

DSP카드 및 PC에 의한 유공압장치의 실시간 모의시험기 개발 사례



이 성 래(건양대학교 교수)

- '77. 2 서울대학교 기계설계학과(학사)
- '79. 2 한국과학기술원 생산공학과(석사)
- '79. 3 - '83. 6 ADD 연구원
- '85. 2 미국 오하이오주립대 기계공학(석사)
- '89. 3 미국 오하이오주립대 기계공학(박사)
- '89. 6 - '91. 2 ADD 선임연구원
- '91. 3 - 현재 건양대학교 기계공학과 교수

1. 서 론

새로운 유공압장치를 설계 및 제작하는 과정에서 유공압장치의 동특성을 실시간으로 나타낼 수 있는 유공압장치의 실시간 모의시험기를 이용할 수 있다면 일반적인 비실시간 컴퓨터 시뮬레이션보다는 더욱 실제에 가까운 시스템 전체의 동특성을 파악할 수 있으며 이에 따라 전체 시스템 구성의 적절성을 확신할 수 있고 다음 단계의 설계, 부품구매, 제작을 진행함으로써 주어진 제작시간과 비용 한도에서 전체시스템의 제작 성공률을 높일 수 있게 된다. 유공압시스템의 구성품 중 제어기는 쉽게 구현할 수 있지만 유압펌프, 압력제어밸브, 서보밸브, ON-OFF 솔레노이드밸브, 방향변환밸브, 선형작동기, 유공압 모터 등은 아직까지는 상당량이 수입에 의존하므로 전체 시스템의 가격을 비싸게 할 뿐만 아니라 제작기간을 길게 하는 요인이 되므로 시행착오적인 설계를 최소화해야 한다. 이에따라 유공압장치의 실시간 모의시험기와 쉽게 구현할 수 있는 실제 제어기를 연결하여 실시간 실험을 시행함으로써 초기설계의 오류, 부품선택의 오류, 제어기와 시스템 하드웨어 사이의 신호 송수신 오류 등을 미리 지적하여 수정함으로써 전체 시스템 설계의 시행착오를 최소화할 수 있다.

유공압장치의 실시간 모의시험기는 유공압장치의 동특성을 실시간으로 모사하는 것으로써 유공압장치의 동특성을 미분방정식이나 대수적인 식으로 표현하여 그 해를 DSP(Digital Signal

Processing)보드^[1] 내에서 실시간으로 구하는 것이다. 즉 DSP 보드에 내장되어 있는 입력포트(A/D, D/I)를 통해 실제 제어기나 다른 종류의 하드웨어로부터 입력신호를 받아 들이고 입력신호를 참조하여 유공압장치의 상태변수나 출력변수를 계산하며 계산된 출력변수는 다시 DSP 보드에 내장된 출력포트(D/A, D/O)를 통해 실시간에 맞춰서 출력포트에 연결된 실제 제어기나 다른 하드웨어 장치로 내 보낸다.

실시간 모의시험기의 개발 사례로써 유압서보장치와 공압서보장치에 대한 실시간 모의시험기를 각각 개발하였다. 첫 번째 사례로써 유압서보장치의 구성부품인 서보밸브 드라이버, 서보밸브, 액추에이터, 부하, 위치센서 등에 대한 수학적 모델식을 유도하고 C-언어로 실시간 프로그램을 작성하여 DSP보드에 로드시킴으로써 유압서보장치의 실시간 모의시험기를 구성하였다. 실제 제어기를 이용하여 실시간 모의시험기를 제어하는 실험을 실시하였으며 그 모의실험결과는 실제 유압서보장치의 제어에 대한 실험 결과와 잘 일치하였다. 두 번째 사례로써는 공압서보장

치의 구성부품인 차동 PWM 신호발생기, 밸브 드라이버, 흡기용 솔레노이드 ON/OFF 밸브, 배기용 솔레노이드 ON/OFF 밸브, 액추에이터, 부하, 회전각센서 등에 대한 수학적 모델식을 유도하고 C-언어로 실시간 프로그램을 작성하여 DSP보드에 로드시킴으로써 공압서보장치에 대한 실시간 모의시험기를 구성하였다. 마찬가지로 제어기를 이용하여 실시간 모의시험기를 제어하는 실험을 실시하였으며 모의실험결과는 공압서보장치의 심한 비선형성에도 불구하고 실제 공압서보장치의 제어에 대한 실험 결과와 비교적 잘 일치하였다.

