

RVEGA SMC를 이용한 이중 탱크의 수위 제어

김 태 우* · 이 준 탁*

Control of Coupled Tank Level using RVEGA SMC

T. W. Kim* · J. T. Lee*

Key words : Coupled Tank Level, Sliding Mode Controller(SMC), Real Variable Elitist Genetic Algorithm(RVEGA).

Abstract

It is very difficult to maintain the desired tank level without any overflow or any shortage in a dangerous chemical plant and in a cooling one. Furthermore, because its dynamics are very complicate and nonlinear, it is impossible to realize the precise control using the accurate mathematical model which can be applied to the various operation modes.

Nonetheless, the sliding mode controller(SMC) is known as having the robust variable structures for the nonlinear control systems with the parametric perturbations and with the rapid disturbances. But the adaptive tuning algorithms for their parameters are not satisfactory.

Therefore, in this paper, a Real Variable Elitist Genetic Algorithm based Sliding Mode Controller (RVEGA SMC) for the precise control of the coupled tank level was tried. The SMC's switching parameters were optimized easily and rapidly by RVEGA. The simulation results showed that the tank level could be satisfactorily controlled without any overshoot and any steady-state error by the proposed RVEGA SMC.

1. 서 론

고차의 큰 시간 지연을 갖는 이중 탱크 시스템은 불안정하고 비선형이 강한 시스템이다. 이들의 안정화 제어문제는 많은 제어 공학자들에 의해 오래 전부터 연구되어 온 과제로서, 점도의 차이에도 불

구하고 화학 플랜트 및 냉각조에서의 오버 플로우나 고갈 현상을 발생시키지 않도록 하는 것이다¹⁾. 그러나, 다양한 동작 모드를 갖는 비선형 시스템에 대응하는 정확한 수학적모형을 얻기 어렵고, 얻어진 하더라도 광범위한 동작 영역에서 만족스런 결과를 보증하는 고성능의 제어기를 설계한다

* 동아대학교 전기공학과(원고접수일 : 99년 10월)

는 것은 어렵다. 일반적으로, 동작점 근방에서의 피드백 선형화를 통해 PID, LQ 제어^{[5],[6]} 등의 고전 제어기법이 이용되고 있으며, 무모델 제어가 가능한 Fuzzy 및 신경회로망, GA 등에 의한 다양한 지능제어 기법들도 제안되고 있다^{[3],[7],[8]}. 이들 대부분의 경우, 제어기의 설계 파라미터의 동정이 어렵고, 내·외부 외란이나 다양한 동작 모드들에 따른 제어기 파라미터들의 적응성이 저하되어 동작 영역이 상이해지면 안정화 가능 영역이 협소해지거나 시스템이 불안정해지는 문제점을 갖고 있다.

한편, 슬라이딩 모드(Sliding Mode)를 갖는 가변구조 시스템(Variable Structure System, VSS)은 스위칭 평면(Switching Surface)을 이용하여 슬라이딩 모션(Sliding Motion)이라는 독특한 스위칭 특성이 발생하는 일종의 비선형 제어기로서, 파라미터의 변동이나 외란에 거의 둔감한 특징을 갖고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나, 매 순간 변화되어지는 시스템의 상태에 따른 최적의 스위칭 평면 설정 및 상태 가중치의 결정이 곤란하다. 따라서, 본 논문에서는 이중 탱크 시스템의 수위 제어를 위해, 넓은 범위의 동작 모드와 고차의 큰 지연시간에 대응하여 적응성이 높고, 파라미터의 변동과 외란에 비교적 강인한 실변수 유전 알고리즘 기반의 슬라이딩 모드 제어기(Real Variable Elitist Genetic Algorithm based Sliding Mode Controller, RVEGA SMC)를 제안한다. SMC 파라미터 최적화를 위해 사용된 RVEGA는 종래의 GA에서 지적되는 2진 표현에 의한 염색체 길이의 장대화 및 우수 염색체 퇴조에 따른 국부적 최적치 도달 가능성 등의 문제점을 극복할 수 있다.

따라서, RVEGA SMC를 적용하면, 탱크 수위의 급격한 변화 및 외란 부가시에도 탱크 내로의 유입량을 부드럽게 변화시켜, 목표 수위에 신속·정확하게 추종할 수 있게 된다. 시뮬레이션을 통하여, 종래의 PID제어기에 비해, RVEGA SMC가 견실성을 가지며, 빠르고 정확하게 목표치에 도달하게 됨을 보이게 될 것이다.

