

자연시간을 갖는 다변수 유량제어 시스템의 2-자유도 PID제어기 특성 비교

The Comparison of the Output Characteristics of 2-DOF PID Controller in the Multivariable Flow Control System with Delayed Time

김 동 화
(Dong Hwa Kim)

Abstract : In this paper, we studied the response characteristics of α, β separated type, combined type, PI typed, and feedforward type in 2DOF-PID controller through the simulation and the experiments designed with the multivariable flow control system. The parameters α and β give an affect to the characteristics of controller in separated type but γ does not give an affect to the characteristics of 2-DOF PID. The more β increases, the more overshoot decreases and especially, in case of PI type represent clearly. The α, β separated type has a very small overshoot and its magnitudes in 2-DOF PID controller increases in order of α, β combined type, PI type, feedforward type, conventional type. The response characteristics of simulation are similar to that of experiments but the experimental characteristics in the multivariable flow control system has the delayed response. The time delay of response in experiments depends on 2-DOF parameter α, β, γ and the overshoot increase as the α, β, γ increase. So, we can have a satisfactory response by tuning D gain.

Keywords : flow control, PID, neural network control, multivariable control.

I 서론

원자력 발전소를 비롯하여 대부분의 플랜트에서 90% 이상 이용되고 있는 것이 PID제어기로 제어알고리즘은 지극히 간단한 반면 이용자의 편리성 및 범용성은 더욱 증가하는 추세에 있어 각국에서는 많은 사람들이 연구하거나 새로운 제품을 내놓고 있다[1]-[12].

종래의 전형적인 PID 제어기를 플랜트에 적용하는 경우 최적의 추종성을 갖기 위한 P(비례), I(적분), D(미분) 파라미터 값과 외란에 대해 강인성을 갖도록 하기 위한 파라미터 값은 다르기 때문에 만족스러운 제어 효과를 얻을 수 없는 문제점이 있다. 즉, 설정 치에 잘 추종하도록 P, I, D의 값을 설정하면 외란을 잘 억제하지 못하고 외란에 강인하도록 P, I, D값을 조절하면 설정치를 잘 추종하지 못하는 문제점이 있다.

이와 같은 PID제어기의 문제점을 해결하기 위해 1963년 Horwitz가 외란에 대한 강인성과 설정치 추종성을 동시에 만족 할 수 있는 5종류의 2자유도 PID제어 알고리즘을 제시하면서 부터 구현에 큰 전환기를 맞게 되었다[2].

2-자유도 PID제어기는 구성 방법에 따라 목표치 필터 계수 α 와 β 의 분리형, α, β 결합형, 미분 선행형(PI형), 피드포워드형, 루프 보상형, 피드백형 등이 있는데 그 구성방법에 따라 응답 특성도 매우 다른 것으로 되어 있다.

2-자유도 PID제어기의 큰 특징은 기존의 P, I, D 파라미터외에 2-자유도를 구현 하기 위한 2-자유도 계수

가 있어 이들 값의 변화에 따라 목표치 추종성과 외란 억제성능을 적절히 구현 할 수 있다. 즉, 이들 4개의 파라미터를 어떻게 조절하느냐에 따라 플랜트의 제어성능을 향상시킬 수 있다.

이와 같이 실용성이 강한 2-자유도 PID 제어제에 대한 연구는 외국에서는 활발히 이루어지고 있으나[1][2] 국내의 2-자유도 PID제어기에 대한 연구는 매우 제한적이다[9]-[12].

특히, 온도, 압력, 유량, 액위와 같은 실질적인 공정제어 계통은 그 제어제통의 특성상 지연요소가 매우 강하므로 일반적인 제어기로서는 제어성능이 떨어져 원하는 제어효과를 얻을 수 없는 경우가 많다. 따라서 다양한 제어 이론이 제시되고는 있으나 실용적인 면에서는 매우 부정적이다.

본 논문에서는 필터계수 α, β 분리형, α, β 결합형, 피드포워드형, 미분 선행형 PID 제어기의 실제 플랜트에 대한 성능특성을 고찰하기 위해 시뮬레이션과 실험실을 통해 연구하였다.

II. 2-자유도 PID 제어기

1. 2-자유도 PID제어기의 종류

1.1 필터계수 α, β 분리형 2-자유도 PID

본 논문에서는 목표치 필터 계수 α, β 분리형, $\alpha-\beta$ 의 결합형, 미분 선행형(PI형), 피드포워드형 4가지 종류에 대해서 그 응답특성을 비교 연구한다. 목표치 필터계수 분리형은 그림 1과 같이 목표치 필터의 계수 α 와 β 를 분리하여 구성한 것으로 프로세스 출력 $Y(s)$ 와 조작량 $M(s)$ 사이의 전달함수 $G_{YM}(s)$ 과 기준입력 $R(s)$ 와 조작량 $M(s)$ 사이의 전달함수 $G_{RM}(s)$ 는 각각 다음과 같이 된다.

접수일자 : 1998. 11. 25, 수정완료 : 1999. 5. 18.

김동화 · 대전산업대학교 제어계측공학과

※ 본 논문은 1998년도 한국과학기술연구원 산학협력 연구지원에 의해 이루어진 연구결과입니다. 지원하여 주신 관계기관에 감사드립니다(과제번호 : 98-2-07-06-01-2).

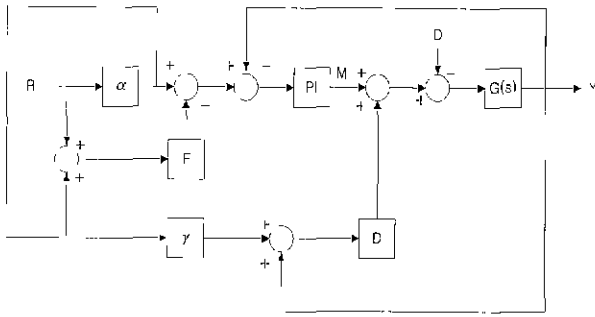


그림 1. 목표치 필터계수 분리형 2-자유도 PID 제어기.
Fig. 1. The filter coefficient separated 2-DOF PID controller.

$$G_{YM}(s) = \frac{M(s)}{Y(s)} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_i s} - \frac{T_d s}{1 + \eta T_d s} \right) \quad (1)$$

$$G_{RM}(s) = \frac{M(s)}{R(s)} = K_P \left[\alpha + \left\{ \frac{1}{T_i s} - \frac{(1-\alpha)(\beta-1)}{1 + \beta T_i s} \right\} + \frac{\alpha \gamma T_d s}{1 + \eta T_d s} \right] \quad (2)$$

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

(1)에서 프로세스량 $Y(s)$ 가 변하면 종래의 PID제어기와 같이 제어되나 (2)에서 목표치 $R(s)$ 가 변하는 경우는 비례이득 K_p 는 α 배, 미분시간 T_d 는 $\alpha \gamma$ 배, 적분시간 T_i 는 βT_i 가 된다.

