개선된 PID 제어기를 이용한 RO 공정 제어 성능 Simulation

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

Simulation of RO plant using improved PID controller

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

1. 서론

본 논문에서는 Nonlinear gain을 이용한 새로운 형태의 PID 제어기를 통해 Reverse Osmosis(RO) 공정의 제어성능 개선에 대한 연구 결과를 제시한다. 제안하는 새로운 구조의 PID 제어기는 기존과는 다른 방식의 Integral control로 구성되어 있다. 기존의 PID 제어기는 Nonlinear 효과 또는 Actuator saturation, Unmeasured disturbance의 유입 영향에 의하여 때때로 성능이 저하되는 등의 문제가 발생한다. 이는 일반적으로 기존의 PID 제어기가 고정적인 gain tuning parameters를 사용할 뿐만 아니라 Gain tuning Parameters에 대한 민감도가 매우 높기 때문이다. 이 문제를 해결하기 위하여 제안하는 새로운 형태의 제어구조에는 개선된 Integral control 부분과 Squared deviation 개념을 이용한 Nonlinear gain 부분이 적용되어 있다. 또한 개선된 Integral control 부분은 Error window, Error 발생시간에 대한 Weight function 개념이 서로 융합되어 적용되어 있다. 제안한 제어기의 성능 개선 평가를 위해 Matlab Simulink을 활용하며, 기존의 PID 제어기와의 Simulation 결과를 비교하여 정량적으로 그 우수함을 확인하였다.

2. 개선된 PID Controller의 전체 구조

개선된 PID Control 구조는 새로운 Integral control part와 Nonlinear gain part로 구성되어 있으며 아래의 Fig.1은 이를 도식화 한 것이다.

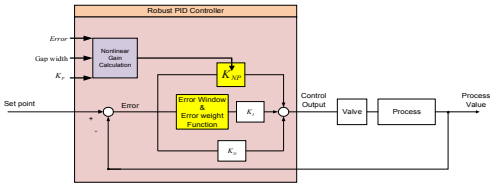

Fig. 1. 개선된 PID Controller 구조

3. 개선된 Integral control part

기존의 Integral controller의 Integral 구간은 0에서 현재의 시간까지를 적분하는 것으로 설

정되어 있으나 개선된 Integral controller의 Integral 구간은 Fig.2와 같이 특정 과거시간에서 부터 현재 시간으로 설정되어있다. 여기서 일정 간격의 시간 구간을 Window라 한다.

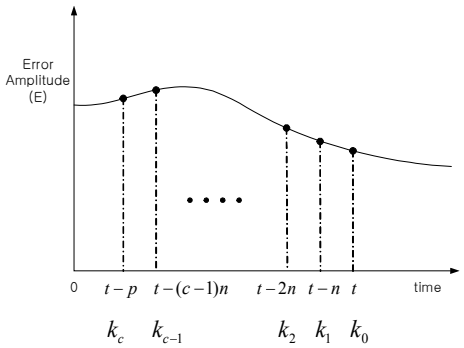

Fig. 2. schematic of new type of integral section

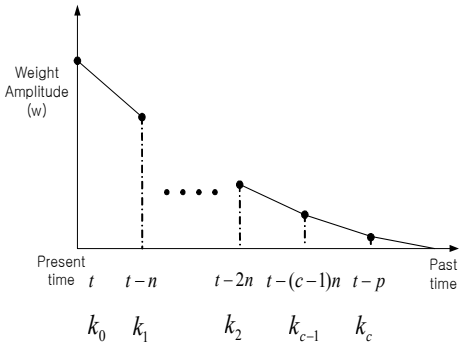

Fig. 3. schematic of weight function in window

Fig.2, 3에서 t는 현재 시간 (sec.), p는 Window size (sec.), n은 Sampling time (sec.), k는 Window element의 Index를 의미한다. Fig.3와 같이 정의된 시간 기반의 Weight function으로부터 Weight 값을 추출한다. 위의 Weight function에 의하면 현재 발생하는 Error가 과거에 발생했던 Error 보다 중요하게 작용한다. 따라서 발생한 Error는 시간이 지날수록 그 효과가 감소하게 된다. Fig.3에 근거해 추출된 Weight 값들은 Window 내 수집된 Error data들에 대하여 발생 시간대 별로 Matching하여 Weight를 적용한 후 각 결과들을 합한다.

