

HVAC시스템의 제어에 관한 연구¹⁾ A study on the control of HVAC system

홍 규 장*
박 성 기
송 언 빈
정 찬 수

유니온시스템
숭실대학교
한국건설기술연구원
숭실대학교

Abstract

This paper describes the development and testing of a digital controller for heating ventilating and air-conditioning system.

The controller uses proportional-integral control action and self tunes to provide the Ziegler-Nichols when given a step input.

The algorithm has been simulated fan static pressure.

1. 서론

마이크로-프로세서의 발달로 건물의 공기조화 시스템에도 DDC 방법이 이용되고 있다. 공기조화시스템의 특성은 기후와 빌딩내의 재실자 변화에 따라 변화하여 빌딩내의 쾌적조건 유지 위한 종래의 제어방법으로 공조시스템의 제어는 제어지 파라미터를 조정하는데 많은 시간을 소비하여 에너지낭비와 쾌적조건의 감소 이외에 별브와 같은 구동기에 무리를 가하게 된다.[1]

그러나 공기조화시스템에서도 마이크로-프로

세서를 이용한 DDC 제어기법이 도입되어 제어기의 설계, 설정치 변경 및 고도의 제어 알고리즘이 용이하게 되었다. 또한 제어시스템을 효과적으로 본산시켜 공기조화시스템의 효율을 증가시키면서 실내의 쾌적한 환경유지의 질 향상과 동시에 에너지절감이 가능하게 되었다.[2]

본 연구에서의 공기조화시스템은 1차시간지연의 동적 특성을 가지고 있으므로 DDC 제어기에 이용할 수 있는 제어기법중 비례-적분 제어알고리즘을 적용하고 제어기의 파라미터는 Ziegler-Nicholes의 제어대상을 이용한 기법으로 설계한다. 공기조화시스템의 페루우프 응답특성을 파악하기 위하여 비례-적분(PI), 스미스 예측기(Smith-predictor)를 갖는 비례-적분기와 Gautam-Mutharasan(이하:G-M)알고리즘을 구성하여 모의 실험하였다.

2 제어기의 구성

공기조화시스템의 동적특성은 식(1)과 같다.

[2]

$$K \cdot \exp(-ds) / \tau s + 1 \quad (1)$$

여기서 K : 시스템이득
 d : 시간지연
 τ : 시스템시간상수

시스템의 전달함수에 나타나는 시간지연함수는 페드(Pade)의 2차근사화를 이용한다.[3]

$$\exp(-ds) = \frac{12-6ds+d^2s^2}{12+6ds+d^2s^2} \quad (2)$$

2.1 비례-적분 알고리즘

공기조화시스템에서 비례-적분 제어기는 간헐성과 효율성 때문에 잘 이용되고 있다. 제어기 조정에는 비례-적분상수 및 제어기 샘플링 구간 등이 포함되어 있다.[4]

비례-적분 제어기를 이용한 공기조화시스템의 제어블록도 그림(1)과 같다.

제어기의 전달함수는 식(3)과 같다.

$$U(s) = K_p * [1 + K_i / s] * e(s) \quad (3)$$

여기서 U(s) : 제어신호
 e(s) : 에러신호
 K_p : 비례이득
 K_i : 적분이득

제어기의 파라미터는 Zigler-Nicholes의 제어 대상에 의한 설정조건을 이용하면 식(4)와 같다.

$$K_p = A * \tau / K * d \quad (4)$$

$$T_i = B * d$$

A, B는 응답특성에 따라 좌우된다.

2.2 Smith-Predictor를 갖는 비례-적분제어기

Smith-Predictor를 갖는 비례-적분 제어기의 구조는 그림(2)와 같다. 여기서 G_p(S)exp(-sd_p)는 지연시간을 갖는 제어 대상의 실제전달 함수이며 G_m(S)exp(-sd_m)는 프로세스 모델링 기법에 의해 얻어진 제어 대상의 전달함수다. 즉 전달함수로 G_p(S) * exp(-sd_p)를 갖는 제어계통을 G_m(S) * exp(-sd_m)로 모델링한 것이다.[5]

전체 제어계의 페루우프 전달함수는 식(5)와 같다.

$$Y(s)/R(s) = \quad (5)$$

$$G_c(s) * G_p(s) * \exp(-sd_p)$$

$$1 + G_c(s)G_m(s)[1 - \exp(-sd_m)] + G_c(s)G_p(s)\exp(-sd_p)$$

식(5)에서 G_m(S) * exp(-sd_m)이 G_p(S) * exp(-sd_p)와 같으면 페루우프 전달함수는 식(6)과 같다.

$$Y(s)/R(s) = \frac{G_c(s)G_p(s) * \exp(-sd_p)}{1 + G_c(s) * G_p(s)} \quad (6)$$

식(6)에서 보면 페루우프 전달함수의 특성방정식에서 제거되고 분자항에 나타나므로 이를 블록도로 나타내면 그림(2-1)과 같다.

G_c(s)는 제어기로 제어기의 파라미터는 식(4)를 이용하여 설정한다.

