

論	文
36~4	~9

# 직각좌표 로봇의 PWM 프로그래머블 제어기 설계

## Design of a PWM Programmable Controller for Cartesian Coordinates Robot

李斗馥\* · 朴相暻\*\*

(Doo-Bok Lee · Sang-Hee Park)

### Abstract

This paper presents a desing of a PWM programmable controller for industrial robot to be utilized in process which requires various movements and repeating operations.

To be specific, a low-level robot language is constructed which makes easy for the user to program complex robot motion, and an interpreter is developed to execute the program. Also, related hardware and software, and monitor program for convenience of user are implemented.

When the proposed controller is applied to the cartesian coordinate 4-axis manipulator, it reveals that the error probabilities of X, Y and Z axis as 0.033%, 0.023%, 0.028% respectively.

### 1. 서 론

산업용 로봇트는 1960년대 이후 산업 현장에서 인간이 하기 힘든일이나 위험한일 또는 단순하고 반복적인 일 등에 이용되어 왔으며, 1970년대 이후 저렴하고 성능이 우수한 마이크로 프로세서의 대량 공급에 힘입어 급속히 발전하고, 단순 작업에의 인간 대체를 초월하여 전 생산공정의 자동화를 이룩하게 되었다.

현재 공장 자동화의 주역이 되고있는 산업용 로봇트는 생산성 향상과 적용분야의 확대를 가능하게 하였으며, 간단한 프로그램의 조작에 의하여 작업 수행의 다양화를 기할 수 있고, 신축성 있는 생산 체제에 적합한 자동화 수단인 FMS(flexible manufacturing system)를 실현하고 있다.

로봇트 제어기술은 종래의 단순제어 방식으로부터 탈피해서 차츰 지능화 되고 있으며 지시데이터를 작업순서에 따라 수시로 변경시킬 수 있는 프로그래머블 제어방식을 채택하고 있다.<sup>1,2)</sup> 또한 하나의 하드웨어에 단순히 입력조건만을 변경하여 다기능의 목적에 활용하려는 경향이 있다.

본 연구에서는 다양한 동작과 반복되는 작업이 요구되는 생산공정에서 주어진 작업에대한 로봇트 동작을 순서적으로 수행하기 위하여 제어 명령어를 제정하여 프로그램을 작성한다. 또한 이 프로그램의 실행을 위하여 인터프리터를 개발하고, 실행 프로그램을 작성하여 인터프리터로 해석하여 수행시킬 수 있도록 한다. 또한 이 프로그램을 실험대상인 직각좌표형 4축 로봇트팔에 적용 실험한다.

이 로봇트팔은 작업 공간상의 임의의 지점에 로봇트 손을 옮겨놓기 위해서 X, Y, Z축에 따라 관절이 있으며, 직류모터와 기어에 의해 구동된다. 또한 로봇트 손은 스템모터에 의해 Z축 기준으로 회전하고, 집개(gripper)는 공압으로 온-오프 된다. 따라서 3개의 병진관절과 1개의 회전관절로 구성된다.

\*正會員: 弘益工專大 電子科 教授

\*\*正會員: 延世大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字: 1986年10月31日

1次修正: 1986年12月15日

2次修正: 1987年2月5日

구동장치인 직류모터의 구동은 펄스폭 변환(pulse width modulation)방식을 채용하여 기존의 전압구동 방식에서의 단점인 과다한 전력소모와 구동부에서의 발열현상을 제거하였다.<sup>5)</sup>

## 2. 제어기의 하드웨어 설계

### 2.1 제어시스템 하드웨어 구성

본 논문에서 서술할 로봇 시스템은 마이크로컴퓨터 시스템, 서보드라이버 및 로봇트팔과 구동부의 세 부분으로 나눈다.

마이크로컴퓨터 시스템은 사용자의 명령이나 센서 등 외부로부터 입력되는 각종 신호를 처리하여 지시하고 키보드와 디스플레이 장치에대한 제어를 하도록 하였다.

서보드라이버는 마이크로컴퓨터 출력을 D/A 컨버터를 통하여 PWM 방식으로 신호를 발생하고 증폭시켜 로봇트팔의 구동부를 구동시킨다.

