

pH제어계통에 대한 지능형 제어 알고리즘 적용연구

김 동 화
대전산업 대학교

A study on the Application of Intelligent Control Algorithms for the pH Control System

Kim, Dong Hwa
Taejon National University Of Tech.

Abstract

일반적으로 pH제어계통의 특성은 반응시간이 길어 그 응답속도가 매우 느리게 된다. 따라서 기존의 pH제어 계통에 PI제어기를 이용하는 경우는 정밀한 제어가 될 수 없다. 본 논문에는 이러한 단점을 보완하기 위해 신경망이나 퍼지와 같은 지능제어의 적용 가능성을 고찰하기 위해 pH제어계통에 기존의 고전적인 제어알고리즘과 지능제어 알고리즘을 적용하여 비교·검토하였다. 그 비교결과 지능제어 적용이 가능함을 입증 할수 있었다.

1. 서론

정수나 폐수와 같은 수처리 계통에서는 응집제, 알칼리제와 같은 약품이 투입된다. 이때 약품의 투입량은 정수처리후의 수질에 매우 민감한 관계가 있어 투입량, 투입시의 약품반응에 영향을 미칠수 있는 기후조건등이 중요한 역할을 하게 된다. [1-3]

이와같은 수처리계통에서 약품투입이나 생화학적 방법등 여러 가지 방법을 이용해 응집, 침전등에 필요한 반응보장이나 pH제어를 하게 된다. 그러나 pH제어계통은 반응시간이 길고 비선형과 불확정 특성을 갖고 있어 퍼드백 제어기 구성이 어렵고 또 구성된 제어 시스템에 대한 분석, 설계가 쉽지 않다.

따라서 제어기의 파라미터 튜닝이 어렵고 한번 튜닝한 경우도 입력되는 수질에 따라 가변되어야 하나 앞서 설명한 이유로 이러한 제어 시스템의 외란에 대해 적절히 튜닝 하는 더욱 곤란하다.

본 연구에서는 이러한 문제점들을 연구하기 위해 모델링된 pH제어계통에 기존의 P, PI제어기와 기타 인공지능적인 제어방법인 퍼지 및 신경망을 적용해 비교, 고찰함으로써 pH제어계통에 대한 새로운 제어기의 개발 가능성을 검토하고자 하였다.

2. pH제어시스템 특성 및 모델링

2.1. pH제어계통의 특성

pH는 물중에 녹아 있는 수소의 양에 의해 결정되는 산성의 정도를 나타내는 것으로 화학 프로세스에서의 산성측정, 부식방지등 이용한 공해시설, pH에 의해 제품의 질이 결정되는 생산 프로세스, 경수시설 등 여러분야에 이용되고 있다.

이와같이 pH를 결정하는 이온은 수소이온과 수산화물 이온은 물의 분자가 분해되어 다음과 같이 수소이온과 수산화물 이온이다.



또 이들의 농도는 온도에 따라 달라지므로 리타당의 농도로 나타낼 수 있다. 따라서 산성이나 알칼리의 정도는 수산화 이온보다 수소이온(Hydronium이 많으면 그 용해 물질은 산이 되고 수산화 이온이 많으면 그 용해 물질은 알칼리(base, alkaline)가 된다. pH표시는 수소이온(Hydronium ion)의 농도를 마이너스 log를 적용하여

$$pH = -\log_{10}[H_3O^+] \quad (2.2)$$

로 나타내고 특히 25(°C)일 때의 농도를 중성이라 한다. 온도에 따라 수소이온의 농도가 다르므로 pH도와 같이 다르게 된다. 따라서 수소 이온의 농도에 따라 log는급도 다르게 된다.

2.2. pH제어계통 모델링

그림 1의 pH계통에서 균형 방정식은

$$V \frac{dq}{dt} = F_1 C_1 - (F_1 + F_2) \eta \quad (2.3)$$

$$V \frac{dq}{dt} = F_2 C_2 - (F_1 + F_2) \eta \quad (2.4)$$

토출 균형식은

$$[H^+]^2 + [H^+]^2(\eta + K_a) + (H^+)[(\eta - \zeta)K_a - K_w] - K_a K_w = 0 \quad (2.5)$$

제어기 신호는

$$pH(t) = -\log_{10}([H^+](t-0.4)) \quad (2.6)$$

여기서 $\zeta = [HA] + [A^-]$, $\eta = [NA^+]$ 이고 $K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$ 는 산의 등온상수이다. 또 $K_w = [H^+][OH^-]$ 는 물의 등온 상수이다.

토출 농가식은 $\zeta + [H^+] = [OH^-] + [A^-]$ 이고 운전조건에 필요한 데이터는 표 1과 같다.

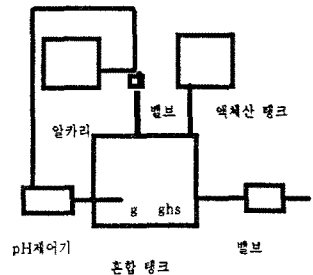


그림 1. pH제어계통도

표 1. 계통 데이터

데이터	데이터
$K_a = 10^{-3} \text{ mol/l}$	$F_1 = 10 [l/min]$
$K_w = 10^{-14} \text{ mol}^2/l^2$	$pH = 4$
$C_1 = 0.10998 \text{ mol/l}$	$F_2 = 0.9988 [l/min]$
$C_2 = 1 \text{ mol/l}$	$\zeta = 0.1 [mol/l]$
$V = 50l$	$\eta = 0.09081 \text{ mol/l}$

시뮬레이션은 pH값 설정을 4~7로 가변하고 산 농도를 0.10998~0.1105(mol/l), 산성액체의 유속을 10~10.5l/min, 측정시간 T는 0.2분으로 할때 응답을 나타낸다.