2.3 Gautam-Mutharasan algorithm[7]

Q : d-N*t.이다.

제어 루우프는 설정치 변화에 대해서 조정하므로 부하변화에 대한 시스템의 응답이 좋지않으나 Gautam-Mutharasan 기법은 1차시간지연시스템에서 설정치와 부하변화의 추종성때문에 잘 적용되고 있다.

공기조화시스템에 G-M 알고리즘을 적용하여 제어블록도를 구성하면 그림(3)과 같다.

시스템의 입력과 출력의 관계는 식(7)과 같다.

$$Y(Z)/X(Z) = Z\{Gho(s)*Gp(s)\} \quad (7)$$

여기서 Gho(s) = Zero-order hold

$$= 1 - \exp(s)/s$$

Gp(s) = Process 전달함수

식(7)을 Z변화하면 식(8)과 같다.

$$Y(Z)/X(z) = \quad (8)$$

$$\frac{K*Z^{-(N+1)}(1-e^{-MT/\tau}) + K*Z^{-(N+2)}(e^{-MT/\tau} - e^{-T/\tau})}{1 + \exp(-T/\tau)}$$

$$1 + \exp(-T/\tau)$$

식(8)을 시스템에 입-출력 관계로 변환하면 다음과 같다

$$Y_k = e^{-T/\tau} Y_{k-1} + K\{(1 - e^{-MT/\tau})X_{k-(N+1)} + (e^{-MT/\tau} - e^{-T/\tau})X_{k-(N+2)}\} \quad (9)$$

여기서 K : 샘플링 시간

N : int(d/t)의 정수

■ : 1-Q

$$X_{k-(N+1)} = \{A_3/K_p(A_3 - A_2)\}Y_k - \{A_2A_3/K(A_3 - A_2)\}Y_{k-1} = \{A_2(1 - A_3)/(A_3 - A_2)\}X_{k-(N+1)} \quad (10)$$

여기서 $A_2 : \exp(-T/\tau)$

$A_3 : \exp(-b*T/\tau)$ 이다.

$X_{k-(N+2)}$ 는 반복적으로 식(10)을 이용한다.

외란이 시스템에 가해지므로 다음과 같다.

$$X_{k-(N+1)} = L_{k-(N+1)} + M_{k-(N+1)} \quad (11)$$

조작량은 식(11)을 이용하면 다음과 같다.

$$M_k = Y_{set}/K - L_{k-(N+1)} \quad (12)$$

3. 모의 실험 및 결과

본 연구에서는 공기조화시스템 중에서 Fan시스템의 정압제어 모델을 고찰한 제어기를 구성하여 모의 실험하였다.

제어모델의 전달함수와 이득값은 식(13)과 같다.

$$1.04 \exp(-0.58s) / 0.72s + 1 \quad (13)$$

식(13)은 Runge-Kutta 4차기법을 이용하고, 단위 계단 입력에 대한 게루우프에서의 응답은 그림(4)와 같다.

시스템의 제어기는 비례-적분기로, 게루우프는 비례-적분, 스미스 예측기를 갖는 제어기 및 G-M

알고리즘으로 구성하였다.

비례-적분 및 스미스예측기를 갖는 제어기의 이득값은 경험적법칙에 의해 각각 비례이득1.07, 적분이득 1.92로 설정하였다.

새가지 제어알고리즘에 대한 단위계단입력에 대한 응답특성은 그림(5)와 같고, 설정치의 변화에 대한 응답특성은 그림(6)과 같다.

위 결과를 보면 비례-적분 제어기에서는 응답특성은 빠르지만 시스템 및 제어밸브와 같은 구동기의 동작에 무리가 발생한다.

스미스 예측기를 갖는 제어기는 초과량이 적은 반면 시스템의 안정시간이 길어진다.

G-M제어기법에는 시스템의 응답성 및 안정시간 등이 두가지 제어기법보다 우수하고 시스템 및 구동기의 동작이 양호하고 에너지절약 및 시스템의 보호 측면에서 기대된다.

4. 결 론

건물에서 공기조화시스템에 사용되는 에너지는 그건물 전에너지 사용량의 1/3을 사용하므로 본 연구에서는 공기조화시스템의 운전항상을 위해서 공기조화시스템의 DDC 제어기에 구성할 수 있는 제어기법에 대해서 고찰하였다.

구성된 제어기법에서 공기조화시스템의 출력특성은 G-M기법이 우수하고 에너지 절약 측면에서 용이 할 것으로 기대되며 앞으로 본연구의 계속된 과제는 공기조화시스템의 운전효율의 향상 및 에너지 절약측면에서 다양한 제어기법에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. Thomas Hartman, PE
"Dynamic control: a new approach."
Heating/piping/Air conditioning. April 1988
2. M J Pinnella E. Wechselberger
"Self-tuning Digital Integral control."
ASHRAE Trans. 1989
3. Y.Nishikawa, N, Sannomiya.
"A Method For Auto-tuning of PID control Parameters." IFAC 1981
4. C.G Nesler
"Automated controller tuning for HVAC Applications." ASHRAE Trans 1989
5. DONNA M. Schnelder
"Control of Process with Time Delay."
IEEE Trans on Industry Application
Vol 24. No2. March/April. 1988
6. Karl John Astrom, Tore Haggland.
"Automatic Tuning of PID Controllers."
7. Pradeep. B. Deshpande, Raymond H.Ash
"Computer Process Control."

