

정풍량 방식의 공조기 1차 가상 플랜트 및 PID계수 자동 동조 제어기의 실시간 제어 시뮬레이션

이 상 석, 이 준 석

에스비티 주식회사, 서울대학교 전기공학부

1. 서론

공간활용의 극대화에 따른 건물의 대형화 및 고밀도화, 지하공간 및 해저공간의 활용으로 실내환경의 최적화가 중요시되며, 공조기 시스템의 필요성이 커지고 있다. 이러한 대형, 고기능의 공조기 시스템과 관련하여 공조기의 자동 제어가 필요하게 되었다.

본 연구에서는 공조기 시스템에서 일반적으로 많이 쓰이는 정풍량 방식의 공조기 시스템을 제어하였다.

공조기 시스템의 제어를 위하여 두 대의 PC를 각각 플랜트와 제어기로 구성하였다.

플랜트에서 발생한 출력 신호를 네트워크를 통하여 또 다른 PC에 전달해 제어기의 입력으로 사용하고, 제어기를 통해서 나온 제어 입력을 네트워크를 통하여 다시 플랜트로 전달한다.

즉, 한 PC가 제어기, 다른 PC가 플랜트가 되도록 구성하였다.

따라서 두 PC간의 실시간 통신을 제공하고, GUI 환경이 뛰어난 CEMTool/SIMTool 상에서 플랜트와 제어기를 설계하였다.

전체적인 플랜트의 특성은 제어대상이 실내의 온도이므로 그 반응의 속도가 무척 느리다.

이 플랜트의 제어 목적은 가변적인 입력을 주어 빠른 시간내에 원하는 온도로 안정적으로 도달할 수 있도록 하는데 있다.

본 논고는 다음과 같은 순서로 이루어져 있다. 제 2장에서는 모델에 대해, 제 3장에서는 모델 윈도우에 대해, 제 4장에서는 제어기 설계에 대해 각각 언급하고, 마지막으로 제 5장에서 결론을 내린다.

2. 모델 설명

다음은 정풍량 방식 공조기의 간단한 구성도이다.

온도 센서 : 실내에서 외부로 나가는 공기의 온도를 측정한다. 보통 실내에 두는 것이 안전적이다.

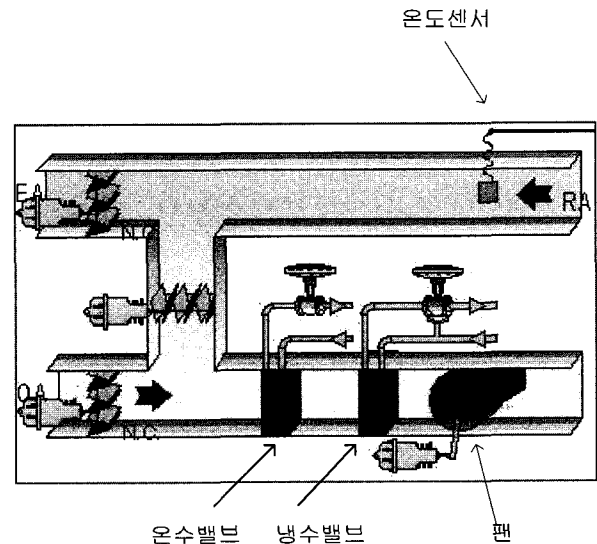


그림 1. 정풍량 방식 공조기.

온수 밸브 : 온수의 양을 조절

냉수 밸브 : 냉수의 양을 조절

팬 : 일정한 속도로 회전하면서 공기를 순환시킨다.

$$\frac{Y}{U} = Kp \frac{e^{-Lps}}{Tps+1}$$

$$(Tps+1)Y = KpU e^{-Lps}$$

$$Tpy + y = Kpu(t-Lp)$$

$$y = -\frac{1}{Tp}y + \frac{Kp}{Tp}u(t-Lp)$$

Kp : 플랜트의 직류이득 (단위 없음)

Lp : 플랜트의 지연시간 (단위: sec)

Tp : 플랜트의 시정수 (단위: sec)

3. 모델 윈도우

시스템 윈도우는, 정풍량 공조기 시스템의 시뮬레이션에 필요한 각종 파라미터들을 설정할 수 있도록 구성하였다. 시스템 윈도우는 그림 2와 같다.

