

유량제어계통에 대한 지능형 제어 알고리즘 적용연구

A study on the application of the Intelligent control algorithms
to the Flow Control System

김동화*, 조일인**

* 대전산업 대학교 제어계측 공학과(Tel:+82-42-630-0368;Fax:+82-42-630-0363;E-mail:kimdh@hyunam.trut.ac.kr)

** 국제전자 정밀(Tel:+82-0434-32-5784;hitel gjj0605)

Abstracts

It is difficult to control in the flow system because there are many disturbance. So, It is impossible to control delicately sometimes by PI or PID. In this paper, we study on the application of intelligent control algorithms such as 2DOF PID control, neural network, Fuzzy control, Relay feedback to the flow control system. The resultings are 2DOF-PID control is more good response.

Keywords Title, Intelligent control, Neuro control, Flow control, Relay control, fuzzy control

1. 서론

유체의 가장 기본적인 바탕을 이루는 물은 인류의 역사와 함께 발전되어 온 아주 중요한 물질로 인류 역사가 시작된 이래 다양한 기술을 이용하여 측정, 제어하고자 많은 연구가 수행되어 왔다.[1-3]

그러나 액체인 물은 관로에서의 여러 가지 현상과 유체적 특성 때문에 계측 및 제어는 고려하여야 할 많은 인자가 있어 제어는 많은 외란을 고려하여야 한다는 문제점을 안고 있다. 특히 정수장에서 약품 주입제어, pH제어 등과 같은 프로세스의 경우는 유량 제어의 정밀도에 따라 약품의 주입량이 다르고 그 결과는 수질에도 영향을 미칠수 있으므로 정밀한 유량제어는 매우 중요하다.

이러한 유량제어의 경우 지금까지는 주로 PI제어기를 이용하여 왔으나 단순한 제어기법으로 인해 정밀한 유량 제어가 실현되기는 어렵게 되어 있다.

유체의 분포현상은 층류에서 난류까지 여러가지 모양을 하게 되는데 층류에서 난류로 유체의 상태가 변하는 현상은 유체의 유량은 물론 유체의 밀도, 점도, 관로의 모양, 굽기 등에 관계되는데 이와같은 현상을 실험적으로 나타내는 레이놀즈 수(Reynolds Number)

$R_d = 4Q\rho/\pi\eta(\rho = \text{밀도}, \pi = \text{원주율}, \eta = \text{점도})$ 에 $R_d = 2320$ 이하에서는 난류로 취급하나 관로의 형상에 의해 크게 좌우됨으로

$R_d = 4000$ 에서도 난류로 되는 경우도 있으므로 제어시 그 특성을 고찰하여야 한다.

또 유속분포와 평균유속은 유체의 점성과 관로의 모양에 따라 판단면에서 유속은 일정하지 않고 다르게 된다. 따라서 유속을 측정하는 경우 판단면의 어느 부분을 위치로 결정하느냐에 따라 다르게 되는데 관로내의 유체가 층류일 때 관 중심에서 r만큼 떨어진 위치에서의 유속은 다르게 된다.

한편 유체의 밀도와 유량관계는 유체가 순수한 물이 아닌 기체나 기타의 유체인 경우는 밀도에 따라 그 유량이 변하므로 밀도를 고려하여야 하고 점도와 유량과의 관계는 레이놀즈 수를 계산 할 때 필요한데 유체가 정지 해 있을 때의 粘度 η 와 흐름 때의 점도 즉, 動粘度 ξ , 밀도 ρ 와의 관계도 고려하여야 한다.

이러한 문제점을 입각하여 본 연구에서는 정수처리의 약품 주입제어에 이용 될 수 있는 정밀한 유량제어를 신경망, 2자유도 PID 제어기(2-DOF PID), 퍼지, 릴레이 피드백 제어 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션함으로써 유량제어 계통에 대한 지능제어 적용 효과

를 고찰하고자 하였다.

2. 유량제어 알고리즘 및 유량 제어 특성

2.1 관성지연

액체, 기체, 증기와 같은 물질의 유량제어 특성은 이들 물질의 특성에 따라 달라 가스인 경우는 유량제어시 제어 밸브에서의 압력강하가 크고 증기인 경우는 관성 특성이 있어 동특성도 다르다. 정상상태에서 관내 유속은 압력강하에 따라 변하므로 유속과 압력의 관계는

$$v^2 = 2gC^2 \frac{\Delta P}{\rho} \quad (2.1)$$

이 된다. 여기서 v 는 속도 [ft/s], C 는 유속계수, g 는 중력가속도 [ft/s^2], ΔP 는 압력강하 [lb/ft^2], ρ 는 밀도 [lb/ft^3] 이다.

