

디지털 적응제어 시스템 해석을 위한 마이크로컴퓨터 지원설계

주해호 조충래
영남대학교 공과대학 기계설계공학과

Microcomputer - Aided Design for A Digital Adaptive Control System

Heaho Joo Choongrae Cho
Department of Mechanical Design Yeungnam University

Abstract

In this study a microcomputer-aided design program has been developed to design and analysis for the digital adaptive control system. DACS(Digital Adaptive Control System) program has been written in GWBASIC language which is suitable for IBM-PC compatible. The dynamics of each element was modularized and described by linear difference equations. By the aid of this program, sampling time, the number of bits of A/D and D/A converter and the stability for the digital adaptive control system can be determined. In order to estimate the system parameters an on-line identification and a regression analysis method are utilized. The simulation results have been well agreed with the experiments. To demonstrate the utility of this program, an adaptive control system has been designed for air-heating system.

1. 서 론

제품의 고급화, 정밀화, 생산성의 향상, 효율 증대 및 원가 절감이 요구되는 현대의 산업 사회에서 컴퓨터를 이용한 온-라인 제어장치가 공정제어 시스템에 차지하고 있는 비중이 점점 더 증가되고 있다. 일반적으로 공기온도를 제어하는 공기 조화 시스템에서 공기온도를 정확하게 제어한다는 것은 에너지 효율을 높이고 조업의 안정성과 경제성을 향상시킨다는 의미가 있다. 예를들면 용량이크고 고온고압인 증기 원동소(steam power plant)의 보일러 연소 장치에 있는 공기 예열기의 공기량과 주위 환경에 따라 변하는 공기 온도를 적절히 제어함으로써 연료 절감및 점화 조건을 향상시키며, 완전연소로 배기가스에 의한 대기오염을 방지할 수 있고 연소 효율을 증가시킬수있다. 대부분 공기온도를 제어하는 시스템들은 시스템의 입력 및 외부란이 작용할 때 얼마간의 지연시간을 갖고, 시스템 동특성이 외부 조건에 따라 변화하는경우에 하나의 고정된 수학적 모형으로 표현하기는 어렵다. 디지털이나 아날로그 제어를 설계할 경우 제어 할 시스템의 동적특성에 크게 영향을 받기 때문에 시스템의 파라메타를 잘 모를경우나, 시스템의 동적 특성이 시간에 따라 변화할때, 재래식 방법으로는 적절한 제어기 파라메타를 결정하기가 어렵다[1]. 이런 경우에 적응 메카니즘을 이용하여 시스템의 동특성이 변하는 경우, 그러한

변화에 적응시키는 제어방법인 온-라인 추정(on-line identification)으로 시스템 파라메타를 추정하고 그 추정된 파라메타로 부터 제어기 파라메타를 조정할수있는 디지털 적응제어 시스템이 요구되고 있다. 본 연구에서는 이러한 디지털 적응제어 시스템을 해석하고 설계하는데 필요한 도구의 역할을 하는 지원설계 프로그램(DACS)을 개발하였고, 시뮬레이션 기법을 제시하였다.

컴퓨터 시뮬레이션은 실험을 직접 실험하지 않고 수학적 모형을 만들어 수치해석법에 의하여 컴퓨터가 풀이 해주므로써 실험을 대신하여, 시스템을 해석하고 설계하는데 상당한 시간의 절약과 비용의 절감, 계산의 신속성, 정확성등의 장점이 있다[2]. 따라서 컴퓨터 지원설계 프로그램을 이용하면 신속 정확하고 값싸게 실험을 대응할 수 있는 장점이 있다.

시뮬레이션 기법은 제어시스템을 구성하고 있는 각 요소별로 모듈(module)화 시켜, 입력과 출력의 동특성을 알수있도록 각 요소의 시스템 방정식을 차분 방정식으로 표시하여 각 요소의 반응을 알수있도록 하였다. 이 프로그램은 IBM-PC 호환 기종에 사용되는 GWBASIC 언어를 사용하였고, 프로그램 방식은 사용자와의 대화 형식으로 구성하였으며, 사용자가 임의로 시스템 각 요소의 전달함수를 대지할 수 있도록 각 요소별로 모듈(module)화 시켜놓았다.