공조기가 설치되는 현장의 크기 및 지역에 따라 구성된 플랜트의 변수들이 바뀔 수 있으므로 플랜트 특성 변경 메뉴를 사용하여 구성되는 플랜트의 직류이득, 시정수, 지연시간을 변경 할 수 있도록

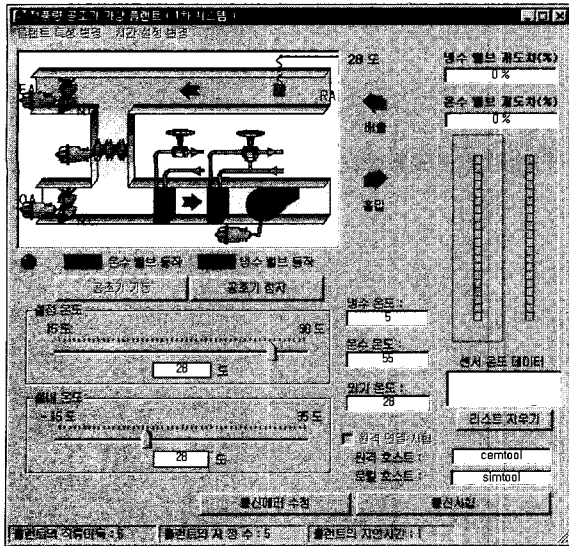


그림 2. 정풍량 공조기 시스템 윈도우.

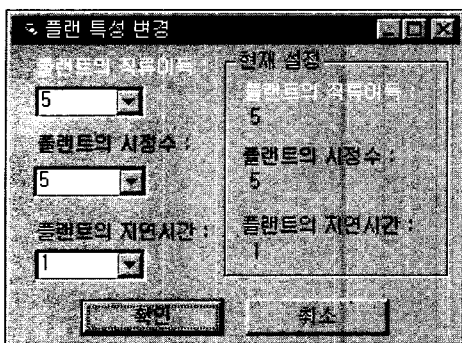


그림 3. 플랜트 특성 입력 윈도우.

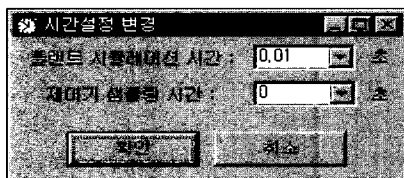


그림 4. 시간 설정 윈도우.

하였으며, 시간 설정 변경 메뉴에서는 제어기의 샘플링 시간 및 플랜트가 변화되는 시간의 간격 (SIMTool에서의 시뮬레이션 시간과 동일)을 설정할 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 도중에 응답이 없을 경우 통신에러 수정을 할 수 있도록 통신에러 수정 버튼을 추가하였다.

4. 제어기 설명

LAN으로 연결되어 플랜트를 제어하는 제어기를 구성한 부분이다. 플랜트의 출력을 샘플링 시간 간격으로 받아 PID 제어를 실행하는데, 이 때 필요한 PID 제어계수를 플랜트의 응답 특성 곡선과(Ziegler-Nichols 동조) 릴레이 입력을 주었을 때의 응답특성 곡선(Relay 자동 동조)을 분석하여 자동으로 설정할 수 있다.

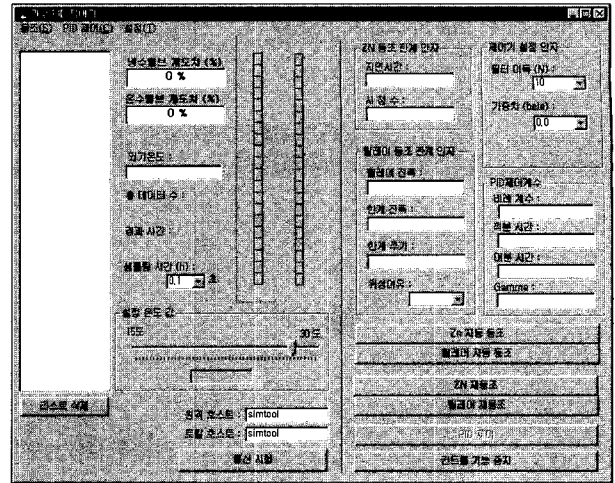


그림 5. 가상 PID제어기.

