

건설자동화 시스템과 자동화 요소 기술 개발 방향 Review of Automatic Construction System and Automation Technologies

최현석 · 신대영

H. S. Choi and D. Y. Shin

1. 서 론

인류 사회의 과학 기술이 발달하면서 산업 현장의 모습은 크게 변화되곤 하였다. 산업혁명과 대량 생산 기술에 의해 공장의 모습이나 노동자의 역할이 크게 변화되었던 것처럼 21세기에서는 통신기술(IT), 로봇 기술(RT), 나노기술(NT)등에 의해 산업 현장은 어느 때보다도 급격히 변혁되어가고 있다. 이러한 변화 속에서 건설현장도 많은 변화가 있어왔지만 다른 산업에 비해 그 변화의 모습은 크다고 할 수 없다. 건설 현장에서는 많은 수작업이 필요하며 불확실성과 예외적인 경우가 많아 자동화 및 정보화 기술을 적용하는데 한계가 있을 수밖에 없다.

이러한 건설 현장의 상대적 한계성 속에서도 건설현장의 자동화와 정보기술을 이용한 고효율화는 건설 산업에서 반드시 필요하다. 건설 현장에서는 공정작업을 위한 노무인력의 공급 점점 더 힘들어지고 있고 현장의 안전성 확보와 환경 제어 그리고 사업 경제성 확보를 위해 시공기간 단축에 대한 요구가 높아지기 때문에 건설 산업에서 건설 자동화 기술은 필수적인 요소가 되고 있다.

국내 건설 산업은 현재 많은 어려운 문제를 가지고

있다. 건설현장에서의 기능 인력의 고령화, 숙련공의 부족으로 인한 기능력 저하 문제가 발생되고 있다. 건설업의 종업원 1인당 부가가치 증가율은 최근 연평균 4.8%로 국내 타 산업 및 선진국에 비해 매우 낮은 수준으로 조사되고 있다. 이러한 현실에서 국내 건설 업체는 고임금의 비용구조, 중국과 같은 신흥 건설업체의 추격으로 국제 경쟁력이 떨어지고 있으며, 시설물에 대한 건설단가와 공기 경쟁력은 경쟁 상대국 보다 열세로 돌아서고 있다. 노무자의 숙련도에 따른 품질의 편차가 있는 건설 산업의 특수성으로 볼 때 자동화 기술개발을 통한 품질의 균일화가 가능할 것으로 판단되고 있다.

국제 경쟁력을 높이기 위해 노동집약적 시공 중심의 산업구조에서 설계, 감리, CM등 고부가가치의 기술로의 발전이 필요하며 시공에 있어서는 자동화를 통한 노동 집약구조 탈피를 위해 많은 건설 관련 회사와 연구소에서 자동화 연구를 추진 중에 있다.

최근의 건설 산업방향은 일반적인 건축물의 시공에서 첨단 건축물의 건설로 발전하고 있다. 해양플랜트의 건설이나 친환경 에너지를 위한 풍력발전소, 태양광 발전소, 그리고 원전과 같은 고부가가치 건설 프로젝트가 주목을 받고 있다. 이러한 첨단 건축물의

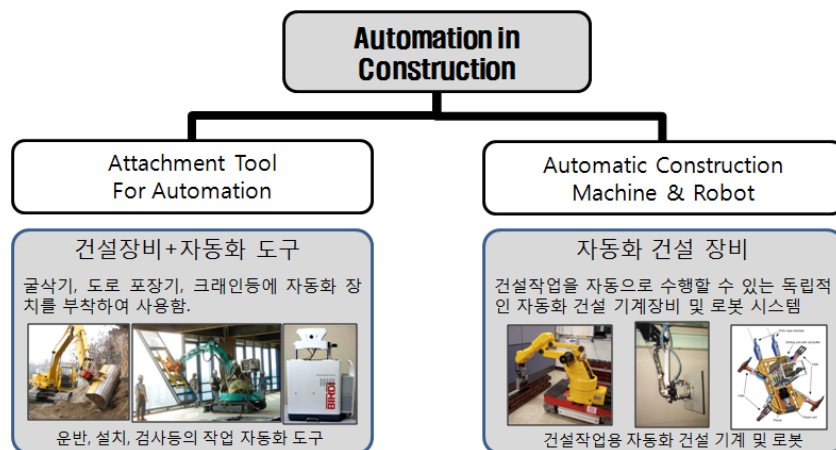


그림 3. 건설자동화 설비의 분류와 정의^{(1)~(7)}

경우에는 균일한 품질 시공과 안전성 확보를 위해 건설작업 자동화를 위한 시공기술 개발이 적극적으로 수행되고 있다.

