

마이크로 컴퓨터를 이용한 최적피드백 제어에 관한 연구

양 주 호* · 하 주 식**

A Study on the Optimal Feedback Control Using a Microcomputer

J.H. YANG, J.S. HA

Abstract

Recently microcomputers have come into wide use in the field of control. They are used not only as monitors and or controllers in various plant control systems but also for Computer Aided Design of control systems.

In this paper, authors propose a method to design the reduced order observers for the higher order systems and have digital simulation of time responses of the optimal state feed back control system using the maximum principle.

And the real time optimal state feed back control system for the third order plant which is realized by an analog computer is constructed by means of a microcomputer, A/D converter and D/A converter. Time responses of the real time control system are compared with those obtained by the digital simulation and their well coincidence is confirmed.

1. 서 론

래를 거듭할수록 반도체산업은 급진적으로 발전하여 현재에는 저렴하면서도 정도높은 마이크로 컴퓨터가 널리 보급되어 있고, 이 소형 마이크로 컴퓨터는 각 산업분야에서 없어서는 안 될 중요한 위치를 구축하게 되었다. 특히 계측 및 제어분야에서의 마이크로 컴퓨터의 활용도는 대단히 높아지고 있으며 제어 분야에서는 실시간 제어기(real time controller)^{1-3,34)} 및 CAD (computer aided design)-용³⁻⁵⁾으로 응용분야를 대별할 수 있다.

한편, PID제어기는 산업현장에서 널리 이용되고 있는 제어기로서, 이 PID 제어기의 파라미터

선정법은 Ziegler-Nichols의 한계감도법⁶⁾과 과도 응답법,⁷⁾ Cohen Coon method,⁸⁾ Modified Ziegler-Nichols method⁹⁾ 등이 많이 이용되어 왔다.

그런데 1960년대 초에 현대제어이론이 도입되면서부터 최대원리^{10-14, 30, 35)}등의 최적제어이론에 입각한 최적 Regulator 문제^{15, 17, 19)} 최적 Tracking 문제^{16, 18, 20)}의 연구에 주력해 왔으며, 최근 들어 이러한 최적제어이론에 의한 PID 제어기의 파라미터 선정법이 많은 사람들에 의해 연구²¹⁻²³⁾되고 있고, 저자들에 의해서도 이미 발표된 바 있다.²⁴⁾

저자들에 의해 발표된 PID제어기의 파라미터 선정법은 PID제어기의 파라미터와 최적제어이론

*경남전문대학, 정회원

**한국해양대학, 정회원

과의 상호관계를 명확히 한 논문이며 이 방법에 의하면 제어대상이 2차계인 경우에는 선정된 PID 제어기의 피라미터만으로 최적피이드백 제어가 가능하나, 제어대상이 3차 이상인 시스템에 대해서는 PID 제어기만으로는 최적제어가 불가능하고, 일반적으로는 측정이 곤란한 상태의 피이드백을 동시에 행해야 한다는 것을 제시한 바 있다. 이 상태 피이드백을 위해서는 일반적으로 관측기(observer)가 필요하다.

그러므로 본 연구에서는 우선 3차계 이상의 제어대상에 대해 최소차원의 관측기설계를 행하고 설계된 관측기를 이용하여 최적제어기를 구성하는 방법을 제시함과 동시에 응답 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 검토한다.

다음, 저자들에 의해 제안된 PID 제어기의 피라미터와 상태피이드백 계인의 선정, 상태피이드백을 위한 관측기의 설계 및 실제의 플랜트에 대한 실시간제어 등을 마이크로 컴퓨터를 이용하여 실행하는 프로그램을 개발하고 이를 이용한 실제의 실험결과와 위의 시뮬레이션 결과를 비교 검토한다.

2. 최소차원의 관측기 설계²⁵⁻²⁷⁾

일반적인 시분변 시스템의 상태방정식 및 출력방정식은 식(2.1), 식(2.2)와 같다.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (2.1)$$

$$y(t) = Cx(t) \quad (2.2)$$

여기서 $x(t)$ 는 $n \times 1$ 상태변수벡터이고 $u(t)$ 는 $r \times 1$ 제어벡터이며 $y(t)$ 는 $m \times 1$ 의 출력벡터이다. 그리고 A, B, C 는 각각 $n \times n, n \times r, m \times n$ ($m < n$)의 차원을 가지는 상수행렬이며 특히 행렬 C 의 rank는 m 이다.

식(2.1), (2.2)로 표시되는 플랜트에 대한 최적피이드백제어를 행하기 위해서는 입력력 $u(t)$ 와 $y(t)$ 를 이용하여 상태 $x(t)$ 를 연속적으로 추정하는 장치 즉, 관측기가 필요한 바 본절에서는 우선 이 관측기를 설계하는 수법에 대해서 언급하기로 한다.

