



04

로봇 기반 콘크리트 기술

Robot Based Concrete Technology

이한승 Hanseung Lee
한양대학교 ERICA 건축학부 교수

최세진 Sejin Choi
(주)포스코 건축건자재연구그룹 전문연구원

1. 머리말

최근 건설 산업에서는 노동인력 부족 문제 해결, 극한환경하 건설 안전문제 확보 및 건설생산성 향상을 위한 연구 및 실용화 노력이 경주되고 있다. 특히, 이러한 노력은 건설 산업에 6T기술이 접목됨과 동시에 RT(Robot

표 1. 로봇기술의 년표

년차	산업계	국가 프로젝트	대학·연구기관	관련기술	건설로봇
1970년	제1차 로봇 붐 • 자동차 스폿 용접로봇 • 100사의 로보사업 참가	-	로봇공학 여명기 • 2축 보행, 매니퓰레이션 • 2차원시각센서, 촉각센서 등 • 스킵라로봇	16비트 마이크로 프로세서 등장	• 8각보행 수중로봇
1980년	산업로봇 보급 본격화 • 자동차 아크용접로봇 • 시각센서 제어로봇	1982~1989(일본) 극한작업로봇(약 180억엔)	휴모노이드(메카니즘) • 2축보행, 다관절 매니퓰레이션 • 감성로봇, 지적원격조작 • 다각보행	퍼스널컴퓨터등장 반도체센서출현 인공지능연구 시작	• 내화피복로봇(1982) • 철근배근로봇 • 콘크리트타설디스트리뷰터 • 콘크리트표면마감 로봇 • 표면 진단/검사 로봇
1990년	산업로봇 보급 확대 • 자동차, 전기분야 성숙 • 펫로봇, 활선작업 로봇	1991~2000(일본) 마이크로머신(약 250억엔) 1998~2002(일본) 인간환경·공존형 로봇시스템	휴모노이드(인지형), 마이크로로봇 • VR원격조정, 소형컴퓨터장착 • 감성/멀티, 미세로봇 • 행동지능	PC가격 저렴화 마이크로머신 VR기술 인터넷 보급	• 전자동빌딩시공시스템 ABCS(1989) SMART Roop Push Up, T-up
2000년	제2차 로봇 붐 • RT, IT, NT의 융합 • 휴머노이드형 로봇 플랫폼 • 지능형 엔터테인먼트 로봇	산학관의 역할 확대 시너지효과 확대	장래 로봇연구개발(전기) • 로봇기술 요소기술 확대	인터넷 확대	-
2010년	장래 로봇 보급 확대(수십만대) • 시장 확대 및 인지기능 • 국가적 로봇 활성화 촉진	2010 고층구조물외벽유지관리용 지능형 로봇개발(한국) 2014 첨단융합형 건설로봇 연구사업 기획 연구용역(한국)	장래 로봇연구개발(후기) • 로봇기술 산업 적용 확대 • 인공지능기술, 6T기술 접목 • 생체모사기술 접목	인터넷, 증강현실 사물인터넷 확대	• 고층건물외벽청소/도장(월북·한국 기계연구원)
2020년	로봇산업 성숙(수백만대)	-			• 3D 프린팅 건설로봇 확대

Technology) 기술이 접목되기 시작하면서 급격히 증가되고 있으며, 콘크리트 공사에서도 건설로봇의 적용은 기존 콘크리트 기술을 혁신할 중요한 동력으로 자리 매김 할 것으로 판단된다. 2000년대까지 콘크리트 공사에서의 건설생산성 향상은 주로 기계 위주로 진행되어 왔으나 전자기술과 융합한 '메카트로닉스(메카닉스(기계공학)+일렉트로닉스(전자공학))'로 개발되어 현재는 전자기기를 탑재하여 인간의 지시를 충실하게 반영한 작업을 실시하는 장치가 개발되어 '건설로봇(Construction Robot)'이라는 형태로 건설현장에 적용되고 있다. 이러한 배경 하에 본 고에서는 건설로봇의 정의, 개발 연혁 및 로봇기반의 콘크리트 기술에 초점을 둔 개발 사례를 살펴보고자 한다.