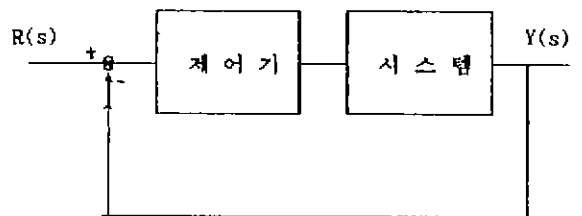
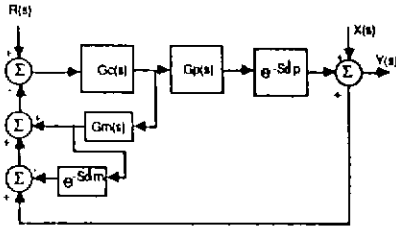


그림 1) 비례-적분 제어기



- $G_c(s)$: 제어기의 전달함수
 - $G_p(s)$: 공기조화시스템전달함수
 - $G_m(s)$: 공기조화시스템모델의 전달함수
 - $R(s)$: 설정치
 - $Y(s)$: 출력
 - d_p : 공기조화시스템의시간지연
 - d_m : 모델의 시간지연
- 그림 2) 스미스예측기를 갖는 제어기

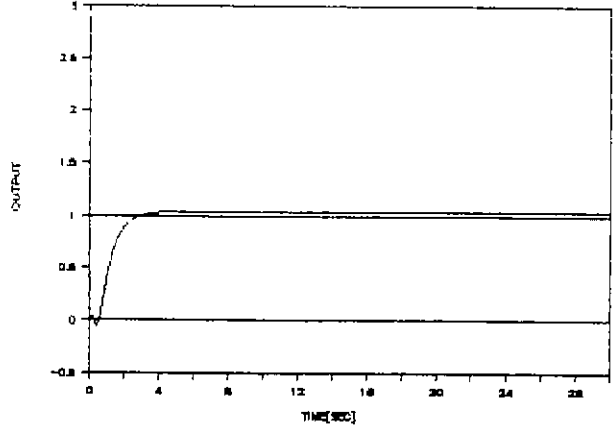


그림 4) 시스템의 응답특성

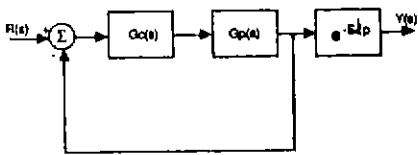


그림 2-1) 스미스예측기를 갖는 제어기

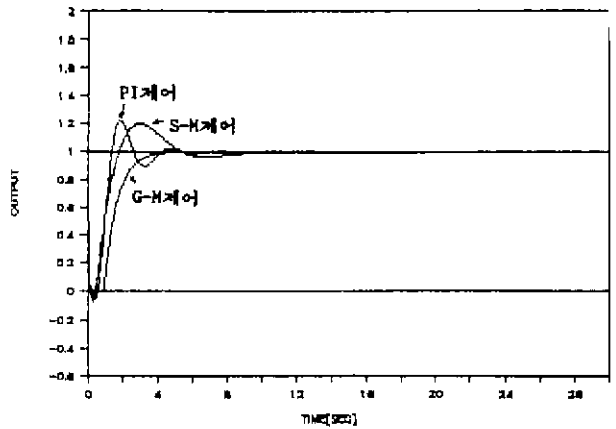


그림 5) 단위계단입력에 의한 시스템의 추종성

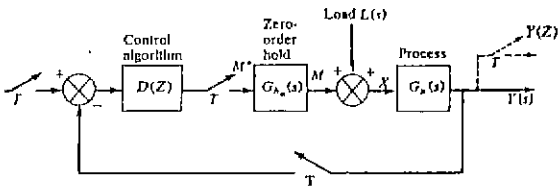


그림 3) G-M 제어기

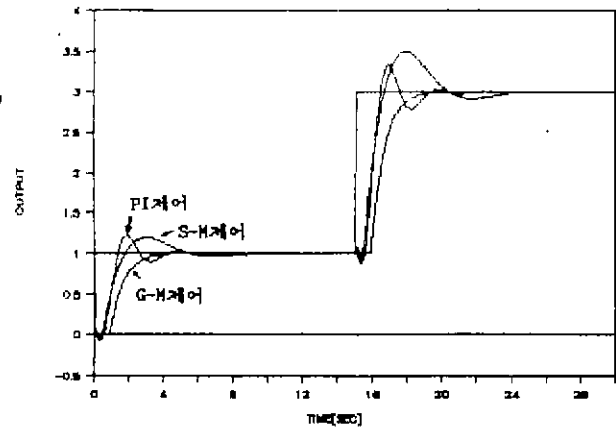


그림 6) 계단입력변화에 대한 시스템의 추종성