본 해설에서는 건설자동화에 대한 개념을 정리하고 국내외 건설자동화 사례를 바탕으로 향후 건설자동화의 추진하는데 있어서 우선 고려되어야 할 점들과 로봇의 기술의 적용 방안을 제시하고자 한다.

2. 건설자동화의 정의 및 요소

2.1 건설자동화의 정의

건설자동화에는 넓은 의미에서 정의하면 건설 장비의 자동화된 건설 작업 지원과 더불어 통신 기술과 소프트웨어적인 기술을 적용한 건설 관리, 현장 무선관리 체계, 시공 감리까지 포함하여 모든 건설 활동을 자동화의 범위까지 확대할 수 있다. 그러나 일반적으로 건설자동화는 IT기술을 이용한 건설 자동화와 건설현장 관리 보다는 열악한 작업 환경과 인력 의존도가 높은 건설 공사의 현장에서 근로자 안전문제 및 작업환경 개선과 생산성 향상을 위한 방법으로써 인력지원이나 인력 대체를 위한 기계적인 장비나 설비로 한정할 수 있다.

2.2 건설자동화의 요소 분류

건설자동화 장비는 각각의 건설 현장의 특성에 따라 개발되므로 건설자동화 장비를 구분하는 방법은 다양하게 있을 수 있다. 그림 1에서와 같이 건설 자동화(automation in construction)장비에는 자동화 도구(tool, attachment)와 자동화 건설 장비(system, machine)로 구분할 수 있다. 기존의 건설장비에 자동화 도구를 부착하여 작업 내용에 따라 도구를 착탈할 수 있도록 되어 있는 건설자동화 장치(도구)와 자동화 건설 장비로써 특정 건설작업을 수행하도록 개발된 독립된 건설자동화 설비가 있다.

건설자동화 도구는 건설현장에서 작업물의 이동, 설치 혹은 건축물의 검사 작업과 같이 다양한 건설 작업의 지원을 위해 개발된다. 기존의 건설장비에 부착이 되므로 가격이 저렴하고 하나의 건설 장비에서 다양한 작업을 자동화 할 수 있다. 반면 기존의 장비에 부착되므로 작업 내용에 제약이 있을 수 있으며 완전 자동화를 구현하기 어렵다.

건설자동화 장비는 일반적인 생산 자동화 설비와 마찬가지로 기계기구(mechanism), 구동기(actuator), 센서(sensor), 제어기(controller)로 구성된다. 특히 건

설현장에서는 자동화 장비 주변에 노동자가 있거나 안전에 취약한 고층에서 작업이 이루어 질 수 있으므로 안전성 확보를 위한 2, 3중의 추가적인 안전장치와 기구가 필수적이다.

건설 자동화 장비에서 사용되어지는 구동기에는 유압장치(hydraulic), 공압장치(pneumatic), 그리고 전기구동기(electric motor)가 있다. 건설자동화에서는 많은 경우 유압실린더와 같은 유압시스템을 사용하는데 최근에는 로봇을 이용한 건설자동화의 연구에서 전기모터의 적용도 늘어나고 있다. 표 1에서는 건설자동화 관점에서 구동기들의 특성을 나타낸다.

최근 자동차에서 전기자동차가 많은 관심을 받고 있는 것처럼 건설 자동화 장비에서도 전기구동형 건설기계의 개발이 많은 관심을 받고 있다. 이러한 추세에 따라 건설자동화 장비에서도 전기모터의 활용이 많은 증가하고 있다. 유압시스템에서도 저렴한 고속 유압 서보 밸브(servo valve)의 개발로 로봇시스템에서 유압 구동기를 사용하는 예가 많이 늘어나고 있다. 고성능의 서보 밸브는 경제적으로 유압모터/실린더의 정밀제어가 가능하게 하였으며 큰 payload를 가진 건설용 로봇과 원격제어형 건설기계의 개발이 보다 용이하게 되었다.[그림. 2]

표 1 건설자동화에서의 구동기 특성

종류	특 성
유압 (유압 실린더, 유압 모터)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설장비에 가장 많이 사용되고 있음. ▪ 부피에 비해 큰 힘을 낼 수 있음. ▪ 방수성, 방폭성이 우수하므로 야지에서 활용도가 우수함. ▪ 전동모터에 비해 급속 정지를 시켜도 과부하가 없음. ▪ 과부하에 대한 안전장치나 브레이크가 용이하다.
공압	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 건설현장의 공압은 건설작업용 공구에 많이 응용되고 있음. ▪ 압축성 기체이므로 정밀제어가 어려움. ▪ 진공을 이용한 자동화 기기로 사용.
전기 모터	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 부피 대비 토크가 낮음. ▪ 야지 사용을 위해 방수구조 필요함. ▪ 제어가 쉽고 정밀도가 높음. ▪ 배터리나 전원공급선과 같이 건설기기와 별도의 전원이 필요함. ▪ 구동 소음이 낮음.

