공정 제어를 위한 Support Vector Machine을 이용한 PID제어의 성능 향상

이열, 김진성, 나상건, 허훈*
고려대학교 제어계측공학과
(heo257@korea.ac.kr*)

The improvement of PID control using Support Vector Machine for RO plant

Yeol Lee, Jinsung Kim, Sanggun Na, Hoon Heo*
Department of Control and Instrumentation Engineering, Korea university
(heo257@korea.ac.kr*)

1. 서론

PID 제어기는 오랜 기간 다양한 분야에서 안정성 및 성능을 인정받고 일반적으로 널리 사용되는 제어기이다. 이 PID 제어 로직은 특히 플랜트를 운전하는데 필수적이다.

특히 PID제어기에서 제어기의 안정성은 플랜트의 성능에 큰 영향을 미친다. 이 때문에 PID제어기의 안정한 이득을 튜닝하기 위해 많은 노력이 기해지고 다양한 방법이 동원된다.[1,2]

본 논문에서는 이득을 튜닝하기 위해 감수해야 하는 위험을 방지할 수 있도록 Support Vector 이론을 적용하여 PID 제어기의 성능을 보완하는 제어기 구조를 제안하였다. 제안된 제어기 구조는 기존 PID 제어기보다 Percent Over Shoot와 Settling Time이 개선되며, 불안정한 이득에 대해서도 기존 PID 제어기보다 안정한 응답을 보이는 등 그 우수함을 R.O. 플랜트 모델의 Simulation을 통하여 확인하였다.

2. Least Square Support Vector Machine for Regression

입력 벡터 $\mathbf{x}_i \in R^p$와 측정된 출력 $d_i \in R(d_i = y_i + z_i,\ y_i$:system output, z_i:noise)으로 이루어진 Training data set $\{\mathbf{x}_i, d_i\}_{i=1}^N$이 있을 때, 입력 $\mathbf{x}_i$와 y_i의 관계를 나타내는 $y = f(\mathbf{x})$의 함수를 구하는 것이 목표이다. 이 함수의 형태는 식 (1)과 같다.

$$y = \sum_{i=1}^{h} w_i \phi(\mathbf{x}) + b = \mathbf{w}^T \boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}) + b \tag{1}$$

where $\mathbf{w} = [w_1, w_2, \cdots, w_h]^T,\ \boldsymbol{\phi} = [\phi_1, \phi_2, \cdots, \phi_h]^T$

여기서 $\boldsymbol{\phi}(\cdot): R^p \rightarrow R^h$는 data를 더 높은 차원의 특징 공간으로 mapping시킨다.

LS-SVM은 SVM에서의 부등식 구속조건을 등식 구속조건으로 대체하여 사용한다.[3]

최적화 문제와 구속 조건은 식 (2)와 같다.

$$\min_{\mathbf{w},b,e} J_p(\mathbf{w},e)=\frac{1}{2}\mathbf{w}^T\mathbf{w}+C\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}e_i^2 \quad , \text{ with constraints : } d_i=\mathbf{w}^T\boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}_i)+b+e_i. \tag{2}$$

$C\in R^+$는 부드러운 답과 training error를 조절하는 값이다. training error를 줄이는데 목적을 두면 부드러운 결과를 얻을 수 없고, 부드러운 결과에 목적을 두면 training error를 줄일 수 없게 되므로, 알맞은 값을 선택하도록 한다.

위 식 (2)로부터 구할 수 있는 Lagrangian은 다음 식 (3)과 같다.

$$L(w,b,e;\alpha)=J_p(w,e)-\sum_{i=1}^{N}\alpha_k\{\mathbf{w}^T\boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}_i)+b+e_i-d_i\} \tag{3}$$

최적화 문제의 구속 조건에 의해서 다음과 같은 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix}0 & \mathbf{1}^T\\ \mathbf{1} & \boldsymbol{\Omega}+C^{-1}\mathbf{I}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}b\\ \boldsymbol{\alpha}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\ \mathbf{d}\end{bmatrix} \tag{4}$$

where $d=[d_1,d_2,\cdots,d_N]$, $\boldsymbol{\alpha}=[\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_N]$, $\mathbf{1}=[1,\cdots,1]$, $\boldsymbol{\Omega}_{i,j}=K(\mathbf{x}_i,\mathbf{x}_j)=\boldsymbol{\phi}^T(\mathbf{x}_i)\boldsymbol{\phi}(\mathbf{x}_i)$

식 (4)에서 $K(\mathbf{x}_i,\mathbf{x}_j)$는 kernel function이고, $\boldsymbol{\Omega}$는 kernel matrix이다.

