

모니터링 및 제어 시스템의 구축에 관한 연구

봉남식 · 심성효* · 변정환** · 양주호**

(대우정밀 · *주문진수공고 · **부경대학교)

I. 서 론

금세기에 들어 전자 산업의 급속한 발달에 힘입어 퍼스널 컴퓨터의 보급이 빠른 속도로 확산되었으며, 퍼스널 컴퓨터는 수치계산, 사무 자동화, 공장 자동화 등에 널리 이용되고 있는 실정이다.

본 연구는 이 퍼스널 컴퓨터를 시스템의 모니터링 및 제어에 이용하여 박용기관에 대한 모니터링 및 제어 시스템을 구축 함에 그 목적이 있다. 모니터링이라 함은 제어하고자 하는 대상의 각 상태의 값 및 주변기기의 운전상황 등을 감시 감독하고 필요에 따라 경보를 울리는 등의 일련의 동작을 말한다.

본 연구에서는 제어하고자 하는 제어 대상을 기관실 내의 주기관과 다른 또 하나의 보조기계로 가정하고, 실험실 상에서 용이하게 실험을 수행하기 위하여 두 대의 DC 모터로 대치하고 모니터링 하고자 하는 신호는 4개의 더미신호(dummy signal)로 한정한다. 그리고 모니터링 및 제어를 위하여 두대의 퍼스널 컴퓨터를 사용하는데, 모니터링 및 제어 알고리즘이 간단한 DC 모터(온 - 오프로 제어되는 간단한 보조 기계의 대용)의 제어에 이용되는 컴퓨터를 마스터 컴퓨터(master computer)라 칭하고 또 하나의 DC 모터(정교하고 복잡한 제어알고리즘으로 제어될 주기관의 대용)를 제어하기 위해서 이용된 다른 컴퓨터를 슬레이브 컴퓨터(slave computer)라 칭한다. 만약 제어하고자 하는 제어대상의 수가 많아질 경우는 슬레이브 컴퓨터를 확장함으로써 가능하도록 한다.

두 컴퓨터 사이의 정보 및 외부기기들 사이의 정보는 A/D, D/A컨버터를 이용하여 교환하며, 제어 및 모니터링 프로그램은 C-언어로 작성한다. 그리고 작성된 프로그램을 이용하여 실험을 행하고 그 타당성을 검토한다.

II. 모니터링 및 제어 시스템의 구축

본 연구에서 구축한 모니터링 및 제어 시스템의 전체 블록선도는 Fig. 2-1과 같다. 그림에서 마스터 컴퓨터는 주로 각 제어대상의 감시해야 할 신호의 모니터링을 위하여 이용되며, 개개의 제어대상들을 제어하기 위해서는 제어대상 하나에 퍼스널 컴퓨터 한 대를 개별적으로 이용하기로 한다. Fig. 2-1에서 점선내는 본 연구에서 생략된 부분으로, 슬레이브 컴퓨터 I 을 슬레이브 컴퓨터라 칭하기로 한다.

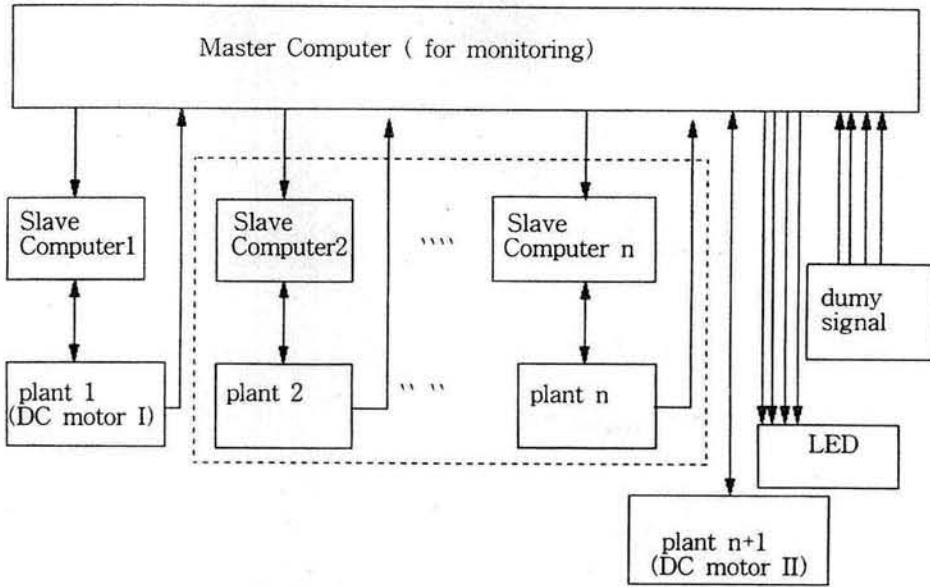


Fig. 2-1 Block diagram

2.1 마스터 컴퓨터와 슬레이브 컴퓨터

Fig. 2-1에서 마스터 컴퓨터는 모터 I, 모터 II의 속도와 더미신호(dummy signal)를 A/D변환기(Analog to Digital converter)를 통해 받아서 모니터링을 하는 역할을 담당하고, 슬레이브 컴퓨터에 D/A변환기(Digital to Analog converter)를 통해 속도지령(기준 입력)을 내리고, 모터 II와 경보용 LED에 D/O(Digital Output)를 통해 동작지령을 내리는 역할을 담당한다.

슬레이브 컴퓨터는 마스터 컴퓨터로 부터의 기준입력을 모터 I으로 부터의 피드백 신호를 D/A변환기를 통해 받아 이를 이용하여 제어입력을 만들어 내고, D/O변환기를 통해 PWM 파를 모터 구동회로에 출력하여 모터 I을 제어하다.

2.2 모터 I 구동회로

모터 I 구동회로는 슬레이브 컴퓨터 내에서 연산된 제어입력을 받아 모터 I을 구동하는 회로로서 그 구성은 베이스 구동회로 부분과 파워 트랜지스터를 이용한 전력 변환부로 이루어져 있으며, 구동 방식은 PWM 방식을 이용하기로 한다.

Fig. 2-2는 구동회로를 포함한 모터 I 제어시스템을 나타낸 블록선도이다.

2.2.1 베이스 구동회로

베이스 구동회로는 베이스 구동 전용 소자인 M57904L을 이용하고, 이 소자에 가해질 전원은 Fig. 2-3에서 보는 바와 같이 브리지형 다이오드를 사용하여 교류 전원을 직류로 변환한다. 이 때 발생되는 직류의 맥동을 줄이기 위하여 콘덴서를 이용한다.

