 s + \omega_n^4$
5	$s^{5} + 2.8\omega_{n}s^{4} + 5\omega_{n}^{2}s^{3} + 5.5\omega_{n}^{3}s^{2} + 3.4\omega_{n}^{4}s + \omega_{n}^{5}$

식(10)에서 고유진동수를 결정할 수 있으면 전체 시 스템의 전달함수가 결정된다. 요구되는 시스템의 응답 특성은 settling time 이 1초 이내이고, overshoot 가 3% 이하이면 시스템 감쇠 계수  $\zeta$ 와 overshoot 의 관계식 에 의하여  $\zeta$ 는 약 0.744 가 된다. 따라서 고유진동수,  $\omega_n$ 은 약 8.96 이 되고 ITAE 제어 규칙에 따른 최적 응 답을 위한 폐루프 전달함수는 다음과 같게 된다.

$$T(s) = \frac{719.32}{s^3 + 15.68s^2 + 172.6s + 719.32}$$
(11)

PID 이득은 두 전달함수 식(10)과 식(11)의 파라미터 비교를 통하여  $K_p = 51.14$ ,  $K_i = 213.13$ ,  $K_d = 2.79$  로 구해진 다. 그리고 시스템응답의 제어성능 규칙인 ITAE 를 이 용하여 제어기와 필터를 설계한 경우 어느 정도 시스템 요소의 변화에 대하여 만족할 만한 특성을 가진다.

그림 2는 ITAE를 이용하여 구한 PID 이득에 대한 시 스템 응답 곡선이다. 그림 2를 통하여 알 수 있듯이 ITAE에 의한 PID 이득 값 설정은 초기 설계사양을 만 족하는 것을 알 수 있다. 그러나 식(3)의 외부부하 관련 상수인 7 가 외부부하의 증가에 의해 50% 증가하는 경 우 위의 그래프에서 비교한 바와 같이 초기에 설계된 사양의 응답을 유지하기 어렵다는 문제점을 가진다.



표 3. 시스템 응답 특성

	Fixed Parameter	Varied Parameter
Peak amp	1.02	1.24
Over Shoot (%)	1.98	24.3
Settling Time	0.842	2.95

이러한 두 가지 경우를 정리하여 표 3에 나타낸다. 시스템 파라미터가 변하는 경우 즉 부하 변동에 따라 초기 설계사양을 만족하지 못하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 경우 PID 제어이득을 자동으로 조절 할 수 있는 방법이 필요하다.

#### 2.2 매개 변수의 추정

식(3)에서 Zero Order Holder를 사용하여 Z변환하여 정 리하면,

$$G(s) = \frac{\theta_m(s)}{E_a(s)} \tag{12}$$

$$G(s) = (1 - z^{-1})Z\left[\frac{K_m}{s^2(\tau s + 1)}\right]$$

$$= K_m (1 - z^{-1})Z\left[\frac{1}{s^2} - \frac{\tau}{s} + \frac{\tau^2}{\tau s + 1}\right]$$
(13)

$$G(s) = K(1 - z^{-1}) \left( \frac{Tz^{-1}}{(1 - z^{-1})^2} - \frac{\tau}{1 - z^{-1}} + \frac{\tau}{1 - e^{-T/\tau} z^{-1}} \right)$$
(14)

$$G(s) = K \frac{(T - \tau + \pi e^{-T/\tau})z^{-1} + (\tau - (T + \tau)e^{-T/\tau})z^{-2}}{(1 - z^{-1})(1 - e^{-T/\tau}z^{-1})}$$
(15)

식(15)를  $z^{-1}$ 의 다항식의 꼴로 다시 쓰면 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$
(16)

그러므로 식(15)와 식(16)에 의해서

$$a_1 = -(1 + e^{-T/\tau})$$
 (17-a)

$$a_2 = e^{-T/\tau} \tag{17-b}$$

$$b_1 = K_m (T - \tau + a_2 \tau) \tag{17-c}$$

$$b_2 = K_m(\tau - a_2(T + \tau))$$
 (17-d)

로 정의된다.

