

산업용 로봇의 제어에 관하여

下 増 男

〈韓國科學院 電氣 및 電子工學科 副教授 · 工博〉

1. 서 론

산업용로봇(Industrial Robot)은 산업제작 공정에 쓰이는 자동 기계의 일종이나 재래식 자동장치와는 달리 유연성(Flexibility)과 다기능성(Versatility)을 동시에 갖는 특징을 지닌다. 유연성은 인간의 손·팔(Hand-Arm)과 유사한 조작형위(Manipulation)를 할 수 있는 기능으로부터 얻어지고, 다기능성은 주어진 일을 기호화 또는 프로그램화 하여 기억장치(Memory) 등에 내장시켜 수행함으로써 여러 종류의 작업을 하기가 용이하기 때문에 부여된 특징이라고 생각된다.

산업용로봇은 세계 제 2차대전 중 방사성물질등을 다루기 위하여 개발된 원격 조작장치(Teleoperator)의 개념과, 기호화된 작업정보에 따라 자동적으로 절삭가공 등을 행하는 NC 조작기계의 개념이 병합되어 생긴 산물로¹, 1960년 대초 미국의 데볼(G. Devol)의 제안에 따라 유니메이트 회사(Unimate Inc.)에서 GM 자동차 차체조립 과정에 점용접용으로 도입사용한 것이 그 효시가 되었다. 이 장치는 원격조작장치의 유연한 링크식 구조를 갖고 또 동시에 수직 제어식 선반의 써보 기구적 구동장치를 갖추고 있는 것이다.

산업용로봇은 보통의 자동 기계와는 달리 상대하는 대상물과의 위치적 관계가 중요하여, 시시각각으로 변화하는 대상물의 위치정보를 로봇 자체의 구동에 반영하여야 한다. 따라서 종래의 써보 메카니즘(Servomechanism)의 제

어기술에서 보다 고려되어야할 사항이 많으며 제어방법자체도 지능 제어(Intelligent Control) 분야라는 새로운 범주에 속하여 활발한 연구가 되고 있다.² 본문에서는 이러한 산업용로봇의 제어기술에 관하여 기술하기로 한다.

2. 제어방식

산업용로봇이 수행하는 자체 기능을 대별하면

- (1) 작업기능
- (2) 제어기능
- (3) 제측 및 인식 기능

등으로 나눌수 있다.^{3,5} 산업용로봇의 작업은 일반적으로 로봇트아암의 이동 및 로봇트핸드의 조작을 행하면서 동시에 대상 기계물과의 상태 정보교환을 위한 교신이 진행되는 가운데 수행된다. 이때 이러한 작업기능을 효과적으로 수행토록 하기 위하여 여러가지 제어기능이 발달하고 제어기능은 다시 작업상태 및 주변상태의 계속적인 측정 또는 인식하는 기능을 통하여 얻는 정보를 이용한다. 이러한 세가지 기능이 서로 폐회로를 형성하면서 상호 영향을 주는 과정을 그림 1에 표시하였다. 수행될 작업에 대한 정보는 지령입력의 형식으로 로봇트에 주어지는데, 제어부는 이 지령을 기준으로 하여 제측 인식된 상태정보를 처리하면서 제어신호를 발하는 기능을 한다. 따라서 산업용로봇의 제어기능을 이해하기 위하여는 제어부의 출력으로서 작업기능 수행을 위하여 어떤 제어신호가 발생되는가 하는 동작제어에 관한 과정과, 제어부의 입력으로

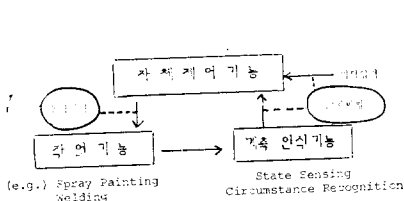


그림 1. 산업용로봇의 여러기능과 상호관계

서 제어신호를 어떤 기준지령에 의하여 어떻게 구성하는가 하는 교시방법을 아는 것이 중요하다.

