

국내 건설로봇 기술개발 현황과 미래 전망

Present and Future of Construction Automation and Robotics in Korea

김영석* · 이준복** · 권순욱***

Kim, Young-Suk · Lee, Jun-Bok · Kwon, Soon-Wook

ABSTRACT

In recent years, a number of construction robots have been developed, but few practical examples can be found on construction sites today. Nevertheless, automation and robotics are proposed as apparent solutions to problems in productivity, quality, safety, and skilled-labor availability in future construction industry. Since the early 2000s, there has been growing interest in construction automation and robotics in Korea, and significant progresses have also been made. This paper mainly describes the needs of research and development program to introduce robots on construction sites, and primary outcomes which are developed in domestic construction industry. Essential technologies required for the development of construction robots, future prospects of the technology advances, and several suggestions are also presented in this paper.

Keywords: construction, automation and robotics, SWOT, R&D, technology roadmap

1. 서론

20세기말 컴퓨터 및 정보통신기술의 발달에 힘입어 많은 변화와 새로운 도전의 기대를 가지고 시작된 21세기 건설산업의 두드러진 변화의 모습은 정보화·지식화·기술집약화·고효율화 등이다. 전통적으로 3D업종으로 인식되어온 건설산업은 최근 젊은 기능인력의 건설현장 기피 현상이 심화되면서 숙련된 기능인력의 확보가 더욱 힘들어지고 있는 현실이다. 최근 각종 보도자료에 따르면, 국내의 세대당 출산율은 OECD 국가 중 가장 낮은 수준인 1.13명이고 이미 현재 초고속 고령화 사회로 접어들고 있으며, 이는 타 산업에 비해 노무인력에 대한 의존도가 상대적으로 높은 건설산업에 있어 멀지 않은 장래에 엄청난 파급효과를 미칠 것으로 판단된다. 건설업의 생산성 또한 연평균 약 4.8%로 산업 평균 10.5%의 절반에도 미치지 못하고 있고 40층 주거건물 건축에 소요되는 총 공기도 미국이 터파기로부터 준공에 이르기까지 평균 18개월이 소요되는데 비해 국내의 경우 약33개월이 소요되고 있는 등, 국내 건설산업의 경우 현재와 같은 기능인력 부족, 생산성 저하, 고임금의 비용구조 및 중국 등 새로운 경쟁 국가를 고려해 볼 때 향후 국제 건설시장에서의 경쟁력 하락은 가속화될 것으로 사료된다. 국내 건설산업이 직면하고 있는 이러한 당면 과제의 해결 및 미래 건설산업의 비전, 성장 동력, 건설기술력 향상 분야를 언급할 때 빠지지 않고 항상 등장하는 키워드 중의 하나가

* 정회원 · 인하대학교 건축학부 부교수 E-mail: youngsuk@inha.ac.kr

** 정회원 · 경희대학교 토목건축공학부 조교수 E-mail: soonwookkk@hotmail.com

*** 정회원 · 성균관대학교 건축공학과 조교수 E-mail: leejb@khu.ac.kr

'건설자동화(construction automation)'라고 할 수 있다. 건설자동화를 통하여 작업현장의 안전성을 제고하고 품질, 생산성 및 채산성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대하기에 언제나 그 중요성이 강조되고 있다. 그러나 건설, 기계, 전기, 컴퓨터 등이 포함된 첨단·융합기술로서 건설자동화에 대한 전문지식의 부족, 건설업의 특성상 연구개발 결과에 대한 불확실성과 이에 따른 위험 부담 등의 복합적 요인에 의해 건설자동화의 필요성은 늘 강조되어 왔지만 이에 대한 활발한 연구·개발이나 실무 적용은 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 지금껏, 건설자동화 분야에 있어 과감한 R&D(Research and Development) 투자를 통해 선도적 역할을 수행하여 왔던 일본, 미국, 유럽의 기술개발 동향 및 연구수행 성과는 여러 지면을 통해 소개되었던 바, 본 논문에서는 2000년 이후 산·학·연 공동 연구개발 사업을 통해 국내에서 개발되어온 건설자동화 연구 성과를 간략히 소개함으로써 국내 건설로봇 기술개발의 현황과 기술수준을 분석해 보고, 건설자동화 기술개발의 활성화 측면에서의 당면 과제를 제시하고자 한다.

