

# 建設現場의 自動化技術

(철근콘크리트工事を 中心으로)

尹在煥

공학박사

수원대학교 건축공학과 교수

## 1. 머릿말

최근 건설구조물이 大型化·高層化됨에 따라 建設現場에서의 災害發生도 大型化되고 發生率 또한 다른 産業에 비하여 높아지고 있으며, 생산직 분야의 就業忌避현상으로 人力難이 深化되고 있으며 建設職 노동자의 高齡化에 따른 建設作業效率의 低下와 建設勞賃의 上昇이 심각해지고 있어 이에 대한 改善對策이 요망되고 있다.

특히 건설인력의 고령화추세는 技能水準과 就勞意識의 低下를 가져와 生産性低下와 勞動災害의 原因이 되는 등 많은 문제점을 야기시킬 것이 예상된다. 이와같이 建設災害 증가의 원인은 위의 원인이외에도 建設物量의 增加에 따른 勞動力, 機能人力의 絶對不足, 建資材부족 및 品質저하등에도 있겠으나 施工의 合理化 技術의 부족에도 그 원인의 一端이 있다고 하겠다.

현장 施工의 合理化의 추진은 建設事業의 高品質化, 경비절감, 工期短縮등 效率性의 확보와 더불어 勞動災害의 防止, 위험작업의 輕減등 노

동환경개선대책의 일환으로 시급히 해결해야 할 과제이며, 최근에는 시공 合理化技術의 일환으로 建設現場에 있어서 建設로봇에 의한 施工이 외국에서 이루어지고 있어 國內에서도 이에 대한 研究와 開發이 요구되고 있다.

본고에서는 외국에서의 建設로봇개발 및 실용화에 대한 現況에 대하여 살펴보고 특히 그중에서도 철근콘크리트공사에 관련된 自動化, 로봇트화에 대한 開發의 現況과 그 方向에 대하여 살펴보기로 한다.

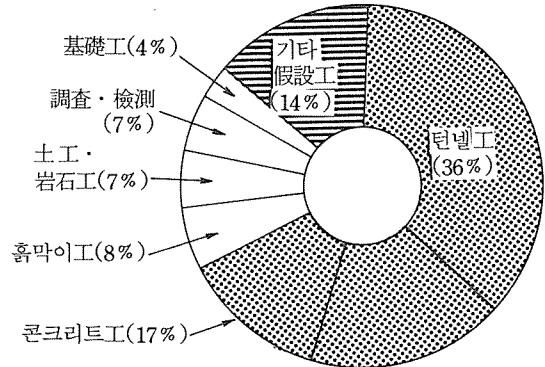
## 2. 建設로봇 開發現況

1989년말을 기준으로 일본에서 骨組工事を 대상으로하여 개발, 공표된 로봇트·自動化裝置는 표1과 같이 鐵骨工사에서 7기종, 鐵筋공사 6기종, 콘크리트공사 14기종이 개발되어 있으며 개발된 것중에서 實用化段階에 있는 것은 비교적 단순한 하나의 作業을 대상으로 한 것에 불과하고, 自動化段階도 固定可變, 시퀀스(sequence) 制御가 중심이고 고도한 數値制御와 플레이백

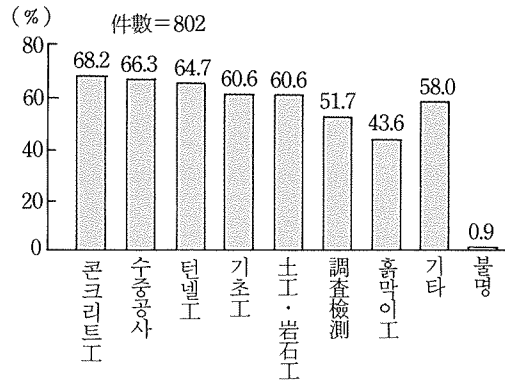
(play back)로봇형은 적어 일반 산업용로봇과 비교하면 骨組工事用로봇의 개발은 아직 미흡한 단계에 있다고 볼 수 있다.

또한 마감공사관련분야에서 발표되고 있는 自動化機械 및 로봇을 정리하면 표2와 같이 職種別로는 약 24종, 機種別로는 壁面塗裝로봇과 같이 동일작업에서 複數의 機種이 개발된 것을 포함하면 약 40종에 달하고 있다. 骨組關聯工事와 마감공사의 로봇化는 市販되고있는 단계의 것까지 출현하고 있어 개발이 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있다.