로봇트팔은 X, Y, Z 및  $\theta$  축의 네개의 관절로 구성된 직각좌표형으로서 세계의 직류모터와 한개의 스텝모터로 구성하였다. 또한 로봇트팔의 각 관절 양끝에 리밋센서를 설치하여 기계장치를 보호하고, 중앙에는 홈센서를 두어 모터가 이곳을 통과할 때마다 컴퓨터가 갖고있는 위치 데이터와 모터의 현재위치를 모두 0으로 하여 컴퓨터와 모터사이의 오차를 교정할 수 있게하였다. 마이크로 컴퓨터를 이용한 제어시스템에대한 블럭선도를 그림 1에 나타내었다.

그림 1에서 CPU는 Z-80을 사용하였고 하드웨어

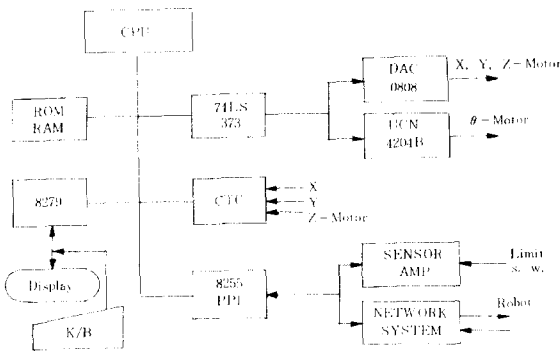


그림1. 마이크로컴퓨터 제어시스템 구성도

Fig. 1. Block diagram of microcomputer control system

어 구성을 간단히 하기 위하여 독립된 계수 기능을 가진 Z-80 CTC를 사용하였으며, 키보드와 표시장치의 제어를 위하여 자체 scan 기능을 갖는 8279 LSI를 사용하였다.<sup>6)</sup> 로봇트 관절에 부착된 센서(home 및 limit sensor)로부터의 신호 입력이나, 인접한 타 로봇트와의 연관 제어시 정보 교환을 위한 입출력 port로 8255(programmable peripheral interface)를 사용하였다. 또한 직류모터의 구동은 D/A 컨버터를 통하여 PWM 증폭기로 구동되도록 설계하였다.

### 2.2 PWM 회로

PWM 회로는 신호발생회로, 모터의 정·역전을 원활히하기 위한 블랭킹(blanking)회로 및 PWM 증폭회로로 구분되며 설계된 회로의 블럭선도는 그림 2와 같다. 이 블럭선도는 그림 1의 D/A 컨버터 후단으로 이어져 모터에 연결된다.<sup>5)</sup>

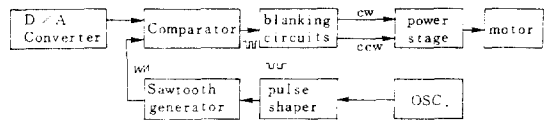


그림 2. PWM 회로의 블럭선도

Fig. 2. Block diagram of PWM circuit

PWM 신호발생 회로는 1 KHz의 발진기와 톱니파 발생기 및 비교기로 구성되고, 블랭킹 회로는 모터의 정회전이 가능하도록 하고, 정·역회전 신호 사이의 간격을 RC회로로 지연시켜 단락상태를 방지한다. 정회전(CW), 역회전(CCW) 출력신호와 그에따른 모터 구동신호(Out)는 그림 3과 같다. 그림 3 (a)는 역회전때의 출력이고, 그림 3 (b)는

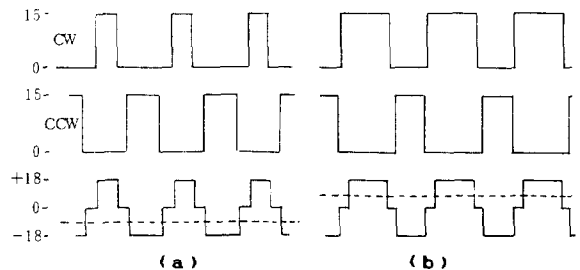


그림 3. 블랭킹 회로의 출력신호

Fig. 3. Output signal of blanking circuit

정회전때의 출력을 나타낸 것이며 점선은 평균전압을 나타낸 것이다.