식(2.2)의 C 의 rank가 m 보다 작은 경우는 출력 y 의 어느 하나는 다른 것들의 선형결합으로

표시되어 상태추정에는 이용될 수 없으므로 이를 미터 제외하고 생각해야 한다. 또한 여기서 관측기라 함은 최소차원의 관측기를 말한다.

먼저 행렬 $D \in R^{(n-m) \times n}$ 를 적당히 선정하여 식(2.3)의 T_1 이 정치가 되도록 하고,

$$T_1 = \begin{bmatrix} C \\ D \end{bmatrix}_{n-m}^m \quad (2.3)$$

이 T_1 을 써서 $\bar{x}(t) = T_1x(t)$ 의 정칙변환을 이용하면 식(2.1), 식(2.2)는

$$\dot{\bar{x}}(t) = \bar{A}\bar{x}(t) + \bar{B}u(t) \quad (2.4)$$

$$y(t) = \bar{C}\bar{x}(t) \quad (2.5)$$

단, $\bar{A} = T_1AT_1^{-1}, \bar{B} = T_1B, \bar{C} = CT_1$ (2.6)으로 되고 식(2.3)에서의 분할에 대응하여 $\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}, \bar{x}$ 를 분할하여 표시하면 식(2.7)과 같다.

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} \bar{A}_{11} & \bar{A}_{12} \\ \bar{A}_{21} & \bar{A}_{22} \end{bmatrix}_{n-m}^m, \quad \bar{B} = \begin{bmatrix} \bar{B}_1 \\ \bar{B}_2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{C} = [I_m \ : \ 0], \quad \bar{x} = \begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

\bar{C} 의 행에 주의하면 \bar{x}_1 는 y 와 같음을 알 수 있고, 따라서 관측해야 할 상태 \bar{x}_2 에 대한 식만을 고려하면 식(2.8)과 같이 되고,

$$\dot{\bar{x}}(t) = \bar{A}_{22}\bar{x}_2(t) + \bar{A}_{21}y(t) + \bar{B}_2u(t) \quad (2.8)$$

식(2.8)으로부터 관측기를 구성하면 식(2.9)와 같이 된다.

$$\dot{w}(t) = \bar{A}_{22} \cdot w(t) + \bar{B}_2u(t) + \bar{A}_{21}y(t) \quad (2.9)$$

식(2.9)에서 \bar{A}_{22} 의 고유치를 이동시킬 목적으로 다음과 같은 제2의 변환을 한다.

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_m & 0 \\ H & I_{n-m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \end{bmatrix}$$

$$= T_2 \begin{bmatrix} \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

여기서 H 는 임의로 선택가능한 $(n-m) \times m$ 차원의 행렬이다. 이 변환을 이용하면 식(2.4)와 식(2.5)는 식(2.11) 및 식(2.12)와 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} \dot{\bar{x}}_1(t) \\ \dot{\bar{x}}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A}_{11} - \bar{A}_{12}H \\ \bar{A}_{21} + H\bar{A}_{11} - \bar{A}_{22}H - H\bar{A}_{12}H \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x}_1(t) \\ \bar{x}_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{B}_1 \\ \bar{B}_2 + H\bar{B}_1 \end{bmatrix} u(t) \quad (2.11)$$

$$y(t) = \bar{x}_1(t) \quad (2.12)$$

그러므로 관측해야 할 상태 \bar{x}_2 에 대응하는 관측기의 상태방정식은 다음 식과 같이 된다.

$$\dot{w}(t) = A^o w(t) + B^o u(t) + C^o y(t) \quad (2.13)$$

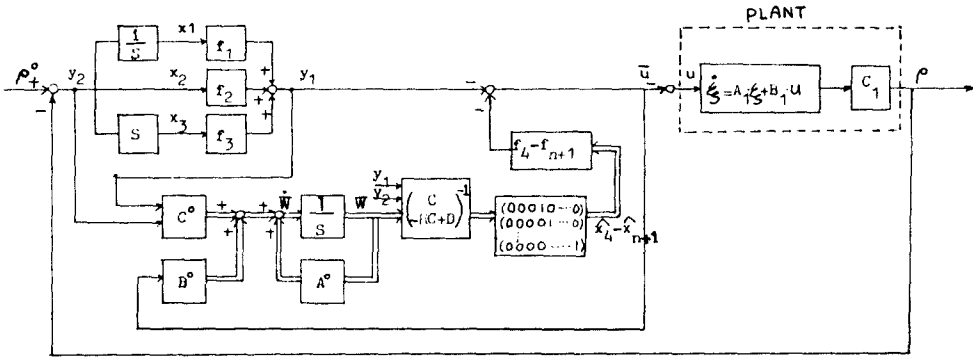


Fig.1. Block diagram of n-th order controlled system consist of optimal PID controller and state feedback using reduced order observer

$$\text{단, } \begin{cases} A^\circ = \bar{A}_{22} + H\bar{A}_{12} \\ B^\circ = \bar{B}_2 + H\bar{B}_1 \\ C^\circ = \bar{A}_{21} + H\bar{A}_{11} - \bar{A}_{22}H - H\bar{A}_{12}H \end{cases} \quad (2.14)$$

