

2-자유도 PID 제어기 출력 특성 비교

김 동 화
대전산업 대학교 제어계측 공학과

Comparison of the output characteristics of 2-DOF PID Controller

(Tel:042-821-1170,E-mail:kimdh@hyunam.tnut.ac.kr)

Kim, Dong Hwa
Taeion National of Tech

Abstract - 본 논문에서는 α, β 분리 및 결합형, 피드포워드형, 미분선행형(PI형)의 2-자유도 PID제어기의 각 종류에 대해 파라미터 변화에 따른 특성을 가스 터빈의 연료 제어계통 전달함수를 이용해 비교 고찰하였다. α, β 는 제어기의 출력 특성에 크게 영향을 미치나 γ 는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났고 각 제어기의 특성에서는 α, β 결합형이 가장 양호한 출력 특성이 나타났다.

와 같이 목표치 $R(s)$ 에 대한 성분과 외란 $D(s)$ 에 대한 성분으로 나누어진다.

- 2) 목표치 추종 특성
목표치에 관계된 식은

$$Y(s) = \frac{F(s)K(s)G(s)}{1 + \{K(s) + H(s)\}G(s)} R(s) \quad (2.2)$$

1. 서 론

제어계통에 PID 제어기를 적용하여 제어하는 경우 최적의 추종성을 갖기 위한 P, I, D파라미터 값과 외란에 대해 강인성을 갖도록 하기 위한 파라미터 값은 다르다. 따라서 이들 모두에 대해 만족 할 만한 값을 설정하는 것은 어렵기 때문에 2-자유도 PID제어기를 이용한다.

2-자유도 PID제어기는 1963년 I.M. Horowitz가 5가지를 제시한 이래 이들에 대해 많은 연구가 이루어지고 있으나 이들 각각의 파라미터 변화시의 출력 특성에 대해 비교 검토한 것은 없다.

2-자유도 PID제어기는 기존의 P.I.D파라미터의에 2-자유도를 구현 하기 위한 2-자유도 계수 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ 가 있다. 따라서 이들 5개의 파라미터를 어떻게 조절하느냐에 따라 플랜트의 응답특성은 매우 다르게 된다.

본 논문에서는 2-자유도 종류에 따른 2-자유도 파라미터의 변화에 따른 출력 특성을 비교 검토하여 플랜트에 대한 영향을 비교하고자 한다.

와 같이 주어진다. 여기서 응답에 영향을 주는 항은 분모 $\{K(s) + H(s)\}$ 항과 분자 $\{F(s)K(s)\}$ 항으로 분모는 앞서 외란에 적합하도록 선정된다.

2.1.2 루프 보상형...

피드백 루프에 적분시간 T_i 에 비례하는 진상 또는 지상 기능을 갖는 보상요소 $F(s)$ 를 삽입하여 P(비례) 및 I(적분) 동작을 2 자유도화 하고 D(동작)은 구조를 간단히 하기 위해 요소를 분리하여 2 자유도화 한 것이다.

$$Y(s) = \frac{K_p(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{\gamma T_d s}{1 + \eta T_d s})G(s)}{1 + K_p[\alpha + (\frac{1}{T_i s} - A) + B]G(s)} R(s) + \frac{G(s)}{1 + K_p[\alpha + (\frac{1}{T_i s} - A) + B]G(s)} D(s) \quad (2.3)$$

$$A = \frac{(\alpha - 1)(1 - \beta)}{1 + \beta T_i s}$$

$$B = \frac{\gamma T_d s}{1 + \eta T_d s}$$

2. 2-자유도 PID 제어기

2.1 2-자유도 PID제어기의 종류.....

2.1.1 목표치 필터형...

설정치 변화에 대해서는 필터가 대응 하도록 하고 제어기는 외란에 대해서만 충실히 대응 할 수 있도록 한 것이다.

이것은 기존의 미분 선행형 PID제어기에 목표치 필터를 부가하여 1자유도화 한 것으로 현장에서 가장 적합하게 이용된다.

1) 외란 억제 제어특성

$$Y(s) = \frac{F(s)K(s)G(s)}{1 + \{K(s) + H(s)G(s)\}} R(s) + \frac{G(s)}{1 + \{K(s) + H(s)G(s)\}} D(s) \quad (2.1)$$

2.1.3 피드백 보상형.