4. Nonlinear gain part

Nonlinear gain function은 Set point와 Process variable 사이에 발생하는 편차에 따라 Proportional gain을 변화 시켜 제어한다. Fig.6을 통해 개선된 PID Gain의 Nonlinearity를 확인할 수 있으며, 이 Nonlinearity는 Control output의 변화와 Set point와 Process variable 간의 편차에 의해 형성된다. Nonlinear gain function은 새로운 Proportional gain(K_{NP})을 이용하며 이 값의 변화는 결국 Control Output을 변화 시킨다. 이 새로운 Gain은 Proportional gain(K_p)의 Nonlinearity 조정, 즉 Gap width을 통해 얻을 수 있다. Gap width가 설정되면 K_p에 대한 새로운 Gain인 K_{NP}는 Fig.5와 같은 관계를 통해 결정된다.

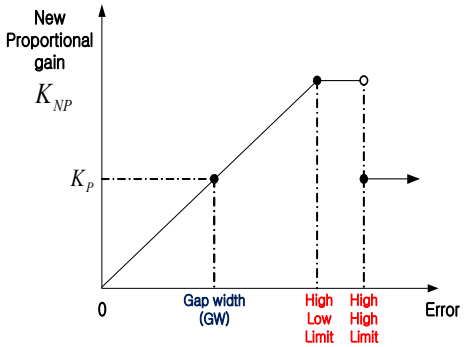

Fig. 5. characteristic of the error vs. new proportional gain (K_{NP})

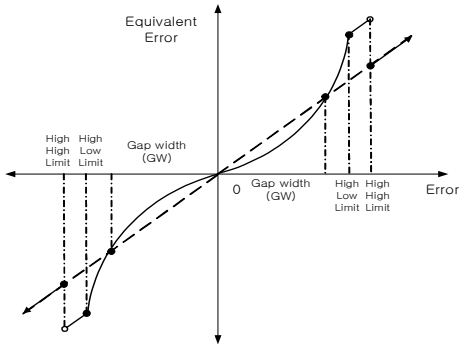

Fig. 6. Nonlinear gain K_{NP} (solid) vs. conventional gain K_P (dash)

5. Simulation 결과

Simulation은 Matlab Simulink를 이용해 수행하였으며, 본 제어기의 성능을 검증하기 위하여 RO 시스템내에서 가장 일반적이고 핵심적인 sub-system인 Tank System을 대상으로 하였는바 이의 설정 값은 Table 1과 같고 기존 PID Controller(PID)와 개선된 PID Controller(NRPID)의 설정 값은 Table 2와 같다.

Table 1. Tank system parameter setting

Parameter(unit)	Value
Height of tank	2
Bottom area(m^2)	1
Out Pipe cross section(m^2)	0.05
Overflow sensor disturbance form top	0

Table 2. Parameter of controllers

Item	NRPID	PID
P gain	1	1
I gain	0.01	0.01
D gain	1	1
Gap width GW	0.005	.
Window size p (sec.)	5	.
Sampling time n (sec.)	1	.
Weight function	$y = \exp^{-1}$	.

위의 Table 1, Table 2를 기반으로 설정 값들을 설정하여 Simulation 한 결과는 아래의 Fig.7, Fig.8와 같다.