2. 실시간 모의시험기의 구성

유공압장치의 실시간 모의시험기는 그림 1에 나타난 것처럼 A/D 변환기, D/A 변환기 등과 같은 입출력 장치를 내장한 DSP보드와 DSP 보드에 타겟파일을 다운로드(download)시킬 수 있는 모의시험기 PC 로 구성된다. 그림 1에 나타난 유공압 부품 모듈은 하드웨어가 아니며 유공

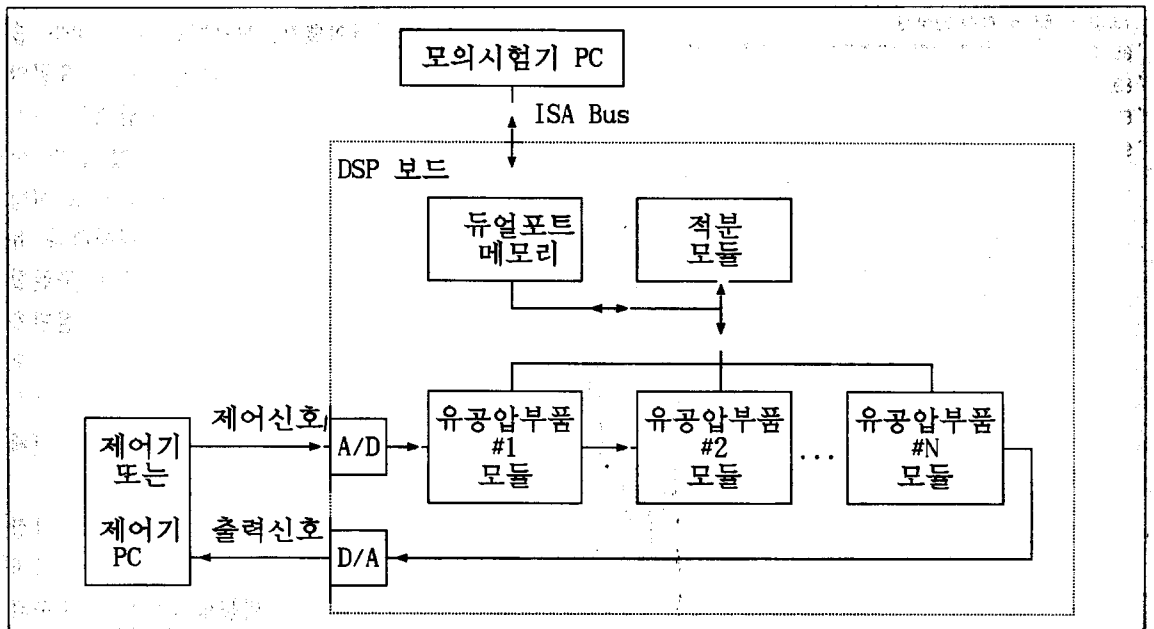


그림 1. 유공압장치의 실시간 모의시험기 구성도

표 1. 실시간 모의시험기에 사용된 프로그램의 역할

프로그램	역 할
DSP보드용 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 제어기의 신호를 실시간으로 받아들인다. 제어신호에 따라 유공압장치를 모의작동시켜 액추에이터 변위, 속도, 압력 등을 실시간으로 계산한다. 유공압장치의 출력신호를 D/A 변환기를 통해 제어기에 실시간으로 전달한다.
모의시험기 PC용 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> 타겟파일(DSP보드용 프로그램의 실행파일)을 DSP 보드에 다운로드(download)시킨다. DSP 보드에서 모의작동되는 결과를 일정한 간격으로 DSP보드에 있는 듀얼포트 메모리로부터 읽어들이며 읽어들이는 값을 참고하여 모니터에 동적그림 이나 그래프으로써 나타낸다. 동적 그림이나 그래프는 실시간으로 그려진다.

압부품의 동특성을 C-언어로 표현한 함수이다. 적분 모듈은 미분방정식을 풀기 위한 모듈이며 적분 알고리즘으로서 Fixed Step Runge-Kutta 4th order method^[2]를 채택하였다.

DSP 보드의 A/D 변환기는 제어기의 실제 제어신호를 실시간으로 받아들이며 제어신호에 따라 각 유공압부품이 작동되며 작동결과는 D/A 변환기를 통해 제어기에 실시간으로 전달된다. 여기서 각 유공압부품의 작동은 컴퓨터 프로그램에 의해 모의작동되는 것이지만 실시간으로 작동결과가 계산되기 때문에 실제 유공압부품의 작동과 같을 수 있다. 아울러 유공장치의 출력변수 중에서 중요한 변수는 듀얼포트 메모리를 통하여 모의시험기용 PC의 모니터에 그래프나 동적그림으로 나타냄으로써 사용자가 유공압장치의 모의적 작동을 실시간으로 관찰할 수도 있으며 또는 중요한 변수의 데이터를 모의시험기 PC의 메모리에 저장할 수도 있다. 실시간 모의시험기의 구성에 필요한 프로그램은 크게 두가지로 구분되며 그 역할은 표 1과 같다.