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

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

1.2 필터계수 통합형 2-자유도 PID

이것은 그림 2와 같이 필터계수 α, β 를 곱해 통합적으로 영향을 미치도록 한 것으로 목표치 필터 구조가 간단하다.

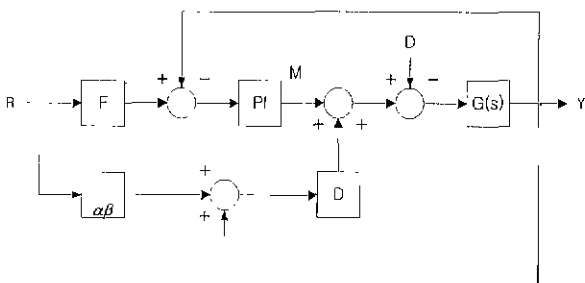


그림 2. 목표치 계수 통합형 2-자유도 PID제어기
Fig. 2. The filter coefficient combined-2-DOF PID controller.

1.3 미분 선행형(PI형) 2-자유도 PID

미분동작을 그림 3과 같이 목표치 필터측에 이동하여 조합 시킨 것이다.

그림 3에서 출력과 조작량, 기준치와 조작량 사이의 전달함수는 각각 다음과 같이 주어진다.

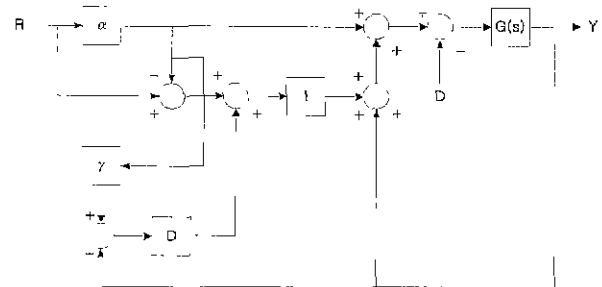


그림 3. PI형 2-자유도 PID제어기.
Fig. 3. PI type 2-DOF PID controller.

$$G_{YM}(s) = -\frac{M(s)}{Y(s)} = K_P \left[1 + \frac{1}{T_i s} - \frac{T_d s}{1 + \eta T_d s} \frac{\beta(1 + T_i s)}{1 + \beta T_i s} \right] \quad (3)$$

$$G_{RM}(s) = -\frac{M(s)}{R(s)} = K_P \left[\alpha + \left\{ \frac{1}{T_i s} - \frac{(1-\alpha)(\beta-1)}{1 + \beta T_i s} \right\} + \frac{\alpha \gamma T_d s}{1 + \eta T_d s} \frac{\beta(1 + T_i s)}{1 + \beta T_i s} \right] \quad (4)$$

(3)에서 프로세스량 $Y(s)$ 변하면 필터 $\beta(1 + T_i s)/(1 + \beta T_i s)$ 는 프로세스량에는 큰 역할을 하지 못하므로 기존의 PI제어기와 유사한 제어결과가 된다.

$\beta(1 + T_i s)/(1 + \beta T_i s)$ 의 계수는 초기치가 1일 때 최종치는 β 의 값이 되나 $\beta = 1.35$ 일 때 가장 적합한 것으로 제시되고 있다[2].

한편 (4)에서 목표치 $R(s)$ 가 변하는 경우는 비례이득은 α' 배, 미분 이득은 $\alpha \gamma$ 배, 적분시간 시정수는 βT_i 를 가지므로 이들 계수의 조건에 의해 2자유도의 성능이 결정된다고 볼 수 있다. 여기서,

$$F = \frac{1}{1 + \beta T_i s}, \quad D = \frac{K_p T_d s}{1 + \eta T_d s}$$

$$H = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right), \quad FF = \frac{\beta - 1}{1 + \beta T_i s}$$

이다.

1.4 피드포워드형 2-자유도 PID

목표치 필터를 그림 4와 같이 피드포워드 형식으로 하여 목표치 추종기능을 할 수 있도록 한 구조이다.

III. 다변수 유량제어 시스템

1. 플랜트에서의 유량제어 특성

유량제어 계통은 화력 발전소나, 화학플랜트의 급수 및 순환수 계통은 물론 건물의 냉·난방, 기타 우리 주

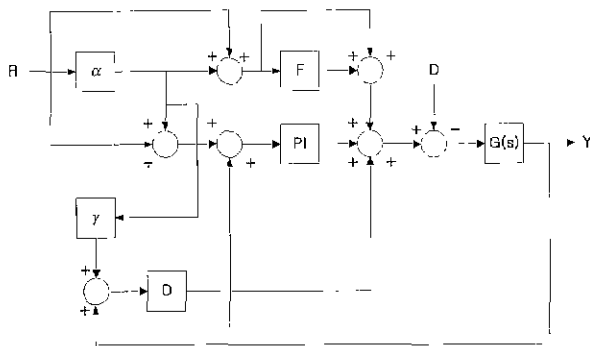


그림 4. 피드포워드형 2-자유도 PID제어기.
Fig. 4. Feedforward type 2-DOF PID controller.

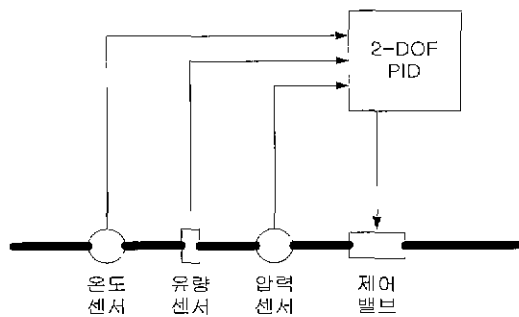


그림 5. 유량 제어시의 온도, 압력부정을 고려한 제어 시스템.
Fig. 5. The control system under considering compensation of temperature and pressure in flow control.

위의 산업설비 계통에서 필히 이용되는 부하설비로 이들 플랜트 전력 소비량의 대부분을 차지한다.

이들 유체는 관로에서의 유체적 동특성 때문에 계측 및 제어 시는 고려하여야 할 많은 인자가 있어 많은 전력을 소비하는 것에 비해 정밀 제어는 되지 않는 문제점이 있다. 특히 정수 또는 폐수설비에서의 원수유량 및 약품 주입제어, pH제어 등과 같은 경우는 유량제어의 정밀도에 따라 약품의 주입량이 다르게 되므로 수질에 큰 영향을 미칠 수 있어 정밀제어는 매우 중요하다[1].

