

知能 로봇의 産業工學的 側面

崔 炳 奎

韓國科學技術院 産業工學科(工博)

I. 序 論

일반적으로 로봇은 人間에 유사한 능력을 갖는 機械로 묘사되고 있으며 그 知能的인 측면을 강조하여 “움직이는 컴퓨터”로 정의되기도 하지만, 실용적인 측면에서의 로봇이란 인간의 육체적 노동을 대행시킬 수 있는 하나의 生産手段으로 받아들여 지고 있다. 따라서 현재까지 널리 開發 普及되고 있는 로봇들은 사람의 한쪽 팔의 기능을 수행할 수 있는 産業用 로봇가 거의 대부분을 차지하고 있다. 이러한 관점에서 미국로봇협회(RIA)는 로봇을 다음과 같이 定義하고 있다.⁽¹⁾ “Robot is a reprogrammable multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices through variable programmed motion for the performance of a variety of tasks.”

産業工學이란 生産체계를 합리적으로 設計 運營하여 生産性 向上을 도모하는 것을 주된 목적으로 하는 바, 産業공학적 측면에서의 知能 로봇이란 보다 다양한 機能을 갖는 産業용 로봇을 의미한다. 따라서 知能 로봇에 대한 우리의 주된 관심은, 로봇의 지능이 人間知能에 가까와질 수 있는냐에 있다기 보다는, 어떻게 하면 로봇이 보다 다양한 기능을 갖고 또 인간이 사용하기에 편리하도록 할 수 있는냐에 있다. 이러한 관점에서 筆者는 産業용 로봇의 知能(혹은 機能)에 관하여 고찰하고, 실제로 로봇을 製造工程에 導入 運用하는 절차 및 관련 문제점등을 간략하게 기술하고자 한다.

본 報告書의 目的은 첫째, 로봇의 사용자적 측면에서 로봇 도입 및 운용에 관한 이해를 돕고, 둘째, 産業용 로봇의 바람직한 특성 및 미비점을 제시함으로써 이 분야의 研究開發 방향 설정에 참조가 되기 위함이다.

본 序論에 이어 다음 節에서는 지능 로봇의 제반 機能들을 검토하고, 이어서 로봇을 製造工程에 適用하는 문제를 간략하게 記述하고자 한다. 다음으로는 로봇化(robotization)를 위한 作業要素 分析을 소개하고, 作業요소 분석에 따른 로봇의 機能 選定과 敎示등에 관하여 언급할 것이다. 끝으로 로봇이 지녀야 할 바람직한 特性 및 研究課題에 관하여 언급함으로써 본 보고서의 끝을 맺을까 한다.

II. 産業用 로봇의 知能和 機能

로봇의 性能을 전반적인 機能에 따라 분류하면 1) 매니플레이션, 2) 意思傳達, 3) 感覺 및 知覺, 4) 論理的 意思決定 등이 있는데, 로봇이 作業을 수행하려면 최소한의 매니플레이션 기능과 의사전달 기능이 필요하다. 이러한 기본적 기능에 감각, 지각 및 의사결정 기능들을 추가함으로써 로봇의 知能化가 이루어진다.

한편 로봇의 하드웨어 구성을 보면 1) 모터를 포함한 機構學的 구조물, 2) 制御 및 入出力 하드웨어 3) 知·感覺 시스템, 4) 論理機能을 위한 컴퓨터 등으로 이루어져 있다.

그러나 실제로 로봇을 選定 導入하고 作業을 計劃하기 위하여는, 보다 구체적인 作業能力과 관련된 로봇의 기능을 알아야 할 필요가 있다. 이러한 관점에서 표 1에서 보는 바와 같이 10가지의 機能을 세분하여 정의할 수 있을 것이다. 표 1에서는 각 기능에 관한 計量的 性能尺度(performance measure)와 아울러 設計變數(design parameter)도 보여 주고 있다.

로봇에 의한 作業을 計劃함에 있어서 우선 고려하여야 할 사항은 로봇의 作業領域(workspace)과 運搬能力(actuation)이다. 보다 精密한 作業을 위하여는 位置制御(positioning)와 方向制御(orientation cont-

표 1. 知能 로봇의 諸般 機能

Functional Capabilities	Performance Measures	System Design Parameters
Workspace	Workspace Volume, Orientation Restrictions, Degeneracy Regions.	Link Structure, Drive Mechanism.
Actuation	Load Capacity, Max. & Min. Speeds.	Servo-Motor Power, Structural Stiffness & Dynamics.
Speed Control	Path Tracking Accuracy.	Velocity Control Loop
Positioning	Positioning Accuracy, Repeatability, Settling Time.	Accuracy & Response Times of Control Loops for Joints 1,2,3.
Orientation	Accuracy, Repeatability, Settling Time.	Control Loops for Joints 4,5,6.
Force-Compliance	Max. & Min. Force (Torque), Measurement Accuracy, Response Time.	Transducer (Straingage) Performance, Sampling Rate, Computation Speed & Software.
Touch-Compliance	Resolution, Response Time, Recognition Capability.	Transducer Capacity, Memory, Computation Speed, Software.
Vision	Recognition Power & Speed, Robustness.	Camera Resolution & Sensitivity, Memory & Computing Speed, Software.
Interface	I/O Speed, Channel Capacity.	Hardware (A/D, D/A) Capacity, Sampling & Interrupt Scheme.
Communication	Inter-Robot Communication, Ease of Teaching & Data Input, Ease of Programming.	Communication Hardware, Teach Box, Display Unit, Programming Language.
Decision-Making	Versatility & Flexibility, Decision Making Speed.	Language Structure & Software, Computation Speeds.