2. 건설자동화의 개념

일반적으로, '건설자동화'라 함은 컴퓨터 및 전산기술을 이용한 정보화, 통합관리시스템화 등 소프트웨어적인 기술과 시공의 성력화, 기계화를 위한 자동·반자동 형태의 로봇 개발 등 하드웨어적인 기술로 구분된다. 현재 국내에서도 건설 CALS, CIC 구축 등을 목표로 건설생산 프로세스별(기획, 설계, 시공, 유지관리 등) 업무의 전산화, 프로세스간의 정보의 교류 및 공유를 위한 시스템 구축 등 소프트웨어적인 자동화 분야의 연구·개발이 활성화되고 있으며 이러한 노력으로 공사관리의 효율성 및 투명성이 제고되고, 기술 및 실적자료의 데이터베이스화를 통한 지식의 교류, 공유, 재활용이 이루어지고 있다. 반면, 고소작업 및 중량물 취급 등 열악한 작업환경과 노무인력의 의존도가 높은 건설공사의 근로자 안전문제 및 작업환경 개선과 지속적으로 저하되고 있는 건설 생산성 문제 등을 해결하기 위한 방안으로 하드웨어적인 건설자동화 분야가 있다. 이와 같은 건설자동화는 원격조종, 통신, 수치제어 등 컨트롤, 다양한 센서에 의한 자료수집 등의 기능을 포함한 인력대체형(robotic) 또는 인력과 장비가 협력하는 형태(Man-Machine Interface; MMI)의 건설로봇 혹은 장비 개발을 의미하고 있으며, 개발된 장비는 건설자동화 장비 또는 건설로봇이라고 한다. 국내 건설자동화 기술개발 현황과 미래 모습을 전망함에 있어 본 논문에서는 현장에서 활용 가능한 하드웨어적 자동화기술(이하, 건설로봇)에 대하여 논의하고자 한다.

전통적으로, 산업용 로봇이 생산 라인에서의 반복 작업을 기계화하고자 하는 목적으로 매니플레이터(manipulator)를 개발하는 것으로부터 시작되었고, 이에 인공지능 등 첨단기술의 접목을 통하여 현재 고도의 지능형 로봇 개발에 관한 연구가 진행 중에 있다. 이에 비하면 건설산업에서의 로봇개발은 아직 초보적인 단계로서 인간과 장비와의 공동작업 형태 또는 원격조종형(tele-operated) 로봇의 형태인 매니플레이터의 개발 단계로 판단된다. 일반적으로 건설자동화 장비의 구성은 본체, 매니플레이터, 말단기기(end-effector) 등의 1) 구동부, 조종, 피드백, 수치제어 등의 2)제어부, 시각, 촉각 등을 통한 감지능력의 3)센싱부의 요소기술로 이루어지고 있다. 건설로봇 분야의 연구·개발은 이와 같은 복합적인 요소기술이 요구되고 있으며, 원격(full-scale)의 현장적용 가능 시스템의 구축을 통한 타당성 분석을 실시하여야 하기에 다양한 학제적(multi-disciplinary) 전문가로 이루어진 산·학·연 컨소시엄 형태의 연구·개발팀의 구성 및 운영이 필수적이다. 1980년대부터 최근까지 일본, 미국, 유럽 등지에서 개발된 건설로봇의 유형은 건축·토목시공 및 유지관리 업무와 관련된 단일 공정 및 작업용 로봇의 개발이 주를 이루고 있으며, 동일한 작업을 수행하는 유사로봇이 다수 개발된 사례가 있다.

3. 국내 건설자동화 기술개발 현황

국내에서는 1980~1990년대에 한국건설기술연구원에서 건설자동화의 필요성 및 적용대상 공사 선정을 위한 이론적인 연구를 수행하였다. 또한 진동롤러의 자동화, 타워크레인의 반자동화 연구 등 현장적용을 위한 기존장비의 자동화 방안 연구를 수행하였다. 건설기업 및 관련 연구기관에서 일본에서 개발된 미장로봇을 도입하여 국내에 적용한 사례 발표도 있었고 거푸집 자동화 공법도 소개된 바 있다. 이와 같이 국내의 경우 과거 20여년에 걸쳐 건설자동화 기술개발에 많은 연구노력을 기울여 왔던 일본, 미국, 유럽의 R&D 투자 규모, 로봇 개발 및 상용화 건수에 비교해 볼 때 그 수준은 매우 미약하다고 볼 수 있으나 국내에서도 안전, 생산성 문제, 경제성 확보, 품질향상을 위해 건설로봇 분야의 연구개발이 간헐적으로 진행되어 왔으며 2000년 이후 해외에서 건설로봇을 전공한 신진 과학자들이 국내에 유입되면서 메카트로닉스 전문가 집단과의 산·학·연 컨소시엄 구성을 통해 건설로봇 기술개발에 관한 연구가 다시 활기를 찾고 있는 모습이다. 또한, 일본이 대형 건설업체를 중심으로 과감한 R&D 투자를 통해 지속적으로 건설로봇 기술개발을 이루어 온 것과는 달리, 국내의 경우에는 건설로봇 개발을 위한 R&D 펀드는 대부분 건설교통부 등 정부기관으로부터 지원되고 있으며 대학과 국책 연구원을 중심으로 연구가 활발히 진행 중에 있다.