2.3 키와 키코드의 구성

로봇을 사용함에 편리하도록 제어판넬의 키보드 입력장치를 그림 4와 같이 31개의 키를 두 그룹으로 배열하여 구성하였다.

BLOCK	1	2	3	0
CODE	4	5	6	+ / -
DATA	7	8	9	NET

MODE	X	POS	CLEAR
RUN	Y	,	ENT
STOP	Z		
HOME	$\theta$		

그림 4. 제어판넬의 키보드

Fig. 4. Keyboards of the control panel

그림 4에서 위의 키 그룹은 명령어를 입력시키기 위하여 프로그램 작성시 (PGM 모드)에 사용되는 간접 제어용 키이고, 아래의 키 그룹은 로봇팔을 직접 구동시킬때 (JOG 모드)나 프로그램된 처리 명령을 수행시킬 때 사용되는 직접 제어용 키

표 1. 키 코드

Tab. 1. Key codes

KEY	CODE	KEY	CODE
0	C 0	RUN	D 0
1	C 1	STOP	D 1
2	C 2	HOME	D 2
3	C 3	X	D 3
4	C 4	Y	D 4
5	C 5	Z	D 5
6	C 6	$\theta$	D 6
7	C 7	POS	D 7
8	E 0	,	F 0
9	E 1	NEXT	F 1
+	E 2	CLEAR	F 2
BLOCK	E 3	→	F 3
CODE	E 4	←	F 4
DATA	E 5	↑	F 5
ENT	E 6	↓	F 6
MODE	E 7		

이다. 그 배열에 따른 각 키를 표 1과 같이 1 byte의 키코드로 정의하였다.

2.4 직류모터 제어시스템

본 연구에서 로봇팔의 구동에 사용된 직류 서보모터는 X축 관절에 DT67S (Servo사 : 75W용)와 Y, Z축 관절에 DT53S (32W용)로서 그 규격은 표 5에 나타내었다. 이 모터에대한 속도 및 위치제어를 위하여 그림 5와 같이 디지털 서보 시스템을 구성하였다.<sup>3,4)</sup>

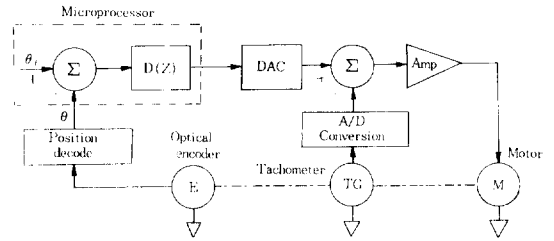


그림 5. 디지털 서보 시스템

Fig. 5. Digital servo system

3. 로봇 제어언어의 제정

앞에서 구성한 키보드를 사용하여 로봇팔을 제어함에 있어서, 각 기능에대한 동작을 키로 정의하고, 각 키마다 고유의 키코드를 부여함으로써 입력된 코드를 인터프리터로 해석하여 명령을 전달하도록 하였다.

본 제어기는 로봇 동작을 기능키로 직접 구동시킬 수 있는 직접모드 (JOG mode)와 미리 작성된 프로그램을 수행시킴에 따라 구동되는 간접모드 (PGM mode)의 두가지 방식으로 제어하도록 설계되었다. 즉 직접모드는 제어판넬의 키를 사용하여 로봇 관절의 위치를 이동시킬 수 있도록 하였고, 간접모드는 직접모드에서 지정한 위치값이나 별도의 데이터를 일정한 명령 형식에 따라 프로그램을 작성하여 수행시킬 수 있도록 하였다. 프로그램의 작성을 위하여 표 2와같이 30개의 제어 명령코드 (instruction codes)를 작성하였으며, 이 코드를 이용하여 그림 6의 명령형식에 따라 명령 프로그램을 작성할 수 있도록 하였다. 그림 6에서 \*는 10진수 자릿수를 가리킨다.