한편 일본토목학회 건설용로봇위원회가 실시한 앙케이트 調査에 의하면 建設業 등에 있어서 自動化·로봇化가 시도되고 있는 工種은 터널工事, 水中工事, 콘크리트工事に 관련된 것이 많고 이 3가지 工種은 전체의 70%를 점하고 있다(그림1). 또한 工事を 發注하는 입장에서부터 自動化·로봇化를 요망하는 工種으로서는 콘크리트工, 터널工, 수중공사의 순서가 되고있다(그림2).



(그림 1) 건설용 로봇 연구개발 工種<sup>4)</sup>



(그림 2) 건설용 로봇 도입의향이 높은 工種<sup>4)</sup>

(표 1) 골조공사관련 로봇<sup>2)</sup>

工事分類	作業	機種	自動化段階				開發段階				
			操縱型	시퀀스	플레이백	數値制御	構想	研究開發	試行	實用	市販
鐵骨	假設物除去	3	○								○
	鐵骨보세우기	2		○					○		
	스터드 溶接	1		○					○		
	기둥 溶接	1			○				○		
鐵筋	加工	3		○							○
	유니트 鐵筋化	1		○						○	
	配筋	2			○				○		
콘크리트	打設	4	○			○					○
	다짐	2		○					○		
	고르기	4		○					○		
	마감	4				○					○

(표 2) 마감공사관련 로봇<sup>2)</sup>

工事分類	作業	開發段階					作業對象部位					
		構 想	研 究 開 發	試 行	實 用	市 販	바 닥	벽 등	기 보	窓 障	天 障	
콘 크 리 트	바닥표면고르기		○				○					
	바닥마감					○	○					
鐵 骨	耐火 被覆뽐칠					○			○			
유 리	유리설치		○							○		
타 일	타일붙임		○				○	○	○			
	타일分離檢査				○		○	○	○			
內 裝	천정보드붙이기				○							○
	벽보드붙이기					○	○					
	바닥면 清掃				○		○					
塗 裝	壁面塗裝뽐칠				○		○					
	塗膜研磨		○				○	○	○			
	外壁塗裝				○		○	○	○			
	柱狀構造物塗裝				○			○				
	빌딩外壁塗裝				○		○					
	원통構造物塗裝				○		○					
	사이로塗裝				○		○					
시 일 링	시일링제충진		○				○	○	○			
커 튼 율	커튼일設置					○	○					
블 록	블록部品組立			○			○					
設 備	天障作業			○								○
清 掃	바닥면清掃					○	○					
	유리면清掃					○					○	
기 타	資材搬送			○			○	○	○	○	○	○
	高所作業車					○	○	○	○	○	○	○

이 사실은 현재의 건설 現場에 있어서 콘크리트공사가 勞動集約的인 作業의 대표적인 工種이고 自動化·로봇화가 필요한 工種이며 또 하기쉬운 工種임을 말해주고 있다.

본고에서 기술하는 콘크리트 工事用 로봇트는 콘크리트의 運搬, 打設, 마감 등 직접 콘크리트에 關聯된 것 외에 콘크리트에 간접적으로 關聯된 鐵筋등의 補强材 및 거푸집에 關한 것을 포함하여 간단히 소개한다.

### 2.1 콘크리트工事用 로봇트

콘크리트工事に 關하여 현재까지 公표된 로보트는 콘크리트의 운반, 타설, 다짐 및 바닥마감에 關한 것이 開發되어 實用化되고 있다.

현장에서의 콘크리트공사의 각 作業은 위에 열거한 바와같이 극히 勞動集約的인 作業이며, 작업 그 자체도 무거운 기자의 移動과 무리한 作業姿勢등 고되고 험한 中노동이며 또한 더러

워지기 쉬운 작업으로 소위 3D의 代表的인 작업이라 할 수 있다. 그 品質에 관해서는 기능자의 감각경험에 의존하는 바가 크고 그 施工管理의 良否가 콘크리트 構造物의 品質에 直接的인 影響을 미친다고 해도 과언이 아니다. 외국에서는 이 分野에 있어서 로봇트는 이미 實用化되어 그 效果를 올리고 있다.

1) 콘크리트 打設로봇트

현재, 현장에서 가동실적이 있는 콘크리트 타설로봇트로서는 수평디스트리뷰터(Distributor), 콘디스크레인(Concrete Distribute Crane), 플레이싱 크레인(Placing Crane)의 3종류 로봇트가 있다.

