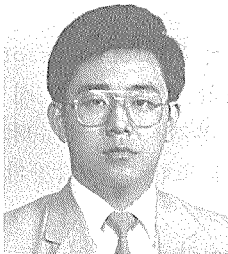


# 工場自動化와 Robot 機能



朴 海 東

韓國生産性本部 技術指導部 FA室 研究員

세계적인 추세나 국제경쟁력 강화면에서 볼 때 산업용 Robot의 기술발전은 필수불가결하다. Robot 제어기술이나 작업 프로그래밍의 개발을 통하여 보다 성능 좋고 사용하기 편한 Robot의 개발, 주어진 작업의 특성에 맞는 Gripper의 개발 및 부품공급을 위한 주변기술의 개발, 저렴하고 신뢰성있는 센서의 개발 등이 이루어져야 하겠다.

## 1. 서론

Automation은, 자동화를 풍자한 미국영화 「Modern Times」가 개봉된 10년후 1946년 美國 Ford社가 자동차의 생산설비를 자동화하면서 태어난 낱말이다. 오토메이션은 기계장치의 자동화를 지향한 Mechanical 오토메이션 분야보다도 철강이나 화학 플랜트에 있어서의 압력, 유량, 온도 등의 제어를 주체로 한 Process 오토메이션의 분야에서 발전하고 고전제어 이론에 지지되어 연속 프로세스의 피이드 백 제어 체계가 확립되었다.

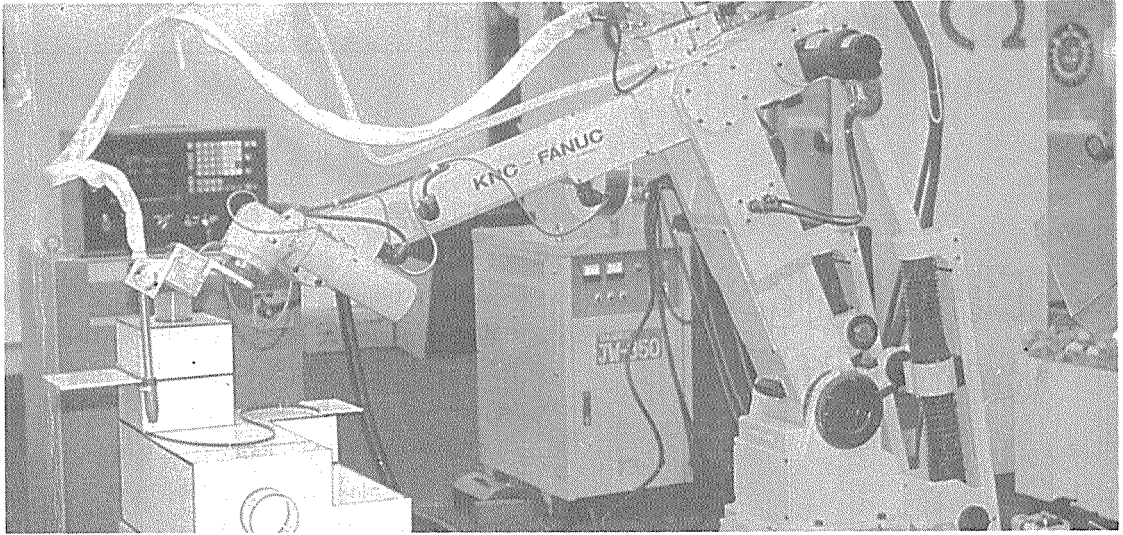
한편, Mechanical Automation은 기계가공을 중심으로 하는 간헐적인 소품종 대량생산의 형태에서 1950년 후반에 NC공작기계를 시작으로 CNC나 DNC가 등장하고 산업용 Robot, 자동반송장치 등이 추가되어 Flexible한 생산이 지향되어 FMC(Flexible Manufacturing Cell), FAS(Flexible Assembly System), FMS(Flexible Manufacturing System)가 탄생하게 되었다.

또한 생산의 소프트웨어로서의 CAD/CAM은 1950년대부터 연구되었지만 1963년에는 MIT에 의해 대화형식이 개발되어 컴퓨터 원용관리(CAPC)도 등장하였다. 그후, 이것들을 통합화한 컴퓨터 통합생산(CIM)의 개념이 제안되었다.