그림 6의 명령형식에서 (1), (2)항의 BLOCK 키는 명령어가 시작되는 단위 프로그램이 호출될때

표 2. 제어 명령코드

Tab. 2. Instruction codes

CODE	FUNCTION	DATA	REMARK
01	SPEED	***	각 로봇트 팔의 속도를 지정
02	LI	—	X, Y, Z축 동시 이동 보간 명령
11	XID	*****	현 위치로부터 X, Y, Z, $\theta$ 의 이동 거리를 표시함
12	XID	*****	
13	ZID	*****	
14	$\theta$ ID	*****	
21	XAD	*****	Home 위치로부터 절대 번지 X, Y, Z, $\theta$ 축을 이동시킴
22	YAD	*****	
23	ZAD	*****	
24	$\theta$ AD	*****	
30	HOME	—	각축을 Home 위치로 이동시킴
40	CLEAR	—	각축의 현 위치를 Home으로 지정
51	IN	**	인접 로봇트와의 연관 제어를 위한 입출력 명령 수행
52	OUT	**	
53	PNC	**	
61	POSITION	**	직접 모드에서 이동할 위치의 지정
71	COUNTER 1	*****	반복 횟수를 지정하여 반복동작을 수행시킴
72	COUNTER 2	*****	
73	COUNTER 3	*****	
74	COUNTER 4	*****	
75	COUNTER 5	*****	
81	SKIP Z	**	반복 회수의 유무를 판단하여 점프 할 때 사용되는 명령어
82	SKIP NZ	**	
83	C-DEC	**	
91	TIME	*****	데이터는 지연 시간
92	JUMP	**	데이터는 점프할 블럭 번호
93	CALL	**	데이터는 CALL할 블럭 번호
94	M-CALL	**	연관 제어시 'Macro' CALL 명령
95	RET	—	주 프로그램으로의 복귀 명령
99	STOP	—	정지 명령

\*는 10진 자릿수를 표시한다.

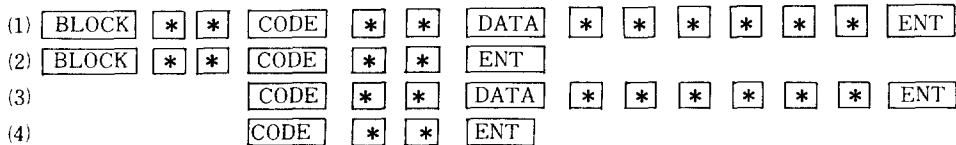


그림 6. 명령 프로그램 형식

Fig. 6. Instruction program format

label로 사용되며, (1), (3)항에서 6자리의 DATA 값은 명령코드에 따라 자릿수가 다르게 정해진다. 명령어의 끝에는 항상 ENT 키를 사용하여 인터프리터에 의하여 해석되도록 하였다.

#### 4. 시스템 소프트웨어 설계

##### 4.1 전체 시스템 제어프로그램

앞에서 구성한 하드웨어와 제어 명령어를 사용하

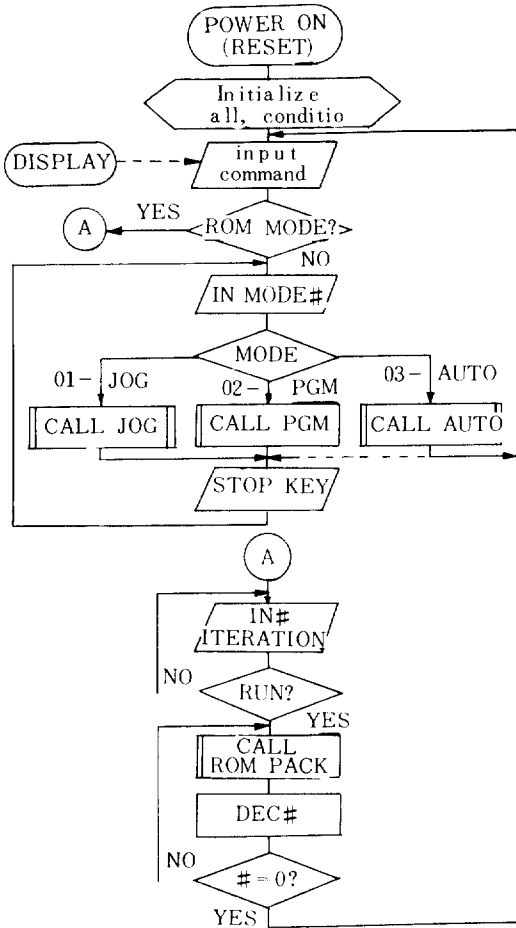


그림 7. 시스템 프로그램 흐름도  
Fig. 7. System program flowchart

여 로봇팔을 작동시키기 위한 제어 프로그램을 설계하였으며 그 흐름도를 그림 7에 나타내었다.<sup>9,10)</sup>

즉 초기화 프로그램으로 키 입출력 소자 8279, 입출력 포트 8255 PPI 및 카운터 CTC에 초기값을 설정하고, 스택메모리의 지정과 working RAM메모리의 영역(표 3에서 3000H-37FFH 번지)에 표3과 같은 초기값을 설정하였다.