3. 신경망 pH-PID 제어기

3.1. 하나로그 PID제어기의 디지털화

하나로그 시스템에서의 PID제어기는 비례이득을 K, 적분 및 미분시간을 각각 T_i , T_d 라 하면

$$u(t) = K \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right\} \quad (3.1)$$

로 주어지나 제어를 하기 위해서는 디지털 방식으로 나타내야 한다. 이를 디지털 방식으로 표현하면

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \sum_{j=1}^t T \left\{ e(j-1) + e(j) + \frac{T_d}{T} e(t) - e(t-1) \right\} \right] \quad (3.2)$$

이고 여기서 디지털 PID제어의 비례, 적분, 미분이득을 각각

$$K_p = K - \frac{K_I}{2}, \quad K_I = \frac{KT}{T_i}, \quad K_D = \frac{KT_d}{T} \quad (3.3)$$

라 정의하면 속도형 디지털 PID제어기는

$$u(t) = u(t-1) + K_p(e(t) - e(t-1)) + K_I e(t) + K_D(e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)) \quad (3.4)$$

3.2 pH제어를 신경망 PID제어기 구현

이미 설명한 PID제어기의 이득 K_p, K_I, K_D 를 외란요건을 고려하여 튜닝 할수 있는 2자유도 파라미터 $\alpha, \beta, \gamma, \eta$ 를 이용해 튜닝 하기 위해서 본 논문에서는 그림 2와 같은 신경망 제어기를 구성하였다.

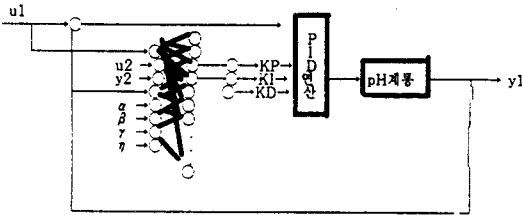


그림 2. 신경망 PID제어기 구조

그림에서 ○은 뉴론을 나타내고 W_{ij} 를 뉴론 i에서 뉴론 j까지의 결합계수, net_j 를 뉴론 j의 입력 합계, O_j 는 뉴론 j의 출력, $f(net(t))$ 를 출력함수로 나타내고 시그모이드 함수는

$$f_1(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3.4)$$

가 이용된다.

그림 2의 신경망 모델의 중간층 출력함수로서 식(3.4)를 이용하고 출력함수로서 식(3.4)를 적용하여 얻어지는 함수

$$f(x) = \ln(1 + e^x) \quad (3.5)$$

을 이용한다.

신경망의 학습은 오차역전반법(Backpropagation algorithm)에 의해 수행하고 이의 평가는 다음식을 이용한다.

$$E_i = \frac{1}{2} e^{(t+1)^2} \quad (3.6)$$

중간층과 출력층의 결합계수 하나를 W_k 라 하면 결합계수를 수정하기 위해서 필요한 평가함수의 결합계수 W_k 에 대한 구배는

$$\frac{\partial E_i}{\partial W_k} = \frac{\partial E_i}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial W_k} = -\delta_k O_k \quad (3.7)$$

$$\delta_k = e^{(t+1)} \frac{\partial y(t+1)}{\partial u(t)} \frac{\partial u(t)}{\partial O_k} f_1'(net_k) \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} O_{k1} &= K_p \\ O_{k2} &= K_I \\ O_{k3} &= K_D \end{aligned} \quad (3.9)$$

로 주어지고 제어입력 $u(t)$ 에 대한 출력 O_k 에 대한 구배는 식(3.3)을 이용하여

$$\frac{\partial u(t)}{\partial O_k} = \begin{cases} e(t) - e(t-1) \\ e(t) - e(t-1) \\ e(t) - 2e(t-1) + e(t-2) \end{cases} \quad (3.10)$$

한편 입력층과 중간층사이의 결합계수를 W_{ij} 라 하면 결합계수 W_{ij} 를 수정하기 위해 필요한 평가함수 E_i 의 W_{ij} 에 대한 구배는 다음식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_i}{\partial W_{ij}} &= \frac{\partial E_i}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial W_{ij}} = -\delta_j O_j \\ \delta_j &= \sum_k \delta_k W_{kj} O_j (1 - O_j) \end{aligned} \quad (3.12)$$

4. 시뮬레이션 및 고찰

그림 4.는 입력 변수를 계단식으로 변화 시켰을 때 pH출력 특성을 나타낸 것으로 기존의 방법에 비해 추종 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 4. pH신경망-PID제어 결과

[참고 문헌]

- (1) M.J.Flanagan, "Hierarchical, Distributed Digital control in the Municipal wastewater industry", Instrumentation and control in energy and environmental systems, PP.431-437,1979.
- (2) J.F Anderson, "Application of Neural networks to waste water treatment control", ISA Transaction, Vol.31, No.1, 26-32,1992.
- (3) Katsuyuki Makino, "Treatment plant process control", PP.183-221.
- (4) Junghong Nie, "Fuzzy modeling of Nonlinear pH processes through Neural approach", IEE conference, PP.1224-1227,1994.
- (5) Thomas J.Macavoy, "Dynamics of pH in controlled stirred tank reactor", Ind.Chem.Process Des.Develop., Vol.11, No.1, PP.68-70,1972.