

RVEGA SMC를 이용한 이중 탱크 수위제어

김형배*, 김태우*, 송호신**, 이오걸***, 이준택***

*동아대학교 대학원 전기공학과, **부산정보대학 전기과, ***동의공업대학 전기과, *동아대학교 전기공학과 교수

Robust Control of Coupled Tank Level using RVEGA SMC

*Hyung-Bea Kim · *Tae-Woo Kim · **Ho-Shin Song · ***Oh-Keol Lee · *Joon-Tark Lee

*Dong-A University, **Pusan Information college, ***Donggeul Technical college, *Dong-A University

Abstract - It is very difficult to maintain the desired tank level without overflow or shortage in a dangerous chemical plant, and a cooling one. Furthermore, because its dynamics are very complicate and nonlinear, the accurate mathematical model cannot be technique acquired and also their problems cannot be solved easily. In this paper, a RVEGA SMC for the robust control of a coupled tank level was proposed. The simulation results were very appreciative.

1. 서론

각종 냉동장치나 여과장치 등의 탱크 수위 제어 시스템은 비선형성이 강하며, 큰 시간지연 및 점도 등의 현저한 차이로 인해 오버 플로우등의 위험이 따르고 있으며, 탱크의 수위를 안정하게 유지하고자 할 경우 유입량이 불안정하고 시스템이 비선형성을 가지므로 제어를 하기가 어렵다. 그리고 고전제어기법인 PID제어기는 외란이나 부하변동에 의해서 응답편차가 생기며 이것을 보상하기 위해서는 비례계수는 크게 하여야 하지만 이 비례계수를 크게 하면 잡음에 민감해지고 미소변동에 대하여 큰 진동이 발생하게 된다.

이러한 문제점을 개선하기 위해서 제어계의 주변환경이나 비선형 요소에 의한 제어대상의 파라미터 변동, 외란에 대하여 제어기의 이득을 재조정할 필요가 있으며 이것에 대하여 여러 연구가 이루어지고 있다. 현재 유전 알고리즘은 탐색, 최적화 및 기계학습의 도구로 많이 사용되고 있으며, 유전 알고리즘은 구조가 간단하고 쉽게 구현할 수 있기 때문에 그 응용 범위는 상당히 넓은 것이 특징이다. 또한, GA 알고리즘은 일반적으로 진화과정에서 코드화된 유전자들(염색체들)을 사용하며, Schema 이론은 유전 알고리즘이 다항 알고리즘이 비결정식 알고리즘이므로 소모적인 탐색의 지수 알고리즘과 비교될 때 지수적으로 탐색시간이 감소되는 장점이 있다.

따라서, 본 논문에서는, 비선형 프로세스의 하나인 이중탱크의 수위제어 시스템에 슬라이딩 제어기를 설계하기 위해 RVEGA 알고리즘을 이용하여 제어입력 u 에 대한 SMC 파라메타를 최적화한 제어기에 의한 시뮬레이션 결과를 서로 비교하여 본 제어기의 성능을 입증하고자 한다.

2. 시스템의 수학적인 모델링

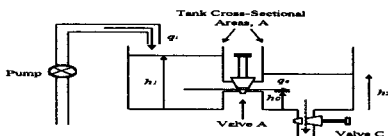


Fig.1 Coupled tank system

그림 1에서는 본 논문에서 사용한 이중탱크 시스템을 나타내었다.

$$q_i - q_a = \frac{dv_1}{dt} = A \frac{dh_1}{dt} \tag{1}$$

- v_1 : 탱크 1에서의 유량 [cm³]
- h_1 : 탱크 1에서의 유체의 높이 [cm]
- A : 탱크 1과 탱크 2의 측면적 [cm²]
- q_a : 밸브 A를 통해 탱크 1로부터 탱크 2로 유입 비율 [cm³/sec]
- q_i : 펌프 유입 비율 [cm³/sec]

$$q_a - q_c = \frac{dv_2}{dt} = A \frac{dh_2}{dt} \tag{2}$$

- v_2 : 탱크 2에서의 유량 [cm³]
- h_2 : 탱크 2에서의 유체의 높이 [cm]
- q_c : 밸브 C를 통해 탱크 2에서 유출 비율 [cm³/sec]

시스템 모델은 식 (3) 및 (4)와 같다.

$$A \frac{dh_1}{dt} + f(h_1 - h_2) = q_i \tag{3}$$

$$A \frac{dh_2}{dt} + f(h_2) = f(h_1 - h_2) \tag{4}$$

식 (3) 및 (4)는 비선형 형태의 시스템의 동특성을 나타낸다. 또한, 선형화된 방정식은 2차 과도함수 형태를 주어진므로 식 (5)와 같다.

$$\frac{H_2(s)}{Q_i(s)} = \frac{G}{(T_1s + 1)(T_2s + 1)} \tag{5}$$

3. 제어기의 설계

3.1. GA 알고리즘 (Genetic Algorithm)

본 논문에서는 실변수를 이용한 유전 알고리즘을 사용하였다. 실변수 엘리트스트 유전 알고리즘은 각각의 염색체를 변수의 상·하한치 내에서 랜덤하게 발생시켜, 탐색할 각각의 변수를 실제 값으로 구성한다. 또한 프로그램으로 코딩하는 과정에서 이진 스트링 표현보다 빠른 속도와 작은 기억용량을 요구하기 때문에, 많은 변수들을 요구하는 퍼지 제어, 신경회로망 제어에 적합하다. 그림 2에 실 변수 엘리트스트 유전 알고리즘의 flow chart를 나타내었다.