따라서 초기화 프로그램을 처리한 후 키로부터 제어명령을 받을 준비를 한다. 다음은 ROM모드의 사용여부를 선택하고 아니면 JOG, PGM 및 AUTO 모드의 부 프로그램 서브루틴이 선택된다. 여기서 각 모드의 수행중에 STOP 키로 모드변환될 수 있도록 하였다.

본 제어기의 기능은 JOG 모드, PGM 모두 및 A

UTO 모드로 분류되며, 그외에 생산공정에서 수시로 사용될 작업과정에 대한 프로그램을 ROM 메모리에 저장시킨후 RUN 키로 작동되도록 하는 ROM 모드 기능을 갖도록 하였다.

#### 4.2 JOG 모드 서브프로그램

JOG 모드에서는 각 로봇트 관절을 키에 의하여 직접 이동시키고, 그 위치에 해당하는 데이터를 지정하여 프로그램 작성에 활용할 수 있게 준비한다. 즉 BLOCK키를 사용하여 임의의 위치를 표시하고 그 지점의 위치 데이터를 POS 키를 누르고 메모리에 기억시킨다. POS 키를 누르지 않으면 제어판넬의 arrow 키로 이동시켜 ENT 키로 위치를 지정하도록 하였다. 그 흐름도를 그림 8에 나타내었다.