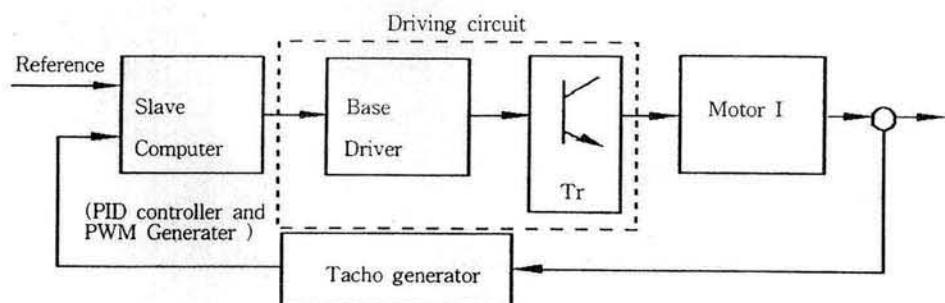


Fig. 2-2 Block diagram of Motor I speed control system

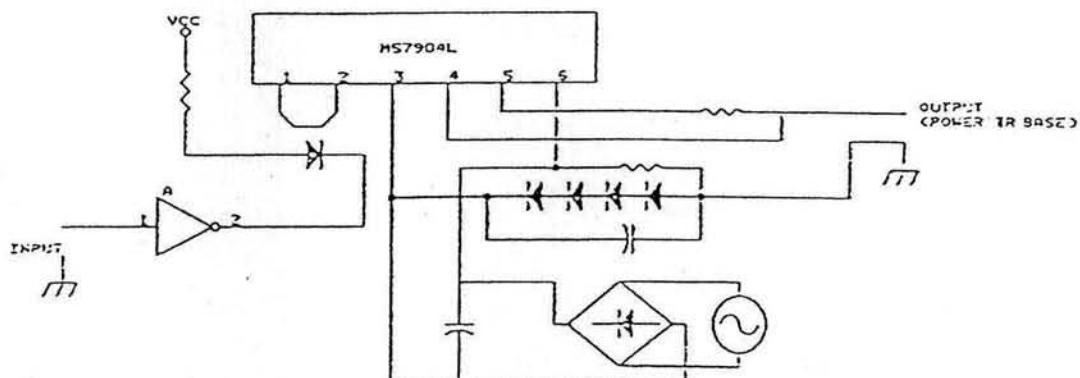


Fig. 2-3 A base driver circuit

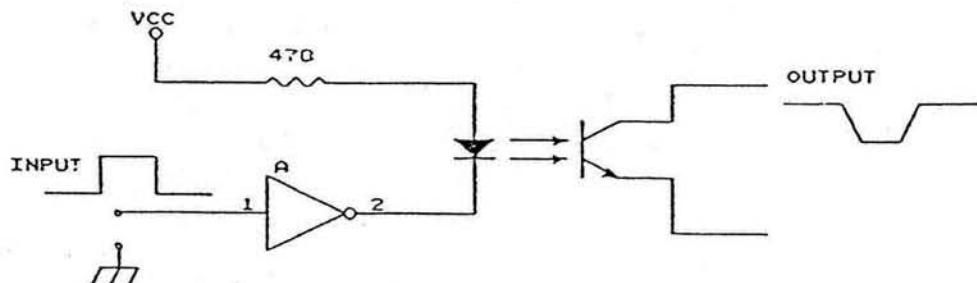


Fig. 2-4 Isolating circuit

그리고 컴퓨터로 부터 출력된 신호와 구동회로 사이를 절연(Isolation)하기 위하여 포토 다이오드(photo diode)를 이용한다. 이 절연회로 부분을 상세히 그리면 Fig. 2-4와 같다.

2.2.2 전원 변환부

전력변환부는 Fig. 2-5에 보인 것처럼 브리지형 다이오드(KBPC2506)와 콘덴서로 구성되어 있는데, 다이오드의 양단에 교류 전압을 인가하여, 정류된 직류 전압을 평활용 콘덴서를 이용하여 평활화하여, 파워 트랜지스터 양단에 인가할 직류전원으로 이용한다.

2.2.3 전력 변환부 및 PWM 발생

일반적으로 직류 부하에 전원을 가하는 방법에는 여러가지가 있다. 즉, 1개의 전원을 이용하는 방식과 2개의 전원을 이용하는 방식이 있으며, 1개의 전원을 이용하는 방식에는 단방향 구동방식과 양방향으로 구동을 하기 위한 H형 브리지 구동 방식이 있다. 본 연구에서 Fig. 2-6. (a), (b)와 같

