이중 탱크의 수위제어 기구를 이용한 Web기반 원격 제어 실험실의 설계 및 구현

홍상은*, 박성무, 김용래, 성정근, 오상열
*순천향대학교 전자정보공학과
e-mail : sehong@sch.ac.kr

Design and Implementaion of Web-based Remote Control Laboratory Using Water-level Control of Coupled Tank Apparatus

Sang-eun Hong, Sung Moo Park, Yong Rae Kim, Jung Kun Sung, Sang Yeol Oh
Dept of Electronic Information Engineering, SoonChunHyang University

요 약

최근의 인터넷환경은 다양한 형태의 가상 및 원격 교육이 가능한 기반을 제공하고 있으며, 대학 및 교육기관에서는 이를 활용한 새로운 교육용 도구의 개발이 활발히 이루어지고 있다.
본 논문은 시공간의 제약 없이 실험을 수행할 수 있도록 하여 학습자들에게 반복 학습이 가능하도록 하였고, 유량제어를 실현 할 수 있는 비선형 시스템의 이중탱크 기구를 이용하여 다양한 제어이론을 실험할 수 있는 웹기반 실험실을 구현하였다.
전체 시스템은 SISO 시스템과 MIMO 시스템을 학습자가 선택하여 실험할 수 있도록 하였다. 유량제어 방식은 수동, PID, FUZZY 제어로 실험할 수 있도록 하여 학습자들에게 여러 가지 제어이론을 다양하게 학습할 수 있도록 구성하였으며, 릴레이 자기 동조법을 구현하여 학습자들로 하여금 PID변수를 확인할수 있도록 하였다. 또한 Web-Cam을 통하여 실험화면을 실시간으로 확인하면서 시뮬레이션을 동시에 실행하여 비교할 수 있도록 구현하였다.

1. 서론

인터넷 환경의 급속한 변화에 따라 다양한 Web기반의 가상 및 원격 실험실의 개발이 활발히 이루어지고 있으나 학교 및 산업 현장에서의 실험 교육용에 알맞은 시스템 개발은 미흡한 실정이다.

제어방식으로 널리 사용되는 PID제어와 퍼지제어 방식은 제어관련 과목에서 여러 가지 시스템에서 다루어지고 있으나, 고가의 장비구축 비용과 시공간적 제약 등의 문제점으로 인하여 실험 장비 및 실험실 확보에 어려움을 겪고 있다.

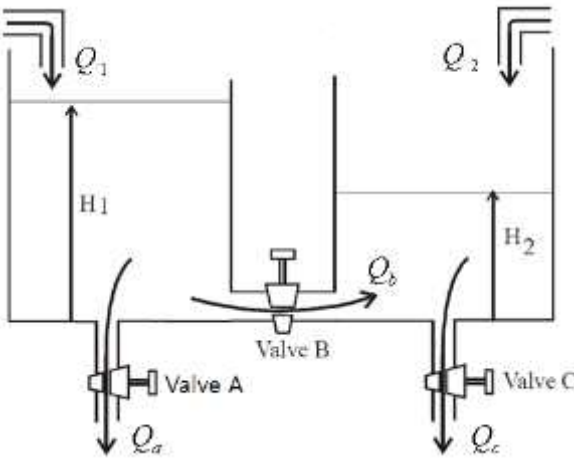
이중 탱크 시스템은 비선형 특성을 가진 시스템으로 이의 수위제어 문제는 제어공학에서 오래 전부터 다루어지고 있는 대상이다. 특히 유체시스템의 제어 방식으로 PID 제어기가 널리 사용되고 있으며, 이밖에도 무모델 제어가 가능한 FUZZY 및 신경회로망, GA(Genetic Algorithm) 등에 의한 다양한 지능제어 기법들도 제안되고 있다.

이에 본 논문에서는 PID제어와 FUZZY제어의 효율적인 교육 훈련에 적합한 Web 기반 원격 제어 실험실 구현을 제안하였다. 제안된 Web 기반 실험실은 이중탱크의 수위제어 기구를 이용하여 시뮬레이션과 원격 제어가 가능하도록 구성하였으며, SISO(Single Input Single Output)과 MIMO(Multi Input Multi Output)로 나누어 실험이 가능하도록 하였다. 또한 릴레이 자기동조법을 사용하여 PID제어변수를 구할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

Web 기반 원격 제어 실험실 구현방향은 소규모의 추가 비용으로 교육의 질을 높이면서도 등록된 학생들이 집에서 언제든지 접속이 가능할 뿐만 아니라 웹 카메라의 도움으로 인터넷을 통하여 실제와 같은 실험을 보다 잘 경험 할 수 있도록 당초 목표한 교육효과의 극대화를 추구하였다.