2. 이중 탱크의 수위제어 시스템 모델링

이중 탱크의 수위제어 시, 고차의 시간 지연이

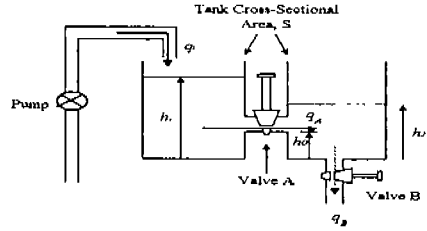


Fig. 1 Coupled Tank system

발생하거나, 점도 등이 현저하게 변화되어지는 경우, 오버 플로우나 고갈 등의 위험이 따르게 된다. 따라서, 제어의 목적은 탱크 내로의 유입량을 부드럽게 변화시키고, 탱크의 수위를 신속 정확하게 목표 수위에 도달시키는 것이다. 그림 1은 본 논문에서 사용된 이중 탱크 시스템을 나타내고 있다.

그림 1에서 탱크 1내로의 유입을 q_i 과 밸브 A를 통한 유출을 q_A , 그리고, 밸브 B를 통해 나가는 유출을 q_B 로 정의하면, 탱크 1 및 2에서의 유량 변화율은

$$q_i - q_A = \frac{dv_1}{dt} = S \frac{dh_1}{dt} \tag{1}$$

$$q_A - q_B = \frac{dv_2}{dt} = S \frac{dh_2}{dt} \tag{2}$$

로 각각 구해진다. 여기서,

- $v_{1,2}$: 탱크1 또는 2의 액체 용적[cm^3]
- $h_{1,2}$: 탱크1 또는 2의 수위[cm]
- S : 탱크1과 탱크2의 단면적[cm^2]
- $q_{A,B}$: 밸브 A 또는 B를 통한 유출율[cm^3/sec]
- q_i : 탱크 1로의 유입율[cm^3/sec]

이다. 식 (2)에서 q_A 와 q_B 가 모든 가능한 동작조건에서 수위 h_1 및 h_2 의 제곱근에 비례한다고 가정하면, 각 밸브를 통한 유출량 q_A 와 q_B 는 h_1 및 h_2 의 비선형 함수들로서

$$q_A = f(h_1 - h_2) = a_{ACB} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \tag{3}$$

$$q_B = f(h_2) = a_{BCB} \sqrt{2g(h_2 - h_0)} \tag{4}$$

로 된다. 단, 탱크 2의 수위는 탱크 1의 수압에 의해 물이 유입되고, 방출계수는 일정하므로 항상 $h_1 > h_2$ 이므로 식 (3) 근호안의 값은 항상 0보다 크

다는 것을 알 수 있다. 또한, $v_1=Sh_1$ 및 $v_2=Sh_2$ 이고, 탱크 2내로 유입되는 외부로부터의 급격한 외란 d [cm³/sec]를 고려하면, 식 (1) 및 식 (2)로부터,

$$\begin{aligned} \dot{Sh}_1 &= u - a_A c_A \sqrt{2g(h_1 - h_1)} \\ \dot{Sh}_2 &= a_{ACA} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - a_{BCB} \sqrt{2g(h_2 - h_0)} + d \end{aligned} \quad (5)$$

로 된다. 여기서, a_A 및 a_B 는 Valve A 및 B의 오리피스 면적이며, a_A 및 a_B 는 각 밸브의 유출계수이고, h_0 는 오리피스의 높이에 기인한 offset을 나타내며, g 는 중력 가속도를 의미한다.

3. 슬라이딩 모드 제어

슬라이딩 모드 제어기는 설정된 스위칭 평면을 중심으로 스위칭 특성을 발생하는 비선형 제어기로서, 상태궤적이 스위칭 평면 근방을 추종할 수 있도록 제어기의 구조를 변화시키는 제어방식이 다¹⁰. 먼저, 비선형 시스템을

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

와 같이 정의한다. 여기서, $x \in R^n$: 상태 벡터, $u \in R^m$: 입력 벡터, n : 시스템의 차수, m : 입력 수를 각각 나타낸다. 이 때, 발생하는 슬라이딩 평면 $s(e, t)$ 는

$$s(e, t) = g_a^T e(t) = 0 \quad (7)$$

로 정의될 수 있다. 여기서, $g_a \in R^n$ 은 슬라이딩 평면의 기울기 또는, 계수벡터를 나타낸다. 이중 탱크 시스템의 경우, 탱크 2의 목표 수위 h_2^* 에 대한 오차 e_{h2} 는, $e_{h2}(n-1)$ 을 e_{h2} 의 $(n-1)$ 차 도함수로 정의할 때,

$$e_{h2} = h_2 - h_2^* = [e_{h2} \ \dot{e}_{h2} \ \dots \ e_{h2}^{(n-1)}]^T \quad (8)$$

