로봇의 技術開發動向 및 1990年代의 展望

姜 榮 國
<大宇重工業(株) 專務理事>

1. 서 언

산업사회가 세분화되고 치열한 경쟁이 가속되는 가운데 1990년대는 첨단 기술산업이 중심이 된 고도 복지사회에로의 전개가 예상되며, 오늘 우리 주변을 살펴보면, 기술혁신에 의한 사회변동이 극심하게 이루어지고 있는 것을 실감케 하고 있다.

특히 컴퓨터, 전자산업, 신소재의 발전이 촉매가 되어 각종 기계제품이 고급화, 지능화되어 가고 있고, 생산 시스템의 자동화 및 무인화가 급진전하고 있다. 로봇 보급의 배경에는 위와 같은 자동화 생산체제를 이용한 다품종 소량 생산의 니즈와, 제조원가 절감을 위한 성력화 니즈 그리고 악환경 작업대체 니즈 등 외부환경 요인이 있는 한편 기능이 향상된 로봇의 제품개발이 그 보급을 가속화하고 있다.

오늘날 우리 주변에서 활용되고 있는 로봇들의 경우에도 로봇본체의 성능의 향상, 주변기기의 정비, 경제성은 어떤가, 신뢰성(고장과 오동작)은 어떤가, 대형화 혹은 정격 운반하중의 증가 등 많은 현안 문제들이 놓여 있다.

이러한 문제들은 관련 기초기술의 미흡은 물론 연구개발측과 사용현장측과의 괴리에 의해서 이루어지는 현상인만큼 독자적인 입장에서의 상품 개발보다는 연구성과의 실용화라는 측면에서의 기술개발이 더욱 강조될 것이다. 이러한 관점에서 로봇에 감각기능을 추가함으로서 성능을 향상시키거나, 인간-기계(man-machine) 시스템의 개발 등이 적극 추진되고 있는 현상이다.

로봇의 기술은 기계요소, 재료, 제어, 마이크로컴퓨터(μ-computer)를 중심으로 한 일렉트로닉스 등 여러 분야의 기술을 조합시켜 응용함에 따라 서로 다른 기능이 유연성 있게 결합한 형태로 발전되어 왔으며, 앞으로도 이러한 복합화 기술의 형태로의 발전이 계속될 전망이다. 많은 대학이나 연구기관들이 로보틱스의 프로그램들을 개설하였거나 신규 개설 중에 있으며 따라서 큰 연구 성과가 이루어질 것으로 기대된다. 그러나 "80%의 진보는 최초 20%의 기간중에 이미 달되어진다"는 뉴우톤(Issac Newton)의 말처럼 상당히 넓은 분야에서 많은 연구가 진행되어 지금의 시점에서 볼 때 새로운 연구 참여자들에게는 뛰어난 연구성과 달성은 점차 힘들어지고 있다. 또한 대다수의 대기업들은 경제적인 재건을 로보틱스와 연결시켜 고려하고 있기 때문에, 자체 R&D에 보다 많은 투자를 하고 있으며 향후 주 관심대상이 되고 있는 연구개발동향을 일목요연하게 정리하면 표 1과 같다. 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 리서치 보다는 주로 적용을 위한 개발활용에 역점을 두고 진행하고 있는 경향이다.

생산자동화의 필수요소의 하나인 로봇을 중심으로 하여 그 기술의 현황과 90년대의 전망을 파악해 봄으로서, 앞으로의 개발 방향을 모색해 보기로 한다.