rol)의 정확성이 요구되며, 조립작업 등에서 위치제어만으로는 원하는 정확도가 얻어지지 못하는 경우 로봇에 가하여지는 힘(force compliance)이나 로봇 손끝의 接觸感覺(touch compliance)에 의한 작업물의 식별이나 제어가 필요하게 된다.

非接觸에 의한 대상물 識別이나 位置把握이 필요한 경우에는 視覺(vision)이 이용되며 기타 近接感覺(ultra-sonic 등) 방법도 사용된다. 로봇이 工程에 직접 참여하는 경우에는 주변 器機(용접기 등)와의 인터페이스(interface) 기능이 필요하다.

로봇을 보다 효율적으로 활용하기 위하여는 로봇과 사람간의 對話(communication) 기능이 매우 중요하다. 여기서 대화란 주로 사람으로부터 入力되는 作業指示(task-level programming) 혹은 動作命令(manipulator-level programming 또는 teaching) 을 의미한다. 敎示(teaching)는 로봇이 지나가야 할 位置를 기억시키는데 쓰이며, 보다 복잡한 작업을 수행시키기 위하여 로봇 프로그래밍 언어가 필요하다. 마지막으로 知能 로봇에 필수적인 기능이, 感覺 및 感覺으로 얻어진 정보를 처리하여 필요한 조치를 취할 수 있도록 하는, 意思決定(decision making) 기능이다.

Ⅲ. 産業用 로봇의 適用과 문제점

한 통계¹¹⁾에 의하면 1982년 말 현재 로봇의 人口는 전 세계적으로 약 35,000대에 달하며(sequence type 제외), 미국의 경우 향후 10년간 약 20배의 증가가 예상되고 있다. 適用分野를 보면 spot welding, arc welding, spray painting, routing, drilling, material handling, machine loading/unloading, assembly, inspection 등 다양하다. 일본의 한 예를 보면 선물용 케이크에 글자를 써넣는 일을 로봇이 하고 있다. 로봇 製造業체 현황을 보면 일본이 약 150개 업체인 것으로 알려져 있으나 1984년 JIRA 카타로그¹²⁾에는 69업체가 제품을 등록시키고 있고, 미국에는 군소업체를 포함하여 60여 업체가 로봇을 生産하고 있다.

이렇게 로봇의 보급이 보편화 되고 있고 로봇 導入 設置를 위한 案内 문헌들이 널리 보급되어 있지만 기존의 로봇 適用이 모두 성공적인 것만은 아니었다. 더구나 우리 나라의 경우 근자에 들어와 로봇에 대한 認識이 높아지고 있지만 처음으로 로봇도 입을 고려하는 業체들로서는 여러가지로 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다. 本節에서는 로봇의 導入 및 適用과 관련한 문제점들을 검토하고 가능한 그 해결방안을 모색해 보고자 한다.

우선 로봇 도입의 실패 事例를 살펴보기로 하자. 한 조사 보고서¹³⁾에 따르면 일본에서의 경우 로봇이 도입되어 성공적으로 사용되지 못한 요인이 (1) 로봇 도입을 위한 準備作業 不足, (2) 기대 이상의 敎示時間 所要, (3) 設置工具 設計技術 未熟, (4) 기존 작업의 標準化 未備, (5) 로봇의 能力을 과대평가, (6) 로봇이 수행하여야 할 작업내용을 미리 限定하지 못한 점등으로 나타났다. 반면에 로봇 도입이 成功的인 事例의 경우에는 品質 및 生産技術의 향상과 作業條件의 개선을 위한 지속적인 노력의 일환으로 로봇

化를 추진한 것으로 나타났다.

이상에서 로봇도 도입의 성공사례와 실패사례의 要因들을 소개하였지만, 특히 우리 나라의 실정에 비추어, 로봇화에 따르는 문제점들을 보다 構造的인 차원에서 다시 검토하여 보고자 한다. 로봇도 도입에 관한 결정은 經營陳, IE部署(작업개선 혹은 공정관리), 製造技術 部署, 그리고 로봇도 製作會社 四者 間의 체계적인 노력과 협조에 의하여 이루어져야 한다. 따라서 로봇화는 이들 각각의 측면에서 문제의 성격을 달리한다.