2. 정밀 유량 제어를 위한 다변수 유량제어 루프 구성

유량 제어를 위해서는 밸브나 펌프를 이용하는 것이 일반적인데 정밀한 유량 제어 계통에 그대로 이용하는 경우는 압력 원(pressure source)의 압력이 일정치 않아 정밀한 제어가 어렵다. 압력 원으로서 탱크를 이용하는 경우는 탱크의 액위 변화에 따라 압력이 변할 수 있고 펌프를 사용하는 경우는 펌프에 의해 필요한 압력을 유지 할 수 있으나 온도, 밀도, 점도 변화에 따른 특성을 유량제어에 반영 하기가 어렵다.

뿐만 아니라 이들 각 유량 제어 특성은 밸브 특성에 의해 유량이 변하고 또 배관길이 및 압력 원의 상태에 따라서도 운전 점이 변하게 됨으로 정밀 제어 루프로는 적당치 않다.

유량제어에 가장 영향을 크게 미치는 장치로는 밸브, 가변 속 전동기 등과 같은 유량을 제어하는 조작 단의

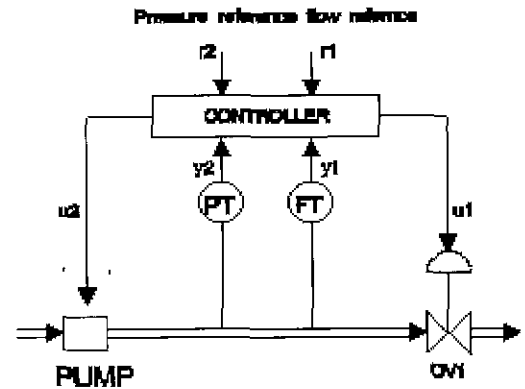


그림 6. 다변수 제어를 위한 유량제어 시스템.
Fig. 6. Flow control system for multivariable control.

특성으로 이들의 3대부분은 비선형 특성이므로 조작 단의 특성에 맞는 보정 장치를 구비하여야 한다. 따라서 전체적인 시스템의 효율을 고려한 제어가 어렵게 되어 있다.

그러나 유량 부하 제어계통의 경우 지금까지는 주로 단일 루프로 구성하여 PI제어기를 이용 하는 것이 대부분이다. 따라서 루프간의 간섭현상으로 전체적인 효율을 고려하여 정밀하게 제어 하기가 어렵다.

본 연구에서는 많은 플랜트나 전력설비는 물론 정수 처리의 약품 주입제어에 이용 될 수 있는 정밀 유량 부하 제어 방법을 그림 6과 같이 다변수로 구성하고 2자유도 PID제어기(2-DOF PID)를 이용해 제어하는 문제를 시뮬레이션과 실험을 통해 연구하였다.

3. Simulink에 의한 유량 제어용 2-자유도 PID제어기 구성
중래의 유량제어 계통인 그림 5를 그림 6과 같이 다변수 계통으로 구성하고 2-자유도 제어기 적용시 특성을 고찰하기 위해 simulink를 이용해 시뮬레이션 블록 다이어그램을 구성했다.

그림 7은 필터 계수 결합형이고 그림 8은 분리형, 그림 9는 피드포워드형이다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

그림 10-11은 시뮬레이션에 의한 응답결과로 이때 제어기의 파라미터 최적 값은 $K_p=4$, $K_i=1.35$, $K_d=0.05$ 이고 2-자유도 계수는 $\alpha=0.2$, $\beta=0.2$, $\gamma=0$, $\xi=1$ 이다.

그림 10은 필터계수 분리형에서 2-자유도 계수 α 값 변화에 따른 응답 특성으로 α 가 클수록 오버슈트가 커진다. 또 그림 11의 β 에 따른 응답 특성은 β 가 클수록 오버슈트가 작아진다. 한편 그림 12에서 γ 변화는 응답 특성에 매우 적게 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

한편 필터계수 결합형의 특성은 그림 14-16인데 α , β 값 변화에 의한 영향은 거의 없고 β 가 클수록 오버슈트는 작아짐을 나타내고 있다.

그림 7은 PI형의 α 변화에 따른 계단응답 특성으로 α 가 클수록 오버슈트도 커지고 있으나 γ 에 대해서는 변화가 없다. 또 그림 19는 피드포워드형으로 α 가 클수록 응답폭선이 낮아지는 특성이 있고 γ 값 변화에 대해

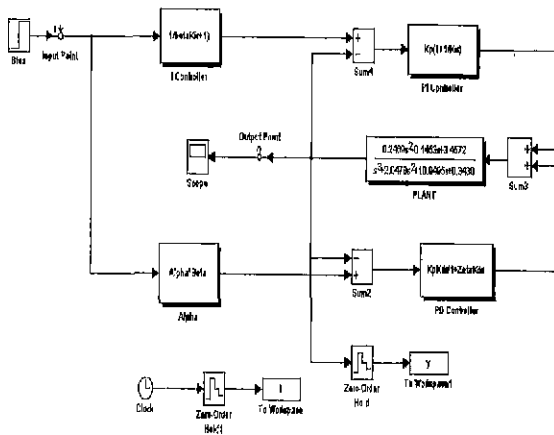


그림 7. 필터계수 결합형 시뮬레이션 블록도.
Fig. 7. Simulation block diagram of α, β combined type.

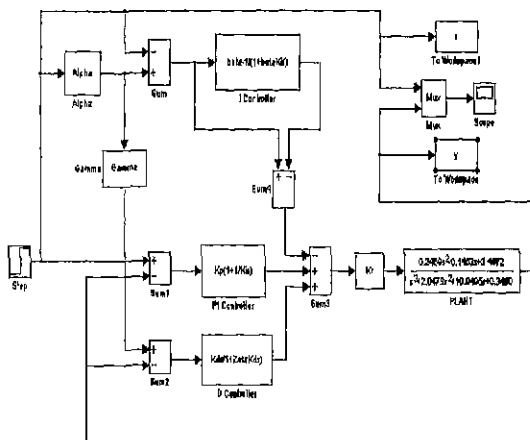


그림 8. 피드포워드 시뮬레이션 블록도.
Fig. 8. Simulation block diagram of feedforward type.