표 1 로봇의 기술개발 동향

구 분	주요 기술 개발 과제
제조업에서의 기술개발	1. 프레스용, 기계가공용, 용접용, 도장용 로봇 등의 고성능화, 저가격화 2. 조립, 검사, 측정 및 선별용 지능로봇의 개발
적용분야 확대를 위한 기술개발	1. 위험방지, 악환경 작업용 로봇 (광업, 건설, 우주개발, 원자력, 해양 개발 등) 2. 사회복지 관련 로봇 (장애자용, 의료, 소화, 인명 구조 등) 3. 농림, 수산용 로봇 (농약 살포, 벌채, 해양 구조물 건설 등) 4. 수송, 유통, 서어비스 로봇 (운송하역, 선박보수, 송전선 보수 등) 5. 자연환경 확대용 로봇 (하천관리보수, 산업폐기물 처리 등)
기초기술의 개발	1. 형태 재료에 관한 기술 (소형화, 경량화, 신소재 등) 2. 구동 제어기술 (구동제어기구, 구동 동력원 등) 3. 정보 처리기술 (제어정보, 정보처리, 원격제어 등) 4. 지각 인식기술 (센서, 지각 인식, 정보전달 기술 등) 5. 로봇 적용 생산시스템 (고장진단, 신뢰성 등)

2. 로봇 제품 기술

2.1. 기술개발의 목표

로봇제품개발의 추이는 가반중량, 위치결정정도, 위치재현정도, 동작속도, 사용의 용이성, S/W의 다양성 등 제반 특성에 의해 표현된다. 그러나 이들 특성은 시장에서의 경쟁에 있어서 제품 평가의 관점이고 또 특정 이용분야에 있어서 유력기종을 결정하는 요인 중의 하나가 된다. 또한 신시장 창출이라는 의미에서 제품개발의 과정을 보면, 혁신적 메카니즘의 개발이 가장 중요하다고 할 수 있다. 이와 같은 제품개발의 과정에 있어서 메카니즘 그외 로봇의 제 특성이 가진 의미를 그림 1에 도시하였다.

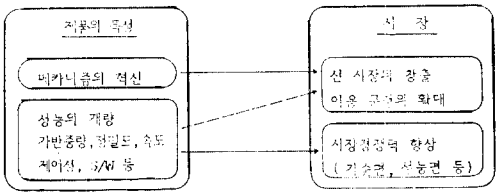

그림 1 제품의 제반특성과 시장과의 관계

로봇의 제품기술은 용도별, 또는 주요기술개발 단계별로 변화해 오고 있고, 현재 점용접, 아아크 용접, 도장 등의 분야에서는 센서, S/W 등 일렉트로닉스 기술에의 의존도가 높다. 한편 현재 가장 주목되고 있는 조립로봇 분야에서는 이런 일렉트로닉스 기술면의 의존도도 높은 한편, 메카니즘면 혹은 메카니즘에 의해서 좌우되는 정도, 동작 속도, 가반 중량 등 다양화, 고도화의 중요성도 특히 높아서, 앞으로 이 분야에 있어서 SCARA 형태이외의 유력 기종의 출현 가능성도 충분히 높다.

혁신적인 메카니즘의 개발은 새로운 로봇 이용분야를 창출하고 제품 성능의 향상은 시장 경쟁력을 향상시킨다는 관점에서 로봇의 사양서에 표현되는 성능 중

- ○정밀도
- ○신뢰성
- ○동작 유연성
- ○조작 편이성
- ○S/W 편리성
- ○수명

등과 같은 성능은 물론

- ○저 관성
- ○소형, 경량화
- ○고 전동효율
- ○고 지능화

등은 로봇을 하나의 제품으로서 완성시키기까지 가장 중요시되는 개발의 목표라 하겠다.

2.2. 요소 기술별 개발 동향

로봇의 기술개발 과제를 크게 정리해 보면, 시각 시스템, 촉각 센서 등을 가진 고도 작업용 로봇시스템의 개발과 같은 중 단기 과제와 인공지능의 기능을 가진 로봇의 개발과 같은 중장기 과제가 있으며 전반적으로 기능, 작업의 범용화, 시스템의 유연성, 운전 조작의 간소화를 목표로 하고 있다고 할 수 있으며 이와 같은 로봇 관련 요소 기술들을 정리하면 그림 2와 같다.