피드백 요소를 삽입하고 폐환루프를 설정치측에 가한 것이다.

목표치 필터를 식 (9.5.19), (9.5.20)와 같이 분해하여 β 에 의한 적분시간의 2자유도를 다시 구현 하고 기본 요소를 다중 사용하여 요소를 감소시킨 것이다.

2.1.3 필터계수 분리형 슈퍼 2-자유도 PID

목표치 필터의 계수 α, β 를 분리하여 구성한 것으로 $Y(s)-M(s)$ 사이의 전달함수 $G_{YM}(s)$, $R(s)-M(s)$ 사이의 전달함수 $G_{RM}(s)$ 는 각각 다음과 같이 된다.

$$G_{YM}(s) = -\frac{M(s)}{Y(s)} \quad (2.4)$$

$$= K_p \left(1 + \frac{1}{T_s} - \frac{T_d s}{1 + \eta T_d s} \right)$$

$$G_{RM}(s) = \frac{M(s)}{R(s)}$$

$$= K_p \left[\alpha + \left\{ \frac{1}{T_s} - \frac{(1-\alpha)(\beta-1)}{1+\beta T_s} \right\} + \frac{\alpha \gamma T_d s}{1+\eta T_d s} \right]$$

- $\frac{1}{\eta}$ = 미분이득 ($0.1 \leq \alpha \leq 1$) (2.5)
 α = 2자유도 제어기 비례이득 ($0 \leq \alpha \leq 1$)
 β = 2자유도 적분이득 ($0 \leq \beta \leq 2$)
 γ = 2자유도 미분이득 ($0 \leq \gamma \leq 2$)

식(2.4)에서 프로세스량 $Y(s)$ 가 변하면 종래의 PID 제어기와 같이 제어되나 목표치 $R(s)$ 가 변하는 경우는 식(2.5)에서 비례이득 K_p 는 α 배, 미분시간 T_d 는 $\alpha\gamma$ 배, 적분시간 T_i 는 βT_i 가 된다.

또 분자의 $(1-\alpha)(\beta-1)$ 에 의해 1차 지연요소가 감소됨으로 β 가변에 의해 적분 시간을 조절할 수 있어 프로세스 특성에 적합한 2자유도 제어의 구현이 가능하다.

한편 α, β, γ 를 변화시키면 프로세스 변화량 $Y(s)$ 값에 대해서는 영향을 미치지 않으나 목표치 $R(s)$ 에 대해서는 추종성능에 큰 영향을 미친다.

각 파라미터의 최적값은

Alpha Block : $\alpha = 0.2$

Controller Block : $K_i = 8.75, \beta = 0.2$

Gamma Block : $\gamma = 0.1$

PI Controller Block : $K_p = 4, K_i = 1.35$

PD Controller Block : $K_p = 6, K_d = 0.05, \zeta = 1$

이고 계단응답에 대한 특성은 그림 2-6이다. 그림 2은 이상적인 계단응답의 예를 나타낸 것인데 이것을 필터분리형 2-자유도 제어기에 인가한 것이 그림 3이다. 그림 3은 2-자유도 계수 α 를 가변시켰을 때 응답특성으로 클수록 오버슈트가 커지고 있다.

한편 그림 4는 β 값 변화 따른 출력 특성으로 클수록 오버슈트가 작아지는데 $\beta = 0.2$ 일때가 가장 최적의 응답이 나타나고 있다.

그림 5는 γ 에 따른 출력 특성으로 변화에 대해 큰 영향을 미치지 않고 있다. 그림 6은 안정한 제어시의 보드선도 특성이고 그림 7은 각 제어기의 특성에 대한 비교를 나타내고 있다. PID, 계수분리형, PI형 2-자유도 제어기, 피드포워드형의 순으로 오버슈트가 적어지고 있다.

2.1.4 필터계수 통합형 슈퍼 2-자유도 PID

이것은 필터계수 α, β 를 곱해 통합적으로 영향을 미치도록 한 것으로 목표치 필터의 구조가 간단하다.