FA의 정의에는 여러 의견이 있으나 그 중 일본공업기술원의 정의는 다음과 같다.

「FA란 사람의 Needs를 충족하는 제품의 기획, 설계, 생산준비의 자동화를 도모하면서 목적의 제품을 최적으로 산출하기 위한 제어, 관리, 운용 등을 자동적, 효율적으로 하는 고도의 생산공장 시스템이다.」

즉, 공장자동화(FA)는 생산시스템의 고도화를 위한 하드웨어와 소프트웨어를 통합한 Flexible Automation이라 할 수 있다.



한국은 1970년대 중반부터 Robot개발에 착수하였다.

## 2. 산업용 Robot

### 2-1. Robot의 정의

미국의 SME (Society of Manufacturing Engineers)에서의 정의는 다음과 같다. 「A re-programmable multi-functional manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized device through variable programmed motions for the performance of variety of tasks」이다.

산업용 Robot의 정의에서 가장 중요한 것은 프로그램이 가능하다는 점과 다용도라는 점이다. 이 점이 종래의 On/Off Sequence 제어된 공압의 pick and place unit 혹은 mechanical cam type manipulator와 다른 점이며 나아가서 NC 공작기계와도 구별되는 점이다.

### 2-2. 산업용 Robot 추세

1962년 미국의 Unimation사에서 최초의 작업 교시 및 재생방식 (Teaching & Playback)의 산업용 Robot가 개발된 이래 Robot를 생산라인에 도입하여 본격적으로 실용화되기는 1970년대 중반 일본에서 1차 oil쇼크이후 산업구조의 개편과정 중에서 생산성향상에 주목하여 Robot의 적용이 적극 검토되면서이다.

초기의 산업용 Robot는 자동차 생산라인, press 및 단조작업, 사출성형 작업 등의 대량 생

산라인에서 단순작업을 위주로 하였으며, Robot의 기능은 고정 또는 가변 Sequence 제어 방식의 PTP제어만 가능하며 Robot 몸체는 직각좌표계, 원통좌표계 및 주좌표계로서 3내지 4 자유도가 대부분이었다.

'80년대에 접어들면서 Microprocessor의 고속 연산기능과 경제성의 괄목할 만한 신장으로 산업용 Robot 기능이 본격적으로 컴퓨터화되면서 그 구조와 적용분야 또한 크게 확장되고 있다.

소위 제 2세대 Robot라고 일컬어지는 최근 Robot의 기능은 다음과 같이 특징지어질 수 있다.

#### ① 다관절형 기구 :

작업영역의 확대, 6축 이상의 다관절형으로 다용도화, 최대속도 2m/sec 이상의 고속화 등의 장점을 갖는다.

#### ② 고속 연산 Computer Controller :

PTP (Point to Point) 및 CP (Continuous Path) 제어를 위한 Real time 좌표변환 연산이 가능한 Arithmetic Processor 및 Multi-Processor 제어기의 기능을 채택한다.

#### ③ Sensory Control :

시각 및 촉각 센서로서 작업대상의 상태를 판단하여 Robot의 운동을 수정할 수 있는 기능을 부여하여 Robot 작업의 신뢰도를 높인다. 특히

조립 Robot에 효과적이다.

### 2-3. 산업용 Robot의 구조

산업용 Robot의 구조 및 특성에 관여하는 Factor는 자유도, 좌표계, 동작범위, 가반중량 등이다. Robot에서 자유도란 Programmable한 축의 수를 의미하며 여기서는 보통 gripper 등의 공구는 자유도에 포함시키지 않는다. 자유도가 클수록 Robot는 복잡한 운동을 할 수 있다.

Positioning에 3축, Orientating에 3축 도합 6축(6자유도)으로써 일반적인 모든 작업이 가능하나 작업조건이 아주 복잡할 경우 6축 이상을 사용하는 경우도 있으며 작업운동이 단순한 경우에는 3축 Robot도 많이 사용된다.