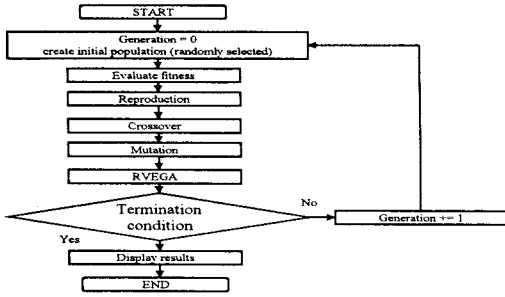


Fig. 2 Flowchart for RVEGA

3.2. SMC 제어법칙과 설계

비선형 시스템이 일반적인 상태공간 방정식의 정의에 의해 제어된다고 가정하면 식 (6)과 같다.

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad (6)$$

여기서, $x \in R^n$: 상태 벡터, $u \in R^m$: 입력 벡터, n : 시스템 차수, m : 입력 수를 각각 나타낸다. 이 때 슬라이딩 표면 $s(e, t)$ 는 식 (7)과 같다.

$$S(e) = \{e \mid s(e, t) = W^T e(t) = 0\} \quad (7)$$

여기서, $W \in R^n$ 은 슬라이딩 표면의 계수 또는 기울기를 나타낸다. 오차 e 는 식 (8)과 같다.

$$e = x - x_d = [e \quad \dot{e} \quad \dots \quad e^{(n-1)}]^T \quad (8)$$

다음과 같은 일반적 제어기 구조와 같게 하기 위해 적분항을 첨가하면 식 (9)로 나타낼 수 있다.

$$u = -\phi - \varphi_p e - \varphi_i \int edt - \varphi_D de/dt \quad (9)$$

설계상의 과제는 식 (10)과 같은 파라미터 벡터를 찾는 것이다.

$$P_i = [W \alpha_1 \alpha_2 \beta_1 \beta_2 \gamma_1 \gamma_2 \delta_1 \delta_2]^T \quad (10)$$

즉, 파라미터는

$$P = \{P_i \mid \|P_i\|_{L2} < \infty, \forall i\} \subseteq R^9 \quad (11)$$

이다. 식 (11)과 같은 영역에서 해를 갖게 된다고 가정한다면 시스템에 대한 슬라이딩 공간은 그림 3과 같다.

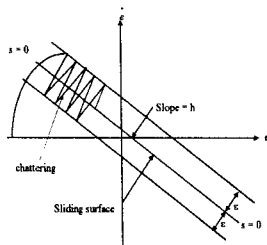


Fig. 3 Sliding Motion

3.3 RVEGA SMC의 설계

RVEGA에 의한 최적 파라미터들은 식 (12) 및 식 (13)으로 주어진다.

$W=0.15$,

$$\phi = \begin{cases} 0.253, & s < 0 \\ 77.250, & s > 0 \end{cases}, \varphi_D = \begin{cases} 72.616, & \dot{e} s < 0 \\ 2.454, & \dot{e} s > 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$\varphi_p = \begin{cases} 5.802, & e s < 0 \\ 99.051, & e s > 0 \end{cases}, \varphi_i = \begin{cases} 98.863, & s < 0 \\ 60.024, & s > 0 \end{cases}$$

$W=0.2$,

$$\phi = \begin{cases} 7.714, & s < 0 \\ 59.796, & s > 0 \end{cases}, \varphi_D = \begin{cases} 38.098, & \dot{e} s < 0 \\ 76.153, & \dot{e} s > 0 \end{cases} \quad (13)$$

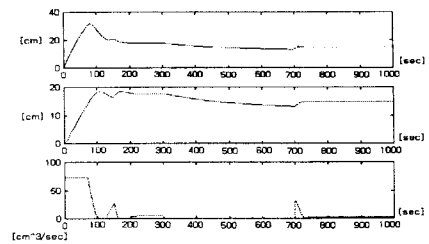
$$\varphi_i = \begin{cases} 68.803, & s < 0 \\ 84.299, & s > 0 \end{cases}, \varphi_D = \begin{cases} 35.924, & \dot{e} s < 0 \\ 26.180, & \dot{e} s > 0 \end{cases}$$

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

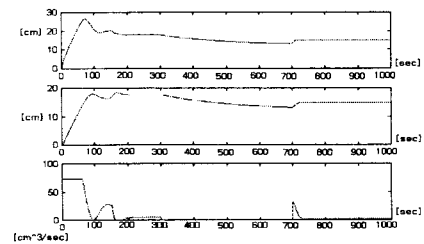
4.1 PID 제어결과

PID 제어기에 의해 Matlab으로 시뮬레이션한 결과는 그림 4와 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 지령치는 300[sec] 동안은 18[cm], 300~700sec 동안은 10[cm], 700~1000sec 동안은 15[cm]이다.

