한국정밀공학회지 제17권 제9호 (2000년 9월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 17, No. 9, September 2000.

◆특집◆ 서비스 로봇

건설용 서비스 로봇 -수직철골용접로봇개발-

이호길*

Construction Service Robots -Development of a Vertical Steel Column Welding Robot-

Ho Gil Lee*

Key Words : Building Construction(빌딩건설), Steel Column(철골기둥), Environments of Site Welding(현장 용접 환경), Site Welding Robot System(현장용접 로봇시스템), Nonhoronomic Problem(넌-호로노믹 문제), Obstacle Avoidance(장애물회피)

1. 서론

21세기 중에는 로봇이 산업 분야뿐만 아니라 가정, 오락 분야까지도 파급되어 그 수요가 폭발적으로 늘어날 것으로 예상된다. 특히, 서비스 로봇은 실현 가능성이 높은 기술 분야로서 주목받고 있다.

본 특집에서는 광의의 의미에서 건설용 로봇을 서비스산업의 측면에서 조명하여, 전반적인 개발 동향과, 현재 중점 국가 연구 개발 과제(서비스 로봇 개발)로 개발하고 있는 현장 작업용 수직 철골 용접 로봇에 대해 그 시공 조건과 시제품 개발 현황을 소개하고자 한다.

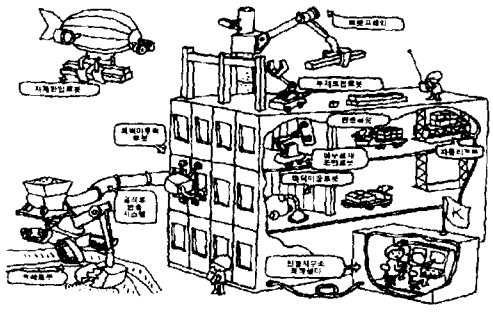

Fig. 1 New concepts of building construction

* 한국생산기술연구원 자본재산업기술개발 센터
Tel. 041-589-8441, Fax. 041-589-8400, Email hglee@kitech.re.kr

2. 건설용 로봇 현황

2.1 건설 자동화 시장 동향

국내 건설 산업은 국민총생산의 약 20%가 되는 주력 산업 분야로서, 건설 장비가 본격적으로 활용되기 시작된 것은 1968년부터 착공된 경부고속도로 건설이라 할 수 있다. 1976년에는 국산 불도우저가 생산되기 시작하였고, 건설 시장의 확대와 건설 기술 축적에 따라 건설 기계는 빠른 보급이 이루어져, 1992년에는 18만대에 이르는 수준에 도달하였다.

이러한 장비 도입은 건설 생산성 향상에 크게 공헌하였지만, 1980년대부터 대두되기 시작한 인건비 상승, 만성적 노동력 부족 현상에 적절한 타개책을 제시하기에는 역부족이었다. 미국, 일본 등 선진국에서는 기존의 건설 장비에, 자동 제어장치를 부착시킨 반자동 장비 개발이 성과를 보이기 시작하면서부터, 건설의 자동화가 본격적으로 추진되었고, 노동조건 개선에 의한 건설 생산성 향상을 목적으로 건설 로봇에 의한 시공 기술이 선보이기 시작하였다. 그림1은 건설 분야, 특히 빌딩 건설에 도입이 예상되는 로봇과 새로운 건설 시공 개념을 나

타낸 것이다.

현재 국내에 도입, 활용되고 있는 로봇은 콘크리트 바닥 미장용 로봇 정도이고, 건설 분야에 대한 로봇 수요 조사에 의하면 철골 구조물 용접 로봇 도입이 가장 시급하다고 보고되어 있다[1, 3]. 시장 규모는 일본의 로봇 산업 장기 예측 결과를 보면, 2005년에는 약1000억엔 규모로, 전 로봇 시장의 10%정도로 예상하고 있다. 국내 관련 자료는 없지만 국내 건설 경기가 회복된다면 일본 시장의 약 10%가되리라고 추정된다.

