

<論 文>

공압구동장치 해석을 위한 마이크로 컴퓨터 시뮬레이션에 관한 연구

주 해 호* · 서 재 경**

(1986년 6월 30일 접수)

Micro-Computer Simulation Programs for a Pneumatic Control System

Haeho Joo and Jaekyung Suh

Key Words: Computer Simulation(전산기 시뮬레이션), Pneumatic Control System(공압 구동장치), Time Response(시간반응), Frequency Response(주파수반응), Bode Plot(보드선도), Polar Plot(극좌표선도)

Abstract

This Paper presents micro-computer simulation programs for a pneumatic control system. The simulation programs have been written in BASIC language which is suitable for 6502CPU with 48KB memory and consist of 11 programs which describe the time response and frequency response of the pneumatic actuation system. This simulation package is stored in 51/4 inch floppy diskette. The user requires no simulation expertise on the part of designer.

As the result of using this simulation programs for the pneumatic control system with stabilizing tank, it has shown that the response time of the system using air as working medium takes more time to be settled but relatively stable rather than the system using helium.

1. 서 론

전산기 시뮬레이션(Computer Simulation)은 공학 시스템을 해석하고 설계하는데 상당한 시간의 절약과 비용의 절감·계산의 신속성과 정확성 등의 잇점 때문에 특히 이공계분야의 중요한설계도구로서 널리 이용되고 있다⁽¹⁾.

현재 가장 많이 사용되고 있는 시뮬레이션 언어는

MIDAS, MIMIC, CSMP, CSSL 등이 있지만 이것들은 모두가 대형전산기에만 사용 가능하므로 누구나 손쉽게 접근 할수가 없다. 최근 마이크로 컴퓨터가 보편화 되면서 이를 이용한 공학시스템의 시뮬레이션 기법이 요망되고 있다.

본 논문에서는 공압구동장치의 동적특성을 시간반응고 주파수반응으로 해석하기위한 시뮬레이션 프로그램을 BASIC 언어를 사용하여 개발하였다.

공압구동장치는 유압구동장치나 전기구동장치와 비교하여 소형 경량이면서 비교적 큰 출력을 얻을 수 있고 고온 방사선 환경에서도 사용가능하며 특히 가격이

* 정희원, 영남대학교 공과대학 기계설계학과

** 정희원, 삼성정밀공업주식회사

상대적으로 저렴하기 때문에 공압구동장치는 산업용 로보트 뿐만아니라, 군사용으로 공대공 유도탄과 같은 단거리용 유도탄의 조종장치로 사용되고 항공기와 우주선 등의 보조구동장치로 널리 활용되고 있다.

안정화 탱크가 부착된 공압구동장치⁽²⁾를 시뮬레이션 모형으로 선정하였고 시뮬레이션 프로그램은 현재 국내에서 가장 많이 보급된 6502 CPU에 적합한 BASIC언어로 48KB의 기억용량을 갖는 마이크로컴퓨터에 실행가능 하도록 11개의 프로그램과 5개의 Text File과 1개의 기계어 파일로 구성되어 사용자와 대화형식으로 작성하여 BASIC언어를 모르는 기술자도 사용자

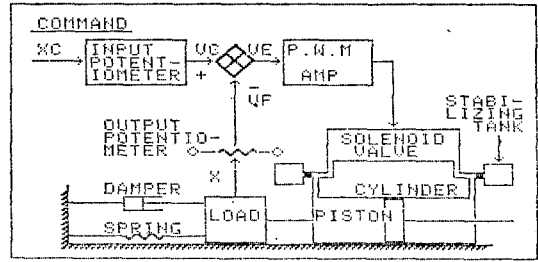


Fig. 1 Schematic diagram of a pneumatic control system

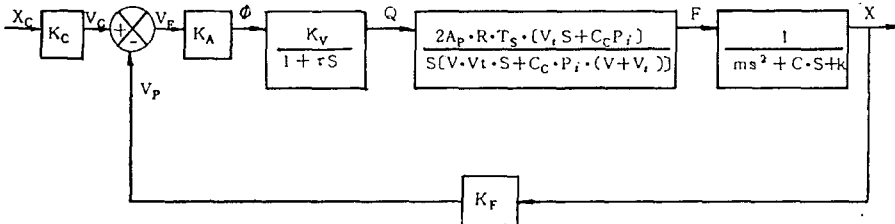


Fig. 2 System block diagram

능하도록 만들었다.