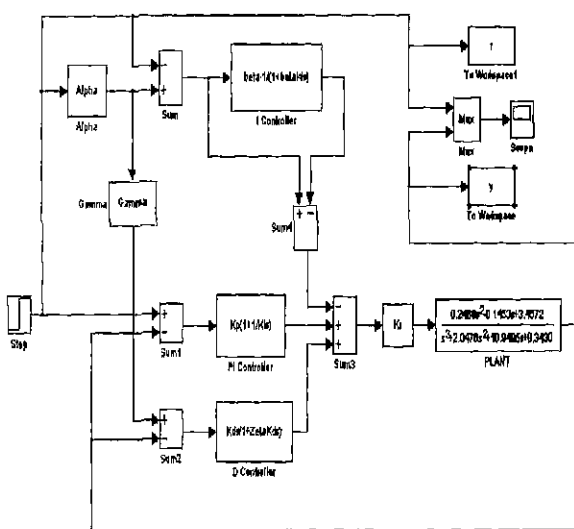


그림 9. 피드포워드 시뮬레이션 블록도.
Fig. 9. Simulation block diagram of feedforward type.

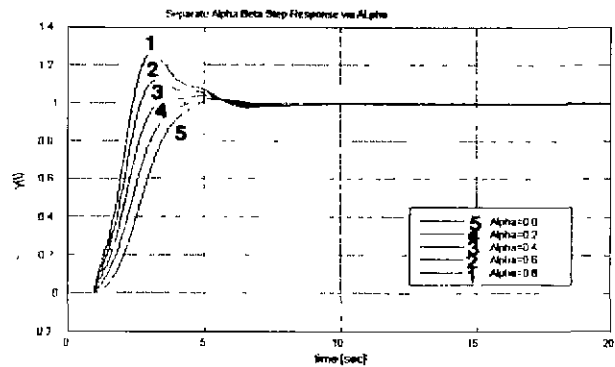


그림 10. α 값 가변에 따른 필터계수 분리형의 계단 응답.
Fig. 10. Step response via α variation in filter coefficient separated type.

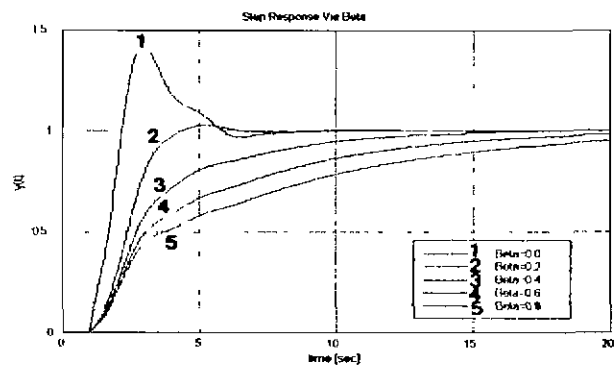


그림 11. β 값 가변에 따른 필터계수 분리형의 계단 응답.
Fig. 11. Step response via β variation in filter coefficient separated type.

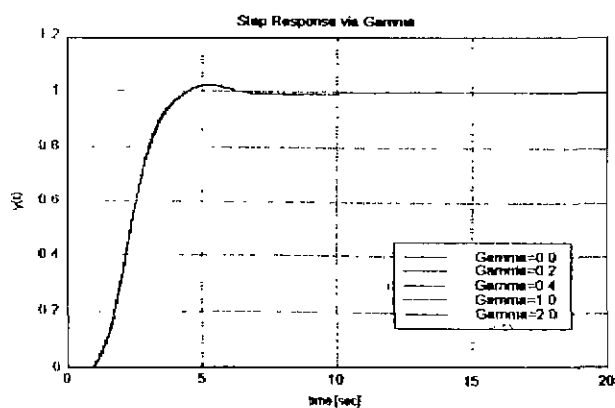


그림 12. γ 값 가변에 따른 필터계수 분리형의 계단 응답.
Fig. 12. Step response via γ variation in separated filter coefficient type.

서는 변화가 없는 모양을 나타내고 있으나 β 에 의한 영향은 미소하다.

그림 22는 이들 4가지의 2-자유도 제어를 비교한 것으로 결합형이 가장 만족스러운 응답을 나타내고 기존

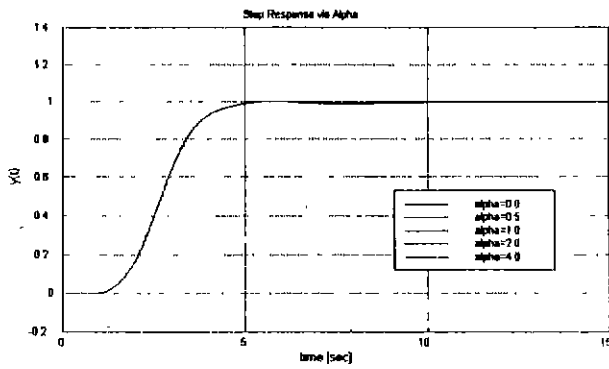


그림 13. α 값 가변에 따른 필터계수 결합형의 계단 응답.
 Fig. 13. Step response via α variation in filter coefficient combined type.

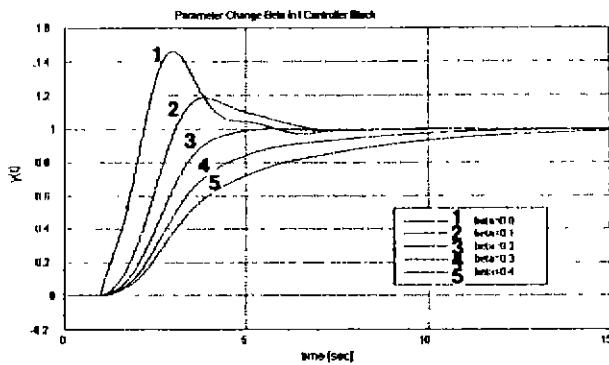


그림 14. β 값 가변에 따른 필터계수 결합형의 계단 응답.
 Fig. 14. Step response via β variation in filter coefficient combined type.

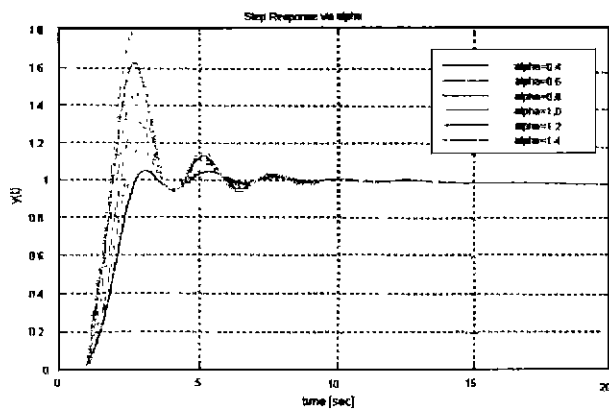


그림 15. α 값 가변에 따른 PI형의 계단 응답.
 Fig. 15. Step response via β variation in PI type.