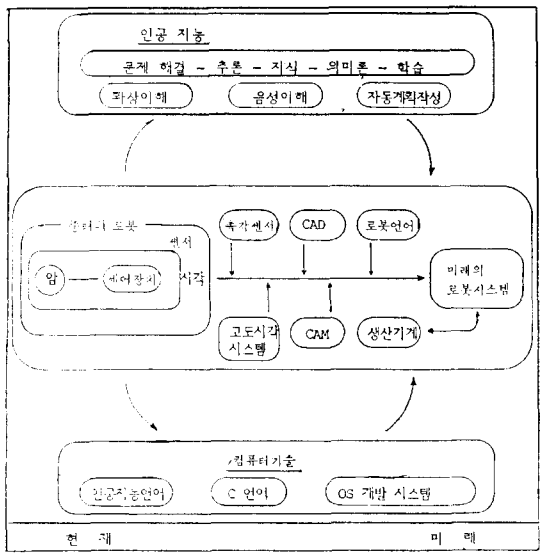

그림 2 미래의 고도 로봇과 그 관련기술

여기에서 몇가지 주요기술분야에 있어서의 주요 테마에 대해 살펴 보기로 한다.

(1) 메카니즘

기계 구조적인 면에서는 적용 공정에 적합성을 달성하기 위한 노력으로서, 소형, 경량화, 저 관성(inertia)화 및 동적 위치결정 정밀도(dynamic positioning)의 향상을 위한 추구가 이루어지고 있다.

좁은 공간에서 설치가능하도록 하기 위한 소형화와, 동력 전달장치를 생략한 직접구동방식(direct drive)과 관절형 로봇에서 암을 구동시키는데 구동 모우터를 암 가까이에 설치함으로서 간결한 경량 구조설계 연구가 진행되고 있다.

기존의 치차 동력전달장치(gear train)에서의 백 래시(back lash)와 마멸의 문제점과, 하모닉 드라이브(harmonic drive) 방식에서의 기계적 강성 부족과 토오크의 변동성에 의한 진동문제를 개선하기 위해서 직접 구동방식이 개발되고 있다. 구동방식 암(direct drive arm)은 Carnegie-Mellon 대학과 MIT 에서 주로 연구가 진행되고 있으며, 상품화가 성공하면, 정밀하고 신속한 위치 결정이 가능하고, 정밀한 토크 제어를 할 수 있으므로 다양한 핸들링이 가능하게 될 것이다.

또한 로봇의 중요 성능의 하나로서 원하는 위치에 얼마만큼 정확히 찾아가는가 하는 문제로서 등적 위치결정 정밀도(dynamic positioning)가 있다. 위치에 관한 정도에는 그림 3에 보인 바와 같이 위치결정 정도, 위치재현 정도가 있으며 이는 교시(teaching)할 때 발생한 오차나 주변환경에 의해 발생한 오차가 있을 경우 이를 감지하여 시간 오차없이 제대로 찾아가도록 하는 것이 중요 과제로 되어 있다.

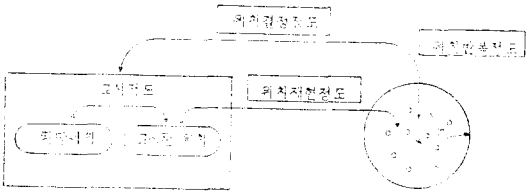

그림 3 위치 정도의 의미

(2) 제어

제어알고리즘에서 중요한 문제는 지령 및 피이드백되는 정보에 의해서 원하는 결과를 실시간으로 계산하는 것이다. 로봇 암과 힘의 정보, 시각 정보와의 조합에 의한 고도 제어를 목표로 한 연구가 중점적으로 이루어지고 있으며 이는 마이크로 프로세서의 수준이 향상될수록, 많은 변수와 복잡한 수식의 계산량을 실제상황에 접근시켜 수행해 내는데 관심을 두고 있다.

이 분야에서 가히 결대적이라 할 수 있는 과제가 센서(sensor) 시스템과 제어장치와의 정보교환(communication) 과제이다. IBM 이나 Purdue

대학에서 이러한 정보교환 라인 개발노력이 경주되고 있어 앞으로 수년내에 공장내통신(plant floor communication)의 표준으로서 신 시스템의 실용화가 이루어질 전망이다.