통합형 2-자유도 PID 제어기의 최적 값은 다음과 같다.

Alpha Block : $\alpha = 0.2, \beta = 0.4$

I Controller Block : $K_i = 8.75, \beta = 0.2$

PI Controller Block : $K_p = 4, K_i = 1.35$

PD Controller : $K_p = 0.1, K_d = 0.05, \zeta = 1$

또 시뮬레이션 결과는 그림 8-12이다. 그림 9는 각 계수를 적용했을 때 출력 특성이고 그림 10은 α 값 변화에 대한 출력 특성인데 큰 영향을 미치지 않고 있다.

한편 그림 11은 β 값에 따른 응답 특성으로 β 값이 적을수록 오버슈트가 커진다.

2.1.5 PI형 슈퍼 2-자유도 PID

미분 동작을 목표치 필터측에 이동하여 조합시킨 것으로 제어편차 E에서 조작신호 $M(s)$ 에 이르는 루프가 바이패스 루프가 아닌 단일 루프로 되어 있어 제어편차 E에 대해 비선형 처리가 간단하고 정확하다.

$$G_{YM}(s) = -\frac{M(s)}{Y(s)} \quad (2.6)$$

$$= K_p \left[1 + \frac{1}{T_s} - \frac{T_d s}{1 + \eta T_d s} \frac{\beta(1 + T_s)}{1 + \beta T_s} \right]$$

$$G_{RM}(s) = \frac{M(s)}{R(s)}$$

$$= K_p \left[\alpha + \left\{ \frac{1}{T_s} - \frac{(1-\alpha)(\beta-1)}{1+\beta T_s} \right\} + \frac{\alpha \gamma T_d s}{1 + \eta T_d s} \frac{\beta(1 + T_s)}{(1 + \beta T_s)} \right] \quad (2.7)$$

식(2.6)에서 프로세스량 $Y(s)$ 변하면 필터 $\frac{\beta(1 + T_s)}{(1 + \beta T_s)}$ 는 큰 역할을 하지 못하므로 기존의 PI제어기와 유사한 기능으로만 제어된다.

$\frac{\beta(1 + T_s)}{(1 + \beta T_s)}$ 의 계수는 초기치 1에서 최종치는 β 의 값이 되나 $\beta = 1.35$ 에서 가장 적합한 것으로 보고 되고 있고 D는 시간 경과와 함께 영으로 하는게 좋다.

한편 목표치 $R(s)$ 가 변화하면 식(9.5.26)의 비례이득은 α 배, 미분 이득은 $\alpha\beta$ 배, 적분시간 시정수 βT_i 를 가지므로 이들 계수의 조건에 의해 완전 2자유도 실현이 가능하다.

2.1.6 피드포워드형 슈퍼 2-자유도 PID

목표치 필터를 피드포워드 형식으로 하여 목표치 추종기능을 할 수 있도록 한 구조이다.

본 연구에서는 지금까지 언급한 각각의 제어기에 대해 비교하여 그 특성을 나타내면 그림 13과 같다.

그림에서 볼 수 있는 바와 같이 PID제어기의 경우는 진동과 오버슈트가 가장 크고, 다음으로 피드포워드형이 적게 나타나고 있다. 또, α, β 결합형 2-자유도 PID 제어기의 경우가 상승률이 가장 느리게 나타나고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 α, β 분리 및 결합형, 피드포워드형,

미분선행형(PI형)의 2-자유도 PID제어기의 각 종류에 대해 파라미터 변화에 따른 특성을 고찰하고 각각의 제어기 출력 특성을 비교하였다.

시뮬레이션 결과 α, β 는 제어기의 출력 특성에 크게 영향을 미치나 γ 는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 한편 각 제어기의 특성에서는 α, β 결합형이 가장 양호한 출력 특성이 나타났다.