3. 사례1 : 유압 서보장치의 실시간 모의 시험기 개발

3.1 유압서보장치의 수학적 모델

유압서보장치는 위치제어인 경우 그림 2에 나타난 것처럼 유압공급장치, 제어기, 밸브 드라이

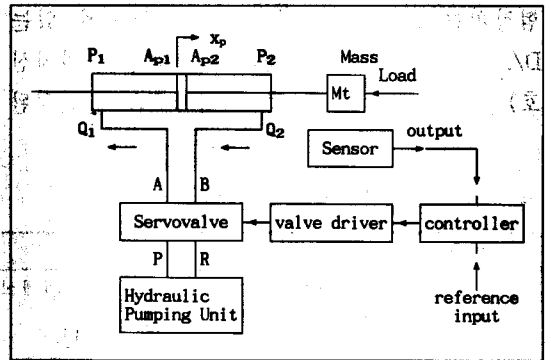


그림 2. 유압서보장치의 개략도

버, 서보밸브, 선형작동기, 부하, 위치센서 등으로 구성된다. 제어기는 기준명령신호와 유압서보장치의 위치신호를 참고하여 적절한 제어 알고리즘에 의해 제어신호를 생성하여 서보밸브의 드라이버에 보낸다. 서보밸브 드라이버는 제어신호를 증폭하여 서보밸브를 구동시킬 수 있도록 한다. 서보밸브에 의해 제어된 유량이 액추에이터의 한 쪽으로 공급되며 동시에 액추에이터의 다른 쪽에서는 작동유가 배출되어 서보밸브를 거쳐 작동유 저장탱크로 귀환된다. 유압서보장치의 동특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 정확히 예측하기 위해서는 먼저 모든 유압부품에 대한 정확한 수학적 모델식이 필요하다^[3]. 유압부품의 종류는 매우 많고 또한 사용방법 및 범위에 따라 수학적 표현식이 달라지기 때문에 정확한 수학적 모델식을 유도하기란 매우 어려운 일이며 많은 경험을 필요로 한다. 유압서보장치에 대한 수학적 식은

표 2에 간략히 나타냈다. 실험에 사용된 유압서보장치에 대한 시스템 상수값은 표 3과 같으며 유압공급장치의 공급압력은 1310 N/cm²(1900 psi)로서 일정하다고 가정하였다.

3.2 실시간 모의시험기에 의한 모의실험 및 실제 유압서보장치의 작동실험과의 비교

유압서보장치에 대한 실시간 모의시험기의 실험장치는 그림 1과 같으며 DSP보드에 있는 D/A 채널은 유압서보장치의 출력신호(위치신호)를 내보내며 이 신호는 제어기 PC에 설치된

I/O 보드의 A/D 채널에서 받아 들인다. 제어기는 자체적으로 생성한 명령신호와 위치 피드백 신호를 참고하여 제어신호를 만들며 만들어진 제어신호는 I/O 보드^[4]의 D/A 채널을 통하여 내 보내진다. 이 신호는 모의시험기용 PC에 설치된 DSP 보드 A/D 채널에서 받아 들인다. 물론 이 제어신호를 참고하여 DSP 보드는 출력신호(유압서보장치의 위치신호)를 계산하여 실시간에 맞춰서 제어기로 내보낸다.

그림 3과 그림 4는 유압서보장치의 실시간 모의시험기를 이용한 모의실험결과와 실제 유압서보장치의 실험결과를 함께 나타낸다. 실시간 모의시험기에 사용된 상수값은 표 3과 같으며 특

표 2. 유압서보장치의 수학적 식

부 품	수학적 식
서보밸브	밸브제어신호와 밸브스플변위의 관계식 : $\frac{x_v}{u}(s) = K_v / \left[\frac{s^2}{\omega_v^2} + 2\zeta_v \frac{s}{\omega_v} + 1 \right]$ 유량식 : if $x_v > 0$ $Q_1 = C_d w x_v [2(P_s - P_1)/\rho]^{0.5}$, $Q_2 = C_d w x_v [2P_2/\rho]^{0.5}$ if $x_v < 0$ $Q_1 = C_d w x_v [2P_1/\rho]^{0.5}$, $Q_2 = C_d w x_v [2(P_s - P_2)/\rho]^{0.5}$
액추에이터	연속방정식 : $dP_1/dt = [\beta / (V_{10} + A_p x_p)] [Q_1 - A_p dx_p/dt - Q_{int} - Q_{ext1}]$ $dP_2/dt = [\beta / (V_{20} - A_p x_p)] [-Q_2 + A_p dx_p/dt + Q_{int} - Q_{ext1}]$ 운동방정식 : $P_1 A_p - P_2 A_p - B_p (dx_p/dt) = M_t (d^2 x_p/dt^2)$