의 PID제어기가 오버슈트가 가장 크다.

각 제어기의 특성비교에서 알 수 있는 바와 같이 PID, 계수분리형, PI형 2-자유도 제어기, 피드포워드형의 순으로 오버슈트가 적어지고 있다.

또 α, β 결합형 2-자유도 PID제어기의 경우가 상승률이 가장 느리게 나타나고 있다.

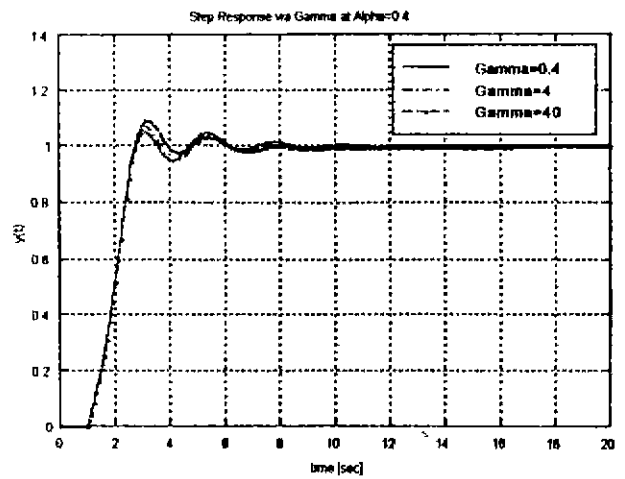


그림 16. γ 값 가변에 따른 PI형의 계단 응답.
 Fig. 16. Step response via γ variation in PI type.

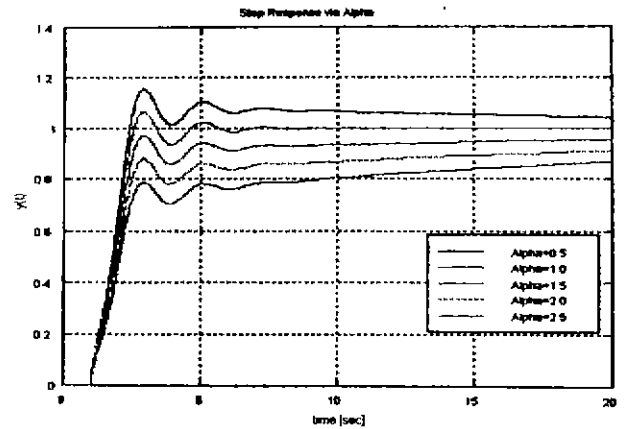


그림 17. α 값 가변에 따른 피드포워드형의 계단 응답.
 Fig. 17. Step response via α variation in feed-forward type.

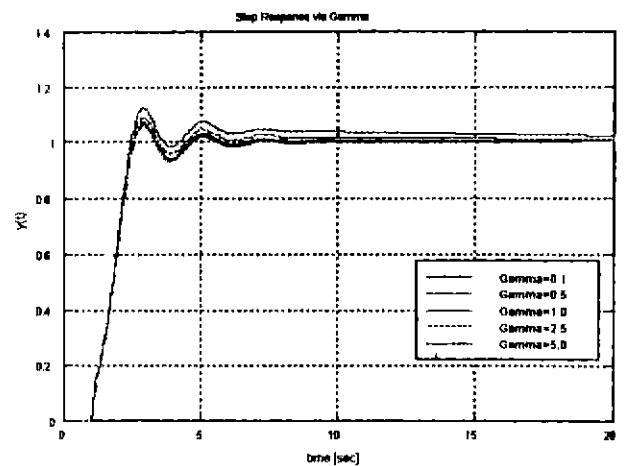


그림 18. β 값 가변에 따른 피드포워드형의 계단 응답.
 Fig. 18. Step response via β variation in feed-forward type.

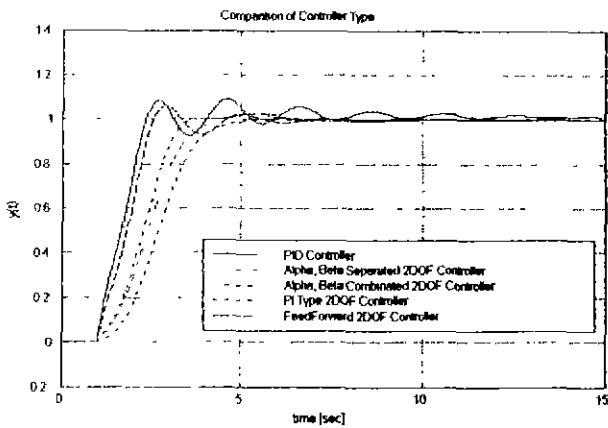


그림 19. 각 제어기 응답특성 비교.
Fig. 19. Comparison of response in each controller.

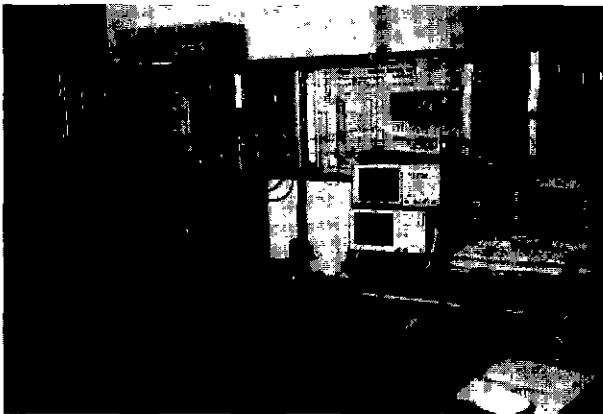


그림 20. 실험장치 구조.
Fig. 20. The structure of experiments.

V. 다변수 유량제어 계통에서의 실험 및 결과고찰

1. 실험장치 구성

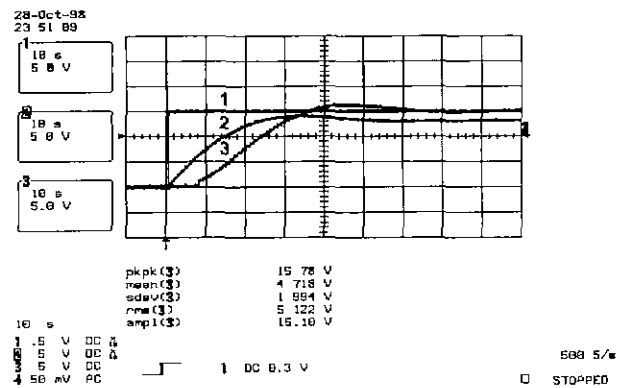
그림 20은 실험을 위해 제작 구성한 유량 제어 실험 장치이다. 유량 실험장치는 전자식 유량계(25mm), 제어 밸브(size : 1B×1B, Port : S-P Equal %, Action: Air to open, Supply : 0.8-8[kg/cm²]), Sprunge : 0.8-2.4, CV : 14, lift : 15[mm]. Material : SUS316), 압력센서, 순환펌프(펌프,인버터)로 구성하였다.