2000년 이후 현재에 이르기까지 시공 및 유지보수 분야에 걸쳐 국내에서 연구·개발된 원칙(full-scale)의 주요 건설로봇으로는 1)콘크리트 흡관 매설 로봇(2000~2003), 2)PHC 파일 연직도 자동제어 및 두부정리 로봇(2002~2005), 3)초고층 빌딩 커튼월 시공을 위한 미니 굴삭 로봇, 4)도로면 크랙실링 로봇(2001~2004), 5)도로면 사인 도색 로봇(2001~2003), 6)초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 로봇(2002~2004) 등이 있으며, 주로 단일 공정 혹은 작업을 수행하는 건설로봇이 연구·개발되어 현장 적용성 실험 및 현장 실무자들로부터의 피드백을 수렴하여 실용화 가능성을 진단하는 단계에 와 있다고 볼 수 있다. 다음은 위에서 언급된 국내 건설자동화 장비의 몇 가지 연구·개발 사례를 간략히 요약·정리한 것이다.

1) 콘크리트 흡관 매설 로봇

재래식 흡관매설 작업이 가지고 있는 터파기 사면 붕괴, 흡관 추락 및 충돌로 인한 안전사고의 위험, 무리한 관이음에 의한 파손 및 접합상태 불량으로 인한 품질 확보의 어려움, 작업 생산성 저하와 인건비 상승으로 인한 채산성 확보의 어려움 등의 문제점을 해결하기 위해 흡관매설 로봇의 프로토타입이 개발되었다. 개발 로봇의 프로토타입은 흡관매설 작업을 위해 요구되는 동작 및 성능을 모두 구현할 수 있도록 6 자유도 운동이 가능한 스텐워드 플랫폼(Stewart Platform)을 기반으로 하고 있다. 흡관 매설 로봇은 백호와의 결속 및 해체를 용이하게 하기 위한 연결부, 흡관매설 작업 시 6 자유도 운동을 지원하는 구동부, 흡관 연결 시 삽입 기능을 담당하는 슬라이딩(sliding)부, 흡관 결속, 운반 및 연결 작업을 수행하는 집게부로 구성되어 있다. 현장 실험 및 성능 분석 결과, 개발 로봇을 활용하여 흡관매설 작업을 수행할 경우 자동화 시공에 의한 안전성 확보, 품질 향상과 더불어 65%의 생산성 향상 효과, 33% 정도의 공사비용 절감 효과가 있는 것으로 평가되었다(유연택, 2004).

2) 기성 콘크리트 파일 연직도 자동제어 및 두부정리 로봇

PHC 파일 향타 시 파일의 연직도를 자동 제어함과 동시에 두부정리 작업을 위한 노무비 비율을 낮추고, 노무자간의 숙련도 차이에 의한 작업 품질 및 생산성, 안전성 등을 향상시키기 위해 PHC 파일 연직도 자동제어 및 두부정리 로봇의 프로토타입이 개발되었다. 먼저 PHC 파일 연직도 자동제어 로봇의 프로토타입은 파일 드라이버가 지표면과 수직을 유지하면서 파일 매입을 위한 굴착작업을 수행할 수 있도록 설계되었으며,

PHC 파일 두부정리 로봇의 프로토타입은 기존 재래식 작업에서 노무자에 의해 수행되었던 그라인딩 작업을 자동으로 수행할 수 있으며, 원뿔형 및 블레이드 말단장치가 장착된 4방향 유압압쇄 장치의 사용으로 PHC 파일을 중방향 균열 없이 파쇄 할 수 있도록 설계·제작되었다(이정호, 2004).

3) 초고층 빌딩 커튼월 시공 을 위한 미니굴삭 로봇

빌딩 건설에 있어 최근의 추세는 고층화, 대형화, 복잡화로 대변될 수 있으며 커튼 월 등과 같은 자재의 무게 또한 점차 증량화 되어가고 있다. 일반적으로 커튼 월 시공을 위한 장비로는 윈치(winch)와 크레인(crane)이 요구되며 약 7명 정도의 노무자가 투입되고 있으나, 커튼 월 설치 작업의 특성상 항상 안전사고의 위험이 내재되어 있으며 생산성과 품질의 균일성 확보 측면에서도 문제점이 있는 것으로 인식되어 왔다. 최근 초고층 빌딩을 대상으로 커튼 월 자재를 자유로이 핸들링하고 설치하기 위한 자동화 장비로서 흡입장치(suction device)가 장착된 다 자유도(multi-DOF) 미니 굴삭 로봇이 개발되었으며 건설현장에 성공적으로 적용된 바 있다. 개발 로봇의 활용은 커튼 월 시공 공정의 단순화, 공기단축 및 안전성 향상을 물론 투입 노무자의 수를 기존 7명에서 2명으로 줄임으로써 생산성 향상 및 노무자 감소를 통한 원가절감에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