주어진 제어대상에 대해 먼저 저자들이 제안한 방법에 의해 최적상태 피드백 게인 $f_1 \sim f_{n+1}$ 를 구하고 계수 f_1, f_2, f_3 으로부터 PID 제어기를 구성하고, PID제어기의 입력을 y_2 , 출력을 y_1 이라 할 때 이들을 상태 $x_1 \sim x_{n+1}$ 으로부터 표시하면 식(2.15)와 같이 된다.

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & 0 \cdots \\ 0 & 1 & 0 & 0 \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 \cdots x_{n+1} \end{bmatrix}^T \quad (2.15)$$

다음 PID제어기의 입출력 및 조작량으로부터 관측기를 구성한 경우의 블록선도는 Fig.1과 같이 표시된다. Fig.1에서 점선친 부분은 플랜트를 나타내고 있으며 플랜트의 출력은 ρ 이고 ρ° 는 플랜트의 목표치를 표시하고 있다.

3. 제어기의 설계

연속 PID제어기에서 미분은 backward difference, 적분은 trapezoidal integration을 이용하여 이산화한 디지털 PID제어기의 블록선도는 Fig.2와 같이 표시할 수 있다. 여기서 T 는 샘플링 주기로서 충분히 작은 값을 갖는 것으로 한다.

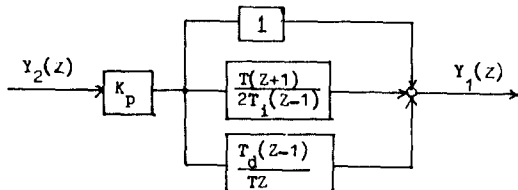


Fig.2. Block diagram of digital PID controller

Fig.2의 디지털 PID제어기의 전달함수는

$$G_{PID} = \frac{Y_1(z)}{Y_2(z)} = K_P \left(\frac{g_1 z^2 + g_2 z + g_3}{z(z-1)} \right) \quad (3.1)$$

$$\text{단, } \begin{cases} g_1 = 1 + T/T_i + T_d/T \\ g_2 = -(1 - T/2T_i + 2T_d/T) \\ g_3 = T_d/T \end{cases} \quad (3.2)$$

으로 되고, ²⁸⁻²⁹⁾ 여기서 T_d 는 미분시간 T_i 는 적분시간이다.

그러므로 식(3.1)으로부터 이산형 PID 제어기의 출력은 다음 식으로 주어진다.

$$y_1(k) = y_1(k-1) + K_P(g_1 y_2(k) + g_2 y_2(k-1) + g_3 y_2(k-2)) \quad (3.3)$$

다음에 마이크로 컴퓨터를 이용하여 관측기를 구성하기 위하여 식(2.16)의 관측기의 상태방정식을 이산화하고 $A^\circ, B^\circ, C^\circ$ 에 대응하는 계수행렬을 각각 A', B', C' 라 하면 식(3.4)와 같은 차분방정식을 얻는다.

$$w(k) = A'w(k-1) + B'u(k-1) + C'y(k-1) \quad (3.4)$$

또한 상태추정치 $\hat{x}(k)$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\hat{x}(k) = \begin{bmatrix} C \\ HC + D \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} y(k) \\ w(k) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

식(3.5)에서 상태 x_1, x_2, x_3 의 피드백은 PID 제어기로서 실현되었고, 나머지 상태 $\hat{x}_4 \sim \hat{x}_{n+1}$ 이 피드백 되어야 하고, 이때의 최적피드백 게인을 $f_4 \sim f_{n+1}$ 이라 하면 최적조작량 $\bar{u}^\circ(k)$ 는 식(3.6)과 같이 된다.

$$\bar{u}^\circ(k) = -y_1(k) - [000 f_4 \cdots f_{n+1}] \begin{bmatrix} \hat{x}_1 \hat{x}_2 \cdots \hat{x}_{n+1} \end{bmatrix}^T \quad (3.6)$$

4. 관측기를 이용한 응답 시뮬레이션

에로써 제어대상이 식(4.1), 식(4.2)와 같은 3차 시스템에 대해 2절에서 설명한 바대로 관측기를 설계한다. 관측상태 $z(t)$ 의 수렴속도를 빨리하기 위하여 A° 의 고유치(P_1, P_2)를 $-20.0, -20.0$ 로 선정하였다.

$$\begin{pmatrix} \dot{\xi}_1 \\ \dot{\xi}_2 \\ \dot{\xi}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -2.0 & -1.4 & -2.2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \xi_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u \quad (4.1)$$

$$\rho = [1 \ 0 \ 0] [\xi_1 \ \xi_2 \ \xi_3]^T \quad (4.2)$$

이 시스템에 대해 저자들이 제안한 방법²⁴⁾에 의해 새로운 상태를 도입하면 식(4.3)과 같은 4차의 오그멘트 상태방정식으로 되고 이 확장 시스템에 대한 새로운 출력방정식은 식(4.4)와 같이 된다.