표 3. 유압서보장치의 시스템 상수값

제어기 샘플링 주기	0.001 sec(1000 Hz)
DSP 보드 샘플링 주기	0.0005 sec(2000 Hz)
적분방법	fixed step Runge-Kutta 4th order
적분간격시간	0.0005 sec
변위센서이득	$H_{ps} = 3.0076446$ v/cm (0.2 v/deg)
서보밸브 유량계수, 서보밸브 이득	$C_d = 0.61$, $K_v = 0.0079248$ cm ³ /v
서보밸브 오리피스 면적율	$w = 0.67056$ cm ² /cm
서보밸브 비감쇠 고유진동수, 감쇠비	$\omega_v = 1068$ rad/sec, $\zeta_v = 0.5$
서보밸브 드라이브 임계전압	+ -4.53 v
액추에이터 피스톤 단면적	$A_{p1} = A_{p2} = 4.11612$ cm ²
액추에이터 내부누설유량계수	$C_{ip} = 2.47172 \times 10^{-5}$ (cm ³ /sec)/(N/cm ²)
실린더 체적	$V_t = 26.547$ cm ³
액추에이터 점성마찰계수, 이동질량	$B_p = 60$ N-sec/cm, $M_t = 0.3001$ N-sec ² /cm
유압공급장치 공급압력	$P_s = 1310$ N/cm ² (1900 psi)
작동유 체적탄성계수, 작동유 밀도	$\beta = 68950$ N/cm ² , $\rho = 0.8346 \times 10^{-5}$ N-sec ² /cm ⁴

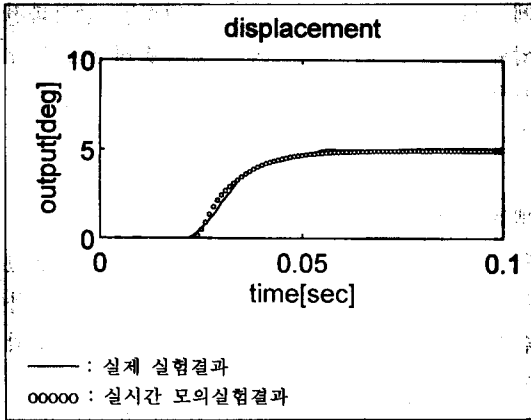


그림 3. 실제 실험결과와 실시간 모의시험기를 이용한 모의실험결과
(파형=구형파, 변위변화=5deg)

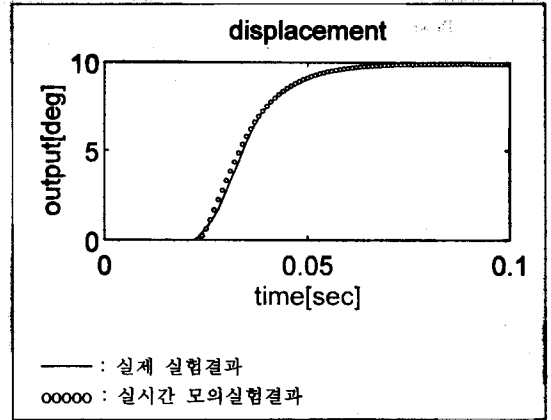


그림 4. 실제 실험결과와 실시간 모의시험기를 이용한 모의실험결과
(파형=구형파, 변위변화=10deg)

히 적분시간간격은 0.0005초이며 유압서보장치를 모의시험하는 장치에서의 신호 입력력 시간간격도 0.0005초이며 제어기에서의 샘플링 주기는 0.001초로 하였다. 적분시간간격 0.0005초는 실험에 사용된 유압서보장치의 동특성을 정확하게 묘사할 수 있는 시간간격이라 할 수 있으며 유압서보장치의 응답속도가 빠를수록 적분시간간격은 작게 설정해야 한다. 마찬가지로 제어기에서의 샘플링 주기는 제어기와 유압서보장치가 포함된 전체 폐루프 시스템의 응답속도가 빠를수록 작게 선정해야 한다. 제어기에서의 제어알고리즘은 PID 제어를 택하였으며 비례게인은 3[v/v], 적분게인은 1[v/(v-sec)], 미분게인은 0.001[v/(v/sec)]으로 선정하였으며 변위명령신호는 0도(직선변위 0cm, 전압 0volt)에서 5도(직선변위 0.3325cm, 1volt)로 또는 10도(직선변위 0.665cm, 2volt)로 변하고 다시 0도로 변하는 주기가 0.5초인 구형파를 제어기 내부에서 생성하여 사용하였다. 그림 3은 변위명령신호의 변화폭이 5도(1volt)인 경우에 유압서보장치의 변위출력값을 나타낸다. 그림에서 실선으로 표시된 그래프는 실제 유압서보장치의 실험결과를 나타내며 작은 원으로 표시된 그래프는 실시간 모의시험기의 모의실험결과를 나타낸다. 그림 3을 관찰

하면 실시간 모의시험기에 의한 모의실험결과는 실제 유압서보장치에 의한 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 4는 변위명령신호의 변화폭이 10도(2volts)인 경우에 유압서보장치의 변위출력값을 나타낸다. 마찬가지로 그림 4를 관찰하면 실시간 모의시험기에 의한 모의실험결과는 실제 유압서보장치에 의한 실험결과와 잘 일치함을 알 수 있다.