2-1 동작제어

산업용로봇의 자체 제어기능은 제어부(Control Unit)에 의하여 행해지는 것으로 이것은 여러가지 방법으로 이해될 수 있으나 먼저 무엇이 어떻게 제어되는 가를 검토함으로써 복합적인 본 기능을 이해하기로 한다. 산업용로봇의 동작을 제어하기 위하여 제어부에서 다루는 제어량(Controlled Variables)은 속도, 위치, 힘 또는 토크(Torque)등이 있으며 이들을 제어하는 과정은 그림 2의 분류도에 보인 바와 같이 설명할 수 있겠다.⁵

로봇 팔이나 손의 위치를 결정할때는 시작점과 끝점을 입력시키고 그 두점사이를 어떤 경로를 거쳐야 되는가 하는 것을 지정하는 경우(Continuous Path Control)와, 경로를 지정하지 않는 경우(Point to Point Control)가 있고 또는 외부로부터 주어지는 지령에 따라 이에 동기시키면서 추종동작을 행하면서 위치가 제어되는 경우가 있다.

도장(Spray Painting)의 작업에서와 같이 일정한 속도의 동작이 필수적인 경우와 NC 공작기계에서의 가공물 적하등에서와 같이 대상물의 운동과 타이밍을 맞추기 위하여 여러가지 속도를 가변시켜가며 동작하여야 하는 경우가 있고 무거운 하중을 다룰 때와 같이 운동의 가속도를 제어해야 할 경우도 있다.

동작 순서는 동작의 시작점, 경유점, 완료점 등과, 운동지령 및 작업지령을 구별하여 조합하

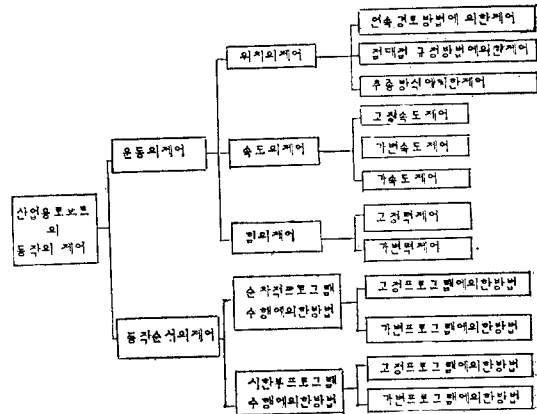


그림 2. 산업용로봇의 동작제어

고 또 동작이 시간적인 제약을 받느냐에 따라 결정된다. 순차적 프로그램 수행에 의한 동작순서의 결정은 시간 제한을 받지 않고 주어진 시퀀스에 의하여 동작이 진행되고, 한 부분 동작이 일정시간안에 이루어져야 하든가 일정시각에 위치하여야 하는 경우와 같은 시한부 프로그램에 의하여 수행되기도 한다.

2-2. 교시(Teaching) 방법

산업용로봇이 2-1절에서 설명한 여러가지 제어기능을 수행하기 위하여는 산업용로봇 자체에 필요한 정보를 가르쳐 주어야 한다. 산업용로봇의 작업용도에 따라 정보 입력 방식은

- (1) 수동식 (Manual Type)
- (2) 고정 또는 가변 시퀀스식
- (3) 기억 재생식 (Playback Type)
- (4) NC 제어식
- (5) 적응제어식

등의 여러가지가 있다.³ 수동식은 광의로 해석하여 Master-Slave 타입의 원격조작장치와 같은 로봇트를 제어하는 방법을 지칭하며, 시퀀스타입은 전기적 릴레이 또는 디지털회로와 시간지연장치등을 이용하여 시퀀스화한 동작순서를 하드웨어적으로 기록시켜 동작시키는 것을 말한다. 단 사용자의 시퀀스 구성변동가능 여부에 따라 고정식과 가변식으로 나눈다. 기억재생식은 동