밸브 앞 단의 압력은 인버터가 지정된 명령을 PC에서 받아 펌프속도를 조절함으로써 이루어지고 유량은 센서 신호, 설정치 신호 및 압력신호를 받아 밸브를 조절함으로써 제어된다.

컴퓨터와의 인터페이스는 잡음에 대한 정밀한 파형 분석과 설정치 추종상태를 잘 검출 할 수 있도록 하기 위해 Matlab과 상호 인터페이스가 가능한 DSP보드(dSPACE)를 이용하였다.

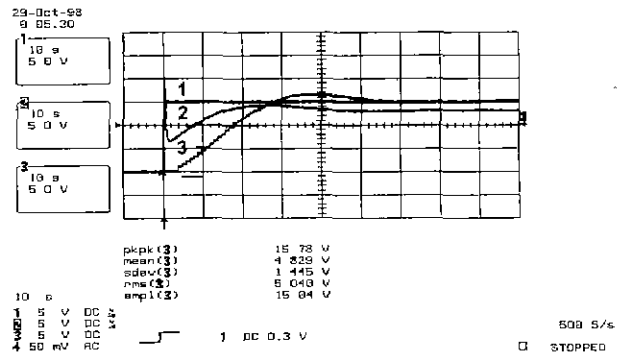
2. 실험결과 및 고찰

그림 21-22는 계수 분리형의 경우 α 를 가변 시켰을 때 응답특성을 나타낸 것인데 α 가 커질수록 지연시간은 작아지나 오버슈트가 커지는 것을 알 수 있다. 이 오버슈트를 작게 하기 위해 본 연구에서는 D(미분이득)파라



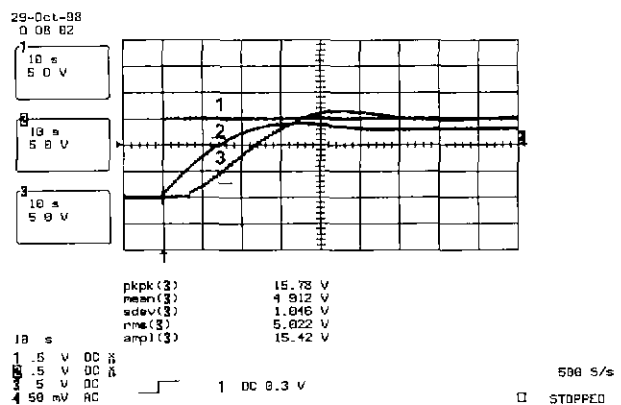
1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 21. $\alpha \beta$ 분리형 ($\alpha=0$).
Fig. 21. $\alpha \beta$ separated type ($\alpha=0$).



1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 22. $\alpha \beta$ 분리형 ($\alpha=20$).
Fig. 22. $\alpha \beta$ separated type ($\alpha=20$).

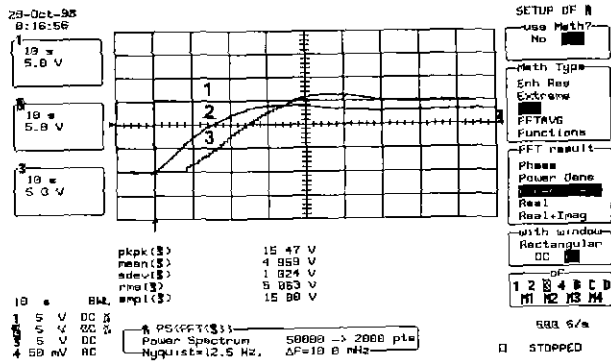


1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 23. $\alpha \beta$ 분리형 ($\beta=0$).
Fig. 23. $\alpha \beta$ separated type ($\beta=0$).

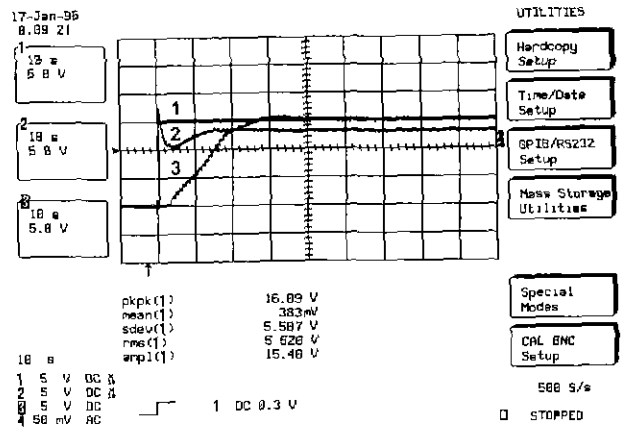
미터를 크게 함으로서 해결 할 수 있었는데 이는 지연시간이 있는 프로세스 일지라도 α 를 크게 하여 지연시간에 대한 제어기의 성능 저하를 막고 대신 D파라미터를 이용해 적절히 튜닝하면 일반 프로세스와 동일하게 제어할 수 있음을 나타내고 있다.

한편 그림 23-24는 앞서 설명한 계수분리형에서 β 가



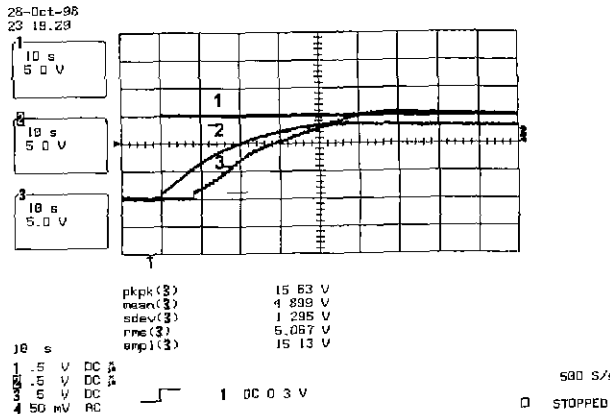
1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 24. $\alpha\beta$ 분리형 ($\beta=1$).
Fig. 24. $\alpha\beta$ separated type ($\beta=1$).