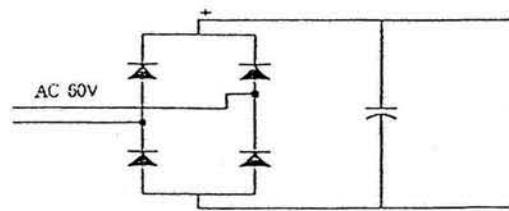


Fig. 2-5. Power convert circuit

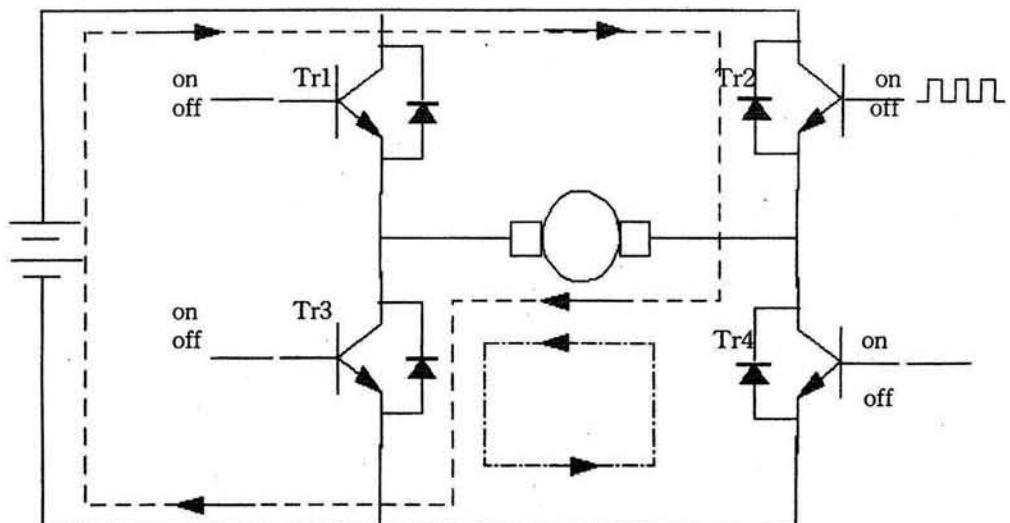


Fig. 2-6(a) A clockwise

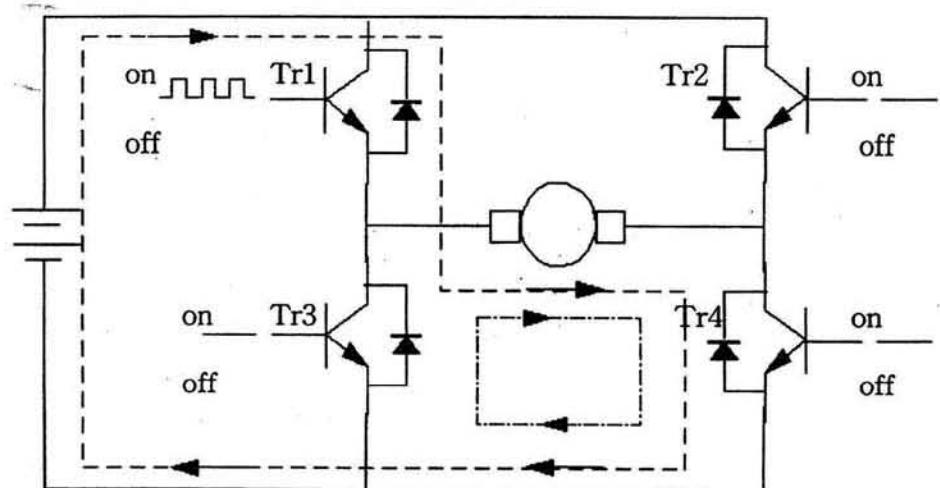


Fig. 2-6(b) A counterclockwise

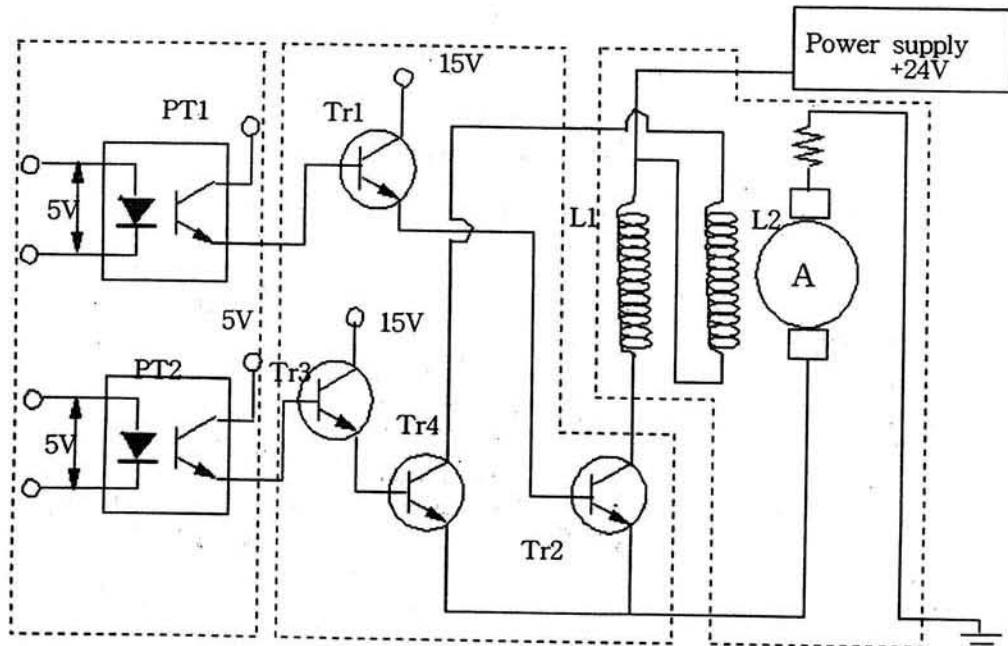
은 H형 브리지 방식을 채택하기로 하고, 파워 트랜ジ스터를 제어하는 방법은 PWM(Pulse Width Modulation)방식을 이용한다. 이 그림에서 보는 바와 같이 모터 I을 정회전을 하기 위하여는 Tr4를 On 하여 둔 상태에서 Tr1에 PWM파를 인가하면 모터 I은 정회전을 하면서 PWM파의 드티비에 대응한 속도가 된다. 이 때 Tr2, Tr3는 Off의 상태로 있게 된다. 또한 역방향으로 속도를 제어하기 위해 Tr3을 On 하여 둔 상태에서 Tr2에 PWM파를 인가한다. 이 때는 Tr1, Tr4가 Off의 상태가 된다. Table 2.2.3은 PWM신호를 발생시키기 위한 데이터를 나타낸 표이다.

그리고 모터 I이 정회전 할 경우의 전류 흐름의 경로는 Fig. 2 - 6(a)와 같고, 모터 I이 역회전 할 경우의 전류 흐름의 경로는 Fig. 2 - 6(b)와 같다. 그림 속에 있는 4개의 다이오드는 플라이 백(fly back)작용 또는 플라이 휠(fly wheel)작용을 하도록 이용된 것인데, 이 경우(Fig. 2 - 6의 (a)와 같이 Tr3을 On한 상태에서 Tr2에 PWM구동신호를 가하는 경우)에는 Tr2가 Off 되는 순간 모터의 코일에 발생된 역방향의 기전력을 그림에서의 일점 쇄선과 같은 방향으로 돌게 하는 역할(즉, 플라이 휠 작용)을 하게 한다.