4) 도로면 크랙실링 로봇

국내에서는 도로면 유지보수 공법 중 크랙실링 공법의 자동화를 통해 노무자의 안전사고를 예방하고, 품질 및 생산성을 향상시키기 위해 산·학·연 공동연구 개발사업으로 도로면 크랙실링 로봇(Automated Pavement Crack Sealer: APCS)의 프로토타입이 개발되었다. APCS는 시방 규정에 따라 도로면에 3mm 이상 크랙이 존재 할 경우, CCD 카메라를 통해 입력된 도로면 영상을 이진화 및 노이즈 제거 알고리즘을 이용하여 크랙 이외의 노이즈를 완벽하게 제거할 수 있다. 또한, APCS의 말단장치(turret)가 크랙의 중앙(spine)을 따라 일정량의 실린트를 신속하고 정확하게 분사하도록 크랙 네트워크 맵핑 및 모델링 알고리즘, 최적 경로계획(optimal path planning) 알고리즘을 개발하였다. APCS의 현장 실험 및 성능 분석 결과, APCS의 도입 및 활용을 통해 노무인력의 50% 감소효과, 32.5%의 생산성 향상 및 43.6%의 공사비용 절감효과를 가져 올 수 있는 것으로 평가되었다(Lee et al., 2004).

5) 도로면 사인 도색 및 제거 로봇

최근 각종 도로면 사인과 차선을 자동으로 도색할 수 있는 로봇시스템이 개발되었다. 개발 로봇은 갠트리 로봇을 기본으로 하여 한 차선까지 작업영역을 확대할 수 있는 구조로 창안되었고, 자동으로 사인 도색을 지원할 수 있도록 폰트 파일 시스템, 경로 생성 알고리즘, 대형 사인 도색 알고리즘, 로봇 시뮬레이터 등의 모듈을 포함하고 있다. 또한 현재의 노면표시 제거작업은 많은 작업자가 투입되어 수작업으로 진행되고 있으며 수작업은 장시간 교통통제에 인한 불편과 혼잡 비용을 발생하고 있을 뿐만 아니라 작업에 투입된 모든 인원들이 작업장 주변의 차량 충격에 무방비 상태로 노출되어있고, 깎이식 제거기와 가스불을 이용하므로 가스폭발의 위험성이 내재되어 있으며 유해 가스는 작업자나 도로를 이용하는 이용자 모두에게 건강상의 큰 위험을 주는 문제점이 있다. 개발 로봇은 3,000 bar 이상의 초고압 수 분사펄프 시스템 제작과 단일차량 내부에 설비를 구성하여 작업자의 외부 노출을 최대한 줄이고, 운전자가 간단한 컴퓨터 및 레버 조작만으로 노면표시를 2 km/hr 이상의 속도로 노면표시를 제거되도록 설계·제작되었다(권순욱, 2004).