Fig. 1은 안정화 탱크가 부착된 공압구동장치의 개략도이다.

2. 시뮬레이션 모형

안정화 탱크가 있는 공압구동장치를 모형으로 선정하였고 이 시스템의 블록선도와 전달함수는 다음 각각 Fig. 2와 식 (1)과 같다. 기호와 변수는 참고문헌 (2)를 참고하였다.

$$G(s) = \frac{X(s)}{X_c(s)} = \frac{A_1 S}{S^5 + C_1 S^4 + D_1 S^3 + E_1 S^2 + \frac{B_1}{F_1 S + G_1}} \quad (1)$$

여기서,

$$A_1 = (2K_c \cdot K_A \cdot K_V \cdot A_P \cdot R \cdot T_s \cdot V_i) / (m \cdot \tau \cdot V \cdot V_i)$$

$$B_1 = (2K_c \cdot K_A \cdot K_V \cdot A_P \cdot R \cdot T_s \cdot C_c \cdot P_i) / (m \cdot \tau \cdot V \cdot V_i)$$

$$C_1 = [m \cdot \tau \cdot C_c \cdot P_i \cdot (V + V_t) + V \cdot V_i \cdot (m + c \cdot \tau)] / (m \cdot \tau \cdot V \cdot V_i)$$

$$D_1 = [C_c \cdot P_i \cdot (V + V_t) \cdot (m + c \cdot \tau) + V \cdot V_i \cdot (c + K \cdot \tau)] / (m \cdot \tau \cdot V \cdot V_i)$$

$$E_1 = [C_c \cdot P_i \cdot (V + V_t) \cdot (c + K \cdot \tau) + K \cdot V \cdot V_i] / (m \cdot \tau \cdot V \cdot V_i)$$

$$F_1 = [K \cdot C_c \cdot P_i \cdot (V + V_t) + 2K_f \cdot K_A \cdot K_V \cdot A_P \cdot R \cdot$$

$$T_s \cdot V_i] / (m \cdot \tau \cdot V \cdot V_i)$$

$$G_1 = (2K_f \cdot K_A \cdot K_V \cdot A_P \cdot R \cdot T_s \cdot C_c \cdot P_i) / (m \cdot \tau \cdot V \cdot V_i)$$

3. 시뮬레이션 기법

3.1 시간반응

공압구동장치의 동적특성을 해석 하는데 시간반응해석과 주파수반응해석을 이용한다. 시간반응은 시스템의 전달함수로 부터 직접 역 Laplace 변환을 이용하여 구하였다.

전달함수 $G(s)$ 의 분모항은 5차 다항식이므로 적어도 하나의 실근을 가지고 1차식과 4차식으로 분해된다. 한개의 실근(L_1)을 구하는 방법으로는 "Newton Raphson 법"을 사용하였고 4차다항식의 근은 "Direct method"를 이용하여 4개의 실근을 구하였다. 4개의 근은 4개의 실근($L_2 \cdot L_4 \cdot L_6 \cdot L_8$)을 가질때, 두개의 실근과 한쌍의 복소수공액근($L_2 \cdot L_4 \cdot L_6 + L_{7j} \cdot L_6 - 7j$)을 가질때, 두쌍의 복소수공액근($L_2 + L_{3j} \cdot L_2 - L_{3j} \cdot L_4 + L_{5j} \cdot L_4 - L_{5j}$)을 가질 경우가 있다.

따라서 안정화 탱크가 있는경우 $X(t)$ 는 다음 세가지 경우가 존재한다.