2. 건설로봇의 개요

〈표 1〉은 우리나라와 일본에서의 로봇기술 년표를 나타낸 것이다. 1970년대 이후 자동차산업에서 로봇이 본격적으로 활용되면서 1980년대에는 건설로봇이 개발되기 시작하였으며, 현재는 인공지능과 융합한 SMART 로봇이 산업계에서 널리 활용되고 있다. 산업체에서 사용되는 산업용 로봇이란 자동제어에 의한 매니플레이션(Manipulation) 기능 또는 이동기능을 가지고 각종 작업을 프로그램에 의해 실행하여 산업에 사용할 수 있는 기계를 말한다. 여기서 매니플레이터(Manipulator)란 서로 연결된 분절로 구성되고, 대상

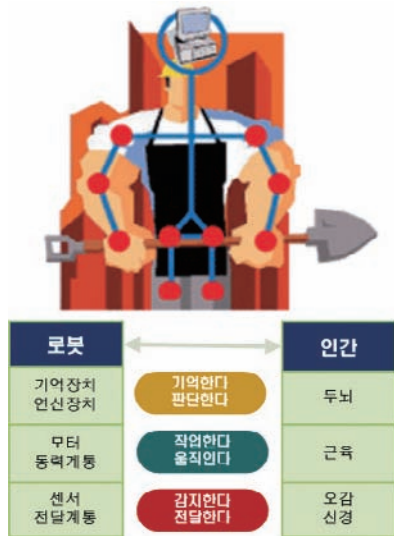


그림 1. 로봇과 인간과의 동작 메커니즘 비교

물(부품, 공구 등)을 잡고, 또는 움직이는 것을 목적으로 한 기계로서 프로그램에 의한 동작 및 제어에 의한 논리시스템으로 제어된다. 〈그림 1〉은 로봇과 인간과의 동작 메커니즘을 나타낸다. 또한, 〈그림 2〉에 나타난 것처럼 건설에 사용되는 이와 같은 로봇메커니즘을 구성하는 두뇌·신경·근육이 고도로 연계된 시스템으로 지반을 굴착하고, 대지를 정리하여 완전 무인화된 토공사의 로봇시스템으로 발전할 것으로 예상되며, 건설생산성 향상뿐만 아니라 건설안전을 확보하는데 일익을 담당할 것으로 판단된다.

'건설로봇'이란 ① 건설공사에 관련한 시공 또는 2차 제품, 자재의 제작, 가공, 운송을 실시하는 기계·장치, ② 매니플레이션기능 또는 이동기능, 프로그램 제어, 자유도 높은 동작, 조건변경에 대한 유연성을 갖는 것, ③ 자동화 레벨은 전자동에 한정하지 않고 반자동, 원격조작을 포함하는 기술이라고 할 수 있으며, 건설산업에서 사용하는 건설로봇의 종류를 〈그림 3〉에 나타낸다.



그림 2. 두뇌, 신경, 근육 연계 로봇건설 시스템(토공사)