2. 이중탱크 시스템

이중탱크의 수위제어의 목적은 탱크 내로의 유입량을 부드럽게 변화시키고, 탱크의 수위를 신속 정확하게 목표 수위에 도달시키는 것이다. 그림 1은 본 논문에서 사용된 이중탱크 시스템을 나타낸다.



[그림 1] 이중탱크 시스템

2.1 이중탱크의 구조 및 모델링

이중탱크의 구조는 [그림1]과 같은 구조를 갖으며, 각 밸브는 솔레노이드 밸브로 구성하여 신호를 주어서 단일탱크, SISO 시스템을 갖는 이중탱크, 그리고 MIMO 시스템을 갖는 이중탱크로 변형이 가능하도록 설계하였다. 완성된 이중탱크 시스템은 [그림2]와 같다.

[그림 2] 완성된 이중탱크 시스템

[그림1]에서 1차 탱크의 유입률 Q_1, 2차탱크의 유입률 Q_2, 밸브 A를 통한 유출률을 Q_a, 그리고 밸브 B를 통해 나가는 유출률을 Q_b, 밸브 C에서 빠져나가는 유출률을 Q_c로 정의한다.

탱크의 수학적 모델링을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_i = A\frac{dH}{dt} + Q_o \tag{1}$$

(1)번 식을 바탕으로 1번탱크를 단일탱크로 변형된 탱크에서의 유량 변화율은 다음과 같다.

$$Q_a = C_d a\sqrt{2gH} \tag{2}$$

$$A\frac{dH}{dt} = Q_1 - C_d a\sqrt{2gH} \tag{3}$$

여기서, A : 각 탱크의 단면적 [cm2]
$H_{1,2}$: 각 탱크의 수위 [cm]
a : 밸브와 연결된 단 면적 [cm2]
C_d : 밸브의 유출계수
g : 중력 가속도

이다. 연속의 법칙과 토리첼리 정리에 의해서 식 (3)을 정의 하였다.

이를 토대로 Q1에서만 유입이 되며 Qb를 통해 Qc에서만 유출이 되는 SISO시스템을 갖는 이중탱크의 유량 변화율을 정의 할 수 있는데, 수학적 표현은 다음과 같다.

$$Q_1 = A\frac{dH_1}{dt} + Q_b \tag{4}$$

$$Q_b = C_{db}a_b\sqrt{2g(H_1 - H_2)} \tag{5}$$

$$A\frac{dH_1}{dt} = Q_1 - C_{db}a_b\sqrt{2g(H_1 - H_2)} \tag{6}$$

(6)식은 이중탱크 첫 번째 탱크의 모델링식이며, 두 번째 탱크의 수학적 표현은 다음과 같다.

$$Q_b = A\frac{dH_2}{dt} + Q_c \tag{7}$$

$$Q_c = C_{dc}\cdot a_c\cdot\sqrt{2gH_2} \tag{8}$$

$$A\frac{dH_2}{dt} = Q_b - Q_c \tag{9}$$

(6)식과 (9)식을 토대로 MIMO시스템을 갖는 이중탱크의 유량 변화율을 유도할 수 있다. 유도된 식은 다음과 같다.

$$A\frac{dH_1}{dt} = Q_1 - C_{da}a_a\sqrt{2gH_1} - C_{db}a_b\sqrt{2g(H_1 - H_2)} \tag{10}$$

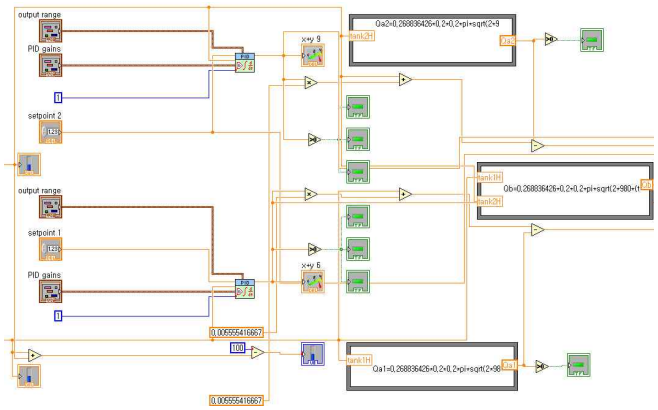
$$A\frac{dH_2}{dt} = Q_2 - C_{dc}a_c\sqrt{2gH_2} + C_{db}a_b\sqrt{2g(H_1 - H_2)} \tag{11}$$

2.2 이중탱크에 대한 수위 제어시스템의 설계

수위 제어 시스템은 수동, PID, FUZZY 세가지 제어를 할 수 있도록 설계하였으며 각 제어방식마다 단일탱크, SISO, MIMO 시스템을 시뮬레이션 및 원격실험이 가능하도록 설계하였다.