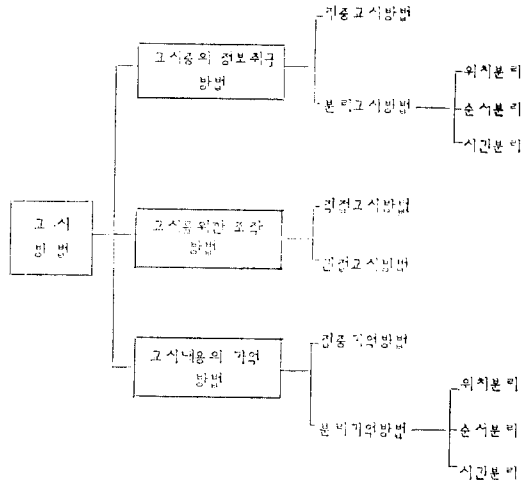


그림 3. 제어장치의 교시 방법

작을 교시(Teaching)에 의하여 기억시키고 이를 실제작업시 재생하여 행하도록 하는 방법이고 NC 제어방식은 수치제어 공작기계에서와 같이 On-Line Tape을 이용한 입력 방법을 얘기하며, 적응제어 방식은 여러가지 감지 장치(Sensor)를 사용하여 작업수행을 행하되 감지 장치로부터의 정보를 항상 궤환하여 주변상태 변화에 적응하며 제어되도록 사용하는 것을 의미한다.

산업용로봇가 작업내용을 교시받고 이를 기억장치에 보전한 후 이 기억내용을 재생시키면서 동작하는 일련의 과정은 그림 3에 표시한 바와 같이 교시중 정보를 취급하는 방법, 교시를 위한 조작방법 그리고 교시내용의 기억 방법등으로 분류한 서로 다른 관점에서 이해할 수도 있다. 여기서 집중교시 방법이란 위치속도 작업지령 실행순서등을 동시에 교시시키는 방법이다.

분리교시 방법은 위치, 속도, 작업등을 분리하여 예컨대 위치 및 속도를 가르쳐 동작시키면서 중간 중간 시분할 방법등을 이용하여 작업정보를 읽어 들이는 경우와 같이 한꺼번에 모든 정보를 집중시켜 읽어 들이지 않는 방법이다. 교시를 위한 조작방법은

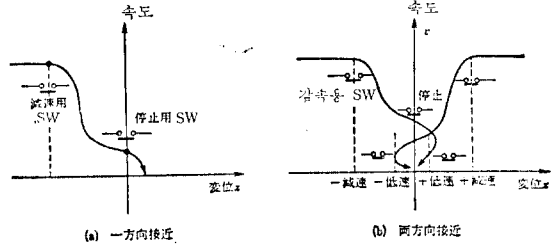


그림 4. 리미트스위치와 써보의 동작

- (1) 수동운전을 통한 직접 교시 방법과
- (2) 종이 테이프, 키보오드등을 이용하거나 도형의 판독을 통한 간접교시 방법 등이 있다. 또 교시 내용이 모두 한번에 기억되는 수도 있으나, 공작기계의 운전하는 경우와 같이 작업정보, 동작정보들을 온-라인(On-Line)으로 읽어 들이면서 최소한의 기억공간을 이용하는 방법도 있다.

3. 제어장치 관련 하드웨어

3-1. 위치 검출장치 및 써보장치

산업용로봇의 제어에 있어 가장 중요한 측정 정보중에 하나인 위치를 검출하는 장치로 리미트스위치(Limit Switch), 포텐시오미터(Potentiometer) 리졸버(Resolver) 또는 펄스인코더(Pulse Encoder) 등이 사용된다. 산업용로봇의 동력원 또는 근육에 해당하는 구동부(Driving Unit)의 써보 메카니즘은 선정된 위치검출장치에 맞도록 구성되는 것이 보통이다. 본절에서는 언급된 검출장치와 관련된 써보 기구에 대하여 알아보기로 한다.