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -2.0 & -1.4 & -2.2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \bar{u} \quad (4.3)$$

$$y = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]^T \quad (4.4)$$

여기서 식(4.5)로 주어지는 2차형식의 평가함수를 최소로 하는 최적 피이드백 게인 $f_1 \sim f_{n+1}$ 를 먼저 구한다.

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + r \bar{u}^2) dt \quad (4.5)$$

$$\text{단, } Q = \begin{pmatrix} q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4 \end{pmatrix} : \text{positive semidefinite,} \quad (4.6)$$

$$r > 0$$

여기서 식(2.3)의 임의로 선정 가능한 행렬 D 를 식(4.7)과 같이 선정하면,

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

식(2.11)에서의 행렬 H 는

$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

으로 되고 편의상 $h_{12} = h_{21} = 0$ 으로 두면 식(2.10), 식(2.11)으로부터 식(4.9), 식(4.10)을 얻는다.

$$h_{12} = a_1 - 3P \quad (4.9)$$

$$h_{22} = a_2 - 3P^2 - a_1 h_{12} \quad (4.10)$$

$$\text{단, } P = P_1 = P_2 = 20.0, \ a_1 = 2.2, \ a_2 = 1.4$$

상기의 행렬 H, D 로부터 식(2.13), 식(2.14)에 의해 관측기를 구성할 수 있다.

모든 상태가 측정가능한 경우라고 가정하여 상태 피이드백시킴 경우(case 1)와 상태 x_1, x_2, x_3 는 이 측정치로써 피이드백 시키고 나머지 상태 x_4 만을 관측기로 추정된 다음 이를 상태 피이드백시킴 경우(case 2)를 평가함수 J 의 값으로 비교한 것이 Table 1에 표시되어 있다. (단, 이 시뮬레이션에서 말하는 측정치는 진치와 같은 의미를 갖는다.)

또 Fig. 3은 앞에서 말한 case 1의 경우의 응답곡선이고, Fig. 4는 case 2의 응답을 나타내고 있다.

Fig. 5는 추정치 \hat{x}_4 가 진치 x_4 에 수렴해가는 예를 표시한 그림이다.

5. 마이크로 컴퓨터를 이용한 실시간제어실험

(1) 실험장치의 구성

Fig. 1의 블록선도에서 제어기(controller) 및 관측기(observer)와 최적 피이드백 게인의 계산을 위한 CAD 부분은 마이크로 컴퓨터를 이용하고 플랜트는 아날로그 컴퓨터(analog computer)로써²⁵⁾ 실현하여 Fig. 6의 블록선도와 같이 최적

Table 1. Comparison with performance index

$a_1 = 2.2, \ a_2 = 1.4, \ a_3 = 2.0, \ r = 0.1$						
q_1	q_2	q_3	q_4	value of performance index (case 1)	value of performance index (case 2)	increase (%)
1.0	1.0	1.0	1.0	6.389	7.292	14.13
1.0	1.0	1.0	0.0	4.948	5.329	7.70
1.0	10.0	1.0	0.0	13.242	14.202	7.25
1.0	1.0	10.0	0.0	12.305	12.878	4.66