經營的 측면에서의 로봇도는 하나의 設備投資의 대상이 되는데, 로봇화의 主目的이 作業人力의 절감에 있어서는 안된다. 우리 나라보다 임금수준이 10배가 넘는 미국의 경우에도 “製造原價에 直接勞務費가 차지하는 비중이 10% 인데도 원가절감을 위한 노력의 75%를 작업인력의 절감에 쓰고 있는 것”이 문제점으로 지적되고 있다.¹⁴⁾ 로봇도와 인간의 능력에는 근본적으로 차이가 있으며 이들이 상호보완적으로 사용될 때에 로봇화의 장점이 극대화될 수 있는 것이다.¹⁵⁾ 따라서 로봇도 도입의 목적을 품질 및 제조기술의 향상과 생산성 향상(작업속도 증가 및 작업시간 연장에 따른) 나아가서는 작업조건의 개선(단순반복 작업 및 위험작업의 로봇화)에 두어야 할 것이다.

産業工學(IE)의 측면에서의 로봇도는 하나의 生産道具(기계보다는 작업자에 가까운)로써 로봇화에 따른 타당성 검토, 작업장 분석 및 작업방법 설계가 체계적으로 이루어져야 할 것이다. 이 분야에 관하여는 전통적인 산업공학의 기법(사람 작업자를 대상으로 한)들이 導用될 수 있으리라 믿어지나 아직은 체계적인 방법론이 개발되지 못하고 있는 실정이다. 이를 위하여 중요한 것이 “로봇화를 위한 作業要素分析”인데 이점에 관하여는 다음 節에서 상세히 언급될 것이다.

製造技術의 측면에서 보면 도입되는 로봇도와 既存 生産設備가 하나의 유기적인 시스템이 되도록 하는 것이 중요하다. 단순히 로봇도를 도입한다고 제조기술 수준이 높아지는 것이 아니고 전반적으로 제조기술 수준이 높아져야 성공적인 로봇화가 가능한 것이다. 일반적으로 로봇도가 도입되기 위하여는 前工程에서의 작업물의 精度가 좋아야 하며, gripper, feeding devices 및 index table 등의 자체 제작이 요구된다.

끝으로 로봇도 製作會社의 측면에서 로봇화에 장애가 되는 주요 원인은 標準化의 결여에 있다. 일반적으로 로봇도에 관한 표준화는 급속히 발전하는 새로운 기술이라는 관점에서 바람직하지 못하다는 것이 지배

적인 견해이다. 그러나 기본적인 用語(terminology)와 機能定義(characterization)에는 표준화가 필요하며, 실제로 이에 관한 노력이 경주되고 있다.¹⁶⁾ 보통 로봇화를 계획하는 단계에서 여러 종류의 로봇도에 관한 카타로그와 技術的 자료를 모으게 되는데 이들 자료가 서로 다른 양식과 용어를 사용하고 있기 때문에 객관적인 비교분석이 매우 어렵게 된다. 더구나 제공된 자료가 로봇도를 선정하고 작업계획을 수립하기에는 불충분한 경우가 보통이다. 이러한 여건에서 사용하는 자신이 원하는 자료가 무엇인지를 알아야 되는데, 결국 이를 위하여 로봇화를 고려하고 있는 작업에 대한 작업요소분석(다음 節)을 통한 로봇도 性能規定(robot performance prescription)이 필요하다.

IV. 로봇화를 위한 作業要素 分析

사람의 作業動作을 作業要素(work element)로 분해함으로써 作業方法 설계, 標準時間 설정, 作業訓練 등에 이용하려는 노력이 일찍부터 수행되어 왔는데, 그 대표적인 것이 MTM(method time measurement) 시스템이다.¹⁷⁾ MTM의 작업요소로는 reach, move, turn, apply pressure, grasp, position, release, disengage, eye focus 등이 있는데 이들은 주로 사람의 손과 팔의 동작을 특성별로 분류한 것이다.

로봇화(robotization)를 위하여 작업요소를 분류할 경우에는 로봇도의 동작특성에 맞고 대상 工程을 체계적으로 記述할 수 있도록 작업요소가 정의되어야 할 것이다. 이렇게 하여 얻어진 작업요소 분석 방법은 1) 로봇화의 타당성 검토, 2) 기능에 맞는 로봇도 선정, 3) 로봇도를 이용한 작업방법 계획, 4) 敎示(teaching & programming)에 걸리는 시간 예측등에 사용될 수 있을 것이다.

본 節에서는 그동안 알려져 온 로봇화와 관련된 작업요소 분류방법들을 소개하고, 기존의 방법의 미비점을 보완하기 위하여 산업용 로봇도의 적용분야별로 새로운 작업요소 분류체계를 시도하여 보기로 한다. 현재 로봇도가 산업용으로 적용되고 있는 분야는 1) 作業物運搬(material handling), 2) 加工工程(processing-용접, 도장), 3) 組立作業(assembly) 등으로 大別되는데 상당 數의 작업요소가 이들 모든 적용분야에 공통적으로 적용된다.