(a) 리미트스위치에 의한 써보기구

리미트스witch는 기계적인 스위치접점을 이동부(Moving Part)에 부착된 슬라이드판과 같은 것으로 개폐(on-off)시켜 위치 신호를 얻는 간단하고 확실한 위치검출센서이다. 이것은 점대점(Point-to-Point) 제어용 써보장치에 결부되기가 쉬우며, 부하가 이동하면서 미리설정된 리미트스위치의 접점을 on-off하여, 써보모터의 구

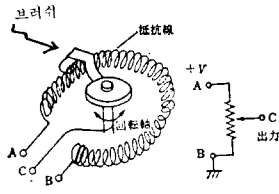


그림 5. 포텐시오미터의 구조

동속도를 변속정지시킨다. 높은 정밀도나 높은 빈도의 동작이 요구되지 않는 자동 적하(Auto Loading-Unloading) 작업에 많이 쓰이며 그림 4에 리미트스위치를 이용한 써보의 동작을 간단히 설명하였다.

(b) 포텐시오미터에 의한 써보

포텐시오미터(Potentiometer)는 그림 5에 보인바와 같은 저항선을 이용한 변위검출기로서 이를 이용한 써보 시스템을 구성하는 방법은 그림 6에 보인바와 같이 위치 명령신호를 직류 전압으로 주는 경우(그림 6-a)와 저항값으로 주는 방식이 있다. 각각의 장단점이 있으나 후자는 잡음이 회로에 들어오더라도 상쇄되어 오차를 최소화하는 특징이 있어 많이 채택되고 있는 방법이다.

(c) 리졸버(Resolver)를 사용한 써보 시스템

리졸버(Rosolver)는 그림 7에 보인 바대로 교류여자형의 각도 검출기로서 직교하는 2개의 권선으로 된 회전자와 같은 방식의 고정자를 갖고 있다. 이들의 자기적 결합은 평행한 경우가 최대이고 직교인 경우 영이 된다. 2개의 고정자권선에 $E \sin \omega t$ 및 $E \cos \omega t$ 의 전압을 각각 인가

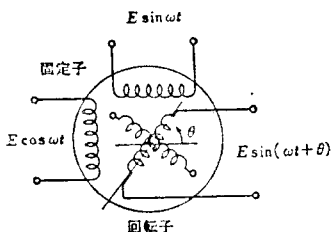


그림 7. Rosolver의 구조

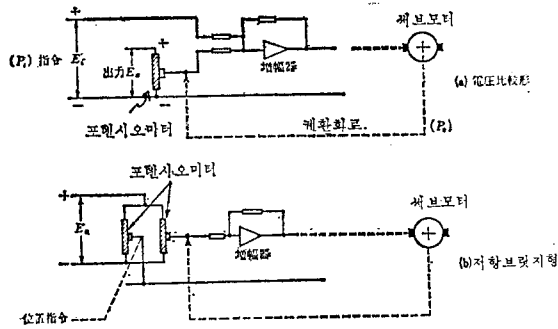


그림 6. 포텐시오미터를 이용한 써보기구

하면 θ 의 각도만큼 회전한 회전자의 권선에서 $E \sin(\omega t + \theta)$ 인 전압이 발생하여 위상변조형의 신호가 얻어진다. 이를 위치제어용 써보장치에 이용한 것을 그림 8에 표시하였다. 리졸버의 고정권선에 가해지는 대지전류와 회전자로 부터 얻는 신호의 위상이 회전자의 각위치 θ 와 같게 되는 점을 이용하여 별도로 설계한 디지털 위상이 동기회로로 위치 지령에 대응하는 신호를 발생시키고 이들 두 위상을 비교하여 위치편차를 써보 장치의 입력으로 한다.