식(16)에서  $a_1, a_2, b_1$  및  $b_2$  는 시스템의 매개변수로 주어진다. 그러나  $a_1$  은  $a_2$ 에 의해서 결정되므로 독립 매개변수는  $a_2, b_1$  및  $b_2$  임을 알 수 있다. 여기서 이들 매개변수들을 추정하기 위해서 RLS를 사용하면 아래와 같이 시스템의 입력과 출력 값을 통하여 추정할 수 있다.

$$\theta(k) - \theta(k-1) = a_2 [\theta(k-1) - \theta(k-2)] + b_1 E(k-1) + b_2 E(k-2)$$
(18)

식(18)에서 출력 오차 8를

$$\varepsilon(k) = \theta(k) - \theta(k-1) \tag{19}$$

라 하고 식(18)와 식(19)을 정리하면

$$\varepsilon(k) = a_2 \varepsilon(k-1) + b_1 E(k-1) + b_2 E(k-2)$$
(20)

이 된다.

여기서 입출력 특성 벡터  $\phi(k)$ 는 다음과 같다.

$$\phi(k) = \begin{bmatrix} \varepsilon(k-1) & E(k-1) & E(k-2) \end{bmatrix}$$
(21)

또한 시간 k에서의 시스템 파라미터 추정벡터  $\hat{\theta}(k)$ 를

$$\hat{\theta}(k) = \begin{bmatrix} \hat{a}_2(k) & \hat{b}_1(k) & \hat{b}_2(k) \end{bmatrix}$$
(22)

로 정의하면 RLS 추정 방정식은

$$\varepsilon(k) = \phi(k)\hat{\theta}^{T}(k) + e(k)$$
(23)

로 정리된다.

그리고 입출력 측정치 θ(k)와 E(k)는 시간 t의 함 수로서 매개변수 추정알고리즘은 다음과 같은 방법으로 계산된다.

$$e(k) = \varepsilon(k) - \left[\phi(k)\right] \begin{bmatrix} \bigwedge \\ a_2(k-1) \\ \bigwedge \\ b_1(k-1) \\ \bigwedge \\ b_2(k-1) \end{bmatrix}$$
(24)

미지의 시스템을 추정하기 위한 망각 인자를 가진 RLS 알고리즘은 일반적으로 다음과 같다 <sup>[89]</sup>

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + L(k) \cdot e(k)$$
(25)

$$L(k) = \frac{P(k-1)\phi(k)}{\lambda(k) + \phi(k)^{T} P(k-1)\phi(k)}$$
(26)

$$P(k) = \frac{1}{\lambda(k)} \cdot \left[ P(k-1) - L(k)\phi(k)^T P(k-1) \right]$$
(27)

L(k)는 적응 이득 벡터이고, P(k)는 공분산 행렬이 다<sup>[10]</sup>. 어떤 값을 추정하기 위해 바로 전 단계의 데이터 만을 이용하면 이것으로 인해 시스템의 안정성이 나빠 질 수 있다. 이것을 보완할 수 있는 방법은 바로 전 단 계의 데이터만을 이용하는 것이 아니라 과거의 데이터 다수개를 이용하는 것이다.

여기서 망각인자라 불리는 λ는 과거의 데이터에 대 해서 θ를 추정하는데 사용되며 매개 변수의 추정은 오 직 입력과 출력의 측정벡터에 의존한다. 이에 따라 λ 는 (0,1)사이의 양의 실수 값을 가지며 클수록 과거 데 이터 비중을 높여 시스템을 안정하게 하지만 수렴 속도 가 늦어진다. 반대로 λ가 작을수록 과거 데이터의 비 중을 낮게하여 수렴 속도를 빠르게 하지만 시스템은 불 안정해진다.

또한 매개변수  $a_2, b_1$  및  $b_2$ 가 추정된다면 개루프 이득  $K_m$ 과 시정수  $\tau$ 는 샘플링 주기 T만 알면 아래와 같이 구할 수 있다. 식 (17b)에 대해서  $\tau$ 는

$$\tau = \frac{-T}{\ln a_2} \tag{28}$$

로 구해진다.