2.2 건설용 로봇 개발 동향

건설용 로봇 개발 연구는 건설업의 인력난이 심각한 일본이 가장 활발하다. 다양한 건설용 로봇이 개발되고 있으며, 이 가운데 상당수가 실용화 단계에 와 있다. 핀란드 등 EU국가, 대만 싱가포르 등 NICS국가에서도 소규모이지만, 연구 개발이 착수되고 있다. 1991년, 일본을 주축으로 국제 건설용로봇학회가 설립되어 매년 연구 결과가 발표되고 있다. 표.1은 현재 시작품이 개발되어 있거나 실용화된 로봇 제품을 건설 현장 작업에 따라 분류해 본 것이다. 주요 기술은 산업용 로봇 기술을 주축으로 현장에 적용한 것이 대다수를 차지하고, 작업 특성에 맞는 신규 메커니즘, 즉, 벽체이동 등과 같은 기술은 시작품 수준이라고 볼 수 있다. 국내에서는 아직 건설 자동화 기기 개발이 미흡한 단계이지만, 정지면의 높이를 레이저로 측량, 작업하는 자동불도우저, 콘크리트 분사 로봇이 개발되어 있고, 국가연구 과제로 미장 로봇 개발(건설교통부), 현장 용접용 로봇 개발(과기부, 서비스 로봇)등 이 추진되고 있다.

3. 수직 철골 용접 로봇 개발

3.1 철골 구조물 시공법

철골 용접 작업의 자동화· 로봇화를 위해서는 시공법과 현장의 작업 조건에 대한 이해가 중요하다. 최근에는 빌딩 건축 공법이 철근 콘크리트 대신 철골 구조의 공법으로 변화되고 있고 - 1994년 일본 통계자료에 따르면, 2억 4천만 ㎡의 건축 착공물 중 8천만 ㎡로 약 33%를 차지 - 철골 구조물은 볼트 너트 체결 방식에서 용접 방식으로 전환되고 있다[4]. 특히, 빌딩의 수직 기둥(column) 조립 작업은 현장 용접이 필수적인데, 현재 수작업으로 용접이 이루어지고 있다. 영종도 공항터미널공사의 예를 들면 철골기둥 1개소를 용접하는데 1명의 용접기능공이 24시간 정도의 작업시간을 필요로 하며, 또 용접 품질이 작업자에 따라 상이하여 전수검사가 필연적인 것으로 조사되었다.

3.1.1 철골 시공

철골 빌딩 건축에 대한 시공은 설계부터 시작하여 기초공사를 거쳐, 철골공사, 본체공사(바닥시공, 계단시공), 외장 마감, 내장마감, 외부구조 공사의 순으로 진행된다.

Table 1 Example of construction robots

분야	건설용 로봇	개 발 회 사	비 고
조립/접합/운반	철골자동조립 철골용접 중량철근조립 자동철근조립 벽체조립 외벽부착 천정보드조립 원격하중운반	오바야시, 스미즈(일) 후지타,다케나카 등(일) 가지마,다케나카,스미즈(일) 다이세이(일) 다이세이,스미즈(일) 가지마(일) 스미즈,다이세이,도큐(일) Svets,Mekano ABB(스웨덴)	800kg 계단이동
콘크리트공사	디스트리뷰터 타설 지브(JIB)크레인 Former Device 형틀수직이동	다케나카,가지마,외(일) Putzmeister(독) 도다,다케나카,오바야시(일) Putzmeister(독) 후지타,가지마(일)	트럭탑재. 22m길이, (체르노빌에서사용)
조사점검보수	타일벽면 검사 콘크리트벽면검사 클린룸 검사 지반검사 수중검사 지중탐사	다이세이,다케나카,외 (일) 오바야시(일) 도다,오바야시(일) 미쯔이(일) EUREKA(영국,이태리)	
도장미장청소	벽면도장 천장도장 내화 피복 바닥 미장 숏크리트 로봇 청소 로봇	다케나카,다이세이,외 (일) CBC, CEA(프),SM(영) CSTB(프) 스미즈(일) 기지마,다케나카,외 (일) 다이세이, 토기맥(일) 기지마,오바야시,외 (일) Electrolux AB(스웨덴),	유럽최초의 건설로봇
기타	현장용접 해체공사 교각형틀 승강 적석(돌쌓기)	후지타(일) AltasCopco,Diamantex,AB 후지타(일) 도큐(일)	(스웨덴)

설계 단계에서는 공법 선택 및 공정도, 시공 계획

도가 작성되고, 가설 건물, 기중기, 동력, 급수 설비 등의 준비가 이루어진다. 기초공사에 들어가면, 파일 공사, 토목공사, 기초 콘크리트 타설, 앵커 볼트의 설치가 이루어지고, 한편에서는 철골 공사를 위한 철골 제작을 전문 공장에 의뢰하게 된다.