4. 사례2 : 공압서보장치의 실시간 모의시험기 개발

4.1 공압서보장치의 수학적 모델

공압시스템은 회전각변위제어인 경우 그림 5에 나타난 것처럼 공압공급장치(고압용기와 압력조절기로 구성), 제어기, 차동용 PWM 신호발생기, 솔레노이드밸브 드라이버, 흡기용 솔레노이드 ON/OFF 밸브, 배기용 솔레노이드 ON/OFF 밸브, 액추에이터, 부하, 회전각변위센서 등으로 구성된다. 제어기는 기준명령신호와 측정된 회전각신호를 참고하여 적절한 제어 알고리즘에 의해 제어신호를 생성하여 차동 PWM 신호발생기로 보낸다. 차동 PWM 신호발생기에

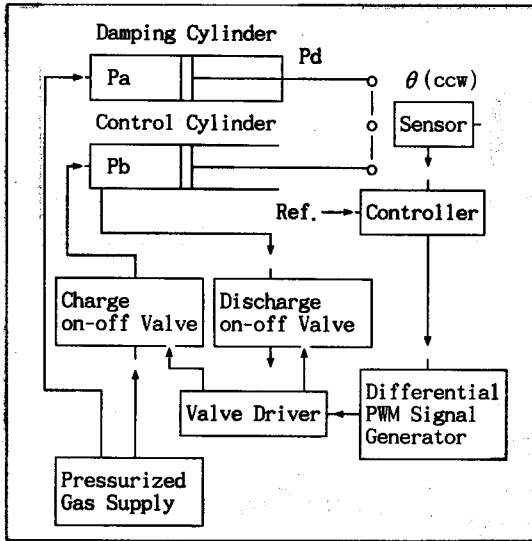


그림 5. 공압시스템의 개략도
(회전각변위 제어시스템)

서 발생하는 진폭 5볼트, 주파수 125Hz인 삼각파는 제어신호에 더해지며 변형된 삼각파전압이 4볼트보다 크면 흡기용 솔레노이드 밸브를 열리

게 하는 펄스신호가 발생하며 변형된 삼각파전압이 -4 볼트보다 작으면 배기용 솔레노이드 밸브를 열리게 하는 펄스신호가 발생한다. 펄스신호는 밸브 드라이버에서 증폭되어 해당되는 솔레노이드 밸브를 구동시킨다. 흡기용 솔레노이드 밸브가 열리면 고압기체가 제어실린더로 유입되어 피스톤을 우측으로 밀며 피스톤 로드와 연결된 레버암을 반시계방향으로 회전시킨다. 배기용 솔레노이드밸브가 열리면 제어실린더 내의 고압기체가 대기 중으로 방출되어 제어실린더 내의 피스톤이 좌측으로 움직이며 레버암을 시계방향으로 회전시킨다. 감쇠실린더 내의 피스톤에는 작은 구멍이 뚫려 있어서 피스톤의 움직임에 적절한 감쇠작용을 한다. 즉 레버암의 회전운동에 감쇠작용을 한다. 레버암의 회전각은 센서에 의해 감지되며 감지된 센서신호는 제어기로 보내진다. 공압서보장치에 대한 수학적 식^[5, 6]은 표 4에 나타냈으며 공압서보장치의 시스템상수값은 표 5에 나타냈다.