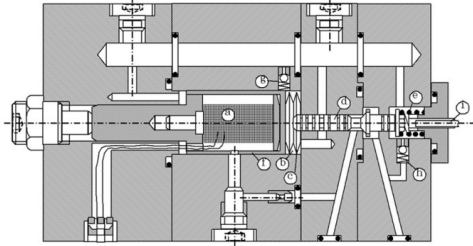


그림 2 PZT를 이용한 고속 On/OFF 디지털 밸브 [Gifu university, Japan]

건설장비에서 센서는 건설자동화 장비의 제어를 위해 장비의 동작과 건설현장의 상황을 인식하고 안전성 확보를 위해 장비의 상태와 주변 노동자들의 존재 여부 등을 판단하는데 사용된다. 건설작업 현장은 작업환경이 지속적으로 변화하고 예상치 못한 작업 내용의 변경이 많이 발생한다. 또한 야지에서 작업이 이루어지므로 태양광, 진동, 빗물, 먼지 등 다양한 오차요인이 상존하므로 자동화를 위한 센서의 선택에서는 이러한 건설 현장의 특성을 충분히 이해하고 있어야 한다.[그림: 3, 4, 5]



그림 3 Laser를 이용한 건설 작업의 표지 레벨 센서[Caterpillar, USA]

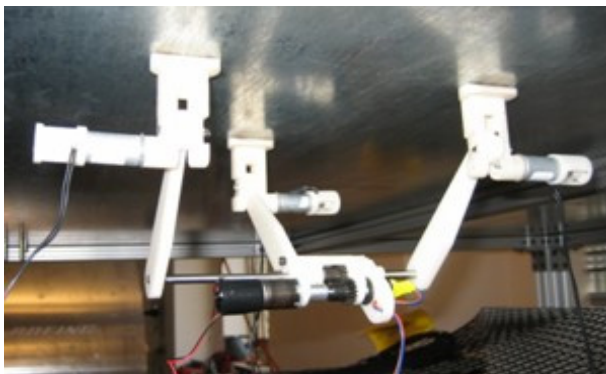


그림 4 교량 검사용 로봇, 카메라로 균열 검사하며 자석으로 이동하는 로봇[MIT, USA, Prof. Harry Asada]



그림 5 하수도관 매설공사시 도관 정렬 자동화를 위한 센서 [삼서공업, KITECH, 한국]¹⁰⁾

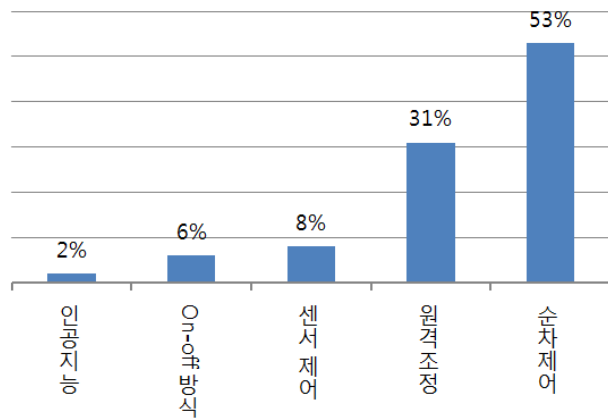


그림 6 건설자동화 설비의 제어방식⁴⁾

센서적용의 예로써 레이저와 광학 센서류들은 건설현장에서는 정밀 시공을 위한 표지(reference point)를 건설기기에 전달하거나 건축자재들의 정렬을 위한 장비에 많이 이용되고 있다. 그림 5는 하수도관을 자동 정렬하는 굴삭기용 도구로써 두 하수도관에 설치된 광센서를 통해 자동 정렬을 수행하는 장비이다.