로 되므로, 시변 슬라이딩 평면 $s(t)$ 는

$$s(e_{h2}; t) = \left(\frac{d}{dt} + g_a\right)n - 1 \cdot e_{h2} = 0 \quad (9)$$

와 같이 상태공간 R^2 에서 정의된다. 따라서, 식 (9)로부터 2차 상태궤적 문제는 다음의 Lyapunov 함수 V 에 의해,

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \cdot s^2 > 0 \\ \dot{V} &= s \cdot \dot{s} \leq 0 \end{aligned} \quad (10)$$

와 같은 조건을 만족하며, $s \rightarrow 0$ 이 되는 1차 안정화 문제로 간략화할 수 있다. 즉, 슬라이딩 평면은 $s = g_a \cdot e + \dot{e}$ 와 같이 정의될 수 있다. 이 경우 안정상태에 대한 강인성은 Lyapunov 함수로부터 다음과 같이 유도되며, 식 (10)으로부터 수렴조건은 식 (11)과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$s \cdot \dot{s} \leq -\lambda |s| \quad (11)$$

여기서, λ 는 양의 상수이며, $s \cdot \dot{s}$ 의 최대값 즉, β 를 구하기 위해 스위칭 평면 s 를

$$|s| \geq \frac{\beta}{\lambda} = \delta \quad (12)$$

과 같이 슬라이딩 영역으로 변환하면, 슬라이딩 모드의 제어입력은 식 (13)과 같이 구해질 수 있다.

$$u = -k \cdot \text{sgn}(s \cdot \dot{s}) + u_{smc} \quad (13)$$

여기서,

$$\text{sgn}(s \cdot \dot{s}) = \begin{cases} +1, & s \cdot \dot{s} > 0 \\ 0, & s \cdot \dot{s} = 0 \\ -1, & s \cdot \dot{s} < 0 \end{cases}$$

이며, 슬라이딩 영역으로 진입하게 되면, 식 (13)의 두 번째 항 u_{smc} 는 식 (14)와 같이 종래의 PID 제어기에 의해 발생되는 등가 제어 입력 u_{eq} 로 변환된다.

$$u_{eq} = -u_0 - (K_P \cdot e_{h2} + K_I \frac{K_I}{T_I} \int e_{h2} \cdot dt + K_D \cdot T_D \cdot \dot{e}_{h2}) \quad (14)$$

여기서, T_I 는 적분 시간, T_D 는 미분 시간을 각각 나타내며, 또한, 일반화된 스위칭 동작을 행하는 SMC의 이득 파라미터들은

$$\begin{aligned} u_0 &= \begin{cases} u_{11}, & s < 0 \\ u_{12}, & s > 0 \end{cases}, K_P = \begin{cases} K_{P1}, & e_{h2} \cdot s < 0 \\ K_{P2}, & e_{h2} \cdot s < 0 \end{cases} \\ K_I/T_D &= \begin{cases} K_{I1}, & s \cdot \dot{s} < 0 \\ K_{I2}, & s \cdot \dot{s} > 0 \end{cases}, K_D \cdot T_D = \begin{cases} K_{D1}, & e_{h2} \cdot \dot{s} < 0 \\ K_{D2}, & e_{h2} \cdot \dot{s} < 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (15)$$

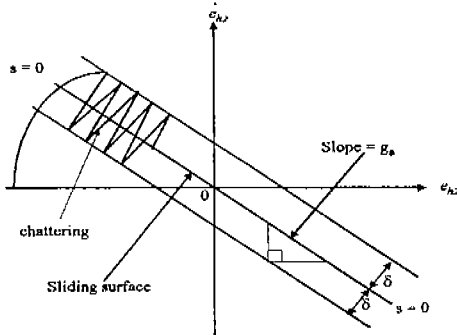


Fig. 2 Pattern of Sliding Motion

로 정의된다. 모든 스위칭 조건에 상태 변수가 곱해진 것은 실제 시스템의 상태를 요구체적에 빠르게 추종시키기 위한 것이며, 특히, 스위칭 파라미터 K_I/T_I 및 $K_D \cdot T_D$ 에 스위칭 조건으로 s 를 사용한 경우 보다 \dot{s} 를 사용하게 되면, 상태에 따라 구조의 변화가 더욱 빨라지게 되므로 고속의 양호한 응답특성이 기대될 수 있다. 이 시스템에 대한 슬라이딩 평면과 이의 동작 패턴은 그림 2와 같이 도시된다.