(3) CAD/CAM

CAD와 로봇의 조합은 로봇의 오프라인 프로그램(off-line programing), 로봇 작업 환경의 설계, 치구 설계, 자동화 라인의 설계 및 평가 등의 관점에서 중요과제로 되어 있고, CAM은 현재 극단적으로 말하면, "NC 테이프 작성기"의 기능이 중심이 되고 있어서 그 기능을 확대하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

CAD/CAM을 확장한 CIM (Computer Integrated Manufacturing)도 그 흐름의 하나로 생각되며, 이 분야의 구체적 테마로는, CAM에 의한 시각 모델작성, 기하학 모델을 이용한 CAD/CAM 인터페이스, CAD/CAM 데이타 베이스, 시뮬레이션에 의한 간섭 검토 등이 연구되고 있다.

(4) 로봇 언어

로봇 수요자의 요망사항 중에 "공용 언어의 사용"이 있다. 즉, 수요자가 원하는 것은 CAM 시스템과 직접 데이타 교신을 할 수 있도록 공용 언어를 사용하든지, CAM에서 나오는 데이타 베이스를 이용할 수 있는 데이타 통신 가능 언어를 사용하는 로봇의 등장이다.

로봇 언어에는 VAL, AML과 같은 동작 레벨 언어와, INDAL과 같은 작업레벨 언어와 AUTOPASS와 같은 업무 레벨언어의 3종류가 있고 현재도 특히 많은 대학에서 로봇 언어 연구가 행해지고 있다.

로봇 언어의 고도화는 많은 인공 지능적 기능을 필요로 하고, 역으로, 인공지능연구 성과가 로봇 언어에 응용 가능하게 되는 것이 활발화의 요인이 된다.

이처럼 로봇 언어의 고도화에 필요한 인공지능적 기능을 예시하면 아래와 같다.

- 시각 정보, 힘 정보에 의한 암의 제어 : 인식, 판단의 기능
- 기하학적 모델 : 암이 위치해 있는 환경 기술
- 추론 : 부품을 파지하라는 명령의 경우 어느 곳을 파지할 것인가의 추론 등
- 충돌 회피

(5) 감각 기술

인간의 감각 기능에 대응하는 공학 영어의 개념 중에서 구체적 응용 분야로 생각되는 것이 화상 인식이다. 화상 인식에 있어서 먼저 도형의 인식은 최근 주로 설계 자동화의 일환으로서 CAD/CAM 시스템 등의 도면 자동 입력장치로서의 실용화가 시작되고 있고, 물체의 인식은 로봇을 FA 분야에서 이용하는 것이 그 개발목적의 하나이다. 물체 인식은 화상 인식 및 이해의 한 분야라는 관점에서 시각기술이 가장 중요한 테마가 되고 있으며 이 시각 기술은 식별(분류), 위치 결정, 검사를 목적으로 한 것으로 크게 나누어지지만 어느 것이나 대상물의 종류를 제한하고 인식 내용을 정형화한 몇 종류로 제한하는 등 사용상 큰 제약 조건이 주어지고 있다.

현 시점에서 범용 제품이라 할 수 있는 것은 거의 없고, 앞으로의 시각 기술에 의한 실용제품의 개발 방향은 다음과 같다.

- 전용형의 다양화
- 범용형의 개발
- 고 기능형의 개발

또한 촉각 기술분야에서도 힘이나 압력을 감지하는 소자의 개발이 중점적으로 진행되고 있어 실용제품의 개발과 함께, 힘 정보들을 제어이론에로 인터페이스 하는 연구들이 중요과제로 되어 있다.

(6) 인공 지능(Artificial Intelligence)

인공 지능이란 프로그램에 의한 지령을 하지 않고, 실시간 개념에서 스스로 결정을 하는 능력을 말하며, 인공 지능의 기초기술은 그림 4에 보인 바와 같이 지식의 획득 기능, 지식 표현, 문제해결 및 추론기능, 지적 인터페이스 기능의 4가지로 크게 나누어지며, 인공지능 시스템은 시스템의 응용 영역에 관한 전문가와 시스템의 사용자와의 사이에 기초 기술을 끼워 넣어 정보 교환하게 된다.