#### 4.3 PGM 모드 서브프로그램

PGM 모드는 그림 6의 프로그램 명령형식에 따라 동작 프로그램을 작성하여 인터프리터로 해석하

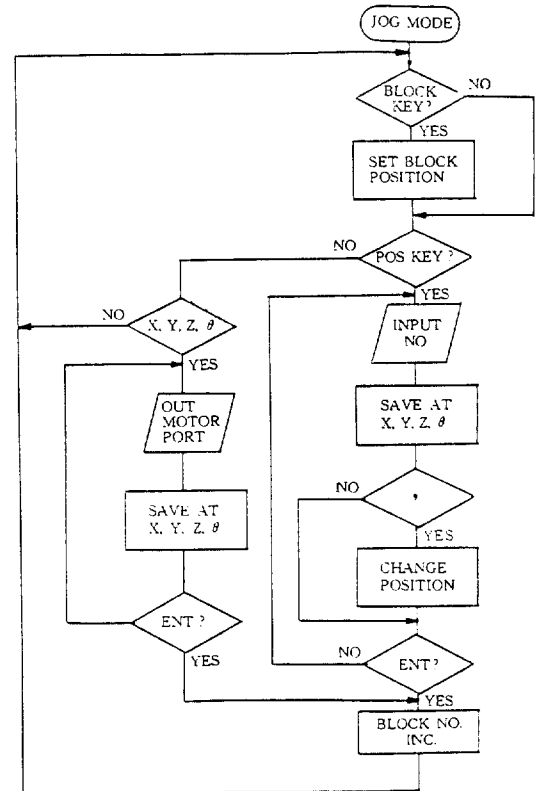


그림 8. JOG 모드 흐름도  
Fig. 8. JOG mode flowchart

표 3. Working 메모리 맵과 초기값

Tab.3. Working memory map and initial values

ADDRESS	CONTENT
3 0 0 0 -	block 번호를 기억시켜 프로그램 시작 번지를 기억한다.
3 0 F F	따라서 초기값은 모두 0으로 clear시킨다.
3 1 0 0 -	수행될 시작 번지로 8000을 지정한다.
3 1 0 1	
3 1 0 2 -	각 명령문의 첫번째 시작 번지로서 3100번지의 내용이 이동된다.
3 1 0 3	
3 1 0 4 -	각 명령문의 마지막 번지를 기억하고 초기값은 0임.
3 1 0 5	
3 1 0 6	입력 버퍼에 저장된 문자 수를 기억하며, 초기값은 0임.
3 1 0 7	서보 모터의 정상 상태의 속도로서 초기값을 64로 한다.
3 1 1 0 -	X, Y, Z, $\theta$ 축의 현재 위치로 3 byte씩 기억되고 초기값은 0임.
3 1 1 B	
3 1 2 0 -	X, Y, Z, $\theta$ 축의 이동 거리로서 3 byte씩 기억되고 초기값은 0임.
3 1 2 B	
3 1 4 0 -	8279 표시기의 위치 선택으로 80은 첫번째 자리부터, 84는 5번째 자리부터 표시하고 초기값은 80임.
3 1 4 1 -	표시 장치의 각 자리에 따른 7-세그먼트의 코드 값으로 초기값은 0임.
3 1 4 A	
3 1 5 0	모드 선택 값으로 초기값은 0임.
3 1 5 1 -	LC(location counter)로 입력 주소를 결정하고 초기값은 31A0임.
3 1 5 2	
3 1 A 0 -	키 입력 버퍼 기억 장치로서 입력된 키 코드값을 일시적으로 기억한다.
3 1 C F	
3 7 1 6 -	스택 메모리 영역으로서 초기값으로 스택 포인터에 37FF를 지정한다.
3 7 F F	

표 4. 로봇트 운동 프로그램

Tab.4. Robot motion program

BLOCK 10	CODE 01	DATA 045	ENT : 모터속도 지정
	CODE 71	DATA 00010	ENT : 카운터 1에 10회 저장
BLOCKR 20	CODE 72	DATA 00002	ENT : 카운터 2에 2회 저장
BLOCK 30	CODE 12	DATA +07500	ENT : Y축 3 cm 이동
	CODE 11	DATA +02000	ENT : X축 2 cm 이동
	CODE 13	DATA +05000	ENT : Z축 3 cm 이동
	CODE 12	DATA -07500	ENT : Y축 -3 cm 이동
	CODE 11	DATA +02000	ENT : X축 2 cm 이동
	CODE 13	DATA -05000	ENT : Z축 -3 cm 이동
	CODE 91	DATA 00500	ENT : 5초동안 지연
	CODE 83	DATA 00002	ENT : 카운터 2에 1 감소
	CODE 82	DATA 00030	ENT : 0이 아니면 점프 30
	CODE 12	DATA +07500	ENT : Y축 3 cm 이동
	CODE 11	DATA +02000	ENT : X축 2 cm 이동
	CODE 13	DATA +05000	ENT : Z축 3 cm 이동
	CODE 02		ENT : 직선보간 명령
	CODE 01	DATA 00011	ENT : 점A로 직선보간 이동
	CODE 83	DATA 00001	ENT : 카운터 1에 1 감소
	CODE 82	DATA 00020	ENT : 0이 아니면 점프20
	CODE 99		ENT : 정지명령

는 모드로서 그 흐름도를 그림 9에 나타내었다. 예로서 프로그램 명령형식 (1)항의 경우 BLOCK 97 (61H)은 표 1의 키코드로 E3, E1, C7의 순으로 입력되고, 이것은 블록번호 (61H×2 + 3000H)의 계산 값인 30C2H 번지와 그 다음 번지인 30C3H에 기억시킨다. BLOCK 명령 다음은 CODE로서 키코드 E4가 있어야 한다. 해석이 끝나면 키 버퍼의 내용은 사용자 메모리 (user memory) 영역에 저장되고 working 메모리 상태를 수정하고 다음 명령을 받을 준비를 한다. 이렇게 하여 사용자 메모리에 저장된 프로그램은 RUN 키로 수행시킬수 있도록 하였다.