Robot 좌표계는 Mechanical Mechanism에 의해 결정되며 보통 직교좌표형, 원통좌표형, 구좌표형으로 분류된다. 이 좌표계는 3개의 주축(Main axes)에 의해 결정되며 원통 혹은 구

좌표형 Robot일지라도 Software에 의한 좌표 변환을 통해서 직교좌표형 Robot와 같은 동작을 할 수 있다.

그림 1은 4Type Robot의 개략도이다. 동작범위는 Robot의 제일 말단 축이 도달될 수 있는 공간상의 영역으로서 각 Robot의 기계구조상 고유의 작업공간을 갖고 있으므로 Robot 선정시 고려되어야할 사항이다. 가반중량(Pay Load) 역시 Robot 선정시 고려되어야할 Factor이다. 가반중량은 Robot가 Handling 할 수 있는 무게이며 이 무게에는 취급할 부품의 무게뿐만 아니라 End-Effector 등 취급공구의 무게도 포함됨에 유의해야 한다. 주어진 사양 이상의 하중이 걸리게 되면 Robot의 동적 특성이 현저히 저하되고 정밀도가 급격히 떨어진다.

그림 2는 Robot wrist부의 3가지 운동과 여러가지 구조를 소개하였다. 또한 Robot의 성능을 좌우하는 가장 큰 요소 중의 하나는 동력원이다. 동력원으로는 전기, 유압, 공압 등이 사용되고 있으나 제어의 용이성과 저렴한 가격 등의 장점때문에 주로 전기구동식 Robot가 사용되며 그 중에서 DC Servo Motor와 AC Servo Motor가 사용된다.

근래에 출현한 DD(Direct Drive) Motor를 이용한 Robot가(미국의 Adept-II) 있으나 아

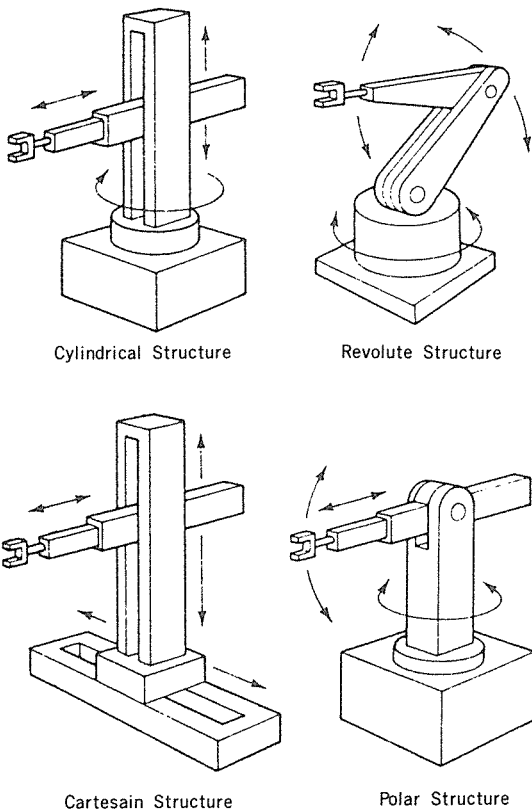


그림 1. 4 Type Robot의 개략도

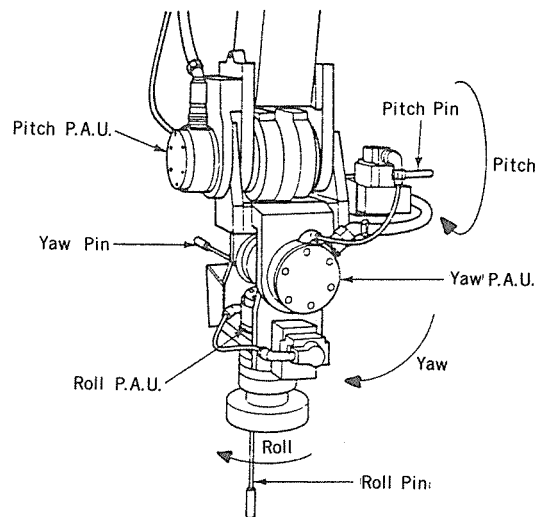


그림 2. Robot Wrist부의 3가지 운동

직까지 많이 사용되고 있지는 않고 있다.