인공 지능에 관한 연구는 최근 가속적으로 활

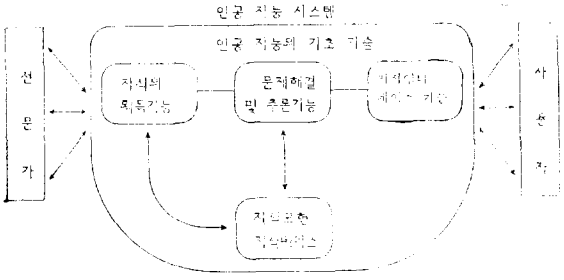

그림 4 인공 지능의 기초기술

발해지고 있다. 그 배경에는 인공지능 기술이 정보처리산업의 경쟁력에 큰 영향을 주는 점과 방위 시스템의 우위성 보장 등 국방 문제가 결려있는 점을 들 수 있다. 동시에 산업 레벨에 있어서도 고장 진단 시스템, 지적 CAD/CAM 시스템, 실험 데이타 해석 지원 시스템 수식처리 지원 시스템, 지적 조립작업 로봇 등 다양한 응용이 생각되고 있다.

인간과 같은 종합적 인공지능 기술을 21세기 이전에 실현하는 것은 불가능할 것으로 생각되지만, 화상이해, 지식베스, 자연언어처리, 문제해결 시스템 등 개별분야의 성과가 로봇에 응용되기 시작하는 수준에 도달할 것이다.

2.3. 로봇의 응용 기술

(1) 로봇의 적용 작업 여건

로봇이 공장에 투입되어 성공적으로 사용되기 위해서는 그 공정에 맞는 시스템적 어프로치가 필요하다. 이러한 시스템 엔지니어링 기술의 확립과 활용에 의해서 로봇의 적용 성과를 얻기 위해서는 로봇에 적합한 작업여건을 살펴보고 이 여건과 로봇의 기능이 부합되도록 기술개발이 추진되어야 한다.

로봇의 적용이 적합한 생산형태는

- 다품종 중 소량생산
- 생산량이나 생산모델의 변화가 다양한 경우

이며

작업 환경은 사람이 기피하거나 곤란한 경우 즉 먼지가 많이 나거나 극히 청결한 작업, 가스분위기나 고온하에서의 작업, 또는 위험한 환경에서의 작업이 로봇이 우선 적용될 수 있는 것들이며, 적용 공정의 작업 능력면에서 필요조건은 고정도, 고속, 단순반복, 고가동율 및 신뢰성을 들 수 있다. 또한

- 제조원가를 낮추기 위한 생산기술 개발의 필요성과
- 시스템 인터페이스 기능의 다양성 부여

등이 로봇 응용기술 개발을 더욱 촉진시키고 있다.

(2) 시스템화 연구

인간을 대체하는 것이 가능한 로봇 시스템을 상정하여 그 실현을 위해 로봇 암, 센서, 시각, 언어 등 각 요소기술 상호간의 기능 분담을 평가하고 각 요소 기술을 통합적으로 결합하는 시스템화를 추진하는 것이 현재의 연구개발 경향이다. 즉 단순히 로봇 암의 정지 위치정도, 재현성을 높이지 않은 채로 조립 작업에 응용하는 경우 그 한계가 있음을 알고 촉각 센서와 조합하는 연구를 수행하는 경우라든지 시각, 언어 등의 타 요소기술에 관해서도, 그것을 어떻게 전체 시스템과 결합할 것인가에 연구초점을 맞추는 것 등이 그 예가 될 수 있다.

따라서 로봇 암과 같이 시장품으로 조달가능한 것은 그대로 이용하고, 각 요소기술이 실용적이 아닌 경우라든가 요소기술 자체에 한계가 있는 경우는 그 요소기술의 연구 개발에 착수하게 된다. 촉각, 시각 시스템은 전자의 예가 되며, 직접 구동방식 로봇 암은 후자의 예라 할 수 있다.

(3) 로봇 이용 시스템 연구

로봇 관련 연구 테마는 로봇 제조자 뿐만 아니라, 사용자에게도 큰 관심의 대상이 되고 있다. 최적의 생산 시스템의 개발에 관한 것이 큰 특징 중의 하나로서 다양한 용도에 관련된 연구가 진행되고 있다.