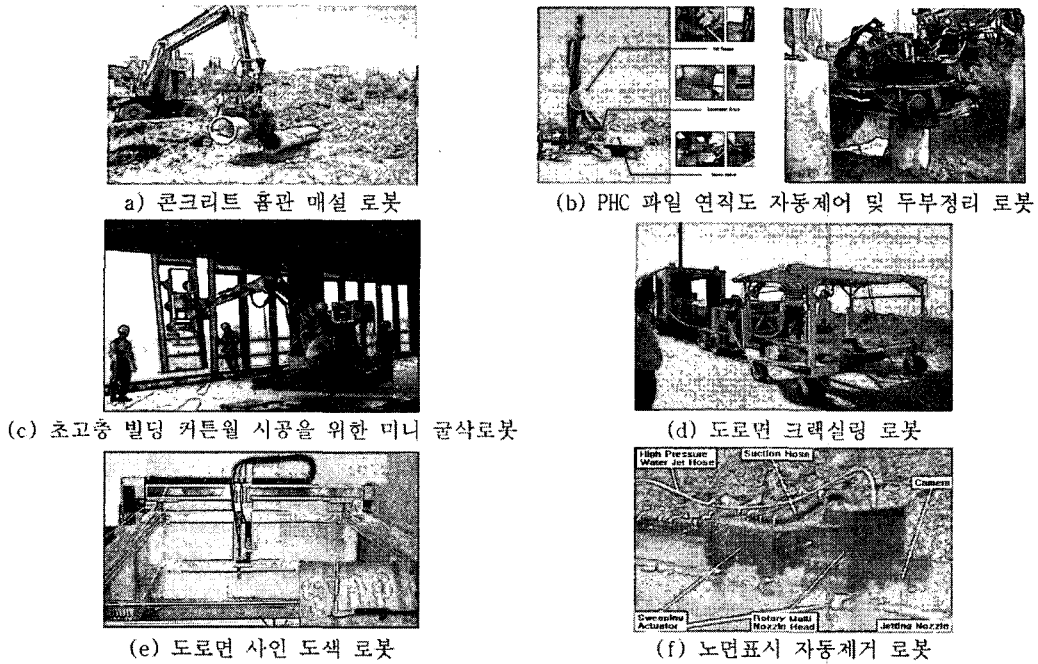


그림 1 국내 건설로봇의 주요 연구·개발 실적

4. 건설로봇의 요소기술 수준 분석 및 미래 전망

앞서 언급된 바와 같이, 건설로봇의 요소기술은 크게 1)제어 및 교시기술, 2)이동 메커니즘기술, 3)센싱기술, 4)통신 및 MMI기술 등으로 구분할 수 있다. 제어 및 교시기술은 직접교시기술 및 간접교시기술, 프로그래밍언어를 통합한 교시기술, 로봇이 주 기능을 구현하기 위해 필요한 장비 자체의 수평 및 수직운동을 제어하는데 사용되는 주행제어기술, 건설 로봇의 주 기능을 수행하기 위해 제어되는 지능제어기술이 포함된다. 이동 메커니즘기술에는 주행 장치와 건설 로봇의 주 기능을 수행하는 말단장치의 본체와 말단장치를 연결시키며 여러 지점에서 작업을 수행할 수 있도록 지원하는 머니플레이터가 포함된다. 센싱기술은 건설 로봇의 주 기능을 지원하는데 사용되거나, 센서 자체가 건설 로봇의 주 기능이 되는 탐지장비에 사용된다. 센서의 종류는 시각, 거리, 속도, 힘, 물체감지센서 등이 있으며, 센서의 구동을 위해서는 액추에이터(actuator) 기술이 포함된다. 통신 및 MMI기술은 인간과 로봇간의 데이터를 주고받을 수 있도록 하는 정보통신기술과 작업자가 건설 로봇의 주변 환경을 파악할 수 있도록 지원하는 스캐닝 및 맵핑 기술이 포함된다.

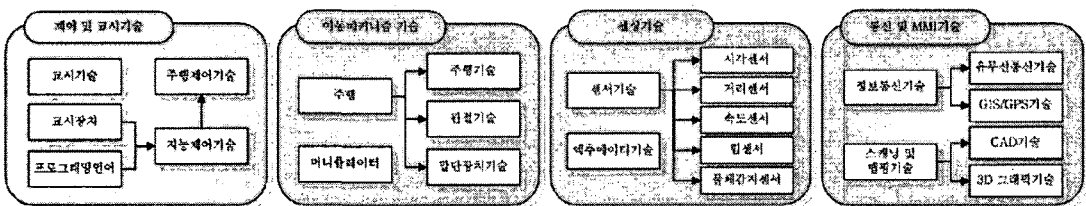


그림 2 건설로봇의 요소기술

제어 및 교시기술은 비교적 실용화 단계가 조기에 정착될 것으로 예상되는데 이는 국내의 경우 산업용 로봇 기술을 바탕으로 꾸준한 기술축적이 이루어졌기 때문이다. 이 중 로봇을 제어하는 기초적인 인터페이스나 프로그램 기술은 상용화될 정도로 상당한 수준에 올라와 있으나, 지능형 인터페이스나 감성 인터페이스를 처리하는 기술은 선진국에 비해 많이 뒤쳐져 있다고 판단된다. 이동 메커니즘기술은 국내 로봇 요소기술 중 가장 취약한 부분으로써 감속기, 베어링과 같은 핵심 정밀부품에 대한 기술이 상당히 부족하며, 대부분 외국과의 기술이전을 통해 생산하고 있는 실정이다. 구동기술 분야는 정부의 지속적인 지원 아래 꾸준한 연구개발을 통해서만 선진국과의 격차를 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 센싱기술은 광섬유 센서와 같은 신소재를 이용한 부분에서 IT 산업의 발전과 더불어 지속적으로 개발되고 있다. 그러나 국내의 경우 전체적인 개발현황으로 볼 때 센싱 기술개발은 시장성의 제약과 선진기술 획득의 어려움, 자체 기술력 부족으로 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 통신 및 MMI기술은 GPS기술, 정보통신 기술 분야에서 상당한 발전이 이루어져 왔으며, 궁극적으로 무인 시공 현장의 구현을 위해 요구되는 가상현실기술은 3차원 CAD 환경에서 설계 및 시공정보의 통합관리를 지원하기 위한 통합 데이터 모델 개발을 축으로 지속적으로 연구가 진행 중에 있다. 교량, 댐과 같은 구조물 유지보수를 위한 모니터링 기술은 국내에서 서해대교와 같은 일부 교량에서 적용된 바 있으나, 개별 구조물의 거동 특성을 반영하고 이에 적합한 모니터링 기술을 적용하는 것이 아닌 일반적인 구조물의 모니터링 기술을 적용하여 많은 보완 및 개발이 요구된다. 전체적으로, 국내에 있어 건설 로봇 기술개발 수준은 제어 및 교시기술, 통신 및 MMI기술의 경우 지속적인 연구·개발 성과물을 토대로 국외와 경쟁 가능한 위치에 있으나, 상대적으로 이동 메커니즘 및 센싱기술의 경우 지속적인 연구·개발을 통한 경쟁력 확보가 요구된다(표 1).