Ziegler-Nichols 자동 동조나 릴레이 동조를 사용하여 PID 계수를 자동으로 구한 뒤에 PID 제어를 시행하였을 때 플랜트의 응답이 진동이 심한 경우, Ziegler-Nichols 재동조나 릴레이 재동조 버튼을 사용하여 지연시간(Ziegler-Nichols 재동조의 경우)이나 위상여유(릴레이 재동조의 경우)를 재설정하여 PID 제어계수를 다시 구할 수 있다.

4.1 제어기의 설계

응답 속도가 굉장히 느린 플랜트이며 제어에 필요한 변수가 많지 않으므로 PID 제어를 사용하였다. 이 시뮬레이션의 주 목적은 PID 제어에 있다가 보다는 특성을 사용자가 알지 못하는 플랜트에 계단입력을 주어 계단입력에 대한 출력 값이나, 릴레이 입력을 주어 강제로 진동시켜 그때의 출력을 이용하여 자동으로 PID 제어계수를 구하는데 그 목적이 있다. 출력에 대한 PID 제어계수를 구하는 방법은 다음과 같다.

— 자동 동조의 주요수식 —

Zigler-Nichols 동조

- 시정수 : T (출력 그래프에서 정상 상태 값의 90% - 95% 도달 할 때 걸린 시간의 1/4 - 지연 시간)
- 지연시간 : L (출력 그래프에서 정상 상태 값의 5% - 10% 도달 할 때 걸린 시간)
- K_p (비례계수) : $1.2 T/L$
- T_i (적분시간) : $2 L$
- T_d (미분시간) : $L/2$ - 일반적으로 적분시간은 미분시간의 4배(안정적인 1차 플랜트에 사용)

릴레이 자동 동조

- 출력 진동 주기 : T_u

- 출력 진폭 : A_o 로부터 한계이득을 유도
- 한계 이득 : $K_u = 4 A_r / P_i A_o$
(A_r : 계전기 진폭 A_o : 출력 진폭)
- 위상 여유 선정 : P_{im} (위상여유) (30° 에서 80° 사이)
- K_p (비례계수) : $K_u \cos(P_{im})$
- T_i (적분시간) : $T_u / 4 P_i (\tan(P_{im}) + 1 / \cos(P_{im}))$
- T_d (미분시간) : $T_i / 4$
(오버슈트나 진동이 있는 2차 플랜트에 적용)

제어기의 수식

- 병렬형, 필터형, 이산형

$$u_p(k) = K_p e(k) \text{ 혹은 } K_p (\beta r(k) - y(k))$$

(비례입력) u_o : 제어기 초기값

$$u_i(k) = u_i(k-1) + \alpha K_p e(k)$$

(적분입력) $0 \leq \beta \leq 1$: 가중치

$$u_d(k) = \gamma u_d(k-1) - K_p \frac{T_d}{h} (1 - \gamma) (y(k) - y(k-1))$$

(비례입력) $\gamma = \frac{T_d}{T_d + hN}$ N: 필터이득

4.2 모의 실험

위의 방법으로 다음과 같은 특성을 갖는 플랜트를 CEMTool/SIMTool을 이용하여 제어기를 설계하여 2-part 모의 실험을 하였다.

표 1. 플랜트의 특성 값

적류이득(Kg)	시정수(T)	지연시간(L)	샘플링간격(h)	가중치(beta)	필터이득(N)
5	15	1	0.1	0	10

표 2. Ziegler-Nichols 동조를 사용하여 자동으로 구하여진 PID 제어계수

적류이득(Kg)	시정수(Ctime)	지연시간(Dtime)	Kp	Ti	Td	gamma
4.9932	10.9475	1.8100	1.4536	3.6200	0.9050	0.4751

제어계수

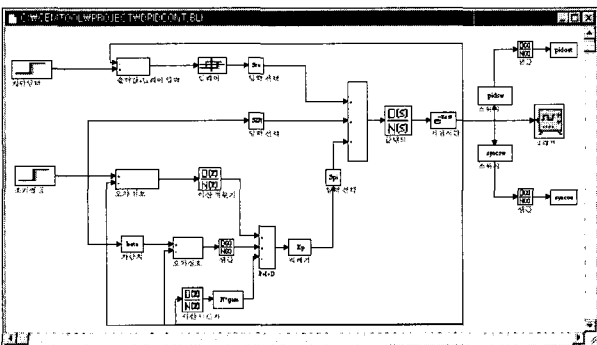


그림 6. SIMTool을 이용한 제어기.