Table 2.2.3 Output signal of Base Driver

	정회전	역회전
Tr1	on, off 반복	off
Tr2	off	on, off 반복
Tr3	off	on
Tr4	on	off

2.3 모터 II 구동회로



Isolating circuit

Darlington circuit

Motor II

Fig. 2 - 7 Driving Circuit of Motor I

Fig. 2-7은 모터 Ⅱ를 구동하기 위한 구동 회로를 나타낸 그림이다. 그림에서 모터 Ⅱ는 직권 계자 L1과, L1과 반대 방향의 자속을 발생시키는 또 다른 직권 계자 L2를 가지는 직류 직권 분계 모터인데, L1의 계자에 전류가 흐르게 되면 정방향으로 회전하게 되고, L2의 계자에 전류가 흐르게 되면 자속의 방향이 바뀌어 역방향으로 회전하는 특성을 갖는 모터이다. 모터 Ⅱ는 Feedback 사 제품인 DC 모터를 이용하고, 구동회로 또한 Feedback 사에서 제공하는 것을 이용한다. 그리고, 컴퓨터로부터 출력된 신호와 구동회로 사이를 절연하기 위한 절연 회로(isolationg circuit)는 포토 커플러를 사용하여 제작한다. 먼저 포토 커플러 PT1에 마스터 컴퓨터로부터 전압이 인가되면, 달링톤 회로(darlington circuit)로 이루어진 Tr1과 Tr2가 도통되어 직류전원 24[V]가 모터의 직권계자 L1에 가해져 정방향으로 회전하고, PT2에 전압이 인가되면 직권계자 L2에 직류전원이 가해져 역방향으로 회전한다.

2.4 기타 회로

2.4.1 LED의 구동회로

LED를 경보용 지시등(indicating lamp)으로 사용하기 위해 Fig. 2-8과 같은 LED 구동회로를 구성하고, 모니터링 된 신호가 기준치를 벗어날 때 점등하도록 한다.

즉, 모터 I이 일정 속도 이상 일 때와 더미 신호에서 일정치 이상의 신호를 받으면 LED가 점등되도록 했다.

2.4.2 더미신호 발생회로

어떤 장치의 주목해야 할 신호(모니터링하고자 하는 신호)를 대신한 가상적인 신호를 더미(dummy singal)라 하는데, 본 연구에서는 Fig. 2-9와 같이 9[V]전원과 4개의 가변저항을 이용하여 4개의 더미 신호를 발생하게 한다. 이 신호는 A/D 변환기(채널 1~채널 4)를 통해 마스터 컴퓨터에 입력된다.

2.5 모터 I의 제어기 설계

본 연구에서는 제어하고자 하는 대상을 두 대의 직류 모터로 한정한다. 그중 모터 I은 정교한 속도 제어를 해야할 제어 대상으로 가정하고, 모터 Ⅱ는 정역 운전만 하는 제어 대상으로 가정한다.

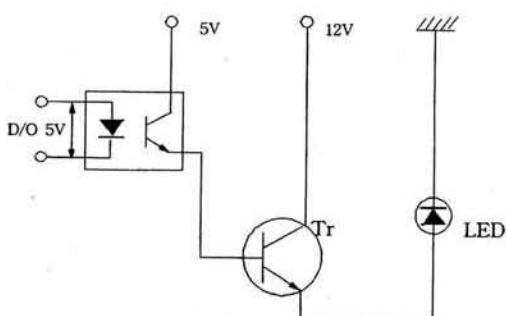


Fig. 2-8 LED Driving Circuit

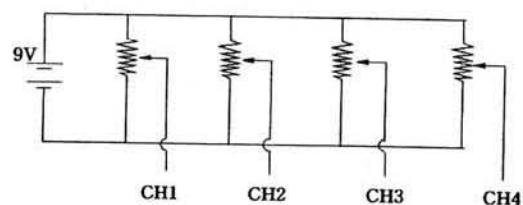


Fig. 2-9 Dummy signal Driving Circuit

2.5.1 모터 I의 모델링

DC 모터의 속도제어 방식에는 전기자 제어 방식과 계자 제어 방식이 있는데, 본 연구에서는 전기자 제어방식을 채택한다. 전기자 제어 전압을 입력(u)으로 하고 모터의 회전 속도를 출력(y)으로 할 경우, 이 계는 식(2-1)과 같이 2차계로 근사화 할 수 있다.

$$P(s) = \frac{y}{u} = \frac{k}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2-1)$$

식(2-1)의 각 계수값을 구하기 위해 주파수 응답법을 이용하였으며, 응답은 Fig. 2-10와 같고, 이 그림으로 부터 고유 진동수 및 감쇠비를 동정한 결과는 다음과 같다.

$$\omega_n = 7.23 \text{ [rad/s]}$$

$$\zeta = 1.04$$

$$k = 441.2$$

그리고, 모터 II는 단지 개루프(open loop)로 정역으로만 제어하는 것으로 하여 전달함수는 구하지 않는다.

$20 \times \log|P(s)| \text{ [dB]}$

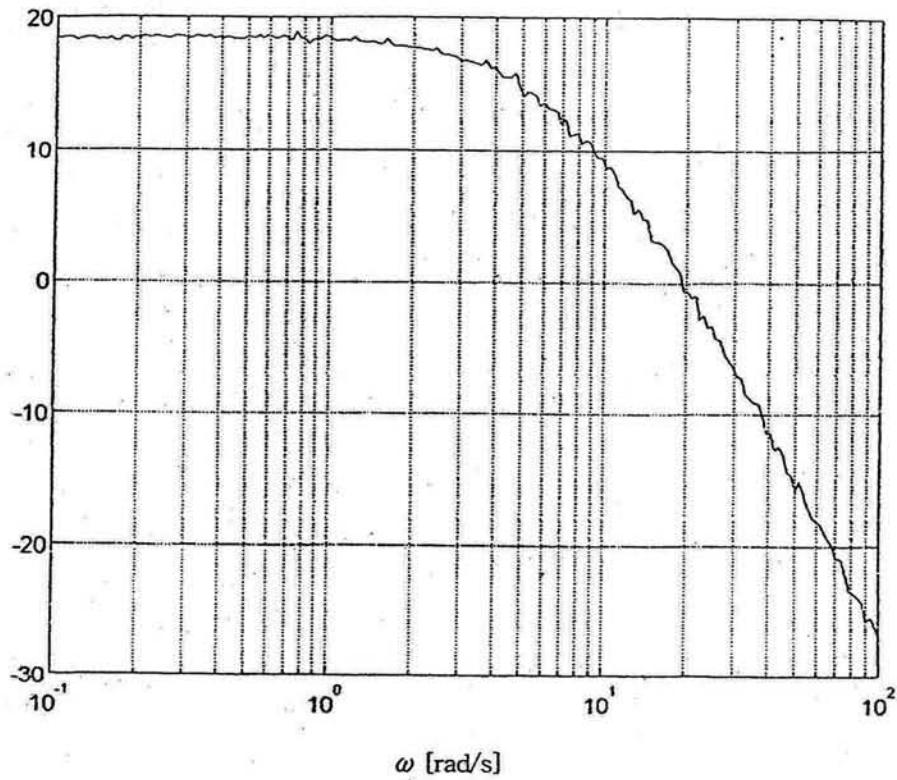


Fig. 2-10. Frequency Response

2.5.2 제어기 설계

모터 I의 속도를 제어할 제어기로서 식(2-2)와 같은 PID 제어기를 이용하였으며, 각각의 비례, 미분, 적분의 파라미터(K_p, T_d, T_i)는 근궤적법으로 결정한다.