(참고 문헌)

- [1] 김동화, "계장제어 시스템", 동일출판사, 1997.8
- [2] K.J.Anstrom, "Towards intelligent PID control", Automatica, ol.28, no.1, pp.1-9, 1992.
- [3] J.G.Ziegler & N.B.Nichols, "Optimum setting for Automatic controllers", Transactions of The ASME, pp.759-768, 1942.
- [4] K.J.Anstrom, "Intelligent tuning and adaptive control", 1992.10.12-14, works shorp in Seoul, Korea.
- [5] Kiochi Suyama, "A practical design method for PID control systems", SICE, vol.29, no.2, pp.236-238, 1993.
- [6] Kim, Dong Hwa, "A study on the PID controller to Turbo generator", '96, KIEE conference in Yong-Pyong.

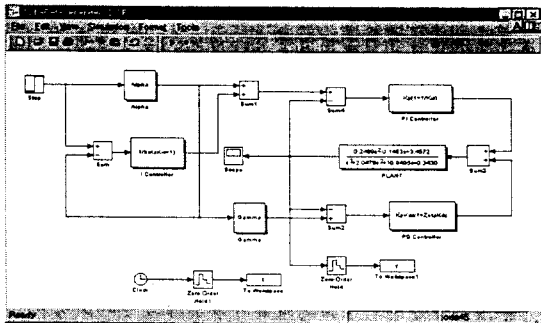


Fig. 1 Block diagram of Separated α, β Coefficient Type Super 2-Dof Controller

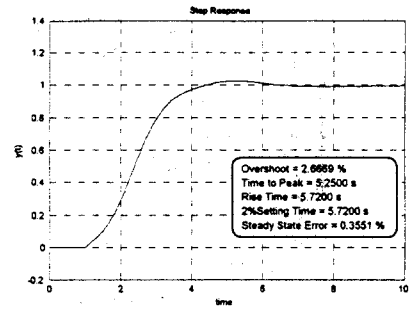


Fig. 2 Step Response

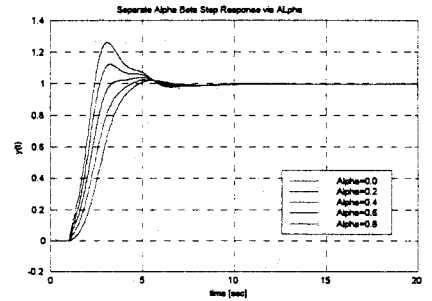


Fig. 3 Step Response via Alpha

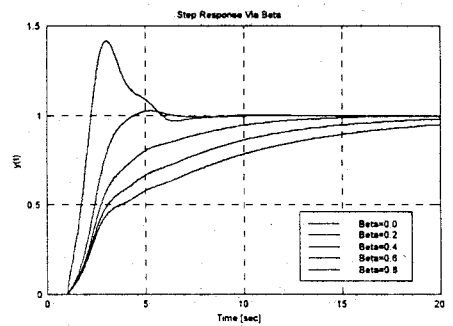


Fig. 4 Step Response via Beta

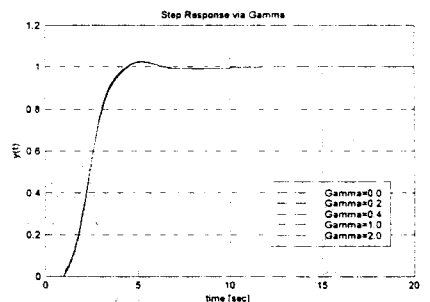


Fig. 5 Step Response via Gamma

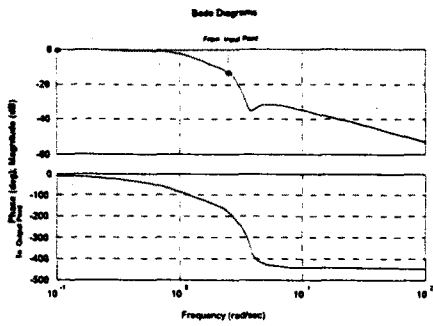