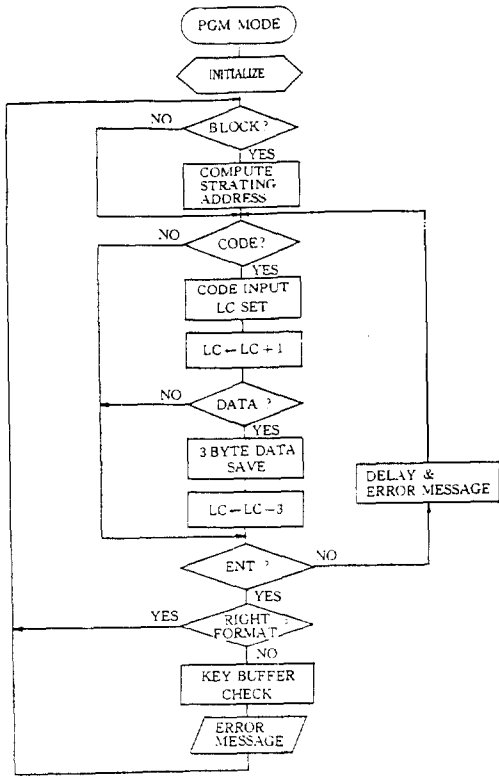


그림 9. PGM 서브프로그램 흐름도  
Fig. 9. PGM mode flowchart

5. 실험 및 결과고찰

앞에서 제정한 제어명령어를 사용하여 다음 운동에 대한 응용 프로그램을 작성하여 실행시켰다. 즉 로봇트팔의 각 관절을 45mm/sec의 속도로 그림10과 같이 이동시킬때, 점B에서 5초간 지연시키고, 점 C에서는 원점(점A)으로 직선보간에 의하여 복귀시

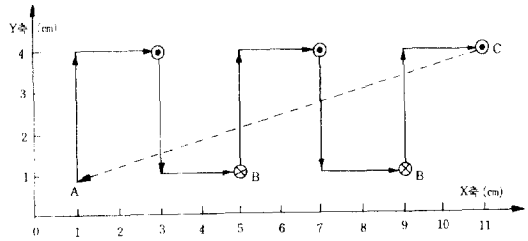


그림 10. 로봇트팔의 운동 예  
Fig. 10. Example of the robot motion

키며, 이를 10회 반복하는 프로그램을 표 4와 같이 작성하였다.

그림10에서 로봇트의 운동은 3차원 운동 형태로서 직교좌표의 X, Y축 운동과 ⊗와 ⊙로 Z축 운동이 표시되었으며 직선보간을 위한 위치선정으로 점 A는 JOG 모드에서 POS 11로 지정하였다. 또한 그림10에서 X, Y, Z축 공간상의 펄스당 이동거리는 각각 10μm, 4μm, 6μm 이므로 (표 5 참조) 프로그램상에서 X축의 2cm는 DATA 값이 2000이고, Y축의 3cm는 7500이고, Z축의 3cm는 5000으로 표시 되었다.

사진 1은 본 연구에서 사용된 실험장치를 보여준 것이며, 표 5는 로봇트팔의 규격을 나타낸 것이다.

설계된 제어기의 성능과 정확도를 확인하기 위하여 표 5와 같은 특성을 갖는 직각좌표형 로봇트팔에 표 4의 프로그램을 수행시켜 표 6과 같은 결과를 얻었다.

표 6에서 볼때 각 축에 대하여 1m 동작에 따른 이동편차거리를 환산하면 X축은 0.33mm, Y축은 0.23mm, Z축은 0.28mm가 됨을 알 수 있다. 여기서 이동편차가 적게 나타났것은 각 관절이 일정구간의 반