표 1 건설로봇의 주요 요소기술 및 수준 분석

대분류	중분류	소분류	기술 수준
제어 및 교시기술	교시기술	간접, 리모트, 오프라인 교시기술	보통
	학습 및 추론	작업환경 모델링, 작업계획	보통
	제어구조	계층제어, 하이브리드 제어, 분산제어	보통
	주행제어	지도작성, 위치추정, 경로계획, 장애물 회피, 목표물 추종	보통
	보행제어	2족/4족보행, 자세 제어	보통
	머니플레이션	여유자유도제어, 하이브리드 힘/위치 제어	보통
센싱기술	지능제어	시각기반 제어, 반복학습, 뉴로-퍼지 제어, 신경망 제어	보통
	운동 및 촉각센서	자이로, 가속도 센서, 토크/ 힘 센서	매우 낮음
	시각센서	CCD, CMOS, 적외선 카메라	낮음
	거리센서	적외선, 초음파, 레이저	낮음
이동 메커니즘 기술	모터기술	초음파/ 초진도 모터, 회전/ 직선형 모터	매우 낮음
	바퀴식 구동기술	전방향 바퀴, 문턱 승월, 바퀴의 slip	보통
	2족보행기술	동적보행, 계단승월, 측보행, 역보행	낮음
	관절기술	모듈형 관절, 다자유도 관절, 겐트리형 관절	낮음
통신 및 MMI기술	말단장치기술	브러쉬형, 진공흡착형, 그림형, 스프레이/ 노즐형, 용접형, Drill형, 스크리드형, 파쇄형	보통
	정보통신기술	GIS/ GPS 응용기술, RFID 응용기술, 유무선 통신기술	높음
	시뮬레이션기술	CAD/CAM 기술, 2D/3D 그래픽기술, 가상현실기술	높음

또한 SWOT 분석을 통해 국내 건설로봇 기술개발을 위한 내부 환경의 강점(strength)과 약점(weakness)을 발견하고, 외부환경의 기회(opportunity)와 위협(threat)요인을 도출함으로써 기술개발의 수요를 파악해 보면 다음과 같다. 따라서 이러한 SWOT분석의 결과를 토대로 건설로봇 기술개발을 위한 내부 환경의 강점을 극대화하면서 외부환경의 기회를 활용(SO전략)하고 위협요인을 최소화(ST전략)함과 동시에, 내부 환경의 약점을 보완하면서 기회를 창출(WO전략)하고 위협을 극복(WI전략)해 나가야 할 것으로 사료된다(표 2).