1. RTM 方法¹⁸⁾

RTM(robot time and motion)에서는 로봇도의 動作要素를 8 가지로 분류하고 각 요소별로 동작의 難易度

및 거리에 따라 표준시간을 제시하고 있다. 제시된 자료는 Stanford Arm⁽⁹⁾에 대한 것인데 RTM에서 정의된 로보트 동작요소는 다음과 같다.

① Reach-R(n, d)는 로보트의 끝이 荷重없이 공간상의 두 점사이를 움직이는데 소요되는 시간을 움직인 거리 d와 중간구간(path segments)의 수 n의 함수로 표시한 값이다. 공간상의 두 점사이를 직접 움직여 갈 수 없을 경우(장애물등)에는 중간 점(set point) 들을 정의하여 몇 개의 구간으로 나누어 움직이게 된다.

② Stop on error-SE(δ)는 로보트를 어느 주어진 위치에 정지시키는 경우 허용오차의 범위 δ 에 따라 소요시간이 달라진다.

③ Stop on force/torque-SF(d)는 compliance에 의하여 로보트가 정지되는 경우의 reach에 해당하며, 실제 소요시간은 힘이나 touch를 감지하여 로보트가 정지할 때까지 움직인 거리 d에 영향을 받는다.

④ Move-M(d, n, w)는 로보트가 무게 w인 물건을 들고 움직이는데 소요되는 시간으로, 움직인 거리 d와 중간구간의 수 n는 reach의 경우와 같다.

⑤ Grasp-G(d)는 그릴퍼가 닫혀지는 거리 d에 따라 소요시간이 달라진다.

⑥ Release-RL(d)는 grasp의 역동작이다.

⑦ Vision-VI는 로보트가 카메라를 통하여 작업물 등을 식별하고 그 위치를 파악하는데 소요되는 시간이다.

⑧ Process time delay-TI는 로보트가 용접을 하는 경우등에서 주변기기가 관련작업을 끝낼 때까지 고의적으로 동작을 멈추는 지연시간이다.

2. Feeding Function 分類⁽¹⁰⁾

주로 운반작업(material handling)의 자동화 분석을 위하여 서독의 VDI guideline 3239호로 제정된 운반작업에 관한 분류 방식이다. 신속한 작업분석을 위하여 각 기능을 기호로 나타내고 있으며, 아울러 운반하여야 할 작업물도 그 형상에 따라 12가지로 분류하고 있다. 분류된 기능들을 간추려 소개하면 다음과 같다.

① Binning : 작업물을 임의로 통에 저장하거나 일정 장소에 쌓아두는 작업.

② Magazinning : 작업물을 일정한 위치에 차례로 저장하는 작업.

③ Transfer : 작업물을 공간상의 다른 위치로 이동시키는 작업으로 단순한 이동외에 부품의 흐름이 합해지는 경우(combining)와 갈라지는 경우(branching)가 있다.

④ Ordering : 임의의 위치에 있는 작업물을 정해진 위치로 바로 잡는 작업으로 특수한 경우 turning-over, rotating, swivelling으로 구분된다.

⑤ Orientation check : 단순히 현재 부품(작업물)의 orientation을 알아보는 작업.

⑥ Feed-in, Feed-out :

⑦ Positioning : 정확한 위치 확정.

⑧ Clamping, Releasing :

본 feeding function 분류는 작업장 분석에 主目的이 있으며, 앞서 소개한 RTM은 로보트의 動作機能에만 분류기준을 두고 있어서, 로보트化 타당성 검토, 로보트 선정 및 로보트를 적용한 작업계획 등 사용하기에는 미흡한 점이 있다.

표 2. 運搬作業의 作業要素 分類

Work Element	Code Description	Parameters
Identify	I ϕ : Identify Coded Object	No. of Classes
	I 1 : Identify Object by Length	
	I 2 : Identify 2D Shape	
	I 3 : Identify 3D Shape	
Locate	L1 : Determine Position in a Line	Accuracy
	L2 : Determine 2D Position	
	L3 : Determine 3D Position	
	L4 : Position and Orientation	
Follow	F1(v) : Follow Linear Motion	Accuracy, Range
	F2(v) : Follow Plane Curve Motion	
	F3(v) : Space Curve(v=Velocity)	
	F4(v) : Follow Curve and Orientation	
Move (Reach)	M1(w) : PTP Move(with Load w)	Accuracy/Speed, Distance
	M2(w) : Straight Line Move	
	M3(w) : Avoid(known) Collision	
	M4(w) : Avoid Unpredictable Collisions	
Turn	T1(w) : PTP Rotation	Accuracy/Speed, Angle
	T2(w) : Contineous(Controlled) Turn	
Grasp	G1(w) : Simple Grasp	Shape (Size), Accuracy
	G2(w) : Grasp with Controlled Force	
Hold	H1(f) : Hold with Force f	
	H2(f) : Compliance Hold	
Position	P1(w) : Positioning in Space(Load w)	Accuracy
	P2(w) : Compliance Positioning(Contact)	
Release	RL	
Signal/Wait	SW1 : One Way Communication	
	SW2 : Two Way Communication	