개발한 DACS 프로그램을 사용하여 공기 예열 시스템에 대한 디지털 적응제어 시스템을 설계하였다. 공기에열 시스템은 원심 송풍기에 의해 대기로 부터 공기를 유입하여 히터 그리드(heater grid)를 지나 긴류우브를 통하여 대기로 유출된다. 류우브를 따라 흐르는 공기량은 원심 송풍기 위에 부착된 덮개로 수동적으로 조절할 수 있고, 류우브 속에 흐르는 공기온도는 히터 그리드로부터 류우브 끝까지 삼등분된 지점에 온도 센서를 설치하여 공기량에 따른 류우브 중심 부분에 흐르는 공기 온도를 감지하도록 되어있다. DACS 프로그램에서 실제와 같은 공기 예열 시스템의 파라메타(시스템 시정수와 이득값)를 얻기 위해서 온-라인 추정방법[3]을 적용하였고, 공기 예열 시스템의 송풍기 덮개 각도, 센서위치,외부온도에 따라 시스템 파라메타가 변화하므로 이 변수들의 합수 관계를 회귀 분석법(regression analysis)[4]을 적용하여 유도하였다. 그 관계식을 다원 회귀 방정식(multidimensional regression equation)으로 표시하여 시뮬레이션 상에서 주어진 조건에 따라 시스템의 시정수와 이득값을 구하도록 하였다. 이 DACS 프로그램으로 해석할 수 있는 범위는 다음과 같다. 1)제어 알고리즘 선택, 2)A/D 및 D/A 변환기의 비트 수 결정, 3)샘플링 시간 결정, 4)각 요소의 동특성 분석, 5)제어

시스템의 안정성 검토이다 [5]. 여러가지 제어 알고리즘을 설계하여 시스템에 적용시켜 그 결과를 시뮬레이션 해봄으로써 제어 목적에 적합한 제어 알고리즘을 결정할 수 있다. 신호 변환기인 A/D 및 D/A 변환기의 비트수는 시스템의 시간 반응의 정확도에 영향을 미치므로 설계 목적에 따라 선택할 수 있다. 비트수가 많을수록 제품의 값이 비싸지므로 필요 이상으로 비트수를 높일 필요가 없다. 디지털 적응제어 시스템에서 샘플링 시간이 길면 반응의 안정성 및 파라메타 추정 정확도에 미치는 영향이 크므로 샘플링 시간을 결정하는 것이 중요하며, 만약 제어 시스템이 지연 시간을 갖는다면 이 지연 시간이 시스템의 시간 반응에 어떤 영향을 미치는가를 분석할 수 있고, 각 요소의 동특성과 전체 시스템의 안정성은 시뮬레이션 결과로 판단 내릴 수 있다. 이 프로그램의 사용 범위는 지연 시간을 갖는 단일 입력-단일 출력(SISO) 시스템에 국한되며 시간 영역에서의 해석만을 취급하였다. 본 연구에서는 편의상 일차 시스템 모델을 취급하였지만 설계자가 시스템 모델을 다른 모델로 대치시키면 원하는 시스템 시뮬레이션이 가능하다.

2. 디지털 적응제어 시스템 구성

일반적으로 디지털 적응제어 시스템은 제어기 및 파라메타 추정자(parameter estimator)와 조정 메카니즘(adjustment mechanism)으로 구성된 적응 메카니즘(adaptive mechanism)의 연산 역할을 하는 마이크로컴퓨터, 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환시켜 주는 D/A 변환기와 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환시켜주는 A/D 변환기, 제어 대상인 시스템, 시스템 출력 신호를 귀환(feedback)시켜주는 센서와 그의 전치 증폭기(pre-amplifier)로 구성되어 있다. 디지털 적응제어 시스템의 전체 블록 선도는 Fig.1과 같다.

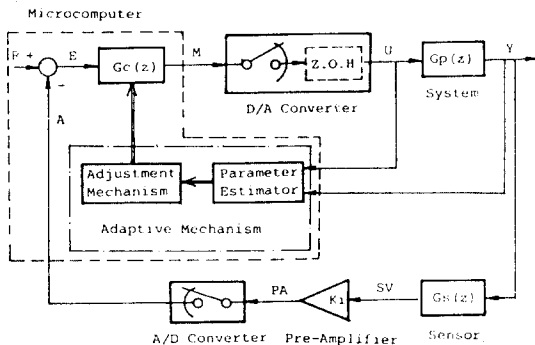


Fig.1 Digital Adaptive Control System Block Diagram

3. 적응제어 시스템 모델링

디지털 적응제어 시스템을 시뮬레이션 하기 위하여 Fig.1의 각 블록에 대한 시스템 방정식을 차분 방정식으로 표시하면 다음과 같다.

(1) 시스템

여기서는 지연 시간을 갖는 일차 시스템으로 가정하였다. 일반적으로 공기에열 시스템을 집중 파라메타(lumped parameter) 시스템으로 모델링하면 일차 시스템으로 표시된다. 사용자의 요구에 따라서 시스템의 방정식을 대치할 수 있다.

$$Y(k) = \exp(-T/TP) * Y(k-1) + KP * [(1 - \exp(-T/TP)) * U(k-(d+1)) + (\exp(-T/TP) - \exp(-m*T/TP)) * U(k-(d+2))] \quad (1)$$

여기서 Y(k)는 k번째 시스템 출력, U(k-(d+1))는 k-(d+1)번째 D/A 변환기 출력, TP는 시스템의 시정수, KP는 시스템의 이득, T는 샘플링 시간, TD는 시스템의 지연 시간, d는 샘플 구간에서 시간 지연 상수, m은 $1 - (TD - D * T) / T$ 로 정의한다.