식(2.1)에서 F 는 $m^3/ft/s$, A 는 ft^2 이다.

유체가 흐르는 경우 운동에너지 보존법칙이 성립해야 함으로 단면적을 A , M 을 파이프 내의 유체 질량, t 를 시간, 파이프 길이를 L 이라 하면 인가된 힘 $A\Delta P$ 가 유속에 대한 저항력을 초과하면 가속도가 일어나고 힘, 질량, 가속도의 관계는

$$A\Delta P - \frac{F^2 P}{2gA^2 C^2} = M \frac{dv}{dt} = M \frac{dF}{Adt} \quad (2.2)$$

$$M = \frac{LAP}{g}$$

윗식을 더 정리하여 선형방정식으로 나타내면

$$\frac{F^2 P}{2gAC^2} dF + \frac{LP}{g} \frac{d(dF)}{dt} = Ad(dF) \quad (2.3)$$

이고 유량계통의 시정수는

$$\tau = \frac{LFP}{2gA \Delta P} \quad (2.4)$$

$$C^2 = \frac{F^2 P}{2gAC^2}$$

2.2 유량제어 루프 구성

유량 제어계통의 응답특성은 밸브크기 및 특성, 전송기 이득은

물론, 비선형성 등에 의해 결정되는데 유량제어의 모드는 적분(I) 제어를 사용하는 경우 쉽게 튜닝도 가능하고 잡음에 대해 강한점등이 있으나 PI 제어기에 비해 3~4배의 느린 응답을 갖는 결점이 있어 보통 PI 제어기를 많이 사용한다.

1) 기존의 유량제어 루프

기존의 유량제어 루프는 그림 3.1과 같은 방법을 이용하고 있으나 이러한 제어계통에서는 압력원이 일정치 않아 정밀한 제어가 어렵다.

그림 3.1의 유량제어루프는 케환루프로 구성되어 PI 제어를 이용한다.

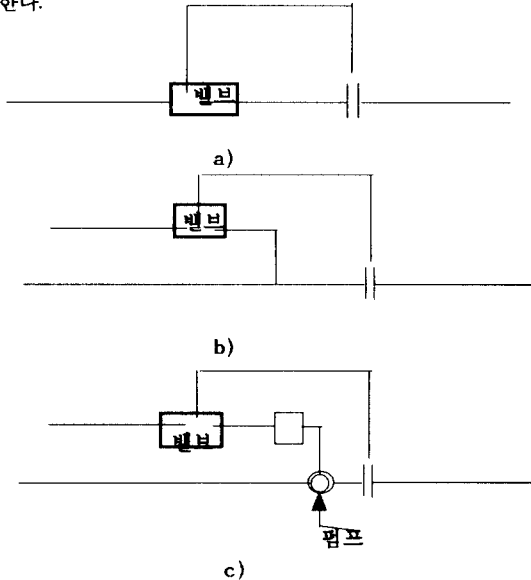
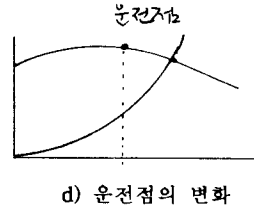
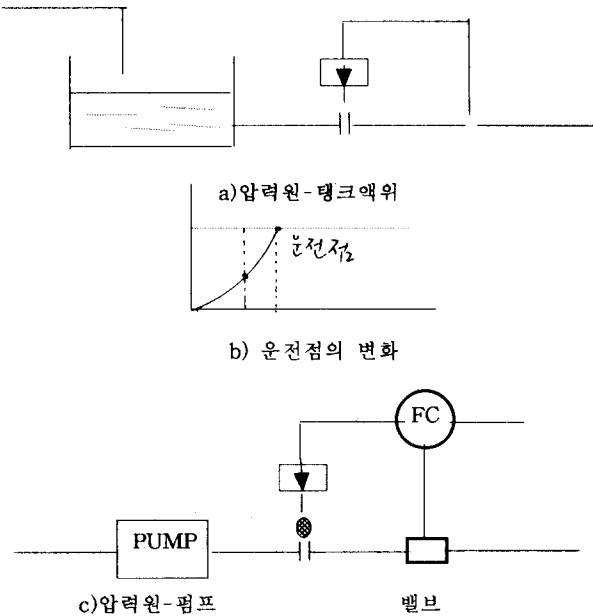


그림 2.1 기존의 유량 제어 루프
Fig 2.1 Control loop of the conventional flow system

2) 압력원의 구성방법

유량제어에서 사용하는 압력원으로서 탱크가 압력원으로 구성되어 있어 탱크내의 액위를 제어 할 때 이용되는 것이고 또 다른 하나는 펌프에 의해 압력을 받으면서 유량을 제어하는 것이다.