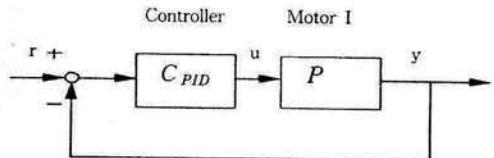


Fig. 2-11 Control system of Motor I with PID controller

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2-2)$$

Fig. 2-11은 모터 I의 제어계를 나타낸 그림이다.

Fig. 2-11에서 모터 I에 대한 속도 지령(r)으로부터 속도 출력(y)까지의 폐루프 전달 함수($G(s)$)는 식(2-1), (2-2)로부터 식(2-3)과 같이 된다.

$$G(s) = \frac{y}{r} = \frac{P \cdot C}{1 + P \cdot C} = \frac{as^2 + bs + c}{s^3 + ds^2 + es + f} \quad (2-3)$$

이 때 $G(s)$ 의 극점 및 영점이

- zero = -997.4937, -2.5063
- pole = $-6.6429 \pm 25.2637i, -2.4267$

이 되도록 K_p, T_d, T_i 를 선정한 결과 다음과 같다.

$$K_p = 1.5, T_d = 0.001, T_i = 0.4$$

선정된 연속계에서의 PID 제어기의 파라미터의 값을 이용하여, 식(2-2)를 백워드 방식(Backward rule)으로 이산화하면 식(2-4)과 같이 된다. 여기서 T 는 샘플링 시간이다.

$$\begin{aligned} D(z) &= \frac{u(z)}{e(z)} = K_p \left(1 + \frac{Tz}{T_i(z-1)} + \frac{T_d(z-1)}{Tz} \right) \\ &= K_p \left(1 + \frac{T}{T_i(1-z^{-1})} + \frac{T_d(1-z^{-1})}{T} \right) \\ &= K_p \left(\frac{TT_i(1-z^{-1}) + T^2 + TdT_i(1-z^{-1})^2}{T_i(1-z^{-1})T} \right) \\ &= \frac{K_p}{TiT} \left(\frac{TT_i + T^2 + T_iT_d - (TT_i + 2T_iT_d)z^{-1} + T_iT_dz^{-2}}{1-z^{-1}} \right) \end{aligned}$$

여기서

$$(1-z^{-1}) u(z) = \frac{K_p}{TiT} (TT_i + T^2 + T_iT_d - (TT_i + 2T_iT_d)z^{-1} + T_iT_dz^{-2}) e(z)$$

이다.

이것을 디지털 컴퓨터 상에서 실현하기 편리한 순환형(recursive form)으로 표시하면

$$u(k) - u(k-1) = \frac{K_p}{T_i T} [TT_i + T^2 + T_i T_d] e(k) - [TT_i + 2T_i T_d] e(k-1) + T_i T_d e(k-2) \quad (2-4)$$

이 된다. 여기서 $u(k)$ 와 $e(k)$ 는 현재의 제어입력과 오차이며, $u(k-1)$ 와 $e(k-1)$ 은 한 샘플링 시간 이전의 제어입력과 오차고, $e(k-2)$ 는 두 샘플링 시간 이전의 오차이다.

III. 모니터링 및 제어 시스템의 소프트웨어

본 절에서는 마스터 컴퓨터가 외부기기를 모니터링하고 제어하는 프로그램과 슬레이브 컴퓨터가 제어대상(plant)을 제어하기 위한 프로그램에 대해 설명한다.