3. 運搬作業의 作業要素

Handling 작업이란 主工程에 대한 보조작업으로써 단순한 material handling, machine loading/unloading, 鑄造나 鍛造 공정에서 작업물을 취급하는 작업등을 예로 들 수 있다. 대부분의 material handling 작업은 작업물을 공간상의 다른 위치로 옮겨놓는 작업으로 PTP (point-to-point) 제어만을 필요로 한다. 그러나 보다 일반적인 운반작업을 체계적으로 記述하기 위하여는 표2에서 보는 바와 같은 10가지의 작업요소가 필요하다.













- ① Identify : 운반하여야 할 작업물을 식별하는 작업으로써 식별된 물체의 대략적인 위치까지도 알려진다.
- ② Locate : 물체의 정확한 위치를 파악하는 작업으로 보통 vision이 필요하나 간단한 경우에는 touch compliance를 이용한다.
- ③ Follow : 콘베어상에 놓인 물체등 이동하는 목표물을 로봇트가 따라가는 작업이다.
- ④ Move : 물체를 두 점(position) 사이로 운반하는 작업으로 운반하중이 없을 때에는 reach가 된다.
- ⑤ Turn : 물체를 단순히 회전시키는 작업이다.
- ⑥ Grasp : 물체를 잡는 작업이다.
- ⑦ Hold : 물체를 잡은 상태로 로봇트가 정지하여 있는 상태이다.
- ⑧ Position : 물체를 정확한 위치에 정지시키는 작업.
- ⑨ Release : Grasp의 반대 동작.
- ⑩ Signal/wait : 다른 기계 등과 보조를 맞추어 작업을 수행하는 경우 로봇트가 신호를 보내거나 신호를 기다리는 작업이다.

4. 組立作業의 作業要素

조립작업을 記述하기 위하여는 앞서의 운반작업을 위한 10가지의 작업요소외에 다음의 3가지 작업요소가 필요하다.

- ① Mate parts : 두개의 부품을 接合(mate) 시키는 작업으로 표3에서 보는 바와 같이 10가지의 接合組合(mating condition)이 있다.^[11] 이 작업요소는 실제로 위치제어만으로 작업이 수행될 수도 있지만 보통은 다음에 소개되는 Compliance(토오크 제어)와 관련된 작업요소와 병행되어야 한다.
- ② Apply pressure : 조립작업에서 일정한 방향으로 힘(force)이나 관성력(torque)를 가하는 작업이다. 나사를 조이는 경우에서 보듯 작업완료의 결정이 로봇트가 받는 反力(reaction force & torque)에 따른다.

표3. 接合組合 (mating condition)

Constrained Degree of Freedom	Rotation				
	R0	R1	R2	R3	
Translation	T1				
	T2				
	T3				

③ Compliance move : 로봇트의 끝이 일정방향으로 움직이면서 동시에 다른 방향에 대하여는 일정량의 힘을 유지시키는 동작이다. 본 작업을 수행하기 위하여는 로봇트 축(joints)의 일부분은 선택적으로 torque control에 의존하게 된다.

5. 工程作業(Processing)의 作業要素

로봇트가 welding, spray painting, routing 등의 工程에 이용될 때에는 지금까지 정의된 작업요소중에 identify(특히 Iφ), locate(특히 L3), move(특히 M1, M3), position(특히 P1) 및 signal/wait가 필요하다(표2 참조). 아울러 工程作業 고유의 작업요소가 추가로 필요한데 그 定義는 다음과 같다.

① Path tracking : Arc welding 등에서 주어진 경로(space curve)를 로봇트가 일정한 속도로 따라가는 동작이다. Path tracking은 작업조건에 따라 PT1, PT2, PT3의 3가지로 나누어지는데 각각의 정의는 다음과 같다. PT1은 따라가야 할 경로(sequence of points on the path)가 정확하게 알려져 있는 경우이고, PT2는 경로의 대략적인 위치만 알려져 있는 경우이다. 실제로 PT2가 필요하게 되는 이유는 敎示(teaching) 단계에서 오차가 발생하거나 작업물 또는 治具의 精度가 나빠서 실제 경로에 변동이 생기기 때문인데, 이때 따라가야 할 경로가 외형적으로 식별이 가능하면(seam welding의 경우등) real time feedback에 의하여 경로를 정확하게 따라갈 수 있다. PT3은 따라가야 할 경로의 위치에 대한 사전 정보가 전혀 없는 경우으로써 vision 시스템이 불가피하게 필요하게 된다.