그러나 전기 Servomotor는 유압식 Actuator 보다 power 밀도(출력power/무게)가 작으며 또한 Power rate도 작아 고감속비의 감속비를 필요로 하므로 고속운전에는 적합하지 못하다. 따라서 고속을 요하는 Spray Painting용 Robot는 대부분 유압식이다.

#### 2-4. Robot End Effector

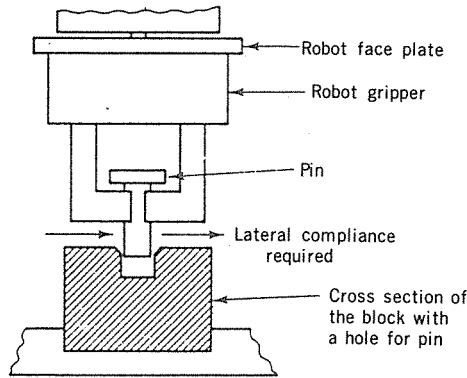
산업용 Robot의 손 즉, End Effector (Gripper)는 크게 기계식, 자석식, 공기흡입식 그리고 Universal gripper 등으로 분류된다. gripper는 취급되어질 부품의 형상에 따라 설계되어야 하지만 특수한 형상이외의 규격화된 부품 Handling용 gripper는 전문업체에서 규격별, 형상별로 제작되어 시판되고 있다.

취급 부품이 경량이고 표면이 매끈하고 평평할때는 Vacuum PAD(진공PAD)가 많이 사용되고 있으며 PAD의 재질은 물체에 따라서 선

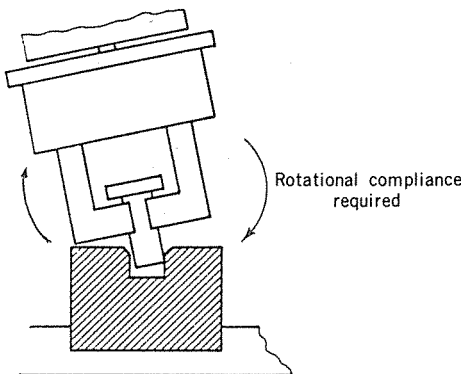
정이 되나 Silicon, Neoprene, Polyurethane 등으로 제작된다. 부품의 무게가 가벼울 때는 venturi tube에 의해서 vacuum을 만들어주나 무거운 물체를 잡아올릴 경우는 vacuum pump를 사용해야 한다. 자석식 Gripper는 자성체를 들어 올리는데 사용될 수 있으며 취급할 물건의 형상은 vacuum Gripper보다는 훨씬 다양하다.

그러나 영구자석을 사용할 때에는 부품을 자석에서 이탈시키기 위한 별도의 장치가 필요하다. Robot를 이용한 부품의 위치결정에는 여러 원인으로 인하여 항상 다소의 부정확성이 나타난다. 이러한 부정확성에는 Robot 자체 및 부품고정구의 부정확성, 부품의 형상오차, 부품취급공구의 부정확성 등이 복합적으로 작용한다.

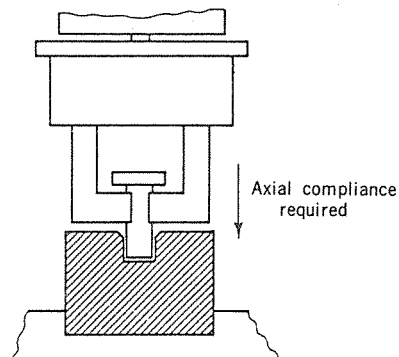
따라서 이러한 부정확성을 보상시켜주고 특히 정밀 조립용 Robot wrist를 위해서 sensor를 사용한 Force Feedback을 이용한 능동적