표 2 국내 기술수준 파악을 위한 SWOT 분석

내부요인 외부요인	강점 (Strength)	약점 (Weakness)
	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설로봇 기술개발에 대한 산·학·연·관의 관심 증대 및 정부의 R&D 투자 확대 ● 세계 최고 수준의 정보통신 인프라 및 유비쿼터스 기술 구현을 위한 제반 환경 구축 ● 국가의 미래 성장동력 중 로봇기술(RT)분야 포함 ● 저 출산으로 인한 인력 부족으로 미래 건설산업에 있어 건설로봇의 needs, market size 및 marketability 양호 ● 인력 대체형 건설로봇에 대한 긍정적인 사고로의 전환 	<ul style="list-style-type: none"> ● 신기술·신공법 개발에 관한 국내 건설기업의 전통적 보수성 및 핵심 건설기술에 대한 높은 해의 기술 의존도 ● 건설기술 분야의 무역수지 역조현상 심화 ● 건설로봇 분야의 전문 인력 부족 ● 로봇의 4대 핵심 요소기술에 관한 불균형 발전 ● 미래 국가유망기술로서 건설로봇 기술개발에 관한 마스터플랜/기술로드맵 부재 ● 설계와 시공정보의 통합을 위한 엔지니어링 기술 및 표준화 체계 미흡
기회 (Opportunity)	SO전략	WO전략
<ul style="list-style-type: none"> ● 실용화에 기반을 둔 건설교통부의 지속적인 R&D 투자 확대에 의해 건설로봇의 연구개발을 위한 건설한 기반환경 조성 ● 건설로봇 기술개발 분야의 후발주자로서 선진 외국의 시행착오 (Trials and errors)에 관한 벤치마킹 가능 ● 기업 이미지 제고 및 건설 산업 이미지를 첨단 산업 분야로 upgrade 하고자 의지 심화 ● 미래 건설산업에 있어 고 부가가치 창출이 가능한 새로운 Market sector로서 건설로봇 기술개발의 중요성 인식 	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설 로봇의 연구개발을 위한 정부의 중·장기적이고도 지속적인 투자 확대를 유도하기 위해서는 산·학·연 컨소시엄의 구성 및 건설/메카트로닉스 전문가 그룹간의 협업체제를 통해 건설 로봇 기술을 개발하고, 현장 적용 및 성능평가를 통해 파급효과를 경량화하고 개발 기술의 실용화를 실현해야 할 것임. ● 선진 외국의 시행착오 및 건설로봇 기술을 벤치마킹하고, 국내 정보 통신, Robot Technology, 유비쿼터스 기술을 적극 활용하여 성능 우위의 건설로봇을 실용화함으로써 정부의 지속적인 관심 및 투자 확대 유도 	<ul style="list-style-type: none"> ● 전통적으로 신기술·신공법 개발에 관해 보수적인 성향을 지니고 있는 국내 건설기업의 R&D 투자 의지를 적극 유도하기 위해 실무 적용성이 높고 고 부가가치 창출이 가능한 자동화 사업대안 도출 ● 건설로봇 기술개발에 관한 마스터 플랜 작성을 통해 중장기적인 관점에서 건설로봇의 연구 개발사업 추진하고 건설기업의 적극적인 참여 유도 ● 건설로봇의 핵심 요소기술 중 취약 기술 개발에 대한 동기를 부여하고 선진 외국의 건설로봇 기술개발 노력을 벤치마킹 함으로써 사업 추진 중 발생 가능한 리스크를 최소화하여 단기간 내에 건설로봇 기술개발환경 구축
위협 (Threat)	ST전략	WT전략
<ul style="list-style-type: none"> ● 정부 및 업계의 단기적 투자 성향 ● 학계간(건설/기계/전기/전자) 공동연구 및 전문분야별 협업체제 미흡 ● 매우 동적이고 가변적인 건설 작업환경으로 인한 로봇 기술개발의 어려움 ● 건설로봇의 활용 및 성능에 대한 숙련공의 부정적 의식 ● 국내 건설업체의 보수성 및 로봇 기술개발 유관 업체의 영세성으로 인한 개발 의지 부족 	<ul style="list-style-type: none"> ● 정부 및 업계의 지속적인 투자를 확보하기 위해 건설로봇 기술 개발이 고 부가가치 창출을 통한 미래 건설산업 발전의 원동력이 될 수 있다는 인식의 전환이 요구됨. ● 전문 분야별 긴밀한 협업체제 구축을 위해서는 정부 R&D 투자에 의한 과제 선정 시 참여 기관의 적정성 및 주체별 협업 가능성, 대기업 등 최종 사용자 참여여부 등을 판단해야 할 것임. ● 세계 최고 수준의 정보통신기술을 바탕으로 다양한 현장여건에 적합한 건설로봇의 기술개발 	<ul style="list-style-type: none"> ● 건설/기계/전기/전자 관련 학제와 업계의 긴밀한 협업을 통해 로봇의 4대 핵심 요소기술의 균형적 발전을 도모 함으로써 관련 기술의 해외 의존도를 낮추고 로봇기술 개발을 위한 국제 경쟁력 제고 ● 건설 로봇 기술 개발에 관한 정부의 확고한 마스터 플랜 (기술 로드맵) 하에서, 로봇기술 개발을 포함한 신기술·신공법 개발에 적극 참여하여 안전성, 품질, 건설 생산성 향상에 기여하는 건설기업에 대해 다양한 인센티브 부여함으로써 첨단 시공기술 개발 유도

지난 20여년에 걸친 건설자동화 분야의 국내의 기술개발 동향 및 국내 건설자동화 기술개발 수준을 고려해 볼 때, 향후 건설자동화 연구개발 분야는 다음과 같은 단계로 발전될 것으로 예상된다. 첫째, 정형화된 작업환경을 지니고 있는 공장자동화와는 달리 매우 동적이며 비정형화된 건설 작업환경(dynamic and unstructured work environment)을 고려해 볼 때 완전자동화의 개념 보다는 인간과 기계간의 협업체제(MMI)를 활용한 반자동화 개념의 건설 로봇 개발이 지속적으로 이루어질 것이다. 둘째, 건설기술에 정보화 및 자동화 기술이 접목되고 그 발전 속도가 빨라지면서 표준화, 설계와 시공의 통합, pre-assembly, pre-fabrication, modularization, JIT 등 다양한 분야의 복합 기술이 유기적으로 연계되고 통합되는 전자자동 고층 건축물 구축 시스템의 개발이 가능할 것이다. 국내의 정보화 및 자동화 기술 개발 수준과 그 발전 속도를 고려해 볼 때, 추후 일본의 그것에 비해 보다 진화되고 경제성 확보가 가능한 자동화 기술의 구현이 가능할 것으로 기대된다. 셋째, 고공, 해저, 사막, 오염 지역 등 일상적인 작업이 어렵거나 위험한 작업환경 하에서 인력을 대체할 수 있는 원격조종 형태의 로봇 개발이 진행될 것이다. 이는 건설 로봇을 구성하고 있는 핵심 요소기술인 센싱 및 제어기술의 급속한 발전에 따라 그 개발속도가 빨라질 것으로 기대되며, 휴머노이드 로봇의 건설 현장 적용에 대한 연구도 활발히 진행될 것으로 예상된다.