V. 로봇화 計劃과 作業要素

本節에서는 앞서 정의된 作業요소들을 이용하여 기능에 맞는 로봇을 선정하고 로봇을 사용한 作業방법을 계획하는 문제에 관하여 고찰하기로 하자. 우선 로봇화를 고려하고 있는 作業에 대하여 로봇이 다 달아야 할 作業영역(workspace)을 규정한다. 로봇 선정에 기본이 되는 것은 해당 로봇이 주어진 作業영역을 포함할 수 있는나이다.

作業영역이 너무 넓을 때에는 作業물 혹은 로봇 중 어느 하나를 이동식 positioner로 이동시킴으로써 실질적인 作業영역 능력을 확대하거나 한 대 이상의 로봇을 사용하는 등의 방식이 이용되기도 한다.

1. 作業要素와 로봇의 機能

해당 作業의 내용이 정해지면 이를 앞節에서 정의된 作業요소로 분해하여 체계적으로 記述한다. 일단 作業내용이 作業요소로 記述되면 표 4와 같은 관계를 이용하여 요구되는 로봇의 기능이 무엇인가를 정한다. 실제로 요구되는 作業기능을 다 만족하는 로봇은 없으며(완전한 지능을 갖춘 로봇이 없으므로) 따라서 가능한 보다 알맞은 기능을 갖춘 로봇들을 일차적으로 선정한다.

표 4. 作業要素와 로봇機能

Work Element	Related Robot Functions
Identify	Vision, Touch Compliance
Locate	Vision, Touch Compliance, Force Compliance
Follow	Vision, Actuation, Speed Control
Move	Actuation, Speed Control, Positioning
Turn	Actuation, Speed Control, Orientation
Grasp	Actuation, Touch Compliance
Hold	Actuation, Force Compliance
Position	Actuation, Positioning, Force Compliance
Release	Actuation
Signal/wait	Interface, Communication
Mate Parts	Actuation, Compliance, Vision
Apply Pressure	Actuation, Compliance
Compliance Move	Actuation, Compliance, Speed Control
Path Tracking	Actuation, Speed Control, Interface, Vision

作業요소 분석과 로봇 기능분석의 결과로 원하는 로봇의 성능이 어느 정도 규정되었으므로 필요한 자료의 수집은 크게 어려움이 없을 것이다.

2. 作業方法 計劃

作業道具가 인간의 作業能力을 넓혀주는 것과 마찬가지로 로봇을 보다 효과적으로 활용하기 위하여는 로봇과 作業장괴를 연결시켜 주는 周邊裝置가 필요하다. 따라서 이들 주변장치(peripheral equipments)들의 효과적인 활용여부가 로봇화의 성패를 좌우하는 경우가 많다.

로봇화에 사용되는 주변장치는 크게 나누어 gripper, positioner(index table), feeding device, special tool의 4 종류가 있다. 이 중 positioner와 special tool은 특별한 경우를 제외하고는 자체에서 제작하거나 특별 주문에 의하여 로봇 제작회사에서 공급받을 수 있다.

Gripper는 로봇 제작회사나 별도의 전문메이커로부터 구매하는 경우가 많은데 필요한 기능에 따라 다양한 종류와 mechanism이 사용된다.^[10, 12] 예를 들어 정교한 gripping이 요구될 때에는(G2, 표 2 참조) 진공이나 공기주머니등을 이용함으로써 로봇에서의 touch compliance가 필요없게 된다. 특히 삽입(insertion) 作業에서 위치오차가 큰 경우에는 유연성이 있는 gripper에 RCC(remote center compliance) 방식을 이용하기도 한다.^[13]

Feeding device는 주로 조립이나 단순한 가공작업(press 작업등)의 자동화를 위하여 일찍부터 개발 활용되어오고 있는데 그 종류와 기능이 다양하다.^[10, 14]

로봇화와 관련하여 feeding device가 사용될 때는 앞서 정의된 作業요소 중에 identify와 locate의 기능을 수행한다. 따라서 feeding device가 잘 활용되면 부품을 식별하고 그 위치를 파악하는 作業을 로봇이 수행하지 않아도 된다.

용접작업에서 가장 문제가 되는 점은 位置精度가 좋지 않은 경로를 따라가는 path tracking 作業인데 이 경우에도 일반적인 카메라에 의한 Vision 보다는 보다 간단한 방법들이 사용되고 있다. 예를 들면 線分의 빛을 투사하는 optical pattern projection method,^[15] contact sensor에 의한 방법,^[16] arc용 접시에 용접봉과 作業물사이의 전류를 feedback하는 방법^[17] 등이 있다.

일반적으로 로봇화에 따른 作業방법을 계획하는데 王道는 없으나 가능하면 주변장치의 성능을 살려서 복잡한 로봇 기능(vision이나 compliance)은 줄여가는 것이 바람직하다.

로봇을 선정하고 作業방법을 계획함에 있어서 중요한 인자가 되는 것이 作業 cycle time과 생산량이다.