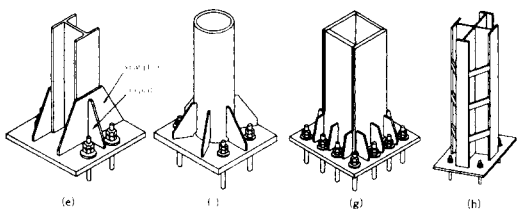

Fig. 2 Steel columns

기둥에 해당되는 철골의 형태를 살펴보면, 작은 기둥의 경우 규격화된 I-형강, H-형강 (KS 또는 JIS 규격품)을 또는 규격형강을 조합한 트러스 구조를 이용하고, 큰 하중을 견뎌야 하는 대형 건축물이나 고층 빌딩 기둥의 경우에는 그림 2와 같이 주문 제작된 원형 기둥, 사각기둥, H-형강을 이용한다. 공장에서 제작되는 기둥은 보 또는 기둥과 연결될 수 있는 형태로 그림 3과 같이 가공되어 현장에 공급된다. 현장에서 기둥을 연결하도록 임시 조립용 erection piece가 부품으로 제작 공급되고, 현장에서 조립과 미세 위치 조정이 끝나면 접합부를 용접한 후, 이 erection piece를 제거하게 된다. 기둥의 길이는 대체로 건물의 3층 정도 높이가 되도록 제작하게 되며, 접합부가 그 층의 바닥에서 인간이 작업할 수 있는 높이에 오도록 하나, 물론 예외적인 경우도 있다. 한 건축물이라도 기둥이 지지해야 할 하중의 강도에 의해 기둥 종류와 크기가 결정되기 때문에 기둥은 여러 종류의 형태와 치수를 사용하는 것이 일반적이다.

현장의 철골 공사는 그림 4와 같은 세부 공정으로 이루어진다. 부재 조립에는 크레인을 이용하고, 안전을 위해 각 부재는 와이어로 임시 고정하여 놓는다. 철골 구조물이 조립되고 위치 조정이 끝나면 부재의 현장 용접이 이루어진다. 기둥 용접은 deck plate 설치 및 바닥면 타설이 완료된 후 즉, 본체 공사 완료 후 작업에 들어가는 것이 일반적이다.

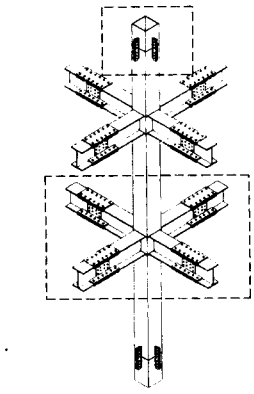

Fig. 3 Joint parts of a steel column

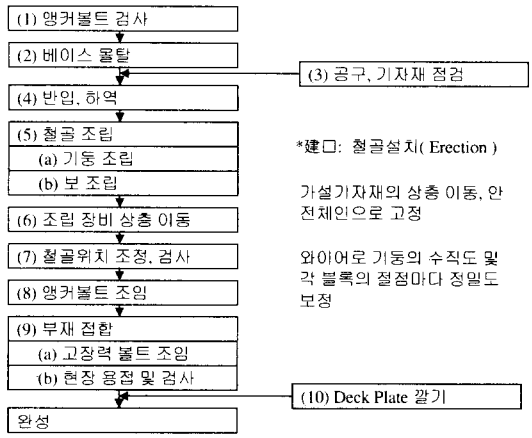

Fig. 4 Process of steel column welding

3.1.2 수직 철골의 현장 용접과 작업 조건

앞 절에서 언급한 것처럼 기둥의 형태는 다양하지만 로봇 용접 대상으로는 대형 H-형강, 사각주, 원형주가 주종이다. 각 용접 접합부는 후판 옆보기 용접 자세로 다른 용접 자세에 비해 용접이 까다로우며, 용접 접합부의 경로를 따라 용접 비드를 다층 적층시켜 후판의 두께만큼 쌓아올린다.