(d) 펄스인코더(Pulse Encoder)를 이용한 써보 기구

펄스인코더는 그림 9에 보인 대로 회전각도를 부호화된 신호로서 검출하는 장치로서 Brush식과 광전식이 있다. 이러한 펄스발생기의 출력펄스를 세어서 모타축의 이동량을 검출하고 위치 지령펄스와 비교 감산하여 써보 제어를 행하는

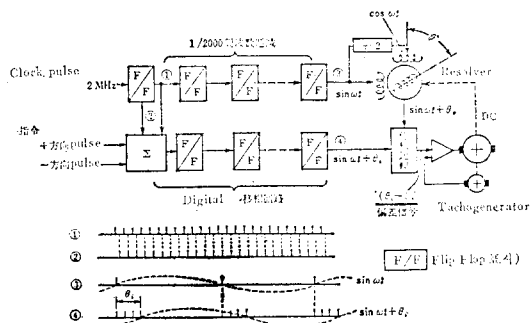


그림 8. Rosolver를 이용한 써보

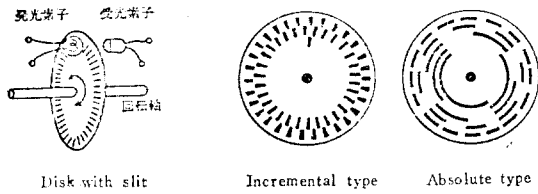


그림 9. 펄스인코더의 구조

데 쓰인다. (그림 10 참조) 이 방식은 디지털 DC 써보라고 부를 정도로, 지령으로부터 검출에 이르기까지 디지털 회로로 처리되어 구성이 간단한 장점이 있다.

3-2. 써보장치의 구동부

일종의 동력증폭부로서 산업용로봇의 구동 동력을 내는 구동부(Actuator)는 전기식, 유압식등이 가장 많이 쓰이고 때때로 공압식이 쓰이기도 한다. 전기식 액추에이터(Electrical Actuator)로서는 교류유도전동기(Induction Motor) 직류써보모터, 펄스모우터등이 있으며, 여러가지 용도에 맞는 선택성이 좋고 제어신호가 전기만이기 때문에 유지보수에 유리하고 배관공사등이 최소이며 정속 운전이 가능한 장점이 있다.

유압식 액추에이터(Hydraulic Actuator)에는 유압실린더, 유압모우터, 써보밸브등이 있으며, 큰 조작력을 쉽게 얻을 수 있으며, 유압실린더의 경우 직선운동을 얻기 위한 기구가 불필요하고, 자유도가 증가하더라도 유압원(Hydraulic Actuator)을 공유하므로 설치비가 증가하지 않으며 높은 주위온도등에 잘 견디고 안정성이 높은 등 장점이 있다.

4. 마이크로프로세서를 이용한 카이젬로봇 I (KAISEM ROBOT I)의 제어장치

1979학년도에 본인이 소속되어 있는 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 제어연구실과 광명만 박사, 조형석 박사의 연구팀이 합동하여 다이캐스팅 작업 또는 NC 공작기계의 운전에 맞춰 피가공물을 적재, 탈착 또는 운반할 수 있는 용도의

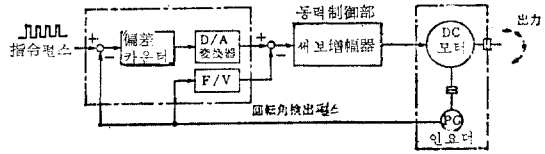


그림 10. 펄스인코더를 사용한 써보

기억재생식 산업용로봇 Prototype (편의상 명칭을 카이젬로봇 모델이라 명명함)을 설계 제작하고 이를 시험중에 있다.

카이젬 로봇의 제어부(Control Unit)는 작업지시정보와 작업 진행정보를 받아 이를 처리하면서 프로그램된 알고리즘에 의하여 제어신호를 발생하며 그 구조는 그림 11에 보인바와 같다. 본 제어장치의 구성을 중요한 기능적 Block으로 나타내면 다음과 같다.