식(17c)와 식(17d)에서 이득 Km 은

$$K_m = \frac{b_1 + b_2}{T(1 - a_2)}$$
(29)

와 같이 구해진다.

#### 2.3 시스템 안정성

파라미터의 추정을 통하여 제어 이득을 조절하는 경 우 시스템의 안정성을 저하시킨다면 제어기의 효용성이 떨어지게 된다. RLS를 통하여 추정된 파라미터로 계산 된  $\tau \ge K_m$ 을 이용하면 식(11)과 식(12)로부터 PID의 이득값을 구할 수 있다.

$$K_p = 172.6 \cdot \tau / K_m$$
 (30-a)

$$K_i = 719.32 \cdot \tau / K_m$$
 (30-b)

$$K_d = (15.68\tau - 1) / K_m$$
(30-c)

식(30)와 같이 PID 이득값에 대한  $\tau$  및  $K_m$ 에 관한 제어이득의 조정규칙을 구할 수 있다.

이 조정규칙을 통하여 일정 주기 마다 추정되는  $\tau$ 및  $K_m$  값을 이용하여 제어이득을 조정할 수 있다. 이때  $\tau$  및  $K_m$ 의 초기 값은 ITAE에 의한 설계 시 사용한 값을 기준으로 하였다.

전체 시스템의 안정성 판별을 위하여 식(11)에서 Routh-Hurwitz 안정도 판별법을 이용하면 시스템 파라 미터는 다음 조건 1과 조건 2를 만족해야 한다.

조건 1: 
$$\frac{1+K_dK_m}{\tau} > 0$$
  
조건 2:  $\frac{1}{1+K_dK_m} \left( \frac{(1+K_dK_m)K_pK_m}{\tau} - K_iK_m \right) > 0$ 

 $\tau$ 는 RLS을 통하여 추정되는 값이고 식(6)에서  $K_m$ 은 시스템 상수이므로 각 PID이득은 식(30)의 규칙을 따르므로 시스템이 안정하기 위해서는 조건 1에 의하여  $\tau > \frac{1}{15.68}$ 을 만족하고 조건 2는 추정 결과값과 상관없이

항상 만족하므로 조건 1만 만족하면 시스템의 안정성은 유지된다. 그러므로 본 논문에서는 오차에 의하여 안정 조건이 다소 변할 수 있으므로 안전 계수를 고려 하여 τ≥0.16 이 유지 되도록 알고리즘을 구성 하였다.

## 3. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 동조규칙의 유효성을 검증하기 위하여 기존 동조규칙들의 성능을 오버슈트(Os), 도달시 간(Tr), 정착시간(Ts)의 관점에서 실험적으로 비교해 보 았다. 또한, RLS를 이용한 ETB의 위치 응답특성을 알아 보기 위하여 Pedal 입력을 통하여 스로틀 Valve를 정확 하고 신속하게 위치시켜 주는 Test-bed를 그림 3과 같 이 구성하였다. Main Controller는 PIC1320을 사용하여 제품비용을 낮출 수 있도록 하였다.

제어기의 이득을 동조하는 다양한 방법들을 서론에서 설명하였으며, ETB의 요구사양을 만족시키기 위한 본 연구를 위하여, 최적의 동조규칙은 실험적인 성능평가 를 통하여 선정되었다.

표 4는 동조 시간을 포함한 최초 시동시의 성능을 나 타낸 것이다. 표 4에서의 동조 규칙의 결과에서 알 수 있듯이 RLS-ISE는 RLS-IAE, RLS-ITAE 방식보다 오 버슈트와 정착시간이 길고 RLS-IAE는 RLS-ITAE 규칙 보다는 성능이 뒤지지만 나머지 규칙보다는 앞서나 가 장 최적의 결과는 RLS-ITAE인 것을 알 수 있었다.