식 (4)에서 구한 $\boldsymbol{\alpha}$, b에 의해 구하고자 하는 함수는 다음과 같다.

$$y=\sum_{i=1}^{N}\alpha_i K(\mathbf{x},\mathbf{x}_i)+b \tag{5}$$

[4][5]

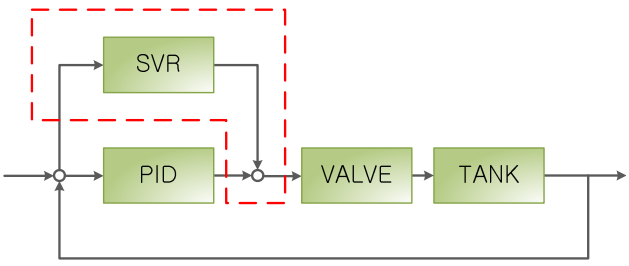
3. PID와 SVR을 이용한 제어기 설계

3.1 제안한 제어기

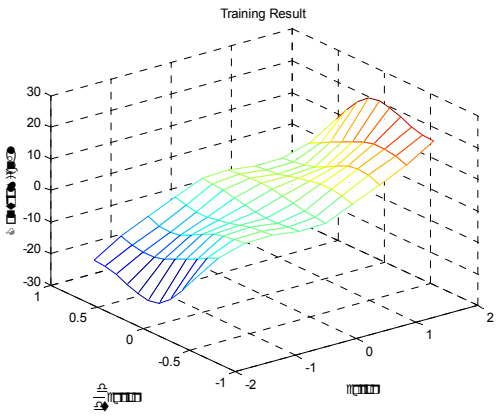
실제 공정에서 Noise 에 민감한 D제어는 거의 사용되지 않는다. 그러나 노이즈가 없을 경우의 D제어는 극히 우수한 성능을 보여준다. 본 연구에서는 공정에서 사용될 수 없는 D제어를 SVR(Support Vector Regression)로 대체하도록 training을 시켜 PID제어를 보완하도록 하는 Fig. 1. 과 같은 제어 구조를 설계하였다.

3.2 Support Vector Regression

Simulation에서 PID제어의 미분 이득을 크게 하여 Percent Over Shoot를 줄인 data를 SVR training data로 사용하였다. 입력 벡터는 error와 그 미분값이며 출력값은 제어 신호이다. 트레이닝 결과는 Fig. 2와 같다.



< Fig. 1. Proposed Control Method >



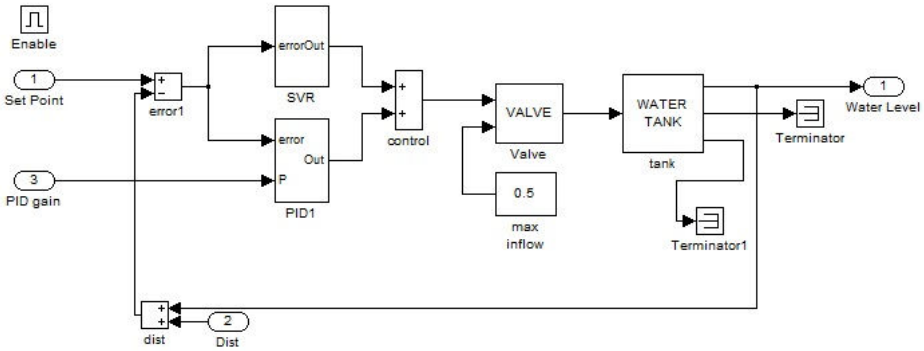
< Fig. 2. Training Result >

4. 시뮬레이션 및 고찰

본 연구에서 사용한 PID gain과 각 gain에 대한 응답특성은 Table (1)과 같다.

< Table 1. Performance Comparisons >

PID Gain			Control Method	%OS (%)	Settling time (sec.)	Rising time (sec.)
P	I	D				
1	0	1	Conventional	0	3.62	1.89
			Proposed	11.5	12.44	2
1	1	1	Conventional	5.4	17.73	1.5
			Proposed	57.4	-	1.33