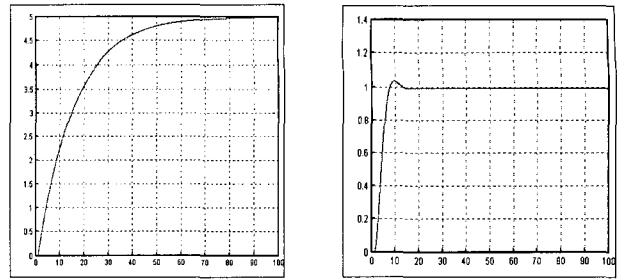


그림 7. 계단 입력을 주었을때의 플랜트의 응답 곡선과 자동으로 구해진 PID제어계수를 사용하여 제어하였을 때의 그래프.

표 3. 릴레이 입력을 주었을 때의 플랜트의 응답 특성으로부터 자동으로 구한 PID 제어계수

진폭(A _o)	한계주기(T _u)	위상여유(Theta)	K _p	T _i	T _d	gamma
0.3142	3.9000	80	0.7036	3.5473	0.8868	0.4700

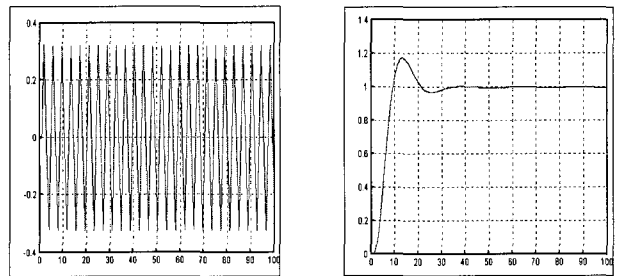


그림 8. 릴레이 입력을 주었을 때의 플랜트의 응답 특성 및 릴레이 자동 동조를 사용하여 계단입력을 주어 PID제어를 하였을 경우의 응답그래프.

결과 : 응답 속도가 매우 느리고 오버슈트가 없는 플랜트라는 특성 때문에 Ziegler-Nichols 자동 동조로 구한 PID 계수로 제어한 실험이 보다 안정적인 응답을 보이는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 정풍량 방식의 공조기를 수학적으로 모델링하고, 이를 기반으로 제어기를 설계하였다. 플랜트와 제어기간의 네트워크를 통한 실시간 제어를 CEMTool/SIMTool을 이용하여 구현하고, 이의 제어 성능을 검증하였다. Ziegler-Nichols 동조와 릴레이 자동 동조를 이용한 제어기의 성능을 비교한 결과, 정풍량 방식의 공조기에서는 Ziegler-Nichols 제어가 보다 견실한 제어가 가능함을 확인하였다.

참고문헌

[1] 황우현, 권욱현, CEMTool을 이용한 제어 시스템의 설계, 대광서림, 1998.

[2] Feedback Control of Dynamic Systems, 3rd ed., Gene F. Franklin, J. David Powell, Abbas Emami-Naeini, 1995.

<연락처>

Email: icrus@newton.hanyang.ac.kr

저자소개

이 상 석(李相奭)

1970년 8월 14일생

1996년 한양대 물리학과(이학사)

1996년 - 1997년 푸른누리

1997년 - 현재 에스비티 주식회사 근무

<관심분야>

- 제어 프로그래밍

이 준 석(李浚碩)

1975년 3월 11일생

1995년 - 현재 서울대학교 전기공학부 학부4년

<관심분야>

- CACSD Tool

- System Programming

<연락처>

Email: joonsok@cisl.snu.ac.kr