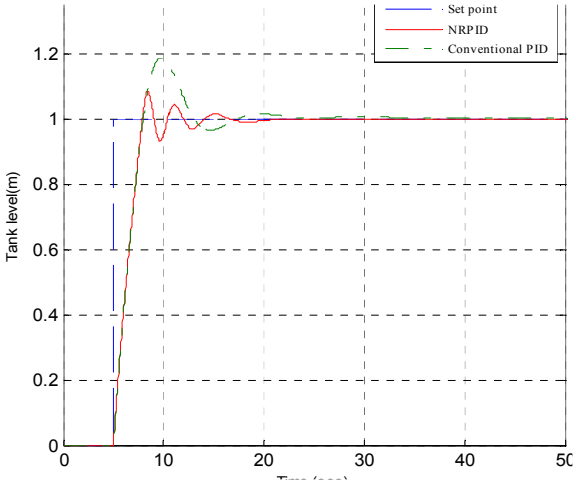

Fig. 7. Step response of NRPID controller vs conventional PID controller

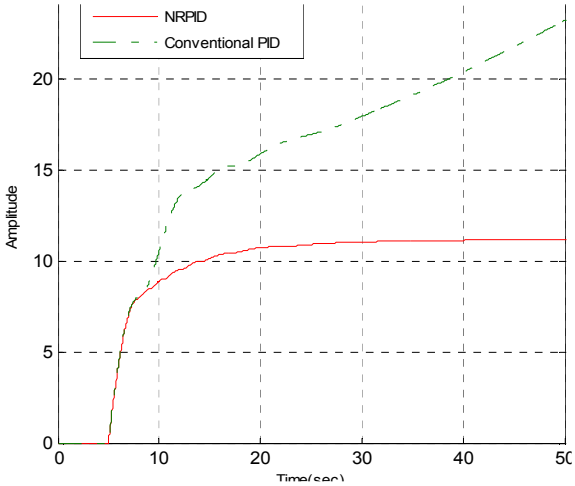

Fig. 8. Integral of Time multiplied by Absolute Error (ITAE) of NRPID controller vs conventional PID controller

위의 두 Simulation 결과를 통해, 기존의 PID Controller(PID) 보다 개선된 PID Controller(NRPID)가 약 10% 정도 Overshoot(%)이 낮고, Settling time은 약 1초정도 빠르게 도달한다. 또한 기존 PID Controller 보다 정상상태 오차 부분이 획기적으로 개선됨을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 Simulation을 통해 System에 외란이 유입될 때 이 영향을 신속하게 제거함에 있어서 기존의 PID Controller 보다 개선된 PID Controller(NRPID)의 성능이 보다 우수함을 확인할 수 있었다. 또한 정상상태 오차 부분도 기존의 Controller 보다 크게 개선

되는 것을 확인하였다. 따라서 위에서 제안한 Controller를 통해 System을 더 안정하게 유지할 수 있으며 그 성능의 우수함을 성공적으로 입증하였다. 향 후 연구로, 본 제어기에 있어서 Frequency domain에서의 안정성 판별과 각 설정 Parameter들의 결정에 대한 방법론에 대한 연구를 진행하고 있다.

후기

본 연구는 국토해양부 플랜트기술고도화사업의 연구비지원(C106A15000106A085700200)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. UNESCO (2004, may 11). Water for - water for life – the united nations world water development report. [Online]. Available: http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/ex_summary/

2. M.S. Mohsen, 0.R AI-Jayyousi, "Brackish water desalination: an alternative for water supply enhancement in Jordan'', Daulinarion, vol.124, p~163-174, Nov.1999

3. A. Maurel, 'Desalination of sea Water and brackish watei', in Proc. Of seminar on water managemen6 strategies in Mediterranean countries

4. Zwe-Lee Gaing, A Particle Swarm Optimization Approach for Optimum Design of PID Controller in AVR System, IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 19, NO. 2, pp.384~391, 2004.

5. 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 Volume 30 July 2008 ISSN 1307-6884.

6. 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

7. Emmanuel L. Moise, Esaw Abraham, Anthony Miologos, "Method for Preventing Windup in PID Controllers Employing Nonlinear Gain", United States Patent Apr.25.2000, Patent Number:6,055,459