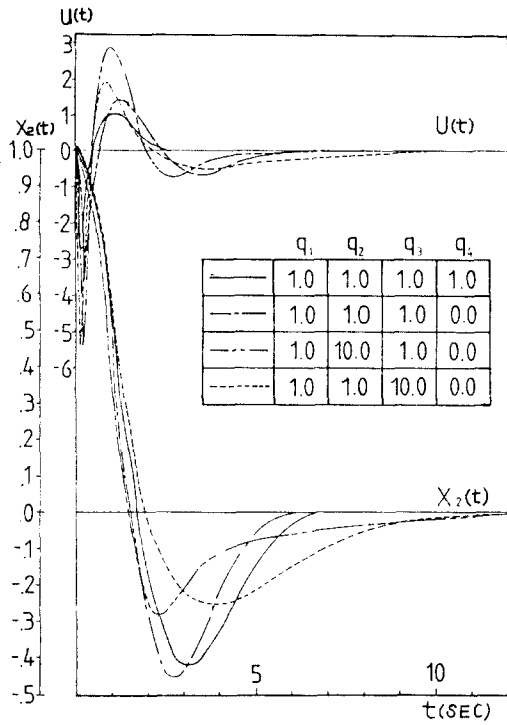


Fig. 3. Curve of state x_2 & optimal control input $\bar{u}^*(t)$

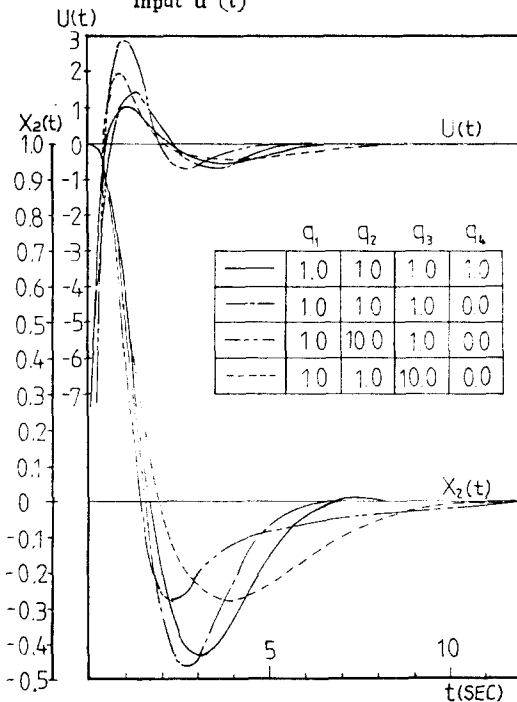


Fig. 4. Curve of state x_2 & control input $\bar{u}(t)$ by observer

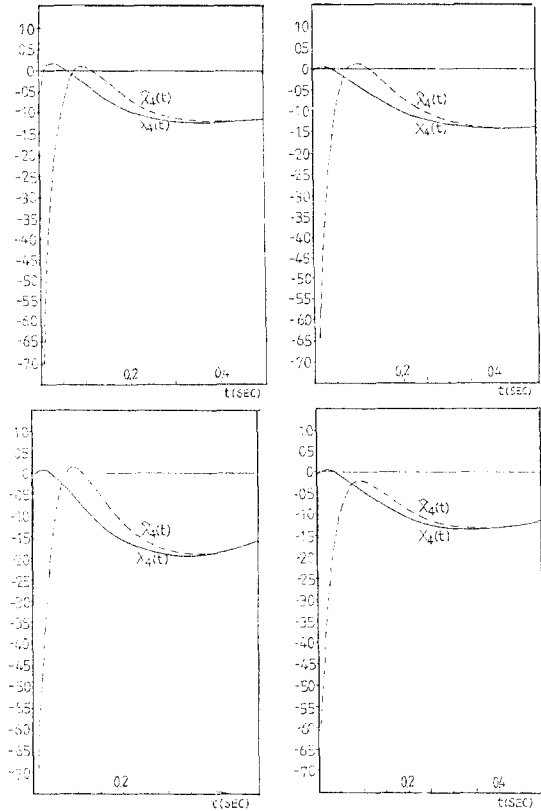


Fig. 5. Curve of true state x_4 & estimated state \hat{x}_4

피드백 제어계를 구성하였으며 여기서 사용된 ADC 및 DAC, ^{32, 33} 마이크로 컴퓨터와 아날로그 컴퓨터의 사양은 각각 Table 2.와 같다.

그리고 그 제어 알고리즘을 표시한 플로우차트는 Fig. 7에 표시한 바와 같으며, 여기서 제어기의 설계 및 주 제어 알고리즘은 FORTRAN 언어로 프로그램을 작성하였고, SUBROUTINE OPERATION 내의 신호변환 부분 등은 ASSEMBLY 언어로 프로그램을 작성하였다.

또 Fig. 8은 Fig. 7의 플로우차트에 의해 작성된 프로그램으로 실시간 제어를 행할 때 key board 상의 조작의 일 예를 나타내고 있다. ✓의 화살표는 Return key의 조작을 의미한다. OPERAT는 실행 프로그램명이고, OP33.DAT는 제어대상 및 제어에 관한 정보가 들어있는 data file 명이다. NEW일 때는 제어대상에 대한 최적피드백 계인을 계산하고 OLD인 경우는 이전에 이미 계산되어 있는 최적 계인을 읽어온다. OP33.R은

Table 2. Microcomputer, ADC/DAC converter and analog computer

Microcomputer	Analog computer	AD & DA converter
기기명 : TRIGEM AT MAIN CPU : 80286(16bit) RAM : 64KB ROM : 32KB I/O SLOT : 12EA SERIAL POT : RSC 232C REAL TIME CLOCK HARD DISC : 20MB FDD : 1.2MB 제작사 : 삼보COMPUTER	기기명 : ADAC L-100 연산전압 : -10V~+10V 출력전류 : ±4mA(±10V에서) 정적정도 : ±0.1~±0.3%(선형요소) ±0.1~±1.5%(비선형요소) 동적정도(CYCLE TEST치) ±.1%/CYCLE w=1rad/S ±.3%/CYCLE w=100rad/s 소비전력 : 35VA 제작사 : ANDO전기주식회사	기기명 : LAB-8000 구성요소 : IBM-BUS TRANSLATER I/O DECODER DI-24 CHANNEL DO-24 CHANNEL D/A-16 CHANNEL(12Bit) A/D-16 CHANNEL(12Bit) A/D EXPANDER(16CH) TIMER/COUNTER 제작사 : HANDO ENGINEERING CO.