이들 각 유량제어의 특성은 밸브의 특성에 의해 유량이 변하고 또 배관길이 및 압력원의 상태에 따라라도 운전점이 변하게 되는데 그림 3.2와 같은 각 압력원에 따른 운전점의 변화를 나타낸다.



d) 운전점의 변화

그림 2.2 유량제어의 여러가지
Fig2.2 Types of flow control system

3) 밸브의 유량보정

유량제어에 가장 영향을 크게 미치는 것은 조작단의 특성으로 밸브, 가변속 전동기, 팬 등을 들수 있다.

이들의 대부분은 비선형 특성으로 각각의 특성에 맞는 보정장치를 구비하여야 하는데 그림 2.3과 같은 방법을 이용한다.

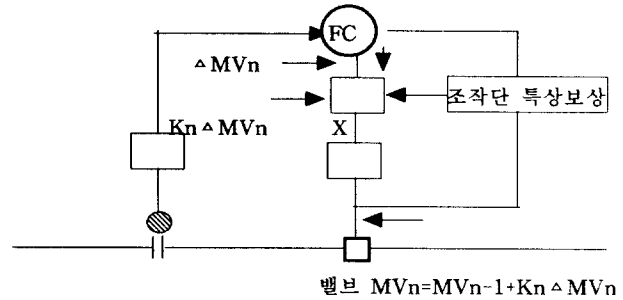


그림 2.3 조작단 특성 보정
Fig.2.3 Compensation of actuator characteristics

4) 온도보상 및 압력제어 루프를 갖는 유량제어 루프

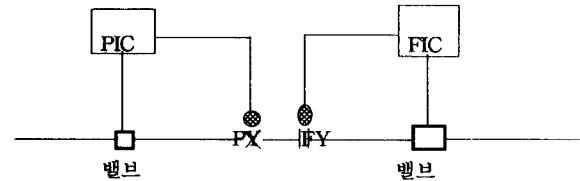


그림 2.4 기체 유량 제어시의 온도, 압력보정
Fig 2.4 The compensation of temperature and pressure in gas flow control

유량제어의 주요 외란인 1차 압력 P1의 변동이 매우 큰 경우에는 그림 2.4와 같은 압력제어를 부가한 유량제어 루프로 구성한다. 그러나 이 경우 압력제어와 유량제어가 서로 간섭이 일어나므로 압력제어 루프를 완만하게 할 필요가 있다.

5) 유량제어 루프 구성

스큐류 펌프 등을 이용해 일정한 유량을 내보내는 경우의 제어로 이들 펌프는 토출측을 단으면 구동 전동기가 파손하므로 리턴 루프가 필요하다.

2.3 유량제어 루프 구성

일반적으로 유량제어의 응답은 빠르므로 PI제어기가 많이 이용된다. 펌프 토출압의 맥동이나 유체의 특성에 의해 유량계통의 외란이 다르고 변동주기도 다르므로 미분 동작은 잡음을 증폭시키는 효과가 있어 사용하지 않는게 보토이다.

본 연구에서는 일정한 압력을 얻기 위해 그림 3.6과 같은 제어 루프

로 구성하여 펌프속도를 제어하므로써 일정한 압력을 얻도록 하였다.

오버슈트가 적고 추종성능이 우수함을 알 수 있다.

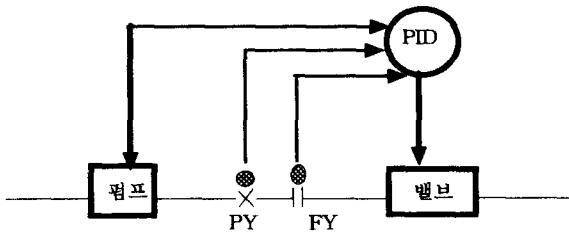


그림 2.5 제안된 定流量 제어 시스템
Fig. 2.5 The proposed flow control system

2.4 2자유도 제어기

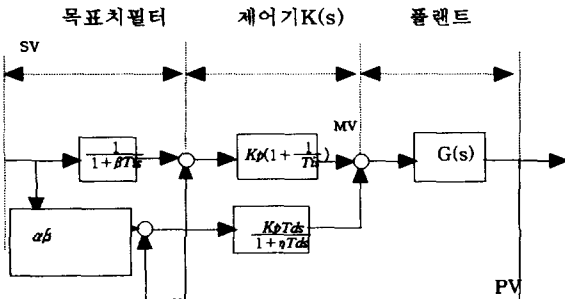
2) 변형 A형식 슈퍼 2자유도 제어기

그림 3.7은 본 연구에서 사용한 제어기는 기류 3.7과 같은 2자유도 PID제어기를 이용하였다.