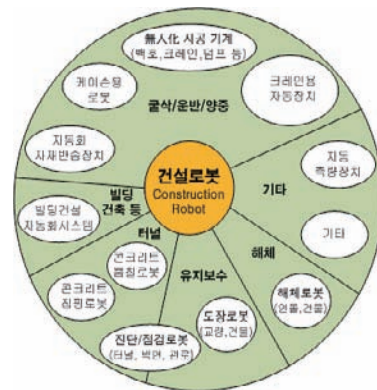


그림 3. 건설 산업 활용 건설로봇의 종류

표 2. 공사별 건설로봇의 종류

분류	공사분류	건설로봇 종류
건축	철골공사	<ul style="list-style-type: none"> 내화피복 뿔칠로봇 철골양중 탈착로봇 철골기둥 용접 및 설치 로봇
	철근공사	<ul style="list-style-type: none"> 중량철근용 배근로봇 철근 자동 가공로봇
	콘크리트공사	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 수평 디스트리뷰터 콘크리트 바닥 마감 로봇 콘크리트 자동 다짐 로봇 콘크리트 바닥 연마 로봇
	마감공사	<ul style="list-style-type: none"> 내외장 도장/벽화/청소 로봇 석재/유리/보드/패널 장착 로봇 외벽 PC판 장착 로봇
	보수·점검·개수공사	<ul style="list-style-type: none"> 클린룸 검사 로봇 타일 박리 검사 로봇 외벽 도막 박리/콘크리트 칩핑 로봇 배관/관로 검사 및 보수 로봇
	양중·운송	<ul style="list-style-type: none"> 자재 자동 운송 로봇
	빌딩자동화시공시스템	<ul style="list-style-type: none"> 고층빌딩 자동화 시공 로봇 시스템
토목	터널	<ul style="list-style-type: none"> 세그먼트 자동조립 로봇 콘크리트 뿔칠 로봇
	교량	<ul style="list-style-type: none"> 교량 표면검사/진단 및 도장 로봇
	항만·해양	<ul style="list-style-type: none"> 8각 보행식 해저 조사 로봇 수중 콘크리트 정리 로봇

한편, <표 2>는 공사별로 건설로봇의 종류를 나타낸다. 건축에서는 철골공사, 철근공사, 콘크리트공사, 마감공사, 보수공사, 양중·운송공사를 포함하여 고층빌딩의 전자동 시공시스템이 적용되고 있다. 또한, 토목에서는 터널, 교량, 항만 공사에 건설로봇이 활용되고 있다.

3. 콘크리트 공사용 건설로봇 일반 사례

<표 3>은 콘크리트 공사에 사용되고 있는 건설로봇의 종류를 나타낸다. 콘크리트 기술에 사용되는 건설로봇의 용도는 콘크리트를 타설하거나 다짐하는 로봇, 콘크리트 표면처리를 실시하는 로봇, 콘크리트 표면의 청소 및 도장을 실시하는 로봇, 콘크리트의 진단·보수·보강에 사용되는 로봇, 콘크리트 구조물의 내외장 공사에 사용되는 로봇이 현장에서 활용되고 있다. 또한, 건축공사뿐만 아니라 토목공사에는 터널, 해저, 토공사, 댐 등에 건설로봇이 적극적으로 활용되고 있다.

표 3. 콘크리트 공사용 건설로봇의 종류

콘크리트 기술	사용도	대표적 건설 로봇 사례		
콘크리트 타설 및 다짐 로봇	<ul style="list-style-type: none"> 철근배근 후 콘크리트 타설을 원격으로 조작하는 콘크리트 디스트리뷰터 콘크리트 타설 후 거푸집 진동 로봇을 이용한 콘크리트 다짐 다관절 슛크리트 뿔칠 로봇 			
		콘크리트 타설 디스트리뷰터	거푸집 진동다짐 로봇	스�크리트 뿔칠 로봇
콘크리트 표면 처리 로봇	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 타설 후, 콘크리트 경화전 바닥을 고르고 마감하는 로봇 경화한 콘크리트의 표면을 워터젯으로 칩핑하는 로봇 경화한 콘크리트 표면을 브라스트에 의해 표면 텍스처를 주는 로봇 			
		콘크리트 바닥 마감 로봇	벽면 칩핑 워터젯 로봇	콘크리트 표면처리 로봇
콘크리트 표면 청소 및 도장 로봇	<ul style="list-style-type: none"> 고층건물을 대상으로 자주식으로 수직 이동을 하는 외벽 청소 및 도장 전용 로봇(월보·한국 기계연구원 발명, 2014) 			
		고층건물 외벽 청소 및 도장 로봇 시스템		
콘크리트 유지관리용 로봇	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 구조물 외벽 타일의 박리를 검사하는 로봇 콘크리트 기둥을 탄소섬유, 아라미드 섬유 등으로 보강하는 로봇 콘크리트 구조물 창문 및 벽면을 청소하는 로봇 			
		타일박리 검사 로봇	기둥 자동 보강 로봇	벽면 청소 로봇