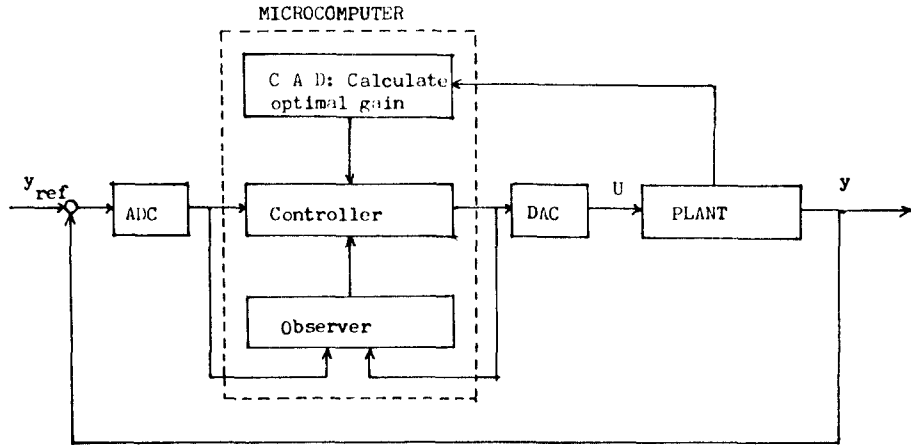


Fig. 6. Block diagram of control system using microcomputer

연산결과를 기록해 두는 결과 file명이고, OP33.D는 OLD일 경우의 입력으로 될 최적계인을 기록해 둘 file명이다. 다음 샘플링 시간을 입력시킴으로써 실시간 제어에 필요한 모든 준비동작은 완료된다. 시작을 표시하는 명령(여기서는 1.0)을 입력시킴으로써 실시간 제어가 시작되고 정해진 시간 동안 제어를 행하고 나면 제어의 끝남이 화면상에 표시된다.

(2) 응답곡선

식(4.1) 및 식(4.2)로 표시되는 제어대상이 3차의 플랜트인 경우 Fig.6과 같이 구성된 최적 피드백 제어제에 대해서 식(4.5)의 평가함수 중 입력에 대한 하중계수 r 을 0.1로 고정하고 상태에 대한 하중계수의 대각행렬 Q 의 대각요소 $q1, q2, q3, q4$ 를 각각 변화시키면서 응답실험을

행하였는 바 그 결과를 표시하면 Fig. 9와 같다.

6. 고찰 및 결론

Fig.3과 Fig.4에서 보는 바와 같이 case 1과 case 2의 경우, 제어대상의 출력에 해당되는 상태 x_2 의 응답은 육안으로 거의 구별되지 않을 정도로 잘 일치하고 있음을 보이고 있다. 그러나 Fig.5에서 보는 바와 같이 상태 x_4 의 진치와 관측기에 의한 추정치는 초기에 상당한 차이가 있음을 보이고 있으나 대략 0.3초를 경과하면 두 값은 잘 일치하게 됨을 알 수 있다. 이것은 본 연구에서 관측기를 설계할 때 식(2.10)의 Λ^0 의 고유치를 -20.0, -20.0으로 상당히 큰 값을 선택했기 때문이고, 더욱 큰 값을 선