(a) Lateral compliance

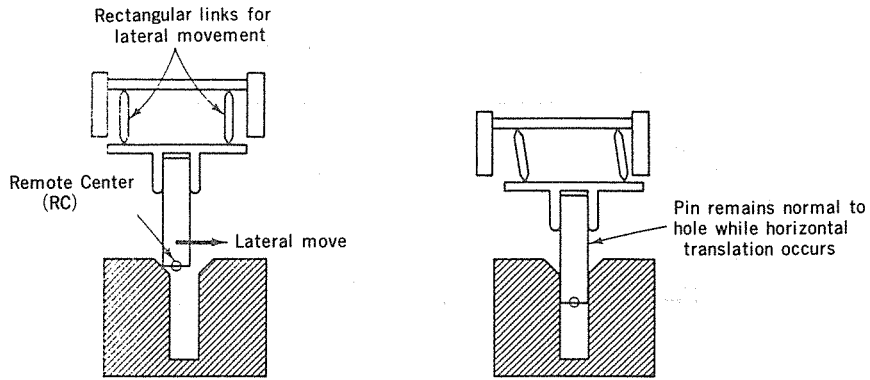


(b) Rotational compliance

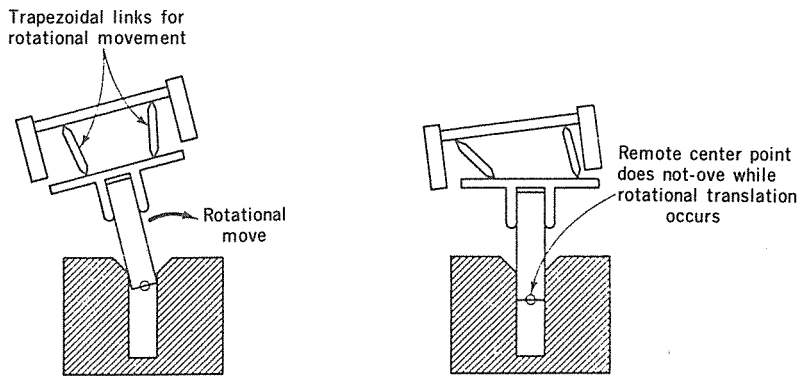


(c) Axial compliance

#### 1) Compliance



2) Rectangular Elastic Links



3) Trapezoidal Elastic Links

그림 3. RCC의 정밀조립시의 오차교정 방법

방법과 Flexible wrist를 이용한 기계적인 수동적 방법이 있다. 수동적 보상방법 중 대표적으로 개발되어 있는 것은 MIT공대의 RCC (Remote Center Compliance)이며 RCC의 정밀조립시의 오차교정 방법은 그림 3과 같다.

### 2-5. Robot Control

Robot Control은 Feed Back Device를 사용하여 Computer에서의 지령치와 출력 축의 궤환치를 비교하여 그 오차를 최소화시키고 S-system의 stability를 향상시키는 방식을 취하고 있다.

이러한 방식을 Closed Loop System이라고 하고 일반적인 Robot System은 DC-Servo Control을 행하고 있다. 그림 4는 궤환제어의 Diagram이다.

Manipulator Control은 크게 나누어 Gross Motion Control과 Fine Motion Control이 있

다. Gross Motion Control이란 Manipulator의 end-effector가 어떤 물체에 접촉으로부터 발생하는 Force Feedback을 사용하지 않는 Control방식으로서 수십 micron이내의 Fine Accuracy를 요하지 않는 Robot의 control에 응용되는 방법이며, Fine Motion Control은 수십 micron이내의 accuracy를 요하는 Assembly용 Robot Control에 응용되는 방법으로서 Force Sensor를 이용한 Force Feedback을 사용한다.

Gross Motion Control은

i) Simple Linear Servo Control; painting이나 welding 등 Manipulator의 속도가 그다지 빠르지 않은 경우에 사용하는 방법으로서 현재 까지도 자주 이용된다.