콘크리트 기술	사용도	대표적 건설 로봇 사례		
콘크리트 공사 로봇	<ul style="list-style-type: none"> • 중량 건자재를 콘크리트 구조물에 부착하는데 사용되는 로봇 • 중량물을 수송하는 로봇 • 콘크리트를 파쇄하는 로봇 			
		중량 건자재 장착 로봇	중량물 수송 로봇	콘크리트 파쇄 로봇
토목공사용 로봇	<ul style="list-style-type: none"> • 교량 표면을 도장하는 로봇 • 8개의 다리를 가진 보행식 해저 탐사 로봇 • 터널의 세그먼트를 자동 조립하는 로봇 			
		교량 도장 로봇	8각 보행식 해저 조사 로봇	터널 세그먼트 자동조립 로봇

4. 콘크리트 공사용 혁신적 건설로봇 사례

철근콘크리트(RC) 구조물은 해체시 대형 중기 및 대량의 물을 사용하고, 분진 등이 발생한다. 이러



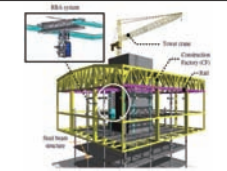


사진 1. 콘크리트 해체 리사이클 로봇 시스템

한 문제점을 해결하기 위하여 리사이클 로봇시스템 (Concrete-Eating Robot Recycles Buildings), 즉, 콘크리트를 먹는 로봇 ‘ERO Concrete Recycling Robot’을 Umea Institute of Design의 스웨덴 학생인 Omer Haciomeroglu씨가 개발하였다(사진 1). 이 로봇은 효율적으로 RC 구조물을 분해하고 재이용 건축 재료를 만들어 콘크리트 구조물 축조에 사용되도록 설계되었다. 또한 워터젯트(고압수)를 사용하고 진공 흡인하는 원리로 골재와 시멘트, 물의 혼합물을 분리하는 개념이며, 혁신적인 재료의 재활용 시스템으로써 가치가 매우 높다고 할 수 있다.

〈표 4〉는 주로 철골공사에 사용되는 전자동 빌딩 시공 로봇시스템을 나타낸다. 이러한 시스템은 주로 철골구조물에 적용되며, 기후와 상관없이 전천후로 작업을 할 수 있다는 장점이 있어 요소기술에 적극적으로 건설로봇기술을 적용할 수 있다는 특징이 있다. 콘크리트구조물을 축조하는 경우에도 이 시스템은 적용이 가능하며, 특히 최근의 3D 프린팅 기술이 접목되면 보다 큰 시너지를 나타낼 것으로 판단된다.

표 4. 전자동 빌딩 건설 로봇시스템 사례

개발 회사	전자동 빌딩 건설 로봇 시스템	명칭
일본 오오바야시 건설		Automated Building Construction System(ABCS)
일본 시미즈 건설		Shimizu Manufacturing System by Advanced Robotics Technology
한국		CF(Construction Factory), Korea University

5. 맺음말

노동인력이 점차 감소하는 건설 산업의 특징을 보면 앞으로 건설로봇의 개발 및 축진이 국가적으로 매우 중요한 역할을 담당할 것으로 판단된다. 특히, 콘크리트 기술이 첨단 타 산업과 융합하여 새로운 시장을 개척한다면 건설 산업이 고부가가치 산업으로서 재조명되는 계기를 만들 수 있다고 판단된다.