(2) 온도 센서

온도 센서의 동특성은 일차 시스템으로 가정하였다.

$$SV(k) = \exp(-T/TS) * SV(k-1) + KS * Y(k) \quad (2)$$

여기서 SV(k)는 k번째 귀환 센서의 출력, KS는 귀환 센서의 이득, TS는 귀환 센서의 시정수이다.

(3) 전치 증폭기

전치 증폭기의 전달함수는 일반적으로 상수로 표시된다.

$$PA(k) = KI * SV(k) \quad (3)$$

여기서 PA(k)는 k번째 전치 증폭기의 출력, KI는 전치 증폭기의 이득이다.

(4) A/D 변환기

A/D 변환기는 Unipolar 형으로 비트수를 임의로 선택할 수 있다.

$$AD(k) = (2^n - 1) * PA(k) / IMAXV \quad (4)$$

여기서 AD(k)는 k번째 A/D 변환기 출력, n는 A/D 변환기의 비트수, IMAXV는 A/D 변환기의 사양 입력 전압이다.

(5) 제어 알고리즘

여기서 사용한 제어 방식은 Increased order deadbeat 제어 알고리즘을 채택하였다. 이 알고리즘의 차분 방정식은 식(5)와 같다.

$$M(k) = M(k-(d+1)) * P1 + M(k-(d+2)) * P2 + e(k) * Q0 + e(k-1) * Q1 + e(k-2) * Q2 \quad (5)$$

여기서 M(k)는 k번째 제어기의 출력, e(k)는 k번째 이산지 오차, P1, P2, Q0, Q1, Q2는 제어 상수들이고, 조정 메카니즘에서 결정되는 상수들이다.

(6) D/A 변환기

D/A 변환기는 Unipolar 형으로 비트수는 임의로 선택할 수 있다.

$$U(k) = OMAXV * M(k) / (2^n - 1) \quad (6)$$

여기서 U(k)는 k번째 D/A 변환기 출력, n는 D/A 변환기의 비트수, OMAXV는 D/A 변환기의 사양 출력 전압이다.

(7) 파라메타 추정자

여기서는 시스템 모델 차수가 일차이고 지연 시간을 갖는 시스템의 파라메타를 추정하기 위하여 반복 최소 자승 알고리즘을 사용하였다. 반복 최소 자승 알고리즘은 다음과 같다.

$$\hat{\Theta}(k) = \hat{\Theta}(k-1) + \underline{L}(k) * [Y(k) - \underline{L}^T(k) * \hat{\Theta}(k-1)] \quad (7)$$

$$\Theta^T(k) = [A1(k), B1(k)] \quad \text{-----}(8)$$

$$\underline{R}^T(k) = [-Y(k-1), U(k-d+1)] \quad \text{-----}(9)$$

$$\underline{L}(k) = \frac{\underline{P}(k) * \underline{R}(k) / \underline{R}(k) * \underline{P}(k) * \underline{R}^T(k)}{+ \gamma} \quad \text{-----}(10)$$

$$\underline{P}(k+1) = [\underline{I} - \underline{L}(k) * \underline{R}^T(k)] * \underline{P}(k) \quad \text{---}(11)$$

$$\underline{P}(0) = \alpha * \underline{I} \quad \text{-----}(12)$$

여기서 $\Theta(k)$ 는 k번째 추정된 시스템 파라메타 벡터, $\underline{R}(k)$ 는 k번째 시스템 입력과 출력 데이터 벡터, \underline{I} 는 단위 행렬, $A1(k), B1(k)$ 는 k번째 시스템 파라메타 추정값, $Y(k)$ 는 k번째 시스템 출력값, $U(k)$ 는 k번째 시스템 입력값, $L(k)$ 는 수정 벡터, $\Theta(0)$ 와 $\underline{P}(0)$ 는 0보다 큰 값으로 사용자가 선택한다. 여기서 $\Theta(0)$ 는 시스템 파라메타 초기값, 여러가지 수치의 α 값과 γ 값을 선정하여 파라메타를 추정한 결과, α 값은 10000, γ 값은 1이 가장 실제 시스템의 파라메타와 가까웠기 때문에 이 수치를 선택했다.

(8) 조정 메카니즘

Increased order deadbeat 제어 알고리즘의 제어 상수를 결정하는 메카니즘이며, 식(13)에서 식(17)까지는 제어 알고리즘 설계에서 유도된 식들이고 이식으로 부터 제어 상수가 결정된다.

$$Q0 = 1 / ((1 - A1(k)) * B1(k)) \quad \text{----}(13)$$

$$Q1 = Q0 * (A1(k) - 1) + 1 / B1(k) \quad \text{----}(14)$$

$$Q2 = Q0 * -A1(k) + B1(k) / A1(k) \quad \text{----}(15)$$

$$P1 = Q0 * B1(k) \quad \text{----}(16)$$

$$P2 = Q0 * (-B1(k)) + 1 \quad \text{----}(17)$$

여기서 $A1(k), B1(k)$ 는 k번째 시스템 파라메타 추정값, $Q0, Q1, Q2, P1, P2$ 는 제어 상수이다.