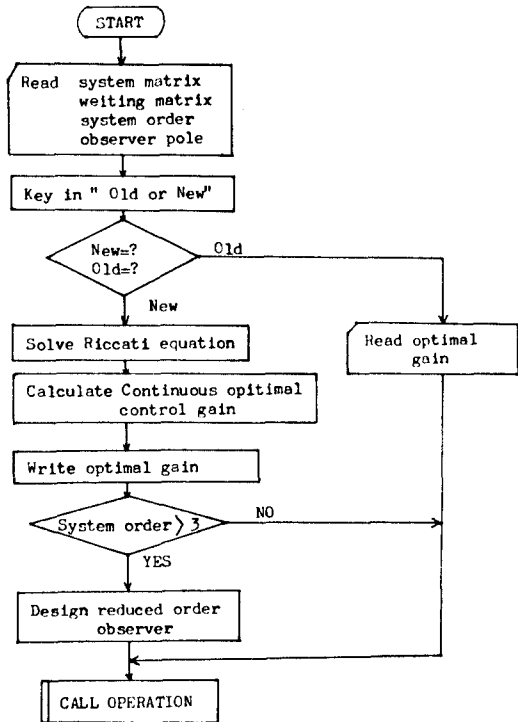


Fig. 7. Flow Chart

택하면 수렴 속도는 빨라진다. 그리고 이 두 경우에 대해 2차 형식의 평가함수로 비교해 보면 Table 1에서 보는 바와 같이 상태 x_4 에 비중을 크게 둔 경우 즉, $q_4=1.0$ 인 경우가 $q_4=0.0$ 인 경우에 비해 평가함수의 증가율이 크다는 것을 알 수 있다.

다음 실시간제어 응답실험에서 출력의 응답을 나타내고 있는 Fig. 9와 Fig. 4의 시뮬레이션 응답곡선을 비교해 보면 알 수 있듯이 하중계수를 달리한 각각의 경우에 대해 실시간제어 응답이 시뮬레이션 응답보다 오버슈트는 작아지고 응답시간이 길어진다. 그것은 연속 PID 제어기의 출력은 순간적으로 큰 값을 갖지 않으나 연속 PID 제어기를 이산화한 경우는 초기치에 의해 초기에 큰 값을 갖는 순간이 존재하게 되지만 이를 현실적으로 실현시키지 못하기 때문이라고 생각된다. 그러나 각각의 경우 전반적으로 응답의 양상이 동일하다.

결국 저자들이 제안한 PID 제어기의 파라미터 선정법 및 관측기 구성의 타당성이 확인되었으

OPERAT
File name missing or blank - Please enter
UNIT 5? OP33.DAT

NEW == 0, OLD == 1, ?

0

UNIT 6? OP33.R

UNIT 7? OP33.D

SAMPLING TIME TS IS = ?

0.05

TS = .05000

KP= 8.864 TI= 2.806 TD= 1.198
G1= 221.246 G2=-433.309 G3= 212.303

START ==1.0 ?

1.0

CONTROL IS TERMINATED

CONTINUE = 1, STOP = 0

0

STOP

Fig. 8. An example of real time control operation on microcomputer key board

며 이들로부터 구성된 제어 알고리즘으로 양호한 디지털 제어가 가능하다는 것을 알 수 있다.

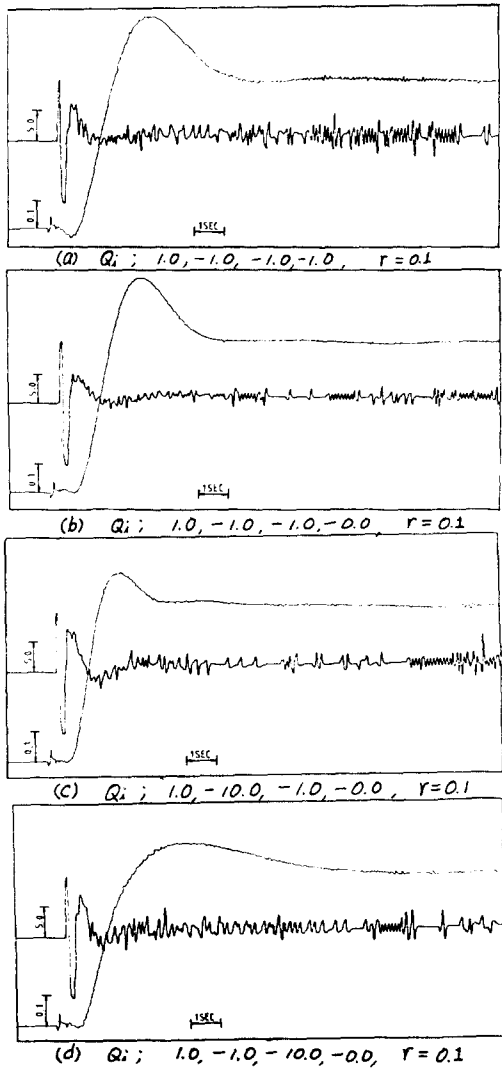


Fig. 9. Time response

참 고 문 헌

- 1) WALTER S. HEATH, "A System Executive for Real-Time Microcomputer programs", IEEE MICRO, pp20-32, June, 1984.
- 2) DANIEL A. CROWL, "A Real-Time Fortran Executive", IEEE MICRO, pp. 48-66, August, 1985.
- 3) K. FURUTA, T. CHIKADA and H. KAJIWARA, "Computer Aided Design and Computer Control using Minicomputer", IFAC Computer Aided Design, Indiana, USA pp 425-429,