4. RVEGA SMC의 설계

대표적인 비선형 프로세스의 하나인 이중 탱크 시스템의 수위를 오버 플로우나 고갈 현상이 제어하기 위해 RVEGA SMC를 제안한다. 즉, RVEGA를 이용하여 식 (15)의 SMC 이득 파라미터들을 최적화시킴으로써, 탱크 2의 목표 수위에 빠르고, 정확하게 추종할 수 있을 뿐만 아니라, 파라미터의 변동과 외란에 강인한 제어를 설계하고자 한다.

일반적인 유전 알고리즘에서 변수들을 2진 스트링 표현법에 의하여 표현하는 경우, 높은 정밀도가 요구되어 질수록 스트링의 길이는 매우 길어지게 된다. 또한, GA는 다른 알고리즘과는 달리 많은 연산을 필요로 하기 때문에, 스트링의 길이가 길어질수록 많은 계산 시간과 기억 용량을 요구하게 되며, 수렴 속도 또한 늦어지게 된다. 따라서, 많은 파라미터의 최적화를 필요로 하는 SMC의 경우, 이진 스트링으로 표현하는 데 한계가 따른다. 그리고, 유한 길이의 이진 스트링으로 표현된 각각의

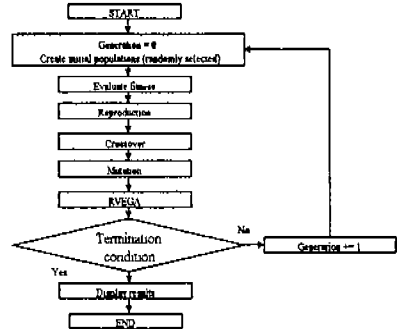


Fig.3 Flowchart for RVEGA

염색체는 목적 함수에 의해 적합도(fitness)를 산출하기 위해 실제 변수들의 값으로 변환하는 것이 요구되며, 정도가 저하될 수 있다. 또한, 평가, 복제, 교배 과정에서 계속적으로 생성되어지는 염색체들은 세대가 지남에 따라 더 이상 우수한 새로운 염색체를 생성하지 못하거나, 퇴조시키는 국부적 최적값에 빠질 가능성이 높다.

이상에서 지적한 바와 같이 일반적인 GA는 그 구조의 단순성으로 인해 조기수렴의 문제가 발생할 수 있으며, 가장 좋은 염색체가 roulette wheel 선택 과정에 의해 파괴되어 질 수도 있다. 이로 인해 이것은 세대가 지나도 해가 목적 함수의 최적값에 수렴하지 못하고 진동을 초래하는 원인이 되기도 한다. 따라서, 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 RVEGA를 도입하였다. 이것은 GA와 같이 교배, 복제 및 돌연변이 연산자를 사용하며, 새로운 염색체들의 적합도를 이전 세대의 가장 우수인 염색체의 적합도와 비교하여 그 값보다 크면 새로운 염색체로서 선택하고, 그렇지 않으면 버리는 것이다. 또한, RVEGA는 각각의 염색체를 변수의 상.하한치 내에서 랜덤하게 발생시켜, 탐색할 각각의 변수를 실수치 차체로 구성한다. 즉, 파라미터 각 개체의 특성들은 관련 스트링들을 하나로 통합한 유전 염색체로 나타낼 수 있다. 그림 3에 RVEGA의 흐름도를 나타내었다.

본 논문에서 제안하고자 하는 RVEGA SMC의 설계는 이상에서 기술한 RVEGA에 의해 식 (15)의 8개 이득 파라미터들과 $G_a^T = [g_a \ 1]$ 에 의해 결정되는 식 (7)의 슬라이딩 평면을 구성하는 파라미터 g_a 를 탐색하는 문제 즉, $P = [g_a \ u_{11} \ u_{12} \ K_{P1} \ K_{P2}$

$K_{I1} K_{I2} K_{D1} K_{D2}^T(16)$ 와 같은 파라미터 벡터 P 의 최적화 문제로 요약된다.

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 제안된 RVEGA SMC의 성능을 입증하기 위하여 종래의 PID 제어기의 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 시뮬레이션에 사용된 탱크 1 및 2의 단면적은 $S=100\text{cm}^2$ 이고, 밸브 A 및 B의 오리피스 단면적은 각각 $a_A=0.886\text{cm}^2$ 및 $a_B=0.396\text{cm}^2$ 이다. 그리고, 탱크의 유출계수는 $c_A=c_B=0.58$ 로 동일하다. 또한, 초기 offset은 $h_0=3\text{cm}$ 으로 설정하였다. 그리고, $0\sim 300[\text{sec}]$, $300\sim 700[\text{sec}]$ 및 $700\sim 1000[\text{sec}]$ 의 시간 축을 구간 I, II, III으로 설정하였으며, 이들 각 구간의 목표 수위는 $18[\text{cm}]$, $10[\text{cm}]$, $15[\text{cm}]$ 로 각각 설정하였다. 또한, 외란 $d=20[\text{cm}^3/\text{sec}]$ 는 구간 I, II, III에서 $150\sim 250[\text{sec}]$, $350\sim 650[\text{sec}]$, $750\sim 950[\text{sec}]$ 인 각각의 시점에서 Tank 2로 추가되는 급격한 유입을 의미한다. 본 시스템의 사양은 표 1과 같다.