특기할 것은 Base-Coordinate를 기준으로 주어진 end-effector의 원하는 위치와 속도 명

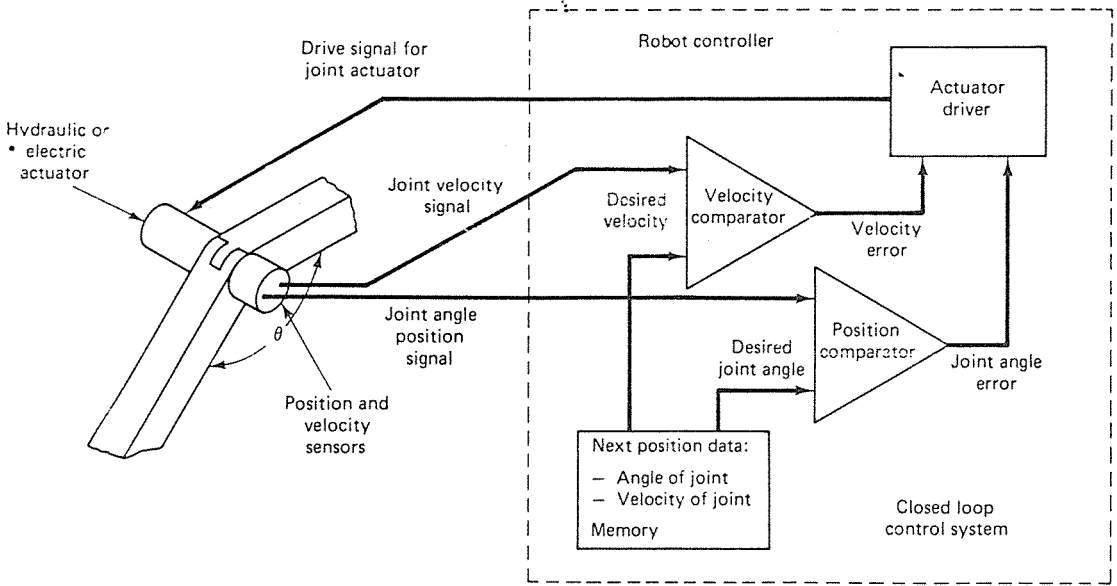


그림 4. 궤환제어의 Diagram

령을 각 joint variable의 위치 및 속도 명령으로 바꾸는 것을 off-Line으로 미리 행하지 않고, control loop내에 삽입시켜 Real time으로 수행하는 점이다.

ii) Computed Torque Method; 이 방법은 Robot-Manipulator에 요구되어지는 속도가 빠를 때 앞서 기술한 바와 같은 linear-servo Control Method를 채택키 어려워 고안해 낸 것으로서 보다 정확한 accuracy를 주는 방법을 제시했다. 방식으로는 centralized control 방식과 decentralized Control방식이 있으며 후자의 경우 전자에 비하여 동특성(응답시간, 안정성)이 떨어지는 단점이 있기 때문에 절충적인 partial-decentralized Control 방법을 채택하고 있다.

iii) Adaptive Control; 위의 i), ii)에서 기술한 Control Method는 Actuator 및 Manipulator의 System parameter가 변하지 않은 것을 전제로 한 것이다.

그러나 실제로 기계적 마찰 등에 의한 마모 등의 이유로 System parameter가 변하게 될 수 있다. 이 경우 이미 적용했던 linear control 이나 혹은 computed Torque method에 따른 controller의 gain parameter를 재조정해야 한

다.

한편 Fine Motion Control은 Small Clearance를 갖는 두 물체를 자동 조립하고자 할 때 Fine Accuracy의 Positioning이 요구되어진다. 그러므로 Robot Manipulator를 Gross Motion Control에 의해 정확하게 Initial positioning을 해주어야 한다.

그렇지만 대형의 Mechanical device들의 연결로써 이루어지는 Robot Manipulator는 Backlash, System Modelling error 등의 원인으로 수십내지 수백 micron의 초기 위치 error를 유발시키는 것이 보통이다.

이 경우 20micron 이내의 Clearance를 갖는 물체들의 조립이 불가능하다. 이를 해결하기 위하여 제시된 것이 Fine Positioning을 가능하게 하는 소위 Force Feedback Control로서 조립물체와 조립대상물체 사이의 마찰의 영향으로 end-effector의 각자 유도에 발생하는 Generalized Force(Torque)를 Force sensor를 이용하여 측정하고 이를 Feedback하여 원하는 Control signal을 얻는 제어방법을 말하며 보통 Accommodation이라고 칭한다.

이것에는 Passive type과 Active type이 있으며 전자 Loose fit peg-into-hole Algori-

thm의 조립공정이고 후자는 close fit peg-into hole Algorithm 조립공정이며 두조립 공정의 차이는 Feedback된 접촉반력에 의해 Reference position command가 변화되는가 혹은 변화되지 않는가에 따라 구분된다.