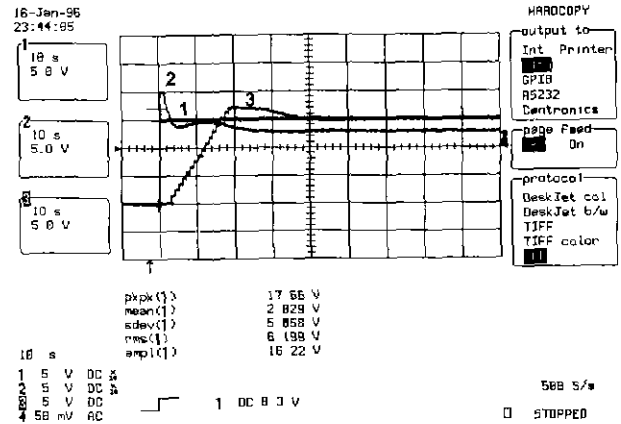
1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 27 PI형 2-자유도 제어기 ($\alpha=6$).
Fig. 27. PI type 2 DOF ($\alpha=6$).



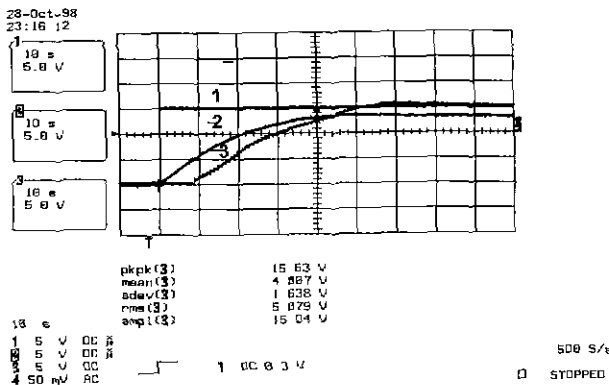
1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 25. $\alpha\beta$ 결합형 ($\beta=0$).
Fig. 25. $\alpha\beta$ combined type ($\beta=0$).



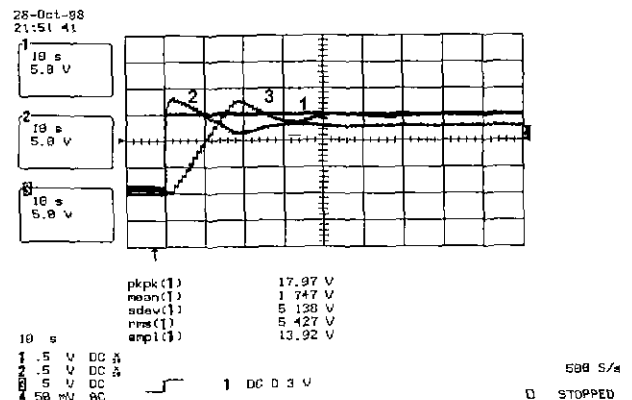
1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 28. PI형 2-자유도 제어기 ($\alpha=9$).
Fig. 28. PI type 2 DOF ($\alpha=9$).



1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 26. $\alpha\beta$ 결합형 ($\beta=1$).
Fig. 26. $\alpha\beta$ combined type ($\beta=1$).



1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

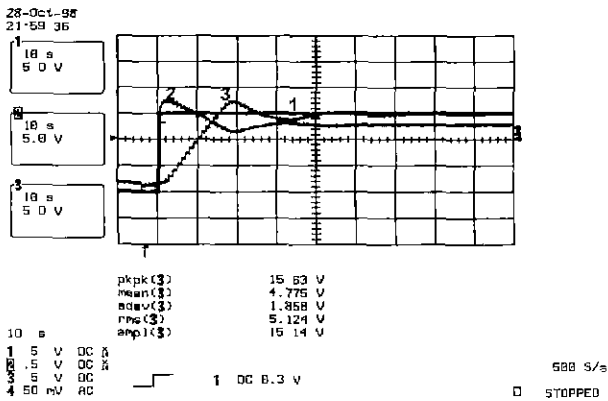
그림 29. 피드포워드형 2-자유도 제어기 ($\alpha=0.08$).
Fig. 29. Feedforward type 2 DOF ($\alpha=0.08$).

변시 응답특성을 나타낸 것으로 지연시간과 상승 시간이 길어져 일반적인 P(비레이드)이득을 증가 시킨 것과 같은 효과를 나타내고 있는데 적절히 튜닝하면 매우 큰 효과를 얻을 수 있음을 나타내고 있다.

한편 그림 25-26은 계수 결합형에서 β 가변에 따른

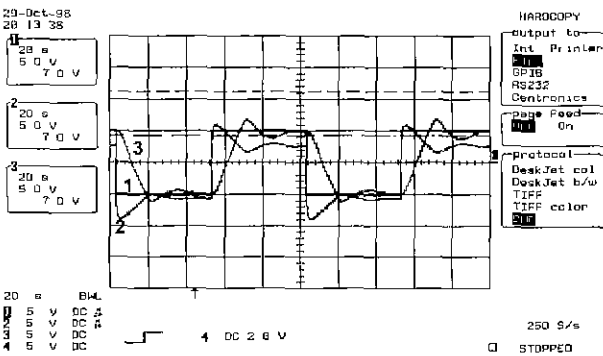
응답특성을 나타낸 것인데 β 가변에 따라 크게 영향이 없음을 나타내고 있다.

그림 27-28은 PI(미분 선행형)형에서 α 에 따른 응답



1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 30. 피드포워드형 2-자유도 제어기($\alpha=0.2$).
Fig. 30. Feedforward type 2-DOF ($\alpha=0.2$).



1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 31. 설정치 가변에 따른 추종 성능($\alpha\beta$ 계수결합형).
Fig. 31. Setpoint following performance ($\alpha\beta$ combined type)

특성인데 α 가 커질수록 오버슈트는 커지고 지연시간에는 영향이 없다. 본 연구에서는 $\alpha=6$ 일 때가 가장 최적의 응답을 나타냈는데 α 가 커질수록 오버슈트도 커지는 경향이 있고 지연시간에는 영향이 없다. 그림 29-30은 피드포워드형의 실험결과를 나타낸 것이다.

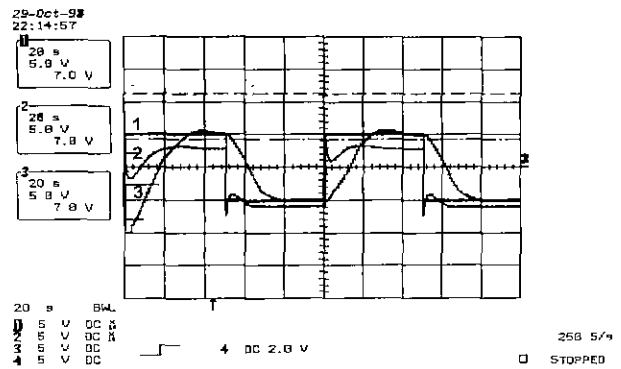
그림 31-32는 지금까지 실험한 결과를 토대로 특성이 우수한 것으로 판단되는 결합형과 분리형을 각 파라미터는 그대로 두고 설정치 가변 시 추종 성능을 고찰하기 위해 실험한 결과이다.