이중 가장 타설실적이 많은 水平디스트리뷰

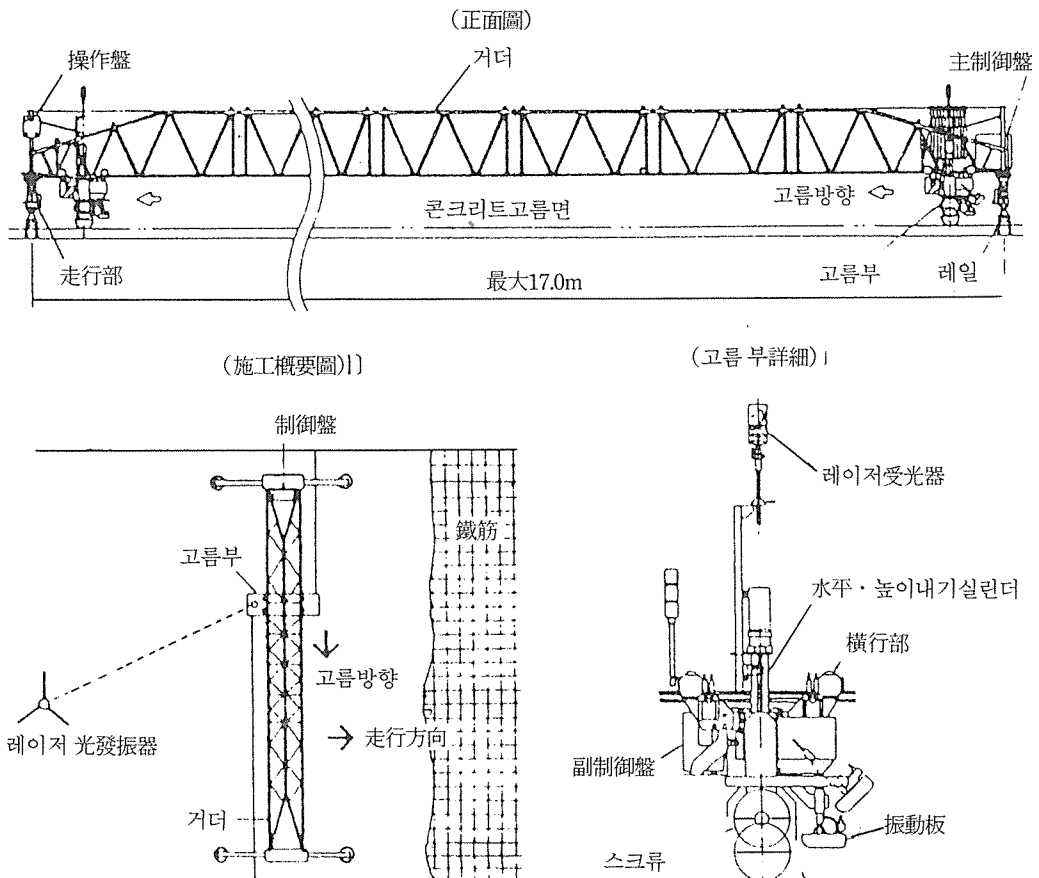
터는 콘크리트 수송관을 설치한 多關節arm을 수평면내에서 屈伸시킬 수 있는 것이며 다른 2機種은 크레인뿔을 수직면에서 屈伸이 가능하도록 한 타설로봇트로서 揚重기능을 가지고 있다. 전자는 SRC造 후자는 RC조건물에 있어서 콘크리트의 分配에 적합하다.

플레이싱 크레인(Placing Crane)은 크레인겸용의 타설로봇트로서 콘크리트수송관을 배치한 全油壓4段 屈伸뿔을 가진 타워크레인이다. 철근콘크리트공사에 있어서 철근, 거푸집등의 資材揚重으로부터 콘크리트의 運搬·타설까지의 일련의 연속된 作業에 사용된다.

2) 콘크리트바닥 마무리로봇트

콘크리트바닥고르기작업은 콘크리트의 打設

(그림 3) 거더식 스크리드로봇트의 개요<sup>6)</sup>



과 거의 併行하여 이루어지며 技能工의 숙련도에 따른 精度의 편차, 프렛쉬콘크리트의 流動성과 打設速度에 의해 作業負荷가 크고 重勞動作業이 되고있다.

고르기작업을 로봇化함으로써 첫째 기능공에 의한 고름精度의 편차를 감소시키고 바닥레벨의 品質向上을 기할 수 있으며, 둘째 고름작업을 기계화함으로써 作業부하를 감소시킬 수 있다.