(1) 5개의 실근을 가질때

$$X(t) = A_1 \cdot X_c \cdot [N_1 + N_2 e^{L_1 t} + N_3 e^{L_2 t} + N_4 e^{L_4 t} +$$

$$+N_5e^{L_6t}+N_6e^{L_8t} \quad (2)$$

여기서 각 상수는,

$$\begin{aligned} N_1 &= -B_4 / (L_1 \cdot L_2 \cdot L_4 \cdot L_6 \cdot L_8) \\ N_2 &= (L_1 + B_4) / \{L_1(L_1 - L_2)(L_1 - L_4)(L_1 - L_6)(L_1 - L_8)\} \\ N_3 &= (L_2 + B_4) / \{L_2(L_2 - L_1)(L_2 - L_4)(L_2 - L_6)(L_2 - L_8)\} \\ N_4 &= (L_4 + B_4) / \{L_4(L_4 - L_1)(L_4 - L_2)(L_4 - L_6)(L_4 - L_8)\} \\ N_5 &= (L_6 + B_4) / \{L_6(L_6 - L_1)(L_6 - L_2)(L_6 - L_4)(L_6 - L_8)\} \\ N_6 &= (L_8 + B_4) / \{L_8(L_8 - L_1)(L_8 - L_2)(L_8 - L_4)(L_8 - L_6)\} \end{aligned}$$

(2) 3개의 실근과 한쌍의 복소수공액근을 가질때

$$\begin{aligned} X(t) &= A_1 \cdot X_C \cdot [N_1 + N_2e^{L_1t} + N_3 \cdot e^{L_2t} + N_4 \cdot e^{L_4t} \\ &\quad + N_5 \cdot e^{L_6t} \cos L_7 \cdot t + \{(N_6 + N_5 L_6) / L_7\} \cdot \\ &\quad e^{L_6t} \sin L_7 \cdot t] \quad (3) \end{aligned}$$

여기서 각 상수는,

$$\begin{aligned} N_1 &= -B_4 / (L_1 \cdot L_2 \cdot L_4 \cdot B_3) \\ N_2 &= (L_1 + B_4) / \{L_1 \cdot (L_1 - L_2)(L_1 - L_4)(L_1^2 + A_3 L_1 + B_3)\} \\ N_3 &= (L_2 + B_4) / \{L_2 \cdot (L_2 - L_1)(L_2 - L_4)(L_2^2 + A_3 L_2 + B_3)\} \\ N_4 &= (L_4 + B_4) / \{L_4 \cdot (L_4 - L_1)(L_4 - L_2)(L_4^2 + A_3 L_4 + B_3)\} \\ N_5 &= \{L_7 A_5 - A_6(L_6 + B_4)\} / \{L_7(A_5^2 + A_6^2)\} \\ N_6 &= \{A_5(L_6 + B_4) + L_7 A_6\} / (A_5^2 + A_6^2) - N_5 L_6 \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_5 &= \{L_6(L_6 - L_1) - L_7^2\} \cdot \{(L_6 - L_2)(L_6 - L_4) - L_7^2\} - \{L_6 L_7 + L_7(L_6 - L_1)\} \cdot \{L_7(2L_6 - L_4 - L_2)\} \\ A_6 &= \{L_6(L_6 - L_1) - L_7^2\} \cdot \{L_7(2L_6 - L_4 - L_2)\} + \{L_6 L_7 + L_7(L_6 - L_1)\} \cdot \{(L_6 - L_2)(L_6 - L_4) - L_7^2\} \end{aligned}$$

(3) 1개의 실근과 두쌍의 복소수공액근을 가질때

$$\begin{aligned} X(t) &= A_1 \cdot X_C \cdot [N_1 + N_2e^{L_1t} + N_3e^{L_2t} \cos L_3 \cdot t \\ &\quad + (N_4 + N_3 L_2) / L_3 \cdot e^{L_2t} \sin L_3 \cdot t + N_5 \cdot \\ &\quad e^{L_6t} \cos L_7 \cdot t + \{(N_6 + N_5 \cdot L_6) / L_7\} \cdot \\ &\quad e^{L_6t} \sin L_7 \cdot t] \quad (4) \end{aligned}$$