또한, 150~250sec, 350~650sec, 750~950sec 구간에서 20[cm/sec]의 외란을 부가한 결과를 나타내고 있다.



(a) without Disturbance



(b) (with Disturbance)

Fig. 4 Results of PID Control

4.2 RVEGA SMC를 이용한 제어결과

그림 5 및 6은 제안된 RVEGA SMC의 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 그림 5의 (a) 및 (b)는 각각 50세대 및 100세대에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다.

RVEGA SMC의 성능이 종래의 PID 제어기와 비교하여, 외란 부가에 관계없이 오버슈트 및 정정시간과 강인성에 있어서도 우수함을 입증하고 있다.

5. 결론

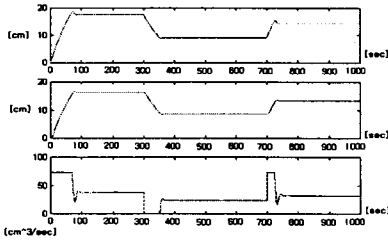
각종 냉동장치나 여과장치 등의 탱크 수위 제어 시스템은 비선형성이 강하며, 큰 시간지연 및 점도 등의 현저한 차이로 인해 오버 플로우 등의 위험이 따르게 된다. 이 경우, 제어의 목적은 탱크 내로의 유입량을 부드럽게 변화시키면서, 탱크 수위를 안정화시키는 것이다.

따라서, 본 논문에서는 이중탱크 수위제어 시스템에 슬라이딩 제어기를 설계하기 위해 RVEGA 알고리즘을 이용하여 제어입력 u 에 대한 PID제어 파라미터를 최적화하여, 목표 탱크 수위에 고속이면서 정확하게 추종할 수 있는 RVEGA SMC를 제안하였다.

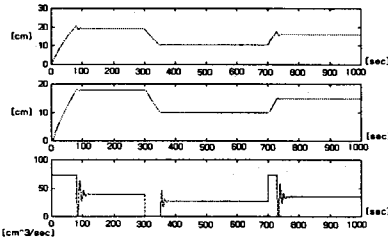
향후, 실제 산업용 프로세스에 적용하는 방법을 검토하고, 세 개 또는 그 이상의 탱크 시스템의 제어 및 적응 알고리즘 등에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] BARKER, H. A. "Open environments and object-oriented methods for computer-aided control system design", 1995.
- [2] KRISTINSSON, k., and dumont, g. a., system identification and control using genetic algorithms, IEEE Trans. Syst., Man and Cyber., 22, (3), 1033-1046. 1992.
- [3] KWOK, d. p., TAM, P., SUN, Z. Q., and wang, P., "Design of optimal linear regulator with steady-state trajectory insensitivity", Proc LECON 91, 3, (416), 2183-2187, 1991.
- [4] KWOK, D. P., and SHENG, F., Genetic algorithm and simulated annealing for optima ROBERT arm pid control, Proc. 1st IEEE conf. evol. comp., IEEE WORLD CONG. COMP. INTER., Orlando, FL, 2, 708-713. 1994.



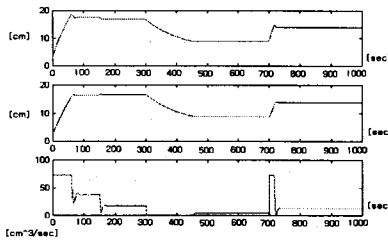
(a) at the 50th Generation



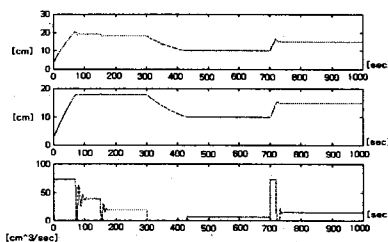
(b) at the 100th Generation

Fig.5 Results of proposed RVEGA SMC(without diturbance)

그림 5에서의 결과를 고찰해 보면, 100세대의 RVEGA 파라메타 값이 50보다 도달시간, 정정시간, 오버슈트, 언더슈트등 모든 관점에서 우수함을 알 수 있었다. 그림 6 (a)는 50세대 (b)는 100세대별 150~250sec, 350~650sec, 750~950sec 동안 20[cm³/sec]의 외란을 부가한 결과를 각각 나타내고 있다.



(a) at the 50th Generation



(b) at the 100th Generation

Fig. 6 Results of proposed RVEGA SMC (with Disturbance)

그림 6에서 결과를 보면 본 논문에서 제안한