바닥마무리로봇에는 바닥고르기로봇과 바닥제물마감로봇이 開發되어있다. 바닥고르기로봇에는 레일위를 이동하는 방식과 軌道 없이 走行하는 방식의 2종류가 있다. 레일위를 이동하는 방식은 비교적 span이 넓은 girder를 따라 고름부가 이동하는 것과 수m폭의 고름부가 레일 위를 이동하는 것이 있다. 로봇의 주요 機能은 ① 정확히 바닥의 레벨 精度를 체크하여 ② 콘크리트의 表面을 평탄하게 고르는 것이다.

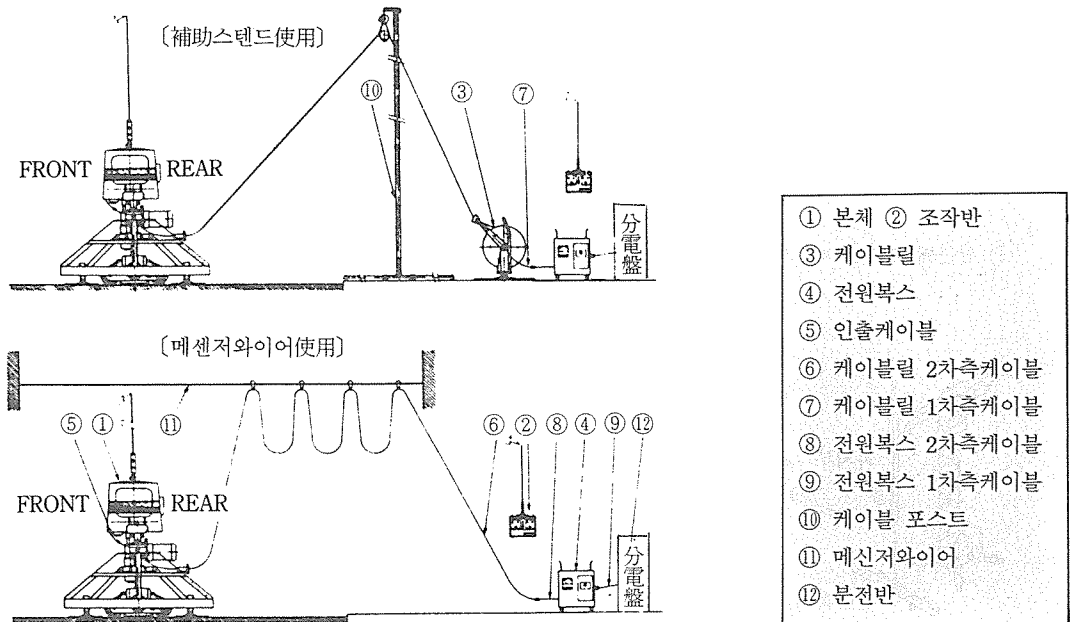
바닥 고르기작업로봇 중 대표적인 것은 그림

3과 같은 거더式 스크리드로봇(Screed Robot)로 트러스構造에 의한 거더에 自動제어된 고르기부를 탑재하여 거더를 따라 순차적으로 고르는 방법으로 거더는 레일위를 走行하여 레일端部에 이르면 自動적으로 레일을 前方으로 보낸다.

제물마감작업은 콘크리트바닥고르기작업 종료후 콘크리트의 硬化를 기다려 쇠손등으로 마무리하는 작업으로 이 작업을 행하는 것이 바닥제물 마감로봇으로서 이 작업은 쇠손질 작업의 반복이며 비교적 로봇化하기 쉬운 것으로 建設로봇중에서 가장 實用化가 進行되어 서프로보(Surface Robot), 自律走行式 로봇등이 개발되어 있다.

이중 서프로보는 그림4에 나타난 것으로 마감부분과 走行부가 一體로 된 바닥마무리로봇로서 마감방법은 쇠손마감방식을 채용하여 4개가 1組로 2組 保有하고 있다. 쇠손은 콘크리트의 硬化에 따라 적합한 압력으로 회전하며, 動力은 有線으로 외부공급을 받는 電動式이다.

(그림 4) 서프로보의 시공개요<sup>6)</sup>



重量은 輕量化를 꾀하여 185kg이다. 보통은 作業條件을 設定하여 全自動운전모드에서 作業을 행하며, 操作方法은 remote control 方式을 채용하여 원격으로 조정한다. 制御는 시퀀스方式으로 走行制御와 指地式 制御를 행한다. 장애물에의 충돌방지는 로봇本體주위에 touch sensor를 붙여 대응하고 있다.