또한, 이중 탱크 시스템의 제어 입력 u 즉, 유입을 q_i 는 모터 펌프 구동전압 U 의 7.33배와 같으므로, U 가 $10[\text{V}]$ 일 때 최대 유입율은 $73.3[\text{cm}^3/\text{sec}]$ 로 된다.

이중 탱크 시스템의 모터 펌프에 인가되는 구동전압 U 는 $0\sim 10[\text{V}]$ 의 아날로그 전압으로 하며, 시스템의 펌프 모터를 구동시키는 조작량이 된다. 따라서, 펌프 구동전압 U 가 인가되면, 유입을 q_i 로 물이 탱크 1에 유입되며, 유입된 물의 양에 따른

압력과 밸브 A의 오리피스 면적 및 유출계수에 따라 탱크 2의 수위 h_2 가 제어된다. 실제의 탱크 수위는 목표 수위와 비교되어, 수위 오차 e_{h2} , 오차의 적분치 및 오차의 변화량 \dot{e}_{h2} 가 제어기로 각각 입력된다.

5.1 PID 제어결과

시뮬레이션에 사용된 종래의 PID 제어기의 구조는 그림 4와 같으며, Ziegler-Nichols법에 의해 동조된 파라미터를 $K_P=15$, $K_I/T_I=5$, $K_D \cdot T_D=5$ 로 설정하였으며^[9], 시뮬레이션 결과는 그림 5와

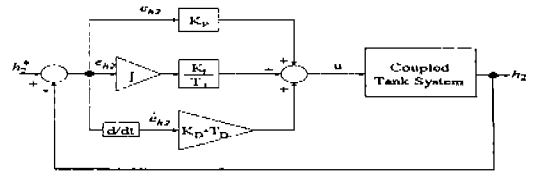
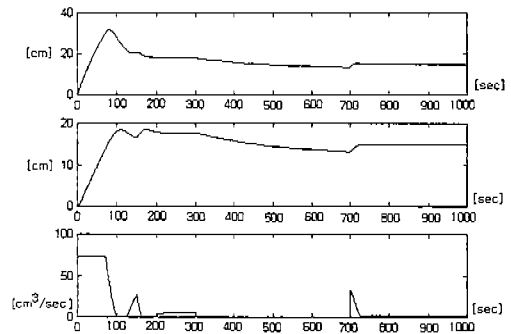
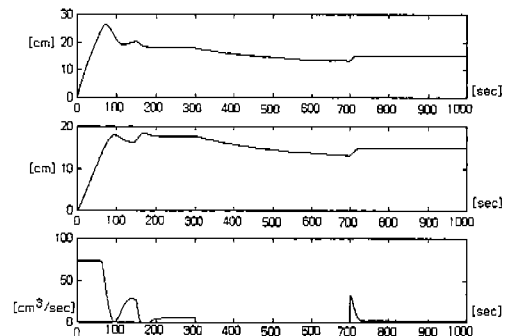


Fig. 4 Architecture of Conventional PID Controller



(a) without Disturbance



(b) with Disturbance

Fig. 5 Results of PID Control

Table 1. Specification of Coupled Tank System

Parameter	Value
Height	25[cm]
Orifice Cross Sectional Area of Valve A : a_A	0.886[cm ²]
Orifice Cross Sectional Area of Valve B : a_B	0.396[cm ²]
Tank Cross Sectional Area : S	100[cm ²]
Max. Flow-in rate : q_{imax}	73.3[cm ³ /sec]
Gravitational constant : g	981[cm/sec ²]
Discharge Coefficient : c_A, c_B	0.58
Pump Drive Voltage U[V]	Max. 10[V], Min. 0[V]

같다.