少量生産에서는 敎示에 걸리는 시간이 매우 중요하므로 보다 신속한 敎示方法이 강구되어야 한다. 예를 들어 造船用 용접 작업을 위하여 별도의 teaching head 를 사용하는 경우도 있다.^[18] 한편 한번 敎示하여 반복 작업하는 回數를 n이라고 하면 실제적인 cycle time C(n)은 다음과 같다.

$$C(n) = (Co + T/n)$$

단, Co=로봇 사이클 시간

T =교시에 걸리는 시간

VI. 로봇 知能化를 위한 研究方向

산업용 로봇의 지능화란 로봇의 機能을 넓히고 (따라서 보다 많은 作業要素가 로봇에 의하여 수행되고) 아울러 보다 사용하기에 편리하도록 하는 것을 의미한다. 현재까지 보급되어 있는 대부분의 산업용 로봇은 vision은 물론 compliance 기능도 가지고 있지 못함으로 앞서 정의한 14가지 작업요소 중 identify, locate, follow, mate part, apply pressure, compliance move 등은 수행할 수 없다. 그러나 주변기기로 로봇의 능력을 보완함으로써 현재의 산업용 로봇도 광범위한 작업들을 수행하고 있는 것이다.

로봇의 知能化에 대한 필요성과 연구과제에 관하여는 필자가 새삼스럽게 재론할 필요가 없으리라고 생각되지만 본 보고서의 형식을 갖추는 의미에서 몇 가지 언급할까 한다. 산업용이라는 측면에서 로봇의 지능화를 위한 연구는 다음의 4 가지 각도에서 출발되어야 할 것이다.

첫째, 기존의 로봇 기능을 향상시키는 노력이 필요하다. 앞서 2節의 표 1에서 소개된 로봇의 기능들 중에서 workspace, Actuation, speed control, positioning, orientation 등의 성능을 향상시킬 필요가 있다. 다시 말하여 보다 정확도와 신뢰도가 높고 작업영역이 넓은 산업용 로봇의 개발을 의미한다.

둘째, 현재의 산업용 로봇에 새로운 기능을 추가하는 연구가 필요하다. 예를 들면 vision, force compliance, touch compliance 등이 있다. 이들 기능의 추가는 산업용 로봇의 작업능력을 크게 확대시킬 것이며 특히 보다 복잡한 조립작업을 수행함으로써 조립용 로봇의 전반적인 보급이 가능해질 것이다.

셋째로는 로봇을 보다 사용하기 쉽도록 하는 연구가 필요하다. 이는 주로 로봇의 communication 및 decision-making 기능(표 1 참조)에 해당되는데, 실제로는 敎示(teaching)方法과 로봇 프로그래밍에 관한 연구를 의미한다. 기존의 산업용 로봇에도 여러가지

편리한 敎示機能이 있으며,^[19] 로봇 프로그래밍은 high-level(task-level) 언어^[11,20]를 지향하고 있으나 실제로 현재 사용되고 있는 언어는 대부분 low-level(manipulator-level)에 머무르고 있는 실정이다.^[21,22]

넷째로는 周邊裝置(gripper, feeding device, index table 등)를 이용하여 로봇의 작업능력을 확장시키는 연구가 필요하다. 이 분야의 연구는 어떻게 보면 로봇의 反知能化로 생각될 수도 있으나 기존의 知能(機能)을 보다 知能的으로 사용한다는 점에서 매우 중요한 의미를 갖는다.

마지막으로 현재의 산업용 로봇의 미비점(혹은 개선요망 사항)을 알아보기 위하여 미국에서 얻어진 설문조사의 결과^[1]를 소개함으로써 본節의 끝을 맺을까 한다.

표 5. 既存의 産業用 로봇에 대한 改善要望 事項

Key : ●=Major Problem/Need
 ●=Moderate Problem/Need
 ○=Minor/No Problem

Problem Area/ Improvement Needed		Welding	Material Handling	Machine Loading	Spray Painting	Assembly	Machining	Inspection
Robot Capabilities	1. Low Cost, Effective	●	●	●	●	●	●	●
	2. Easier, Standardized	●	●	●	●	●	●	●
	3. Improved	○	●	●	○	●	●	○
	4. Greater Flexibility- Number of Applications	○	●	●	○	●	○	○
	5. Low Cost, Effective	○	○	○	○	●	●	●
	6. Lighter, Smaller Robots	○	●	○	○	○	○	○
	7. Improved Control Systems	●	○	○	○	○	●	●
Robot Performance	1. Greater	○	●	●	○	●	○	○
	2. Improved Positioning (Within ±.005*)	●	○	●	○	●	●	●
	3. Improved	●	○	●	○	●	●	●
	4. Improved	●	○	○	○	●	○	○
Other Needs	1. Reduced Robot	●	●	●	●	●	●	●
	2. Improved Ability to with Existing Equipment	●	○	●	○	○	○	●
	3. Improved Safety	●	○	○	○	○	○	○
	4. Turnkey Systems	●	●	●	○	○	○	○

표 5에 나타난 것이 로봇 적용분야별(welding, material handling, machine loading, painting, assembly, machining, inspection)로 사용자들이 느끼는 기존 로봇에 대한 개선요망 사항이다. 몇 가지 특기할 만한 사항을 살펴보면 다음과 같다. 우선 사용자 측

에서는 로봇트가 너무 비싸다고 생각하고 있으며 보다 경제적인 vision 기능을 요구하고 있다. 아울러 로봇트 프로그래밍에 불편을 겪고 있음을 볼 수 있으며 기존의 로봇트 기능이 보다 향상되기를 바라고 있다. 특히 조립작업에는 기존의 산업용 로봇트가 부적합함을 보여 주고 있다.