3.9 시스템 초기 파라메타 결정

초기 상태에서 시스템의 파라메타를 모르기 때문에 초기 파라메타를 결정하기 위하여 송풍기 덮개 각도를 고정시키고 외부 온도와 센서 위치를 변화시키면서 실험을 통하여 온-라인 추정 방법으로 각각의 조건에 따라 시스템의 시정수와 이득값을 결정한다. 측정된 값으로부터 시정수를 송풍기 덮개 각도에 따른 외부 온도와 센서 위치와의 함수관계로 수식으로 표시하기 위하여 회귀 분석법으로 구하면 식(18)과 같다. 이득값도 같은 방법으로 구하면 식(19)와 같다.

$$TP = A + B * SP + C * ST + D * SP * ST \quad (18)$$

$$KP = A + B * SP + C * ST + D * SP * ST \quad (19)$$

여기서 TP는 시정수이고, KP는 이득값이다. ST는 외부 온도이고, SP는 센서 위치에 따라 정수로 표시하였는데, 위치가 히터 그리드로부터 28mm 떨어진 경우를 SP=1로 하고, 140mm인 경우 SP=2, 279mm인 경우 SP=3으로 대입하면 된다. 위 방정식의 계수 A, B, C, D 값은 Table 1 과 같다.

Table 1 Numerical value of coefficients

Blower shutter angle [°]	TP (Eq. 18)				KP (Eq. 19)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
10	5.680	-1.724	-0.125	0.105	5.188	-0.827	-0.094	0.020
30	2.523	-0.604	-7.7E-6	.0635	2.639	-0.558	-0.034	0.015
60	0.630	+1.857	-0.067	-0.054	3.679	-1.144	-0.107	0.044
90	3.233	-0.234	-0.0535	0.028	1.175	-0.232	-0.019	0.001
120	3.331	-1.313	-0.0800	0.082	0.788	-0.030	-0.007	0.001
160	9.571	-2.577	.35318	0.147	0.520	0.031	0.001	-0.002

4. DACS 지원설계 프로그램

(1) 프로그램의 구성

디지털 적응제어 시스템을 구성하고 있는 각 요소별로 입력과 출력 관계를 선형 차분 방정식으로 표시하여 매 샘플링 시간마다 각 요소의 입출력값을 계산하도록 하였고 각 요소의 동특성을 쉽게 분석할 수 있도록 각 요소를 모듈화 시켰다. 모듈별로 표시한 전체 시스템의 시물레이션 블럭 선도는 Fig.2와 같다. Fig.2에서 각 모듈은 프로그램 DACS에서 서브루틴(Subroutine)으로 작성하여 사용자가 임의로 모듈의 서브루틴을 바꿀 수 있도록 하였다. DACS 프로그램 실행시 생성되는 모든 입출력 데이터를 저장하기 위한 데이터 파일과 시물레이션 결과물 그래픽으로 볼 수 있게 해주는 GRAPH 프로그램으로 구성 하였다.

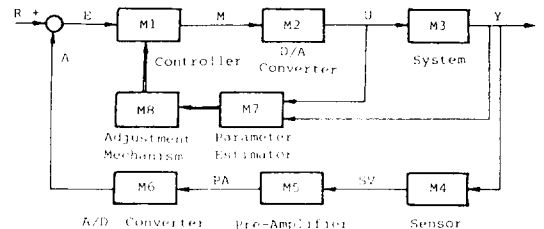


Fig.2 A module block diagram for simulation

(2) 프로그램 논리 흐름도

컴퓨터에 전원을 넣고 프로그램 DACS를 디스켓으로 부터 읽어들이 실행하면 화면에 입력 자료가 요구된다. 입력 자료들은 바로 디스켓에 저장된 다음, 입력된 데이터의 의해 시스템 파라메타가 결정되고 각 변수들의 초기치를 계산한다. 이산 시간 k=0에서 오차를 계산하고 제어 알고리즘으로 부터 조작변수가 계산된다. 이 변수는 D/A 변환기를 거쳐 시스템 입력으로 작용한다. 시스템의 반응은 관한 센서에 의하여 측정되어 전치 증폭기를 거쳐 A/D 변환기로 전달된다. 이산 시간 k=0에서 시스템 입력과 출력 데이터로 부터 파라메타 추정자에 의해 시스템 파라메타를 추정하고, 이 추정된 파라메타는 조정 메카니즘에서 새로운 제어 상수를 계산하여 제어 알고리즘에 입력되어 조작 변수가 결정되고, 각 요소의 출력값을 프린트한다. 이산 시간이 시스템 동적 특성 변경 시간과 비교하여 변경 시간이 아니면 이미 선택한 시스템 동적 특성이 유지되고 다음의 샘플링 시간에서 다시 오차를 계산하는 순서로 돌아간다. 만약 이산 시간이 시스템 동적 특성 변경 시간이 되면 이미 선택한 데이터에 의해 시스템 동적 특성이 결정되고 최종 시간과 비교하여 최종 시간이 아니면 다음의 샘플링 시간에서 다시 오차를 계산하는 순서로 되돌아 간다. 이산 시간이 최종 시간에 도달하면 그 동안의 각 요소별로 입출력 자료를 데이터 파일에 저장한다. 다음에 그래픽을 원하는지는 질문이 나오고, 그래픽을 원하면 GRAPH 프로그램이 실행된다. 그래픽을 원하지 않으면 이 프로그램을 처음부터 실행할 것인지를 묻는다. 원한다면 입력 데이터를 처음부터 새로 입력할 것인지 아니면 부분적으로 수정할 것인지를 묻는다. 이에 응답할 요구되도록 실행되고 다시 오차 계산 순서로 되돌아간다. 제 실행을 요구하지 않으면 이 프로그램을 종료시킨다. 위와 같은 논리 흐름을 흐름도로 표시하면 Fig.3과 같다.