### 3. 산업용 Robot의 응용현황 및 앞으로의 추세

Robot는 전술한 바와 같이 여러가지 일을 할 수 있는 자동화용 지능기계장치의 일종으로 전기기계, 자동차, 플라스틱 주형, 금속세공, 철강, 제지, 화학, 조선산업 등에 광범위하게 응용되고 있다.

'85년말 현재 세계각국별 산업용 Robot의 보유현황은(program가능한 Robot, variable sequence 형태의 Manipulator 포함) 일본이 약 7만대, 미국이 2만대, 독일, 프랑스, 이탈리아, 영국, 스웨덴 순이다.(그림 5 참조)

각 산업체에서 쓰이고 있는 Robot를 생산공정별로 대별하면 작업물 취급(Material Handling), Machine Loading/Unloading, 도장, 용접, 기계가공, 조립, 검사 등으로 나눌 수 있다.

각 항목에 따라 요구되는 Robot의 역량과 Robot 사용시 주된 장점을 품질향상, 생산성 향상, 가격절감, 환경요인 제거 관점에서 살펴볼 때 생산성 향상, 가격절감 등의 장점이 두드러짐을 알 수 있다.

특히 용접, 도장분야에서 장점이 많으며 작업물체 취급, 조립분야에서는 인력 수급에 따른 가격절감을 피할 수 있는 장점이 있다.

한국은 70년 중반에 들어 Robot 개발에 착수하였고 1979년에 「현대자동차」가 Robot를 도입

한 이래 표 1에서 보는 바와 같이 1986년 현재 약 400여대의 Robot가 사용되고 있으며 국내에서 개발 생산된 Robot의 총수요는 162대이고 나머지는 수입한 것이다.

응용분야는 대량 생산이 가능한 전기제품, 자동차 제조업체에서 조립, 용접공정이 대부분이다. 아직 노동인건비와 생산성이 심각한 문제는 아니므로 보급이 미진하지만 세계적인 추세나 국제경쟁력 강화면에서 볼 때 산업용 Robot의 기술발전은 필수불가결하다.

앞으로 Robot가 생산현장에서 광범위하게 응용되기 위해서는 Robot 구조의 개선을 통하여 무거운 물체를 취급할 수 있는 Robot로부터 소형이면서 정밀하게 움직일 수 있는 다양한 종류의 Robot 개발, Robot 제어기술이나 작업 프로그래밍의 개발을 통하여 보다 성능 좋고 사용하기 편한 Robot의 개발, 주어진 작업의 특성에 맞는 Gripper의 개발 및 부품공급을 위한 주변기술의 개발, 저렴하고 신뢰성 있는 센서의 개발 등이 이루어져야 한다.

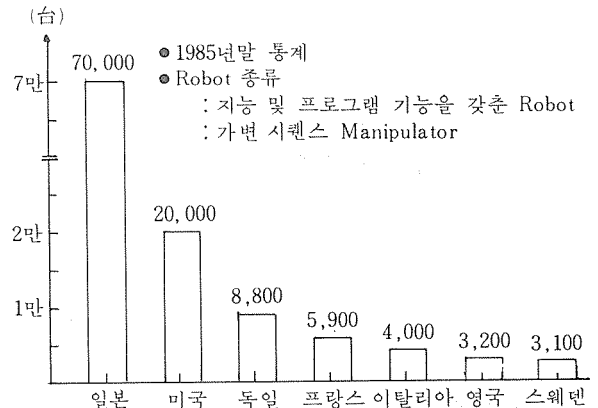


그림 5. 국별 산업용 Robot보유 현황

표 1. 국내 산업용 Robot 용도별 보유 현황

(( )는 %)

연도	구분	Arc용접	Spot용접	조립용	Handling용	도장용	연구교육용	기타	계
'84		27대 (31)	15대 (17)	8대 (9)	20대 (23)	8대 (9)	6대 (7)	3대 (4)	87대 (100)
'85		37대 (16)	55대 (23)	92대 (39)	23대 (10)	10대 (4)	11대 (5)	7대 (3)	235대 (100)
'86		83대 (19)	166대 (39)	105대 (25)	25대 (6)	12대 (3)	16대 (4)	18대 (4)	425대 (100)