여기서 각 상수는,

$$\begin{aligned} N_1 &= -B_4 / (L_1 \cdot B_2 \cdot B_3) \\ N_2 &= (L_1 + B_4) / \{L_1(L_1^2 + L_1 A_2 + B_2)(L_1^2 + L_1 A_3 + B_3)\} \\ N_3 &= \{L_3 A_5 - A_6(L_2 + B_4)\} / \{L_3(A_5^2 + A_6^2)\} \end{aligned}$$

$$N_4 = \{A_5(L_2 + B_4) + L_3 A_6\} / (A_5^2 + A_6^2) - N_3 L_2$$

$$N_5 = \{L_7 A_7 - A_8(L_6 + B_4)\} / \{L_7(A_7^2 + A_8^2)\}$$

$$N_6 = \{A_7(L_6 + B_4) + L_7 A_8\} / \{A_7^2 + A_8^2\} - N_5 L_6$$

여기서,

$$\begin{aligned} A_5 &= \{L_2(L_2 - L_1) - L_3^2\} \cdot \{L_2^2 - L_3^2 + A_3 L_2 + B_3\} \\ &\quad - \{L_2 L_3 + L_3(L_2 - L_1)\} \cdot (2L_2 L_3 + A_3 L_3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_6 &= \{L_2(L_2 - L_1) - L_3^2\} (2L_2 L_3 + A_3 L_3) \\ &\quad + \{L_2 L_3 + L_3(L_2 - L_1)\} \cdot \{L_2^2 - L_3^2 + A_3 L_2 \\ &\quad + B_3\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_7 &= \{L_6(L_6 - L_1) - L_7^2\} \cdot (L_6^2 - L_7^2 + A_2 L_6 + B_2) \\ &\quad - \{L_7(L_6 - L_1) + L_6 L_7\} \cdot (2L_6 L_7 + A_2 L_7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_8 &= \{L_6(L_6 - L_1) L_7^2\} \cdot (2L_6 L_7 + A_2 L_7) \\ &\quad + \{L_7(L_6 - L_1) + L_6 L_7\} \cdot (L_6^2 - L_7^2 + A_2 L_6 + B_2) \end{aligned}$$

3.2 주파수반응

주파수반응은 전달함수 식(1)에 $S=jw$ 를 대입하고 각각 진폭의 크기 $|G(jw)|$ 와 위상각 $\angle G(jw)$ 를 계산한다.

안정화 탭크가 있는 경우의 예를 들면 다음 식으로 진폭의 크기와 위상각이 계산된다.

$$\begin{aligned} |G(jw)| &= \left[\frac{(A_1 w)^2}{(C_1 w^4 - E_1 w^2 + G_1)^2} \right. \\ &\quad \left. + \frac{B_1^2}{+(w^5 - D_1 w^3 - F_1 w)^2} \right]^{\frac{1}{2}} \\ \angle G(jw) &= \tan^{-1} \frac{w^5 - D_1 w^3 + F_1 w}{C_1 w^4 - E_1 w^2 + G_1} \end{aligned}$$

안정화 탭크가 없는 경우도 위와같은 방법으로 진폭의 크기와 위상각을 계산할 수 있다.

4. 시뮬레이션 소프트웨어

공압구동장치의 동적특성을 시간반응과 주파수반응으로 표시하기 위하여 6502 CPU에 맞는 BASIC언어를 사용한 11개의 프로그램으로 구성하였다. 그외 5개의 Text File과 한개의 기계어 파일이 있다. 기계어 파일은 각 프로그램 사이의 자료교환을 담당한다.

Table 1은 5.1/4" 플로피 디스켓에 수록된 프로그램의 목록이다.

Table 1에서 프로그램 P-1은 이용자가 선택할 단위계가 표시되고 시스템 파라미터의 입력이 요구되고 입력이 완료되면 Text File을 만든다. 프로그램 BIT PATTERN ALPHABET는 그래픽 페이지 1에서 Text 처리를 위한 기계어 파일 ALPHABET를 발생시키는 프로그램이다. 프로그램 P-2는 공압구동장치의 개략

Table 1 Program catalog

DISK VOLUME 254	
A	009 P-1
A	010 BIT PATTERN ALPHABET
A	013 P-2
A	019 P-3
A	013 ROOTS
A	023 P-4
A	026 P-5-1
A	022 P-5-2
A	019 P-6-1
A	021 P-6-2
A	021 P-7
T	002 DATA-0
B	006 ALPHABET
T	002 DATA-1
T	002 DATA-2
T	002 DATA-3
T	002 DATA-4

도를 그래픽으로 보여주고, 프로그램 P-3은 시스템 변수의 입력을 받아드리는 프로그램이다.