- 1982.
- 4) 古田勝久, "制御系CADシステム", 日本電氣學會雜誌, 106卷2號, pp.105-112, 1986.
- 5) K. FURUTA, H. KAJIWARA and Y. OHYAMA, "Control system Design for Furnace by using CAD", IFAC Theory and Application of Digital Control, New Delhi, India, pp. 527-532, 1982.
- 6) J.G. Ziegler and N.B. NICHOLS, "Optimum settings for Automatic Controls", Trans. ASME, 64, pp.759-768, 1942.
- 7) 河住植, "自動制御工学", 海事圖書出版部, pp. 251-262, 1983.
- 8) D.R. COUGHANOWR and L.B. KOPPEL, "Process Systems Analysis and Control", McGraw-Hill, pp.313-314. 1965.
- 9) J.E. GRADER, Taylor Instrument Companies, Technical Data, TDS-10A, 120, Issue 1.
- 10) 宇野利雄・菊池豊彦, "最大原理入門", 共立全書, pp.165-191, 1974.
- 11) 坂本實, "最適制御の數學的方法", 總合圖書, pp.25-98, 1968.
- 12) DAVID BURGHEES And ALEXANDER GRAHAM, "Introduction to control Theory including Optimal Control", Ellis Horwood, pp. 307-309, 1980.
- 13) M. ATHANS and P.L. FLAB, "Optimal Control, An Introduction to the Theory and its Applications", McGraw-Hill, pp.221-363, 1966.
- 14) SURESH P. SETHI and GERALD L. THOMPSON, "Optimal Control Theory, Application to Management Science", Martinus Nijhoff Publishing, pp.21-54, 1981.
- 15) M. ATHANS and P.L. FLAB, "Optimal Control", McGraw-Hill, pp.756-787. 1966.
- 16) M. ATHANS and P.L. FLAB, ibid, pp.793-812, 1972.
- 17) HUIBERT KWAKERNAK and RAPHAEL SIVAN, "Linear Optimal Control systems", Willy-Interscience, pp.201-247, 1972.
- 18) HUIBERT KWAKERNAK and RAPHAEL SIVAN, ibid, pp.253-279, 1972.
- 19) BRAIN D.O. ANDERSON and JOHN B. MOORE, "Linear Optimal Control", Prentice-

- HALL, pp.11-49, 1971.
- 20) BRAIN D.O. ANDERSON and JOHN B. MORE, *ibid*, pp.247-271, 1971.
- 21) YEN-PING SHIH and CHIH-JIAN CHEN, "On the Weighting Factor of the Quadratic Criterion in Optimal Control", *Int. J. Control*, Vol. 19, No. 5, pp.947-955, 1974.
- 22) H. SERAJI and M. TAROKH, "Design of PID Controllers for Multivariable System", *Int. J. Control*, Vol. 26, NO. 1, pp.77-83, 1977.
- 23) STEFANO MARSILI-LIBELLI, "Optimal Design of PID Regulators", *Int. J. Control*, Vol. 33, NO. 4, pp.601-616, 1981.
- 24) 梁注鎬·河注植, "PID制御器의 最適設計에 관한 研究", *韓國舶用機關學會誌*, 11卷 3號, pp.91-99, 1987.
25. HUIBERT KWAKERNAAK and RAPHAEL SIVAN, *ibid*, pp.335-338, 1972.
- 26) 伊藤正美·木村英紀·細江繁幸, "線形制御系の設計理論", *計測自動制御學會*, pp.119-124, 1978.
- 27) K. FURUTA and S. KAWAJI, "Linear Function Observer with Possibly Minimal Dimension", *IEEE Tran. on Automatic Control*, Vol.AC-22, NO.6, pp.977-980, 1977.
- 28) ROLF ISERMANN, "Digital Control Systems", Springer-Verlag, pp.74-76, 1981.
- 29) KARL J. ASTROM and BJORN WITTENMARK, "Computer Controlled Systems, Theory and Design", Prentice-Hall, pp.180-188, 1984.
- 30) ANDREW P. SAGE and CHELSEA C. WHITE, III, "Optimum Systems Control", McGraw-Hill, pp.53-86, 1980.
- 31) AS-40414, ADAC L-100 アナログ計算機説明書, 安藤電氣株式會社, 1980.
- 32) Data Aquisition and Control System, HANDO ENGINEERING CO. 1986.
- 33) EUGENE L. ZUCH, Data Aquisition and Conversion Handbook, A Technical Guide to A/D-D/A Conversion and Their Applications", Datel-Intersil, 1982.
- 34) TAKESHI TSUCHIYA, Improved Direct Digital Control Algorithm for Microprocessor Implementation", *IEEE Trans. on Automatic Control*, Vol. AC27, NO.2, pp.295-306, 1982.
35. RUFUS OLDENBURGER, "Optimal and Self-Optimizing Control", The Massachusetts Institute of Technology, pp.210-266, 1966.