3. 1 모니터링 프로그램 개요

마스터 컴퓨터의 도스 프롬프트(DOS prompt)상태에서 실행화일을 입력하면 Fig. 3-1과 같은 화면

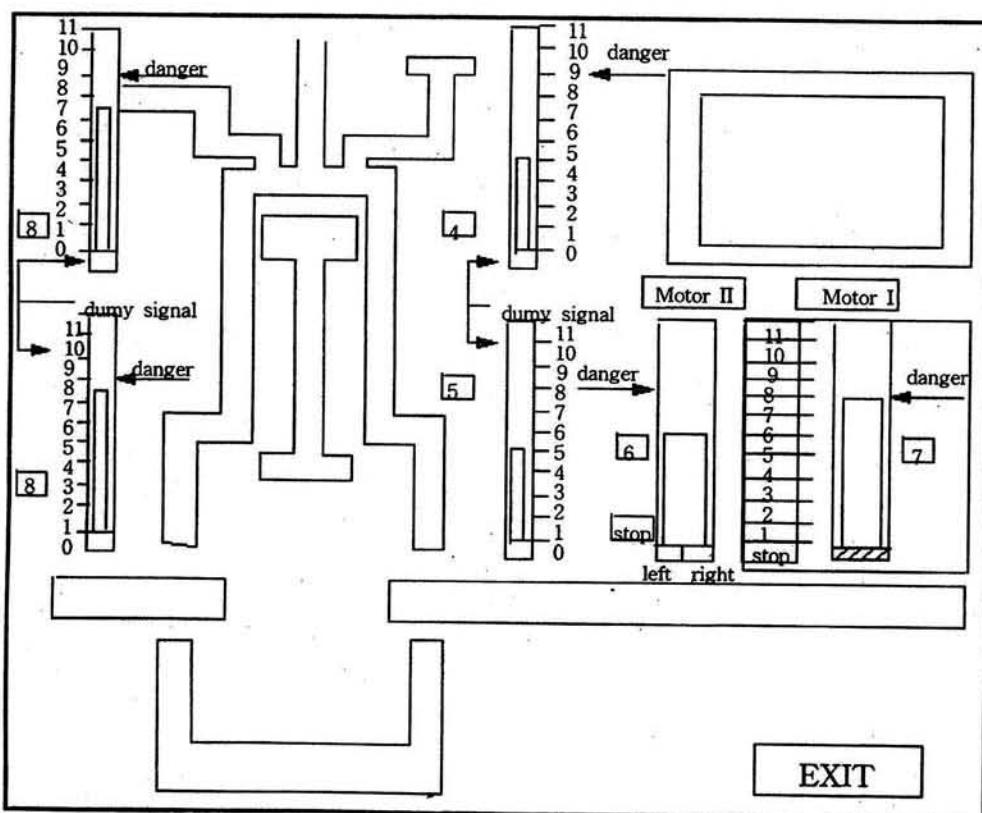


Fig. 3-1 Monitoring Screen

이 모니터에 나타나게 되고, 제어는 화면 상에서 마우스로 행한다. 즉, 모터 I의 기준입력을 변경하기 위해서는 Motor I으로 표시된 부분의 아래 블럭내 좌측에 표시된 1부터 8까지의 값을 선택하면 되고, 정지하고자 할때는 stop을 선택하면 된다. 이 때 모터의 회전속도에 대응하는 값이 막대 그래프와 숫자로 표시됨과 동시에 중앙의 피스톤 모양의 그림이 상·하로 움직이도록 프로그램되었다(본 연구를 처음 시작할 때 디젤기관의 속도제어 및 모니터링 시스템을 구축하려고 시작했기 때문에 이와 같은 피스톤 모양을 그래픽하게 되었음). 모터 II는 막대 그래프의 아랫부분에 정(left)·역(right)으로 표시된 부분을 마우스로 선택하면 회전방향을 변경할 수 있으며 정지하고자 할 때는 막대 그래프 좌측의 stop을 선택하면 된다. 화면 좌측 상단부의 4개의 막대 그래프와 숫자는 가변 저항으로부터 읽어온 더미 신호를 표시하는 것이다. 각각의 막대 그래프 옆에 위험(danger)이라고 표시된 수치 이상의 데이터가 전달되면 경보용 LED가 점등되게 된다. 그리고, 프로그램을 종료하고 도스 상태로 빠져나가려면 화면의 우측 하단에 있는 EXIT를 선택하면 된다.

3.2 모니터링 프로그램

Fig. 3-2는 모니터링 프로그램의 플로 차트를 나타낸 그림이다. 그림의 Initialize에서는 텍스트 환경(text mode)에서 그래픽 환경(graphic mode)으로 전환하기 위해 그래픽 시스템을 초기화하며, Graphic_initialize에서는 모니터링 화면의 밀그림을 그린다. Ad_conversion에서는 각각의 플랜트로 부터 데이터들을 읽어 그 중에서 모터 I의 속도와 더미 신호의 데이터가 규정치 이상이면 LED가 점등된다. 그리고, Monitoring에서는 그 데이터들을 화면에 표시하며, 마우스를 초기화하여 모터들을 제어할 준비를 한다. 옆쪽에 From mouse라고 적혀져 있는 비교문에서는 모터 I, 모터 II 혹은 Exit를 마우스로 선택할 수 있는데 모터 I을 선택했을 때는 기준입력에 해당하는 값을 슬레이브 컴퓨터로 넘겨주며, 모터 II에서는 정·역회전을 선택할 수 있다. 그리고 Exit를 선택할 때까지 순환문에 의해 Ad_conversion에서 부터 계속 순환하게 된다. 그리고 Exit를 선택하면 프로그램을 끝내고 도스(DOS)상태로 돌아간다.

3.3 마우스 제어 프로그램

마우스를 제어하려면 마우스의 정보를 얻어야 한다. 마우스의 화면상의 좌표라든지 단추가 눌린 상태 등의 정보가 필요하다. 본 논문에서는 마우스의 상태를 계속 검사하여 정보를 얻도록 한다.

마우스의 정보를 얻기위해 인터럽트 0x33번(마우스가 상태를 바뀔 때만 발생)을 이용한다. 먼저, 마우스 초기화 함수인 MouseInit를 사용해서 마우스의 설치여부를 확인하고, MouseShow 함수는 커서를 화면상에 나타내고 마우스가 움직이면 화면상의 커서도 움직이게 한다. MouseStatus 함수는 마우스의 상태 정보를 얻는데 화면상의 x, y좌표와 단추의 상태를 들려주며, MouseMove 함수는 마우스 커서의 위치를 옮기는 역할을 하고 MouseSetWindow 함수는 마우스 커서가 움직일 수 있는 영역의 한계를 설정한다. Control_mouse 함수는 마우스 커서가 화면상의 일정 영역에서 선택되면 그 영역에서 요구하는 함수를 수행하는 역할을 한다.