그림 30은 결합형인데 실험대상이 지연특성이 있는 프로세스 이므로 지연시간이 있는 것을 나타내고 초기 변화하는 부분에서 오버슈트를 어느 정도 갖고 있으나 비교적 잘 추종하는 것으로 나타나고 있다.

그러나 분리형의 경우는 그림 24에서 나타난 바와 같이 결합형보다는 민감하게 추종하지는 못하는 것으로 나타났다.

VI. 시뮬레이션과 실험결과와의 관계고찰

4종류의 2-자유도 PID제어기를 지연특성을 갖는 제어계통에 적용하고 시뮬레이션과 실험을 통해 특성을 고찰



1 : 계단입력, 2 : 설정치 응답, 3 : 프로세스 응답

그림 32. 설정치 가변에 따른 추종 성능($\alpha\beta$ 분리형).
Fig. 32. Setpoint following performance ($\alpha\beta$ separated type).

하였다

그 결과 시뮬레이션에서 고찰한 특성은 실험장치에서도 큰 변동 없이 적용되었으나 2-자유도 파라미터를 증가 시킴에 따라 지연특성은 작아지고 오버슈트가 커지는 결과가 나타났다. 2-자유도 제수 α 의 증가에 따라 오버슈트가 커지는 특성은 미분계수 D를 이용해 적절히 튜닝할 수 있었다.

다른 종류의 2-자유도 제어기도 시뮬레이션한 결과가 실험상에서도 크게 변동 없이 적용되었다

VII. 결론

본 논문에서는 α, β 분리 및 결합형, 피드포워드형, 미분 선행형(PI형)의 4종류의 2-자유도 PID제어기에 대해 파라미터 변화에 따른 특성을 지연시간이 있는 유량 제어 시스템을 다변수로 구성하고 시뮬레이션과 실험을 통해 고찰하였다

계수 분리형의 경우 α, β 는 제어기의 출력 특성에 크게 영향을 미치나 γ 는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났고 분리형의 경우는 α 의 영향이 적다. 또 PI형의 경우는 γ 의 영향이 적고 피드포워드형의 경우는 α 증가 특성이 오버슈트는 그대로 있고 응답 곡선이 낮아지는 모양을 나타냈다. 또 β 에 의한 영향은 매우 적게 나타나고 있다. 시뮬레이션상에서 오버슈트는 α, β 결합형이 가장 작고 α, β 분리형, 미분 선행형, 피드포워드형, 루프보상형, 기존의 PID제어기 순으로 커지고 있다.

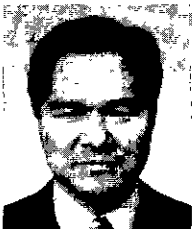
한편 유량계통에 대한 실험에서는 지연시간 특성이 잘 나타났는데 이는 유량계통이 유체의 흐름에 대한 지연시간, 밸브의 응답시간 등이 있어서 지연특성이 있는 것으로 판단된다. 이 지연시간은 2-자유도 파라미터 α 를 크게 할 수록 작아졌는데 그 대신 오버슈트가 커지는 특성을 나타냈다. 오버슈트가 커지는 특성은 D이득을 크게 함으로서 만족 할 만한 결과를 얻을 수 있었다. 시뮬레이션에서 고찰한 응답특성은 유량계통의 실험에서도 지연특성을 제외하고는 잘 일치하는 결과를 나타냈다.

일반적으로 지연특성을 갖는 프로세스에 PID제어기를 이용하는 경우 지연특성에 의해 제어기 성능이 저하되어

제어에 어려움이 발생하게 되는데 지금까지 실험결과에 의하면 지연특성이 있는 프로세스에서 2-자유도 PID 제어기를 이용하여 2-자유도 파라미터 α, β, γ 에 의해 지연특성을 감쇄 시키고 오버슈트는 파라미터 D를 이용해 원하는 응답이 되도록 하면 지연특성에 관계없이 효과적인 제어를 할 수 있음을 제시 할 수 있다. 이 연구 결과는 실제 실험상에서 입증된 사항이므로 향후 정밀 유량 제어나 기타 유체 제어계통 특히 지연특성을 갖는 프로세스에 매우 효과적으로 활용 가능 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 中西英二, "工程制御 基礎," 朝創書店, 1992, 2.
- [2] 田口秀文, "2自由度 PID制御系の最適 ハラメ," SICE, vol. 23, no. 9, pp. 889-895, 1988.
- [3] Toshiba manual, 1993.
- [4] Yew PID제어기 Manual, 1991.
- [5] Foxboro 제어기 Manual, 1992.
- [6] Hidefumi, "Optimal parameters of two-degree-of-freedom PID system control systems," SICE, vol. 23, no. 9, pp. 889-895, 1987.
- [7] 森剛志, "PID self-tuning controller," SICE, vol. 1991, no. 8, pp. 29-34, 1990.
- [8] K. J. Anstrom, "Towards intelligent PIDcontrol," *Automatica*, vol. 28, no. 1, pp. 1-9, 1992.
- [9] 김동화, "유량제어계통에 대한 지능형 제어 알고리즘 적용 연구," 한국자동제어 학술회의, 1997. 10. 15-17. 서울.
- [10] 김동화, 2-자유도 제어기의 지능형 튜닝 연구, 한국자동제어학술회의, pp. 15-17. 서울. 1997. 10.
- [11] 김동화, "인공지능 자동화 공정제어," 기다리출판사, 1998, 9.
- [12] D. H. Kim, "A study on the PID controller to Turbo generator," '96 KIEE conference Yong-Pyong.
- [13] D. H. Kim, "Application of multivariable 2 DOF PID controller with Neural Network tuning method to the Heat exchange," *Fuzz IEEE 99*, Aug. 22-23, 1999. seoul



김 동 화

1949년 11월 15일생. 1991년 2월 아주대학교 대학원 전자공학과 졸업. 1993년 3월-현재 대전산업대학교 제어계측공학과 교수. 1977년 11월-1993년 3월 한국 원자력 연구소 계장기술연구실. 1985-2086년 캐나다 원자력 연구소 연구. 주 관심분야는 인공지능제어 및 플랜트 응용