표 4. 공압서보장치의 수학적 식

부 품	수학적 식
차동 PWM 신호 발생기	if $V_c + V_{tr} > V_{cr}, V_{in} = 1, \text{ if } V_c + V_{tr} < V_{cr}, V_{in} = 0$ if $V_c + V_{tr} < -V_{cr}, V_{out} = 1, \text{ if } V_c + V_{tr} > -V_{cr}, V_{out} = 0$
흡기용 ON-OFF 솔레노이드 밸브	유량식: $V_{in} = g(V_{in}), A_{vi}(t) = K_{vi} V_{in}$ $dm_{bi}/dt = [C_d K A_{vi} P_s / T_s^{1/2}] f(P_{tr}/P_s)$
배기용 ON-OFF 솔레노이드 밸브	유량식: $V_{out} = h(V_{out}), A_{vo}(t) = K_{vo} V_{out}$ $dm_{bo}/dt = [C_d K A_{vo} P_s / T_b^{1/2}] f(P_s/P_b)$
감쇠실린더 공급 오리피스	유량식: if $P_s < P_s, dm_{ss}/dt = [C_d K A_{vs} P_s / T_s^{1/2}] f(P_s/P_s)$ if $P_s > P_s, dm_{ss}/dt = -[C_d K A_{vs} P_s / T_s^{1/2}] f(P_s/P_s)$
감쇠실린더 공급 오리피스	유량식: if $P_s > P_s, dm_{ss}/dt = [C_d K A_{vs} P_s / T_s^{1/2}] f(P_s/P_s)$ if $P_s < P_s, dm_{ss}/dt = -[C_d K A_{vs} P_s / T_s^{1/2}] f(P_s/P_s)$
제어실린더	연속방정식: $dP_v/dt = -(n P_v / V_v)(dV_v/dt) + (n R T_v / V_v)(dm_v/dt)$ $dm_v/dt = dm_{bi}/dt - dm_{bo}/dt$
감쇠실린더	좌측챔버 연속방정식: $dP_s/dt = -(n P_s / V_s)(dV_s/dt) + (n R T_s / V_s)(dm_s/dt)$ $dm_s/dt = dm_{ss}/dt - dm_{ss}/dt$
감쇠실린더	우측챔버 연속방정식: $dP_d/dt = -(n P_d / V_d)(dV_d/dt) + (n R T_d / V_d)(dm_d/dt)$
회전 압	운동방정식: $J(d^2\theta/dt^2) + C(d\theta/dt) + K\theta + T_f = P_b A_b - P_s A_s + P_d A_d$ $V_v = K\theta$

표 5. 공압서보장치의 시스템상수값

제어기 샘플링 주기	0.002 sec(500 Hz)
DSP 보드 샘플링 주기	0.001 sec(1000 Hz)
적분방법	fixed step Runge-Kutta 4th order
적분간격시간	0.0005 sec
제어기이득, PWM 파형 임계전압	$K_v = 6.0 \text{ V/V}$, $V_{\alpha} = 4.0 \text{ V}$
회전각 센서 이득	$K_f = 0.5 \text{ V/deg}$
솔레노이드밸브 오리피스면적이득	$K_{vi} = K_{vo} = 7.74 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{V}$
솔레노이드 ON/OFF 유량계수	$C_d = 0.8$
공급오리피스 면적, 감쇠오리피스 면적	$A_{vs} = 1.963 \times 10^{-7} \text{ m}^2$, $A_{vd} = 1.257 \times 10^{-7} \text{ m}^2$
고정 오리피스 유량계수	$C_d = 0.7$
감쇠실린더피스톤면적	$A_a = 5.73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $A_d = 2.90 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
제어실린더피스톤면적	$A_b = 5.73 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
감쇠실린더 체적	$V_{a0} = 5.73 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, $V_{a\infty} = 3.16 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
제어실린더 체적	$V_{b0} = 7.26 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
정지마찰토크	$T_{st} = 3.3 \text{ Nm}$
회전암 길이, 회전관성	$l = 0.0278 \text{ m}$, $J = 2.03 \times 10^{-4} \text{ J-sec}^2$
점성마찰계수, 콜롱마찰토크	$C = 1 \text{ J-sec/rad}$, $T_c = 2.1 \text{ Nm}$
스프링상수	$K_f = 181.25 \text{ Nm/rad}$
정지 임계속도	$\omega_{min} = 10^{-6} \text{ rad/sec}$
공급기체압력, 공급기체온도	$P_s = 6.895 \times 10^6 \text{ Pa}$, $T_s = 294 \text{ }^\circ\text{K}$
임계압력비	$b = 0.4881$
기체상수, 기체 팽창지수, 기체 비열비	$R = 2077 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{K/sec}$, $n = 1.66$, $k = 1.66$

4.2 실시간 모의시험기에 의한 모의실험 및 실제 공압서보장치의 작동실험과의 비교

공압서보장치에 대한 실시간 모의시험기의 실험장치는 그림 1과 같이 구성할 수 있다. DSP보드에 있는 D/A 채널은 공압장치의 출력신호(회전각변위신호)를 내보내며 이 신호는 제어기 PC에 설치된 I/O 보드의 A/D 채널에서 받아 들인다. 제어기는 자체적으로 생성한 명령신호와 회전각변위 피드백신호를 참고하여 제어신호를 만들며 만들어진 제어신호는 I/O 보드의 D/A 채널을 통하여 내 보내진다. 이 신호는 모의시험기용 PC에 설치된 DSP 보드 A/D 채널에서 받아 들인다. 물론 이 제어신호를 참고하여 DSP 보드는 출력신호(공압서보장치의 회전각변위신호)를 계산하여 실시간에 맞춰서 제어기로 내보낸다.