(3) 프로그램의 입출력

DACS 프로그램을 실행하기 위한 입력과 출력 데이터는 Table 2, Table 3와 같다. 입력 데이터는 시물레이션 계산에 필요한 데이터이므로

반드시 입력 되어야 하나 출력 데이터는 사용자의 선택에 따라 결정한다. 시간 반응 변수들은 Tabular form 으로 표시되고 선택에 따라 그래픽으로도 표시할 수 있다.

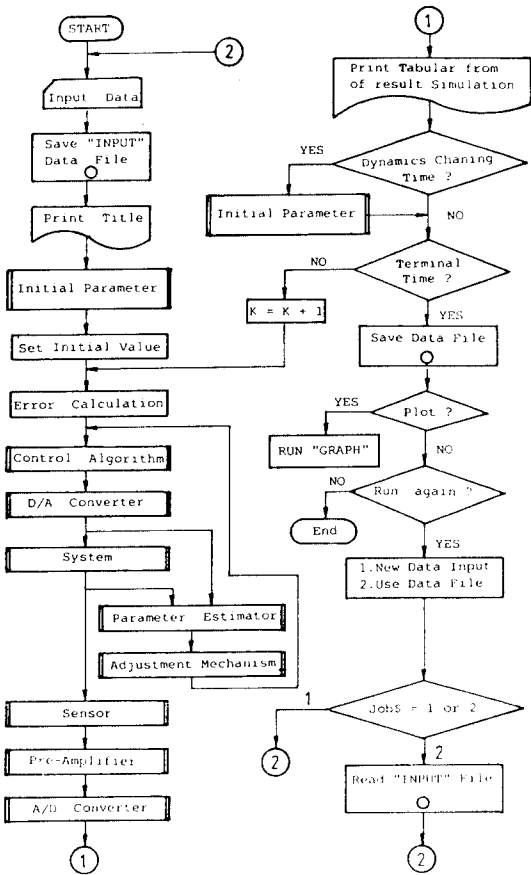


Fig.3 Flowchart of DACS

Table 2. Input parameters of simulation program

Parameters	Computer variables	Parameters	Computer variables
Sensor position	SP	D/A converter min. reference output	OMINV
Blower shutter angle	BS\$	D/A converter max. reference output	OMAXV
Change of the blower shutter angle	CBS\$	Pre-amplifier gain	KI
Surrounding temp.	ST	Min. value of controlled value	MINCON
Control algorithm	CON\$	Max. value of controlled value	MAXCON
Initial greste number	ALPHA	Initial value	INIV
Forgetting factor	RANDA	Required value	RSRV
Gain of sensor	KS	Sampling time	SAMPT
Time constant of sensor	TS	Time interval for print output	OUTSAMP
A/D converter bits	ADBIT	Terminal time	OPERT
A/D converter minimum reference input	IMINV	System dynamics change time	CTIME
A/D converter maximum reference input	IMAXV		
D/A converter bits	DABIT		

Table 3 Output parameters of simulation program

Parameters	Computer variables
Analog value of error	B
Digital value of manipulated variable	M
Analog value of controlled variable	Y
Analog value of D/A converter	U
Analog value of sensor output	SV
Digital value of A/D converter	A

5. 운영 시스템

프로그램 DACS는 Intel 8086II CPU에 적합한 GWBASIC 언어로 작성 되었으며 각 요소별로 시간 반응을 계산하는 프로그램과 그래픽 프로그램으로 구성 되어있다. 사용자와 컴퓨터와의 대화는 Fig.4 와 같이 수행된다. 사용자가 측에서는 제어 시스템을 먼저 모델링 한 다음, 모듈 변경이 필요하면 프로그램을 읽어들이 모듈에 해당하는 서브루틴을 수정한다. 수정이 필요 없는 경우에는 프로그램 DACS를 실행 시킨다. 시뮬레이션에 필요한 입력 데이터가 요구되고 사용자가 이에 응답하면 시뮬레이션 결과가 시간 대 변수로서 Tabular form으로 프린트되고, 모든 데이터는 그래픽을 위하여 데이터 파일에 저장된다. 사용자가 시뮬레이션 결과를 그래프로 표시하기를 원한다면 GRAPH 프로그램이 실행된다. 그래프는 원하는 변수별로 개별적으로 표시된다.