프로그램 ROOTS는 Newton Raphson 방법과 Direct Method 을 사용하여 시스템의 특성방정식의 근을 구해주는 프로그램이고, 프로그램 P-4는 공압구동장치의 블록선도와 전달함수를 그래픽으로 보여주고, 프로그램 P-5-1은 시간반응을 Tabular 형식과 그래픽으로 출력시키고 시간반응의 제정수를 계산한다. 프로그램 P-5-2는 시간반응곡선을 그래픽 페이지 1으로 표시해주고, 프로그램 P-6-1은 주파수반응의 진폭의 크기와 위상각을 계산하고 극좌표선도를 그려준다. 프로그램 P-6-2는 Bode 선도를 그리기 위한 반대수좌표를 그래픽으로 표시하고, 프로그램 P-7은 Bode 선도를 그리고 최종적으로 사양서를 정리하여 나타내주는 역할을 한다.

위의 11개의 프로그램들을 DOS 명령으로 연결하여 사용자의 요구에 따라 시뮬레이션을 행한다. Operating System의 논리 흐름도는 Fig. 3과 같다.

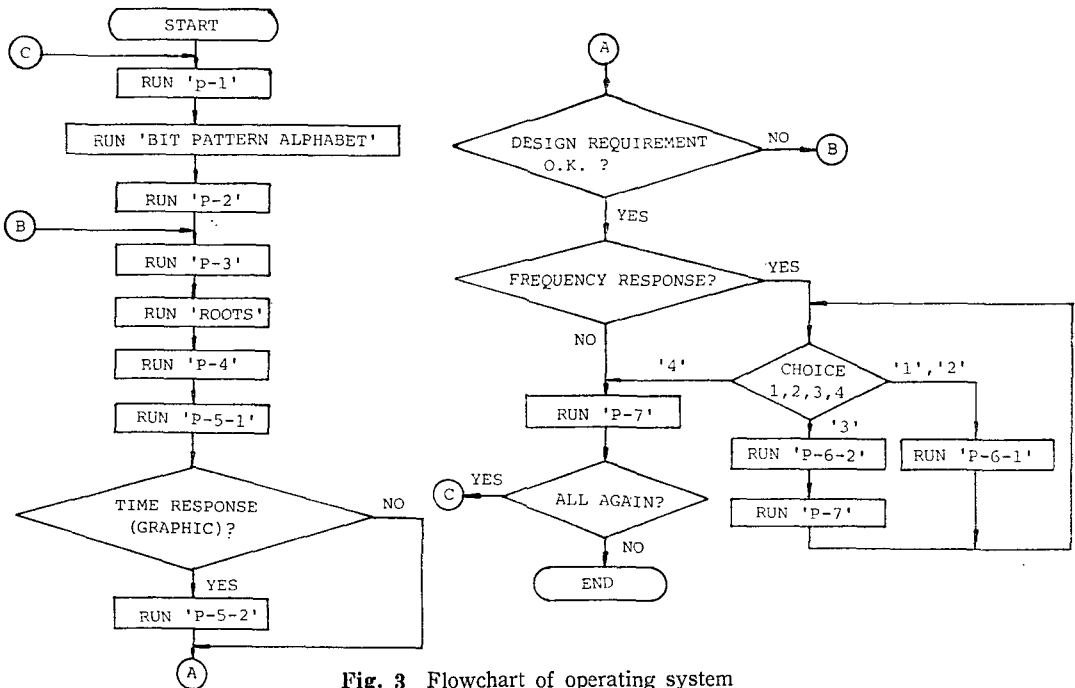


Fig. 3 Flowchart of operating system

5. 입출력 자료

공압구동장치의 동적특성을 시뮬레이션 하기위한 입력변수는 Table 2와 같다.