기존의 유량제어에서는 압력원으로서 펌프를 사용하는 경우 밸브의 조작에 관계없이 항상 일정속도로 자작함으로써 압력원이 변하는 특성을 갖는다. 따라서 정밀한 유량제어가 어렵다.

본 연구에서는 그림 3.6에서 알 수 있는 바와 같이 유량제어 밸브의 앞단 압력을 측정하여 밸브 조작시 압력이 변하는것에 관계없이 일정한 압력이 되도록 펌프 속도를 제어하는 것이다.

이 때 유량측정 및 펌프의 속도와 밸브의 제어는 2자유도 PID 제어기의 각각의 파라미터는 각 파라미터 α, β, γ 의 값을 이용해 튜닝한다.



$\frac{1}{1+BTis}$: 2자유도를 위해 추가하는 시간요소

그림 2.6 2자유도 PID제어기
Fig. 2.6 2-DOF PID controller

3 시뮬레이션 결과

그림 3.1은 2자유도 제어기를 적용한 경우 설정치 유량을 계단식으로 변화 시켰을 때의 유량변화 특성이고 그림 3.2는 이때의 제어기 출력특성이다. 또 그림 4.3은 2000초의 시점에서 외란을 인가한 경우 외란 추종 특성을 나타낸 것이다.

한편 그림 3.4는 같은 시스템에 신경망 제어기를 적용한 경우의 설정치 변화에 대한 유량특성과 제어기 출력이고 그림 3.5는 외란에 대한 강인성을 시뮬레이션 한 것이다.

그림에서 알 수 있는바와 같이 2자유도 제어기를 적용한 것이

참고문헌

1. K.J.Anstrom, "Towards intelligent PID control", Automatica, vol.28, no.1, pp.1-9, 1992.
2. H.Seraji, "Design of proportional-plus-integral controllers for multivariable systems", INT. J. control, vol.29, no.1, pp.49-63, 1979.
3. L.Keviczky & Cs.Banyasz, "A completely adaptive PID regulator", IFAC conference 1988. Proceeding D vol.138, no.3, pp.303-311, 1991.
4. Mikio Maeda, "A self-tuning fuzzy controller, Fuzzy Sets and Systems(51), pp.29-40, 1992.
5. A.Ollero, "Expert tuning of automatic controller", IEEE system and automatic magazine pp.207-211, 1989.
6. 田口秀文, "2自由度 PID制御系の最適パラメータ", SICE, vol.23, no.9, pp.889-895, 1988.
7. Yew PID제어기 Manual, 1991.
8. 森剛志, "PID self-tuning controller", SICE, vol.1990, no.8, pp.29-34, 1990.

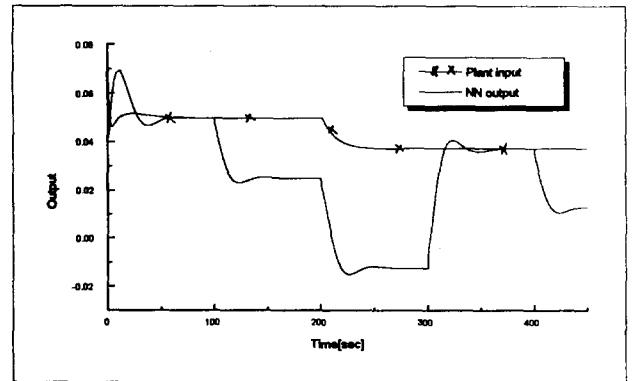


그림 2.7 신경망 제어기를 적용한 경우 계단식 설정치 유량 변화시 제어기 출력 및 뉴런 출력 특성
Fig. 2.7 Output of the neural and the controller in Neural controller to step setpoint