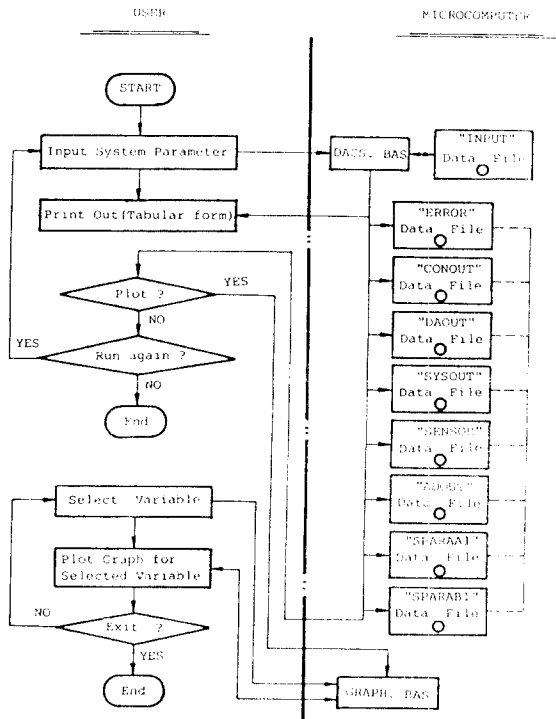


Fig.4 Operating system flowchart

6. 시뮬레이션 결과 및 고찰

공기 예열 시스템에 Increased order deadbeat 제어 알고리즘을 선택한후 A/D 및 D/A 변환기의 비트수 결정과 샘플링 시간 결정에 대해서 여러가지 조건으로 시뮬레이션 하였다. 프로그램의 입력 데이터는 Table 2 와 같다. Table 5은 시뮬레이션 결과를 Tabular form으로 표시한 것이고, Fig.5 (a) 에서 Fig.5 (b) 까지는 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 비교한 것이다. 그림으로부터 두 결과가 상당히 잘 일치 하므로 DACS 프로그램의 정확성을 알수있다. Fig.6 (a)에서 Fig.6 (c)까지는 샘플링 시간을 변경 하였을때 시스템의 반응을 표시한 것이다. 샘플링 시간이 적을수록 안정시간(settling time)이 바를을 알수있다. 따라서 샘플링 시간은 0.2초 이하면 충분하다. Fig.7 (a)에서 (d)까지는 A/D 및 D/A 변환기의 비트수를 변경 하여음때 시스템의

반응을 표시한 것이다. 비트수가 증가할 수록 시스템의 정확도가 높음을 알 수 있다. 비트수 12와 비트수 16의 차이는 거의 없다. 따라서 12 비트 수 비변환기를 선택함이 경제적이다. Fig.8은 디지털 변환수 제어 시스템의 시스템 출력과 다른 출력 변수(예를 들면, 오차 변수(E), D/A변환기 출력 변수(U), 센서의 출력 변수(SV))의 시간 반응을 나타내며, Fig.9는 시스템 동작 특성을 변화시켰을 때 시스템 반응 및 추정된 시스템 파라미터를 표시한 것이다. 이 결과로 시스템 동작 특성이 변화될 때 그러한 변화에 대한 적응제어가 잘 작동되고 있음을 알 수 있다.

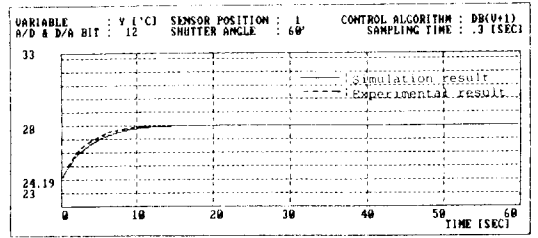
Table 4 Numerical values for input parameters

Parameters	Numerical values
Sensor position	2
Blower shutter angle	30 °
Surround temperature	25 °C
Control algorithm	DB(V+1)
Initial value of great number	10000
Forgetting factor	1
Gain of sensor	50mv/°C
A/D convert bits	12 bit
A/D convert min. reference input	0 V
A/D convert max. reference input	9 V
D/A convert bits	12 bit
D/A convert min. reference output	0 V
D/A convert max. reference output	9 V
Pre-amplifier gain	3.6
Min. value of controlled value	0 °C
Max. value of controlled value	50 °C
Initial value	25 °C
Required value	30 °C
Sampling time	0.2 sec
Time interval for print output	0.2 sec
Terminal time	60 sec