그림 5는 H-shaped 800w× 1000h× 80t의 형강으로 접합부의 개선 각도가 약 40° , 철골 조립 미세 조정이 완료되어 root간격이 1~2mm정도로 고정된 용접 작업 전 상태를 나타내며, 용접에는 수작업으로 약 24시간 이 소요된다(영종도 신공항 현장 촬영). 용접 작업시는 erection piece가 붙어 있는 상태

Fig. 5 Welding part of a steel column

에서 작업이 시작되지만, 위치 고정이 되었다고 판단되면, 작업 도중에라도 해체시킨다. 이 보조판이 용접 작업시는 장애물이 되어 작업자에게 불편함을 주며, 이는 로봇 용접시에도 장애물 회피 알고리즘 등을 통하여 극복해야 할 과제이다.

수작업시의 용접 작업 순서와 작업 조건은 아래와 같다.

- 용접작업전 접합부 개선면의 청결상태를 검사하고, 적절치 못한 경우는 disk sander로 수정한다.
- 용접시는 가능한 한 몸을 정지시키고, 일정한 속도를 유지한다.
- 모재의 온도가 낮으면 용접균열이 발생하기 쉬우므로, 기온이 낮을 때는 작업을 중지한다.
- 비, 눈 등으로 수분이 있을 경우는 용접부에 중대한 결함이 생길 우려가 크다. 또한 강풍에 대한 방풍 대책을 수립한다.
- 용접 후는 목측에 의한 균열, 언더컷 등을 검사하며, 초음파 탐상 검사를 실시한다.
- 불량한 경우는 grinder 등으로 갈아내고 재용접한다.

3.2 수직 철골 용접 로봇 개발 사례

일본에서는 1985년경 건축 철골 용접 로봇이 처음 도입되었는데, 초기에는 로봇의 기동성· 조작성 등에 대한 연구와 용접 품질 문제 해결을 위한 연구가 주를 이루었다. 1988년~1990년경에는 보급기로서 용접 로봇의 H/W와 S/W 개발에 대한 연구를 수행해 왔다. 그 후, 1990년대 중반부터는 용접부의 외관 형상, 내부 품질 및 용접 금속의 기계적 성질 향상을 위한 노력이 이루어졌다. 그 결과 용접 로봇의 적용 범위도 공장내의 용접에서부터 철골주 용접, 철골보의 용접에까지 그 응용 범위가 확대되었다. 철골주의 경우, 초기에는 원형주 및 각주에 대한 적용만이 이루어졌으며, 최근 들어서 H-형강에 대한 용접 로봇 적용 사례가 발표되기도 하였다.

그림 6은 일본 竹中工務店 技術研究所에서 개발한 용접 로봇 시스템[5]을 보여주며, 용접공을 사용하였을 때보다 약 40%의 향상을 가져왔다고 보고된 바 있다.

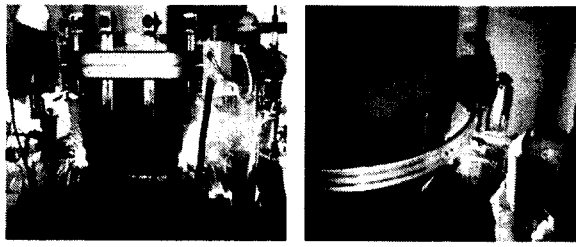

Fig. 6 Steel welding robot (Takenaka)

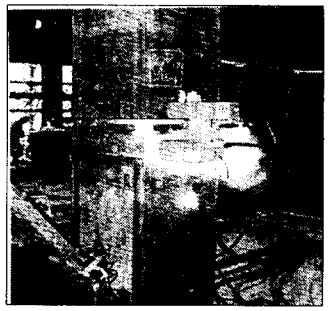

Fig. 7 Steel welding robot (Mitsubishi)

그림 7은 일본 三菱重工業에서 개발 보급한 용접 로봇 시스템[6]의 사각주 용접 작업 모습을 보여주고 있으며, 숙련작업자와 동등이상의 품질을 확보할 수 있고 종래 작업에 비하여 작업 효율이 2~3배 향상되었다고 보고하고 있다.

사각주나 원형주의 경우에는 용접선이 단순하고 철골 자체가 장애물이 되지 않아 3자유도의 직교형 로봇만으로도 철골 기둥 주위에 설치 고정된

레일을 따라 이동하면서, 이음새를 용접할 수 있다. 그러나, H-형강의 경우에는 로봇의 용접 자세각이 다양하게 요구되어 더 많은 자세각을 필요로 하게 된다. 수직 철골 용접 로봇 시스템의 설치에는 로봇 전용 지게차를 이용한 방식과 가설대 설치방식 등이 있으며, 보다 신속한 설치 및 이동을 위한 시스템 개발에 중점을 두고 연구를 수행하고 있다[7].