2.2.1 PID제어기 설계

본 논문에서는 두가지의 PID제어방식을 구현하였다. 학습자 본인이 직접 PID변수를 조정해 가면서 특성을 확인해 볼 수 있도록 한 방식과, 자기동조를 통한 최적의 PID변수값에서의 실험을 진행할 수 있도록 설계하였다.

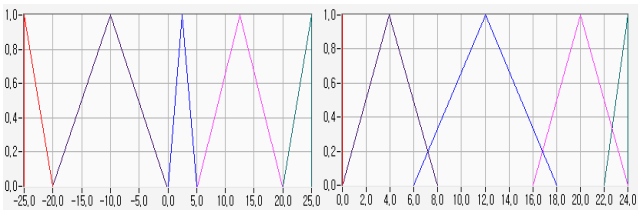


[그림 3] PID제어기 설계 블록다이어그램

[그림3]는 NI사의 LabView프로그램을 사용하여 설계한 PID제어기의 블록다이어그램이다.

2.2.2 FUZZY제어기 설계

다음 [그림4] 맴버쉽 함수를 기반으로 FUZZY제어기를 설계하였다.

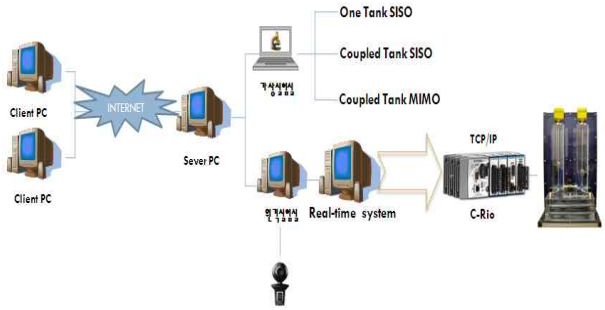


[그림 4] 멤버쉽 함수

전건부의 오차는 설정값과 현재 공정변수의 차로 설정해 주었으며, 두 번째 전건부는 오차의 변화율로 설정해 주었다. 후건부는 출력값이 0일때 싱글톤으로 설정해 주었고, 나머지 출력값은 실험적인 방법으로 설정해 주었으며, 비퍼지화방법으로는 무게중심법을 사용하였다.

3. Web 기반 실험실의 구조

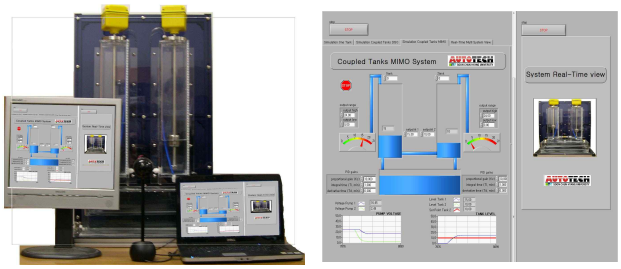
웹기반 제어 실험실은 [그림5]과 같이 웹서버, 가상실험실, 원격실험실로 구성하였다. 웹서버는 학습자가 제어 실험실에 접속하는 경우 탭 기능을 이용해 3개 탭의 가상실험실과 1개 탭의 원격실험실로 구분이 되어 학습자가 선택하여 실험할 수 있도록 하였다. 원격 실험실은 Real-Time System인 cRIO를 TCP/IP로 통신하며 이중탱크를 제어하도록 하였다.



[그림 5] Web기반 원격실험실 구성도

가상실험실은 이중탱크 시스템을 구현하여 PID와 Fuzzy제어기에 대한 이해와 특성을 학습가능 하도록 SISO와 MIMO시스템으로 구성하였다.

원격실험실은 이중탱크 시스템을 웹캠을 사용하여 모니터링하며 원격으로 제어하고 실험하면서 시뮬레이션을 동시에 실행하여 비교할 수 있도록 구현하여 학습의 효과를 극대화 하였다. 완성된 원격실험실의 구조 및 프론트 페널은 [그림6]과 같다.