그림 3. Test-bed for ETB

표 4. 동조규칙에 따른 제어 성능 비교

Tuning Methods	Os(%)	Tr(s)	Ts(s)
Z-N	8.92	1.11	7.30
C-C	44.03	0.84	9.88
IMC	16.98	1.14	4.81
RLS-ISE	15.92	1.04	7.36
RLS-IAE	5.61	1.29	3.04
RLS-ITAE	2.84	1.46	2.29

RLS-ITAE의 정착시간이 시스템 성능을 만족하지 못 하는 결과가 나온 것은 앞서 이야기한 동조시간을 포함한 최초 시동시의 성능을 나타낸 것으로 실제 주행시 응답 특성에서는 시스템 사양을 만족하는 결과를 가져오는 것을 그림5에서 확인 할 수 있다.

표 1에서 주어진 ETB의 매개변수를 이용하여 Testbed에 적용한 실험데이터 값을 그림 4에서 보여주고 있 다. 그림 4에서 알 수 있듯이 입력 값에 대해서 샘플링 시간이 약 80ms 정도 되었을 때 모든 파라미터 값들이 수렴되는 것을 볼 수 있다.

본 실험에서 망각 인자 λ 는 0.915로 정하고, RLS를 사용하기 위한 입, 출력 값은 스로틀 바디의 Pedal을 입 력신호로 하고 스로틀 Valve의 개도 위치 값을 출력 신 호로 하여 실험에 적용하였다.

그림 4는 각 매개 변수의 추정 결과를 보여 주고 있 다. 그림 5는 스텝입력에 대한 시스템 응답과 50%의 외 부 부하가 인가되었을 경우, 그리고 RLS를 사용하였을 경우 시스템 응답과 초기 설정치의 50%의 외부 부하가 인가되었을 경우의 특성을 나타내고 있다. 그림 5에서와 같이 RLS를 적용한 시스템은 일반 시 스템보다 오버슈트 및 정착시간에서 좋은 성능을 보이 며 또한 50%의 외부 부하가 인가 되었을 경우에도 같 은 성능을 보이고 있다. 외부 부하 50%는 실험을 위한 최대 부하 값을 나타낸 것이며 실제 스로틀 바디의 외 부 부하는 공기저항 값으로 10%를 초과하지 않는다. 이 는 RLS를 사용하여 파라미터가 변하는 경우에도 원하 는 오버슈트와 정착시간 내에서 만족할 만한 결과를 얻 을 수 있음을 나타낸다.

실제 시스템에 적용하였을 때 입력인 Pedal 값과 출 력인 Valve 값이 RLS를 통한 파라미터 추정에 의해서 스로틀 바디 시스템의 위치 제어가 잘 이루어 짐을 그 림 6에서 보여 지고 있다. 그림 6(a)에서 보여지는 딜레 이 부분은 최초 파라미터를 추정하는데 걸리는 시간이 있기 때문이고 이후부터 그림 6(b)에 보여 지는 것처럼 사용자의 Pedal 입력에 따른 Valve의 출력 상태가 잘 추정되는 것을 볼 수 있다.







그리고 그림 7(a)에서 보여지는 것처럼 Pedal에서의 노이즈가 있더라도 그림 7(b)에서 보듯이 아주 양호한 결과를 얻을 수 있음을 보여 준다.

그림 8의 결과는 Valve의 사용 개도 구간 사이의 오 차를 나타내고 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존 연구<sup>[2,11]</sup>에 비해서 정상상태 도달 시간이 다소 길어짐을 볼 수 있으나, 이는 시스템의 요구사양 이내이고, 시스 템 요구사양인 100ms의 응답속도 이내에서의 만족할 만한 성능을 이루어낼 수 있었다.