그림 6 및 그림 7은 실제 공압서보장치의 실

험결과와 공압서보장치에 대한 실시간 모의시험기를 이용한 모의실험결과를 함께 나타낸다. 적분시간간격은 실험에 사용된 공압시스템의 동특성을 정확하게 모사할 수 있는 시간간격이어야 하며 공압시스템의 부품 중에서 가장 응답이 빠른 것은 솔레노이드 ON/OFF 밸브로서 밸브코일의 자화시간은 0.001초이고 비자화시간은 0.0004초이므로 적분수행간격은 0.0004초보다 작아야 하나 DSP 보드의 계산능력에 한계가 있으므로 적분시간간격을 0.0005 초로 선정하였다. 물론 적분시간간격 0.0005초의 타당성은 공압서보시스템의 비실시간 시뮬레이션에서 미리 조사하였다. 공압시스템을 모의시험하는 장치에서의 신호 입출력 시간간격은 입출력신호의 변화율에 따라 결정되며 공압시스템의 페루프 주파수응답대역이 약 30 Hz 이므로 페루프 주파수응답대역의 30 배이상인 1000 Hz로서 신호를 주고 받을 수 있도록 0.001 초로 선정하였다.

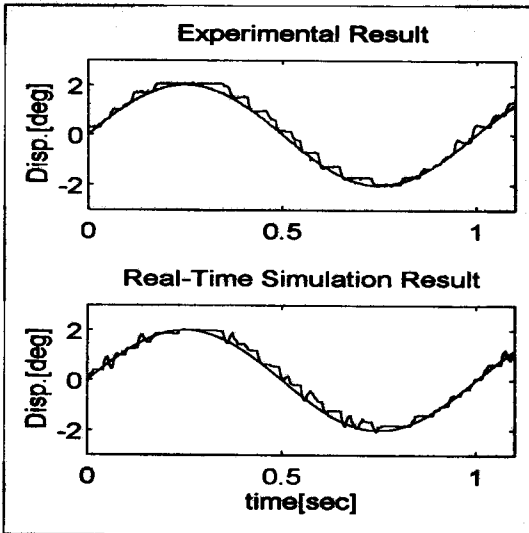


그림 6. 실제 실험결과와 실시간 모의시험기를 이용한 모의실험결과
(기준신호 주파수=1Hz, 파형=정현파, 진폭=2deg)

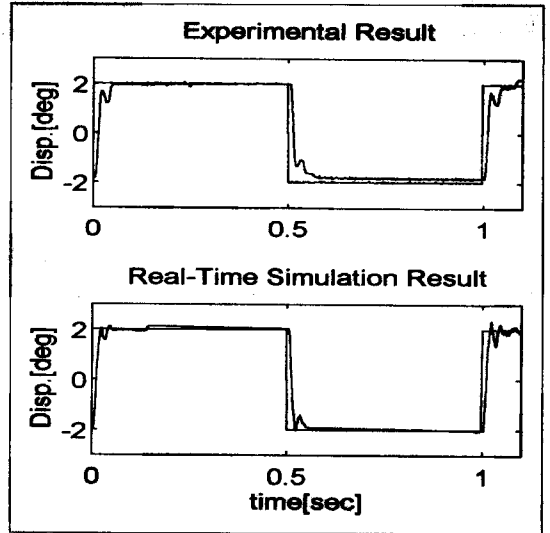


그림 7. 실제 실험결과와 실시간 모의시험기를 이용한 모의실험결과
(기준신호 주파수=1Hz, 파형=구형파, 진폭=2deg)

제어기에서의 샘플링 주기는 전체 폐루프시스템 응답대역(약 30 Hz)보다 10 배 정도 빠르게 선정하면 충분하며 여기서는 0.002 초로 충분히 작게 선정하였다. 제어기에서의 제어알고리즘은 위상앞섬제어를 택하였으며 비례계인은 6 [v/v], 제어기 전달함수의 분자항의 절점주파수는 10 Hz이며 분모항의 절점주파수는 30 Hz로 선정하였다. 회전각변위 명령신호는 주파수가 1 Hz 인 정현파와 구형파를 제어기 내부에서 생성하여 사용하였다.

그림 6은 회전각변위 명령신호의 진폭이 2 도이고 파형이 정현파인 경우에 실제 공압시스템의 실험에 의한 회전각변위 출력값과 실시간 모의시험기의 모의실험에 의한 회전각변위 출력값을 나타낸다. 그림 6을 관찰하면 실시간 모의시험기에 의한 모의실험결과는 실제 공압시스템에 의한 실험결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. 사실상 공압시스템에는 차동 PWM 신호발생기, 솔레노이드밸브의 ON/OFF 특성, 오리피스 통과하는 질량유량특성, 정지마찰력 및 콜