自律走行式바닥작업로봇은 마감부분과 走行部가 분리되어 있는 견인타입의 제물마감작업로봇이다.

마감부분은 4개 1組의 쇠손을 2組 保有하여 動力에는 2대의 엔진을 탑재하고 있다. 重量은 전체 약 300kg이다. 制御는 프로그램方式으로 走行制御를 하고 있다.

### 3) 콘크리트 자동다짐로봇

콘크리트의 다짐은 콘크리트打設後 棒狀 바이브레이터를 가지고 다짐하는 것이 一般의이다. 이것은 콘크리트를 密實하게 충전하기위한 基本技術으로써 콘크리트의 物性和 펄레야 펄 수 없는 관계에 있다.

최근에는 위의 바이브레이터대신에 거푸집 自體에 小型, 輕量의 거푸집바이브레이터를 설치하는 케이스가 增加하고 있다.

「거푸집 바이브레이터의 自動作動시스템」은 콘크리트가 거푸집에 타설되었을 때나 다짐을 완료하였을 때의 상황을 센서에 의해 탐지하여

그 命令(정보)에 따라 거푸집바이브레이터의 作動, 停止를 自動的으로 행하는 것이다. 이 技術은 수개소의 現場에 導入되어 實驗的으로 행해지고 있으나 아직 汎用技術으로써 定着하는데까지는 이르지 않았다.

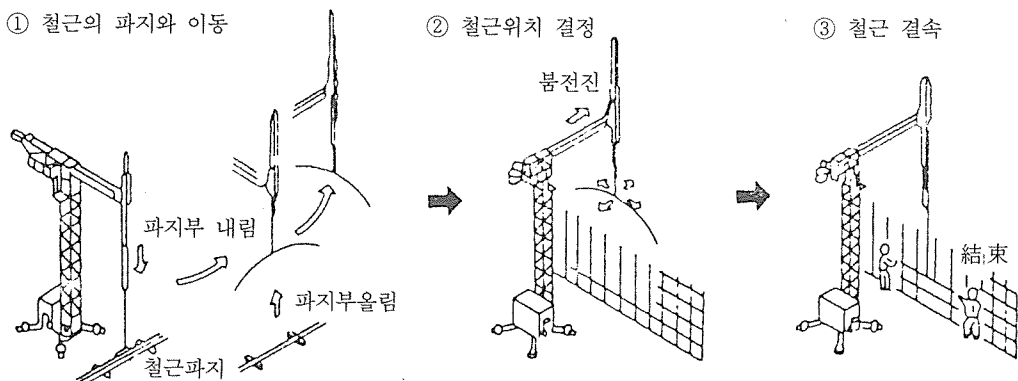
## 2.2 鐵筋工事的 自動化·로봇化

건축, 토목공사에 있어서 철근의 加工, 組立에 自動化 技術을 도입하여 作業環境, 作業效率, 安全性 등을 개선하려는 여러가지 개발이 이루어지고 있다. 철근공사는 철근의 切斷, 휨 등의 加工作業과 기둥, 보, 슬래브 등의 配筋作業으로 크게 구별된다. 加工作業에서는 切斷機나 Bender가 널리 보급되어 있으나 配筋作業에는 여러 시도는 이루어졌지만 널리 보급되지는 않고 있다.

최근에는 原子力發電所工事 등에서 직경이 크고 또한 길이가 긴 철근을 대상으로한 配筋로봇이 實用化되기 시작하고 있다.

### 1) 철근 조립자동크레인

직경이 크고 길이가 긴 (D-38, 12m) 重量 철근의 조립작업을 하는 로봇이다. 作業의 특징은 自由度가 높은 철근과지부에 의하여 세로 철근과 가로철근의 兩方向으로 배근작업이 가능하다. 實施例은 원자력발전소공사의 耐震壁의



(그림 5) 철근조립자동크레인의 철근조립상황<sup>6)</sup>

배근작업에 사용되었다(그림5).

### 2) 重量鐵筋 배근로봇

중량철근을 한꺼번에 20개 탑재하여 配筋위를 주행하면서 소정간격으로 자동배근하는 로봇이다. 철근1개의 배근시간은 약 1분이다. 實施例는 원자력공사의 매트슬래브배근작업이 있다.