출력자료는 시스템의 개략도, 전달함수, 시간반응—변위대시간표, 그래픽, 지연시간, 상승시간, 최고치시간, 최대초과비율, 안정시간, 주파수반응—보드선도, 위상여유, 이득여유, Nyquist 선도, 대역폭, 사양서가 출력된다.

Table 2 Input parameters

Parameters	Variable name	Unit	
		SI	IN-LBF-S
Piston area	<i>AP</i>	m ²	in ²
Flow resistance	<i>Cc</i>	m ⁵ /(N·S)	in ⁵ /(1bf·s)
Spring constant	<i>KS</i>	N/m	1bf/in
Stroke	<i>LS</i>	m	in
Supply gas pressure	<i>PS</i>	Pa	psi
Valve orifice area	<i>AV</i>	m ²	in ²
Initial pressure	<i>PI</i>	Pa	psi
Gas constant	<i>R</i>	J/(kg·K)	in/°R
Supply gas temp	<i>T</i>	K	°R
Cylinder volume	<i>V</i>	m ³	in ³
Tank volume	<i>VT</i>	m ³	in ³
Orifice coefficient	<i>CD</i>	.	.
Damping constant	<i>C</i>	(N·S)/m	(1bf·s)/in
Specific heat ratio	<i>KR</i>	.	.
Load (mass)	<i>M</i>	kg	(1bf·s ²)/in
Valve time constant	<i>TU</i>	s	s
Pot. gain	<i>KC</i>	volt/m	volt/in

6. 사용 예

공압구동장치에 사용되는 기체를 공기로 했을때와 헬륨(He)를 사용했을 때 각각의 동적특성을 시뮬레이션 해본다. 안정화 탱크가 부착된 경우와 없는 경우도 가능하나 이 예제에서는 부착된 경우를 채택하였다. 단위는 SI 제를 사용한다.

입력자료(Table 3)는 공기를 사용할 때 공압구동장치의 시스템 변수이고 여기서 헬륨을 사용할시는 $K=1.667$, $R=2077.03$ 만 변경 시켜 주면 된다. 안정화 탱크가 없는 경우에는 $Cc=0$, $VT=0$ 로 하면 된다.

Floppy Diskette 를 부딩 시키면 먼저 단위계 선택에 대한 메시지가 나오고 이에 응답하면 공압구동장치의 시스템 개략도가 그려지고 바로 시스템 파라메타 입력을 요구하게된다. 입력이 끝나면 시스템의 블록선도와 전달함수가 표시된다. 계속 수행하겠느냐는 물음에 응

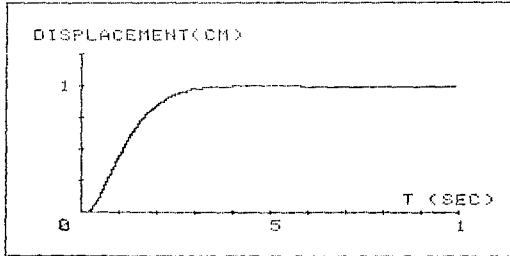
답하면 범위 대 시간반응곡선이 화면에 수직방향으로

Table 3 Numerical values for the input parameters

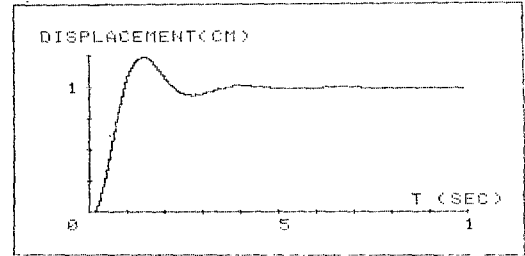
Parameters	Value	Parameters	Value
$AP(m^2)$	6.91×10^{-4}	$T(K)$	300
$Cc(\frac{m^5}{N \cdot s})$	1.06×10^{-3}	$V(m^3)$	3.456×10^{-5}
$KS(\frac{N}{m})$	770	$VT(m^3)$	8.194×10^{-6}
$LS(m)$	0.05	Cd	0.53
$KC(\frac{V}{m})$	200	$C(\frac{N \cdot s}{m})$	350
$PS(\frac{N}{m^2})$	689286	KR	1.4
$AV(m^2)$	1.77×10^{-6}	$M(kg)$	1.75
$PI(\frac{N}{m^2})$	101325	$TU(s)$	0.01
$R(\frac{J}{kg \cdot K})$	287		