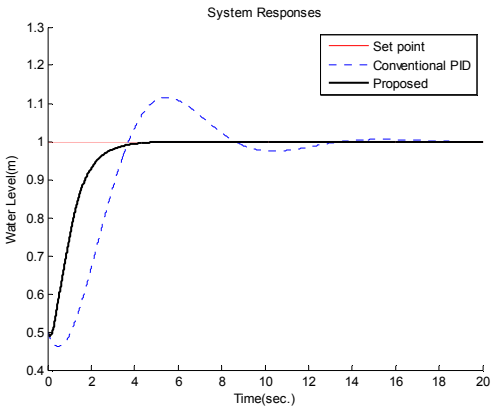


< Fig. 3. Simulation of water level system >

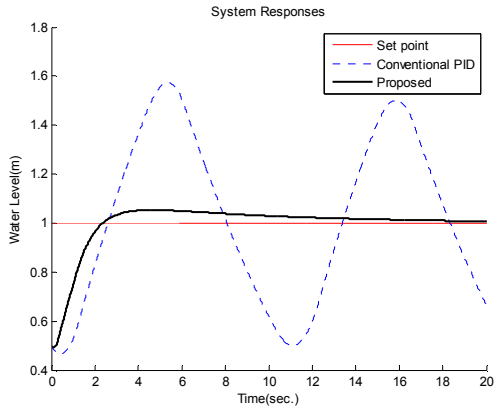
Table 1.에 따른 시스템의 응답특성은 Fig. 4.와 5.와 같이 얻어진다. Fig. 4.의 응답은 Table 1.에서 첫 번째 PID이득에 대한 응답이고, Fig. 5.는 두 번째 PID이득에 대한 응답이다.

Fig. 4.에서 볼 수 있듯이 비교적 안정한 이득에 대하여 기존 PID제어기는 11.5%의 Percent Over Shoot가 존재하고 제안한 제어기 구조는 Over Shoot가 전혀 없다. 제안한 제어기 구조가 수렴하는 시간 역시 약 4배 빠르며, 상승 시간은 비슷한 것으로 나타났다.

제안한 제어기 구조는 Fig. 5에서와 같이 불안정한 이득에 대해서 강점을 보이도록 training 되었다. PID 이득이 불안정한 값을 가질 때의 응답특성을 보면, 기존의 경우 Percent Over Shoot가 57.4%나 되는데 비해 5.4%로 매우 작으며, 기존 PID 제어기는 불안



< Fig. 4. Response [P=1, I=0, D=1] >



< Fig. 5. Response [P=1, I=1, D=1] >

정 이득에 대해 수렴을 하지 못하는데 반해, 제안된 제어기 구조는 수렴을 하는 것을 확인할 수 있다. 상승 시간은 역시 안정된 이득일 때와 비교하여 특별한 차이점은 없다.

5. 결론

본 논문에서는 RO plant에 사용되는 PID제어의 성능 향상을 위해 물탱크를 대상으로 Support Vector Machine 이론을 적용한 제어기 구조를 제안하였다. 제안한 제어기 구조의 성능을 확인하기 위해 Mathwork사의 Simulink에 있는 Water Tank 모델을 사용하여 시뮬레이션 구현을 하였고, 기존 PID제어기보다 개선된 응답특성을 확인할 수 있다. 그러나 본 시뮬레이션에서는 실제 상황에 존재하는 여러 불확실한 요소들이 포함되어 있지 않다. 추후 연구에는 다양한 불확실한 요소들을 포함하는 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 제어기 구조의 성능을 입증할 계획이다.

후기

본 연구는 국토해양부 플랜트기술고도화사업의 연구비지원(C106A15000106A 085700200)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kim, J. S, Kim, J. H., Park, J. M., Park, S. M. and Heo. H., “Auto tuning pid controller based on genetic algorithm for reverse osmosis plant” 4th Asian Conference on Multibody Dynamics(2008).

2. Kim, J. S, Kim, J. H., Park, J. M., Park, S. M., Choi, W. Y. and Heo. H., “Auto tuning pid controller based on improved genetic algorithm for reverse osmosis plant” Proceedings of World Academy of Science, Engineering And Technology. Vol 30(2008).

3. V. Vapnik, "The Nature of Statistical Learning Theory", New-York: Springer-Verlag., (1995)

4. V. Vapnik, "An Overview of Statistical Learning Theory", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 10, No. 5., (1999)

5. J. Valyon and G. Horváth, "A Robust LS-SVM Regression", World Academy of Science, Engineering and Technology 7, 148-153, (2005)

6. B. Schölkopf and A. J. Smola, "Learning with Kernels", MIT Press, (2002)

7. N. S. Nise, "Control Systems Engineering", Wiley, (2003)

8. S. Shen, G. Wang and H. Chen, "Support Vector Machine Based Identification of Inverse Dynamic Model of Thermal System and Its Application", International Conference on Power Engineering, 914-917, (2007)