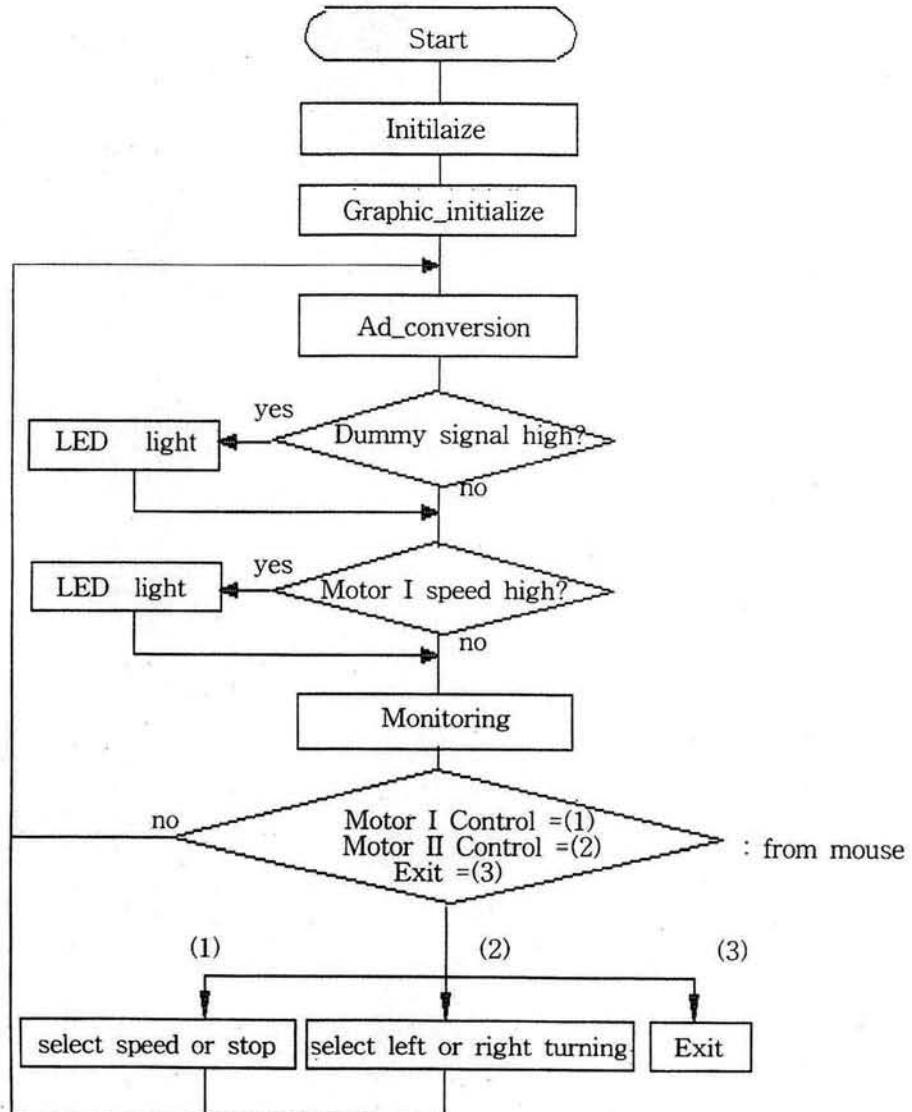


Fig. 3 - 2 Flow chart of Monitoring

3.4 모터 I의 속도제어 프로그램

모터 I의 속도제어를 위해서 슬레이브 컴퓨터의 인터럽트를 이용하고 PWM파를 발생시키기 위해 컴퓨터에 장착된 AX 5411카드의 D/O을 이용한다.

속도 제어프로그램은 우선 Initilaize에서 AX5411카드에 대해 샘플링 시간, 인터럽트 요청과 데이터 수수(受授) 채널등을 초기화한다. A/D Conversion부분에서는 마스터 컴퓨터로 부터 A/D변환기를 통해 받은 기준입력(y[1])과 모터 I의 속도 출력(y[0])을 읽어온 다음 그 차($e[2] = y[1] - y[0]$)를 PID 제어 칙을 이용해서 제어입력(u[2])을 연산한다. 그리고, 제어입력(u[2])로 내보낼 PWM파를 만들고, 다음

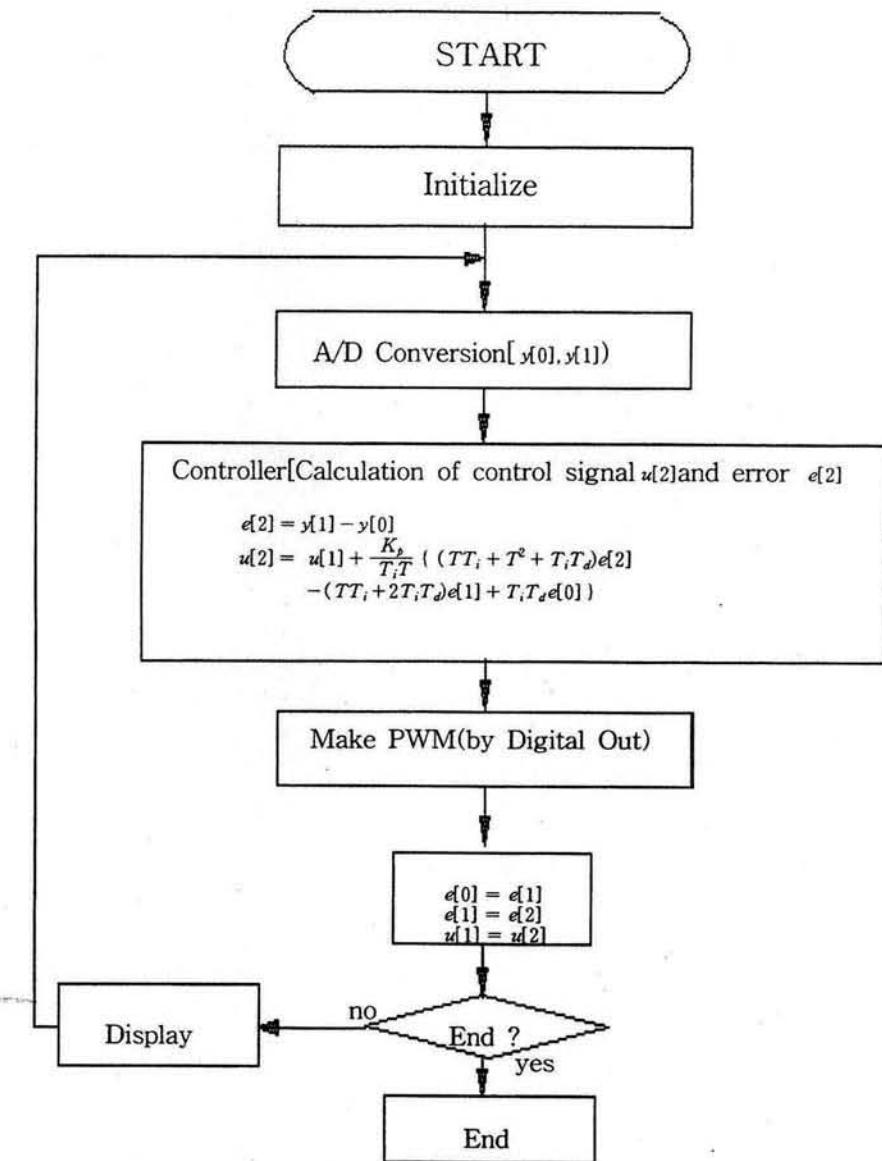


Fig. 3 - 3 Flow chart of Motor I speed control system

연산을 위해 쉬프트(shift)연산을 하고 디스플레이를 한다.

Fig. 3 - 3는 모터 I의 속도제어 프로그램에 대한 플로우 차트이다.

IV. 실험 및 고찰

본 연구에서 작성한 모니터링 및 제어에 관한 프로그램의 유용성을 확인하기 위해 더미신호 4개와 LED 4개를 사용하고, 제어대상을 두 개의 DC모터로 선정하였다.

마스터 컴퓨터에서의 프로그램은 D/A 및 A/D 변환 기능을 이용하여 모터 I의 속도 지령을 내리고 대상들의 데이터를 수수하여 모니터링함으로써 각 대상들의 상태를 용이하게 파악할 수 있도록 했으며, 마스터 컴퓨터의 화면 제어는 마우스를 이용하도록 한다.