- (1) z-80 마이크로 프로세서를 CPU로 하는 μ -computer Hardware 및 Software
- (2) Teach Box 및 Interface
- (3) Pneumatic Power를 이용한 Hand Controller Hardware
- (4) Servomotor Controller 및 μ -Computer와의 Interface
- (5) CRT Terminal과의 Interface

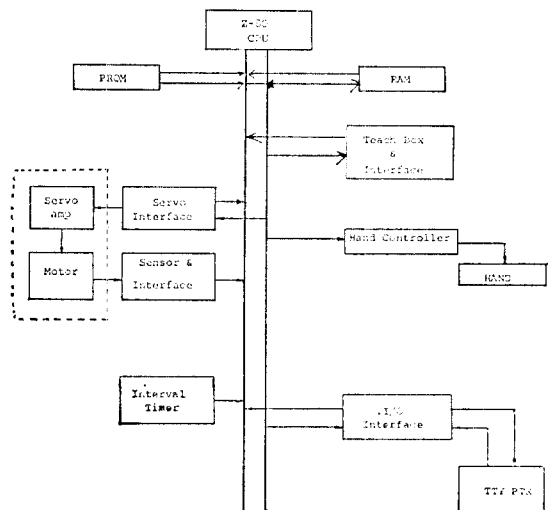
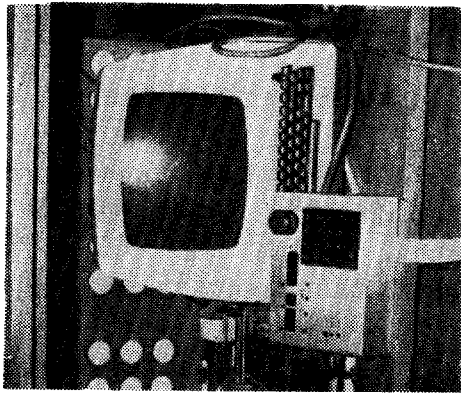
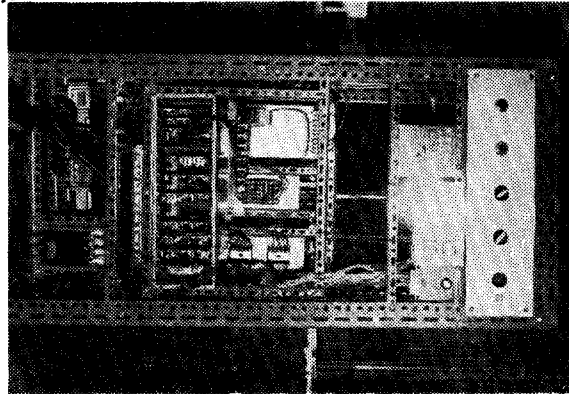


그림 11. A. 제어장치 블록도



(a) 콘트롤러 하드웨어



(b) 입력장치 (Teach Box 및 Terminal)

그림 11. B. 제어장치 실물 사진

본 절에서는 KAISEM ROBOT I 제어장치의 하드웨어와 소프트웨어에 관하여 간단 간단하게 설명하기로 한다.

4-1. 시스템 콘트롤 하드웨어

본 제어장치에 쓰인 마이크로컴퓨터는 미국 Cromemco 사에서 개발한 z-80 based Single Card Computer로서, 한 Circuit Board 안에 입출력단자, 기억영역, Interval timer 등을 포함하고 있다. 언급된 바와 같이 Playback type으로 선택하여 작업 내용중 위치정보 속도정보 및 기타 써비스 정보를 실제로 수행한 후 이를 기억시켜 재생시키도록 하였으며 이는 계획한 사용 용도에 적합하다. 데이터를 넣거나 교시하는 과정을 조정하기 위하여 Teach Box가 필요하다. 이는 카이젤로봇 I의 Man/machine interface를 위한 입출력장치이다.

본로봇의 구동원인 직류 모우터의 위치를 검출하기 위해서 resolver를 사용하였는 바 resolver는 입력신호와 출력신호의 위상차의 위치의 정보를 가지고 있으므로 이를 직류 전압으로 바꾸는 장치 또는 직접 숫자로 바꾸는 장치가 필요

하다. 이것은 Potentio-meter를 사용한 경우보다 불리하나 잡음의 감소와 정확도 개선이란 장점이 있다. 단, Pulse coder에 비하면 모우터의 회전속도를 직접 감시할 수 없는 등의 단점이 있다. 따라서 여기서는 위상 변위가 생긴 resolver 출력신호로부터 위치 뿐만 아니라 모우터의 회전 속도를 알아내는 장치가 필요하게 된다.