로봇이라는 말이 1920년 체코 작가 Karel Capek가

『Robot』이라는 희곡 속에서 ‘Robota’라는 말을 사용한 것이 어원이며, 당시에는 로봇이라는 말이 노예라는 뜻에서 파생한 것으로 좋지 않은 말이었다. 그 후 1950년 미국의 Isaac Asimov가 SF소설 『나는 로봇』속에서 로봇의 3원칙(1조: 로봇은 인간에 해를 가해서는 안된다. 또한, 인간에 위해를 가하는 것을 간과해서는 안된다. 2조: 로봇은 제1조에 위반하지 않는 한 인간에 복종해야 한다. 3조: 로봇은 제1조와 제2조에 위반하지 않는 한 자신의 생명을 지켜야 한다)을 제창한 후 급격하게 로봇시장이 확대되었으며, 최근 들어 건설 산업에 본격적으로 접목되기 시작하였다. 이러한 시점에서 본 원고가 우리나라의 건설생산성 및 안전성을 확보하고 새로운 건설시장을 개척하는데 기여하기를 바란다. ☑

담당 편집위원 : 이한승(한양대학교) ercleehs@hanyang.ac.kr



이한승 교수는 동경대학 대학원에서 철근부식에 따른 구조부재의 내력 성능 평가 및 보강에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 2003년부터 한양대학교 에리카캠퍼스 건축학부 교수로 재직하고 있다. 주 연구 분야는 콘크리트 내구성 평가, 내구성 설계, CO₂와 에너지 저감형 친환경 및 지속가능 건축재료, 보수공법 개발이 있다.
ercleehs@hanyang.ac.kr



최세진 전문연구원은 충남대학교 건축공학과에서 석탄회 대량사용 콘크리트에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 (주)삼표 기술연구소 책임연구원 및 미국 U.C. Berkeley에서 Post-doc. 을 마치고 (재)포항산업과학연구원을 거쳐 2010년부터 (주)포스코 건축건자재연구그룹에 재직하고 있다. 주 관심 연구 분야는 친환경건설재료, 고성능 콘크리트, 섬유보강콘크리트 등이다.
csj2378@hanmail.net

학회인증사업 시행 안내

콘크리트 관련 국내 유일의 연구 전문 기관인 우리 학회는 관련 업계에서 개발한 신기술 등의 학회 공인 요청에 대처하고자 콘크리트 재료 및 공법 등의 기술개발 사항을 의뢰 받아 우리 학회 전문가의 면밀한 검토와 심의를 거쳐 검증하고 검증된 재료 및 공법은 인증서를 발급하여 그 우수성을 널리 알리고 신뢰도를 제고하고자 하오니 관심있는 업계의 많은 신청바랍니다.

1. 인증의 종류

- 1) 재료 및 자재: 콘크리트 구조물의 구성 재료 및 보수·보강 재료 등
- 2) 설계방법 및 공법: 콘크리트 구조물의 설계방법과 시공, 보수·보강할 때의 공법
- 3) Software: 콘크리트 재료, 설계, 시공에 관련된 프로그램
- 4) 지침, 기준, 시방서: 콘크리트 재료, 설계 시공에 관련한 제 규정
- 5) 기타 콘크리트에 관련된 기술

2. 인증의 절차 및 기간

- 1) 절차: 신청서 및 서류 검토, 발표 및 현장(필요할 때) 심사 등 실시
- 2) 기간: 신청일로부터 1개월 이내(단, 시험이나 실험이 추가로 필요한 경우 신청자와 협의하여 조정)

3. 인증의 기한 및 갱신인증

- 1) 최초인증 유효기간 5년(2년 범위 내에 조정 가능)
- 2) 갱신인증은 최초인증 절차에 준하며, 3년 주기로 인증 연장 가능

4. 기술 인증 사후 특전

한국콘크리트학회의 학회지와 홈페이지에 기술내용 및 인증서 공고

5. 문의처 : 학회 사무국

담당: 김범진 차장
Tel: 02-568-5985, E-mail: kci@kci.or.kr

사단법인 한국콘크리트학회

TEL : (02)568-5984~7 FAX : (02)568-1918 http://www.kci.or.kr