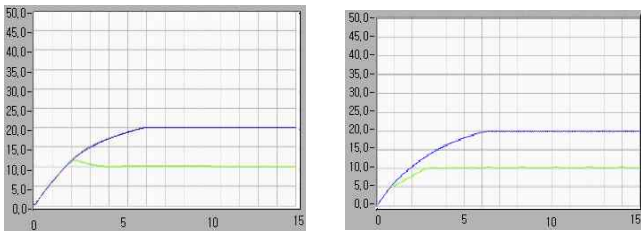
[그림 6] 원격실험실 구조 및 프론트페널

4. 실험결과

본 논문에서는 [표1] 과 같은 시스템의 사양을 갖는 이중탱크를 이용하여 수위제어 실험을 진행하였다. [표1]은 이중탱크 시스템의 사양을 나타낸다.

[표 1] 이중탱크 시스템의 사양

Parameter	Value
Height	50[cm]
Pump Drive Voltage	Max 24[V]
Max Flow-in rate : Q_i	800[cm^3/min]
Orifice Cross Sectional Area : a	0.4[cm]
Discharge coefficient : C	0.268836426
Tank Cross Sectional Area	5000[cm^3]



[그림 7] PID제어와 FUZZY제어 실험결과

[그림7]은 PID제어와 FUZZY제어의 MIMO 시스템일 때의 실험결과이다.

PID제어 시 자기동조를 통하여 PID변수를 조정하여 실험하였으며, 학습자가 설정해주는 PID변수보다 정확히 목표치에 과도응답없이 도달하는 것을 확인할 수 있었으며, FUZZY제어 시 PID제어와 비교하여 목표치에는 더욱 빨리 도달하였지만, 약간의 정상상태 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 PID제어와 FUZZY제어의 효율적인 교육 훈련에 적합한 Web 기반 원격 제어 실험실 구현을 제안하였다. 제안된 Web 기반 원격 제어 실험실은 SISO(Single Input Single Output)와 MIMO(Multi Input Multi Output)로 나누어 여러 상황에서 실험이 가능하도록 하여, 소규모의 추가 비용으로 교육의 질을 높이면서 등록된 학생들이 시공간의 제약 없이 웹 카메라의 도움으로 실제와 같은 실험효과를 얻을 수 있게 되었다.

시뮬레이션과 원격실험을 통하여 PID제어기와 무모델 FUZZY제어기에 대한 학습자들의 이해도를 높일수 있었다. 또한 릴레이 자기동조법을 사용하여 학습자들로 하여금 PID제어 변수에 대한 학습력을 높일 수 있었다.

그러나 PID와 FUZZY제어 만으로는 다양한 제어 이론을 습득할 수 없다. 이에 향후 계획으로는 상태공간이나 유전 알고리즘(GA)등의 제어방식을 추가하여, 좀 더 다양한 제어방식의 실험을 구현하는 것과, 더 나아가 Coupled Tank 시스템이 아닌, Trippled Tank 시스템으로의 보완이 필요하다.

참고문헌

[1]Robin Castle, Elizabeth Mills, Jesse Mills, "Flow Control of Coupled Tanks", ME-MAD-002B, April. 2003.

[2]Anshuman Panda, Hong Wong, Vikram Kapila, Sang-Hoon Lee, "TWO-TANK LIQUID LEVEL CONTROL USING A BASIC STAMP MICROCONTROLLER AND A MATLAB-BASED DATA ACQUISITION AND CONTROL TOOLBOX", American Society for Engineering Education, 2006.

[3]Boonsrimuang P., Numsomran A. and Kanfwanrat S., "Design of PI Controller Using MRAC Techniques For Couple-Tanks Process", World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009.

[4]Muhammad Nasiruddin Mahyuddin, Mohd. Rizal Arshad and Zaharuddin Mohamed, "Simulation of Direct Model Reference Adaptive Control on a Coupled-Tank System using Nonlinear Plant Model", International Conference on Control, Instrumentation and Mechatronics Engineering, Malaysia, May 28-29, 2007

[5]김태우, 이준탁, "이중 탱크 시스템의 정밀 수위 제어를 위한 RVEGA SMC에 관한 연구", Journal of the Korean Institute Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol.13, No.4, pp.102~108, November. 1999.

[6]NARENDRA KUMAR INAMPUDI, "DEVELOPING, IMPLEMENTING, AND ASSESSING COUPLED TANK EXPERIMENTS IN AN UNDERGRADUATE CHEMICAL ENGINEERING CURRICULUM" JULY. 2009.

[7]한얼, 박성무, 홍상은, "산업 자동화 교육훈련을 위한 웹기반 PLC 실험실의 설계 및 구현"한국산학기술학회논문지, pp.101-106, 1월. 2010.