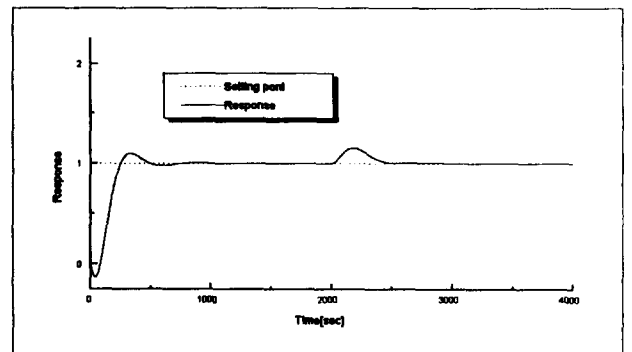


그림 2.8 외란을 인가한 경우 신경망제어기의 외란 특성
Fig. 2.8 Characteristics of the neural-network controller to the disturbance

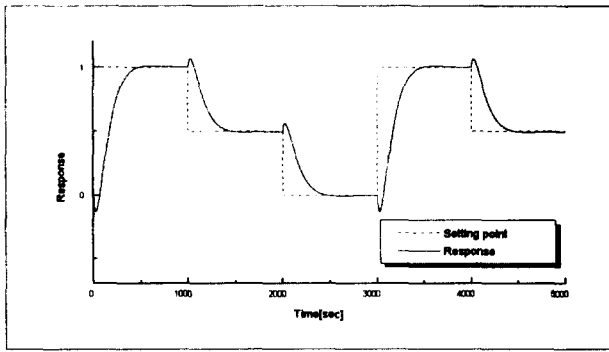


그림 2.9 2-자유도 제어를 적용한 경우의 설정치 변화에 대한 유량변화 특성

Fig.2.9 The characteristics of the flow variation for setpoint change using 2-DOF

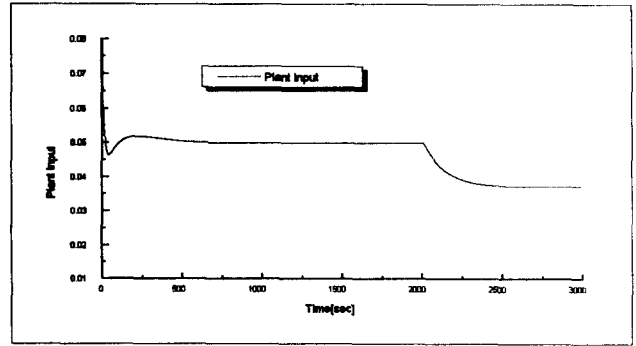


그림 2.12 2-자유도 제어를 적용한 경우 외란시 제어기 출력특성

Fig. 2.12 The characteristics of output in 2-DOF controller to disturbance

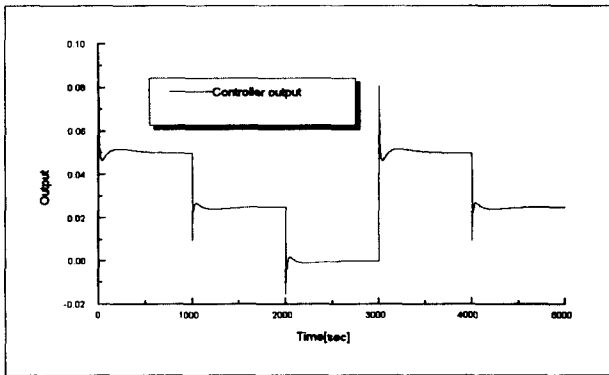


그림 2.10 2-자유도 제어를 적용한 경우 설정치 변화시의 제어기 출력특성

Fig.2.10 The characteristics of the controller output for set-point changes using 2-DOF

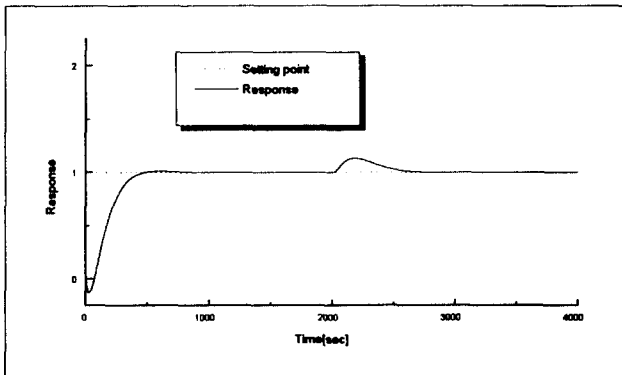


그림 2.11 2 자유도 제어를 적용한 경우 외란에 대한 출력특성

Fig.2.11 The characteristics of the controller output to the disturbance using 2-DOF