(가) 아아크 용접의 경우

5축, 취급중량 10kg, 재현정도 ±0.2mm, 전기 구동방식 및 교시 재생방식(teach & play-back) 등의 기본성능은 본 용도에 사용되기 위한 최저 필요조건이 되었다. 제품 기술의 현안과제는 교시(teaching)에서의 탈피 혹은 사용

의 용이성에 있고, 또 최근에는 용접 센서나 용접기술의 S/W화 등 제어장치의 개선 및 보완에 연구가 집중되고 있다.

(나) 조립의 경우

직교좌표형, PUMA형 등의 로봇이 출현하여 시험적인 이용이 개시된 단계로부터, 수평다관절형의 SCARA 로봇 개발, 전기 산업을 중심으로 한 실용화 시작 단계에 이르렀다. 현재로는 SCARA형이 가장 유력시되고 있으며, 위치 결정정도와 동작속도가 중요한 평가 기준이 되고 있다. 현안 과제로는 교시의 간소화, 시각 장치와의 결합성, 고급 로봇 언어의 개발, 그립퍼(gripper) 등 범용 공구의 개발 등이 있다.

3. 국내 로봇 기술개발 현황

국내 로봇 산업의 현황을 살펴보면 7개 대기업이 외국(주로 일본)의 대형 로봇 메이커와 판매제휴를 맺고 국내에서 로봇 판매 활동을 전개하기 시작한 83년부터 금년에 이르기까지 기대했던 수확을 거두지 못하고 주로 개발용이나, 시험적용의 목적으로 판매했을 정도이다.

84년 8월 대우중공업에서 국내 로봇 사용실태를 방문 조사한 결과에 따르면 국내 중급 이상의 로봇 사용 대수는 약 40대이며, 그 중에서도 생산성이 도입전보다 향상된 수준에서 작업을 성공적으로 수행하고 있는 대수는 약 20대 정도에 머무르고 있다.

이처럼 아직 미약한 수준임에도 불구하고 생산성 향상을 위한 설비의 자동화, 능률화의 필요성이 점차 증진됨에 따라 산업용 로봇의 효용성에 대한 검토가 여러 분야에서 진행되고 있어 현대자동차, 기아산업, 삼성정밀, 대우중공업 등에서 로봇의 도입 시도가 성공적으로 이루어지게 되면, 국내산업에서도 로봇의 도입을 위한 기업 체질개선과 생산구조 및 시스템을 개조할 의사가 성숙되게 되어 점차 수요가 증대 될 전망이다.

로봇을 현장에 투입하면서 로봇 활용기술의 개발이 촉진됨은 물론이고 이에 따른 로봇의 수요는 로봇 기능의 다양화와 성능의 고급화를 가져오게 되어 기술개발의 촉진제로 작용하게 될 것이다.

로봇 기술개발에 있어서는 무엇보다도 국내 로봇 기술개발을 위한 연구조합 형성이 획기적인 사례라 할 수 있다. KIMM을 중심으로, 금성사, 삼성정밀, 제일정밀 그리고 대우중공업이 "로봇의 기술개발"을 공동 테마로 정하고 과기처의 국책과제로 지원을 받아 연구를 시작한 지 금년이 2년째에 이르고 있다. 그 내용으로서는 6자유도 다관절 메카니즘의 설계 및 해석 프로그램의 개발 6축 동시제어장치 개발, 서어보모우터 제어 알고리즘의 개발, 시각센서(vision) 시스템 개발 그리고 표준형 로봇 시스템 개발들이 포함되어 있으며, 향후 3년간 연구가 계속될 계획이다.