로봇 손의 제어는 Open-loop으로 행하여 어컴프레서에 연결된 써보벨브의 On-off 작동을 함으로 이루어지므로 이는 쓸레노이드 릴레이를 사용하여 구성되었다.

로봇아암(Robot Arm)은 기어(Gear)와 커플링기구(Coupling Device)로 연결된 DC 써보 모우터에 의하여 위치의 이동 및 이동중의 속도가 결정된다. 위치 및 속도에 대한 제어신호는 제어부에서 결정되어 주어지나, 제어신호를 따라 모우터의 축이 움직이도록 하기 위하여 이 자체가 재래식의미에서의 하나의 제어장치가 되도록 해야 한다.

이를 위하여 로봇아암을 부하로 하는 모우터에 충분한 동력을 전달하기 위한 써보-증폭장치가 필요하고, 전형적인 위치제어 시스템에 쓰이는

타코발 전기 및 위치감지장치로서의 Resolver, 오차감지회로 및 보상회로등을 첨가하여야 한다.

써보증폭장치는 피제어물인 DC 써보모우터에 제어 신호에 따른 충분한 동력을 전달하는 기능을 갖는 장치로서 본 카이젬로봇 I 에서는 12개의 SCR을 이용하여 구성하였다. 잘 알려진 바와같이 SCR은 전자식 스위치로서 작은 용량의 제어신호를 이용하여 큰 동력을 동원력으로부터 인출함으로써 평균 전력이 모우터에 전달되게 하는 역할을 한다.

본 시스템에서는 3상전원을 이용하였고 회전 방향이 시계 및 반시계방향 어느쪽도 가능하도록 구성하였다.

4-2. 시스템 컨트롤 소프트웨어

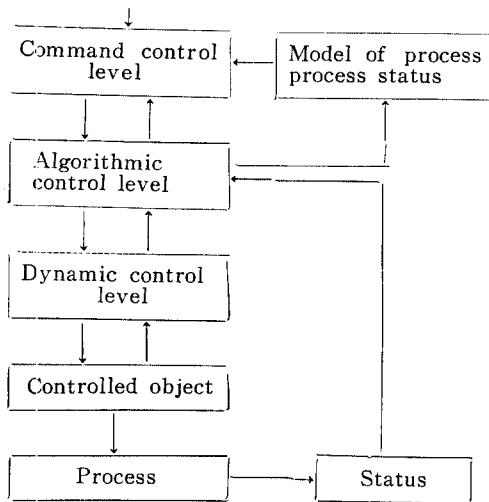


그림 12. 전형적 system control software hierarchy

그림 12는 Control Software의 관점에서본 전형적인 Control System Software의 구조를 보인다. Robot system은 자연계의 동물 처럼 그 Control system의 구조가 Hierarchical 하게 이루어지고 진보된 robot 일수록 이러한 구조가 뚜렷해진다. 제일 위에 있는 level은 사람으로부터 command를 받아서 현재 process의 상태를 고려하여 작업의 방향을 결정하고 그 아래 level에서는 주어진 작업을 수행하는 신호를

만들어 낸다. 또 그 아래 level에서는 주어진 신호에 따라 기본적인 운동을 제어하게 된다.

본 KAISEM ROBOT I은 Teach & Playback type 이므로 앞서 말한 구조와 완전히 일치하지는 않는다. 카이젬로봇 I 시스템에서는 사람으로부터 명령을 받는 가장 높은 level은 다음의 4가지 mode로 이루어져 있다.

- (a) Teach mode
- (b) Test mode
- (c) Run mode
- (d) I/O mode

Teach mode에서는 로봇트를 Jog button ($\pm Z, \pm \theta, \pm R$)으로 작업상 필요한 곳까지 운전자가 이끌고 가서 그곳의 위치를 기억시키는 일을 하고 또 거기서 수행하여야 할 써비스의 내용을 교시(Teach) 시킨다. 교시(Teach)는 한 블록 단위로 되며 한 블록은 속도데이터, 위치데이터, 써비스코드(Service code)들로 이루어 진다. 만일 속도 데이터가 0으로 되어 있으면 그 블록의 위치데이터는 의미가 없게 되며 다만 써비스코드만을 수행하게 된다.