외란이 없는 경우, 그림 5(a)와 같이, 구간 I에서의 도달시간 및 5% 정정시간은 각각 87.5[sec] 및 197.25[sec]로 관측되었고, 3.2[%]의 오버슈트를 나타내었다. 그러나, 구간 II에서는 목표 수위에 도달하지 못하였다. 또한, 구간 III에서의 도달시간 및 정정시간은 각각 26.25[sec] 및 28.12[sec]로 관측되었다. 외란을 부가한 경우는, 그림 5(b)와 같이, 구간 I에서는 도달시간 및 정정시간이 74.38[sec] 및 187.63[sec]로 관측되었고, 3.27[%]의 오버슈트 및 7.52[%]의 언더슈트를 나타내었다. 구간 II에서는 목표 수위에 도달하지 못하였으며, 구간 III에서의 도달시간 및 정정시간은 각각 16.56[sec] 및 21.87[sec]로 외란 미부가시보다 현저하게 단축되었다. 이러한 현상은 구간 I 및 III에서의 외란 부가로 인해, 도리어 수위 상승을 가속시켜 목표 수위에 빨리 도달하게 하는 효과에 기인한 것으로 볼 수 있다.

5.2 RVEGA SMC의 결과

그림 6은 본 논문에 사용된 RVEGA SMC의 구성도를 나타내었다.

그림 6에서 탱크 2의 목표 수위 h_2^* 와 현재 수위 h_2 와 의 수위 오차 e_{h_2} 로부터 RVEGA에 의해 SMC의 파라미터 $u_0, K_P, K_I/T_I$ 및 $K_D \cdot T_D$ 를 각각 최적화한다. 최적화의 절차는 그림 3에서 제시한 모형과 같이 행한다. 먼저, 식 (14)의 SMC를 설계하기 위해 각 파라미터들을 식 (16)과 같이 실수의 염색체 패턴으로 배열한 후 Two-point 교배를 시행하며, 돌연변이율을 적용하여 해집단을 얻게 된다. 돌연변이 확률은 20%로 높여 낮은 확률로 인해 국부적 최적치에 도달하는 것을 방지하였다. 또한, 동일한 자리수의 두 염색체의 유전자들의 적합도 $F(P)$ 는 식 (17)과 같이 t_i 시간 동안에 취득한 목표 수위에 대한 오차 e_{h_2} 와 오차의 변화율 \dot{e}_{h_2} 에 대

한 각각의 제곱의 합에 대한 평균의 역수를 취하였다.

$$F(P) = \frac{1}{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^t (e_{h_2}^2 + \dot{e}_{h_2}^2)} \tag{17}$$

단, 여기서 N 은 시간 t_i 동안 취득한 데이터의 수를 나타내며, 각 세대의 최대 적합도는 식 (17)에 의해 신속하게 수렴하여 최대치에 도달한다. 이상의 절차로부터 얻어진 RVEGA SMC의 최적화된 파라미터들은 식 (18)과 같다.

$$g = 0.18, u_0 = \begin{cases} 0.253, & s < 0 \\ 77.250, & s > 0 \end{cases},$$

$$K_P = \begin{cases} 5.802, & e_{h_2} \cdot s < 0 \\ 99.051, & e_{h_2} \cdot s > 0 \end{cases}$$

$$K_I = \begin{cases} 98.863, & s \cdot \dot{s} < 0 \\ 60.024, & s \cdot \dot{s} > 0 \end{cases}$$

$$K_D \cdot T_D = \begin{cases} 72.616, & \dot{e}_{h_2} \cdot \dot{s} < 0 \\ 2.454, & \dot{e}_{h_2} \cdot \dot{s} > 0 \end{cases} \tag{18}$$

그림 7 및 8은 제안된 RVEGA SMC의 결과이며, 그림 7의 (a), (b), (c)는 각각 50, 70, 100번째 세대에서의 결과를 보여준다.

그림 7에서의 결과를 고찰해 보면, 세대수의 증가에 따라 RVEGA SMC의 도달시간, 정정시간, 오버슈트, 언더슈트 등 모든 관점에서 우수하나, 수렴되는 100세대 이후에서는 그 특성이 동일하게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 제안된 RVEGA SMC는 구간 I에서 도달시간 및 정정시간은 종래의 PID 제어기에 비해, 각각 17.81[sec], 121[sec] 빨라짐을 알 수 있었다.

그림 8은 150~250[sec], 350~650[sec], 750~950[sec] 동안 $d=20[\text{cm}^3/\text{sec}]$ 의 외란을 부가한 경우, 50, 70, 100번째 세대에서의 시뮬레이션 결과를 각각 나타내고 있다. 100번째 세대에서 얻어진 파라미터를 이용한 경우, 각 구간에서 목표 수위에 도달하지 못한 50번째 및 70번째 세대의 결과들보다, 대단히 만족스러운 결과를 나타내었다.