Ⅶ. 結 論

산업용 로봇트의 보급이 급속히 늘어나고 있으며 로봇트의 기능화를 위한 노력이 가속화되고 있다. 로봇트화된 사회에 대한 기대와 우려가 엇갈리고 있지만, 머지 않은 장래에 로봇트가 가장 중요한 생산수단의 하나가 될 것만은 확실한 것 같다. 이러한 時點에서 필자는, 특히 우리 나라의 경제 및 기술적인 현실에 비추어, 산업용 로봇트의 지능을 어떻게 제조공정에 적용시키고 또 어떤 각도에서 연구 개발의 노력을 기울여야 할 것인가에 관하여 고찰하여 보았다.

로봇트를 보다 널리 보급시키기 위하여는 로봇트 자체의 기술적 측면과 함께 사용자적 측면이 강조되어야 하겠고 특히 제조공정에 대한 로봇트화 계획(robotization planning)을 위하여 체계적인 작업요소의 분석(work element analysis)이 요구된다.

參 考 文 獻

[1] *Industrial Robots - a Summary and Forecast*. Tech. Tran. Co., 1983.
 [2] *The Specifications and Applications of Industrial Robots in Japan 1984*. Japan Industrial Robot Association, 1983.
 [3] 工場管理(日本), 7(29), pp. 84-99, 1983.
 [4] *Manufacturing Engineering*, by SME, pp. 50-52, September 1983.
 [5] S. Nof et al, *Effective Utilization of Industrial Robots*. AIIE Trans. pp. 216-225, September 1980.
 [6] S. Inagaki et al, "What is the standardization for industrial robots," *Industrial Robot*, vol. 7, no. 2, 1980.
 [7] Karger and Bayha, *Engineered Work*

Measurement. by Industrial Press, 1966.
 [8] Paul and Nof, "Work methods measurement," *Int. J. Prod. Res.*, 17(3), pp. 277-303, 1979.
 [9] R. Paul, *Robot Manipulators*. MIT Press, 1982.
 [10] Warnecke and Schraft, *Industrial Robots*. IFS Pub., 1982.
 [11] K. Takase et al, "A structured approach to robot programming and teaching," *IEEE Trans. on SMC*, SMC-11(4), pp. 274-289, 1981.
 [12] F.Y. Chem, "Gripping mechanisms for industrial robots," *Mechanisms and Machine Theory*, 17(5), pp.299-311, 1982.
 [13] J. Jablonowski, *Robots That Assemble*. American Machinist Special Report 739, November 1981.
 [14] B. Boothroyd et al, *Automatic Assembly*. Marcel Dekker Inc., 1982.
 [15] T. Bamba et al, *A Visual Sensor for Arc-Welding Robots*. Proceedings of 11th ISIR, pp. 151-158, 1981.
 [16] G. Sergatskii et al, *Welding Robot Guidance Systems*. Proceedings of 11th ISIR, pp. 463-469, 1981.
 [17] 溶接技術(日本), pp. 57-62, 8月号, 1983年.
 [18] *Industrial Robots*. vol. 2, by the Society of Manufacturing Engineers, pp. 320-330, 1981.
 [19] B. Dawson, *The Role of a Computer-Controlled Robot in Advanced Manufacturing*. (Source Missing), pp. 202-214.
 [20] Lieberman and Wesley, *Autopass*, IBM J. Res. Develop, pp. 321-333, July 1977.
 [21] Bonner and Shin, "A comparative study of robot languages," *IEEE Computer*, pp. 82-96, December 1982.
 [22] R. Paul, "Evaluation of manipulator control programming languages," *Proceedings of IEEE Conf. on Decis & Cont.*, pp. 252-256, 1979. *

♣ 用 語 解 說 ♣

기억장치에 Data가 수록된 모양을 나타내는 용어
 • 실제적 record : 하나의 入·出力 命令에 의해서 읽어나가 지거나 수록되는 data의 양
 • Dlock : 하나의 실제적 record 때로는 여러 個의 실제적 record가 모여 하나의 block을 형성한다.

• Extent : 補助記憶裝置에서 연속적으로 기억장소에 들어 있는 실제적 record의 집합
 • Data set : 실제적 record의 모임에 이름을 붙인것.
 • Bucket : 연속적으로 위치해 있는 record의 모임이 들어 있는 기억 장소