RISE TIME : .12 [SEC]
 RISE TIME : .13 [SEC]
 PEAK TIME : .45 [SEC]
 % OVERSHOOT : 105 [%]
 SETTling TIME : .45 [SEC]

DELAY TIME : .06 [SEC]
 RISE TIME : .06 [SEC]
 PEAK TIME : .14 [SEC]
 % OVERSHOOT : 24.477 [%]
 SETTling TIME : .3 [SEC]

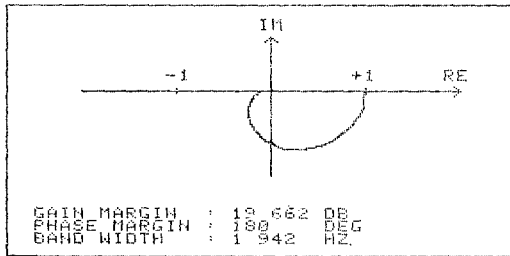


(a)

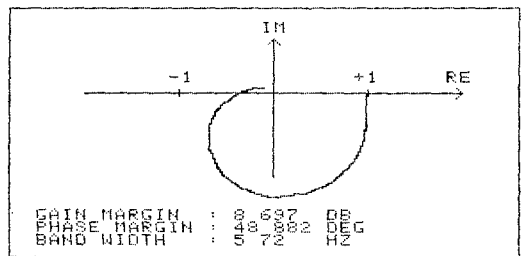


(b)

Fig. 4 Time responses and specifications

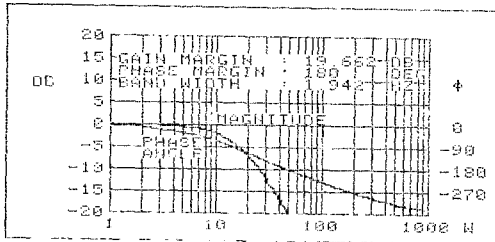


(a)

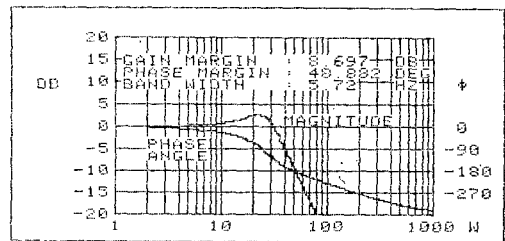


(b)

Fig. 5 Polar plots



(a)



(b)

Fig. 6 Bode plots

표시되고 프린터에도 출력이 가능하고, 수평방향의 그래픽도 가능하다(Fig. 4). 그리고 시간반응의 계정수가 계산되어 화면에 나타난다. 그래픽은 두배로 확대하여 그릴수도 있다.

다음으로는 주파스 반응을 원하느냐는 물음이 나오고 이에 응답하면 주파수대 진폭 및 위상각에 대한 계산표·극좌표선도·보드선도중 어느 것을 하나 선택하게 된다. 극좌표선도를 선택하면 Fig. 5와 같이 그려지고 이득여유와 위상여유·대역폭이 계산된다. 보드선도를 선택하면 Fig. 6와 같이 나타나고 역시 이득여유와 위상여유·대역폭이 계산된다.

마지막으로 Quit를 선택하면 지금까지 계산에 사용

된 파라미터가 최종적으로 확정되어 공압동장치의 사양서가 Table 4와 같이 결정되어 표시된다. 그림에서

Table 4 Specifications

[SI] unitn
 M : 1.75 C : 350 PS : 689286 KS : 770

AP : 6.912E-04	CC : 1.06E-08
KA : .1	KC : 200
KU : 1.5E-03	LS : .05
KF : 200	R : 287
TS : 300	V : 3.456E-05
VT : 8.19E-06	K : 10298.69
τ : .01	k : 1.4

(a)는 공기를 사용했을 때 (b)는 헬륨을 사용했을 때를 각각 의미한다.