한편, 구간 II에서 100번째 세대의 파라미터들을 이용한 경우, 탱크 2에서의 밸브 B의 유출율이 일정함에도 불구하고, 유입량 $d=20[\text{cm}^3/\text{sec}]$ 인 외란이 부가되므로, 외란이 없을 때 보다 도달시간

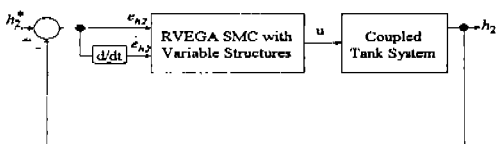


Fig. 6 Architecture of RVEGA SMC

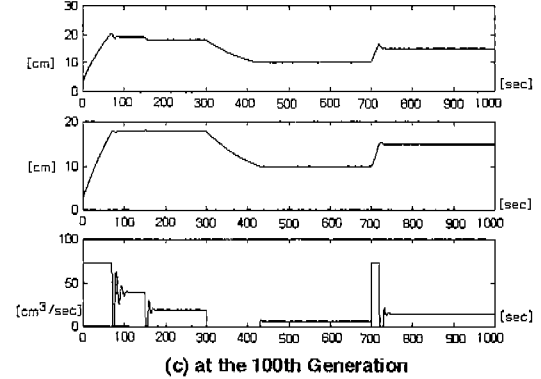
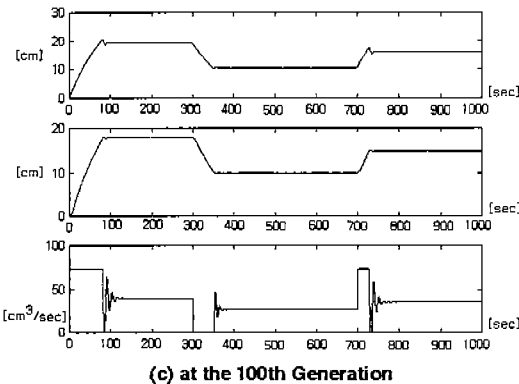
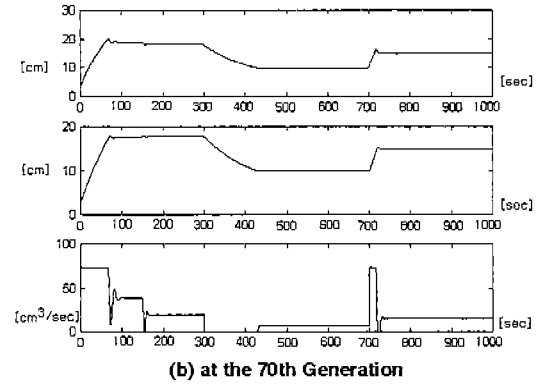
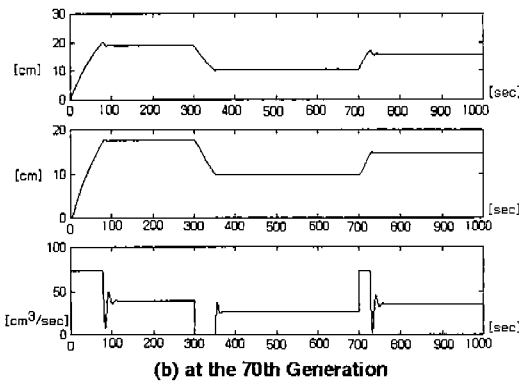
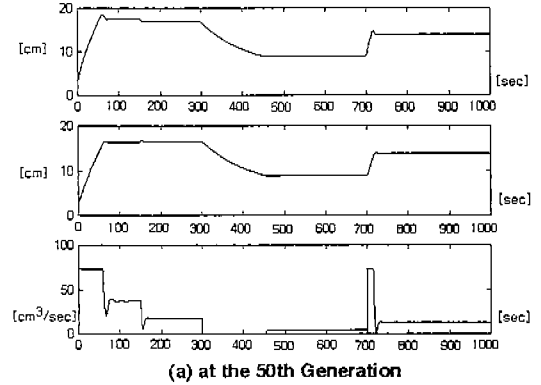
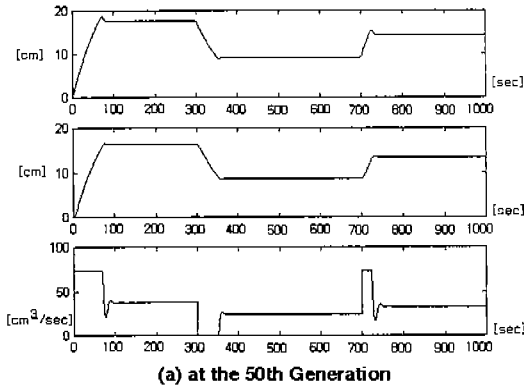