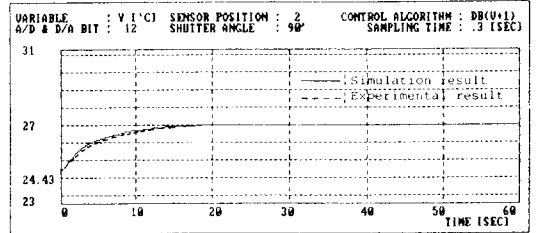
Table 5 Simulation results in tabular form

SIMULATION RESULT						

REQUIRED TEMP.	:	30 °C				
SENSOR POSITION	:	2				
SHUTTER ANGLE	:	30°				
CONTROL ALGORITHM	:	DB(V+1)				
A/D & D/A BITS	:	12				
SAMPLING TIME	:	.2 (SEC)				
NOTATIONS	:	E = ANALOG VALUE OF ERROR				
		M = DIGITAL VALUE OF MANIPULATED VARIABLE				
		U = ANALOG VALUE OF D/A CONVERTER				
		Y = ANALOG VALUE OF CONTROLLED VARIABLE				
		SV = ANALOG VALUE OF SENSOR OUTPUT				
		A = DIGITAL VALUE OF A/D CONVERTER				
TIME	E	M	U	Y	SV	A
SEC	(°C)		(V)	(°C)	(mV)	
0	-5	0	0	25	1.25	2047
.2	-5	3055	6.71	25	1.25	2047
.4	-5	3062	6.73	25	1.25	2047
.6	-5	298	.65	25.46	1.27	2095
.8	-4.54	1858	4.08	25.9	1.29	2121
1	-4.1	3067	6.74	25.9	1.29	2121
1.2	-4.1	1373	3.02	26.14	1.3	2140
1.4	-3.86	1096	2.41	26.54	1.32	2173
59	-.01	1629	3.58	29.99	1.49	2456
59.2	-.01	1629	3.58	29.99	1.49	2456
59.4	-.01	1623	3.57	30	1.5	2457
59.6	0	1627	3.58	30	1.5	2457
59.8	0	1623	3.57	30	1.5	2457
60	0	1619	3.56	30	1.5	2457

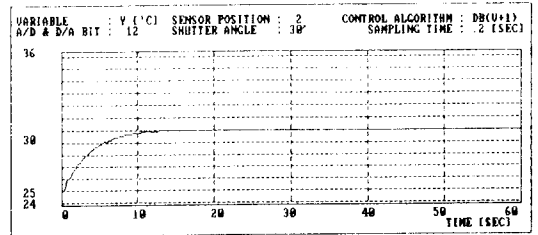


(a) Sensor position : 1, Shutter angle : 60

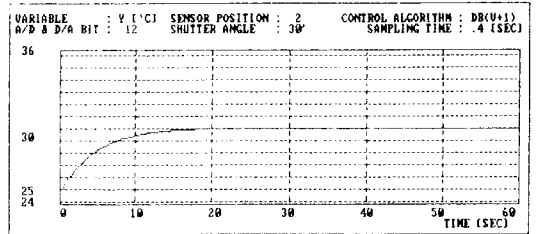


(b) Sensor position : 2, Shutter angle : 90

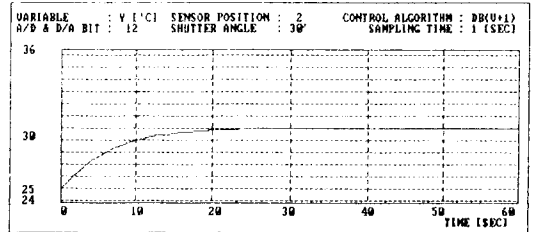
Fig.5 Comparison of simulation results with experimental results



(a) Sampling time = 0.2 sec

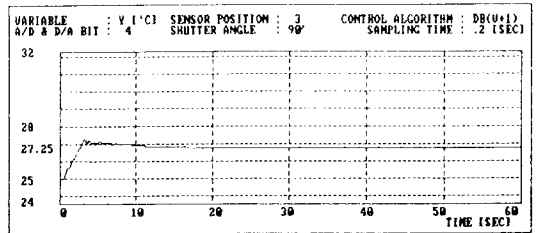


(b) Sampling time = 0.4 sec

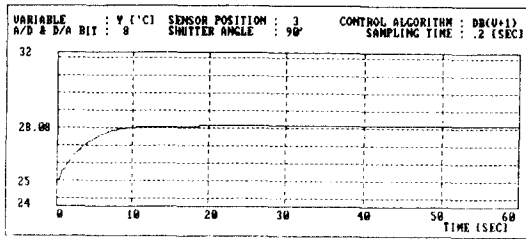


(c) Sampling time = 1 sec

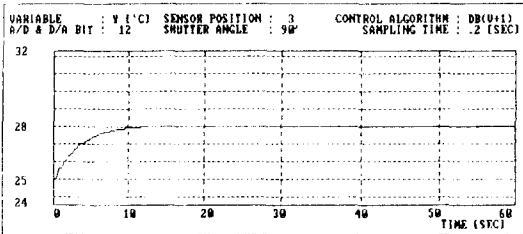
Fig.6 Time response(Y) with different sampling times