3.3 수직 철골 용접 로봇의 설계 제작

작업환경 조사 결과 로봇설계시 고려해야 할 조건과 필요 기능은 각각 표 2, 3과 같다.

Table 2 Design constraints of welding robots

구분		로봇 설계 조건
적용 공법	시공방식	기존의 철골시공공법을 준수
	용접방식	일보기자세 CO2 arc welding
대상 작업물	형상	H 형강(각주, 환주 확장가능)
	치수	500~1000mm (폭, 높이)
	재질	일반철구조용강(SS400계열)
	자세	수직 기둥
	용접부 위치	바닥면에서 1~2m 높이
	개선각	30deg 이상
	erection plate	있음
작업량	용접 속도	100~300 mm/min
	최대 연속용접	24시간 이상
	작업 능률	인간작업자의 4배이상
환경조건 (옥외조건)	작업 온도	상온
	비/습도	방습방진 구조
	진동/충격	내구성
작업 준비	지지고정대 허용하중	100kgf
	로봇시스템 운반방법	내차운반
	설치 조립 조건	수십분해식, 설치해체5분이내
	수직이동/고정방식	winch/clamp 상부착식
	주변장치	바닥면 매치
용접 전후 처리	예열	요구되면 수작업
	장애물제거	수작업
	후열	요구되면 수작업
	스퍼터 제거	option 사양
	용접부 검사	기존방식 (수작업)

Table 3 Technologies and functions of the welding robot for steel columns

필 요 기 술	세 부 기 술
환경인식/교시기술	용접선 추적기술 (Laser tracker)
	장애물 회피 기술 (Vision 인식 / 회피)
	작업 교시 기술 (Off-line teaching)
	학습 기능 (용접 path 적층 기술)
시스템 설계 기술	로봇 시스템 경량화 / 모듈화
	지지대 고정 / tilting 및 안전
	로봇 시스템 전장 / 제어부
	MMI 및 모니터링
용접 작업 기술	용접 환경 및 조건 설정 / 용접 DB
	용접 개시점 인식
	Fail recovery 기능
	주행 경로 설정

용접 시스템의 상용화를 염두에 두면 로봇 시스템의 가격 및 현장 적합성 등을 고려해야 하며, 따라서 가능한 한 구조와 기능의 단순화, 경량화가 필요하다. H-형강 수직 철골 용접의 경우 로봇 용접작업은 web부위를 용접할 때는 플랜지가 장애물이 되며, 플랜지 용접시는 erection piece가 장애물이 된다. 따라서, 용접 자세의 실현, 장애물 회피를 위해서 적어도 6개 이상의 자유도가 요구된다. 용접작업은 플랜지부와 web부를 각각 독립적인 용접구간으로 하여, 기둥을 따라 이동하면서 용접하게 되며, 기둥 주위에는 레일을 설치, 고정하는 메커니즘이 필요하다. 수직 방향으로는 철골 조립 전에 미리 철골에 후크를 용접하여, 용접 작업시 레일과 용접로봇을 와이어로 지지토록 한다.

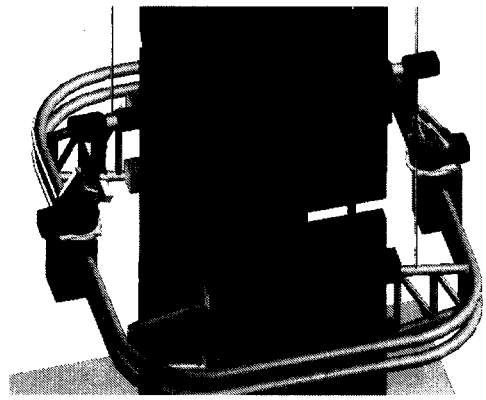

Fig. 8 Concept design of robot system for H-shaped column welding

수직 이동은 윈치를 활용하고, 1차 시제품에서는 H-형강의 4코너를 가이드로 로봇 시스템의 경사각(tilting angle)을 조정토록 하였다. 레일은 빔의 치수에 따라 조정 가능하도록 8분할 방식으로 설계하였으며, 고정부에는 거리조정이 가능한 clamp를 설계하였다. 그림 8은 본 연구에서 개발하고자 하는 용접로봇 시스템의 개념도를 보여주며, 그림 9는 1차로 제작된 용접로봇 시스템의 시제품을 나타낸다.