Fig. 7 Results of proposed RVEGA SMC(without disturbance)

Fig. 8 Results of proposed RVEGA SMC(with Disturbance)

및 정정시간은 각각 73.91[sec] 및 60.01[sec]로 지연되고 있으나, 언더슈트없이 정확하게 목표 수위에 도달함을 확인하였다. 이는 목표 수위에 도달하지 못한 PID 제어기 적용의 결과보다 RVEGA SMC의 성능이 현저하게 개선되어 졌음을 보인 것이다. 이상과 같은 일련의 시뮬레이션에 의해 본

논문에서 제안된 RVEGA SMC가 외부 외란에 대해서도 견실성을 가지고, 빠르고 정확하게 목표 수위에 도달하는 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있었다.

6. 결 론

각종 냉동장치나 여과장치 등의 탱크 수위 제어 시스템은 비선형성이 강하고, 고차의 시간지연 및 점도 등의 현저한 차이나 외란으로 인해 오버 플로우나 고갈과 같은 위험을 초래할 수 있다. 이러한 시스템에서는 탱크 내로의 유입량을 부드럽게 변화시키면서, 탱크의 수위를 안정하게 제어하는 것이 필수적이다.

따라서, 본 논문에서는 RVEGA를 이용하여 제어기의 구조가 변경되는 SMC의 파라미터들을 최적화시킴으로써, 이중 탱크 시스템의 목표 수위에 고속이면서도 정확하게 추종할 수 있는 RVEGA SMC를 제안하였다. 즉, RVEGA에 의해 최적 스위칭 파라미터들을 갖는 SMC는 스위칭 평면을 이용하여 슬라이딩 모션이라는 독특한 스위칭 특성과 외란에 둔감한 장점을 가진 최적의 비선형 제어기로 동작하도록 설계하였다. 시뮬레이션 결과, 외란 부가에 관계없이 종래의 PID 제어기는 오버슈트 및 언더슈트를 발생시키면서 구간 I, III에서는 목표 수위에 도달하였으나, 구간 II에서는 도달하지 못하는 결과를 나타내었다. 반면, RVEGA SMC는 극히 미소한 오버슈트(최대 0.1[%])와 언더슈트(최대 1.31[%])만 나타낼 뿐, 신속하고 정상 상태 오차없이 전 구간에서 정확하게 목표 수위에 도달하는 우수한 성능을 나타내었다.

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

참고문헌

- [1] J. M. Fernandes, C. E. DE Souza, G. C. Goodwin., "Adaptive Control of a Coupled Tank Apparatus", Int. Journal of Control and Signal Processing, Vol. 3, pp. 319~331, 1989.
- [2] LI, Y., and NG, K. C., "Design of SISO Sliding Mode Control Systems Using Genetic Algorithms", Technical Report CSC-94002, Centre for Systems and Control, University of Glasgow, 14. June, 1994.

- [3] LI, Y., "Modern information technology for control systems design and implementation", proc 2nd Asia-Pacific Conf. Control and measurement, ChongQing, xna, pp. 17~22, 1995.
- [4] LI, Y., and Tan, K. C., "Physical Parametric Modelling of Nonlinear Systems by Evolution", technical report CSC-95010, Centre for systems and control, University of Glasgow, 9 June, 1995.
- [5] Hunt, K. J., "Polynomial LQG and H_{∞} Controller Synthesis a Genetic Algorithm Solution", Proc. 31st IEEE Conf. Decision and Control, Tucson, AZ, 4, (865), pp. 3604~3609, 1992.
- [6] Harry N. Iordao and Brian W. Surgenor, "Experimental Evaluation of Robustness of Discrete Sliding Mode Control versus Linear Quadratic Control", IEEE Transactions on Control Systems Technology, Vol. 5, no. 2, pp. 254~454, 1997.
- [7] Goldberg, D., "Genetic algorithms in search, optimization and machine learning" (Reading, MA: Addison-Wesley), 1989.
- [8] Jacob S. Glower and Jeffrey Munighan, "Designing Fuzzy Controllers from a Variables Structures Standpoint", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 5, no. 1, pp. 138~144, 1997.
- [9] CE105/105MV Coupled Tanks Apparatus. Techquipment Ltd, 1993.

저 자 소 개



이준탁(李浚沓)

1956년 11월21일 생 1979년 동아대 공과대학 전기공학과 졸업. 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1988년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1997년 8월~1998년2월 일본 쓰쿠바대학교 객원 연구원. 현재 동아대 전기공학과 부교수.