기업 단독으로 로봇을 개발하고 있는 것은 불과 수개 업체에 불과하며 그 중에서도 삼성정밀은 수평관절형 4자유도의 조립로봇의 개발이 완성단계에 있으며 대우중공업은 5자유도 수직관절형 로봇 개발이 자체 기술진에 의해 완성되어 시장에 내놓고, 현장 적용을 확대해 나가고 있다. 한편 서울대학교와 KAIST를 중심으로 한 학교에서는 연구 목적으로 로봇을 도입하여 메카니즘의 해석, 서어보제어 알고리즘의 개발, 다축 동시제어의 최적시스템 설계, 로봇 언어, 센서와의 통신 기술분야에 활발한 연구가 이루어지고 있다.

생산시스템의 자동화, 생산능률의 향상의 필요성이 증대되어 가는 추세와 대기업과 대학을 중심으로 한 요소기술과 응용기술의 연구개발이 점차 성숙되어 가고 있는 현상으로 볼 때, 필요성과 기술의 향상이 서로 상승효과를 가져옴으로써 향후 수년간은 로보틱스 분야의 기술개발이 더욱 촉진될 것으로 예상된다.

4. 90년대의 로봇 전망

로봇 기술이 진보함에 따라 가장 사람과 유사한 센서와 능숙한 기능을 가진 로봇이 출현하게

될 것이고 이러한 로봇이 현장의 문제를 척척 풀어나가게 될 것이다. 앞장에서 설명한 로봇 관련 주요 기술의 개발 현황을 요약하여 90년대 로봇의 실상을 전망해 보기로 한다.

더욱 빠르고 더욱 정돈된 동작으로서, 미래의 로봇 제어장치는 인간의 사고 방식을 모방하게 될 것이다. 이와 같은 제어장치의 합리적인 알고리즘으로서의 인공지능을 가진 로봇은 작업장에서 자신의 작업이나 타 장비의 작업을 수정 가능하게 하고, 잘 조직된 공장환경하에서 미래의 로봇들은 사람의 도움을 받지 않고 스스로 결정을 내릴 수 있게 될 것이다.

제어 프로그램 기능은 넓은 분야의 사용자 요구를 충족시킬 수 있게 되어, 공장 작업자들은 스스로 조합하여 단순하고 메뉴에 의한 로봇 프로그램을 수행할 수 있게 될 것이다. 이처럼 복잡한 구조이지만 사용하기 쉽게 짜여진 로봇 언어는 여러대의 로봇과 다른 기계와의 연동 작업을 가능케하여 로봇의 활용성과 로봇 작업 생산성을 더욱 향상시키게 될 것이다.

로봇 암은 광범위한 용도에 걸쳐, 단순형이나 2축으로부터 6축에 이르기까지 다양한 형태가 개발되어 있어서, 당분간은 구조에 있어서 혁신적인 변혁은 어려울 것으로 전망되고, 다른 재료의 사용이 어느 정도 도입될 전망이다.

더 강하고, 강성이 높고 경량의 새로운 합금이나 FRP는 비용이 감소하면 할수록 로봇용 소재로서 더욱 더 부각될 것이다.

로봇 툴링(tooling)의 개발은 생산라인에 여러대의 로봇을 도입하여 각각의 별도 작업을 수행하게 하는 대신에, 한대의 로봇으로서 작업을 서로 연결시키고, 여러개의 작업을 소행하는 합동작업(group work)을 가능하게 할 것이다.

장차 센싱장치는 더욱 더 세분되고 일반화 될 것이다. 일부는 사람의 감각에 거의 유사하게 되거나, 또는 감지능력이 더욱 확대될 것이다.

시각센서는 현재 가장 중요한 센싱장치로 인정되고 있으나, 그 가격이 훨씬 싸지지 않으면 그 활용이 당분간 제한될 것이다. 저가격의 촉각 센서나 초음파 센서가 오히려 더욱 경제적인 대안으로서 먼저 활용될 수도 있을 것이다.

로봇이 자신의 주인인 인간을 위해서 수행하는 서어비스의 범위는 제한이 없다. 깊은 바다로부터 심오한 우주공간까지, 쓰레기 수거로부터 가족의 보호 기능까지, 들판에서 경작 작업으로부터 인간 두뇌의 외과 수술까지, 로봇은 인간을 위한 보다 중요한 보조자로서 그 존재의 의미를 더욱 강력하게 부각해 나갈 것이다.

◇