그림 10은 설계 제작된 레일 주행부 메커니즘을 나타낸다. 주행부는 DC서보 모터를 이용하여 곡선부 주행이 가능하도록 설계하였으며, 미끄럼 방지를 위한 wheel 예압 메커니즘으로 구성하였다. 주

Fig. 9 Prototype of steel welding robot system

행 레일부는 현장 조립이 쉽게 이루어질 수 있도록 경량화, 모듈화하여 설계하였다.

또한, 작업자와 로봇의 작업 분담, 주변장치 및 환경 설정, 준비 작업 (예열, Path-Plan, Ready상태), 로봇 작업 순서 및 동작 요소 도출 등의 기능을 포함하는 용접 로봇 시스템을 구성, 설계하였다.

Fig. 10 Rail moving mechanism of welding robot system

4. 결론

본 특집에서는 최근의 건설 로봇 동향과 철골 구조물 시공 및 작업 조건 등에 대한 기초 조사를 토대로 중점 국가 연구 개발 과제로 추진하고 있는 철골 용접 로봇 시스템에 대하여 기술하였다. 선진국의 추세를 보면 조간만 건설 현장에는 많은 종류의 로봇이 활용되는 신공법이 확립되리라 예상된다. 세계시장속에서 건설 분야의 비교 우위를 확보하기 위해서, 또한 시장의 한계성으로 침체되어 있는 국내 로봇 산업의 활성화 차원에서라도 실용화가 한 걸음 앞으로 다가온 건설용 로봇에 주목할 필요가 있다고 보여진다. 현재 중점 과제 서비스로봇개발에서는 목표 사양 설정, 상세설계 및 1차 시제품 제작을 완료한 상태이며, S/W기능 구현, 성능 시험 및 보완 과정을 계획대로 추진하고 있다.

6축 소형 용접 로봇을 주행 메커니즘과 함께 레일 위에 탑재하여 레이저 센서를 이용한 자동 용접 작업이 가능하도록 시스템을 구성하였으며, 작업자의 이동과 설치 용이성에 목표를 두고 소형 경량화 작업에 중점적인 연구를 수행할 계획으로 있다.

향후 용접 로봇 시스템의 개발에 있어 수행되어야 할 연구 과제로서는 장애물 인식 기능, 조립 정도 오차 보정법, 적용 대상의 확대 등이 있을 수 있다. 또한, 건설 시공 업체와의 협의를 통해 철골 시공에 자동화가 용이하도록 공법 변경에 대한 노력도 기울여야 할 것이다.

참고문헌

1. 이호길 외, *Construction Robot* 개발을 위한 기획사업, 통상산업부, 1997.
2. 建設用ロボット , *日本ロボット學會誌*, 제8권, 2호, 1990.
3. 김종필 외, *건설공사 자동화 방안 연구*, 과학기술처, 1992.
4. 森田五郎, *et al.*, *詳解 鐵骨造*, 市ケ谷出版社, 1996.
5. 荻原忠治, *et al.*, 鐵骨丸柱現場横向き溶接用ロボットの開發と實用化, *溶接技術*, Vol. 40, pp. 112- 115, 1992.
6. 和田惇, *建設ロボットの施工ノウハウ*, 近代圖書

(株), pp. 126-129, 1995.
7. 丸岡義臣, 福山國夫, 建築鐵骨現場における溶接ロボットの搬送システム, 溶接技術, Vol. 44, pp. 75-79, 1996.
8. 中込忠男, 建築鐵骨における溶接ロボットの適用と現状, *溶接技術*, Vol.45, pp.74-79, 1997.
9. 건설로봇 심포지움 논문집(제1회-제5회), JARA, 1990 -1995.
10. 산업용로봇의 장기수요예측 보고서(제조업, 비제조업 분야), 일본로봇공업회, 1997.
11. 문영호, "건설로봇 도입시의 타당성분석 보고서," 1991.
12. The Specification & Application of Robots in Japan, JARA, 1997.