## 4.결 론

본 논문에서는 제어 분야에서 아직까지 범용으로 사용되고 있는 PID 제어기의 단순성과 안정성을 이용하여 자동차 전자동 스로틀 바디 개도의 위치를 신속하고 정밀하게 제어하기 위한 PID 제어에 RLS를 이용하여 이득을 실시간에 자동 조정하도록 하였다. 시스템 파라 미터가 변하는 경우 이것을 RLS을 사용하여 추정하고 제어이득 조절규칙에 의하여 PID 이득을 제어기가 스스로 조절하는 알고리즘을 제시하고 그 효율성을 실험을 통하여 입증하였다. 수식 전개를 통하여 제어 알고 리즘을 체계화 하였으며 ETB시스템에 적용하여 일반 PID 제어기를 적용한 경우와 제어성능을 비교 평가한 결과, 자동조정 PID 제어기는 일반 PID 제어기 보다 대

상 파라미터의 변화에 강인함을 확인하였다. 시스템 파 라미터가 과도하게 변화하면 기존의 PID 제어기는 불 안정한 특성을 나타내는 상황에서도 본 제어기는 시스 템 입력과 더불어 요구된 설계사양을 만족시키는 방향 으로 근접해 나감을 확인하였다.

= 참고문헌 =

- Carlo Rossi, Andrea Tilli, and Alberto Onielli, "Robust Control of a Throttle Body for Drive by Wire Operation of Automotive Engines," IEEE CONTROL SYSTEMS TECHNOLOGY, vol. 8, pp. 993-1002, Nov. 2000.
- [2] K. J. Astrom and T. Hagglund, "Automatic Tuning of Simple Regulators with Specifications on Phase and Amplitude Margins," Automatica, vol, 20, pp. 645-651, 1984.
- [3] T. Yamamoto et al. "Intelligent Tuning PID Controllers," Proc. IEEE Int. Conf. on SMC, vol 5, pp. 645-651, 1984.
- [4] P. Wang and D. P. Kwok, "Optimal Design of PID Process Controllers Based on Genetic Algorithms," Proc. 12th Triennial World Congress of IFAC, vol. 4, pp. 193-197, 1993.
- [5] Huanshui Zhang, Lihua Xie, Yeng Chai Soh, and Wei Wang, "Optimal and Self-Tuning State Estimation for Singular Stochastic Systems: A Polynomial Equation Approach" IEEE Transactions on circuits and systems, vol. 51, no. 6, 2004.
- [6] Astrom K. J. and Hagglund T., "A Frequency Domain Approach to Analysis and Design of Simple Feedback Loops," Proceedings of the 23rd IEEE Conference on Decision and Control, 1984.
- [7] Richard C. Dorf, Robert H. Bishop, "Modern Control Systems (Eighth Edition)" p 254-263.
- [8] L. Guo and L. Ljung, "Performance analysis of general tracking algorithms," IEEE Trans. Automatic control, vol. 40, no. 8, pp. 1388-1402, 1995.
- [9] L.Guo and L. Ljung, "Exponential stability of general tracking algorithms," IEEE Trans. Automatic Control, vol. 40, no. 8, pp. 1376-1387, 1995.
- [10] Si Yeong Ryoo, Dong Kyoo Lee, Doo Soo Lee, and Keum Won Lee, "A RLS (Recursive Least Square) Algorithm without a Requirements for a Persistency of Excitation of System Input" Proceedings of ITC-CSCC 96, July 15-17, 1996.

[11] Vasak. M, Baotic M, Petrovic I, and Peric N, "Electronic throttle state estimation and hybrid theory based optimal control," IEEE International Symposium on Industrial Electronics, vol. 1, pp. 323-328, 2004.



전 찬 성 2006 한남대학교 전자정보통신 공학과(공학사) 2006~ 현재 부산대학교 전자공학과 석사과정

관심분야 : 마이크로프로세서 응용제어, 지능제어 시스템, 모터제어



이 장 명 1980 서울대학교 전자공학과 (공학사) 1982 서울대학교 전자공학과 (공학석사) 1990 Univ. of Southern Californi Ph.D

1992~현재 부산대학교 교수 현재 부산대학교 전자공학과 정교수 관심분야 : 지능로봇시스템 설계 및 제어, 마이크로프로세서 응용, 시스템설계 모터구동 제어



# 김 대 상 2002 부경대학교 제어계측공과 (공학사) 2005~현재 부산대학교 전자공학과 석사과정

관심분야 : 모터제어, 적응제어 시스템