슬레이브 컴퓨터에서의 프로그램은 PID 제어기를 이용하여 모터 I의 속도를 제어하는데, 마스터 컴퓨터가 넘겨준 모터 I의 기준 속도와 모터 I의 출력속도를 타코제너레이터로 읽어 들여 PID 제어 알고리즘에 따라 제어 입력 값을 계산하고 드티비(duty ratio)를 이용한 PWM 방식으로 제어 입력 값을 출력하였다. PID제어의 샘플링 간격은 0.01s로 이산화하여 퍼스널 컴퓨터를 이용해서 C언어로 실현하였다.

모터 구동을 위해서는 PWM 발생 드라이브를 자작하여 사용했으며, 모터의 속도는 타코제너레이터(tacho-generator)의 출력을 사용했다. 그리고, 데이터의 수수는 12 비트(bit)의 분해능을 가진 A/D 및 D/A변환기를 이용하였다.

Fig. 4-1은 마스터 컴퓨터 화면상에서 선택한 여러가지 기준입력에 대한 모터 I의 응답을 나타내었다. 이 그림으로부터 회전수가 높은 상태에서 기준입력을 스텝상으로 증가 할 경우가 회전수가 낮은 경우에 비하여 오버슈트의 양이 점차 감소함을 알 수 있다. 그 이유는 다음과 같다. 모터가 정지된 상태에서 모터에 입력치에 1[V]의 전원을 가했을 때(정상상태에서 모터의 회전수는 약 200[rpm]정도)의 응

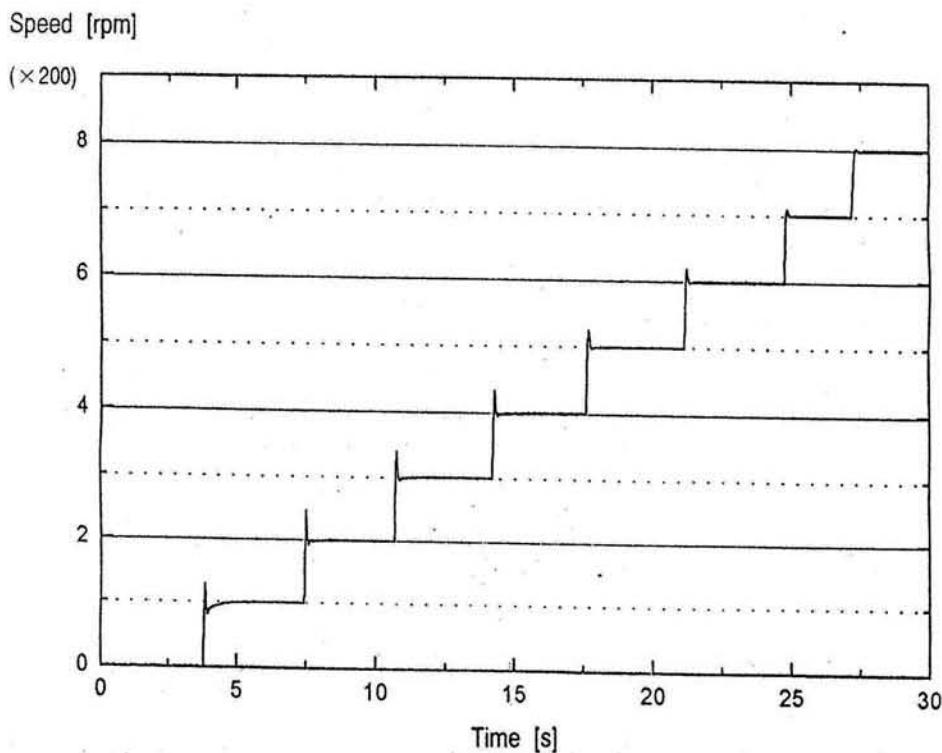


Fig. 4-1 Response of variable input

모니터링 및 제어 시스템의 구축에 관한 연구

답으로부터 모터의 정상이득을 구하였고, 이 제어계에 대해 오버슈트가 약 25%정도가 되도록 제어기를 설계하였기 때문이다. 즉, 그림으로부터 정지된 상태에서 200[rpm]의 회전수를 스텝상으로 가했을 때는 약 25%의 오버슈트가 있음을 확인 할 수 있다. 그러나 회전수가 높은 운전상황에서 모델링시의 운전 점과 다르므로 응답 또한 다른 모양을 나타내고 있다.

V. 결 론

기관실 내의 기기들을 제어하고 모니터링하는 시스템을 구축하는 것을 궁극적인 목적으로 하였으나, 편의상 주기관 및 각종기기로부터의 모니터링 해야 할 신호를 두 대의 DC 모터 및 더미 신호로 대체하였다. 그리고 DC 모터 구동회로를 자작하여 실험장치를 구성하고 제어기를 설계하였으며, 제어 및 모니터링 프로그램을 C언어로 작성해서 모니터링 및 제어시스템을 구축하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻게되었다.

- 1) 본 연구에서 작성한 모니터링 프로그램을 비교적 값이 싼 퍼스널 컴퓨터로 실현하므로써 각 기기의 운전상황을 시각적으로 용이하게 감시 할 수 있게 되었다.
- 2) PID 제어기로 설계된 Motor I 의 제어계의 응답은 넓은 범위의 운전점에서 비교적 양호했다.
- 3) 제어대상이 많아질 경우는 슬레이브 컴퓨터를 추가 설치함으로써 제어 및 모니터링 시스템은 용이하게 확장하는 것이 가능하다.

앞으로는 이 모니터링 시스템을 박용기관에 직접 적용하여 운전상태를 모니터링하고 제어하는데 이 용하는 것과 프로그램 운용 환경도 도스에서 윈도우즈로 전환하는 것, 그리고 제어기로 이용된 범용 퍼스널 컴퓨터를 i80196등 원칩 마이크로 프로세서로 구현하여 컴팩트한 전용 제어시스템으로 구축하는 것을 연구과제로써 남겨둔다.

참 고 문 헌

- 김종식, 선형제어시스템공학, 청문각, 1992.
Gene F. Franklin, J.David Powell, Michael L.Workman : Digital Control of Dynamic System, 1990.
Katsuhiko Ogata, Modern Control Engineering, Prentice - Hall int.
AX5411 General Purpose DA&C Board Driver Programming in C user's Manual, Axiom.
Matlab User's guide, The Math Works Inc.
유정하, PC 시스템 프로그래밍, 정보문화사, 1993.
Bahram Shahian, Michael Hassui : Conrol System Design Using Matlab, Prentice - Hall International Inc.
황희웅, C 프로그래밍 이렇게 한다(부록 1), 교학사, 1994.
임인건, 터보 C 정복, 가남사, 1993.
김주환, C 라이브러리, 정보문화사, 1995.