### 3) 유니트철근 加工라인

1985년 원자력발전소건설공사에서 도입된 유니트철근가공라인이다. 이 加工라인은 현장內의 가공공장에서 철근을 自動加工함으로써 prefab 化하는 것이다.

### 4) 보 철근自動組立로봇

RC造의 건축공사에 있어서 省力化와 工期短縮을 목적으로 사용부재의 프리캐스트化가 추진되고 있다. 1990년에 개발된 본 로봇은 프리캐스트보 制作時의 보鐵筋의 조립을 하는 것으로서 스테럽의 위치체크, 배근, 주근과 스테럽의 결속까지를 全自動으로 할 수 있다. 본 로봇을 도입한 작업소에서의 실적으로는 총 작업인원수를 약 절반으로 삭감할 수 있었다고 보고하고 있다.

이외에도 NATM용 콘크리트 뿔칠로봇, abrasive jet(2000kg/cm<sup>2</sup> 정도의 초고압수에 연마재(abrasive)를 혼합한 jet)를 이용한 콘크리트벽 切斷로봇, 댐콘크리트 표면의 레이턴스처리로봇, 콘크리트 壁面의 표면처리 로봇등이 開發되어 있으나 紙面관계상 省略한다.

## 3. 맺는말

이상, 現場施工의 合理化라는 관점에서 콘크리트工事用로봇의 最近의 國外開發現況을 개략적으로 살펴보았다. 지금까지의 建設로봇의 開發實績을 보면 종래의 設計 施工法에 따른 作業工程中에서 위험작업, 중량물운반, 오염작업, 단순반복작업을 대상으로 하여 機械化·로봇化가 進行되어 왔다.

그러나 노동부담의 輕減과 品質·作業能率의 向上에는 어느정도 효과를 올리고 있으나 工事費의 절감까지는 미치지 못하고 있는 것이 外國의 現實情이다. 國內에서도 建設畧에 따른 여러 문제점을 해결하기 위해서는 建設施工의 合理化, 특히 機械化·로봇化의 導入이 必須的이라고 생각하며 이에 대한 研究와 開發이 必要하다고 사료된다. 그러기 위해서는 高度의 機能이 요구되는 建設로봇의 開發에는 土木, 建築, 기계관계자외에 電氣, 化學, 컴퓨터, 센서, 材料등 여러 分野의 技術者의 協力에 의하여 各種要素技術이 集約·綜合되어야 한다.

開發目標의 設定, 多額의 개발비용의 조성과 부담, 情報의 收集, 整理, 指導와 調整, 技術指針과 規準의 整備, 보급방법등에 관하여 産, 官, 學의 協力이 그 어느 때보다도 必要하다.

建設業의 生産性을 向上시키고 매력있는 産業으로 變換시키기 위해서는 建設作業의 自動化·로봇化는 꼭 達成시키지 않으면 안될 課題라 할 수 있다. 머지않은 장래에 각 現場에서 建設로봇이 맹활약하여 확고한 地位를 占할 수 있는 날을 期待하며 本稿를 맺는다.

## 참고문헌

- 1) 李愛馥, 金武漢, “建設工事의 機械化·自動化·로봇化의 導入에 관한 基礎的 研究(第1報 建設産業의 現況施討)”, 大韓建築學會秋季學術發表大會論文集, 제11권, 제2호, 1991. 10, pp671~676
- 2) 李愛馥, 金武漢, “建設工事의 機械化·自動化·로봇化의 導入에 관한 基礎的 研究(第2報, 諸外國의 研究開發動向 및 開發事例)”, 大韓建築學會春季學術發表大會論文集, 제12권, 제1호, 1992. 4, pp467~470
- 3) 金武漢, “建築施工에 있어서 로봇과 自動化的 展望” 大韓建築學會誌, 제34권, 제1호, 통권152호, 1990. 1, pp34~39

- 4) 梶岡保夫, 大林成行, “콘크리트工事용 로봇의 최前線” 콘크리트工学, Vol. 29, No. 8, Aug, 1991, pp5~14
- 5) 赤松惟央, “콘크리트工事용 로봇의開發”, 세멘트·콘크리트, NO. 523, Sept, 1990, pp6~9
- 6) 靑柳準夫, “콘크리트工事における 現場

施工의 合理化, 鐵筋의 配筋作業, 콘크리트의 打邊み·縮固め, 直仕上げ 作業”, 세멘트·콘·크리트, No. 523, Sept, 1990, pp32~41

7) 小阪義夫, “最近콘크리트技術, 第21章, 콘크리트工事의 로봇화”, 1990, 森北出版