Teach mode에 의하여 작업내용을 가르친 후 실제로 Run 시키기 전에 Teach된 내용을 점검할 필요가 있다. 여기서는 Position data를 확인할 수 있을 뿐 아니라 수정이 가능하며 Program된 service code의 올바른 입력을 확인, 수정 할 수 있다. 잘못 teach된 service code는 비정상적인 운영을 초래하며 emergency 상태를 발생시킬 여지를 만든다. 따라서 Teach는 미리 준비된 teaching sheet에 따라 teach한 후 확인하는 절차가 필요하다.

Run mode의 역할은 teach된 Program이 틀림없는 가를 Test mode에서 확인한 후 실제 robot를 작동시키는데 필요하다.

Run mode에서는 지금까지 teach한 내용을 block 순서에 따라 수행한다. 그러나 중간에 branch의 service-code를 만나면 그 순서가 바뀔 수 있다.

한번 teach 되어 작업을 하던 program은 다음에 다시 반복하여 가르칠 필요없이 paper tape

◆ 解 說

로 teach된 내용을 저장하였다가 다시 직접 load 할 수 있다. 이를 위하여 I/O Mode가 필요하다.

로봇의 동작중 직진이나 회전하는 이외의 모든 동작은 서비스 코드(Service code 또는 S-code)에 의하여 하게 되어 있다.

카이젬로봇 I 을 위하여 제작된 software controller는 Cromemco 사의 Control Basic Language를 이용하여 main program을 짰고 대부분의 sub-routine은 assembly language를 이용하였으며, High level language의 장점을 살리면서 동시에 memory storage의 증가를 주어진 범위내에 국한되도록 고려하였다.

5. 결 론

본 글월에서는 산업용로봇의 제어기술과 관련하여, 제어부(Control Unit)의 기능을 로봇의 동작제어 및 교시방법의 관점에서 고찰하고 제어장치를 구성하기 위한 중요한 하드웨어를 간단히 기술했다. 또 한국과학기술원에서 개발시험중에 있는 카이젬로봇의 제어부에 관하여 간단히 설명하였다.

일반적으로 산업용로봇의 제어부는 작업정보의 입력방법, 이의 처리 기술 및 기억용량에 따라 구성 및 기능이 다양해질 수 있다. 즉 전용장치에 가까운 고정 시이퀀스형 로봇의 간단한 제어장치로부터 수대의 산업용 TV 영상처리 장

치 및 감촉장치를 이용한 케환정보를 받아 처리 하면서 섬세한 조립작업등을 수행하는 소위 지능로봇(Intelligent Robot)의 제어장치에 이르기까지 여러구분으로 설계되며, 특히 효율적인 제어용소프트웨어의 내장여부에 따라 제어부의 성능이 판단된다. 주어진 산업용로봇를 보다 융통성있게 조정제어할 수 있는 제어부를 최적 설계함이 중요하며 이를 위한 연구는 계속 진행될 것으로 본다.⁴

참 고 문 헌

1. Richard Paul, "Robots, and Automation," *Computer*, July 1979, pp. 19-27.
2. George N. Saridis, "Toward the Realization of Intelligent Controls," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 67, No. 8, August 1979.
3. 변중남, "산업용로봇의 제어시스템에 관한 연구" 한국과학기술재단에 제출된 연구보고서 1980년 1월 25일
4. *Proceedings of 9th International Symposium on Industrial Robots*, March 13-15, 1979, Washington D.C., U.S.A.
5. 日本 産業用 ロボット工業會編, "産業用ロボットの技術", 日本 日刊工業新聞社刊 1979年 8月
6. E. Freud and M. Syrbe, "Control of Industrial Robots by Means of Microprocessors," *JACC*, 1978, p. 167.

과학기술 개발하여

새역사의 문을 열자