건설자동화의 제어방식은 현재까지 순차제어와 같은 단순제어 방식이 가장 많이 이용되고 있다. 순차제어는 오랜 기간 사용되어온 방식으로 신뢰성이 높지만 단순 반복 작업에서만 사용이 가능한 단점이 있다. 최근에선 건설 로봇의 개발에서 원격조정 방식이 많이 이용되고 있다. 유해환경을 가진 원전 복구 작업이나 험산 산악지형에서는 작업자가 건설장비에 직접 탑승을 경우 위험에 쉽게 노출되므로 원거리에서 작업을 조정할 수 있는 원격조정형 건설장비가 개발되고 있다. 일반적인 건설장비에서는 그림 6과

같이 순차제어 방식이 가장 많이 사용되고 있으며 인공지능과 같은 최신 제어 기술은 현재까지는 개발 단계로 안전성이 최우선시 되는 건설현장에서는 아직 적용이 적다. 그림 7은 일본에서 연구 개발된 원격제어형 건설장비로 원격 조정형 건설장비의 사례이다.



그림 7 원격제어형 건설작업용 로봇[Gifu Univ. 일본]

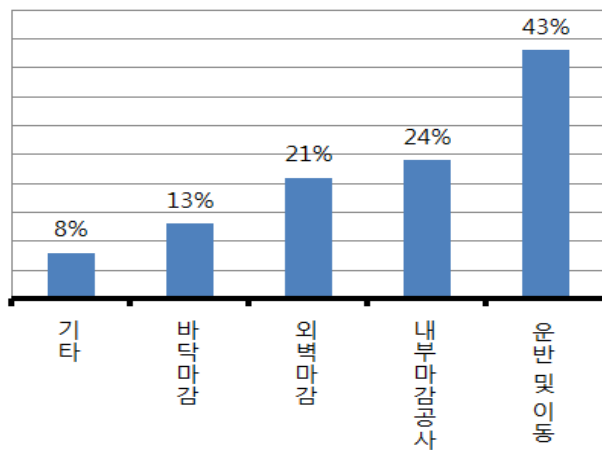


그림 8 건설 자동화 적용 분야

3. 건설자동화 장비 개발 전략

3.1 건설자동화를 위한 작업 평가

건설자동화에 대한 개발은 이미 오랜 기간 동안 시도되어져 왔다. 하지만 최근에까지 건설현장에서의 자동화 장비 도입은 다른 산업에 비해 높은 편이 아니다.

많은 경우 이러한 이유는 건설현장에 대한 이해의 부족이나 건설 현장의 특성에 현재의 기술 단계에서

는 불가능한 자동화를 목표로 하였기 때문이다. 건설현장의 공정이 수작업 중심으로 되어 있어 자동화를 통해 경제적 이득을 얻기 쉽지 않은 공정이라는 점과 자동화 기술이 어려워 고가의 자동화장비가 필요하다는 이유로 실제 건설현장에서 자동화 장비 적용 비율이 낮다. 그림 8은 건설현장의 자동화 장비 적용 비율로써 자동화의 많은 부분이 자재나 토사등의 운반, 이동, 적재에 있는 것을 볼 수 있다.

건설자동화를 위한 고려 요소의 정확한 평가를 통해 자동화 효과가 높은 공정을 발굴하는 것이 건설자동화에 중요하다. 표 2는 건설자동화를 위한 공정장비 개발에서 필요한 고려 요소이다. 각각의 건설현장에서의 특성에 적합한 항목별 가중치를 설정하고 이러한 요소에 대한 분석을 통해 건설자동화 공정을 선정함으로써 건설자동화의 효과를 크게 할 수 있을 것이다.

표 2 건설자동화 적용시 고려사항

주요 요소	세 부 고 려 요 소
안전성	건강에 유해한 작업
	물리적인 위험이 있는 작업
생산성	열악한 작업환경 하에서 작업
	단순하고 반복적인 작업 자동화를 통한 작업 프로세스의 단축이 가능
품질성	품질에 대한 요구 성능 달성이 가능
	일관된 정밀성 및 정확성의 확보가 가능
경제성	작업시간의 단축이 가능
	노무인력의 절감이 가능
	재해사고율의 감소를 통한 비용절감이 가능
인적요인	숙련된 기능 인력의 부족
	육체적 피로가 심한 작업
	더럽고 불쾌한 작업

3.2 건설자동화를 위한 자동화 기술

건설자동화 기술의 핵심기술은 구동장치(유압,공압,전동기), 센서류, 제어기(원격제어기, 제어설비), 그리고 통신/관리기술로 구분할 수 있다. 구동장치는 건설 장비를 구성하는 핵심 요소이다. 자동화 건설장비에서 요구되는 유공압 시스템은 여러 가지 열악한 환경에서도 강인한 성능을 가진 높은 안전성이 필요하며 낮은 압력에서도 빠른 응답 특성을 가지고 있어야 한다. 또한 가격이 너무 높다면 건설자동화에 적용하기 힘들다.