롱마찰력 등이 포함되어 있기 때문에 비선형성이 매우 심하며 따라서 시뮬레이션결과와 실험결과가 매우 잘 일치하는 것을 기대하기는 어렵다. 그림 7은 회전각변위 명령신호의 진폭이 2도이고 파형이 구형파인 경우에 실제 공압시스템의 실험에 의한 회전각변위 출력값과 실시간 모의시험기의 모의실험에 의한 회전각변위 출력값을 나타낸다. 그림 7에서 실시간 모의시험기에 의한 모의실험결과는 실제 공압시스템에 의한 실험결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

5. 결론

새로운 유공압장치를 설계 제작할 때 설계 방법의 타당성을 증명하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 실시한다^[7]. 컴퓨터 시뮬레이션은 실험에 비해서 시간과 비용을 적게 들이고 시스템의 동특성을 파악할 수 있으나 컴퓨터 시뮬레이션에 근거하여 실제 시스템을 하드웨어 적으로 구성할 때는 미처 생각치 못한 문제가 자주 발생한다

다. 이러한 난감한 경우를 최소화 시키고 또한 시스템의 구성을 서브시스템 별로 병렬화시켜 전체적인 시스템 제작시간을 최소화시키기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션과 실험의 중간 단계인 실시간 모의시험기를 개발하게 된 것이다. 유공압장치에 대한 실시간 모의시험기는 모의시험기용 PC 1대, 유공압장치의 수학적 모델이 실시간으로 구현되는 DSP 보드 1 개로써 구성된다. DSP 보드는 자체적으로 CPU 를 가지고 있어 고속 실수연산이 가능하며 입출력 포트를 가지고 있으므로 모의시험기용 PC 에 설치하여 유공압장치의 역할을 대신할 수 있다. 유압서보장치에 대한 실시간 모의시험기인 경우 모의시험기의 입출력포트가 외부 제어신호를 받아들이는 주기는 0.0005 초로 설정하였으며 모의시험기 내의 적분 모듈에서의 적분시간간격도 0.0005 초로 하였다. 유압서보장치의 실시간 모의시험기는 실제 유압서보장치의 동특성을 정확히 실시간으로 모사한다는 것을 모의실험결과와 실제 유압서보장치의 실험결과 비교함으로써 알 수 있었다. 공압서보장치에 대한 실시간 모의시험기인 경우 모의시험기의 입출력포트가 외부 제어신호를 받아들이는 주기와 외부로 내보내는 주기는 각각 0.001 초로 설정하였으며 모의시험기 내의 적분 모듈에서의 적분시간간격은 0.0005 초로 하였다. 공압서보장치의 실시간 모의시험기는 실제 공압시스템의 동특성을 정확히 실시간으로 모사한다는 것을 모의실험결과와 실제 공압시스템의 실험결과 비교함으로써 알 수 있었다. 특히 그림 6 및 그림 7에 나타난 실시간 모의시험기를 이용한 모의실험결과는 C-언어의 그래픽 함수^[6]를 이용하여 액추에이터의 피스톤 로드와 움직이고 래버암이 회전하는 모양을 실시간으로 나타내어 실시간 모의시험기의 시각적 효과를 충분히 얻을 수 있었다.

유공압장치 내의 부품수가 많아지고 특정 부품의 주파수 응답대역이 높은 경우에는 실시간

모의시험기 내에서의 단위시간당 계산량이 매우 증가하기 때문에 DSP 보드 1 대로써는 모의시험기를 성공적으로 구현할 수 없으며 이러한 경우에는 여러 대의 DSP 보드를 사용하여 주어진 실시간 계산량을 분담하는 병렬처리가 필요해진다. 또한 주파수 응답대역이 매우 높지만 쉽게 구할 수 있는 부품은 모의시험기에 포함시키지 않고 실제 하드웨어를 직접 사용하는 방법도 고려할 수 있다.

본 논문은 한국과학재단에서 지원한 목적기초연구(과제번호 : 961-1001-005-2, 981-1001 -005-1)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Manual, 고속 디지털 신호처리 시스템 Heron Wing/DSP6031 Board 취급설명서, MTT Instruments Inc., Japan, 1995.
- [2] J.L.Melsa, Computer Programs for Computational Assistance, McGraw-Hill Inc., 1970.
- [3] Merritt, H.E., Hydraulic Control Systems, John Wiley and Sons, Inc., 1967.
- [4] User's Manual, PCL-812PG Data Acquisition and Control Card, Advantech Co.
- [5] Blaine W. Anderson, The Analysis and Design of Pneumatic Systems, R.E. Krieger Publishing Co., 1976.
- [6] 신 효필, 전산 모사에 의한 공압구동장치의 비선형 동특성 해석, 충남대학교 기계설계공학과 석사학위 논문, 1991.8.
- [7] 이성래, 김형의, 문의준, "유압식 부하 시뮬레이터의 설계에 관한 연구," 대한기계학회 논문집 제18권 제1호, pp.44-52, 1994.1.
- [8] 김주환, C 라이브러리, 정보문화사, 1995.