5. 결론

본 논문에서는 건설자동화 기술개발의 필요성을 제시하고 2000년 이후 연구·개발된 국내 건설로봇의 현황 및 기술개발을 위해 요구되는 요소기술의 수준 분석을 통해 건설로봇의 미래 발전방향을 제시하였다. 끝으로, 건설자동화 분야의 체계적인 연구·개발 방향 제시 및 미래발전을 위한 몇 가지 제언을 하자면, 첫째, 국내 건설산업에 있어 요구되는 건설자동화 대상 작업의 파악을 위해 건축 및 토목 공중, 공정, 작업을 중심으로 상향식(bottom-up) 수요의 면밀한 조사·분석이 이루어져야 한다. 둘째, 현장 수요조사를 통해 건설자동화 기술개발 대상(alternatives)이 선정되면 산·학·연·관 컨소시엄 구성을 통해 국내·외 건설자동화 기술 진보현황 및 국내 건설산업의 특성을 고려하여 자동화 기술개발에 관한 우선순위(priority)를 도출하는 것이다. 또한, 그 결과에 따른 마스터플랜의 작성이 요구되며, 이를 기반으로 중장기적 안목에서 각계 전문가들이 함께 시간(time), 기술개발 대상(objects), 기술구현 절차(procedures) 및 요소기술(technologies), 시간흐름에 따른 R&D 예산이 반영된 기술적 로드맵(technology roadmap)과 세부 실행계획(implementation plan)을 작성해야 한다. 이를 통해 건설자동화 기술개발을 위한 중장기적 목표가 명확히 설정될 수 있을 것이며 체계적이고도 효율적인 투자 및 연구개발 계획이 수립될 것이다. 셋째, 건설자동화 연구개발 사업을 계획하고 집행함에 있어 우리가 더욱 관심을 가져야 할 부분은 기 개발 건설 로봇 중 실용화 가능성 및 시장성이 높다고 판단되는 프로젝트에 대한 지속적인 연구개발비의 지원이다. 건설교통부 등 산·학·연 공동 연구개발 사업으로 기 개발된 건설 로봇들의 경우, 건축 및 토목 분야에 있어 이미 필요성이나 수요가 검증된 어플리케이션을 대상으로 로봇이 개발되고 현장에 시험 적용 되었다고 볼 수 있다. 따라서 기 개발 로봇이 다루고 있는 건축 및 토목 어플리케이션을 대상으로 과감한 R&D 투자를 통해 개발된 기술력과 최신의 RT 및 IT 요소기술을 접목하여 국제 경쟁력 확보가 가능한 실용화 로봇을 개발하게 될 경우 자동화 기술개발에 수반되는 개발 주체의 리스크를 최소화하고 국가 R&D 예산의 효율적 집행 및 시너지 효과의 창출이 가능할 것으로 판단된다. 즉, 건설 로봇을 개발함에 있어 새로운 자동화 대상 작업을 발굴하여 로봇을 개발하고자 하는 노력도 분명 수반되어야 할 것이나, 프로토타입 수준에서 기 개발된 우수 성능을 지닌 건설 로봇의 경우 기존 프로젝트의 기술적 문제점을 분석하고 수정·보완함으로써 국제 경쟁력을 갖춘 실용화 장비를 개발하여 사업화 전략을 구축하는 것은 건설 로봇의 성공적 개발, 현장 적용성 및 산학연 연구개발 사업의 효율성 제고 측면에서 매우 효과적인 접근 방법이라 할 수 있다. 일본과 미국의 경우, 건설현장의 특수성을 인지하고 실용화 가능성이 높고 현장 수요가 있다고 판단되는 건설 로봇에 대해 장기간에 걸쳐 지속적인 연구개발비를 투입함으로써 사업화에 성공한 사례를 적지 않게 볼 수 있다는 것은 단기적 성과만을 증시하는 우리에게 시사 하는바가 매우 크다고 하겠다.

참고문헌

- Lee, J., Yoo, H., Kim, Y., Cho, M., and Lee, J. (2004) The Development of a Machine Vision Assisted, Teleoperated Pavement Crack Sealer, *Proc. of 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, pp.149~158.
- 이정호, 김영석, 조문영, 김성근, 성낙원(2004) PHC 파일 두부정리 자동화 장비의 발달장치 개발, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 5, pp. 531-534.
- 유연택, 박상준, 이정호, 정명훈, 김영석 (2004) 흙판매설 자동화 장비의 성능분석을 위한 평가모델의 개발, 한국건설관리학회 논문집, 5(1), pp.157~167.
- 권순욱, 김근태, 한재구 (2004), 초고압수를 이용한 노면표시 자동제거 장비개발을 위한 제어시스템 및 노면최적조건에 대한 연구, 한국건설관리학회 논문집, 5(4), pp. 139~146.