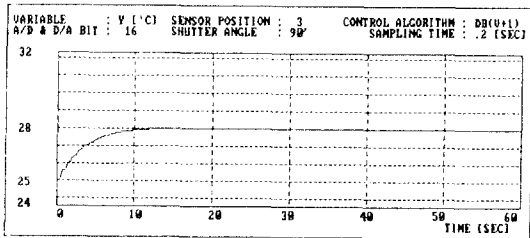
(a) A/D and D/A converter 4 bit



(b) A/D and D/A converter 8 bit



(c) A/D and D/A converter 12 bit



(d) A/D and D/A converter 16 bit

Fig.7 Time response(Y) with different the number of A/D and D/A converter bits

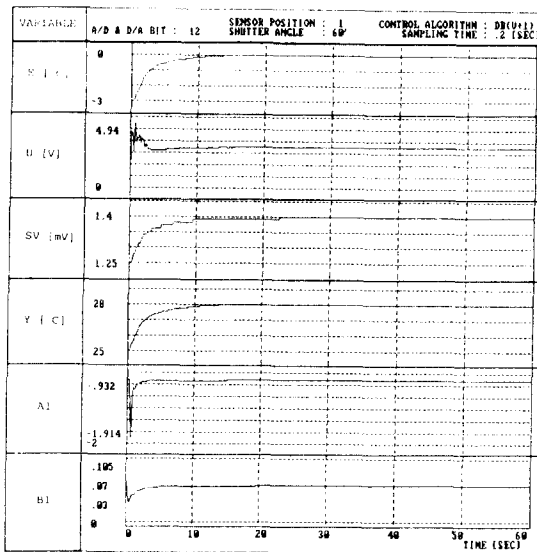


Fig.8 Overall system response for an air-heating system

E = Analog value of error
 U = D/A converter output
 SV = Sensor output
 Y = System output
 A1, B1 = System parameter

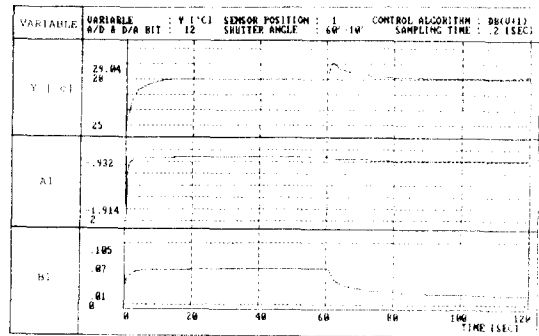


Fig.9 Time response(Y) and system parameter(A1,B1)

7. 결 론

Intel 8086II CPU를 갖는 IBM-PC 호환 기종에 적합한 GWBASIC 언어로 디지털 적응 제어 시스템의 설계를 지원하는 프로그램 DACS를 개발하였다. 이 프로그램은 지연 시간을 갖는 단일입력 - 단일출력(SISO) 디지털 적응 제어 시스템에 적용되며 설계 지원을 받을 수 있는 범위는 (1) 제어 알고리즘 선택, (2) 샘플링 시간 결정, (3) A/D 및 D/A 변환기 비트수 결정, (4) 각 요소의 동특성 분석, (5) 시스템 안정성 검토 등이다. 이 프로그램을 이용하여 공기 예열 시스템을 설계한 결과, Increased order deadbeat 제어 알고리즘을 채택했을 때 샘플링 시간은 0.2초, A/D 및 D/A 변환기의 비트수는 12비트가 가장 좋은 결과를 낳았기 때문에 실제 하드웨어를 구성 할 때 이 파라미터를 사용 하 면 된다. 앞으로 연구 되어야 할 과제는 Z-영역에서 근궤적법과 주파수 영역에서 주파수 반응법에 의한 지원설계 프로그램과 다수입력-다수출력(MIMO) 디지털 적응 제어 시스템을 위한 지원설계 프로그램 이 연구 되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) George Stephanopoulos, Chemical Process Control - An Introduction To Theory and Practice, Prentice - Hall, 1984
- (2) 주해호, Simulation Language, 대한전기학회지, 제 25권, 제 3호, pp.242-250, 1976
- (3) Rolf Isermann, Digital Control Systems, Springer-verlag Berlin Heidelberg New York, 1981
- (4) F.R. Ruckdeschel, BASIC Scientific Subroutines, McGROW-Hill Publication Co., vo.1,2, 1983
- (5) 주해호, 조덕현, 디지털 제어 시스템을 위한 마이크로컴퓨터 지원설계, 한국 자동 제어 학술회 논문집, PP.282-287, 1987
- (6) Dshpande & Ash, Elements Of Computer Process Control With Advance Control Applications, Instrument society of America, Chapter 12, 1981