Fig. 6 Total System Bode Plot Include Plant

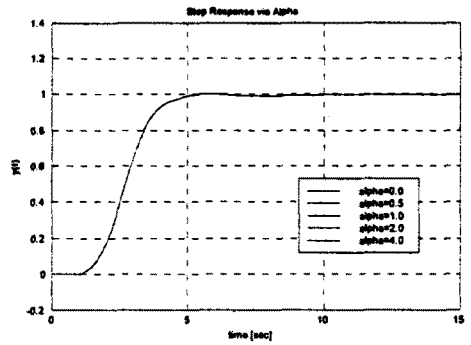


Fig. 10 Change Alpha in Alpha Block

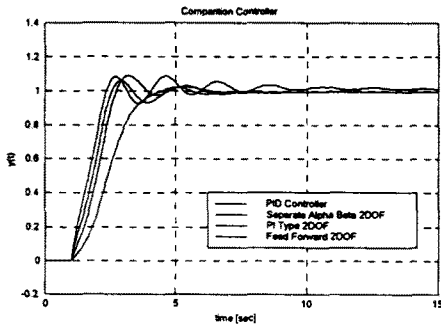


Fig. 7 Comparison of Controller Performance

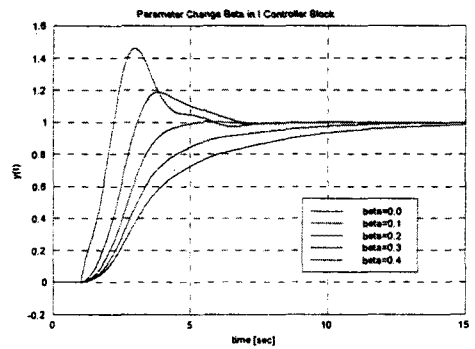


Fig. 11 Step Response via Beta in I Controller Block

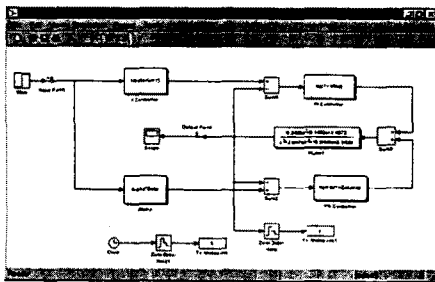


Fig. 8 Block Diagram of α, β Combined 2-DOF Controller

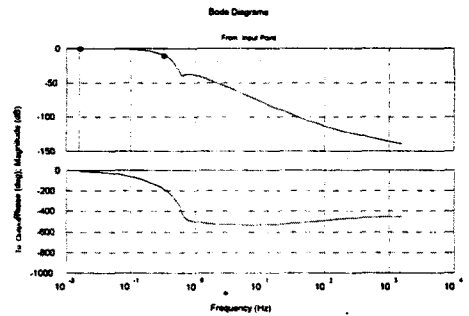


Fig. 12 Bode Plot of Total System

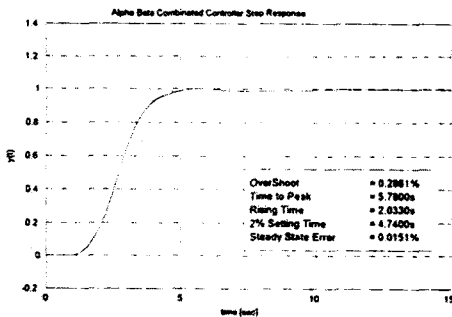


Fig. 9 α, β Combined 2-DOF Controller Step Response

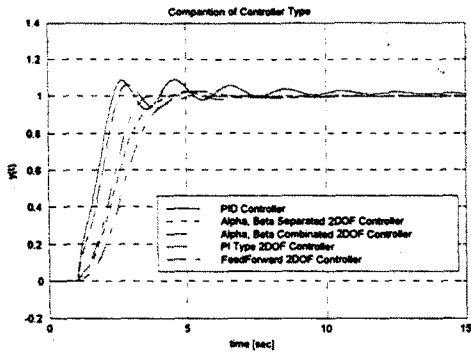


Fig. 13 Comparison of Controller

Table. 1 Controller Performance Comparison

	Over shoot	Time To Peak	Rising Time	2% Settling Time	Steady State Error
PID	8.9816	4.5900	1.0936	12.7600	1.4498
α, β Separate	2.6669	5.2500	1.9327	5.7200	0.0110
α, β Combinate	0.2863	5.7800	2.0327	4.7400	0.0151
PI Type 2DOF	2.6949	5.4900	1.6094	5.9700	7.5191e-004
Feed Forward 2DOF	6.1539	2.8900	1.2273	5.2100	0.1837