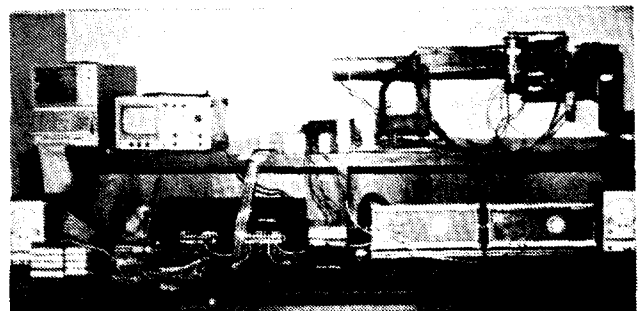


사진. 1. 로봇트 실험장치 전경  
Photo. 1. Experimental equipment of robot system

표 5. 로봇트팔의 규격

Tab. 5. Specifications of robot arm

NO	ITEM	내 용
1	DIMENSION	길이 (L) : Max 1080mm 폭 (W) : max 550mm 높이 (H) : max 350mm
2	동작 범위	X축 : 450mm Y축 : 90mm Z축 : 60mm $\theta$ 축 : $-180 \sim +180$ mm
3	최대 속도	X축 : 200mm/sec (2400rpm) Y축 : 50mm/sec (1510rpm) Z축 : 75mm/sec (1510rpm) $\theta$ 축 : 720/sec (400pps)
4	동작시 분해능	X축 : max 0.01mm (500p/r) Y축 : max 0.040mm (500p/r) Z축 : max 0.006mm (500p/r) $\theta$ 축 : max 1.8도 (200p/r)
5	위치 반복 정도	X축 : max 0.01mm Y축 : max 0.004mm Z축 : max 0.006mm $\theta$ 축 : max 1.8도
6	중 량	X축 : 12kg Y축 : 8kg Z축 : 3kg $\theta$ 축 : 0.3kg

표 6. 실험결과

Tab. 6. Experiment result

로봇트팔의 관절	이동거리 (mm)	최적속도 (mm/s)	이동시간 (sec)	이동편차거리 (mm)	편차발생확률 (%)
X	400	150	3.4	0.13	0.033
Y	80	40	2.8	0.018	0.023
Z	50	45	1.8	0.014	0.280

복운동에서 홈센서를 통과할때마다 오차교정을 하였기 때문이다.

## 6. 결론

로봇트 제어명령어를 제정하여 PWM 프로그래머를 제어기의 하드웨어와 소프트웨어를 설계하여 직각좌표형 4축 로봇트팔에 적용 실험하였다.

제어기의 설계에 있어서 사용자의 요구에 의한 제

반 동작을 기능기로 쉽게 프로그래밍할 수 있는 동작기준 제어 명령어를 제정하였으며, 이 명령어로 작성된 프로그램을 해석하여 수행시키기 위한 인터프리터를 개발하였다. 또한 이에 관계된 하드웨어와 소프트웨어를 설계 제작하였고, 로봇트 구동장치로 사용된 직류모터의 구동부에는 PWM 회로를 설계하여 사용함으로써 과부하시 구동기에서의 발열현상과 전력소모를 감소시켰다.

실험결과에서 로봇트팔의 각 관절에대한 이동편차 확률이 0.033% 이하로 되어 제어기의 정밀성을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- 1) Tomas Lozano-Perez, "Robot Programming", Proceeding of the IEEE, vol., 71, No.7, pp.821-841, July 1983.
- 2) K. Takase et al, "A Structured approach to robot programming and teaching", IEEE Trans, on SMC, SMC-11 (4) pp.274-289, 1981.
- 3) J.H. Aylor, R.L. Ramney and G. Cook, "Design and Application of a Microprocessor PID Predictor Controller", IEEE Trans, Ind, Elect, Contr. Instr., Vol. IECI-27, pp.133-137, Aug. 1980.
- 4) A.W. Moore, "Phase Locked Loop for Motor Speed Control", IEEE Spectrum, Vol.10, pp.61-67, Apr. 1973.
- 5) Richard E. Wainwright, "A Microcomputer-based Model Robot System with Pulse-Width Modulation Control", IEEE Micro, pp.7-21, Feb., 1985.
- 6) Artwick, B.A., "Microcomputer Interfacing", Prentice-Hall, 1980.
- 7) Eric H. Stelzer, Randy H. Moss, "A Microcomputer-based Control System for a Three-Joint Robot Arm", IEEE Micro, pp.22-40, June, 1985.
- 8) J.B. Plant, S.J. Jorna, and Y.T. Chan, "Microprocessor Control of Position or Speed of an SCR D.C. Motor Drive", IEEE Trans. Ind. Electron Contr. Instrm., Vol. IECI-27, pp.228-234, 1980.
- 9) 이두복, "산업용 로봇트의 프로그램형 제어기 설계에 관한 연구" 연세대학교 대학원 박사학위 논문, 1986.
- 10) 박상희외, "로봇트 제어명령어의 해석기 설계", 대한전자공학회 추계종합 학술대회 논문집 Vol.8 No. 2, 1985.