7. 고 찰

시뮬레이션 프로그램으로 공압구동장치의 동적특성을 공기와 헬륨을 사용한 경우를 각각 조사해보면 시간반응에서 지연시간, 상승시간은 헬륨을 사용한 경우가 빠르고 반면에 약간 진동하는 반응을 나타냄을 알 수 있다. 주파수반응에서는 공기를 사용한 경우가 이득여유와 위상여유가 크므로 상대적으로 더 안정함을 볼 수 있다.

프로그램의 정확성을 비교하기 위하여 대형전산기에서 사용되고 있는 MIMIC 프로그램으로 시뮬레이션한 결과를 비교하면 Table 5와 같다. 여기서 SPCS 프로그램은 본연구에서 개발한 공압구동장치의 시뮬레이션 프로그램을 의미한다. Table 5는 공기를 사용한 경우의 시간반응의 제정수 값들의 비교표다.

Table 5 Comparison of accuracy for the simulation languages

	SPCS	MIMIC
Delay time(sec)	0.12	0.115
Rising time(sec)	0.18	0.181
Peak time(sec)	0.45	0.450
Settling time(sec)	0.45	0.450

8. 결 론

공압구동장치를 해석하여 그 성능을 해석하고, 시스템설계에 기초자료를 제공할 수 있는 시간반응과 주파수반응의 제정수들을 손쉽게 계산해 낼 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

이 프로그램은 국내에서도 널리 보급되어 있는 6502 CPU에 적합한 BASIC 언어를 사용하였으며 48 KB의 기억용량을 갖는 마이크로 전산기에 실행가능하도록 11개의 프로그램과 5개의 텍사스파일과 1개의 기계어로 구성하였다.

시스템의 시간반응 해석은 역 Laplace 변환법을 사용하였고 이 방법은 전달함수에서 직접 시간반응을 구할 수 있는 잇점이 있으나 비선형시스템 해석은 불가

능하다. 따라서 일관수치 적분법을 이용하여 비선형시스템해석을 할 수 있는 시뮬레이션 프로그램 개발이 기대된다.

마이크로 컴퓨터의 기억용량의 제한때문에 파라미터의 최적치 계산을 자동화시키지 못하고 인위적으로 시행착오법에 의하여 계산하도록 프로그래밍하였기 때문에 사용상의 다소의 불편이 있으나, 소형전산기로 시뮬레이션이 가능함을 보여주고 있다. 적은 기억용량으로 최적설계를 할 수 있는 새로운 시뮬레이션 기법이 개발되기를 기대한다.

이 프로그램은 공압구동장치에 국한되지 않고 제어시스템의 방정식이 5차선형 상계수 비제차 미분 방정식으로 표시되는 모든 시스템에 적용된다. 마이크로 컴퓨터의 기억용량 제한때문에 5차 비제차 미분 방정식까지만 허용하도록 만들었다.

참 고 문 헌

- (1) 주해호, Simulation Language, 전기학회지, 제 25권, 제 3호, pp. 20~29, 1976
- (2) J.L. Shearer, Study of Pneumatic Processes in the Continuous Control of Motion with Compressed Air- I · II, ASME Paper No. 55-IRD-4, No. 55-IRD-10, 1955
- (3) B.W. Anderson, The Analysis and Design of Pneumatic Systems, R.E. Kriger Publishing Co. Inc., 1967
- (4) P.L. Jacobs, A Pneumatic Actuation System for a Large Ballistic Missile, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1978
- (5) James L. Melsa, Computer Programs for Computational Assistance in the Study of Linear Control Theory, McGraw-Hill Inc., 1970
- (6) 주해호 · 미사일 제어용 조종장치에 대한 기술분석. 대한기계학회지, Vol. 23, No. 1, pp. 1~7, 1984
- (7) 주해호 · 이규만 Micro-Computer를 이용한 진동시스템 Simulation에 관한 연구, 한국정밀기계학회지, Vol. 1, No. 3, pp. 52~70, 1984
- (8) 주해호 · 선형제어 시스템 및 기계진동해석을 위한 Micro-Computer Simulation Programs 개발에 관한 연구, 한국과학재단 연구보고서, 1985