5. 결 론

국내의 건설자동화는 방사능 오염지역에서의 작업이나 분쟁지역에서의 작업과 같이 위험한 현장 환경에서의 건설작업에 대한 자동화 연구와 고층 빌딩 현장에서의 자동화 연구를 중심으로 연구되고 있다. 국내의 관련 투자와 미국 일본 등의 투자 규모 로봇 개발 및 상용화 건수에 비교해 보면 우리나라의 수준은 미약 하다고 볼 수 있다. 그러나 최근 로봇에 대한 투자가 늘어나면서 로봇의 응용 분야로 건설현장이 주목을 받고 있으며 육상에서의 건축뿐만 아니라 해양플랜트와 같은 분야에서도 로봇을 이용한 건설 자동화 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 건설자동화기술이 실효를 거두기 위해서는 보다 전략적인 건설자동화 접근이 필요하다.

첫째, 설계 단계에서 부터 자동화 도입이 필요하다. 설계단계에서 기계화나 자동화를 고려하지 않기 때문에 자동화에 어려움이 많이 있다. 따라서 설계 단계에서부터 시공의 자동화·기계화에 적합하도록 부자재의 표준화 및 규격화, 공장 생산화 와 표준화, 설계 시공 유지 관리등 건설공정의 전 과정에 대해 상호 유기적인 연계 아래 기술 개발을 진행할 필요가 있다.

둘째 자동화 가능 분야 파악과 경제적 타당성 예측이 필요하다. 공정별 인력 요구정도와 요구 전문성에 대한 분석 파악이 우선 되어야 한다. 자동화 장비에 따른 편익비용률(benefit/cost)을 통해 자동화에 따른 이익 분석을 해야 한다.

셋째 건설자동화 요구에 따른 기술 개발 마스터플랜이 필요하다. 건설자동화는 다양한 기술의 집합체로써 기계구조 설계, 로보틱스, 센서, IT 등의 융복합에 의해 구현된다. 특히 우리나라는 IT의 기반시설이 우수하므로 이를 이용한 건설 산업의 자동화/기계화는 산업전반에 좋은 효과를 거둘 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 유승남 외2명, “위치측정장치와운반제어알고리즘을이용한타워크레인의 반자동화시스템개발”, 대한건축학회 Vol. 21, No. 12, 2005.
- 2) 이승열 외3명, “ 다자유도 로봇 기반 커튼월 시공 자동화 장비의 프로토타입 개발”, 대한건축학회, Vol. 21, No. 8, 2005.
- 3) 이준복, “건설 자동화 및 로봇화 기술의 현재와

미래”, 건설관리기술과동향 2003.

- 4) 김현철, “건설자동화 시스템 및 로봇의 연구개발을 위한 웹기반 의사결정 지원시스템 구축에 관한 연구”, 인하대학교 석사학위 논문, 2001.
- 5) Je-Keun Oh et. al., “Bridge inspection robot system with machine vision”, Automation in Construction, Vol.18, No.7, 929-941, 2009.
- 6) Seung-Nam Yu, et. al., “Feasibility verification of brick-laying robot using manipulation trajectory and the laying pattern optimization”, Automation in Construction, Vol.18, Issue 5, 644-655, 2009.
- 7) Hyeun-Seok Choi et. al., “Development of hybrid robot for construction works with pneumatic actuator”, Automation in Construction, Vol. 14, Issue 4, 452-459,2005.
- 8) Migara H. Liyanage, Nicholas Krouglicof and Raymond Gosine, “High Speed Electro-Hydraulic Actuator for a SCARA Type Robotic Arm”, The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems October 18-22, 2010.
- 9) 이성욱 외, “국내외 건설자동화 및 건설 현장 적용 가능 기술 분석”, 한국원자력연구원, 2007.
- 10) 강성복 외, “콘크리트관 자동 정렬 및 광센서 제어 알고리즘 개발”, 기술개발 보고서, 2010년

[저자 소개]



최현석(책임저자)

E-mail : hchoi@kitech.re.kr

Tel : 031-8040-6388

1969년 7월 17일생.

2005년 한양대학교 정밀기계공학과 졸업, UC Berkely 기계공학과 Postdoc, 2009년 한국생산기술연구원 입사. 공정시스템 및 로봇 시스템 연구, 공학박사



신 대 영

E-mail : dyshin@kitech.re.kr

Tel : 053-580-0140

1962년 8월 6일생.

2000년 한양대학교 정밀기계공학과 박사과정 졸업. 1991년 한국생산기술연구원 입사, 유공압시스템학회, 대한기계학회 등의 회원, 공학박사.